TSPE14450-055-11

제2쇄빙연구선 건조 추진을 위한 예비타당성 조사 지원 연구

Prefeasibility Report on the construction of a second icebreaker

KOPRI 극지연구소

(기획재정부 재신청용)

- 2016.4.15.-

삼일회계법인

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “제2 쇄빙연구선 예비타당성조사 대응 기획연구” 과제의 위탁연구 “극지연구소 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 위한 예비타당성 조사 지원 컨설팅” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

KOPRI 극지연구소

2016. 4. 15

총괄연구책임자 : 윤호일

위탁연구기관명 : 삼일회계법인

위탁연구책임자 : 여수동

위탁참여연구원 : 김철희, 도이회, 여수동, 한정탁, 김지경, 조준형, 김민정, 김건민, 오제균

KOPRI
극지연구소

보고서 초록

위탁연구과제명	극지연구소 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 위한 예비타당성 조사 지원 컨설팅				
위탁연구책임자	여수동	해당단계 참여연구원수	9명	해당단계 연구비	275,000,000원
연구기관명 및 소속부서명	삼일회계법인 공공서비스팀		참여기업명	1	
국제공동연구	상대국명 : 해당없음		상대국연구기관명 : 해당없음		
요약				보고서 면수	총 575면 (별책부록제외)

- 극지 선도국가 도약을 위한 제2 쇄빙연구선 건조사업을 추진합니다.
- 국제사회에서 북극의 중요성이 심화되면서 우리나라도 원활한 극지과학 연구·조사의 수행을 위해 제2 쇄빙연구선 건조가 필요합니다.
- 북극연구 후발주자인 우리나라는 선도국가에 오르기 위해 제2 쇄빙연구선 건조를 반영한 국가 정책을 수립하였습니다.
- 아라온호 한계를 극복하고 빙성능 최적화 요소기술이 적용된 제2 쇄빙연구선을 건조하겠습니다.
- 제2 쇄빙연구선은 연구, 산업, 보급지원, 교육 등 다양한 방면에서 활용될 계획입니다.
- 제2 쇄빙연구선의 건조 및 운영은 과학기술 역량 제고, 경제 활성화, 국가위상 제고 등을 기대할 수 있습니다.
- 제2 쇄빙연구선 건조 사업은 충분한 경제성을 확보하고 있습니다.

KOPRI 극지연구소

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	북극해, 쇄빙연구선, 건조사양, 쇄빙등급, 예비타당성
	영 어	Arctic Sea, Ice Breaking Research Vessel, Building Specification, Polar Code, Preliminary Feasibility

KOPRI
극지연구소

요약

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

❶ 극지 선도국가 도약을 위한 제2 쇄빙연구선 건조사업을 추진합니다.

❷ 국제사회에서 북극의 중요성이 심화되면서 우리나라도 원활한
극지과학 연구.조사의 수행을 위해 제2 쇄빙연구선 건조가 필요합니다.

❸ 북극연구 후발주자인 우리나라는 선도국가에 오르기 위해
제2 쇄빙연구선 건조를 반영한 국가 정책을 수립하였습니다.

❹ 아라온호 한계를 극복하고 빙성능 최적화 요소기술이 적용된
제2 쇄빙연구선을 건조하겠습니다.

❺ 제2 쇄빙연구선은 연구, 산업, 보급지원, 교육 등 다양한 방면에서
활용될 계획입니다.

❻ 제2 쇄빙연구선의 건조 및 운영은 과학기술 역량 제고, 경제 활성화,
국가위상 제고 등을 기대할 수 있습니다.

❼ 제2 쇄빙연구선 건조 사업은 충분한 경제성을 확보하고 있습니다.

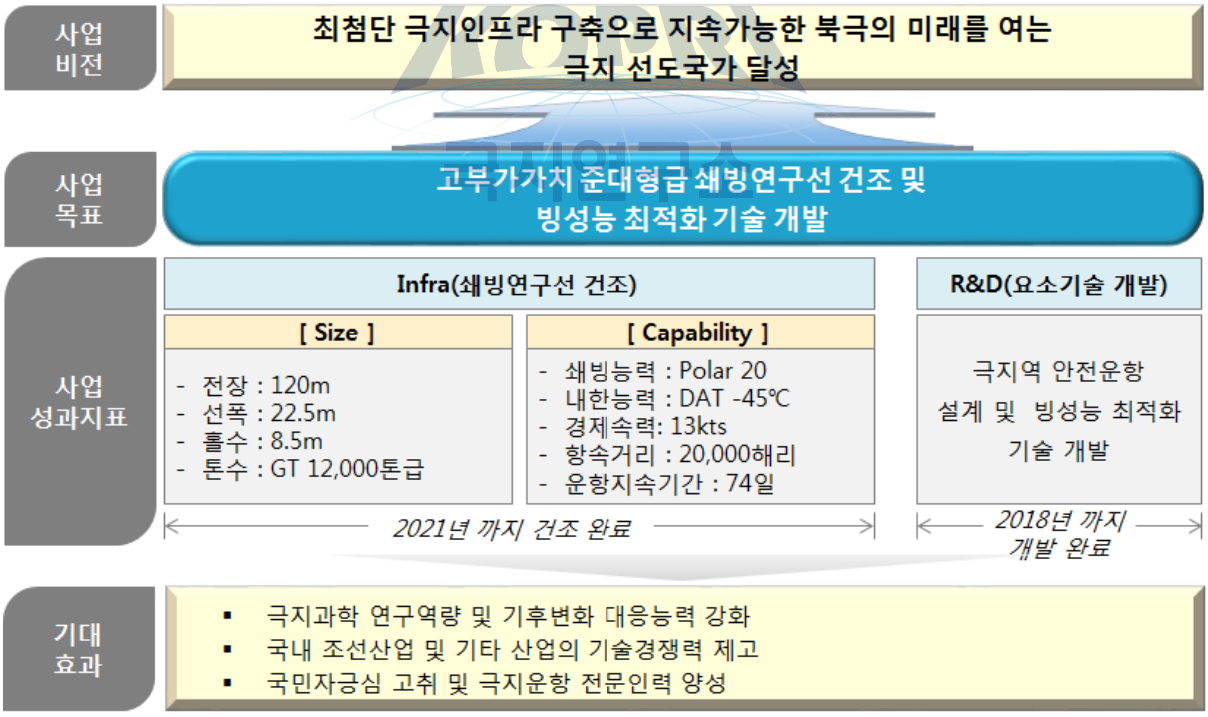
1 극지 선도국가 도약을 위한 제2 쇄빙연구선 건조사업을 추진합니다.

□ 비전 및 목표

○ (비전) 최첨단 극지인프라 구축으로 지속가능한 북극의 미래를 여는 극지 선도국가 달성

○ (목표) 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선 건조 및 빙성능 최적화 기술 개발

- 확대되는 결빙해역에서의 연구·조사와 보급·지원을 원활히 수행하는 첨단 극지인프라 구축
- 쇄빙능력(Polar 20)과 내한능력(-45℃)을 구비한 GT 12,000톤급 고부가가치 준대형 쇄빙연구선 건조
- 극지항로에 적합한 안전운항 설계와 빙성능 최적화 기술 개발 및 적용



□ 법적 추진근거

○ 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진)

○ 과학기술기본법 제28조(연구개발 시설·장비의 고도화)

○ 해양수산발전기본법 제17조(해양과학조사 및 기술개발)

○ 해양수산발전기본법 제20조(해양과학기지의 설치 및 조사·연구)

□ 추진경과

○ 2013.09~2014.03 : 제2 쇄빙연구선 건조 기획연구 수행

○ 2014.03~2014.12 : 제2 쇄빙연구선 건조 기획연구 고도화 수행

○ 2014.08.26 : 해양수산부, 시급성을 고려한 예비타당성 조사 하반기 신청 결정

○ 2014.11.17 : 제2 쇄빙연구선 건조를 위한 공청회 개최(서울프레지던트호텔)

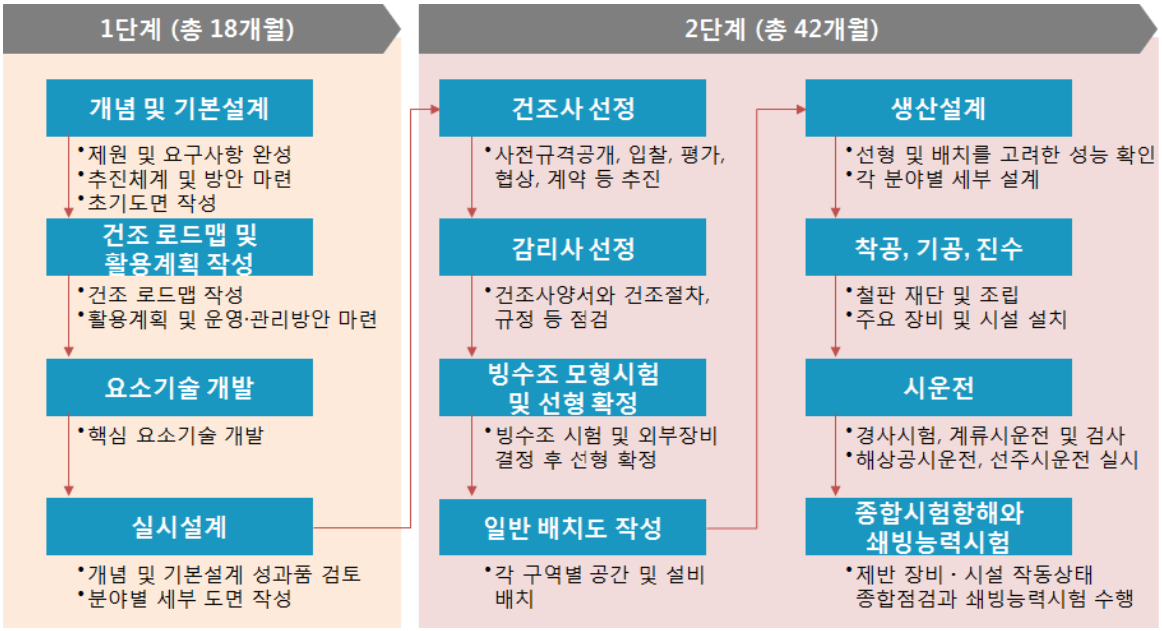
○ 2014.12.29 : 해양수산부, 제2 쇄빙연구선 건조 예비타당성 조사 신청 ⇒ 미선정

○ 2015.02~2015.05 : 자문위원회 및 기술워크샵을 통한 전문가 의견 반영

○ 2015.07~ : 해양수산부, 제2 쇄빙연구선 건조 예비타당성 조사 신청(예정)

KOPRI 극지연구소

□ 사업추진계획

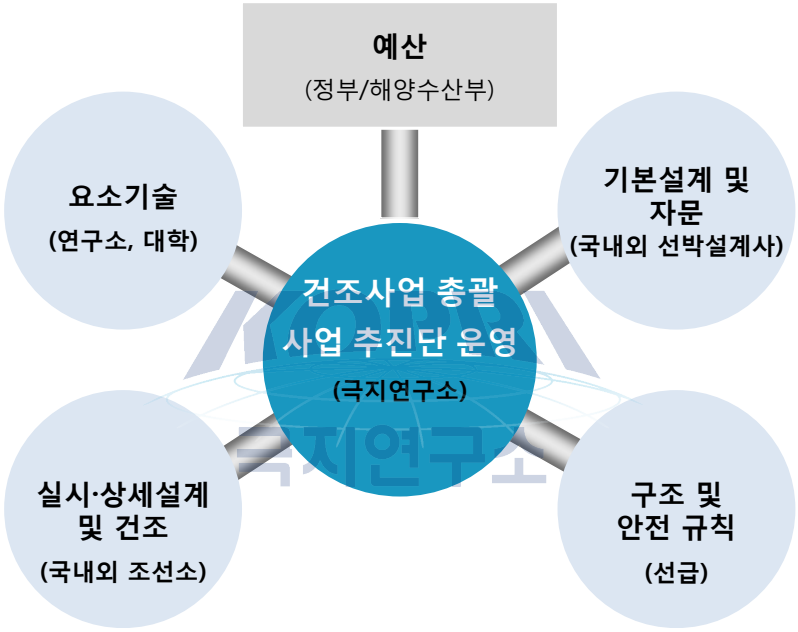


○ 사업타당성 조사를 통한 예산 확보 후 2017년부터 건조사업 착수 예정

○ 제2 쇄빙연구선 건조는 개념 및 기본설계와 실시설계 위주의 1단계 과정과 상세설계 및 건조 위주의 2단계로 나누어 진행될 예정이며 사업기간은 총 60개월 정도 소요될 것으로 예상

○ 2021년 6월에 인도명명 이후 종합시운전 등을 거쳐 2022년부터 본격적인 취항 예정

□ 사업추진체계



○ 관련 정부부처: 예산배정 및 진행사항 점검

○ 극지연구소: 건조사업 총괄 및 사업 추진단 운영

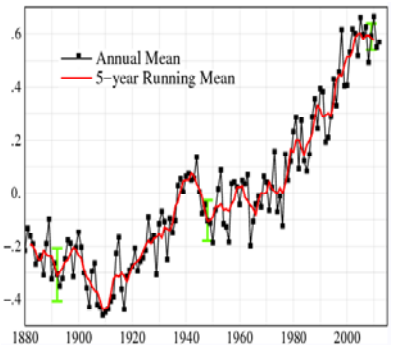
○ 연구소 및 대학: 요소기술 개발 및 자문

○ 국내·외 선박설계사 및 조선소: 실시/상세설계 및 건조

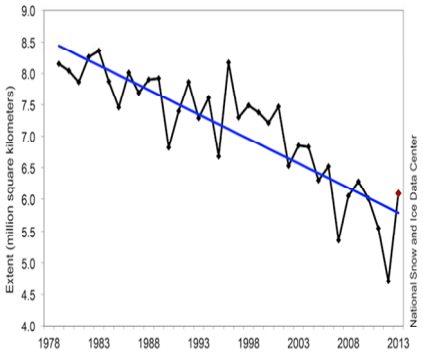
○ 선급: 구조 및 안전규칙

2 국제사회에서 북극의 중요성이 심화되면서 우리나라도 원활한 극지과학 연구.조사의 수행을 위해 제2 쇄빙연구선 건조가 필요합니다.

□ 북극지역은 기후변화의 열쇠



<지구 대기-해양온도 변화>



<북극 해빙면적 변화>

○ 북극해는 환경변화에 가장 민감하게 반응해 연구의 최적지로 여겨지고 있으며, 북극 해빙이 다 녹을 경우 지구 해수면이 약 60m 이상 높아져 그 피해액이 60조 달러에 이를 것이라 추정됨

○ 북극 이상고온으로 인한 북반구 지역의 겨울철 한파가 우리나라 이상기후의 주요 원인으로 분석되고 있어 북극의 기후변화에 대한 대응방안 마련이 필요함

□ 북극지역은 미래자원의 보고

○ 북극에는 전 세계 석유 매장량 중 15%에 해당하는 900억 배럴이 매장되어 있으며, 천연가스는 30%(47조m^3), LNG는 20%(440억 배럴)이 매장된 것으로 추정하고 있음. 또한 가스하이드레이트 등 비전통자원과 함께 다양한 고부가가치 광물자원이 존재한 것으로 보고되고 있음

○ 북극해 연안국들은 북극지역 개발전략을 발표하고, 대규모 자금을 투입하여 지형탐사 및 시추작업을 벌이는 등 미래자원에 대한 경쟁을 벌이고 있어 우리나라도 북극해 지질탐사 등에 대한 적극적인 참여가 요구되고 있음

□ 북극항로는 경제발전의 통로

구분	기존항로	북극항로	절감효과
경로	수에즈항로	북동항로	7,000km /10일
거리	20,000 km	13,000 km	
연료 소모량 (하절기 기준)	998.54 kl	712.04 kl	286.5 kl
연료 비용	886,900 달러	805,131 달러	81,769 달러

○ 지구온난화로 인해 북극해의 상업적 활용 가능성이 주목받고 있으며, 기존 수에즈 운하 대신 북극항로를 운항할 경우, 운항거리 37%(20,100 → 12,700km)와 운항일수(24일 → 14일) 10일의 단축효과가 발생함

□ 주요 국가의 북극정책 현황

○ 연안국들은 자국의 북극 영유권을 주장하기 위해 북극해를 중심으로 치열한 영토분쟁을 벌이고 있으며, 극지연구 선진국가 중심의 비연안국들도 북극해 연구 및 개발을 위한 국가차원의 정책을 마련하고 선제적으로 대비하고 있음

러시아
- 북극 에너지 개발과 기반시설 개선을 위한 '2020 북극계획' 수립
- 2030년까지 약 4천억 달러 투자계획 발표

노르웨이
- 북극정책의 구체적 실행방안 마련
- 북국 비즈니스 개발을 위해 약 215억 원 투자('14.04)

그린란드
- 북극 자원개발을 통한 경제회복 도모
  - '12년 오일·가스 개발권 140건 인가
  - 중국과 MOU 체결('14.03)

미국
- '북극권 국가전략 발표('13.05)
- 미국, 일본 공동의 NABOS/CABOS 주도

캐나다
- 북극지역 영유권 확보 및 북서항로 개척 등을 위한 북극전략 발표('09.03)
- 북극이사회 의장국 활동 중('13~'15)

영국
- 기후, 대기화학 등 6개 분야 중심의 PSPEP 연구 프로그램 추진('09.04)
- 기후변화 연구에 대한 투자비중 지속 확대

스웨덴
- 지속 가능한 개발을 위한 북극정책 발표('11.06)
- 기후변화, 환경보호 등 포괄적 연구 진행

중국
- 제2 쇄빙연구선 건조 추진
- 아이슬란드의 자유무역 협정 체결('13.04)

일본
- 북극대사 임명('13.03)
- 북극권 환경조사 예산 증액 (6억엔/년 → 10억엔/년)
- '18년 북극해 정기항로 추진

□ 주요 국가별 쇄빙연구선 보유 및 건조 현황

○ 지구 온난화에 따른 극지방 해빙감소와 이로 인한 신규 항로개척 가능성, 북극권 자원개발 활동 증가 등으로 인해 세계적으로 신규 쇄빙선 건조에 대한 움직임이 활발해 지고 있음

국가	보유	건조(계획) 중	소계
러시아	41	5	**51**
핀란드	7	1	**8**
캐나다	6	1	**7**
스웨덴	6	-	**6**
미국	5	1	**6**
영국	2	1	**5**
덴마크	4	-	**4**
독일	1	1	**2**
노르웨이	1	1	**2**
중국	1	1	**2**

러시아 쇄빙선, 아르크티카호

미국 쇄빙선, 폴라스타호

중국 쇄빙선, 쉐룽호

KOPRI 극지연구소

○ 현재 세계적으로 가장 많은 쇄빙선을 보유한 국가는 러시아로 현재 총 41척을 보유하고 있으며 이중 16척이 북극 전용 쇄빙선임. 또한 2천억 달러 규모의 대형사업인 야말 프로젝트 진행을 위한 신규 쇄빙선을 건조 및 계획 중에 있음

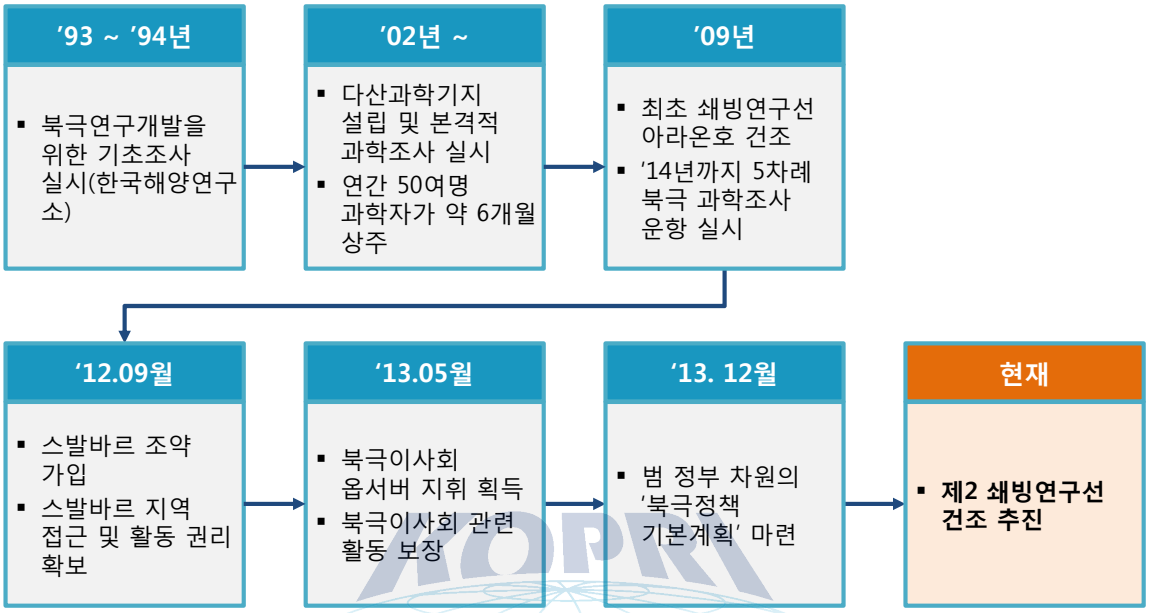
○ 연안국인 캐나다 역시 북극 전담 쇄빙선 6척을 보유하고 있으며 2020년 취항을 목표로 일곱 번째 쇄빙선 건조를 계획하고 있음

○ 우리나라와 같이 쇄빙선이 1척인 독일의 경우 27,000톤급 초대형 쇄빙선이 2019년 완공이 예정되어 있고, 중국 또한 단독 선박으로 인한 극지조사의 한계를 극복하기 위해 신규 쇄빙연구선에 대한 건조를 추진 중에 있음

○ 일본의 경우 지난 2009년에 12,700톤의 중대형급 쇄빙선인 Shirase호를 신규 건조하여 북극전용의 대형 종합해양연구선인 Mirai호(내빙선)와 함께 총 2대의 연구선을 활용해 북극해 연구를 진행하고 있음

3 북극연구 후발주자인 우리나라는 선도국가에 오르기 위해 제2 쇄빙연구선 건조를 반영한 국가 정책을 수립하였습니다.

□ 북극연구 주요활동 사항



○ 우리나라는 1993년 북극 연구개발을 위한 기초조사를 시작으로 2002년 북극에 다산과학기지를 설립·운영함으로써 북극 연구를 위한 기초 인프라가 구축됨

○ 2009년에는 국내 최초의 쇄빙연구선인 아라온호를 건조하여 북극과 남극에서 활발한 연구활동과 기지 보급 임무 등을 수행함

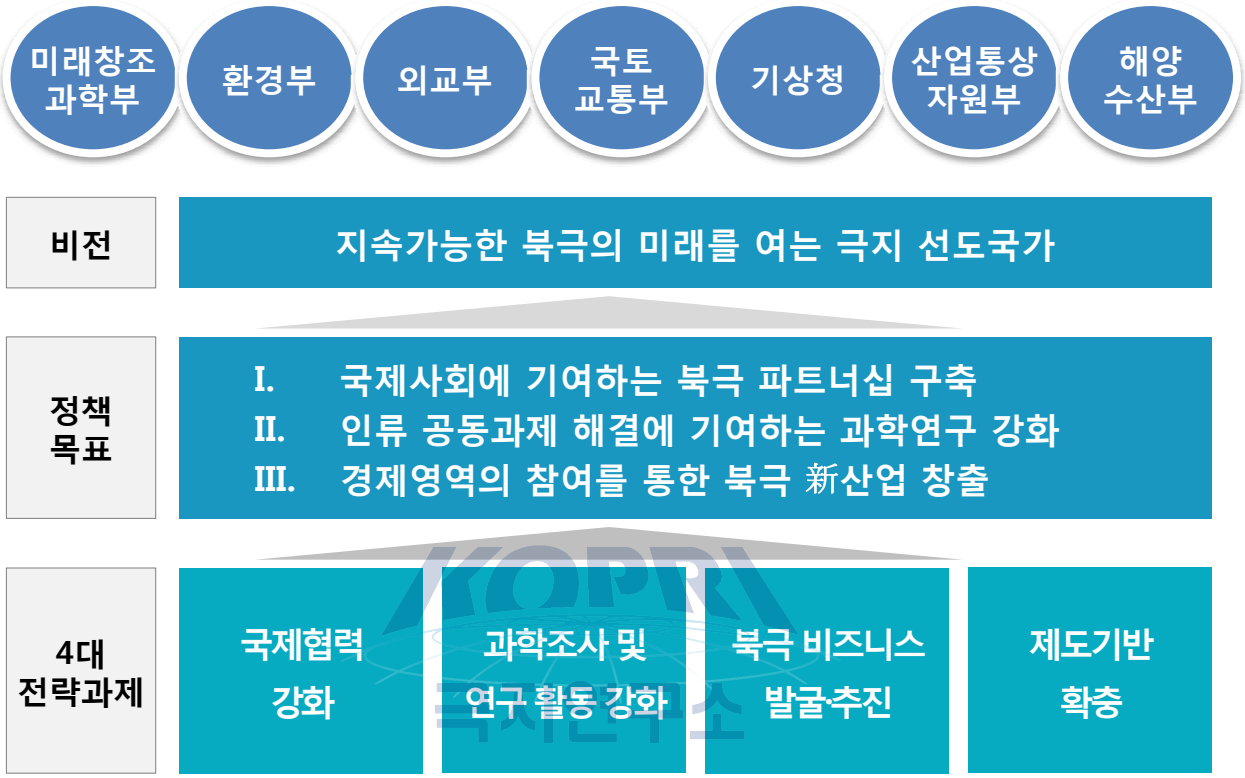
○ 2012년 스발바르 조약 가입, 2013년 북극이사회 정식옵서버 지위획득 등을 통해 북극에서의 활동권리를 확보하였으며, 이를 계기로 정부차원의 북극정책 기본계획을 마련함

○ 북극해 해양조사 및 해양 환경변화 등 2010년 이후 매년 6개 이상의 국내·외 연구과제를 진행하고 있으며, 최근 독일과 공동 연구한 결과물이 네이처 지오사이언스에 게재되는 등 우수한 성과 달성 중

○ 이렇듯 다양한 활동을 통해 북극연구에 대한 우라나라의 입지가 커져가는 만큼 해외의 연구기관 및 대학으로부터 공동연구에 대한 수요가 증가하고 있으며 이를 온전히 수행하고 한단계 전진하기 위해서는 북극활용을 위한 제2 쇄빙연구선이 필요한 상황임

□ 북극정책 기본계획 수립

○ 북극이사회 정식옵서버 진출 이후 북극분야에 대한 정책기조를 담은 정부 차원의 '북극정책 기본계획'을 마련함



○ 국제협력 분야 8개 과제, 과학조사 및 연구 분야 11개 과제, 북극권 비즈니스 분야 10개 과제, 제도 분야 2개 과제 등 4개 전략과제별 31개 중점 추진계획 마련함

○ 제2 쇄빙연구선 건조는 과학조사 및 연구 분야 내 세부추진계획으로 반영되어 있으나, 북극정책 기본계획의 비전과 정책목표를 달성하기 위해서는 반드시 마련되어져야 할 기본 인프라 이자 선결사항이라고 할 수 있음

○ 북극 중심의 쇄빙연구선 확보 시 해외 유수의 연구기관 및 대학과의 공동연구의 수요가 증대하여 과학조사 및 연구활동이 활발해 질 것이며 이를 통한 국가간 국제협력 체계가 단단해 질 것임. 더불어 북극전용 쇄빙연구선을 활용한 북극권 탐사를 통해 북극권 비즈니스 발굴에 대한 실행력을 확보할 것으로 판단됨

□ 국가 정책과 제2 쇄빙연구선 건조 사업과의 부합성

○ 제2 쇄빙연구선 건조를 포함한 극지연구에 대한 중요성이 확산됨에 따라 북극정책 기본계획 외에도 다양한 정부 정책에 제2 쇄빙연구선 건조 및 극지연구 활성화에 대한 사항이 반영이 되어 있음

정부 정책 \ 부합성 평가	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
▪ 박근혜 정부 140개 국정과제(2013.05) - (국정과제 11) 극지에 대한 전략적 개발·활용 - (국정과제 132) 북극이사회 옵서버를 통한 북극항로 개발 참여			●
▪ 제3차 과학기술기본계획(2013~2017) - 미래성장동력 확충 5대 분야의 해양·수산의 미래산업화 추진과제		●	
▪ 북극정책 기본계획 - 과학조사 및 연구분야의 연구활동 기반 확충			●
▪ 해양수산 R&D 중장기 계획 - 극한공간 활용 및 국제협력 확대를 위한 제2쇄빙선 건조 추진			●
▪ 해양수산 경제활성화 방안 - 창조경제 성공모델 실현 4대 분야의 연구인프라 확충을 통한 극지기술 선도			●
▪ 2020 해양과학기술 로드맵(2012~2020) - 극한지 운항 선박용 핵심기술, 기후변화 예측 및 대응 등			●

○ ‘박근혜 정부의 140대 국정과제‘ 중 11번 과제(해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리)의 추진계획으로 ‘북극항로 개척’, ‘극지에서의 기초·응용 연구 확대’를 제시하였고, 132번 과제(FTA 네트워크 등 경제협력 역량 강화)를 수행하기 위해 ‘북극항로 개발 참여’를 추진계획으로 제시함

○ ‘제3차 과학기술기본계획’ 중 ‘미래성장동력 확충’을 달성하기 위한 5대 분야 중 하나인 ‘해양·수산의 미래산업화’의 세부계획으로 ‘극한공간 개발기술’ 및 ‘고부가가치 선박기술’을 제시함. 이는 제2 쇄빙연구선에 필요한 요소기술 개발과 연계성이 있음

○ ‘해양수산 R&D 중장기 계획’의 12대 실행전략 중 ‘극한공간 활용 및 국제협력 확대’의 실행계획으로 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 제시함

○ ‘해양수산 경제활성화 방안’의 경제혁신에 대한 정책기조인 ‘성장모멘텀 창출’을 달성하기 위해 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 제시함

○ ‘2020 해양과학기술 로드맵’에서는 극지운항 핵심기술 개발 및 극지 기후변화 연구의 중요성을 언급함

4 아라온호 한계를 극복하고 빙성능 최적화 요소기술이 적용된 제2 쇄빙연구선을 건조하겠습니다.

□ 아라온호 운영의 한계

구분	일반 및 연구항해				항해 준비 및 보급			소계	입거 수리	시험 항해 및 예비	합계
	일반항해		연구항해		외국기항		기지 보급				
	남극	북극	남극	북극	남극	북극					
2010	99.5	**29**	21.5	**21**	27	**5**	8	**211**	8	146	365
2011	129.5	**32**	56.5	**13**	28	**5**	6	**270**	14	81	365
2012	75	**32**	44	**34**	22	**5**	21	**233**	33	100	366
2013	135.5	**30.5**	43.5	**31.5**	33.5	**7**	30.5	**312**	20	33	365

KOPRI 극지연구소

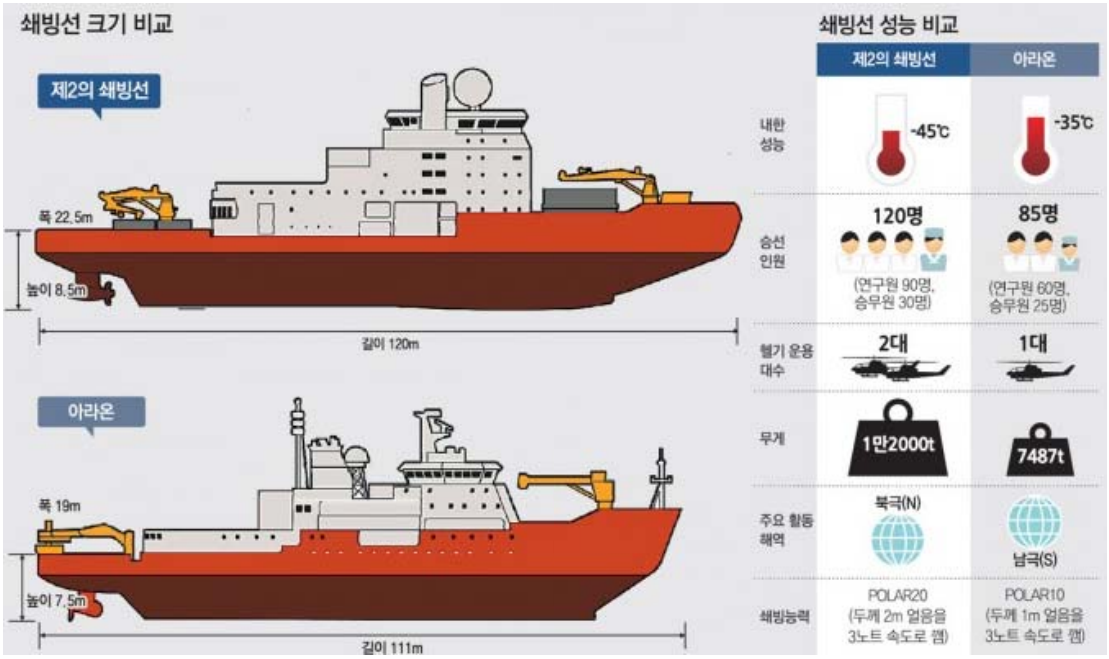
○ 아라온호의 운항일수는, 2012년(입거수리와 수리 후 시험항해 기간이 길어져 일시적으로 감소)을 제외하고, 매년 지속적으로 증가하여 2013년 기준으로 312일을 기록했으며, 이는 운항가능 최대일수를 초과한 상황으로 아라온호의 안전성이 우려되고 있음

○ 아라온호 운항 이후 북극해를 중심으로 한 국제 공동연구 수요가 증가하고 있으나, 남극 연구활동 및 기지운영 지원으로 인해 북극항해는 연 평균 약 24.9일만 운항하는 수준으로, 북극해 공동연구 요청 대비 평균 65.9%만을 수용하고 있는 실정임

○ 아라온호의 승선인력 규모는 85명으로 선원 및 필수 승선인력(선의, 헬기 관련자) 등을 제외하면 가용한 승선인력은 40명 내외로 충분한 연구인력 탑승이 제한됨. 이로인해 일부 연구팀의 승선이 불가능하여 연구활동이 축소되는 경우도 발생함

○ 과거 극지역 항해 중 아라온호의 쇄빙능력과 내한성능의 취약함이 북극항해에서 확인되었음. 남극해빙 보다 강하고 두꺼운 북극해빙에서 원활한 북극해 활동을 위해서는 쇄빙능력과 내한성능이 보강된 쇄빙선이 필요함

□ 아라온호와 제2 쇄빙연구선의 차별화



○ (쇄빙/내한 성능 강화) Polar 10 (-35℃) → Polar 20 (-45℃)

- 2m 두께의 평탄빙을 3 knots로 연속적으로 깨면서 항해할 수 있는 쇄빙능력과 영하 45℃의 환경에서도 제반 장착장비가 작동되어 원활한 선상작업이 가능한 내항성능 요구

○ (연구/지원 공간 확보) 장착식 → 탈·부착식

- 제2 쇄빙연구선은 조선기자재 업체의 Test-bed 역할을 포함한 다양한 연구를 수행해야 하므로 후갑판 작업 공간을 가능한 넓게 확보해야 함. 불가피한 것을 제외한 필요 시설물은 탈·부착이 가능하도록 하여 연구가 종료되면 탈착 및 이동을 통해 다른 연구작업을 위한 공간으로 활용

○ (승선인원 확대) 85명 → 120명

- 극한환경 Test-bed를 위한 산업계의 활용 수요 증가가 예상됨에 따라, 쇄빙연구선의 기본임무인 북극연구를 위한 연구자 탑승에 영향을 주지 않기 위해서는 승선규모 확대를 통한 운영 최적화를 도모

○ (주요 활동해역 상이) 아라온호를 남극 중심으로, 제2 쇄빙연구선을 북극 중심으로 운항하여 각 지역에 대한 연구일수 확보함으로써 연구활동 효율화 및 고도화를 제고

□ 고부가가치 쇄빙연구선을 위한 요소기술 개발

○ 국내 조선업계의 극지항로 운항 선박 건조기술은 세계적인 수준이나 이를 구성하는 세부 원천기술은 선진 기술국에 비해 낙후된 실정임. 세계적으로 극지기술을 선도할 수 있는 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선의 성공적인 건조를 위하여 극지항로 안전운항에 필요한 4대 요소기술 개발을 설계단계에서 병행하여 추진함

요소기술	세부 요소기술의 범위
빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술	▪ 설계 빙하중을 고려한 선체 구조설계 기술 ▪ 쇄빙 거동 및 유빙 충돌의 정밀 시뮬레이션에 의한 선체-빙 상호작용 및 빙하중 추정 기술 ▪ 극한하중에 의한 선체구조손상 해석/평가 기술
빙성능 최적화 및 시험평가 기술	▪ 최적 쇄빙선형 개발 기술 ▪ 빙수조 기반 빙성능 시험평가 및 빙성능 최적화 기술 ▪ 특수 빙성능 시험평가 기술 ▪ 최적 빙-추진기 시스템 선정 및 추진기 성능 최적화 기술
방한성능 실용화 및 기술표준화 기술	▪ 내빙설계 및 저온성능 향상 기술 (Winterization) ▪ Icing Stability 확보 기술 ▪ 방한성능 기술표준화 및 국산화 기술 지원
실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술	▪ 실해역 안전운항 모니터링 기술 ▪ 실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술

○ (빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술) 빙하중 연성해석, 해빙의 재료특성 분석과 빙충격 구조해석, 빙출돌에 의한 진동-소음 해석, 구조안전성 감시장치 개발을 통해 안전성능을 검증할 수 있는 엔지니어링 핵심기술

○ (빙성능 최적화 및 시험평가 기술) 쇄빙선이 얼음을 깨고 전진할 때의 빙저항과 유빙을 극복하는 추진력을 추정하는 기술이 핵심으로 얼음의 두께 및 큰 유빙의 충격에 대해서 견딜 수 있는 핵심기술

○ (방한성능 실용화 및 기술표준화 기술) 조선기자재의 극저온 성능검증, 국산화를 통한 기술지원 및 표준화, 극지운항 생존성 향상을 위한 핵심기술

○ (실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술) 실해역에서 선박의 운항성능 및 안전성 등을 평가하기 위해 빙안전 운항성능을 계측하고 빙성능 모형시험/해석을 통해 안전운항성능을 평가하는 핵심기술

KOPRI 극지연구소

5 제2 쇄빙연구선은 연구, 산업, 보급지원, 교육 등 다양한 방면에서 활용될 계획입니다.

□ 제2 쇄빙연구선 연간 운항계획

○ 제2 쇄빙연구선은 연구지원용 뿐만 아니라 조선기자재의 극지 Test-Bed 등의 산업지원용, 다산과학기지 보급지원용, 전문인력 양성과 대국민 교육프로그램 지원 등의 다양한 분야에서 공동으로 활용될 계획임

KOPRI 극지연구소

○ (기초연구용) 제2 쇄빙연구선의 주요 임무로써 북극해까지 이동하는 동안 이동항해연구와 북극해 과학탐사 등 연구활동 수행

○ (응용연구용) 조선기자재의 방한기술 성능시험을 위한 Test-Bed 장비를 탑재하여 극지운항 관련 기자재 및 부품의 winterization 성능을 실해역에서 테스트 함으로써 관련 업체의 기술 경쟁력 및 시장 경쟁력 향상 제고

○ (교육지원용) 정부 교육정책과 연계한 교육기부 활동을 통한 나눔교육 확산 및 극지연구 인재양성에 기여하고자 하는 목적으로, 쇄빙연구선의 정박기간을 활용하여 선상교육, 장비교육 및 안전교육 등을 수행하고, 해기사 등을 대상으로 한 항해교육을 수행하여 전문성을 제고

○ 필요에 따라 아라온호와 동행 또는 교차운행을 통해 시너지 효과 극대화

□ 북극해 중심 연구활동

○ 북극해 연구활동의 주요 목적은 미답 결빙해역에서의 기후환경, 자원, 북극항로의 공간정보자료 획득을 통해 극지과학 경쟁력과 우수성과 창출에 활용하고자 함이며, 연구활동은 크게 '북극해의 환경관측 및 탐사연구'와 '북극해 자원탐사 활용'으로 구분됨

○ (북극해의 환경관측 및 탐사연구 부문) 대기와 지질, 생태계 등 다양한 북극 자연환경 중심의 연구를 통해 북극 환경 및 지구 기후변화 등에 대한 글로벌 이슈에 대응함

○ (북극해 자원탐사 활용 부문) 화석연료, 광물, 생물자원 등을 개발하고 활용하는 측면에서의 연구를 통해 미래자원을 확보하고 기술개발에 활용함

□ 극지현장 Test-Bed

○ 국익 창출을 위한 산업계 활용 측면으로, 해양조선 분야 기술개발을 위한 극지현장 Test-Bed의 장으로 활용하고자 함

- 조선소, 기자재 업체 및 안전성 평가를 통한 내한성능 요소기술 및 사업화 제품 식별을 위한 시험장으로 활용
- 국제기구, 선급 및 근접국가들의 규정, 지침 등에 대한 관련 제반기술 연구에 활용
- 쇄빙선 기본기능 외 내한성능 검증 테스트 베드로 활용

추진내용	세부사항
Winterization 성능검증 Test bed 장비 탑재를 위한 설계 기술 개발	▪ 대형 기자재의 Winterization 기술 시험·평가가 가능한 Test Bed 설계기술 개발 ▪ Test Bed 장비 설치를 위한 선박 설계기술 개발
동절기 쇄빙연구선을 활용한 실해역 선박의 구조강도 및 선체 재료 시험	▪ 극지선박 구조강도의 실해역 검증 및 빙하중에 의한 선체 영향 시험 ▪ 선체 재료 내구성에 대한 시험·평가 기술 개발
선박의 기자재 Winterization 성능검증	▪ 착빙에 대비한 선박 기자재의 Winterization 기술의 실해역에서의 시험·평가 ▪ 실제 시장에서 통용 가능한 Winterization 기술 확보 ▪ Winterization 기술 검증 및 신기술 개발
빙해 선박용 특수도료 개발 및 성능 평가	▪ 고탄력 기능성 특수도료 개발 및 평가 기술 개발 ▪ 착빙 조건에 따른 도료 특성 영향 평가기술 개발 및 검증
Winterization 성능 검증 지침 및 규정에 대한 관련 제반기술 연구	▪ 극지선박 실선에서의 Winterization Test Bed 운영을 위한 규정 및 지침 관련 제반기술 개발 ▪ 규정 및 지침 개발을 통한 기술 표준화 경쟁력 확보

○ 북극의 극저온 환경을 활용해 자재, 제품 등의 Winterization(방한기술) 성능검증을 위한 Test-Bed로 활용함으로써, 관련 기술력을 향상시키고 제품의 신뢰도를 높이는 효과를 기대할 수 있음

□ 대국민 교육 및 전문인력 양성 등

○ 과학교육 기회의 장으로 초·중·고생 등을 대상으로 극지에 대한 다양한 체험기회 제공

- 공교육(초등~고등학생) 지원 프로그램: 쇄빙연구선 정박기간을 활용하여 극지 및 자연과학에 대한 다양한 체험기회 제공

○ 소외계층과 일반인 등 대상별 맞춤 교육프로그램 기획 및 운영을 통해 공교육 지원 및 나눔교육 확산에 기여함

- 사회배려계층 대상 교육기부 프로그램: 사회 소외지역·계층을 대상으로 쇄빙연구선을 활용한 과학캠프, 시설견학 기회 제공
- 일반인 대상 열린 기부 프로그램: 일반 국민을 대상으로 전국 순회 쇄빙연구선 승선체험 기회 제공

○ 극지연구에 대한 대국민 공감대 조성을 위한 다양한 이벤트를 추진함

- 쇄빙연구선을 주제로 한 극지 사진전 및 전시회 추진
- 예술가 창작활동 지원 프로그램 운영

○ 안전교육의 장 및 북극 참여국으로서 국가의무 수행

- 쇄빙연구선 체험 확대, 안전교육, 훈련 체험 등 확대
- 극지해역 긴급상황 발생 시 일차적인 구조 및 구난활동 수행
- 국제사회의 일원으로 요구되는 탐색, 구조 및 구난활동 참여를 통한 국가의무 수행

○ 결빙 및 유빙해역 운항경험 축적으로 고급 전문인력 확보

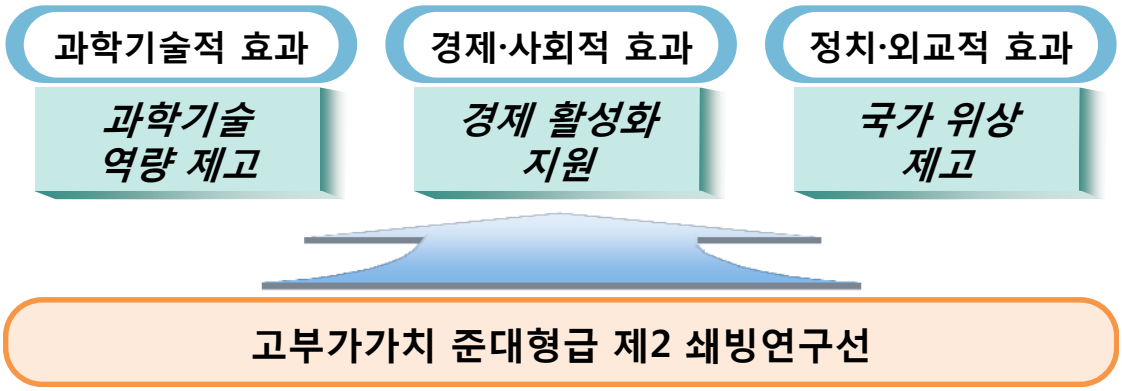
- 쇄빙연구선 운항 참여를 통한 극해역 특수 장비 운용기술 확보 (DP, 전방위 추진기, 빙산탐색 레이다 등)
- 선장, 해기사, 해빙항해 전문가 및 일반선원 등 극지 전문 인력풀 확대
- 결빙해역 항해경험 축적으로 Ice-Pilot과 Ice-Navigator 양성

○ 차세대 해양 전문인력(해기사 등) 양성

- 승선 프로그램, 극지 선원교육 프로그램 등을 통해 극지 운항 인력 양성
- 쇄빙연구선 승선교육으로 예비 전문인력(해기사)의 극지운항기술 실습과정 부여

KOPRI 극지연구소

6 제2 쇄빙연구선의 건조 및 운영은 과학기술 역량 제고, 경제 활성화, 국가위상 제고 등을 기대할 수 있습니다.



□ 과학기술적 효과

○ 극지과학 경쟁력 제고 및 우수 연구성과 창출 및 연구인력 양성

○ 선박 건조 및 건조를 통한 국내 조선산업기술 경쟁력 향상

○ Test-Bed를 활용한 기자재 테스트를 통해 관련 산업체 기술 개발 촉진

KOPRI 극지연구소

□ 경제·사회적 효과

○ 북극환경·자원·수산·조선 분야 신규 비즈니스 모델 발굴

○ 북극 연구활동 및 협력 강화를 통해 향후 에너지자원 확보 기여

○ 극지에 특화된 자원탐사, 원격제어 등 특수장비 기술개발 촉진

○ 현장교육 기회 제공으로 극지 인식 제고

□ 정치·외교적 효과

○ 북극해 대형 공동연구사업을 주도하고 성과 창출을 통한 국제사회 과학리더십 및 과학외교력 강화

- 과학활동을 기반한 북극해 연안국 간 분쟁해결 및 북극권 평화유지에 기여

○ 북극 이슈 해결에 기여하고 북극권 국제사회에서 우리나라의 영향력 강화

○ 결빙해역 연구·운항 선진국 도약을 통한 국가브랜드 강화

7 제2 쇄빙연구선 건조 사업은 충분한 경제성을 확보하고 있습니다.

□ 총 비용 추정

가. 총 건조사업비 추정

○ 총 건조사업비는 2,856 억원으로 추정

○ 건조설계비(총 9,500 백만원)는 국내 주요 설계용역사가 제시한 금액과 대형 해양과학조사선 및 아라온호 사례 등을 고려하여 산정함

- 개념 및 기본설계비 : 3,000 백만원
- 건조 로드맵 : 500 백만원
- 요소기술 개발 : 3,000 백만원
- 실시설계비 : 3,000 백만원

○ 건조비(총 236,599 백만원)는 아라온호의 건조비를 기준으로 각 항목별 산출 비율과 물가인상률 등을 고려하여 산정함

- 공사비 : 186,828 백만원
- 제경비 : 28,262 백만원
- 부가가치세(공사비+제경비의 10%) : 21,509 백만원

○ 부대비용(총 39,488 백만원)은 엔지니어링 사업대가 기준에 의한 요율 및 아라온호 사례를 고려하여 산정함

- 감리비 : 2,945 백만원
- 감독비(예비비 10% 포함) : 28,499 백만원
- 제세금 : 8,044 백만원

나. 연간 운영비

○ 아라온호 대비 총톤수의 증가를 반영하고 필요 인원 증가, 유류비, 선박유지비 등을 고려하여 연간 운영비를 산정함

구분	금액 (백만원)	비율	구분	금액 (백만원)	비율
인건비	2,971	13.4 %	유류비	10,678	48.2 %
일반 운영비	6,019	27.2 %	선박유지비	2,480	11.2 %
합계	**22,148**				

□ 제2 쇄빙연구선 편익 산출

가. 과학기술적 편익

○ 북극 해역탐사 및 자원조사 연구, 북극 지구환경변화 연구, 북극 국제공동연구, 남극활동 등의 연구수행을 지원함으로써 연구논문, 특허, 기술이전 등이 증가하는 편익으로 전문가 혹은 연구자 입장에서 발생하는 편익임

○ 편익 산출을 위해 현존하지 않는 재화에 대한 과학기술적 편익을 추정하기 위해 사용되는 진술선호 접근법인 컨조인트 분석법을 활용하여 산출하되, 활용방식에 따른 Case 3가지를 구성하여 산출함

편익 종류	구분	편익 금액 (억원)	PV 금액 (억원)
과학기술적 편익	Case 1	9,264.3	3,417.0
	Case 2	8,410.5	3,102.2
	Case 3	8,387.5	3,093.7

나. 조선기자재 개발 편익

○ 조선기자재의 생산자에 영향을 미치는 생산자 중심 편익, 즉 직접적 경제적 편익에 해당하며 시장수요접근법을 활용하여 산출함

○ 사업기여율, R&D기여율, R&D사업화성공률, 부가가치율 등을 고려하고, 연구개발기간은 3년, 기술수명주기는 10년으로 2025년부터 2034년까지 발생함

편익 종류	편익 금액 (억원)	PV 금액 (억원)
조선기자재 개발 편익	1,087	480.2

다. 국민 자긍심 고취 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익

○ 국민 자긍심 고취 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익의 추정은 조건부가치측정법(CVM, Contingent Valuation Method)을 적용

○ 해양과학연구 인프라를 조성하여 선박의 확보 및 운영에 따른 국민 자긍심 고취는 유사하기 때문에 대형 해양과학연구선의 편익 이전법을 적용함

편익 종류	편익 금액 (억원)	PV 금액 (억원)
국민 자긍심 고취 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익	8,940	3,298

□ 경제적 타당성 분석

가. 경제성 분석을 위한 시나리오 설정

○ 경제성 분석을 위한 시나리오는 편익 이전법을 적용한 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익을 고려하여 다음 3개의 시나리오를 설정함

구분	적용 편익
시나리오 1	과학기술적 편익
시나리오 2	조선기자재 개발 편익 + 과학기술적 편익
시나리오 3	조선기자재 개발 편익 + 과학기술적 편익 + 국민 자긍심 고취 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익

나. 경제성 분석 결과

○ 시나리오 1의 편익-비용 비율은 0.77 ~ 0.85 수준임

○ 시나리오 2의 편익-비용 비율은 0.89 ~ 0.97 수준을 확보함

○ 시나리오 3의 편익-비용 비율은 1.71 ~ 1.79 수준으로 높은 경제성을 확보함

KOPRI 극지연구소

구분		현재가치 합계(백만원)		순현재가치(NPV) (백만원)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
		편익	비용			
시나리오 1	Case 1	341,711	401,315	-59,605	0.85	2.4%
	Case 2	310,221		-91,094	0.77	0.5%
	Case 3	309,372		-91,943	0.77	0.4%
시나리오 2	Case 1	389,735		-11,580	0.97	4.9%
	Case 2	358,245		-43,071	0.89	3.2%
	Case 3	357,396		-43,919	0.89	3.2%
시나리오 3	Case 1	719,486		318,171	1.79	16.7%
	Case 2	687,996		286,681	1.71	15.8%
	Case 3	687,148		285,832	1.71	15.7%

KOPRI
극지연구소

목 차

제출문 ····· i
요약 ····· v

제 1 장 사업개요 ····· 1

제 1 절 기획연구 추진 배경 ····· 3
1. 기획연구 배경 ····· 3
2. 기획연구 목표 및 내용 ····· 7

제 2 절 기획연구 추진 내용 ····· 9
1. 추진경위 ····· 9
2. 추진방법 및 체계 ····· 10
3. 위원회 구성 및 운영 ····· 12

제 3 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 목표 및 추진전략 ····· 15
1. 사업목표 ····· 16
2. 추진전략 ····· 17

제 4 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 주요내용 ····· 19

제 2 장 기초자료 분석 ····· 23

제 1 절 극지에 대한 이해 ····· 25
1. 극지의 중요성 ····· 25
가. 기후변화의 열쇠 ····· 25
나. 우주과학 연구의 시발점 ····· 26
다. 지구역사 기록 보관소 ····· 27
라. 무한한 극지 생물자원 활용 가능성 ····· 27
마. 미래자원의 보고 ····· 28
2. 남극연구의 중요성 ····· 29
3. 북극연구의 중요성 ····· 31
4. 국내 북극연구 현황 ····· 34
가. 북극연구의 연혁 ····· 34
나. 북극연구의 전진기지인 다산과학기지 개소 ····· 36
다. 최근 북극연구 현황 ····· 38

제 2 절 북극 거버넌스 및 국가별 북극정책 동향 ····· 43
1. 북극 거버넌스 체계 ····· 43
가. 북극이사회 ····· 43

KOPRI 극지연구소

나. 비정부간 연구·운영 협의체 ····· 48
2. 주요 국가별 북극정책 동향 ····· 51
가. 미국 ····· 51
나. 러시아 ····· 52
다. 캐나다 ····· 54
라. 그린란드(덴마크) ····· 54
마. 노르웨이 ····· 55
바. 아이슬란드 ····· 56
사. 스웨덴 ····· 57
아. 핀란드 ····· 57
자. 영국 ····· 57
차. 독일 ····· 57
카. 중국 ····· 58
타. 일본 ····· 58
3. 시사점 ····· 60

제 3 절 쇄빙선에 대한 이해 ····· 63
1. 쇄빙선의 특징 ····· 63
2. 쇄빙선의 역사 ····· 64
3. 쇄빙선의 건조과정과 운영 ····· 65
4. 쇄빙선의 기술적 개념 ····· 66

제 4 절 아라온호 운영 현황 및 성과 ····· 69
1. 아라온호 운영 현황 ····· 69
가. 아라온호 연간 운항일수 ····· 69
나. 아라온호 승선인원 현황 ····· 71
2. 아라온호 활용 성과 ····· 73
가. 연구 및 보급 지원 ····· 73
나. 아라온호와 국제협력 기회의 확대 ····· 75
다. 우수 연구 성과 ····· 78
라. 기타 성과 ····· 84

제 5 절 타국가 쇄빙연구선 북극해 활동현황 ····· 93
1. 독일 ····· 93
2. 영국 ····· 95
3. 중국 ····· 96
4. 일본 ····· 98

제 3 장 건조 필요성 ····· 101

KOPRI 금지연구소

제 1 절 북극지역 연구·조사에 대한 필요성 확산 ····· 103
1. 전 지구적 기후변화 연구 ····· 103
2. 신규 지하자원 확보 ····· 105
3. 다양한 수산자원 확보 ····· 107
4. 북극항로 개척 ····· 110
5. 항만산업 성장 촉진 ····· 112
가. 부산 ····· 112
나. 울산 ····· 113
다. 강원도 ····· 114
6. 조선 및 해양플랜트 수요 창출 ····· 116
7. 북극권 글로벌 리더십 확보 ····· 117
8. 소결: 북극지역 연구·조사 활동의 극대화 ····· 119

제 2 절 북극지역 진출에 대한 장애요소 ····· 121
1. 북극권 국가의 폐쇄성 ····· 121
2. 개발환경의 악조건 ····· 123
3. 환경보호에 대한 국제사회의 압력 ····· 124
4. 북극 원주민과 원주민 단체의 영향력 강화 ····· 125
5 소결: 북극지역 진출 장애요소에 대한 극복방안 ····· 126

제 3 절 아라온호 활용 한계 ····· 129
1. 연간 운항일수 측면 ····· 129
2. 활용 수요 측면 ····· 131
3. 승선 인원 측면 ····· 133
4. 쇄빙·내한성능 측면 ····· 134
5. 남극과학기지(장보고기지) 보급·지원 능력의 한계 ····· 135
6. 소결: 아라온호 활용 한계에 대한 대응방안 ····· 137

제 4 절 요약: 건조의 필요성 및 시급성 ····· 139
1. 제2 쇄빙연구선 건조의 필요성 요약 ····· 139
2. 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성 ····· 141

제 5 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 미추진에 따른 문제점 ····· 151

제 4 장 활용방안 및 기대효과 ····· 155

제 1 절 제2 쇄빙연구선 기본 운항계획 ····· 157
1. 제2 쇄빙연구선 주요 기능과 임무 ····· 158
2. 제2 쇄빙연구선 운항계획 ····· 161
가. 연중 운항 구분 ····· 161
나. 제2 쇄빙연구선 연간 운항 기본일정(안) ····· 162

KOPRI 극지연구소

제 2 절 활용방안 Ⅰ : 북극해 환경관측 및 조사 부문 연구 수요 ····· 167
1. 북극해 환경변화 이해 및 활용연구 ····· 167
2. 북극해 온난화 원인 및 추세, 생태환경영향 연구 ····· 175
3. 북극해 융빙해역 환경변화 관측 및 예측 ····· 178
4. 북극해 기후변화에 따른 미량금속 플럭스 변화가 생지화학적 순환에 미치는 영향 ····· 181
5. 고위도 북극권 저층대기 연구 ····· 186
6. 고위도 극지해역 상층대기 연구 ····· 189
7. 북극해 중앙 다년빙 해역 탐사 및 심부시추/북동·북서항로 활용 연구 ····· 192
8. 북극 해저지질·지체구조 연구 ····· 198
9. 이동해역 해양-대기 관측 사업 ····· 201

제 3 절 활용방안 Ⅱ : 북극해 자원탐사 부문 연구 수요 ····· 211
1. 북극해 자원 탐사 연구 ····· 211
2. 극지 심해 환경 탐사 및 유용 생물자원 확보 ····· 215
3. 극지 미답지 생물자원 확보를 통한 생명공학기술 연구 ····· 219
4. 분자생물학 기반의 휴대용 유전자 검출장치를 이용한 해저 가스 하이드레이트 탐사 ···· 221

제 4 절 활용방안 Ⅲ : 조선기자재의 극지 현장 Test-Bed 활용 ····· 225
1. 개요 ····· 225
2. 배경 및 필요성 ····· 225
3. 추진목표 ····· 226
4. 추진내용 ····· 226
5. 기대효과 ····· 229

제 5 절 활용방안 Ⅳ : 교육기부, 인력양성, 구조 및 구난 등 사회적 요구 대응 ····· 231
1. 교육기부 ····· 231
2. 인력양성 ····· 233
3. 구조 및 구난 ····· 234
4. 기대효과 ····· 236

제 6 절 제2 쇄빙연구선 운영에 따른 기대효과 ····· 237
1. 과학기술적 효과 ····· 237
2. 경제사회적 효과 ····· 238
3. 정치외교적 효과 ····· 239

제 5 장 기술적 타당성 ····· 241

제 1 절 국내외 기술개발 동향 ····· 243
1. 쇄빙선박 시장 현황 ····· 243
2. 해외 기술개발 동향 ····· 245
3. 해외 쇄빙연구선 신규 건조 현황 ····· 247

KOPRI 극지연구소

가. 러시아 ····· 247
나. 캐나다 ····· 247
다. 미국 ····· 248
라. 독일 ····· 249
마. 노르웨이 ····· 249
바. 중국 ····· 250
4. 국내 기술개발 동향 ····· 251
가. 현대중공업 ····· 252
나. 대우조선해양 ····· 253
다. 삼성 중공업 ····· 255
라. STX 조선 ····· 257
마. 한진중공업 ····· 258
바. 국내 조선소의 건조 수준 ····· 260
제 2 절 제2 쇄빙연구선 건조사양 ····· 261
1. 주요사양 사전검토 ····· 261
가. 최적 선형 및 성능 평가 ····· 261
나. 최적 추진시스템 ····· 262
다. 내빙설계 및 Winterization ····· 264
라. 원자로 탑재 ····· 265
마. 시추성능 ····· 270
바. 다중 선급 ····· 278
2. 부문별 사양 내용 ····· 282
가. 기본 요구사항 ····· 282
나. 연구 공간 요구사항 ····· 286
다. 연구 장비 요구사항 ····· 291
라. 연구 지원장비 요구사항 ····· 293
마. 기타 고려사항 ····· 294
제 3 절 요소기술 개발 ····· 297
1. 기술개발 개요 및 필요성 ····· 297
2. 요소기술 I. 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술 ····· 301
3. 요소기술 II. 빙성능 최적화 및 시험평가 기술 ····· 305
4. 요소기술 III. 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술 ····· 312
5. 요소기술 IV. 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술 ····· 316
6. 추진 전략 및 기술체계도 ····· 319
제 4 절 기존사업과의 중복성 ····· 321
1. 아라온호와의 차별성 ····· 321

KOPRI 극지연구소

가. 쇄빙/내한 성능 강화(Polar 10 (-35℃) ⇒ Polar 20 (-45℃)) ····· 321
나. 연구/지원 공간 확보(장착식 ⇒ 탈·부착식) ····· 321
다. 승선 인원 확대(85명 ⇒ 120명) ····· 322
라. 화물 적재능력 확대 ····· 323
마. 주요 활동해역 상이 ····· 324
2. 타 해양연구선과의 차별성 ····· 326
가. 대형 해양과학연구선과의 차별성 ····· 326
나. 기타 운영 중인 주요 해양연구선과의 차별성 ····· 328

제 6 장 건조계획 및 운영방안 ····· 331

제 1 절 제2 쇄빙연구선 건조계획 ····· 333
1. 단계별 추진계획 ····· 334
가. 예비단계(정부부처 기획연구 및 예비타당성 조사) ····· 334
나. 제1단계(개념 및 기본설계, 실시설계) ····· 334
다. 제2단계(상세설계 및 건조) ····· 336
2. 건조사업 추진체계 ····· 342
가. 추진체계 구성 ····· 342
나. 추진체계 별 주요 임무 ····· 343
3. 소요예산 및 재원 조달방안 ····· 347
가. 소요예산 ····· 347
나. 재원 조달방안 및 연도별 투입계획 ····· 347

제 2 절 제2 쇄빙연구선 운영방안 ····· 351
1. 아라온호 운영사례 ····· 351
가. 아라온호 위탁관리 현황 ····· 351
2. 운영방안 검토 ····· 354
가. 자체운영 ····· 354
나. 위탁운영(전체 위탁) ····· 354
다. 선택적/부분 위탁운영 ····· 355
라. 외국 전문회사 위탁운영 ····· 358
마. 공동운영 ····· 358
3. 운영방안 검토 결과 ····· 360
가. 위탁관리의 불가피성 ····· 360

제 3 절 제2 쇄빙연구선 유지관리 ····· 363
1. 제2 쇄빙연구선 운영 인력 ····· 363
가. 운항부문 인력구성 및 역할 ····· 363
나. 운영관리부문 인력구성 및 역할 ····· 374

KOPRI 금지연구소

2. 제2 쇄빙연구선 육상지원 시설 ····· 376
가. 필요시설 ····· 376
나. 사양 ····· 376
다. 주요 업무 ····· 377
3. 기타 운영방안 ····· 379
가. 선원 및 선박관리 방안 ····· 379
나. 연구작업시 업무수행 요령 ····· 379
다. 연구항해 중 업무수행 체계 ····· 380

제 7 장 정책적 타당성 ····· 381

제 1 절 상위계획과의 부합성 ····· 383
1. 박근혜정부 국정과제 ····· 383
2. 제3차 과학기술기본계획('13~'17) ····· 386
3. 북극정책 기본계획 ····· 388
4. 제2차 남극연구활동 진흥 기본계획(2012~2016년) ····· 392
5. 해양수산 R&D 중장기 계획 ····· 396
6. 해양수산 경제활성화 방안 ····· 398
7. 2020 해양과학기술 로드맵 ····· 399
8. 정부정책과 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 부합성 ····· 402

제 2 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 추진의지 ····· 405
1. 북극 관련 활동 강화 ····· 405
가. 북극이사회 활동 강화 ····· 407
나. 국가차원 국제협력 추진 현황 ····· 408
다. 북극해 연안국 등과의 양자협력 강화 ····· 409
2. 제2 쇄빙연구선 건조사업 관련 설문조사 결과 ····· 412
3. 소결 ····· 415

제 3 절 재원조달 가능성 ····· 417
1. 국가재정운용계획(2014~2018) ····· 418
2. 2015년 정부연구개발투자 방향 및 기준(안) ····· 420
3. 2015년 해양수산부 주요 업무계획 ····· 422
4. 국고지원 관련 법적 근거 검토 ····· 423
5. 소결 : 정부 지원의 필요성 ····· 428

제 4 절 법·제도적 위험요인 ····· 429
1. 제2 쇄빙선건조 국고지원의 WTO 보조금협정 타당성 검토 ····· 429
2. 제2 쇄빙연구선 건조와 Polar Code ····· 435
3. 소결 ····· 438

KOPRI 극지연구소

제 8 장 경제적 타당성 ····· 439

제 1 절 국가 R&D 사업의 경제성 평가 ····· 441

1. R&D 사업의 구분 ····· 441
2. R&D 사업 편익추정의 일반론 ····· 442
3. R&D사업 유형별 편익항목 ····· 445
4. R&D 사업의 편익추정법 ····· 447
   가. 소비자 중심의 편익 추정 ····· 447
   나. 생산자 중심의 편익 추정 ····· 450
   다. 비용절감분의 추정 ····· 450
5. R&D사업의 비용편익분석 ····· 452
   가. 편익의 개념과 범위 ····· 452
   나. 시장접근법에 의한 편익 산정 ····· 455

제 2 절 R&D 사업 비용편익분석 사례 ····· 461

1. 예비타당성조사 사례 ····· 461
   가. 녹색산업 선도형 이차전지 기술개발사업 ····· 461
   나. 신성장동력 장비경쟁력 강화사업 ····· 463
   다. 기상조절 기술개발사업 ····· 464
   라. 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업 ····· 467
   마. 농생명 국가전략대응기술개발사업 ····· 468
   바. 정지궤도 복합위성 개발사업 ····· 470
2. 해양분야 R&D 사업 경제성 분석 사례 ····· 473
   가. 해양바이오돔 구축사업 ····· 473
   나. 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업 ····· 476
3. 소결 ····· 480

제 3 절 총사업비 및 운영비 추정 ····· 481

1. 총사업비 및 운영비 추정의 기준 ····· 481
   가. 선박 설계기준 ····· 481
   나. 선박 운영기준 ····· 481
2. 건조 설계비 추정 ····· 483
   가. 기본 설계비 추정 ····· 483
   나. 건조 로드맵 작성 ····· 483
   다. 요소기술 개발 ····· 483
   라. 실시 설계비 ····· 484
3. 건조비 추정 ····· 485
   가. 주요제원 및 요구조건 비교 ····· 485

KOPRI 극지연구소

나. 공사비 산출 ····· 485
다. 제경비 산출 ····· 488
라. 건조비(건조원가) 추정 ····· 489
4. 부대비용 추정 ····· 490
가. 감리비용 ····· 490
나. 감독비용 ····· 490
다. 취득, 등록, 지방, 농특세 등 제세금 ····· 490
라. 부대비용 산출결과 ····· 491
5. 운영비 추정 ····· 492
가. 제2 쇄빙연구선과 아라온호와의 운영비 비교 ····· 492
나. 인건비 ····· 492
다. 유류비 ····· 493
라. 일반운영비 ····· 494
마. 선박유지비 ····· 494
바. 년간 운영비 추정 ····· 495
사. 건조 마지막 년도(2021년) 운영비 추정 ····· 496
6. 총사업비 및 운영비 추정 결과 ····· 497
가. 제 1단계 소요비용 ····· 497
나. 제 2단계 소요비용 ····· 497
다. 년간 운영비 ····· 497
라. 소요비용 추정 ····· 498
제 4 절 제2 쇄빙연구선 건조사업의 편익 추정 ····· 499
1. 편익의 개요 ····· 499
2. 조선기자재 개발 편익의 추정 ····· 501
가. 편익 추정의 개요 ····· 501
나. 조선기자재 개발 편익 산출 ····· 501
3. 과학기술적 편익의 추정 ····· 508
가. 편익 추정의 개요 ····· 508
나. 컨조인트 분석의 적용 ····· 509
다. 실증분석 결과 ····· 514
4. 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 ····· 523
가. 편익추정의 개요 ····· 523
나. 대형 해양과학연구선 건조사업의 일반 국민 편익 추정결과 ····· 523
다. 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익의 추정결과 ····· 538
5. 편익의 종합화 ····· 541
6. 경제적 기대효과 ····· 543
가. 분석 개요 ····· 543

KOPRI 극지연구소

나. 분석 기간 ····· 543
다. 총 건조사업비 및 연도별 집행 내역 ····· 543
라. 조선 및 선박업 유발계수 ····· 544
마. 경제적 파급효과 ····· 544
제 5 절 경제적 타당성 분석 결과 ····· 547
1. 경제적 타당성 분석 ····· 547
가. 경제성 분석 ····· 547
나. 경제성 분석의 주요 전제 ····· 547
다. 비용의 추정 ····· 550
라. 경제성 분석을 위한 시나리오 설정 ····· 552
마. 경제성 분석 결과 ····· 552
2. 민감도 분석 ····· 564
가. 편익 및 비용의 변화에 따른 분석 ····· 564
나. 할인율 변화에 따른 민감도 분석 ····· 565
3. 결론 ····· 566

제 9 장 결론 ····· 567
1. 사업계획의 구체성 ····· 569
2. 기술개발의 필요성 ····· 570
3. 기술개발의 시급성 ····· 571
4. 기존 기술 및 사업과의 차별성 ····· 573
5. 국고지원의 적합성 ····· 574

별 책 부 록

부록 1. 쇄빙연구선 관련 용어 설명 ····· 1
부록 2. Polar Code와 쇄빙등급 ····· 13
부록 3. 아라온호 관련 자료 ····· 53
부록 4. 제2 쇄빙연구선의 기능과 역할 설문서 분석 ····· 93
부록 5. 제2 쇄빙연구선의 연구 시설/장비 수요조사 분석 ····· 115
부록 6. 기존 연구조사선 연구시설/장비 검토 ····· 141
부록 7. 제2 쇄빙연구선의 연구장비 사양 ····· 153
부록 8. 제2 쇄빙연구선 건조사업에 대한 전문가 의견조사 ····· 189
부록 9. 해양수산부와 산업통상자원부 협업 방안 ····· 199
부록 10. 예비타당성조사 기술성평가 사전 체크리스트 ····· 207

KOPRI 극지연구소

표 목차

[표 1-1] 실무 Task Force 팀 ····· 12
[표 1-2] 자문위원회 ····· 12
[표 1-3] 국고지원의 법적 근거 ····· 21
[표 2-4] 북극지역 대형 석유·가스 매장지역 ····· 32
[표 2-5] 추진 중인 주요 북극 연구내용 ····· 38
[표 2-6] 북극권 국가와의 연구협력 현황 ····· 39
[표 2-7] 주요 북극 연구성과 ····· 40
[표 2-8] 옵서버 국가의 활동 권한 ····· 43
[표 2-9] 북극이사회의 워킹그룹 ····· 46
[표 2-10] 기타 북극 국제기구 ····· 50
[표 2-11] 러시아의 북극해 단계별 개발 전략 ····· 53
[표 2-12] 타 국가 북극정책 요약 ····· 61
[표 2-13] 선급별 ICE Class 규정 ····· 67
[표 2-14] 아라온호 연간 기본운항 계획 ····· 70
[표 2-15] 연도별 아라온호 운항일수 ····· 71
[표 2-16] 연도별 아라온호 승선인원 현황 ····· 72
[표 2-17] 북극연구 지원 현황 ····· 73
[표 2-18] 남극연구 지원 현황 ····· 74
[표 2-19] 세종과학기지 보급 지원 ····· 74
[표 2-20] 아라온호 보유 전후 보급지원 비교 ····· 75
[표 2-21] 장보고과학기지 보급지원 ····· 75
[표 2-22] 국제심포지엄 개최현황 ····· 76
[표 2-23] 아라온호 방문현황 ····· 86
[표 2-24] 해기사(항해사) 대상 쇄빙운항교육(ice-navigator training) 이수 ····· 88
[표 2-25] 해기사(항해사) 대상 자동위치제어장치(Dynamic Posioning System 2-grade) 운영교육 이수 ····· 89
[표 2-26] 해기사(기관사) 대상 전방위(Azmuth) 추진기 운영교육 이수 ····· 89
[표 2-27] 결빙해역에서의 해기사(항해사) 양성 성과 ····· 89
[표 2-28] 전방위 추진기 운영을 통한 결빙해역에서의 해기사(기관사) 양성 성과 ····· 90
[표 2-29] 예비해기사(항해사 및 기관사) 현장 실습교육 성과 ····· 90
[표 2-30] 쇄빙연구선의 결빙해역 운항을 통한 일반선원 양성 성과 ····· 90
[표 2-31] 독일 Polastern 제원 ····· 93
[표 2-32] 독일의 북극해 연구활동 현황 ····· 95
[표 2-33] 영국 James Clark Ross 제원 ····· 96
[표 2-34] 영국의 북극해 연구활동 현황 ····· 96

KOPRI 극지연구소

[표 2-35] 중국 Xuelong 제원 ····· 97
[표 2-36] 중국의 북극해 연구활동 현황 ····· 97
[표 2-37] 일본 Mirai호의 북극해 연구활동 현황 ····· 98
[표 2-38] 일본 Shirase 제원 ····· 99
[표 2-39] 일본 Mirai 제원 ····· 99
[표 3-40] 북극해와 주변 수역의 주요 어족 자원 ····· 108
[표 3-41] 기존항로 대비 북극항로의 단축효과 ····· 111
[표 3-42] 극지연구 국가 간 Eigenvector Centrality 비교 ····· 118
[표 3-43] 북극해 연안 5개국의 대륙붕 한계와 경계획정 분쟁 현황 ····· 121
[표 3-44] 주요 자원기업들의 자원개발 프로젝트 포기 사례 ····· 123
[표 3-45] 북극 원주민 단체 현황 ····· 125
[표 3-46] 국내 연구조사선의 운항사례 ····· 129
[표 3-47] 아라온호 북극 연구항해 활용 요구 및 실적 ····· 131
[표 3-48] 아라온호 남극 연구항해 활용 요구 및 실적 ····· 132
[표 4-49] 주요 쇄빙연구선 제원 비교 ····· 160
[표 4-50] 제2 쇄빙연구선 연간 운항 일수(안) ····· 162
[표 4-51] 제2 쇄빙연구선 연간 운항 기본일정(안) ····· 162
[표 4-52] 제2 쇄빙연구선 취항 시 아라온호 연간 운항 일수(안) ····· 164
[표 4-53] 제2 쇄빙연구선 취항 시 아라온호 연간 운항 기본일정(안) ····· 164
[표 4-54] 국제공동연구 참여 국가 ····· 169
[표 4-55] 위성통신 및 전송체계 ····· 191
[표 4-56] 단계별 개발목표 및 개발내용 ····· 205
[표 4-57] 기간별 연구내용 ····· 206
[표 4-58] 실해역 빙해선박 선체구조 안전성 평가 기술 ····· 226
[표 4-59] 실해역 성능 평가 대상 기자재 ····· 228
[표 4-60] 대국민 교육기부 프로그램 운영 ····· 232
[표 4-61] 구조함의 주요 구조·구난 장비 탑재 현황 ····· 235
[표 4-62] 쇄빙연구선에 적용 가능한 구조·구난 장비 ····· 235
[표 5-63] 세계 조선업 선종별 수주량 추이 ····· 243
[표 5-64] 현대 중공업 R&D 개발 현황(2010년 이후) ····· 253
[표 5-65] 대우조선해양 R&D 현황 ····· 255
[표 5-66] 삼성중공업이 건조한 쇄빙/내빙 선박 실적 ····· 256
[표 5-67] 한진중공업 쇄빙 관련 핵심기술 ····· 259
[표 5-68] 선박 추진기관별 장단점 ····· 266
[표 5-69] 국가별 원자력 추진선박에 대한 제약 ····· 266
[표 5-70] 남극조약 관련 규정 ····· 266
[표 5-71] 유엔해양법협약 관련 규정 ····· 267
[표 5-72] 해양 원치 ····· 292

KOPRI 극지연구소

[표 5-73] CTD 지원 장비 ····· 294
[표 5-74] 탄성파 탐사 지원 장비 ····· 294
[표 5-75] 제2 쇄빙연구선에 대한 요소기술별 세부 기술의 범위 ····· 298
[표 5-76] 요소기술-Ⅰ 관련 국외 주요국 기술개발 현황 ····· 303
[표 5-77] 요소기술-Ⅰ 관련 국내 기술개발 현황 ····· 303
[표 5-78] 요소기술-Ⅰ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교 ····· 304
[표 5-79] 요소기술-Ⅰ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 304
[표 5-80] 요소기술-Ⅱ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황 ····· 308
[표 5-81] 요소기술-Ⅱ 관련 국내 기술개발 현황 ····· 308
[표 5-82] 요소기술-Ⅱ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교 ····· 310
[표 5-83] 요소기술-Ⅱ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 311
[표 5-84] 요소기술-Ⅲ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황 ····· 314
[표 5-85] 요소기술-Ⅲ 관련 국내 기술개발 현황 ····· 314
[표 5-86] 요소기술-Ⅲ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교 ····· 315
[표 5-87] 요소기술-Ⅲ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 315
[표 5-88] 요소기술-Ⅳ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황 ····· 317
[표 5-89] 요소기술-Ⅳ 관련 국내 기술개발 현황 ····· 317
[표 5-90] 요소기술-Ⅳ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교 ····· 318
[표 5-91] 요소기술-Ⅳ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용 ····· 318
[표 5-92] 대형 해양과학연구선과 제2 쇄빙연구선 비교 ····· 327
[표 5-93] 운용중인 주요 해양연구선의 특징 ····· 329
[표 6-94] 제2 쇄빙연구선 건조사 선정 추진일정 ····· 337
[표 6-95] 단계별 역할 ····· 346
[표 6-96] 건조 추정비용 및 수행기간 ····· 347
[표 6-97] 연차별 재원투입 계획 ····· 348
[표 6-98] 참고 1: 쇄빙연구선 아라온호 건조비 투입 사례(GT 7,487톤) ····· 349
[표 6-99] 참고 2: 대형종합조사선 건조비 투입 사례(GT 5,000톤, 건조 중) ····· 349
[표 6-100] 위탁관리 세부내역 ····· 351
[표 6-101] 선원비 유형 분류 ····· 356
[표 6-102] 선원비 유형별 특징 ····· 356
[표 6-103] 선비 유형별 분류 ····· 356
[표 6-104] 선비 유형별 특징 ····· 357
[표 6-105] 제2 쇄빙연구선 승무원 구성 ····· 363
[표 6-106] 주요 연구조사선 승무원 현황 ····· 373
[표 6-107] 육상지원 인력구성 및 업무 ····· 374
[표 6-108] 제2 쇄빙연구선 접안을 위한 부두 주요 사양 ····· 376
[표 6-109] 선원 및 선박관리 주요내용 ····· 379
[표 7-110] 북극정책 기본계획 추진과제 및 세부추진 계획 ····· 389
[표 7-111] 북극이사회 활동 내용 ····· 407
[표 7-112] 제2 쇄빙연구선의 기능 및 역할 설문 ····· 412
[표 7-113] 연도별 소요예산 투입 계획(안) ····· 417

KOPRI 극지연구소

[표 7-114] WTO 보조금의 유형(2000년 1월 1일 이후) ····· 433
[표 8-115] R&D 사업 유형별 특성 ····· 441
[표 8-116] 직접적 경제적 편익 산출을 위한 주요 변수 ····· 458
[표 8-117] 신성장동력 장비경쟁력 강화사업의 세부목표 ····· 463
[표 8-118] 신성장동력 장비경쟁력 강화사업 분야별 전략 품목 ····· 463
[표 8-119] 기상조절 기술개발사업의 경제성분석 시나리오 ····· 465
[표 8-120] 기상조절 기술개발사업 경제성분석 시나리오 2의 전제사항 ····· 466
[표 8-121] 기상조절 기술개발사업 경제성분석 시나리오 3의 전제사항 ····· 466
[표 8-122] 기상조절 기술개발사업에 대한 경제성분석 결과 정리 ····· 467
[표 8-123] 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업의 비용편익분석 결과 ····· 468
[표 8-124] 해양바이오돔 구축사업의 경제성 분석 결과 ····· 476
[표 8-125] 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경제성 분석 결과 ····· 479
[표 8-126] 아라온호와 제2 쇄빙연구선과의 주요제원 비교 ····· 485
[표 8-127] 재료비 중 각 항목별 산출비율과 산출근거 ····· 486
[표 8-128] 공사비 중 재료비 산출결과 ····· 486
[표 8-129] 공사비 중 직접노무비 산출결과 ····· 488
[표 8-130] 공사비 산출결과 ····· 488
[표 8-131] 제경비 산출결과 ····· 489
[표 8-132] 건조비(건조원가) 산출결과 ····· 489
[표 8-133] 제세금 내역 ····· 491
[표 8-134] 부대비용 산출결과 ····· 491
[표 8-135] 쇄빙연구선 운영예산 비교 ····· 492
[표 8-136] 승무원, 지원인력의 구성 및 임금 ····· 493
[표 8-137] 제2 쇄빙연구선 유류비 산출 ····· 493
[표 8-138] 제2 쇄빙연구선 일반운영비 ····· 494
[표 8-139] 제2 쇄빙연구선 선박유지비 ····· 495
[표 8-140] 년간 제2 쇄빙연구선 운영비 ····· 496
[표 8-141] 제1단계 소요비용 ····· 497
[표 8-142] 제2단계 소요비용 ····· 497
[표 8-143] 년간 운영비 ····· 497
[표 8-144] 건조사업 소요비용 추정결과 ····· 498
[표 8-145] 조선기자재 시장 규모 및 국내 시장 규모 ····· 502
[표 8-146] 한국 수주량 중 선종별 비중 ····· 503
[표 8-147] 조선기자재개발 사업의 매출 예상규모 ····· 503
[표 8-148] 조선기자재 관련 제품 기술수명주기 ····· 506
[표 8-149] 조선기자재 관련 제품 연구개발기간 ····· 506
[표 8-150] 편익 산출 항목 ····· 507

KOPRI 극지연구소

[표 8-151] 조선기가재개발 사업의 편익 추정 ····· 507
[표 8-152] 제2 쇄빙연구선 건조사업의 속성과 수준 ····· 511
[표 8-153] 실제 설문에 사용된 선택대안 집합의 예시 ····· 513
[표 8-154] 모형 추정에 사용된 변수와 변수 입력 방식 ····· 516
[표 8-155] 다항로짓모형의 추정결과 ····· 517
[표 8-156] 속성별 MWTP 추정결과 ····· 518
[표 8-157] 분석대상 3가지 Case ····· 519
[표 8-158] Case 1에 대한 과학기술적 편익 ····· 520
[표 8-159] Case 2에 대한 과학기술적 편익 ····· 520
[표 8-160] Case 3에 대한 과학기술적 편익 ····· 521
[표 8-161] 연도별 과학기술적 편익 추정결과 ····· 522
[표 8-162] WTP 응답의 분포 ····· 534
[표 8-163] 모형의 추정결과 ····· 534
[표 8-164] 평균 WTP 추정결과 ····· 535
[표 8-165] 표본 값의 모집단 값으로의 확장 ····· 537
[표 8-166] 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 추정결과(2017~2026년) ····· 539
[표 8-167] 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 추정결과(2022~2046년) ····· 540
[표 8-168] 편익의 종합화 결과 ····· 541
[표 8-169] 현재가치 기준 편익의 종합화 결과 ····· 542
[표 8-170] 총 건조사업비(연구 및 탐사장비 제외) ····· 543
[표 8-171] 연도별 건조사업비 집행 내역(연구 및 탐사장비 제외) ····· 544
[표 8-172] 적용 유발계수 요약 ····· 544
[표 8-173] 경제적 파급효과 종합 ····· 545
[표 8-174] 경제성 분석의 개요 ····· 548
[표 8-175] 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석용 비용 ····· 551
[표 8-176] 시나리오1- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약 ····· 552
[표 8-177] 시나리오1- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1) ····· 553
[표 8-178] 시나리오1- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2) ····· 554
[표 8-179] 시나리오1- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3) ····· 555
[표 8-180] 시나리오2- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약 ····· 556
[표 8-181] 시나리오2- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1) ····· 557
[표 8-182] 시나리오2- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2) ····· 558
[표 8-183] 시나리오2- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3) ····· 559
[표 8-184] 시나리오3- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약 ····· 560
[표 8-185] 시나리오3- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1) ····· 561

KOPRI 극지연구소

[표 8-186] 시나리오3- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2) ····· 562
[표 8-187] 시나리오3- 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3) ····· 563
[표 8-188] 시나리오 별 편익 및 비용의 변화에 따른 민감도 분석(B/C) ····· 564
[표 8-189] 시나리오 별 할인율 변화에 따른 민감도 분석(B/C) ····· 565

KOPRI
극지연구소

그림 목차

<그림 1-1. 기획연구 추진경과> ····· 9
<그림 1-2. 사업 추진 체계도> ····· 15
<그림 1-3. 제2 쇄빙연구선 건조사업 주요사항> ····· 19
<그림 1-4. 제2 쇄빙연구선 건조사업 추진일정> ····· 20
<그림 2-5. 심층해수 흐름 개념도> ····· 25
<그림 2-6. 극지의 우주연구 환경> ····· 26
<그림 2-7. 아이스피쉬(Ice Fish)> ····· 27
<그림 2-8. 극지연구소 남극탐사 운석발견(2014.12)> ····· 30
<그림 2-9. 강성호, 故정경호 박사 연구팀과 러시아 연구팀의 공동연구 수행> ····· 34
<그림 2-10. 북극해 기초조사 보고서(1998, 1999, 2002년)> ····· 35
<그림 2-11. 국내 북극활동 연혁> ····· 35
<그림 2-12. 다산과학기지와 연구원> ····· 37
<그림 2-13. 2015년 현재 북극 연구 거점 및 지역> ····· 41
<그림 2-14. 북극이사회 구조> ····· 45
<그림 2-15. 북극항로에서의 쇄빙선 운항> ····· 66
<그림 2-16. 북극항로에서의 쇄빙선> ····· 66
<그림 2-17. 유도쇄빙선을이용한 운항방법> ····· 66
<그림 2-18. 결빙-Winterization> ····· 66
<그림 2-19. 제18차 극지과학심포지엄 (2012.05.21.-23)> ····· 76
<그림 2-20. 북극과학최고회의(Arctic Science Summit Week) 2011 개최> ····· 76
<그림 2-21. 남극프로그램국가운영자회의(COMNAP) 개최(서울, 2013.07.07-10)> ····· 76
<그림 2-22. 캐나다 천연자원부(NRCan) 양해각서 서명(2015.02.13.)> ····· 77
<그림 2-23. 영국 자원환경연구회 (BAS,NERC) 연구협약서(2011.09.22)> ····· 77
<그림 2-24. 스웨덴 극지연구 사무국(SPRS)과의 연구협약서(2015.03.02)> ····· 77
<그림 2-25. 동시베리아해 확대 도면> ····· 78
<그림 2-26. 실제 지형도 사진> ····· 78
<그림 2-27. 파인아일랜드 빙붕(PIG)주변의 해수온도 및 염분 분포비교> ····· 79
<그림 2-28. 남극 아문젠해의 위치와 주변의 해양 온도 분포> ····· 79
<그림 2-29. 겨울철 북극 해빙 감소 및 열속 증가 경향 분석 결과> ····· 80
<그림 2-30. 북극 해빙 감소가 대류권 및 성층권 기상/기후에 미치는 영향> ····· 81
<그림 2-31. 중앙해령탐사로 획득한 해저지형도> ····· 82
<그림 2-32. 아라온호 심볼> ····· 84
<그림 2-33. 쇄빙연구선 아라온호 명명식 관련 방송 보도> ····· 85
<그림 2-34. KBS 다큐멘터리 수요기획[쇄빙선 아라온호, 남극의 바닷길을 열다.]> ····· 85
<그림 2-35. KBS 취재파일 4321 [아라온호, 38일 간의 기록]> ····· 85

KOPRI 극지연구소

<그림 2-36. YTN 스페셜 [아라온호, 남극을 열다. 1,2부]> ····· 85
<그림 2-37. 2012 여수세계박람회> ····· 86
<그림 2-38. 뉴질랜드 아라온호 개방행사> ····· 86
<그림 2-39. 아라온호 교양도서> ····· 87
<그림 2-40. 아라온호 3D 모형 키드> ····· 87
<그림 2-41. 아라온호 3D 가상현실> ····· 87
<그림 2-42. 국내 대학에서 쇄빙연구선 아라온호로 실습을 요청한 공문> ····· 88
<그림 2-43. 러시아 어선 구조 활동 관련 국내기사> ····· 91
<그림 2-44. 러시아 어선 구조 활동> ····· 92
<그림 2-45. 한국어선 구조 활동> ····· 92
<그림 3-46. 북극의 빙하 면적 감소> ····· 103
<그림 3-47. 북극지역 주요 석유와 가스 매장지> ····· 106
<그림 3-48. 유엔 식량농업기구 어업 지역> ····· 107
<그림 3-49. 북극해 어업관리 체계> ····· 109
<그림 3-50. 기존 항로와 북극항로 비교> ····· 110
<그림 3-51. 부산항의 허브항구 역할> ····· 112
<그림 3-52. 북극항로 개발에 따른 울산항 대응전략> ····· 113
<그림 3-53. 강원도 북방물류 루트 연계 구상(안)> ····· 115
<그림 3-54. 북극 연구·조사의 필요성> ····· 119
<그림 3-55. 북극지역 자원개발 시 기후적 한계 존재> ····· 123
<그림 3-56. 북극지역의 환경보호를 위한 자원개발 반대 시위> ····· 124
<그림 3-57. 북극 조사·연구에 대한 장애요소 및 극복방안> ····· 127
<그림 3-58. 아라온호 탑승인원 추이> ····· 133
<그림 3-59. 2014년도 북극해의 두꺼운 해빙으로 정점연구 미수행 사례> ····· 134
<그림 3-60. 장보고기지와 아라온호 전경> ····· 136
<그림 3-61. 아라온호 운영 한계점 및 대응방안> ····· 138
<그림 3-62. 북극해 진출에 대한 기회 및 위협 요소에 따른 대응방안> ····· 139
<그림 3-63. 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성> ····· 141
<그림 3-64. 러시아가 제출한 대륙붕 연장 해역도> ····· 144
<그림 3-65. 노르웨이가 제출한 대륙붕 연장 해역도> ····· 144
<그림 3-66. 덴마크가 제출한 대륙붕 연장 해역도> ····· 145
<그림 3-67. 로모노소프 해령(파란색 선)> ····· 145
<그림 3-68. 북극해 중앙해역의 독일 Polarstern호의 2014년 탐사지역도> ····· 148
<그림 3-69. 환북극해 결빙해역 주변의 환경변화 통합관측 및 국제공동연구 해역> ····· 149
<그림 3-70. 태평양 북극해 기후-생태계 관측시스템 개발을 위한 6개국 협정서> ····· 149
<그림 3-71. 제2 쇄빙연구선 건조사업 미추진 시 문제점> ····· 152
<그림 4-72. 제2 쇄빙연구선의 주요 임무와 기능> ····· 158

KOPRI 극지연구소

<그림 4-73. 제2 쇄빙연구선의 연간 운항계획(안)> ····· 161
<그림 4-74. K-PORT 2단계 사업('16~'20) 관측지역 예시> ····· 167
<그림 4-75. 연구 추진전략> ····· 170
<그림 4-76. K-PORT 2단계 사업 추진체계> ····· 171
<그림 4-77. K-PORT 2단계 사업 총괄 로드맵> ····· 172
<그림 4-78. 북극해 온난화 원인 및 추세, 생태환경영향 연구 관측해역> ····· 175
<그림 4-79. 쇄빙연구선 기반 해상 상층대기 및 구름관측> ····· 176
<그림 4-80. 북극해에서의 연구해역 및 관심 해역에서의 수직적 수온 분포> ····· 179
<그림 4-81. 제2 쇄빙연구선을 활용한 해양-해빙-대기 연구 모식도> ····· 179
<그림 4-82. K-Port 2단계 사업('16~'20) 관측지역 예시> ····· 182
<그림 4-83. 일본 연구선 신세마루에 탑재된 해수 중 미량금속 시료채취장비 및 클린랩 설비> 183
<그림 4-84. 제2 쇄빙연구선을 활용한 생지화학적 순환 종합 연구 모식도> ····· 183
<그림 4-85. 해수 중 미량금속 시료채취를 위한 프레임, GO-FLO bottle 및 시료분취를 위한 클린랩> ···· 185
<그림 4-86. Arctic Sea Ice Thickness in 2013 October> ····· 186
<그림 4-87. 1988, 2011, 2012, 2013년도 북극해 다년빙 분포 변화> ····· 192
<그림 4-88. 북극해 중앙 해역> ····· 193
<그림 4-89. 독일 Alfred-Wegener 연구소에서 건조 중인 제2 쇄빙선> ····· 197
<그림 4-90. 독일 쇄빙선 폴라스턴의 자이언트 상자형 퇴적물시추기(Kastenlot)를 이용한 퇴적물 시추 작업 모습> ····· 197
<그림 4-91. 북극해 지체구조 진화과정> ····· 198
<그림 4-92. 북극 해저지질·지체구조 연구 추진체계도> ····· 199
<그림 4-93. 아라온호 항적의 해양생태지역> ····· 208
<그림 4-94. 남북극 태평양 종단 관측 사업 추진체계> ····· 209
<그림 4-95. 북극해 자원현황> ····· 211
<그림 4-96. 탐사활동 모식도> ····· 212
<그림 4-97. 북극해 자원탐사 추진체계도> ····· 213
<그림 4-98. 남극 웨델해 심해(6000 m)에서 발견된 해양생물> ····· 216
<그림 4-99. 극지 심해생물 자원 탐사> ····· 217
<그림 4-100. 생명공학 기술연구 추진체계도> ····· 220
<그림 4-101. 분자생물학적 방법을 이용한 가스 하이드레이트 매장 지역 내 메탄영양세균 및 분해대사 유전자 검출 모식도> ····· 221
<그림 4-102. 가스하이드레이트 탐사 추진전략> ····· 222
<그림 4-103. 대형기자재 착빙현상 및 winterization 기술 적용> ····· 227
<그림 4-104. 유빙충돌 및 착빙에 의한 도료피복 벗겨짐 현상> ····· 229
<그림 4-105. 교육기부 추진전략> ····· 231
<그림 4-106. 인력양성 추진전략> ····· 233
<그림 4-107. 구조 및 구난 추진전략> ····· 234

KOPRI 극지연구소

<그림 4-108. 운영에 따른 기대효과> ····· 237
<그림 4-109. 아라온호 관련 기사> ····· 237
<그림 4-110. 북극항로> ····· 238
<그림 5-110. 쇄빙선박의 선형> ····· 245
<그림 5-111. Propeller-ice interaction 연구> ····· 246
<그림 5-112. 2020년 취항 예정인 CCGS John G. Diefenbaker의 렌더링 이미지> ····· 248
<그림 5-113. 미국 PRV 주요 사양과 이미지> ····· 248
<그림 5-114. Polarstern II 조감도> ····· 249
<그림 5-115. 노르웨이 쇄빙선 조감도> ····· 250
<그림 5-116. 중국 쇄빙선 조감도와 갑판별 기능> ····· 250
<그림 5-117. 쇄빙특수선 기사내용> ····· 252
<그림 5-118. 대우조선해양의 쇄빙 액화천연가스 운반선 적용 주요 기술> ····· 254
<그림 5-119. 삼성중공업 쇄빙유조선 VASILY DINKOV호> ····· 255
<그림 5-120. 쇄빙선 인도식> ····· 257
<그림 5-121. 한진중공업 건조 아라온호> ····· 259
<그림 5-122. 쇄빙선 선수각 비교> ····· 261
<그림 5-123. 쇄빙연구선의 선수 쇄빙패턴 비교 Crushing(상), Bending(하)> ····· 261
<그림 5-124. 전기추진시스템> ····· 263
<그림 5-125. Ducted Screw Type 추진시스템> ····· 263
<그림 5-126. 실적선에 대한 Winterization 조건 비교> ····· 265
<그림 5-127. Moon Pool> ····· 271
<그림 5-128. Moon Pool의 설치위치> ····· 272
<그림 5-129. 독일 AWI 연구소의 “Polarstern II”의 MP 구조> ····· 273
<그림 5-130. 노르웨이 “Kronprins Haakon"의 MP System> ····· 274
<그림 5-131. 노르웨이 쇄빙선 “Kronprins Haakon"의 일반배치도(MP)> ····· 275
<그림 5-132. 중국 신규 쇄빙연구선의 MP 운용 System> ····· 276
<그림 5-133. 선상 시추시스템의 시추 작업 개념도> ····· 277
<그림 5-134. 시추선박 M/V Manisha호(좌; 시추타워 설치 전, 우; 시추타워 설치 후)> ····· 278
<그림 5-135. Drilling Rig 야간 전경> ····· 278
<그림 5-136. 국내입찰 권고 공문> ····· 280
<그림 5-137. 쇄빙선의 적용 선급 분포> ····· 282
<그림 5-138. 극지역 안전운항 설계 및 빙성능 최적화 기술> ····· 297
<그림 5-139. 국내 극한지 공학 인프라> ····· 299
<그림 5-140. 빙해수조 예인 전차> ····· 300
<그림 5-141. 쇄빙연구선에 대한 선체구조해석용 선체 모델링> ····· 302
<그림 5-142. 빙하중을 고려한 쇄빙선의 구조적 보강> ····· 302
<그림 5-143. KRISO 빙해수조의 다양한 빙시험 조건> ····· 306
<그림 5-144. Propeller-ice interaction> ····· 310
<그림 5-145. 빙해선박의 착빙 및 결빙> ····· 312
<그림 5-146. Ice class CVS,-55℃> ····· 313
<그림 5-147. Ice class window wiper, -55℃> ····· 313

KOPRI 극지연구소

<그림 5-148. Winterization 비교> ····· 313
<그림 5-149. 요소기술 체계도> ····· 320
<그림 5-150. 아라온호 후갑판 전경> ····· 322
<그림 5-151. 2013년도 및 2014년도 북극항해 항적 개요도> ····· 325
<그림 5-152. 2012/2013년도 및 2013/2014년도 남극항해 항적 개요도> ····· 325
<그림 5-153. 대형 해양과학연구선 운항 계획> ····· 326
<그림 6-154. 제2 쇄빙연구선 건조사업 단계별 추진계획> ····· 333
<그림 6-155. 제1단계 주요 이벤트 일정표> ····· 336
<그림 6-156. 제2단계 주요 이벤트 일정표> ····· 341
<그림 6-157. 건조사업 추진체계> ····· 342
<그림 6-158. 위탁관리 과정> ····· 362
<그림 6-159. 선박관리 방법> ····· 362
<그림 6-160. 연구작업 시 업무수행 체계도> ····· 380
<그림 7-161. 박근혜정부 국정과제 구조도> ····· 383
<그림 7-162. 극지 관련 국정과제> ····· 384
<그림 7-163. 제3차 과학기술기본계획 비전 및 추진전략> ····· 386
<그림 7-164. 제3차 과학기술기본계획 세부내용> ····· 387
<그림 7-165. 북극정책 기본계획> ····· 388
<그림 7-166. 남극연구 진흥 기본계획 중장기 추진 전략> ····· 393
<그림 7-167. 남극연구 진흥 기본계획 전략 체계도> ····· 394
<그림 7-168. 해양수산 R&D 중장기계획 체계도> ····· 396
<그림 7-169. 해양수산 R&D 중장기계획 추진전략 1-2. 세부 추진사항> ····· 397
<그림 7-170. 해양수산 경제활성화 방안 중 제2 쇄빙연구선 관련 사항> ····· 398
<그림 7-171. 2020 해양과학기술 로드맵 비전 체계도> ····· 399
<그림 7-172. 2020 해양과학기술 로드맵과 제2 쇄빙연구선과의 연계성> ····· 400
<그림 7-173. 정부정책과 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 부합성> ····· 402
<그림 7-174. 국내 주요 북극활동 연혁> ····· 405
<그림 7-175. 제2 쇄빙연구선 시급성에 대한 설문결과> ····· 413
<그림 7-176. 제2 쇄빙연구선 건조착수 시기에 대한 설문결과> ····· 413
<그림 7-177. 극지연구 활동을 위한 필요 인프라에 대한 설문결과> ····· 414
<그림 7-178. 13대 미래성장 동력 분야> ····· 419
<그림 7-179. 2015년도 정부연구개발 투자방향> ····· 420
<그림 7-180. 정부연구개발 투자방향 상 9개 기술분야> ····· 420
<그림 7-181. 해양 기술분야 투자 현황 및 방향> ····· 421
<그림 7-182. 2015년 해양수산부 주요 업무계획 중 극지활동 관련 내용> ····· 422
<그림 8-183. 제품에 대한 수요와 소비자 잉여> ····· 448
<그림 8-184. 가격하락으로 인한 소비자 잉여의 증가> ····· 448
<그림 8-185. 수량증가로 인한 소비자 잉여의 증가> ····· 449
<그림 8-186. 소비자 편익의 추정 방법> ····· 449
<그림 8-187. 부가가치 증가분의 추정 방법> ····· 450
<그림 8-188. 연구개발사업의 편익 구분> ····· 454
<그림 8-189. 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제적 편익의 범주> ····· 499

제 1 장

사업개요

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 기획연구 추진 배경

1. 기획연구 배경

북극은 최근 전 세계적인 관심이 집중되고 있는 지역이다. 지구온난화 등 기후변화의 영향으로 북극해 지역의 해빙(解氷)이 가속화되고, 이에 따라 북동·북서항로의 상용화가 가시화되고 있다. 북극해 지역은 천연가스, 석유 등 에너지 자원을 비롯한 광물자원이 대규모로 매장되어있어 가까운 미래에 본격적 개발이 확실시되고 있다. 또한 북극해와 인근 해역은 풍부한 수산자원을 보유하고 있으며, 북극해 주변 열강인 미국, 러시아를 비롯한 주변국들에게는 국가 안보차원에서도 매우 중요한 지정학적 의의를 지니고 있다.

우리나라는 2013년 5월 15일 스웨덴 키루나에서 열린 북극이사회(Arctic Council) 제8차 각료회의에서 회원국의 만장일치 지지로 옵서버 지위를 획득했다. 현재 북극에 관한 국가 간 의사결정은 UN과 같은 범세계적인 기구가 아닌, 북극권 8개국을 중심으로 하는 폐쇄적인 의사결정체인 북극이사회에 의해 이루어지고 있다. 따라서 북극권 이외의 국가가 북극에 관한 정책적 결정에 참여할 수 있는 방법은 매우 제한되어 있으며, 사실상 유일한 창구는 북극이사회에 마련된 옵서버 역할을 수행하는 것이다. 그동안 임시 옵서버로 활동했던 우리나라는 마침내 옵서버 지위를 획득함으로써 북극권 진출의 새로운 교두보를 마련하였다. 이는 우리나라가 국가 차원에서 북극에 대한 지속적 관심을 기울인 결과라 평가할 수 있다. 특히 2002년 북극다산과학기지 개소와 2009년 건조된 쇄빙연구선 아라온호를 중심으로 한 북극권 과학연구활동의 강화와 확대는 북극권 국가들에게 우리나라의 인류 공영을 위한 기여와 의지를 보여준 핵심적 역할을 하였다고 볼 수 있다.

북극이사회 옵서버 지위 획득에 따른 정부차원의 후속조치들도 발 빠르게 이루어지고 있다. 정부는 해양수산부를 중심으로 2013년 7월에 범정부 북극종합정책을 발표하였으며, 같은 해 12월에 북극정책 기본계획을 수립하였다. 북극정책 기본계획에서는 북극권 국가들과의 국제협력과 비즈니스 활동 활성화를 전략과제로 도출하였고, 이러한 전략과제를 지원하기 위한 과학 활동의 강화를 또 다른 전략과제로 도출하였다. 특히 북극에서의 과학활동 강화를 위해서 필수적인

인프라의 확충이 필요함이 강조되었고, 그 대책으로 제2 쇄빙연구선의 건조를 추진한다는 내용을 포함하였다.

북극권은 북극해를 둘러싼 국가들의 영토와 영해 및 배타적 경제수역으로 그 대부분이 구성되므로, 북극권 국가의 동의나 혹은 북극권 관련 국제협약에 근거하지 아니한 북극권에서의 활동은 거의 불가능하거나, 가능하더라도 매우 제한적일 수밖에 없다. 또한 북극은 조약 국가 간 영유권이 유보된 남극과 달리 북극권 국가들의 주권 또는 주권적 권리에 귀속되며, 자원개발이나 항로개척 등이 언제라도 시작될 수 있는 정치·경제적 민감도가 지극히 높은 지역이다. 북극권 국가가 아닌 우리나라의 입장에서는 북극권 진입장벽을 낮출 수 있는 가장 좋은 방편 중 하나가 바로 과학연구 활동이다. 북극권 지역은 지리적 특성상 전 지구적인 기후·환경변화의 원인 규명과 대책 마련을 위한 연구의 최적 지역으로, 북극권 국가들 역시 과학연구에 막대한 비용을 투자하고 있는 곳이다. 북극권 국가들과의 협력을 통한 과학연구야말로 북극의 국제정치 및 외교, 국가 간 경제협력, 국제조약 등 북극권 정책 이행을 위한 기본활동이다.

온난화에 따른 전 지구적 기후변화는 북극에서 특히 증폭되어 나타나기 때문에 북극을 대상으로 한 과학활동에 대한 수요가 증대되고 있다. 뿐만 아니라 북극 해빙(解氷)과 같은 북극해 환경변화로 북극항로 및 북극해 자원개발에 대한 관심 또한 고조되고 있다. 이러한 다양한 수요를 충족하기 위해서는 극지 인프라인 쇄빙연구선의 역할이 필수적이다.

국내에서는 2009년 쇄빙연구선 아라온호 취항 후 연구대상해역이 결빙해역으로 대폭 확장되면서 우리나라 극지과학을 도약할 수 있는 계기가 마련되었다. 특히 쇄빙연구선의 공동활용 등 국제협력 연구를 통해 우리나라의 위상을 크게 강화하는데 결정적인 역할을 수행하였다.

남·북극 과학활동을 수행하는 쇄빙연구선 아라온호는 남극세종과학기지와 2014년 2월 준공된 남극장보고과학기지의 물자보급지원 및 인력수송 임무까지 확대하여 수행하고 있다. 그러나 최근 아라온호의 운항일수는 점차 한계에 도달하고 있다. 쇄빙연구선은 극한 환경에서 항해 및 연구를 지원해야 하기 때문에 다른 해양과학조사선보다 더욱 철저한 검사와 수리를 위해 충분한 기간을 확보해야 하지만, 아라온호는 연중 남·북극을 오가며 약 300일 이상을 운항하고 있어 수리와 점검을 위한 기간은 약 2달 남짓에 불과한 실정이다. 최근 국내·외 안전

사고를 계기로 안전에 대한 경각심이 그 어느 때보다 높아진 상황에서 이는 반드시 개선되어야 하는데 오히려 쇄빙연구선에 대한 산·학·연의 수요는 계속 증가되고 있는 상황이다.

남·북극 연구활동을 수행하는 아라온호는 각 지역의 하절기 중심으로 운영되고 있다. 북극의 기후환경 변화와 북극해 해빙으로 북극해 동절기 연구활동의 중요성이 부각되고 있다. 이러한 북극의 동절기 연구를 위한 쇄빙연구선의 새로운 수요가 추가되고 있다.

이와 같이 쇄빙연구선은 국가 전략적 차원에서 확대되는 북극 연구활동에 반드시 필요한 인프라이다. 기존 쇄빙연구선 아라온호의 한계를 극복하기 위하여 제2 쇄빙연구선의 건조는 매우 시급하다.

제2 쇄빙연구선의 건조는 앞에서 제기한 많은 수요를 충족할 수 있으며, 기존 아라온호의 사례에서 볼 수 있듯이 다양한 기대효과를 창출할 수 있다. 국내 최초 쇄빙선인 아라온호의 설계와 건조를 통하여 국내 조선 산업의 기술력이 증대되었고, 국내 조선 기술을 홍보하는데에도 큰 역할을 하였다. 국내 최초 건조된 쇄빙선의 건조와 운항으로 얻어진 노하우는 결빙 해역을 항행하는 내빙선, 내빙 해상구조물 등 해양플랜트산업에도 기여하고 있다.

쇄빙연구선 아라온호의 건조와 운항으로 국내에서 전무하던 Ice-Navigator 등 극해역의 조선·해운·항만 분야 전문인력 양성이 시작되었다. 제2 쇄빙연구선의 건조는 조선산업 역량 및 인력양성과 함께 북극항로, 북극자원 개발 등 확대되는 북극관련 전문인력의 수요를 충족하는 계기가 될 것이다.

극지의 중요성을 인식하는 선진국들은 최근 경쟁적으로 쇄빙연구선 건조를 추진하고 있다. 특히 독일, 영국 및 중국 등 비북극권 주요 국가들이 쇄빙연구선을 건조하는 이유는 국제사회에서 북극활동의 적극적 참여를 위한 것이다. 비북극권 입장에서는 북극권 국가와 첨예한 정치·경제적 이슈를 논의하기 보다는 연구 및 조사활동을 제안하는 것이 가장 용이한 접근방법이다. 예를 들어, 한반도 기후변화와 연결된 북극권 기후변화 연구, 에너지·자원 탐사를 위한 공동조사, 북극해 해저환경 연구 등 다양한 과학활동을 추진함으로써, 북극이사회와 극지관련 국제기구 등과 함께 과학활동을 기반으로 국익 창출 극대화를 기대할 수 있다. 이러한 북극 과학활동에는 기초인프라로써 쇄빙연구선이 필수적이기 때문에, 쇄빙연구선을 보유한 국가가 상대국과 주도적으로 협상하고 유리한 위치를

KOPRI 극지연구소

선점할 수 있다. 또한 선진국과 국제공동연구 기획을 통하여 국가의 위상 제고와 국내 극지연구 역량을 향상시킬 수 있다.

북극의 급속 온난화로 북극권의 정치·경제적 환경 또한 빠르게 변화하고 있는 상황에서, 2013년 12월에 발표한 범부처 북극정책 기본계획은 북극에서 우리나라의 국익을 극대화하기 위한 미래의 청사진이다. 적극적이고 일관된 북극권 진출 정책의 실행력 확보를 위해서는 제2 쇄빙연구선 건조가 빠른 시일내에 추진되어져야 한다.

KOPRI 극지연구소

2. 기획연구 목표 및 내용

본 기획연구는 제2 쇄빙연구선 건조의 필요성과 타당성을 조사하여 국가차원의 제2 쇄빙연구선 건조를 준비하기 위한 사전연구이다. 대규모 국가재원이 투입되어야 하는 대형국책사업의 경우, 정부는 사업의 적절성을 사전에 평가하기 위한 예비타당성 조사를 수행하도록 정하고 있다. 또한 대형국책사업을 신청하는 해당 부처는 정부의 예비타당성 조사를 신청하기 전에 기획조사를 수행하여 자체적으로 사전검증을 함으로써 자체 사전여과의 효과와 함께 예비타당성 조사 진입 시 필요한 자료를 해당 부처가 사전에 준비하도록 하는 의미도 있다.

북극에 대한 관심이 전 세계적으로 확대되고 있는 시점에, 쇄빙연구선은 우리나라가 북극활동을 수행하기 위한 필수 인프라이면서, 국가 간 협력 시 주도적인 역할을 가능하게 한다. 2013년 12월 정부에서 발표한 “북극정책 기본계획”에서 제2 쇄빙연구선 건조 필요성을 검토하도록 명시하였으며, 공청회 등을 통하여 제2 쇄빙연구선의 시급한 건조가 공감되고 있다.

본 기획연구에서는 제2 쇄빙연구선 건조와 관련하여 다양한 관점에서 건조 필요성과 기술적 타당성 및 건조계획 등을 마련하였다. 제1장 ‘사업개요’에서 기획연구의 배경과 주요내용, 추진전략 등을 제시하였다.

제2장 ‘기초자료 분석’은 극지와 극지연구의 중요성, 북극 거버넌스 체계 및 타 국가의 북극정책 동향을 분석했다. 또한 쇄빙선의 이해를 돕기위해 특징과 역사, 기술적 개념 등을 기술하였으며, 현재 운영중인 아라온호의 운영 현황과 성과를 확인했다.

제3장 ‘건조 필요성‘은 북극지역 조사·연구의 필요성과 이에 대한 장애요소, 아라온호 활용 한계점을 제시했으며, 특히 건조의 필요성과 시급성, 미추진시의 문제점을 통해 제2 쇄빙연구선 건조 필요성을 강조했다.

제4장 ‘활용방안 및 기대효과’는 건조에 따른 제2 쇄빙연구선의 임무와 기능 및 건조 이후 운항 기본계획(안)을 설정한 후 연구와 보급지원 등을 포함한 제반 활용방안 그리고 운항에 따른 기대효과를 제시하였다.

제5장 ‘기술적 타당성’에서는 쇄빙선박 시장 현황과 국내·외 기술개발 동향 및 해외 쇄빙연구선 건조 현황을 분석하였고, 제2 쇄빙연구선에 요구되는 건조

사양 및 요소기술에 대해 정리하였다. 그리고 아라온호 및 타 해양연구선과의 차별성을 분석하여 기존사업과의 중복성에 대해 검토하였다.

제6장 '건조계획 및 운영방안'에서는 제2 쇄빙연구선의 단계별 건조계획, 사업 추진체계, 소요예산 및 재원 조달방안에 대해 정리하였고, 건조 이후 제2 쇄빙연구선의 운영 및 유지관리 방안을 제시하였다.

제7장 '정책적 타당성'에서는 박근혜정부 국정과제와 제3차 과학기술 기본계획 등 주요 국가정책과 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 정책적 부합성에 대해 분석한 내용을 정리하였고, 제2 쇄빙연구선 건조사업에 대한 정부 및 해당 부처의 추진 의지 및 재원조달 가능성에 대해 분석하였다. 마지막으로는 건조사업 추진에 대한 법/제도적 위험요인을 분석함으로써 건조사업의 정책정 타당성을 검토하였다.

제8장 '경제적 타당성'에서는 국가연구개발사업의 경제성 평가를 위한 일반적인 방법과 사례를 검토하여 제2 쇄빙연구선 건조와 운영에 대한 경제성을 분석하였다. 제2 쇄빙연구선 건조에 필요한 비용과 이후 발생가능한 편익을 추정하였으며, 이러한 분석 내용을 바탕으로 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석을 수행하였다.

KOPRI 금지연구소

마지막 제9장 '결론'에서는 위 검토 및 분석 내용을 정리하여 제2 쇄빙연구선 건조사업의 타당성을 제시하였다.

제 2 절 기획연구 추진 내용

1. 추진경위

기획 연구	기획연구	2013.09 ~ 2014.03
	기획연구 고도화	2014.03 ~ 2014.12
TF 구성	극지(연) 내 관계자 중심의 TF 구성 및 운영	2014.09 ~
자문 위원회	조선업계 및 극지기술연구회 자문 실시	2014.10.08
	조선기자재 업계 자문 실시	2014.12.08
	제2 쇄빙연구선 경제적 타당성 검토 자문 실시	2015.02.03
	제2 쇄빙연구선 건조 추진 자문단 회의(2회)	2015.02.06 / 04.30
	제2 쇄빙연구선 건조 추진 기술워크샵 진행(총 5일)	2014.12 ~ 2015.05
업무협의	조선업계 및 조선기자재업계 수요조사 및 협조방안 협의 (한국선급, 조선해양플랜트협회)	2014.10.17
공청회	제2쇄빙연구선 건조를 위한 공청회 개최	2014.11.17
관계부처 협의	해양수산부, 시급성을 고려한 예비타당성 조사 신청 준비	2014.08.14 ~
	산업통상자원부, 요소기술 관련 개발분야 협의	2014.12.08
	해양수산부, 기획연구 점검 회의	2015.03.03
예비타당성 조사 신청	**제2 쇄빙연구선 건조사업 예비타당성 조사 신청**	**2015.07.**

<그림 1-1. 기획연구 추진경과>

KOPRI 극지연구소

2. 추진방법 및 체계

본 기획연구와 관련된 연구 및 상세 기획연구보고서는 극지연구소와 전문기관과 협의하에 추진되었다. 기획연구 추진을 위해 과거 아라온호 건조사업단 및 극지연구소 소속의 연구원을 중심으로 한 연구실무위원회(TF)를 구성하였고, 이후 연구기획의 전문성 및 객관성, 공정성을 확보하기 위해 본 기획연구와 관련된 산·학·연 각 분야의 전문가들을 중심으로 한 기획연구자문위원회를 구성하여 운영하였다.

기획연구자문위원회는 영역 별 전문성을 고려하여 조선기술 분야, 조선기자재 분야, 요소기술 분야, 정책·제도 분야, 경제성 분야, 극지과학기술 분야, 운영분야 등 총 7개 분과로 구성하여 운영하였다. 추가적으로 연구실무위원회와 기획연구자문위원회 내 선임위원을 선별하여 총괄위원회를 별도 구성하여 기획연구의 질을 높이기 위해 노력하였다.

기획연구는 극지연구소 자체연구('13.09~'14.03)와 해양수산부 기획연구('14.12~'15.06)를 통해 준비되었으며, 공청회 및 자문위원회를 병행하여 진행하였고 이 후에도 수정·보완을 위해 지속적인 협의를 수행하였다.

○ 단계별 기획연구 추진 내용

- 자체 기획연구: 연구실무위원회 중심의 극지연구소 자체 기획연구(아라온호 건조사업단 구성원 중심)
  - 관련 과학자 대상 신규 쇄빙연구선 건조에 대한 설문조사
  - 제2 쇄빙연구선의 기본 건조사양 도출
  - 과학기술적 편익 등 경제성 검토
- 해양수산부 기획연구: 영역별 산·학·연 전문가 중심의 자문위원회 구성 및 운영
  - 제2 쇄빙연구선의 임무 및 기능 설정
  - 제2 쇄빙연구선의 주요 건조사양 검토
  - 비용 및 편익 분석을 통한 경제적 타당성 심층 분석

○ 기획연구 추진 방법

- 기획연구와 관련한 모든 자료 및 결과물의 체계적인 중앙집중식 관리
- 기획연구 참여자 간 정보 및 자료 공유, 검토 지원
- 위원회 활동 지원과 의견수렴, 수요조사 및 의사결정 지원
- 기획연구자문위원회의 네트워크를 적극 활용하여 기술동향, 기술개발 타당성, 세부 운영방안 마련 등에 적극 활용

KOPRI 극지연구소

3. 위원회 구성 및 운영

제2 쇄빙연구선 건조사업 추진을 위해 극지연구소 관계자를 중심으로 구성된 실무 T/F와 외부 산·학·연의 전 분야 전문가를 중심으로 한 자문위원회를 구성하여 운영하였다.

극지(연) 실무 T/F의 인적 구성은 다음과 같으며, 주요 기능은 자체 기획연구 활동에 따른 결과 도출, 소내·외 전문가 선정을 통한 외부자문 시행, 예비타당성 조사에 대한 대응 등이다.

[표 1-1] 실무 Task Force 팀

소속부서	직위(직급)	성명	비고
선임연구본부	선임연구본부장	윤호일	연구책임자
극지지구시스템연구부	책임연구원	남상헌	실무 T/F 총괄
미래전략실	책임연구원	서원상	
미래전략실	선임기술원	서현교	
미래전략실	선임연구원	김효선	
미래전략실	행정원	김유하	
극지지구시스템연구부	책임연구원	진영근	
극지해양환경연구부	책임연구원	이상훈	
북극환경·자원연구센터	책임연구원	남승일	
북극환경·자원연구센터	선임기술원	김진석	
극지인프라운영부	책임행정원	한승우	
쇄빙선운영팀	계약직행정원	김탁경	

본 사업을 위한 분과별 기획연구자문위원회 구성은 다음과 같다.

[표 1-2] 자문위원회

▶ 조선기술 분과

성명	소속	직급	비고
최항순	서울대학교	교수	학계
박경덕	현대중공업	부장	산업계
이수호	대우조선해양	부장	산업계
이중남	삼성중공업	부장	산업계
류한구	STX조선해양	부장	산업계
이정관	한진중공업	상무	산업계
권오용	한국선박기술	상무	산업계
하태범	한국선급	본부장	산업계
이돈출	목포해양대학교	교수	학계

▶ 조선기자재 분과

성명	소속	직급	비고
최주선	조선기자재 연구원	센터장	학계
양승호	조선기자재 연구원	팀장	학계
김대헌	한국선급	팀장	산업계
이홍구	한국선급	팀장	산업계

▶ 요소기술 분과

성명	소속	직급	비고
이동곤	KRISO	부장	연구계
이춘주	KRISO	책임연구원	연구계
강국진	KRISO	책임연구원	연구계
황보승면	극지기술연구회	회장	연구계
김현수	인하공업대학	교수	학계

▶ 정책 및 제도 분과

성명	소속	직급	비고
강사준	조선해양협회	상무	연구계
이용희	한국해양대	교수	학계
강길모	KIOST	책임연구원	연구계
신영균	창원대학	교수	학계

▶ 경제성 분과

성명	소속	직급	비고
유승훈	서울과기대	교수	학계
백철우	덕성여대	교수	학계
박세헌	KIOST	실장	연구계
이용길	인하대	교수	학계
조승국	한세대	교수	학계

▶ 극지과학기술 분과

성명	소속	직급	비고
강성호	극지연구소	부장	연구계
홍종국	극지연구소	부장	연구계
유규철	극지연구소	책임연구원	연구계
최경식	한국해양대	교수	학계
하호경	인하대학교	교수	학계

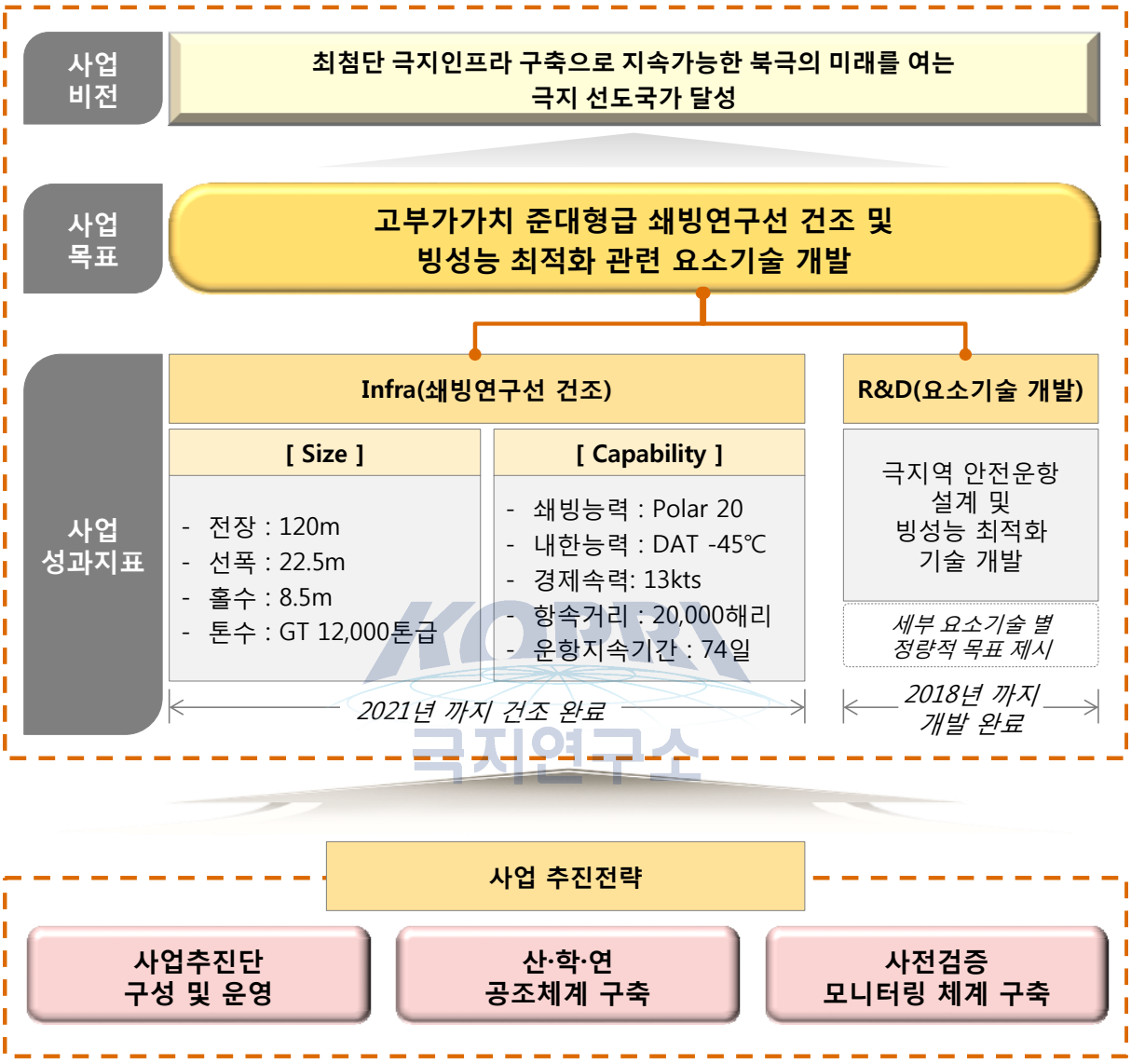
▶ 운영 분과

성명	소속	직급	비고
김춘식	극지연구소	팀장	연구계
박정기	KIOST	책임연구원	연구계
이민수	KIOST	선장	연구계
김현율	STX(전 아라온호)	선장	산업계
남청도	한국해양대	교수	학계
박기영	STX SM	팀장	산업계

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 3 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 목표 및 추진전략



<그림 1-2. 사업 추진 체계도>

1. 사업목표

본 사업의 최종목표는 연구목적에 부합하는 최적의 효율성을 갖는 쇄빙연구선 건조이며, 이는 일반적인 연구개발의 결과물인 지적재산권이나 논문과는 다른 선박이라는 유형의 결과물을 산출하는 것이 목표이다. 따라서 R&D사업 임에도 불구하고 연구개발의 성과가 논문이나 특허 측면에서 빈약하다는 지적이 있고 R&D사업 적용에 대한 논란도 있다. 그러나 본 사업은 극지연구 활동을 효과적으로 수행할 수 있는 기능을 고려해야 하므로 R&D 사업으로 추진하는 것이 타당하다. 또한 <그림 1-2. 사업 추진 체계도>에서도 알 수 있듯이 결빙 해역 항해에 필요한 빙성능 최적화 요소기술을 성공적으로 개발하여 쇄빙연구선에 적용하기 위한 연구개발사업이다.

본 사업의 목표는 극지운항에 필요한 선박의 핵심기술 개발 및 쇄빙연구선 건조이지만 궁극적으로 우리나라의 북극연구 활성화를 위한 인프라 구축이라고 할 수 있다. 기후변화 등으로 인한 북극해 환경변화에 대한 수요 증대 뿐만 아니라 자원개발 및 북극항로 개척의 중요성 확산으로 인한 국가간 경쟁이 심화됨에 따라 북극 연구의 중요성이 더욱 강조되어 가고 있는 상황에서 국내의 유일무이한 아라온호만으로는 우리나라의 북극연구의 활성화를 기대하기에는 다소 무리가 있는 실정이다. 본 사업 추진을 통해 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선이 건조되면 북극연구에 활용될 전용 연구선이라는 인프라를 확보함과 동시에 '지속가능한 북극의 미래를 여는 극지 선도국가'라는 '북극정책 기본계획'의 비전을 달성하는데에 크게 기여할 것으로 판단됨에 따라 본 사업의 비전을 '지속가능한 북극의 미래를 여는 극지 선도국가 달성에 기여'라고 제시하였다.

2. 추진전략

본 사업의 추진 실행력을 강화하기 위한 추진전략은 '사업추진단 구성 및 운영', '산·학·연 공조체계 구축', '사전검증 모니터링 체계 구축' 이다.

○ 유관 경험을 보유한 기관 중심의 전담 사업추진단 구성 및 운영
- 극지연구소를 중심으로 한 사업추진단 구성
- 아라온호 건조 및 운영 노하우를 활용한 사업 실행력 확보

○ 다양한 이해관계자가 참여하는 산·학·연 공조체계 구축
- 대형조선사가 지닌 선박건조 기술과 연구기관 및 대학의 기술개발 역량을 접목하여 안정적인 기술개발 추진
- 연구기관, 대학, 유관 학회와의 상호협력을 통한 기술 및 활용방안 확대

○ 상시적 모니터링 체계 구축 등 전주기 연구개발관리체계 구축, 운영
- 아라온호 건조 및 운영 사례를 통한 예상 환경변화 및 위험요소 정의
- 발생가능 문제점에 대한 대응방안 마련
- 건조사업 추진시 공정단계별 구체적 성과목표 제시
- 성과목표 달성을 위한 세부 실행방안 마련
- 성과목표 달성 여부를 측정하기 위한 상시적 모니터링 실시
- 시험평가 및 환류체계 마련

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 4 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 주요내용

지구 온난화에 따른 해빙이 가속화되면서 30~50년 후에는 태평양과 대서양을 연결하는 항로가 연중 개통될 것으로 예상되고, 특히 북극해에는 세계석유 매장량의 13%, 세계 천연가스의 30%가 매장되어 있어 국제적 관심이 집중되고 있다. 앞으로 북극해에 대한 연구뿐만 아니라 자원개발 및 항로개척 등을 위한 인프라 확충이 국제적으로 심화될 것이며 국내에서도 이에 대한 선제적 대응책 마련이 시급할 것으로 판단된다.

지난 2009년에 건조된 국내 최초의 쇄빙연구선인 아라온호는 남북극의 두꺼운 얼음을 깨고 그동안 시도하지 못했던 새로운 과학연구 영역을 개척하는 첨병 역할을 해왔다. 하지만 지난 2014년 2월에 준공된 남극 장보고과학기지와 남극 세종과학기지의 물자 보급 및 인력 수송과 남극 연구에 우선 투입되면서 북극해 연구에 제약을 받고 있는 상황이다. 뿐만 아니라 연구수요의 증가로 인하여 아라온호가 검사·수리 등 최소한의 기간을 빼고 운항에 투입되면서 2013년 운항일수는 312일에 달하게 됨으로써 한계에 다다른 실정이다.

북극해 연구의 중요성 확산과 아라온호의 한계 등을 극복하기 위해 북극해 전용의 쇄빙연구선 건조 사업을 추진하게 되었으며 구체적인 사업내용은 아래와 같다.

○ 사업내용

구분	주요 내용
사업 목표	쇄빙능력(Polar 20)과 내한능력(-45℃)을 확보하는 준대형급(GT 12,000톤급)의 제2 쇄빙연구선 건조 및 빙성능 최적화 관련 요소기술 개발
사업 물량	쇄빙연구선 1식 (주요 탑재 시설/장비 포함)
총 사업비	2,856억 원
사업 기간	2017년 ~ 2021년(2단계/ 총 5년)

<그림 1-3. 제2 쇄빙연구선 건조사업 주요사항>

○ 사업일정

구분	추진주체	소요기간	추진방안
개념 및 기본설계	• 극지연구소 • 전문설계업체	12개월	• 주요 임무, 적용선급, 환경조건 확정 • 탐재장비 및 사양 확정 • 기초 건조선 가내역서 작성 • 건조사양서 작성 • 초기도면(Key Plan) 작성 • 건조로드맵 작성 • 쇄빙/내한 관련 요소기술 개발 I
실시설계	• 극지연구소 • 전문설계업체	6개월	• 개념 및 기본설계 성과품 검토 • 분야별 세부 도서 및 도면 완성 • 입찰을 위한 사양서 작성 • 쇄빙/내한 관련 요소기술 개발 II
건조 및 감리	• 건조: 조선소 • 감리: 극지연구소	36개월	• 건조도면 작성 및 건조공정 수행 • 입급(KR 또는 다중선급) • 극지연구소 주도 감독 • 국내외의 감리 전문기관 용역
실해역 시운전	• 수행: 조선소 • 평가 및 승인: 극지연구소	6개월	• 탑재 연구장비의 원활한 작동 • 순항속도, 최고속도 • 쇄빙시험, 해상공시운전, 선주시운전 등

<그림 1-4. 제2 쇄빙연구선 건조사업 추진일정>

KOPRI 극지연구소

○ 사업추진주체: 국가(해양수산부)

○ 재원조달방식

- 지원 형식 : 정액지원
- 재원 부담 : 국고 100%
- 시설운영비 충당방식 : 출연금 100%

○ 국고지원 근거

- 본 사업은 극지라는 특수환경 하에서 이루어지는 거대·복합·기초연구를 위한 공공적 성격의 인프라구축 사업으로, 성공적 추진을 위해서는 민간 주도의 사업보다는 정부주도의 국가사업으로 추진하는 것이 바람직함

[표 1-3] 국고지원의 법적 근거

구 분	내 용
과학기술기본법 제11조 및 제28조	(국가연구개발사업의 추진) ① 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. ② 정부는 국가연구개발사업을 추진할 때에는 다음 각 호에 따라 수행하여야 한다. 1의2. 정부는 기업, 교육기관, 연구기관 및 과학기술 관련 기관·단체 간의 협력, 기술·학문·산업 간의 융합 및 창의적·도전적 연구개발이 활성화될 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 2. 정부는 연구기관과 연구자에게 최상의 연구환경을 조성하는 등 연구개발 역량을 높이기 위한 지원을 강화하여야 한다. (연구개발 시설·장비의 고도화) 정부는 효율적이고 균형 있는 연구개발을 추진하기 위하여 필요한 연구개발 시설과 장비 등을 늘리고 현대화하기 위한 시책을 세우고 추진하여야 한다.
국가재정법 제38조	(예비타당성조사) ① 기획재정부장관은 총사업비가 500억원 이상이고 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 신규 사업으로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 대규모사업에 대한 예산을 편성하기 위하여 미리 예비타당성조사를 실시하고, 그 결과를 요약하여 국회 소관 상임위원회와 예산결산특별위원회에 제출하여야 한다. 3. 「과학기술기본법」 제11조에 따른 국가연구개발사업
해양수산발전기본법 제17조 1항 및 제 20조	(해양과학조사 및 기술개발 등) 정부는 해양 및 해양자원의 합리적인 관리·보전 및 개발·이용을 위하여 해양에 대한 과학조사 및 관측을 실시하여야 하며, 이의 효율적인 수행을 위하여 국가해양관측망을 구축·운영할 수 있다. (해양과학기지의 설치 및 조사·연구) 정부는 남극·북극 등 특정지역에서의 해양과학기지의 설치 및 해양에 대한 조사·연구의 활성화에 필요한 지원계획을 세우고, 이를 시행하여야 한다.

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 2 장

기초자료 분석

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 극지에 대한 이해

1. 극지의 중요성

가. 기후변화의 열쇠

극지는 태양에너지의 반사율이 70% 이상인 눈과 얼음으로 덮여있다. 최근 지구온난화로 눈과 얼음이 녹게 되면서 지표에 흡수되는 태양에너지의 양이 급격하게 증가하고 있으며, 저위도에 비해 극지에서 온난화 정도가 크기 때문에 극지는 기후 변화를 모니터링 하기에 최적의 조건을 제공한다.

전세계를 순환하며 저위도에서 고위도로 거대한 열을 전달해주는 해수순환은 전세계 기후에 지배적인 영향을 미친다. 해수순환은 북극의 그린란드 해역과 남극의 웨델해 같은 극지에서 발원하는 심층수 형성과 연관되어 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 이루어져야 하며, 이러한 심층순환의 변화는 지구 전체에 급격한 기후변화를 유발시킬 수 있다.

KOPRI 극지연구소

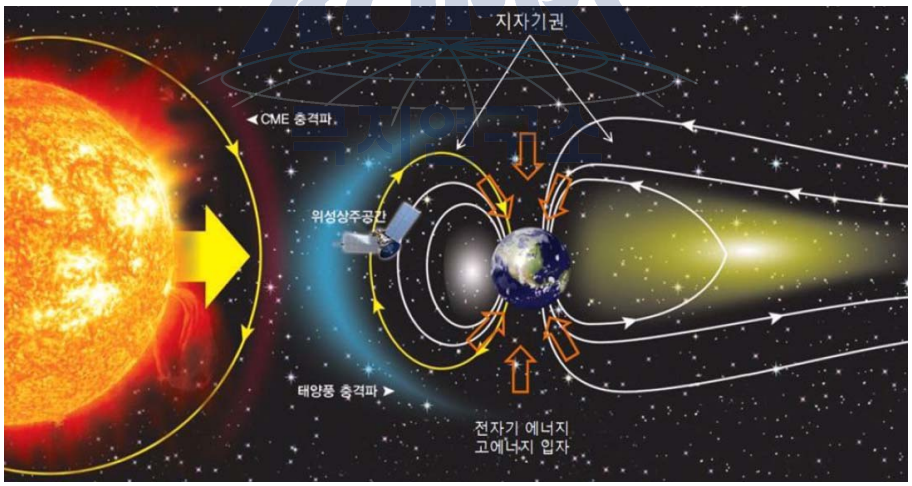
<그림 2-5. 심층해수 흐름 개념도>

성층권 오존은 태양으로부터 지표면으로 입사하는 유해한 자외선을 대부분 흡수 차단함으로써 인류와 생태계를 보호하는 역할을 한다. 하지만 산업활동에

따른 질소산화물이나 프레온가스의 사용 증가로 오존층이 심각하게 파괴되고 있고, 특히 극 소용돌이에 의해 남극권에서 심화(지난 10여년 동안 오존이 거의 50%가 감소)되어 나타난다. 오존감소는 지표에 도달하는 자외선의 양을 증가시켜 생태계를 파괴시키고, 대기 순환과 기후에 커다란 영향을 미친다. 극지의 얼음이 다 녹을 경우 해수면은 약 65~70m 이상 올라갈 것으로 예측되기 때문에 극지 기후변화 및 온난화와 밀접한 빙하의 소멸에 대한 지속적인 모니터링과 연구, 대응이 필요하다.

나. 우주과학 연구의 시발점

극지는 태양활동으로 만들어지는 고에너지 입자들이 지구대기로 직접 유입되는 지역으로 태양-지구간 우주환경 감시 및 연구의 최적지이다. 자기권에서 극지 고층대기로의 에너지 유입은 오로라를 포함한 다양한 물리적 현상의 원인이 된다. 극지 고층대기의 변화는 2차적으로 전 지구적으로 확산되므로 극지는 전 지구적 규모에서 우주환경을 이해하는데 매우 중요한 지역이다.



<그림 2-6. 극지의 우주연구 환경>

태양활동에 의한 자기폭풍이 일어나면 오로라가 발생하고, 동시에 대기 중 원자, 분자의 이온화 등 중성자들의 변화로 인해 온도 상승과 중성자 대류 현상이 일어난다. 또한 극지 고층대기의 온도상승은 고층대기의 전지구적 규모의 흐름에 영향을 미치고 중위도, 적도에까지 영향을 준다. 이러한 현상의 이해를 위해서는 지구 자기장, 오로라, 전리층, 열권에 대한 동시관측을 통한 체계적인 자료분석과 수치모델과의 비교연구가 필요하다. 서로 다른 영역들에 대한 상호작용을 이해하기 위해서라도 극지 우주환경 관측연구는 중요하다고 할 수 있다.

다. 지구역사 기록 보관소

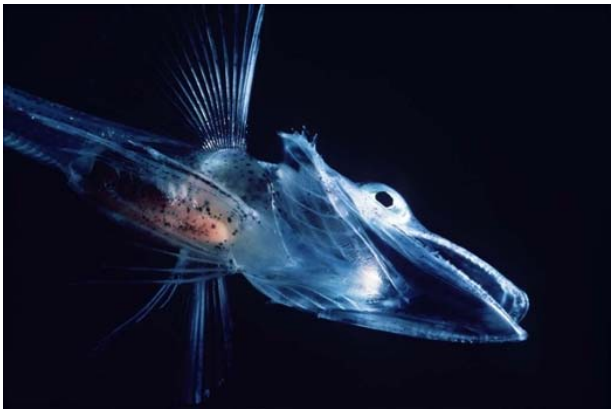
지구상에서 대륙이 처음으로 형성된 시기는 38억 년 전으로 알려져 있으나, 최근 42억 년 전에 대륙을 구성했던 암석이 동남극에서 발견되었다. 화성과 목성 사이의 소행성대에서 지구로 떨어지는 운석이 많이 발견되고 있으며, 현재 30,000여 개 이상 채집된 남극 운석은 지구탄생 초기의 환경을 규명할 수 있는 단서들을 제공하고 있다. 극지의 햐영퇴적물 속에는 과거에 일어났던 지구변화의 기록이 그대로 간직되어 있으며, 이러한 퇴적물을 분석해서 과거의 지구환경 변화를 기록을 복원하면 인류의 생존과 직결된 미래의 기후변화와 해수면 상승 등을 예측할 수 있다.

라. 무한한 극지 생물자원 활용 가능성

전세계 해양 표면적의 10%를 차지하는 극지, 특히 남극해는 지구상에서 가장 규모가 큰 대형 포식자를 유지하는 생태계로서, 극지 생태계의 구조와 기능은 극지 특유의 환경조건에 적응된 결과이다. 극지 해양 생태계의 먹이 사슬구조와 에너지 흐름의 변화는 지구 온난화, 오존층 확대와 같은 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 환경지표이다.

KOPRI 극지연구소

찬 물속에서 어는 것을 막기위해 헤모글로빈을 없애버려 반투명한 모습을 갖고 있는 아이스피쉬(Ice Fish)처럼 극지 생물은 낮은 온도에서 살아남을 수 있도록 진화해왔다. 극지생물은 낮은 온도와 계절에 따른 먹이환경의 변화들에 적응하고 번성해왔으며, 이러한 독특한 생물학적 진화과정은 생물연구를 통해 활용가치가 무한하다고 할 수 있다.



<그림 2-7. 아이스피쉬(Ice Fish)>

극지환경에 적응하기 위한 극지생물의 대사과정을 통해 생산된 결빙방지물질, 저온효소, 자외선 피해완화물질 등은 산업적 응용 가능성을 보여주는 수많은 예 가운데 일부이다.

마. 미래자원의 보고

남극과 북극에는 대규모 유전과 막대한 가스하이드레이트가 매장되어 있음이 확인되었다. 21세기 IT산업의 핵심원료인 희유금속광물은 북극권의 콜라반도, 북시베리아, 그린랜드 등지에 세계최대규모로 매장되어 있다. 남극 크릴을 비롯하여 극지해양생태계가 포함하는 엄청난 양의 생물자원은 전세계 수산물 생산량을 능가할 정도이지만 아직 미개발 상태에 있다. 극지해양생태계는 역동적인만큼 쉽게 균형이 깨질 수 있으며, 재생 가능한 자원도 지속가능한 방법으로 이용하려면 각 국가간의 협력을 통한 관리가 필요하다.

KOPRI 극지연구소

2. 남극연구의 중요성

남극은 남극조약에 따라 남위 60도 이남의 바다와 남극대륙을 일컫는다. 남극대륙의 면적은 섬과 빙붕을 합쳐서 약 1,359만km², 한반도의 60배, 남한의 140배, 중국의 약 1.3배에 달한다. 이는 지구 육지의 약 9.3%를 차지한다. 남빙양의 면적은 약 2,030만km²로 지구 바다의 5.6%를 차지한다. 남극의 평균고도는 2,500m로 대륙 가운데 가장 높고, 최고봉은 빈슨 산괴(4,892m)이다. 남극대륙은 98% 이상이 평균 두께 2,160m의 얼음으로 덮여있다. 대륙빙의 양은 대략 2,500만km³로 이 얼음이 다 녹는다면 전 세계 해수면이 65~70m 가량 높아질 것으로 알려져 있다. 남극에는 석유, 천연가스, 금, 은, 우라늄, 철, 구리, 석탄, 텅스텐, 가스하이드레이트 등과 같은 다양한 광물자원이 매장되어 있으며, 생물자원으로는 크릴, 메로, 고래 등의 어류가 있다.

남극대륙과 남극해는 지구의 기온을 조절하고 기상에 영향을 미치는 등 지구 환경시스템에 중요한 역할을 하고 있으며, 지구의 다른 부분과 밀접하게 연관되어 있다. 그러나 최근 지구온난화로 인해 기온이 상승하고 거대한 빙산이 녹고 있다. 서남극의 얼음이 녹으면 해수면은 약 7m 상승하며, 동남극의 얼음이 녹으면 해수면은 약 65m 상승한다. 기후변화에 관한 정부간 협의회의 보고서에 의하면 남극의 빙하는 쉽게 녹지 않을 것이라 했지만, 과거 12만년 전, 2백만년전 등에 남극 빙하가 완전히 녹아 없어졌다는 증거들이 발견되고 있다. 특히 화산활동에 의해 서남극의 얼음이 완전히 녹았다는 연구도 있다. 따라서 기후에 의한 남극의 변화와 타 지역으로의 영향에 대해 민감한 관찰과 연구가 필요하다.

남극에서 발견되는 운석은 태양계 형성과 진화를 규명할 수 있는 귀중한 정보들을 제공한다. 최근 2014년 12월 극지연구소 남극운선 탐사팀은 가로 21cm, 세로21cm, 높이 18cm, 11kg에 이르는 대형 운석을 찾은바 있으며, 2006년부터 올해까지 8차례 탐사를 통해 총 282개의 운석을 확보했다. 심해 속 퇴적물 분석을 통해서는 과거에 일어났던 지구온난화, 바다얼음 감소 및 해양 생태계 변화 등을 알 수 있다. 과거 지구환경 변화를 분석하면 미래 지구환경을 예측할 수 있으며, 이런 분석을 가능하게 하는 해양퇴적물을 채집하기 용이한 지역이 남극이다. 한편 남극대륙의 만년빙은 매년 내리는 눈이 겹겹이 쌓여 형성된 것으로 평균 두께가 약 2,160m에 이른다. 이 빙하층은 최대 100만년 전까지의 자연적인 지

구환경변화(빙하기와 간빙기의 반복된 기후변화), 가스나 에어로졸의 대기성분 변화, 엘니뇨나 화산폭발 그리고 대규모 산불 들 자연환경 변화의 기록을 잘 간직하고 있어 얼어붙은 타임캡슐로 불린다. 지난 2014년 1월 극지연구소는 장보고기지 부근의 빙하에서 200m 길이의 빙하코어를 시추하였으며, 이 빙하코어를 분석한다면 지난 수백 년의 기후변화를 복원할 수 있다.

<그림 2-8. 극지연구소 남극탐사 운석발견(2014.12)>

현재 남극의 지하자원 개발은 국제적으로 환경보호에 관한 남극조약의정서에 의거해 1998년을 기점으로 50년간 개발이 유보된 상태이며, 오직 과학적인 연구만 허용되고 있다. 남극횡단산맥 광상구와 동남극 광상구 그리고 안데스 광상구가 있으며 금, 구리, 은, 주석, 텅스텐, 티탄, 크롬 등이 존재한다. 또한 서남극의 중심으로 석유 탐사를 진행 중인데 상당한 양의 석유가 매장되어 있을 것으로 추정되고 있으며, 남극횡단산맥과 동남극 지역에는 두꺼운 석탄층이 부존되어 있다.

현재 우리나라는 남극에 세종기지와 장보고기지를 운영하고 있다. 세종기지는 자남극(자침이 가리키는 남쪽 끝)에서 멀리 떨어져있어 극지 고층대기 현상의 직접적인 관측이 제한되지만, 장보고기지는 자남극 극관(Polar Cap) 내부에 위치하고 있어 태양을 포함한 외부 우주로부터 지구 고층대기로의 직접적인 에너지 유입에 대한 관측이 가능하다. 현재 남극기지에는 국내외 연구자들의 방문과 남극 내 타국 연구센터와의 협력 및 방문 요청이 빈번하게 이뤄지고 있다.

3. 북극연구의 중요성

북극은 통상 지리적으로 북위 66.5도 이상의 고위도 북극권(북빙양 및 북아메리카와 유라시아 대륙의 연안으로 구성), 또는 산림 생장 한계선, 빙하 남하 한계선, 영구 동토선을 지칭하기도 한다. 한편, 보통 7월 평균기온이 10℃인 등온선의 북쪽 지역을 뜻하기도 하지만 최근 들어 온난화로 인해 그 범위가 변하고 있으며, 어떤 곳에서는 북위 70도보다 고위도가 되며, 베링해 같은 곳에서는 북극의 경계가 남쪽으로 좀 더 내려오기도 한다. 또한 북극은, 태평양, 대서양, 인도양의 남빙양으로 둘러싸인 대륙인 남극과 달리 북아메리카와 유라시아 대륙으로 둘러싸인 바다가 대부분이다. 북극점을 중심으로 거의 대부분이 해빙(海氷)과 빙하로 덮여있다. 북빙양은 면적이 1,400만km²로 전 세계 바다의 3% 정도이다. 태평양, 대서양, 인도양, 남빙양과 함께 5대양을 이룬다. 평균 수심은 1,200m로 겨울에는 해빙(海氷)으로 덮이고 여름에는 해안부터 해빙(海氷)이 녹아 얇아지고 약해진다. 또한 대양 가운데 대륙붕이 가장 넓어 전체 면적의 70%를 차지하는 대륙붕(미국, 러시아, 캐나다 등 북극연안국과 연결)에는 화석연료와 광물자원이 많다. 북빙양은 대부분 육지로 둘러싸여 있어 중위도의 해양과 연결이 쉽지 않다. 연 평균기온은 계절에 따라 영하 16℃에서 영상 6℃ 사이의 분포를 보이고, 최저 기온은 베르호얀스크에서 측정된 영하 70℃이다. 지난 50년간의 관측에 의하면 겨울철 평균기온의 경우, 지표온도가 10~15℃나 상승했다.

북극권의 육상과 연안지역에는 혹독한 추위, 낮은 일조량과 강수량, 강한 바람 등의 가혹한 환경조건 속에 독특한 생태계가 형성되어 있다. 육지에는 여우, 순록, 늑대, 사향소, 뇌조, 철새, 북극곰, 관목, 이끼류, 허브 등 소수의 동식물군이 형성되어 있으며, 북극해에는 플랑크톤을 비롯해서, 고래, 물개, 바다표범, 바다코끼리, 어류, 조류 등 모두 12종의 해양포유류가 서식하고 있다. 북극권은 지구 표면적의 6%에 불과하지만 가채량 기준 약 22%의 미발견 전통 석유, 가스 자원, 금, 다이아몬드 가스 하이드레이트 등 방대한 광물자원이 매장되어 있다. 2008년 미국 지질조사국(US Geological Survey: USGS) 보고서에 따르면 북극해에 매장된 석유는 약 900억 배럴, 천연가스는 약 1,669조 cf(cubic feet)로 추정되고 있다.

[표 2-4] 북극지역 대형 석유·가스 매장지역(USGS, 2008, Circum-Arctic Resource Appraisal)

구분	원유 (억bbl.)	천연가스 (tcf)	천연가스 액화물 (억bbl.)	총 탐사 자원량 (억boe)
West Siberian Bain	36.6	651.5	203.3	1,325.7
Arctic Alaska	299.6	221.4	59.0	727.7
East Barents Basin	74.1	317.56	14.2	617.6
East Greenland Rift Basins	89.0	86.18	81.2	313.9
Yenisey-Khatanga Basin	55.8	99.96	26.8	249.2
Amerasia Basin	97.2	56.89	5.4	197.5
West Greenland-East Canada	72.7	51.82	11.5	170.6
Laptev Sea Shelf	31.2	32.56	8.7	94.1
Norwegian Margin	14.4	32.28	5.0	73.2
Barents Platform	20.6	26.22	2.8	67.0
Eurasia Basin	13.4	19.48	5.2	51.1
North Kara Basins & Platforms	18.1	14.97	3.9	46.9
Timan-Pechora Basin	16.7	9.06	2.0	33.8
North Greenland Sheared Margin	13.5	10.21	2.7	33.2
Lomonosov-Makarov	11.1	7.16	1.9	24.9
Sverdnup Basin	8.5	8.60	1.9	24.8
Lena-Anabar Basin	19.1	2.11	0.6	23.2
North Chukchi-Wrangel Foreland Basin	0.9	6.07	1.1	12.0
Vilkitskii Basin	1.0	5.74	1.0	11.6
Northwest Laptev Sea Shelf	1.7	4.49	1.2	10.4
Lena-Vilyui Basin	3.8	1.34	0.4	6.4
Zyryanka Basin	0.5	1.52	0.4	3.4
East Siberian Sea Basin	0.2	0.62	0.1	1.3
Hope Basin	0.02	0.65	0.1	1.2
Northwest Canadian Interior Basin	0.2	0.31	0.2	0.9
Total	**899.8**	**1,668.66**	**440.6**	**4,121.6**

KOPRI 극지연구소

북극은 지구의 기후를 만들어 내는 곳 이라고 불리기도 하는데, 지구 환경의 작은 환경변화에도 쉽게 영향을 받을 뿐 아니라, 반대로 북극에서 일어나는 변화가 지구전체에 중대한 영향을 미치고 있기 때문이다. 지난 50년간 북극에서 관측된 겨울철 평균 기온의 변화를 보면 지표 온도의 경우 무려 10~15℃나 상승했음을 볼 수 있다. 이 같은 현상은 정도의 차이는 있지만 지표만이 아니라 대류권 전반에 걸쳐 관측되었다. 이것은 지구의 전반적인 온난화 현상이 극지역에서 증폭되어 나타나고 있다는 것을 의미한다. 북극에서의 해빙(海氷)변화는 태양열의 지표 반사율을 감소시키고, 북극의 해빙(海氷)이 녹아내리면서 기후변화에 취약한 생태계가 위기에 처하게 되었다. 또한 동토층 아래에 매장된 다량의 이산화탄소와 메탄이 분출될 위험이 높아지고 있다. 이산화탄소와 메탄이 대기 중으로 분출될 경우 온실효과가 증대되어 얼음이 급속히 감소하고 북극온도가 6℃ 이상 오르는 등 심각한 지구온난화현상이 나타날 것으로 예견되고 있다. 따라서 북극환경에 대한 연구 및 타국가와의 협력이 필요하다.

특히 북극권 러시아 시베리아의 영구동토층(permafrost)이 지구온난화로 인해 빠른 속도로 녹고 있다. 일본 해양지구과학기술청(Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology: JAMSTEC)의 분석에 따르면, 지표에서 1.2m 아래 땅의 온도는 1998년부터 2004년 사이 녹은 영구동토층의 깊이가 2000년에 비해 두 배 늘어났으며, 이로 인해 호수와 늪이 팽창하고 강의 수면이 올라가고 있다고 보고하고 있다. 또한, 지표에서 1.2m 아래 땅의 온도는 1998년부터 2004년 사이 연간 평균 온도는 영하 2.4℃였다. 그렇지만 2005년에는 영하 1.4℃, 2006년에는 영하 0.4℃ 등 점차 상승하고 있다. 시베리아 동부의 다른 3개 지점에서도 연간 평균 온도가 2005년부터 놀라운 속도로 증가하고 있다.

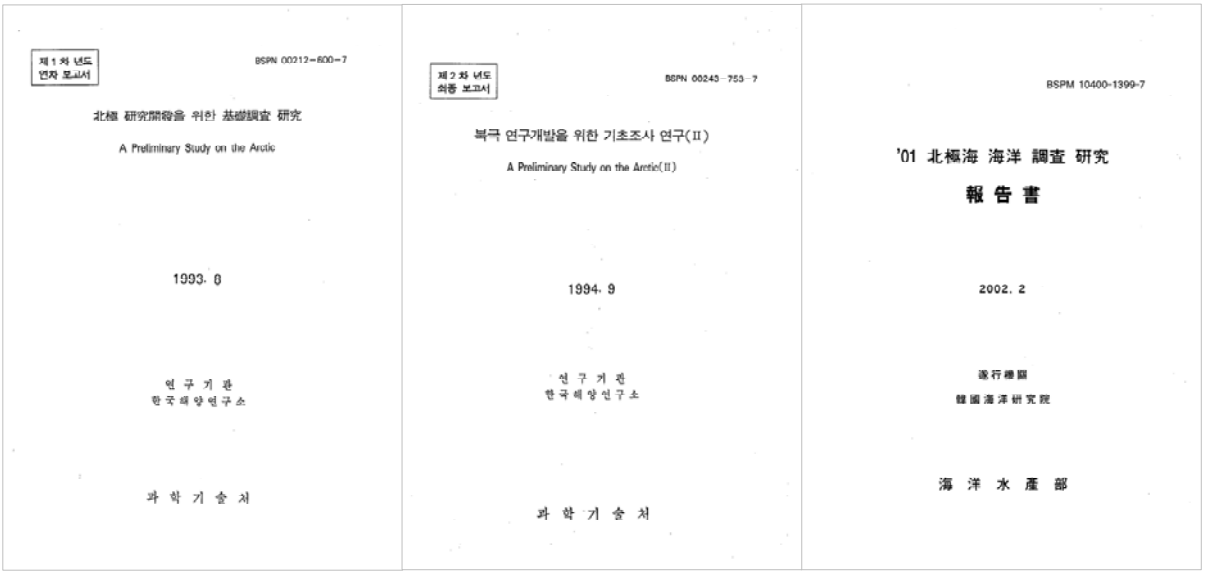
영구 동토층은 강력한 온실가스인 메탄을 포함하고 있어 영구동토층이 녹으면 그 가스가 대기 중으로 발산되어 지구온난화에 불을 지피는 격이다. 유엔환경계획(UNEP)은 2008년 연감에서 북극의 영구동토층 융해가 '와일드카드(wild card)'로 작용할 것이라고 보고하고 있으며, 시베리아, 알래스카, 노르딕 국가의 동결된 토양이 토양 속 메탄을 방출하기 때문에 열흡수력이 강한 이 가스에 의해 발생하는 영향에 대한 시급한 연구가 필요하다고 밝혔다. 유엔환경계획은 자연적으로 방출되고 또한 인간 활동에 의해 인위적으로 이뤄지는 지구메탄배출을 모두 합쳐 연간 5억~6억 톤의 메탄이 대기 중에 축척되고 있다고 추정했다.

4. 국내 북극연구 현황

가. 북극연구의 연혁

우리나라는 1978년에 남극연구를 시작했지만 그에 비해 북극연구는 인력과 예산의 부족으로 늦게 시작되었다. 1969년부터 베링 해에서 명태를 잡는 등 북극에 대한 관심은 있었으나 1990년대에 들어서야 북극에 기초연구를 시작했다. 1999년 7월, 전체일정 70일에 걸친 중국 쇄빙선 설룡호의 북극해탐사 국제공동연구에 우리나라 최초로 강성호 박사가 북극해양연구원으로 참여하면서 북극연구의 첫발을 내디뎠다. 2000년 8월에는 강성호, 故정경호 박사 연구팀이 러시아 극지연구팀과 공동연구를 수행하는 등 북극권 국가들과 관계를 맺는 기회를 가지며 북극해 연구에 박차를 가했으며, 2002년 4월 국제북극과학위원회(ISAC)회의에서 정식 회원국가로 가입하고 동년 4월 29일에 북극 다산과학기지를 개소하면서 본격적인 북극 연구를 시작하였다고 볼 수 있다. 한편, 우리나라는 2008년부터 북극이사회 잠정옵서버로 활동해오다 2013년 5월에 정식옵서버 국가가 되었다. 북극뿐만 아니라 남극 연구의 가장 큰 도약은 2009년 우리나라 최초의 쇄빙연구선인 「아라온」호 건조라고 할 수 있다. 이로써 2010년부터 우리나라는 자주적이며 실질적인 남·북극해 연구와 과학기지 보급 지원 업무를 수행할 수 있게 된 것이다. 더욱이 우리나라는 북극 연안 8개국을 중심으로 구성된 북극이사회에 정식옵서버 자격을 획득하면서 우리나라의 북극 연구 및 현장 조사 활동에 대한 위상이 크게 강화되었다.

<그림 2-9. 강성호, 故정경호 박사 연구팀과 러시아 연구팀의 공동연구 수행>



<그림 2-10. 북극해 기초조사 보고서(1998, 1999, 2002년)>

북극연구개발을 위한 기초조사 연구	1993년 ~ 1995년
중국 설룡호 탑승을 통한 북극해 탐사 참여	1999년
북극해 특성조사 연구 수행	2000년 ~
북극다산과학기지 개소 및 북극과학위원회 가입	2002년
북극이사회 옵서버 신청 및 잠정 옵서버 가입	2008년
쇄빙연구선 아라온호 북극연구 항해 수행	2010년 ~
ASSW(Arctic Science Summit Week) 한국 개최	2011년
스발바르 조약 가입	2012년 9월
이명박 대통령 북극권 국가 순방 및 국토부장관 북극다산과학기지 방문	
국토해양부, 극지정책선진화 방안 확정	2012년 11월
북극이사회 회원국 대사 초청 북극정책 심포지엄 개최	2013년 3월
북극이사회 정식옵서버 가입	2013년 5월
정부 북극정책기본계획 발표	2014년 1월

<그림 2-11. 국내 북극활동 연혁>

나. 북극연구의 전진기지인 다산과학기지 개소

우리나라의 남극의 연구 인프라는 지속적으로 발전해왔지만, 그에 비해 북극의 연구 기반은 상대적으로 매우 미흡했기 때문에 국가 차원에서 관심을 갖고 1990년 대 후반부터 북극 연구기반을 확보하기 위한 다양한 노력을 기울였다. 그 결과 한국북극과학위원회 창립, 국제북극과학위원회 18번째 회원국으로 가입이라는 성과를 달성했다. 또한 특별히 2002년 4월, 노르웨이령인 스발바르(Svalbard) 군도 스피츠베르겐(Spitsbergen) 섬 니알슨(Ny-Alesund) 과학기지촌에 북극다산과학기지(북위 78°55', 서경 11°56')를 개소했다. 이로써 우리나라는 북극에서 연구 활동을 위한 최소한의 기반을 갖추었으며, 세계에서 6번째로 남·북극 과학기지를 동시에 운영하게 됐다. 해양수산부는 다산과학기지 개소를 계기로 극지 개발에 관심을 보이며 '극지과학기술개발계획'을 보고해 당시 김대중 대통령의 재가를 받았다. 이 계획에는 쇄빙선 건조와 대륙기지 건설, 극지전문연구기관 설립이 포함됐다.

우리나라는 다산과학기지 주변지역을 중심으로 북극 대기관측과 변화특성 연구, 북극 진동 연구, 저온 적응 생물 연구, 북극권 동토층의 환경변화 연구, 북극조류의 다양성 연구 등의 여러 가지 활동을 펼치고 있다. 특히, 북극과 중위도 기압 변화에 따라 고위도의 제트기류가 '진자운동'처럼 저위도 지방으로 움직이는 현상인 북극진동 연구를 통해 한반도 겨울 한파 발생과의 관련성을 입증하며 북극에서의 환경변화가 우리나라와 매우 밀접한 관계에 있음을 밝혔다.

북빙양과 그 주변 대륙과 연한 동토층으로 구성된 북극권은 매우 광범위하고 어느 한 국가가 담당하기엔 다양한 현상과 크기를 갖고 있기 때문에, 현재 북극권 연구는 개별 국가단위의 연구보다는 국가 간 협력체제에 기반을 둔 다자간 또는 양자간의 국제공동연구프로그램이 주를 이루고 있다. 그 일환으로 우리나라는, 노르웨이를 중심으로 EU와 공동으로 수행되는 북극권 이슈에 대한 국제공동대응 프로그램인 '북극 스발바르를 거점으로 한 국제공동관측 연구사업(SIOS)'에 동참하기 위해, 북극다산과학기지를 거점으로 국제공동 연구를 활성화시켜 나가고 있다. 또한 세계 최초로 북극 동시베리아해에서 거대빙상의 흔적을 발견하여 빙하기 북극해 기후변화를 이해하는데 중요한 단서를 제공했으며, 캐나다, 미국 연구팀과 함께 캐나다 북극해인 보퍼트해에서 지구온난화의 주요 원인인

해저온실가스를 연구하는 국제공동연구프로그램을 수행하고 있다. 이러한 성과를 바탕으로 우리나라에서 대규모 북극 관련 국제기구들이 집결하는 '북극과학최고회의(ASSW, Arctic Science Summit Week')를 2012년에 개최하여 15개국 400여 명이 참석한 가운데 우리나라의 국제적 입지와 위상을 상징적으로 보여주기도 했다.

다산과학기지가 있는 니알슨(Ny-Ålesund) 과학기지촌에는 우리나라를 포함하여 노르웨이, 영국, 독일, 프랑스, 네덜란드, 스웨덴, 일본, 이탈리아, 중국, 인도 등 10개국이 기지를 운영 중이다. 기지촌의 모든 시설에 대한 관리와 유지보수는 노르웨이의 국영회사인 킹스베이사가 담당하고 있으며, 이 회사와의 시설물 임대 계약을 맺고 다산과학기지를 사용하고 있으므로 경제적인 측면에서는 효과적으로 기지 운영을 하고 있다고 볼 수 있다. 이는 니알슨 자체가 노르웨이령이므로 기지촌에 있는 다른 국가의 기지도 마찬가지로 별도의 자국 건물을 소유하는 대신에 킹스베이사의 건물을 임대하여 사용하고 있는 상황이다. 따라서 다산과학기지 운영을 위한 상주 인원은 없으며, 연구원들이 연구 목적상 원하는 기간에만 일정 인력이 체류하며 현장조사를 수행하고 있다. 여름에는 연구원들이 부근의 자연환경을 관찰하고 재료를 취합하지만, 겨울에는 비어 있다. 기상관측, 미기상관측, 에어로졸, 고층대기관측 등 연중 그 현상을 모니터링해야 하는 분야는 현지에서 운영되는 연중 자동측정장비를 가동시켜 자료를 확보하고 있다.

KOPRI 극지연구소

<그림 2-12. 다산과학기지와 연구원>

다. 최근 북극연구 현황

우리나라의 북극연구는 다산과학기지를 중심으로 활발한 연구활동을 수행 중이며, 쇄빙연구선 「아라온」호의 취항을 통해 본격적인 북극해 연구를 수행하고 있다. 또한 최근에는 북극해 주변 연안국가의 동토 지역을 대상으로 환경변화를 연구하기 위한 관측 거점을 확보하며 글로벌 이슈에 대응하는 국제공동연구를 활발하게 진행하고 있다.

○ 추진 중인 주요 연구사업 및 연구내용

[표 2-5] 추진 중인 주요 북극 연구내용

추진 부처	연구 과제명	주요 연구내용
해양수산부	양극해 미래자원 탐사 및 활용기술 개발	▪ 양극해 해양생물 탐사와 대사체 분석을 통한 극지 해양생물 보전가치 규명
	양극해 환경변화 이해 및 활용연구	▪ 쇄빙연구선「아라온」호를 활용하여 양극해역에서 일어나는 급격 환경변화 현상 이해 및 시·공간 규모의 해수(수층) 및 해저 환경도 구축
미래창조과학부	환북극 동토층 환경변화 관측시스템 원천기술 개발 및 변화 추이 연구	▪ 국제 공동연구 및 극지연구소 보유 인프라를 활용한 북극권 환경변화 관측 거점(node) 확보와 극한지 첨단 관측기술 개발 및 적용, 다학제적인 산·학·연 국제공동 연구 유니트 구축 ▪ 지구온난화에 따른 급속한 북극권 환경변화가 중·저위도 지역에 미치는 환경변화 연관성 평가 및 수치적 재현과 미래 예측
극지(연) 기관고유사업	스발바르종합북극관측망 참여를 위한 다산과학기지 주변 생물-광 기초연구	▪ 다산과학기지 주변 원격탐사 연구기반 구축 ▪ 스발바르종합북극관측망(SIOS) 참여가능 다학제 연구 분야 분석
	북극권 동토 연구 인프라를 활용한 공동연구 네트워크 구축	▪ 북극권 기후 연구를 위한 연구거점들을 활용한 연구 확대와 국내-외 공동 연구 네트워크 구축
	서북극해 지구온난화 규명을 위한 노스윈드-멘델레프해령 해역의 고해양환경변화 정밀복원연구	▪ 서북극해 기후변화 선점연구를 위한 국제공동탐사 연구시스템 구축 ▪ 서북극해 퇴적물에 기록된 과거의 (지구온난화)기후변화기록을 정밀 복원하여 현재 진행되고 있는 급격한 해빙 감소 등 지구온난화 패턴파악 및 원인 규명

KOPRI 극지연구소

○ 북극권 국가와의 양자·다자 연구협력 추진

[표 2-6] 북극권 국가와의 연구협력 현황

국가명	연구협력 현황
미 국	▪ 국립과학재단(NSF), 국립해양대기청(NOAA)과 활발한 협력 ▪ 북극이사회와 남극 장보고과학기지 건설 관련 국무부 해양극지과와 협력 ▪ 미국 알래스카 연구 관측 거점 확보 및 협력
러시아	▪ 2000년대 초반 바렌츠해, 카라해 등지에서 소규모공동연구 수행 ▪ 오호츠크해 메탄수화물기초조사 연구 수행 중 ▪ 남극연구활동에서 활발한 협력 (러시아 극지연구소 AARI) ▪ 기타 쇄빙선 운항관련 ice pilot 등 협력
캐나다	▪ 캐나다 천연자원부 PCSP, 지구과학실 등과 협력 ▪ 캐나다 북극 Cambridge Bay에 연구 관측 거점 확보 및 협력 ▪ 2013년「아라온」호를 이용한 캐나다 수역 메탄수화물 기초조사
노르웨이	▪ 스발바르 다산과학기지를 중심으로 연구협력 ▪ 스발바르종합북극관측망(SIOS) 참여 중 ▪ 2011년 한국에서 양국 공동워크숍 개최 ▪ 노르웨이 극지연구소(NPI)와 2012년 양해각서(MoU) 체결 ▪ 2013년 중 우리 극지연구소(KOPRI)-노르웨이 극지연구소(NPI)간 협력센터 설립 추진 중
스웨덴	▪ 서남극해 유빙 결빙 해역과 기후변화 조사에 스웨덴 대학(고텐버그대학)과 과학자 참여
덴마크	▪ 그린란드 자켄버그 연구 관측 거점 확보 및 협력 ▪ 2013년 덴마크 지질조사소 (GEUS) 과학자 방한 ▪ 2012년 덴마크 Aarhus 대학과 연구협력 의향서 체결

※ 한·노르웨이 협력센터 운영(2014.04.14 개소)을 통해 노르웨이 극지연구소 및 노르웨이 Tromso 트롭소 소재 관련 기관들과 극지과학분야에서 공동연구와 인력 교환 등이 본격적으로 추진 중

○ 주요 연구성과

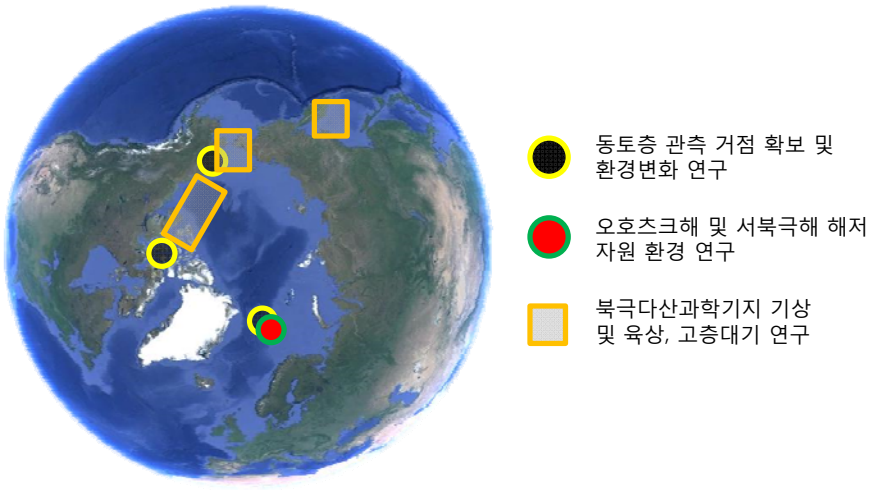
[표 2-7] 주요 북극 연구성과

분야	연구성과
가스하이드레이트 연구 수행	▪ 극지(연)은 2003년, 2005-2007년에 걸쳐 오호츠크해 가스하이드레이트 국제 공동연구(CHAOS) 프로젝트에 주도적 참가 ▪ 후속연구로 2007~2010년까지 사할린 해저 가스하이드레이트 탐사를 위한 한-러-일 3국 협력사업 추진
북극해 특성 및 대기환경 연구 수행	▪ 러시아와 공동으로 카라해 해양특성 조사 등을 수행 ▪ 2002년 북극 다산과학기지 설치를 계기로 북극해 특성 및 대기환경 연구 등을 국제공동연구사업으로 수행 중
ASTAR 프로젝트 수행	▪ 2007년~2008년 ASTAR(Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation) 연구 참여 ▪ 한국, 미국, 영국, 독일, 노르웨이 등이 참여
고환경 (고해양/고기후) 연구 수행	▪ 2000년~2005년 바렌츠해, 카라해 등 북극해 연안역에서 지질, 빙하퇴적물 채집 등을 통한 고환경 연구 실시 ▪ 2007년~2011년 국제 IPY 그린란드 빙하시추(NEEM) 프로그램 참여 하여 북대서양 기후변화 연구 중
극지 생태계 모니터링 및 생물 다양성 연구	▪ 2000년~2005년 바렌츠해, 카라해, 오호츠크해 등에서 생물 다양성과 환경모니터링 연구 실시
북극 해양생태계 연구	▪ 2007년 일본 홋카이도 대학과 공동으로 베링해/척치해에서 생태조사 실시
HEALY Cruise 참여	▪ 2007년 미국과 공동으로 베링해 북쪽해역에서 기후변화로 인한 영향 연구 실시
극지기초원천기술개발	▪ 2011년부터 현재까지 미국, 캐나다, 노르웨이, 그린란드 등 북극 연안국가들 동토 지역에 알래스카 카운실, 캐나다 캠브리지베이, 스발바르 니알슨 등에 관측 거점을 확보하고, 환북극권 동토층 환경변화 국제공동연구 수행 중

KOPRI 극지연구소

○ 연구거점 및 연구지역

- 북극해 일부 탐사 진행 : 오호츠크해, 미국과 캐나다측 서북극해
- 동토층 지역 일부 관측거점 확보·운영(미국, 캐나다, 스발바르 등 3개 거점)



<그림 2-13. 2015년 현재 북극 연구 거점 및 지역>

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 2 절 북극 거버넌스 및 국가별 북극정책 동향

1. 북극 거버넌스 체계

가. 북극이사회

북극이사회는 북극권의 자연환경 보전과 원주민 보호, 지속가능한 발전에 관한 이슈를 논의하는 국제 거버넌스이다. 1987년 러시아의 북극항로 개방 및 북극 자원 공동개발, 환경보호 협력에 대한 내용이 담긴 무르만스크 선언을 계기로 북극에 대한 국제적 관심이 높아졌다. 무르만스크 선언 이후 북극해를 둘러싼 8개 국가는 1989년부터 북극해 해양환경보호 공동협력 차원에서 본격적인 논의를 시작하였고, 1991년 북극권 환경보호 선언, 1993년 누크 선언문, 1996년 이누비크 선언 등을 통해 환경보호에 대한 국가 간 협력체계를 강화하면서 마침내 1996년 북극이사회를 설립하였다[1].

북극이사회는 크게 회원국(member states), 상임참가그룹(permanent participants), 옵서버(observers) 등으로 구성된다. 회원국은 미국, 러시아, 캐나다, 노르웨이, 덴마크, 아이슬란드, 핀란드, 스웨덴 등 북극권 8개 국가이며, 상임참가그룹은 6개의 북극권 원주민 그룹으로 구성되며, 비북극권 국가들은 옵저버로 참여할 수 있다. 옵저버는 워킹그룹에 참여하거나 프로젝트의 재정후원, 지역협력, 북극연구 전문가 등의 형태로 참여할 수 있으며, 잠정옵저버(ad-hoc observer) 국가는 2년 마다 개최되는 장관회의에서 만장일치 승인을 받는 경우 정식옵저버 국가가 될 수 있다. 정식옵서버는 이사회 내에서 의사결정권한은 없으나, 이사회 내 각종 회의와 워킹그룹에 참여가 가능하다.

[표 2-8] 옵서버 국가의 활동 권한

구분	정식옵서버	잠정옵서버
회의 참여	상시 참석 가능	초청장 수령시 참석 가능
회의 발언권	발언 또는 서면발언서 제출 가능	발언권 없음
워킹그룹 활동	프로젝트 제안 가능	단순 참여

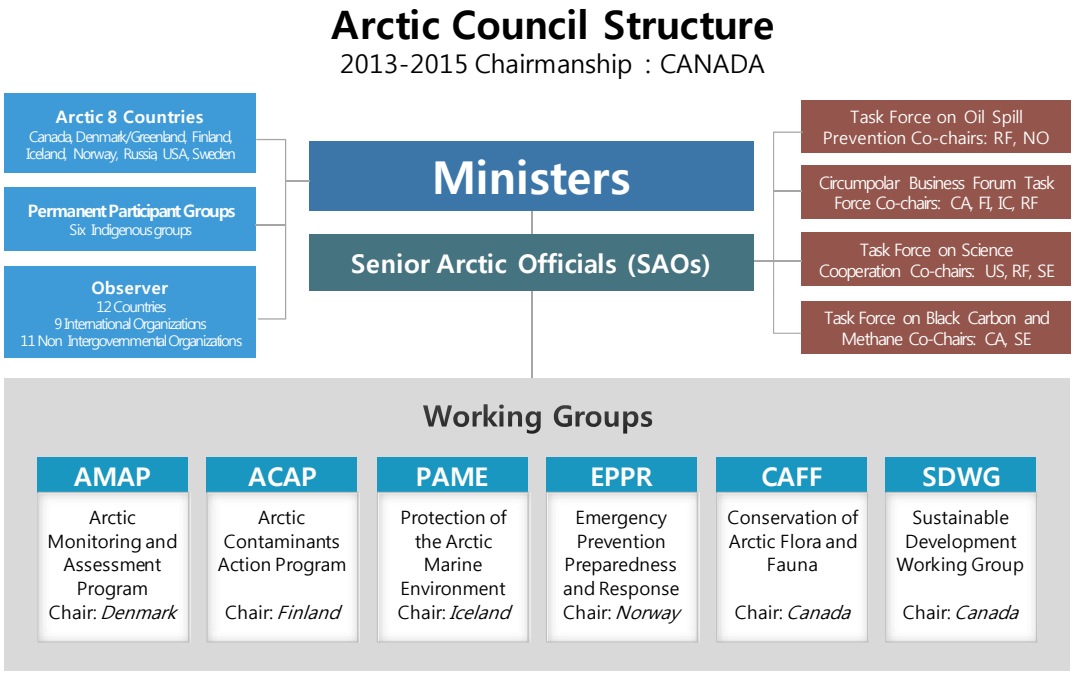
1) 대외경제정책연구원, 북극이사회의 정책동향과 시사점, 2014.12.22

우리나라는 2008년 11월 노르웨이 코토케이노에서 열린 고위실무자 회의에서 북극과학연구 및 활동을 인정받아 임시옵서버 지위를 획득했으며, 2013년 5월 중국, 일본, 이탈리아, 싱가폴, 인도와 함께 옵서버 자격을 획득했다. 북극이사회는 우리나라의 북극다산과학기지 개설('02년, 노르웨이), 쇄빙연구선 아라온호 건조('09년) 등 연구 인프라 구축과 다양한 국제공동 연구 활동을 높게 인정했으며, 특히 제19차 북극과학최고회의 개최('11.3/서울)와 아라온호의 남극해 러시아 어선 구조('11.12) 등 극지와 관련한 국제사회 활동에 지속적으로 기여해 온 결과가 옵서버 지위 획득으로 이어진 것으로 평가되고 있다.

북극이사회 회의는 장관회의(Ministerial Meeting)와 고위실무자회의(Senior Arctic Officials, SAOs)로 조직된다[2]. 장관회의는 최고의사결정기구로 2년마다 의장국에서 개최되며, 8개국 외무담당장관들이 참가하여 고위실무자회의에서 제출된 의제들을 확정한다. 의장은 회원국 8개국이 2년씩 의장국 임무를 수행한다. 고위실무자회의는 실무적인 사항을 논의하는 기구로 북극이사회 장관급회의에서 결정된 사안에 따라 각 워킹그룹에서 수행하는 프로젝트의 진행사항을 점검하여 장관급 회의에 보고하고 선언문을 준비한다. 일반적으로 고위실무자 회의는 6개월 마다 의장국 도시에서 개최되며 의장국의 외무부처 국장이 회의의장을 담당한다. 북극이사회의 6개 워킹그룹이 업무현황과 업무 방향을 점검한다.

KOPRI 극지연구소

2) 진동민, 서현교, 최선웅, 북극의 관리체제와 국제기구: 북극이사회(Arctic Council)를 중심으로, Ocean and Polar research, 32(1), 2010



<그림 2-14. 북극이사회 구조>

북극이사회는 북극권의 환경오염 방지와 원주민 보호, 지속가능한 개발을 위한 협력 등을 주 목적으로 하고 있다. 북극과 관련된 국제이슈를 확인하고 북극 생태계 보호, 원주민 건강과 복지, 북극자원의 지속적인 개발 및 활용 등을 위한 다양한 활동을 하고 있다. 특히 6개의 워킹그룹 운영을 통해 환경오염, 북극 생물자원 보호, 기후변화, 환경정책, 북극의 지속가능한 개발 등에 대해 심도있는 연구와 대응을 진행 중이다. 이 중 지속가능한 워킹그룹(SDWG)[3]은 북극의 자원개발 및 북극 공동체의 경제·사회적 환경개선뿐만 아니라 원주민들의 복지 증진 등 다양한 내용을 포괄하고 있다.

3) Sustainable Development Working Group(SDWG), Arctic Council

[표 2-9] 북극이사회의 워킹그룹

워킹그룹	출범	목적	의장국
ACAP	2006	▪ 북극이사회 환경오염 관리 대응 활동 수행 ▪ 환경오염물질 배출제한과 감축을 위한 노력확대 ▪ 국제기구 및 각국과 협력 모색	핀란드
AMAP	1991	▪ 북극 오염문제를 모니터링 · 평가 · 예방	덴마크
CAFF	1991	▪ 북극 생물자원의 지속성 유지 ▪ 기후변화 등 관련 이슈 주관	캐나다
EPPR	1991	▪ 북국 환경 비상사태의 대응 관리 평가 ▪ 북극환경의 보호와 지속가능한 개발	노르웨이
PAME	1991	▪ 비상사태를 제외한 북극 해양 환경정책 ▪ 북극해양오염예방 및 통제 등에 관한 협력 조율 ▪ 북극해양 환경보호와 관련된 중점 과제 제시	아이슬란드
SDWG	1998	▪ 북극의 지속가능한 개발 ▪ 북극공동체의 경제 · 사회적 환경개선	캐나다

북극이사회가 북극의 이익을 대표하는 기구임에도 불구하고 북극이사회를 북극 문제 전체를 포괄적으로 처리하고 관리하는 기구로 인식하기에는 여전히 한계점이 존재한다. 우선적으로, 북극이사회는 북극권 국가들만이 회원국으로 참여할 수 있다는 점에서 북극권 국가들의 협의체이며, 비북극권 국가들의 활동영역과 참여는 상대적으로 제한적일 수밖에 없다. 비북극권 국가들이 북극활동에 참여하기 위해서는 북극이사회의 옵저버에 가입하여, 워킹그룹을 통해 참여하는 것이 가장 바람직하다. 북극권 연안 5개국(미국, 러시아, 캐나다, 노르웨이, 덴마크)은 같은 북극이사회의 회원국이지만 북극해에 직접 접하고 있지 않은 아이슬란드, 핀란드, 스웨덴 등을 북극해 관련한 주요 정책결정 과정에서 배제시키는 등 북극 거버넌스의 배타적 성격을 더욱 강화하면서 그들만의 존재가치를 차별화하는 움직임이 있다. 특히 2008년 5월 그린란드 일루이삿(Illuissat)에서 개최된 북극해 5개 연안국 외무장관 회담에서는 일루이삿 선언[4]을 통해 연안 5개국은 유럽을 중심으로 논의되던 북극에 남극과 같은 새로운 국제법 체제를 도입하는 것에 반대하고, 200해리 배타적 경제수역(EEZ)[5] 및 대륙붕 영유권 확대를 규정한

4) Ilulissat Declaration, Arctic Ocean (United States, Russia, Canada, Norway and Denmark), 2008
5) Exclusive Economic Zone, EEZ

UN해양법을 북극해에 존재하는 국제질서로 인정하는 선언을 했다. 이는 북극권 연안 5개국이 해저 대륙붕을 최대한 확보하고 나아가 북극과 관련된 조약이 체결되는 경우 발생할 수 있는 불이익에 공동으로 대처하기 위한 것이었다.

두 번째로 북극이사회는 정부간 협의체(High Forum)이기는 하지만 정식 국제기구는 아니라는 점이다. 따라서 북극이사회에서 결의된 선언문(Declaration)은 회원국과 구성원의 자발적 참여 및 협력에 기반할 뿐 강제성이나 법적 구속력은 존재하지 않는 선언적 효과에 불과하다. 따라서 지속가능 개발, 북극환경의 보호, 원주민 보호 등과 같은 비교적 갈등이 적게 나타나는 환경보호 및 과학 연구 분야에 주로 국한되어 있으며 영유권 및 해양 관할권, 군사 및 안보 문제 등의 문제는 다루지 않고 있다는 한계가 있다.

이러한 한계에도 불구하고 미국, 러시아, 중국 등 세계의 강국들이 북극이사회의 회원국 또는 옵서버로 활동하고 있음에 따라 국제사회에서 이 기구의 목소리가 커지고 있고, 북극이사회가 북극환경, 에너지 개발, 항로 연구 등을 관할하는 최고기구임은 명백한 사실이다. 북극에 대한 국제사회의 관심과 참여에 부응하기 위해 북극이사회는 우리나라를 비롯해 6개국의 신규 정식 옵서버 가입을 승인하여 북극 이슈 해결을 위해 국제사회에 대한 개방과 협력을 강화하고 있으며, 북극이사회 외에도 북극 관련 이슈를 대응하는 정부간 여러 포럼이 구성되어 운영되고 있다. 이 같은 북극이사회 관련 동향 및 이슈를 비춰봤을 때, 우리나라가 국익 확보를 위한 본격적인 북극 진출의 선제 요건으로 북극이사회 내에서 활동을 강화하고 실질적으로 기여하는 것이 필수적 이다. 즉, 북극이사회 옵서버 국가로서 북극 관련 이슈 해결을 위한 프로젝트 참여 등 실질적 기여가 요구되는데, 관련 연구 및 회의에 대한 국내 전문가의 참여 및 활발한 교류와 함께 기존 국내 극지 연구사업과 연계를 통한 기여도가 먼저 검토되어야 할 것이다. 극지연구소 등 극지연구 관련 기관 중심의 극지 자연과학 연구나 국내 사회과학 분야 연구기관의 북극 원주민을 포함한 북극 사회경제학적 연구사업을 추진하고, 북극 원주민과의 교류 및 관련 사업발굴을 통해 북극 원주민 이슈 해결에 기여하는 것이 우리나라가 북극권 활동을 확대하는 디딤돌이 될 것이다.

우리나라의 북극이사회 옵서버 지휘는 앞으로 북극 연안국 또는 옵서버 국가들과의 양자협력 기회 확대, 각종 워킹그룹의 참여를 통한 전문가 네트워크 구축을 가능하게 할 것이다. 또한 이사회의 주요 결정에 영향력을 행사하고 북극항

로 활용, 가스와 석유 등 미개척 자원개발 등 북극해 관련 각종 활동 시 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 북극이사회 옵서버 지휘를 계속 유지하고 활용하기 위해서는 이사회가 추진하고 있는 북극 환경보호 및 지속가능한 개발, 원주민 지원과 과학기술적 연구활동에 대한 성과가 필요하다. 북극 정책 및 비즈니스에 대한 법·제도를 개선하고, 북극 조사·연구에 대한 인프라 확충에 따른 실질적인 성과 창출을 위한 국가차원의 적극적인 검토가 필요할 때이다.

나. 비정부간 연구·운영 협의체[6),7)]

(1) 국제북극과학위원회(IASC)

북극 과학 연구를 하는 국가들의 협력을 권장하고 촉진하려는 목적으로 1990년에 창설되었으며 현재 우리나라를 포함해 19개의 회원국이 있다. 북극은 매우 넓고 얼음이 뒤덮인 육지와 빙하로 가득한 바다로 이루어져 있어 접근하기 어렵기 때문에 단독연구는 사실상 불가능하다. 따라서 북극 과학자들은 지역을 나눠 연구하는 등 서로 힘을 모아 협력 연구를 해야 할 필요가 있으며 이러한 요구에 부응해 국제북극과학위원회는 북극 과학자들의 연구계획을 수립 및 상호조정하며, 최신 정보를 공유하고 공동연구기회를 제공한다. 또한 북극의 과학이슈에 대한 전문가 조언, 일반 대중을 대상으로 과학정보 제공, 차세대 북극 과학자 육성 등의 활동을 하고 있다.

(2) 태평양북극그룹(PAG)

태평양북극그룹은 국제북극과학위원회의 산하 기관으로 태평양을 둘러싸고 있는 우리나라, 미국, 캐나다, 중국, 일본, 러시아 등 6개국의 극지 연구 기관과 극지 연구자로 구성된 협의 기구이다. 주로 극지 연구 기관(우리나라는 극지연구소)과의 연구협력 도모, 쇄빙선이나 극지기지 등의 공동 활용방안 모색, 연구자료와 정보 공유 등의 활동을 한다.

(3) 북극연구운영자회의(FARO)

북극연구운영자회의는 1998년에 설립된 비정부 국제기구이다. 기관 및 국가간 협력을 통해 쇄빙선이나 기지 같은 북극 연구 지원 시설과 물자 지원에 대한 정보 교환 및 협력을 강화하려는 목적으로 설립되었다. 우리나라에서는 다산과

6) 한국과학기술한림원, 북극연구의 국제적인 동향과 우리나라 북극연구의 미래 전략에 관한 연구, 2011
7) 극지연구소, 북극해를 말하다, 2012

학기지, 쇄빙연구선 아라온호 같은 극지 연구 지원 시설을 운영하고 있는 극지연구소가 대표로 참여하고 있으며, 우리나라를 포함한 총 회원국은 18개국이다.

(4) 북극 니알슨 과학자운영회의(NySMAC)

1994년에 출범한 국제기구이다. 니알슨은 노르웨이의 최북단 지역에 위치한 스피츠베르겐 섬의 한 마을로 이곳에는 우리나라를 비롯해 독일, 프랑스 일본 등 11개국이 크고 작은 기지를 운영하며 과학 연구 활동을 벌이고 있어 과학기지촌으로도 불린다. 북극 니알슨 과학자운영회의는 이 과학기지촌에 모인 나라 사이의 협력을 도모하는 일을 하고 있다. 니알슨 과학기지촌의 각국 과학자 대표들은 해마다 북극 니알슨 과학자운영회의에 참석해 서로의 연구 활동을 소개하여 중복연구를 방지하고, 상호 간의 연구 협력을 강화하고 있다. 또한 현지장비 시설의 공동 활용 방안에 대해 논의한다.

(5) 북극해양과학위원회(AOSB)

태평양북극그룹과 마찬가지로 국제북극과학위원회의 산하 기관으로, 북극해와 그 주변 지역 연구를 수행하는 국가와 연구 기관들의 협력을 조율하고 강화하기 위해 1984년에 설립되었으며, 특히 다학제간, 다국적 북극과학 연구를 지원하고 있다. 주요 활동으로는 연구에 필요한 기금이나 물자 조달, 북극 연구협력 계획 작성, 기관 및 국가별 연구결과 공유, 북극 관련 회의 및 이벤트 개최 등 다양한 활동을 추진 중이다.

(6) 아시아극지과학포럼(AFoPS)

우리나라가 주도하고 일본과 중국의 극지연구자들이 참여하여 2004년에 창설된 국제기구이다. 상대적으로 극지 연구의 변방인 아시아 국가들이 서로 협력하여 연구함으로써 국제 사회에서 극지 분야에 대한 확고한 주도권을 갖자는 취지로 설립되었다. 이 포럼은 아시아 국가들의 관심 증가로 그 규모가 해마다 커지고 있어 인도와 말레이시아가 추가 회원국이 되었으며, 베트남, 태국, 인도네시아, 필리핀 등의 전문가들도 해마다 열리는 정기회의에 참여하고 있다.

(7) 북극과학최고회의(ASSW)

북극과학위원회 주관 하 북극연구 활동과 관련한 비정부국제기구들이 매년 개최하는 행사로 북극해양과학위원회(AOSB), 북극과학위원회(IASC), 북극연구운영자회의(FARO) 등 북극연구를 위한 국제기구 및 조직들이 참여하는 북극연

구 관련 대규모 회의이다. 북극연구 국가 간 극지연구 및 활동 전 분야에 걸친 협력체제 구축을 목표로 매년 개최되고 있다.

(8) 극지과학신진연구자학회(APECS)

대학생, 석·박사 등을 중심으로 미래 북극 연구과학자를 양성하고 교육하기 위해 전공 구분 없이 극지연구 참여를 독려하고 있다. 주요 활동으로는 미래 극지 연구 세대들에게 현장학습 기회 제공, 과학자들 간의 협력 네트워크 구축, 전문가 멘토링을 통한 전문 경력개발 기회 제공 등을 추진하고 있다

[표 2-10] 기타 북극 국제기구

기구 및 조직	설립	개요 및 활동	회원국
국제북극 과학위원회 (IASC)	'90	▪ 북극연구자 및 전문가 간의 국제기구로 북극 연구 참여국가들을 대상으로 국제협력 권장 및 촉진기능 수행	미국 외 17개국
태평양북극그룹 (PAG)	'06	▪ 북극과학 연구에 종사하는 태평양 지역의 연구기관 및 개인연구자 간의 협의체로 북극연구 프로그램에 대한 정보 및 데이터 공유하고 과학연구 계획을 조율	미국, 러시아, 캐나다 등 3개국
북극연구 운영자회의 (FARO)	'98	▪ 북극연구에 필요한 보급지원, 시설운영 등의 효율화를 위한 국제협력체계 구축 및 정보공유	미국 등 8개국
북극 니알슨 과학자운영회의 (NySMAC)	'94	▪ 노르웨이 니알슨 과학기지촌에 기지를 보유한 국가 및 기관간 연구협력 및 조율을 위해 설립 ▪ 국가간 연구중복 방지, 현지 환경규범 및 규정 부합성 등에 대해 검토	노르웨이 등 11개국
북극해양 과학위원회 (AOSB)	'84	▪ 북극해와 그 주변지역 연구를 수행하는 국가와 연구기관들의 협력관계 구축 및 강화	캐나다, 중국 등 17개국

기구 및 조직	설립	개요 및 활동	회원국
아시아 극지과학포럼 (AFoPS)	'05	▪ 한·중·일의 발의로 구성된 아시아 국가간 극지과학 포럼	중국, 일본 등 2개국
북극과학 최고회의 (ASSW)	'99	▪ 북극 과학연구 관련 주요 국제기구들이 상호간 정보교환 및 협력체제 구축 활동	미국, 러시아, 캐나다 등 북극연구국가
극지과학 신진연구자학회 (APECS)	'08	▪ 대학생 및 젊은 석·박사 등 신진 연구자들을 대상으로 북극연구 참여기회 제공 및 네트워크 구축 지원	미국, 영국 등 17개국

2. 주요 국가별 북극정책 동향

세계 최초로 북극에 관한 전략을 발표한 나라는 노르웨이이다. 노르웨이는 북극과 노르웨이 북방 지역에 대해 늘어나는 국제적인 관심에 대해 노르웨이의 가장 중요한 전략지이자 우선시되는 지역인 하이 노스(High North)의 지속가능한 성장과 발전을 이루기 위해 '하이노스전략(High North Strategy)을 2006년에 발표하였다. 그 후 러시아(2008년), 미국(2009년), 캐나다(2010년), 핀란드(2010년), 덴마크(2011년) 등 북극권 국가들이 잇달아 북극 전략을 발표하였다. 북극권 국가들의 북극전략은 주로 북극항로와 자원개발 등에서 자국의 권익을 지키고, 북극의 환경과 기후변화를 연구하며, 원주민을 보호하겠다는 내용을 담고 있다. 비북극권 국가 중에서는 영국, 독일 등이 북극정책을 발표하였으며, 우리나라 또한 '북극정책 기본계획'을 발표하여 제도기반 확충에 힘쓰기 위해 노력하고 있다.

가. 미국[8)]

미국은 연안국으로서 북극해에 대한 주권적 권리를 가지고 있고, 북극이사회 회원국으로 북극에 대한 영향력을 확대하고자 2009년에 'Arctic Region Policy'를 수립해 북극해 정책을 구체화하고 있으며, 2011년에는 국방성에서 북극권 관련 보고서를 발표하였고, 오바마 정부에서도 2013년에 북극권 국가전략을 발표하였다. 해당 보고서 내용은 북극에서 형성되고 있는 경제적 기회를 이용하기 위하여 개입강화 의지를 나타내고 있다.

미국의 북극 정책목표는 다음 6가지로 제시되고 있다.

- 북극지역과 관련된 국가안보와 국토안보의 필요성을 충족시킨다.
- 북극의 환경을 보호하고 생물학적 자원을 보존한다.
- 북극지역의 천연자원관리와 경제개발이 환경파괴 없이 지속가능하다는 것을 보장한다.
- 미국, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 러시아연방, 스웨덴 등 8개 북극국가 간의 국제협력을 강화한다.
- 북극 원주민 집단을 지역 문제 의사결정에 참여시킨다.
- 지방, 지역 나아가 지구환경 문제에 대한 과학적 모니터링과 연구활동을

8) 한국해양수산개발원, 북극해에 대한 국제 동향과 우리의 대응 방향, 해양수산2호, 2011

증진시킨다.

미국은 자국의 안보 이익이 우선이며, 책임감 있는 북극 지역 관리방안을 모색하고, 국제협력 강화에 대한 내용을 포함하고 있다. 평화와 안정성, 최선의 정보를 이용한 의사결정, 혁신적인 협의 추구, 국제 파트너십, 알래스카 원주민과의 협력 도모에 관해 정책적으로 추진하고자 한다. 북극해 안보, 자원개발 중요성, 원주민 역할, 러시아 협력 및 북서항로 개발 등 북극에 대한 영향력 강화를 추진하는 한편, 대규모 인프라 구축 및 연구 활동 투자, 전 방위적 북극영향력 유지 및 확대를 추진한다. 이를 위해 미국, 일본 공동의 알래스카 횡단형 정밀 자동 기상관측 장비 디자인 및 인프라 구축을 통한 알래스카 기후변화 모니터링 시스템을 개발 및 적용한다.

나. 러시아[9)]

러시아는 자타가 공인하는 북극해의 맹주로서 오랫동안 바렌츠 해와 야말반도를 중심으로 북극해를 활용해 왔다. 2008년에 북극 에너지 개발과 기반시설 개선, 국가안보를 골자로 하는 'Fundamentals of State Policy of the Russian Federation in the Arctic in the period up to 2020 and beyond'의 북극 관련 국가전략을 수립하였으며, 이를 통해 해양국가 러시아로 거듭나기 위한 다양한 노력을 시도하고 있다. 이는 러시아가 북극지역을 국가적 차원에서 본격적으로 개발하겠다는 것을 대내외적으로 표명한 것이라고 할 수 있다. 이 계획은 연안의 가스 하이드레이트 개발, 대륙붕 경계획정, 북동항로 활성화 및 통합관리 시스템 등의 추진을 주요 내용으로 하고 있다. 북극지역에서 러시아의 지식 축적과 인적 자산의 개발을 통한 국가적, 산업적, 개인적 안전을 보장하고 경제의 혁신적 발전과 다양화를 통한 북극 천연자원의 안정적 사용을 도모하고 있다. 또한 수문기상국, 과학아카데미 주도로 동토층 융해현상을 지속적으로 감시하기 위한 시스템 운영 등 지반 구조변화 진단과 대응책을 마련하고 있다.

러시아는 연안국 중 가장 공격적으로 북극해 개발 및 군사정책을 펼치고 있다고 할 수 있다. 우리나라의 경우, 주로 이용하게 될 북동항로는 러시아 연안을 경유하기 때문에 러시아의 북동항로 활성화에 대한 관련 법률과 규제내용을 염두할 필요가 있으며, 북극 에너지자원의 대다수가 러시아쪽 대륙붕에 매장되어

9) 대외경제정책연구원, 러시아의 북극개발 전략과 한·러 협력의 새로운 가능성, 2013.12.30

있는 만큼, 향후 자원탐사를 위한 연구·조사 활동을 강화하기 위해서는 러시아와의 협력관계가 절대적이라 할 수 있다.

러시아는 2020북극계획에서 “어떠한 정치, 군사적 조건에서도 군사 안보를 보장해 줄 특수부대를 창설해 북극 지역에 배치해야 한다.”고 강조하고 있다. 북극 보호에 임무를 딘 특수부대를 창설하자는 제안은 처음이며 옛 소련 국가보안위원회(KGB)의 후신으로 국경 수비를 책임지는 연방보안국(FSB)이 북극 지역을 더 엄격하게 통제하려는 것이다.

북극 주권 확보를 위한 단계적 전략도 제시했다. 1단계(2008~2009년)에서는 광범위한 지질, 지리적 탐사와 연구를 통해 북극해의 로모노소프 해령(해저산맥) 등 여러 해역을 러시아 영토로 인정받기 위한 법적 토대를 마련하라고 요구했다. 2단계(2011~2015)에서는 북극 지역의 영토 경계를 국제법적으로 확정하고, 마지막 3단계(2016~2020)에서는 이 지역을 러시아의 주요한 전략적 자원 기지로 변화시킬 것을 계획하고 있다.

[표 2-11] 러시아의 북극해 단계별 개발 전략

1단계 (2008~2010년)	▪ 러시아 북극해의 대륙붕 외연확대를 입증하기 위한 자료준비 일환에서 지질조사작업, 수로 측량작업, 해저지형지도 작업 등 실시 ▪ 러시아 북극지역에 매장된 천연자원의 효율적인 개발을 위한 국제협력 확대 ▪ 러시아 예산 및 예산외 수입을 통해 지원하는 ‘2020년까지의 러시아 북극지역 개발 프로그램’을 포함하는 북극지역 특별 프로그램 추진 ▪ 민관협력에 의한 러시아 북극지역 개발과 관련된 투자 프로젝트 추진
2단계 (2011~2015년)	▪ 러시아 북극해 대륙붕 연장을 위한 국제법적 절차 추진, 이를 통해 북극지역에서의 에너지 자원 채굴 및 수송부문에서 러시아의 경쟁우위 실현 ▪ 북극지역 해양생물자원 및 광물자원 개발을 통해 러시아 북극지역의 경제구조 개선문제 해결 ▪ 유라시아 대륙의 수송 문제를 해결하기 위해 북극해 운송 인프라 및 북극항로 통신운영시스템 구축 및 개발 ▪ 러시아 북극지역의 단일 정보시스템 구축 완료
3단계 (2016~2022년)	▪ 러시아 북극지역을 주요한 전략적 자원 공급기지로 발전 ▪ 중장기적인 북극지역 개발정책 추진으로 북극지역에서 자국의 유리한 위치 선점 및 주도적 역할 수행 ▪ 북극지역에서 러시아의 입지 강화, 국제적 안보 공고, 북극지역 평화 및 안정을 위해 러시아의 경쟁우위를 더욱 확대

다. 캐나다[10)]

캐나다는 러시아의 북극해 개발 본격화에 자극을 받아 북극지역 개발전략을 구체화하고 있다. 캐나다는 2009년 7월, 북극지역에 대한 전략보고서인 'Canada's northern Strategy our north, Our Heritage, Our Future'를 발표하고, 북극지역의 영유권 확보 및 강화, 사회-경제 개발 촉진, 환경보호, 지역자치권 보장, 북서항로 개척 등을 전략목표로 적극적으로 추진하고 있다. 2013년부터 2015년까지 북극이사회 의장국으로 북극의 환경보호, 지속가능한 개발, 원주민 복지 등을 핵심과제로 추진 중이다.

또한 북극지역 개발에 따른 생태계 파괴를 줄이기 위해 북극지역에 새로운 국립생태공원을 조성하고 UNESCO 지정 세계문화유산으로 등록했으며, 새로운 국립공원을 지속적으로 조성하고 있다.

이와 더불어 북극고래를 포함하여 북극 동식물을 보호하기 위해 배핀섬과 그 주변지역에 새롭게 3개 국립야생보호지역 조성을 계획하고 있다. 캐나다는 북극해 해양 오염에 대한 대처능력을 강화하고 있으며, 해양 생태계 보호를 위해 주변국들과 긴밀한 협력관계를 유지하고 있다.

캐나다 교통부는 북극지역 해양오염 대처 능력을 상시적으로 모니터링하고, 해양경비대의 비상사태 대처를 위한 장비 마련 및 긴급 시스템 구축을 지원하고 있다. 또한 캐나다는 북극지역에 있는 폐광과 주변 오염지역의 환경피해를 원상복귀시키는 프로그램을 추진하고 있다. 이 프로그램에 따라 북극지역에서 자원개발 사업을 수행하는 모든 기업들은 엄격한 환경평가를 받아야 하고, 폐광계획을 세워야 하며, 광산 운영의 안전성과 환경기준을 충족시켜야 한다.

캐나다는 추가적인 쇄빙연구선 확보와 북극기지 설치 등을 통해 북극 연구의 선도국가로 도약을 추진 중이며, 북극해와 관련된 국제협력 관계를 개선하고 영토 강화를 위해 북극 지역 원주민 참여를 지원하고 있다.

라. 그린란드(덴마크)[11)]

그린란드는 세계에서 가장 큰 섬으로서 덴마크 자치령이었지만, 2009년에 자

10) 한국해양수산개발원, 북극해에 대한 국제 동향과 우리의 대응 방향, 해양수산2호, 2011
11) 대외경제정책연구원, 북극이사회의 정책동향과 시사점, 2014.12.26

치 정부가 수립되면서 수출 규제, 외교안보 정책 등을 제외한 분야에서 권한을 행사하게 되었다. 그린란드는 자치정부 수립 후 덴마크에서 지원되던 보조금이 중단되었지만 지하자원 채굴과 사용에 대한 권리를 가지게 되어 외국과의 협력 여하에 따라 앞으로 경제적으로 도약할 가능성이 높다고 할 수 있다.

그린란드 영토의 대부분은 빙하로 덮여 있으며, 해안가를 따라 빙하가 녹은 지역에 도시들이 형성되어 있다. 그린란드는 아직까지 세계에 잘 알려지지 않은 지역으로서, 금, 희토류, 니켈, 철 등 광물자원과 수산물자원이 풍부한 지역이다. 첨단산업 제품에 사용되는 희토류의 매장량은 중국의 40배에 이르고 세계 원유의 13%인 900억 배럴, 천연가스의 30%인 47조m^3가 매장된 것으로 알려진 만큼 그린란드를 둘러싼 자원확보 움직임이 미국, 캐나다, 호주, 영국 등 자원탐사 선진국들을 중심으로 한 탐사활동이 진행중이다.

그린란드는 낮은 소득수준을 개선하기 위해 자원개발에 박차를 가하는 한편 대륙붕 입증을 통해 배타적 경제수역을 넓히려는 노력을 하고 있으며, 덴마크 정부는 2011년에 'The Kingdom of Denmark's Strategy for the the Arctic 2011-2020'을 수립해 그린란드의 자원 개발을 중심으로 한 북극해 정책을 펼치고 있다.

덴마크는 북극에서의 해상안전을 확보하고 관광 및 에너지 자원 개발, 기후변화 현상 연구 등에 중점을 두고 있다. 북극 이사회의 권한 강화와 함께 대륙붕 설정 등 연안국 관련 문제해결을 위해 연안 5개국 상호간 협력을 강조하고 있다.

마. 노르웨이[12)]

노르웨이 정부는 2006년 'The Norwegian Government's High North Strategy'을 통해 바렌츠 해와 스발바르 군도를 기점으로 한 북극해 정책을 추진하였으며, 2009년에는 구체적인 실행방안이 담긴 'new Building Blocks in the North'보고서를 발간했다. 해당 보고서에는 7대 정치적 우선순위와 7대 실행 방향을 포함하고 있으며, 이를 기반으로 지속적인 노력을 하고 있다.

○ 7대 정치적 우선순위

- 신뢰할 수 있는, 일관되고 예측 가능한 방식으로 북극에서의 권한 행사
- 북극에 대한 지식을 개발하는 국제적인 노력에 앞장섬

12) 대외경제정책연구원, 북극이사회의 정책동향과 시사점, 2014.12.26

- 북극 환경과 천연 자원의 최선의 청지기
- 바렌츠 해 석유 개발에 적합한 프레임워크 제공 및 개발활동 역량 강화
- 북극 원주민의 생활, 전통문화 보호
- 북극의 인적 협력
- 러시아와의 협력 강화

○ 7대 실행 방향

- 북극지역 기후 및 환경에 대한 지식발전 추구
- 북방수역에서의 감시, 긴급대응 및 해양안전시스템 개선
- 연해 석유 및 재생가능 해양자원의 지속가능한 이용 촉진
- 북극에서의 해양산업 발전 촉진
- 북극에서의 기반시설 추가 발전
- 북방에서의 단호한 주권행사와 국경협력 강화
- 토착민의 문화와 생활 보호

특히 2010년에는 러시아와 40년 동안 끌어온 바렌츠 해에서의 해양 경제 문제를 해결해 북극해를 이용하고 개발하는데 가장 큰 걸림돌을 제거했다. 또한 발전된 조선, 항해, 수산기술을 바탕으로 북극해에 대한 새로운 강자로 부상하고 있다.

우리나라의 경우, 지난 2012년 9월에 한-노르웨이 북극 관련 양자협의회를 개최하였으며, 이는 북극 관련 주제를 중점적으로 다루는 양국 정부간 최초의 협의회로써 우리나라의 북극 지역 진출 및 과학 조사연구 활동 등을 촉진하는 계기가 되었다. 노르웨이는 규모면에서 큰 나라는 아니지만 북극 관련 기술력이 우수한 나라로서 북극개발에 대해 러시아와 미국이 노르웨이를 두고 외교전을 벌이고 있으며 우리나라 또한 북극 진출의 활성화를 위해서는 노르웨이와의 양자협력을 권고히 해야만 한다.

바. 아이슬란드

2007년 아이슬란드 외무부 장관은 연례 의회 연설에서 아이슬란드의 외교정책에 있어서 북극은 새로운 핵심 요소라고 선언했다. 아이슬란드의 영향력 확대를 위해 옵서버국가들을 적극 접촉, Arctic Circle을 통해 자원개발 및 수산업 등의 논의를 추진 중이다. Arctic Circle은 아이슬란드 주도로 2013년에 창설되었

KOPRI 극지연구소

으며, 북극이사회 활동을 촉진하고 보조하는 국제 포럼으로, 이사회보다는 광범위한 이슈를 논의하고 다양한 전문가가 참여해 운영되고 있다.

사. 스웨덴[13)]

스웨덴 정부는 2011년 북극정책을 발표하고 북극지역을 통한 경제적, 사회적, 환경적으로 지속가능한 개발을 도모하고 있다. 기후와 환경, 경제발전, 인류문제 등 세 가지 우선순위를 표명하고 있다. 기후와 환경 측면에서는 기후 변화, 환경보호, 생물 다양성, 기후와 환경 연구를 포함하고 있으며, 경제개발은 북극의 자유무역, 북극 바렌츠 지역의 산업 정책과 관련한 연구를 진행 중이다. 인류문제 측면에서는 북극의 지리적 조건이 건강에 미치는 영향, 기후 변화와 유해물질이 인구에 미치는 영향, 토착 문화와 산업의 영향 등 북극지역의 포괄적인 영향에 대해 연구하고 있다.

아. 핀란드[14)]

2010년 북극 정책을 수립했으며, 대외적 관계를 강조하면서 안보와 환경, 경제, 인프라, 원주민 등 다양한 이슈를 논의하고 있다. 북극 정책에 대해 수송 관계의 개선, 수출의 진흥, 북극 연구 및 북극 이사회 역할 강화 등을 실행하고 있다.

자. 영국[15)]

영국은 최근 북극 기후변화 등 이슈 증가로 북극권 연구 강화 움직임과 캐나다 등 북극권 국가와의 협력 강화를 추진하고 있다. 기후, 대기화학과 고기후, 생태계, 환경변화와 진화, 빙상, 극지해양 등 6개 분야 중심의 PSPE(Polar Science for Planet Earth) 연구 프로그램을 2009년부터 추진하고 있다. 타 극지연구국가와는 달리 자연과학 이외에도 인문학, 사회과학 연구를 병행하고 있으며, 전 지구적 기후변화 및 환경관련 연구에 투자 비중을 확대하고 있다.

차. 독일[15)]

13) 한국과학시술한림원, 북극연구의 국제적인 동향과 우리나라 북극연구의 미래 전략에 관한 연구, 2011
14) 대외경제정책연구원, 북극해 이슈의 최근 동향과 시사점, 2012.12.10
15) 한국과학기술한림원, 북극연구의 국제적인 동향과 우리나라 북극연구의 미래 전략에 관한 연구, 2011

독일은 개별국으로서 연구활동을 수행하기 보다는 양자간 또는 다자간 협력 체계를 활용하여 추진하고 있다. 기초 및 원천과학연구에 대한 투자비중을 높여, 지구환경변화, 지질 및 지구물리, 극지생태계 연구를 중점적으로 진행하고 있으며, 지구의 과거와 현재, 미래 지구시스템, 고위도 지역의 핵심변화를 규명하기 위해 프로그램을 수립해 활동 중이다.

전지구 시스템(Global System)과 환경과학(Environment Science)연구에 중점을 두고, 북극해 연구, 해양생물 모니터링, 해양물질 자연 발생 조사, 해양지질 탐사, 기술적 해양개발 등에 투자를 하고 있다. 독일해양극지연구소(AWI)의 연구영역은 크게 극지연구, 극지 인근해와 대양을 포함한 해양연구를 병행하며, 매 5년 단위로 중기연구전략을 구성하여 운영 중이다.

카. 중국[16)]

북극이사회 옵서버에 2013년에 가입한 중국은 북극연구에 대하여 국가차원의 전략적 투자를 확대했다. 북극기지 및 쇄빙선 설룡호를 활용한 북극지역의 탐사 및 연구를 강화하고 있으며 국가해양국내 전담부서(북극남극과)를 설치, 니알슨 기지 월동연구 수행, 제2 쇄빙연구선 건조 발표 등을 통해 극지 연구에 대한 적극적인 움직임을 보이고 있다.

극지해양과학, 극지생물과학, 극지고층대기 및 극지빙하로 구분하여 4개 연구 프로그램 중심의 연구 활동을 추진하고 있으며, 극지과학탐사 및 연구수준 제고와 극지탐사사업을 지원하기 위한 중국극지과학 전략연구 기금을 설치했다. 또한 2013년 4월 중국은 아이슬란드와의 자유무역 협정 체결로 북극권 국가와 유대를 강화하는 등 지속적인 국제협력 체계를 다져 나가고 있다.

타. 일본[17)]

일본은 총리실 산하에 '종합해양정책본부'를 북극해와 관련된 정책을 총괄하는 부서로 조정하고, 북극항로 개발 프로젝트를 추진해 2012년에 300명 규모의 북극 답사단을 파견하고, 2013년에 북극대사를 임명하는 등 북극정책을 강화 중이다. 일본은 2013년에 북극이사회 옵서버에 가입하고, 북극연구에 대하여 국가

16) 한국해양수산개발원, 북극해에 대한 국제 동향과 우리의 대응 방향, 해양수산2호, 2011
17) 박영준, 일본의 북극해 진출 정책과 한국에의 시사점, 현대일본학회, 38, 2013.12

차원의 전략적 투자를 확대하고 있다. 또한 다른 나라들과의 컨소시엄 구축을 통해 시료분석, 데이터 해석 및 모델링을 통한 지구과학, 환경과학 등 공동연구를 추진하고 있다. 이를 위해 연구투자 비중을 확대하는 등 연구활동에 전략적 투자와 연구 인프라 강화를 추진 중이다. 자원문제, 방위정책, 북극항로, 과학연구 등의 다양한 분야에서 러시아와의 협력관계 강화에 중점을 두고 있다.

KOPRI
극지연구소

3. 시사점

앞서 살펴본 봐와 같이, 북극을 포함한 극지연구에 참여하는 대부분의 국가들은 기본적으로 극지연구에 대한 국가 정책의 방향을 수립하고, 이를 일관성 있게 범 정부 차원에서 전 부처가 참여하여 수행하고 있다. 이는 극지연구 활동이 국가적 차원의 지원체계를 필요로 하고 있으며 국가의 대외 정책의 중요한 부분을 차지하고 있기 때문이다.

북극에서의 연구와 자원개발 등 다양한 활동은 북극이사회라는 틀 안에서 국가 간의 협력을 통해 보장 및 운영되고 있다. 북극이사회는 북극 오염과 자연파괴를 방지하고 원주민 보호 및 지속가능한 개발을 정책적으로 지향하고 있으며, 이를 6개 워킹그룹을 통해 구체적으로 실행하고 있다. 현재 북극이사회 회원국 및 옵서버 국가들의 북극 정책을 살펴보면 북극의 환경보호와 연구, 자원개발에 초점을 맞춰 정책을 마련하고 구체적인 실행방안을 마련해 추진하고 있다.

북극은 경제적인 매력에 앞서 인류가 공동으로 보호해야 할 대상이라는 인식을 견지하고, 북극 연안국과 장기적이고 일관된 신뢰형성이 필요하다. 우리나라는 옵서버 자격 획득 및 북극정책 기본계획 수립을 통해 북극 조사·연구 활동을 위한 기반을 마련한 만큼 단계적으로 환경보호를 위한 과학조사 활동 및 원주민 공동체 지원 등 옵서버 국가로서 북극이사회가 요구하는 책무를 충실히 수행하고 동시에 회원국 개별국가와 양자적 관계에서 극해·심해 자원 탐사, 채취기술개발 및 수산협력의 비즈니스 전개방안을 구축함이 바람직하다. 다양한 워킹그룹에 적극 참여하여 기후변화와 환경문제 등 북극권 공통이슈 해결에 기여해야 하고 회원국들과의 협력기반 마련 및 공동자원 개발, 자원탐사와 같은 국가적 차원의 협력기회를 확보해야 한다.

중국 및 독일, 영국 등 비북극권 국가들은 북극이사회 내 역할 강화를 위해 적극적인 연구활동과 자원개발 등 다양한 목적을 염두한 신규 쇄빙연구선을 건조하고 있다. 우리나라 역시 북극 및 국제사회에서의 영향력을 공고히 하기 위해 추가적인 노력이 필요하며, 현재 우리나라의 극지연구 상황을 고려시 기본 인프라로써 쇄빙연구선 확보가 필요하다.

[표 2-12] 타 국가 북극정책 요약

북극 이사회 회원국	연안국	미국	▪ 북극에 대한 영향력 확대를 위한 북극권 국가전략 수립(2013) ▪ 환경 보호 및 과학연구 활동 증진, 국제협력 강화 ▪ 경제적 기회 확대를 위한 자원관리와 지속가능한 개발 강조
		러시아	▪ 북극 에너지 개발과 인프라 개선을 위한 2020 북극계획 추진 ▪ 자원 개발 및 북극항로 활성화 등 경제적 활용방안 적극 모색 ▪ 북극해 물류 인프라 및 통신운영시스템 개선
		캐나다	▪ 북극 영유권 강화 및 경제개발 촉진을 위한 북극전략 수립(2009) ▪ 북극이사회 의장국으로 환경보호, 지속가능개발, 원주민 복지를 핵심과제로 추진 중(2013~2015) ▪ 북극 연구 선도국가로 도약하기 위해 추가 쇄빙연구선 확보 및 북극기지 설치 등 노력 지속
		덴마크	▪ 북극 관광 및 에너지 자원 개발 강조 ▪ 기후변화 현상과 해상안전 확보를 위한 연구활동 및 상호간 협력 강조
		노르웨이	▪ 북극 정책('06) 및 구체적인 실행방안('09) 수립 ▪ 석유 및 재생가능 해양자원 이용 촉진 ▪ 해양산업 발전 및 기반시설 구축
	비연안국	아이슬란드	▪ 북극이사회를 보조하는 Arctic Circle 창설 ▪ 자원개발 및 수산업 관련 국제협력 추진
		스웨덴	▪ 경제, 사회, 지속가능한 개발 관련 북극정책 발표('11) ▪ 북극 자유무역 및 산업정책 연구 추진
		핀란드	▪ 환경과 경제, 인프라, 원주민 등 다양한 이슈를 포괄하는 북극정책 수립 및 추진('10) ▪ 수출 및 물류 개선을 위한 연구 지속
옵서버국		영국	▪ 북극권 연구 강화 및 연안국과의 협력 강화 ▪ 기후, 대기화학, 고기후 등 6개 분야 중심의 PSPE 프로그램 추진 ▪ 인문학과 사회과학 연구 병행
		독일	▪ 지구시스템과 환경과학, 원천기술 연구에 대한 투자 집중 ▪ 국가간 협력체계 적극 활용
		중국	▪ 전담부서 설치 및 북극기지 건설, 제2 쇄빙연구선 건조 등 북극지원 강화 ▪ 극지해양, 생물과학, 기후 등 연구프로그램 운영 및 국제협력 지속
		일본	▪ 북극정책 포괄을 위한 전담부서 배정, 북극대사 임명 ▪ 연구 및 자원, 북극항로 등 다양한 분야에서 러시아와의 협력강화 중점

KOPRI
극지연구소

제 3 절. 쇄빙선에 대한 이해

1. 쇄빙선의 특징

쇄빙선(Ice Breaker)이란 빙해를 자유로이 운항할 수 있도록 쇄빙능력을 갖추어 '얼음을 깨는 배'다. 쇄빙선은 쇄빙능력, 즉 얼음을 깰 수 있는 능력을 갖고 있어, 남극대륙 주변 해역이나 북극해처럼 얼어있는 바다에서도 독자적으로 항해가 가능한 선박을 일컫는다. 선박 본연의 임무를 독자적으로 수행하고, 일반 선박이 결빙해역에서도 항해할 수 있도록 항로를 개척해 줌으로써 운항이 가능하도록 지원한다. 또는 운항하던 선박이 얼음 속에 갇힐 경우 이를 구조하는 역할을 하기도 한다.

얼음을 깨는 특수한 임무를 수행하기 때문에, 쇄빙선은 일반 선박과 구별되는 몇 가지 특징이 있다. 연속적으로 얼음을 깨면서 얼음과의 마찰을 이겨내며 일정한 속도로 항해하기 위해 일반 선박보다 매우 출력이 큰 엔진이 사용된다. 쇄빙 방법은 일차적으로 커다란 엔진의 추진력을 이용해 항로를 가로막고 있는 얼음을 밀어 깨뜨리는 것이다. 이것이 여의치 않을 경우에는, 얼음에 올라타 선박의 무게로 얼음을 눌러 깨기도 한다. 따라서 선박 자체가 무거워야 할 뿐더러 무게중심을 쉽게 옮기는 별도의 장치가 필요하다. 무게중심 이동은 선수에 있는 물을 선미에 있는 탱크 쪽으로 보내면 선수가 가벼워져 얼음 위에 올라타게 되고, 그런 다음 물을 다시 선수 쪽 탱크로 옮겨주면 얼음이 그 무게를 견디지 못하고 깨지는 것이다. 따라서 쇄빙선의 선수는 얼음에 쉽게 올라탈 수 있도록 돌출돼 있는 부분이 없다. 물론 선체 외벽은 얼음에 부딪혀도 안전하도록 매우 두꺼운 철판으로 돼 있다. 그러나 안전을 위해 어느 정도 이상 얼음에 올라타지 못하도록, 그 하부에 특별한 돌출부가 존재한다. 부서진 얼음 조각들은 쇄빙선이 전진할 때 선체 옆으로 부딪히면서 마찰을 일으켜 진행을 방해한다. 그래서 쇄빙선에는 얼음 조각들이 선체에 직접 닿지 않게 하기 위해 선체 옆에서 물이나 공기를 뿜는 분사장치가 설치되기도 한다. 극지환경에서 쇄빙선이 운항을 멈추면 곧바로 선체주변이 얼어붙을 수 있다. 따라서 주변의 얼음을 깨고 탈출할 수 있도록, 인공적으로 신속히 배를 좌우로 흔드는 특수장치를 구비하는 것도 필수적이다.

2. 쇄빙선의 역사

동절기에 대부분 해역이 결빙되는 러시아는 오래 전부터 쇄빙선을 활용하고 있다. 북극해를 따라 형성된 북극항로가 옛날부터 중요한 보급로로 이용되고 있기 때문이다. 1959년에는 최초의 원자력 추진 쇄빙선 레닌호를 건조하여 활용하고 있다. 레닌호는 1959년부터 1989년까지 654,400해리를 운항하였고, 이중에서 560,600해리의 결빙해역을 운항하면서 3,741척의 선박에게 항로를 열어주었다. 또한 남극대륙에 산재한 과학기지의 운영, 보급을 위하여 쇄빙선을 적극 활용하고 있다.

핀란드와 노르웨이를 중심으로 한 북유럽 국가들도 이미 오래 전부터 쇄빙선을 건조해 사용하고 있다. 동절기에 결빙되는 발틱해를 항해하기 위해서는 쇄빙선이 필수이기 때문이다.

캐나다 역시 1970년대 북극해 주변에서 천연자원이 활발히 개발됨에 따라 다수의 쇄빙선을 건조하여 운영하고 있다. 미국은 2차 대전 때 건조된 쇄빙선 4척을 시작으로 '폴라스타'(Polar star), '폴라씨'(Polar sea) 같은, 일반 쇄빙선으로는 가장 강력한 출력을 가진, 쇄빙선을 보유하였으며 최근 차세대 쇄빙연구선 건조를 추진 중에 있다.

상업적 목적뿐 아니라 극지방의 연구, 탐사 활동을 하기 위한 과학활동에서도 쇄빙선이 필수다. 또한 극지해역에서는 제한적이긴 하지만 쇄빙선 대용으로 내빙선을 이용하기도 한다. 내빙선은 얼음을 직접 깨지는 못하지만 선체 외벽 철판을 강화시켜 안전성을 높인 배다.

우리나라에서는 쇄빙연구선이 건조되기 전까지 일반연구선인 온누리호를 이용하여 1992년과 1999년에 남극현장조사를 수행하거나, 외국의 쇄빙선 또는 내빙선을 임차하여 현장조사를 수행하였다. 과다한 임차비용의 부담과 함께 연구활동이 집중되는 남반구 하절기(12~1월)에는 보유국가에서 먼저 사용하고 남는 기간을 임대해 주다보니 임차시기와 기간마저 극히 제한을 받았다. 결국 효율적이고 수준 높은 극지 연구 활동은 불가능한 상황이었다. 2009년 쇄빙연구선 아라온호가 취항함에 따라 독자적으로 결빙해역에 대한 연구활동 수행과 과학기지 보급, 지원이 가능하게 되었다.

3. 쇄빙선의 건조과정과 운영

쇄빙선 건조공정에서 가장 중요한 단계는 정확한 설계이다. 기능과 목적에 따른 선박의 크기, 승선인원 규모와 주요 장착장비, 주요 항해지역, 선박의 안정성 확보를 위해 적용할 선급규정, 쇄빙능력과 일반해역 항해능력 등을 고려하면서 선박 모양을 결정한다. 특히 물속에 잠기는 부분의 굴곡 형태는 일반적으로 항해할 때 추진성능을 좌우할 뿐 아니라 쇄빙능력에도 커다란 영향을 주기 때문이다.

설계된 선형에 따라 축소 제작된 모형선을 사용하여 저항과 자항 등 기본 성능시험을 수행한다. 추가적으로 빙해수조(Ice tank)에서 쇄빙선의 저항추진 성능과 쇄빙능력을 검증하는 시험, 조종시험 같은 다양한 모의시험을 수행한다. 쇄빙연구선 아라온호는 국내에서 저항과 자항 등 기본성능시험을 수행하고, 핀란드에서 빙해수조 모의시험을 실시하여 선형을 확정한 후, 이를 바탕으로 배치도를 작성하며 구조를 설계하는 등 세부적인 작업을 진행하였다.

모든 선박은 완성된 설계도에 따라 철판의 절단과 용접을 반복하면서 선박의 모습을 갖춰나간다. 정해진 작업 공정에 따라 추진기나 엔진 같은 대형장비가 설치되고, 필요에 따라 선저를 중심으로 여러 가지 연구 목적의 센서들이 먼저 장착된다. 이 같은 일련의 작업은 육상에서 이뤄진다. 선박의 크기와 중량이 거대하기 때문에 여러 부분으로 나눠 진행되다가, 마지막 단계에서 하나로 합쳐 전체 형태를 완성한다. 따라서 별도로 제작되는 부분별 설계도에 따라 배관이나 배선이 완벽하게 이뤄져야만 손쉽게 각 부분들을 결합할 수 있다. 선박의 건조가 마무리 되면 진수식이 거행된다. 이때부터 바다에 떠있는 선박으로 모습을 갖추게 되는 것이며, 선박을 실제로 작동해 보며 제반장비들에 대한 시험조정과 시험항해를 거쳐 최종적으로 선주에게 인도함으로써 모든 건조작업이 끝난다.

쇄빙선이 결빙해역을 항해하기 위해서는 항해지역의 얼음상태나 빙산에 대한 정보를 파악해야 한다. 쇄빙선일지라도 두꺼운 얼음을 헤치며 항해하는 것은 무모할 뿐이다. 따라서 인공위성 등을 통해 미리 항해지역의 얼음과 기상 상황에 대한 정보를 입수해 얼음이 두꺼운 지역을 되도록 피해가야 한다. 얼음이 일부 깨져 있거나 상대적으로 얇은 지역을 항해하는 것이 효율적이다. 헬기를 이용하여 항해지역을 먼저 정찰하는 것도 좋은 방법이다.

4. 쇄빙선의 기술적 개념

쇄빙선은 얼음을 파쇄하면서 운항하는 선박으로 선체구조, 저항 및 추진 특성, 재질, 도료 및 운항기법에서 일반선박과 큰 차이를 보인다. 쇄빙선박의 설계 및 건조 기술은 러시아를 비롯하여 극지 연안의 국가들 즉, 캐나다, 핀란드를 중심으로 발달되었으며, 이외에도 독일, 노르웨이, 미국, 일본에서도 독자적인 기술력을 보유하고 있다.

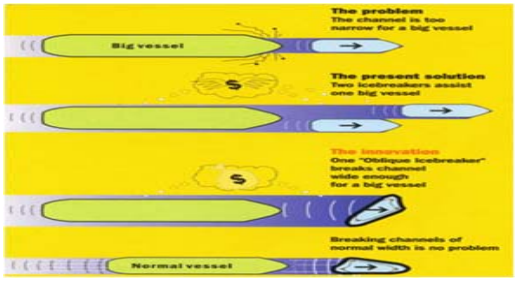
주요 핵심 기술은 선체구조 안전성 평가 기술, 빙해선박 운항성능 고도화 기술, 빙해선박용 조선기자재 극저온 성능 평가 기술 등이다.

극지 결빙해역을 운항하는 선박을 총칭하는 빙해선박에는 자체 쇄빙능력을 보유하여 독립적인 결빙해역 운항이 가능한 쇄빙선박과 자체 쇄빙능력 없이 유도쇄빙선의 인도를 받아 결빙해역을 운항하는 내빙선박으로 구분한다. 쇄빙선박은 타 선박의 항로개척이 주목적인 유도쇄빙선(icebreaker)과 독립적으로 결빙해역에서 물자수송을 하는 쇄빙상선(icebreaking cargo vessel)으로 구분할 수 있다.

KOPRI 극지연구소

<그림 2-15. 북극항로에서의 쇄빙선 운항>

<그림 2-16. 북극항로에서의 쇄빙선>



<그림 2-17. 유도쇄빙선을이용한 운항방법>

<그림 2-18. 결빙-Winterization>

쇄빙선은 일반선박의 선폭에 비하여 길이가 짧으며 얼음을 효율적으로 파쇄하면서도 얼음에 의해 선체의 손상이 없도록 하기 위해서 선체구조, 저항 및 추

진 특성, 재질, 도료 및 운항기법에서 일반선박과 큰 차이를 보인다.

쇄빙선은 두꺼운 강철로 되어 있으면서도 튼튼한 보강재로 강화되는 특수한 선체 구조를 갖고 있다. 또한 쇄빙할 때 발생하는 많은 저항을 극복하면서도 필요한 속도로 전진하기 위하여 커다란 추진력과 선체 운동에 빠르게 반응할 수 있는 독특한 추진 장치를 갖는다.

내빙선박은 얇은 결빙해역 또는 쇄빙선박에 의해 만들어진 수로의 유빙 저항을 이겨내면서 항해할 수 있는 내빙능력을 갖춘 선박을 지칭한다.

[표 2-13] 선급별 ICE Class 규정

operating Area	Northern Baltic in Winter or Similar Areas				
Ice Condition	First-Year Level Ice				
	very Light	Light	Medium	Severe	Extreme
Canadian CASPPR(1972)		1(0.3m)	1A(0.45m)	2(0.6m)	3(0.9m)
	E	D(0.4m)	C(0.6m)	B(0.8m)	A(1.0m)
Russian(1982)		1.3	1.2	1.1	UL
Finnish/Swedish(1985)	Ⅱ	1C	1B	1A	1A Super
LR(1995)	1D	1C	1B	1A	1AS
DnV(1992)	ICE-C	ICE-1C	ICE-1B	ICE-1A	ICE-1 A*
ABS(1992)		D0	C0	B0	A0
		1C	1B	1A	1AA
GL	E	E1	E2	E3	E4
BV(1986)		ice Ⅲ	ice Ⅱ	ice Ⅰ	ice Ⅰ-Super
NK	1D	1C	1B	1A	1A Super

내빙선박은 일반선박과 유사하지만 선급규정에서 정의하는 구조보강과 내한성능 확보, 특수도장 등을 갖춰야 한다. 주로 발틱해(Baltic Sea)를 운항하는 내빙선박의 빙등급은 1C, 1B, 1A, 1A Super로 구분한다. 1C, 1B, 1A는 각각 0.6, 0.8, 1.0 m의 깨진 얼음(brash ice, 일정 폭의 채널안에서 깨어진 얼음이 있는 조건으로 일반적으로 쇄빙선박이 지나간 후 수로가 열린 상황을 의미) 두께를 갖는 수로에서 운항할 수 있는 선박의 내빙등급을 의미한다.

1A Super는 1.0 m의 깨진 얼음 위에 0.1 m의 평탄빙(level ice)이 있는 상태이며, 선형 설계에서는 쇄빙개념이 포함되어야 한다.

KOPRI
극지연구소

제 4 절 아라온호 운영 현황 및 성과

1. 아라온호 운영 현황

가. 아라온호 연간 운항일수

아라온호는 2009년 11월 인도 이후 국내 시험항해가 진행되었으며, 2010년에 남극과 북극 현지에서 쇄빙능력에 대한 테스트와 연구과제 임무를 수행하였다. 아라온호가 본격적 운항을 시작한 것은 취항 다음 해인 2010~2011년 남극항해가 출발점이라고 할 수 있다. 이를 기점으로 북극과 남극의 연구과제 수행은 물론 세종과학기지 보급 임무, 장보고과학기지 건설 지원임무도 지원하였다.

2012년에는 입거수리와 수리 후 시험항해 기간이 길어져 실제 운항일수가 약 30일 정도 감소한 경우가 있지만 취항 이후 매년 지속적으로 운항일수가 증가하고 있다. 특히 2013년에는 연간 312일을 운항하였으며, 이는 아라온호의 안전성과 연구활동을 고려할 때 연간 운항가능 최대일수를 초과하였다.

연간 운항실적 내역을 살펴보면, 연구항해 일수보다 일반항해 일수가 많은 것으로 나타난다. 이는 북극과 남극의 지리적 특성에 기인한 것으로, 우리나라에서 북극과 남극의 임무수행 해역까지 이동하는 거리 때문이다. 특히 현장에서의 쇄빙 기동은 일반 항해보다 상대적으로 이동속도가 떨어지므로, 실제 연구임무 수행기간에 비하여 이동에 많은 시간이 소요된다. 북극은 남극보다 상대적으로 우리나라에 가깝기 때문에 이동시간은 남극에 비하여 짧은 편이다.

북극해는 9월 말까지 활동이 가능하나, 아라온호는 남극항해를 준비하여야 하므로 (남극 현장까지 더 긴 이동항해기간 고려) 9월 중순에 북극현장을 철수하고 있는데, 이는 1척의 쇄빙연구선으로 남·북극 활동을 동시 지원해야 하는 현실에서 피할 수 없는 선택이다. 이로 인하여 연구항해 일수의 더 이상 확대가 불가능한 상황이다.

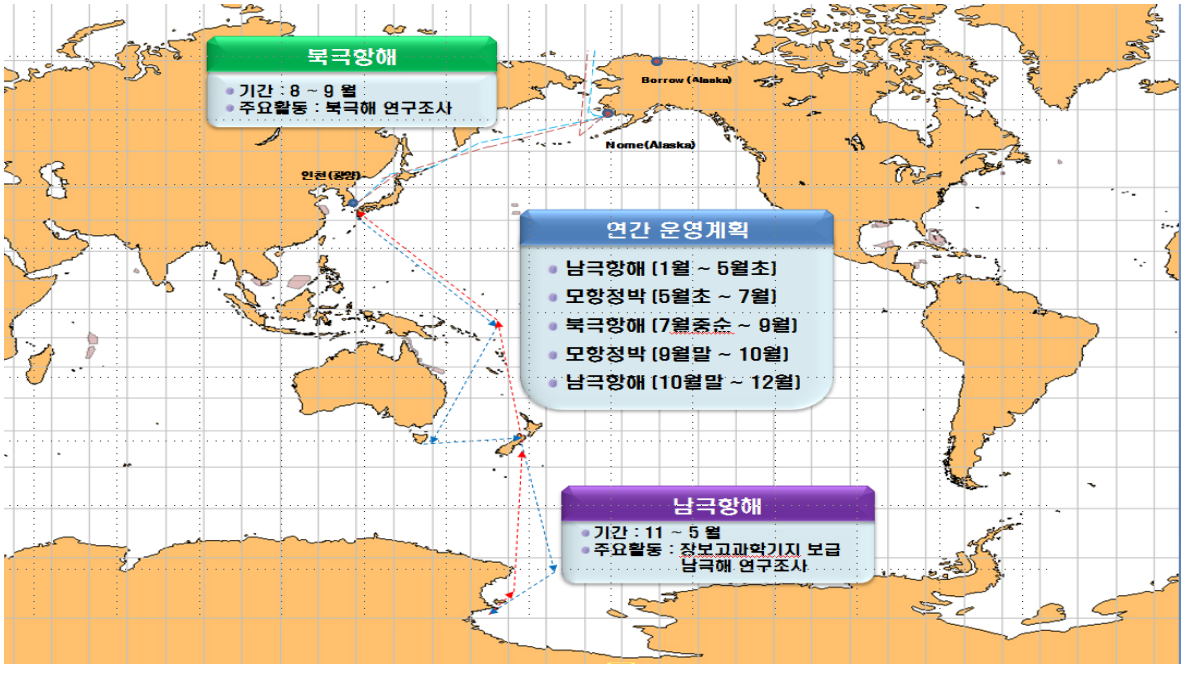
○ 쇄빙연구선 아라온호 연간 기본 운항 현황

- 아라온호는 크게 남극항해와 북극항해로 구분하여 운항 중
- 전년도 늦가을부터 다음연도 봄까지 남극에서 총 189일 동안 연구와 지원활동을 수행 : 10.24 ~ 12. 31(69일), 1.1 ~ 4.30(120일)

- 북극에서는 여름을 중심으로 총 90일(7.12 ~ 10. 9) 운항
- 극지항해 및 시운전 운항기간 등 총 291일의 기본 운항계획 수립

[표 2-14] 아라온호 연간 기본운항 계획

구 분	세 부 내 용	비 고
1.1~4.30(120일)	장보고과학기지 건설지원 및 연구항해	건설지원 30일 및 연구 30일 포함
5.1~5.10(10일)	승무원 교대 (휴가 포함)	
5.11~6.19(40일)	정기검사(입거 수리)	교육활용 5일 포함
6.20~7.1(12일)	시운전(장비 테스트 등)	
7.2~7.11(10일)	인천항 정박 및 북극 연구항해 준비	
7.12~10.9(90일)	북극 연구항해(1~2개 항차)	연구항해 45일 포함
10.10~10.23(14일)	남극 항해 준비(장비점검 포함)	
10.24~11.18(26일)	이동항해(ICN~호바트~CHCH)	기지보급 유류 구매
11.19~12.2(14일)	정박(4일), 이동항해(CHCH ~ TNB)	보급물품 선적
12.3~12.11(9일)	장보고과학기지 물품 보급 및 폐기물 반출	월동대, 하계대 투입
12.12~12.31(20일)	남극 연구항해(TNB ~ 로스해 연구)	연구항해



KOPRI 극지연구소

[표 2-15] 연도별 아라온호 운항일수

구 분	일반 및 연구항해				항해 준비 및 보급			소계 (A)	입거 수리 (B)	시험 항해 등 (C)	합 계 (A+B+C)
	일반항해		연구항해		외국기항		기지 보급				
	남극	북극	남극	북극	남극	북극					
2010	99.5	29	21.5	21	27	5	8	211	8	146	365
2011	129.5	32	56.5	13	28	5	6	270	14	81	365
2012	75	32	44	34	22	5	21	233	33	100	366
2013	135.5	30.5	43.5	31.5	33.5	7	30.5	312	20	33	365
2014	104	34	26.5	37	20	9	27	257.5	62.5	45	365
2015	95.5	35	48	26	19	8	7.5	239	39	87	365
연평균	106.5	32.1	40.0	27.1	24.9	6.5	16.7	253.8	29.4	82.0	

KOPRI 극지연구소

나. 아라온호 승선인원 현황

상기 제시된 아라온호 연간 운항일수와 연동하여 아라온호에 연구 및 기지 지원활동 등을 위한 승선인원도 최근 4개년 동안 지속적으로 증가하고 있다.

2012~2013년은 장보고과학기지 건설이 본격적으로 진행되어 불가피하게 건설사업 수행을 위한 건설인력이 100명 이상 차지하였다. 2011년의 경우 소수의 장보고과학기지 건설지 정밀조사 인력만 탑승하고 연구과제에 참여하는 연구원들이 승선하였으며, 이를 기준으로 아라온호의 수용능력(정원 85명, 승조원 25명 포함)과 운항 가능일수를 고려할 때 연인원 20,000(man-day) 수준이 지속될 것으로 예상된다.

다만, 향후 3~4년 동안 국제공동연구 등으로 인해 국외 인력이 참여하는 연구과제 규모가 지속적으로 확대될 가능성이 크기 때문에 향후 국내 승선인원은

감소하고 국외 승선인원은 증가할 것으로 예상할 수 있다.

[표 2-16] 연도별 아라온호 승선인원 현황

구분	국내 (참여기관 수/승선인원[1])					국외 (참여기관 수/승선인원[1])				합계 (기관/명)	승선연인원[3]
	연구기관[2]	대학교	산업체	언론 등	소계	연구기관	대학교	기타	소계		
2010	17/206	23/40	16/23	32/58	88/327	10/17	1/4	20/39	31/60	**119/387**	13,086
2011	23/289	41/71	37/67	25/50	126/477	12/27	8/15	24/44	44/86	**170/563**	15,395
2012	13/213	15/21	34/159	19/49	81/442	7/19	6/10	18/34	31/63	**112/505**	18,129
2013	14/297	18/25	42/275	27/30	101/627	18/59	14/26	45/62	77/147	**178/774**	21,972
2014	7/327	30/42	55/350	45/84	137/803	33/52	12/13	59/95	104/160	**241/963**	18,024
2015	7/327	30/42	55/350	45/84	137/803	33/52	12/13	59/95	104/160	**241/963**	16,648
계	74/1,332	127/199	184/874	148/271	533/2,676	80/174	41/68	166/274	287/516	**820/3,192**	103,257

1) 승선인원 : 승하선 기준(승선기간 무관), 승조원 제외
2) 국내 연구기관 : 극지연구소(1) 포함
3) 승선연인원 : Σ승선자×승선일, 승조원 포함

KOPRI 극지연구소

2. 아라온호 활용 성과

가. 연구 및 보급 지원

아라온호의 활용성과는 크게 연구과제 지원과 기지운영 지원으로 구분된다. 먼저 연구과제 지원과 관련한 성과를 살펴보면 현재 아라온호는 매년 북극과 남극에서 각각 7~8개 이상의 중대형 연구과제를 지원하고 있으며, 지난 3~4년 동안 수행된 연구사업을 통하여 세계 최고 수준의 연구성과가 창출되고 있다.

또한 아라온호의 건조 및 운영은 연구과제 지원과 별도로 새로운 연구과제 발굴에도 기여한 바가 크다고 할 수 있는데, 아라온호 건조 이전까지 북극다산과학기지 및 남극세종과학기지와 같이 육상을 중심으로 한 연구를 수행한 반면, 아라온호 건조 이후에는 극지 해양분야를 포괄하는 연구활동 범위가 확대되었다. 최근에 온난화의 영향으로 노출되기 시작한 북극해 중앙해역과 장보고과학기지 인근의 서남극해 지역을 대상으로 하는 신규 연구과제 추진이 가능하여 극지해양 연구 활성화에 기여하게 되었다.

[표 2-17] 북극연구 지원 현황

구 분	주요 연구과제
2010	▪ 북극해 해양조사 연구사업 등 8개 과제 (외부 과제 : 기상청, MOERI 각 1개)
2011	▪ 북극해 해양조사 연구사업 등 8개 과제 (외부과제 : 기상청, MOERI, 인하대, 중국 등 총 4개 과제)
2012	▪ 고해양 환경변화 정밀복원 연구 등 6개 과제 (외부과제 : 기상청, KIOST 각 1개 과제)
2013	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 6개 과제 (외부과제 : 기상연구소, KIOST 등 총 3개 과제)
2014	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 4개 과제 (외부과제 : 기상연구소, KIOST, 해양대 각 1개 과제)

※ 외부과제 구성이 기상청, MOERI, KIOST 등으로 한정된 것으로 보이나, 산·학·연 등에서 수행하는 외부 위탁과제는 본과제에 포함되어 있어서 별도 제시하지 않음

※ 북극 연구와 관련한 가장 최근 연구성과는 홍종국/남승일 박사팀과 독일 극지연구소가 공동으로 진행하고, 네이처 지오사이언스에 실린 내용으로 제4기 빙하기 동시베리아해에 존재한 빙상의 증거를 세계 최초로 확인한 것임

KOPRI 극지연구소

[표 2-18] 남극연구 지원 현황

구 분	주요 연구과제
2010	▪ 남극 해저 지질조사 등 4개 과제
2011	▪ 남극 중앙해령 160° E 구간에서의 해양지각 형성과 맨틀특성 규명 등 7개 과제 (외부과제 : KIOST 1개 과제)
2012	▪ 장보고과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명 등 8개 과제
2013	▪ 「아라온」 호를 활용한 양극해 급격환경변화 지역의 해양환경도 구축연구 등 6개 과제 (외부과제 : KIOST 1개 과제)
2014	▪ 장보고 과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명 등 4개 과제

※ 남극 연구와 관련한 가장 최근 연구성과는 2013년 4월에 극지연구소와 미국이 공동으로 진행한 공동연구과제에서 세계에서 두 번째로 라센빙붕 C 지역을 탐사하고, 세계 최초로 해저 시료를 채취하는 성과를 거둠

기지운영 지원 측면에서는 지난 25년간 운영된 세종과학기지의 기지 물자보급을 위해 노르웨이, 중국 또는 러시아 등의 쇄빙·내빙선을 임차하여 이용하였다. 그러나 적정 선박의 임차를 위해서는 많은 비용이 소요되며, 남극 하계 시즌에 자국의 활동에 우선 투입되어 우리나라가 필요로 하는 일정과의 연계가 어려운 점 등이 있었다. 2010년부터는 아라온호가 투입됨으로써 기지 물자보급이 원활히 수행될 수 있었다. 또한 2014년에 완공한 장보고과학기지 건설과 관련하여 후보지답사, 정밀조사, 현장 건설공사 물자 운송 등도 아라온호의 활용을 통해 성공적으로 수행되었다. 장보고과학기지의 경우 세종과학기지와 달리 접근 수단이 매우 제한적인 점을 고려할 때 향후 기지 보급 및 하계 연구활동 지원을 위해서는 아라온호가 지속적으로 투입되어야 할 것이다.

[표 2-19] 세종과학기지 보급 지원

구 분	주요 활동
2010 ~ 2014	▪ 매년 약 20일간 세종과학기지 지원 임무 수행 ▪ 월동대원 수송 및 하계대 수송 임무 수행(약 60명 승선) ▪ 기지 운영에 필요한 각종 물자 수송(유류, 연구장비, 생필품, 식자재 등 보급) ※ 2013년의 경우 세종과학기지 보급은 별도로 선박을 임차하여 진행

※ 아라온호를 이용한 기지 보급이 이루어짐으로 인해 월동대 및 하계대를 위한 물자 수송에 필요한 선박과 항공기 임차를 최소화하여 효율적인 인력과 물자 수송이 가능하게 되었고, 그에 따른 예산 절감효과가 발생함

[표 2-20] 아라온호 보유 전후 보급지원 비교

구분	보유 전	보유 후
외국 보급선 임차료	일 50백만원(5,000톤급 내빙선)	일 75백만원(아라온호 운영비)
유류 보급선 임차료	300백만원	일 75백만원(아라온호 운영비)
하역 작업 기간	약 1주일	3일 내외
하역작업 위험부담	원거리 하역작업에 따른 위험부담 가중	DP 작동을 통해 세종기지 인근 하역작업으로 위험부담 감소

[표 2-21] 장보고과학기지 보급지원

구 분	주요 활동
2010 2011	▪ 2차례에 걸친 기지 건설지(TNB) 정밀조사 작업 지원 (약 1개월) ▪ 대륙기지건설단, 시공업체 및 감리업체 등 50여명의 인력과 현장 활동 지원 장비 운송
2012	▪ 1차 현지 건설작업 지원 (약 2개월) ▪ 건설지까지 화물선 인도, 약 120명의 건설인력 수송 등
2013	▪ 2차 현지 건설작업 지원 (약 3개월) ▪ 건설지까지 화물선 인도, 약 160명의 건설인력 수송 등
2014	▪ 건설보완작업 지원 (약 2개월) ▪ 건설지까지 화물선 인도, 약 100명의 건설인력 수송 등

※ 2014년 장보고과학기지가 완공되었으나, 장보고과학기지 지리적 특성상 아라온호 이외의 수송수단이 없어서 향후 활주로 건설 및 항공기 활용이 가능할 때까지는 아라온호를 통해 최소 2회의 기지 보급 지원 임무 수행이 필요할 것으로 예상됨

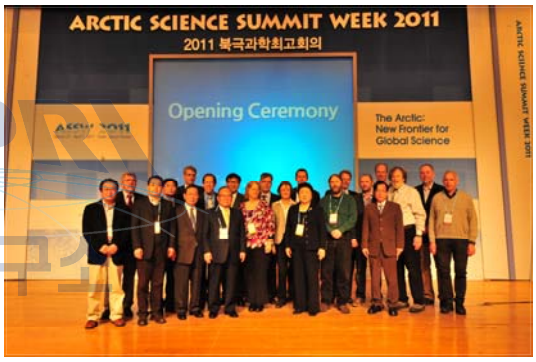
나. 아라온호와 국제협력 기회의 확대

아라온호가 남·북극 해역에서 이루어지는 각종 현장 연구에 필요한 기반을 제공할 수 있게 되면서, 국제협력 기회가 확대되었다. 실제로 아라온호 취항과 더불어 해외 유수 연구 기관의 협력제안이 이어졌다. 특히 국제협력을 이끄는 아라온호의 효과는 국제 극지과학 심포지엄에서 두드러졌다. 이미 국제심포지엄은 극지과학 분야 최신 연구결과들이 발표되는 국제 학술대회로 자리매김 하였으나, 2009년 아라온호 건조로 세계 극지과학계 저명 연구자의 참석이 눈에 띄게 증가함으로써 학술대회의 권위를 높이는 데 큰 보탬이 되었다. 또한 심포지엄 참석을 통하여 아라온호 기반 공동연구를 제안하는 사례가 크게 늘었다. 국제 협력연구를 위하여 우리가 '찾아갔던' 협력파트너들이 우리를 '찾아오기' 시작했다는 점에서, 아라온호의 활용은 국가위상 제고에 결정적인 계기가 되었다.

[표 2-22] 국제심포지엄 개최현황

회차	기간	장소	주제	참여국	참여인원 (국외/총)
1회~ 15회 : 생략					
16회	2009 06/10~12	극지연구소, 인천 송도테크노파크	Polar Exploration with ARAON	13개국	42명 (144명)
17회	2010 05/26~28	극지연구소, 인천 송도테크노파크	Physioechological Responses to Climate Changes in Polar Resions	10개국	15명 (127명)
18회	2012 05/21~23	KAL호텔, 제주 서귀포	Milestones in Polar Research Collaboration	19개국	75명 (228명)
19회	2013 10/16~18	극지연구소 신청사, 인천	Toward Better Understanding of Climate Change in the Arctic	10개국	37명 (199명)
20회	2014 05/17~18	극지연구소 신청사, 인천	Our Collective Journet to Connect the Past and Future from the Antarctic	13개국	44명 (211명)

<그림 2-19. 제18차 극지과학심포지엄 (2012.05.21.-23)>



<그림 2-20. 북극과학최고회의(Arctic Science Summit Week) 2011 개최>

<그림 2-21. 남극프로그램국가운영자회의(COMNAP) 개최(서울, 2013.07.07-10)>

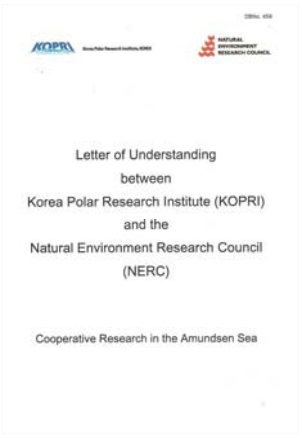
아라온호의 공동활용을 통하여 국제 공동연구의 깊이도 깊어졌다. 초창기 개인 연구자들의 단발성 인력교환 또는 교차승선 수준에서 나아가 과제 간 중장기 협력이 이루어지고 있다. 연구계획과 시행과 더불어 자료의 활용과 연구성과 창

출까지 모든 과정을 공동으로 수행하여, 연구내용 자체 뿐만이 아니라 연구내용 설계와 성과 창출, 논문 출간 차원에서도 세계 유수 연구자들과 노하우를 공유하게 되었다. 아라온호를 바탕으로 한 세계 연구기관과의 긴밀한 협력관계는 관련한 연구협약 체결의 실적 증가로 나타난다. 극지연구소는 현재 영국 남극조사소(BAS), 스코틀랜드 해양연구소(SAMS), 스웨덴 고텐버그대학, 노르웨이 베르겐대학, 일본 동경과학기술대학(TUMST), 중국 해양대학, 캐나다 천연자원부(NRCan), 이태리의 트리에스테대학 등 극지과학 분야 대표적인 연구기관과 그 협력관계를 명문화하였다. 협력분야 역시 해양학, 해빙연구, 해양-대기 상호작용, 지구물리, 고해양학을 포괄하는 다학제 연구로 발전하고 있다.

국제협력차원에서 아라온호의 역할이 더욱 고무적인 것은, 아라온호의 투입이 기존 양자 연구협력에서 발전하여 다국적 국제 공동연구의 촉매제와 응결핵 역할을 하게 되었다는 점이다. 이미 남극 아문젠해에서, 영국, 스웨덴, 미국, 노르웨이 까지 참여하는 국제협력이 진행 중이며, 남극 로스해에서도 유사한 다국적 협력연구의 초석이 쌓이고 있다. 아라온호는 북극해에서도 중국, 일본, 미국, 영국 등이 참여하는 공동연구 네트워크를 공고히 하는 기반이 되고 있다.

KOPRI 극지연구소

<그림 2-22. 캐나다 천연자원부(NRCan) 양해각서 서명(2015.02.13.)>


Letter of Understanding
between
Korea Polar Research Institute (KOPRI)
and the
Natural Environment Research Council
(NERC)

Cooperative Research in the Amundsen Sea

<그림 2-23. 영국 자원환경연구회 (BAS,NERC) 연구협약서(2011.09.22)>

Letter of Understanding

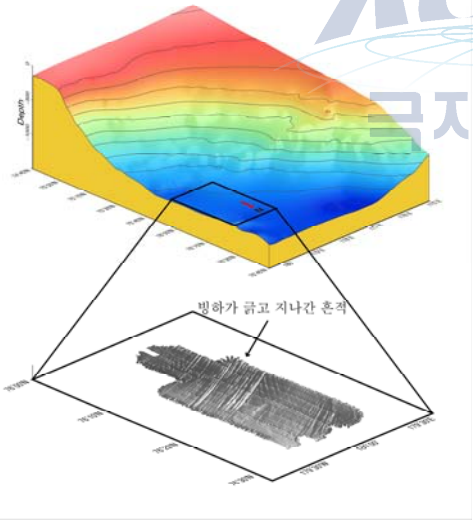
<그림 2-24. 스웨덴 극지연구 사무국(SPRS)과의 연구협약서(2015.03.02)>

다. 우수 연구성과

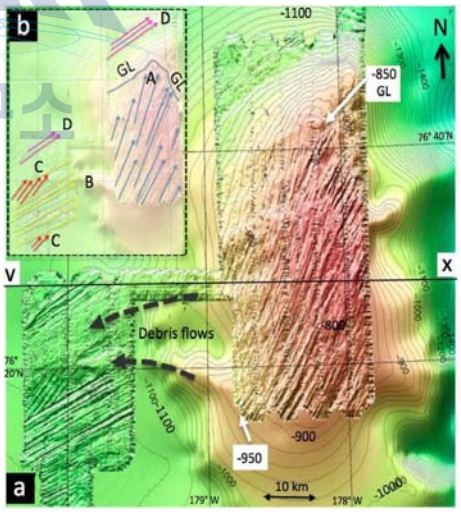
(1) 세계 최초 북극 동시베리아해 거대 빙상 흔적 발견[18)]

극지연구소 홍종국/남승일 박사팀은 2012년 독일 AWI(극지해양연구소)와 함께 아라온호를 활용한 북극해 해저지형 탐사를 한 결과, 과거 제4기 빙하기 시대 동시베리아 대륙붕 해역에 존재하였던 거대 빙상의 증거를 발견, 이를 세계적 학술적 '네이처 지오사이언스' 온라인판(2013. 8월 11일자)에 게재했다. 해당 탐사지역의 3차원 해저지형 중 파란색으로 표시된 심해지역에서의 빨간색 사각형 부분을 정밀탐사 해 확인한 결과, 수심 1,200미터 깊이에서 빙하에 의한 긁힌 흔적을 확인할 수 있다. 이번 연구를 통해 연구팀은 과거 빙하기 동안 북극해 연안 전체가 거대 빙상으로 둘러싸여 있었음을 세계 최초로 밝혀냈으며, 이러한 증거 자료는 빙하기 북극해 기후를 모델링하는데 향후 주요 데이터로 활용될 것으로 기대된다.

KOPRI 극지연구소



<그림 2-25. 동시베리아해 확대 도면>



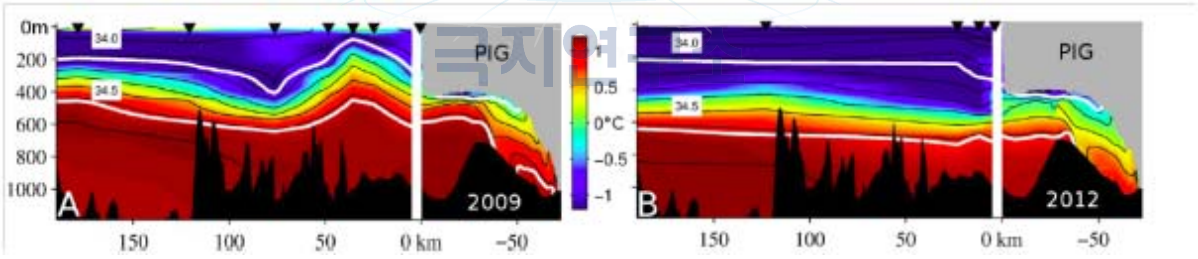
<그림 2-26. 실제 지형도 사진>

18) 해양수산부 보도자료, '아라온호, 북극해의 과거를 밝히다', 20130812

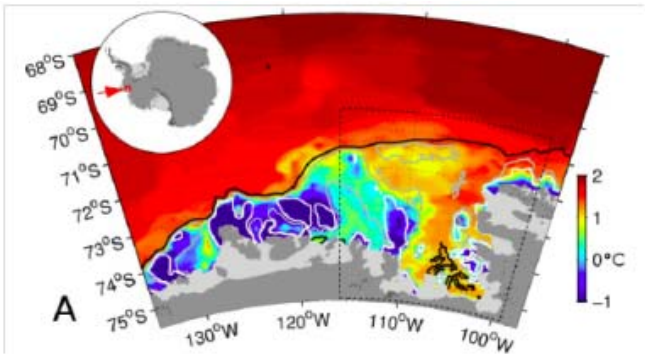
(2) 지구상 가장 빨리 녹아내리는 남극 빙붕(PIG)의 원인 규명[19)]

극지연구소 이상훈 박사팀은 영국 BAS(영국남극연구소), 독일 AWI(극지해양연구소) 및 미 워싱턴대학 등과 함께 아라온호를 활용하여 서남극 아문센해를 관측했으며, 얼음 빙붕의 녹는 과정을 규명하고 세계 3대 과학저널인 사이언스 2014년 1월 2일자에 논문을 게재했다. 연구팀은 아라온호를 활용해 관측한 해양 데이터 및 과거 20년간 관측된 데이터들을 종합 분석하여 해당 해역 빙붕의 녹는 속도가 과거 대비 절반 수준으로 감소됨을 알아냈다. 빙중 주변의 해수온도 및 염분 분포를 확인했을 때, 2009년과 비교하여 2012년의 수온약층이 약 250m나 급격하게 하강하고, 수온이 감소하였음을 확인할 수 있다. 이러한 따뜻한 해수공급의 감소는 빙붕의 융빙속도를 약 50% 감소시켰다.

녹는 속도가 감소한 원인은 표층의 찬물층이 두꺼워지고 해저 바닥의 더운 물층은 더 얇아져 빙붕을 녹이는 열에너지가 그만큼 감소했기 때문이라는 점을 밝혀냈다. 또한 연구팀은 이같은 변화가 남극뿐만 아니라 적도 지방의 기후 변동과도 연관됨을 밝혀냄으로써 지구가 하나의 시스템으로 연결되어 있음도 증명했다.



<그림 2-27. 파인아일랜드 빙붕(PIG)주변의 해수온도 및 염분 분포비교>



<그림 2-28. 남극 아문젠해의 위치와 주변의 해양 온도 분포>

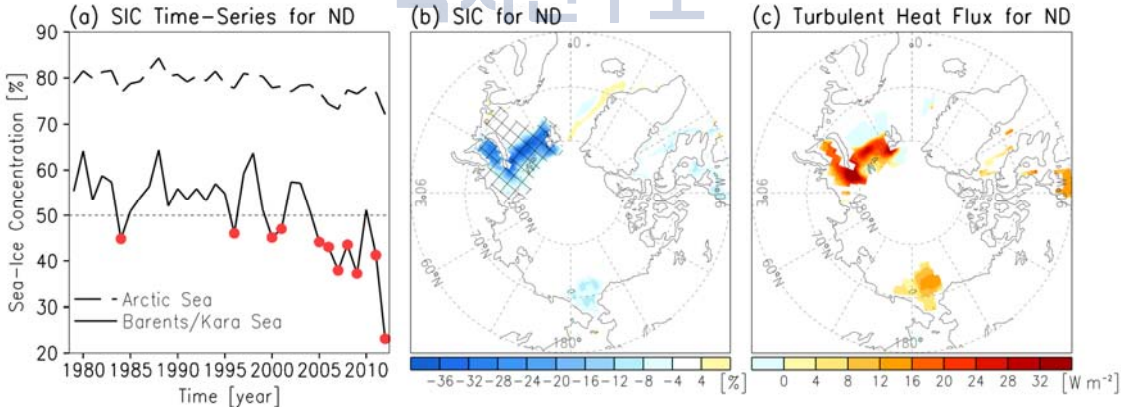
19) 극지연구소 보도자료, '지구상 가장 빨리 녹아내리는 남극 빙붕(PIG)의 비밀 밝혀냈다', 2014.01.02

(3) 한반도 겨울 한파 원인 규명[20)]

극지연구소 김성중 박사팀은 국내 및 미국 연구진과 공동으로 수행한 연구에서 21세기 들어 급격히 감소하고 있는 북극 해빙(海氷)이 어떻게 한반도 및 동아시아 지역 기상 및 기후에 영향을 주는 지를 규명하고 네이처 자매지인 '네이처 커뮤니케이션즈' 2014년 9월 2일자에 하이라이트 논문으로 게재되었다. 극지(연) 주도로 서울대, 포항공대, 전남대 등 국내연구팀과 미 알라스카 대학, 퍼시픽 노스웨스트 국립연구소(Pacific Northwest Research Lab) 등이 참여한 공동연구에서, 북극 해빙 감소가 북극 상공에 존재하는 거대 소용돌이의 강도를 약화시키고 있음을 증명했다. 또한 북극 해빙이 근처 지표면뿐만 아니라 해발 2만미터 이상 상공에 존재하는 대기 소용돌이의 강도에까지 큰 영향을 주고 있음을 최신 기후모델을 통해 밝혀냄으로써 관련 분야 연구에 큰 진전을 이뤄냈다.

다음 그림 중 a는 북극 해빙면적의 시간에 따른 변화 추이로써 북유럽 인근 바렌츠-카라해 영역의 해빙이 특별히 많이 녹은 연도는 붉은 점으로 표시되어 있다. b는 바렌츠-카라해 영역(빗금)에서 해빙이 많이 녹은 해 평균 해빙농도 분포이며, c는 바렌츠-카라해 영역에서 해빙이 많이 녹은 해 평균 지표면 열속 분포를 의미한다.

KOPRI 극지연구소

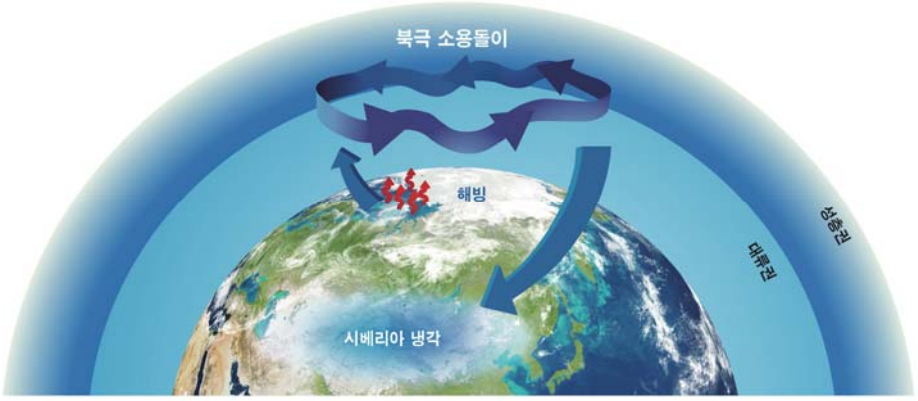


<그림 2-29. 겨울철 북극 해빙 감소 및 열속 증가 경향 분석 결과>

특히 북극 상공 소용돌이 약화로 소용돌이 내에 갇혀 있던 북극 냉기가 자주 북반구 중위도까지 내려와 이것이 동아시아 지역 겨울철 잦은 한파와 폭설의 원인이 된다는 이유도 밝혀냈다. 아래 그림은 북극 해빙이 기상/기후에 미치는 영향을 도식화 한 것으로 북극 해빙 감소 지역에서 열과 수증기 방출(붉은 화살표)

20) 극지연구소 보도자료, '극지연구소, 한반도 겨울 한파 원인 밝혀내', 20140902

은 대기 파동의 형태로 성층권으로 전파되며, 이는 다시 성층권에 있는 북극 소용돌이를 약화시켜 대류권에 영향준다. 이후 동아시아 지역의 지표 온도가 냉각될 경우 한반도에 한파·폭설 등 기후변화가 발생하게 된다.

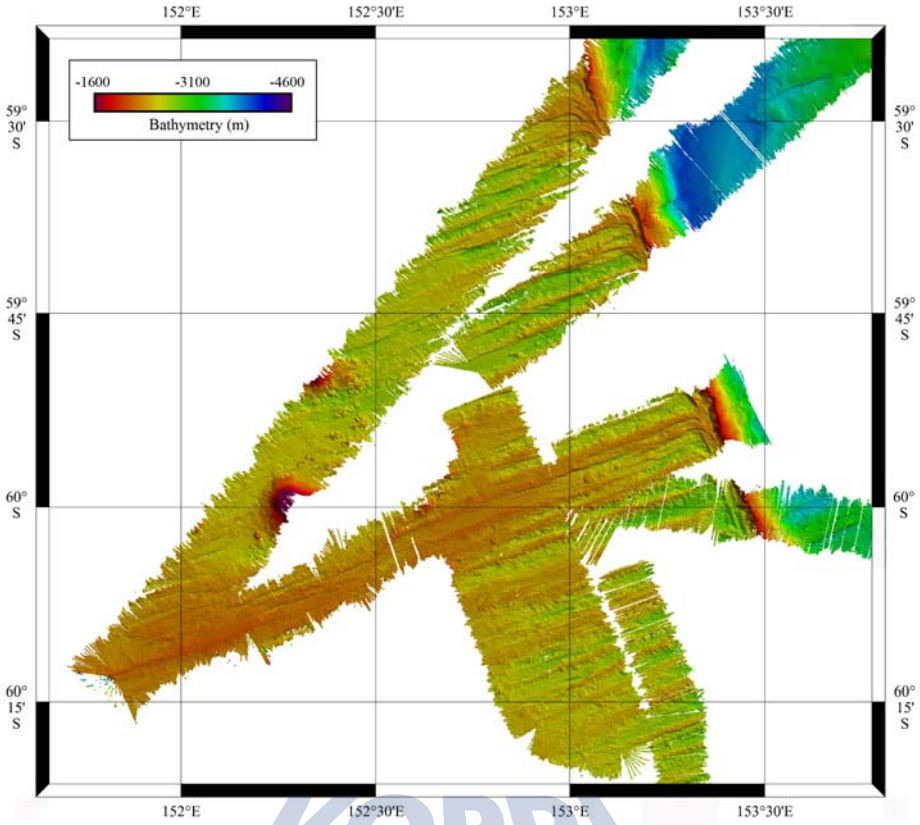


<그림 2-30. 북극 해빙 감소가 대류권 및 성층권 기상/기후에 미치는 영향>

(4) 세계 최초 남극 중앙해령 해양 지각의 빙하기-간빙기 순환 증거 발견[21)]

극지연구소 박숭현 박사팀은 미국 하버드대, 영국 옥스퍼드대 등과 공동으로, 아라온호를 활용하여 남극해 중앙해령을 2011~2013년 기간 해저탐사 및 연구를 한 결과 현무암질 해양 지각에 빙하기-간빙기 순환이 기록되어 있다는 증거를 세계 최초로 밝혀내고, 세계 3대 과학저널인 사이언스의 2015년 2월 5일자 온라인판에 게재했다. 중앙해령은 야구공의 매듭 부위처럼 전지구를 감싸고 있는 바다밑 산맥으로 남극해, 북극해, 태평양, 대서양 등 총연장이 7,000여 km에 달한다. 이 중 남극 중앙해령은 북반구에서 가장 멀고, 해황이 거칠어 쇄빙선의 도움 없이 탐사가 불가능한 지역이다. 해령 표면은 주로 현무암질 암석으로 표면이 거칠고, 마치 슬레이트 지붕처럼 굴곡 지형이 규칙적으로 나타나는데 이런 굴곡의 형성 원인은 관련 학계 주요 논쟁거리였으나 연구팀은 이 해령 굴곡에 빙하기-간빙기 순환이 기록되어 있음을 남극 현장 데이터자료와 수치모델 등을 통해 알아냈고, 기작 메커니즘도 설명할 수 있게 되었다. 그래서 중앙해령 형성과 빙하주기 간 인과관계가 있음을 밝혀내는 성과를 얻었다.

21) 극지연구소 보도자료, '극지연구소 연구팀, 세계적 학술지 사이언스 논문 게재 쾌거', 20150206



<그림 2-31. 중앙해령탐사로 획득한 해저지형도>

(5) 주요 우수 연구논문 목록

[2014] Shin, Dong Ho; Mueller, Detlef; Choi, Taejin et al. Influence of wind speed on optical properties of aerosols in the marine boundary layer measured by ship-borne DePolarization Lidar in the coastal area of Korea. ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 82:282-290

[2014] Cho, Dong Oh, Young Keun Jin, and Jong Kuk Hong. 2014. “A Study on the Development of Antarctic Hydrographic Survey”. Korean Journal of Hydrography, 3(1): 17-25.

[2014] Ha, Sun-Yong, Jun-Oh Min, Hyung Min Joo, Kyung Ho Chung, Kyung-Hoon Shin, EunJin Yang, and Sung-Ho Kang. 2014. “Production rate estimation of mycosporine-like amino acids in two Arctic melt ponds by stable isotope probing with NAH13CO3”. Journal of Phycology, 50(5): 901-907.

[2014] Park, Ha Ju, Yung Mi Lee, Sunghui Kim, Ah Ram Wi, Se Jong Han, Han-Woo Kim, Il-Chan Kim, Joung Han Yim, and Dockyu Kim. 2014.

"Identification of Proteolytic Bacteria from the Arctic Chukchi Sea Expedition Cruise and Characterization of Cold-active Proteases". Journal of Microbiology, 52(10): 825-833.

[2014] Dukki Han, Ilnam Kang, Ho Kyung Ha, Hyun Cheol Kim, Ok-Sun Kim, Bang Yong Lee, Jang-Cheon Cho, Hor-Gil Hur, Yoo Kyung Lee. 2014. Bacterial Communities of Surface Mixed Layer in the Pacific Sector of the Western Arctic Ocean during Sea-Ice Melting. PLoS ONE 0086887

[2013] Young Gyun Kim, Sang Mook Lee, Young Keun Jin, Boris Baranov, Anatoly Obzhirov, Alexander Salomatin and Hitoshi Shoji. 2013. The stability of gas hydrate field in the northeastern continental slope of Sakhalin Island, Sea of Okhotsk, as inferred from analysis of heat flow data and its implications for slope failures. Marine and Petroleum Geology. 45: 198-207

[2013] Frank Niessen, Jong Kuk Hong, Anne Hegewald, Jens Matthiessen, Rudiger Stein, Hyoung Jun Kim, Sookwan Kim, Laura Jensen, Wilfried Jokat, Seung-Il Nam and Sung-Ho Kang. 2013. Repeated Pleistocene glaciation of the East Siberian continental margin. Nature Geosciences. 6: 842-846

[2013] Duk Jin Kim, Byong Jun Hwang, Kyung Ho Chung, Sang Hoon Lee, Hyung Sup Jung and Wooil M. Moon. 2013. Melt Pond Mapping With High-Resolution SAR: The First View. Proceedings of the IEEE. 101(3): 748-758

[2013] Ralph von Frese, Hyung Rae Kim, T.E. Leftwich, Jeong Woo Kim and A.V. Golynsky. 2013. Satellite magnetic anomalies of the Antarctic Wilkes Land impact basin inferred from regional gravity and terrain data. Tectonophysics. 585: 185-195

[2013] Yin-Xin Zeng, Fang Zhang, Jian Feng He, Sang Hoon Lee, Zong-Yun Qiao, Yong Yu and Hui Rong Li. 2013. Bacterioplankton community structure in the Arctic waters as revealed by pyrosequencing of 16S rRNA genes. Antonie van Leeuwenhoek. 103: 1309-1319

[2013] Sang Hoon Lee, Mi Sun Yun, Bo Kyung Kim, Hui Tae Joo, Sung Ho Kang, Chang Keun Kang and Terry E. Whitledge. 2013. Contribution of

KOPRI 극지연구소

small phytoplankton to total primary production in the Chukchi Sea. Continental Shelf Research. 68: 43-50

[2012] Sang H. Lee, Dean A. Stockwell, Hyoung Min Joo, Young Baek Son, Chang Keun Kang and Terry E. Whitledge. 2012. Phytoplankton production from melting ponds on Arctic sea ice. J. Geophys. Res. 117: C04030

라. 기타 성과

(1) 대외 홍보 분야

아라온호 건조를 계기로 우리나라 극지연구사의 새로운 변화를 맞이하였고, 대외 홍보 분야에서도 극지연구에 대한 대국민의 이해와 인식이 한층 더 제고되었다. 아라온호 건조과정 - 준공 - 준공이후의 단계별 홍보를 전략적으로 추진하여 극지의 중요성과 극지연구의 당위성을 결합한 국민적 이슈화를 이루었다.

아라온호 건조 단계에서는 건조 과정을 지속적으로 공개하여 대국민의 관심을 증폭하고 이슈를 환기하기 위한 홍보활동을 진행하였다. 쇄빙연구선 아라온호는 국내 최초 쇄빙선이면서 국내기술로 건조되는 측면에서 홍보성과를 높일 수 있었다. 국내 최초 쇄빙연구선은 국제사회에서도 높은 관심을 갖고 있어서 '우리나라 최초'의 핵심어를 활용하여 국내·외 홍보효과를 향상시켰다. 국내 조선산업의 기술력을 홍보할 수 있는 '순수 국내기술' 이라는 타이틀을 강조하여 아라온호에 대한 호기심과 기대감을 증폭시켰다. 오피니언 리더, 정책결정자, 극지연구전문가, 산업체 관계자 등의 칼럼, 기고 등의 다양한 관점의 언론 보도를 추진하였다. 특히 2007년에는 대국민의 아라온호 선명공모를 추진하여 그간 생소하게 여겼던 쇄빙연구선의 개념과 극지연구에 대한 친근함을 부각하였다.

선명공모 결과 3,004명이 응모하여 308개의 선명이 공모되었으며, 최종적으로 '아라온'으로 확정되었다. 공모 대상 수상자(이상헌)에게는 상금과 함께 아라온호의 남극항해 승선 체험 기회를 제공하기도 하였다. 또한 이러한 의미 있는 선명에 상징성과 가치를 더욱 부여하기 위하여 아라온호의 심볼을 제작하였다. 아라온호의 심볼은 우리나라 최초의 쇄빙연구선을 통하여 극지탐험의 새로운 시작을 알리는 빛으로 태양이 떠오르는 모습을 영문 ARAON의 'O'에 표현하였다.

<그림 2-32. 아라온호 심볼>

아라온호가 준공되면서 극지연구에 대한 관심을 극대화하기 위한 홍보활동을 추진하였다. 아라온호의 인도명명식을 계기로 방송 출연, 기고, 인터뷰는 물론 기자브리핑, 간담회, 팸투어, 선상보고회 등 전방위적인 대언론 프로모션을 추진하여 최대한의 홍보 효과를 이끌었다.

<그림 2-33. 쇄빙연구선 아라온호 명명식 관련 방송 보도>

아라온호의 준공 이후에는 극지연구에 대한 연속적인 지지기반을 마련하고 대국민의 극지연구에 대한 공감대가 지속적으로 형성될 수 있도록 하였다. 성공적으로 이루어진 아라온호의 첫 출항에는 KBS, SBS, YTN, 연합뉴스, 대전일보, 부산일보 등 주요 언론사의 동승 취재를 지원하여 쇄빙하는 모습, 남극 자연환경 등 생생한 현장의 모습을 전달하였다. 또한 다큐멘터리, 심층 기획보도 등 매체별로 차별화하여 아라온호에 대하여 다각도로 조명하였다.

<그림 2-34. KBS 다큐멘터리 수요기획 [쇄빙선 아라온호, 남극의 바닷길을 열다.] (2010. 3. 17.)>

<그림 2-35. KBS 취재파일 4321 [아라온호, 38일 간의 기록] (2010. 3. 7.)>

<그림 2-36. YTN 스페셜 [아라온호, 남극을 열다. 1,2부] (2010. 4. 12. ~ 4. 13.)>

이러한 집중적인 홍보 활동과 함께 다양한 계층을 대상으로 아라온호 승선 체험 프로그램을 운영하였다. 사회배려계층, 초·중·고교생 및 과학교사, 언론사, 산업체, 대학 등 다양한 계층이 참여하였으며, 대상에 맞춰 아라온호 시설·연구장비 견학은 물론 선장과의 대화, 아라온호 3D 모형 만들기, 아라온호 안전교육 등 다양한 프로그램을 진행하였다. 또한 2012 여수세계박람회, 전국 순회 아라온호 개방행사 등으로 현재까지 약 3,000여명이 아라온호 체험의 기회를 가졌다.

[표 2-23] 아라온호 방문현황

년도	방문기관 수	인원
2009	3	125
2010	9	153
2011	20	399
2012	4	2083
2013	4	138
2014	5	249

그 결과 국토해양 랜드마크 배움터 호감도 조사결과에서 '어린이들이 가장 보고 싶고, 궁금한 국토해양 랜드마크 1위', 2011년 '국가연구개발 우수성과 100선'으로 아라온호가 선정되는 쾌거가 있었다. 또한 아라온호 기항지인 뉴질랜드 현지에서도 아라온호 개방행사(Open Ship)를 진행하여 많은 교민들에게 우리나라 과학기술에 대한 이해 도모와 자부심을 고취할 수 있는 기회를 마련하였다. 두 차례에 걸쳐 이루어진 행사에는 뉴질랜드 크라이스트처치에 크라이스트처치 시장, 한인회장, 교민, 원주민 등 약 150명이 참여하여 큰 호응을 얻었다.

KOPRI 극지연구소

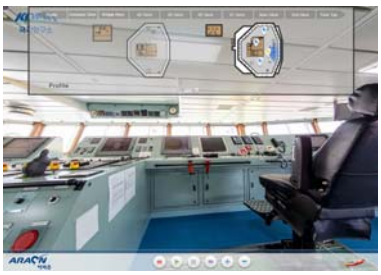
<그림 2-37. 2012 여수세계박람회>

<그림 2-38. 뉴질랜드 아라온호 개방행사>

이와 함께, 청소년들의 아라온호와 극지연구에 대한 이해를 돕기 위하여 다양한 극지과학 교육 콘텐츠를 제작하였다. 아라온호 소개 교양도서, 아라온호 3D 모형 키트, 온라인 아라온호 3D 가상현실(VR) 프로그램, 극지전시회 등을 통하여 극지지식이 더욱 확산될 수 있도록 하였다.

<그림 2-39. 아라온호 교양도서>

<그림 2-40. 아라온호 3D 모형 키드>



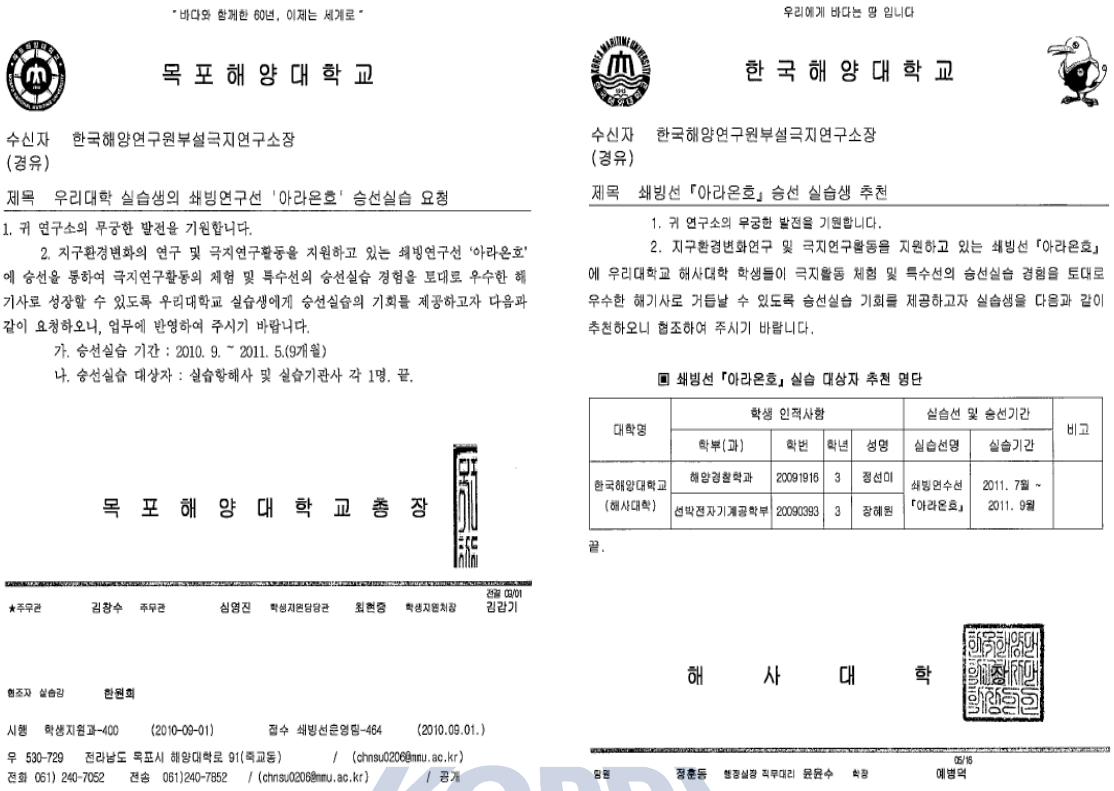
<그림 2-41. 아라온호 3D 가상현실>

대외 홍보활동은 단순히 아라온호 탄생에 대한 일회성 이슈가 아닌 극지연구의 전환점이자 지속적인 메시지를 전달하고자 하였다. 아라온호에 대한 전략적인 홍보로 아라온호에 대한 국민적 이슈와 극지연구에 대한 이해를 더욱 제고할 수 있었다. 향후 이러한 홍보성과를 기반으로 아라온호를 활용한 국내·외 연구성과와 남극장보고과학기지를 연계한 홍보를 중점적으로 추진할 계획이다.

(2) 전문인력 양성

북극해를 비롯한 극지에서의 운항은 해빙과 결빙으로 인한 위험요소가 항시 존재하는 지역으로 극지를 운항할 수 있는 기능을 보유한 전문인력이 반드시 필요하다. 쇄빙연구선 아라온호는 쇄빙능력을 지닌 극지운항 전문선박으로 극지의 해빙을 극복하고 독자적인 항해를 하며 화물운송, 연구지원, 선박구조 등 다양한 활동을 수행하고 있다. 특히 찬 바닷물에서도 쉽게 깨지지 않는 고장력의 두꺼운 특수철판으로 무장되어 있으며, 일반 선박보다 3~4개 강력한 힘을 가진 추진장치를 사용하고 있다. 또한 자동위치제어시스템(DP2), 선체의 무게중심을 조정하는 장치와 선체 옆에서 물이나 공기를 뿜어내는 분사장치 등 일반선박과 차별되는 별도의 시설과 장비를 보유하고 있다. 이러한 장비는 극지운항 전문교육을 받은 인력만이 조작 가능하다. 하지만 현재 국내에는 극지운항을 위한 전문인력 양성 교육과정이 미비한 실정이며, 아라온호가 건조되기 전에는 극지 운항을 위한 현장실습을 해외선박에서 받아야 하는 등 매우 열악한 상황이었다.

2009년 아라온호가 건조되면서 국내 자체적으로 교육이 가능해졌으며, 쇄빙운항교육, 자동위치제어장치(DP) 운영교육, 추진기 운영교육, 결빙해역에서의 해기사 교육, 일반 선원의 현장실습 등 다양한 교육의 장으로 활용되면서 극지운항 전문인력 양성에 기여하고 있다.



"바다와 함께한 60년, 이제는 세계로"

목 포 해 양 대 학 교

수신자 한국해양연구원부설극지연구소장
(경유)

제목 우리대학 실습생의 쇄빙연구선 '아라온호' 승선실습 요청

1. 귀 연구소의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 지구환경변화의 연구 및 극지연구활동을 지원하고 있는 쇄빙연구선 '아라온호'에 승선을 통하여 극지연구활동의 체험 및 특수선의 승선실습 경험을 토대로 우수한 해기사로 성장할 수 있도록 우리대학교 실습생에게 승선실습의 기회를 제공하고자 다음과 같이 요청하오니, 업무에 반영하여 주시기 바랍니다.

가. 승선실습 기간 : 2010. 9. ~ 2011. 5.(9개월)

나. 승선실습 대상자 : 실습항해사 및 실습기관사 각 1명. 끝.

목 포 해 양 대 학 교 총 장

★주무관 김창수 주무관 심영진 학생지원담당관 최현중 학생지원처장 김갑기

협조자 실습리 한원희

시행 학생지원과-400 (2010-09-01) 접수 쇄빙선운영팀-464 (2010.09.01.)

우 530-729 전라남도 목포시 해양대학로 91(죽교동) / (chnsu0206@mmu.ac.kr)

전화 061) 240-7052 전송 061)240-7852 / (chnsu0206@mmu.ac.kr) / 공개

우리에게 바다는 땅 입니다

한 국 해 양 대 학 교

수신자 한국해양연구원부설극지연구소장
(경유)

제목 쇄빙선『아라온호』승선 실습생 추천

1. 귀 연구소의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 지구환경변화연구 및 극지연구활동등을 지원하고 있는 쇄빙선『아라온호』에 우리대학교 해사대학 학생들이 극지활동 체험 및 특수선의 승선실습 경험을 토대로 우수한 해기사로 거듭날 수 있도록 승선실습 기회를 제공하고자 실습생을 다음과 같이 추천하오니 협조하여 주시기 바랍니다.

▣ 쇄빙선『아라온호』실습 대상자 추천 명단

대학명	학생 인적사항				실습선 및 승선기간		비고
	학부(과)	학번	학년	성명	실습선명	실습기간	
한국해양대학교 (해사대학)	해양경찰학과	20091916	3	정선미	쇄빙연수선 『아라온호』	2011. 7월 ~ 2011. 9월	
	선박전자기계공학부	20090393	3	장해원			

끝.

해 사 대 학

협조 정훈동 행정실장 직무대리 윤윤수 확장 05/16 예병덕

KOPRI 극지연구소

<그림 2-42. 국내 대학에서 쇄빙연구선 아라온호로 실습을 요청한 공문>

[표 2-24] 해기사(항해사) 대상 쇄빙운항교육(ice-navigator training) 이수

일시	내용	비고 (교육기관)
2010.05.17 ~ 05.21	선장 김현율	Makarov Training Center (Russia)
2012.06.25 ~ 06.29	선장 김봉욱, 1항사 정은섭	
2013.05.13 ~ 05.17	1항사 임채호	
2014.06.02 ~ 06.06	선장 김광헌	
2014.06.16 ~ 06.20	1항사 조경준, 김영준, 2항사 황옥천	
2014.11.24 ~ 11.28	2항사 최한샘	

[표 2-25] 해기사(항해사) 대상 자동위치제어장치(Dynamic Posioning System 2-grade) 운영교육 이수

일시	내용	비고 (교육기관)
2010.12.13 ~ 12.17	선장 김현율	
2011.09.19 ~ 09.22	선장 김봉욱	Dynamic positioning center (Singapore)
2012.09.10 ~ 09.14	2항사 김종완	
2013.01.14 ~ 01.18	선장 양종열	Dynamic positioning center (Singapore)
2013.12.02 ~ 12.05	1항사 정은섭	
2014.06.02 ~ 06.06	선장 김광헌, 1항사 김영준	Norwegian Training Center (Manila, philippines)
2014.06.23 ~ 06.27	1항사 조경준	Kongsberg Maritime Training Center (Singapore)
2014.11.03 ~ 11.07	2항사 최한샘	Norwegian Training Center (Manila, philippines)
2015.03.10 ~ 03.14	1항사 임채호	Makarov Training Center (Rusia)

[표 2-26] 해기사(기관사) 대상 전방위(Azmuth) 추진기 운영교육 이수

일시	내용	비고 (교육기관)
2009.07.06 ~ 07.15	추진기 운영교육 (이우근, 김희수)	ABB
2014.05.22 ~ 05.23	추진기 운영교육 (이종호, 양승훈, 김정욱, 윤종오, 민경진, 최재혁, 박성근)	ABB

[표 2-27] 결빙해역에서의 해기사(항해사) 양성 성과

구분	내용	비고
선장	김익수(2009), 김현율(2009 ~ 2013), 김봉욱(2011 ~ 2014), 양종열(2013) 김광헌(2014 ~ 현재)	5인
1항사	최종범(2009~2011), 김대영(2011), 정은섭(2011-2014), 김진우(2012~2013), 조경준(2013~2014), 임채호(2015~현재)	6인
2항사	김대영(2009~2011), 김진우(2011~2011), 나무진(2010), 최영(2011), 김운선(2011), 김종완(2011~2012), 황옥천(2012~현재), 손성주(2013), 김선중(2014), 최한샘(2015~현재)	10인
3항사	황옥천(2011~2012), 최한샘(2013~2015), 배승준(2015~현재)	3인

[표 2-28] 전방위(Azmuth) 추진기 운영을 통한 결빙해역에서의 해기사(기관사) 양성 성과

구분	내용	비고
기관장	서호선(2009~2010), 한재홍(2010~2012), 김홍순(2011), 이우근(2012~2015), 윤석찬(2012), 이종호(2014~현재)	6인
1기사	이우근(2009~2012), 이진용(2011~2012), 양승훈(2012~2014), 김정욱(2013~2014), 윤종오(2014~현재)	5인
2기사	김수환(2009~2010, 장정준(2009~2010), 박상후(2009~2010), 김명진(2010~2011), 홍은기(2011~2012), 안재민(2012~2013), 백창엽(2013), 윤종오(2013~2014), 유정민(2014~현재)	9인
3기사	홍은기(2010), 유정민(2014~2015), 노태종(2014~현재)	3인

[표 2-29] 예비해기사(항해사 및 기관사) 현장 실습교육 성과

일시	내용	비고
2010.07.15. ~ 2010.09.03.	목포해양대학 : 장혜원(예비항해사), 정선미(예비기관사)	아라온호 남극항해
2010.10.10. ~ 2011.05.15.	한국해양대학 : 황수지(예비항해사), 황인하(예비기관사)	아라온호 북극항해

[표 2-30] 쇄빙연구선의 결빙해역 운항을 통한 일반선원 양성 성과

구분	내용	비고
전자장/사	신동섭(2009~2010), 이상영(2009~현재), 박상후(2010), 홍은기(2010~2012), 김무현(2010~2012), 김영준(2011), 이민규(2011~2014), 오병익(2011~2013), 강효원(2011), 유정민(2012~2013), 강승환(2013~2014), 박성찬(2013~2014)	12인
조기장/수	이상진(2009~현재), 박기천(2009~2011), 나병선(2009~2011), 김성열(2011~2012), 오혜동(2011), 채종식(2011), 제상원(2011~2015), 이한우(2012~2014), 조정래(2012~현재), 박혜식(2014~현재)	10인
갑판장	이재근(2009~현재), 안동규(2014~현재)	2인
갑판수/원	구자익(2009~2011), 이범석(2009~2010), 유승완(2009~2010), 김홍귀(2009~2011), 이시석(2009~2011) 배성경(2010), 허재민 (2010~2011) 권인수(2010), 김준호(2011), 서동규(2011), 이철우(2011), 최원준(2011~현재) 이정훈(2011~2013), 이성백(2011~현재), 안동규(2011~2014), 윤구혁(2011~2015), 김태연(2009~2014), 김명근(2011~2012), 최진규(2012), 박진수(2012~2013), 정병준(2012~현재), 최용길(2013~현재), 안상우(2013~2014), 김봉춘(2014~2015), 정재영(2014~2015), 노태현(2014~2015), 이영준(2014~현재), 장종민(2014~현재),조형진(2014~현재)	29인
조리장/수/원	김기환(2009), 권인수(2009~2014), 이호섭(2009~2010), 송선호(2009~2010), 이상범(2009~2012), 김남훈(2009~2014), 박경석(2010~2011), 조민제(2010~2011), 이용욱(2010), 김종길 (2010), 김준혁(2010) 김반석(2010), 김병섭(2010), 최원준(2010~2011), 김선태(2011), 박성철(2011~2014), 조정준(2011~2012), 이성운(2011~2015), 정영일(2012), 박주영(2011~2012), 손진영(2011~2012), 김재광(2011), 나신택(2012), 이희철(2014~2015), 김경표(2015~현재), 박구식(2015~현재)	26인

(3) 구조 및 구난 분야

아라온호의 남극 연구항해 중 두 차례의 조난당한 선박의 구조 활동으로 아라온호의 위상이 전 세계적으로 알려지기도 하였다. 2011년 12월 남극 로스해(74°59′S, 156°35′E)에 러시아 어선 스파르타호가 빙하에 부딪혀 조난되는 사건이 발생하여 뉴질랜드 크라이스처치항에 정박 중인 아라온호가 뉴질랜드 구조센터와 긴밀히 협조하여 신속한 구조 활동을 펼쳤다. 당시 아라온호는 조난당한 선원 32명을 모두 구조하였고 선체 수리 작업을 실시한 후 안전한 지역으로 어선을 인도하였다. 이후에도 로스해(73°22′S, 179°07′E)에서 조업을 하던 우리나라 어선 정우2호(500톤급, 선우실업 소속)에 화재가 발생하여 구조 활동을 지원하였다. 이러한 성공적인 구조 활동으로 쇄빙연구선을 보유한 선진국으로서 우리나라의 역량을 유감없이 발휘하게 되었다.

2015. 5. 30. 아라온, 구조 끝내고 남극 기지로... 얼음 깨며 길 열어 스파르타호 자매 어선에 인계 - 국민일보

인쇄 취소

국민일보 www.kmib.co.kr

아라온, 구조 끝내고 남극 기지로... 얼음 깨며 길 열어 스파르타호 자매 어선에 인계

입력 2011-12-28 22:08

KOPRI 극지연구소

아라온호(아래)가 28일(현지시간) 얼음을 깨고 물길을 열자 러시아 어선 스파르타호가 조심조심 뒤따르고 있다. 남극해 유빙에 부딪쳐 고립된 지 13일 만에 운항을 재개한 스파르타호를 극지연구소 연구원들과 현대건설 관계자들이 아라온호에서 지켜보고 있다.

아라온호(남극해)=이동희 기자

"굿바이 스파르타~" 아라온호가 남극해에서 조난당한 러시아어선 스파르타호 구조작업을 28일 무사히 마쳤다. 아라온호는 이날 밤 늦게 뱃머리를 다시 돌려 장보고기지가 들어설 남극 테라노바 만으로 향했다.

◇임무 완수=28일 저녁 10시(이하 현지시간), 남위 73도21분. 유빙이 없는 안전한 해역에서 대기하고 있던 스파르타호의 자매어선 '치요-마루3'호가 눈앞에 나타났다. 이 배에 스파르타호를 인계하면서 사흘간 진행된 아라온호의 구조작업은 완전히 종료됐다.

앞서 아라온호는 이날 오전 9시 사고해역을 출발했다. 아라온호가 얼음을 깨며 물길을 열었고, 스파르타호가 뒤를 따랐다. 유빙으로 가득한 남위 74도15분 지역에서 다소 시간이 지체됐지만 그 밖의 구간에선 7~8노트(약 12~14km/h) 속도로 순조로운 항해가 이어졌다. 작별의 시간, 스파르타호 선장 알렉 발로시는 무전을 통해 "매우 고마웠다. 선장 이하 모든 승조원에게 감사 인사를 전한다"고 말했다.

출발 직전 아라온호 승조원들과 남극 제2기지(장보고 기지) 건설 준비작업을 하기 위해 승선해 있던 현대건설 관계자들이 스파르타호로 건너가 전날 작업했던 시멘트 구조물의 상태를 살폈다. 현대건설 박재수 전무는 "기온이 영하권인 탓에 시멘트가 약간 덜 굳었지만 철판 용접 작업을 완벽하게 했기 때문에 출발해도 괜찮을 것으로 판단했다"고 말했다.

스파르타호가 뉴질랜드 방면으로 떠나는 모습을 지켜본 아라온호는 방향을 돌려 장보고

http://news.kmib.co.kr/article/print.asp?arcid=0005691880

2015. 5. 30. 아라온, 구조 끝내고 남극 기지로... 얼음 깨며 길 열어 스파르타호 자매 어선에 인계 - 국민일보

기지 건설예정지인 남극 테라노바 만으로 출발했다. 아라온호는 새해 첫날부터 기지 건설을 위한 사전 조사 활동과 남극 연구활동을 지원하게 된다.

◇구조 의의=아라온호가 2009년 11월 취역 이후 인명구조활동을 펼친 건 이번이 처음이다. 보통 선박으로는 접근조차 어려운 유빙지역에서 성공적인 구조를 마쳐 쇄빙선을 보유한 과학 선진국으로서 대한민국의 역량을 유감없이 발휘했다.

도움을 받은 어선의 국적이 러시아라는 점도 눈여겨 볼 대목이다. 러시아는 구소련 시절부터 남극 기지 건설에 적극적이었다. 장보고 기지가 들어선 이후 남극 내 러시아 기지들과의 유대를 돈독히 할 수 있는 계기를 마련한 것이다. 특히 러시아는 북극해 일대에 막대한 영향력을 갖고 있다. 차후 우리 북극 기지인 '다산기지'를 운영하는 데도 러시아의 도움을 받을 수 있는 가능성이 생겼다.

이명박 대통령은 아라온호에 전화를 걸어 "어려운 여건에서도 인도주의적 차원에서 인명을 구조해 국제사회의 일원으로서 책임을 다한 아주 잘 된 일"이라며 "지난번 드미트리 메드베데프 러시아 대통령도 통화에서 매우 고맙다고 했다"고 말했다고 김예동 남극내륙기지사업단장이 전했다.

아라온호(남극해)=김도훈 기자 kinchy@kmib.co.kr

COPYRIGHT BY KUKMINILBO ALL RIGHTS RESERVED.

http://news.kmib.co.kr/article/print.asp?arcid=0005691880 2/2

<그림 2-43. 러시아 어선 구조 활동 관련 국내기사>

<그림 2-44. 러시아 어선 구조 활동>

<그림 2-45. 한국어선 구조 활동>

KOPRI 극지연구소

제 5 절 타국가 쇄빙연구선 북극해 활동현황

극지연구 선진국들은 쇄빙연구선을 비롯한 항공기, 극지과학기지 등 거대 인프라를 활용하여 연구 활동을 수행 중이다. 전통적으로 오랜 역사를 가진 북극 연구국가인 독일과 영국, 그리고 최근에 들어서 북극연구를 강화하는 중국 및 일본의 북극해 활동 현황을 간략히 소개한다.

1. 독일[22)]

독일은 AWI(Alfred Wegener Institute, 극지·해양연구소) 소속의 쇄빙연구선 Polarstern을 이용하여 오랜 기간 동안 북극해 연구 활동을 진행하여 왔다. 주로 그린란드와 노르웨이 사이의 프람 해협의 해양 현상과 해양-대기 상호작용을 규명하는 기후변화 연구, 심해 생태계 연구, 해저 메탄 방출 연구 등을 수행하며 중장기 관측 프로그램을 유지하기 위한 플랫폼 역할을 하고 있다.

AWI의 남·북극 탐사에 이용되는 Polarstern(1982년 건조)은 17,300톤급(길이 118m, 폭 25m)의 쇄빙연구선으로 1.5m 두께의 얼음을 5노트의 속도로 깨고 항해할 수 있는 쇄빙능력을 보유하고 있다.

[표 2-31] 독일 Polastern 제원

선 박 명	Polarstern
중 량	17,300톤
건 조	1982
크 기(m)	118 x 25 x 11.21 (LxWxH)
속 도	16 knots(최대)
Propulsion	14,116 kW Diesel Electric 1 Bow & 1 Stern Thruster
운영주체	AWI
승선인원	94명 (연구원: 50, 승무원: 44)
주요활동	Biology, Geology,Oceanography.etc.
Ice Class	1.5 metres thick at a speed of 5 knots

Polarstern은 약 50여 회 이상의 남·북극해 연구항해를 수행하고 있다. 최근에는 프람해협, 그린란드해역을 중심을 연구 활동을 수행하고 있으며, 2014년에

22) 제2 쇄빙연구선 건조를 위한 기획연구, 2014, 극지연구소, BSPE13340-071-12

는 북극점 근해의 해양탐사활동을 수행하였다. 최근 4년간의 북극해 연구항해 중 주요 연구 활동 내용은 다음과 같다.

○ 2009년 북극해 연구항해
- (관측 데이터 수집) 그린란드해와 노르웨이 Fram Strait 지역의 주요 해양 프로세스(key oceanic processes) 규명을 위한 중장기 관측 데이터 수집
- (관측 데이터 수집) AWI 심해 중장기 관측소인 Hausgarten 및 노르웨이 대륙붕에 위치한 Hakon Mosby 이화산을 중심으로 기후변화에 반응하는 심해 생태계 관측 데이터 수집

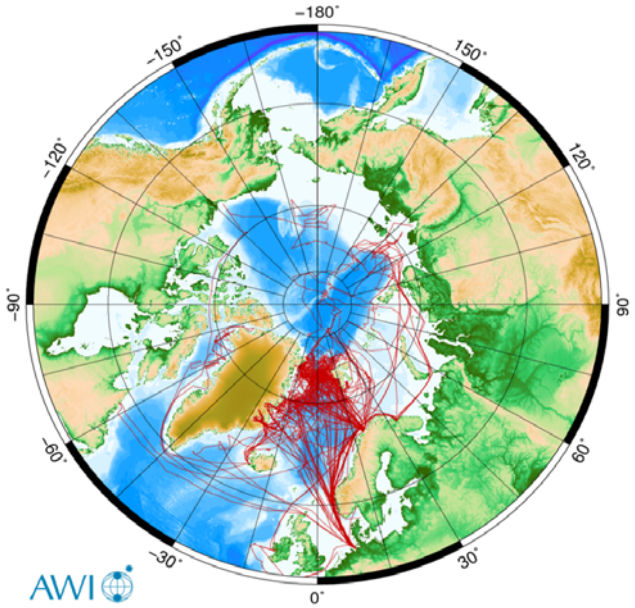
○ 2010년 북극해 연구항해
- (환경변화 연구와 수로 측량) 3개의 생물지리권(climate zones)이 만나는 그린란드해를 대상으로 플랑크톤·조류 비교 연구 및 환경변화 반응연구와 그린란드해 해양학 연구(oceanography) 및 수로 측량(hydrography) 수행
- (관측 데이터 수집) AWI 심해 중장기 관측소인 Hausgarten 및 노르웨이 대륙붕에 위치한 Hakon Mosby 화산을 중심으로 기후변화에 반응하는 심해 생태계 관측 데이터 수집

KOPRI 극지연구소

○ 2011년 북극해 연구항해
- (생태계변화 측정) 프람해협 해류·동식물 생태계 변화를 지속적으로 측정하기 위하여 Seaglider 장비 배치
- (해양생태계 변화 조사) Hausgarten 해양 생태계 연구와 특정 동물들의 생리적 한계를 실험하여 온난화 과정에 대한 반응을 조사
- (해저가스 조사) 가스분출기둥 보고지역을 대상으로 샘플링과 스발바르 해저 메탄 배출 현황 조사 등

○ 2012년 북극해 연구항해
- (환경변화 관측) 북대서양과 북극해를 연결하는 프람해협의 해양순환과 환경변화 관측을 위한 연구장비 배치
- (관측데이터 수집) AWI 심해 중장기 관측소인 Hausgarten 및 노르웨이 대륙붕에 위치한 Hakon Mosby 화산을 중심으로 기후변화에 반응하는 심해 생태계 관측 데이터 수집

[표 2-32] 독일의 북극해 연구활동 현황

기 간	연구대상지역	해당지역
99. 6~10	북극해	
00. 6~8	북극해	
01. 6~7	프람해협	
01. 7~10	Gakkel Ridge	
02. 6~10	그린란드해, 프람해협	
03. 2~10	북극해	
04. 6~10	그린란드해,프람해협	
05. 7~9	프람해협	
07. 5~10	노르딕해, 북극해	
08. 6~10	북극해	
09. 6~9	그린란드해	
10. 6~10	그린란드해,프람해협	
11. 6~9	북극해, 프람해협	
12. 6~10	프람해협, 북극해	

KOPRI 극지연구소

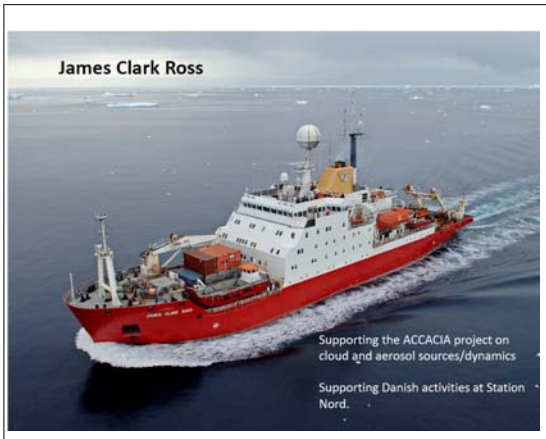
2. 영국[22)]

전통적인 남극 연구국가였던 영국은 쇄빙연구선 James Clark Ross를 이용해 정기적인 북극 연구항해를 진행 중이며, 해양-대기 상호작용, 에어로졸 거동 관측을 수행하고, 항공기 등 타 인프라를 활용하여 북극연구를 병행하고 있다.

영국의 극지연구기관인 BAS(British Antarctic Survey)는 영국 자연환경연구위원회(Natural Environment Research Committee, NERC) 산하 정부출연 연구기관으로 설립되었으며, 영국의 전체 극지연구 프로그램을 담당하고 있다.

- 핀란드와 공동으로 항공기를 활용한 대기 중 온실가스 연구(2012)
- 항공기를 활용한 아이슬란드와 그린란드 빙상(ice sheet) 거동연구(2013)
- James Clark Ross를 이용한 대기 중 에어로졸 거동 현상 연구(2013)

[표 2-33] 영국 James Clark Ross 제원



선 박 명	James Clark Ross
중 량	5,730톤
건 조	1990
크 기(m)	99.04 x 18.85 x 6.4 (LxWxH)
속 도	12 knots(항해)
Propulsion	Diesel Electric 8,500 HP, Bow & Stern Thruster
운영주체	British Antarctic Survey
승선인원	76명(연구원: 50, 승무원: 26)
주요활동	Oceanographic Survey
Ice Class	Lloyds +100A1

[표 2-34] 영국의 북극해 연구활동 현황

기 간	연구대상지역	해 당 지 역
08. 7~8	스발바르	Biogeochemistry, Biology
08. 8~9	롱이어비엔/니알슨	Dynamics of Polar Gas Hydrates
09. 9~10	서그린란드/배핀만	Marine Geology, Geophysics
10. 6~7	스발바르/동그린란드	Biogeochemistry, Geology, Physics
12. 7~8	스발바르/동그린란드	Links Between Ocean Acidification and Plankton
13. 3	스발바르	Aerosol-Cloud Coupling and Climate Interactions (NERC ACCACIA)
13. 7~8	스발바르	Aerosol-Cloud Coupling and Climate Interactions (NERC ACCACIA)

3. 중국[22)]

중국은 쇄빙선 Xuelong을 최근 북극해에 투입하여 해빙역의 해빙-해양-대기, 지구물리, 고해양 연구를 진행하고 있다. 특히 지난 2012년에는 북극해 항로 시범 운항과 연구항해를 수행하였고, 태평양으로 통해있는 베링해와 척치해를 주요 연구 대상해역으로 활동하고 있다.

중국은 우주개발계획(창어계획)과 북극기후변화연구를 국가적 전략 투자사업으로 추진하고 있으며, 자국 쇄빙선 Xuelong을 이용하여 1999년부터 5차례에 걸쳐 북극점 근접 탐사를 실시하였다.

Xuelong은 1993년 우크라이나에서 건조된 쇄빙선으로, 1994년부터 극지연구활동에 투입되어 현재 보급 및 연구기능을 수행하고 있다. Xuelong은 21,025톤

으로 탑승인원 128명, 길이 167m, 넓이 23m이며, 1.1m 두께의 얼음을 1.5노트의 속도로 쇄빙할 수 있으며, 최대 18노트의 속도로 운항이 가능하다. Xuelong의 운영은 중국의 극지연구기관인 PRIC(Polar Research Institute of China)에서 담당하며, 해양화학, 생화학, 해양생물학, 대기화학, 해양물리학, 지질학 등의 연구분야 장비를 일부 탑재하고 있다.

[표 2-35] 중국 Xuelong 제원

선 박 명	Xuelong(설룡)
중 량	21,025톤
건 조	1993년 (우크라이나)
크 기(m)	167 x 22.6 x 13.5 (LxWxH)
속 도	18 knots(최대)
Propulsion	13,200 kW Diesel
운영주체	중국극지연구소(PRIC)
승선인원	34명 선원 + 128명 탑승자
주요활동	기지보급 및 연구지원
Ice Class	1.1m ice thickness at 1.5knots

[표 2-36] 중국의 북극해 연구활동 현황

기 간	연구대상지역	연구항해 내용
1999 (Jul-Sept)	베링해, 척치해	CHINARE1; 1 year project; unexpected dock at Canadian NWT Tuktoyaktuk settlement; Investigations on Arctic Maritime Ecology, Atmospheric, Geologic, and Fishing Conditions
2003 (Jul-Sept)	베링해, 척치해	CHINARE2; 1 year project; Deployment of Underwater Robot and Other Equipment to Investigate Global Climate Implications and Arctic's Influence on Chinese Weather
2008 (Jul-Sept)	베링해, 척치해	CHINARE3; coordinated with IPY - Arctic Change and its Tele-impact on Mid-Latitudes (ARCTIML)
2010 (Jul-Sept)	베링해, 척치해	CHINARE4; coordinated with IPY - Arctic Change and its Tele-impact on Mid-Latitudes (ARCTIML)
2012 (Jul-Sept)	베링해, 척치해, 그린란드해 등	CHINARE5; Exploration of High Norwegian Seas; Geophysical Survey, Installation of Automatic Meteorological Station, Oceanic Turbulence and Methane Content in the Arctic

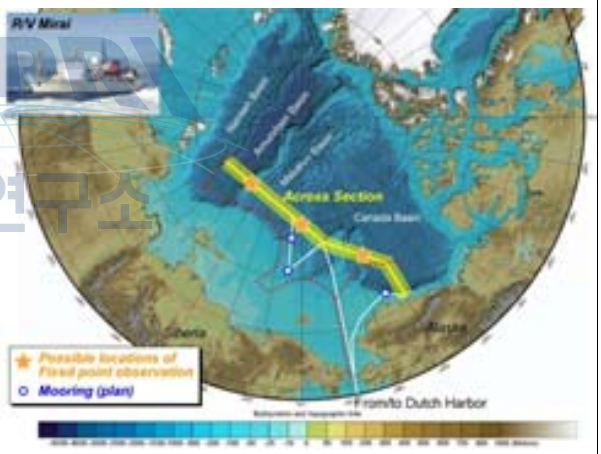
KOPRI 극지연구소

중국은 극지해양과학, 극지생물과학, 극지고층대기, 극지빙하 등 4개 연구프로그램 중심 연구활동 추진 중이며, 북극해 연구로 ARCTIML 프로그램[23]을 운영중이다.

4. 일본[22]

일본은 JAMSTEC(Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 일본해양연구개발기구)을 중심으로 쇄빙연구선은 아니지만 대형 종합해양연구선 Mirai를 이용하여 1999년부터 북극 해빙이 걷히는 북극 하계기간 중에 북극해 종합탐사 활동을 진행하고 있다.

[표 2-37] 일본 Mirai호의 북극해 연구활동 현황

기간	연구대상지역	비고	해당지역
99. 8~10	베링, 척치	MR99-K05	
00. 08~10	베링, 척치, 보퍼트	MR00-K06	
02. 08~10	척치, 보퍼트	MR02-K05 Leg1	
04. 09~10	척치, 보퍼트	MR04-05	
08. 08~10	척치, 보퍼트	MR08-04	
09. 08~10	베링, 북태평양	MR09-03	
10. 08~10	베링, 북태평양	MR10-05	
12. 09~10	베링, 척치	MR12-E03	

쇄빙선 Shirase는 남극활동 중심으로 운영되었으며, 2009년 쇄빙선을 신규 건조하여 기존 Shirase와 대체(선명 동일)하였다. Shirase는 일본 해상자위대 소속으로 운영되며, NIPR(National Institute of Polar Research, 일본극지연구소)이 해상자위대와 협력하여 일본남극연구조사대 파견과 극지 과학기지 보급을 수행한다.

23) ARCTIML(Artic Change and its Tele-Impact on Mid Latitude) 프로그램: 베링해를 통해 유입되는 태평양 해수가 북극해에 미치는 영향 파악, 해빙지역의 해빙-해양-대기 상호작용 연구, 담수가 해빙분포에 미치는 영향 연구, 북극해 고해양 연구 등 수행

[표 2-38] 일본 Shirase 제원

	선 박 명	Shirase
	중 량	12,700톤
	건 조	2009년 5월
	크 기(m)	138 x 28 x 15.9 (LxWxH)
	속 도	15 knots
	Propulsion	Diesel Electric, 30,000 PS
	운영주체	해상자위대
	승선인원	259명(연구원: 80, 승무원: 179)
	주요활동	Logistics & Oceanographic Survey
	Ice Class	1.5 metres thick at a speed of 3 knots

[표 2-39] 일본 Mirai 제원

	선 박 명	Mirai
	중 량	8,687톤
	건 조	1997
	크 기(m)	128.5 x 19 x 10.5 (LxWxH)
	속 도	16 knots
	Propulsion	4×Diesel Engines, 1,838 kW 2×Controllable Pitch Propellers
	운영주체	JAMSTEC
	승선인원	80명 (연구원 46, 승조원 34)
	주요활동	북극해 해양조사

JAMSTEC은 1999년부터 북극 해빙이 걷히는 북극 하계기간 중에 해양연구선 Mirai를 이용하여 북극해 종합탐사 활동을 진행하고 있으며, 주요 연구지역으로는 베링해, 척치해, 보퍼트해, 북극해, 북태평양 등이다.

일본은 지난 2011년 설립된 일본북극환경연구컨소시엄(JCAR, Japan Consortium for Arctic Environmental Research)을 중심으로 북극의 변화에 따라 일본의 기후에 미치는 영향 평가, 북극해 항로 활용 위한 해빙 분포 및 영향 예측 등의 연구를 수행하고 있다. JCAR의 주요 기능은 중장기 연구계획 수립과 미래 연구방향 및 우선순위 설정, 관측기반 시설 및 네트워크, 데이터 기록 보관과 같은 새로운 연구 기반 제안, 연구그룹 및 기관내의 책임을 지정하고 협력 강화, 북극지역 연구 정보 수집 및 정리와 정보 제공, 북극관련 다양한 정보 및 작업 출판의 기능이다.

JCAR는 다양한 분야에서 약 300여명의 북극연구원들이 참여하고 있는 네트워크형 조직이다. 일본의 극지연구 전담기관인 NIPR의 북극환경연구센터(AERC)에서 JCAR의 사무국을 운영하며 자문역할을 수행하는 핵심기관으로 참여하고 있다. JCAR는 JAMSTEC 등의 지원기관의 협조와 대학 및 기타 연구기관과의 참여 및 연구정보 교류의 역할을 수행하고 있다.

주로 수행하는 활동은 장기 계획·연구체제를 검토, 데이터를 보관, 관리하고, 연구교류활동, 국제와 국내 협력 활성화, 인력양성과 홍보·보급을 중심으로 6가지 활동을 수행한다.

장기 계획·연구제체 검토는 하여 5~20년 후 북극환경연구 과제와 실행방안 등에 대한 검토와 제언을 수행한다. 데이터 보관·관리는 일본 북극환경에 데이터 보급, 관리 현황을 확인하고 장기 계획을 수립하여, 북극 기후변화 프로젝트에서 실시할 사항을 정리한다. 연구교류는 심포지엄, 학회 등의 세션을 통해 연구 커뮤니티에서 연구, 정보 교류에 대한 국제화를 염두에 두고 역량을 제고한다. 국내외 협력 추진은 북극환경 연구에 대한 국제동향을 수집, 확보, 전파하고, 일분의 북극환경연구의 역량을 제고할 수 있도록 추진한다. 인재육성을 위해서는 북극 환경연구 관련 인력 현황을 파악하고, 구체적인 인력양성 활동 계획을 수립하고 실현한다. 마지막으로 홍보·보급에서는 북극 환경연구에 관한 다양한 사람들의 홈페이지, 간행물, 강연회 등을 통하여 북극 환경연구를 소개하고 홍보한다.

2015년까지 수행하는 주요 연구주제는 북극온난화 증폭의 체계, 세계 기후와 미래변화를 위한 북극의 기후변화 체계, 북극의 변화가 일본의 해양생물, 수산업, 기후 및 기상에 미치는 영향, 그리고 해빙 분포와 북극항로 관련 연구를 수행하고 있다.

KOPRI 극지연구소

제 3 장

건조 필요성

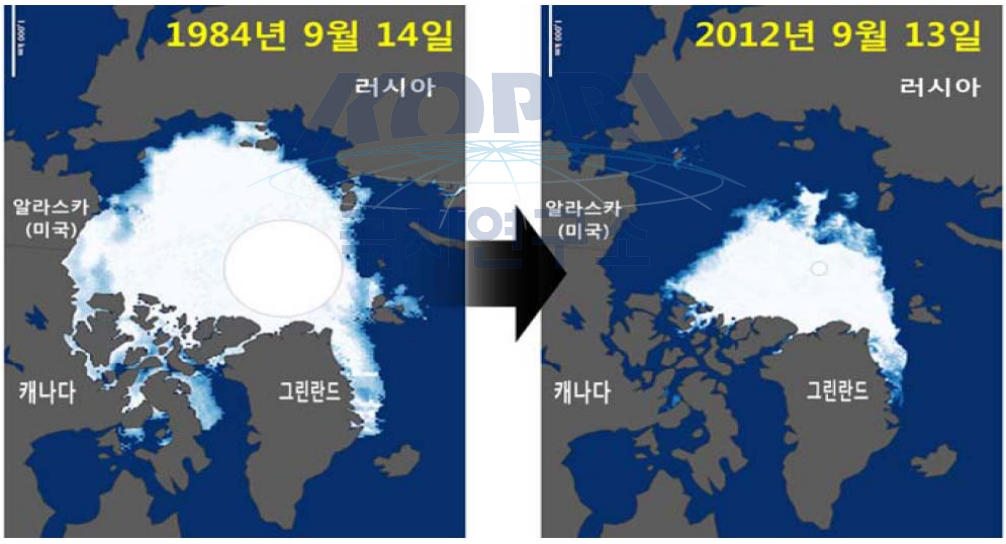
KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 북극지역 연구·조사에 대한 필요성 확산

1. 전 지구적 기후변화 연구

2012년 9월 북극의 빙하면적은 관측사상 최저치를 기록했으며 최고치의 22%에 불과하며 지금도 지속적으로 감소하고 있다. 북극의 영구동토층이 녹기 시작하면서 이산화탄소 배출량이 대폭 늘어나 지구온난화가 빠르게 진행되면서 북극 해빙(解氷)도 자연스럽게 가속화되고 있다. 북극의 빠른 해빙으로 항로와 자원개발 가능성이 증대되고 있으며, 북극항로의 상업적 개설이 10년 이내로 앞당겨질 전망이다. 2012년 9월 최초로 북극항로 전 구간이 완전히 해빙된 바 있으며, 2020년엔 6개월, 2030년엔 연중 일반항해가 가능할 것으로 예상된다.



<그림 3-46. 북극의 빙하 면적 감소>

북극지역의 기후변화는 북극 연안국은 물론 지구 전체적인 기후 변화에 영향을 주고 있다. 1990년대 후반 Thompson and Wallace(1998)에 의해 극지방과 중위도 지역의 기압차에 의한 북극진동(Arctic Oscillation)이 정의 된 이후 북극진동이 중위도 기후에 미치는 영향에 대한 연구들이 이루어졌다. 우리나라에서도 북극의 기후현상이 우리나라 겨울철 저온현상이나 대설과 같은 극한기후 발생에 영향을 미치고 있음을 확인한 연구도 있다. 이렇게 북극의 기후변화가 우리 일상생활에까지 직접적인 영향을 미친다는 점으로 인해 우리나라를 비롯한 많은

국가들이 북극의 기후변화에 대해 관심을 갖고 연구하고 있다. 특히 지구온난화로 인한 빙하 해빙은 새로운 물류 루트, 자원의 확보 가능성을 보여주고 있으며, 북극지역을 통한 과학외교와 국가 간 공동학술연구 활성화 등 다양한 변화를 불러일으키고 있다.

KOPRI
극지연구소

2. 신규 지하자원 확보

해빙과 함께 석유·가스 탐사 및 시추 기술이 발달하면서 북극지역에 매장된 자원에 대한 관심이 증대되고 있다. 북극지역에는 전 세계 미발견 석유가스 자원량의 22%에 해당하는 4,120억 배럴(석유환산배럴)이 매장되어 있는 것으로 추산된다. 전통자원으로는 천연가스(47조m^3)와 천연가스 액화물(440억 배럴)이 78%를 차지하며, 석유는 900억 배럴이 매장되어 있고 석탄층 메탄가스(CBM), 가스하이드레이트(Gas Hydrate), 오일셰일(Oil Shale) 등 비전통자원도 풍부하게 매장되어 있을 것으로 추정된다. 화석연료 이외에도 고부가가치의 광물자원과 물고기 등 수산자원 역시 풍부하다. 2조 달러 상당의 철광석, 구리, 니켈 등과 함께 금, 다이아몬드, 은, 아연, 납, 우라늄 등 러시아, 알래스카, 캐나다 북서지역, 노르웨이와 같은 연안국을 중심으로 다수의 대형 매장지가 개발되어 생산 중이며, 현재 61개의 대형 석유, 가스 매장지가 발견되었고, 그 중 46개 지역에서 생산 중이다.

북극과 가까운 국가들과 글로벌 기업들이 북극개발을 위한 노력을 본격화하기 시작하면서 북극 자원개발을 위한 경쟁이 예상되고 있다. 미국, 캐나다, 러시아, 노르웨이, 덴마트 등 북극해 연안 5개국은 북극자원 개발을 선점하기 위해 국가 차원의 개발전략을 추진하고 있다. 북극개발에 가장 적극적인 러시아는 2007년 로모노소프 해령에 대한 탐사를 마쳤으며, 바렌츠해와 카라해 연안에 가스 파이프라인을 연이어 설치했다. 또한 야말 반도에서 석유와 가스를 개발하고 북극권 지역인 노릴스크에서 구리와 니켈 등 광산을 개발하기 위해 대도시를 조성했다. 미국은 북극 알래스카 지역의 자원개발을 본격화 하면서 미 해군의 북극 탐사 예산을 40% 증액했으며, 캐나다는 글로벌 자원기업에게 북극 해상광구 세 곳에 대한 개발권을 부여했다.

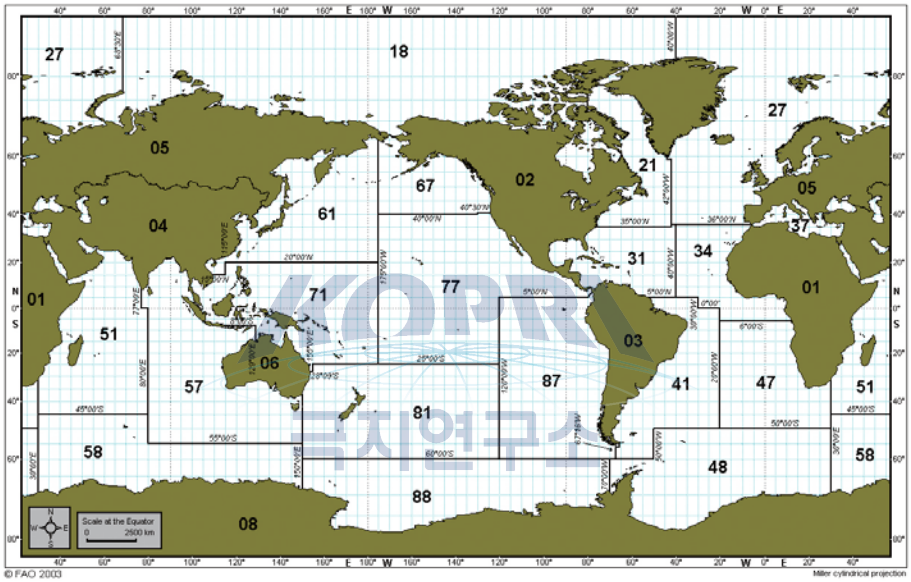
KOPRI 극지연구소

<그림 3-47. 북극지역 주요 석유와 가스 매장지>

글로벌 자원기업인 쉘, 엑슨모빌, BP, 스탯오일, 로열더치셸 등은 그동안 손대지 않았던 심해(수심 300미터 이상)와 초심해(수심 1,500미터 이상), 그리고 북극해로 눈을 돌리고 있다. 바다속에서 유전을 개발하려면 수심 깊숙이 내려가 다시 해저 바닥을 2,000~3,000미터나 뚫고 들어가야 한다. 하지만 그곳에서도 석유가 발견되지 않거나 예상보다 적은 양이라면 무려 1억 달러 이상의 손해를 입게 된다. 상황이 이렇다 보니 대규모 자금을 동원할 수 있고 자원 개발 기술과 경험이 앞선 자원기업 들이 북극해의 자원개발 사업을 독점하고 있다. 쉘은 극지 운항용 드릴쉽을 이용해 2012년부터 용선해 알래스카 자원개발에 투입했으며, 그린란드의 자원개발에도 노력 중이다. 네덜란드의 로열더치셸은 북극해 연안의 모든 국가들에서 석유와 가스를 탐사하거나 생산하고 있으며, 지난 6년 동안 약 40억 달러를 투입해 북극해 자원탐사 작업을 진행했다. 노르웨이의 스탯오일은 자국 원유 생산량의 감소분을 보충하기 위해 바렌츠해, 캐나다, 알래스카, 그린란드에서 자원 개발을 추진 중이다. 북극해 해빙 기간과 지역이 확대됨에 따라 국제유가 및 다양한 광물자원의 매장량 한계, 가격변동 등을 고려할 때 장기적으로 북극자원을 둘러싼 국가, 기업들의 경쟁은 심화될 것이다.

3. 다양한 수산자원 확보

지구온난화로 대구, 연어 등 한류성 어종의 서식지가 북상하면서 북극해 어장이 새로운 어업 중심지로 떠오르고 있으며, 이에 따라 북극해에서의 어업 활동이 더욱 활기를 띨 것으로 보인다. 최근 연구결과에 따르면 지구온난화로 대구, 명태, 가자미, 연어 등 한류성 어종들이 북상하고 있다고 한다. 특히 대서양 북동부의 어족자원 이동이 가장 활발한 것으로 보고된다. 2050년에 이르면 북극해의 종 풍부도는 현재보다 2.5배 정도 증가할 것으로 보인다.



<그림 3-48. 유엔 식량농업기구 어업 지역>

유엔 식량농업기구(FAO)의 어장 구분에 따르면 북극해 어장은 <그림 3-48>의 18번 해역에 해당되며 여기에 북극권 이북의 어장을 포함하면 대서양 동북부, 캐나다 동북부, 북태평양 일부가 북극해 어장으로 확대되며, 북극해에서 대구, 명태, 가자미, 연어 등 한류성 어종 어획량은 전 세계 어획량의 30퍼센트 이상을 차지하게 된다.

북극해와 그 주변 수역에는 흰 살 생선인 대굴, 명태, 가자미류와 청어, 연어류, 열빙어 등의 어류와 새우나 게 등의 갑각류가 서식하고 있다. 북극의 기후 변화 영향 평가(ACIA) 보고서에서는 북극해 주변 수역을 대략 4개 해역으로 구분하고 있다. 이에 따르면 바렌츠·노르웨이 해를 중심으로 한 북동대서양에는 열빙어, 극지대구, 검정가자미, 청어 등이 서식하고 있고 아이슬란드와 그린란드 해

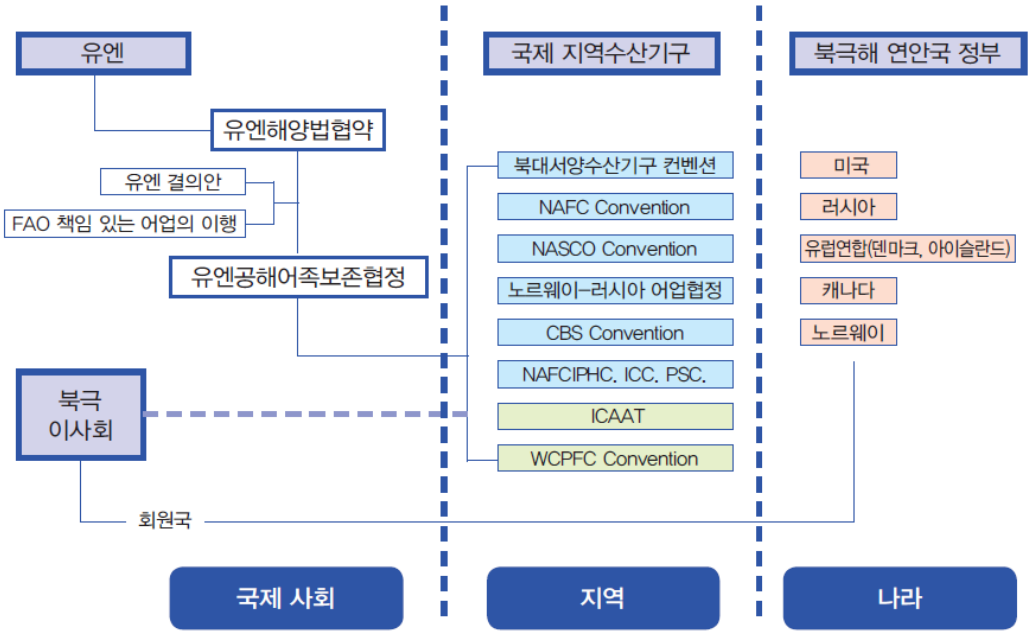
역에는 대서양대구, 검정가자미, 새우와 청어 등이 분포해 있다. 캐나다 북동 수역에는 대서양대구, 열빙어, 새우와 왕게 등이 주로 서식하고 있다. 우리나라와 상대적으로 가까운 베링 해를 포함하는 북태평양 이북 수역에는 명태, 대구류, 가자미류와 연어 등이 서식하고 있다.

[표 3-40] 북극해와 주변 수역의 주요 어족 자원

주요 어장	주요 어종
북동대서양: 바렌츠·노르웨이해	열빙어, 극지대구, 검정가자미, 청어, 새우, 북동대서양대구
아이슬란드 및 그린란드 해역	대서양대구, 검정가자미, 새우, 청어, 열빙어, 청대구
북동 캐나다 해	대서양대구, 검정가자미, 열빙어, 청어, 극지대구, 새우, 왕게
북태평양 이북: 베링해	열빙어, 검정가자미, 새우, 극지대구, 게류, 명태, 대구, 가자미류, 연어

전 세계의 바다 이용에 널리 적용되는 국제법인 유엔해양법협약과 유엔공해어업협정은 북극해 어업 활동에도 포괄적으로 적용된다. 이 국제법들은 법률 이외에 유엔 결의안, 국제연합 식량농업기구의 책임있는 어업의 이행, 관련 기술지침과 국제행동계획(IPOAs), 불법 어업방지를 위한 국제행동계획 등 주요 규정도 북극해 어업 관리에 적용될 수 있다. 현재 북극해의 어업을 직접적으로 관할하는 법적 효력을 가진 국제기구는 없다. 그러나 유엔 총회UNGA와 유엔 식량농업기구를 통해 국제적 협의가 가능하다. 지역적 차원에서는 국제 지역 수산 관리 기구에서 관할 해역을 중심으로 북극해 어업 관리를 담당할 수 있다. 개별 국가 차원에서는 북극해 연안국들이 북극해 어업 정책의 일부분을 계획하거나 수립하고 있다.

명시적으로 북극해를 관할하는 국제 수산 기구로는 북서대서양수산기구(NAFO)와 북동대서양수산위원회(NEAFC), 북대서양연어보존기구(NASCO) 등이 있다. 이 기구들은 북극해에서 일어나는 어업 활동을 직접 관리하고 있다. 이외에 간접적으로 북극해 어업 관리를 할 수 있는 조직으로 중서부태평양수산위원회(WCPFC)와 대서양참다랑어보존위원회(ICCAT)가 있다. 이들 수산 기구는 관할 수역에 북극해가 포함되어 있어서 머지않아 북극해의 남부 지역에 다랑어 등이 서식할 경우 이들에 대한 관리를 담당함으로써 북극해 어업 관리에 참여할 수 있게 된다.



<그림 3-49. 북극해 어업관리 체계>

2009년 2월, 미국 북태평양어업관리위원회(NPFMC)는 북극해에서의 상업적 어업을 금지하는 북극해 어업관리계획(Arctic FMP)을 채택했다. 그리고 알래스카 배타적 경제수역(EEZ)과 북극해의 경계 왕래 및 고도회유성 어족 자원을 효과적으로 관리하기 위해 캐나다, 러시아 등의 국가와 긴밀한 협력 체제를 맺고 있다. 캐나다 북극해 어업은 원주민들에 의한 전통적 어업 중심의 영세어업이 특징이다. 서부의 어업은 대부분 호수나 하천 등에서 이루어지는 내수면 어업이며 동부의 경우 비원주민을 중심으로 근해 어업이 발달하고 있다. 러시아는 2003년에 북극해 어업 계획이 포함된 '2020 러시아 연방 수산업 발전 계획'을 발표했다. 이 발표에 따르면 2020년도 북극해 주변의 북서부 어업 생산량은 251만 톤으로 러시아 전체 어업의 38.2퍼센트를 차지할 것으로 내다보고 있다. 또한 북극해 연안의 어업 자원을 꾸준히 관리했을 때 2007년보다 136퍼센트 가량 어업 자원이 증가할 것으로 예상하고 있다. 노르웨이는 주요 어장이 러시아, 아이슬란드, 그리고 일부 유럽연합 국가들과 인접해 있다. 그러다 보니 각국의 지나친 어획 활동으로 급기야 1990년 이후 어류 자원이 고갈되는 위험에 처했다. 이에 노르웨이는 적극적으로 인접 국가들과 협력해 공동 어업 관리를 추진하고 있다. 특히 북극해에 포함된 바렌츠 해에서 러시아와의 공동 어업 관리는 어업 관리의 모범적 사례로 인식되고 있다.

4. 북극항로 개척

북극 지역의 기후변화와 북극해를 활용하려는 국가별 노력으로 인해 북극해를 이용하는 두 항로인 캐나다의 북서항로(North west)와 러시아의 북동항로(Northern Sea Route; 북극항로)가 열리기 시작했다. 여름철의 경우 북극해의 중심부를 제외한 인근 대부분 해역이 무빙상태이거나 미약한 부유빙 상태로서 내빙상선과 쇄빙상선의 운항이 충분히 가능하다. 최근 연구결과에 따르면 2030년 이전에 북극해의 여름철 극빙이 모두 녹아 사라질 것으로 예측되고 있어 선박의 운항은 지금보다 훨씬 빈번해 질 것으로 예상된다.

북극항로는 동북아시아에서 유럽까지의 최단거리로서 1990년대 러시아의 정치적 변화 이후 그 지정학적 중요성과 함께 경제성이 국제적으로 널리 인식되고 있어 기존의 수에즈운하를 통과하는 항로를 대체할 수 있는 항로로 주목받고 있다.

<그림 3-50. 기존 항로와 북극항로 비교>

북극항로는 기존 수에즈 경유항로보다 운송거리는 약 7,000km, 시간은 10일 이상 단축, 선박 1척당 운항비는 약 4.5억 원(약 30만 유로) 정도의 절감효과가 있을 것으로 예상된다. 국제 대형선사들 역시 운항시간과 비용을 줄이기 위해 북극항로를 이용할 가능성이 매우 높다.

[표 3-41] 기존항로 대비 북극항로의 단축효과

구분	기존항로		북극항로		단축효과	
	경로	거리	경로	거리	경로	거리
부산-로테르담	수에즈 운하	20,000km	북동항로	13,000km	7,000km	10일
부산-뉴욕	파나마 운하	18,000km	북서항로	13,000km	5,000km	6일

2020년 이후 북극항로가 활성화되면 아시아 물동량 중 기존 수에즈 경유항로 이용 물동량의 58.5%가 북극항로를 이용할 것이라 전망되고 있다. 한국해양수산개발원의 연구보고서에 따르면 북극항로 활성화 시 동아시아국가의 교역물량이 지속적으로 증가할 전망이며, 그 운임이 수에즈 항로의 70%일 경우 6개국(한국, 중국, 일본, 대만, 필리핀, 홍콩)의 컨테이너 물동량이 개발 초기 5년 이내 28만 TEU, 2020년 2,800만 TEU, 2030년에는 4,481만 TEU가 북동항로를 이용할 것으로 전망된다.

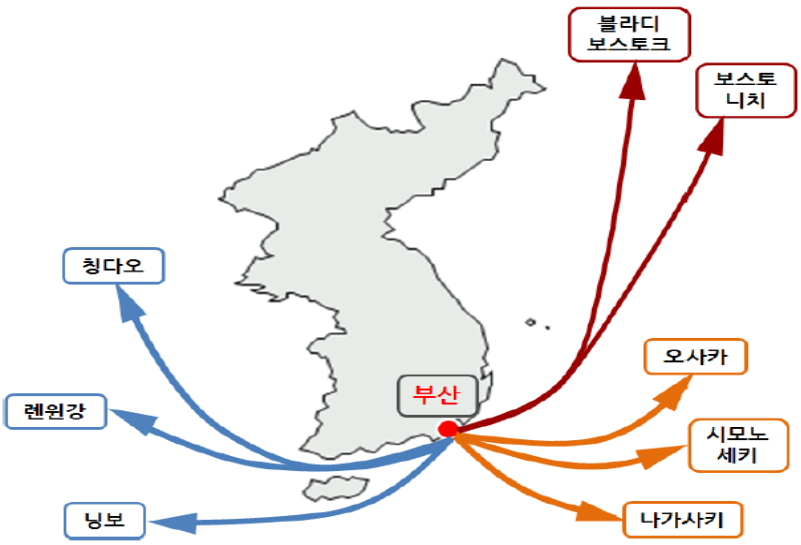
2000년대 초반까지 화물선박의 연료인 벙커유 가격이 2020년 톤 당 700달러까지 상승할 것으로 예상되고 있기 때문에 북극항로의 개발은 운송비용과 소요시간을 크게 감소시킬 것으로 기대되고 있다. 부가적으로도 수에즈 운하에 비해 해적의 위험이 없어 우리나라 해운사의 보험료 부담도 감소될 수 있다. 북극항로에 대한 보다 정확한 경제성 평가를 통해 새로운 항로개척에 대한 국내 해운사의 리스크 수준을 낮출 필요가 있으며, 항로 주변의 빙산자료 분석을 통해 안전한 항해를 확보할 수 있는 준비가 필요하다. 안전한 항해를 위한 내구성 높은 선박 건조와 관련해서는 선박에 적용되는 선급규정 분석, 빙하중의 추정, 고강도-고성능의 쇄빙선박 설계기술이 요구된다. 이러한 쇄빙선의 설계기술 확보는 쇄빙연구선을 이용한 과학기술 확보 및 실질적인 운항 경험을 통해 촉진시킬 수 있다.

5. 항만산업 성장 촉진

우리나라는 북극항로의 경로상에 위치한 유리한 입지를 바탕으로 러시아와 북유럽에서 생산된 자원의 아시아 수출과 동아시아 지역에서 생산된 석유화학 제품의 유럽 수출을 가능하게 해 동북아 해상물류의 중심 국가로 성장할 최적의 조건을 구비했다. 최근 지자체들이 북극항로에 대한 정책적 대응을 구체화하고 있고, 특별히 관심을 보이고 있는 지역으로는 부산시, 울산시, 강원도가 대표적이고 이들 지자체는 지역별 특성을 고려하여 북극항로 상용화에 대비하고 있다.

가. 부산

부산시는 부산항을 중심으로 북극항로 및 북극해 자원 개발의 전진기지 역할, 북항재개발 및 북항기능 재배치 등의 사업을 추진하고 있다. 특히 북극항로의 개척이 부산항 측면에서는 새로운 기회가 될 것이라는 의견이 지배적이다. 부산항은 동북아 경쟁 항만 중에서 가장 접근성이 뛰어나 물류비 절감이 가능하고, 국제적 항만 인지도, 인적·물적 인프라가 풍부하다는 장점을 강조하고 있으며, 이를 기반으로 물류입지 활용전략을 극대화하고 해운 비즈니스 기반을 확보하는 데 중점을 두고 있다. 북극항로 개설 시 부산항은 미국, 유럽 및 중국과 일본 등 주요나라들로 향하는 항로 중심에 위치하게 됨에 따라 세계 2위 환적항으로의 성장이 예상되고, 이를 기반으로 해운 비즈니스 활성화도 가능할 것이다.



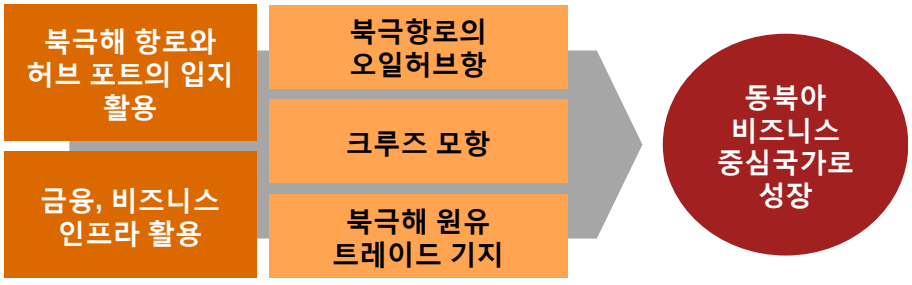
<그림 3-51. 부산항의 허브항구 역할>

부산시는 물류 허브로서의 기능 강화에 집중하기 위해 2009년 북극해항로연구센터를 설립하였으며, 2010년 한국해양대학교 산학협력단을 통해 북극항로 개발에 대한 부산시 대응방안이라는 연구 용역을 진행했다. 2011년에는 국토해양부와 함께 북극해항로 상업 운항에 관련된 국제 세미나를 개최하고, 2013년에는 부산시 경제부시장 주재 하 관련기관/전문가 등이 모여 북극해 환경변화 대응전략 수립회의를 개최하는 등 북극해와 관련된 활발한 연구 활동을 보이고 있다.

나. 울산

울산항은 우리나라 액체화물 36%의 수출입이 이루어지는 국내 최대 액체 물류항이다. 이를 기반으로 2030년까지 물류 허브와 레저, 업무, 국제교역 등을 아우르는 미래형 글로벌 첨단복합 녹생항만으로의 발전전략을 수립하였다. 2012년에는 울산항 발전 전략 세미나를 개최했으며 이때 북극항로와 관련된 이슈가 제시되어 선박급유중심 항만 육성, 북극항해용 선용품 특화, 선박수리업의 활성화, 오일허브항 육성, 북극해 원유생상기지 및 오일 트레이드 중계무역, 북극 관광크루즈의 모항으로 개발 등 여러 가지 활용 방안이 도출되었다. 이에 더해 울산항 버전 2.0을 발표했고 다섯가지 항만개발 컨셉 중 '미래형 석유화학 & 에너지 복합 허브항만'을 위한 세부내용으로 북극항로 선점이 포함되어 있으며, 오일허브항만으로의 인프라 조기 구축 등을 전략과제로 선정했다.

북극항해용 선용품 특화는 북극해를 통과하기 위해 항해에 필요한 선용품을 효율적으로 납품할 수 있는 체제를 마련하는 것으로 특수 장비와 선용품에 대한 연구개발은 물론 북극항로를 위한 특수 선용품 개발 센터, 선용품 물류센터 등 공급 인프라에 대한 내용을 담고 있다. 또한 LNG선, 대형 벌크선 및 유조선 등 북극항로를 이용하게 될 선박들의 수리와 관련된 사업의 활성화를 위한 인프라 구축, 서비스 개발에 대한 전략을 마련하고 있다.



<그림 3-52. 북극항로 개발에 따른 울산항 대응전략>

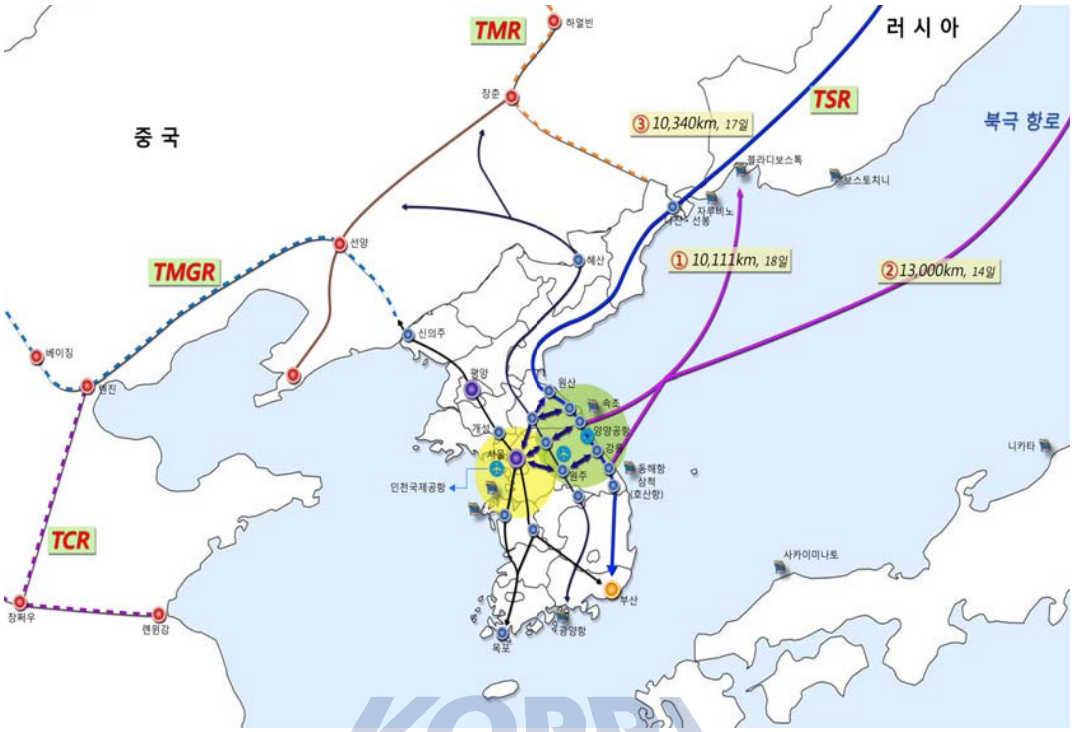
2013년 7월 울산항만공사는 북극해항로 이용화물을 유치하고, 관련 산업의 발전 전략을 수립하기 위한 관계기관 회의를 개최했으며, 북극해 항로 개발 및 협의체 구성의 필요성과 중요성에 동의하여 2014년부터는 본격적인 연구용역과 세미나 등을 개최하여 북극항로 활성화를 위한 체계적이고 구체적인 추진 전략을 모색하고 있다.

다. 강원도

강원도는 북방 물류루트 상의 지리적 이점을 토대로 종합적이고, 체계적인 '강원 항만비전'을 수립하여 다양한 북극 관련 정책과 이슈에 대응하려는 노력을 진행중이다. 2012년 환동해본부를 신설해 주요항의 인프라 확충 계획을 수립하였으며, 강원발전연구원을 통해 북극항로에 대한 대응방안을 연구하는 등 새로운 기회에 대해 적극적인 연구활동을 진행하고 있다. 강원도 자체 분석 시 동해항은 도로수송 측면에서 2025년 동해항, 부산항, 울산항으로 물류 비교우위 분석 시 수도권 및 충청권 물류까지는 부산항과 울산항에 비해 비교우위를 가지고 있다고는 분석 결과를 얻었다. 또한 철도수송 측면에서도 2025년 이후에는 서울, 인천, 경기 지역에 대해서는 부산항, 울산항에 비해 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

북극항로 활성화는 국내 물류에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 강원도 항만(동해항) 물동량은 2012년 3,100만 톤에서 2026년 약 5,400만 톤 수준까지 증가할 것으로 전망되고 있으며, 철도 수송 물동량도 250만 톤 수준에서 1,200만 톤 수준까지 증가할 것으로 전망되고 있다.

또한 북극항로에 대한 기회를 활용하기 위해 북극항로와 연계한 다양한 국내 내륙 물류 루트를 개발하고 있다. 강원도 동서횡단철도와 북극항로, 대륙횡단철도(TSR)를 연계한 다양한 국내 물류루트 개발을 추진하여 현재 경부축에 70% 이상 집중되어 있는 물동량 중 수도권과 충청권의 물동량을 강원도 동서횡단 철도와 항만을 통해 유럽 및 북미지역으로의 이동방안을 연구하고 있다. 강원도 동서횡단철도와 북방물류 루트(북극항로+ TSR)를 연계한 다양한 육상-해상 복합물류 루트(수도권, 충청권 ↔ 강원도 철도 + 항만 ↔ 북극항로/TSR ↔ 유럽/북미지역)를 확보할 수 있는 방안을 고민하고 있다.



<그림 3-53. 강원도 북방물류 루트 연계 구상(안)>

KOPRI 극지연구소

6. 조선 및 해양플랜트 수요 창출

북극의 해빙이 지속되면서 쇄빙선박과 해저자원 개발용 플랜트에 대한 신규 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 또한 해빙으로 사라지고 있는 영구동토층 위에 설치된 기존의 지상 파이프라인을 대체 할 해상운송 물량과 채취된 자원 수송을 위한 선박의 수요 역시 증가할 수 있다. 해양수산부 내 해양개발과의 분석에 따르면 해빙으로 북극항로 개방기간이 길어지고, 쇄빙·내빙선에 대한 국내외 해운시장의 수요는 지속 증가할 것이라고 전망하고 있다. 2015년까지 북극해운송 물동량은 약 700~900만 톤, 북극자원 수송이 본격화되는 2020년 중반에는 약 6,500만 톤으로 증가하고, 현재 10,800척 수준의 쇄빙·내빙선이 2020년 약 11,500척으로 증가할 것으로 예상하고 있다. 이와 같은 쇄빙·내빙 선박에 대한 수요는 자연스럽게 신규 건조 수요를 창출시킨다. 2014년 러시아는 북극해 자원개발과 관련해 2천억 달러 규모의 대형사업인 야말 프로젝트를 시작했으며, 2019년까지 쇄빙 액화천연가스운반선 15척을 건조하기 위해 대우조선해양과 2014년 건조계약을 체결 완료하였다.

영하 50℃의 혹한 및 빙편과의 충돌 등 극한 조건에서도 운항이 가능한 선박을 건조하기 위해서는 고도의 기술력이 필요하다. 우리나라 조선사의 기술력은 국제적으로 인정받고 있으며, 이미 야말 프로젝트 발주 당시 러시아는 쇄빙 LNG선에 대한 입찰자격을 우리나라 4개 사, 일본 2개 사, 러시아 1개 사에만 제한적으로 부여했다. 그 결과 국내 조선업체인 대우조선해양이 총 15척 가운데 15척 모두를 수주하는 쾌거를 이루었다. 국제적으로 쇄빙·내빙 선박에 대한 수요가 증가하면 우리나라의 높은 기술력을 통해 높은 수주율을 달성할 수 있으며 이는 자연스럽게 우리나라 조선업계의 양적 성장은 물론 기술력의 지속적 향상과 연결될 수 있다.

7. 북극권 글로벌 리더십 확보

21세기가 시작되는 현 시점에 있어, 인류는 자원고갈, 환경파괴 등 심각하고 복합적인 도전과제에 직면해있으며 이러한 문제를 야기하는 원인들은 한 나라 혹은 한 지역에만 국한되는 것은 아니기 때문에 글로벌 도전과제 해결을 위한 과학기술협력의 중요성이 점차 증대될 것이다. 이런 국제적인 트렌드는 북극에도 해당된다. 앞서 언급된 극지라는 특징으로 인해, 그리고 북극에 대한 영유권과 자원 등을 놓고 벌어지는 각 국가 간의 치열한 경쟁이 벌어지고 있으며 과학기술 선진국들은 극지에서의 영유권과 자원에 대한 기득권 확보, 그리고 국제사회에서의 지위향상을 위해 극지분야 연구에 국력을 쏟고 있다.

극지연구는 국제적인 지지 속에 이루어져야만 뜻하는 연구를 추진할 수 있는 분야이기 때문에 극지와 관련된 국제적 과학기술 교류가 필수적이며 과학기술외교의 동반이 수반되어야 하는 분야이다. 특히 우리나라는 제한된 자원과 선진기술과의 격차를 만회하는 것이 극지 분야에서 주도권을 확보하기 위한 선결과제이며, 이를 위해서는 극지에서의 국가 간 공동연구를 지원하고 모니터링하는 과학기술외교의 구심점이 절대적으로 필요하며 이러한 역할을 정책적으로 추진해야만 한다.

극지연구에 대한 네트워크 분석 연구[1]에 따르면 극지분야 연구는 지난 30년간 꾸준히 증가해 왔으며 미국이 112,889(34.4%), 캐나다 34,182(10.4%), 영국 31,748(9.69%)의 순서를 보이고 있다. 해당 연구에서 제시된 극지 연구들간의 네트워크, 즉 상호 연관관계(Eigenvector Centrality[2]) 확인시 미국이 가장 많은 연관관계를 보이고 있으며, 그 뒤로 캐나다, 독일, 영국 순이고 우리나라는 20위로 나타나 극지연구간 네트워크, 국가 간 공동연구에 대한 노력이 필요한 상황이다.

1) 최용진, 장덕희, 강길모, '해양연구 분야 지식생태계 분석(극지연구를 중심으로)', 해양환경안전학회 춘계발표회, 2014
2) Eigenvector Centrality: 해당 노드가 네트워크 내에서 중개자의 역할을 수행하는 정도.

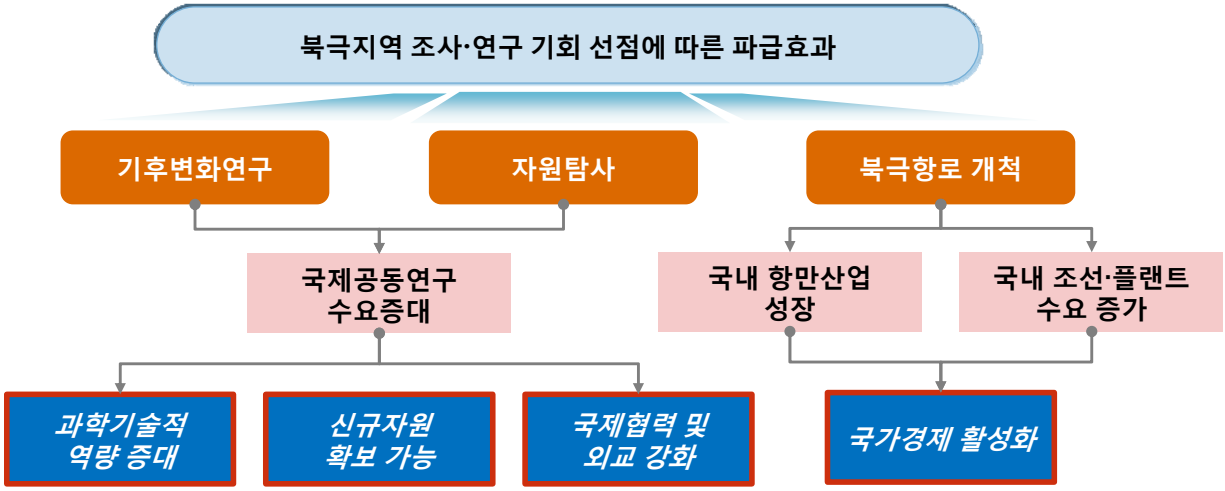
[표 3-42] 극지연구 국가 간 Eigenvector Centrality 비교

순위	국가명	E.C	순위	국가명	E.C
1	USA	0.973	16	Switzerland	0.019
2	Canada	0.124	17	Newzealand	0.014
3	Germany	0.092	18	Scotland	0.013
4	England	0.089	19	Chile	0.013
5	France	0.076	**20**	**Korea**	**0.012**
6	Japan	0.052	21	Finland	0.011
7	Italy	0.044	22	Israel	0.010
8	Australia	0.043	23	Belgium	0.009
9	China	0.043	24	Argentina	0.009
10	Russia	0.0034	25	Brazil	0.009
11	Sweden	0.033	26	Southafrica	0.008
12	Spain	0.032	27	India	0.007
13	Norway	0.028	28	Mexico	0.006
14	Netherlands	0.020	29	Poland	0.006
15	Denmark	0.020	30	Taiwan	0.006

KOPRI 극지연구소

최근 극지연구소는 아라온호를 활용해 역대 최다 국가가 참여한 북극해 국제공동연구를 주도하고 있다. 국제공동연구 대상 지역은 서북극해 해빙 해역으로서, 향후 북극해의 글로벌 이슈(기후변화, 에너지자원, 북극항로)와 관련해 세계적으로 주목의 대상이 되고 있기 때문에 우리나라를 비롯해 미국, 캐나다, 중국, 일본, 영국 등 10개국 17개 연구기관 및 대학교에서 총 83명의 다국적 연구팀이 참여하고 있다. 다양한 종류의 해빙(海氷)에 연구 장비를 설치해 급격한 해빙·융빙 과정에 발생하는 북극 해양·대기·생태계 변화에 대한 융합연구를 수행중이다. 차후 국가 간 공동연구를 통한 국제 협력, 국제 외교를 전략적으로 강화해야 한다.

8. 소결: 북극지역 연구·조사 활동의 극대화



<그림 3-54. 북극 연구·조사의 필요성>

북극빙하의 해빙으로 인해 전지구의 기후변화 및 생태계 파괴 등의 부정적인 현상이 발생하는 반면 빙하에 의해 고립된 지역으로 여겨지던 북극해가 개방됨에 따라 북극이사회를 중심으로 한 북극 기후변화연구 및 자원탐사, 신 물류루트 등에 북극지역 운영방안 모색이 활발하게 이루어지고 있다.

북극 연구활동 및 자원탐사에 대한 필요성 확산은 우리나라와 북극이사회 개별국가와의 공동연구 수요를 증가시키고 다양한 연구를 진행할 수 있는 기회가 되고 있다. 이러한 공동연구는 결과적으로 우리나라의 과학기술적 역량을 높이고, 화석연료 및 가스하이드레이트 등 새로운 자원을 확보하는데 도움이 될 것이며 우리나라의 외교력을 높여 다른 나라와의 협력관계를 강화하는데 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

북극항로 개척은 기존 항로대비 물류비용과 시간을 절감할 수 있는 큰 이점이 있기 때문에 우리나라의 유리한 입지조건으로 인해 국내항만이 북극항로 물류허브로 성장할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 북극항로 운항에 대비한 쇄빙/내빙선박의 수요가 증가하면서 높은 기술력을 보유한 국내 조선·플랜트 산업의 발전으로 이어질 것으로 전망되고 있다. 하지만 가시적인 성과를 창출하기 위해서는 국가차원의 관심과 지원을 토대로 장기적인 로드맵을 수립하고 실행할 수 있는 추진체계 및 인프라 확보가 시급하다.

KOPRI
극지연구소

제 2 절 북극지역 진출에 대한 장애요소

1. 북극권 국가의 폐쇄성

1982년 유엔해양법협약이 배타적 경제수역(EEZ)을 신설함으로써, 북극해 연안국은 동 해역에 항로 및 자원개발의 주권적 권리가 확장되었고, 연안국 간의 해양영유권 갈등이 치열해 졌다. 아울러 유엔해양법협약은 기존 대륙붕협약의 200해리를 넘어 대륙붕이 자연적으로 연장된 경우 350해리까지에도 대륙붕을 인정받을 수 있도록 하여 연안국의 주권적 권리가 더욱 확장되었다.

그러나 동 협약은 해양경계획정에 관한 일반적 원칙만을 제시할 뿐, 영해의 중첩, 다른 해양관할권 수역간의 중첩, 분쟁도서로 인한 해양관할권의 중첩 등의 해결에 대해서는 명시적인 언급이 없다.

북극지역은 북극해를 중심으로 유라시아대륙과 북미대륙, 그린랜드 등 육지가 그 주변을 둘러싸고 있다. 북극의 육지는 북미대륙과 유라시아 대륙에 연결되어 있어 일찍부터 북극권 국가의 영토분쟁의 대상이 되어 왔다. 그러나 최근의 북극은 이들 국가뿐만 아니라 국제사회에서 자원, 해양과학 기술과 기후, 환경, 해양자원, 해운 등 전략적으로 중요한 지역으로 부상하였다. 이에 따라 북극해 해저에 묻힌 막대한 자원 개발 가능성이 증대됨으로써 석유개발권과 북극항로 관할권이라는 이권을 둘러싼 관련국간 갈등이 초래되고 있다.

[표 3-43] 북극해 연안 5개국의 대륙붕 한계와 경계획정 분쟁 현황

위치	분쟁당사국	분쟁지역	분쟁유형	
A	러, 캐, 덴	로모노소프 해령	대륙붕	
B	러, 노	스발바르 군도	대륙붕	
C	러, 미	베일 해	대륙붕	
D	미, 캐	뷰포트 해	해양경계	
E	캐, 덴	한스섬	대륙붕	

북극항로의 개설과 함께 북서항로와 북동항로에 대한 분쟁도 존재한다. 북서항로(Northwest Passage)는 캐나다의 북쪽 경계인 알라스카 유콘(Alaska-yukon)의 베어포트(Bearfort) 해와 동쪽의 랭커스트 해협(Lancater Sound)의 네어스

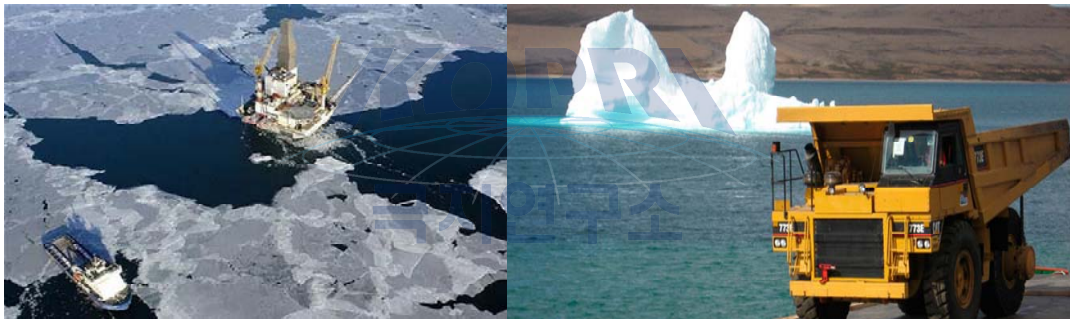
(Nears)해협 북쪽 입구에 이르는 항로를 말한다. 이러한 캐나다 연안의 북서항로에 대하여 캐나다는 자국의 내수라 주장하고 있으며, 미국은 국제해협에 해당하는 국제항로라 주장하고 있다.

북동항로(Northern Sea Route)는 러시아의 북쪽 북극해 연안을 따라 서쪽의 무르만스크에서 동쪽의 베링해협까지를 연결하는 약 2,200~2,900마일의 해상 항로이다. 러시아는 시베리아 연안을 통과하는 북동항로에 대하여 관할권을 주장하면서 자국 법령에 근거하여 항로 이용 선박의 통항을 규제하고 있는데, 미국은 북동항로가 국제해협(international strait)에 해당하며 모든 국가의 선박에게 통항권이 있다고 주장한다.

KOPRI 극지연구소

2. 개발환경의 악조건

북극 지역은 극지의 기후적 악조건을 감당할 수 있는 자원개발 플랜트 및 운송 설비를 마련하는데 막대한 비용이 소모되는 지역이다. 특히 자원탐사 및 개발을 위해 유빙, 얼음 하중, 수심, 해저토질 등을 고려한 특수 해양수송장비 및 구조물이 필수적이다. 엑슨모빌은 사할린 1광구의 유빙 대피용으로 가격 1억 달러, 하루 운용비 5만 달러인 쇄빙선 2척을 항시 대기시켜 놓고 있으며, 쉘은 북극용 원유 유출 차단장치인 격납돔 개발 등 북극해 시추를 위한 사전준비에만 약 45억 달러를 지출했다. 최근 온난화로 영구동토층이 대량으로 해빙되어 그 위에 설치한 파이프라인이 훼손되고 수송도로가 유실되어 추가 비용이 발생하는 등 다양한 원인으로 높은 비용이 투입되지만 채산성이 떨어져 자원개발 프로젝트를 포기하는 사례가 속출하고 있다.



<그림 3-55. 북극지역 자원개발 시 기후적 한계 존재>

[표 3-44] 주요 자원기업들의 자원개발 프로젝트 포기 사례

구분	시기	기업	내용
탐사중도 포기	2009년	BP, 로스네프트	사할린 4광구 탐사를 5년 만에 포기
	2012년	캐언에너지	그린란드에서 10억 달러 투자한 프로젝트
탐사 성공 후 채굴 포기	2012년	BP	알래스카에서 15억 달러 투자한 유전 포기
	2013년	스탯오일, 에니	알래스카에서 발견한 가스전과 유전 채굴을 연기

3. 환경보호에 대한 국제사회의 압력

북극 자원개발이 현실화되자 환경보호에 대한 국제사회의 관심이 집중되면서 북극 자원개발 반대여론이 확산되고 있다. 그린피스나 세계야생동물기금(WWF) 등 국제 환경단체들은 북극 유전 개발의 전면 중지를 주장하고 있으며, 중국에서 진행하고 있는 희토류 개발 프로젝트는 방사능 유출 물질 채굴을 금지하는 그린란드법에 따라 중단될 위기이다. 글로벌 자원회사인 쉘은 2007년 알래스카 뷰포트 해에서 세 개의 시추정을 뚫을 계획이었으나 지방자치단체와 환경단체의 소송으로 연기되었다. 이처럼 환경문제를 해결하기 위한 별도의 투자, 법정 소송 등 환경비용이 추가되어 결과적으로 자원개발 비용이 증가하게 된다. 북극해 연안국 정부들은 북극 자원개발 시 안전 및 환경문제를 방지하기 위한 안전장치 및 시설을 마련하고 추가 선박 운영 및 근로자 고용을 의무화하고 있다.

<그림 3-56. 북극지역의 환경보호를 위한 자원개발 반대 시위>

4. 북극 원주민과 원주민 단체의 영향력 강화

북극권을 대표하는 주요 활동 주체는 북극권 8개국(북극이사회 회원국) 뿐만 아니라 북극 원주민이 있음을 간과해서는 안된다. 북극 원주민은 현재의 북극권 국가 체제가 이루어지기 훨씬 전부터 이 지역에서 거주하고 있던 토착 원주민들이다.

이들은 '북극'이라는 지역 이슈에 관한 한 중앙정부에도 강력히 그들의 의사를 표명하며 자신들의 권리를 주장하고 있다. 특히 환경 및 자원개발 문제 등에 있어서 그들의 자결권 내지 참여권을 주장한다.

또한 이들은 환경 및 토착원주민권리 등과 관련한 다양한 국제활동을 통해 국제사회에서 높은 인지도를 확보하고 있으며, 북극이사회(Arctic Council)가 태동하는데도 중요한 역할을 담당하였다. 현재 북극이사회에는 북극원주민을 대표하는 6개의 원주민 단체가 영구참여자(PP: Permanent Participant)로서 참여하고 있다.

북극이사회가 북극권 거버넌스의 정점에 있는 듯 하나, 사실상 북극원주민의 의사에 반하는 어떠한 결정도 내릴 수 없는 구조이다. 따라서 북극권 국가들과의 원활한 협력을 위해서는 반드시 관련되는 원주민 또는 원주민 단체들과 깊은 교감을 필요로 한다.

KOPRI 극지연구소

[표 3-45] 북극 원주민 단체 현황

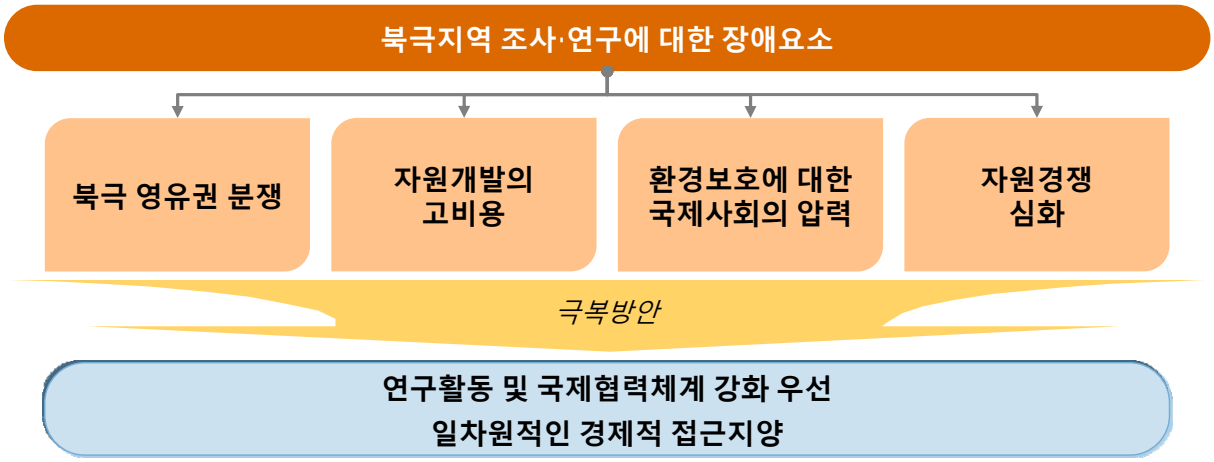
단체명	설립연도	분포지역	인구규모	비고
사미이사회	1956	노르웨이, 핀란드, 러시아, 스웨덴	8만	오랜 역사
이누이트 극지이사회	1977	그린란드, 캐나다, 미국, 북 러시아	15만	국제적 활동
북러시아 원주민협회	1990	북 러시아, 시베리아, 극동러시아	30만	
알류트 국제연합	1998	알래스카 서부, 러시아 캄차카	1만	
그위친 국제이사회	1999	캐나다 유콘주 · 북서준주, 알래스카	1만	
북극아사바스칸 이사회	2000	알래스카, 캐나다 유콘주 · 북서준주	5만	

5. 소결: 북극지역 진출 장애요소에 대한 극복방안

앞서 살펴본 바와 같이 북극지역의 조사·연구 및 개발의 필요성이 확대되어 가는 만큼 예의주시하고 헤쳐나가야 할 장애요소도 다수 존재하고 있다. 그중 가장 고려해야 할 사항은 연안국 간 영유권 분쟁이다. 자원과 항로 등을 통해 북극해의 경제적 가치가 재조명되면서 영유권을 둘러싼 국제사회의 분쟁도 점차 심화되고 있다. 북극해는 1994년 유엔해양법약으로 규범을 확정했지만 연안국 간 경계획정이 지연되는 등 세부적인 국제규범이 불명확해 해양관할권 등이 미성숙한 단계이다. 특히 북극이사회는 폐쇄적인 동맹 체제를 강화하면서, 2011년 비북극권 국가들과 특권을 공유하지 않겠다고 발표했으며 옵서버가 되고 싶은 국가는 반드시 이사회 회원국이 북극지역에 대해 갖는 영유권을 인정하는 북극협정을 체결하도록 하였다. 따라서 북극이사회 옵서버인 우리나라는 자원개발은 물론이고 북극에서의 다양한 활동 및 의견 개진이 제한적일 수 밖에 없다. 이러한 이사회 회원국들의 요구사항을 수렴하고 그들이 우리에게 원하는 북극활동이 무엇인지를 명확하게 파악하여 옵서버로서의 임무를 성실히 수행함으로써 북극이사회 내 역할을 다지고 연안국과의 관계도 강화해 나갈 필요가 있다.

북극지역의 기후적 악조건, 단단하지 않은 지반구조, 빙하와 결빙으로 인한 시설물 피해 등으로 발생되는 자원개발의 고비용은 또 다른 장애요소라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 북극 환경보호를 위한 국제 환경단체의 법정 소송 역시 개발비용을 상승시키고 있다. 북극지역의 환경오염에 대한 높은 민감도로 인해 보수적인 설계와 개발기준이 요구하고 있고 각국의 강화된 환경규제가 북극지역 매장지 개발비용을 크게 증대시킬 것이다.

우리나라 뿐만 아니라 북극연안국을 제외한 비북극권 국가는 북극 자원개발을 독단적으로 추진할 수 없다. 지속적으로 언급한 바와 마찬가지로 북극연안국은 북극자원개발에 대해 배타적인 자세를 취하고 있고 북극권 국가에 대해서는 자원개발에 대한 비즈니스 활동보다는 조사·연구 활동을 요구하고 있다. 따라서 우리나라는 자원개발이나 항로개척 등의 경제적 측면의 접근 보다는 연구활동을 우선적으로 강화하고 집중함으로써 국제협력체계 구축과 북극에 대한 전문지식 및 경험을 습득하여야 한다.



<그림 3-57. 북극 조사·연구에 대한 장애요소 및 극복방안>

제2 쇄빙연구선은 다산과학기지와 함께 북극연구 핵심인프라로써 이를 활용한 국제공동연구 수행은 연안국을 비롯한 다양한 국가들과의 긴밀한 파트너십을 구축하는데 큰 역할을 할 것이다. 또한 북극 미답지에 대한 이해도를 높이는 것은 물론 환경을 보호하면서 자원을 개발할 수 있는 기술적 노하우를 습득함으로써 환경오염에 대한 대처능력을 강화할 수 있다. 이러한 점들은 우리나라의 북극 진출 및 자원개발에 대한 연안국과 환경보호단체의 저항을 완화시킬 수 있을 것이며, 혹독한 기후 악조건을 극복하고 효과적인 자원탐사 및 개발을 할 수 있는 밑바탕이 될 것이다. 북극을 통한 국제협력 강화 및 미래 국익추구를 위해서는 전략적 북극 연구활동이 선행되어져야 하고 이를 위해서는 관계부처뿐만 아닌 국가적 차원의 관심과 지원이 필요하다.

KOPRI
극지연구소

제 3 절 아라온호 활용 한계

1. 연간 운항일수 측면

연도별 아라온호의 운항일수에서 확인할 수 있듯이, 2010년 이후 매년 지속적으로 운항일수가 증가하고 있다. 2012년에 입거수리와 수리 후 시험항해 기간이 길어져 약 20일 정도 연간 운항일수가 감소한 바 있지만, 이는 일시적인 현상이었고, 2013년의 연 312일 운항은 연간 운항가능 최대일수를 초과한 상황으로 아라온호의 안전성이 우려되는 실정이다.

현재 운항 중인 연구조사선으로 대양항해가 가능한 대형 선박은 각 기관별로 온누리호, 탐해2호, 해양2000호, 무궁화34호(구 탐구1호) 등을 들 수 있다. 2013년도 운항실적을 살펴보면, 한국해양과학기술원의 종합해양연구조사선인 온누리의 경우 연간 운항일수는 231일로 파악되고 있으며, 지질자원연구원의 지구물리탐사선인 탐해2호의 경우에는 147일, 국립해양조사원이 운영하며 해양조사 및 측량을 수행하는 해양2000호의 경우 272일, 동해어업관리단의 어업지도선인 무궁화34호는 160일로 확인된다.

KOPRI 극지연구소

[표 3-46] 국내 연구조사선의 운항사례

연구·조사선명(운영기관)	2013년도 운항일수	비고
아라온호 (극지연구소)	312일	쇄빙연구선, 7,487톤, 전장 111m, 2009
온누리 (한국해양과학기술원)	231일[3] (33,102 N.Miles)	종합해양연구조사, 1,450톤, 전장 63.8m, 1992
탐해2호 (지질자원연구원)	147일[4] (12,602 N.Miles)	지구물리탐사 중심, 2,085톤, 전장 64.4m, 1996
해양 2000 (국립해양조사원)	272일[5] (21,124 N.Miles)	해양조사 및 측량, 2,500톤, 전장 89.1m, 1995
무궁화 34 (동해어업관리단)	160일[6] (13,059 N.Miles)	어업지도선, 2,180톤, 전장 90.25m, 1998

3) 한국해양과학기술원 2013년보 p. 90~91
4) 진해해저탐사지원실 배포자료 Ⅲ-2-사
5) 남해해양조사사무소 측량과
6) 동해어업관리단 어업지도과 문서8940호

타 선박과 비교하였을 때, 아라온호의 운항일수가 절대적으로 많음을 알 수 있다. 이는 장기간의 항해에서 오는 선원들의 피로가 높아지고, 선박의 안전점검 일수조차 충분히 확보하기 어려운 실정이다.

KOPRI 극지연구소

2. 활용 수요 측면

결빙해역 또는 유빙해역에서 연구 수행을 위해서는 쇄빙연구선이 필수적이다. 최근 북극해를 중심으로 국제공동 탐사가 활발해지면서 필요한 쇄빙선이 부족하여, 아라온호를 활용한 공동연구 요청이 증가하고 있다.

2010년 아라온호가 투입된 이후 5년 동안 년 평균 약 27.3일간 북극항해 연구를 수행하였다. 연간 사용일수의 증가와 사전 사용신청 시 총 활용기간을 고려한 신청자제에도 불구하고, 활용요구 대비 평균 71.5%정도만 반영되어 내·외부에서 요구되는 수요 중 일부만 수용하고 있는 실정이다.

[표 3-47] 아라온호 북극 연구항해 활용 요구 및 실적

구 분		주요 연구과제	비고(사용일수)
2010	요구	▪ 북극권 기후환경변화 관측거점 구축 연구 등 6개 과제 (외부 과제 : 기상청, MOERI 각 1개)	30.5 + α (미정)
	실적	▪ 북극해 해양조사 연구사업 등 8개 과제 (외부 과제 : 기상청, MOERI 각 1개)	07/01 ~ 08/25 (21 + 이동·정박)
2011	요구	▪ 2011 북극해 해양조사 연구 등 9개 과제 (외부과제 : MOERI, 4개 과제)	42 + α (이동항해)
	실적	▪ 북극해 해양조사 연구사업 등 8개 과제 (외부과제 : 기상청, MOERI, 인하대, 중국 등 총 4개 과제)	07/15 ~ 09/03 (13 + 이동·정박)
2012	요구	▪ 양극해 해양생물 보전가치 규명 등 6개 과제 (외부과제 : 기상청, KIOST 각 1개 과제)	39 + α (이동항해)
	실적	▪ 고해양 환경변화 정밀복원 연구 등 6개 과제 (외부과제 : 기상청, KIOST 각 1개 과제)	07/14 ~ 09/23 (34 + 이동·정박)
2013	요구	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 6개 과제 (외부과제 : 기상연구소, KIOST 각 1개 과제)	39.5 + α (이동항해)
	실적	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 6개 과제 (외부과제 : 기상연구소, KIOST 등 총 3개 과제)	08/05 ~ 10/13 (31.5 + 이동·정박)
2014	요구	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 7개 과제 (외부과제 : 해양대, 기상 연구소, KIOST 각 1개 과제)	40 + α (이동항해)
	실적	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 8개 과제 (외부과제 : 부산대, 성균관대, 기상연구소, KIOST, 해양대 각 1개 과제)	07/17 ~ 10/05 (37 + 이동·정박)
2015	요구	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 4개 과제 (외부과제 : 지질자원연구원, KRISO 각 1개 과제)	31 + α (이동항해)
	실적	▪ 양극해 환경변화 이해 및 활용연구 등 3개 과제 (외부과제 : 지질자원연구원 1개 과제)	07/14 ~ 09/23 (26 + 이동·정박)

연구항차가 주를 이루는 북극항해와 달리 남반구 하절기인 연말과 연초에 걸쳐 이루어지는 남극항해는 연구활동과 기지운영 지원으로 구분된다. 아라온호는 지난 4년간의 남극 항차동안 평균 약 54일만이 연구항해의 활용되었으며, 이는 연구목적의 아라온호 활용요구가 평균 50.9%만 반영된 결과이다. 2012-2013, 2013-2014년도 장보고과학기지 건설 지원으로 인하여 아라온호 활용일수가 증가하였다.

향후 장보고과학기지의 보급 지원과 매년 증가되는 남극대륙 연구활동 지원을 위해서는 지속적인 쇄빙연구선 활용이 불가피해짐에 따라 세종과학기지 운영 지원은 별도의 선박 임차를 고려해야 하는 실정이다. 또한 요구되는 아라온호 활용수요를 제한적으로 반영할 수 밖에 없다. 즉 연구목적의 운항일수 과포화를 해소하기 위해서는 연구지역별 동승이나 격년제 운항이 필요한 실정이다.

[표 3-48] 아라온호 남극 연구항해 활용 요구 및 실적

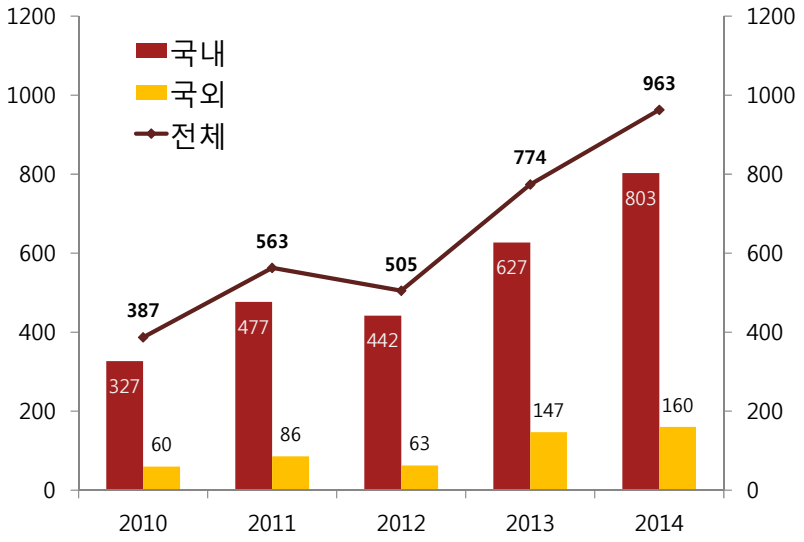
구 분		주요 연구과제	비고(사용일수)
2010/11	요구	▪ 남극 해저지질조사 현장조사 연구 등 9개 과제 (외부 과제 : KIOST 1개 과제)	114.5
	실적	▪ – 남극 해저 지질조사 등 9개 과제 (외부 과제 : KIOST 1개 과제)	10/10 ~ 05/12 (73 + 이동·정박)
2011/12	요구	▪ 아라온호기반 남극 결빙해역 생태계와 해양순환 변동연구 등 12개 과제 (외부 과제 : KIOST 1개 과제)	108 + 동승
	실적	▪ 남극 중앙해령 160° E 구간에서의 해양지각 형성과 맨틀 특성 규명 등 9개 과제 (외부과제 : KIOST 1개 과제)	10/04 ~ 04/10 (49 + 이동·정박)
2012/13	요구	▪ 장보고과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명 등 10개 과제 (외부과제 : KIOST 1개 과제)	137 + 동승(4)
	실적	▪ 장보고과학기지 주변 빙권과 지각권의 상호작용 규명 등 7개 과제(외부과제 : KIOST 1개 과제)	10/31 ~ 06/21 (67.5 + 이동·정박)
2013/14	요구	▪ 아라온호 기반 남극 결빙해역 생태계와 해양순환 변동연구 등 8개 과제	65
	실적	▪ 아라온호 기반 남극 결빙해역 생태계와 해양순환 변동연구 등 4개 과제	10/20 ~ 04/24 (18.5 + 이동·정박)
2014/15	요구	▪ 서남극 빙붕변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사 복원 기술개발 등 7개과제	108 + 동승
	실적	▪ 서남극 빙붕변화 관측시스템 구축 및 제4기 해빙사 복원 기술개발 등 5개 과제	10/28 ~ 04/12 (47 + 이동·정박)

3. 승선 인원 측면

아라온호의 연간 운항일수와 연동하여 연구 및 기지 지원활동 등을 위해 승선하는 인원도 지속적으로 증가하고 있다.

활용 수요의 증가에 따라 동일 연구지역이며 병행이 가능한 연구사업일 경우 공동승선을 통한 연구사업 수행이 바람직하다. 특히 운항일정에 영향을 주지 않고 극지 현장을 Test-Bed로 활용하는 시험·조사·분석의 경우에는 해당 연구인력의 승선과 최소의 작업공간만을 필요로 하기 때문에 승선토록 하는 것이 바람직하다.

그러나 아라온호의 항차별 승선인력 규모는 85명으로, 운항에 필수적인 선원과 필수 보조인력(헬기 탑재 시 조종사와 정비사, Bear Watcher, 주방 보조인력, 기지 유지 및 보수 인력 등) 및 경우에 따라 승선해야 하는 미디어 취재인력 등을 제외하면 실제적으로 가용한 추가 승선인력 규모가 40명 이하로 제한되기 때문에 충분한 연구인력의 탑승조차 어려운 실정이다. 따라서 그간 연구항차의 구성 시 여러 차례에 걸쳐 승선인력의 조율(감축)을 통해 경우에 따라서는 일부 연구팀 전체의 승선이 배제되기도 하여 해당 연구활동을 취소해야하는 상황을 맞이하곤 한다. 따라서 효율적인 아라온호의 활용을 위해서는 승선인력의 규모 확대가 절대적으로 필요하다.



<그림 3-58. 아라온호 탑승인원 추이>

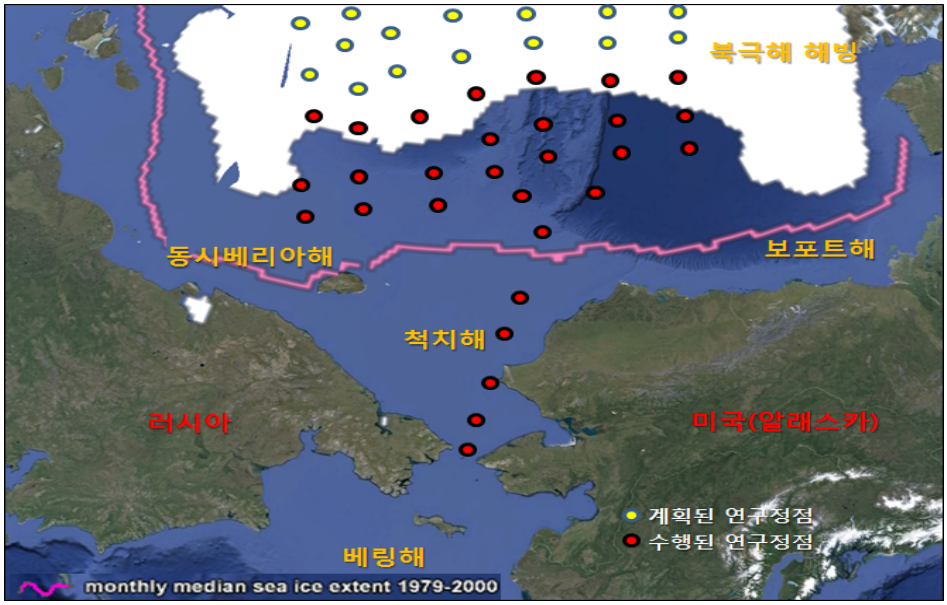
4. 쇄빙·내한성능 측면

아라온호를 활용한 남·북극 연구항해를 통하여 해빙의 강도가 남극해의 해빙보다 강하며 두꺼운 다년빙이 발달한 북극해에서 쇄빙능력과 내한성능이 취약함이 확인되었다. 따라서 보다 두꺼운 결빙해역을 헤치며 보다 추운 환경을 극복하며 원활한 연구활동이 가능토록 하기 위해서는 쇄빙등급과 내한성능을 강화할 필요가 있다.

2014년도 북극해 연구항해의 경우, 연구항해를 수행하던 중 현지 해역의 결빙상태가 아라온호가 극복하기 어려운 정도로 판단되어 당초 계획한 상당수의 정점조사를 포기할 수 밖에 없었다. 물론 사전에 해빙의 상태를 추정하여 아라온호의 쇄빙능력 한도에서 계획된 연구정점이었음을 고려한다면, 실제적으로 보다 넓은 해역에의 연구활동이 불가능한 실정이다.

무리한 쇄빙은 선박에 과부하를 누적시켜 향후 예상치 못하는 많은 문제점을 야기시킬 뿐만 아니라, 심한 경우 얼음에 갇히게 되어 인력 및 선박의 안전에 커다란 문제를 불러올 수 있기 때문이다. 따라서 원활한 북극해 활동을 위해서는 쇄빙능력이 현재보다 강화해야 한다.

KOPRI 극지연구소



<그림 3-59. 2014년도 북극해의 두꺼운 해빙으로 정점연구 미수행 사례>

5. 남극과학기지(장보고기지) 보급·지원 능력의 한계

장보고기지는 우리나라의 남극대륙 연구활동의 전진기지이며, 우리나라는 장보고기지를 향후 남극점까지 남극내륙 지역에 대한 핵심연구거점으로 활용할 예정이다. 장보고기지는 세종기지와는 입지특성상 제한적 기지 입출/정기보급/원거리 연구활동 등을 위해서는 전혀 다른 환경을 갖추고 있다.

장보고기지는 월동연구대원이 상주하는 기지로서, 매년 1회 정기보급이 이루어진다. 쇄빙연구선의 보급지원은 기지 인접지역까지 쇄빙을 로 접근 후, 해빙 위에 정기보급물품을 하역하고 이를 기지로 옮기는 형태로 진행된다. 이에 따라 세종기지와 달리 추가보급은 쇄빙연구선이 지원할 때만 가능한 실정이며, 항공기를 이용한 기지 입출 또한 해빙활주로를 매년 약 1개월 정도만 운용이 가능하기 때문에 상당히 제한적이라는 특징을 갖고 있다.

장보고기지는 남극내륙 연구활동을 위한 전진기지이기 때문에, 남극내륙진입을 위한 경로(Korean Route) 탐사, 헬기를 이용해서 기지를 중심으로 반경 300km 이내 원거리 지역에서의 현장연구활동이 점차 확대될 것으로 예상된다. 이에 따라 운반이 요구되는 보급물량(컨테이너, 벌크화물, 유류적재량)이 급격히 증가하고 있으며 보급품 중에는 상당한 중량의 구조물이 포함될 것으로 추정된다.

결과적으로 하역이 가능토록 두꺼운 얼음까지 쇄빙이 가능한 쇄빙능력을 보유해야 하며, 남극과학기지(장보고기지)용 정기보급물품이 적재 가능토록 화물의 적재능력이 확보되어야 하며, 연간 수요로 추정되는 650 ㎥에 달하는 보급유의 운송이 가능해야 하고, 30톤 이상의 중량물에 대하여 선적과 하역이 가능한 설비를 구비해야 하는 쇄빙연구선이 요구된다. 따라서 현재의 아라온호의 능력으로는 불가능한 실정이다.

또한 국제해사기구(IMO)의 극지해역항행규정(Polar Code)이 2017년부터 발효, 시행될 예정이다. 이는 선박의 운항시 안전과 환경보호를 위한 규정이 대폭 강화되는 것으로 기존 중·소규모의 선박을 임차활용으로 세종기지 보급을 해결하는 방안이 곤란함을 의미한다. 그간 임차선박을 통해 세종기지로의 보급을 해결하고 동 기간 아라온호는 남극연구활동이나 장보고기지 보급지원에 활용할 수

있었는데, 이제 아라온호 투입을 통한 세종기지 보급이 불가피하게 되었다. 따라서 제한된 운항일수를 고려하면 장보고기지에 대한 보급이 어려워지는 문제가 발생한다.

결국 남극과학기지의 운영과 인력 입출, 남극내륙 탐사활동의 안정적 지원을 위해서 제2 쇄빙연구선의 확보가 필수적인 상황이다.

<그림 3-60. 장보고기지와 아라온호 전경>

6. 소결: 아라온호 활용 한계에 대한 대응방안

북극에서의 연구활동 및 기지의 물자보급 등 다양한 활동을 위해서는 쇄빙연구선 활용이 필수적인 상황이다. 하지만 국내 유일의 쇄빙선인 아라온호를 통해 북극과 남극의 일정을 모두 감당하기에는 현실적인 제한사항이 존재한다. 연간 운항일수 측면에서는 2013년 총 312일 운항하였으며, 이는 이미 과도하게 운영되고 있음을 보여준다. 운항준비 및 정비 등의 기간을 최소화하고 있는 실정이기 때문에 쇄빙선의 안전까지도 우려되고 있다.

북극해 관련 연구에서 아라온호를 활용하고자 하는 수요는 2010년 이후 매년 38일 이상이 발생되고 있지만, 실제 북극연구에 수행된 것은 매년 약 26일 정도 뿐이다. 북극에 대한 국내 연구수요 및 국제 공동연구 요청을 평균 약 68%정도만 소화하고 있다는 점을 감안한다면 보다 높은 연구성과와 국제협력의 기회를 놓치고 있다고 할 수 있다. 또한 승선인원 85명 중 연구인력은 40명 이하만 탑승할 수 있기 때문에 여러차례의 조율과정을 거치지만, 결과적으로 일부 연구들은 취소되는 상황까지도 발생되고 있다. 어렵게 연구 진행이 결정되었다 하더라도 북극의 강하고 두꺼운 다년빙에 의해 아라온호로서는 안전운항과 연구지역에 제한을 받는 상황이 발생하고 있다.

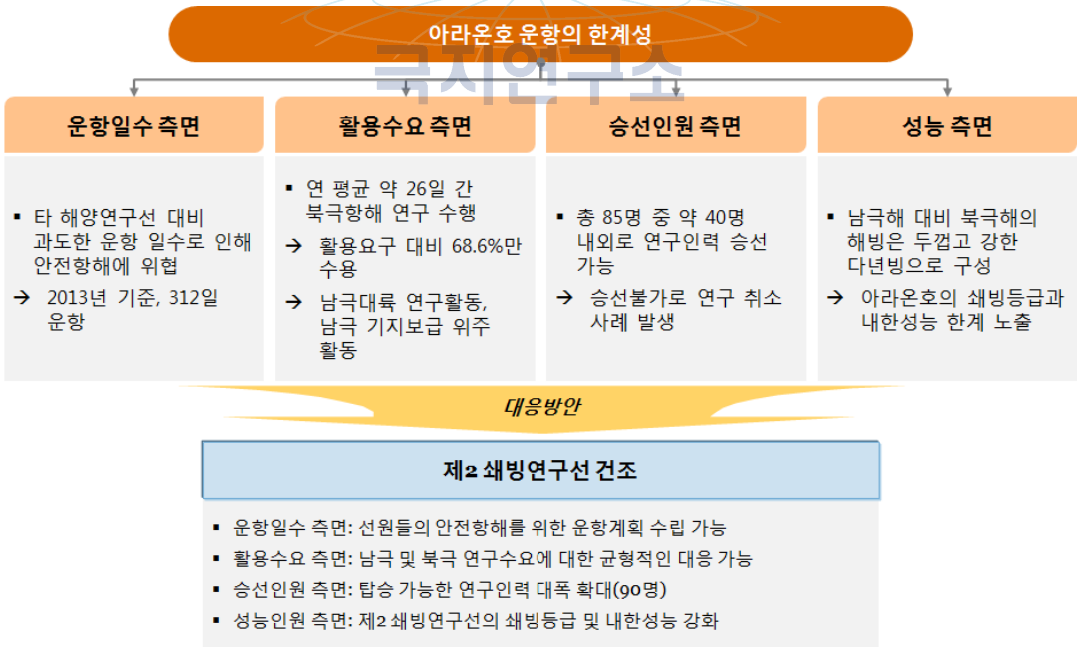
현재 아라온호가 건조되어 운항하고 있는 상황에서도 극지연구에 대한 수요를 전부 충족시키고 있지 못하는 상황이며, 이를 충족하기 위해서는 아라온호 취항 이전처럼 타국가로부터 쇄빙선 또는 내빙선을 고비용을 지불하고 임대해야 하는 상황이다. 또한 내빙선 사용시 내빙선을 유도하기 위한 쇄빙선 임대로 추가비용이 발생하게 된다. 이러한 한계점은 결과적으로 연구 범위의 한계점으로 작용하며, 연구의 질적 저하로 연결될 수 있다.

과거 우리나라 연구원들은 아라온호가 투입된 2010년 7월 이전에는 다른 나라로부터 내빙선을 임차하여 사용하였다. 쇄빙연구선은 규모와 기능에 따라 임차 비용이 다양하나 연구 및 보급 지원의 목적을 수행하기 위해서는 일평균 1억원 가량의 비용이 발생된다. 더욱이 우리나라가 쇄빙선을 임차할 수 있는 기간은 쇄빙선 소유국가의 연구·조사 일정을 피해야 하므로 쇄빙선 활용에 대한 실효성 또한 보장받기 어려웠다. 이렇듯 우리나라는 상당액의 임차료를 지불하고

극지연구를 위한 쇄빙선을 사용해 왔으나 결빙해역을 자유롭게 출입하지 못할 뿐 아니라 임대국가의 사정에 따라 임차시기와 기간이 극히 제한됨으로써 효율적인 극지 연구가 사실한 불가능한 상황이었다. 이러한 한계는 아라온호 건조 이후 상당부분 해소되었으나, 북극연구 수요의 지속적 증가와 남극 장보고과학기지 준공 이후 남극 기지 보급에 대한 지원 확대 등으로 인해 아라온호의 활용 한계치에 다다르고 있다. 한 대의 쇄빙연구선으로 남극과 북극에 대한 연구 및 지원을 병행한다면 결국에는 필요한 연구·조사를 모두 수행할 수 없을 뿐만 아니라, 이러한 기회 손실을 최소화하기 위해서는 결국 과거처럼 필요시 다른 나라로부터 쇄빙선을 임차하여 활용할 수 밖에 없는 상황으로 회귀할 수 있다.

북극항해의 안전을 보장하고 연구수요를 감당하기 위해서는 기존 아라온호보다 큰 규모와 강력한 쇄빙성능을 구비한 북극 전담 쇄빙선이 필요함을 인지하고, 북극 연구·조사에 대한 강한 의지를 표출하기 위해서는 북극 전용의 제2 쇄빙연구선 건조가 절실하다.

KOPRI 극지연구소



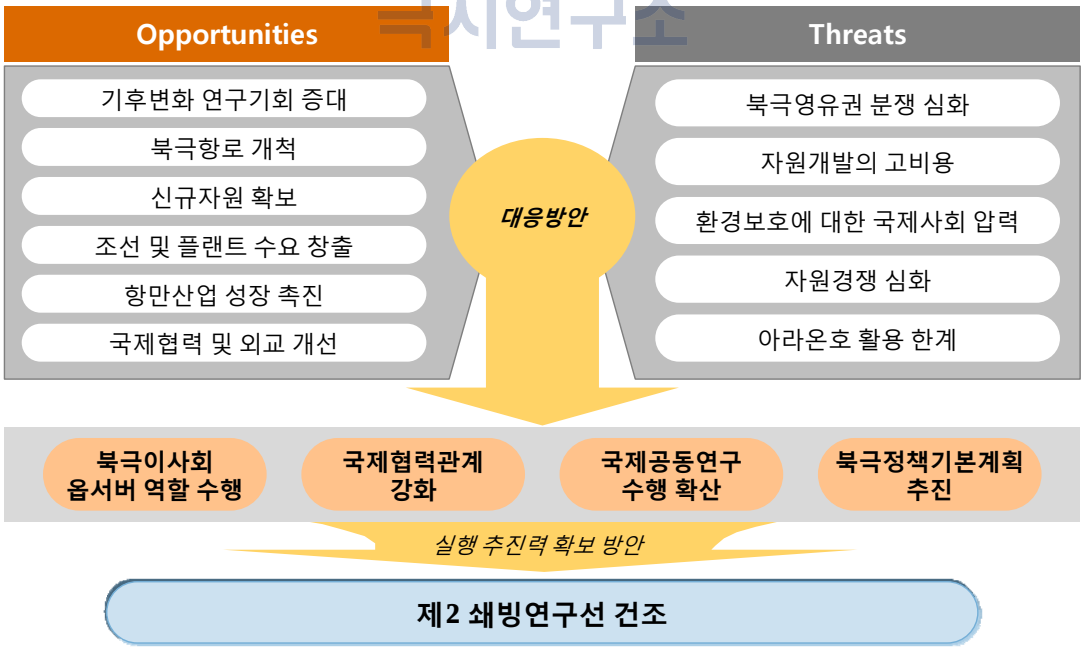
<그림 3-61. 아라온호 운영 한계점 및 대응방안>

제 4 절 요약: 건조의 필요성 및 시급성

1. 제2 쇄빙연구선 건조의 필요성 요약

앞서 언급한 것처럼 북극지역은 지구 기후시스템의 일부로 기후변화에 영향을 주는 특수환경 지역으로 전 지구적 환경변화의 발원지이자 반응지이다. 북극권 내 대기와 환경 및 빙권의 상호작용의 변화는 전 지구 에너지 균형과 온도 분배에 크게 영향을 주며 주고 있으며 이러한 북극권 기후환경 변화에 대한 연구는 지구온난화 등의 글로벌 환경이슈 해결의 열쇠가 되고 있다. 이러한 과학적 이슈 외에도 자원개발 및 북극항로 개척 등의 경제적 이슈와 북극이사회의 국제사회 영향력 강화 등의 정치·외교적 이슈 등 다양한 기회요소가 공존하고 있는 지역임에는 분명하다. 하지만 미국, 러시아, 캐나다 등 북극 연안국들을 중심으로 한 영유권 분쟁 및 자원경쟁 심화, 극지역의 특성상 발생되는 고비용, 환경보호에 대한 국제사회의 압력 등 다양한 장애요소 또한 산재해 있다.

KOPRI 극지연구소



<그림 3-62. 북극해 진출에 대한 기회 및 위협 요소에 따른 대응방안>

우리나라는 이러한 북극 환경에 대해 장애요소를 넘어서고 기회요인을 선점

하기 위해서는 북극이사회 옵서버 역할을 성실히 수행하여 북극권 국가와의 국제협력 관계를 공고히 함으로써 북극에서의 우리나라의 입지를 강화하는 전략을 추진해야 한다. 다시 말하면 북극에서의 활발한 연구활동이 선행되어야 함을 의미하며, 결과적으로 기후변화, 해저지질 및 자원탐사 등 다양한 연구활동을 적극 전개하고 국제공동연구에 대한 지원을 확대해야 한다. 실예로 아라온호 운항 이후 국제공동연구에 대한 수요가 증가하였고 이러한 활발한 연구·조사 활동이 북극이사회 옵서버가 되는데 크게 기여했다.

KOPRI 극지연구소

2. 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성

<그림 3-63. 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성>

북극이사회 옵서버 지위 획득에 따라 앞으로는 회원국들과의 양자협력 기회 및 국제공동연구 수요가 더욱 증가할 것으로 예상된다. 하지만 이러한 기회들을 온전히 수행하기 위해서는 이를 수행하기 위한 인프라 즉 쇄빙연구선이 확보되어져야 한다. 아라온호는 극지연구를 위해 활발하게 활용되어지고 있으나, 북극뿐만 아니라 남극의 연구활동 및 기지보급 활동에도 사용됨으로써 조사·연구 목적의 운항에 제약사항이 발생하고 있다. 만약 지금처럼 아라온호 만으로 북극과 남극에 대한 연구를 진행하고 더불어 기지보급 지원활동도 수행하게 된다면 타 국가에서 요청하는 공동연구의 수요를 해결하는데 큰 어려움이 발생할 것으로 예상된다. 이는 단지 하나의 연구 미수행에 따른 기회상실에 그치지 않고 그에 따른 국제적 연구성과를 놓치게 될 뿐만 아니라 더 나아가 타 국가와의 연구협력체계에도 영향을 줄 것이다. 쇄빙연구선은 국제공동연구, 협력기반 구축 등 과학외교의 첨병 역할을 수행하는 핵심적 연구 인프라이기 때문에 이와 관련된 연안국과의 교류 및 협력의 기회를 적극 수용하고 활용하기 위해서는 북극 전용의 제2 쇄빙연구선 건조가 시급하다.

쇄빙연구선은 일반선박과는 비교하기 힘든 다양한 기술이 집약된 특수 선박이다. 제2 쇄빙연구선은 북극이라는 극한지역에 쓰여질만큼 고도의 기술과 안정

성이 필요되므로 사업타당성이 입증되고 나면 준비, 설계, 건조 및 검증까지 등 실제 쇄빙연구선을 활용하기까지는 오랜시간이 소요된다. 아라온호의 경우 건조를 위해 약 7년의 시간이 소요되었으며, 외국의 경우에도 쇄빙연구선 건조 사업은 평균 7~10년의 기간이 소요된다. 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경우 2017년 1월에 사업을 시작해 2021년 첫 운항을 목표로 하고 있다. 설계 및 건조과정에서 몇 개월 또는 몇 년이 지연될 수 있다는 점을 감안한다면 최소 5년 이상의 기간이 소요된다고 예상하여야 한다. 제2 쇄빙연구선이 건조되기 위한 5년의 기간동안 우리나라는 지금처럼 아라온호 한 대를 가지고 남극과 북극을 오가며 연구를 수행해야 하고 이 기간동안 발생되는 기회를 상실할 수 있다. 이러한 기회상실이 당장의 가시적인 성과에는 큰 영향을 미치지 않을 수 있지만 수년의 시간동안 축적된다면 극지연구 및 과학기술은 물론 국익에도 큰 영향을 줄 수 있을 것이라는 것을 염두해야 한다. 이렇듯 쇄빙연구선 건조기간 동안 발생되는 손실을 최소화하고 국익과 국가 과학기술의 향상을 고려해서라도 제2 쇄빙연구선은 하루빨리 건조가 되어야 한다.

더불어 세계 각 나라는 북극연구 및 비즈니스 차원의 개발 중요성을 인지하고 북극정책을 수립 및 추진하고 있다. 또한 독일, 중국, 영국 등 극지연구 선진국은 이미 발 빠르게 제2 쇄빙연구선 건조를 진행하여 향후 5년 내외에 신규 쇄빙연구선을 확보하게 되는 상황으로, 이는 주요 경쟁국들의 강력한 북극해 진출 의지를 보여주고 있다. 극지연구 특성상 연구 지역의 선점 여부가 향후 연구 성과 및 북극지역 영향력 확대에 절대적인 만큼, 성능이 우수한 쇄빙연구선을 통해 미답 연구지역을 선점하기 위한 여건을 이미 조성하고 있다. 우리나라 또한 북극이사회 옵서버 가입 이후 범정부 차원의 '북극정책 기본계획'을 수립하고 이를 수행하기 위한 노력을 기울이고 있다. 북극이사회 옵서버 가입, 국제공동연구 수요 증대, 북극정책 마련 등 북극해 진출에 대한 환경이 조성된 만큼 실행방안을 구체화하고 실질적인 수행을 위해서 쇄빙연구선 확보가 시급하다.

특히 제2 쇄빙연구선이 건조되어 본격적으로 활용될 2022년은 북극에서의 적극적인 활동이 요구되는 중요한 시기이다. 먼저 정치·경제적으로 북극해 대륙붕을 둘러싼 쟁탈전이 심화될 것으로 보인다. 현재 러시아, 덴마크를 비롯한 다수의 북극해 연안국들이 대륙붕 연장 요청을 제시하였으며, 빠르면 2023년 이후 대륙붕 연장에 대한 승인 여부가 결정될 것으로 보인다. 대륙붕 확장에 따라 연

안국의 영해가 확장되면 그만큼 과학연구 활동의 제약이 예상되는 만큼, 하루라도 빨리 제2 쇄빙연구선 건조 사업에 착수할 필요가 있다.

또한 과학연구 측면에서도 3대 주요 해령(멘델레프, 알파, 로모노소프) 국제공동탐사 및 북극점 단독 탐사를 위해서도 제2 쇄빙연구선의 필요성이 커지고 있다. 이미 독일 등 극지연구 선진국들은 북극해 탐사의 핵심이라 할 수 있는 해당 영역에 대한 탐사에 착수하고 있다. 또한 북극해의 대표적 국제공동연구프로그램인 PACEO(Pacific Arctic Climate-Ecosystem Observatory, 태평양 북극해 기후-생태계 관측)에 본격 참여하기 위해서도 제2 쇄빙연구선은 매우 시급하다. 2022년부터 2단계 사업이 진행될 본 연구프로그램은 북극해 관측 및 과학연구에 핵심적인 역할을 담당하고 있는 만큼 제2 쇄빙연구선 건조를 통해 이에 적극 참여하여 북극해에서의 영향력 확대를 위한 과학외교 활동에 나서야 한다.

앞서 살펴본 바와 같이 북극해 진출에 대한 국가 간 경쟁이 가속화 되고 있는 상황에서 국제적 경쟁력을 확보하고 북극정책의 실행력을 강화하기 위해서는 지금이 제2 쇄빙연구선 건조를 추진해야 하는 골든 타임(Golden Time)으로 볼 수 있다.

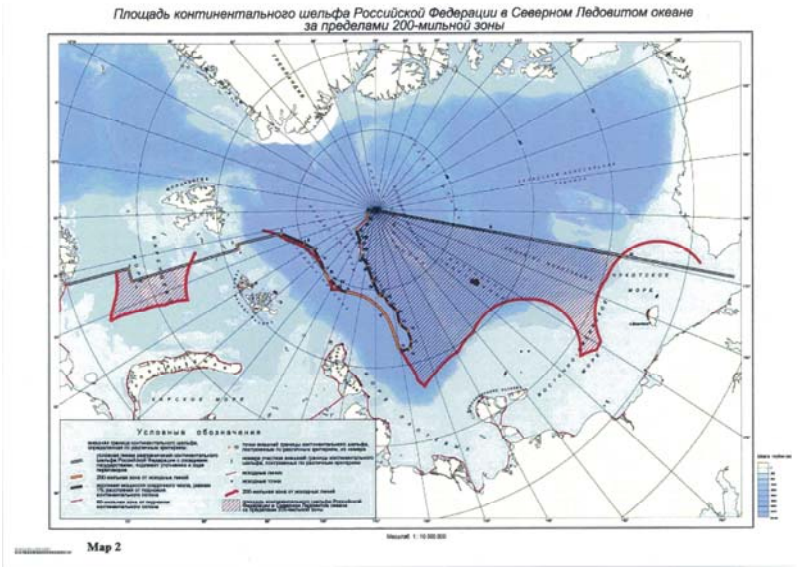
KOPRI 극지연구소

가. 사례1; 북극해 대륙붕 쟁탈전에 대응한 제2 쇄빙연구선 필요·시급성

제2 쇄빙연구선을 통한 북극해 연구의 시급성은 북극해의 국제정치적 환경으로부터 도출된다. 즉 북극해 연안국들은 북극해 해저의 에너지·광물자원을 확보하기 위하여, 200해리 외연까지 자국의 대륙붕을 확장하고자 힘쓰고 있으며, 대륙붕 연장의 근거를 제시하기 위하여 쇄빙연구선을 활용한 해저지질탐사연구에 몰두하고 있다.

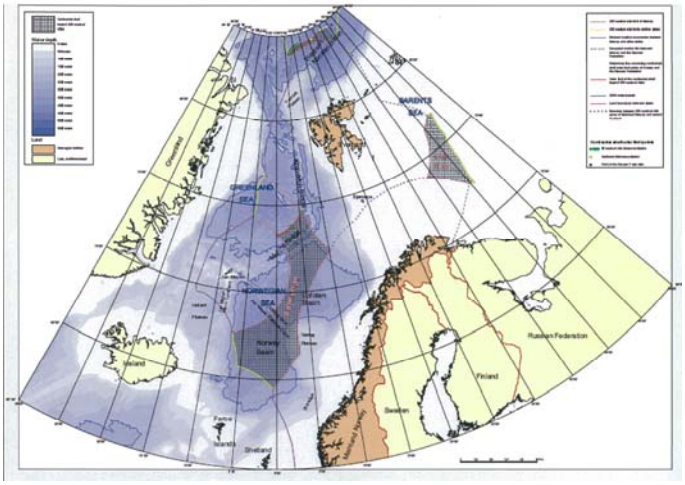
연안국간 북극해 대륙붕 쟁탈전은 2001년 12월 러시아가 UN 대륙붕한계위원회(CLCS, Commition on the Limitation of the Continental Shelf)에 대륙붕 연장 요청서를 제출하면서부터 시작되었다. CLCS는 러시아의 대륙붕 연장 요청에 대하여 “러시아가 그들의 주장을 뒷받침할 만한 충분한 지질학적 자료를 가지고 있지 않다”며 자료를 보강해서 다시 제출하라는 결정을 내린바 있다(2002년 6월). 이후 러시아뿐만 아니라, 다른 북극권 국가들이 해양영토 확장을 위해 북극해의 일부 지역이 자신의 대륙붕과 연결되어 있음을 증명하기 위해 탐사작업을 계속해 오고 있다. 러시아는 2007년 8월의 북극 탐사 이후, 로모노소프

(Lomonosov)와 멘델레프(Менделеев) 해령이 지질학상으로 유라시아 대륙의 연속선상에 있다는 증거를 찾았음을 밝힌바 있고, 조만간 새로운 탐사자료를 보강하고 정리하여 CLCS에 제출할 것이라고 주장하고 있다.



<그림 3-64. 러시아가 제출한 대륙붕 연장 해역도, 출처; CLCS>

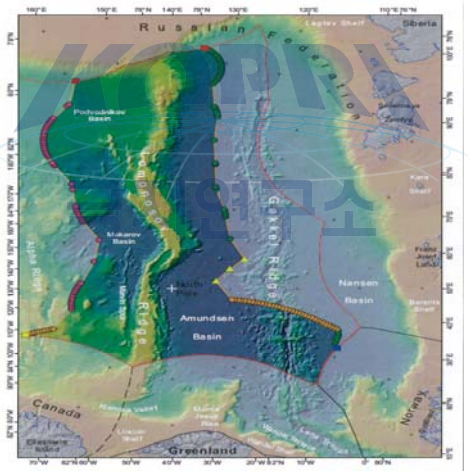
과학적 근거를 바탕으로 대륙붕 연장에 성공한 국가도 있다. 노르웨이가 2006년 11월에 CLCS에 대륙붕 한계 요청안을 제출하였다. 요청안의 핵심은 노르웨이, 그린란드, 아이슬란드, 파로군도 사이의 해양 영토 25만㎢에 대해 영유권을 주장하는 내용이었다. 그 결과 노르웨이는 2009년 4월 UN CLCS로부터 23만5천㎢(노르웨이 본토의 ¾크기)에 대한 영유권을 인정받았다. 노르웨이가 북극해저 대륙붕에 대한 영유권을 획득함과 동시에 자원개발권을 갖게 될 것이다.



<그림 3-65. 노르웨이가 제출한 대륙붕 연장 해역도,
출처; CLCS>

덴마크도 2007년부터 그린란드 주변 해역의 지질조사에 대한 과학적 탐사를 본격화하여, 2008년부터 그린란드 북쪽에서 북극점으로 뻗어 있는 로모노소프 해령 주변의 해저지형 및 지질 탐사를 집중적으로 수행 해왔다. 덴마크는 해저지질탐사를 통해 확보한 자료를 CLCS에 대륙붕 연장을 위한 증빙자료로 제출하였다(2014년 12월).

러시아, 캐나다, 덴마크의 북극해 해저연구는 최근 로모노소프 해령을 주목하고 있는데, 이는 각국 정부가 주장하는 대륙붕 연장의 대상 지역이 로모노소프 해령인 것과 무관하지 않다. 러시아는 로모노소프 해령이 동 시베리아 대륙붕과 연결되어 있음을 주장하고 있고, 캐나다는 엘즈미어 섬(Ellesmere Island)의 대륙붕이 로모노소프 해령에 연결되어 있음을 주장하고 있으며, 덴마크는 로모노소프 해령이 그린란드로부터 대륙붕이 자연적으로 연장된 것 이라고 주장하고 있다.



<그림 3-66. 덴마크가 제출한 대륙붕 연장 해역도, 출처; CLCS>

<그림 3-67. 로모노소프 해령(파란색 선), 출처; http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20150513000324>

현재 CLCS에 제출된 대륙붕 연장 요청에 대한 검토와 승인을 위해서는 상당한 기간이 소요된다. 2015년 6월 현재까지 CLCS에 77건의 문건이 제출되어 있다. 그러나 29번째 문건에 대한 권고(Recommendation)가 가장 최근(2015년 3월)에야 다루어진 점에서 볼 때, 76번째로 제출된 덴마크의 자료는 2020년이 되어야 본격적인 검토가 착수될 것으로 예상된다. 실제 검토기간을 고려한다면 심사결과는 2022년 이후가 될 것으로 예상된다. 반면 러시아의 경우 이미 2001년 요청자료에 대한 검토가 있었기 때문에 수정된 자료가 제출된다면 이미 검토한 동일 분과위원회의에서 다시 다루어지기 때문에 상대적으로 조속히 결과가 도출될 것으로 예상된다. 다만 덴마크의 요청자료와 상충될 수 있기 때문에 함께 검토되어 승인 여부는 2022년 이후로 예상할 수 있다.

결국 빠르면 2023년부터는 북극점을 포함하는 북극해 상당 해역이 대륙붕 연장을 통한 영유권 지역으로 바뀌게 되어 동 해역에 대한 접근이 더욱 어려워지며 경우에 따라서는 제한될 수 있다. 따라서 현재 공해로 남아있는 북극해에서의 자유로운 과학적 탐사연구 활동기간이 빠르면 2022년까지로 한정될 수 있다. 2021년까지는 조속히 건조를 완료하고 2022년부터 본격적인 북극해 탐사연구 활동에 투입되어야 할 제2 쇄빙연구선의 건조의 시급성이 존재하는 이유이다.

러시아, 캐나다, 덴마크 3국 모두 로모노소프에 대한 대륙붕 연장을 꾀하고 있는 바, 우선은 CLCS에 판단을 요청하겠지만 만일 대륙붕 쟁탈전이 3국간의 국제분쟁으로 비화될 경우 UN해양법재판소(ITLOS, International Tribunal of the Law of the Sea)의 소송으로 확대될 가능성도 배제할 수 없다. 그 어느 경우라 할지라도 재판관의 결정은 해저탐사를 통해 획득한 과학적 증거에 달려있다.

러-캐-덴 3국은 로모노소프 해령이 자국 대륙붕의 연장임을 밝히기 위해 그동안 수천만 달러를 투자해 왔으며, 때로는 캐-덴 로모노소프 해령연구(LORITA-1), 캐-러 로모노소프 해령지도 제작 등과 같이 국제공동 해저지형탐사연구가 수행되기도 하였다. 따라서 이러한 해양과학조사연구는 필연적으로 쇄빙연구선을 보유한 다른 나라들과 국제공동연구를 통해서 북극해에서 과학적 연구를 추진하는 대규모의 수요가 발생되고 있다. 이 또한 우리나라가 시급하게 제2 쇄빙연구선의 취항을 통해 국익 창출과 함께 미래 성장 동력의 계기로 삼아야 할 것이다.

북극해에 대한 북극해 연안국의 정치 및 정책적 필요에 의해 과학적인 탐사

연구수요가 확대되고 있는 이 시점에, 우리나라는 2021년까지는 제2 쇄빙연구선을 건조완료하고 더욱 적극적으로 북극해 국제공동연구에 참여해야 할 것이다. 이를 통해 북극해저의 미래 영토국과의 과학적 탐사교류를 통한 협력시스템을 구축해야 할 필요가 있다. 현재 전 세계적인 관심사인 북극해 생성과 진화역사를 규명하고자 하는 거대과학탐사연구에 동참함으로써 북극진출의 적기를 맞이하여, 북극해 연구에 집중할 수 있는 제2 쇄빙연구선 확보가 시급하다고 하겠다.

나. 사례2; 2022년도부터 수행되어야 할 제2 쇄빙연구선의 북극연구항해 : 3대 주요 해령 국제공동탐사 참여와 북극점 단독 탐사 수행

(1) 멘델레프 해령 국제공동해저시추사업에 참여

지난 4월 국제공동해저시추프로그램(IODP)에서는 2018년 7월 중순부터 10월 중순까지 러시아 대륙붕에 인접한 로모노소프 해령의 국제공동해저시추(708 Arctic ACEX-2)의 추진이 결정되었다. 로모노소프 해령 심부사업에는 전용 시추선인 Viking호와 함께 다수국의 쇄빙연구선과 연구인력 및 500억 이상의 자본이 투입될 예정이다. 이미 독일의 Polarstern호는 투입이 결정되었으며 스웨덴도 자국의 쇄빙연구선인 Oden호의 투입을 고려하고 있다. 특히 ACEX-2의 시추책임자인 독일 AWI 소속의 R. Stein 교수는 유럽의 쇄빙선이 아닌 우리나라의 쇄빙연구선의 투입을 고려하고 있어 전 세계 거대지구과학 프로그램에 참여할 수 있는 기회가 열려 있는 셈이다. 그러나 우리나라는 북극해 해저탐사연구에 필요한 주요 인프라인 쇄빙연구선 아라온호를 보유하고 있지만, 향후 연구항해 일정이 포화상태이다. 따라서 이미 계획된 앞으로의 탐사 연구를 포기하고 새로운 국제공동 프로그램에 참여하기엔 많은 문제점이 야기될 수 있기 때문에 로모노소프 심부시추프로그램에 참여가 어려운 실정이다. 그러나 계속적으로 추진되는 거대지구과학 탐사연구 분야에 참여가 불가능 할 경우 북극해 탐사연구를 추진할 수 있는 기회를 잃어버리게 된다면 향후 북극해와 관련한 국익제고에 성장동력을 상실하는 큰 장애가 될 수 있다.

2018년에 이어 2022년부터 멘델레프 해령에서 북극해 생성과 진화역사 복원을 위한 국제공동 해저심부시추사업이 계획되고 있다. 이는 2018년에 잃은 참여기회를 만회할 수 있는 절호의 계기가 될 것이다. 2021년까지 건조가 완료 될 제2 쇄빙연구선 투입을 통하여 국제공동탐사 및 시추연구 수행으로 국제사회에 기

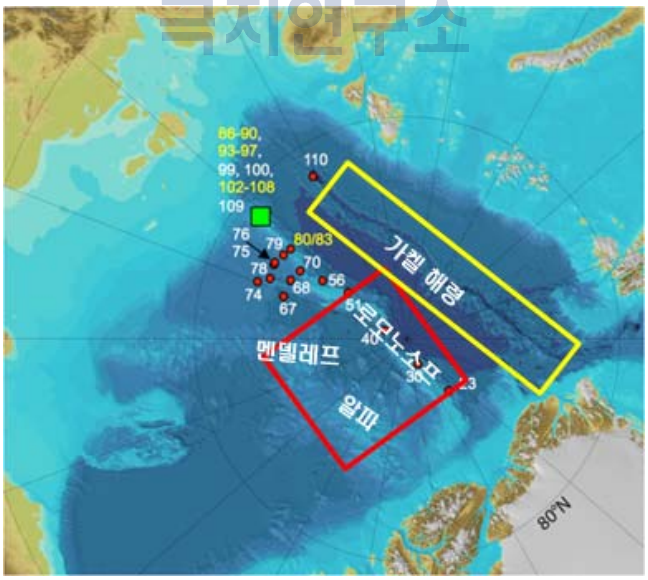
여하는 동시에 해령 생성과 진화 역사규명과 함께 북극해 해양환경변화의 비밀을 밝힐 수 있는 거대지구과학분야의 의문을 해결하는데 일익을 담당하게 될 것이다.

(2) 알파 및 로모노소프 해령 국제공동탐사 추진

독일 쇄빙연구선인 Polarstern호는 2008년과 2014년 알파해령 탐사를 시도하였으나 두꺼운 다년빙으로 실패한 후, 새롭게 건조되는 Polarstern 2호를 통하여 국제공동연구를 계획하고 있다.

다년빙으로 덮여있는 극한환경에서 탐사연구가 수행되기 때문에, 성공적인 탐사를 위하여 2대 이상의 쇄빙선이 공동으로 탐사에 참여하여 쇄빙 및 탐사연구의 안전을 확보하고 전인미답의 해역에서 다양한 분야의 연구자들이 동시 참여하여야 효율적인 성과를 도출할 수 있을 것이다. 따라서 탁월한 연구기능을 보유할 우리나라의 제2 쇄빙연구선과 독일 Polarstern 2호와 합동으로 2023년 전인미답지인 알파해령 해저지질 공동탐사를 추진을 계획 중이다. 탐사동한 해저심부퇴적층 자료와 해저심부시추 등을 통해 중생대 이후 생성된 것으로 알려진 북극해 진화역사가 보다 명확히 밝혀질 것이다.

KOPRI 극지연구소

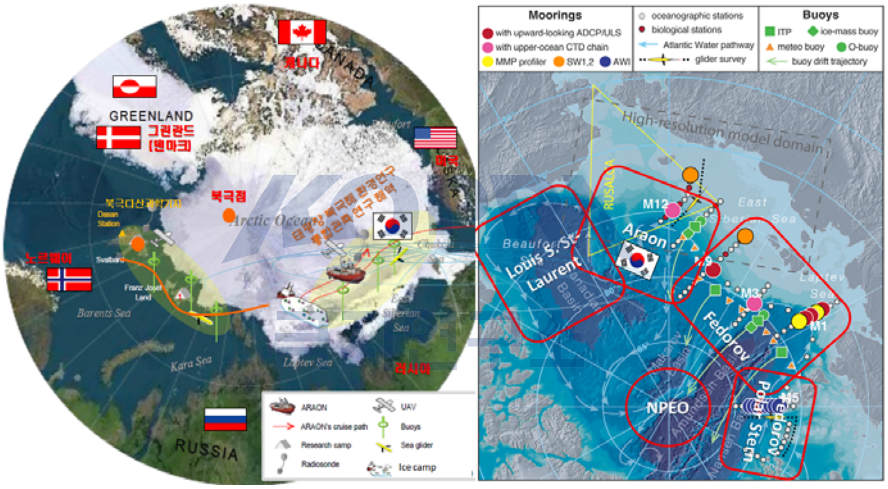


<그림 3-68. 북극해 중앙해역의 독일 Polarstern호의 2014년 탐사지역도*>

* 적색; 북극점을 중심으로 3대 해령인 로모노소프, 멘델레프 및 알파해령이 위치. 녹색; 독일 Polarstern 2호의 2018년 국제공동 시추지점. 노랑; 2025년 제2 쇄빙연구선을 통해 우리나라 자체적으로 탐사예정인 가장 느린 속도(0.5cm/year)로 북극해에서 유일하게 확장하고 있는 가켈해령>

다. 사례3; 국제공동연구 프로그램(PACEO) 주도적 참여를 위한 제2 쇄빙 연구선 투입의 시급성

2015년 5월 태평양북극그룹(PAG, Pacific Arctic Group, 의장; 극지연구소 강성호 박사) 회의에서는 PACEO(Pacific Arctic Climate- Ecosystem Observatory, 태평양 북극해 기후-생태계 관측) 공동연구 프로그램 협약서를 작성하였다. 우리나라를 포함하여 미국, 일본, 중국, 캐나다, 러시아 등 6개국이 참여하였으며, 각 참여국은 북극해에서 통합관측을 통하여 획득된 모든 자료를 DB화하고, 웹기반 북극해 정보 포탈 시스템 구축함으로써, 다양한 사용자(일반인, 국내/국외 전문가 등)에게 자료가 제공될 수 있도록 하기 위함이다.



<그림 3-69. 환북극해 결빙해역 주변의 환경변화 통합관측 및 국제공동연구 해역>

JOINT STATEMENT

Letter of Intent
Cooperation of the Pacific Arctic Group Members on:
Developing a Pacific Arctic Climate Observing System

April 23, 2015
Toyama, Japan

The Pacific Arctic Group (PAG) is an informal group of organizations and individuals having a Pacific perspective on Arctic science. Originally organized under the International Arctic Science Committee (IASC), the PAG is now an independent affiliate of the IASC and has as its mission to serve as a Pacific Arctic regional partnership to plan, coordinate and collaborate on science activities of mutual interest. The PAG has established five objectives:

- To identify gaps in knowledge and priority research needs across the Pacific Arctic Region and seek means to implement programs and activities that address them.
- To facilitate and coordinate science operations among PAG member countries.
- To promote and facilitate data accessibility and integrated data bases for the region.
- To serve as a forum for information exchange on Pacific Arctic Region (PAR) science programs.
- To establish and maintain a direct link between PAG and other relevant science organisations.

In October, 2014, the Pacific Arctic Group fall meeting focused on a review of accomplishments during the previous summer and outlooks for the future research plans.

The goals are:

- To carry out atmospheric, sea ice and upper ocean observations to determine the causes of rapid sea ice loss in the region and its impact on ecosystems and local and global climate. This effort will also incorporate atmospheric observations to support the WMO's Polar Prediction Project (PPP).
- To study the evolution, structure, and variability of Pacific Arctic upper ocean water masses, including heat transport of Atlantic Water and its interaction with northward flowing Pacific Water.
- To carry out repeat observations of the marine ecosystem, from lower to higher trophics, documenting status and trends and identifying indicator species and their relationship to physical forcing and biogeochemical conditions.
- To carry out time-series observations from long-term moorings to reveal annual and inter-annual variability.
- To coordinate this work with the vessels of our respective countries from 2015-2020 and beyond, to provide a unique suite of synoptically collected data made available for joint analysis and assessment via the mechanisms already set up within the Pacific Arctic Group.

www.pag.arcticportal.org

PAG KOPRI NiPR

Korean Polar Research Institute, Korea — SUNGHO KANG, 23 April 2015
Arctic Research Program, NOAA, USA — Kathleen Crane, 25 April, 2015
National Institute of Polar Research, Japan — 23 April 2015
Polar Research Institute of China, China — 23 April 2015
Department of Fisheries and Oceans, Canada — Bill Williams, 23 April 2015
Arctic and Antarctic Research Institute, Russian Federation — 23 April 2015

<그림 3-70. 태평양 북극해 기후-생태계 관측시스템 개발을 위한 6개국 협정서>

북극해 국제공동연구 프로그램 PACEO는 2016년 본격적으로 착수되어 2021까지 지속적으로 수행될 계획이다. 연안국인 미국, 캐나다, 러시아, 비연안국인 우리나라와 일본, 중국이 북극해 지역을 분담하여 각국의 쇄빙선 또는 내빙선을 활용하여 현장조사를 수행한 뒤 연구결과를 공유하는 형식으로 진행될 것이다. 우리나라는 아라온호를 활용한 북극해 관측결과가 제시될 예정이지만 빠듯한 운항일정으로 인하여 년 1회, 약 1개월간의 간헐적인 관측만이 가능한 실정이다. 현장조사에 필수적인 쇄빙연구선의 불충분한 활용기간으로 우리나라가 분담하는 척치해 북쪽해역으로의 접근이 불가능하기 때문이다.

향후 2단계(2022~2026)로 진행될 PACEO는 1단계의 결과를 공유하며 구축되는 통합관측 자료를 바탕으로 북극항로 예측 프로그램 개발로 발전될 예정이다. 북극이사회 옵서버국 및 PAG 의장국으로서의 책무와 역할을 수행함은 물론, 2022년부터 보다 주도적인 참여 및 북극해 주변 해양환경변화의 종합적 이해를 위한 연구조사의 원활한 수행을 위해서는 제2 쇄빙연구선의 활용이 필수적인 것이다. 2021년까지는 극지인프라로서 제2 쇄빙연구선이 건조완료되어야 하는 시급한 이유이다.

KOPRI 극지연구소

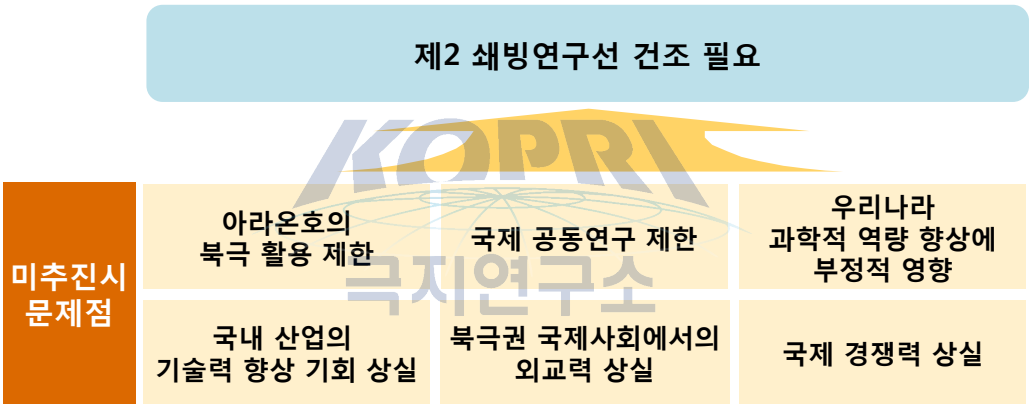
제 5 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 미추진에 따른 문제점

본 장에서는 북극지역 조사·연구에 대한 필요성 및 장애요소, 아라온호 활용 한계 등을 통해 북극 전용 쇄빙연구선의 필요성에 대해 검토하였고, 이와 더불어 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성에 대한 사항을 확인하였다. 현재 추진하고자 하는 제2 쇄빙연구선은 아라온호와의 역할을 분담하여 북극 전용으로 활용할 계획이다. 북극 조사·연구에 대한 중요성이 확산되고 북극 연구에 대한 타 국가의 공동연구 요청이 늘어남에 따라 이를 수용하고 우리나라의 북극 과학연구에 대한 역량을 확대하고자 함이다.

극지연구소는 현재 '양극해 환경변화 이해 및 활용연구(K-PORT)'의 일환으로 북극 보퍼트해의 캐나다 EEZ(배타적경제수역) 내에서 대형 국제 공동연구 프로그램을 추진하고 있다. 이는 지난 2008년부터 준비해서 5년 만에 맺은 성과로 무엇보다 우리나라 쇄빙연구선인 아라온호를 이용해 탐사활동을 수행하게 되어 더 많은 주목을 받았다. 다른나라 EEZ 내 조사는 탐사허가를 받기도 쉽지 않을 뿐만 아니라 최근 북극해 연안이 비연안국의 진출에 비협조적인 태도를 보여 어려움을 겪을 것으로 예상했지만 2009년 건조한 아라온호가 결정적 역할을 했다. 캐나다 쇄빙선은 연구목적에 특화돼 있지 않아 종합해양연구선인 아라온호가 최적의 연구선으로 낙점된 것이다. 본 연구는 우리나라를 비롯해 미국, 캐나다, 중국, 일본, 영국 등 10개국 17개 연구기관 및 대학에서 총 83명이 참가하고 있다. 극지연구소는 자국의 쇄빙연구선을 활용해 역대 최다 국가가 참여한 북극해 공동연구를 주도하고 있는 것이다. 이는 북극 연구에 대한 우리나라의 위상과 역량이 높아졌음을 반증하는 것이고, 연구목적의 쇄빙연구선을 보유하고 있었기에 달성가능한 성과라고 할 수 있겠다.

하지만 아라온호는 이러한 북극활동에만 사용될 수 있는 여건이 되지 못한다. 북극과 마찬가지로 남극 또한 극지연구의 진원지로서 활발한 연구활동이 수행되고 있고 최근 장보고과학기지를 준공함으로써 남극연구에 대한 기반을 강화하고 있다. 앞으로는 연구 목적의 남극항해 외에도 세종기지와 장보고과학기지에 대한 보급활동으로 인해 북극항해을 위한 아라온호 활용에는 더욱 제약이 따르게 될 것으로 판단된다. 최다 국가가 참여한 북극해 공동연구를 주도하고 아라온호 운항 이후 공동연구에 대한 요청이 급증하고 있는 상황에서 북극 전용의

쇄빙연구선의 필요성과 활용가치는 매우 높다. 만약 현재의 상황처럼 아라온호만으로 북극과 남극에 대한 연구항해 및 기지보급 활동을 수행한다면 타 국가의 공동연구 요구를 수용하지 못하게 되는 상황이 빈번하게 발생될 것이다. 공동연구 미수용은 북극연구에 대한 성과를 확보하지 못하게 되는 결과를 초래하게 될 것이고 이는 우리나라의 북극연구에 대한 과학적 역량을 진보시키는데 부정적 영향을 미치게 될 것이다. 우리나라가 수용하지 못한 공동연구에 대한 기회는 다른 경쟁국에게 주어지게 되고 결국 북극연구에 대한 경쟁력 또한 떨어지게 될 것이다. 당장 이러한 부정적 결과가 가시적으로 나타나지는 않겠지만 개선의 노력없이는 제자리 걸음 또는 퇴보하는 결과를 낳을 것이며 이는 북극권 국제사회에서의 우리나라 외교력에도 영향을 줄 수도 있음을 명심해야 한다.



KOPRI 극지연구소

<그림 3-71. 제2 쇄빙연구선 건조사업 미추진 시 문제점>

제2 쇄빙연구선 건조사업은 단지 하나의 쇄빙선박을 건조하는 수준에서 벗어나 고부가가치 선박인 빙해선박에 필요한 핵심 요소기술을 개발하여 극지기술을 선도할 수 있는 역량을 확보하고자 하는데 또 다른 의의가 있다. 우리나라의 선박 건조 기술은 세계적 수준이라고 할 수 있으나, 극지역 안전운항 설계 및 빙성능 최적화 기술 등의 요소기술에 대한 수준은 선진국에 비해 미흡한 수준이다. 하지만 본 사업을 통해 이러한 핵심 요소기술을 개발하여 제2 쇄빙연구선에 접목할 계획이며, 이를 통해 국내 조선산업의 경쟁력은 성장할 것으로 기대된다. 본 사업의 추진이 불발될 경우 조선업의 기술개발에 대한 기회상실과 산업성장에 대한 답보상태가 진행될 것으로 우려된다.

아라온호와 달리 제2 쇄빙연구선을 조선기자재의 방한기술에 대한 성능을

실선검증 할 수 있는 Test-Bed로 적극 활용할 계획이다. 이는 극지운항 관련 기관과 업체들의 기자재 및 부품에 대한 winterization 성능을 실해역에서 테스트 하게끔 함으로써 관련 산업에 이바지 하기 위함이다. 국내 기자재 업체는 실해역에서 성능을 테스트 할 수 있는 여건이 조성되어 있지 않아 높은 비용을 지불하고 다른 나라로부터 기술력을 수입하고 있는 실정이다. 제2 쇄빙연구선 내에 탑재된 Test-Bed 장비의 활용은 국내 조선기자재 관련 산업의 활성화 뿐만 아니라 국가경쟁력에도 긍정적인 영향을 줄 것임에 분명하다. 이러한 산업 및 국가발전의 기회를 누리기 위해서는 제2 쇄빙연구선 건조가 반드시 필요하다.

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 4 장

활용방안 및 기대효과

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

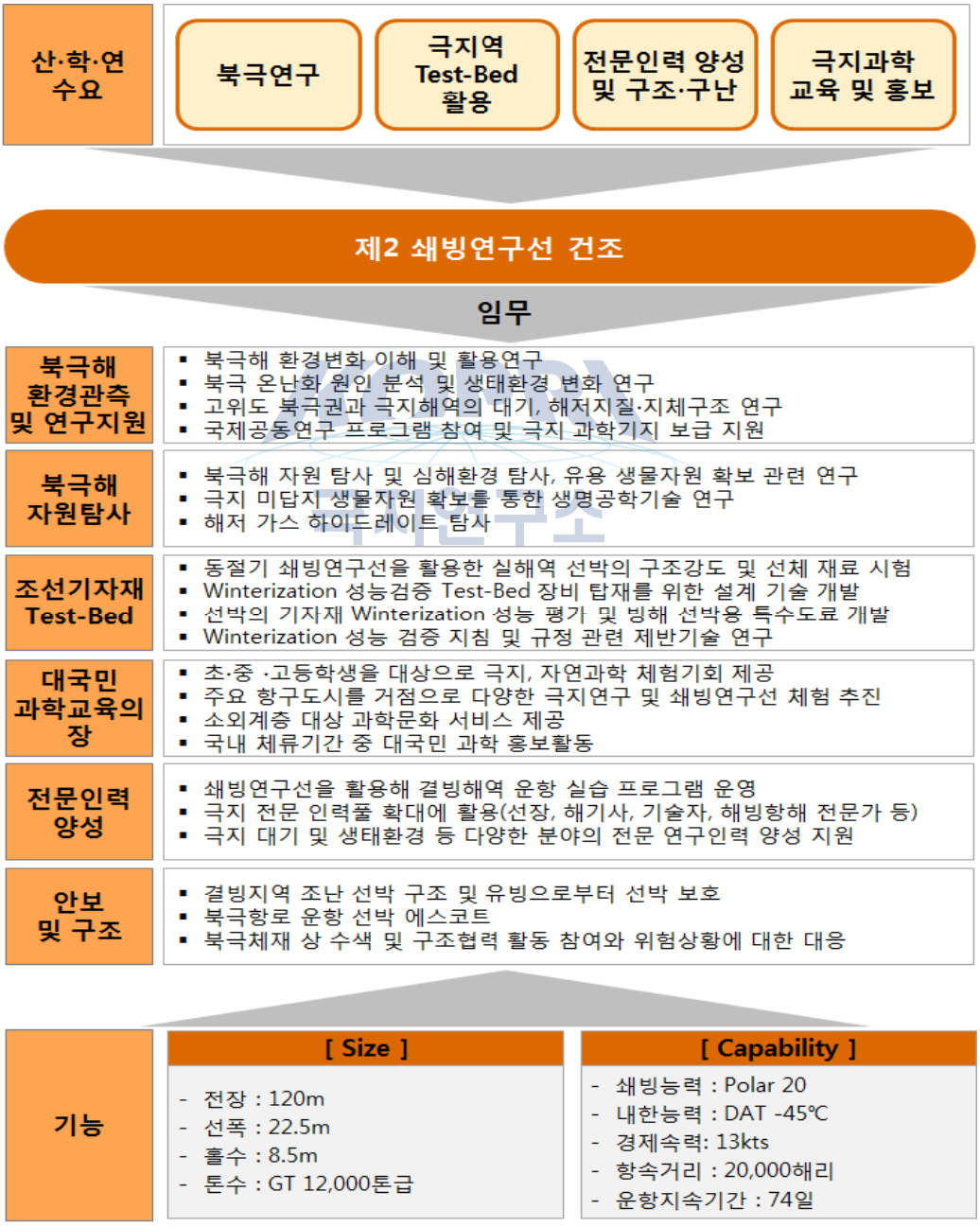
제 1 절 제2 쇄빙연구선 기본 운항계획

지구온난화 등 환경 문제는 21세기 국제사회의 공통된 관심사로 국제사회의 공동대응의 필요성이 강조되고 있다. 앞서 언급했듯이 지구온난화로 대표되는 기후변화 현상은 북극 지역의 환경 및 생태계에도 큰 위협이 되고 있다. 반면 지구온난화로 인한 북극해 해빙의 급격한 감소는 이 지역 해저 지하자원 개발 가능성 및 북극해 항로의 이용 가능성을 제고하여 북극해 연안국은 물론 기타 주변 국가들의 경제적 차원의 관심을 끌고 있다. 북극은 과거 지구의 변화에 대한 기록부터 현재의 기후변화를 이해하고 미래의 정보를 제공해주는 과학연구의 천연지이자 전세계 석유 및 가스 매장량의 약 4분의 1이 매장된 자원의 보고라고 할 수 있다. 이렇듯 과학적 가치 뿐만 아니라 국가 경제적 가치 제고 차원에서 북극에 대한 중요성은 더욱 강조되어 가고 있는 분위기이다.

국제적으로 북극의 중요성이 강조되어 가고 있는 상황에서 아라온호는 2013년 운영일수 중 20.9%만 북극항해에 투입되었다. 북극해 연구의 전문성을 강화하고 북극항로를 개척하기 위해서는 북극해 중심의 쇄빙선 건조가 시급한 상황이다. 향후 제2 쇄빙연구선은 다양한 연구계의 활용 뿐만 아니라 교육계 및 산업계의 적극 활용을 계획하고 있다. 해양조선 분야의 기술개발을 위한 조선기자재의 극지현장 Test-Bed로 활용될 뿐만 아니라 결빙해역 운항교육 등 과학교육 및 안전교육의 장으로 활용될 계획이다.

1. 제2 쇄빙연구선 주요 기능과 임무

현재 국내에는 북극연구와 조선기자재 Test-Bed 활용 등 다양한 수요가 존재하고 있으며, 이러한 수요를 해결하고 가시적 성과를 얻기 위해서는 제2 쇄빙연구선 건조가 필수적이다. 다양한 임무를 원활하게 수행하기 위해서는 쇄빙선 규모와 쇄빙, 내빙성능 등 일정조건 이상의 기능적인 부분이 만족되어야 한다.



<그림 4-72. 제2 쇄빙연구선의 주요 임무와 기능>

제2 쇄빙연구선은 북극해 개발과 극지항로를 위한 연구항해에 대한 보급·지원 활동을 강화하고, 연중 4계절(봄, 여름, 가을, 초겨울/늦겨울) 전천후 극지운항을 고려하여 쇄빙연구선 아라온호 보다 쇄빙성능·내한(winterization) 성능의 획기적 개선이 요구된다.

선박 크기는 5,000~10,000톤 정도의 중형급과 10,000~15,000톤 정도의 준대형급 및 15,000톤 이상의 대형급으로 구분이 가능하며, 아라온호의 경우는 7,000톤 정도로 중형급에 속한다. 참고로 현재 건조 진행 중인 준대형급은 핀란드 AARC에서 설계하고 있는 중국의 쇄빙연구선으로 12,000톤으로 길이 120m, 폭 22.3m이다. 또한, 대형급 연구선으로는 2009년도에 건조된 일본의 Shirase가 있으며, 18,500톤이고 길이 138m, 폭 28m이다.

이상을 종합하면, 북극해 개발 동참과 본격적인 극지항로 지원을 위해서는 적어도 연중 4계절(초/늦겨울 포함) 전천후 극지운항 가능한 쇄빙·내빙성능의 개선과, 보급·지원 활동 강화를 위하여 12,000톤의 준대형급이 요구된다. 준대형급의 규모와 성능을 갖추기 위해서는 중국에서 건조 중인 준대형급의 쇄빙연구선과 같이 길이 120m, 폭 22.5m 및 설계흘수 8.5m 정도가 요구된다. 일반 대양항해 시 설계속력은 장거리인 극지 연구해역로 신속한 이동을 위하여 경제적 항해속력은 13노트 이상이 필요하다.

KOPRI 극지연구소

[표 4-49] 주요 쇄빙연구선 제원 비교

구분	아라온(중형)	시라세(대형)	중국(준대형)	PRV(미) (준대형)	제2쇄빙선 (준대형)
주요제원 (LOAxBxT,m)	111x19.0x6.8	138x28.0x9.2	120x22.3x8.5	115x22.7x9.0	120x22.5x8.5
최대배수량 (기준배수량, MT)	7,487 (-)	18,500 (12,500)	abt.12,000 (8,000)	11,200 (-)	max.12,000
순항속도 (knots)	12.0 (16.0)	15.0 (19.0)	-	-	13.0이상
쇄빙능력 소요마력	3.0kns (1m multi-ice) 10MW	1.5m ice 30,000PS	2-3kns (1.5m multi-ice) -	3.0kns (1.4m ice) 16.8MW	3kns (1.5-2m ice) 약 20MW
추진시스템	Twin-Azimuth	Twin-FPP	Twin-POD	Twin-POD	Twin system
Winterization	-30℃	-	-	-	-45℃
Ice Class	KR Polar-10	NK	CCS&LR (PC3)	ABS	KR Polar-20
Complements	85	255 (incl. 175 crew)	90	50 scientists	120

KOPRI 극지연구소

특히 쇄빙능력 및 내한성능과 관련하여 요구되는 사양은 다음과 같다.

- 준대형급 쇄빙연구선으로는 최대 20MW 이내의 추진력으로 2.0m 평탄빙을 쇄빙할 수 있는 능력을 갖도록 하여야 하며, 선수·미 쇄빙능력 모두 3.0노트 내외가 요구
- 선수·미 Ramming 기능 보유
- 동 쇄빙능력은 국제 선급 규정의 Ice class PL 3과 유사한 수준
- 쇄빙연구선 아라온호의 내한성능은 -30℃로서 4계절 극지운항을 위해 -45℃로 내한성능의 대폭 개선이 필요

2. 제2 쇄빙연구선 운항계획

가. 연중 운항 구분

○ 제2 쇄빙연구선의 연간 운항을 크게 세부문으로 구분하여 운항계획을 수립

- 기초연구용: 극지해역까지 이동항해 기간 중 이동항해연구와 북극해에서 과학탐사 등 연구활동을 수행
- 응용연구용: 조선기자재업체에서 극지해역을 목적으로 연구개발한 부품, 장비들을 북극해에서 빙선체, 내빙·내한성능 연구 등 Test-Bed 활동을 지원하여 국내 조선경쟁력 강화
- 교육지원용: 국내 정박기간 등을 활용하여 초·중·고생 및 대국민 선상교육과 장비교육 및 안전교육 등을 수행하며, 추가로 극지해역 항해 시 해기사 등을 동승시켜 결빙해역에서의 운항교육을 병행하여 전문성을 제고
- 아라온호와 동행 또는 교차운항: 필요 시 북극항해 또는 남극항해에 아라온호와 동행 또는 교차운항 등을 통해 시너지효과 창출

KOPRI 극지연구소

<그림 4-73. 제2 쇄빙연구선의 연간 운항계획(안)>

나. 제2 쇄빙연구선 연간 운항 기본일정(안)

[표 4-50] 제2 쇄빙연구선 연간 운항 일수(안)

구분	항해				정박				소계	예비	합계
	연구	교육	시험	이동	국외	국내	교육	입거수리			
운항일수	138	8	21	24	27	41	23	21	303	62	365

[표 4-51] 제2 쇄빙연구선 연간 운항 기본일정(안)

기 간	주요내용	소요일수	비 고
01.01 ~ 01.21	· 교육 – 선상 교육프로그램 운영	21	정박(교육)
01.22 ~ 01.23	· 인천 ⇒ 부산	2	이동항해(교육)
01.24	· 부산 – 교육생 승·하선 교대	1	정박(교육)
01.25 ~ 01.28	· 부산 ⇒ 동해 ⇒ 부산	4	이동항해(교육)
01.29	· 부산 – 교육생 승·하선 교대	1	정박(교육)
01.30 ~ 01.31	· 부산 ⇒ 인천	2	이동항해(교육)
02.01 ~ 03.14	· 예비일	42	정박 또는 이동항해
03.15 ~ 04.04	· 조선소 – 상가 및 입거수리	21	정기점검(입거수리)
04.05 ~ 04.25	· 조선소 ⇒ 동해 ⇒ 인천 – 상가수리 후 시험항해 – 동해 2,000미터 이상 해역	21	정기점검(시험항해)
04.26 ~ 05.16	· 인천 – 연구장비 최종 점검 – 북극항해 준비	21	정박(모항)
05.17 ~ 05.28	· 인천 ⇒ 놈(Alaska)	12	이동항해
05.29 ~ 06.01	· 놈 – 연구원 승선	4	정박(국외)
06.02 ~ 07.06	· 놈 ⇒ 연구해역 ⇒ 무르만스크(러시아) – 북극항로 서측항해 – 환경조사 및 빙선체 성능연구 등	35	연구항해

KOPRI 극지연구소

07.07 ~ 07.11	· 무르만스크 – 연구원 승·하선 교대	4	정박(국외)
07.12 ~ 07.19	· 무르만스크 ⇒ 연구해역 ⇒ 무르만스크 – 북대서양측 북극해, 바렌츠해 등 – 환경조사 및 자원탐사	8	연구항해
07.20 ~ 07.25	· 무르만스크 – 연구원 승·하선 교대 – 연료유 보급	6	정박(국외)
07.26 ~ 08.29	· 무르만스크 ⇒ 연구해역 ⇒ 놈 – 북극항로 동측항해 – 환경조사 및 자원탐사	35	연구항해
08.30 ~ 09.02	· 놈 – 연구원 승·하선 교대	4	정박(국외)
09.03 ~ 10.02	· 놈 ⇒ 연구해역 ⇒ 더치하버 – 북태평양측 북극해역 I – 환경조사 및 자원탐사	30	연구항해
10.03 ~ 10.06	· 더치하버 – 연구원 승·하선 교대 – 연료유 보급	5	정박(국외)
10.07 ~ 11.05	· 더치하버 ⇒ 연구해역 ⇒ 놈 – 북태평양측 북극해역 II – 환경조사 및 자원탐사	30	연구항해
11.06 ~ 11.09	· 놈 – 연구원 승·하선 교대	4	정박(국외)
11.10 ~ 11.21	· 놈 ⇒ 인천	12	이동항해
11.22 ~ 12.11	· 인천 – 연구장비 및 시료 하역 – 정비 및 정리	20	정박(모항)
12.12 ~ 12.31	· 예비일	20	예비일(정박 또는 이동항해)
	소계	365	

※ 필요 시 북극점 조사 및 아라온호 운항일정과 연계하여 변경 가능

KOPRI 극지연구소

[참고] 제2 쇄빙연구선 취항 이후 아라온호의 연간 운항 기본일정(안)

[표 4-52] 제2 쇄빙연구선 취항 시 아라온호 연간 운항 일수(안)

구분	항해				정박				소계	예비	합계
	연구	교육	시험	이동	국외	국내	교육	입거 수리			
운항 일수	100	11	14	108	25	21	9	14	302	63	365

[표 4-53] 제2 쇄빙연구선 취항 시 아라온호 연간 운항 기본일정(안)

기 간	주요내용	소요일수	비 고
01.01 ~ 01.05	· 크라이스처치(뉴질랜드) – 연구원 승·하선 교대 – 운항 연료유 보급	5	정박(국외)
01.06 ~ 01.13	· 크라이스처치 ⇒ 장보고기지	8	이동항해
01.14 ~ 01.17	· 장보고기지 – 남극과학기지 보급·지원 – 연구원 승·하선 교대	4	연구(보급지원)
01.18 ~ 02.11	· 장보고기지 ⇒ 아문젠해 ⇒ 장보고기지	25	연구항해
02.12 ~ 02.13	· 장보고기지 – 연구원 승·하선 교대	2	정박(국외)
02.14 ~ 02.21	· 장보고기지 ⇒ 크라이스처치	8	이동항해
02.22 ~ 02.26	· 크라이스처치 – 연구원 및 선원 승·하선 교대 – 운항 연료유 보급	5	정박(국외)
02.27 ~ 03.13	· 크라이스처치 ⇒ 세종기지	15	이동항해
03.14 ~ 03.20	· 세종기지 – 남극과학기지 보급·지원 – 연구원 승·하선 교대	7	연구(보급지원)
03.21 ~ 04.10	· 세종기지 ⇒ 웨델해 ⇒ 세종기지	21	연구항해
04.11 ~ 04.12	· 세종기지 – 연구원 승·하선 교대	2	정박(국외)
04.13 ~ 04.16	· 세종기지 ⇒ 푼타아레나스(칠레)	4	이동항해

KOPRI 극지연구소

04.17 ~ 04.19	· 푼타아레나스 – 연구원 승·하선 교대 – 운항 연료유 보급	3	정박(국외)
04.20 ~ 05.26	· 푼타아레나스 ⇒ 인천	37	이동항해
05.27 ~ 06.02	· 인천 – 연구장비 하역 및 정비	7	정박(모항)
06.03 ~ 06.16	· 조선소 – 상가 및 입거수리	14	정기점검(입거수리)
06.17 ~ 06.30	· 조선소 ⇒ 동해 ⇒ 인천 – 상가수리 후 시험항해	14	정기점검(시험항해)
07.01 ~ 07.31	· 예비일	31	예비일(정박 또는 이동항해)
08.01 ~ 08.07	· 교육 – 선상 교육프로그램 운영	7	교육(정박)
08.08 ~ 08.09	· 인천 ⇒ 부산	2	교육(항해)
08.10	· 부산 – 교육생 승·하선 교대	1	교육(정박))
08.11 ~ 08.17	· 부산 ⇒ 동해 ⇒ 부산	7	교육(항해)
08.18	· 부산 – 교육생 승·하선 교대	1	교육(정박)
08.19 ~ 08.20	· 부산 ⇒ 인천	2	교육(항해)
08.21 ~ 09.21	· 예비일	32	예비일(정박 또는 이동항해)
09.22 ~ 10.05	· 인천 – 남극 항해 준비	14	정박(모항)
10.06 ~ 10.25	· 인천 ⇒ 크라이스처치	20	이동항해
10.26 ~ 10.29	· 크라이스처치 – 연구원 승·하선 교대 – 운항 연료유 보급	4	정박(국외)
10.30 ~ 11.06	· 크라이스처치 ⇒ 장보고기지	8	이동항해
11.07 ~ 11.13	· 장보고기지 – 남극과학기지 보급·지원 – 연구원 승·하선 교대	7	연구(보급지원)
11.14 ~ 12.04	· 장보고 ⇒ 로스해 ⇒ 장보고	21	연구항해
12.05 ~ 12.06	· 장보고기지 – 연구원 승·하선 교대	2	정박(국외)

KOPRI 극지연구소

12.07 ~ 12.21	· 장보고 ⇒ 로스해 ⇒ 장보고	15	연구항해
12.22 ~ 12.23	· 장보고기지 – 연구원 승·하선 교대	2	정박(국외)
12.24 ~ 12.31	· 장보고기지 ⇒ 크라이스처치	8	이동항해
	소계	365	

KOPRI 극지연구소

제 2 절 활용방안 Ⅰ : 북극해 환경관측 및 조사 부문 연구 수요

1. 북극해 환경변화 이해 및 활용연구

가. 연구목적

○ 북극항로 주변해역의 지속적인 해양환경 모니터링과 북극권 국가와의 국제 협력 확대를 통한 글로벌 이슈 대응 및 북극해 활용방안 제시

○ 북극정책 기본계획('13) 중 '북극항로 개척기반 마련'을 위한 북극항로 지역의 해수·해저 환경 조사, 해양환경도 작성 및 해수·해저 환경정보시스템 구축

나. 연구방법

○ 연구지역: 북동항로 주변을 포함한 확대된 전반적 북극해 지역(척치해, 보포트해, 캐나다해저분지, 동시베리아해)

KOPRI 극지연구소

<그림 4-74. K-PORT 2단계 사업('16~'20) 관측지역 예시(○ : 연도별 북극해 연구해역)>

○ 연구기간

- 총 사업(과제) 기간 : 2021년 ~ 2025년 (5년)
- 제2 쇄빙연구선 사용기간 : 연간 최소 45일(6월 ~ 10월 중, 동절기 제외)

○ 현장조사

- 북극해 환경도 종합정보 시스템 구축 및 환경변화 모니터링을 위한 해수/해저 환경자료 관측
- 기후환경변화에 따른 북극해 북극해의 급격한 환경변화로부터 야기되는 전 지구적 영향에 대한 이해와 대응전략 제시를 위한 중장기 연구 필요

○ 연구내용

- 북극 해빙 및 해양환경 변화 연구
  - 인공위성을 활용한 해빙변화 모니터링
  - 해빙 물리적 특성 수치적 정량화 및 재현
  - 해양변동성과 해빙분포의 상호 작용
  - 해수분포 및 해양순환 변동성 파악
- 해양-대기 이산화탄소 중장기 변동 및 해양산성화 이해
  - 해양-대기 이산화탄소 (CO_2) 흡수력 변동 원인 파악
  - 해양 산성화 장기관측 기반 구축
  - 해양 내부 탄소 저장능력 변화 양상 이해
  - 북극해역 해양산성화에서 해빙역할 이해
- 해빙-수층 환경 및 생태계 구조의 변동성 이해
  - 해빙-수층 환경 변화에 따른 먹이망 구조의 변동성 파악
  - 해빙-수층 생태계환경 수용력 (carrying capacity) 측정
  - 해빙-수층의 생지화학적 순환 인자의 변동성 이해
- 북극 해저지질특성 및 환경변화 이해
  - 해저지형변화 조사 및 미답해저지형 탐사
  - 빙해역 천부퇴적구조 및 지질현상 규명
  - 북극해 광역지체구조 연구
- 웹 GIS기반 북극해 환경도 가시화

- 북극해 환경도 가시화 시스템 프로토타입 운용
- 북극해 환경도 가시화 시스템 고도화
- DB 관리 기능 고도화

○ 참여 인원수

- 연간 약 100명(국내 외부연구원 및 국제협력 연구원을 포함한 인원)

다. 국제공동연구 방안

○ RUSALCA PROGRAM 국제공동연구 참여

- 미국과 러시아간 MOU 체결('13.11.05)
- 양국은 북극해 장기 연구조사 프로그램인 RUSALCA PROGRAM을 개발하여 2004년부터 현재까지 9차례 공동연구를 수행
- 우리나라는 태평양북극그룹(Pacific Arctic Group)의 차기 의장국('14.10~, 의장: 극지연 강성호)으로서 동시베리아지역의 연구를 주도함으로서 RUSALCA 연구에 참여 가능

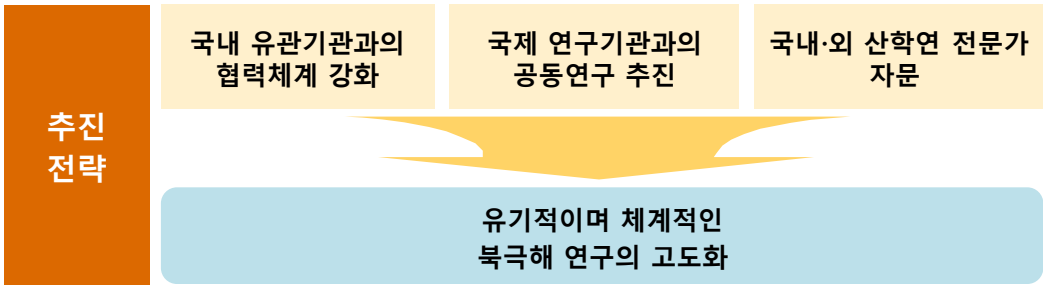
○ 6개 국가, 10개 기관과 북극해 국제공동연구를 수행 예정

KOPRI 극지연구소

[표 4-54] 국제공동연구 참여 국가

국가	기관	비고
미국	해군연구소(ONR)	LOU체결
	워싱턴대학교	
	우즈홀 해양연구소(WHOI)	
	예일대학교(YALE)	
	루지애나 주립대(LSU)	
영국	스코틀랜드 해양연구소(SAMS)	LOU체결
일본	동경해양대학(TUMSAT)	LOU체결
중국	해양대학교(OUC)	LOU체결
프랑스	파리 6대학 해양연구소	
캐나다	북극네트워크(ARCTICNET)	

라. 추진전략 및 추진체계



<그림 4-75. 연구 추진전략>

○ 연구정보 수집

- 2단계 사업기간 중 북극해 현장조사를 통하여 서북극해 및 북극항로 주변의 해수·해저 연구정보 획득 및 분석
- 1단계 및 2단계 사업기간 동안 축적된 연구정보를 통하여 구축된 환경도 및 DB를 국외 주요 극지분야 연구기관과 공동 활용(미국 ONR, 영국 SAMS, 일본 해양대학교, 중국 해양대학교 등)

○ 타 기관 협조방안

- 북극해 주변국가의 배타적 경제수역 내 현장조사를 위해 국제 공동연구 추진 및 국제협력을 위해 외교부의 “영내 해양과학조사 승인”에 대한 적극적 협조 필요

○ 전문가 확보(활용)

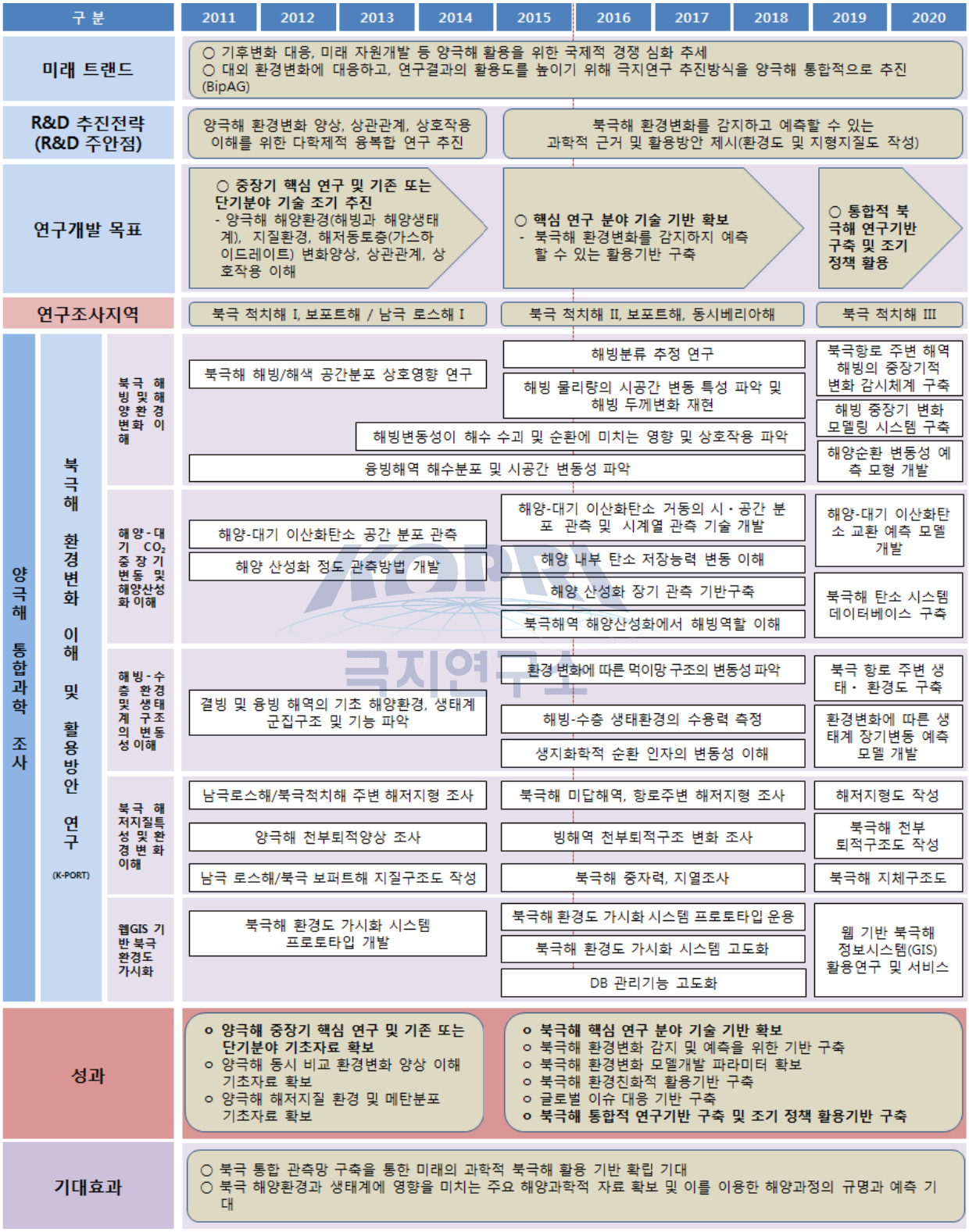
- 해빙관련 국내외 전문가(미국 ONR, 한국해양대학교, 영국 SAMS), 북극해 해양물리 연구자(일본 해양대학교, 중국 해양대학교), 극지 해양생태 연구자(부산대학교, 미국 알라스카대학교)과 북극정책전문가 등 다양한 전문가를 활용

○ 연구개발 방법론(접근론)

- 북극항로 주변 해역 환경변화 모니터링을 통한 장기관측 시스템 구축
- 북극해 해양환경도 작성 및 활용
- 북극해 관련 정책분석을 통한 중장기 활용방안 수립
- 북극해 환경도 종합정보 시스템 구축 및 대국민을 상대로 한 정보제공 시스템 운영

○ 추진체계

<그림 4-76. K-PORT 2단계 사업 추진체계>



<그림 4-77. K-PORT 2단계 사업 총괄 로드맵>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 활용방안

- 한반도 중심의 동아시아 기상 및 기후변화 예측모델 설정을 위한 기초자료로 활용
  - 북극해의 급속한 환경변화가 동아시아 기후변화에 미치는 영향을 이해하기 위한 현장관측 연구 자료로 활용
  - 장기적인 환경변화 모니터링 및 현장 관측정보를 기반으로 미래 환경변화 예측 정확도를 개선하는데 활용
- 북극항로 개척에 대비한 기초 연구 자료로 활용
  - 북극항로 주변 해역의 해양학적 측량자료(수심, 수온, 해류 등)를 제공하여 정밀한 해도 시스템 구축에 활용
  - 북극해 결빙해역에서의 해양 관측 데이터를 제공하여 선박의 안전 운항과 선박사고 시 수색/구조 작업을 원활하게 하기 위한 예보 기초자료로 활용
- 북극해 해양자원 이용시점에 대비한 선행 연구 자료로 활용
  - 북극해 자원 개발을 위한 사전 북극해 해저면의 지질학적 정보 및 해양환경 정보 제공
  - 북극 환경 및 생태계 변화에 따른 북극해 해양자원 변동성을 추정하기 위한 과학적 기초자료 제공
- 북극권 국가와의 국제협력 확대를 위한 경쟁력 있는 국가 과학기술 외교에 활용
  - 국가연구역량 강화에 필요한 다학제적 국내·외 연구네트워크 형성
  - 경쟁력 있는 북극해 연구 추진으로 해외협력연구 활성화

○ 기대효과

- 경제·산업적 측면
  - 글로벌 이슈(환경, 자원, 북극항로) 문제에 적극적으로 대응할 수 있는 경쟁력 있는 국가연구 프로그램으로 활용
  - 민간분야에서 직접적인 투자가 어려운 북극항로 개척 및 지속가능한

KOPRI 극지연구소

자원개발의 주도적인 수행을 위한 독자적 연구자료 확보

- 북극해에서의 과학적 연구투자 확대를 통한 산업화(신산업/신시장 비지니스 모델 개발) 및 일자리 창출에 기여
- 북극해의 지속 가능한 수산자원 활용을 위한 기본 자료로 활용

- 기술적 측면
  - 다학제적 환북극해 통합연구를 통해 세계 수준의 북극해 통합관측망 구축에 기여
  - 장기적인 환경변화 모니터링 및 현장 관측자료 제공을 통한 미래 환경변화 예측 정확도 향상
- 정책적 측면
  - 북극해의 과학·경제적 활용(기후변화 대응, 에너지·자원 개발, 북극항로 개척 등)을 위한 국가 정책 수립에 기여
  - 다학제적 국내·외 연구네트워크 형성을 통한 국가 연구역량 강화
  - 선진국 수준의 북극해 연구와 국제협력을 통한 국가 해양경제영토 확대에 기여

KOPRI 극지연구소

바. 특이사항

○ 요구되는 쇄빙연구선 능력
- 3m 두께의 평탄빙을 시속 3노트로 쇄빙 가능
- 승선인원 최소 120명 이상 (연구원 90명 이상)

2. 북극해 온난화 원인 및 추세, 생태환경영향 연구

가. 연구목적

○ 북극해 온난화와 해빙감소의 원인과 추세를 다음과 같은 물리해양학적 분석을 통하여 연구
- 북극해 Basin 중·저층해수 유입
- 인접 대륙기원 융빙수 표층 유입
- 북극해 Basin 저층수괴 Mass와 Heat 변화

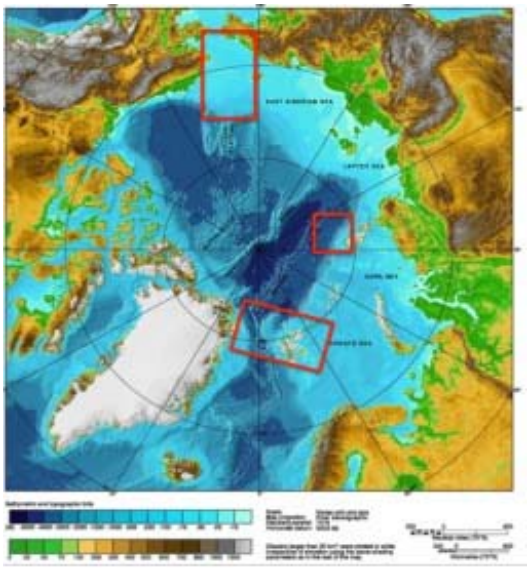
○ 북극해 온난화가 북극 해양생태계 주요 종의 분포, 생리 등에 미치는 영향 규명(수산자원생태학적 주요 종 포함)

○ 북극해 탄소순환 Flux 추정을 통하여, 북극해가 북반구 온실기체 감소에 기여하는 정도를 평가

KOPRI 극지연구소

나. 연구방법

○ 연구지역
- 동시베리아해 일부를 포함한 알래스카쪽 북극해 Basin 입구
- 카라해쪽 북극해, 바렌츠해쪽(그린랜드쪽) 북극해 Basin 입구



<그림 4-78. 북극해 온난화 원인 및 추세, 생태환경영향 연구 관측해역 (: 연구대상해역)>

○ 연구기간 : 3년 × 4단계사업(총 12년)

○ 현장조사 : 매년 1개 해역 현장연구 30일, 왕복 transit 평균 20일

○ 연구내용

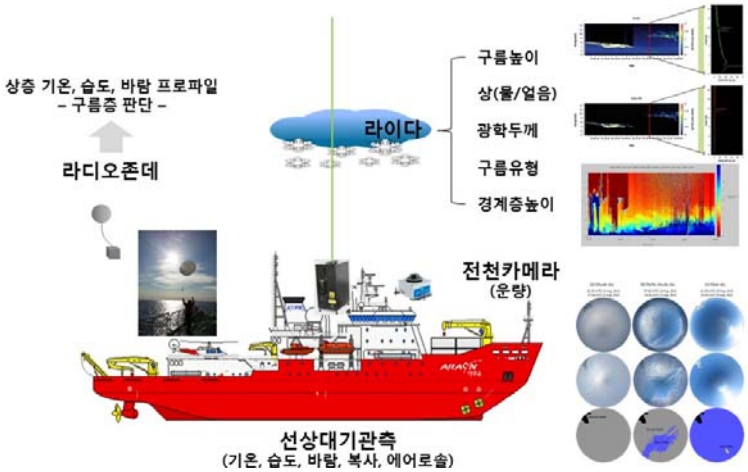
- 장기무인계류장비를 활용, 양쪽 Basin 입구에서의 해수유입과 해류순환을 파악하여 북극해(특히 중저층) Mass Transport와 Heat Balance 계산 (북극해 온난화 원인과 추세 추정)
- 현장채취 시료와- 현장배양 자료, 장기계류 Sonar 음향측정 등을 이용한 생태계 주요 종, 치어류 등 수산자원의 분포, 생리, 활성 등 측정과 변화양상 모니터링(온난화의 생태계 영향 연구)
- 퇴적물 포집기, pCO2, DIC, 일차생산 측정으로 북극해 탄소 (온실기체) 제거량 측정(북극해 탄소저감 기여 연구)
- Glider와 AUV를 활용, 쇄빙불가 해빙 하부의 해류순환과 Basin 중·저층부 수괴 Mass와 Heat Capacity 변화 측정(북극해 온난화 추세 연구)
- 북극해 상층 해양구름량 변화량 측정에 근거한 구름수 농도 분포 분석과 극지구름분포 계절별 분포 특성 분석

○ 참여 인원수

- 국내·외 연구기관 및 대학의 해양물리, 대기화학, 해수분석, 부유동식물, 미생물, 퇴적지질학, 자원생태학, 음향학, 기타 해빙, 위성 등 전문인력
- 위 전문분야 연구인력과 기술지원인력 등 총 45명

○ 쇄빙연구선 사용일수 : 총 12년 x 연 50일 = 600일

○



<그림 4-79. 쇄빙연구선 기반 해상 상층대기 및 구름관측>

다. 국제공동연구 방안

○ SAON(Sustaining Arctic Observing Networks)에 기여할 수 있는 중요한 연구과제로서 ICARP(International Conference on Arctic Research Planning) Program으로 추진

라. 추진전략 및 추진체계

○ 국내외 대기기후 모델링 연구진과 협동연구를 통하여 북극권(+북반구) 기상모델을 위한 해양, 해빙자료 제공

○ 국내외 위성, 해빙 전문가 참여, 해양-해빙 Dynamics (해빙후퇴, 열교환 등) 동시 진행

○ 국내외 수산자원생태 (migration, spawning & nursing) 연구진 참여

○ 북극권 국가들과 공동관측프로그램을 결성, 해양관할구역에 따른 진입장벽 낮춤

마. 활용방안 및 기대효과

○ 북극해의 99%는 북극권 국가들의 영유권 내에 속함으로써, 북극권 진입장벽은 우리정부의 북극정책(북극항로개발, 북극권 자원개발 등) 수행에 가장 큰 걸림돌이기 때문에 북극해 공동연구수행을 통한 진입장벽 완화 기대

○ 인공위성 원격관측, 대기기상 관측 및 모델링, 국제공동 북극해 관측 네트워크를 통한 광대역 종합 북극권 관측망 구축에 기여

○ 북극해 온난화는 북반구와 한반도에 직접 영향을 주는 기후변화 요인으로써, 북극해 온난화 연구를 통한 한반도 기후변화 원인 규명

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설
- 연구선 장착 ADCP, SBP, Acoustics (EK), CTD, Box Corer, Piston Corer, 대기성분 관측장비 등 기본 해양관측장비
- 장기무인관측용 계류장비: 계류용 ADCP, CM, Micro CAT, Echo Sounder, Sea Ice Buoy 등
- Glider, AUV 등 대형 원격조정 무인관측장비

3. 북극해 융빙해역 환경변화 관측 및 예측

가. 연구목적

○ 북극해 급속 융빙 해역에서의 수리·물리적 환경변화 관측

○ 해빙-해양-대기의 3차원 예측 시스템 구축으로 북극해 장·단기적 환경 변화 예측

○ 향후 북극항로 개발을 위한 해빙 환경 관측 및 현장 조사

나. 연구방법

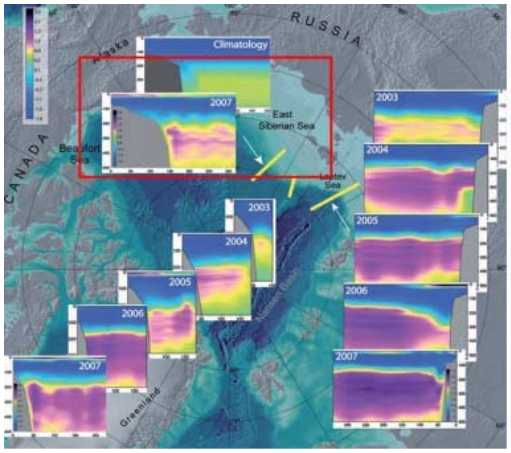
○ 연구지역 : 서북극해(척지해, 캐나다 분지해), 동시베리아해(그림 4-22)

○ 연구기간 : 연간 30일 총 2회(60일)

○ 연구내용

- 북극해 급속 융빙 해역에서의 환경 변화 파악
  - 척치해로의 태평양 기원 고온수 유입 경로 및 열량 파악
  - 해빙 감소에 따른 수리·물리적 환경 변화 파악
  - 장기 환경 변화 모니터링 시스템 구축
- 북극해 급속 융빙 해역의 미래 경향 예측
  - 해빙-해양-대기 상호작용을 고려한 3차원 예측 시스템 구축으로 북극해 환경 변화 예측
  - 북극해 환경 변화가 한반도 기후 변화에 미치는 영향 파악

KOPRI 극지연구소



<그림 4-80. 북극해에서의 연구해역 (적색선) 및 관심 해역에서의 수직적 수온 분포 (그림 출처: Polyakov et al., 2010)>

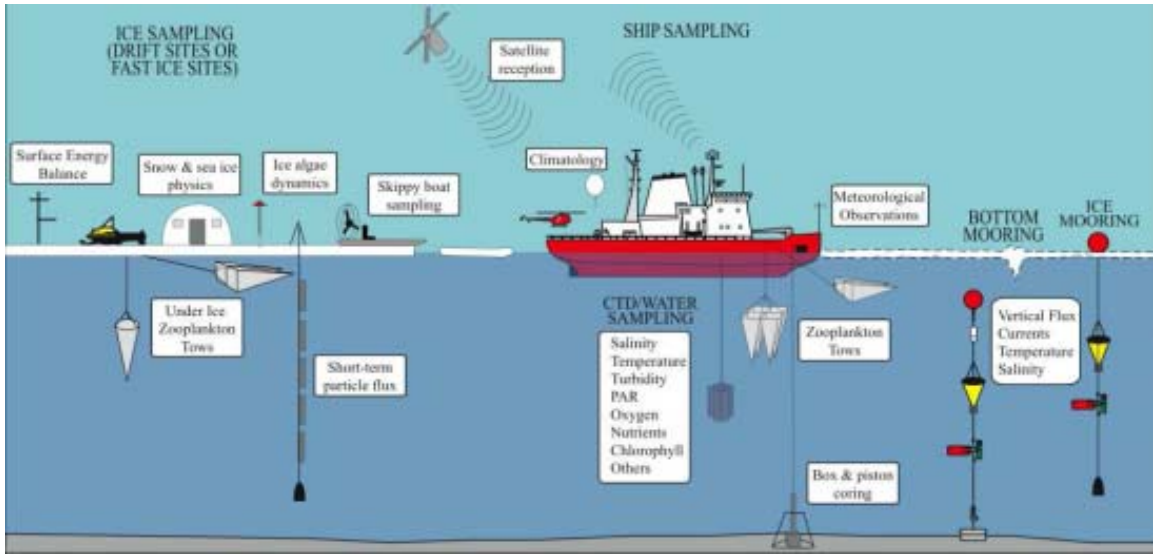
다. 국제공동연구 방안

○ 국제 프로그램인 태평양북극그룹(Pacific Arctic Grou, PAG) 주도 “Climate Line” 연구 및 북극과학위원회 MOSAIC 프로그램 등과 공동연구 프로그램 추진 및 활성화

라. 추진전략 및 추진체계

○ 제2 쇄빙연구선을 활용한 현장 종합조사

KOPRI 극지연구소



<그림 4-81. 제2 쇄빙연구선을 활용한 해양-해빙-대기 연구 모식도>

○ 사업기간 동안 일관된 관측체계의 유지

- 표준화된 방법을 이용한 연구해역에서의 시·공간적 관측

- 주요 항목의 동시 관측

○ 국내·외 연구역량 활용
- 국내 대학, 출연 연구기관 전문 인력의 활용 및 참여 적극 유도
- 해외 극지 전문 기관과의 인력교류 및 공동연구를 위한 합동승선 추진

마. 활용방안 및 기대효과

○ 제2 쇄빙연구선을 활용한 주요 극지해양환경 변수의 연속관측 기술 개발

○ 북극환경 변화의 장기적 추세 파악 및 북극해 해양-해빙-대기 3차원 예측 시스템 개발

○ 북극관련 국제기구 및 프로그램 적극 참여로 국제협력 강화 및 국가위상 제고

○ 북극권 국가들과 공동 극지해역 조사 및 연구를 통한 북극해 기후변화 예측기술 개발기반 마련

○ 북극해 해빙환경의 변동성 예측을 활용한 최적의 북극항로 개척과 북극해 자원 탐사 등의 경제적 이익 도모

KOPRI 극지연구소

바. 특이사항

○ 요구되는 쇄빙능력 : 2 m 두께의 평탄빙

○ 요구되는 연구장비 및 시설 : CTD/LADCP, 유속계 계류(mooring), AUV/Sea Glider and Auto Launcher System, XCTD and Auto Launcher 등

4. 북극해 기후변화에 따른 미량금속 플럭스 변화가 생지화학적 순환에 미치는 영향

가. 연구목적

○ 연구배경

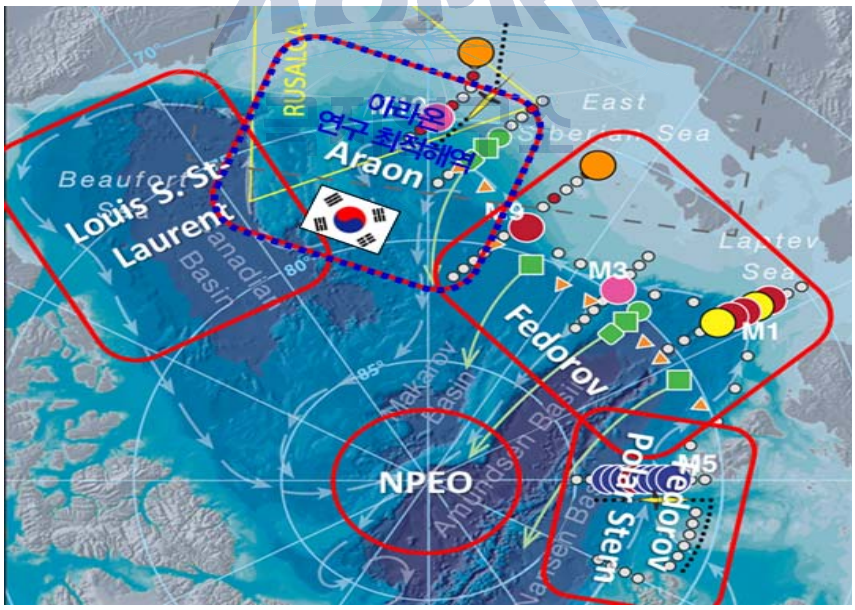
- 철(iron) 성분을 비롯한 미량금속(trace metal)성분들의 생물학적 이용가능성은 High-nitrate Low-chlorophyll(HNLC) 해역(태평양 적도해역, 북태평양 아한대 해역, 남대양)에서의 해양생물생산을 제한하는 주요 원인으로 여겨져 왔으며 지구기후변화와 해양에서의 생물학적 생산성을 연결하는데 있어서 중요한 역할을 한다고 알려져 있음
- 해양생물생산력은 대기 중 이산화탄소의 해양으로의 흡수 등과 같이 해양탄소순환 및 지구기후변화와 밀접한 관련이 있기 때문에 미량금속 성분들에 의한 해양생물생산력의 제한에 대한 연구는 지구기후변화에 민감하게 반응하는 극지해역에서의 해양환경변화를 이해하기 위해 필수적임
- 북극해는 태평양 기원의 해수와 대서양 기원의 해수가 동시에 유입되며, 하천 및 해빙에 의한 영향을 받는 해역임. 비록 북극해는 전세계 해양의 3%의 면적을 차지하며 단 1% 미만의 부피를 차지하는 해역이지만, 전지구적 규모 약 10%의 하천이 북극해로 유입되고 있음
- 뿐만 아니라 지구온난화에 따라 해빙 및 동토층이 녹으면서 하천수의 유입량이 점차 증가하고 있으며 이에 따라 탄소, 영양염, 미량금속의 유입량의 변화가 나타나고 있음
- 북극해역에서의 미량금속을 비롯한 탄소, 질소 등 화학성분들의 유입량 변화는 북극해 생태계 변화를 야기할 것으로 사료되며 북극해 해역에서의 화학성분들의 분포는 근본적인 프로세스를 이해할 수 있는 중요 인자 중 하나일 뿐만 아니라, 모델 개발 및 검증에 필요한 데이터를 제공함
- 또한 북극해에서의 미량금속, 탄소 및 질소성분의 다양한 기원(예: 육상, 태평양 및 대서양)과 해빙형성 및 융빙에 따른 생지화학적 순환의 계절적 변화는 현재까지 어떤 해역에서도 발견되지 않은 독특한 생지화학적 순환을 연구할 수 있는 기회를 제공함. 하지만 북극해에서의 미량금속의 해양 생지화학적 순환에 대한 연구는 극히 적은 실정임

○ 연구목적

- 북극해 해역에서의 해수 중 미량금속 및 탄소, 질소성분들의 플럭스 산정 및 해양환경 변화에 따른 이들 화학성분들의 분포변화 원인 규명
  - 베링해협으로부터 북극해로 유입되는 미량금속 및 탄소, 질소 성분들의 플럭스 산정
  - 북극해역에서의 미량금속 및 탄소, 질소 성분들의 기원(예: 해빙, 하천, 퇴적물 등) 및 수송기작 규명
  - 미래 환경변화에 대한 기준으로 미량금속 및 탄소, 질소 성분들의 현재 농도수준 파악

나. 연구방법

○ 연구지역: 북동항로 주변을 포함한 확대된 전반적 북극해 지역(척치해, 보포트해, 캐나다해저분지, 동시베리아해)



<그림 4-82. K-Port 2단계 사업('16~'20) 관측지역 예시(: 연도별 북극해 연구해역)>

○ 연구기간

- 총 사업(과제) 기간 : 2021년 ~ 2025년(5년)
- 제2 쇄빙연구선 사용기간 : 연간 최소 30일(7월 ~ 9월 중, 동절기 제외)

다. 국제공동연구 방안

○ 전지구규모적 미량금속 측정을 위한 국제공동 프로젝트인 GEOTRACES팀과 공동연구 및 기술력 습득 가능

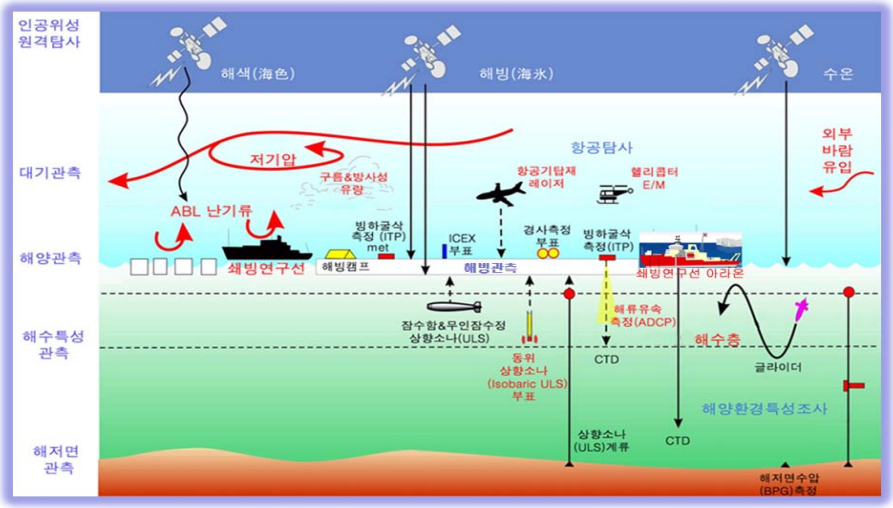
- 미국, 일본을 비롯한 선진국들은 GEOTRACES의 방법을 자국의 연구선에 도입하여 미량금속의 해양 생지화학적 순환 연구를 선도하고 있음
- 현재 미국은 U.S.GEOTRACES 프로그램을 통해 북극해에서의 미량금속 연구에 더욱 박차를 가하고 있음

KOPRI 극지연구소

<그림 4-83. 일본 연구선 신세마루에 탑재된 해수 중 미량금속 시료채취장비 및 클린랩 설비

라. 추진전략 및 추진체계

○ 제2 쇄빙연구선을 활용한 현장 종합조사



<그림 4-84. 제2 쇄빙연구선을 활용한 생지화학적 순환 종합 연구 모식도>

○ 사업내용
- 북극해 생지화학적 물질순환 특성 변화 연구
- 북극해 생지화학적 변동연구

○ 추진체계
- 쇄빙연구선 아라온를 활용한 국내·외 협동연구(국내: 부산대 등 5개 기관, 국외: 동경해양대 등 2개 기관) 추진

마. 활용방안 및 기대효과

○ 북극해역에서의 미량금속 연구를 주도 및 선도 가능

○ 북극해역 미량금속 데이터 축적 및 장기적 변화 추세 파악 가능

○ 지구온난화에 따른 북극해빙 및 동토층 감소에 따른 미량금속 농도 변화 및 플럭스 산정 가능

○ 미량금속의 플럭스 변화가 탄소 및 질소의 생지화학적 순환에 미치는 영향 규명 가능

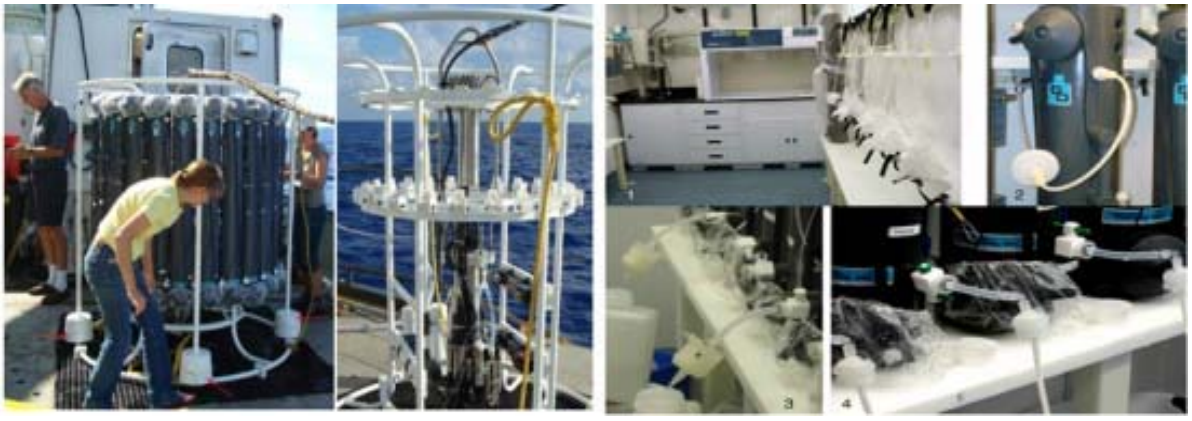
○ 미량금속 주입 및 배양실험을 통한 북극해역에서의 해양 생물학적 생산력 제한인자 규명가능

바. 특이사항

○ 신뢰성 있는 해수 중 미량금속의 데이터를 생산하기 위해 미량금속 시료의 오염을 배제시킬 수 있는 특수한 해수채취 시스템 구축
- 해수 중의 미량금속을 분석하기 위해 주변 환경으로부터의 시료오염 가능성 최소화가 요구됨
- 해수 중의 미량금속의 농도는 상당히 낮고(나노몰 이하), 해수시료채취기(예: CTD rosette system, GO-FLO bottle)나 해수시료채취기를 해수면 아래로 내리기 위한 윈치시스템의 케이블로부터 시료가 오염되기 쉬움

○ 해수 미량금속 시료를 위한 해수채취 시스템 요구사항

KOPRI 극지연구소



<그림 4-85. 해수 중 미량금속 시료채취를 위한 프레임, GO-FLO bottle 및 시료분취를 위한 클린랩(사진출처: Cutter and Bruland, 2012)>

- 폴리우레탄으로 정전코팅(electrostatic coating)이 된 알루미늄으로 구성된 GO-FLO Bottle 거치 프레임
- 티타늄으로 구성된 GO-FLO Bottle 거치용 핀
- 벡트란(vectran)으로 구성된 윈치 케이블
- 내부가 테플론으로 코팅되어 있는 GO-FLO Bottle
- GO-FLO Bottle 내부 바이톤(viton; 불소고무)으로 구성된 O-ring
- 나이론으로 구성된 공기밸브
- 테프론 시료채취밸브
- 클린랩(clean lab)

KOPRI 극지연구소

5. 고위도 북극권 저층대기 연구

가. 연구목적

○ 기상관측자료가 매우 희소한 고위도 극지해역에서 기상관측자료 획득을 통한 극지 기후변화 연구 활성화

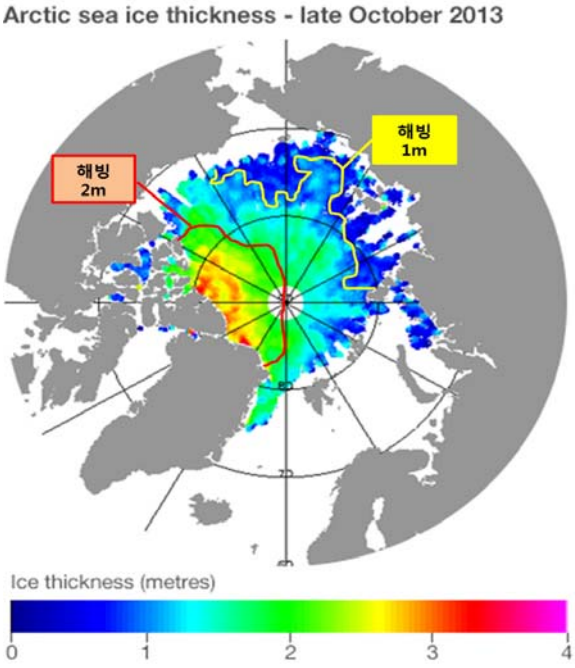
○ 북극권 기후 및 해빙 변화 이해를 위해 대기-해양(해빙)간 운동량, 열, 수증기 플럭스 관측

나. 연구방법

○ 연구지역

- 신규 쇄빙연구선의 쇄빙능이 2m 라고 가정할 경우, 10월에도 북위 80도 이북 해역까지 연구활동 가능(아래 그림의 붉은선 참조)
- 이는 1m 해빙 쇄빙능을 보유한 기존 아라온호(아래 그림 노란선 참조)가 활동하기 어려웠던 고위도 해역 활동영역을 크게 늘릴 수 있다는 의미가 있음

KOPRI 극지연구소



<그림 4-86. Arctic Sea Ice Thickness in 2013 October(from ESA)>

○ 연구시기
- 약 6-10월에 북극해에서 연구활동 가능할 것으로 예상
- 이는 기존 아라온호 연구항해 시기인 8-9월에 비해 2-3개월 늘어나 해빙이 생성되기 시작하는 가을철에 북극해 기상관측을 수행할 수 있다는 의미가 있음

○ 현장조사방법 및 내용
- 북극권 해역 이동항해 및 연구항해 중 기상변수 연속 관측(기압, 기온, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 일사량, 적외선복사량, 자외선량 등)
- 바람, 기온, 습도 등 일부 변수는 선박 상층부와 저층부 2개 고도에서 측정
- 획득된 기상관측자료는 세계기상기구 통신망을 통해 실시간 전송하여 북극권 기상분석에 실시간 활용
- 북극권 해역에서 에디공분산장비를 이용한 플럭스 관측

다. 국제공동연구 방안

○ WMO(World Meteorological Organization, 세계기상기구)의 PPP(Polar Prediction Program, 극지예측프로그램) 참여
- 북극권 해역에서의 희소성 높은 고품질 기상자료 제공을 통해 세계기상기구의 극지예측프로그램에 참여하여 북극권 기상예보 및 기후자료 정확도 향상

○ 해외 극지전문기관과 인력교류 및 극지관측기술 개발
- 극지해역에서 현장관측기술개발을 위하여 CRREL(Cold Regions Research and Engineering Laboratory, US), UPMC(Sorbonne University, France) 등 기관과 공동으로 기술개발 추진

○ 대서양권 및 태평양권 북극해의 동시 연구 추진
- 노르웨이 극지연구소(NPI, Norwegian Polar Research Institute)와 상호 연구인프라를 공동활용하여 대서양권 및 태평양권 북극해 동시 연구 추진

라. 추진전략 및 추진체계

○ 기상청과의 협조체계를 구축하여 쇄빙연구선 기상관측센서의 정기 검·보정

을 수행하여 관측자료 신뢰성 확보

○ 극지현장관측기술 개발을 위해 미국, 프랑스, 노르웨이 등의 연구기관과 인력 및 기술교류

○ 극지해역에서 획득되는 기상관측자료를 세계기상기구로 실시간 전송하여 기상/기후 연구에 기여

○ 북극 현지관측 및 자료분석에 국내 관련 학계의 참여를 추진

마. 활용방안 및 기대효과

○ 북극권 기상예보 정확도 향상

- 북극 지역에서 고품질 기상자료를 획득하여 세계기상기구에 전송함으로서 북극권 실시간 기상분석 및 예보 정확도 향상에 기여
- 북극권 기상예보 정확도 향상은 하계기간 북극항로를 이용하는 선박의 안전성 확보에 기여할 것임
- 획득된 기상관측자료를 국내 학계에 공유하여 극지역 대기/기후 연구의 전변 확대에 기여

○ 북극권 기후변화 이해

- 북극권 해빙상에서 대기-해빙-해양간 에너지/수분/온실기체 교환량 관측연구를 통해 해빙의 결빙과 소멸 메커니즘을 규명하고 북극권 해빙 변화와 기후변화의 상호작용 이해에 기여

KOPRI 극지연구소

바. 특이사항

○ 선박에 의한 기류변화 영향이 최소인 위치에 기상관측센서(기압, 바람, 기온, 습도, 강수량 센서) 설치 필요

○ 그림자 영향이 최소인 지점에 복사 센서 설치 필요

○ 기상자료의 실시간 전송을 위해 쇄빙연구선에서 극지연구소로의 위성통신 및 연구소에서 기상청으로의 전송체계 사전 구축 필요

○ 아라온호 활용 불가사유 : 아라온호의 쇄빙능력(1m)과 현재 남북극 해역 연구항차 운용을 감안하면 활동가능한 시기와 영역이 매우 제한적임

6. 고위도 극지해역 상층대기 연구

가. 연구목적

○ 북극해역 대류권 및 성층권 연직구조 현장관측을 통한 북극권 대기 특성 및 대류권-성층권 상호작용 규명

○ 북극해역 상공의 대기경계층 및 구름 특성 이해를 통해 북극권 기후 및 해빙 변화 메커니즘 규명

나. 연구방법

○ 연구지역 : 상기 '5. 고위도 북극권 저층대기 연구'와 동일함

○ 연구시기 : 상기 '5. 고위도 북극권 저층대기 연구'와 동일함

○ 현장조사방법 및 내용

- 북극권 해역에서 라디오존데 및 오존존데 관측을 수행하여 상층대기에서의 기온, 습도, 바람, 오존농도의 연직분포 데이터를 획득함.
- 마이크로파 라디오미터를 설치하여 대류권(해상 10km 이내) 범위 내 기온, 습도, 바람 연직분포를 정기적으로 자동관측 가능함
- 북극권 해역에서 전천카메라, 운고계, 도플러 라이다 등을 운용하여 운량, 운고, 광학특성을 실시간 관측함.

다. 국제공동연구 방안

○ WMO(World Meteorological Organization, 세계기상기구)의 PPP(Polar Prediction Program, 극지예측프로그램) 참여

- 북극권 해역에서의 희소성 높은 상층대기관측자료 제공을 통해 세계기상기구의 극지예측프로그램에 참여하여 북극권 기상예보 및 기후자료 정확도 향상

○ 대서양권 및 태평양권 북극해의 동시 연구 추진

- 노르웨이 극지연구소(NPI, Norwegian Polar Research Institute)와 상호 연구인프라를 공동활용하여 대서양권 및 태평양권 북극해의 동시 연구

추진

라. 추진전략 및 추진체계

○ 상층관측 전문 운영원 및 기술지원팀 운영

○ 극지해역 상층관측자료를 세계기상기구로 실시간 전송하여 기상/기후 연구에 기여

마. 활용방안 및 기대효과

○ 북극권 기상예보 정확도 향상
- 북극 지역에서 상층대기관측자료를 획득하여 세계기상기구에 전송함으로서 북극권 실시간 기상분석 및 예보 정확도 향상에 기여
- 북극권 기상예보 정확도 향상은 하계기간 북극항로를 이용하는 선박의 안전성 확보에 기여
- 획득된 기상관측자료를 국내 학계에 공유하여 극지역 대기/기후 연구의 확대에 기여

○ 북극권 기후변화 이해
- 북극권 상층대기관측자료 확보를 통해 대기재분석자료의 품질개선에 기여함으로서 북극권 기후변화 연구에 기여

KOPRI 극지연구소

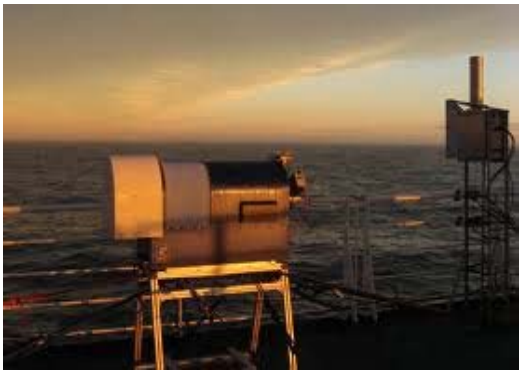
바. 특이사항

○ 헬륨가스, 존데용 벌룬, 센서 보관실이 필요

○ 선박안테나 등 장애물이 적은 위치의 데크공간 필요

○ 획득자료의 실시간 전송을 위해 쇄빙연구선에서 극지연구소로의 위성통신 및 연구소에서 기상청으로의 전송체계 사전 구축 필요

[표 4-55] 위성통신 및 전송체계

Microwave Radiometer for Temperature and Humidity Profile(10 km)	Doppler LIDAR for Wind Profile(10 km)
	

○ 전천카메라는 상부가 탁트인 위치에 설치 필요

○ 운고계 및 라이다는 연직 상부가 트인 공간에 설치 필요하며 라이다는 냉방이 가능한 별도공간 필요

○ 아라온호 활용 불가사유
- 관측장비 미설치
- 현재 남북극 해역 연구항차 운용을 감안하면 북극해 연구항차 기간 및 해역이 극히 제한적임

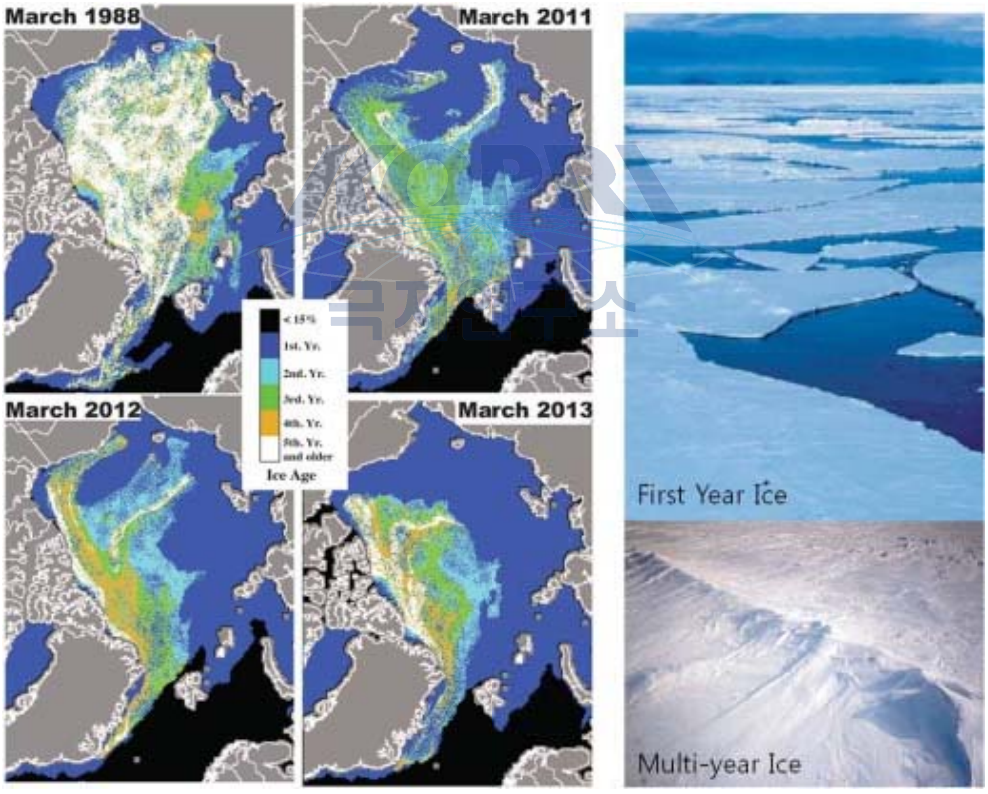
KOPRI 극지연구소

7. 북극해 중앙 다년빙 해역 탐사 및 심부시추/북동·북서항로 활용 연구

가. 연구목적

○ 다년빙으로 덮인 북극점 주변 중앙해역 탐사 및 심부시추/북동·북서항로 활용방안 구축

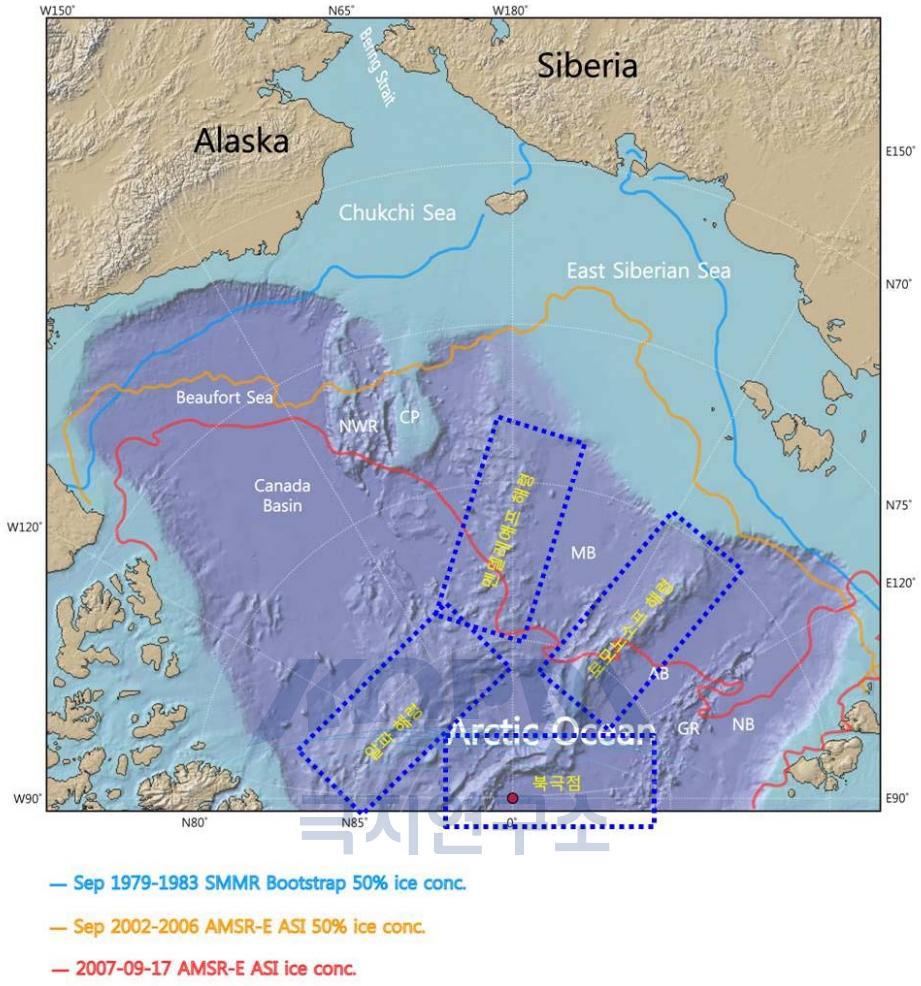
- 북극해 심부 시추탐사 원천기술확보
- 심부시추를 통한 북극해 진화역사 규명 등 지구과학분야의 대형 연구 이슈 해결
- 미래 에너지·광물자원 탐사개발



<그림 4-87. 1988, 2011, 2012, 2013년도 북극해 다년빙 분포 변화, 출처; J. Maslamk etal. 2013>

나. 연구방법

○ 연구지역 : 북위 80도 이상의 다년빙으로 덮인 주요 해역 탐사(알파-멘델레프-로모노소프 해령 및 북극점 해역 등)



극지연구소

<그림 4-88. 북극해 중앙 해역 (: 연구대상해역)>

- 러시아 핵추진 쇄빙선을 제외한 현재 전 세계의 쇄빙선은 주로 해빙이 감소하기 시작하는 여름(7-9월)에 탐사가 가능한 실정
- 급격한 북극 해빙감소 현상과 함께, 2020년 이후에는 전 세계국가의 북극해 진출이 더 치열하게 전개될 것으로 예상됨. 따라서 향후, 해빙이 서서히 녹기 시작하는 5월부터 최소한 6개월 이상의 기간 동안 북극해 탐사활동 및 항로이용을 위한 지원 활동이 요구됨
- 특히 북극점을 중심으로 뻗어있는 알파해령, 로모노소프 해령 및 멘델레프 해령을 포함한 북극 중앙 해역(북위 80도 이북)은 중생대 이후 북극해의 진화역사와 기후변화 비밀의 열쇠를 풀 수 있는 유일한 해역으로, 전

세계의 관심이 집중된 연구지역임. 따라서 국제공동 해저시추프로그램(IODP)에서 해당 해역의 시추탐사를 계획·추진하고 있으나, 다년빙으로 덮인 결빙해역 극한환경으로 인해 탐사의 어려움이 있음

- 알파해령과 같이 다년빙으로 덮인 해역은 현재까지 쇄빙선조차 탐사하지 못한 전인미답지역으로 남아있음(예: 2014년 여름 독일 AWI 쇄빙선 '폴라스턴'의 주요 탐사해역이었으나, 두껍게 형성된 다년빙으로 인해 접근이 불가능)

○ 연구기간

- 2021년부터 격년제로 약 3개월(2개월 탐사, 1개월 현장 이동)
- 사업기간 : 10년(2021~2030년) 이상 추진

○ 현장 조사방법과 내용

- 천부/심부탄성파탐사 및 해저지형도 정밀작성
- 천부 및 심부시추추진을 통한 북극해 진화역사, 북극해 해빙 및 대륙 빙하 생성시기 규명 등 고해상 고기후환경변화복원
- 국내 산·학·연 참여 및 국제공동탐사를 위한 컨소시엄 구성(약 100여명)

KOPRI 극지연구소

다. 국제공동연구 방안

○ 북극해 국제공동해저시추사업(IODP)에서 추진 중인 주요해역 해저지질·지구물리탐사, 한국-독일-노르웨이-스발바르군도-동부그린란드 공동탐사(2019년)

○ 북극점 해역 및 북극해 3대 해령(로모노소프, 멘델레프, 알파) 공동탐사(2021~2030)

라. 추진전략 및 추진체계

○ 제2 쇄빙연구선의 Ice Class를 향상시켜 쇄빙능력을 대폭 강화시킨다면 다년빙으로 덮인 북극점 중앙해역에 대한 단독탐사 가능

- 다년빙 결빙해역에서 향후 약 6개월(5-10월) 이상 항해할 수 있도록 Ice Class 향상 추진(한국선급 PL-20 또는 PL-30 적용)

○ 다년빙과 Pack Ice로 인해 북극해 중앙해역 단독탐사가 불가능한 경우, 타국의 쇄빙선(예; 폴라스턴 2, 설룡호)과의 공동탐사 추진

- 두 대의 쇄빙선 탐사를 수행 할 경우, 각 쇄빙선에 장착된 장비를 활용하여 탄성파탐사 자료 및 시추코어 확보 극대화 전략 추진(예; 한·중·일 컨소시엄 구성)
- 탐사자료 및 시추를 성공적으로 추진하여 탐사효과 극대화

○ 제2 쇄빙연구선에 Moon Pool을 설치하여 안정적인 작업활동 확보
- 탈부착이 가능한 시추탑(drill tower)을 Moon Pool 시스템에 설치
- 약 300m 깊이의 퇴적물 시추 기술을 활용한 고기퇴적층(중생대층 포함) 시료 확보를 통해 전 세계 북극해탐사분야 선도
- 결빙해역에서 장기간 탐사의 효율적 수행 및 양질의 시·자료 획득

○ 다른 시추장비(예; 독일 브레멘 대학이 개발한 MeBo 시추기)를 임차
- 약 100~200m 깊이의 신제3기층 퇴적층 시추를 통해 결층(Hiatus)으로 남아있는 북극해 진화역사 퍼즐 완성 추진

○ JPC 코어링 시스템를 활용한 플라이스토세 퇴적층 확보 추진
- 드릴 시추를 할 경우 상부층 회수 불가능

마. 활용방안 및 기대효과

○ 북극해 시추탐사 원천기술 확보 및 심부시추 기술 구축을 통한 지구과학분야의 대형이슈 해결

○ Moon Pool 위에 시추탑을 탈부착식으로 설치하여, 에너지·광물자원탐사개발에 활용함으로써 산업계 파급효과 극대화

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설
- 해양지질 실험실(wet lab.)
  - 40m 길이의 퇴적물 코어시료 처리 등을 위해, 현재 아라온호의 지구물리실보다 더 큰 규모의 공간 확보 필요
  - 가변식 운영이 가능한 실험실 설계
  - 크레인을 이용하여 대형 퇴적물 코어시료를 실험실 외부에서 내부로 쉽게 운반할 수 있도록 설계

KOPRI 극지연구소

- 코어시료 냉장저장고
  - 엘리베이터 시설 필요: 퇴적물 코어시료 운반 편이성
  - 냉동저장고와 냉장저장고를 분리하여 설계
- Moon Pool이 존재하는 상/하부 공간을 개폐식으로 설계
  - 컨테이너 선적 작업 용이
- 필요한 주요 연구장비 및 시설
  - Moon Pool, 탈부착 시추탑(임차)
  - Parasound
  - Air Gun
  - Kasten Lot
  - 퇴적물 시추 장비: 중력코어, 박스코어, 멀티코어, JPC 코어 시스템
  - 비파괴분석 시스템: 코어 Logging(MSCL), Avaatech XRF Core Scanner, Image Core Scanner, X-ray, CT 등

○ 요구되는 쇄빙능력
- 5월 중순 ~ 10월 중순까지 탐사 가능한 쇄빙능력 필요

○ 기타
- 후 갑판 : 향후 Trawl Net(저인망) 사용이 가능하도록 설계
- 장기 승선활동을 위한 생활공간 확보 : 전원 1인 객실 구축, 사우나, Lounge 등

○ 아라온호 사용 불가 사유
- 향후 북동·북서항로 K-루트개발을 위해서는 쇄빙능력을 향상시킨 제2 쇄빙연구선이 필요(최소한 6개월 이상 북극해 항해가 가능해야 함)
- 현재 아라온호의 가장 큰 문제점 및 위험성은 모든 작업을 후갑판에서 한다는 것에 있음
  - 우현에 충분한 작업공간을 마련하여 최소 2대의 크레인을 활용한다면, 최소 작업인원으로도 효율적이고 안전한 작업 환경 구축 가능
  - 1982년 건조한 독일쇄빙선 '폴라스턴'을 Bench Marking 할 필요
  - 새로 건조 중인 '폴라스턴2'의 경우, 우현에 길이 50m, 넓이 5m의 작업공간이 확보되어 있음

KOPRI 극지연구소

<그림 4-89. 독일 Alfred-Wegener 연구소에서 건조 중인 제2 쇄빙선(: 우현에 확보된 50m × 5m 규모의 작업 공간), 출처; AWI 2015>

- 향후 Moon Pool 시스템을 도입, 시추탑을 사용하지 않고 코어링 작업을 할 경우에도 우현에서 작업을 진행하는 시스템으로 설계 필요
  - 자이언트 상자형 퇴적물시추기(Kastenlot, 12m × 0.3m × 0.3m), 중력 코어 등은 거치대를 이용하여 안전하고 손쉬운 작업이 되도록 설계가 요망됨

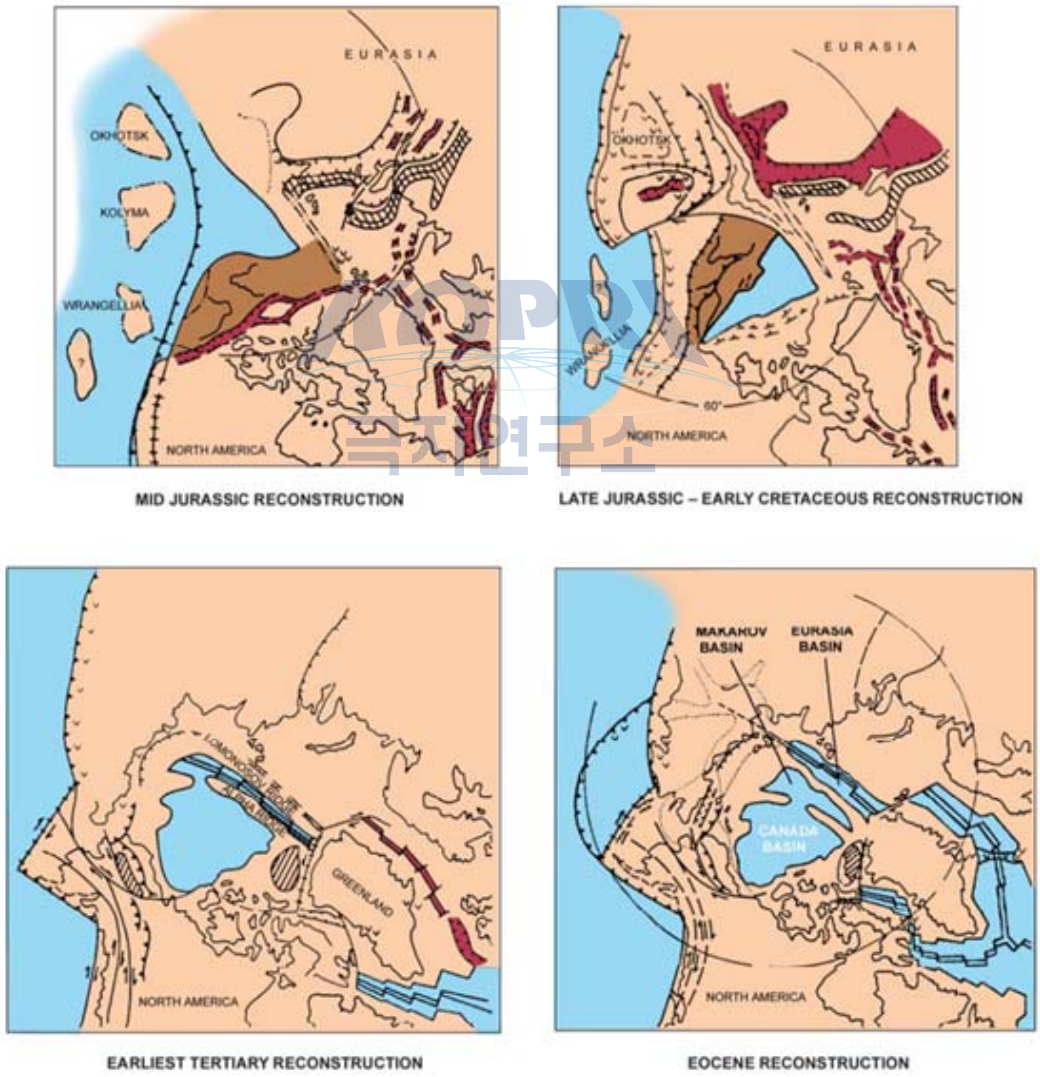
KOPRI 극지연구소

<그림 4-90. 독일 쇄빙선 폴라스턴의 자이언트 상자형 퇴적물시추기(Kastenlot)를 이용한 퇴적물 시추 작업 모습, 출처; AWI 2008>

8. 북극 해저지질·지체구조 연구

가. 연구목적

○ 북극해에 대한 해양지질·지구물리 조사를 통하여 다양한 지질현상과 지체구조의 형성과정을 규명하고 북극에서 진행되는 국제심해시추프로그램(IODP) 주도



<그림 4-91. 북극해 지체구조 진화과정(Green et al., 1986)>

나. 연구방법

○ 연구지역 : 북극해 멘델레이프, 알파, 개클해령 등 지각판의 경계부

○ 활용기간 : 격년마다 25일 활용

○ 현장조사 방법과 내용
- 지각 구조 및 해저지형 조사 : 다중채널탄성파탐사, 다중빔 측심조사, 중자력조사
- 지각의 성인 연구 : 암석시료 채취, 성분분석
- 해저정밀 조사 : ROV, 심해카메라

○ 참여 인원수 : 30인
- 해양지구물리팀, 해양지질 및 암석학 연구팀 등 총 3개팀 참여

다. 국제공동연구 방안

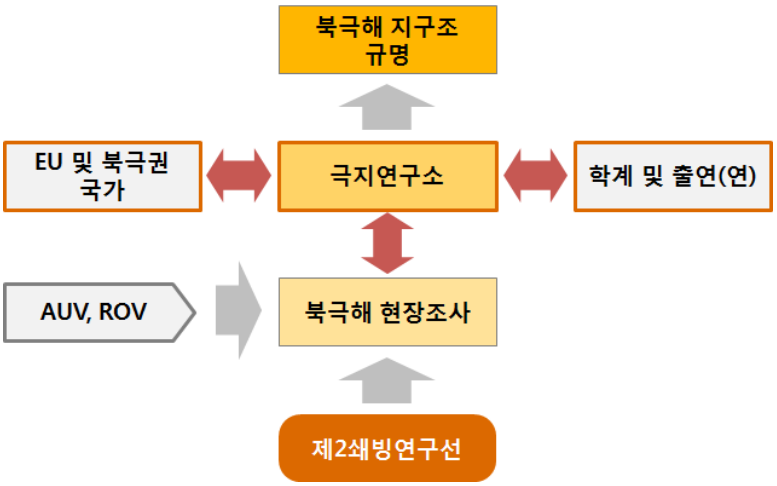
○ IODP 프로그램

KOPRI 극지연구소

라. 추진전략 및 추진체계

○ 북극해 지체구조 연구활동이 활발한 북극권 국가 및 미국, 독일등 북극연구 선발국가들과 공동으로 해양지질지구물리 탐사 및 공동연구 수행

○ 탐사자료 분석 및 해석을 통하여 지체구조의 특성 및 지질현상 원인 규명



<그림 4-92. 북극 해저지질·지체구조 연구 추진체계도>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 결빙해역에서의 지체구조 탐사기술 확보

○ 북극권 국가들과 공동연구를 통하여 북극해 지각구조를 규명함으로써, 우리나라의 북극연구 역량을 과시

○ ROV, AUV, 심해카메라 등 첨단탐사장비 활용능력 제고

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설

- 다중채널 탄성파 탐사장비, 다중빔 해저지형탐사기, 천부지층 탐사기, 암석드레지, 암석채취기, CTD, 스파커 지층탐사기, ROV, 자력계, 심해카메라
- 탄성파 현장자료처리 시스템

○ 요구되는 쇄빙능력

- 1.5미터 일년생 해빙을 3노트로 연속쇄빙 가능한 능력필요

○ 아라온호 사용 불가 사유

- 주요 연구대상이 1.5m 이상 두께의 해빙으로 덮여 있는 경우가 많아 아라온호 쇄빙능력으로는 제한됨
- 해빙에서 지구물리 탐사가 가능한 탐사장비 시스템 미확보

KOPRI 극지연구소

9. 이동해역 해양-대기 관측 사업

가. 연구목표

○ 연구배경

- 북극해 해빙의 급속한 면적 감소와 서남극 빙하 융해로 인해 양극 환경이 급속하게 변화하고 있음
- 최근 IPCC 5차 보고서(IPCC, 2013)에서 강조하고 있듯이 인간 활동으로 인한 온실기체 방출로 지구온난화가 점점 가속화 되고 있는 상황임
- 해양의 열 저장 능력(heat capacity)이 대기보다 약 1000배 높아 해양과 대기 사이의 에너지 교환으로 인한 지구 온난화 조정역할 이해가 요구됨
- 주요 온실기체인 이산화탄소는 대기로 방출된 후 약 30%가 해양으로 녹아 들어가는데, 지구 온난화로 인한 해수온도 상승이 이러한 해양의 역할에 어떤 피드백 역할을 할 것인지 이해가 요구됨
- 해양 표층 수온증가로 해양 성층화가 심화되어 깊은 바다로의 산소 공급이 감소하고 있으며, 이는 해양 생태계에 치명적인 영향을 미쳐 수산자원의 감소로 이어질 수 있음. 기후 변화로 인한 해양생태계 변화 추이에 대한 감시가 필요함
- 대기 중 이산화탄소 증가는 해수로 녹아들어가는 이산화탄소 증가를 유도하여 표층 해양의 산성화를 초래할 것이며, 산호초 군락의 백색화와 같은 표층 해양 생태계의 동시다발적인 교란을 유발할 것임. 궁극적으로는 해양 생태계 전반에 치명적인 악영향을 줄 것으로 예측되며, 따라서 해양 산성화가 어떻게 진행되고 있는 지, 그 결과 생태계에 어떠한 영향을 주는지 지속적인 관찰이 필요함
- 지구 온난화로 인한 북반구 그린란드와 남극의 거대빙하 융해, 그리고 표층 수온 상승으로 인한 대양 해수순환 변화에 대한 관찰이 필수적으로 요구됨
- 기후변화로 인해 한반도 주변해역에 발견되는 국지적 변화와 대양에서 발견되는 전 지구 변화의 비교를 위해 대양연구로 전환의 중요한 계기를 마련할 필요가 있음
- 지구온난화에 따른 해수 표층의 온도변화는 광합성률을 증가시켜 DMSP의

양을 증가시키고 이 DMSP는 일부 해양미생물(SAR11, Roseobacter 그룹)에 의해 DMS로 전환되는데 전 지구해양 단위의 기작 및 전환률에 대한 연구가 필요함

- 메타게놈 유전자에 대한 연구는 주로 적도 및 저위도, 표층생물을 대상으로 연구되어 온 반면 성층화된 중층대(mesopelagic)에 대한 연구는 미진하여 이에 대한 연구가 필수적임
- 해양생물의 다양성에 대한 연구에서 해양생물군집의 구조와 기능을 밝히는 연구로의 전환이 필요하며 이를 위해 기능유전체학 및 메타단백질체학적 접근이 필요함
- 위성을 이용한 원격탐사 기기 개발 및 보정을 관측자료의 요구. 1978년 최초로 해색 원격탐사 CZCS(Coastal Zone Color Scanner)의 등장이후 SeaWiFS(Sea viewing Wide Field-of-view Sensor), MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), MERIS(Medium-Resolution Imaging Spectrometer) 등의 해색 원격탐사 기기가 해양 생태계 변화 관찰에 매우 유용하게 이용되는데 이는 많은 실제 관측자료를 이용한 비교분석을 통하여 이루어졌음
- 보급과 특정지역 연구를 위하여 한반도에서 양극해역으로 가는 경로에서 연구를 수행함으로써 최소한의 경비로 다양한 해양 생태환경을 연구할 수 있는 기회로 이용될 수 있음

○ 국내·외 연구개발 동향 분석

- 관련 연구/기술의 국외 동향
  - 영국에서는 1995년부터 플리마우스 해양연구소(Plymouth Marine Laboratory)의 주도 아래 대서양 종단 관측(Atlantic Meridional Transect)을 실시하고 있음
  - AMT 프로그램은 영국 남극 연구소(BAS)에서 운영하는 RRS Jame Clark Ross를 이용하여 이루어지고 있음. 현재까지 2단계에 걸쳐 진행되어 왔는데 1단계에서는 1995년에서 2000년까지 대서양 식물플랑크톤의 종 다양성과 변화에 초점을 두어 진행되었으며(Robinson et al., 2006), 2008년부터 3단계로대서양 전반 생태계 변화에 초점을 맞추어 추진 중
  - 유럽은 대서양 종단 프로그램을 통하여 위도별 생체량 생산 활성과

생물질 분해 활성을 비교분석으로 해양미생물의 RCA Clade는 고위도 지방에만 존재한다는 사실을 확인되었음(Selje et al., 2004)

- 독일 Alfred-Wegener 극지해양연구소(AWI)에서도 대서양 종단 프로그램을 수행하고 있으나 AMT 프로그램처럼 큰 우산 아래서 진행되는 것이 아니라 하나의 커다란 연구 아래서 이 연구의 수행을 위해 쇄빙연구선이 필요한 연구를 수행하고 있음
- 독일 DFG(Deutch Forschungsgemeinschaft)에서 연구주제를 설정하고 이와 관련하여 연구계획서를 받아 심사함. 이들 연구 계획을 세부연구주제별, 사용하는 기기, 연구원 구성등을 토대로 Polarstern 운영위원회와 외부 운영위원회에서 결정한 후 AWI에서 검토한 후 Polarstern을 이용한 연구계획을 수립함. 일반적으로 Polarstern에서 연구활동 일년 전에 모든 참가자들이 모여 세세한 계획을 정리하고 각 Leg 마다 Chief Scientist 를 결정하게 됨. 독일의 경우 대양에서 활동하고 있는 세 척의 연구선이 있어 쇄빙연구선을 이용한 특별한 연구프로그램은 없음
- 일본과 중국에서는 쇄빙연구선을 주로 보급용으로 운행하고 있으며 쇄빙연구선을 이용한 연구 프로그램은 알려져 있지 않음
- 중국은 R/V ocean No1을 이용하여 2005년과 2006년에 태평양, 대서양, 인도양을 적도 및 저위도 해역을 중심으로 Global Ocean Sampling을 수행하여 빛감지 광생산 세균의 다양성 연구를 수행하기도 하였음(Jiao et al, 2007)
- 일본은 척치해와 베링해를 중심으로 정점연구를 다년간 실시하여 북극 해역에서 환경요소와 생체량 생산과 분해활성을 조사하였으며 이를 통하여 생물활성이 기후에 미치는 영향에 대하여 분석하고 있음
- 일본 중국과 마찬가지로 보급 경로를 이용한 특별한 연구프로그램이 수립되어 있지 않고 연구사업의 일환으로 지역과 시기를 중심으로 수행
- 해양미생물을 대상으로 하는 연구는 연구의 목적에 따라서 기존의 해양관측프로그램과 결합하거나 독립적인 소규모의 크루즈를 통하여 연구가 수행되어져 왔음
- 미국의 경우 Craig Venter 박사의 Sargasso 해역에 대한 2004년도 해양표층미생물의 메타게놈연구(Venter et al., 2004)를 필두로 하여 대서양의

Chesapeak Bay로부터 출발, 파나마 운하를 거쳐 태평양, 인도양에 이르는 Sorcerers II 크루즈를 통하여 해양 표층수에서 미생물 유전체 다양성을 분석하여 현재까지 알려지지 않은 다량의 미생물 유전자를 발굴하였음(Rusch et al., 2007; Kannan et al., 2007; Yooseph et al., 2007)

- 또한 미국의 HOT, ALOHA 등의 연구에서는 역시 주로 해양표층에서 메타게놈 및 메타트랜스크립톤 연구를 통하여 생태기능 유전자 발굴 연구를 수행하고 있음(ex, Frias-Lopez et al., 2008)

- 관련 연구/기술의 국내 동향

- 국내에서는 연구선의 보급경로를 이용한 독립적인 연구프로그램이 없고 독립된 연구프로그램 내부에서 세부 연구과제로 수행되고 있음
- 전 지구 기후 변화와 관련된 해양조사는 우리나라 주변 해역인 동해(CREAMS, EAST-1, EAST-2) 와 동지나해(심 등, 2007)에 제한적이었으나 최근 북서태평양 지역 해양-대기 이산화탄소 교환량 연구가 진행되고 있음(최 등, 2008)
- 남아메리카와 남극반도 사이에 위치한 드레이크해협을 횡단하며 2001년에서 2005년까지 해양-대기 이산화탄소 교환 연구가 진행되었음. 해양물리적 변동과 생물활동이 해수 용존 이산화탄소 분포 변화에 중요한 요인으로 추정(심 등, 2006)
- 독일 (AWI), 프랑스 (LOCEAN) 와 공동 연구로 한국해양연구원에서 드레이크 해협에 해수특성 자동관측 장비를 계류하여 해수 수송량과 해양 환경특성 변화 파악을 위한 연구가 진행 중임(Provost, 2007)

○ 연구개발 목표

- 급속한 환경변화 속의 북극해 대기 환경과 해양 환경 영향 평가
- 지구 온난화로 인한 해양 성층화가 해양 생태계에 미치는 영향 평가
- 이산화탄소 증가와 해양 산성화가 해양 생태계에 미치는 영향 평가
- 해양과 대기사이에서 일어나는 기후 변화 유도 물질 (온실기체, 에어로졸)의 교환 플럭스와 물리, 화학, 생물학적 기작 규명
- 위성을 이용한 해양 생태계와 대기성분 관측 방법 개발을 위한 자료 축적
- 대양생물의 군집구조, 기능, 활성과 온실기체 및 대기성분과의 상관관계 규명
- 태평양 표층수 생태계와 밀접한 연관이 있는 태평양 중층수 변동 추이 관찰

- 인간활동에 의한 온실 기체 증가로 대기 기온이 급속히 상승하고 있으며 이러한 경향은 점점 가속화될 것으로 많은 기후 모델을 통해 예측되고 있음. 대기의 기온 상승은 해양의 물리적, 화학적, 생물학적 시스템에 변화를 가져올 것이며 이러한 변화는 궁극적으로 해양 생태계를 변화시킴
- 대기 이산화탄소의 증가는 해수로 용해되는 이산화탄소 량을 증가시켜 해수를 점점 산성으로 변화시켜 해양의 규산염 농도를 저하시켜 생물 성장을 방해하거나 중단시켜 생태계 변화를 일으킴
- 주요 온실 기체는 해양 생물 활동과 밀접한 관계를 가지고 있음. 이산화탄소는 생물의 일차생산 물질로 이용되어 흡수되며, 메탄과 산화이질소(N2O)는 생물활동 부산물로 생성되어 대기로 방출됨. 대기 에어로졸을 생성하는 물질로 알려진 DMS의 주요 생성원이 해양 생물임. 이외에도 많은 기후관련 물질이 해양 생물 활동으로 영향을 받음.
- 따라서 기후 변화와 해양 산성화로 인한 해양 생태계 변화의 관찰은 미래 기후를 예측하는데 수행해야할 필수 항목임

(1) 최종목표

- 다양한 기후대에서 일어나는 해양 혼합층 생태계 변화 관찰
- 대기 이산화탄소 증가로 인한 해양 산성화가 해양 혼합층 생태계에 미치는 영향 평가

(2) 단계별 목표

[표 4-56] 단계별 개발목표 및 개발내용

기간	연구개발목표	연구개발내용
2021 ~ 2023	태평양 해양물리 및 생지화학 성질의 공간분포 이해	▪ 한반도와 극지 사이의 다양한 해양생태계 권역에서 수온과 염분의 해양 물리적 변화 ▪ 태평양 중층수 순환과 물질분포의 상관적 관계 ▪ 생물활동과 밀접한 온실기체 및 무기, 유기탄소 공간변동 ▪ 용존산소의 시 공간적 변동과 원인 ▪ 유기, 무기탄소, 용존 산소의 동위원소 변화 ▪ 생태계 물질순환 연구를 위한 영양염 및 미량금속 변동 ▪ 일차생산량 공간 분포 ▪ 대기와 해양간 물질 (기체, 에어로졸등) 교환 ▪ 해양경계층 광화학 반응 기작 ▪ 위성자료 비교를 통한 관측 자료의 공간적 대표성 ▪ 생지화학 모델 개발을 통한 궁극적 이해 ▪ 해양미생물의 생체량 및 분자 종다양성 파악

KOPRI 극지연구소

기간	연구개발목표	연구개발내용
2024 ~ 2026	태평양 해양생태계의 시간적 변동 이해	▪ 태평양 식물 플랑크톤과 동물플랑크톤 종 다양성 및 공간적 분포 ▪ 식물플랑크톤 및 해양미생물의 일차생산량 변동 ▪ 위성자료를 이용한 광역의 일차생산량 변동 및 관측자료 대표성 ▪ 태평양 중층수 순환의 장기 변동 ▪ 생물 기원 용존 기체의 시공간적 변동 ▪ 생태계 변동 요인 파악을 위한 무기 및 유기 탄소 물질 순환 ▪ 생태계내 물질 순환 ▪ 생태계 모델을 이용한 태평양 생태계 변동 이해 ▪ 해양미생물의 유전체, 단백질체, 트랜스크립톰 연구를 통한 생태기능 유전자 기능 파악
2027 ~ 2029	기후변화 와 이산화탄소 증가가 태평양 해양생태계에 미치는 영향 평가	▪ 표층수 성층화로 인한 생태계 변화 ▪ 대기 이산화탄소 증가로 인한 해양산성화가 생태계에 미치는 영향 ▪ 산성화가 생태계 물질순환에 미치는 영향 ▪ 해양 순환 모델을 이용한 태평양 중층수 순환 장기변동과 해양산성화 관계 이해 ▪ 해양미생물이 해양경계면 기체, 온실가스에 미치는 영향규명

KOPRI 극지연구소

나. 연구방법

[표 4-57] 기간별 연구내용

기간	연구내용
2021 ~ 2023	태평양 해양물리 및 생지화학 성질, 해양 생물의 공간분포 이해
2024 ~ 2026	태평양 해양생태계의 시간적 변동 이해
2027 ~ 2029	기후변화와 이산화탄소 증가가 태평양 해양생태계에 미치는 영향 평가

○ 해양 물리적 변화 관찰

- 해수 수온 염분 변화와 해수 성층화(stratification) 관측
- 관측 공간의 확장을 위한 위성 및 아르고(ARGO) 자료 이용 및 자료 보정
- 태평양 표층수 생태계와 밀접한 연관이 있는 태평양 중층수 변동 추이 관찰

○ 해양 화학적 변화 관찰

- 대기 이산화탄소 흡입 증가로 인한 해양 혼합층의 수소이온 농도와 이산화탄소 시스템 구성성분, 탄소 동위원소 변화 관측
- 해수 성층화 영향으로 인한 용존산소량 변화 관찰
- 해양 생물 활동과 밀접한 기후 관련 물질(메탄, 산화이질소, 메탄할라이드, DMS 등)의 생성 기작 및 공간적 분포 변화 관찰
- 해양 유기물질(용존 및 입자 유기물질) 분포 변화

○ 해양 생태계 변화 관찰
- 1차 생산량 변화 및 식물 플랑크톤 종 다양성 변화 관찰
- 대양생물의 군집구조, 기능, 활성과 온실기체 및 대기성분과의 상관관계 규명
- 대기로부터 물질 공급(예컨대, 고비사막에서 공급되는 황사가 북태평양으로 공급)이 지역 생태계 변화에 미치는 영향
- ENSO(El Nino and Southern Oscillation)가 태평양 생태계에 미치는 영향
- 표층에서 DMSP 이용과 DMS 기체 생성에 관여하는 미생물의 메타군집구조 및 기능 연구(SAR11, Roseobacter, SAR116 기능연구)
- 비엽록소 광이용 미생물의 전 지구적 분포 및 광이용 효율에 대한 연구
- 태평양 종단면을 따라 위도 및 수심별(mesopelagic zone 중심)로 미생물 메타게놈을 이용한 분자 다양성 확보와 지구환경 우점 빈영양 미생물 배양 및 자원 확보
- 메타게놈, 메타트랜스크립톰, 메타단백질체 분석을 통하여 기체교환 등 해양생태기능 유전자 다양성, 유전자 발현, 단백질 생산 양상 분석
- 물리화학적인 환경요소, 미생물 다양성, 유전자 발현간의 상관관계 분석을 통하여 해양환경과 생물군집구조-기능 간의 상호작용 규명

○ 해양/대기 경계층 역학
- 해양과 대기사이에서 일어나는 기후 변화 유도 물질(온실기체, 에어로졸)의 교환량과 물리적 기작 규명
- 해양 경계면에서 일어나는 광화학 작용이 에어로졸을 포함한 기후변화 물질에 미치는 영향

○ 위성 자료 이용
- 위성을 이용한 일차생산과 태평양 생태계 변화 관계 예측
- 실측 자료와 비교 분석을 통한 유기물질 분포 자료 획득

- 위성을 이용한 대기 온실기체 및 에어로졸 분포 자료 보정

다. 국제공동연구 방안

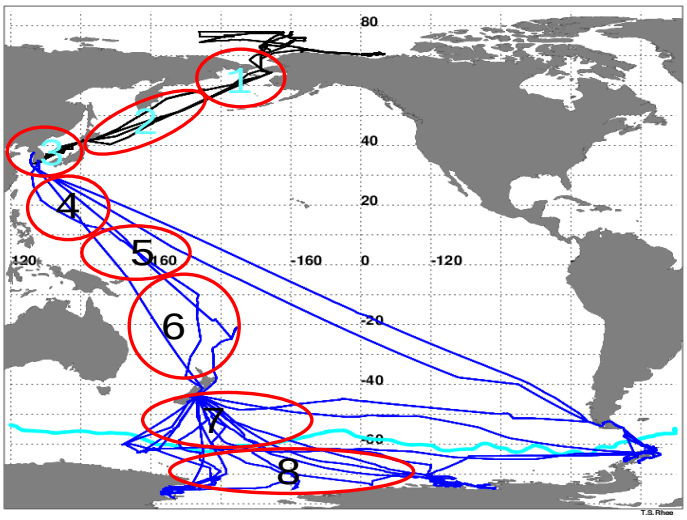
○ AMT 연구사업을 주도하는 영국과 공동연구 제안
- 과거 20년간 대서양 종단연구를 주도한 Plymouth Marine Laboratory과 공동연구로 태평양과 대서양을 종단하는 해역의 플랑크톤 종다양성과 생태계 비교 이해
- 다양한 해역에서 온실기체의 해양과 대기 기체 교환 속도 변화요인 분석
- 해양대기의 산화력 평가위한 반응성 기체 관측

○ 일본, 중국의 쇄빙연구선 공동 이용
- 일본의 시라세와 중국 설룡호등의 쇄빙연구선 이동항해 항해역을 아라온호와 공유하여 정기 관측 프로그램 제안
- 이동항해 연구에 관한 한국, 중국, 일본 3개국 정기 워크샵을 구성하여 경제적이며 협력적인 장기 공동 연구 주도

KOPRI 극지연구소

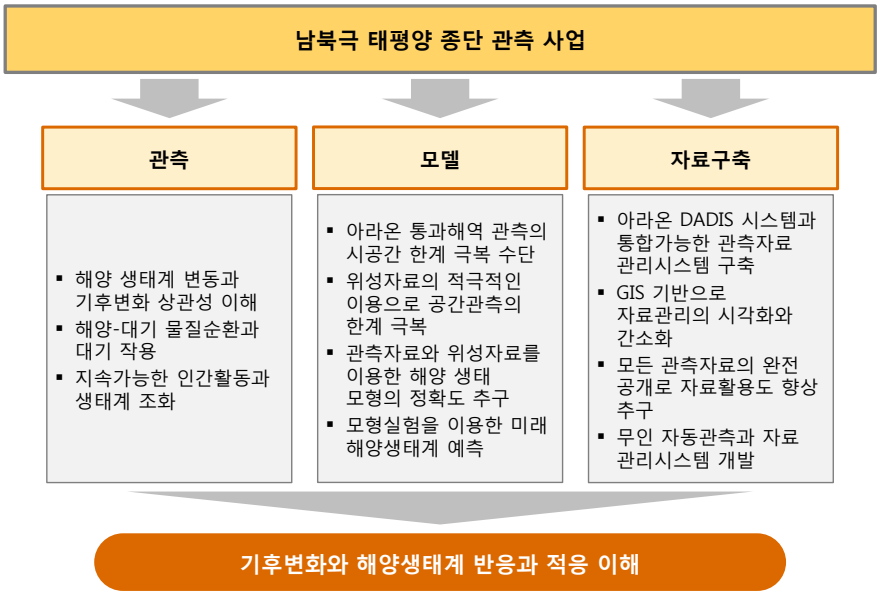
라. 추진전략 및 추진체계

○ 추진 전략
- 아라온호 통과해역을 생태지리적 해역(biogeographic province) 으로 구분하여 장단기 변동 연구: (1)베링해, (2)북태평양, (3)동해와 동중국해, (4)필리핀해, (5)적도, (6)남서태평양, (7)남빙양, (8)남극해



<그림 4-93. 아라온호 항적의 해양생태지역>

○ 추진 체계



<그림 4-94. 남북극 태평양 종단 관측 사업 추진체계>

바. 활용방안 및 기대효과

○ 북극해 환경 변화 지식습득과 활용의 일원화

○ 한반도 주변해역에 집중되었던 연구영역의 확대로 전지구 지구과학 연구의 활력소 역할

○ 지구 전 대양에 대한 활동영역 확대로 중요한 전환점

○ 동남아시아에서 관점에서 한반도의 기후변화에서 탈피하여 전 세계 기후변화에서 한반도 기후변화 관찰

○ 현재 진행되는 기후변화로 인한 해양생태계 변화 이해

○ 인간활동에 의해 축적되는 대기 이산화탄소 조절에 해양의 역할 규명

○ 기후변화와 이산화탄소 증가에 따른 여러 해양생태 환경의 반응 이해

○ 한반도 기후변화 원인과 미래 예측을 위한 모델 개발의 자료

○ 전 세계 대양의 50% 가 태평양이 차지하는 만큼 연구 결과를 이용하여 미래 해양 수산자원 전망 예측

○ 대양의 생지화학 모델 개발의 자료로 제공

바. 특이사항

- ○ 한반도를 중심으로 남북극간 태평양의 해양생태계 자료 확보와 생태계관리 방안 구축
- ○ 수산자원과 해양자원 개발위한 기초자료 이용
- ○ 전지구 기후변화 감지와 예측에 기여
- ○ 해양생물(어류) 서식처 변화와 이동 예측의 기초 자료 이용
- ○ 전 세계 대양을 토대로 하는 국제 공동 연구 주도로 대한민국의 전지구 환경변화 관측 위상 확립
- ○ 한·중·일 쇄빙연구선 통과해역의 AFoPS 공동 연구사업 창출
- ○ 지속적인 지구환경 연구위한 차세대 과학자 양성 프로그램으로 기여 및 기후변화에 대한 해양의 중요성 대국민 홍보와 해양교육의 활성화

KOPRI 극지연구소

제 3 절 활용방안 II : 북극해 자원탐사 부문 연구 수요

1. 북극해 자원 탐사 연구

가. 연구목적

○ 지구온난화로 북극해에 대한 접근이 용이해지고 경제활동이 증가하는 현시점에서 북극해의 에너지·광물자원에 대한 탐사와 자원의 부존량 파악을 통해 북극 자원개발·확보방안 제시

<그림 4-95. 북극해 자원현황, 출처; http://news.donga.com/3/all/20080925/8635122/1>

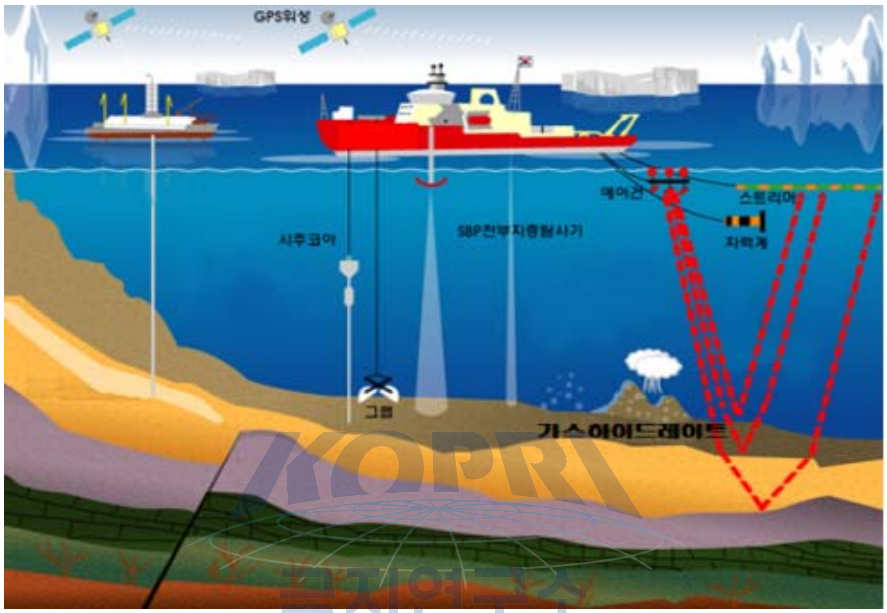
나. 연구방법

○ 연구지역 : 북극해 보포트해, 동시베리아해, 북극권 오호츠크해

○ 연구기간 : 각국 해역별로 격년마다 20~30일 활용

○ 현장조사 방법과 내용

- 해저자원 분포조사/부존량평가: 탄성파탐사, 중자력탐사
- 해저자원 환경조사: 시추코어, 천부지층탐사, 해양환경조사
- 해저면 정밀조사: ROV, 심해카메라



<그림 4-96. 탐사활동 모식도>

○ 참여 인원 수 : 30인

- 해양지구물리팀, 해양지질 및 퇴적물 연구팀, 해양환경연구팀 등 총 3개 팀 참여

다. 국제공동연구 방안

○ 한-러-일 극동/북극해역 가스하이드레이트 국제공동연구

- 2003년부터 현재까지 매년 러시아 오호츠크해와 사할린 주변해역에서 한-러-일 가스하이드레이트 국제공동연구탐사 실시
- 2013년~2017년까지 국제공동연구 협정서 연장, 러시아 극동해역과 동시베리아 해역으로 연구 지역 확대 추진 합의

○ 한-캐-미 캐나다 보포트해 국제공동연구

- 2013년과 2014년 9월, 북극 보포트해에서 한국-캐나다-미국 3개국 국제공

동탐사를 실시하여 북극 대륙붕지역 가스하이트레이트 부존특성, 메탄 방출현상, 해저안정성 변동 연구

○ 국제공동해저시추프로그램(IODP) 추진

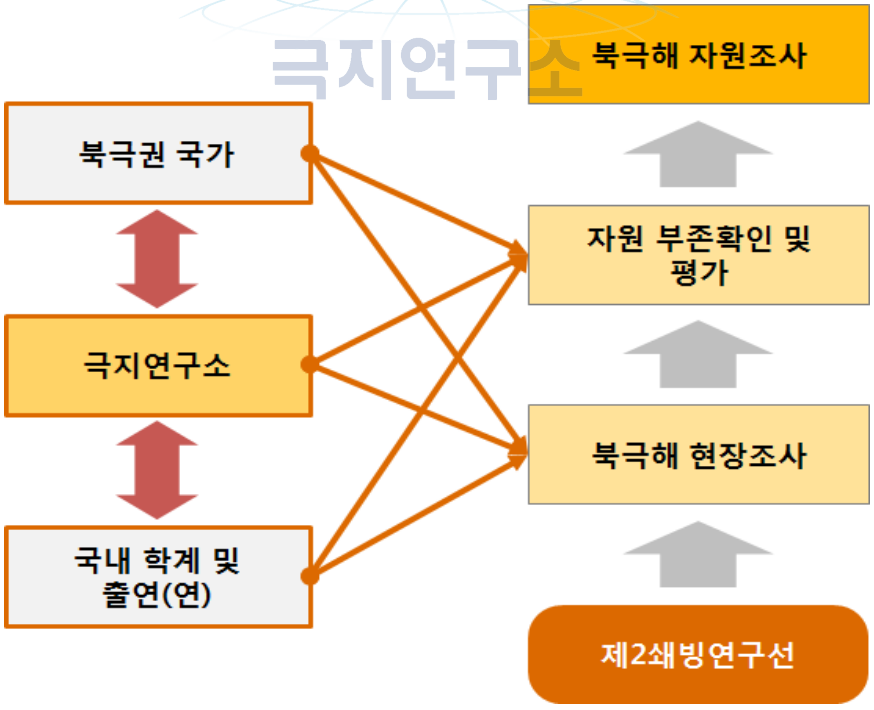
- 국제공동해저시추프로그램(IODP)에서 추진 중인 북극해 주요해역의 해저심부시추를 위한 공동탐사 및 시추에 참여
- 북극해 결빙해역에서 IODP 시추 중 해빙 및 빙산의 위험에서 시추선 보호업무 및 천부탐사자료 획득
- 북극해 주요해역 해저심부시추를 위한 시추제안서 공동작성 및 제출
- 주요 이슈해역의 시추를 위한 제2 쇄빙선을 이용한 시추탐사자료 획득

라. 추진전략 및 추진체계

○ 북극권 국가들과 협력하여 북극해 에너지·광물자원 탐사수행

○ 탐사자료의 분석 및 해석을 통하여 유용자원의 분포 및 자원 경제성 평가 자료 확보

KOPRI 극지연구소



<그림 4-97. 북극해 자원탐사 추진체계도>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 극한해역에서의 에너지·광물자원 탐사기술 확보

○ 북극해 에너지·광물자원에 대한 개발 및 지분참여를 함으로써 장기적인 에너지확보 및 경제적 부가가치 창출

○ 극지에서의 해저자원개발에 필요한 플랫폼 구축, 운송선 개발 등으로 조선·해양 업계의 성장기반 구축

○ 첨단 해양지질지구물리 장비를 이용하여 고해양환경 규명에 활용

○ ROV를 활용하여 해저면을 모니터링 하면서 퇴적물, 생물 채집에 활용

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설

- 다중채널 탄성파 탐사장비, 다중빔 해저지형탐사기, 천부지층 탐사기, 중력시추코어, 심부시추코어장비 (20미터 이상), CTD, 스파커 지층탐사기, ROV, 자력계
- 탄성파 현장자료처리 시스템, 선상 퇴적물 분석장비

○ 요구되는 쇄빙능력

- 1.5미터 일년생 해빙을 3노트로 연속쇄빙 가능한 능력 필요

○ 아라온호 사용 불가 사유

- 북극해에서 가장 넓은 해역을 차지하고 있는 러시아 해역은 5월에서 10월 까지 탐사수행이 가능하나 아라온호의 쇄빙능력은 부족으로 탐사기간 축소
- 해저시료채취, 정밀조사에 필요한 ROV, AUV, 해저시추장비 등 시설 미확보

KOPRI 극지연구소

2. 극지 심해 환경 탐사 및 유용 생물자원 확보

가. 연구목적

○ 극지역의 다양한 심해 환경 탐사를 통해 희소한 심해 생물을 확보하여, 생물 지리학적 진화 연구 및 유용 천연물의 이용기술 개발에 활용하고자 함

- 심해는 고압·저온·무광의 극한 환경으로, 다양한 적응 기작을 갖는 희귀한 생물들이 생존하는 것으로 알려져 있음
- 1970년대 말부터 선진국을 중심으로 특수한 심해 해저 환경(열수, 냉용수)에 대한 탐사 및 생물 채집이 수행되고 있으나, 대부분 중·저위도 해역에 국한되어 있음
- 심해 탐사 장비를 보유 또는 탑재할 수 있는 우수한 쇄빙연구선을 확보하고, 새로운 극지 심해 생물 자원의 확보가 시급한 상황임

KOPRI 극지연구소

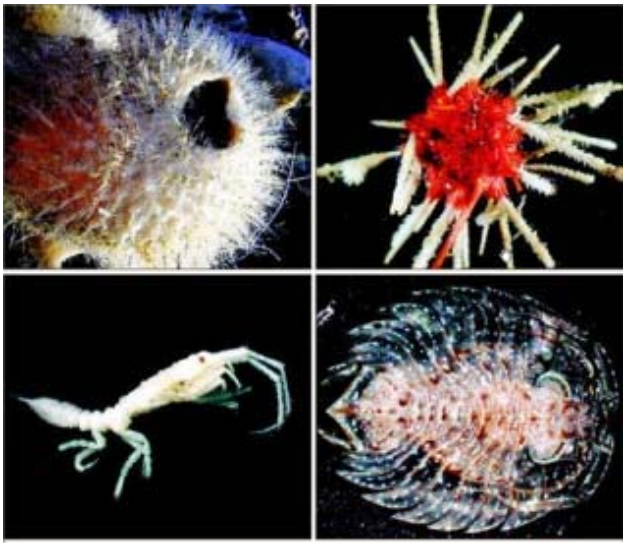
나. 연구방법

○ 연구지역 : 남·북극해

○ 연구기간 : 50일(남극: 25일, 북극: 25일)

○ 현장 조사방법과 내용

- 쇄빙연구선을 이용하여 심해 열수, 심해 냉용수(cold seep) 등을 포함한 미탐사 극지 해역에 접근
- 심해 카메라 시스템이 장착된 Grab, 원격 무인 잠수정(ROV) 등을 통해 저서 환경을 모니터링하면서 원하는 대상 생물 및 시료 확보
- 현장 실험실에서 심해 생물·시료를 보존 또는 생존시키기 위한 전처리 실험 수행
- 심해 생물에 대해 계통분류학, 분자생물학, 효소학 등 다각적인 분석법을 통해 생물 동정 및 유용 대사산물, 효소 탐색



<그림 4-98. 남극 웨델해 심해(6000 m)에서
발견된 해양생물; ANDEEP 연구진>

다. 국제공동연구 방안

○ 미국 : 국립과학재단(National Science Foundation) 산하의 해양 분야 파트에서 국가적인 심해 열수 분화구 탐사 재원을 제공하고 있음. 대양탐사장비는 우즈홀 해양연구소(Woods Hole Oceanographic Institute)측에 의해서 다수의 탐사선과 심해 유인 잠수정(Alvin호), 무인 잠수정(JasonⅡ/Media)을 보유하고 있어, 심해 열수 분화구 서식 생물 샘플의 채집에 이용되고 있음. 심해 열수 및 해저 생물 연구와 관련된 다수의 프로그램들을 운용하고 있음(RIDGE; Ridge Inter-Disciplinary Global Experiments, SCICEX; Scientific Ice Expedition, AMORE 2001; Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition, NOAA의 VENT 프로그램, MARGINS).

○ 유럽 : 프랑스의 IFREMER(Institute Francais de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), 영국의 Southampton 국립해양 센터, 러시아의 과학 아카데미, 독일의 막스플랑크 연구소와 여러 대학에 소속된 과학자들에 의해서 심해 열수 분화구 그리고 냉수 환경 서식처 생물들을 대상으로 연구를 활발히 진행하고 있음.

○ 일본 : 90년대 이후 서태평양 지역을 중심으로 심해 탐사를 활발히 진행하고 있음. 일본해양과학기술센터(Japan Marine Science and Technology Center)는 대양탐사선과 심해 잠수정들의 운영을 담당하고 있고, 2000년 12

월에는 인도양에서 독자적으로 세계 최초로 열수 분화구(Kairai vent)를 발견하고 생물 샘플을 채취하여 높은 기술수준을 입증하였고, 심해 열수·냉수 지역의 미생물과 무척추동물 등에 관한 형태 분류학적·계통 지리적 연구를 활발히 진행하고 있음

라. 추진전략 및 추진체계

○ 초기에는 심해 탐사 경험이 풍부한 선진국들과의 공동 연구를 통해 탐사 기술 확보 및 장비 구축을 목표로 공동 연구 수행

○ 중장기적으로 독자적인 심해 탐사 기술을 확보하고, 국내외 관련 연구자들을 통해 획득된 심해 생물에 대한 다각적인 연구 수행

<그림 4-99. 극지 심해생물 자원 탐사>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 희소한 극지 심해 생물자원의 확보를 통해 생물 지리학적 진화 및 유용 물질 개발

○ 심해 생물 탐사에 대한 기술 및 장비 확보

바. 특이사항

○ 외부 기관의 탐사 장비들(ROV, AUV, dredge, box core, RMT)을 쉽게 운용할 수 있는 주갑판 설계 및 호환성이 좋은 Winch와 통신 시설 구축 필요

○ 살아있는 심해 생물을 배양하기 위한 수조 시스템, 고압 배양기 등이 구축된 습식 실험실 필요

○ 현장 샘플 처리, 해양 척추동물의 On-board 관찰 등을 위한 건식 실험실과 실험장비(예: 멸균기, 현미경, 무균 실험대 등) 필요

○ 아라온호 활용 불가 사유

- 연구 해역의 해황과 탐사 장비의 특수성을 고려하면 심해 생물자원의 성공적인 채집을 위해서는 20~30일 정도의 연구 항해가 요구되지만, 현재 아라온호의 연구수요가 이미 포화된 상황임
- 아라온호 주갑판에 있는 일부 연구 장비들이 반영구적으로 고정되어 있어, 외부 임차장비를 쉽게 운용하기에 공간적인 제약이 있음

KOPRI 극지연구소

3. 극지 미답지 생물자원 확보를 통한 생명공학기술 연구

가. 연구목적

○ 극지역 미답지 탐사를 통한 생물자원 확보 및 이를 이용한 생명공학 기술 개발

- 생물다양성협약(CBD)이 생물자원에 대한 국가주권을 인정함에 따라 선진국을 중심으로 유용한 생물자원 선점확보를 위한 경쟁이 심화되고 있음.
- 전 세계적으로 자원에 대한 권리 및 이익 확보를 위한 경쟁이 치열 하게 전개되고 있는 상황에서, 우리나라만의 고유한 권리 확보가 가능함
- 새로운 종이나 유용물질을 발견할 가능성이 있는 생물에 대한 채집 및 확보를 통한 국가 경제의 기여가 가능
- 생명공학 분야의 국제경제력 확보를 위해 극지유래 유용생물자원 확보가 매우 중요

KOPRI 극지연구소

나. 연구방법

○ 연구지역 : 북극해

○ 연구기간 : 북극해 6월~9월 중

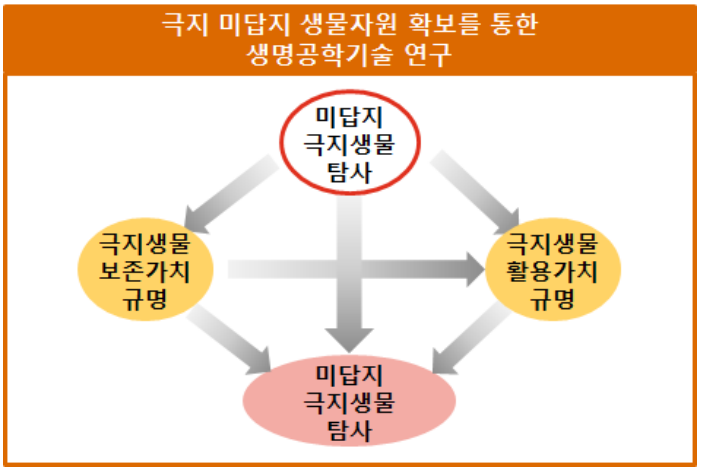
○ 현장 조사방법과 내용 : 드랫지, 문풀 등을 이용한 극지해 생물 채집 및 육상 미답지 접근하여 생물자원 확보

다. 국제공동연구 방안

○ 극지해 주변국들과 공동 생물탐사 추진

라. 추진전략 및 추진체계

○ 미답지 극지생물자원 확보 → 생물자원의 보존가치 규명 → 생물자원의 활용가치 규명



<그림 4-100. 생명공학 기술연구 추진체계도>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 미답지 생물의 생태, 자원, 유용유전자 자원 발굴에 활용

○ 극지해 신규 생물자원 확보를 통한 신물질 개발에 기여

○ 멸종 위험이 높은 생물자원의 보존 방안 수립

KOPRI 극지연구소

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설

- 드렛지, 문풀
- 위 장비를 이용하여 극지해에 서식하는 신종의 극지생물을 발견할 경우 생물 자체의 보존적 가치뿐만 아니라 생명공학을 통한 극지연구의 발전에 미치는 영향은 지대함

○ 요구되는 쇄빙능력 : 아라온호로 접근 불가한 지역에 접근할 수 있는 쇄빙능력

○ 아라온호 사용 불가 사유

- 종합적이고 다학제적인 장기극지조사를 위해서는 최소 45일 이상의 연구일이 필요하며, 아라온호는 그 이상의 연구일을 배정하기 어려움
- 극지역 육상생물자원 확보를 위해서 아라온호의 쇄빙능력으로 접근이 불가능한 지역 존재
- 다양한 크기의 온도 조절이 가능한 배양실(또는 사육실)과 생명공학 연구를 위한 현장에서 시료의 처리 및 분석이 가능한 시설 등이 필요

4. 분자생물학 기반의 휴대용 유전자 검출장치를 이용한 해저 가스 하이드레이트 탐사

가. 연구목적

○ 기존에 사용되던 지질학·지질화학적 방법의 가스 하이드레이트 탐사방법에 분자생물학적 방법을 접목시키는 상호보완적 탐사 방법을 개발함

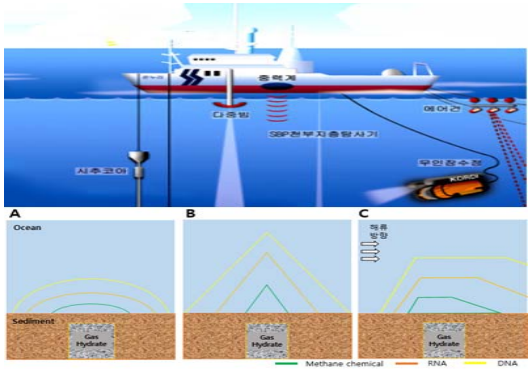
나. 연구방법

○ 연구지역 : 북극해 가스 하이드레이트 탐사 지역(보퍼트 해안)

○ 연구기간 : 북극해 6월~9월 중

○ 현장 조사방법과 내용

- 두 단계로 구성되는데, 우선 가스 하이드레이가 검출된 보퍼트 Shelf 지역에서 기 확보한 해수 및 Sediment Core로부터 메탄영양세균의 분포 및 메탄산화 관련 특이 유전자를 확보함
- 메탄영양세균의 분포와 메탄산화 관련 유전자에 대한 정보를 종합적으로 분석하여 이후 지질학·지질화학적 가스 하이드레이트 탐사방법 및 탐사 지역 선정에 상호 보완적인 자료를 제시함
- 휴대용 유전자 분석기기를 도입하여 현장에서 실시간으로(30분 이내) 저렴한 분석방법(샘플당 5,000원 내외)으로 국지적인 가스 하이드레이트 탐사를 실시함



<그림 4-101. 분자생물학적 방법을 이용한 가스 하이드레이트 매장 지역 내 메탄영양세균(Methanotroph) 및 분해대사 유전자 검출 모식도>

다. 국제공동연구 방안

○ Sakhalin Slope Gas Hydrate Project(SSGH) 프로젝트

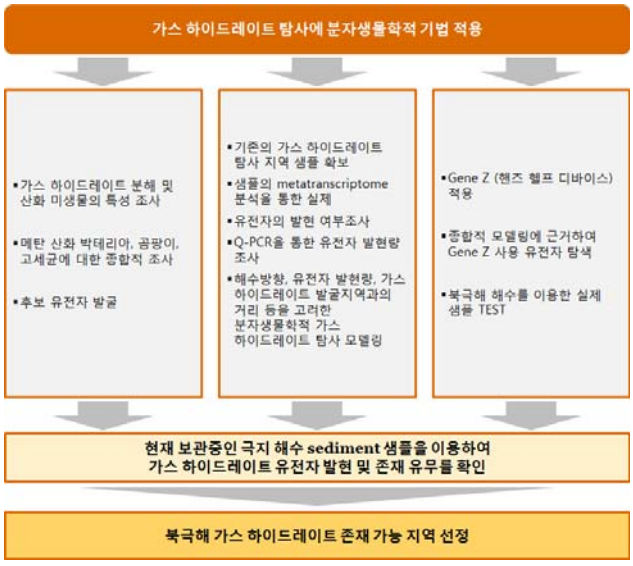
- CHAOS Project(2007년 종료) 이후 SSGH 프로젝트 시작
- 사할린 섬 대륙사면 연안에 축적되어 있는 자연 상태의 가스 하이드레이트를 조사하기 위한 국제 협동연구 프로젝트임
- 지질학적, 지구화학적 측면에서 접근하였는데, 먼저 가스 하이드레이트가 예상되는 지역의 심해측심학적 조사를 통하여 단면을 확인하고 해당지역에서의 자세한 Gas Seepage를 찾게 됨
- 또한 CTD(Conductivity-Temperature-Depth) 측정장비를 이용하여 바다 속 메탄 함유치를 측정한 결과 이전의 지질학적 조사를 통해 메탄이 함유된 퇴적층 주변 바다에서도 메탄이 발견되었다는 사실을 알 수 있었음

○ Beaufort Shelf Gas Hydrate Project(ARA04C) 프로젝트

- ARA04C 탐험조사는 보버트 해안을 대상으로 지질학·고해양학적 분야가 종합된 국제 공동연구
- 보버트 해안의 영구동토층(permafrost)의 분포, 전반적인 지질구조, 가스 하이드레이트 존재 유무 등을 조사

KOPRI 극지연구소

라. 추진전략 및 추진체계



<그림 4-102. 가스하이드레이트 탐사 추진전략>

마. 활용방안 및 기대효과

○ 막대한 탐사비용이 요구되는 해양 석유탐사 시, 다양한 해양 환경 내 해수와 sediment 시료를 대상으로 신속하게 저비용으로 석유의 존재 가능성을 제시할 수 있으므로, 기존의 지질학적·지질화학적 석유 탐사방법을 보완함

○ 본 기술을 해양 환경시료뿐만 아니라 육상 생태계에 적용할 경우, 가축질병(광유병, 조류독감 등)의 발병 및 확산 가능성을 조기에 저비용으로 광범위 지역을 대상으로 예측할 수 있음

바. 특이사항

○ 요구되는 연구장비 및 시설 : 미생물 순수 배양을 위한 클린벤치와 유전자 분리 및 증폭을 위한 분자생물학 기기를 갖춘 실험실

○ 요구되는 쇄빙능력 : 두께 1m 이상의 쇄빙능력을 갖춘 연구선

○ 아라온호 사용 불가 사유
- 종합적이고 다학제적인 장기 북극해 조사를 위해서는 최소 45일 이상의 연구일이 필요하지만, 아라온호는 그 이상의 연구일을 배정받기 어려움
- 다양한 크기의 온도 조절이 가능한 배양기와 분자생물학 연구를 위한 현장시료 처리 및 분석 시설 미비

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 4 절 활용방안 Ⅲ : 조선기자재의 극지 현장 Test-Bed 활용

1. 개요

○ 아라온호와의 차별화 전략으로써, Winterization(선박기자재의 방한기술) 성능시험 Test-Bed 장비를 탑재하여 극지운항관련 기관, 기자재 및 부품의 Winterization 성능을 실해역에서 Test 할 수 있는 기반을 조성하여 관련 산업에 이바지

2. 배경 및 필요성

○ 북극항로 운항으로 인한 경제적 이득을 위해 북극항로를 개척하고 극지운항선박의 건조 및 운항에 대한 필요성이 강조되고 있는 상황이나, 일반선박의 항행에 따르는 위험도 수준에 비해 극지운항선박의 위험도 수준은 지극히 높게 설정되고 있음

○ 이러한 극지운항선박의 위험도를 줄이고자 하는 연구로써는 선체가 얼음위를 항해하는 데에 따르는 위험을 줄이기 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 갑판위에 노출되거나 Winterization 기술의 접목이 필요한 설비, 장치, 의류, 구명정 등에 대한 기술개발 및 이를 검증할 수 있는 실해역 성능시험은 기술선진국에서 조차 이행하기 어려운 항목으로 분류되고 있음

○ Winterization은 IMO Polar Code의 강제요구사항은 아니나, 선주나 선원의 안전을 위해 필수적으로 고려해야할 사항이며 이를 위해 관련 산업계에서는 다양한 기술개발 및 성능검증을 위해 노력하고 있음

○ 이에 따라 개발된 제품의 실해역 성능검증은 제품의 신뢰성을 높이고 극지운항선박의 안전항해, 관련 기술연구능력 향상 및 성능검인증의 사업화에 대한 기대효과를 가질 수 있음

KOPRI 극지연구소

3. 추진 목표

○ 선박 및 기자재의 안전성 평가를 통한 Winterization 요소기술 및 사업화 제품 식별

○ 쇄빙연구선의 기본기능 외 추가 기능으로 Winterization 성능검증 Test Bed 장비 탑재 방안 연구를 통한 설계 반영

○ 극한지 운항 선박 및 기자재의 실해역 Winterization 성능검증 및 설계 기술 개발

4. 추진 내용

○ 동절기 쇄빙연구선을 활용한 실해역 선박의 구조강도 및 선체 재료 시험

- 극지선박 구조강도 확보 기술에 신뢰성을 부여하기 위한 실해역 검증 및 실해역에서의 빙하중에 의한 선체 영향을 시험
  - 현재 국내 기술개발은 이론적 수치 및 보고된 자료를 바탕으로 개발된 시나리오를 활용하여 수치 시뮬레이션을 시행하여 빙하중에 대한 극지선박의 구조강도를 계산
  - 수치 시뮬레이션 결과 값의 경우, 실제 동절기에 운항하는 쇄빙선박 빙하중과 비교가 불가능하므로 기술 표준화를 위한 국제 활동에 대한 제약 발생

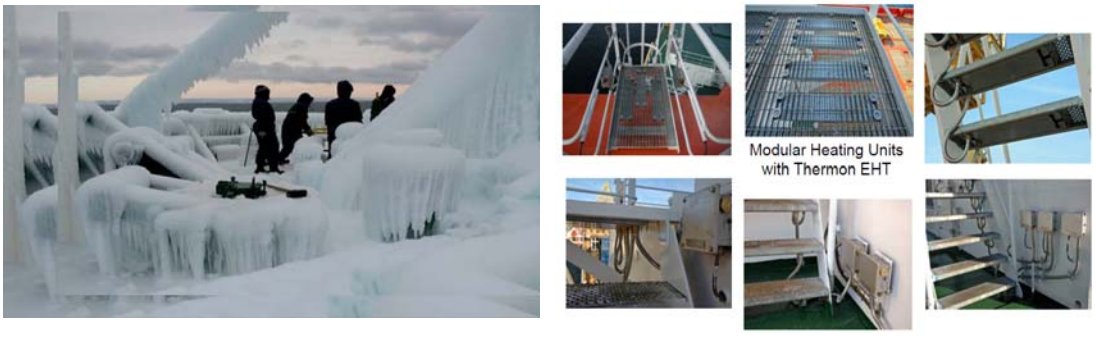
[표 4-58] 실해역 빙해선박 선체구조 안전성 평가 기술

기술명	개발내용	개발주체
실선 빙하중 계측 및 시스템 개발기술	극지방 환경에서 작동하는 계측 시스템	NRC-CNRC
	실선 빙하중 계측	NRC-CNRC
	계측 데이터 통계적 분석	NRC-CNRC
빙-선체 상호작용 시나리오의 수치 시뮬레이션 기술	상호작용 시나리오 도출	NRC-CNRC
	상호작용 모델링	NRC-CNRC
	상호작용 시뮬레이션 결과의 실측 비교 분석	NRC-CNRC

- 실선 빙하중 계측기술 및 시스템 개발 기술 연구를 통해 세계 최고수준 기술 대비 100% 기술력 확보
- 극저온 자연환경 및 유빙충돌에 의한 빙하중에 적절한 내구성을 갖는 선체 재료에 대한 시험·평가 기술 개발

○ 선박의 기자재 Winterization 성능검증

- 극저온 자연환경에서 해수 등에 의한 착빙에 대비한 선박 기자재의 Winterization 기술의 실해역에서의 시험·평가
  - 콜드룸에서 진행되는 저온 성능 평가 시험의 경우 실제 극지역의 자연환경과 차이점에 존재함으로 인해 결과값의 신뢰성 확보가 부족
  - 실해역시험을 통하여 콜드룸에서의 시험 결과를 보완하고 실제 시장에서 통용 가능한 Winterization 기술 확보 가능
- 쇄빙선박 건조 시 기자재의 Winterization 기술을 검증하고 새로운 기술개발을 통해 세계 기술수준 대비 100%의 기술력을 확보
- 실해역 Winterization 성능 평가 대상 기술
  - 선박 전력기자재 Winterization 기술의 실해역 신뢰성 평가
  - 크레인 및 기중기 등 갑판 내 대형 기자재 성능 평가
  - 워크웨이, 핸드레일 등 철의장 제품에 대한 결빙 성능 평가
  - 극한지 인명 구난 시스템 및 장비에 대한 현장 테스트
  - 기타 결빙 및 해빙 관련 기술을 포함한 기자재 실해역 성능 평가



<그림 4-103. 대형기자재 착빙현상 및 winterization 기술 적용>

[표 4-59] 실해역 성능 평가 대상 기자재

Anti-icing	De-icing
Communication equipment	Open deck areas
Scanning equipment, navigation light	Gangways and stairways
Window wipes	Helicopter deck
Cooling water sea chests	Superstructure
Fire fighting line and monitor	Railings
Anchor(windlass, chain and hawse pipe)	Outdoor piping
Air pipe vent head for tanks	Winches
Air horns	Shark jaw and guide pins
Lifeboat, davit	Stern rollers
Pick-up boats including launching area	Deck lighting equipment
Rafts	-
Escape exits including doors	-
lifesaving outfit cabin e.g. rescue suits lines, picks and similar equipment for de-icing purposes	-
Ventilation inlet	-
Heated deck, space drainage, scupper system	-

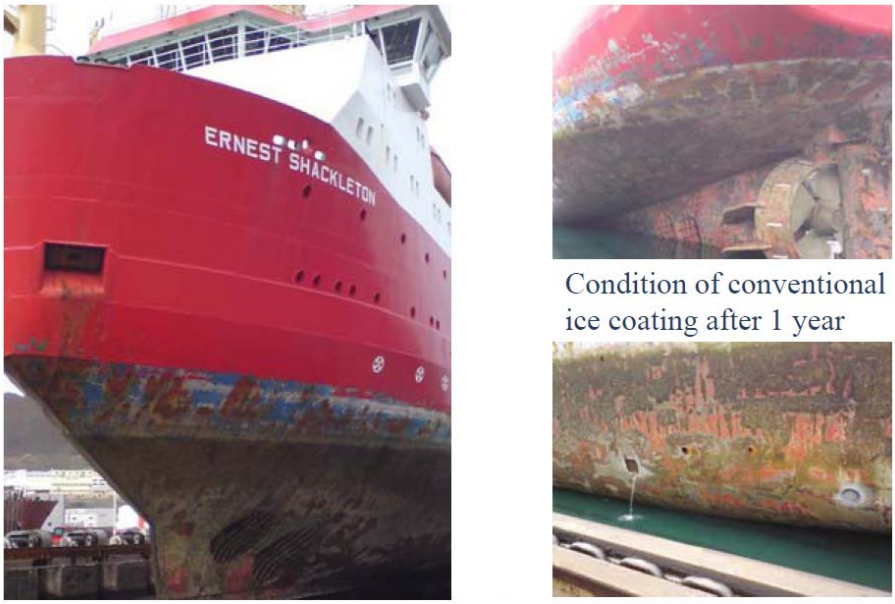
KOPRI 극지연구소

- 실해역 운항 시 선박 기자재의 Winterization 시험 결과와 콜드룸 실험 결과와의 비교를 통한 콜드룸 활용 시험·평가기술 개선
- 갑판에 설치되는 크레인 및 기중기 등 대형 기자재 Winterization 기술 시험·평가 통한 기술력 확보

○ 빙해 선박용 특수도료 개발 및 성능 평가

- 유빙충돌 등 빙하중에 따른 도료피복 벗겨짐을 줄일 수 있는 고탄력 기능성 특수도료 개발
- 극저온 자연환경에서 도료 기능이 적절히 유지될 수 있는 내후성 도료 개발
- 유빙충돌 등 빙하중에 대비하는 기능성 도료의 탄력성 평가 기술 개발
- Winterization 성능검증 Test-Bed 활용하여 착빙 조건에 따른 도료 특성

영향 평가기술 개발 및 검증



<그림 4-104. 유빙충돌 및 착빙에 의한 도료피복 벗겨짐 현상>

○ Winterization 성능 검증 지침 및 규정에 대한 관련 제반기술 연구
- 극지선박 실선에서의 Winterization Test-Bed 운영을 위한 규정 및 지침 관련제반기술 개발
- 규정 및 지침 개발을 통한 기술 표준화 경쟁력 확보

KOPRI 극지연구소

5. 기대효과

○ 북극해 근접국가가 확보한 기술력과 대등한 대빙등급 선박 건조 기술 경쟁력 확보

○ 실제 극저온 자연환경에서의 시험·평가 과정을 통해 실질적 Winterization 기술개발 및 검증가능

○ 시험·평가 결과의 신뢰성 확보를 통해 국내 조선 기자재 업체의 기술 경쟁력 및 시장 경쟁력 향상

○ Winterization 성능 검증 Test-Bed 장비 설치 및 운영을 통한 제2 쇄빙연구선의 사회적·산업적 기여 강화

○ 세계 시장에서 기술경쟁력을 갖는 극지 선박용 기자재 및 극저온 재료 개

발 위한 기반 확보 가능

○ Winterization 성능 검증 지침 및 규정 정립, 표준화를 통한 기술 선도(선점) 및 대외 홍보 효과

KOPRI 극지연구소

제 5 절 활용방안 Ⅴ : 교육기부, 인력양성, 구조 및 구난 등 사회적 요구 대응

1. 교육기부

가. 추진 목적

○ 정부 교육정책과 연계한 교육기부 활동을 통한 나눔교육 확산 및 극지연구의 미래를 선도하는 과학기술 인재 양성에 기여

○ 제2 쇄빙연구선의 현장 체험 기회를 제공하여 극지연구에 대한 대국민 공감대 조성 및 우리나라 선박기술에 대한 자긍심 고취

○ 과학 교육의 기회가 적은 학생들에게 다양한 극지 및 자연과학 체험의 기회를 제공하여 과학문화의 대중화 선도

KOPRI 극지연구소

나. 추진 전략

<그림 4-105. 교육기부 추진전략>

다. 추진 내용

공교육 지원 프로그램, 사회배려계층 대상 교육기부 프로그램, 일반인 대상 열린 기부 프로그램 및 예술가 창작활동 지원 프로그램 등을 발굴하여 시행하고,

극지사진전 및 전시회와의 연계 운영 및 지역 대학의 연구실 탐방 프로그램과 연계 운영을 도모하며 세부 내용은 아래와 같다.

[표 4-60] 대국민 교육기부 프로그램 운영

구분	대상	일정/장소	추진목표	내용
공교육 지원 프로그램	초·중·고생	▪ 국내 정박 기간 활용 ▪ 인천항, 부산항, 울산항, 속초항 등	다양한 체험기회 제공을 통한 극지 과학에 대한 친밀도 향상	▪ 쇄빙연구선 연구장비 및 시설 견학, 안전교육·훈련 체험 등 ▪ 극지를 주제로 한 글짓기, 그림대회 병행
전국 순회 쇄빙연구선 승선체험	일반인 (가족단위)		과학 및 극지에 관심이 많은 청소년 및 일반인을 위한 과학문화 확산	▪ 쇄빙연구선 연구장비 및 시설 견학, 안전 교육·훈련 체험 등 ▪ 극지연구자들의 과학강연 병행 진행
극지사진전 및 전시회 운영	학생 및 일반인		극지에 대한 신비로운 자연현상 공유를 통해 극지에 대한 관심 제고	▪ 예술가 창작활동 지원 프로그램에서 취득한 극지예술작품 전시 ▪ 극지자연현상, 극지생명에 대한 사진전시, 동영상 상영
사회배려층 대상 교육기부 프로그램	다문화 및 새터민가정 자녀, 소년소녀 가장 등	▪ 연 2회(2박 3일/회) ▪ 국내 연안 (시험항해 기간 활용)	과학교육으로부터 소외되기 쉬운 사회배려 계층을 위한 나눔교육 실현	▪ 극지연구자들의 연구 활동 참여 및 승조원 체험 등 ▪ 교육청, 아동복지협회 등 지역자치단체와 연계하여 추진
예술가 창작활동 지원 프로그램	예술가, 영상작가, 사진작가 등	▪ 연1~2회 ▪ 남·북극 연구항해 시	예술가들이 연구항해에 승선하여 자신만의 표현방식을 통해 극지에 대한 관심 유도	▪ 한국문화예술위원회와 연계하여 추진 ▪ 사진가, 소설가, 화가, 영화감독, 사운드 아티스트 등

KOPRI 극지연구소

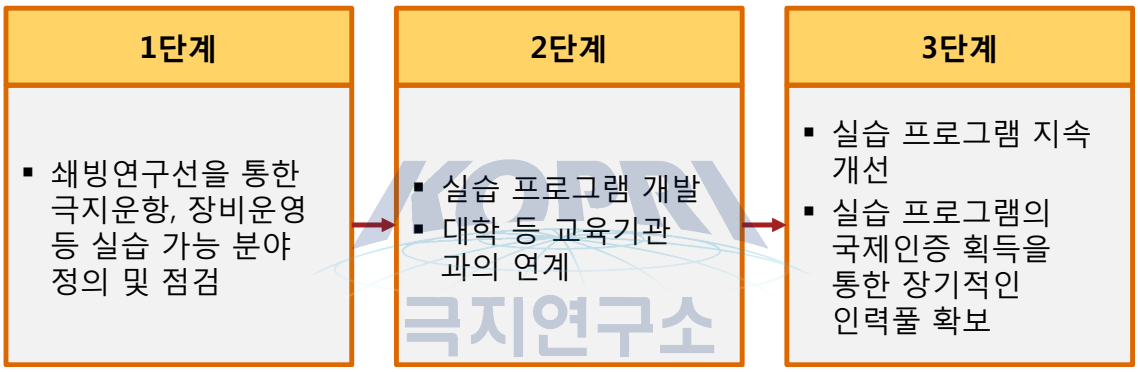
2. 인력양성

가. 추진목적

○ 극지역 운항경험을 보유하고 쇄빙연구선 시설/장비 활용이 가능한 극지운항 전문인력 양성에 기여

○ 극지운항 전문인력을 포함한 국내의 선박 관련 인력풀 확대에 기여(선장, 해기사, 기술자, 아이스 네비게이터, 아이스 파일럿 등)

나. 추진전략



<그림 4-106. 인력양성 추진전략>

다. 추진내용

쇄빙연구선을 활용해 실습 가능한 교육이 어떤 종류가 있는지, 실습이 가능한지 등을 명확하게 정의하고, 안전상 문제가 없는지, 교육 목적에 활용이 가능한지 등 점검이 필요하다. 개발된 실습 과정은 국내 해양대학교 등 고등교육기관과 연계해 실제 학생들을 대상으로 실습과정을 운영한다. 실습을 진행하면서 실습 프로그램에 대한 피드백을 통해 전문인력 양성을 위한 실습 프로그램을 지속적으로 개선해 효과적인 교육이 이루어 질 수 있도록 한다. 추가적으로 쇄빙연구선을 통한 실습 프로그램이 국제 인증을 받도록 추진하여 장기적으로 국내 일반선박 및 쇄빙선박 운항 인력풀을 확보할 수 있도록 한다.

3. 구조 및 구난

가. 추진목적

○ 극지 결빙해역 항해선박 요청시 지원

○ 응급상황 발생시 일차적인 구조 및 구난 활동 수행

○ 구조 및 구난 활동을 통한 국제적 위상 제고

나. 추진전략

<그림 4-107. 구조 및 구난 추진전략>

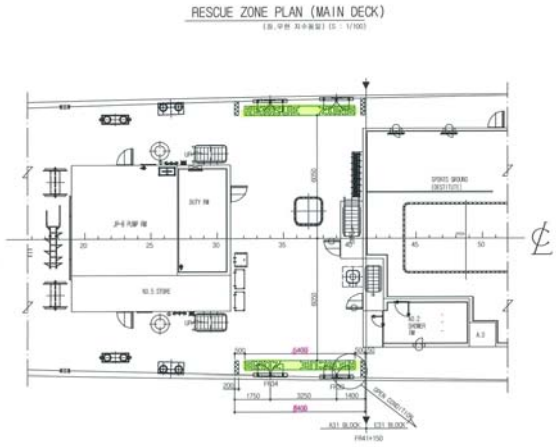
다. 추진내용

해양경비안전본부 등 해양 구조·구난과 관련된 기관과의 협력을 통해 현재 일반적으로 운항중인 구조함의 탑재 장비를 확인시 Rescue Net과 Rescue Basket은 아라온호에 바로 적용 가능하며, Rescue Zone은 제2 쇄빙연구선 건조시 적용 가능할 것으로 보인다. 쇄빙연구선에 설치된 장비를 통해 타 선박의 사로로 인한 인명피해를 최소화할 수 있으며, 특히 극지역에서의 구조활동이 보다 원활히 이루어질 수 있을 것이다.

[표 4-61] 구조함의 주요 구조·구난 장비 탑재 현황

탑재장비	
구조망(해상들 것)	ICE 다이빙 전용 잠수장비
고속단정	산소소생기
탐조등	원격의료설비
Diver Ladder	야간감시장비
자기점화등	Rescue Net
자기발연부 신호	Rescue Basket
로켓 낙하산 신호	Rescue Zone

[표 4-62] 쇄빙연구선에 적용 가능한 구조·구난 장비

Rescue Net	Rescue Zone
Rescue Basket	

KOPRI 극지연구소

4. 기대효과

- ○ 교육정책과 연계한 교육기부 활동을 통해 극지연구 및 미래 과학기술 인재 양성 가능
- ○ 현장 체험을 통한 창의적 과학교육을 통하여 학생들의 과학적 탐구력·창의력 신장 제고
- ○ 다양한 학생들에게 극지 및 자연과학 체험의 기회를 제공하여 과학문화의 대중화 선도
- ○ 극지역 운항 전문인력 양성 및 국내 선박 관련 인력풀 확대 가능
- ○ 극지 해역에서의 긴급상황 발생시 일차적 구조·구난 활동 가능
- ○ 우리나라의 쇄빙연구선을 통한 극지 해역에서의 구조·구난 활동을 통해 국제적 위상 제고 및 자긍심 고취

KOPRI 극지연구소

제 6 절 제2 쇄빙연구선 운영에 따른 기대효과

제2 쇄빙연구선 건조를 통해 예상되는 기대효과는 건조 과정에서 축적되는 기술적 역량과 건조 이후 연구활동을 통해 얻어지는 과학적 성과, 그리고 국가와 국민 전반에 부여되는 자긍심 고취 등의 사회적 관점으로 구분 가능하다.

과학기술적 관점	경제·사회적 관점	정치·외교적 관점
▪ 극지과학 연구영역 확대 ▪ 조선산업의 기술경쟁력 제고 ▪ 국제협력 역량 제고 ▪ 연구, 탐사 장비 등 기술개발 역량 제고	▪ 조선산업 마케팅 효과 ▪ 에너지 자원 탐사 경쟁 참여 ▪ 북극항로 주변 물류활동 지원	▪ 국민 자긍심 고취와 관심 증대 ▪ 초중고 학생 개척정신 고취 ▪ 북극관련 산업, 연구인력 양성 기여

<그림 4-108. 운영에 따른 기대효과>

KOPRI 극지연구소

1. 과학기술적 효과

○ 제2 쇄빙연구선의 과학기술적 기대효과는 건조과정에서 축적되는 기술경쟁력과 건조 후 제2 쇄빙연구선을 기반으로 연구활동의 효과 가능

○ 아라온호 대비 우수한 쇄빙, 내한능력과 최첨단 연구장비 등은 기존에 탐사하지 못하던 지역을 탐사 가능
  - 미답지 탐사를 통하여 새로운 물질과 생명체 등에 대한 탐사는 국내 기초과학 경쟁력과 우수성과 창출을 가능하게 함

<그림 4-109. 아라온호 관련 기사>

○ 제2 쇄빙연구선 설계와 건조과정에서 고려되어야 하는 쇄빙능력과 내한성능 등은 국내 조선산업의 기술경쟁력을 향상
- 쇄빙·내빙·내한 기술, 네비게이션, 레이더 관련 기술 등 첨단 고부가 가치 조선기술 개발

○ 제2 쇄빙연구선을 활용하고자 하는 국제 극지연구자들과 연계하여 북극관련 신규 연구프로그램을 기획하여 국제협력 강화
- 기존 쇄빙연구선인 아라온호 건조 이후, 선진국의 극지과학자들이 우리나라를 방문하여 국제협력 강화 시도
- 2대의 쇄빙연구선을 보유한 국가로서 향후 국제공동연구 협상 시 주도적인 위치를 선점할 뿐만 아니라 극지활동의 선도역할 수행 가능

○ 제2 쇄빙연구선 건조 후 북극해 중심의 연구탐사를 수행함으로써 아라온호와의 역할 분담이 가능해지고 이를 통해 남극연구 고도화 및 보급활동 강화 계기 마련

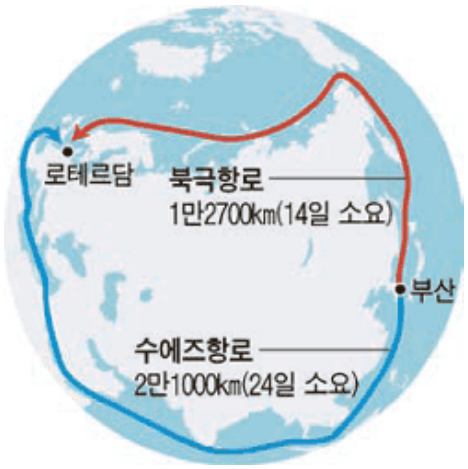
○ 극한지 환경 소재, 시추 및 자원탐사 등 연구, 탐사 장비 등을 관련 산업체와 협력 개발하여 기술개발 촉진

KOPRI 극지연구소

2. 경제·사회적 효과

○ 북극환경·자원·수산·조선 분야 신규 비즈니스 모델 발굴
- 북극의 다양한 자원개발 및 조선분야 Test-Bed로 활용하는 등 새로운 비즈니스 모델로 활용이 가능함
- 북극항로 주변의 환경관측 자료 등을 기반으로 북극항로 활성화에 기여 가능
- 제2 쇄빙연구선 건조 과정과 진수식 등에서 발생하는 홍보효과는 국내 조선업계의 홍보 기여

○ 북극 연구활동 및 협력 강화를 통해 향후 에너지자원 확보 기여



<그림 4-110. 북극항로>

- 북극에서의 다양한 연구활동은 타국가와의 공동연구를 활발하게 진행할 수 있는 기반 마련 가능
- 특히 에너지 자원과 관련된 연구는 북극자원 개발시 기술적 우위를 점할 수 있으며, 연구를 바탕으로 형성된 타국가와의 관계는 에너지자원 확보에 이점으로 활용

○ 극지에 특화된 자원탐사, 원격제어 등 특수장비 기술개발 촉진

- 북극 가스 하이드레이트 등에 대한 탐사활동은 석유공사 및 기업체 등으로 정보를 연계하도록 하여 초기단계에서 자원 개발단계까지 연계하여 적극 참여 가능
- 극한환경에서도 운용 가능한 특수장비 개발에 대한 필요성을 높이고 Test 환경을 제공함으로써 관련된 기술개발의 촉진 가능

○ 현장교육 기회 제공으로 극지 인식 제고 및 남극 연구기지 보급기능 강화

- 청소년, 어린이 등을 대상으로 제2 쇄빙연구선을 탐방할 수 있는 현장교육 기회를 확대하여 극한지 탐사 등 개척정신 함양
- 제2 쇄빙연구선의 강력한 기능을 활용해 남극 기지의 안정적 운영을 위한 물자보급, 인력 입출입 등을 지원

KOPRI 극지연구소

3. 정치·외교적 효과

○ 북극해 대형 공동연구사업을 주도하고 성과 창출을 통한 국제사회 과학리더십 및 과학외교력 강화

- 다양한 국가들이 참여하는 공동연구사업 주도 및 성과창출을 통해 우리나라의 과학역량 향상은 물론 국제사회에서의 위상과 외교력 향상 가능

○ 북극 이슈 해결에 기여하고 북극권 국제사회에서 우리나라의 영향력 강화

- 북극해 연안국 간 분쟁해결 및 북극권 평화유지에 기여

○ 결빙해역 연구·운항 선진국 도약을 통한 국가브랜드 강화

- 전인 미답의 극한지를 탐사하는 제2 쇄빙연구선의 활동은 국민들의 자긍심을 고취할 수 있으며, 우리나라를 세계에 알릴 수 있는 기회로 활용 가능

KOPRI
극지연구소

제 5 장

기술적 타당성

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 국내외 기술개발 동향

1. 쇄빙선박 시장 현황

2013년 세계 조선산업은 일반상선 수주량이 큰 폭으로 증가하고, 해양플랜트 수주량은 감소하는데, 이는 대형 컨테이너와 고연비 선박 등에 대한 수요증가에 기인한다.

[표 5-63] 세계 조선업 선종별 수주량 추이

구분 (단위: 백만CGT)		2008	2009	2010	2011	2012(A)	2013(B)	증가율 (B/A)
일반상선	벌크선	23.9	8.3	25.5	10.4	6.5	18.4	183
	탱커선	13.3	4.0	8.2	3.3	4.5	9.4	109
	컨테이너선	6.8	0.5	3.5	7.5	2.5	9.2	268
	가스선 (LPG,LNG)	1.1	0.2	1.1	4.3	3.9	5.4	38
	소계	45.1	13.0	38.3	25.5	17.4	42.4	144
해양플랜트		3.8	2.3	3.7	4.9	4.5	2.7	△40
기타		7.1	2.1	4.6	4.7	3.4	3.6	6
계		56.0	17.4	46.6	35.1	25.3	48.7	92

KOPRI 금지연구소

선종별 수주량을 비교했을 때, 북극환경변화로 인하여 쇄빙선 수요가 증가하고 있으며, 북극항로와 북극자원 개발을 목적으로 쇄빙선 시장이 확대되고 있는 추세이다. 특히 러시아는 북극가스개발을 목적으로 300억 달러 규모의 쇄빙 LNG선 건조하는 등 야말프로젝트를 추진 중이다. 쇄빙 LNG선은 대당 3억 달러 수준으로 일반 LNG선에 비하여 대당 1억 달러가 비싼 고부가 선박으로 쇄빙선 시장규모 확대를 예상할 수 있다.

러시아 북극해 유전의 개발 계획이 속도를 내면서 중대형 쇄빙 유조선 시장이 활성화되고 있으며, 현재 총 6척의 7만톤급 쇄빙 유조선이 국내·외 조선소에 발주되어 건조중이다. 이 선박은 러시아의 북부에서 유럽으로 원유를 수송하는 선박으로 아틱셔틀 탱커(arctic shuttle tanker)의 성격을 갖는 최초의 중대형 쇄빙 유조선이라는 상징적인 의미를 가진다. 11만톤급 유조선의 주요 사양을 가지는 이 선박은 그동안의 선형 개발 노력의 결정판으로 선수 돌출부가 없이 전방

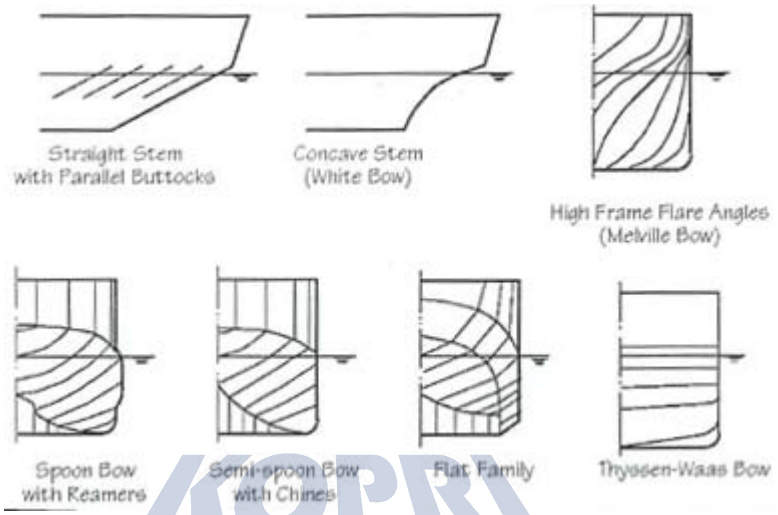
위 추진기를 장착한 선박으로 영하 45℃까지 견딜 수 있도록 설계 되어있으며 구조적인 보강과 특수 도장, 특수 타 등이 장착된다. 이러한 선박의 출현으로 인해 향후 쇄빙 유조선 시장은 시장 규모가 확대 될 것으로 예측된다. 쇄빙 LNG 운반선은 쇄빙현상과 슬로싱(sloshing) 문제의 상호 간섭 문제가 핵심 연구 분야로 다루어지고 있다. 쇄빙 LNG 운반선의 출현은 향후 북극항로의 완전한 개방과 맞물려 중형 쇄빙 컨테이너선 및 중형 벌크선 등의 출현을 예상 할 수 있다.

북극항로의 항로 단축효과로 쇄빙 컨테이너선과 쇄빙 벌크선의 경제성이 확보되면, 유럽에서 극동 아시아로 이동하는 모든 컨테이너선과 벌크선박이 쇄빙선박으로 대체될 것이며, 이는 거대한 규모의 새로운 시장의 출현을 의미한다. 또한 쇄빙선박 기술의 향상으로 극지를 여행할 수 있는 쇄빙여객선의 출현도 예측 할 수 있다. 쇄빙여객선은 관광객의 안전을 확보하면서 새로운 관광루트를 개척할 수 있다. 뿐만 아니라 빙해선박 분야의 이러한 시장 환경은 세계 주요 정유사들의 유전 개발 의지와 짧은 항로에 대한 선주들의 선호 및 빙해선박 기술의 발전과 상호 밀접한 연관이 있는 미래 기술로 점진적인 시장 형성과 확대가 예상된다.

KOPRI 극지연구소

2. 해외 기술개발 동향

과거, 러시아, 미국, 캐나다, 핀란드 등 북극해 인접 국가들을 중심으로 신선형 개발 및 선형성능 최적화와 관련된 연구가 주로 소형 쇄빙선박을 중심으로 이루어졌다.



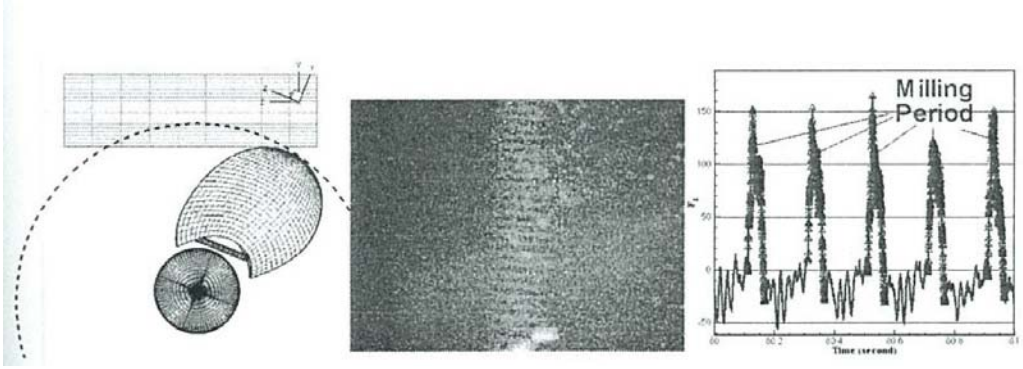
<그림 5-110. 쇄빙선박의 선형>

KOPRI 극지연구소

최근에는 대형 빙해선박을 대상으로 핀란드의 Aker Yard를 중심으로 기술차별화를 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 실제로 Aker Yard에서는 Double acting concept의 신개념 쇄빙선형을 개발하여 국내조선소를 포함하여 세계적으로 다수의 선박이 건조되고 있으며 모형시험을 통하여 쇄빙능력과 가장 관련이 깊은 최적 선수형상에 대한 연구가 활발해지고 있다.

쇄빙능력 향상을 위하여 고가의 선회식 전기추진시스템을 장착하기 때문에 선박의 단가가 높아지고 있으며, 개수로에서의 조종성 측면에서 어려움이 있다. 미래의 빙해선박에 적합한 선형개념은 아직까지 미개척 분야라고 할 수 있다.

캐나다 NRC-OCRE(구 NRC-IOT)에서는 프로펠러와 빙편과의 상호작용에 관한 연구를 위해 ice milling시험을 통해 프로펠러에 작용하는 힘을 계측하고 수치해석 결과와의 비교분석에 관한 연구를 수행한 바 있다.



<그림 5-111. Propeller-ice interaction 연구>

빙저항 감소를 위한 Heeling System, Air Bubbling System, Water Spray System 등이 개발되어 있으나, 소형 쇄빙선박을 대상으로 한 것이며 대형 빙해선박에도 확장적용이 가능한지에 대해서는 미지수이다.

모형시험 및 해석법, 실선 시운전과의 상관관계는 시험결과의 신뢰도 향상을 위해 지속적으로 연구되고 있으며 아직 세계적으로 인정받을만한 신뢰도 높은 시험 및 해석방법이 정립되어 있다고 보기 어렵다. 현재 각 수조는 각자의 노선으로 추진하고 있는 것으로 판단되며 개수로에 대한 시험과 비교하여 시험 및 해석법에 있어서 수조 간 매우 큰 차이를 가지고 있다. 어느 수조에서나 시험의 재현성, 실선 시운전의 난점(real data의 확보 난점) 등으로 인하여 최적의 시험 및 해석법을 찾는 것이 현실적으로 어려울 것이다.

3. 해외 쇄빙연구선 신규 건조 현황

쇄빙선은 결빙해역에서 상선의 호위, 구난, 구조, 항로 확보 및 개척, 항만 쇄빙, 해양과학 조사 등 다양한 목적으로 건조·운영되고 있다. 지구 온난화에 따른 극지방 해빙감소와 이로 인한 신규 항로개척 가능성, 북극권 자원개발 활동 증가 등으로 인해 세계적으로 신규 쇄빙선 건조 움직임이 최근 활발해 지고 있다. 러시아를 비롯한 캐나다, 미국 등 북극권 국가들뿐 만 아니라, 북극활동을 활발히 하고 있는 중국도 신규 쇄빙연구선을 건조 추진 중이다. 주요 국가들의 최근 쇄빙선 건조 동향은 다음과 같다.

가. 러시아[1)]

○ 러시아는 신규 원자력 쇄빙선단을 구축하기 위하여 Universal Atomic Icebreaker 프로젝트를 2017년부터 60MW 급의 원자력 쇄빙선 건조를 목표로 추진 중이며, 북극해 가스자원 개발과 운송을 위하여 쇄빙 LNG선을 2014년 대우조선해양에서 총 16척을 신규 건조 추진 중

○ 시베리아의 천연자원 개발을 위해 쇄빙선 선단을 운용하고 있으며, 1985년까지 총 84척의 쇄빙선을 보유하고 있는데 그 중 16척은 북극해용 Polar class 쇄빙선이고, 또 20척은 발틱해 정도의 빙상조건에 적합한 Sub-arctic용 쇄빙선이며 Polar class 쇄빙선 중 4척은 축마력 75,000 SHP의 원자력 추진기관 보유

나. 캐나다[2)]

○ 1970년대 북극해 주변에서 천연자원의 개발이 활발하게 진행됨에 따라 규모가 큰 쇄빙선 및 쇄빙선단을 보유하고자 1978년 길이 209m에 28,000 DWT의 단독 쇄빙상선 Arctic호(캐나다의 CASPPR 규정 Class 2)를 건조하여 일반 선박이 북극해에서 1개월 항해 가능했던 기간을 6개월로 연장

○ 캐나다의 해안경비대(Canadian Coast Guard)는 현재 6척의 북극해 전담 쇄빙선(Louis S. St. Laurent, John A. MacDonald 등)을 보유하고 있으며, 2020년

1) 북극물류동향, NSR운항 관련 러시아의 북극해 쇄빙선 현황, 2015,03
2) http://www.ccg-gcc.gc.ca/eng/CCG/Home

취항을 목표로 Polar Class 8(평탄빙 쇄빙능력 2.4m)인 쇄빙선을 건조계획 중

<그림 5-112. 2020년 취항 예정인 CCGS John G. Diefenbaker의 렌더링 이미지>

다. 미국[3)]

○ 알래스카 해역에서 쇄빙능력을 갖춘 해양연구선 Sikuliaq를 2014년 6월 인도하여 운영 중이며, 주요 사양은 Ice class PC-5(0.76 m 쇄빙능력), 3,429톤(79.6×15.85×5.7 m), 추진기는 5,750 HP의 Azimuth Thruster, 일반 항해 14노트이며 20명의 승조원을 포함하여 46명 승선이 가능

○ 1992년 건조된 쇄빙연구선 N.B.Palmer의 대체 선박으로 차세대 쇄빙연구선(next generation polar research vessel) 건조 추진 중

Length, Overall	115.3 m	378.4 ft
Length, Waterline	103.9 m	340.9 ft
Beam	22.7 m	74.5 ft
Draft	9.0 m	29.6 ft
Displacement	11,200 MT	11,000 LT
Propulsion Horsepower (total, twin propellers)	16.8 MW	22,400 HP

<그림 5-113. 미국 PRV 주요 사양과 이미지>

3) 한국해양수산개발원, 북극해 소식, 2015.03.31

라. 독일[4)]

○ 1982년에 건조되어 활발히 운영중인 쇄빙연구선 Polarstern은 현재까지 30년 이상 북극, 남극의 해양 연구 수행 중

○ 북극활동 강화를 위하여 2012년 Polarstern II의 건조 계획을 수립하여 2019년에 완공을 목적으로 설계 등을 진행 중

○ Polarstern II의 주요 사양이 147×27×11 m, 주엔진 24 MW, 27,000톤인 대형 쇄빙연구선으로, 쇄빙등급이 IACS PC-2이며 승선인원은 총 130명 정도

<그림 5-114. Polarstern II 조감도>

KOPRI 극지연구소

마. 노르웨이[4)]

○ 노르웨이는 1999년부터 쇄빙선 건조를 추진하여 2007년 연구를 시작한 뒤, 디자인, 설계 및 정부 승인 등의 과정을 거쳐 2016년 운항을 목표로 쇄빙선 건조 중

○ 주요 사양은 100×21×8m, 9,000톤, 쇄빙등급 Polar 10(1.0m의 얼음 두께를 5knots의 속도, 0.4m의 얼음 두께를 12knots의 속도)이며, 총 55명의 인원을 수용 가능

○ 수중음향 계측이 가능한 장비를 포함하여 해양학, 해양 생물학, 지질학, 어업, 수산연구 등에 대한 과학기구를 갖추고 있으며, ROV/AUV[5)] 운영과 실험 등을 효과적으로 수행 가능하도록 Moon Pool[6)] 설치

4) 2013_Capetown_icebreaker_Workshop, COMNAP Annual General Meeting (AGM) XXV, 서울, 2013.07.08-10
5) ROV/AUV: 원격으로 조정되는 심해자원 탐사 및 개발용 무인잠수정
6) Moon Pool: 선박의 중심선(Center Line)에 대형개구(Opening)를 Moon Pool(MP)이라고 하며, MP는 해양지원선(Multi Support Vessel, MSV), Oil&Gas 전용드릴쉽 등에 많이 적용

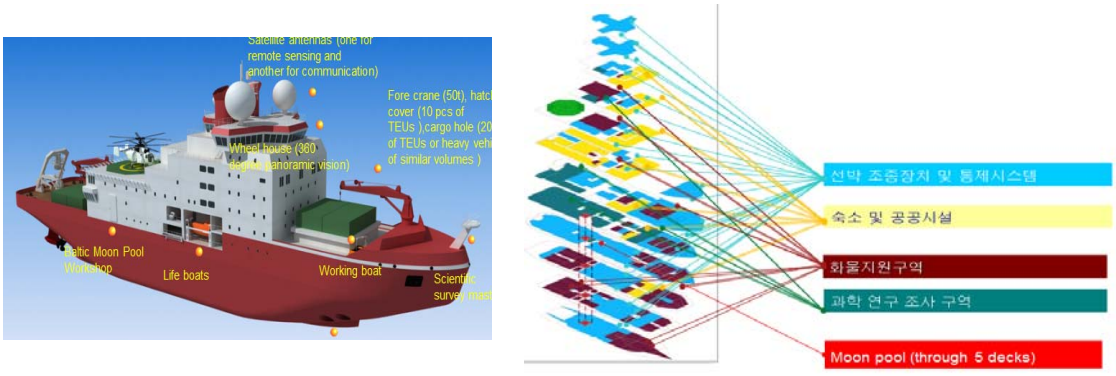
<그림 5-115. 노르웨이 쇄빙선 조감도>

바. 중국[4)]

○ 북극활동 강화를 위하여 신규 건조 중인 쇄빙연구선의 개념설계와 기본설계를 핀란드 Arker Arctic에서 진행 중이며 2015년부터 중국 상해조선소에서 건조 진행 중

○ 주요 사양은 120×22.3×8.5m, 12,000톤급, 쇄빙등급 PC-3(1.5m ice + 0.2m snow, 2-3노트 쇄빙), 추진기 twin-azimuthing propeller drive(POD)이며, 승선인원은 총 90명 규모

KOPRI 극지연구소



<그림 5-116. 중국 쇄빙선 조감도와 갑판별 기능>

4. 국내 기술개발 동향

국내 중·대형 조선소들은 내빙 선박과 쇄빙 선박의 건조에 많은 경험을 보유하고 있다. 특히 내빙선박은 기술적으로 Ice Belt 부근 선체 일부 보강과 엔진의 출력을 변경하지 않아도 되는 선형 설계, 일부 방한 설계만으로 기술적인 많은 부분이 해결되기 때문에 상선 분야에서 내빙 선박의 건조 비중은 일반 상선 건조에서 상당히 많은 부분을 차지하고 있다.

쇄빙 선박의 영업, 건조 및 인도는 1990년대 후반부터 전체 조선업의 매출에서 많은 비중을 차지하지는 않지만 꾸준히 진행되어 왔다. 삼성중공업의 경우 7만 톤 쇄빙 유조선(shuttle tanker) 3척을 2005년에 수주 받아 2008년까지 순차적으로 인도한 바 있다. 이 선박은 러시아 북부 북극해의 바랜디 유전과 무르만스크항구 사이 바렌츠해를 오가는 항로에 투입됐다. 또한 2014년 5만톤 규모의 쇄빙 유조선(Medium Range tanker) 3척을 수주하여 2016년까지 연차적으로 인도 예정이다. 한진중공업은 국내최초의 쇄빙연구선인 아라온호를 2009년 인도한 바 있다. 대우조선해양의 경우 최근 가장 큰 언론의 주목을 받고 있는 17만 톤의 쇄빙 LNG 선박을 수주하여 설계를 진행하였고, 2014년 9월 28일 생산이 시작되는 Steel Cutting 행사가 있었다. 이 선박은 빙등급이 Arc 7(2.1m ice 두께)이고 선박의 길이는 300m에 육박한다. 대우조선해양은 현재 10척의 Yamal LNG선박을 수주하였고, 추가로 6척의 수주가 기대되며, 2016년 중순부터 인도가 예정되어 있다

이처럼 국내 중·대형 조선사들은 전 세계에서 발주되는 대형 쇄빙 유조선, 쇄빙 LNG선, 내빙 Drill ship, 내빙 FPSO 시장을 100% 점유하고 있다. 또한 쇄빙연구선 건조와 설계능력을 보유하고 있어서 쇄빙연구선 시장에도 관심을 기울이고 있다. 그러나 세계의 여러 나라는 자국의 조선 시장을 보호하는 John's Act (미국), 국수국조(중국) 등 정책으로 인해 시장 진입의 제한을 받고 있는 상황임을 고려하여 국내 조선사들과 협력 등을 통한 시장진입이 필요하다.

국내 대형 조선소들의 쇄빙 관련 R&D 개발 현황과 건조 실적 등을 정리하면 다음과 같다.

KOPRI 극지연구소

가. 현대중공업

현대 중공업은 대형 쇄빙 선박의 건조 실적은 없으나 다수의 내빙 선박과 세계 최초 쇄빙형 해양 구조물의 건조를 진행 중이다. 아래 그림은 언론 기사 모습이다[7].

한겨레 2011년 08월 25일 (목) 18면 경제

'쇄빙특수선'으로 북극해를 열어라

현대중, 19만t급 철광석운반선 축소모형 성능검증 성공

'극지방 항로를 선점하라.'

국내 조선업계가 자원개발이 확대될 것으로 기대되는 북극·남극 지역용 특수선 개발에 속도를 내고 있다. 극지용 선박은 영하의 추위에 견딜 수 있고, 두꺼운 얼음을 깨면서 앞으로 나아가는 선형 개발 등 고도의 기술이 요구되는 분야다.

현대중공업은 24일 세계 최대 규모인 19만t급 쇄빙 철광석 운반선에 대한 최종 선형 성능 검증을 최근 성공적으로 마쳤다고 밝혔다. 성능 검증은 캐나다 국립연구센터에 있는 '빙수조'에서 진행됐다. 빙수조 환경은 북극해 가운데서도 가장 극지로 꼽히는 얼음 두께 1.7m의 캐나다 빙해를 축소·재현한 것이다.

이번 실험에서 현대중공업은 길이 310m, 폭 51m 규모의 실제 쇄빙선박을 40분의 1 크기로 축소한 모형이 얼음을 뚫고 6노트(시속 11㎞)의 속도로 운항하는 데 성공했다. 쇄빙상선이란 얼음만 깨는 '전용 쇄빙선'과 달리 독자적으로 얼음을 깨면서 화물이나 원유를 운송하는 선박을 말한다. 지금까지 세계에서 운항중인 쇄빙 화물선·유조선 등은 최대 규모가 7만t급으로, 현대중공업이 이 선박을 실제 건조할 경우 세계에서 가장 큰 선박이 된다.

실험에 참가했던 현대중공업 관계자는 "쇄빙선박은 일반 선박처럼 물의 저항을 이겨내야 할 뿐만 아니라, 두꺼운 얼음 위로 타고 올라가 얼음을 깨고 다시 나아갈 수 있는 선형 개발이 중요하다"고 말했다. 쇄빙상선의 앞부분 아래쪽은 보통 둥글게 튀어나와 있는 일반 선박과 달리, 경사지게 설계돼 있다. 운항속도와 화물수송 능력도 기존 쇄빙선박의 2배에 이른다.

조선업계가 이처럼 극지용 쇄빙상선 개발에 관심을 두는 이유는, 지구온난화로 빙하가 녹아내리면서 천연가스, 원유, 철광석 등이 풍부한 극지의 자원개발이 활성화될 것으로 예상돼서다. 더구나 기존 항로 대신 북극해를 통과하면, 아시아~유럽 항해거리도 40%나 줄어들기 때문에 선박 발주도 늘어날 전망이다.

국내 업체로는 삼성중공업이 2005년 러시아 국영 해운사로부터 7만t급 쇄빙유조선 3척을 수주해, 처음으로 '쇄빙상선' 건조에 성공한 바 있다. 이 쇄빙유조선은 세계 최초로 전·후진 양방향 운전이 가능하도록 개발한 선박으로, 2007~2009년 차례로 선주사에 인도돼 현재 러시아 북부 북극해를 오가고 있다. 한진중공업도 2009년 우리나라 최초의 쇄빙연구선인 '아라온호'(6950t급)를 건조한 바 있다. 현대중공업은 앞으로 극지용 액화천연가스(LNG)선 개발 등에도 나설 계획이다.

황예랑 기자 yrcomm@hani.co.kr

11.9 X 24.0 cm

<그림 5-117. 쇄빙특수선 기사내용>

7) 한겨레신문, 쇄빙특수선으로 북극해를 열어라, 2011.08.24.,
http://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/493233.html

현대중공업 자체적으로 쇄빙 선박의 요소기술에 대한 과제를 도출하여 매년 기술 개발을 하고 있으며 개발된 요소기술의 주요 내용은 아래와 같다.

○ 선형개발, 빙저항 및 조종성능 추정 기술, 특수 추진기

○ 쇄빙 구조설계 및 안전성 평가 기술, 빙충돌 동하중 평가 기술

○ 내한/내빙 의장 기술, 극지환경 운항 기술

[표 5-64] 현대 중공업 R&D 개발 현황(2010년 이후)

Project	크기	Ice 등급	길이 X 폭
개발선	190K	ICE Breaking (1.7m 빙해에서 6knot 운항)	310m x 51m
Project 1	90K ore carrier	ICE Breaking	250m x 43m
Project 2	190K ore carrier	ICE Breaking	330m x 51m
Project 3	80K LNG	ICE Breaking	300m x 48m
Project 4	80K LNG	ICE Breaking	300m x 51m

KOPRI 극지연구소

나. 대우조선해양

대우조선해양의 쇄빙 선박 관련 건조 및 개발 현황은 아래와 같이 정리할 수 있다.

○ Yamal LNG 쇄빙선박 개요

- Project 진행 경과 및 현황

  • 2011년 08월 : 쇄빙선 개념 설계 착수

  • 2013년 07월 : 선표예약 계약 체결 (Slot Reservation Agreement)

  • 2014년 02월 : Sovcomflot사와 제1호선 계약 체결

  • 2014년 09월 28일 1호선 Steel Cutting

  • 2014년 12월 : 총 15척 계약 체결 완료

  • 2019년 03월 : 계약 만료

- Project 발주처

- 용선주/주문주 : Yamal LNG / Sovcomflot, Teekay, MOL 3개 선사

- 주요 제원

- 전체길이/폭/깊이 : 299 m / 50 m / 26.5 m
- 적재능력 : 173 K cbm

- Design concept

- 쇄빙 운항 등급 : Ice class Arc7
- 운전 항로 : Yamal ↔ Murmansk ↔ Europe/India
  Yamal ↔ NSR ↔ Korea/Japan
- 주요 적용 기술

① 최대 영하 52℃의 극한환경에서 운용 가능한 설계조건

② 최대 2.1m(선미 기준), 1.5m(선수 기준) 두께 얼음 파쇄

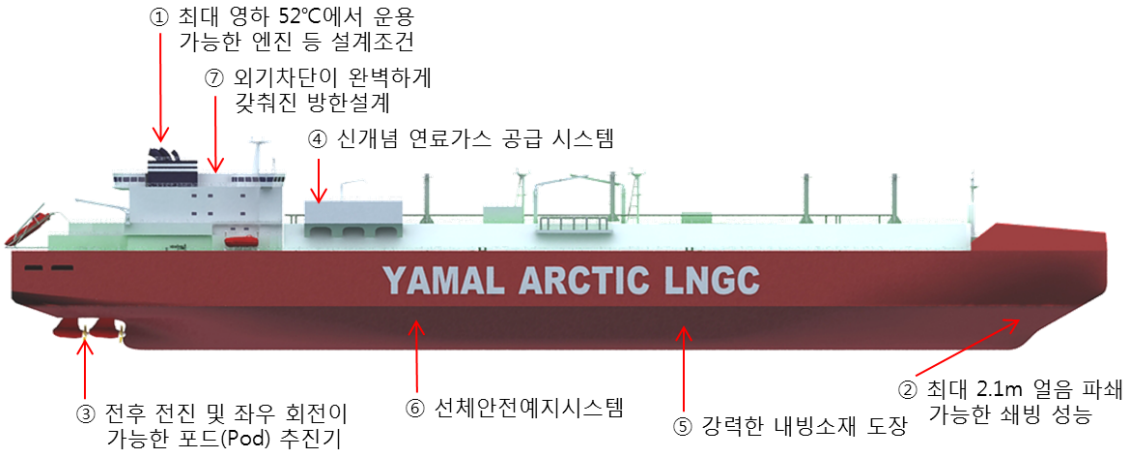
③ 포드(Pod) 추진기 3세트를 사용하여 전후 전진 및 좌우 회전 가능

④ 액화천연가스를 추진연료로 이용하는 신개념 연료가스 공급 시스템

⑤ 빙하와의 잦은 충돌을 견딜 수 있는 강력한 내빙소재의 도장

⑥ 안전예지를 위한 선체응력부하감시장치 등 첨단 기자재와 시스템 적용

⑦ 혹한의 조건에서도 안전한 거주 및 작업이 가능한 방한설비



<그림 5-118. 대우조선해양의 쇄빙 액화천연가스 운반선 적용 주요 기술>

○ 쇄빙 관련 R&D 현황(Yamal LNG 운반선 핵심 기술 개발)

[표 5-65] 대우조선해양 R&D 현황

핵심기술	세부내용
쇄빙 속도 성능	▪ 양방향 쇄빙 운전 (Double Acting System(DAS)) ▪ 쇄빙용 선체 형상 개발 (선수미 쇄빙 선형/연료 경제성 최적화) ▪ 운항 해역 쇄빙 시운전
내한 성능(-52 ℃)	▪ 난방 및 보온 설계 개발 ▪ 반 밀폐식 선수미 구조 ▪ 얼음 방지 설계 ▪ 밀폐형 조종 공간(Bridge) ▪ 기관실 냉각수, 환기 설계 ▪ 거주구 보온 설계
안전 및 선체 강화	▪ 쇄빙구역 선체 강화 설계 ▪ 쇄빙에 따른 LNG 화물창 안전 분석 ▪ 선체 압력 및 부하 감시 체계 ▪ 이중 선체 및 이중 기관실 구조 개발
POD 추진 성능	▪ POD 운전용 선체 개발 ▪ POD 전기 추진 개념 개발 ▪ 기관실 배치 개발
지식재산권	▪ 국내 특허 : 출원 12건, 등록 1건 ▪ 실용 신안 : 출원 5건, 등록 1건

KOPRI 극지연구소

다. 삼성 중공업

2004년도 쇄빙연구선 아라온호 건조사업의 개념 및 기본설계에 참여한 삼성중공업은 쇄빙/내빙 선박의 설계와 건조에 많은 관심과 노력을 기울이고 있다.

<그림 5-119. 삼성중공업 쇄빙유조선 VASILY DINKOV호>

2007년 12월 세계 최초의 쇄빙유조선인 VASILY DINKOV호를 건조하여 인도한 이래 총 21척의 쇄빙/내빙선을 건조 완료하고 현재에도 3척이 건조 중이다. 그간의 건조실적으로는 쇄빙시추선인 STENA DRILLMAX ICE호를 비롯하여, 콘테이너 운반선으로 OOCL CANADA호, 내빙탱커선으로 KOMETIK호 외 15척을, 쇄빙탱커선으로는 VASILY DINKOV호와 KAPITAN GOTSKY호 및 TIMOFEY GUZHENKO호를 건조하여 인도하였다.

[표 5-66] 삼성중공업이 건조한 쇄빙/내빙 선박 실적

▸ Drillship (1척)

No.	SN	Project (선명)	Owner	Displacement	Ice Class
1	1755	STENA DRILLMAX ICE	STENA DRILLING LTD.	96,000	PC4

▸ Container Ship (1척)

No.	SN	Project (선명)	Owner	TEU	Ice Class
1	1158	OOCL CANADA	ORIENT OVERSEAS CONTAINER LINE LTD.	2,200	1A

▸ Tanker (16척)

No.	SN	Project (선명)	Owner	DWT	Ice Class
1	1189	KOMETIK	MCM J/V	127,000	1A
2	1190	MATTEA	UGLAND NORDIC SHIPPING ASA	127,000	1A
3	1293	VINLAND	JJ UGLAND A/S	127,000	1A
4	1424	HUSKY	HUSKY OPERATIONS LTD	132,370	1A
5	1482	BRITISH CORMORANT	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
6	1483	BRITISH ROBIN	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
7	1530	BRITISH CYGNET	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
8	1531	BRITISH KESTREL	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
9	1532	BRITISH FALCON	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
10	1533	BRITISH EAGLE	BP SHIPPING LTD	114,760	1A
11	1571	KRONVIKEN	VIKEN SHIPPING A/S	113,425	1A
12	1572	SOLVIKEN	VIKEN SHIPPING A/S	113,425	1A
13	1575	STENA ANTARCTICA	PREMUDA SPA	113,500	1A
14	1576	STENA ATLANTICA	PREMUDA SPA	113,500	1A
15	1592	SPIKE	GENEL DENIZCILIK NAKLIYATI AS	114,850	1A
16	1593	SHOW	GENEL DENIZCILIK NAKLIYATI AS	114,850	1A

KOPRI 극지연구소

▸ Ice Breaking Tanker (6척)

No.	SN	Project (선명)	Owner	DWT	Ice Class
1	1660	VASILY DINKOV	SOVCOMFLOT	70,000	RS Arc6
2	1661	KAPITAN GOTSKY	SOVCOMFLOT	70,000	RS Arc6
3	1662	TIMOFEY GUZHENKO	SOVCOMFLOT	70,000	RS Arc6
4	2132	-	SOVCOMFLOT	41,800	RS Arc7
5	2133	-	SOVCOMFLOT	41,800	RS Arc7
6	2134	-	SOVCOMFLOT	41,800	RS Arc7

라. STX 조선

STX그룹은 2013년 4월 25일 유럽의 자회사인 아크텍 헬싱키 조선소에서 러시아 최대 국영 해운선사인 소브콤플로트(Sovcomflot)社가 발주한 쇄빙선에 대한 인도식을 개최했다. 이날 인도식은 사울리 니니스토(Sauli Niinisto) 핀란드 대통령과 박동선 주핀란드 한국대사, 알렉산더 루미얀체프(Alexander Rumyantsev) 주핀란드 러시아대사, 세르게이 프랭크(Sergey Frank) 소브콤플로트 회장, 김서주 STX유럽 사장 등이 참석한 가운데 열렸다.

<그림 5-120. 쇄빙선 인도식>

러시아 항해사의 이름인 '알렉세이 키리코브(Aleksei Chirikov)'로 명명된 이

선박은 길이 99.9m, 폭 21.7m 규모로 영하 35도의 극한 상황에서 최대 1.7m 두께의 얼음을 깨며 항해할 수 있다. 이번 선박은 지난 2010년 소브콤플로트社로부터 수주한 극지용 쇄빙선 2척 중 두 번째 선박으로 인도 후 러시아 사할린 지역 아쿠툰 다기(Arkutun Dagi) 해상유전 플랫폼 지원을 위한 화물 운송 및 구조 작업 등에 이용된다.

알래스카를 발견한 덴마크 항해사 '비투스 베링(Vitus Bering)'의 이름을 딴 첫 번째 선박은 지난 해 12월 성공적으로 인도된 바 있다. 에스코 무스타마키(Esko Mustamaki) 아크텍 헬싱키 조선소 이사는 "이번 선박은 최첨단 기술을 접목한 다목적 쇄빙선으로 아크텍 헬싱키 조선소와 소브콤플로트의 지속적인 협력의 산물"이라며 "앞으로도 세계 최고 수준의 극지 운항용 선박 건조 기술력을 바탕으로 틈새시장을 공략해 고부가가치선박의 수주 경쟁력을 높여갈 것"이라고 말했다.

한편 핀란드에 위치한 아크텍 헬싱키 조선소는 STX유럽과 러시아 최대 국영 조선그룹인 USC(United Shipbuilding Corporation)社가 2010년 설립해 극지용 특수 선박 기술 등 차별화된 경쟁력을 바탕으로 러시아 선박 수주를 위해 박차를 가하고 있다.

KOPRI 극지연구소

마. 한진중공업

○ 국내 유일의 쇄빙연구선 아라온호 건조

- 사업 진행 경과 및 현황

  • 2007년 1월 : 쇄빙선 상세설계 및 건조 계약 - 극지연구소

  • 2009년 9월 : 건조 완료 및 인도

  • 2009년 12월 : 쇄빙 능력 시험(남극 테라노바베이 & 케이프벅스)

- 주요 제원

  • 전장 : 111 m

  • 폭 / 깊이 : 19 m / 9.9 m

  • 국제총톤수 : 7,487 톤

  • ICE CLASS : PL 10

<그림 5-121. 한진중공업 건조 아라온호>

KOPRI 극지연구소

○ 쇄빙 관련 핵심 기술 개발 현황

[표 5-67] 한진중공업 쇄빙 관련 핵심기술

핵심기술	세부내용
쇄빙 성능 기술	▪ 쇄빙용 ICE KNIFE 선형 개발 ▪ 1m 두께의 다년생 얼음을 3노트의 속력으로 연속 쇄빙 ▪ 극지 쇄빙 시운전 수행
안전 관련 기술	▪ 자동 위치유지 장치 ▪ 선체 충격감시 장치 및 동하중 분석 ▪ 선체 흔들림 장치(결빙지역 탈출 시 이용) ▪ 횡동요 감쇄 장치 ▪ 쇄빙구역 선체 강화 설계(두께 40mm) ▪ 이중 선체 및 이중 기관실 구조 ▪ 해상상태 8 에서 생존가능 ▪ 내한 성능 특수 도장
추진 성능	▪ AZIMUTH 전기 추진 ▪ 선수 THRUSTER 배치

바. 국내 조선소의 건조 수준

국내 대형 조선소들의 건조실적에서 알 수 있듯이 현대중공업, 대우조선해양, 삼성중공업 등은 제2 쇄빙연구선의 설계와 건조 능력을 갖추고 있다. 또한 제2 쇄빙연구선이 어떠한 기능을 요구한다 하더라도 세계 일등의 조선 기술로 이를 능히 수용할 기술적 준비를 갖추고 있다고 할 수 있다.

국내 조선산업은 전통적인 선박의 건조 능력에서 세계적인 경쟁력을 확보하고 있으며, 특히 일본 등 조선 경쟁국에 비해 탄력적인 설계능력을 보유하고 있다. 실례로 우수한 연구인력 보유 및 고효율 설비 및 원가 경쟁력 확보, 고부가가치 선박 기술의 기반이 되는 기반기술 확보 등을 들 수 있다. 그러나 빙해선박 개발에 필요한 핵심 원천기술 및 중요 기자재의 원천기술 미확보로 해외 의존도가 높은 편이며, 국내 빙해수조 부재로 인하여 다양한 빙성능 연구 및 기반 기술 구축이 어려웠다. 최근 국내에 빙해수조가 구축되었으나, 기술수준이 선진국에 비해 매우 미흡한 상태이다. 따라서 제2 쇄빙연구선의 건조와 더불어 기술개발을 병행함으로써 국내 기술개발 수준을 단순 건조 능력이 아닌 쇄빙·내빙 분야의 설계 및 성능검증 기술 능력을 함께 개발하고 수준을 높여야 한다.

KOPRI 극지연구소

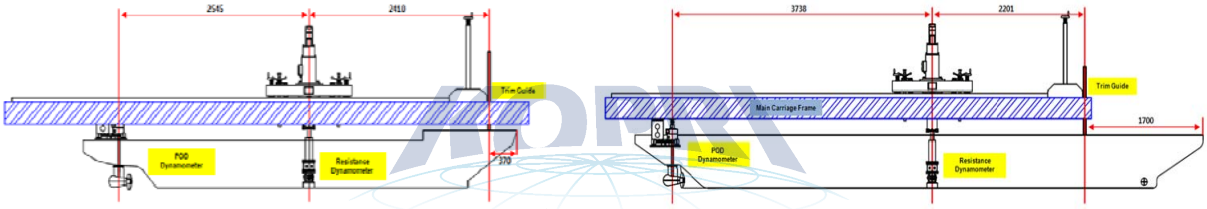
제 2 절 제2 쇄빙연구선 건조사양

1. 주요사양 사전검토

가. 최적 선형 및 성능 평가

(1) 주요 선형 개념

쇄빙 시 주요 선형 항목으로는 선수각, 수선각 및 유도각(Flare Angle) 등이 있으며, Crushing에 의한 쇄빙패턴보다는 Bending에 의한 쇄빙패턴을 보이도록 선수·미 선형을 설계해야 되며, 참고로 쇄빙연구선은 선수각이 35°이고 Arctic shuttle 70K tanker는 25°이다.



KOPRI 극지연구소

<그림 5-122. 쇄빙선 선수각 비교>

<그림 5-123. 쇄빙연구선의 선수 쇄빙패턴 비교 Crushing(상), Bending(하)>

일반 대양항해시 주요 설계개념으로는 단면적곡선(Cp Curve)형상, 늑골선

형상, 선수미 Profile 및 Lcb 위치 등이 있으며, 이중에서 단면적곡선 형상과 늑골선 형상이 추진성능에 미치는 영향이 가장 크다. 따라서 제2 쇄빙연구선의 빙성능과 일반 대양항해 추진 성능 최적화시 형상의 영향을 고려한 선형개발 방법에 대한 연구가 필요하며 다음의 세가지 측면에서 검토가 필요하다.

첫째, 선수부로만 쇄빙기능을 갖는 방법과 둘째, 선수부 쇄빙기능을 포함하여 선미부에도 일부 쇄빙성능을 갖도록 하는 방법, 마지막으로 선미부로 쇄빙하면서 선수부에도 어느 정도의 쇄빙성능을 겸하는 방법이 있을 수 있다.

극지운항 조건을 상세히 비교·분석한 후에 기본 설계시 선형 개발방법을 결정할 필요가 있다. 선수부 쇄빙기능이 중심이 된다면 쇄빙연구선 아라온호 선형을 참고하여 최종 사양과 제원에 따라 제2 쇄빙연구선의 선형을 개발하는 것이 효과적이다.

(2) 초기 성능 평가 방법

초기 성능평가 방법으로는 첫째, 일반 대양항해 시험평가 및 수치해석과 둘째, 빙성능 시험평가 및 빙수치해석(빙두께별, 빙강도별, 흘수별 등), 마지막으로 특수성능 시험평가(빙조종, 빙DP, 빙하중 등)가 있다.

KOPRI 극지연구소

나. 최적 추진시스템

(1) 추진기 특징 및 종류

연중 4계절, 전천후 극지운항이 가능하기 위해서는 저속에서도 강력한 추진력과 큰 토크(Torque)가 요구된다. 또한 선수·미 Ramming 및 우수한 빙조종성능을 위해 신속한 조종제어능력이 필수적이다. 특히 바람, 파도, 해류 및 Drift 등 다양한 해상조건에 따라 결빙해역에서의 위치제어 성능이 우수해야하고 추진시스템의 진동과 소음이 작아야 한다. 따라서 쇄빙선에 주로 채택되는 추진시스템은 Azimuth-podded Type, Azimuth Thruster Type 등의 전기추진시스템과 Ducted Screw Type 추진시스템이 있다.

(2) 전기추진시스템

전기추진시스템은 선회성능이 뛰어나 빙충돌에 의한 하중을 급격히 줄일 수 있으며, 선수·미 Ramming 기능이 매우 우수하다. Azimuth-podded Type 전기추진시스템은 주기관-발전기-제어기-모터-프로펠러로 동력이 전달되므로 에너지

변환에 의한 축전달 효율과 추진효율이 많이 떨어지지만 대용량이 가능하여 대형급 쇄빙선에 적용할 수 있다. 아라온호에 적용한 Azimuth Thruster Type 전기추진시스템은 주기관-발전기-제어기-모터-축계(베벨기어)-프로펠러 순으로 기계적인 동력이 전달되므로 Bevel Gear에 따른 용량제한 및 추가 에너지 손실이 발생함에 따라 대형급 쇄빙연구선 적용에는 한계가 있다. 전기추진시스템은 일반 Ducted Screw Type 추진시스템보다 추진효율이 떨어지고 가격이 높아 쇄빙선, 호화여객선, LNG선 및 FPSO 등의 고부가가치선박에 주로 사용된다.

<그림 5-124. 전기추진시스템, Ducted azimuth thruster type(좌), Azimuth-podded type(우)>

KOPRI 극지연구소

(3) Ducted Screw Type 추진시스템

1982년도에 건조된 Shirase는 3축 Ducted Screw Type 추진시스템을 장착하였으나, 최근(2009년도)에 건조된 일본의 신 Shirase는 2축 Ducted Screw Type 추진시스템을 장착하여 전기모터로 구동하는 추진시스템을 갖추고 있다.

<그림 5-125. Ducted Screw Type 추진시스템>

Ducted Screw Type은 전기추진시스템보다 쇄빙선에서 월등한 추력을 발휘

할 수 있으며 가격이 저렴하다는 이점이 있다. 하지만 상대적으로 넓은 공간이 필요하고 결빙해역에서의 위치제어 성능을 위하여 Stern Thruster를 추가로 설치해야 한다는 단점도 존재하기 때문에 일반 대형 쇄빙상선에서 주로 채택되고 있다.

추진시스템은 쇄빙선의 쇄빙능력(특수 빙성능 포함)과 일반배치 및 선가에 미치는 영향이 절대적이므로, 모든 추진시스템에 대한 설계과정을 통하여 최적화한 후에 조선소와 긴밀히 협의하여 최종선정 되어야 한다.

다. 내빙설계 및 Winterization

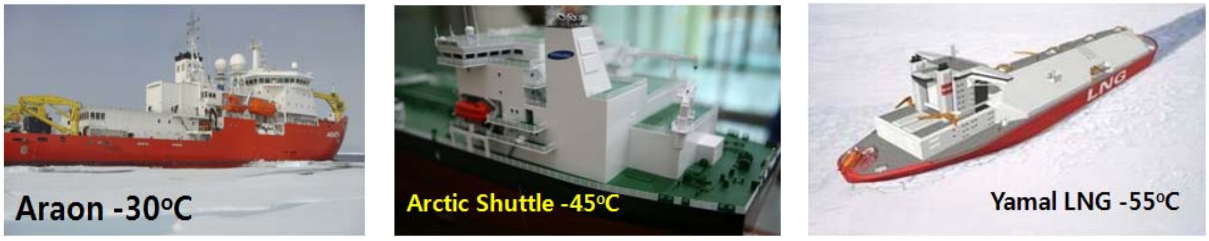
(1) 주요 이슈

연중 4계절 전천후 극지운항이 가능토록 하기 위해서는 선박의 내빙설계 조건과 Winterization 성능 조건을 충분히 만족시켜야 된다. 내빙설계는 결빙과 단열 및 결로가 주요 이슈이며, 착빙(icing)과 결빙(freezing), 저온재료 및 풍속냉각(windchill) 등의 고려사항이 존재한다. 내빙설계 및 Winterization 성능은 선박의 Safety와 Stability에도 지대한 영향을 미치므로 설계단계부터 치밀한 내빙설계와 방한대책을 수립해야 한다.

KOPRI 극지연구소

(2) 대상 장비

- 항해/선교 장비(navigation/bridge equipment) : gyro, radar, antenna, searchlight, CVS, window wiper etc.
- 갑판 장비(deck equipment) : heli-deck, f/w tank, ballast tank, steam deck, walkway, drain, handrails etc.
- 기관실 장비(engine room equipment) : low temperature lubricants and hydraulic fluids, machinary space, sea chest, air vent etc.
- 생존/방화 장비(life saving and fire fighting equipment) : life boat & davit, rescue craft, survival craft, fire fighting appliances etc



<그림 5-126. 실적선에 대한 Winterization 조건 비교>

(3) 초기 저온성능 평가 방법

○ 열전달 수치해석

○ 콜드룸 Anti/de-icing 및 내구성 시험평가

○ 결빙, 단열, 결로, 착빙, 해빙 등

라. 원자로 탑재

(1) 검토 배경

원자로 탑재는 2004년 쇄빙연구선 아라온호 건조사업 중 개념설계 단계에서 광주 고등과학원에 의해 대형화를 전제로한 원자로 탑재가 검토되었다. 그러나 국내 최초의 쇄빙연구선 건조였기 때문에 대형화에 대한 부담과 재원확보의 어려움은 물론, 당시 기술적 완성도와 남극환경보호 추세를 반영하여 불가한 것으로 결론지었다. 2009년도 한국해양연구원과 한국원자력연구원이 공동수행한 “스마트65 동력원의 해양분야 활용방안에 대한 타당성 평가”를 통하여 추진 가능성을 검토하여, 주요 고려사항과 법규의 정비, 여러 분야의 포괄적 협력과 범국민적인 동의를 제안한 바 있다.

(2) 2004년도 검토결과

광주 고등과학원에서는 기본설계 시 디젤엔진 추진과 원자력 추진(러시아 KLT-40)을 병행하여 기본설계를 수행했으며 2개의 기본설계 결과를 평가한 후 주기관을 확정하도록 제안하였고, 결과적으로 러시아와 기술협력 추진 및 저가의 고출력 추진체 확보를 위한 원자력 추진체(KLT-40)를 탑재하는 방안으로 건의하였다.

그러나 준대형급 이하(6,950톤급)로 추진 중인 쇄빙연구선임을 고려하고, 추진기관별 장단점, 국가별 원자력 추진선박에 대한 입출항 제한과 남극조약 및 유

엔해양법협약의 관련 규정, 남극 활용 시 문제점 등을 검토한 후 원자로의 탑재가 불가한 것으로 결론지었다.

KOPRI 극지연구소

○ 추진기관별 장단점

[표 5-68] 선박 추진기관별 장단점

선박 추진기관별 장·단점			
비교항목	디젤기관	가스터빈	원자로
초기투자비	◯	△	×
연료비	△	×	◯
유지보수	◯	△	×
연료보충/교환	◯	×	×
선박직원확보	◯	△	×
고장수리	◯	△	×
안정성/신뢰성	◯	△	×

○ 국가별 원자력 추진선박에 대한 제약

[표 5-69] 국가별 원자력 추진선박에 대한 제약

국가별 원자력추진선박에 대한 제약			
사전통보 요구국 (7개국)	사전허가 요구국 (8개국)	금지국 (6개국)	입장 유보국 (4개국)
캐나다 지부티 리비아 몰타 파키스탄 포르투갈 아랍에미리트	이집트 키니 이란 말레이지아 오만 사우디아라비아 터키 예멘	아르헨티나 아이티 코트디부아르 나이지리아 필리핀 베네수엘라	콜롬비아 에콰도르 멕시코 우루과이

○ 남극조약 관련 규정

[표 5-70] 남극조약 관련 규정

해당조항	내용
제5조	1. 남극지역에 있어서 핵폭발 및 방사성 폐기물의 처분은 금지한다. 2. 핵폭발 및 방사성 폐기물의 처분을 포함한 핵에너지의 이용에 관한 국제 협정이 제 9조에 규정하는 회의에 대표자를 참가시킬 권리를 가진 모든 체약국을 당사국으로 하여 체결되는 경우에는 그 협정에 의거하여 규정되는 규칙은 남극지역에 적용된다.
제6조	1. 본 조약의 규정은 남위 60° 이남의 지역(모든 빙원을 포함)에 적용한다. 단, 본 조약의 여하한 규정도 동지역내의 공해에 관하여 국제법에 의거한 여하한 국가의 권리 또는 권리의 행사까지 해하거나 영향을 미치는 것은 아니다.
제10조	1. 각 체약국은 어떠한 자도 남극지역에 있어서 본 조약의 원칙과 목적에 위반되는 행동을 하지 않도록 하기 위하여 국제연합헌장에 따른 적당한 노력을 할 것을 약속한다.

○ 유엔해양법협약의 관련 규정

[표 5-71] 유엔해양법협약 관련 규정

해당조항	내용
제23조	외국의 핵추진선박과 핵물질 또는 본래 위험하거나 유독한 그 밖의 물질을 운반하는 선박, 외국의 핵추진선박과 핵물질 또는 본래 위험하거나 유도한 그 밖의 물질을 운반중인 선박은 영해에서 무해통항권을 행사하는 경우, 이러한 선박에 대하여 국제협정이 정한 서류를 휴대하고 또한 국제협정에 의하여 확립된 특별예방조치를 준수한다.

위의 추진기관별 장단점 및 조약, 규정 등을 확인시 원자력 추진 선박은 남극에서 활용할 경우 다양한 문제점을 수반하게 된다.

남극조약 제5조는 남극지역(모든 빙원을 포함하는 남위 60°이남의 지역)에 있어서 핵폭발 및 방사성 폐기물의 처분을 금지하고 있으며, 제10조에서는 남극지역에 있어서 본 조약의 원칙과 목적에 위반되는 행동을 하지 않도록 노력을 할 것을 약속함으로써 묵시적인 핵에너지 사용 자제를 요구하고 있다. 또한 그린피스를 포함한 국내·외 환경단체의 반발 및 국제적 국가위상 실추가 우려된다.

유엔해양법협약과 관련해서도 각 국가는 타국 원자력 추진 선박의 자국 영해 항해를 제한할 수 있다고 명시되어 있으며, 제 23조에 의거해 만약 자국의 영해에서 무해통항권을 행사하는 경우 국제협정이 정한 서류를 휴대하고 특별예방조치를 준수할 것을 요구할 수 있다.

남극은 불완전한 해도 등으로 인해 선박 안전이 취약하기 때문에, 핵추진기관을 탑재할 경우에는 남극조약에 참여하는 다른 국가들로부터 안정성 보장, 사고대책 수립 등을 이유로 심각한 반대에 직면할 것이 우려되는 지역이다. 특히 우리나라는 남극과학기지 보급 등을 위해 뉴질랜드, 칠레 또는 호주의 경유가 불가피하기 때문에 핵추진 쇄빙선을 남극활동에 사용하는 것은 사실상 불가능하다. 추가적으로 원자력 기관에 대한 별도의 전문설계 수행이 필요해 건조기간 연장과 추가 예산 조달이 불가피하며, 원자로 수리와 유지보수, 연료교환 등을 위한 전문인력과 별도의 시설 확보가 필요해 쇄빙선에 원자력 추진체를 탑재하는 것은 불가능하다는 결론을 내렸다.

(3) 스마트65 동력원의 해양분야 활용방안 검토(2009)

스마트65 동력원의 해양분야 활용방안에 대한 타당성 평가(UCPKS036A-2042-7, KRISO) 연구가 한국해양연구원과 한국원자력연구원에서 수행되었다. 우리나라

의 원자력 기술을 바탕으로 개발된 스마트65를 해양분야 동력원으로 활용하기 위하여 스마트65가 탑재된 원자력선박에 대한 타당성 연구를 위해 필요한 해양 관련 법, 규제요건을 검토한 것이다. 즉 적용 가능한 해양분야를 도출하여 경제성 분석과 원자력추진 선박이 가져야 할 주요 기술적 요건에 대해 검토가 수행되었다. 특히, 원자력의 활용 다변화 관점에서 스마트65의 동력원을 활용하기 위한 해양분야의 타당성과 그에 따른 경제성 분석은 해양연구원에서 수행되었다.

스마트65가 탑재된 원자력선박의 원자로와 추진계통, 추가적으로 요구되는 기술개발을 포함하여 선박의 설계·건조에 이르기까지 원자력과 해양산업간의 매우 복잡한 절차와 다양한 분야의 연계분야가 발생하므로 각 분야간의 상호 협력이 매우 중요하다. 따라서 당시 연구과제의 결과물은 향후 심해저광물자원개발용 선박이나 극지 쇄빙선박 등과 같은 고용량 에너지원에 대비한 스마트65가 탑재된 원자력 추진 선박의 기본적인 개념을 정립함으로써 향후 해당분야 개발에 요구되는 원자력 플랜트와 조선분야의 관련기술개발에 크게 기여할 것이다.

스마트65를 탑재한 원자력추진 선박은 장차 예상되는 화석 에너지의 고갈과 지구환경 문제, 심해저광물자원과 같은 미래 해양자원의 개발에 대처하여 우리나라가 확보할 수 있는 가능한 대체 선박 추진시스템으로 고려할 가치가 매우 높다. 이미 미국, 러시아, 일본과 같은 원자력 선진국에서는 이러한 시스템을 개량하여 선박에서 뿐만 아니라 도서지방 전력공급 및 해수를 담수로 활용하는 등 원자력의 활용다변화에 박차를 가하고 있다. 우리나라의 경우 원자력 추진 선박의 실용화를 위해서는 먼저 선박의 목적에 따른 선박로를 설계하고 이에 대한 실험적 검증과 해석을 통해 안전성을 입증해야 대중적인 호응을 얻을 수 있으며, 원자력선의 필요성을 강조하기 위해서 북극의 해상루트와 에너지에 대한 새로운 중요성을 제시한다면 원자력선의 실용화는 불가능한 과제는 아닐 것이다. 그러나 당시 보고서의 기술성 평가를 위해 예시한 외국의 원자력선박을 살펴보면 원자력실험선인 일본의 “무쯔”를 제외하고 모두 대형 선박(총톤수; 수만톤급, 추진력;수만 마력 이상)임을 알 수 있다. 따라서 준대형급(1.2만톤급, 2만마력 내외)으로 추진하는 제2 쇄빙연구선에 원자로의 장착은 현실적인 측면에서 여러 가지로 부적절한 것으로 판단된다.

장차 원자력선 실용화를 위한 과제에는 일체형 선박 원자로 설계 및 인허가 기준 등을 포함한 원자력 선박관련 법규의 마련이 선행되어야 한다. 원자력선박

을 건조하고 실용화하기 위해서는 정치계, 학계, 산업계의 상호 포괄적인 협력과 범국민적인 동의를 얻어야 가능할 것이다.

(4) 최근 기술동향

원자력을 이용한 선박의 추진은 핵분열을 이용한 고밀도의 에너지를 오랜 시간 동안 지속적으로 공급할 수 있다는 장점이 있어, 통상적인 상선의 법규를 적용 받지 않는 대형 군용선박에 주로 적용되어 왔고, 여러 척의 쇄빙선박에도 적용 실적이 있다.

선박에 탑재되는 원자력 추진장치는 기본적으로 육상의 원자로와 동일한 개념을 가지고 있다. 핵분열에 의하여 발생하는 열로써 물을 가열하여 증기를 발생시키고, 발생된 증기로 스팀 터빈을 구동하는 개념이다. 터빈의 회전력을 프로펠러에 직접 전달하거나, 발전기를 구동시켜 생산된 전력을 선박의 전기추진시스템에 전달함으로써 추진력을 얻는다. 선박의 경우에는 상황에 따른 다양한 운영개념과 제한된 설치 공간으로 인하여 육상에 비하여 열효율이 낮다.

선박에 탑재되는 원자력추진시스템 기술은 그 특성상 기술이 공개되어 있지 않으며, 몇 년 사이에 급진적인 기술의 진화나 발전이 쉽지 않는 분야이다. 기술적인 문제가 해결된다고 해도 상선은 물론이고, 쇄빙선의 경우에도 국제적인 안전, 사고에 대한 두려움, 인허가 문제 등과 같은 어려움이 산적해 있다.

2013년의 한국원자력학회의 해양원전 특별위원회의 보고서에 의하면, 기술적인 불확실도와 경제성 및 사회적 수용성 등이 비교적 쉽게 해결 가능한 착저식 또는 부유식 원자력 발전소의 건설과 운용을 통하여 해양에 적합한 시스템을 확보 한 후, 선박에 적용 가능한 원자력시스템을 개발하는 것이 바람직하다고 보고하였다. 따라서 본 시점에서는 원자력 추진에 의한 쇄빙선을 설계하여 적용하는 것은 기술적으로 매우 어려울 것으로 판단된다.

(5) 소결

속력, 추진방식 등과 연계하여 선박의 주요임무에 적합하도록 디젤, 가스, 증기 및 원자력 등 다각적인 검토와 전문가 의견 수렴을 통하여 최적의 주기관 선정이 바람직하지만, 준대형급(약 12,000톤 내외) 쇄빙연구선으로 남극해역 운항을 전제한 극지연구용으로는 원자력 추진체의 탑재는 시기상조로 판단된다.

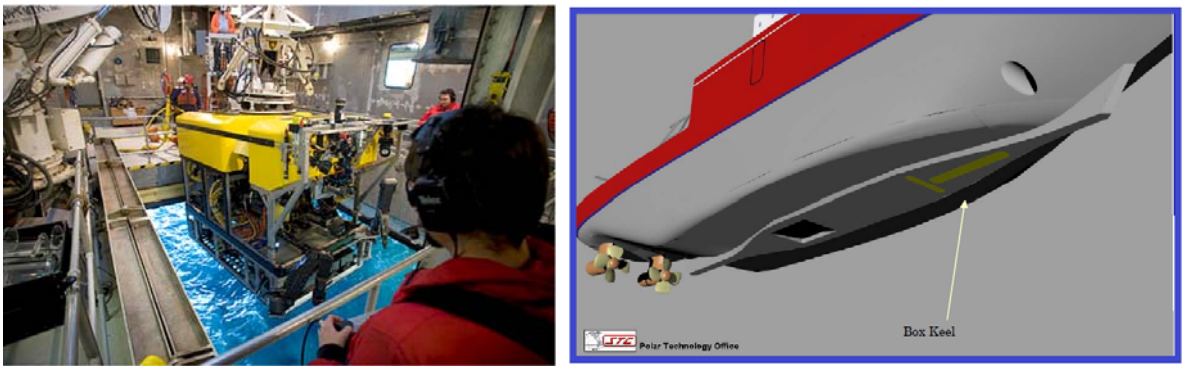
마. 시추성능

(1) Moon Pool이란?

선박의 중심선(Center Line)에 대형개구(Opening)를 Moon Pool(MP)이라고 하며, MP는 해양지원선(Multi Support Vessel, MSV), Oil&Gas 전용드릴쉽 등에 많이 적용된다.

해양지원선과 Oil & Gas 드릴쉽의 경우 주로 드릴링 파이프라인과 해저면 설치장치의 이동 통로를 개설하기 위해 설치되지만 연구선의 경우 MP를 통해 AUV, ROV 또는 CTD 등의 연구활동에 일반적으로 활용된다. 그러나 최근 기술의 발전과 특히 북극해역에서의 탐사에 대한 관심과 수요가 급증하면서 해빙조건에서 안전한 조건 하에서 관측 장비(CTD, 멀티코어, 박스코어, 견인하지 않는 네트류, ROV)를 운영하고 필요에 따라 MP 위에 시추탑을 설치(해체 가능)하여 해저시추를 가능하게 하는 다목적 활용을 위해 독일, 노르웨이, 중국 등에서 새롭게 건조하는 쇄빙선에 MP 설치를 추진하고 있다.

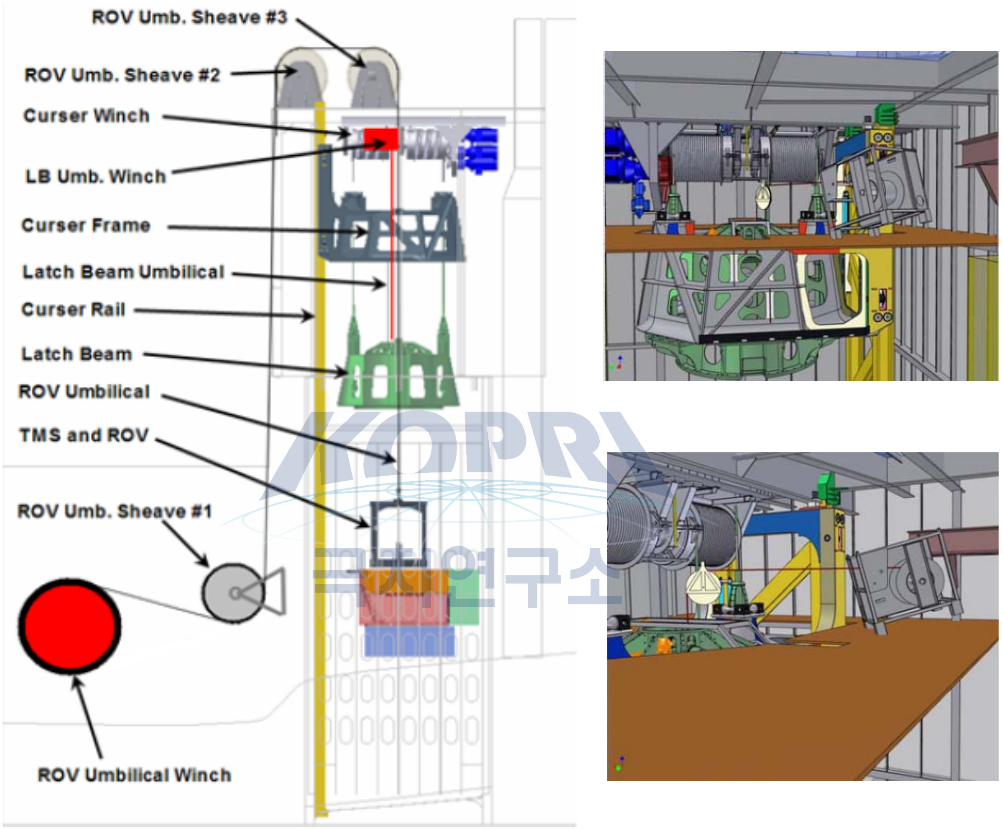
현재 MP 기능을 가진 연구선은 극히 드물지만, 향후 2020년 이후 전 세계의 무한 경쟁이 예상되고 있다. 극지해역의 열악한 해빙 조건에서 탐사를 안정적으로 수행하고 특히 북극해에서 심부시추를 통한 글로벌 이슈인 북극진화역사 및 기후변화연구 등 거대 지질과학분야의 성과도출 및 시추활동을 통해 얻어지는 경제적 이익을 고려할 수 있다. 제2 쇄빙연구선에 설치할 MP 위에 탈부착식의 시추탑을 설치하여 300m 이상의 시추 기술을 확보하는 것이 극지탐사시추분야에서 선도적 역할을 할 수 있을 것이다.



<그림 5-127. Moon Pool>

(2) Moon Pool의 설치위치

Moon Pool(MP)은 선저로부터 특정 갑판까지 개구부(Opening)로 구성되므로 최종 개구부의 위치는 주갑판(Main deck)/Freeboard deck 이상까지 연장되어야 하며, 아래 그림과 같이 MP를 이용한 운용 장비의 높이 및 진·회수 장치의 크기를 고려하여야 한다.



<그림 5-128. Moon Pool의 설치위치>

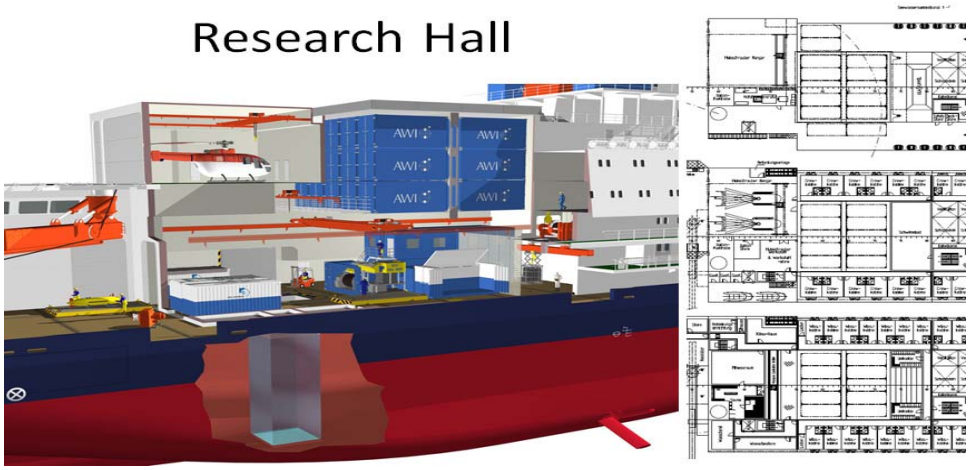
(3) 쇄빙선의 Moon Pool 설치 사례

일반적으로 설치하는 Moon Pool은 공간 활용의 비효율성과 비용의 증가로 인해 특별한 목적을 가진 연구·조사선을 제외하고 설치하지 않는다. 그러나, 쇄빙연구선의 경우 결빙해역에서 연구활동을 수행하는 것을 고려하여 Moon Pool을 설치하는 선박이 있으며, 대표적으로 현재 새롭게 건조 중인 독일의 제2 쇄빙선인 “Polarstern II (2017/2018년 건조완료 예정)”와 노르웨이 쇄빙선 “Kronprins Haakon (2016년 건조 완료)”, 네덜란드 NVC Polar Research Vessel

이 Moon Pool System을 적용하였다. AWI의 Polarstern II는 4x4 m 크기의 MP를 구축 중이며, 노르웨이 쇄빙선 “Kronprins Haakon"은 3x4 m 크기의 MP를 구축하고 있다. 극지해역에서 시추를 위한 해저지질탐사 항차에서는 MP 위에 시추탑을 설치하거나, 다른 분야의 탐사에서는 가변용 시추탑을 해체하고, MP를 이용하여 다양한 장비를 운영토록 하고 있다.

○ 독일 Polarstern II

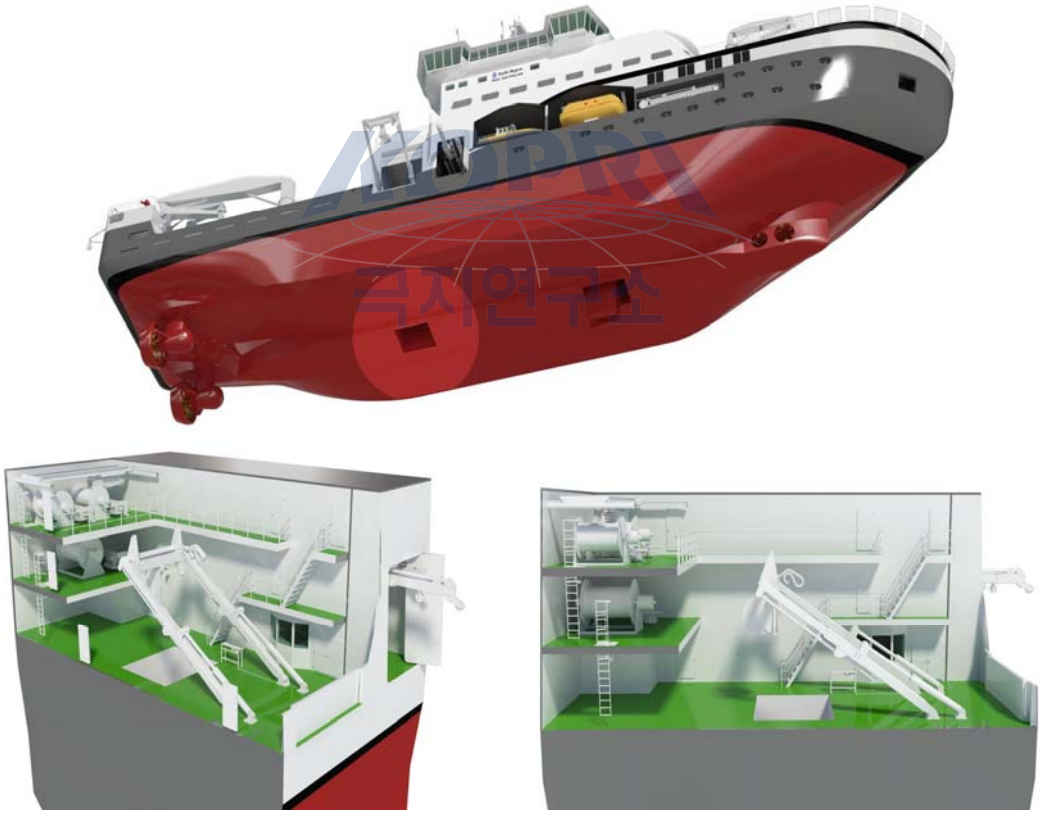
- Polarstern(길이 118m x 폭 25m) → Polarstern II (길이 145m x 폭 27m)
- 흘수: 11m로 동일
- 현재 18,000톤급에서 MP를 갖춘 27,000톤급으로 건조 추진
- MP는 4x4 m 크기로 선미 1/3 지점에 시추탑을 설치하여 사용할 공간은 MP로부터 약 38m의 높이를 확보하여 시추에 필요한 장비 탑재 및 운영하며, 시추탑이 설치하지 않은 경우 컨테이너나 ROV 등 기타 장비 적재하는 공간으로 활용
- 시추탑 (Drill tower): 약 30m의 탈부착 가변형으로 설치하여 운영하며 수심 2,500m에서 500m 이상 해저시추를 할 수 있도록 시추탑을 지탱하는 하부의 하중은 50톤/㎡ 유지
- 시추탑의 설치와 해체를 위해 상부 지붕을 개폐형으로 설치하며 공간에는 컨테이너 배치



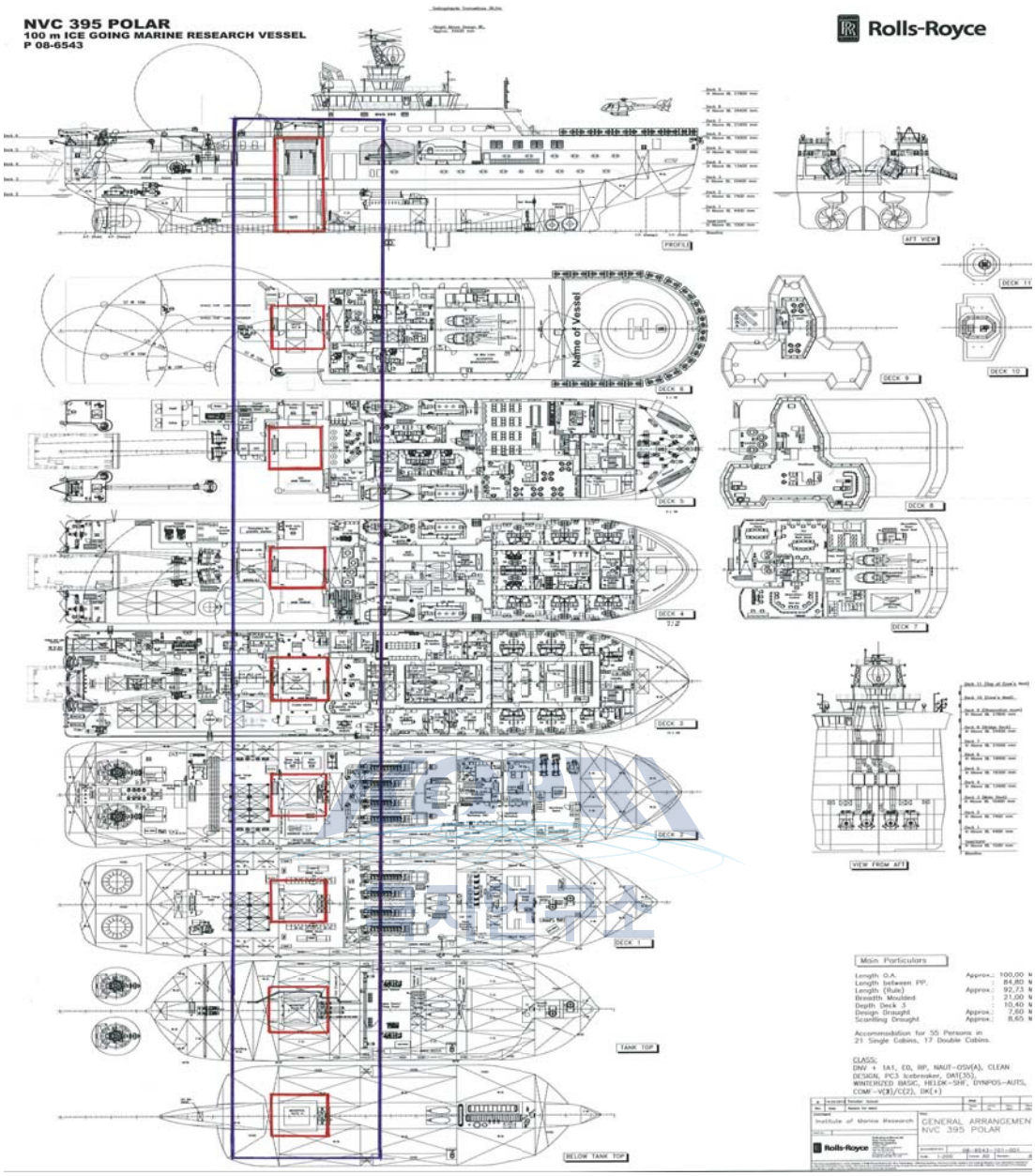
<그림 5-129. 독일 AWI 연구소의 “Polarstern II”의 MP 구조>

○ 노르웨이 쇄빙선 “Kronprins Haakon"

- 쇄빙선 규모 : 길이 100m, 넓이 21m (홀수 8.0m)
- 약 3x4 m 크기의 MP를 적용
- 총 톤수 9,000톤으로 발전기는 4개의 디젤엔진으로 17MW, 추진기는 2개의 Z-drives로 11MW
- DP-2로, 쇄빙등급은 DNV POLAR 10,
- 38명의 승조원으로 포함하여 55명 승선
- 65일 무보급 항해 가능



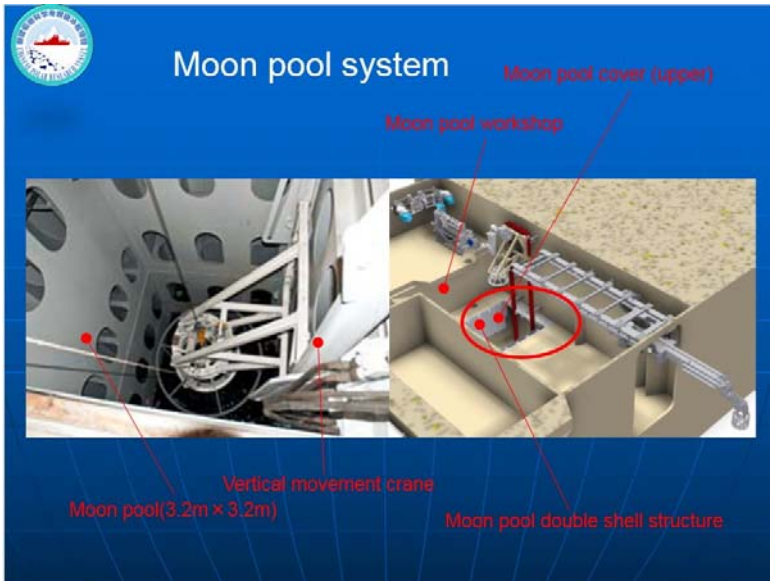
<그림 5-130. 노르웨이 “Kronprins Haakon"의 MP System>



<그림 5-131. 노르웨이 쇄빙선 “Kronprins Haakon"의 일반배치도(MP)>

○ 중국 쇄빙선

- 쇄빙선 규모 : 길이 122.5m, 넓이 22.3m (홀수 8.0m)
- 운항속도 / 항속거리 : 12 ~ 15kn / 20,000해리
- 쇄빙등급 : IACS PC3
- 추진장치 : 15MW(2×7,500kW)
- 3.2x3.2m 크기의 MP을 적용



<그림 5-132. 중국 신규 쇄빙연구선의 MP 운용 System>

(4) Moon Pool 설치를 위한 고려사항

- MP를 이용한 연구활동 장비의 크기 및 빙 해역에서의 사용 여부
- MP 설치 공간 및 높이 고려
  - 향후 ROV 및 내부에서 멀티코어나 박스코어 사용을 고려할 때, 3×3m 크기 이상의 MP 규모를 검토
- MP 외부에 엘리베이터 설치 운영하여 기타 장비설치 운영에 편리성 추진
- MP 위에 탈·부착 시추탑을 설치하여 시추 할 수 있도록 하중 및 구조 고려
- 설치에 따른 비용의 증가 검토 필요
- 설치 시에는 개수구 및 작업공간 확보를 위해 점유되는 공간이 매우 큼을 고려하여 선내 공간활용에 주의해야 함

(5) 해저면 시추시스템의 개요와 배치사례

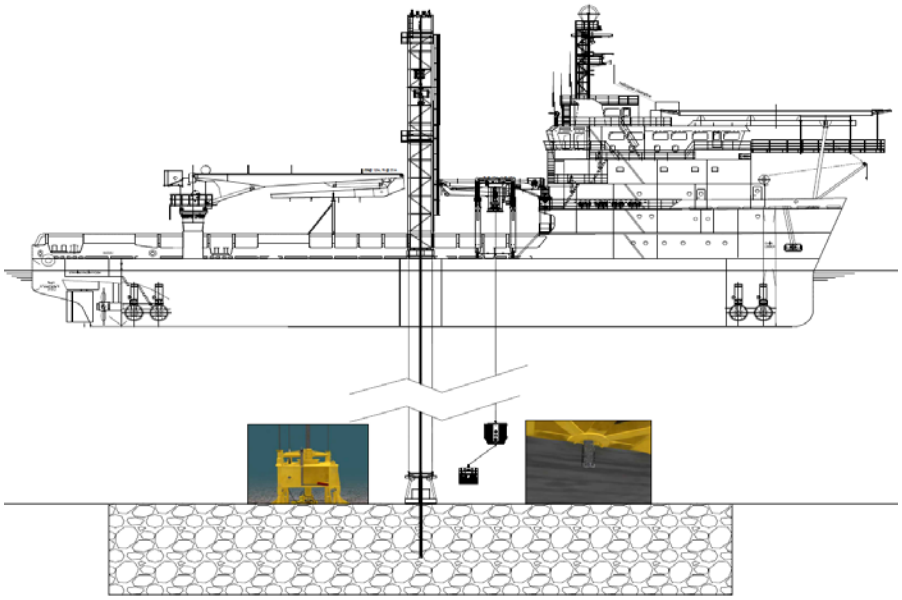
2013년에 한국해양과학기술원에서는 통가의 EEZ 내 독점탐사광구 탐사를 목적으로 사용된 해저면 시추시스템을 사용하였다. 수심 최대 1,200m, 시추심도 최대 20m, 60개 시추공을 대상으로 사용되었다. 시추탑이 설치된 선박에서 드릴스트링을 연결하여 해저면에 미리 착지한 Seabed-frame(SBF)을 통과시켜 해저면 하부를 천공하는 작업을 모식적으로 표현한다. 이때 SBF와 드릴스트링은 시추선박의 정중앙인 무게중심에 위치한 MP를 통해 해상으로의 투하 및 회수가 이루

어지며, 해저면 상황의 실시간 모니터링을 위해 영상장치를 탑재한 ROV를 사용하기도 한다.

시추시스템의 핵심요소는 구동축인 Top-drive와 시추파이프를 장착·지지하는 시추타워, 해저면에 부착되어 시추파이프를 안내하는 SBF를 투하·회수하는 윈치, 드릴파이프를 Top-drive로 신속하게 연결시켜주는 파이프 이송시스템, 각종 운동체에 동력을 제공하는 유압시스템으로 구성되며, 이를 근접하여 통제할 수 있는 컨트롤밴으로 구성된다.

주변 장치로는 시추관내에 이수(mud)를 공급하는 이수펌프와 컨테이너, 선박의 수직요동으로부터 시추시스템을 보호하기 위한 Heave compensator, Top-drive의 수직요동을 방지하기 위한 질소공급시스템, 해저면 실시간 영상 신호 전달을 위한 Umbilical Cable용 윈치, 비상전원을 공급하는 발전기, 시추시스템 유지보수를 위한 Workshop 컨테이너 등이 필요하다.

통가해역의 시추탐사에서는 5x5 m 크기의 MP가 장착된 선박(M/V Manisha)을 사용하였고, 시추시스템의 핵심 장치인 시추타워, SBF 윈치, 파이프 이송시스템, 유압장치와 컨트롤밴이 문풀 주변에 밀집하여 배치되었고, 배치된 크기는 폭 약 20m, 길이 약 30m를 차지하였다. 이수펌프와 컨테이너, 질소발생장치, Workshop 컨테이너를 포함하면 갑판에 설치된 길이는 약 45m에 이른다.



<그림 5-133. 선상 시추시스템의 시추 작업 개념도>

<그림 5-134. 시추선박 M/V Manisha호(좌; 시추타워 설치 전, 우; 시추타워 설치 후)>

<그림 5-135. Drilling Rig 야간 전경>

바. 다중 선급

(1) 선급

선급이란 해당 국가로부터 업무를 위임받아 해상에서의 인명과 재산의 안전을 도모하고 조선해운 및 해양에 관한 기술진흥의 업무를 수행하는 비영리 단체이다. 따라서 주요 업무내용은 정부대행의 검사업무를 중심으로 그와 관련한 해양 서비스 업무 등을 포함한다.

한국선급(KR, Korea Register)은 1960년 6월 민법 제32조에 의거하여 창립된

비영리 사단법인이다. 유사 기관으로 선박안전기술공단(KST, Korea Ship Safety Technology Authority)이 있으며, KST는 선박안전법 제6조에 따라 설립된 특수법인으로 선박의 항해와 관련한 안전을 확보하고 선박 또는 선박시설에 관한 연구·개발 및 보급하기 위한 기관으로, 주로 소형 선박을 대상으로 한다.

쇄빙선 등과 같이 대형 선박을 대상으로 하는 한국선급(KR)의 주요 업무는 아래와 같다.

○ 정부대행 검사업무
- 선박안전법 제60조에 의한 선박 검사
- 해양환경관리법 제112조에 의한 해양환경오염방지검사
- 해사안전법 제48조에 의한 안전관리체제 인증심사업무
- 국제항해선박 및 항만시설의 보안에 관한 법률 제38조 제1항에 의한 항만시설 보안심사업무

○ 해양 서비스 업무
- 선급 등록 및 유지 관련 선박 도면심의, 기술검토 및 승인, 검사
- 선박재료, 기자재의 제 승인 및 검사 업무
- 선박검사와 관련된 기술연구, 소프트웨어 및 규칙 개발 업무

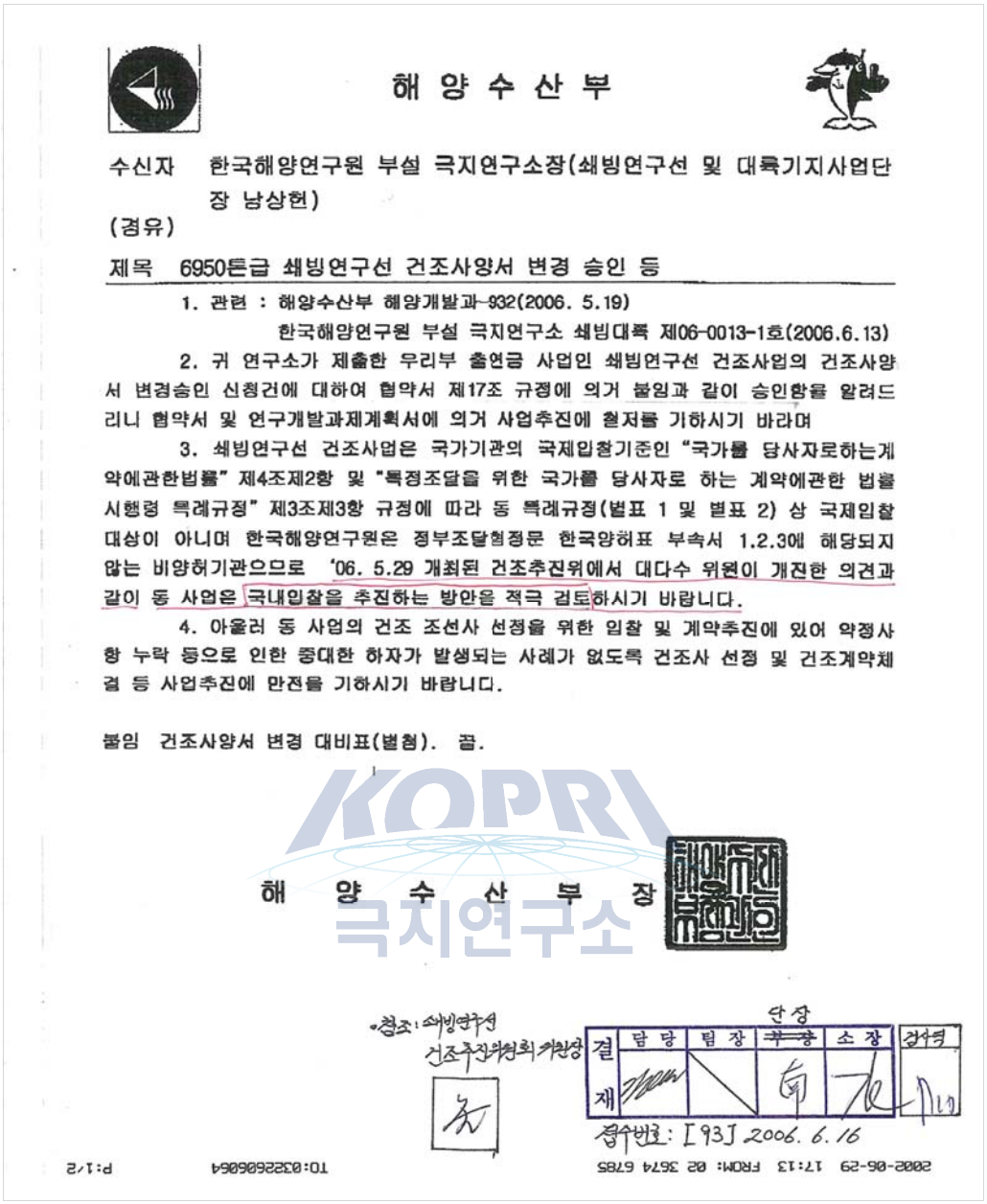
○ 기타 인증, R&D, 교육 등 관련 업무

KOPRI 금지연구소

(2) 쇄빙연구선 아라온호의 선급 적용

2007년부터 본격적인 상세설계와 건조공정이 수행된 쇄빙연구선 아라온호의 건조사업에서는 한국선급(KR)이 적용되었다.

2004년도의 개념 및 기본설계와 2005년도의 실시설계 당시에는, 특정 선급에 국한하지 않고 수행되었으며, 이는 국내 조선소와 설계사가 참여하고 외국 설계사의 자문이 병행되었기 때문이다. 상세설계와 건조에 이르러 국내 최초의 쇄빙연구선 건조라는 상징성을 살리고 국내 조선업계의 기술발전을 도모코자 국제입찰이 아닌 국내입찰로 제한되었고, 더불어 선급도 한국선급(KR)로 지정하면서 제반 내용에 있어서는 DNV를 만족하도록 요청되었다. 당시 KR에는 쇄빙등급을 규정할 만한 경험과 기술력이 갖추어지지 못했지만, 쇄빙연구선 건조사업을 수행하면서 필요한 기술력이 축적될 것을 기대하였으며, 아라온호의 성공적인 건조에 따라 결과적으로 소기의 목적이 달성되었다고 할 수 있다.



해 양 수 산 부

수신자 한국해양연구원 부설 극지연구소장(쇄빙연구선 및 대륙기지사업단장 남상헌)

(경유)

제목 6950톤급 쇄빙연구선 건조사양서 변경 승인 등

1. 관련 : 해양수산부 해양개발과-932(2006. 5.19)
한국해양연구원 부설 극지연구소 쇄빙대륙 제06-0013-1호(2006.6.13)

2. 귀 연구소가 제출한 우리부 출연금 사업인 쇄빙연구선 건조사업의 건조사양서 변경승인 신청건에 대하여 협약서 제17조 규정에 의거 붙임과 같이 승인함을 알려드리니 협약서 및 연구개발과제계획서에 의거 사업추진에 철저를 기하시기 바라며

3. 쇄빙연구선 건조사업은 국가기관의 국제입찰기준인 "국가를 당사자로하는계약에관한법률" 제4조제2항 및 "특정조달을 위한 국가를 당사자로 하는 계약에관한 법률 시행령 특례규정" 제3조제3항 규정에 따라 동 특례규정(별표 1 및 별표 2) 상 국제입찰 대상이 아니며 한국해양연구원은 정부조달협정문 한국양허표 부속서 1.2.3에 해당되지 않는 비양허기관으므로 '06. 5.29 개최된 건조추진위에서 대다수 위원이 개진한 의견과 같이 동 사업은 국내입찰을 추진하는 방안을 적극 검토하시기 바랍니다.

4. 아울러 동 사업의 건조 조선사 선정을 위한 입찰 및 계약추진에 있어 약정사항 누락 등으로 인한 중대한 하자가 발생되는 사례가 없도록 건조사 선정 및 건조계약체결 등 사업추진에 만전을 기하시기 바랍니다.

붙임 건조사양서 변경 대비표(별첨). 끝.

해 양 수 산 부 장

KOPRI 극지연구소

참조: 쇄빙연구선 건조추진위원회 위원장

단장

결재	담당	팀장	부장	소장	검사역

접수번호: [93] 2006. 6. 16

2002-06-29 17:13 FROM: 02 3674 6785 TO:0322606064 P:1/2

<그림 5-136. 국내입찰 권고 공문>

(3) 다중 선급의 적용 필요성

국내 최초의 중형급 쇄빙연구선인 아라온호(7,487톤)의 건조와 달리 준대형급의 제2 쇄빙연구선(12,000톤 이상)을 건조하기 위해서는 보다 면밀한 검토와 점검이 요구된다 하겠다. 아라온호 건조 경험만을 보유하고 있는 KR을 위해서도 많은 경험과 기술력을 지닌 외국 선급의 적용을 병행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

대형 국적선인 경우, 거의 KR에 입급을 하지만 신규 개발선인 경우에는 경우에 따라서는 KR의 경험 및 능력 부족으로 선주 및 조선소가 충분한 기술지원을 받을 수가 없다. 예를 들면, 과거 상선의 경우 모든 조선소가 5,000 TEU급 컨테이너를 건조하고 있을 때 향후 10,000 TEU급 이상 선박을 개발하려면 조선소 단독으로 수행한 것이 아니고 선급을 활용하여 공동개발을 하였다. 그 주된 이유가 선급의 풍부한 경험과 기술력 그리고 필요시 선급규정도 개정하거나 제정해야 하기 때문이다.

또한 제2 쇄빙연구선과 같이 쇄빙기능, 조사기능, 저항추진, 내항성능, 진동소음, 수중방사소음성능 등 고도의 기술능력이 요구되어 결점을 최소화하여 성공리에 건조하려면 경험이 부족한 KR 단독으로는 무리라고 판단된다. 만일 국내 조선소 기술이 뛰어 나다면 조선소가 KR을 견인할 수 있지만 바람직한 방안이 될 수 없으며 제2 쇄빙연구선 건조를 통한 시너지 창출 측면에서도 대안확보가 필요하다. 이러한 측면에서 다중 선급은 필요하다고 판단된다.

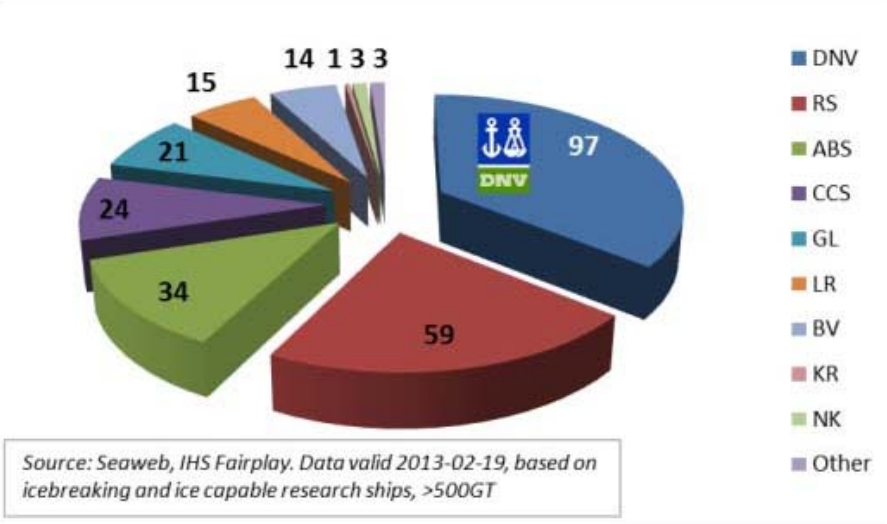
다중 선급으로 할 경우, 외국 선급이 가지고 있는 기술을 자연스럽게 KR과 조선소가 기술이전을 받는 효과가 있다. 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소(KRISO)의 수조도 초창기에 외국 수조와 공동으로 모형시험을 하면서 오늘날의 국제적인 기술을 보유한 수조로 발전을 할 수 있었다. 즉 우리나라 해군의 군함을 모형시험할 때 KRISO를 주계약자로 하고 실제 모형시험은 외국에서 하면서 기술을 전수 받았다.

최근 신규 쇄빙선박을 건조 중인 중국의 경우에도, 개념 및 기본설계를 외국(AARC, Aker Arctic Technology Inc.)에서 수행한 후 실시설계는 자국에서 진행하고 있지만, 자국 선급(CCS, China Classification Society)과 영국 선급(LR, Lloyd's Register)를 적용하는 다중 선급을 채택하고 진행 중인 것으로 알려진다.

단점으로는 비용의 추가로 발생되는 어려움이 있으나, 총 건조비용과 다중 선급의 효과에 비한다면 적은 비용으로서, 이러한 문제는 재원만 뒷받침된다면 쉽게 해결될 수 있으며, 선급간의 협의를 통하여 추가비용은 최소화 시킬 수 있다고 판단된다. 즉 KR도 기술전수를 통한 능력의 제고라는 측면을 고려하면서 외국 선급과 원만한 협상을 통하여 조정이 가능하다고 하겠다.

다중 선급을 채택할 경우에는 대표적 외국 선급인 DNV, GL 또는 ABS 등을 고려할 수 있다. 아래의 그림에서 알 수 있는 바, 쇄빙선의 적용 선급이 DNV(노

르웨이), RS(러시아), ABS(미국), GL(독일) 등이 대부분을 차지하고 있다. 따라서 노르웨이, 독일, 미국 등의 경험과 기술을 활용할 수 있기 때문에 적극적인 검토가 필요하다고 판단된다.



<그림 5-137. 쇄빙선의 적용 선급 분포>

KOPRI 극지연구소

2. 부문별 사양 내용

가. 기본 요구사항

(1) 규모와 속도

○ 추정 규모 : 전장 120 m/선폭 22.5 m/흘수 8.5 m 이하

○ 경제속력 : 13 kts

○ 총톤수 : 12,000 톤급

북극해에서의 쇄빙선으로서 독자활동이 가능하고 결빙지역에서의 화물선의 인도, 비상시 조난선박의 구조, 연구선으로서의 활동 및 보급선 기능을 보유한 선박이 되기 위해서는 아라온호 보다 규모가 큰 중대형급 선박이 되어야하므로 약 12,000 톤급이 적절하다.

아라온호가 경제속력 12노트, 최대속력 16 노트인 것을 감안하여 국내에서 극지방까지 이동거리 단축 및 효율적인 이동속도 확보를 위해 경제속력 13노트 이상이 요구된다.

KOPRI 극지연구소

(2) 선급 : KR/DNV Polar 20, DAT -45℃, DP 2

아라온호의 쇄빙능력은 1m의 평탄빙을 3노트의 속도로 운항할 수 있는 KR Polar 10 등급이다. 아라온호는 남극에서 11월부터 3월까지 연구활동 및 보급업무를 수행하고, 북극에서는 8월, 9월에 연구활동을 수행하고 있다. 그러나 극지에서의 쇄빙연구선의 운항기간 연장 및 쇄빙선으로서의 역할을 강화하기 위해서는 향상된 쇄빙 능력이 요구되었다. 이에 제2 쇄빙연구선은 2m의 평탄빙을 쇄빙할 수 있는 KR Polar 20 등급을 적용하여 아라온호 보다 우수한 쇄빙 능력이 필요하다. 쇄빙능력이 향상되어 결빙지역 항해기간이 증가함에 따라 내한성능을 강화하여야 한다. 아라온호에 적용된 DAT -35℃의 경우 눈이 내리거나 파도에 의한 결빙현상으로 운항에 어려움이 있었다. 따라서 내한성능 기준을 DAT -45℃로 상향 조정하여 갑판과 선박 외벽의 내한성능을 강화하였다. 제2 쇄빙연구선은 연구 목적의 선박으로 연구활동의 정확성을 확보하기 위하여 아라온호와 동일한 기능으로 DP 2 적용이 필요하다.

(3) 항속거리(20,000 해리) 및 운항지속기간(74일)

항해거리는 연료 보급 없이 20,000 해리를 항해 할 수 있어야 하며 운항 지속 기간은 74일이다. 이는 북극해에서 어려운 연료의 보급사정을 감안하여 한 번의 보급으로 최대한 운항할 수 있는 한계일로, 어느 해역이라도 현장조사 또는 구조·구난 활동의 수행이 가능한 거리와 기간을 의미한다.

(4) 주 추진장치

구체적인 추진장치 사양은 상세한 기술적 검토가 필요하지만 극지에서 고립되어 안전이 우려되는 점을 고려할 때 독립된 2기의 추진기를 고려해야 한다.

아라온호를 포함한 대부분의 쇄빙선들은 결빙해역에서 조정성능이 탁월하며, 360° 회전이 가능한 추진장치(Azi-POD, Azimuth)를 채택하고 있다. 얼음이 산재하는 등 결빙해역의 특성을 극복하기 위하여 방향조정의 용이성을 확보하여 짧은 거리에서 전진과 후퇴를 반복하거나 주변 얼음을 밀어낼 수 있는 기능을 갖는 시스템이 필요하기 때문이다.

(5) 주 동력장치(엔진)

쇄빙을 위해서는 일반 선박 운항의 2~3배의 동력이 필요하다. 따라서 쇄빙연구선에는 주 동력장치인 발전기(엔진)를 4기로 구성·탑재한다. 정상 항해 중에는 통상 1~2기를 운전하며, 쇄빙 시에는 최대의 출력을 사용한다. 아라온호는 관리의 용이성을 위하여 동일한 용량의 엔진 4대 설치하여 운영하였는데, 정박 또는 저속운항 등 부하가 작은 경우에도 고용량의 엔진 1대를 가동해야 했다. 제2 쇄빙연구선에서는 부하에 따라 적당한 용량의 엔진을 선택할 수 있도록 동력장치 용량의 차별화가 필요하다.

(6) 승선 인원

아라온호의 승선인력 규모는 85명으로, 운항에 필수적인 선원과 필수 보조인력(헬기 탑재 시 조종사와 정비사, Bear Watcher, 주방 보조인력 등) 및 경우에 따라 승선해야 하는 미디어 취재인력 등을 제외하면 실제적으로 가용한 추가 승선인력 규모가 40명 이하로 제한되기 때문에 충분한 연구인력의 탑승이 어려운 실정이다. 그동안의 여러차례 연구항차시 경우에 따라서는 일부 연구팀 전체의 승선이 배제되기도 하여 해당 연구활동을 취소해야하는 상황이 발생하기도 했다. 따라서 효율적인 제2 쇄빙연구선의 활용을 위해서는 승선인력의 규모 확대가 절대적으로 필요하다.

제2 쇄빙연구선의 승선인력 규모는 승조원, 연구인력, 지원인력 및 기타인력으로 구분하여 추정한다. 제2 쇄빙연구선의 승조원은 규모, 항해기간 등을 고려하여 아라온호 보다 많은 30명 내외로 추정한다.

제2 쇄빙연구선은 북극 중심으로 활용할 계획이기 때문에 충분한 현장조사 기간을 확보할 수 있다. 기존의 부족한 항차기간을 적절히 연장하여, 동일한 해역을 대상으로 연구를 진행하는 3~8개의 연구팀을 공동승선시켜 연구활동을 병행할 수 있다. 따라서 각 연구팀별로 5~15명 정도의 인력이 구성되는 것을 고려하면 50명 내외의 연구인력 승선이 가능해야 한다. 북극연구 활성화를 위해 별도의 국내연구자와 국제협력 외국연구자를 할당하여 연구인력은 65명을 추정한다.

지원인력은 2대의 헬기 운영에 따른 조종사와 정비사 약 5명, 아이스 네비게이터 등 결빙해역 전문 운항인력 2명, 선의 1명, 서비스 지원인력 4명 및 지원 총괄인력 1명 등 13명으로 구성해야 한다.

기타인력으로 미디어 홍보, 교육활동(해기사 현장실습 등) 등에 12명을 할당하되, 연구인력, 지원인력 및 기타인력을 조율하여 120명 규모로 조정한다.

(7) 화물 적재

제2 쇄빙연구선은 우선적으로 북극활동에 활용될 계획이나, 남극에서의 연구, 보급 및 지원활동도 고려할 필요가 있다. 이에 남극현장 지원 및 과학기지 지원 업무 수행을 위해서 화물적재능력을 보유하여야 한다. 화물 적재능력은 50 TEU 이상을 확보하되 약 15 TEU의 냉동컨테이너가 포함된다. 북극활동 시에는 일반화물의 적재공간으로 활용될 수 있다. 또한 컨테이너 외 드럼, 가스등은 산적화물로 적재되는 위험화물이므로 별도의 공간에 대한 고려가 필요하다.

(8) 탱크 용량

운항유는 90%의 적재로 약 74일을 항해할 수 있도록 약 2,250㎥을 보유한다. 기지보급유는 기지에서 1년간 활용할 수 있는 유류(약 650㎥)를 적재할 수 있어야 하며, 특정 연료탱크에서만 혼용할 수 있도록 분리되어야 한다.

2대의 헬기를 충분한 시간동안 운항할 수 있도록 헬기유는 약 60㎥를 저장하게 하고, 청수는 500㎥이상을 확보하여 운항지속기간 동안 승선인원에게 안정적으로 제공할 수 있도록 한다. 일일 조수량은 50톤 이상을 확보할 수 있도록 준비한다.

(9) 기중 장비

아라온호는 25톤의 선수크레인 용량을 보유하고 있으나, 특수물품의 하역시 용량 부족으로 작업이 불가능한 상황이 발생하고 있다. 선수 크레인의 안정된 운영은 물론 남극대륙 탐사용 중장비의 선적과 하역을 위해서는 최소 35톤 이상의 인양중량이 필요하다. 즉 극지에서 컨테이너 운송에 필요한 동력선 하역이나 보급을 위한 특수 중장비 등을 포함한 모든 선적물품은 제2 쇄빙연구선의 기중장비에 의존하기 때문이다.

선미에는 ROV, 롱코어 등 15톤급 하중을 다룰 수 있는 대용량 크레인이 필요하다. 용량은 15톤과 5톤으로 하며 작업반경을 헬리데크까지 사용범위로 하여 연구장비 선적·하역의 활용성을 높이도록 한다.

(10) 헬기 운영

헬기콥터 착륙장은 극지 활용도가 높은 카모프 헬기(인양 중량 5톤)를 기준으로 헬기 착륙장을 구비한다. 아라온호에는 카모프 헬기를 보관할 수 있는 격납고가 독립적으로 설치되어 있으나, 공간이 비좁아 원활한 운영관리가 어렵다. 따라서 헬기 격납고는 충분한 공간이 확보되는 일체형 격납고를 구비할 필요가 있다. 필요시 소형 AS-350급의 헬기 2대 이상을 동시에 격납할 수 있도록 고려해야 한다.

(11) 통신 장비

제2 쇄빙연구선의 활동영역을 고려하여 어디에서나 접속·이용이 가능하도록 위성 TV와 신속한 정보 교환이 가능하도록 인터넷 전용 수신기를 설치한다.

나. 연구 공간 요구사항

대부분의 연구 공간은 주갑판 중앙부에 위치하도록 설계한다. 이는 대부분의 연구 활동이 주갑판 후미에서 이루어지기 때문이다. 장비 설치, 재배치, 철거 등이 원활하고 연구실들이 인접해 있도록 설계를 하였기 때문에 상호 연관된 연구활동을 수행하는데 편리하도록 하는 데 중점을 두어야 한다.

연구 공간은 주 건식연구실을 비롯하여 총 13 개의 연구실로 구성되어야 한다. 대기과학실을 제외한 나머지는 모두 주갑판 중앙부에 위치하도록 설계한다. 연구실은 크게 물을 직접 취급하는지 여부에 따라 건식 연구 공간과 습식 연구 공간으로 구분한다.

(1) 건식 연구 공간

○ 음향 및 지구물리 연구실(주 건식 연구실)

본 공간은 음파를 이용하여 해저의 특성 및 지구 내부의 조성, 지각의 변동, 해저 퇴적물의 특성 등을 연구하는 공간으로 본 연구실에 설치된 모든 음향 장비를 제어 및 측정된 데이터 분석, 기록이 가능하도록 설계한다. 본 공간에는 추후 장비 설치를 고려하여 본 연구실부터 선미 갑판까지 연결된 이동용 과학 장비 데이터 케이블 설치용 PIPE가 설치되어야 한다. 설치 장비는 다중 빔 음향 측심기를 비롯하여 아래와 같은 장비들이 위치하도록 설계한다.

- 다중 빔 음향 측심기(Multibeam Echo Sounder)
- 다중 빔 음향 측심기용 대형 플롯
- 천부지층 탐사기(Sub Bottom Profiler)
- 천부지층 탐사기용 플롯
- 정밀 수심측정기(Precision Depth Recorder)
- 위치·자세 제어기(Attitude & Positioning System)
- 동기화 장치(Acoustic Synchronization Unit)
- 해상 자력계(Marine Magneto Meter)-
- TV Grab
- 다중채널 탄성파 탐지기(Multi-Channel Seismic System)
- 다중채널 탄성파 탐지기용 플롯

○ 해양 연구실(건식 연구실)

본 공간은 파랑 역학, 해류 그리고 해양-대기간의 상호작용 등을 연구하는 공간으로 다양한 해양 장비를 제어 및 분석, 기록하는 장비들이 설치되어야 한다. 설치 장비는 어군탐지기를 비롯하여 아래와 같은 장비들이 위치하도록 설계한다.

- CTD
- Underwater Undulating Instrument System
- 과학 어군탐지기
- MOCNESS
- 초음파 유속계
- Scanning Sonar

○ 중력 연구실

KOPRI 극지연구소

본 공간은 지구물리를 연구하는 데 있어 기본이 되는 해상의 중력값을 측정하는 연구실로 본 쇄빙연구선의 중심이 되는 곳에 위치하도록 설계하여야 한다. 중력계는 zero-length spring을 이용하여 중력을 측정하는 장비이기 때문에 보다 정확한 중력 값의 측정을 위해서는 가장 흔들림이 적은 곳에 설치하여야 하기 때문이다.

- 해상중력계

○ 대기과학 연구실

본 공간은 극지방의 대기환경 및 기후 등을 연구하는 곳으로 다른 연구실은 모두 주갑판 쪽에 위치하나 유일하게 본 연구실만 선수 쪽에 위치하도록 설계한다. 또한 다른 연구실과 다르게 선수 방향에 좌·우, 상·하에 총 4 개 이상의 공기 유입구가 설치되어야 한다. 본 연구실은 최대한 오염되지 않은 자연 그대로의 공기를 장비로 보내기 위해 선수 쪽 높은 곳에 위치하도록 설계한다. 또한 선수의 Foremast와 Main mast에 대기관측을 위한 다양한 센서 장비들이 설치되어야 한다. Compass Deck부분에는 특정 항해 중 대기과학 실험용 소형 컨테이너가 비연속적으로 설치될 수 있도록 공간과 장치가 마련되어야 한다. 컨테이너 내부에는 실험용 기기가 부착되기 때문에 220 VAC 방수전원 연결 장치가 설치되어야 한다.

- Aerosol Sizing Instrument
- Weather Station
- LIDAR
- Satellite Data Acquisition System

KOPRI 극지연구소

(2) 습식 연구 공간

○ 지질·고기후 연구실

본 공간은 다양한 corer 장비 및 dredge 등을 이용하여 해저에서 채집한 퇴적물과 암반 표본을 처리하고 분석하는 연구공간이다. 아래와 같은 장비 및 설비가 되어야 한다.

- Core Scanner System
- 암석 절단기
- Refrigerator, Oven, Marine Scale, Fume Hood
- 입체현미경

○ 발틱실

본 공간에는 해양연구에 가장 기본적인 장비 중 하나인 CTD를 보관하고 운용하는 곳으로 내부에는 10ℓ, 20ℓ급 해수 Bottle 보관소와 작업대, 그리고 CTD가 자유롭게 출입이 가능하도록 하부에 전용레일과 대차가 설치되어야 한다. 또한 본 격실 내에는 물을 많이 사용하는 공간이기 때문에 해수가 고이지 않도록 바닥에 배수 처리시설을 갖추어야 한다.

- 방수형 작업 테이블
- Water Sampler Rack
- CTD & CTD Traversing Device

○ 해수분석 연구실

본 공간은 CTD를 이용하여 채수한 해수를 분석 연구하는 공간으로 CTD를 보관하는 Baltic Room과 출입할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 실시간으로 채수되는 표층수를 바로 얻을 수 있는 장치가 마련되어 있으며 물을 많이 사용하는 공간이라 바닥에 충분한 배수시설을 갖추어야 한다.

- 오염되지 않은 해수 공급 장치
- Refrigerator & Freezer, Fume Hood
- Secondary Evaporation System

KOPRI 극지연구소

○ Autosal Room

본 공간에는 염분을 측정하는 공간으로 실시간으로 표층수를 얻을 수 있는 장치와 함께 염분측정 장비가 구비되어야 한다.

- Auto Salinometer
- 오염되지 않은 해수 공급 장치

○ 화학분석 연구실

본 공간에는 해양의 용존 고체와 기체, 그리고 이들 성분이 지질학적으로 또는 생물학적으로 해양에 미치는 영향 등을 연구하는 실험장비가 설치되어야 한다.

- Deepfreezer
- Secondary Evaporation System
- Refrigerator & Freezer
- UV/Visible Spectrophotometer
- GC/MS

○ 생물학 연구실

본 공간에는 해양생물의 분포와 특성, 생물에 대한 해양과 대기의 영향, 해양생물로부터의 유용한 물질의 추출 등을 연구하는 실험장비가 설치되어야 한다.

- Clean Bench
- Fume Hood
- Auto Clave
- 고속 원심 분리기
- Deepfreezer
- Multi-temperature Incubator
- Light Microscope
- Inverted Microscope

○ 수족관

본 공간에는 해양생물 배양과 시험을 할 수 있는 공간으로 해수탱크가 설치되어야 하며, 연속적으로 다량의 해수 공급이 가능하며 4 개의 플라스틱 튜브형 해수탱크가 있으며 수질보존을 위해 자체여과장치를 갖추어야 한다. 또한, 해양생물 배양과 시험을 하는 데 있어 유용한 장치 중 하나인 명암조절장치가 있어 자유자재로 원하는 시간만큼 명암조절이 가능하도록 설계되어야 한다.

○ 항온 실험실

일정온도를 필요로 하는 샘플의 처리 및 분석을 위한 공간으로 자유자재로 조명조절이 가능한 설비를 갖추어야 한다.

○ 청정 실험실

본 공간에는 Microbiology와 Radioisotope 연구 작업을 위한 장비가 설치되어야 한다.

- Clean Bench
- Fume Hood, Snorkle Hood

○ LAN Office

본 공간에는 선내 통신망을 구성하는데 중심이 되는 각종 서버 및 네트워크 장비가 설치되어야 한다. 이곳에서 모든 연구실을 비롯하여 사람이 상주할 만한 모든 곳에서 선내 통신망을 사용 가능토록 해준다. 또한 각종 항해데이터뿐만 아

니라 각종 연구 활동 시 연구 장비로부터 출력데이터를 선내 통신망이 가능한 곳이라면 어디에서나 실시간으로 연구 활동내용을 모니터링이 가능토록 구성되어야 한다.

- Mast/Slave Main Server
- 스위칭 허브
- UPS
- Ship's Signal Interface Unit

다. 연구 장비 요구사항

제2 쇄빙연구선에는 파랑 역학, 해류 그리고 해양-대기간의 상호작용 등을 주 연구 대상으로 하는 해양 연구 장비, 음파를 이용하여 해저의 특성을 연구하는 음파탐지 장비, 지구 내부의 조성, 지각의 변동, 해저 퇴적물의 특성 그리고 고 기후와 같은 주제들을 연구하는 지구물리 탐지 장비, 해양생물의 분포와 특성, 생물에 대한 해양과 대기의 영향, 해양생물로부터의 유용한 물질의 추출 등을 연구하는 해양생물 관측 장비, 기타 극지방의 대기환경 및 기후 등을 연구하는 기상관측 장비, 그 외 다양한 연구 장비들을 갖추어야 한다.

KOPRI 극지연구소

(1) 해양연구 장비

- CTD
- Thermo Salinograph
- Auto Salinometer
- Underwater Undulating Instrument System
- Sea Water Analyzer
- Underway pCO2

(2) 음향 장비

- ADCP/LADCP
- 과학어군탐지기(Scientific Fish Finder), Scanning Sonar
- 다중빔 음향 측심기(Multibeam Echo Sounder)
- 정밀 수심측정기(Precision Depth Recorder)
- 해저지층 탐사기(Sub-Bottom Profiler)
- 음향동기화 장치(Acoustic Synchronization Unit)

(3) 지구물리 탐지 장비

- 다중채널 해양 탄성파 탐사시스템(Multi-Channel Seismic System)
- 해상 중력계(Marine Gravity Meter), 해상 자력계(Marine Magneto Meter)

(4) 해양지질 관측 장비

- ITRAX Corer Scanner
- TV Grab
- Planetary Ball Mill

(5) 해양생물 관측 장비

- MOCNESS
- Rectangular Midwater Trawl
- Continuous Plankton Recorder
- High Speed Centrifuge
- Light Microscope

(6)대기과학 장비

- Aerosol Sizing Instrument
- Weather Station
- LIDAR
- Condensation Particle C.B.
- Nephelometer
- Aethalometer
- Fast response CO2/H2O analyzer
- Proton Transfer Reaction M/S
- CO/Hg/NO analyzer
- Above Water Spectrometer

KOPRI 극지연구소

(7) 감시 장비

- Wave Meter
- 위치·자세 제어기(Attitude & Positioning System)
- Satellite Data Acquisition System

(8) 기타

- Lan System

- Uncontaminated Sea Water System
- Seismic Compressor System
- GC/MS

라. 연구 지원장비 요구사항

(1) 개요

해양연구를 위한 장비를 운용하는 데 있어 연구 지원 장비는 필수적이다. 해양연구를 위해 측정하고자 하는 해역에 측정용 장비를 넣어 조사하게 되는데 이때 연구 지원 장비의 역할이 중요하다. 원하는 수심과 지역으로 정확히 측정 장비가 위치되어야 제대로 된 측정을 할 수 있기 때문이다. 이러한 조사 작업 및 준비를 위한 지원 장비는 장비의 보수, 점검, 정비, 조립, 등을 위해 충분한 공간 확보성을 고려하여 각 지역에 배치하도록 설계한다.

또한, 북극과 남극 환경 조건에 주로 연구 조사 활동이 이루어지기 때문에 이를 고려하여 장비를 설치하였으며 특히 폭로 갑판 상에 배치되는 모든 장비는 눈이나 해수로부터 보호를 위해 각 장비별 보호커버를 갖추어야 한다.

KOPRI 극지연구소

(2) 연구 지원 장비

○ 해양 윈치

[표 5-72] 해양 윈치

Winch 명	성능	사용 Cable	Slip Ring
Deep-sea Winch	20T @ 30m/min 5T @ 90m/min	Synthetic Rope 1.125"(28.6mm) x 7,500m	-
Electro-Optic and Coaxial Cable Winch	20T @ 30m/min 6.5T @ 90m/min	Electro-optic cable 17.35mm x 8,500m	Focal Model 172/242
		Coaxial cable 17.27mm x 8,000m	Focal Model 180
Small Coaxial Cable Winch	3T @ 60M/min 1.5T @ 90M/min	Coaxial cable 8.03mm x 6,000m	Focal Model 180
Small Empty Winch	5T @ 60M/min 3T @ 90M/min	8mm x 6,000m 급 공드럼	-
Small Deep-sea Winch	6T @ 30M/min 4T @ 60M/min	Steel wire 12.7mm x 8,000m	-
Central HPU	250 HP 이상	-	-

○ CTD 지원 장비

[표 5-73] CTD 지원 장비

Winch 명	성능	사용 Cable	Slip Ring
CTD Winch	3T @ 60m/min	coaxial cable 8.03 mm x 10,000 m	Focal Model 180
CTD Crane	3T ±1.75M 보정 within a period of 8 seconds		–
CTD 장비 전용 HPU	CTD Winch & Crane capacity를 따름	–	–

○ 탄성파 탐사 지원 장비

[표 5-74] 탄성파 탐사 지원 장비

Winch 명	세부항목	성능
Umbilical Winch	Design Load	50 Kn at bare barrel
	Line Pull	30 Kn at bare barrel
	Line Speed	30 M/min
	Max. Drum Capacity	150 m
	Umbilical Diameter	67 mm
Streamer Winch	Design Load	100 Kn at bare barrel
	Line Pull	20 Kn at bare barrel
	Line Speed	60 M/min
	Max. Drum Capacity	2750 m
	Streamer Diameter	59.5 mm

KOPRI 극지연구소

마. 기타 고려사항

(1) Polar Code 준수

제2 쇄빙연구선은 2017년부터 법적 구속력을 갖는 국제협약 Polar Code를 준수해 안전성을 높이고 오염을 방지하도록 설계해야 한다. Polar Code는 강제사항인 Part I-A(안전조치), Part II-A(오염방지조치)와 각 Part 별 권고사항으로 구성된다. Part I의 경우 극지운항 매뉴얼, 구조안전성, 충격에 의한 안정성, 수

밀, 기관, 화재안전, 인명구조 및 설비, 항해 안전, 통신, 운항관리, 긴급조치에 관한 규정이 수록되어 있으며, Part II는 기름오염, 유해액체오염, 하수, 폐기물 등에 관한 오염을 완화시키기 위한 요구사항으로 구성되어있다.

(2) 가열시스템 설치

극지 저온에서의 원활한 작업 공간 확보를 위해 선미 작업 공간(선미데크)에 고온증기 또는 전기열선을 활용한 가열시스템을 갖추도록 검토하여야 한다. 헬리콥터의 안전한 이착륙을 유도하기 위하여 헬기착륙장에도 고온증기 또는 전기열선을 활용한 가열시스템을 갖추도록 검토하여야 한다.

(3) 탱크설비 설치

아라온호에는 항공유 저장탱크가 JP-5 전용으로 되어 있어 범용인 JetA-1을 적재할 수 없는 실정이다. 손쉽게 구입할 수 있는 범용 항공유(JetA-1)를 적재할 수 있도록 탱크 설비(인화점 60℃이하) 설치를 검토하여야 한다.

(4) Cargo Lift 설치

공간의 제약으로 아라온호에는 승객용 Lift만 설치되어, 연구장비 및 시료의 운반시 안전확보의 어려움이 있다. 제2 쇄빙연구선에는 연구장비 및 시료의 안전한 운반과 이동을 위하여 별도의 Cargo Lift 설치를 검토하여야 한다.

(5) 적재공간 확보

쇄빙연구선의 특성상 운항지속 기간이 길고 항해 중 많은 양의 연구장비, 소모품, 선용품이 보관되어야 한다. 다양한 장비 및 물품을 보관할 수 있는 적재공간을 최대한 확보할 수 있는 설계를 해야한다. 선수에 화물을 적재하는 경우, 선수 항해등으로 인하여 헬기운용에 위험이 따른다. 따라서 선수 항해등으로 인한 위험을 줄이기 위하여, 필요시 손쉽게 눕힐 수 있도록 설계하여야 한다. 또한 갑판 작업 공간을 최대한 확보할 수 있도록, 연구장비를 탈·부착식으로 설치하여 사용하지 않는 항차 시 별도 보관되도록 설계하여야 한다.

(6) 저소음형 팬 시스템 설계

아라온호의 경우 선내 공조화 장치가 구별되지 않아 층간, 좌·우 온도차가 심한 경우가 발생하고 또한 심한 소음이 발생하는 문제점이 발생 하고 있다. 이 점을 보완하기 위하여 층별, 좌우 현별 온도, 습도 조절이 가능하도록 하여 쾌적

KOPRI 극지연구소

한 선내 환경을 조성하고 저소음형 팬 시스템 설계를 검토하여야 한다.

(7) 기능별 윈치 개별지원

아라온호에는 연구장비 활용을 위한 모든 윈치들이 하나의 파워팩으로 지원되고 있어서 고장발생 시 모든 윈치를 사용하지 못하게 된다. 복수의 파워팩이 그룹화된 기능별 윈치를 개별 지원할 수 있도록 설계되어야 한다.

(8) 향상된 배관 시스템 설치

쇄빙선의 특성상 쇄빙 시에는 쇄빙충격에 의한 진동이 심하게 발생함으로 기관실 및 선실지역 청수, 열수 파이프가 진동에 의해 크랙이 쉽게 발생할 수 있다. 파이프를 설치함에 있어 진동을 흡수할 수 있는 배관 시스템(플렉시블 조인트 등)을 적용하여 진동으로부터의 손상이 방지되도록 설계하여야 한다.

(9) ISO 6954-1984(E) 적용

반복된 진동이 장기적으로 선박 핵심기기의 고장을 유발하거나 승선자들에게 불쾌감을 일으켜 승선하는 동안 스트레스의 원인이 될 수 있다. 선박운항 전 구간에 ISO 6954-1984(E) 적용으로 상향조정하여 진동으로 인한 문제점 발생을 방지하여야 한다.

KOPRI 극지연구소

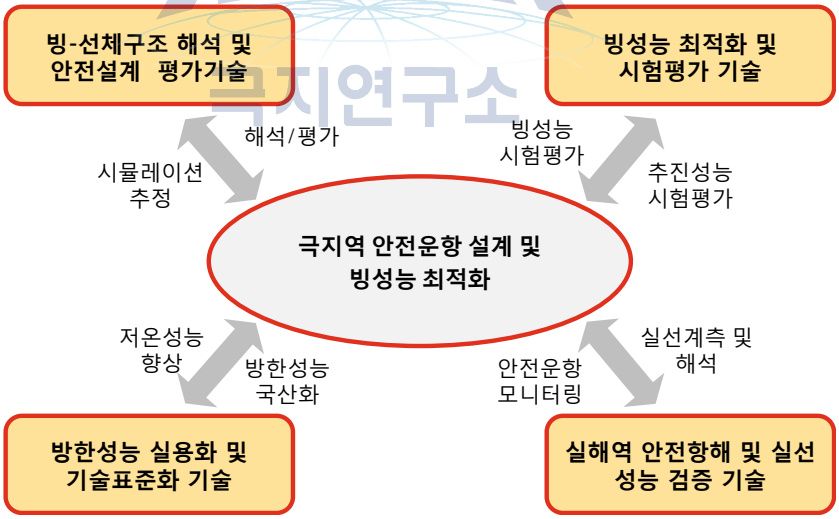
제 3 절 요소기술 개발

1. 기술개발 개요 및 필요성

가. 기술의 정의

극지항로를 안전하게 운항할 수 있도록 쇄빙능력과 설계/건조기술 및 선박 의장품 등 극저온 상태에서의 성능을 검증할 수 있는 기법을 극지역 안전운항 설계 및 빙성능 최적화 기술이라 정의한다.

주요 기술로는 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술, 빙성능 최적화 및 시험평가 기술, 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술 및 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술 등 주요 핵심기술들이 포함되며, 실선계측 시험과 빙해수조에서의 모형시험 기술, Cold room에서의 극저온 성능 시험평가 등을 통하여 본 기술에 대한 구현이 가능하다.



<그림 5-138. 극지역 안전운항 설계 및 빙성능 최적화 기술>

특히 세계 1위 조선산업의 경쟁력을 지속적으로 유지하기 위하여 고부가가치 선박인 빙해선박의 설계/건조/시험기술은 조속히 확보해야 하는 핵심기술이다.

나. 요소기술 분류

본 기술의 특징에 대한 설명에 따라 유빙과 파랑조건을 함께 고려하여 다음과 같이 4개의 요소기술 개발과제를 도출했다. 즉 극지역 안전운항 설계, 빙성능 최적화 기술(①빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술, ②빙성능 최적화 및 시험평가 기술)과 -50°C 저온에서 선체 구조부재 및 탑재 기자재의 방한설계와 기능유지에 관한 기술(③방한성능 실용화 및 기술표준화 기술 ④실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술)로 구성하였다.

[표 5-75] 제2 쇄빙연구선에 대한 요소기술별 세부 기술의 범위

요소기술	세부 요소기술의 범위
1. 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술	▪ 설계 빙하중을 고려한 선체 구조설계 기술 ▪ 쇄빙 거동 및 유빙 충돌의 정밀 시뮬레이션에 의한 선체-빙 상호작용 및 빙하중 추정 기술 ▪ 극한하중에 의한 선체구조손상 해석/평가 기술
2. 빙성능 최적화 및 시험평가 기술	▪ 최적 쇄빙선형 개발 기술 ▪ 빙수조 기반 빙성능 시험평가 및 빙성능 최적화 기술 ▪ 특수 빙성능 시험평가 기술 ▪ 최적 빙-추진기 시스템 선정 및 추진기 성능 최적화 기술
3. 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술	▪ 내빙설계 및 저온성능 향상 기술 (Winterization) ▪ Icing Stability 확보 기술 ▪ 방한성능 기술표준화 및 국산화 기술 지원
4. 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술	▪ 실해역 안전운항 모니터링 기술 ▪ 실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술

다. 기술개발 목적

세계적으로 극지기술을 선도할 수 있는 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선에 대하여 극지항로를 안전하게 운항할 수 있는 주요 요소기술들을 조기에 확보하고자 한다.

○ 실선 빙하중 계측 및 빙-선체구조 안전설계 기술 조기 확보

- 실선 빙하중 계측과 선체구조설계 최적화 및 선체구조 안전성 평가기술 개발을 통한 준대형급 쇄빙연구선의 극지항로 안전운항기술을 조기에 확보함

○ 빙성능 최적화 설계 기술의 전략적 확보

- 충분한 쇄빙능력 확보하기 위하여 국내·외 빙해수조에서 비교 평가시험을 통하여 빙성능 최적화 기술과 실해역 검증 기술 개발하여 향후 고부가가치 빙해선박에 대한 대외 수주경쟁력 제고에 기여함

○ 극저온 성능시험평가 기술 표준화

- 저온용 선박기자재에 대한 저온성능 시험평가와 방한설계 기술을 개발하여 국내 극저온 성능시험평가 기술을 조기에 표준화하고, 국산화를 위한 기술지원 체계를 구축하고자 함

○ 실해역 실선 검증을 통한 선박의 극지항로 안전항해 기술 확보

- 극지항로 운항 시 선박의 안전항해를 도모하기 위해 쇄빙과정에서 발생하는 빙하중 계측 및 선박 구조 건전성 모니터링 시스템을 개발하고 실선시험을 통한 성능검증을 통해 관련 기술을 조기에 확보함
- 세계적으로 극지기술을 선도할 수 있는 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선을 극지항로를 안전하게 운항할 수 있는 주요 기술들을 조기에 확보함

라. 국내 인프라 구축 현황

극지역 운항 시 빙해선박 및 극한지 해양구조물 등에 작용하는 빙하중/빙저항 추정은 설계과정 중 매우 중요한 사항이다. 일반적으로 빙해수조(Ice Model Basin) 시설은 해빙과 유사한 역학적 성질을 가지는 모형빙(Model Ice)을 이용하여 선박 또는 해양구조물 등에 작용하는 빙하중/빙저항 시험을 수행할 수 있는 시설이다. 우리나라는 세계 1위 조선사업의 경쟁력을 지속적으로 유지하기 위하여 국내 최초로 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에 빙해수조를 2010년 5월말 준공하여 가동함으로써 고부가가치 선박인 빙해선박의 설계/건조/시험평가 기반기술을 확보하였다.

<빙해수조>

<콜드룸>

<쇄빙연구선>

<그림 5-139. 국내 극한지 공학 인프라>

○ 빙해수조 제원 및 주요 사양

- 제원 : 42m(L) X 32m(B) X 2.5m(D)
- 장소 : 한국해양과학기술원 부설 해양시스템안전연구소
- 최대 냉동 온도 : -25℃
- 주요시험 : 빙해선박의 빙하중/빙저항 및 추진기 성능시험, 해양구조물의 빙하중 추정 및 안전성 평가 시험
- 주요사양

  • 모형빙 생성 : 3.0mm/hr at -25℃

  • 지열차단 냉각장치 : 수조수 저온 온도 유지

  • 열차단막 : 시험 준비 구역과 결빙구역 분리

  • Ice melting tank : 시험 후 얼음을 녹이는 시설

  • X-Y형 주 예인전차 및 보조 예인전차

  • 냉각기 및 히터 16대 : 천장에 설치

  • 수조수 냉각 및 순환시스템

  • Micro Bubble 발생장치 및 수중 spray 시스템

  • 수중 전차

  • 해양구조물 고정대 설치(Anchoring system)

<그림 5-140. 빙해수조 예인 전차>

○ 빙해수조 내 극저온 콜드룸 2개 확보

- 크기 : 4m x 5m 각각
- 최대 냉동 온도 : -65°C
- 주요시험 : 빙해선박 기자재 저온 성능시험

2. 요소기술 Ⅰ. 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술

가. 기술개발 개요

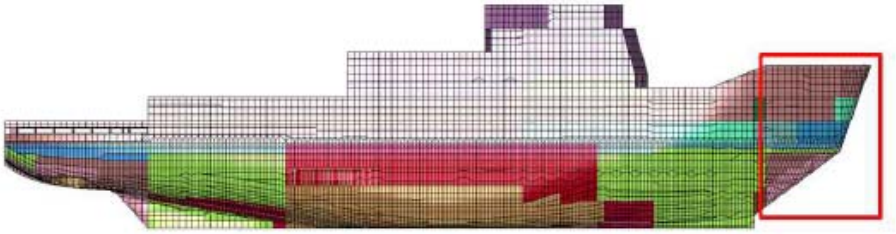
○ 극지역을 항해하는 준대형급 쇄빙연구선 고유기능을 펼칠 수 있도록 빙하중 연성해석, 해빙의 재료특성 분석과 빙충격 구조해석, 빙충돌에 의한 진동-소음 해석 기술 개발을 통해 항해 안전성능을 검증할 수 있는 엔지니어링 기술

○ 빙-선체 상호작용은 빙의 강도 및 파괴 특성에 크게 의존하므로 해빙의 재료적 특성(해빙은 기온, 풍속, 조류 등 생성조건에 따라 기계적 특성이 민감하게 달라짐) 연구를 바탕으로 구조 해석, 충격해석, 빙 하중평가 기술을 개발하여 구조 안전성과 신뢰성 확보가 필요

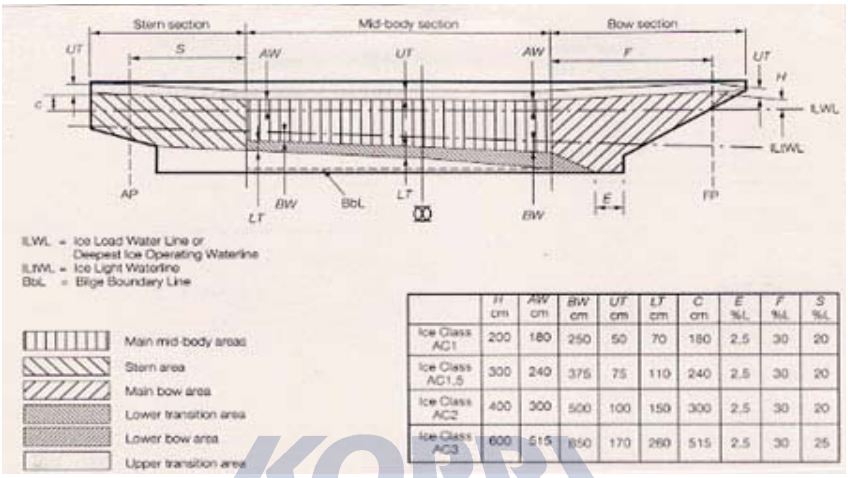
○ 빙해지역을 항해하는 선박의 구조적 안전성을 보장하기 위해서 다음과 같은 기술들이 빙해선박 선체구조 해석 및 안전설계 평가기술의 핵심기술이라 할 수 있음
- 설계 빙하중을 고려한 선체구조 설계 기술
- 쇄빙 거동 및 유빙 충돌의 정밀 시뮬레이션에 의한 선체-빙 상호작용 및 빙하중 추정 기술
- 빙충돌에 의한 선체구조손상 해석/평가 기술

나. 세부 요소기술별 연구내용

○ 설계 빙하중을 고려한 선체 구조설계 기술
- 파랑하중과 쇄빙 시 빙하중 및 유빙 충돌에 의한 충격하중 등 제반 극한하중을 고려한 선체의 구조 설계 기술
- Met-Ocean Information DB 구축
- 파랑조건에서 유빙의 유체동역학적 특성 평가
- 유빙-구조물 상호작용을 고려한 계류시스템 설계
- Green Water와 얼음의 연성해석
- 국부적 극한 하중을 고려한 선체 구조부재의 초기 구조설계



<그림 5-141. 쇄빙연구선에 대한 선체구조해석용 선체 모델링>



	H cm	AW cm	BW cm	UT cm	LT cm	C cm	E %L	F %L	S %L
Ice Class AC1	200	180	250	50	70	180	2.5	30	20
Ice Class AC1.5	300	240	375	75	110	240	2.5	30	20
Ice Class AC2	400	300	500	100	150	300	2.5	30	20
Ice Class AC3	600	515	850	170	260	515	2.5	30	25

<그림 5-142. 빙하중을 고려한 쇄빙선의 구조적 보강>

KOPRI 극지연구소

○ 쇄빙 거동 및 유빙 충돌의 정밀 시뮬레이션에 의한 선체-빙 상호작용 및 빙하중 추정 기술

- 쇄빙선의 특징적인 하중인 쇄빙 또는 유빙 충돌 시의 빙하중과 이로 인한 구조손상 가능성을 평가하기 위하여 선체와 빙의 상호작용을 비선형 유한요소법으로 정밀하게 시뮬레이션 하는 기술
- 극 지역에서의 쇄빙 및 유빙충돌에 대한 합리적인 시나리오 개발
- 빙-선체 상호작용 해석의 핵심이 되는 빙의 재료특성 분석
- 수치해석을 위한 빙 재료특성의 모델링 기술
- 빙 충돌 및 상호작용의 추정을 위한 정밀 수치 시뮬레이션 기술

○ 극한하중에 의한 선체구조손상 해석/평가 기술

- 극지역의 빙 충돌과 파랑 하중 등 극한환경 하에서 선체구조의 붕괴 가능성을 평가하여 이를 선박의 구조설계에 반영하기 위한 기술
- 극지환경에서의 빙 충돌 하중과 파랑 하중 등 설계 극한하중 추정
- 설계 극한 하중조건에서 선체의 국부 및 전선 최종강도 평가

다. 국내외 기술 동향

○ 국외 주요국의 기술개발 현황

[표 5-76] 요소기술-Ⅰ 관련 국외 주요국 기술개발 현황

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
캐나다	실선 빙하중 계측 기술	상용화	MOTAN 계측 시스템	NRC-OCRE
			실선 부착 스트레인게이지 /압력패널 계측 시스템	ILS, AARC, NRC-OCRE
캐나다, 독일	빙하중 추정 수치시뮬레이션	상용화	MDVL 시뮬레이션 패키지	NRC-OCRE
			빙-선체 상호작용 수치 시뮬레이션	HSVA
캐나다	빙 모델링 기술	Pilot	빙-선체 상호작용 해석	MUN

○ 국내 기술개발 현황

[표 5-77] 요소기술-Ⅰ 관련 국내 기술개발 현황

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
기업 연구	자체예산	기술 검토	Arctic LNGC 화물창 구조해석	HHI
			Arctic LNGC 화물창 구조해석	DSME
교육부	우수연구센터지원 사업	Pilot	빙하중 추정 기술과 빙 모델링	해양대
			RMRS 설계 빙하중 규정 분석	해양대

라. 주요 성과지표 도출

○ 성과지표 #1 : 실선 빙하중 추정 정도 향상율
- 빙의 재료특성을 합리적으로 고려한 빙 모델링
- 1년생 및 다년생 평탄빙 재료특성 추정
- 유빙의 재료특성 추정
- 빙의 재료특성과 빙하중의 상관관계 연구 및 구조설계 적용

○ 성과지표 #2 : 내빙 구조설계 신뢰도
- 설계 빙하중 산정 기술
- 내빙 선체 구조 설계 기술
- 내빙 선체 구조해석 및 구조 안전성 평가 절차서 개발

○ 성과지표 #3 : 빙등급(빙두께)에 따른 내충격 구조설계 능력

- 쇄빙 및 유빙충돌 시나리오의 적합성
- 빙 선체 충돌 수치 모델링 및 시뮬레이션 기술
- 선체 구조 최적화 방안 도출

마. 기술수준 및 R&D 목표 분석

○ 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

[표 5-78] 요소기술-Ⅰ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

성능 지표	현재 기술수준 비교		기술개발 목표		
	국내	세계최고수준	1단계 ('17-'18)	2단계 (중장기)	기술개발 완료
실선 빙하중 추정 정도 향상율	40%	100% (러시아,핀란드)	70%	90%	100%
내빙 구조설계 신뢰도	20%	100% (러시아,핀란드)	70%	90%	100%
내충격설계 능력 빙등급 (빙두께)	1m	3m (러시아, 핀란드)	1.5m	3m	3m

KOPRI 금지연구소

바. 연차별 기술개발 목표 및 내용

[표 5-79] 요소기술-Ⅰ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용

세부 기술	1단계		비 고
	2017	2018	
설계 빙하중을 고려한 선체 구조설계 기술	유빙 충돌에 의한 충격하중 해석 기술 개발	유빙의 유체동역학적 특성 평가기법 개발	
쇄빙 거동 및 유빙 충돌의 정밀 시뮬레이션에 의한 선체-빙 상호작용 및 빙하중 추정 기술	선체와 빙의 상호작용을 비선형 유한요소해석 기법 개발	빙-선체 상호작용 추정을 위한 정밀 수치 시뮬레이션 기술 개발	
극한하중에 의한 선체구조손상 해석/평가 기술	극한환경을 고려한 선박의 구조설계 기술 개발	설계 극한 하중조건에 전선 구조해석 및 강도평가 기술 개발	

3. 요소기술 Ⅱ. 빙성능 최적화 및 시험평가 기술

가. 기술개발 개요

○ 연중 4계절(봄, 여름, 가을, 초겨울/늦겨울) 전천후로 안전하게 극지운항을 하기 위해 쇄빙선박이 얼음을 부수고 항행할 수 있는 얼음의 두께(성능) 및 거대 유빙의 충격을 견딜 수 있는 기술을 의미함

○ 개수로(open sea)에서도 운항성능(속도/조종/내항)이 떨어지지 않으면서 쇄빙(ice breaking)능력이 우수하고 선수·미 Ramming 및 우수한 빙조종 성능을 위해 신속한 조종제어능력이 필요함

○ 쇄빙선이 얼음을 깨고 전진할 때의 빙저항과 유빙을 극복하는 추진력을 추정하는 기술이 핵심으로 빙성능 최적화 및 시험평가 기술의 핵심기술은 아래와 같음

- 최적 쇄빙선형 개발 기술
- 빙수조 기반 빙성능 시험평가 기술 및 최적화 기술
- 특수 빙성능 시험평가 기술
- 최적 빙-추진기 시스템 선정 및 추진기 성능 최적화 기술

KOPRI 극지연구소

나. 세부 요소기술별 연구내용

○ 최적 쇄빙선형 개발 기술

- 최적 선형개념 연구
  - 주요목 및 선형계수 비교분석
  - 주요 선형설계 개념 도출
  - 대양항해-쇄빙성능 Compromise 기술
  - 특히 선수미 쇄빙성능 개선
  - 최적 일반배치 기술

- 최적 선수선형 설계 기술
  - 선수 선형계수 변화에 따른 성능 비교분석
  - 최적 선수형상 설계
  - 부가물 형상 최적화 기술

- 최적 선미선형 설계 기술
  - 최적 선미형상 설계
  - 추진시스템 배치 기술
  - 부가물 배치 기술

○ 빙수조 기반 빙성능 시험평가 및 빙성능 최적화 기술

- 빙수조 기반 빙성능 시험평가 기술
  - 일반 대양항해 기본성능 시험평가
  - 빙수조 빙성능 시험평가 및 빙수치해석(빙두께별, 빙강도별, 흘수별 등)
  - 특수 빙성능 시험평가(빙조종시험, Ice DP Test, 빙하중시험 등)

<그림 5-143. KRISO 빙해수조의 다양한 빙시험 조건>

- 빙성능 최적화 기술
  - 빙-선체 상호작용 해석
  - 빙성능 개선을 위한 부가물 설계 기술
  - 극지 EEDI 개선을 위한 빙저항 저감 기술
- 빙성능 수치해석 기술
  - 빙-선체 모델링 기술
  - 빙성능 수치해석 기법 정도 향상
  - 빙수치해석 빙성능 추정 기술
- 모형선-실선 상관계수 연구
  - 빙상조건별 빙성능 비교분석
  - 실해역 실선 빙성능 비교검증을 통한 실선 확장 해석기술
  - 국외 빙수조와 빙성능 비교검증 연구

○ 특수 빙성능 시험평가 기술

- 자유항주 빙조종시험 시험평가 기술
  - 주요목과 선형계수 및 선형형상에 따른 빙조종성능 비교분석
  - 자유항주 빙조종성능 시험평가(빙두께별, 빙강도별, 흘수별 등)
  - Breaking-out test
- Ice DP Test 기술
  - Ice DP 최적 개념 연구 및 시험평가(빙두께별, 빙강도별, 흘수별 등)
  - 최적 Ice DP 최적 개념 도출
- 빙하중 계측시험
  - 빙하중 계측시스템 구축
  - 전체/국부 빙하중 계측 및 해석 연구
  - 실선 빙하중 비교 검증

○ 최적 빙-추진시스템 선정 및 추진기 성능 최적화 기술
- 빙-추진시스템 선정 연구
  - 전기추진시스템(Azimuth-podded type과 azimuth thruster type)과 Ducted 추진시스템 비교분석
  - Dual Fuel 추진 시스템 적용 연구
  - 최적 추진시스템 배치설계 기술
- 빙-추진기 상호작용 해석 기술
  - 쇄빙시 최대 추력, 최소 토크를 목적으로 하는 추진기 날개 형상 최적화
  - Propeller Net Thrust 및 Propeller Over Load 특성 추정 기술
  - Ice operation을 고려한 propeller 강도해석 고도화
  - Ice-milling 해석 기술(빙두께, 빙강도 등)

KOPRI 극지연구소

다. 국내외 기술 동향

○ 국외 주요국의 기술개발 현황

[표 5-80] 요소기술-Ⅱ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
핀란드 캐나다 독일 일본	균일 모형빙 생성 및 물리적인 특성 계측 기술	상용화	모형빙 개발	NRC-OCRE AARC HSVA
			모형빙 생성 및 계측	
	빙시험 및 해석 기술	상용화	다양한 모형빙상태 빙시험	
			빙성능 해석	
핀란드캐나다	빙성능 최적화 및 빙수치해석	기술검토	최적선형 및 추진기 설계	AARC
			선박운항 모사 및 저항성능 추정	NRC-OCRE

KOPRI 극지연구소

○ 국내 기술개발 현황

[표 5-81] 요소기술-Ⅱ 관련 국내 기술개발 현황

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
산업부	국내 유일 빙해수조 사업	기반구축	빙해선박의 원천기술 확보를 위한 빙해수조 기반 구축 사업	선박해양 플랜트연구소
		원천기술 개발	빙해선박의 극지항로 안전운항기술 및 극저온 빙성능 시험평가 기법 개발	선박해양 플랜트연구소
기업 연구	쇄빙선 설계/건조	Pilot	쇄빙유조선 3척	삼성중
			쇄빙연구선 1척	한진중
			대형쇄빙LNG 15척	대우조선
대학	빙역학	기술 검토	저온 콜드룸을 이용한 모형빙 생성기법 연구	해양대
			합성빙을 이용한 Pack ice 상태에서의 빙저항 추정 연구	부산대

라. 주요 성과지표 도출

○ 성과지표 #1 : 균일 모형빙 생성 및 물리적인 특성 계측 정도 향상(얼음두께, 강도, 온도제어)

- Ice Conditions(평탄빙, rubble ice, ridge, pack ice, brash ice) 생성 및 계측 기술
- 균일한 두께 및 강도를 갖는 모형 빙 제작 기술 개발

○ 성과지표 #2 : 빙시험 및 해석기술 국내 확보율

- 모형시험 및 해석법, 실선 시운전과의 상관관계는 시험결과의 신뢰도 향상을 위해 지속적으로 연구되고 있음
- 다양한 모형빙 상태에서의 빙시험(저항, 자항, 조종) 기술 확보
- 모형 시험 결과를 활용한 성능해석(저항, 자항, 조종)

○ 성과지표 #3 : 빙시험 계측 및 성능추정 능력도

- 국외 빙해수조 대비 ± 5% 이내
- 국외 빙해수조와 지속적인 비교시험으로 지속적인 시험정도 관리
- 실선 시운전(빙 특성 및 해역 data 계측, Hull stress monitoring 등) 기술 확보
- 모형 시험 결과와 실선 시운전 결과의 비교를 통한 상관계수 도출

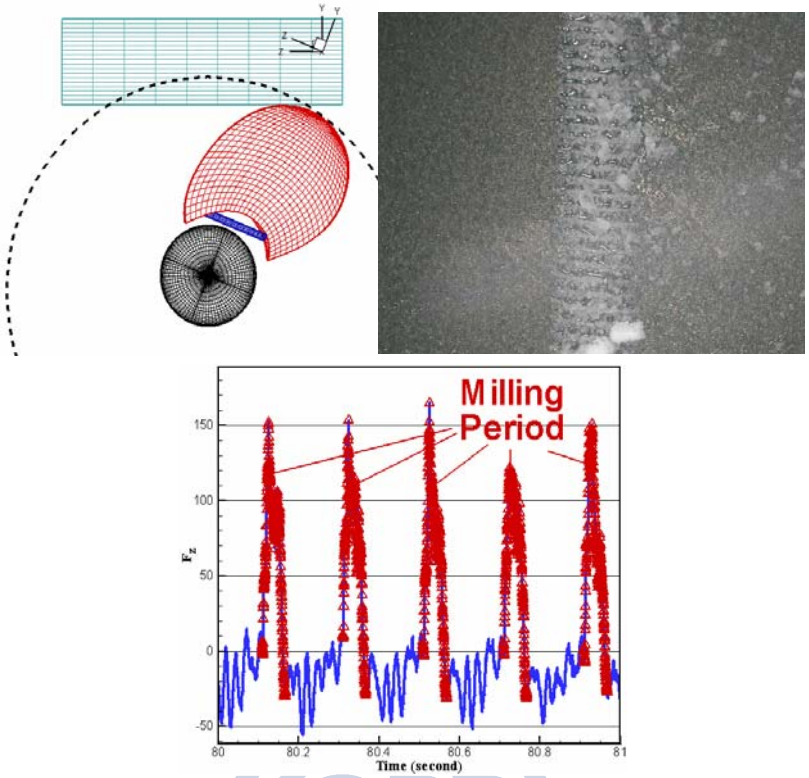
○ 성과지표 #4 : 빙수치 해석 개발 진척율 및 활용도

- 빙특성을 고려한 빙 파단 수치해석 기술 확보
- 다양한 빙 환경에서 선박의 운항 모사 기술 개발
- 빙수치 해석을 통한 저항성능 추정 기술 개발

○ 성과지표 #5 : 특수 선형 및 추진기 설계 기술 최적화 달성도

- 러시아, 미국, 캐나다, 핀란드 등의 북극해 인접 국가들을 중심으로 신선형 개발 및 선형성능 최적화 연구 진행 중. 선박의 운항 조건(빙해역 및 일반해역 운항)을 고려한 최적선형 도출 Mechanism 개발
- 아직까지 빙해선박 설계 선진기술은 주로 소형선에 집중되어 있으며, 미래의 빙해선박에 적합한 선형개념은 아직까지 미개척 분야라고 할 수 있음
- 아래의 그림은 최근에 캐나다 NRC-OCRE 연구소에서 수행한 Propeller-Ice Interaction 연구(ice milling시 propeller에 걸리는 force 계측)의 한 예로서, 이러한 연구는 아직 초기단계 수준이며, Simulation 및 모형시험을 통한 체계적 연구 추진 중

KOPRI 극지연구소



<그림 5-144. Propeller-ice interaction>

KOPRI
극지연구소

마. 기술수준 및 R&D 목표 분석

[표 5-82] 요소기술-Ⅱ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

성능 지표	현재 기술수준 비교		기술개발 목표		
	국내	세계최고수준	1단계 (′17-′18)	2단계 (중장기)	기술개발 완료
균일모형빙 생성 및 물리적인 특성계측 정도 향 (얼음두께, 강도, 온도제어)	±10%	±2% (캐나다,핀란드)	±2%	±2%	±2%
빙시험 및 해석기술 국내 확보율	20%	100% (캐나다,핀란드)	80%	100%	100%
빙시험 계측 및 성능추정 능력도	30%	100% (캐나다,핀란드)	80%	100%	100%
빙수치해석 개발 진척율 및 활용도	20%	100% (캐나다)	50%	80%	100%
특수 선형 및 추진기 설계 기술 최적화 달성도	40%	100% (핀란드)	70%	100%	100%

※ 기술수준 판단기준: 산업부 원천기술개발 사업을 통해 개발된 기술수준을 근거로 산정함

바. 연차별 기술개발 목표 및 내용

[표 5-83] 요소기술-Ⅱ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용

세부 기술	1단계		비 고
	2017	2018	
최적 쇄빙선형 개발 기술	최적 선형개념 도출	최적 선수/미 선형 설계 기술 개발	
빙수조 기반 빙성능 시험평가 기술 및 최적화 기술	빙수조 기반 빙성능 시험평가 기술 개발	모형선-실선 상관계수 정립	
특수 빙성능 시험평가 기술	자유항주 빙조종시험 시험평가 기법 개발	Ice DP 시험 및 빙하중 계측 기술 개발	
최적 빙-추진기 시스템 선정 및 추진기 성능 최적화 기술	최적 빙-추진시스템 선정	빙-추진기 상호작용 해석	

KOPRI 극지연구소

4. 요소기술 Ⅲ. 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술

가. 기술개발 개요

○ 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술은 국내 조선기자재의 극저온 성능검증, 국산화를 통한 기술지원 및 표준화를 위한 기술을 의미함

<그림 5-145. 빙해선박의 착빙 및 결빙>

○ 본 기술은 크게 결빙방지(anti-icing) 기술로서 빙해선박에 탑재되는 의장품들의 극저온 상태에서의 작동성능 평가 및 내후성, 내한성 확보를 위한 기술개발이 주된 사항임

–내빙설계 및 저온성능 향상 기술 (Winterization)

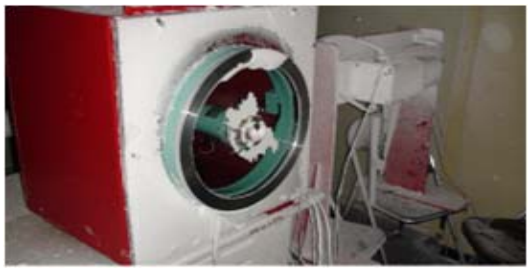
–Icing Stability 확보 기술

–방한성능 기술표준화 및 국산화 기술 지원

나. 세부 요소기술별 연구내용

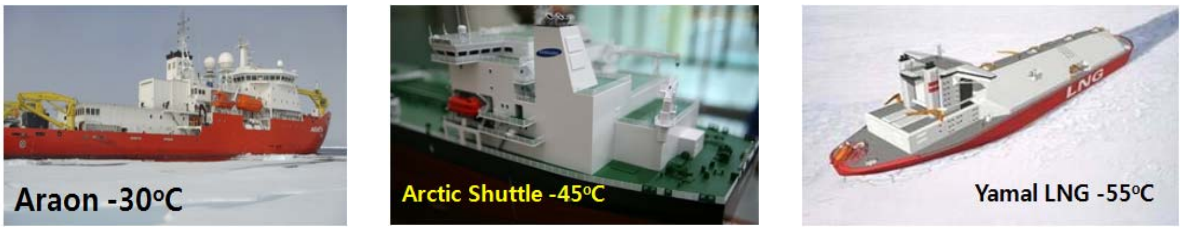
○ 내빙설계 및 저온성능 향상기술 (Winterization)

- 극지용 갑판장비의 결빙방지 기술 개발
  - 상부 또는 저온환경에 노출된 장비들의 결빙방지를 위한 개념설계
  - 갑판장비의 결빙방지를 위한 용량산정 및 최적 배치기술
- 극지용 갑판장비의 저온성능 평가 기술 개발
  - Walkway, Handrail, Fire hose box, CVS, Window wiper 등에 대한 저온성능평가 시험



<그림 5-146. Ice class CVS,-55℃>

<그림 5-147. Ice class window wiper, -55℃>



<그림 5-148. Winterization 비교>

KOPRI 극지연구소

○ Icing Stability 확보 기술

- Arctic Damage Stability 기술 확보
  - 착빙/결빙에 따른 Risk Assessment
  - Icing Stability
  - Understanding the Ice Dynamics
- 저온환경에서 Safety & Operability 기술
  - Arctic Region Operation 교육 프로그램
  - 극지 운항의 유연성 및 안전성 기술 확보
  - 사고 시나리오 정립 및 대책안 제시

○ 방한성능 기술표준화 및 국산화 기술 지원

- 방한성능 기술표준화
  - 결빙(anti-icing) 방지기술
  - 안전지침서 개발 및 인증시스템 구축
- 국산화 기술 지원
  - 국산화 기술지원 체계 구축
  - 한국선급 저온성능 인증 절차 간소화

다. 국내외 기술 동향

○ 국외 주요국의 기술개발 현황

[표 5-84] 요소기술-Ⅲ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
핀란드 캐나다 러시아	결빙방지 및 해빙 설계 기술	상용화	결빙방지 설계	NRC-OCRE AARC AARI
			접근 통로 확보 기술	
	선박기자재 저온성능 평가기술	상용화	저온용 소재 성능평가 기술	
			빙-선박의 상호작용 분석	
	극지운항 생존성 향상, 인명구조기술	기술검토	긴급 예인장치 설계	
			긴급 구난 시스템 개발	

○ 국내 기술개발 현황

[표 5-85] 요소기술-Ⅲ 관련 국내 기술개발 현황

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
지경부	국내 유일 빙해수조 사업	기반구축	Cold room 시설 확보	선박해양 플랜트연구소
			선박기자재 방한성능 평가기법 개발	
연구소	토목건설	기술검토	극한지 토목장비 시험평가	건설기술연
대학	토목건설	기술검토	극한지 건설재료특성 연구	한국해양대

라. 주요 성과지표 도출

○ 성과지표 #1 : 결빙방지 설계기술 국산화 달성도
- 결빙방지를 위한 선박기자재의 배치 및 고정 기술(갑판장비, 배관, 밸러스트 탱크, 창문 등)
- 결빙방지 설계기술(heating 용량, 단열재 배치 등)
- 선박 내 안전한 접근통로 확보 기술

○ 성과지표 #2 : 조선기자재 저온성능 검증기술 국내 점유율
- 선박기자재에 사용되는 저온용 소재의 성능 평가
- 빙-선박의 상호작용 시나리오에 따른 특수 추진기의 최적 설계기술
- 선박의 선종과 크기에 따른 특수 추진기의 최적 설계 기술

○ 성과지표 #3 : 기술표준화 및 품질 인증화율

- IMO 및 ITTC에서 기술표준화 및 절차 등록
- 인증기관화를 위한 행정처리
- 전문 인증기관화

마. 기술수준 및 R&D 목표 분석

○ 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

[표 5-86] 요소기술-Ⅲ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

성능 지표	현재 기술수준 비교		기술개발 목표		
	국내	세계최고수준	1단계 ('17-'18)	2단계 (중장기)	기술개발 완료
결빙방지 설계기술 국산화 달성도	70%	100% (러시아, 핀란드, 노르웨이)	80%	100%	100%
조선기자재 저온성능 평가기술	60%	100% (핀란드, 노르웨이)	80%	100%	100%
기술표준화 및 품질 인증화율	50%	100% (노르웨이)	50%	90%	100%

KOPRI 극지연구소

바. 연차별 기술개발 목표 및 내용

[표 5-87] 요소기술-Ⅲ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용

세부 기술	1단계		비 고
	2017	2018	
내빙설계 및 저온성능 향상 기술(Winterization)	극지용 갑판장비의 결빙방지 기술 개발	극지용 갑판장비의 저온성능 평가 기술 개발	
Icing Stability 확보 기술	Arctic Damage Stability 기술 확보	저온환경에서 Safety & Operability 기술 개발	
방한성능 기술표준화 및 국산화 기술 지원	방한성능 기술표준화 도출	국산화 기술 지원체계 구축	

5. 요소기술 Ⅳ. 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술

가. 기술개발 개요

○ 극지항로를 운항하는 선박이 쇄빙과정에서 발생하는 빙하중의 크기를 계측하고 해석을 위한 구조 건전성 모니터링 시스템을 개발하여 실선 성능 검증을 통해 선박의 안전항해를 도모하기 위한 기술을 의미함

○ 이를 위해 쇄빙연구선 아라온호를 이용한 북극해 운항을 통해 빙상정보 DB 구축 및 실선 빙성능 평가를 수행하고자 함

○ 따라서 본 기술에 대한 세부 요소기술은 아래와 같음
- 실해역 안전운항 모니터링 기술
- 실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술

나. 세부 요소기술별 연구내용

○ 실해역 안전운항 모니터링 기술
- 선박의 안전운항 모니터링 기술
  - 실시간 빙하중/구조응력 계측 및 해석기술 개발
  - 선박의 구조 건전성 모니터링 시스템 개발

○ 실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술
- 극지역 실선 빙성능 검증 기술
  - 실선 시운전 계획수립
  - 극지환경 빙상정보 계측 및 모니터링 기술
  - 실해역 실선 계측시스템 구성
  - 극지역 빙성능 시운전 조건 구축
  - 실선 빙성능 계측 및 해석 기술

KOPRI 극지연구소

다. 국내외 기술 동향

○ 국외 주요국의 기술개발 현황

[표 5-88] 요소기술-Ⅳ 관련 국외 주요국의 기술개발 현황

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발주체
캐나다	실시간 빙하중 계측 및 해석기술	상용화	MOTAN 계측 시스템	NRC-OCRE
			실선 부착스트레인게이지/압력패널 계측 시스템	ILS/WARC, NRC-OCRE
러시아, 캐나다	실해역 실선 성능 계측 및 해석기술	Pilot	실해역 실선검증 절차 및 해석법 개발	AARI, NRC-OCRE
핀란드	실해역 시운전 계측 및 해석	Pilot	모형선-실선 상관계수 해석	AARC

○ 국내 기술개발 현황

[표 5-89] 요소기술-Ⅳ 관련 국내 기술개발 현황

구분	지원사업	개발단계	과제명	개발주체
기업 연구	자체예산	기술 검토	Arctic LNGC 화물창 구조해석	HHI
			Arctic LNGC 화물창 구조해석	DSME
교육과학 기술부	우수연구센터지원사업	Pilot	빙하중 추정 기술과 빙 모델링	해양대
			RMRS 설계 빙하중 규정 분석	해양대

KOPRI 극지연구소

라. 주요 성과지표 도출

○ 성과지표 #1 : 실해역 안전운항 모니터링 기술 확보율

- 극지방 환경에서 작동하는 계측 시스템 개발
- 계측 데이터 통계적 분석
- 빙상환경 모니터링 계측 기술 확보

○ 성과지표 #2 : 실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술 확보율

- 실해역 실선 성능 계측 및 해석 정도
- 실해역 실선 성능 계측 및 해석시스템 구축
- 실선 성능 계측 및 해석 절차서 작성

마. 기술수준 및 R&D 목표 분석

○ 선진기업 대비 국내 기술수준비교

[표 5-90] 요소기술-Ⅳ 관련 선진기업 대비 국내 기술수준 비교

성능 지표	현재 기술수준 비교		기술개발 목표		
	국내	세계최고수준	1단계 (´17-´18)	2단계 (중장기)	기술개발완료
실해역 안전운항 모니터링 기술 확보율	40%	100% (독일, 핀란드)	70%	90%	100%
실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술 확보율	20%	100% (노르웨이, 핀란드)	60%	90%	100%

바. 연차별 기술개발 목표 및 내용

[표 5-91] 요소기술-Ⅳ 관련 연차별 기술개발 목표 및 내용

세부 기술	1단계		비 고
	2017	2018	
실해역 안전운항 모니터링 기술	실시간 빙하중 계측 및 해석 기술 개발	선박의 구조 건전성 모니터링 시스템 개발	
실해역 실선 성능 계측 및 해석 기술	극지환경 빙상정보 계측 및 모니터링 기술	실선 빙성능 계측 및 해석 기술 개발	
	실해역 실선 계측시스템 개발		

KOPRI 극지연구소

6. 추진 전략 및 기술체계도

가. 추진 전략

○ 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술 부분

- 빙해선박의 파랑하중과 쇄빙과정에서 발생하는 빙하중 및 유빙 충돌에 의한 충격하중을 고려한 시나리오를 개발하고 이를 바탕으로 비선형 유한요소법을 이용해 선박의 구조손상 가능성 및 선체구조의 안전성을 평가함
- 극지역의 파랑하중 및 빙 충돌과 같은 극한환경 하에서 선체구조의 붕괴 가능성을 평가하고 이를 바탕으로 설계 극한 하중조건에서 선체의 국부 및 전선 최종강도 평가를 통해 선체구조손상 여부를 판단함
- 쇄빙과정에서 빙-선체 상호작용에 따른 진동 및 소음을 저감시키기 위해 과도한 선체진동을 최소화시키고 및 선원들의 거주 환경을 개선하기 위한 구조설계 기술을 개발함

○ 빙성능 최적화 및 시험평가 기술 부분

- 최적 쇄빙선형을 개발하기 위해 주요목 및 선형계수에 따른 수치해석 방법을 통해 정량적인 빙성능을 추정하여 주요 선형개념을 도출하고 모형시험을 통해 빙저항 및 빙 조종성능을 평가함
- 도출된 주요 선형개념에 대한 빙성능 평가를 위해 국내 빙해수조에서 다양한 환경변수(빙두께, 빙강도) 및 선박특성에 대한 모형시험을 수행하고 이를 통해 최적 선형 및 추진 시스템을 선정함
- 모형시험 결과는 실해역 실선 빙성능 시험 결과와의 비교검증을 통해 실선 확장 해석기술을 정립하는데 활용함

○ 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술 부분

- 극지용 갑판장비의 결빙방지 기술을 개발하기 위해 국외 실선적용 사례를 분석하고 이를 바탕으로 개념설계를 수행한 후 저온 콜드룸을 이용한 성능평가를 통해 최적 열선용량 산정 및 배치기술을 정립함
- 저온 콜드룸을 이용한 성능평가 시험 시 주로 상부 또는 저온환경에 노출되는 장비를 분류한 후 작업자의 안전성 및 구조적 안전성과 연관성이

KOPRI 극지연구소

높은 항목을 우선 순위로 도출하여 성능평가를 수행함

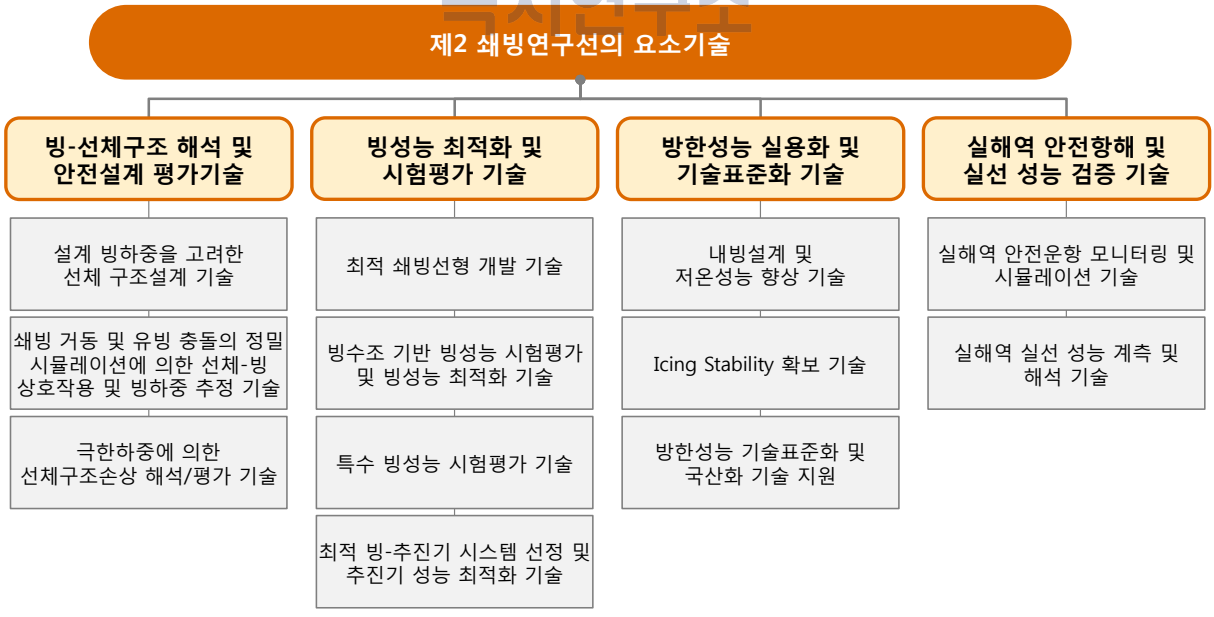
- 모형시험 평가 인증기관화를 통해 기자재에 대한 성능평가 시험 후 그 결과를 바탕으로 기술 표준을 제시하여 국산화를 기술지원 체계를 구축함

○ 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술 부분

- 쇄빙연구선 아라온호에 스트레인게이지 또는 광섬유를 이용하여 북극해 운항 시 선체에 작용하는 변형률 계측하여 빙-선체 상호작용에 따른 빙하중의 크기를 산정하고 이를 바탕으로 구저 건전성 모니터링을 위한 초기버전의 계측시스템을 개발한 후 실선 성능을 통해 이를 검증 및 보완함
- 특히 북극해 실선시험 시 극지환경의 빙상정보를 계측하기 위해 전자기유도 장비 및 영상장비를 이용해 해빙의 두께를 측정하고 해빙 강도 계측시스템을 개발하여 현장 계측시험을 수행함

나. 기술체계도

○ 쇄빙연구선 요소기술 체계도



<그림 5-149. 요소기술 체계도>

제 4 절 기존사업과의 중복성

1. 아라온호와의 차별성

가. 쇄빙/내한 성능 강화(Polar 10 (-35℃) ⇒ Polar 20 (-45℃))

제2 쇄빙연구선에서 검토하고 있는 쇄빙등급과 내한성능은 Polar 20(-45℃)이다. 이는 2m 두께의 평탄빙을 3 knots로 연속적으로 깨면서 항해할 수 있는 쇄빙 능력과 영하 45℃의 환경에서도 제반 장착장비가 작동되어 원활한 선상작업이 가능한 내항성능을 갖추었음을 의미한다. 즉 아라온호의 쇄빙등급과 내한성능이 Polar 10(-35℃)임을 고려하면 한층 강화된 쇄빙능력과 내한성능이다.

그간 아라온호 운항을 통해 남·북극 연구항해 시 북국의 해빙이 남극보다 강도가 높고 두꺼운 다년빙이 상대적으로 발달해 있음을 확인했고 이런 부분이 연구 시 한계점으로 작용했다. 따라서 보다 두꺼운 결빙해역을 운항하며 저온환경을 극복해 원활한 연구활동이 가능하도록 제2 쇄빙선의 쇄빙능력과 내한성능을 높여야 한다.

KOPRI 극지연구소

나. 연구/지원 공간 확보(장착식 ⇒ 탈·부착식)

제2 쇄빙연구선의 후갑판 연구작업공간은 가능한 넓게 확보해야 한다. 연구목적에 따른 필요 시설물은 불가피한 것을 제외하고 탈·부착이 가능토록 하여 해당 연구사업이 종료되면 탈착 및 이동을 통해 다른 연구작업을 위한 공간으로 유지될 것이다. 제2 쇄빙연구선에서는 조선기자재업체의 테스트베드 역할을 포함하여 다양한 연구 및 실험을 수행할 수 있도록 대비해야 하기 때문이다.

아라온호 후갑판에는 다중채널 탄성파 탐사시스템의 음원장치(좌현)와 수신장치(우현)가 고정식으로 설치되어 있다. 또한 선미 우현쪽에는 Giant Core System이 위치하기 때문에, 현재는 후갑판 중앙부만 실제 사용할 수 있다.

연구작업의 특성에 따라 대형 특수장비들을 견인하거나 또는 매달아야 하는 선상작업이 수행될 경우 기존의 장착장비들이 커다란 장애물로 작용하며 때에 따라서는 선상작업 시 안전사고를 유발할 수 있는 심각한 원인이 될 것이다. 이러한 선상 작업한경을 개선하여 여러가지 작업이 동시에 수행되는 경우에도 이

를 수용할 수 있는 넓은 작업공간을 확보하도록 하는 것이다.

연구장비를 탈·부착식으로 추진할 경우 고정식에 비하여 어려움이 발생할 수 있다. 다소 사용빈도가 떨어지더라도 연간 필수적으로 사용될 뿐만 아니라 탈·부착 시에 상당한 노력을 필요로 하며, 외부의 도움이 없는 공해상에서 자체적으로 수행하기 곤란한 작업(한계를 넘는 대형 중량물 또는 이동을 위한 공간 미확보 등)이라면 탈·부착이 불가능한 경우도 예상할 수 있다. 따라서 자체적으로 탈·부착하는 경우에는 공간 확보를 위한 넓은 갑판과 이를 움직일 수 있는 길이와 너비가 크고 처리능력이 향상된 대형 크레인의 구비가 필수적이다.

<그림 5-150. 아라온호 후갑판 전경(좌: 일반배치도 중: 후갑판 도면, 수신장치 사진, 우: 음원장치 사진)>

다. 승선 인원 확대(85명 ⇒ 120명)

아라온호의 연간 운항일수와 연동하여 연구 및 기지 지원활동 등을 위해 승선하는 인원도 지속적으로 증가하고 있다. 활용 수요의 증가에 따라 동일 연구지역이며 병행이 가능한 연구사업일 경우 공동승선을 통한 연구사업 수행이 바람직하다. 특히 운항일정에 영향을 주지 않고 극지 현장을 Test-Bed로 활용하는 시험·조사·분석의 경우에는 해당 연구인력의 승선과 최소의 작업공간만을 필요로 하기 때문에 가급적 승선하도록 하는 것이 바람직하다.

아라온호의 승선가능한 규모는 85명으로 이중 필수 탑승 선원 및 필수 보조인력, 상황에 따라 탑승이 필요한 인력(예, 취재인력) 등을 제외하면 실질적으로 탑승가능한 연구인력은 40명 이하로 제한된다. 이로인해 연구항차 구성 시 승선인력을 조율해 경우에 따라서 일부 연구팀의 승선이 배제되기도 하여 해당 연구활동을 취소해야하는 상황도 발생하기도 했다.

이와 같은 문제를 극복하기 위해서는 제2 쇄빙연구선 승선인력의 규모를 확대하여 총 120명이 승선 가능한 거주 및 생활공간이 마련되어야 한다. 이를 통해

충분한 연구인력이 탑승하여, 동일한 시점에 동일한 연구해역에서는 한번의 연구항해를 통해 여러 분야에 걸친 연구활동을 가능하도록 효율적인 운영을 할 필요가 있다.

연구활동 뿐만 아니라 산업계의 활용 측면에서는 보다 많은 인력의 승선이 요구될 것이다. 상이한 조선기자재들의 실험, 조사, 검증 등에는 해당 조선기자재별 운영이 소수의 인력으로 가능하지만, 희망 조선기자재의 종류가 많을 것으로 예상되어 승선인력의 규모에 따라 제한될 것이기 때문이다. 즉 조선기자재 등의 Test-Bed로서 겨울철 북극항해 시에는 보다 많은 수용인력이 요구될 것으로 추정되는 바, 승선인력의 규모를 가능한 확대할 필요가 있다.

그러나 승선규모의 확대는 거주공간 뿐만이 아니라 생활공간에 대한 고려와 연구활동을 위한 필수적인 연구·실험실, 작업실 등을 고려한다면 120명 규모에서 최적화해야 할 것이다.

라. 화물 적재능력 확대

아라온호는 70일 무보급 항해가 가능토록 약 1,500톤의 연료유 저장탱크를 보유한다. 그러나 선수부분의 탱크가 운반목적의 기지 보급유를 위해 할당된다면 1,000톤으로 축소된다. 이는 약 50일 내외의 무보급 항해만이 가능함을 의미한다. 따라서 남극세종과학기지 또는 장보고과학기지에 유류보급을 하는 경우에는 연료유 확보 때문에 운항일수가 대폭 제한된다.

제2 쇄빙연구선의 규모가 12,000톤급으로 확대됨에도 불구하고 이에 상응하여 선박규모에 따른 연료소비가 증가할 것이며 이를 위해서는 보다 많은 연료유를 적재하여야 한다. 즉 충분한 무보급 항해일수 확보를 위해서는 약 2,250톤 이상의 저장탱크를 필요로 한다. 또한 운반목적의 기지 보급유(약 650톤)를 위한 별도의 저장탱크 확보가 필요하다. 특정 탱크를 보급유를 위한 전용탱크로 구분하여 관리해야 한다. 이를 통하여 기지로 보급유 운송이 가능하며 약 74일간의 무보급 항해가 가능할 것이다.

아라온호에는 약 50톤의 항공유 저장탱크가 확보되어 있다. 이는 극지 운항시 약 50시간의 헬기운용이 가능함을 의미한다. 제2 쇄빙연구선의 경우, 헬기를 이용한 북극연구 활동, 구난·구조활동 등 다양한 기능이 요구됨에 따라 헬기 운용시간도 함께 확대되어야 한다. 그러나 극지연구가 활성화되어 광범위한 분야

에 걸쳐 헬기사용이 증대되는 현실을 고려하더라도 상당량의 항공유는 운송용 ISO 탱크를 이용한 운송을 통해 기지에서 공급토록 한다면 추가 항공유의 저장탱크 확보가 불필요해져 선박규모의 지나친 확대를 해결할 수 있다. 따라서 약 60톤이 확보될 수 있는 별도의 항공유 저장탱크를 구비하면 될 것이다.

제2 쇄빙연구선은 북극활동 투입이 우선시 되지만 필요에 따라 북극 뿐만 아니라 남극에서의 활동도 예상할 수 있다. 이에 남극에서는 보급활동 지원을 위하여 충분한 화물적재능력을 보유하여야 한다. 화물은 주로 컨테이너를 활용하여 보급할 것이며 크레인 용량 등을 고려하여 컨테이너 단위(TEU)로 운영하게 된다. 적재능력은 화물창과 갑판 상부를 포함하여 총 50 TEU 이상을 적재 가능토록 하며 15 TEU의 냉동컨테이너가 포함된다. 북극활동 시에는 일반화물의 적재공간으로 활용되어, 북극항로 투입 시 이용될 수 있다. 또한 컨테이너 외 드럼, 가스등은 산적화물로 적재되는 위험화물이므로 별도의 공간에 대한 고려가 필요하다.

마. 주요 활동해역 상이

제2 쇄빙연구선과 아라온호와의 가장 큰 차별성은 활동해역의 차이라고 볼 수있다. 제2 쇄빙연구선은 정부의 북극정책을 원활히 수행하기 위해 북극해를 대상으로 한 연구 및 지원활동을 수행하는 것이 주요 임무이다. 북극활동을 위한 핵심 극지인프라로 활용되는 것이다.

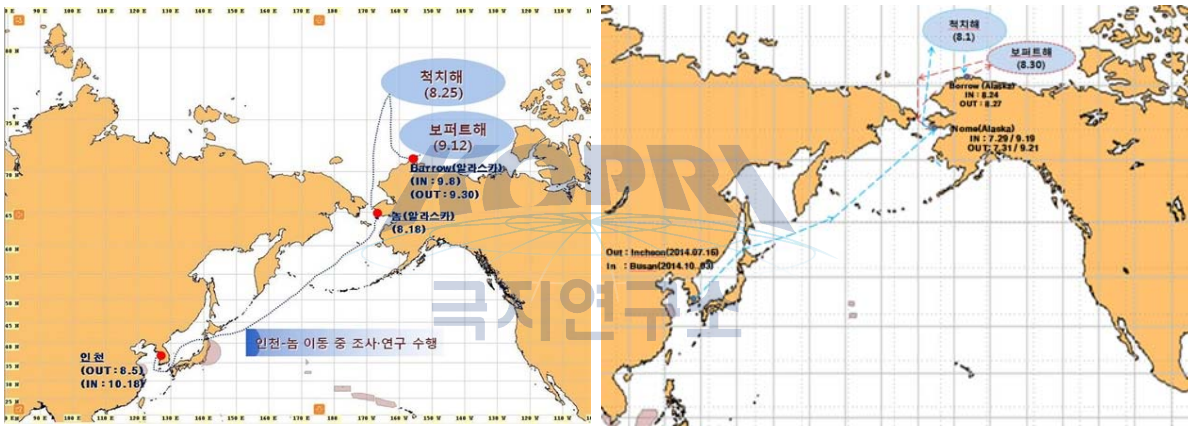
일반적으로 쇄빙선박이 항상 두꺼운 해빙을 깨며 항해하는 것은 아니다. 통상적인 항해가 아닌 쇄빙항해의 경우 2~3배의 막대한 연료소모를 감수해야 하기 때문에 무모하게 결빙해역을 항해하는 것은 바람직하지 않다. 그러나 결빙해역에서는 안전과 연구 등을 위한 쇄빙항해가 불가피하다. 결빙해역이 일반해역과 차별화되는 연구활동과 성과를 낼 수 있는 미답지이기 때문이다.

통상 북극해에서 가능한 연구항해는, 쇄빙능력에 따라 차이는 있지만, 해빙이 녹기 시작하는 여름부터 해빙이 두꺼워지기 시작하는 초가을 기간이다. 쇄빙능력을 강화하여 조선기자재 Test-Bed 역할을 수행할 경우에는 제2 쇄빙연구선이 겨울에도 북극해 현장활동을 수행할 것이다. 따라서 현장의 연구항해는 4~5항차까지 가능할 것이다.

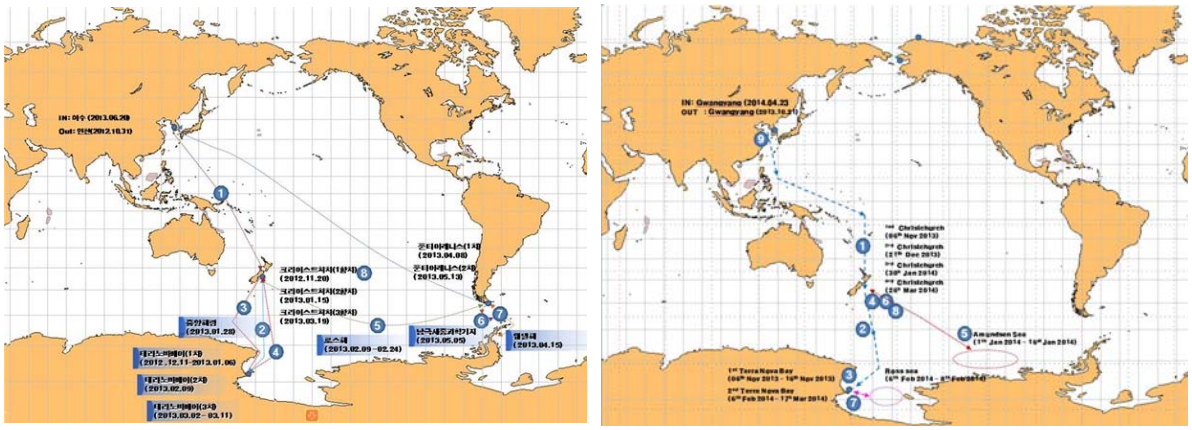
제2 쇄빙연구선과 아라온호는 역할을 구분하는 것이 효율적이다. 제2 쇄빙연

구선은 북극 중심으로활용하고, 아라온호는 남극 중심으로 하여 각각 남·북극 연구의 효율성을 높일 수 있다. 기존 아라온호는 남극항해 2~3항차와 북극항해 1~2항차로 운영되어 왔는데, 역할이 분담되면 남극항해가 4항차 이상까지 확대될 것이다.

2개의 쇄빙연구선을 보유하였을 때, 협력을 고려할 수 있다. 상대적으로 여유로운 일정을 갖는 여름(남반구 겨울, 남극해의 결빙상태가 심해 현장 운항이 어려움)에는 필요시 1~2항차의 북극항차를 아라온호가 병행·수행함으로써 제2쇄빙연구선의 부담을 더는 극지인프라의 운영체계가 구축될 것이다. 또한, 제2쇄빙연구선은 필요에 따라서 1~2항차의 남극 연구항해를 수행하는 것도 고려할 수 있다.



<그림 5-151. 2013년도 및 2014년도 북극항해 항적 개요도>



<그림 5-152. 2012/2013년도 및 2013/2014년도 남극항해 항적 개요도>

2. 타 해양연구선과의 차별성

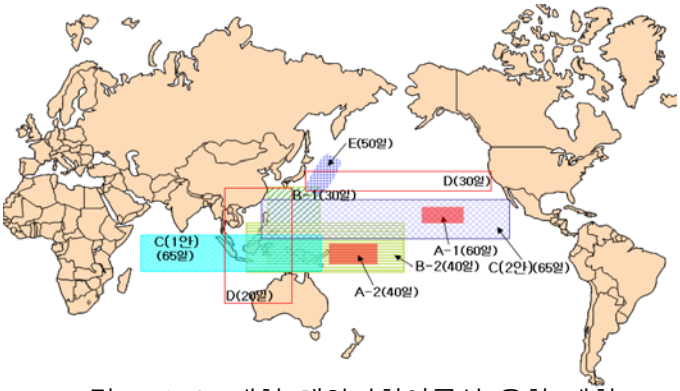
가. 대형 해양과학연구선과의 차별성

쇄빙성능을 보유하지 못한 대형 해양과학연구선과 제2 쇄빙연구선은 [표 5-94]와 같이 선박의 규모 및 성능 측면에서 현저하게 차이점이 있으며, 활용 측면에서도 활동지역과 목적, 내용 등 다양한 항목에서 차별성을 갖고 있다.

해양과학기술원에서 현재 건조 중인 대형 해양과학연구선은 전장 100m, 5,000톤급으로 중형선박에 해당하며, 제2 쇄빙연구선이 전장 120m, 12,000톤급의 준대형급 선박인 것을 감안한다면 규모에서 큰 차이를 보이고 있다고 할 수 있다. 또한 선박 설계와 건조 기술측면에서도 대형 해양과학연구선은 선형 및 쇄빙성능이 일반선박 범주에 포함되므로 제2 쇄빙연구선과 같은 특수선박과 비교 시 요구되는 기술적 난이도가 훨씬 낮기 때문에 유사한 선박으로 보기에는 많은 점에서 커다란 차이점이 존재한다.

대형 해양과학연구선은 주 활동영역이 대양이며 대양의 해양광물자원을 개발하고 해양을 관측 등 비교적 일반적인 연구를 진행하는 반면, 제2 쇄빙연구선은 북극에서 주로 활동할 계획이고 북극 해빙 및 해저 지질, 기후변화 및 북극해 생태계, 극지에서의 조선 기자재 관련 테스트 베드 등 북극에서만 진행 할 수 있는 연구를 수행할 계획이다.

따라서 대형 해양과학연구선과 제2 쇄빙연구선은 선박의 기본 사양뿐만 아니라 활동영역과 활용계획, 주요 해양장비 등 다양한 측면에서 비교 시 커다란 차별성을 갖고 있다고 볼 수 있다.



<그림 5-153. 대형 해양과학연구선 운항 계획>

[표 5-92] 대형 해양과학연구선과 제2 쇄빙연구선 비교

구분	대형 해양과학연구선	제2 쇄빙연구선
제원	전장 100m	전장 120 m
총 톤수	5,000톤급	12,000톤급
속력	항해 15 kts	경제속력 13 kts
항속거리	20,000해리	20,000해리
승선인원	75명	120명
쇄빙능력	없음	Polar 20
활동영역	대양	북극
주요 해양장비	▪ 전자해도 ▪ 위성항법장치 ▪ 자동식별 장치 ▪ 항해자료 기록기 ▪ DPS(Dynamic Positioning System)	▪ 해양연구장비(CTD, Thermo Salinograph 등) ▪ 음향장비(ADCP/LADCP, 과학어군탐지기 등) ▪ 지구물리 탐지장비(다중채널 해양탄성파 탐사시스템, 해상 중력계 등) ▪ 해양지질 관측 장비(ITRAX Corer Scanner TV Grab 등) ▪ 해양생물 관측 장비(MOCNESS ▪ Rectangular Midwater Trawl 등) ▪ 대기과학 장비(Aerosol Sizing Instrument 등) ▪ 감시장비(Wave Meter 등)
화물용량	n/a	50 TEU
주요 연구 및 활용분야	▪ 대양저 해양광물자원 개발 ▪ 해양관측 및 기후변화 연구 ▪ 해양생물자원 확보	▪ 북극해 기후변화, 해빙 및 해저 지질 연구 ▪ 북극해 생태계 및 환경변화, 북극항로 주변 해양과학 연구 ▪ 조선기자재 관련 실해역 테스트베드, 극한지 환경 소재 개발 등
운영주체	해양과학기술원	극지연구소

KOPRI 극지연구소

나. 기타 운영 중인 주요 해양연구선과의 차별성

현재 국내에서 운항 중인 주요 해양연구선 현황은 [표 5-95]와 같다. 현재까지는 주로 2,000톤급 규모의 해양연구선이 다수를 이루고 있으며 쇄빙 및 내빙성능이 부재해 북극 연구에 적합하지 않기 때문에 제2 쇄빙연구선과 비교시 성능은 물론 운영개념 및 활용목적 등 다수의 측면에서 차별성이 존재한다고 할 수 있다.

탐해2호는 한국지질자원연구원 소속으로 3차원 탄성과 탐사장비, 해상 중력자 탐사장비 등을 탑재하고 국내 EEZ 내의 석유와 가스 등 자원탐사를 주로 수행한다. 또한 심해탐사가 가능하나 샘플은 채취하지 못하며, 장착장비가 고정되어 장비 교체도 불가능하다. 따라서 북극지역의 심해저 광물자원 탐사 및 개발 등의 활용목적에 부적합하다.

해양2000호는 국립해양조사원 소속으로 해도·수로도서지 작성을 위한 해양조사 및 수로측량을 위해 항법시스템, 다중음파측정기, 수온·염분측정기 등을 탑재하고 한반도 주변해역에서 활동하는 조사선으로 장비 및 규모면에서 북극에서 연구활동을 수행하기 제한된다.

탐구1호는 국립수산과학원 소속으로 해양 및 어장환경 변동조사 등을 위해 과학어탐기, 수온·염분측정기, 해류측정기, 트롤장비 등을 탑재하고 주로 연근해에서 활동하는 어업조사선으로 장비 및 규모, 성능 측면에서 북극연구에는 부적합하다.

온누리호는 한국해양연구원 소속으로 다중빔 음향측심기, 해류측정기 등 다양한 장비를 탑재하고 한반도 주변 해역 및 태평양에서 주로 활동하고 있다. 상징적으로 극지 연구항해를 수행(취항년도, 기지 10주년)한 적이 있지만 내빙능력 조차 갖추지를 못해 결빙해역은 물론 유빙해역이 산재하는 극지에서의 연구활동을 위해서는 안전에 매우 취약하다.

따라서 현재 운항중인 해양연구선을 활용해 북극연구를 효과적으로 수행하는 것은 불가능하다고 판단되며, 주요 기능과 목적을 고려할 때 중복성은 없다고 할 수 있다.

KOPRI 극지연구소

[표 5-93] 운용중인 주요 해양연구선의 특징

구분	탐해2호	해양2000	탐구1호	온누리호
제원(m)	64.4(L)x15(B)	89.17(L)x14(B)x 7.7(D)	90.25(L)	63.8(L)x12(B)x7. 55(D)
총 톤수	2,085톤	2,533톤	2,556톤	1,422톤
속력	15 kts	16.5 kts	15.4 kts	15 kts
항속거리	12,000해리	14,000해리	15,000해리	10,000해리
운항일수	연간 평균 169일	연평균 230일	연평균 116일	연평균 240일
운용목적	석유탐사선	해양조사선	근해 어업자원 조사선	종합해양조사선
활용분야	한반도 주변 석유 및 광물자원 탐사, 해저지질조사	한반도 주변 해도·수로도서지 작성을 위한 해양조사 및 수로측량	선미 트롤형 원양 시험조사	심해저광물자원 탐사, EEZ해양광물자원 조사, 독도연구, 한반도 주변 해양특성 조사
보유장비	심해탐사장비 등	해양측량장비, 해양관측장비 등	시험조사관측 장비, 어로장비 등	Sea Beam 2000, 다중채널탄성파 탐사장비 등
건조연도	1977년	1995년	1998년	1992년
보유기관	한국지질자원연구원	국립해양조사원	국립수산과학원	한국해양연구원
사진				

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 6 장

건조계획 및 운영방안

KOPRI
극지연구소

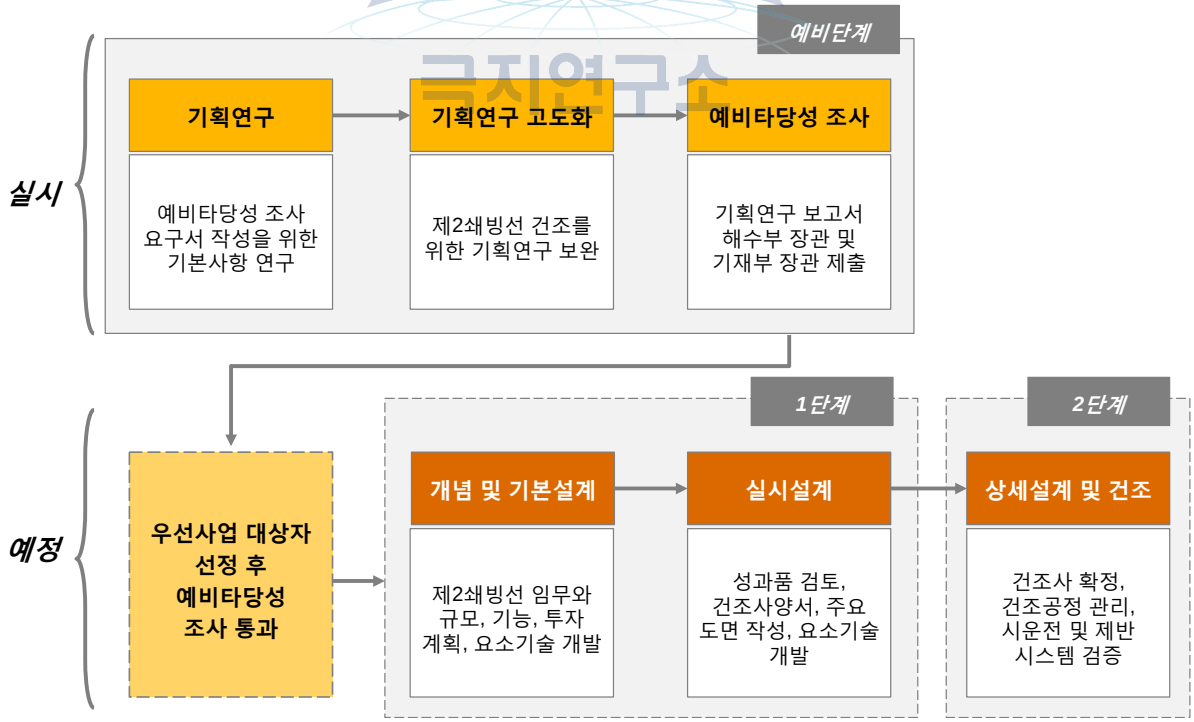
KOPRI
극지연구소

제 1 절 제2 쇄빙연구선 건조계획

정부부처의 예비타당서 조사를 거쳐 타당성이 입증되면 2017년부터 건조 사업이 착수되어 기본설계 및 실시설계, 상세설계 및 건조 등의 과정을 거치게 된다. 제2 쇄빙연구선의 건조는 제1, 2단계로 나누어 진행될 예정이며, 건조추진이 확정되고 원만한 예산확보가 뒷받침된다면 건조완료까지 총 60개월 정도 소요될 것으로 판단된다. 2021년 6월에 모든 공정을 마무리 짓고 인도명명이 이루어지면, 제2 쇄빙연구선은 쇄빙능력 시험과 종합시험항해를 거쳐 2022년에 본격적으로 취항하게 된다.

본 사업은 대형 인프라 구축사업으로서, 제안된 기본 제원 및 장비 등의 요구사항을 반영하기 위하여 총 2,856억 원의 예산이 필요하다. 소요예산의 추정은 쇄빙연구선 아라온호의 건조사례를 기준으로 그간의 환율변동과 물가인상 등을 고려하고, 임무와 기능 및 규모를 반영한 것으로 추진과정에서 약간의 증감이 있을 수 있다.

KOPRI 금지연구소



<그림 6-154. 제2 쇄빙연구선 건조사업 단계별 추진계획>

1. 단계별 추진계획

가. 예비단계(정부부처 기획연구 및 예비타당성 조사)

(1) 기획연구

- 2013. 09월 ~ 2014. 03월 : 제2 쇄빙연구선 건조를 위한 기획연구
- 사업 주관 : 해양수산부(극지연구소)
- 사업비 : 80백만원 / 연구기획사업
- 주요 내용 : 예비타당성 조사 요구서 작성을 위한 기본사항

(2) 기획연구 고도화

- 2014. 03월 ~ 2014. 12월 : 제2 쇄빙연구선 건조를 위한 기획연구 보완
- 사업 주관 : 해양수산부(극지연구소)
- 주요 내용 : 사전 기획연구 보완 및 공청회 실시(2014.11.17.)

(3) 예비타당성 조사 신청 및 미선정

- 2014. 12월 : 예비타당성 조사 요구
- 2015. 4월 : 미선정
- 미선정 사유 : 건조가 완료되는 2021년(신청자료)부터 취항이 절대적으로 필요한 시급성의 부재 등

(4) 예비타당성 조사 재신청(예정)

- 2015. 7월 : 예비타당성 조사 요구

나. 제1단계(개념 및 기본설계, 실시설계)

(1) 개념 및 기본설계

○ 제2 쇄빙연구선의 임무를 설정하고 이에 적합한 규모와 기능 선정

○ 규모와 기능에 부합하는 제원을 확정하고 항목별 요구사항 완성

- 주요 임무, 적용 선급, 환경조건(온도, 해상상태)
- 선박기본사항 : 총톤수, 쇄빙능력, 주요 제원, 속력, 항속거리, 운항지속기간, 선형, 승선인원, 추진방식, 선체구조, 조타장치, 주기관, 용량(탱크용량, 화물용량) 외

- 기중장비 : 대형크레인, 중소형크레인, A-프레임 외
- 연구지원장비 : 헬기유류용량, 헬기운용부속장비, 바지선, 작업정 외
- 운항특수장비 : Anti-rolling, Anti-heelingm Anti-icing, DPS 외
- 공간배치 : 배치원칙, 일반장비 및 조사관측장비, 소음, 진동, 조타실, 주기관조종실, 거주실, 사무실, 공작실, 장비격납, 작업공간/창고 외
- 선박·운항장비 : 선내지원시스템, 냉난방기, 발전기, 육전사용, 청수/오수배관, 냉온수기, 소방/구명설비, CCTV, 조수기 외
- 항해·통신장비 외

○ 건조사업의 추진체계 및 추진방안 마련

○ 기초 건조선가내역서 및 건조사양서, 초기 도면(key-Plan; 일반배치도, 선체중앙단면도, 강재배치도, 외판전개도, 기관실배치도, 추진기실배치도, 기관실배관계통도) 완성을 통한 실시설계 기초자료 제시

(2) 건조 로드맵 및 활용계획 작성

○ 실시설계부터 건조 및 시운전, 취항에 이르는 건조 로드맵 제시

○ 설계 및 건조사(실시설계, 상세설계 및 건조) 선정방안 마련

○ 제2 쇄빙연구선 활용계획 도출 및 운영·관리방안 제시

(3) 쇄빙선 건조 관련 요소기술 개발

○ 단기확보 가능한 기술은 개발하여 제2 쇄빙연구선에 적용하고, 기타 기술은 기술보유국의 자문과 협력연구 등을 통해 중장기적으로 관련기술 확보

○ 향후 국내개발이 요망되는 요소기술
- 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술
- 빙성능 최적화 및 시험평가 기술
- 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술
- 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술

(4) 실시설계

○ 개념 및 기본설계에 따른 성과품 검토

○ 건조입찰 및 감리 수행을 위한 기초자료 생산 및 평가방안 수립

○ 예정 건조선가내역서와 건조사양서 등 분야별 세부 도서 및 도면 완성

- 종합분야 : 종합보고서, 건조사양서, 선가내역서, 자재내역서 등
- 기본분야 : 일반배치도, 모형시험결과보고서(빙수조시험 포함) 등
- 선체구조분야 : 강재배치도, 외판전개도 등
- 선체의장분야 : 선체배관계통도, 계선계류장치도 등
- 선실의장분야 : 갑판별 선실배치도, 공기조화장치계통도 등
- 기관의장분야 : 기관실배치도, 기관실배관계통도 등
- 전기통신분야 : 전력부하계산서, 동력계통도 등
- 연구장비분야 : 선저Sensor배치도, 건식연구실배치도 등

○ 연구기능을 발휘할 수 있도록 장착 및 구비용 연구장비 목록 완성

KOPRI 극지연구소

<그림 6-155. 제1단계 주요 이벤트 일정표>

다. 제2단계(상세설계 및 건조)

○ 건조입찰을 통한 건조사 확정과 감리사 선정

○ 성공적인 건조공정 관리

○ 인도 전후의 충분한 시운전을 통한 제반 시스템 검증

○ 제2 쇄빙연구선 운영·관리방안과 활용방안 마련

(1) 건조사 선정(최적 입찰방식의 결정)

○ 제2 쇄빙연구선 건조 발주는 국내업체 뿐만 아니라 해외업체도 참여할 수

있는 국제경쟁입찰 방식에 의해 진행(아라온호의 경우 국내입찰로 진행)

○ 연구용 기자재의 선정, 장착주체, 성능유지, 관리 등은 향후 분리입찰 또는 일괄입찰 선택

○ 건조사(낙찰자) 선정방식은 가능한 많은 국내·외 업체에 참여기회를 열어주되, 최신의 쇄빙선 건조기술을 반영토록 협상에 의한 계약방법에 따른 입찰로 추진

○ 입찰은 사전규격공개, 입찰, 평가 및 협상, 계약 등이 순차적으로 추진되며, 조달청에 입찰요청으로부터 약 5개월 소요 추정

[표 6-94] 제2 쇄빙연구선 건조사 선정 추진일정

단계	내 용	추진 일정(개월)					소요 기간
		1	2	3	4	5	
입찰요청	조달청	■					21일
입찰 사전 규격 공개	공고		■				21일
	접수 및 소명, 보완		■				14일
입찰 공개	공고			■			45일
	마감 및 평가준비				■		7일
평가 · 협상 및 계약	기술평가 및 가격평가				■		14일
	협상					■	21일
	계약					■	7일
총 소요기간		150 일					

KOPRI 극지연구소

○ 입찰 절차 및 평가

- 1단계 : 입찰안내서 작성 및 입찰공고

1) 입찰안내서 내용 : 과업내용, 요구사항, 계약조건, 제안서의 규격, 제출서류

2) 사전 규격공개를 통해 입찰안내서 보완 및 확정 필요

3) 입찰안내서에는 평가항목과 평가방법 공개

- 2단계 : 제안서 접수 및 평가, 사업자 선정

1) “협상에 의한 계약”의 경우, 진행은 기술평가(제안서 평가), 가격평가, 협상 및 계약의 3단계로 수행

2) 기술평가는 입찰마감 이전 확정한 평가단을 통해 진행

3) 기술평가는 입찰안내 시 공개된 평가항목의 평가방법으로 수행

4) 기술평가 종료 후 적격자(기술평가 결과 기준점수 통과자)를 대상으로 조달청에서 가격평가 시행

5) 기술평가와 가격평가 합산결과, 70점 이상자 중 최고점수 순으로 우선협상적격자 및 협상대상자를 확정하여 협상순위 결정

- 3단계 : 협상 및 계약

1) 순위(우선협상 적격자 최우선)에 따라 협상 진행

2) 협상이 성립된 때에는 차순위 협상적격자와 협상을 미실시

3) 협상대상자와의 협상이 성립되지 않으면 동일한 기준과 절차에 따라 순차적으로 차순위 협상적격자와 협상을 실시

4) 협상대상자가 제안한 사양서, 사업내용, 이행방법, 이행일정 등을 대상으로 구체적 협상을 통해 계약 후 계약 당사자 간의 이견이 최소화되도록 합의

5) 협상대상자가 제안한 내용을 가감하는 경우에는 그 가감되는 내용에 상당하는 금액을 사업예산 범위 내에서 조정하되, 계약금액과 사양의 조정범위는 가격 및 사양을 조정한 후의 평가점수가 차순위 협상대상자의 평가점수를 하회하지 않는 범위 내에서 조정

6) 협상결과를 바탕으로 계약자 선정

KOPRI 극지연구소

(2) 감리사 선정

○ 건조사의 선정 직후 건조사 선정과 유사한 절차를 통해 국내·외 전문업체를 대상으로 추진

○ 선박건조의 제반 공정에 참여하면서 사전 마련된 건조사양서와 통상의 건조절차 및 선급 규정을 준수토록 승인, 확인, 검사 등을 수행하는 책임감리업체 선정

(3) 빙수조 모형시험 및 선형 확정

○ 기본 및 실시설계를 통하여 마련된 선형을 바탕으로 개수로 수조시험(저항 및 자항시험 포함)과 빙수조 모형시험을 수행함으로써 최적의 선형을 확정

○ 추진기 등 장착되는 외부 돌출형 장비는 잠정 확정하여 시험에 적용

○ 선형 확정 시 선주 요구사항인 다음의 사항을 고려하여 반영

- 재화중량
- 항해 속력과 SEA MARGIN

- 만재흘수
- 갑판 수
- 화물의 종류, 화물창의 수와 용적
- 항속 거리
- BALLAST 양
- 하역 설비
- 항로
- 선급 및 적용 법규
- 승무원 수
- 주기관의 종류, 프로펠러 수

(4) 일반배치도 작성

○ 모형시험을 통해 확정된 선형을 바탕으로, 설계요구 사항을 만족하면서 원활한 임무의 수행과 운영이 용이토록, 각 구역별로 필요한 공간 및 설비의 배치를 완성

○ 공간의 구분
- 조종공간
- 기관공간
- 연구공간
- 거주공간
- 정비·수리 및 창고공간
- 탱크공간
- 통로 및 기타공간 등

○ 주요 고려사항
- 출입
- 격벽 및 갑판
- 밀폐의 정도
- vital 공간
- 방화구역 경계

(5) 생산설계(상세설계)

KOPRI 극지연구소

○ 확정된 선형과 일반배치도를 바탕으로, 선박의 기본 제 계산을 수행하여 성능을 확인
- 조종공간
- 탱크 용적 계산
- 중량 및 중심 계산
- 복원성 계산
- 진동 및 소음 추정
- 내항성 확인
- 위치 유지 검토
- 쇄빙능력 및 내한성능 검토

○ 기본분야에서 계산, 확인된 자료를 바탕으로 각 분야별 세부 설계 진행
- 선체 및 구조 분야
- 갑판 및 선실 등 의장분야
- 기관 분야
- 전기 분야
- 항해 및 통신분야
- 연구장비 및 지원장비 분야

KOPRI 극지연구소

(6) 착공, 기공, 진수

○ 완성된 생산설계도에 따라 철판을 재단·절단하고 이를 용접·조립하여 선체를 완성하며, 과정 중 거대 중량물임에 따라 선체를 블록단위로 구분하고 블록별로 소조립, 중조립, 대조립를 진행

○ 선저 중앙부(용골 부분) 블록을 중심으로 대조립된 구조물(블록단위)을 순차적으로 조립하며, 블록내에 대형 탑재장비 및 시설은 사전 설치

○ 착공(Steel Cutting) : 완성된 생산설계도에 따라 처음으로 철판을 재단·절단하는 단계

○ 기공(Keel Laying) : 블록별로 소조립, 중조립, 대조립를 진행하던 중, 선저 중앙부(용골 부분) 블록과 인근 블록이 완성되어 선체의 모습을 갖추도록 구조물(블록단위)을 순차적으로 조립하는 단계

○ 진수(Launching) : 주요 장비 및 시설과 선체의 외형이 완성되어 해상에서

잔여 공정을 진행하는 단계

(7) 시운전

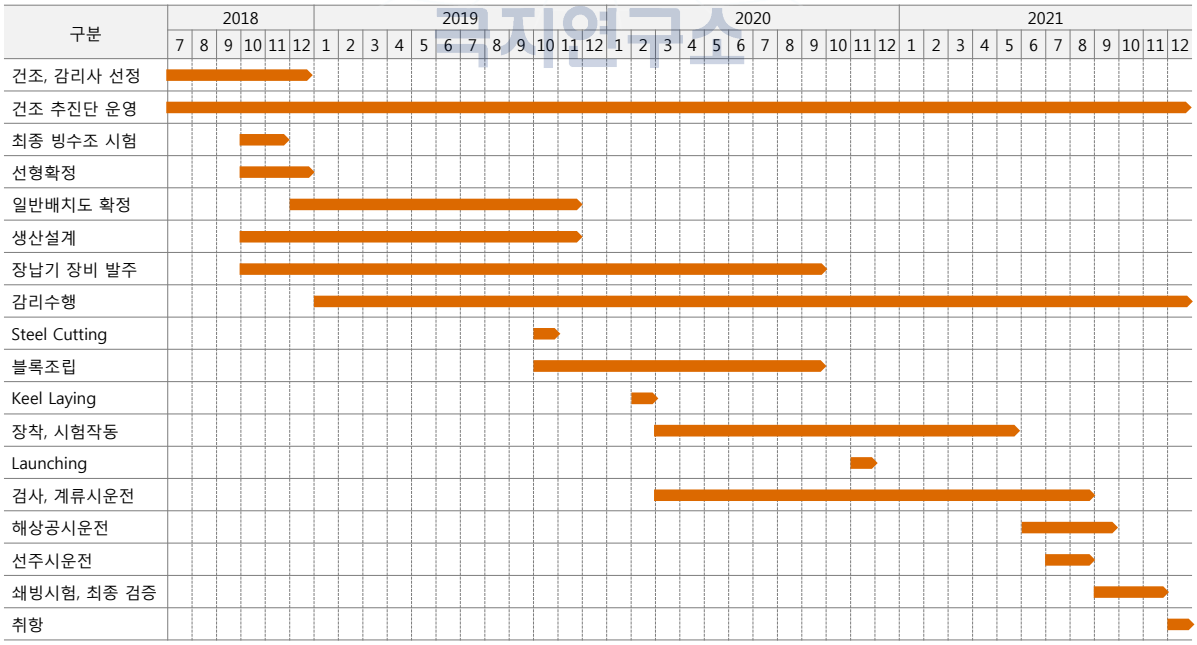
○ 경사시험, 계류시운전 및 검사 : 장비 및 시설별로 시운전을 통해 작동 여부와 요구사양에 따른 제반 성능을 확인하는 것으로 안벽에 고정된 채 진행하는 단계

○ 해상공시운전 : 선급, 감리, 선주감독 등의 입회 아래 시험항해를 통해 조정성능 및 속력시험 등 요구된 제반 기능의 충족 여부를 확인하는 단계

○ 선주시운전 : 준공검사에 앞서 최종적으로 수행되는 것으로, 75% 이상의 적하상태에서 해상공시운전 항목을 포함하여 사전 약정된 추가 검사항목을 건조사가 재확인시키는 단계

(8) 종합시험항해와 쇄빙능력시험

○ 건조완료 및 인도 후 선주가 직접 제반 선박장비 및 시설의 원활한 작동을 확인하는 단계로, 결빙해역에서 수행되는 쇄빙능력시험을 포함하여 탑재되는 연구장비/시설의 성능을 파악하고 최적화 시키는 단계

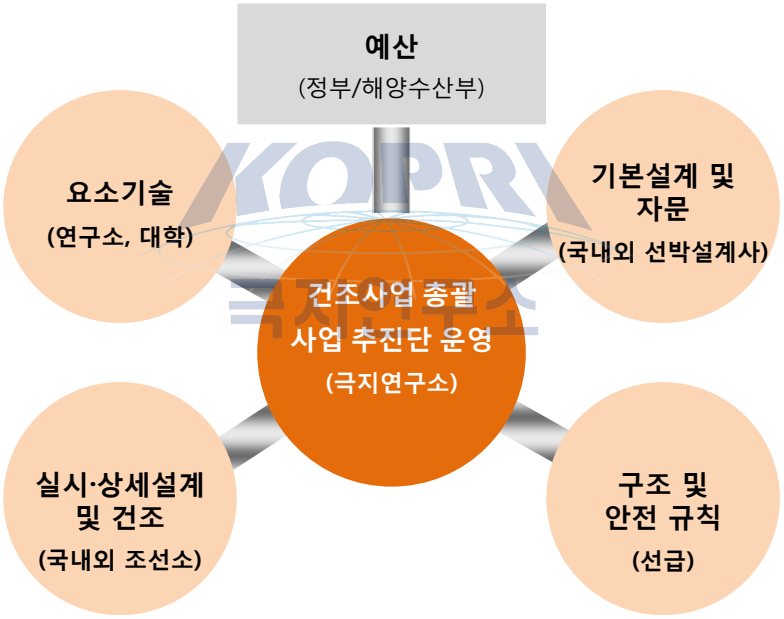


<그림 6-156. 제2단계 주요 이벤트 일정표>

2. 건조사업 추진체계

가. 추진체계 구성

본 사업은 국가 대형 인프라 구축사업으로 사업의 성패는 합리적인 대상기술 선정과 기술개발에 참여하는 참여기관의 역량에 크게 의존된다. 쇄빙연구선 건조가 진행되면 설계, 요소기술 개발, 생산(건조) 등의 과정에서 예비단계의 타당성 검토 보다 전문적인 자문과 검토가 요구된다. 사업성과 극대화를 위해서는 전문 연구인력을 보유한 기관 중심으로 추진단을 구성하여야 하고, 각 분야별 전문기관들의 긴밀한 상호협력이 중요하다.



<그림 6-157. 건조사업 추진체계>

제2 쇄빙연구선 건조 시 사용자의 요구사항이 충분이 반영될 수 있도록 하기 위해서는 개념설계부터 시운전까지 각 수행과정에서, 제2 쇄빙연구선의 사용 주체가 될, 극지연구소의 관여가 절대적으로 필요하고 이를 위해 극지연구소가 본 사업의 총괄을 담당함이 바람직하다고 판단된다.

건조사업은 해양수산부의 승인 아래 극지연구소에서 총괄 추진하는 형태로 진행하며, 극지연구소는 별도의 사업추진단을 구성하여 건조 완료시점까지 운영하되, 기획연구 보고서를 바탕으로 일관된 업무추진이 가능하도록 해야한다. 극

지연구소는 사업추진단과의 활발한 교류를 통해 쇄빙연구선 이라는 성과물을 제공하여야 하며 더욱이 사업추진단은 추진과정 중 발생가능한 위험상황에 대한 해결책을 선제적으로 제시하고 다양한 전문가 의견을 수렴하고 반영하는 등의 임무를 수행한다.

나. 추진체계 별 주요 임무

(1) 극지연구소 : 총괄 운영

극지연구소는 각 단계별 체계적인 추진이 가능하도록 사업추진단을 구성하고 총괄 운영한다. 해양수산부로부터 건조 추진계획에 대한 승인을 받아 예산을 확보한다. 필요시 추진 사항에 대해 정기/수시로 보고하는 역할을 수행한다. 사업추진단 구성 시 각 업무 단계별로 전문기관이 구성되어 운영될 수 있도록 기관을 선별한다. 극지연구소는 각 산·학·연 전문기관과의 의견 조율, 일정관리, 연구결과물 보고회 개최 등의 업무를 수행한다.

- 기획연구와 관련한 모든 자료, 결과물의 체계적인 중앙 집중식 관리
- 건조 추진사항(공정) 관리 및 감독
- 참여 기관 간 각종 자료 및 정보의 공유, 검토 지원
- 별도 자문위원 그룹의 활동 지원 및 의견 수렴

(2) 정부/해양수산부 : 예산 배정, 진행사항 점검

해양수산부는 기획재정부, 미래창조과학부, 산업통상자원부 등 관련 타 정부부처와의 협력 체계를 구축하여 제2 쇄빙선의 건조 및 활용까지 함께 검토하고 추진할 수 있도록 한다. 또한 건조 계획 대비 추진사항을 정기/수시로 점검하며 제한사항 등을 확인하고 극지연구소와 함께 논의 후 해결 할 수 있도록 한다.

- 건조 사업 타당성 검토 및 예산 배정
- 기획재정부 등 타 정부부처와의 협력
- 건조 추진 사항 점검 및 제한사항 해결

(3) 연구소, 대학 : 요소기술 개발 및 자문

건조 시작 시점부터 약 18개월 동안 제2 쇄빙연구선에 적용될 빙-선체구조

해석 및 안전설계 평가기술, 빙성능 최적화 기술 등 총 4가지 기술을 개발한다.

- 아라온호 운항 사례 및 한계점 분석
- 핵심 요소기술 개발
- 진행 상황 점검 및 보고
- 기술개발 관련 자료 및 정보 공유
- 기술 관련 자문과 국내·외 협력

(4) 국내·외 선박설계사 : 기본설계, 설계자문

국내·외 선박설계사는 제2 쇄빙연구선의 기본설계와 설계 자문을 담당한다. 기본설계는 제2 쇄빙연구선의 임무와 역할에 적합한 규모와 기능을 선정하고 이에 부합하는 제원을 확정, 항목별 요구사항을 완성한다. 선박의 주요 제원으로는 총 톤수, 승선인원, 추진방식, 선체 구조 등이 있으며, 연구지원장비와 운항특수장비, 공간배치 등 다양한 요소를 고려해 기본설계(일반배치도, 선체중앙단면도, 강재배치도 등)를 진행하고 실시설계 기초자료를 작성한다.

KOPRI 극지연구소

- 규모와 기능 선정
- 제원 확정 및 항목별 요구사항 완성
- 건조사양서 작성
- 실시설계의 기초자료인 기본설계 실시
- 설계를 위한 기술적 자문

(5) 국내·외 조선소 - 실시/상세설계, 건조

건조사로 선정된 국내·외 조선소는 실시설계와 상세설계, 실제 건조를 진행한다. 실시설계 및 상세설계는 앞서 작성된 기본설계를 검토하고 종합분야, 기본분야를 포함해 8개의 분야별 세부 도면을 작성한다. 이러한 설계 과정을 통해 실제 건조공정을 진행하는 전 과정을 체계적으로 관리하도록 하며, 필요시 극지연구소에 정기/수시 보고한다. 제2 쇄빙연구선 건조가 완료되면 시운전을 통해 제반 시스템을 검증한다.

- 실시설계 및 상세설계
- 건조 실시

- 건조공정 관리
- 필요시 정기/수시 보고
- 제2 쇄빙선 인도 전 시운전을 통한 검증

(6) 선급 - 구조/운영 규칙

선급은 제2 쇄빙선의 재료, 기관장치, 설비 등 다양한 부분의 구조적인 사항을 검토하고 승인한다. 또한 법적인 부분과 시스템 등을 검토해 인증함으로써 제2 쇄빙연구선의 정상적 운영을 지원한다. 선박 유지보수와 신조관리, 선박정비 등 선박관리와 함께 선원운영에 관한 사항한 규칙을 마련하도록 한다.

- 정부대행 검사업무
- 선급 등록 및 유지 관련 선박 도면심의, 기술검토 및 승인, 검사
- 선박재료, 기자재의 제 승인 및 검사 업무
- 선박검사와 관련된 기술연구, 소프트웨어 및 규칙 개발 업무

KOPRI 극지연구소

[표 6-95] 단계별 역할 ◎: 정, ○: 부

단계	구분	주요 내용	극지연구소	해양수산부	대학연구소	선박설계사	조선소	선급
1단계	개념 및 기본설계	건조 추진체계 및 추진방안	◎	○	○			
		세부 추진일정 및 연차별 투자 계획	◎	○				
		초기 건조사양서, 선가내역서, 자재내역서 작성	○		○	◎		○
		분야별 주요 도면 및 계산서, 해석보고서 완성	○			◎		○
	건조 로드맵	연차별 세부 예산소요(안) 작성	◎	○				
		기본설계, 건조, 취항 등 로드맵 작성	◎		○	○		
	실시 설계	건조입찰 세부평가방안 수립	◎	○				
		건조입찰 수행	◎	○				
		실시설계 수행	○	○		◎		
		실시설계 제반 사양의 검증 및 승인방안	◎		○	○		○
		감리 및 감독업무 수행(설계)	◎	○		◎		
	요소기술 개발				◎		○	
2단계	건조사 및 감리사 선정		◎	○				
	상세설계	감리 및 감독업무 수행(설계)	◎	○		◎		
	선박건조 추진	건조공사 관리방안	◎		○		○	
		건조공정 진행				○	◎	○
		연구장비 설치 및 관리 방안	◎		○			
		감리 및 감독업무 수행(건조)	◎			○		
	선박검사 및 운용계획 수립	장비운전 및 시운전(해상공시운전 및 선주시운전)	◎				○	
		감리 및 감독업무 수행	◎			◎		◎
		선박운영 핵심승무원 확보 및 투입	◎	○				
	건조 완료 및 평가	선박 제조검사				◎		○
		선박 준공 및 인도	○			○	◎	
		인수 후 자체 예비운항 및 종합점검	◎	○			○	
		인도명명 및 취항식	○	◎				
		극해역 쇄빙능력시험 및 종합시험항해 수행	◎				○	
		건조백서 발간	◎	○				

KOPRI 극지연구소

3. 소요예산 및 재원 조달방안

가. 소요예산

○ 총 건조비용 : 2,856억 원

○ 제1단계 산정기준

- 개념 및 기본설계, 건조로드맵, 실시설계, 요소기술 개발 등

○ 제2단계 산정기준

- 재료비 : 아라온호 건조사례(2009년) x 선박규모 x 물가상승률 x 사양강화
- 노무비 : 2014년 정부노임단가
- 부대비용 : 감리비, 감독비, 예비비(연구관리기관비용 4.5% 포함) 등

[표 6-96] 건조 추정비용 및 수행기간

구분			금액(백만원)	수행기간	비고(중복)
제1단계	개념 및 기본 설계비		3,000	2017.01 ~ 2017.12	12개월
	건조 로드맵		500	2017.01 ~ 2017.12	12개월
	요소기술 개발	Ⅰ	1,000	2017.01 ~ 2017.12	24개월
		Ⅱ	2,000	2018.01 ~ 2018.12	
	실시 설계비		3,000	2018.01 ~ 2018.06	6개월
제2단계	건조비		236,599	2018.07 ~ 2021.12	42개월
	부대비용		39,488	2018.07 ~ 2021.12	42개월
총 건조사업비 합계			**285,587**	**2017.01 ~ 2021.12**	**총 60개월**

※ 2014년 기준 추정금액. 실제 사업 진행시, 2017년 이후에는 물가상승, 인건비 등에 대한 변동사항을 반영하여 재조정 필요

나. 재원 조달방안 및 연도별 투입계획

○ 재원 조달은 통상 3가지 경우로 구분되나, 전액 국고 지원으로 운영

- 중앙정부에 의해 전액 국고 부담하는 방안
- 일부 사업비를 사업주체와 중앙정부가 분담하는 방안

- 중앙 및 사업주체의 재정지원을 전제로 민간자본을 유치하는 방안

○ 순차적 정부예산 확보를 위해 재원조달계획을 수립, 중기 재정계획에 반영

○ 국고조달 방안

- 2014~2016년 기획연구 및 예비타당성조사를 거쳐 2017년부터 예산확보
- 중기 재정계획에 반영하여 2021년까지 2,856억 원 확보

○ 중기 재정계획에 따른 연차별 재원 투입

[표 6-97] 연차별 재원투입 계획

연도	구분 및 내용	연 예산(백만원)
2017	전반기 개념·기본설계(1,500)	4,500
	건조 로드맵(500)	
	후반기 개념·기본설계(1,500)	
	요소기술-Ⅰ 개발(1,000)	
2018	실시설계(3,000)	5,000
	요소기술-Ⅱ 개발(2,000)	
2019	건조공정 및 감리	27,858
		78,437
2020		79,737
2021	진수, 시운전, 인도, 종합시험운항	90,055
총 계		**285,587**

KOPRI 극지연구소

[표 6-98] 참고 1: 쇄빙연구선 아라온호 건조비 투입 사례(GT 7,487톤)

구분	수행기간	비용(백만원)	비고
기획연구 (해양수산부)	02.06 ~ 03.03	(50)	10개월
예비타당성 조사	03.08 ~ 09.01	90	6개월
개념 및 기본설계	04.01 ~ 04.12	910	12개월
실시설계	05.01 ~ 06.02	2,000	14개월
상세설계 및 건조	06.05 ~ 09.12	100,000	44개월 (입찰준비 8개월 포함)
	10.01 ~ 10.12	5,000	12개월 (누락 연구장비 추가 장착)
소계	**02.06 ~ 10.12**	**108,000**	

[표 6-99] 참고 2: 대형종합조사선 건조비 투입 사례(GT 5,000톤, 건조 중)

구분	수행기간	비용(백만원)	비고
기획연구 (국토해양부, 2차)	08.09 ~ 08.12	(75)	4개월
예비타당성 조사	09.02 ~ 09.06	(100)	5개월
건조 로드맵 작성 및 기본설계	10.04 ~ 11.02	1,330	10개월
실시설계, 상세설계 및 건조	11.03 ~ 15.12	105,370	58개월(입찰준비 10개월 포함, 실시설계를 포함하는 턴키발주)
소계	**08.09 ~ 15.12**	**106,700**	

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 2 절 제2 쇄빙연구선 운영방안

1. 아라온호 운영사례

가. 아라온호 위탁관리 현황

(1) 위탁관리 형태

○ 선박관리, 선원관리를 위탁사가 시행하는 전체 위탁

○ 세부내역

[표 6-100] 위탁관리 세부내역

항 목	시행처	위탁 형태	비 고
선원관리	위탁회사	정액	▪ 임금, 연금, 노조비, 교육비, 포상비, 상병치료비 등
선박수리	위탁회사	정액+실비	▪ 회계연도 시작 전 예산을 확정하고 확정된 예산한도 내에서 관리사가 선박관리시행 ▪ 개선, 고장사고 등 특수사항은 예산한도 외로 분류하여 시행
입거수리	위탁회사	단가계약 정산	
부속품 구매	위탁회사	정액+실비	
소모품 구매	위탁회사	정 액	▪ 정액은 4년간 실적 분석에 의한 단가화
연료, 항공유 구입	극지연	연구소 시행	
윤활유 구입	위탁회사	실비	
보험가입	극지연	실 비	▪ 선체보험, 선원보험, 재정보증보험 등
대리점 관리	위탁회사	실 비	
일반관리비	위탁회사	정 액	▪ 법정교육비, 건강진단비, 문화·오락비, 회의간담회비, 간행·인쇄비, 증서 발급비, 피복비, 복리후생성 경비 등
계약기간		계약 3년	

(2) 위탁관리 선원비 세부내용

○ 선원비

- 임금 수준은 아라온호 특수성을 반영하여 국내 LNG 운반선 수준 적용
- 특수교육비 정액화로 승선 인력 확보 범위 확대

- 선원 휴가 중 통상임금 지급

○ 기대효과

- 관리사에서 선원비를 탄력성 있게 운영하여 우수 선원확보 가능
- 선원 선발, 교체 등 연구소가 관여할 부분이 감소하고, 관리사에서 책임지는 부분은 증가
- 정산 업무가 없어 행정업무 감소

(3) 위탁관리 선원관리 세부내용

○ 선원관리

- 선원 구성 : 26명으로 구성(예비원 10명)

※ 일반선원 25명, 전자부 1명을 선원 구성

- 관리사의 업무
- 모든 선원의 선발, 고용, 승선, 휴가 및 교대 업무
- 선원 임금 관련 제 업무(호봉 및 직급 결정 포함)
- 법정 교육 및 특수 집무교육 시행
- 주·부식 구매, 식자재 공급 및 정산 (현행과 동일)

KOPRI 극지연구소

○ 기대효과

- 관리사의 쇄빙선 운영인력을 확보를 위한 제도 확립 가능
- 핵심 인력의 교대를 원활하게 시행
- 관리사의 장기적인 선원관리 계획 수립 가능
- 연구소가 선원관리에 개입하지 않음으로 위탁사의 독립된 업무 추진 가능

(4) 위탁관리 선박관리비

○ 선박수리, 입거수리, 부품구입비 세부내용

- 위탁관리 전 관리사의 선박관리 계획서 작성하여 관리비용 예측
- 선박관리 계획서의 예측 비용을 검토하여 예산 확정
- 예산한도 내에서 관리사가 선박관리 시행
- 단, 예방정비(정기 수리)외 개조, 개선 및 고장사고 등 특수한 경우에는 예산한도와 별도로 비용 정산

○ 기대효과

- 선박관리에 대한 관리사의 책임 증가

- 관리사의 장기 선박관리 계획 수립 가능(수리 및 안전재고 확보 등)
- 단, 예방 정비 시행 유무 등 선박관리 현황에 대하여 연구소의 지속적인 감시 기능 강화 필요

(5) 소모품

○ 소모품 운영 세부내용
- 4년간의 위탁관리 실적에 따른 정액비용 확정

○ 기대효과
- 소모품의 항목이 다양하고 수량이 많아 관리의 어려움 해소 가능
- 정산을 하지 않음으로 행정업무 감소
- 관리사의 소모품 관리 가능

(6) 연료유, 윤활유

○ 연료유는 연구소 직접 구입
- 연간 연구·이동 항해일정에 따른 적정연료량 구매를 위해 연구소가 시행

○ 윤활유는 관리사 실비 청구
- 윤활유는 관리사가 엔진 관리 및 운영 상태에 따라 실비 청구

(7) 보험가입, 대리점비

○ 세부내용
- 보험은 보험 가입 조건에 따른 담보 조건의 차이에 따라 실비 적용
- 대리점비는 전체비용이 작고 비용 발생 변동이 심하여 실비 적용

(8) 일반관리비

○ 법정교육비, 건강 진단비, 문화오락비, 회의간담회비, 인쇄비, 증서 발급비, 피복비, 기타복리후생성경비 등

○ 세부내용
- 금액이 작은 항목들을 취합하여 정액으로 시행

○ 기대효과
- 낮은 중요도의 업무를 관리사가 일괄 시행하여 행정업무의 간소화 가능

2. 운영방안 검토

가. 자체운영

(1) 주요내용

○ 선원시장을 통하여 선원을 공모, 연구소 직원(정직원 또는 계약직 등)으로 고용하여 선박을 운영하는 방법

○ 선원관리, 선박관리, 보험관리를 선주가 직접 시행

(2) 장점

○ 직장의 안정성으로 승무원의 책임감, 충성심 기대

○ 선박에 대한 애착이 높아져서 선체 및 장비관리 양호, 선박 수명연장 효과

○ 장기근속으로 운항의 안전성 제고, 연구장비 조작의 노하우 축적

KOPRI 극지연구소

(3) 단점 및 우려사항

○ 연구소의 선박관리 및 기관운영 부담 증가

- 행정지원 업무 증가, 육상 지원조직 및 추가인력 소요(선원, 선박관리를 위한 조직 보유)
- 선박전문 안전관리 시스템을 유지하기 위한 전문인력 보유 부담
- 선원법에 따라 선원의 일정기간 승선 후 휴가를 위한 교대가 필요함으로 선원수를 약 1.5배 상태 유지를 위한 인건비 상승
- 연구소의 주된 기능(연구업무)에 대한 관심과 역량의 분산우려
- 선상 연구활동에 대한 서비스 및 고객관리 인식 결여
- 장기적으로 볼 때 선원의 노령화와 인건비 증가 등 기관부담 증대
- 선원관리의 경직성과 노무관리의 어려움

나. 위탁운영(전체 위탁)

(1) 주요내용

○ 선박관리 전문회사에 '선박, 선원 보험 관리 업무'를 종합적으로 위탁하는 방법

○ 대형선사 중심으로 위탁이 이루어지며, 선진 해운국에서는 일반적으로 위탁하는 형태

(2) 장점

○ 위탁회사가 보유한 풍부한 선원집단 중에서 능력과 역량이 검증된 우수선원을 우선적 배치가능

○ 위탁회사가 선원 및 선박관리를 위한 전문인력을 고용하고 있으며, 다년간의 선박운영 경험이 축적되어 선박의 과학적·전문적 보선관리 가능

○ 위탁회사가 유지하고 있는 세계적 운항정보 및 Network 활용 용이

○ 연구소의 주된 기능(연구업무)에 집중 가능

○ 선원의 고직급화 노령화, 노무관리 등 선원관리 부담으로부터 탈피 용이

○ 선박관리회사의 다수 선박관리에 따른 구매가격(기기부속, 선구류, 선용품 등) 유리

○ 사고 시 관리회사의 전문적인 사후처리 및 Network 활용가능

○ 선주의 지원조직, 책임 및 행정지원 업무의 대폭 경감

(3) 단점 및 우려사항

○ 연구장비 조작의 경험과 노하우가 축적되지 않아 연구활동의 효율성 저하

○ 선원들의 책임감, 애착심이 자체운영보다 상대적 미흡

○ 운영관리 수수료의 추가부담(약 100~120백만원/년)

○ 관리비용 지출의 투명성 확보 애로

다. 선택적/부분 위탁운영

(1) 선원비

○ 선원비의 유형별 분류

KOPRI 금지연구소

[표 6-101] 선원비 유형 분류

항목	유형1	유형2	유형3
선원비	실비	정액	정액+실비
적용 선주	▪ 해운사와 관리업체와의 자회사 관계인 선주 ▪ 일부 화물선(총 금액을 지정하지 않고 선종별 선원시장을 반영한 실비 지급) ▪ 아라온호(연구소가 총 금액지정)	▪ 금융권 선박 ▪ 일부화물선 ▪ 한국가스공사	▪ 일부화물선

○ 유형별 특징(장단점)

[표 6-102] 선원비 유형별 특징

구 분	장 점	단 점
유형1 (실비)	▪ 선주의 비용이 선원에게 전달됨으로 비용의 투명화	▪ 관리업체가 선원시장의 직급별 임금 변동에 대처 불가로 탄력적 선원관리가 어려움 ▪ 계약시마다 선원시장의 임금변동에 대응 필요
유형2 (정액)	▪ 선주의 선원관리 정책 관여 개연성이 적어짐 ▪ 관리사의 선원시장에 대한 유연한 대처 가능	▪ 관리사의 비용 절감 정책에 의한 선원의 질 저하 우려
유형3 (정액+실비)	▪ 특별한 사유 발생시 선원 시장의 변화에 대응	▪ 실비지급에 대한 이견 조율이 어려움

(2) 선비(선박관리, 보험관리)

○ 유형별 분류

[표 6-103] 선비 유형별 분류

항목	유형1	유형2	유형3	유형4	유형5
수리비	실비	정액	정액+실비	실비	실비 + 선주시행
부속품비	실비	정액	정액+실비	실비	
소모품비	실비	정액	정액	정액	실비
윤활유	실비	정액	실비	실비	실비
보험료	실비	정액	실비	실비	선주 시행
일반관리비	실비	정액	정액	정액	정액
대리점비	실비	정액	정액+실비	정액+실비	선주 시행
적용선주	한진해운+한진SM 현대상선+현대해양SM	금융권 선박	한국 가스공사	일반해운사	극지연구소 (아라온호)

KOPRI 극지연구소

○ 유형별 특징 (장단점)

[표 6-104] 선비 유형별 특징

구 분		장 점	단 점
유형1	▪ 선주와 관리 회사가 계열사 등 특별한 관계가 형성되어 전산시스템 등을 공동 활용 가능한 경우	▪ 선주의 선박관리 강화 ▪ 선주의 선비 절감 가능	▪ 선주의 관리사 감리 감독을 위한 전문인력 보유 필요 ▪ 선주, 관리사의 행정 업무 증가
유형2	▪ 선박을 운영하지 않는 투자자 즉, 금융권 선박에 적용 ▪ 일정금액을 정액으로 지불하고 선박관리에는 일체 관여하지 않음	▪ 선주가 선박관리에 전혀 개입하지 않음 ▪ 별도의 선박운영 전문가가 필요 없음	▪ 관리사가 이익 창출을 위해 선비 지출을 줄일 경우 선박관리품질 저하 가능성 매우 높음 ▪ 선박관리에 대한 감시 기능 강화 필요 ▪ 선비 절감이 관리사의 이익으로 귀속
유형3	▪ 대부분 단가화, 정액화하고 정액화 되지 않는 특별한 부분에 대하여 실비 지급 ▪ 동일 선박의 척수가 많은 선박에 적용 유리	▪ 단가표에 의한 선박관리를 시행하기 때문에 선주의 개입 최소화 ▪ 관리사의 선박관리의 동기부여 확대 ▪ 선박관리 전문가 보유의 최소화 가능	▪ 감사기관이 인정가능한 정액 단가표 작성 필요 ▪ 정액부분에 대한 비용 집행의 신뢰성 및 적정성 판단이 어려움. ▪ 선박관리에 대한 감시 기능 강화 필요 ▪ 선비의 절감이 관리사 이익으로 귀속
유형4	▪ 선주가 관리사의 연간 선박관리 계획서을 제출받아 예산을 확정하고 예산범위 내에서 수행된 관리사의 업무에 대해 실비 정산	▪ 선주의 선박관리 강화 ▪ 확정된 예산범위에서는 선주승인 없이 시행하고 실비 정산함으로 신속한 업무 추진 가능	▪ 매년 예산확정 작업 필요 ▪ 선주의 관리사 감리 감독을 위한 전문인력 보유 필요 ▪ 선주, 관리사의 행정 업무 증가 ▪ 예산 외의 항목에 대한 (개조, 개선 및 고장사고 등)선주와 관리사의 이견 발생 가능성 있음
유형5	▪ 아라온호만 특수하게 적용 ▪ 관리사와 선주의 업무가 혼합되어 있음	▪ 선박관리를 선주가 직접 시행하는 부분은 투명성 확보	▪ 관리사와 연구소의 업무가 명확하지 않아 혼선 초래 ▪ 선주와 관리사의 관리기준이 이원화되어 행정업무 증가

라. 외국 전문회사 위탁운영

(1) 주요내용

○ 쇄빙연구선을 운영경험이 검증된 외국 선박관리 전문회사에 위탁관리

○ 국내 선사와 연계하여 상당수의 선원을 한국인으로 충원하는 조건

(2) 장점

○ 많은 경험과 역량이 검증된 전문회사의 관리로 안전운항에 아주 유리

○ 외국의 선진기법 습득으로 독자적으로 운영할 수 있는 역량배양 기간단축

○ 극지해역에서의 쇄빙연구선 운항경험 및 노하우 축적

(3) 단점 및 우려사항

○ 종합적 위탁관리는 국내법상의 제약 및 제도적 한계

- 선적등록, 선원선발 등 현실적으로 어려운 상존

○ 국민정서에 반하고 국내선사의 반발

○ 국내 선박관리 전문회사에 비하여 과다한 예산부담

마. 공동운영

(1) 주요내용

○ 정부부처에 별도의 선박운영 조직 설치·운영

○ 기관들이 운영하고 있는 각종 선박의 관리 기능을 통합 운영할 필요성 제기(한국해양과학기술원, 극지연구소, 한국지질자원연구원, 국립수산과학원, 국립해양조사원, 해양경찰청 등 소유 선박)

(2) 장점

○ 선박 관리에 있어서의 전문성 강화

○ 조직의 효율적 운영을 통한 경영혁신

○ 선박의 효율적 운항 및 융통성 있는 승무원 관리가 가능

○ 장기적으로 연구원의 내부 역량을 핵심업무인 연구개발에 집중

(3) 단점

○ 연구부문과 선박관리 부문간의 업무 연계성이 낮아짐

○ 쌍방의 의사소통이 원활치 못하고 부문간 연계에 의한 시너지 효과 상실 우려

○ 관리비용 측면에서 자체운영체제보다 큰 비용절감 효과는 어려움

○ 선박운항요구가 일시적으로 집중될 때 문제점 발생 우려

(4) 소결

○ 각 기관별로 운영 중인 해양관련 연구선들의 통합·운영을 위해서는 해당 부처, 연구회, 기관 등과 자세한 검토와 합의가 선행되어야 하나 현 시점에서 이를 해결하기 위한 시간적인 문제, 기관별 법적지위 문제 등에 대한 별도의 검토가 필요

KOPRI 극지연구소

3. 운영방안 검토 결과

아라온호 건조 당시 국내에는 쇄빙선 운영·관리 경험이 있는 국가기관이나 선원이 전무했으며, 특히 극지연구소는 쇄빙연구선을 직접 관리할 전문인력, 경험, 역량 등이 없기 때문에 초기에 단독적으로 극지운항을 시도하는 것은 도전이었다. 하지만 제2 쇄빙연구선을 건조하려는 지금은 아라온호를 5년간 운영하면서 얻을 노하우가 축적되었고 선박 운영관리에 많은 경험과 관리역량을 갖추고 있는 국내선사와의 협동을 통해 초기운영의 난제를 해결할 수 있는 여건이 갖추어져 있다.

가. 위탁관리의 불가피성

(1) 우수 핵심선원 확보

○ 쇄빙선의 경우 운항항로가 남북극임으로 장기간 모항을 떠나서 임무를 수행하게 됨. 따라서 국내법규에 따라서 일정기간 승선 후 휴가 하선을 해야 함으로 교대로 인한 우수한 선원 확보가 관건인 바, 대형 선박관리회사에서 고급선원을 보유하여 쇄빙선을 승선할 수 있는 인력풀을 확보하고 있음

○ 쇄빙선의 척수가 증가함으로 쇄빙선 운항 가능 인력의 확보가 우선시 되어야 하며 선원의 교대가 빈번하게 이루어짐으로 지속적인 선원관리가 필요함으로 아라온호와의 공동관리를 시행하여 시너지 효과 기대

(2) 쇄빙기술의 확보

○ 2009년 아라온호 인도 후 위탁사(STX 마린서비스)가 5번의 남북극 연구항해 및 보급지원 업무를 성공적으로 완수함으로써 역량이 검증된 우수 핵심선원(선장, 기관장, 1항·기사 등 고급사관)을 확보하여 국내의 선원으로 쇄빙선 운항 능력 기술을 보유함

(3) 선박관리 기술력 확보

○ 아라온호 위탁 운항 능력이 가능한 국내 위탁회사는 대형선, 특수선을 다수 보유하여 우수한 선박 운항, 유지, 보수 기술을 보유하여 남북극을 운

항하는 선박의 감항성, 안정성을 확보 가능

○ 위탁회사는 선박을 관리하는 전문회사로써 급변하는 해사법규 변화(SOLAS, Polar code)에 신속하게 대응이 가능

○ 최근 선박을 소유한 선주들은 선박을 운영하기 위한 국제적 안전 시스템이 강화되고 또한 자체 선박운항 전문인력이 필요하기 때문에 안전운항 확보뿐만 아니라 경비를 절감하기 위하여 선박 전문관리회사를 활용한 위탁을 선호하고 있음

(4) 선박관리의 효율화와 연구소 부담경감

○ 선박운영 및 관리경험이 취약하고 전문인력이 없는 연구소의 현실을 감안할 때 운영의 위험성을 극복하고 효율적인 운영관리를 위해서는 전문회사에 위탁관리방식이 보다 효과적

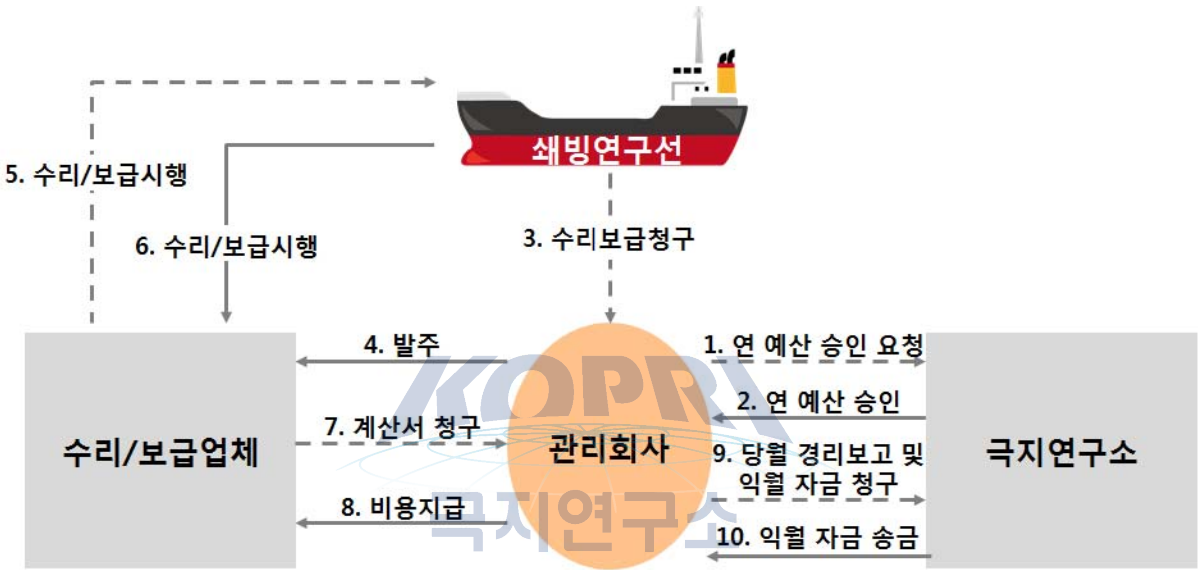
- 연구소 직접 운영관리의 단점 및 우려사항 극복
- 전문회사 위탁관리의 일반적 장점 수용

○ 위탁관리의 비교우위 적용

- 위탁관리로 시행하다가 직접관리 방식으로 변경할 수는 있어도 직접관리 방식으로 시행하다가 위탁관리 방식으로 변경할 경우 인적 구조 조정 등 많은 문제점을 유발
- 전문위탁회사가 설립되어 우수한 선원 확보가능 및 육상 관리 시행이 가능해짐으로 위탁에 따른 유지, 보수에 대한 책임이 강화되어 자체관리에 비해 단점으로 지적되던 책임감, 주인의식 결여에 관한 문제 해소
- 아라온호 선원들의 연구활동 지원인력을 최소화하여 유지하고, 선원은 선박 운영인력으로만 활용, 연구활동 지원 인력은 연구소 정규인력으로 전환하여 위탁회사의 취약한 연구분야 지원을 보완

○ 현실적 여건을 종합적으로 감안할 때, 결론적으로 위탁관리방식의 선택이 불가피하다고 판단

<그림 6-158. 위탁관리 과정>



<그림 6-159. 선박관리 방법>

제 3 절 제2 쇄빙연구선 유지관리

1. 제2 쇄빙연구선 운영 인력

가. 운항부문 인력구성 및 역할

○ 승선인원 : 120명

○ 연구원 : 90명

○ 승무원 : 30명(비상근요원 6명은 교대인력 또는 필요시 추가 승선)

[표 6-105] 제2 쇄빙연구선 승무원 구성

구분	직명	인원		임무	비고
		아라온호	제2 쇄빙선		
상근요원	선장	1	1	선내업무 총괄	
	1,2,3 항사	3	4	선박운항, 항해당직, 정박당직, 통신	
	갑판수	5	6	갑판당직, 조타, 항해보조	항해부문
	기관장	1	1	기관운전 및 선박정비 총책임	
	1,2,3 기관사	3	3	기관운전, 기관당직, 기계 및 장비 정비	기관부문
	조기수	3	4	기관당직, 기관유지보수 및 주유	
	전기기사	2	2	선내 고압전기에 관련된 장비 운용관리	탐사지원
	갑판장	1	1	크레인, 윈치 등 장비운용, 갑판 유지관리, 업무총괄, 선상 탐사활동지원 팀장	
	갑판원	3	3	갑판유지관리 및 보수업무, 선상 탐사활동지원	상주요원
	전자사	1	1	연구장비 운용관리 및 탐사활동 지원	
	조리부	3	4	주부식 관리, 식사제공	
	소 계	26명	30명		
비상근	의 사	1	1	기지파견 및 철수요원 활용/극지항해	
	Ice Pilot+Navigator	2	2	결빙해역 운항시에 고용	외국 전문가
	임시 승무원	3	3	남북극 항해시 고용	
합계		**32명**	**36명**		

KOPRI 극지연구소

(1) 선장

○ 선장의 항해 시 임무
- 선내업무 총괄 지휘
- 승선 필수지침 제공
- 국내외 법규/협약/규정/절차 및 지침 준수
- 안전항해 및 감항성 담보
- 선박 및 선원의 증서 유지
- 정비작업 승인 및 실적 확인
- 항해시작 전 항해가능담보 확인
- 연구소 및 관련 부처에 선박, 선원관련사고 및 손상 보고
- 선용금의 보관/관리
- 선내 교육 및 훈련
- 안전품질위원회 및 연구품질위원회 운영

○ 선장의 연구작업 시 임무
- 연구지원반 구성 및 수석연구원과 업무협의
- 연구작업 지원총괄

KOPRI 극지연구소

(2) 1항사

○ 1항사의 항해 시 임무
- 선장 보좌 및 지시사항 이행
- 선장 부재시 선장 업무 대행
- 운항 중 당직사관 직무 수행
- 갑판부 업무 총괄 및 지도, 교육 및 관리
- 구명, 소화설비 유지 및 관리 총괄
- 갑판부 정비 업무에 관한 실무 책임자로서의 업무
- 안전 품질/ 연구품질위원회 간사
- 지정된 갑판 기/장비 관리담당자
- 화물 선하역작업 및 화물(연구장비포함) 관련 업무
- Ballast, Bilge 및 청수 관리
- 승무원의 규율 및 기강 확립

- 갑판부 환경경영 추진계획서 이행 및 실적관리
- 갑판부 관리문서 및 폐기물 기록부 관리
- 접·이안시 선수부 지휘
- 담당업무 수행기록유지, 관리
- 거주구역 설비, 비품 관리
- 기타 상급자로부터 위임받은 업무

○ 1항사의 연구작업 시 임무
- 연구작업 지원반 편성 및 지원
- 수석연구원 또는 현장책임연구원, 전자장 등과 함께 연구활동 내용 설명회 참여
- 연구작업 시 DP 운용
- 작업현장과 조타실간 통신유지
- 작업현장 지휘자와 업무협조

(3) 2항사

○ 2항사의 항해 시 임무
- 상급자 보좌 및 지시사항 이행
- 항해계획 수립 및 관련업무
- 운항중 당직사관 직무 수행
- 항해/통신 및 지정된 장비의 관리담당자 업무
- 해도 및 운항관련 출판물의 소개, 정리 및 관리
- 외부문선 목록 관리
- 입출항, 정오보고 및 각종 항해보고서 작성
- 입출항시 선미갑판 작업 지휘
- 선내 무선국 및 관련 기/장비 운용
- 공용 가전제품 관리(음향, 시청각 등)
- 통신 법령 및 관련절차에 의거한 제증서, 기록 및 간행물 비치 및 관리
- 입출항 수속서류 작성 및 수속업무
- 담당업무 수행기록 유지, 관리
- 기타 상급자로부터 위임받은 업무

KOPRI 극지연구소

○ 2항사의 연구작업 시 임무
- 연구작업 지원
- 연구작업시 DP 운용
- 작업현장과 조타실간 통신유지
- 작업현장 지휘자와 업무협조

(4) 3항사

○ 3항사의 항해 시 임무
- 상급자 보좌 및 지시사항 이행
- 운항 중 당직사간 직무 수행
- 1항사를 보좌하여 구명 소화설비의 점검 주관
- 갑판부 무전기 관리
- 항해일지 및 항해계기 기록지 관리
- 시각대 변경에 따른 선내 시간 조정
- 입출항시 흘수 확인 및 컨디션 리포트 작성 배포
- 입출항시 조타실 위치 선장보좌 및 상황 기록
- 도선사 승하선 안내
- 선내 도서 및 문화용품 관리(체련비품 포함)
- 문구류의 재고관리 및 청구업무
- 문서 및 기록서 파일 총목록 관리
- 의약품 및 위생용품 관리
- 담당업무 수행기록 유지 관리
- 기타 상급자로부터 위임받은 업무

○ 3항사의 연구작업 시 임무
- 연구작업 지원
- 연구작업시 DP 운용
- 작업현장과 조타실간 통신유지
- 작업현장 지휘자와 업무협조

(5) 갑판수

○ 갑판수의 항해 시 임무

KOPRI 극지연구소

- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 상급자의 지시에 따른 업무 수행
- 당직사관 명에 따른 조타/견시업무
- 각종 항해등화의 관제 및 전구교체
- 각종 기류 및 형상물의 보관관리
- 각종 평형수 탱크 관리
- 선교 및 주변 청소 및 정리정돈
- 선내 순찰 업무
- 출/입항시 선수·미에서 항해사 보좌
- 선수·미 Thruster Room 순찰 및 청결유지
- 당직사관 명에 의한 안전설비/비품 점검 및 검사보조 업무
- 정박중 현문 당직
- 정박일지 작성 및 당직교대 후 인수인계 결과보고

○ 갑판수의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 보급/선적·하역/연구활동 시 선수·미 크레인 운전
- 연구활동 지원 책임자 또는 갑판장의 지시사항 수행
- 정점 이동 시 조타 및 견시업무

(6) 기관장

○ 기관장의 항해 시 임무
- 선내 보수유지 작업 업무 총괄
- 기관업무 총괄

○ 기관장의 연구작업 시 임무
- 필요시 연구활동 기술 지원

(7) 1기관사

○ 1기관사의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 기관장 보좌 및 상급자 지시사항 이행
- 기관장 부재시 기관장 업무 대행

- 당직 기관사 업무 수행
- 기관부 실무 책임자로서 업무 수행
- 정비계획 수립, 집행확인 및 결과보고
- 외주정비 및 정비자재 청구
- 기관 선용품 / 기부속 청구 및 관리
- 정비작업 표준화의 이행 및 적합성 검토와 개선요청
- 윤활유, 화공약품 수급 및 관리
- 기관부 창고 및 Workshop 관리
- 기관부 문서, 도면 및 Manual 관리
- 업무 수행기록, 담당기기 결함이력 유지 및 관리
- 담당기기 : 주 발전기, 선수 Thrust, 갑판 기기, 선미 추진기

○ 1기사의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구활동 중 장비의 물리적 이상이 있을시 수리 및 지원 업무

(8) 2기관사

○ 2기관사의 항해 시 임무
- 국내·외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 기관장/상급자 보좌 및 지시사항 이행
- 당직 기관사 업무 수행
- 업무 수행기록, 담당기기 결함이력 유지 및 관리
- 연료유의 수급 및 관리
- 폐유관리 및 기관실 빌지 배출 주관
- 기름 기록부 유지 및 관리
- 기관부 무전기 관리
- 담당기기 : 정박 발전기, 보조 보일러, 조수기, 비상발전기 및 비상소화펌프

○ 2기사의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구활동 중 장비의 물리적 이상이 있을시 수리 및 지원 업무

KOPRI 극지연구소

(9) 3기관사

○ 3기관사의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 기관장/상급자 보좌 및 지시사항 이행
- 당직 기관사 업무 수행
- 업무 수행기록, 담당기기 결함이력 유지 및 관리
- 입/출항시 계류업무 지원
- 담당기기 : 주부식 창고 및 시료 냉동고의 냉동기

○ 3기사의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구활동 중 장비의 물리적 이상이 있을시 수리 및 지원 업무

(10) 조기수

○ 조기수의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지참 준수
- 상급자의 지시에 따른 업무 수행
- 필요시 기관실 당직부원 업무 수행
- 정비작업을 위한 공구준비 및 기타 지원업무
- 작업장 정리정돈 및 청결유지
- 상급자의 명에 의한 기관/기기의 정비, 운전 및 상태 점검
- 각종 유류 탱크의 저장량 측정과 수급량 점검
- 방화, 도난방지의 업무
- 입/출항시 계류작업 지원

○ 조기수의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구활동 중 장비의 물리적 이상이 있을시 수리 및 지원 업무

(11) 전기기사

○ 전기기사의 항해 시 임무
- 국내·외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수

KOPRI 극지연구소

- 상급자 보좌 및 지시사항 이행
- 선내 전원설비 및 안전설비 전기계통설비의 정비, 유지 담당
- 항해/통신 장비의 기술지원
- 업무수행기록 및 당당기기 결함이력 유지, 관리
- 담당기기

• 발전기, Thrust, 고압변압기 등 선내 전반적인 전기관련 업무 총괄

• 비상 배터리(UPS), 소모성 배터리, 기/장비의 전원용 배터리 관리

• 선내 전반적인 전기관련 업무, 갑판 조명 시스템

○ 전기장의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구활동 중 장비의 물리적 이상이 있을시 수리 및 지원 업무

(12) 갑판장

○ 갑판장의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 상급자의 지시에 따른 업무 수행
- 부하 직원의 지도 및 감독
- 갑판 선용품 및 기관 부속품 보관, 관리 및 재고파악
- 갑판 기계 장비류의 정비 업무
- 선체 및 구조물의 보수/유지
- 구명/소화설비의 비품보수, 유지 및 관리
- 작업장의 정리정돈 및 청결유지
- 선내 위생시설 관리 및 청결유지
- 보급품 및 연구물품의 선적 및 하역에 관한 제반 업무
- 안전사고 유무확인 및 문제발생시 당직사관에게 보고
- 갑판 창고 정리정돈 및 청결유지
- 입/출항시 선수에서 1항사 보좌

○ 갑판장의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원 업무
- 연구지원 책임자인 전자장으로부터 위임받은 업무

KOPRI 극지연구소

- 갑판 연구장비의 운용
- 작업 중 안전관리
- 연구지원반 인력 배치
- 작업 중 장비 이상시 응급처치
- 방한피복 및 작업화 관리
- 갑판 연구 보조장비의 결합/해체 및 결삭

(13) 갑판원

○ 갑판원의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
- 갑판장 지시사항 이행 및 업무보조
- 정비작업을 위한 공구준비 및 기타 업무지원
- 담당구역 정리정돈 및 청결유지
- 방화, 도난방지 등의 업무수행
- 입/출항시 계류작업 수행

○ 갑판원의 연구작업 시 임무
- 연구활동 지원업무
- 연구활동을 위한 보조장비 및 공구 준비
- 연구활동 지원 책임자 또는 갑판장의 지시사항 수행
- 연구장비의 윈치 및 기타 장비 운전업무

(14) 전자사

○ 전자장의 항해 시 임무
- 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침준수
- 선장 보좌 및 지시사항 이행
- 선내 연구실 및 장착장비 유지 관리
- 선내 네트워크 장비의 유지 관리
- 연구물품 창고 정리정돈 및 청결유지
- 전자부 Workshop 정리정돈 및 청결유지
- 연구장비의 고장유무 확인

○ 전자장의 연구작업 시 임무

KOPRI 극지연구소

- 작업현장과 조타실간 통신유지
- 조타실 당직사관 및 연구현장 책임자와 긴밀한 업무협조 유지

(15) 조리부

○ 조리장

- 조리장의 항해 시 임무
  - 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
  - 선장 및 1항사의 지시에 따른 업무 수행
  - 부하직원 지도, 감독
  - 취사 및 조리업무
  - 주부식 청구, 수급, 관리 및 재고파악
  - 주방설비 및 취사도구 관리
  - 취사장 청결 유지
  - 입출항 수속업무 지원
  - 외래객 접대 지원
  - 선내 면세품의 관리 및 취급
  - 연구활동 중 야식 제공 업무

○ 조리수

- 조리수의 항해 시 임무
  - 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수
  - 상급자의 지시에 따른 업무수행
  - 주부식 관리, 취사 및 조리업무 보조
  - 침구류 관리
  - 선내 배식 담당
  - 취사장, 식당 및 휴게실 청결유지
  - 입/출항시 계류작업 지원

KOPRI 극지연구소

- 조리수의 연구작업 시 임무

• 연구활동 중 야식제공 업무

○ 조리원

- 조리원의 항해 시 임무

• 국내외 법규/협약/규정, 절차 및 지침 준수

• 상급자의 지시에 따른 업무수행

• 주·부식 관리, 취사 및 조리업무 보조

• 침구류 관리

• 선내 배식 담당

• 취사장, 식당 및 휴게실 청결유지

• 외래객 접대 지원

• 입/출항시 계류작업 지원

- 조리원의 연구작업 시 임무

• 연구활동 중 야식제공 업무

• 면세품 관리 업무

KOPRI 극저연구소

[표 6-106] 주요 연구조사선 승무원 현황

소속(용도)	선명	톤수	정원
극지연구소 (쇄빙연구선)	아라온호	7,487톤	26명
국립수산과학원 (시험조사선)	탐구1호	2,180톤	27명
	탐구3호	369톤	18명
	탐구16호	39톤	6명
국립해양조사원 (해양조사선)	해양2000호	2,161톤	25명
	바다로1호	684톤	18명
	동해로호	65톤	7명
한국지질자원연구원 (해저탐사선)	탐해2호	2,080톤	16명
한국해양과학기술원 (종합해양과학연구선)	온누리호	1,422톤	15명
	이어도호	550톤	13명
	장목호	41톤	4명

나. 운영관리부문 인력구성 및 역할

(1) 육상지원 인력구성

제2 쇄빙연구선의 육상지원 인력은 기존 아라온호 운영인력 일부를 공동으로 활용하여 효율적 운영이 가능하다. 운영지원 관련 업무를 총괄하는 업무총괄 인력과 운영계획 및 항적관리, 국제협력 업무 등을 지원하는 행정담당 인력, 회계와 기타 업무를 보조하는 회계담당 인력은 기존 아라온호 운영 인력을 공동으로 활용하는 것이 업무량과 시너지를 고려할 때 바람직하다. 하지만 쇄빙선의 운항관리, 승무원 인사, 안전 등을 담당하는 운항담당 인력과 수리 및 선용품 구매관리, 기관 및 장비 부품 조달 등을 담당하는 공무담당 인력은 아라온호와 제2 쇄빙연구선의 전담인력을 별도로 편제하여 쇄빙선 운영 중에 발생 가능한 이슈에 대해 신속하고 효과적으로 대응할 수 있도록 한다.

[표 6-107] 육상지원 인력구성 및 업무

구 분	인 원		주요임무 및 수행업무	비고
	아라온호	제2 쇄빙선		
업무총괄	1명		▪ 업무총괄, 책임자	공동활용
운항담당	1명	1명	▪ 승무원 인사 및 노무관리, 선원교대 ▪ 해외 대리점업무, 통신 및 항로관리 ▪ 선용품의 조달 및 관리 ▪ 기타 선원법에 의한 제반 해무업무	
공무담당	1명	1명	▪ 선박수리 및 정비업무 ▪ 기관 및 장비의 부품조달 및 관리 ▪ 연료유류 조달관리 ▪ 기타 선박법에 의한 제반 공무업무	
행정담당	1명		▪ 연간 운영계획 및 항적관리 ▪ 모항 부두창고 및 선석관리 ▪ 항만관리청 관련 업무 ▪ 쇄빙연구선 공동활용 및 국제협력 업무 ▪ 기타 쇄빙연구선 운영지원과 관련되는 행정 및 서무	공동활용
회계담당	1명		▪ 회계업무 ▪ 기타업무 보조	공동활용

(1) 운항담당

- 쇄빙연구선 입출항 수속 및 관리
- 선박대리점 업무
- 쇄빙연구선 운항 관리 업무
- 쇄빙연구선 안전 및 검사업무
- 쇄빙연구선 승무원 인력 관리

(2) 공무담당

- 쇄빙연구선 수리관련 업무
- 쇄빙연구선 관리 업무
- 선용품 구매 관리 업무
- 쇄빙연구선 항해, 기관장비 상태 및 운영정보 파악에 관한 업무
- 쇄빙연구선 운영관련 법규 및 국제협약 적용에 관한 사항

KOPRI 극지연구소

2. 제2 쇄빙연구선 육상지원 시설

가. 필요시설

○ 필수 시설
- 접안시설(부두)
- 육상 전원시설
- 육상 통신시설
- 선적 및 하역 공간
- 보관창고 및 사무공간

○ 전용부두로 이용 시 추가 필요 시설
- 유지관리 부품 및 장비 보관 설비
- 쇄빙연구선 장착장비관련 장비 정비 설비

KOPRI 극지연구소

나. 사양

○ 접안시설(부두)은 쇄빙연구선의 규모에 맞는 충분한 길이와 흘수를 고려한 충분한 수심의 확보가 필수

[표 6-108] 제2 쇄빙연구선 접안을 위한 부두 주요 사양

구분	제2 쇄빙연구선(m)	부두(m)	비고
길이	120	180	배길이 1.5배
폭	22.5	34	배폭 1.5배
흘수(수심)	8.5	11.5	흘수 +3m

○ 정박 시에도 소요되는 전력량을 충족시키는 육상전력의 인입시설
- 아라온호가 정박하는 인천 모항의 경우 1,000㎾ 설비 구축
- 제2 쇄빙연구선의 경우 2,000㎾ 설비 구축 필요

○ 정박 시 업무수행을 위한 통신설비와 획득자료의 원활한 송수신을 위한 인터넷 통신망 설비

○ 극지 장기항해에 대비한 주부식, 선용품, 연구장비 등의 선적과 하역이 용

이토록 넓은 공간 확보

- 육상 급수 시설 설비 및 급유 등이 용이 한 장소
- 연구장비 및 선박부품 등을 보관하는 창고 설비
- 장비 정비동은 쇄빙연구선 위주의 장비들을 유지관리하기 위하여 부품보관실, 장비정비실, 검교정실, 기구제작실 등을 구비하고 장비의 원활한 운영 및 작동을 위한 기본적인 유지관리와 연구에 필수적인 기기 및 기구의 제작, 부착 센서의 정밀도 확인 등을 수행할 수 있는 설비 구비
- 쇄빙연구선 규모(길이)에 맞는 육지 접안시설(부두)에는 벽·가교 등 선박을 계류시키는 계선시설, 연구장비를 하적하는 데 필요한 하역기계·가건물 등의 화물처분시설, 도로·철도 등 여객·화물의 운송에 제공되는 임항교통시설, 승무원의 승강 및 대기를 위한 여객시설, 선박에의 급수·급유·식량보급 등을 제공하는 보급시설, 선원을 위해 숙박·진료를 제공하는 후생시설 등이 필요

다. 주요 업무

- 연구항차 수행에 필요한 연구장의 선하역 수행
- 육상에서의 점검은 부품 및 장비 시스템에 대한 유지관리를 위하여 각 부분의 해체 및 조립을 수행
- 각각의 센서는 해당 장비의 관측 값의 오차 범위에 맞추어 장비를 사용할 수 있도록 점검 수행
- 유지관리 시 반드시 수행하는 항목 : 해수에 의한 장치의 부식 상태 점검, 수밀관련(O-ring, 유압 Oil 상태, connector 등) 교체, 해수세척, 센서별, 관측 장비, 본체 등 개별 점검 및 통합점검, 위치 추적장치, 영상처리 장치 등
- 장비별 시험운용 지침서에 따라 제어기 작동 시험, 단계별 센서, 계측기기 측정범위 점검 및 조치, 연습, 육상 및 수조에서의 필수 목록 점검, 철저한 상태 점검을 위한 해체 및 조립, 장비 계통도에 따른 부품 및 기기의 점검 등을 수행

KOPRI 극지연구소

○ 검·교정 관련 장비

- 쇄빙연구선에서 사용하는 센서 중에는 주기적으로 이를 점검하고 이 장비의 오차를 보정 할 수 있는 교정 장비가 필요
- 온도, 압력, 음향 등 각 분야의 정해진 표준에 맞도록 검교정하여 쇄빙연구선의 관측 자료에 대한 신뢰성과 연구선과 연구선 간의 관측 자료의 상호 비교 검증이 중요

KOPRI 극지연구소

3. 기타 운영방안

가. 선원 및 선박관리 방안

[표 6-109] 선원 및 선박관리 주요내용

업무법위	주요내용	비 고
선원관리	▪ 선원의 모집, 교육훈련, 후생복지, 선원 관련 정보자료 제공 등의 업무를 영위하는 선원 인사관리사업 업무 ▪ 선원재해보상에 관한 보험부보	선원법 시행령 제 38조, 선박관리업의 등록관리 요령(해운법) 제 3조
선박관리	▪ 선박의 신조관리 ▪ 감수보존, 선박의 계선관리 ▪ 선박의 보수, 정비, 유지 ▪ 선박 부속, 윤활유, 선용품 보급 ▪ 선박정비관련 각종 정비자료 제공 등 선박의 안전운항을 위한 선박의 기술적 관리 업무	선박관리업의 등록관리 요령 제 3조
보험관리	▪ 선체보험, 선주책임상호보험 등 해상관련 보험을 부보하거나 주선하는 업무	선박관리업의 등록관리 요령 제 3조

KOPRI 금지연구소

나. 연구작업시 업무수행 요령

○ 연구작업 지원조는 수석연구원 또는 위임 받은 연구원(연구현장책임자)의 요청에 따라 지원함

○ 연구작업 지원 지휘자는 작업 수행 전에 수석연구원 또는 연구현장책임자로부터 작업내용, 사용장비, 주의사항 등에 대해 충분히 설명을 듣고 실행하여야 하며, 필요한 경우 1항사, 1기사, 갑판장을 참석시켜야 함

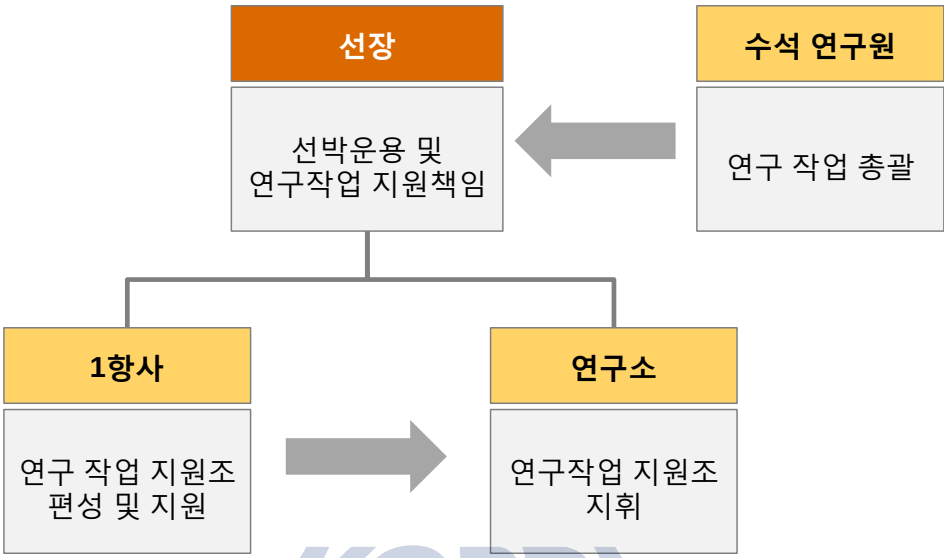
○ 연구작업 지원조의 지휘자는 연구현장 책임자의 요청에 따라 장비조작 및 각종 Cable의 인출을 지휘함

○ 지원조의 지휘자 또는 장비운용 담당자는 수시로 변화되는 장비의 현상 및 Cable의 상태, 장력, 방향 등 관련 정보를 수시로 통보하여 조타실과 연구현장책임자가 현재 상황을 파악할 수 있도록 하고, 선교와 연구현장책임자로부터 선박의 움직임과 수정되는 장비운영 내용을 확인하여야 함

○ 연구작업 현장의 안전에 관한 책임은 지원조의 당직 지휘자에게 있음

○ 장비운용으로 얻어지는 결과물에 대한 책임은 연구현장책임자에게 있음

다. 연구항해 중 업무수행 체계



<그림 6-160. 연구작업 시 업무수행 체계도>

KOPRI 극지연구소

제 7 장

정책적 타당성

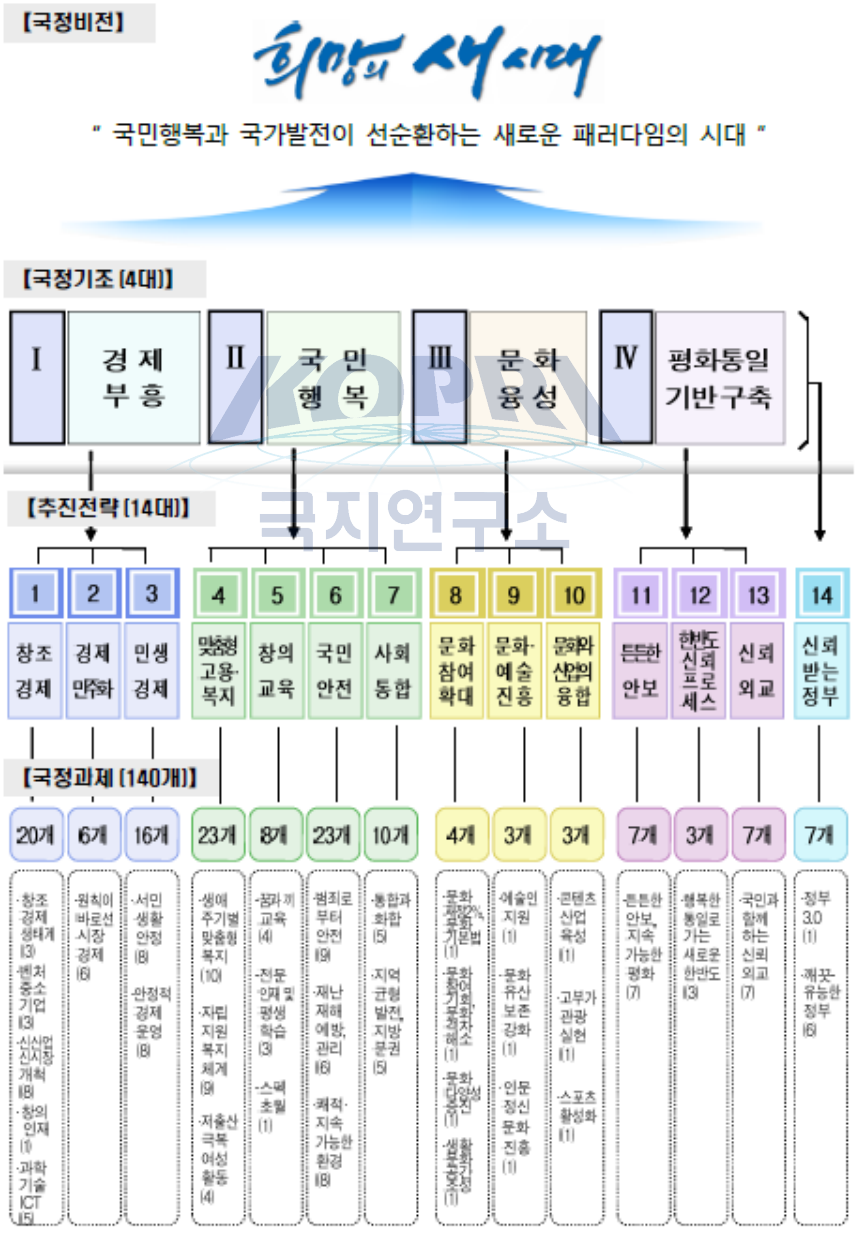
KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 상위계획과의 부합성

1. 박근혜정부 국정과제[1)]

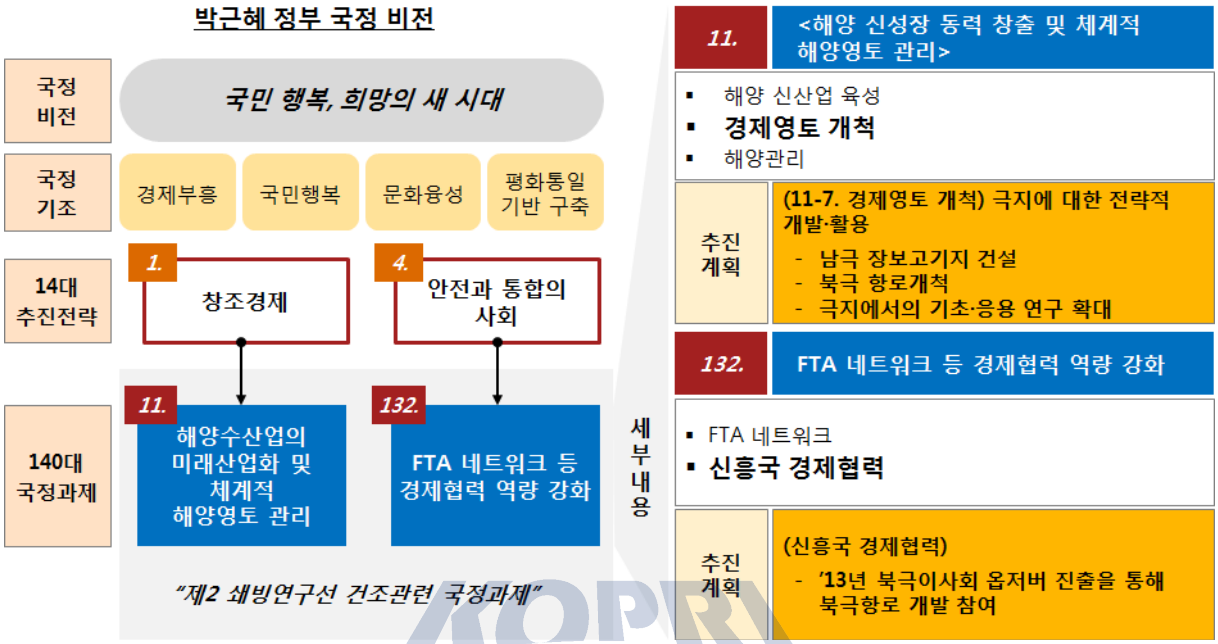
지난 2013년 2월에 출범한 박근혜 정부는 '경제부흥', '국민행복', '문화융성', '평화통일 기반 구축' 등 4대 국정기조 아래 14대 추진전략 및 140개 세부과제로 구성된 국정과제를 제시하였다.



<그림 7-161. 박근혜정부 국정과제 구조도>

1) 관계부처 합동, 박근혜정부 국정과제, 2013.05.28

현 정부의 국정과제 중 11번째 국정과제인 '해양수산업의 미래산업화 및 체계적 해양영토 관리'와 132번째 국정과제인 'FTA 네트워크 등 경제협력 역량 강화'는 제2 쇄빙연구선 건조와 관련된 국정과제라고 볼 수 있다.



<그림 7-162. 극지 관련 국정과제>

국정과제 11은 '수산의 미래산업화', '해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리' 등 두 개의 세부과제를 제시하고 있다. 이 중 두 번째 세부과제 '해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리'의 추진계획으로 '경제영토개척'을 제시하면서, "남극 장보고과학기지 건설, 북극항로 개척 및 극지에서의 기초·응용연구 확대 등 극지에 대한 전략적 개발·활용 추진"을 그 내용으로 담고 있다.

남극 장보고과학기지는 지난 2014년 2월에 준공됨으로써 이에 대한 소기의 목적은 달성되었다고 볼 수 있으나, '북극 항로개척'은 북극 전용의 쇄빙연구선 부재로 인해 여전히 답보 상태이다. 또한 극지 기초·응용 연구 또한 한시적으로 진행되는 과업이 아닌 단계적이고 장기적으로 확대해 나가야 하는 만큼 세부 추진계획을 달성하기 위해서는 제2 쇄빙연구선의 활용이 절대적으로 시급하다고 볼 수 있다. 아라온호와 제2 쇄빙연구선의 남극과 북극에 대한 역할 분담으로 인해 북극항로 개척 및 북극해 연구활동의 실행력을 강화하게 될 뿐만 아니라 아라온호의 남극활동 집중으로 인해 남극에 대한 연구활동 또한 고도화 되는 등 시너지 효과를 크게 기대해 볼 수 있다고 할 수 있겠다. 제2 쇄빙연구선은 남극

세종과학기지 및 장보고과학기지의 인력·물자 보급의 원활화, 쇄빙기능의 활용을 통한 북극항로 개척 지원, 남·북극해 과학연구 지원 등 국정과제 11의 달성 및 발전을 위하여 반드시 필요한 실천과제이다.

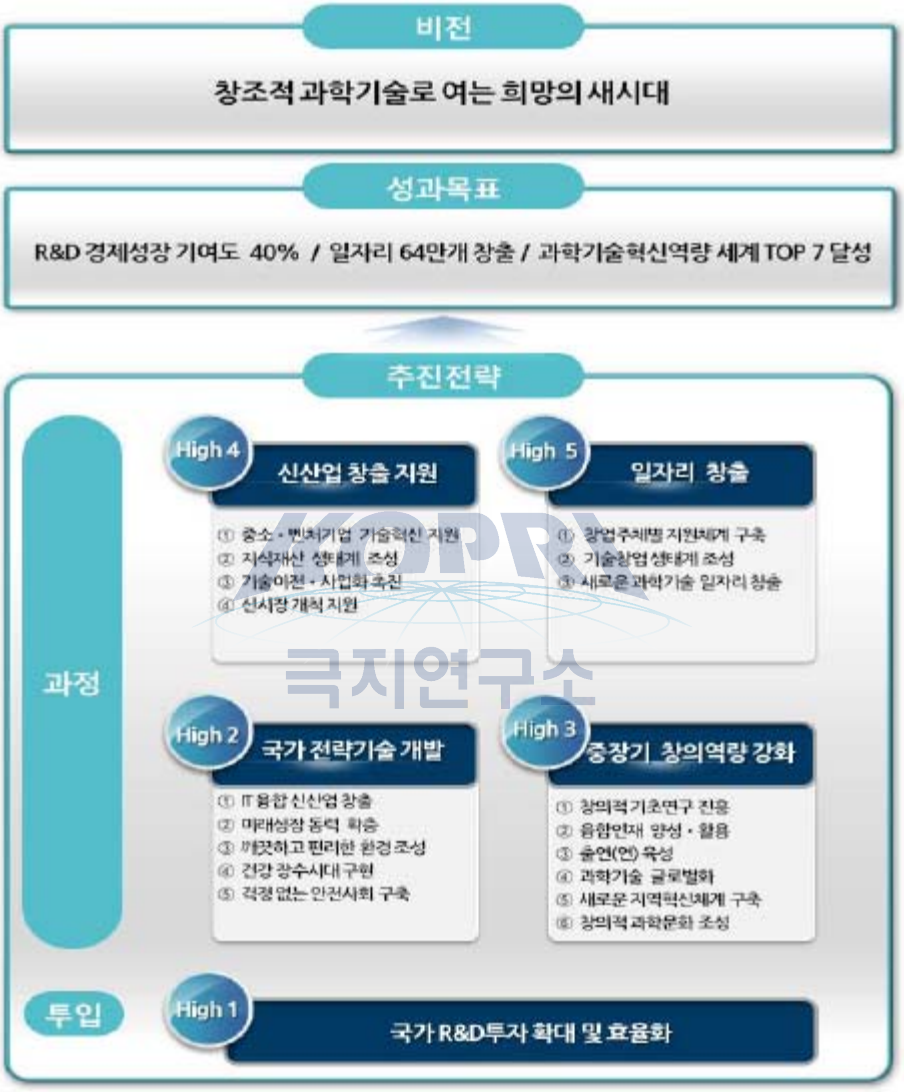
제2 쇄빙연구선 건조와 관련된 두 번째는 국정과제 132 (FTA 네트워크 등 경제협력 역량 강화)이다. 국정과제 132는 그 추진계획으로 'FTA 네트워크'와 '신흥국 경제협력'을 제시하고 있으며, 이중 '신흥국 경제협력'을 위해 "2013년 북극이사회 옵저버 진출을 통해 북극항로 개발에 참여"를 내용으로 담고 있다.

북극이사회(Arctic Council)는 북극권의 환경보호, 지속가능한 발전과 관련한 이슈를 논의하는 국제 거버넌스로 미국, 러시아, 스웨덴 등 8개 회원국을 중심으로 영구 참여단체인 이누이트 등 6개의 북극권 원주민 단체와 영국 등 6개 정식 옵서버 국가가 참여하고 있다. 정식옵저버 지위는 이사회 내에서 의사결정권한은 없지만, 서면을 통한 의견개진이 가능하고 이사회 내 각종 회의와 워킹그룹에 참여가 가능해 수시 워킹그룹 회의, 연 2회 최고실무회의, 격년제로 열리는 각료회의 등 다양한 참여가 가능하다. 우리나라는 지난 2008년 옵저버 가입지원서를 제출한 이후 2013년 세 번째 도전만에 정식 옵저버 지위를 획득하였는데 이를 통해 북극해 연안 국가들과의 양자협력 기회 확대와 전문가 네트워크 구축 등 북극해 관련 연구와 각종 활동에 크게 탄력을 받을 것으로 기대되고 있다. 뿐만 아니라 현 정부의 국정과제에서 제시하고 있는 북극이사회 회원국 및 옵저버 국가와 함께 북극항로 개발에 적극 참여할 수 있는 계기가 마련되었다고 볼 수 있다. 빙하와 유빙이 산재된 북극항로 개척에 있어서 쇄빙선의 역할은 매우 중요하며, 현재 쇄빙연구선 아라온호의 항행일수가 포화상태에 달한 상황에서 북극항로 개발이라는 국정과제를 달성하기 위해서는 제2 쇄빙연구선의 건조가 필요하다.

KOPRI 극지연구소

2. 제3차 과학기술기본계획('13~'17)[2)]

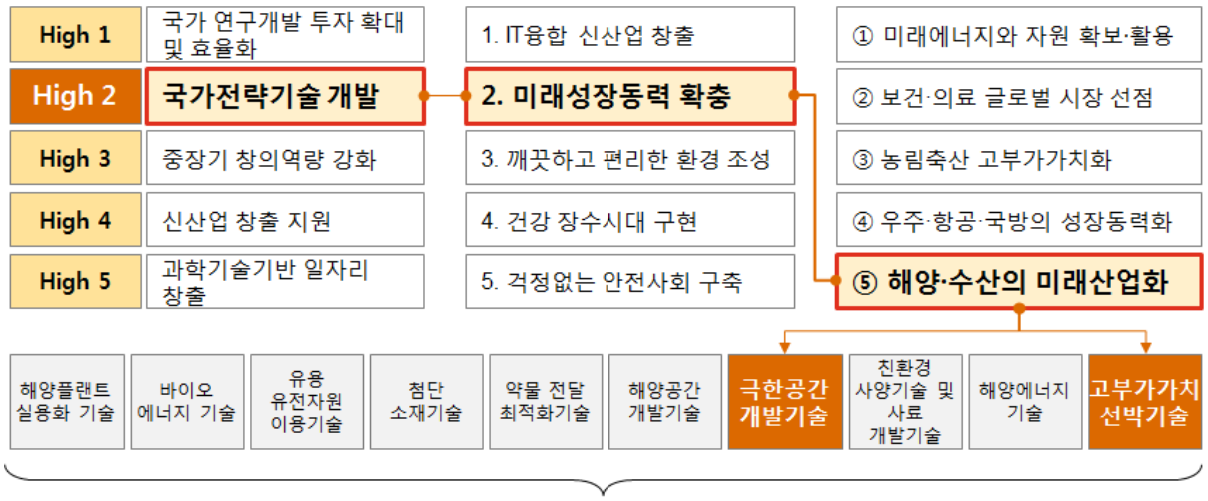
'과학기술기본계획'은 과학기술분야 최상위 국가 종합계획으로서 과학기술기본법에 따라 매 5년 마다 수립하는 법정 중장기 계획이다.



<그림 7-163. 제3차 과학기술기본계획 비전 및 추진전략>

제3차 과학기술기본계획은 '창조적 과학기술로 여는 희망의 새시대'라는 비전 아래 5개 전략분야를 고도화(High)하고, 19개 분야 78개 과제를 제시하고 있다. 5개 전략분야 중 동 사업과 관련된 분야는 두 번째 전략과제인 '국가 전략기술 개발' 이라고 볼 수 있다.

2) 국가과학기술심의회 운영위원회, 「제3차 과학기술기본계획('13~'17)」 2014년도 시행계획, 2014.02.27



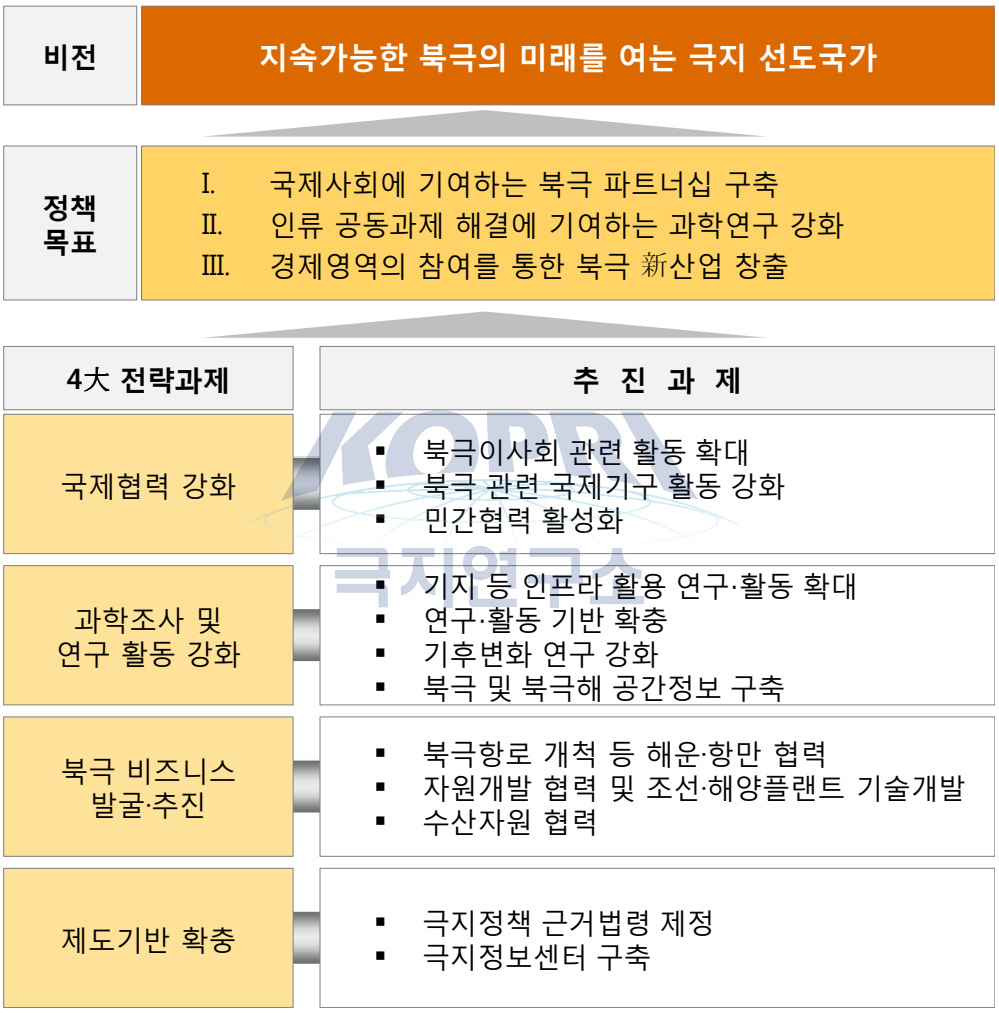
<그림 7-164. 제3차 과학기술기본계획 세부내용>

'전략 2. 국가전략기술 개발'은 '과학기술 기반 경제부흥과 국민 삶의 질 향상'이라는 목표 아래 5대 분야에 따른 120개 국가전략기술을 마련하고 이에 대한 R&D 투자 확대를 강조하고 있다. 본 사업인 '제2 쇄빙연구선 건조 사업'에 대한 직접적인 언급은 없으나, '미래성장동력 확충'의 5대 하위과제 중 '해양·수산의 미래산업화'와 본 사업과 연계가 깊다고 볼 수 있다. '해양·수산의 미래산업화' 과제 아래 제시된 10개의 국가전략기술 중 '극한공간 개발기술'과 '고부가가치 선박기술'은 쇄빙연구선 건조를 통해 기술수준 향상을 기대할 수 있다고 판단된다. 2012년에 한국과학기술기획평가원에 의한 기술수준평가 결과에 의하면 국내 '극한공간 개발기술'은 최고기술보유국 대비 약 63% 수준으로 '추격 그룹'에 해당되며, '고부가가치 선박기술'은 약 85%를 상회하는 '선도 그룹'에 해당한다. 이는 미래 에너지 및 미개척 공간 개발을 위한 기술이 상대적으로 낮은 수준이라는 의미이며, 관련 기술수준의 향상을 위한 노력이 필요하다.

제2 쇄빙연구선은 극지역에서 자재, 장비, 건축 등 다양한 테스트 기회를 제공하며, 극지역 탐사 및 자원개발과 관련된 기술을 적용하고 향상시킬 수 있다는 점에서 극한공간 개발기술 향상에 기여할 수 있다. 또한 쇄빙연구선은 여러가지 차세대 기술을 적용하는 기술집약형 선박이기 때문에 쇄빙연구선 건조시 얻을 수 있는 건조 노하우와 실적은 우리나라의 선박 건조 기술을 향상시키고 세계 조선시장의 시장지배력을 유지하는데 도움이 될 것으로 기대된다는 점에서 제3차 과학기술기본계획의 비전과 목표에 부합한다고 볼 수 있다.

3. 북극정책 기본계획[3)]

위에서 언급한 '박근혜 정부 국정과제'는 주관부처의 책임 하에 부처 간 협업을 통한 시너지 효과를 창출한다는 계획을 전제하고 있다. 이에 해양수산부는 관계부처와 합동으로 작성된 '북극정책 기본계획'을 2013년 12월 10일 국무회의에 보고하였다.



<그림 7-165. 북극정책 기본계획>

북극정책 기본계획은 ① 국제협력 분야, ② 과학조사 및 연구 분야, ③ 북극권 비즈니스 분야, ④ 제도분야국제협력 분야 등 4개의 전략과제 아래 12개 추진과제 및 31개 세부 추진계획으로 구성되어 있으며 2017년까지 단계적으로 시행할 예정이다.

3) 관계부처 합동, 북극정책 기본계획, 2013.12.10

[표 7-110] 북극정책 기본계획 추진과제 및 세부추진 계획

구분		세부 추진계획
국제협력 강화	북극이사회 관련 활동 확대	① 북극이사회 산하 6개 워킹그룹 참여활동 확대(대표단 구성) ② 북극이사회 결정사항(유류오염예방협정('13), 수색구조협정('11)의 후속사업 및 참여계획 수립
	북극 관련 국제기구 활동 강화	③ 북극 관련 국제기구 활동 강화(북극 아젠다 협의체 참여) ④ IASC에 아라온호를 활용한 공동 연구사업 제안 ⑤ 아시아 지역 옵서버 국가들에게 「북극정책 협의체」 구성 제안
	민간협력 활성화	⑥ 북극권 원주민 대상 기후변화 모니터링 프로그램 개발 ⑦ 해양수산연수원 교육훈련 프로그램 신설 ⑧ 북극대학교 가입 및 노르웨이 북극과학기지 내 한국 현지 연구실 개설
과학조사 및 연구활동 강화	기지 등 인프라 활용 연구/활동 확대	① 노르웨이(스발바르)-덴마크(그린란드) 국제 공동연구 참여 ② 아라온호를 이용한 북극해 가스 하이드레이트 조사 ③ 북극 동토층 지역 관측거점 운영 및 환경변화 관측시스템 기술 개발
	연구/활동 기반 확충	**④ 제2 쇄빙연구선 건조 타당성 검토** ⑤ 한국-노르웨이 간 극지연구 국제협력센터 개설 추진 ⑥ 「한국북극연구 컨소시엄」 구성
	기후변화 연구 강화	⑦ 미국 및 영국과 기후변화 공동탐사 MOU 체결 ⑧ 북극해 해양·해빙 자료동화 기술개발 ⑨ 기후변화에 따른 한반도 이상기후 예측 연구
	북극 및 북극해 공간정보 구축	⑩ 북극권 공간정보 구축 기본계획 수립 및 북극권 전역 공간정보 구축 ⑪ 북극해 연안국 해도현황 파악 및 북극 수로위원회 회원국과 MOU 체결
북극권 비즈니스 발굴·추진	북극항로 개척 등 해운/항만 협력	① 북극해 통과화물·선박 국내유치→항만시설사용료 감면 및 볼륨 인센티브 시행 ② 한/러 항만개발 협력 MOU 추진 ③ 국내 연계항만 재정비 계획 수립
	자원개발 협력 및 조선/해양 플랜트 기술개발	④ '북극해 탄화수소 연구 프로그램' 참여→지질조사 공동연구 ⑤ 덴마크와 공동으로 그린란드 광산·회유금속 조사 ⑥ 극지 운항선박의 건조·항행기술 개발(Polar Code 관련) ⑦ 심해자원 생산용 해양플랜트 통합엔지니어링 및 핵심 기자재 개발
	수산자원 협력	⑧ NEAFC 등 미가입 수산기구 가입 검토 ⑨ 북극해 수산자원조사 기본계획 수립 ⑩ 아이슬란드 등과 수산분야 협력 추진
제도기반 조성	극지정책 근거법령 제정	①「극지활동진흥법안」(국회 심의 중) → 북극정책기본계획을 법정 계획으로 전환
	극지정보센터 구축	② '극지정보 시스템(가칭)' 구축

‘제2 쇄빙연구선 건조 타당성 검토’는 ‘과학조사 및 연구 활동 강화’ 전략과제 내 4번째 세부추진과제로서 제시되고 있다. 제2 쇄빙연구선 건조가 31개 세부추진과제 중 하나의 과제로 언급되어 있기는 하지만 북극정책 기본계획의 비전과 정책목표를 달성하기 위해서 반드시 필요한 핵심 인프라 이자 선결사항이라 할 수 있다.

제2 쇄빙연구선은 민간 외교를 통한 국제협력 강화의 추진체의 역할을 수행할 것이다. 물론 북극정책 기본계획 중 ‘국제협력’ 분야는 정부간 협력에 초점을 두고 있다. 즉 북극이사회 산하 6개 워킹그룹에 참여할 민·관 전문가 참여계획을 수립하여 대표단을 구성하고, 내년 상반기 중 중국, 일본 등 아시아 지역 옵서버 국가에게 ‘북극정책 협의체’ 구성을 제안하여 공동 관심분야에 대한 협력을 강화할 계획이다. 그러나 남·북극 거버넌스의 특징 중 하나가 과학연구자를 중심으로 한 비정부간 협의체가 정부간 협의체만큼이나 중요한 역할을 한다는 점인데, ‘아라온호’호 취항 이후 캐나다, 미국, 러시아, 독일 등의 국제협력 수요가 급증했던 예를 보면, 제2 쇄빙연구선의 건조는 국제협력의 새로운 원동력이 될 것으로 확신된다.

또한 제2 쇄빙연구선은 북극 과학조사 및 연구 활동을 강화하는데 기폭제가 될 것은 명백한 사실이다. 북극은 태양으로부터 내리쬐는 자외선의 90% 이상을 반사시켜 ‘항온(恒溫) 지구’를 만들어 주기 때문에 많은 국가들이 전 세계 이상기후 현상을 규명하기 위해서 북극에 대한 과학조사에 참여하고 있다. 우리나라 극지연구소의 연구진은 다산과학기지가 있는 노르웨이 스발바르와 그린란드에서의 국제공동연구에 참여하고, 기후변화 연구를 위한 해양·해빙 자료동화 기술을 개발하여 북극 기후변화에 따른 한반도 이상기후 예측능력 연구 사업도 확대 추진해 나갈 예정이다. 또한, 북극권 공간정보 구축 및 연안국과의 수로분야 협력도 ‘14년부터 ’18년까지 추진하기로 하였다. 이렇듯 다각적인 북극연구에 대한 계획을 수립한 가운데 이를 수행하기 위해 가장 우선시 되는 제반시설인 쇄빙연구선 아라온호는 운항 포화에 시달리고 있으며 남극 운항으로 인해 북극 운항에 제약을 받고 있는 실정이다. 북극운항 중심의 제2 쇄빙연구선 건조는 북극 과학연구활동 강화를 위해 반드시 구축되어져야 할 인프라 인 것이다.

북극 비즈니스 발굴 및 추진 역시 제2 쇄빙연구선과 깊은 관계가 있다. 북극해 항로 상용화 시대에 대비하여 북극항로를 경유해 국내항만에 입출항 하는 선

박과 화물유치를 위해 항만시설사용료 감면과 볼륨 인센티브제를 2015년 7월부터 본격적으로 시행할 계획이며, 북극항로 상에 위치한 러시아 주요 항만개발 협력을 위한 양해각서 체결과 북극항로 통과화물 증가에 대비한 국내 항만 재정비 계획을 수립한다. 자원개발 협력을 위해서는 2012년 9월 체결한 한-덴마크간 3개의 자원개발 협력 MOU를 기초로 현재 공동 지질조사가 진행 중이며 앞으로 협력범위를 확대해 나갈 예정이다. 한편, 해운분야에서는 국제해사기구(IMO)에서 2015년 5월 채택, 2017년에 발효될 예정인 '극지해역 운항선박의 안전기준(Polar Code)' 제정에 대비하여 우리나라의 선박건조 및 기자재 등에 대한 기술개발 및 국내 극지운항선박 안전기준 마련을 위한 논의가 진행 중이다. 북극해 연안국과의 어업협력은 '93년에 가입한 북대서양수산기구(NAFO)에서의 활동을 강화하고, 북동대서양어업위원회(NEAFC) 등 미가입 수산기구 가입을 추진하며, 산·학·연 공동으로 북극해 수산자원조사 기본계획을 수립한다는 계획이다. 상기의 국가간 자원개발 협력, 국내 산·학·연 공동의 북극해 조사 등은 제2 쇄빙연구선의 건조 없이는 실천할 수 없는 계획들이다.

위에서 살펴 본 바와 같이 전 방위적으로 추진하게 되는 정부의 북극정책을 포함하여 북극해 연구에 대한 전 지구적 수요에 대응하기 위하여 쇄빙연구선의 역할이 더욱 주목받고 있다. 그러나 2009년 11월에 건조된 아라온호는 2014년에 311일을 바다에서 활동하는 등 이미 수요가 공급을 초과한 상태이다. 이에 정부의 북극정책에서는 제2 쇄빙연구선 건조를 직접적으로 언급하며 그 필요성을 강조했으며, 4개 전략과제 중 과학조사 및 연구활동 분야와 북극 신산업 창출을 위한 비즈니스 분야는 세부 추진과제 수행에 쇄빙연구선이 필수 인프라로 자리 잡고 있다.

KOPRI 극지연구소

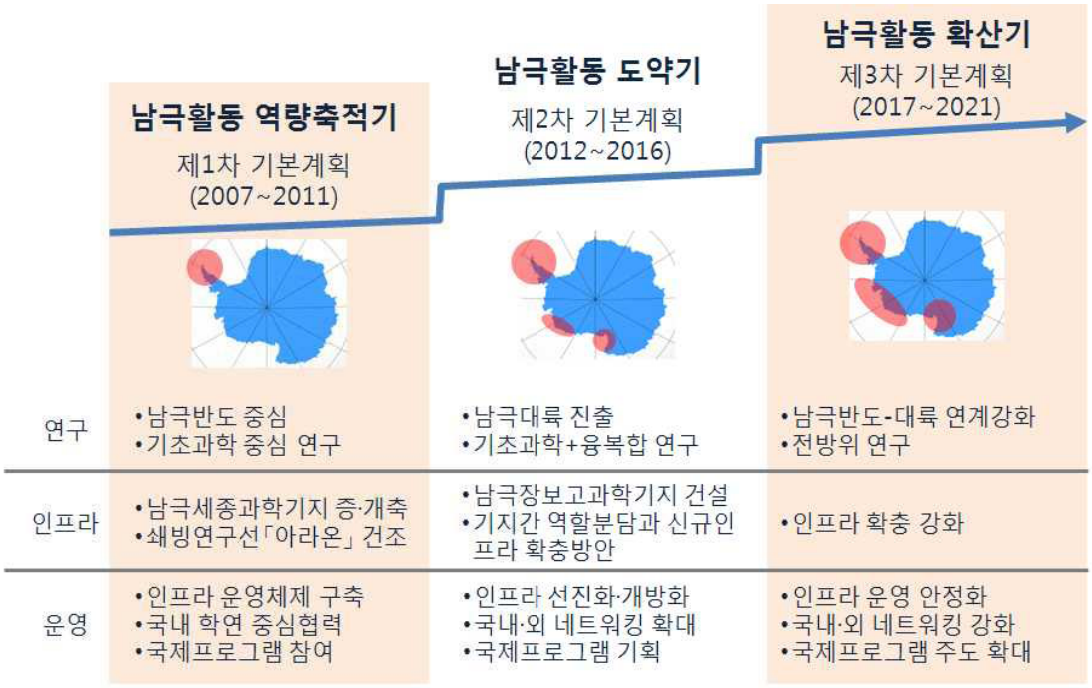
4. 제2차 남극연구활동 진흥 기본계획(2012~2016년)[4)]

남극은 지구의 온난화, 이상기후 증가와 함께 BRICs 등 급성장 국가 등장에 따른 에너지·자원 확보경쟁이 심화될 것으로 예상됨에 따라 세계의 주목을 받게 되었다. 또한 기술 발전에 따른 인류 활동범위 확대, 로봇공학과 우주항공 분야 등 첨단 기술 테스트의 장으로 남극의 활용 가능성이 높아짐에 따라 남극 연구 인프라 확충, 연구역량 축적 등의 목적 하에 1차 남극연구 기본계획('07~'11)이 수립되었다. 제1차 남극연구 기본계획의 주요 성과는 쇄빙선 아라온호 건조, 남극 제2기지 건설 추진 등 남극연구 인프라 확충과 이를 활용해 공동연구를 통한 국제협력 기반을 강화했다. 하지만 연구 인프라 연계를 통한 천문, 대기, 운석 등 다양한 분야로의 연구확대 등 극지연구 향상을 위한 보완점이 확인되었다.

국토교통부는 남극연구의 글로벌 수준 도약을 위해 국가과학기술위원회 심의를 거쳐 제2차 남극연구활동 진흥 기본계획(이하 남극연구 기본계획)을 2012년 12월 수립했다. 남극연구 기본계획은 국토교통부를 중심으로 교육부, 외교통상부, 농림축산식품부, 환경부와 논의를 통해 수립되었으며, 특히 기초연구분야에 대해서는 미래창조과학부(당시 교육부) 장관의 의견이 우선적으로 반영되었다.

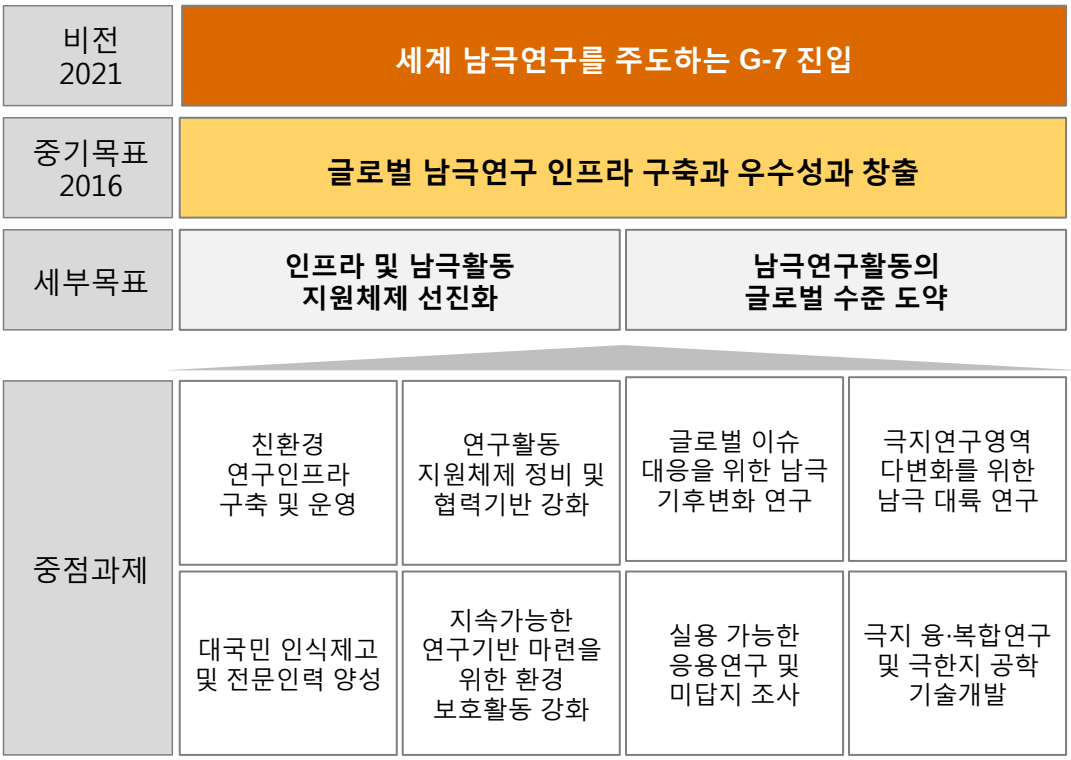
KOPRI 극지연구소

4) 국토해양부, 제2차 남극연구활동 진흥 기본계획(2012~2016), 2012.12.31



<그림 7-166. 남극연구 진흥 기본계획 중장기 추진 전략>

제2차 남극연구 기본계획은 2014년 장보고 과학기지 완공을 전환점으로 삼아 남극대륙 연구를 위한 인프라를 확충하고 우수한 성과를 창출하기 위해 인프라 구축 및 운영의 효율성 제고, 연구활동의 가시적 성과 창출, 남극연구를 통한 국제사회 선도를 기본방향으로 추진 전략을 수립했다. 이를 위해 '세계 남극연구를 주도하는 G-7 진입'을 2021년 비전으로, 2016년 중기목표를 '글로벌 남극연구 인프라 구축과 우수성과 창출'로 설정하고, 8가지 중점과제를 추진하고 있다.



<그림 7-167. 남극연구 진흥 기본계획 전략 체계도>

또한 남극연구 기본계획 추진을 위해 국토교통부, 미래창조부, 외교부 등 정부 차원의 역량을 집중하고 있다. 국토교통부는 남극 연구활동 기본계획을 수립하고 인프라 구축 및 운영지원, 연구기관 육성을 하고 미래창조부는 남극 기초원천 R&D 및 인력양성, 외교부는 남극조약체계와 남극 관련 외교활동, 농림축산식품부는 남극 수산자원조차 및 과학자료 수립, 환경부는 남극 환경보호와 관련된 역할을 담당해 추진한다.

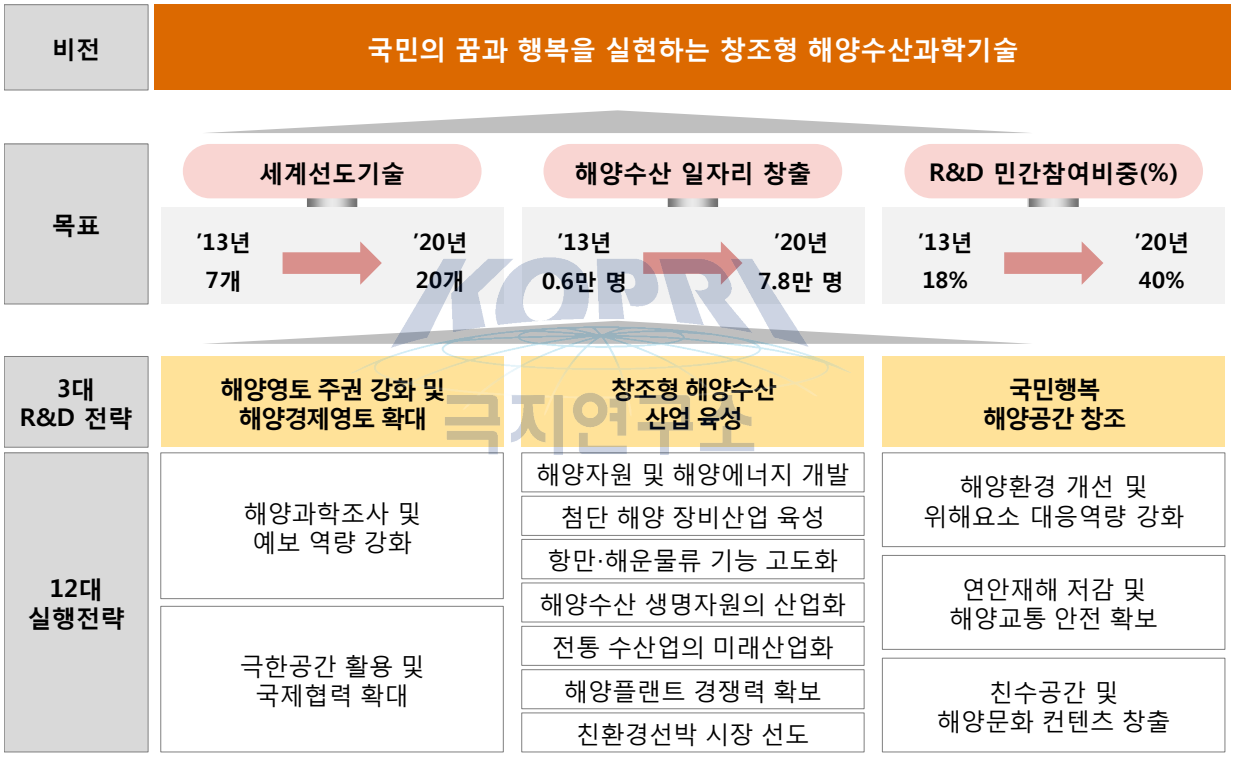
남극과 마찬가지로 북극 역시 극지로써 기후변화와 미래 자원확보에 매우 중요한 지역이기 때문에 2013년 북극정책 기본계획을 관계부처 합동으로 수립해 추진하고 있다. 하지만 현재 보유중인 한 대뿐인 쇄빙선으로는 남극과 북극의 연구일정을 소화하기 힘든 실정이다. 2013년 기준으로 아라온호는 남극과학기지 보급 지원과 서남극해 연구증가 등으로 인해 1년 중 312일 항해하고 있으며 이는 다른 연구선들(온누리호 231일, 해양2000 272일, 탐해2호 147일)과 비교해 포화상태라 할 수 있다. 또한 312일 중에서도 북극항해로 69일(22.1%)만을 할애하고 있기 때문에 남극항해가 212.5일인 점을 감안한다면 상대적으로 북극 활동을 위한 항해일수가 절대적으로 부족하다고 할 수 있으며, 이는 북극연구 성과창출에 있어서 물리적인 한계점으로 작용할 수 밖에 없다.

남극과 북극, 극지에 세계의 관심이 집중되고 있으며, 이미 우리나라도 정책적으로 발 빠르게 대응하기 위한 전략을 수립하고 있다. 하지만 현재의 상황은 남극과 북극의 연구를 위해 역량이 분산되고 있으며, 특히 북극연구를 위한 연구조건이 상대적으로 열악한 상황이다. 남극정책과 북극정책의 정상적인 추진과 국가차원의 극지연구 기대효과 달성을 위해서는 제2 쇄빙연구선 건조가 반드시 선행되어야 하며 이를 통해 각 지역별 항해일수를 확보 및 미래 변화에 대응할 수 있도록 해야 한다.

KOPRI 극지연구소

5. 해양수산 R&D 중장기 계획[5)]

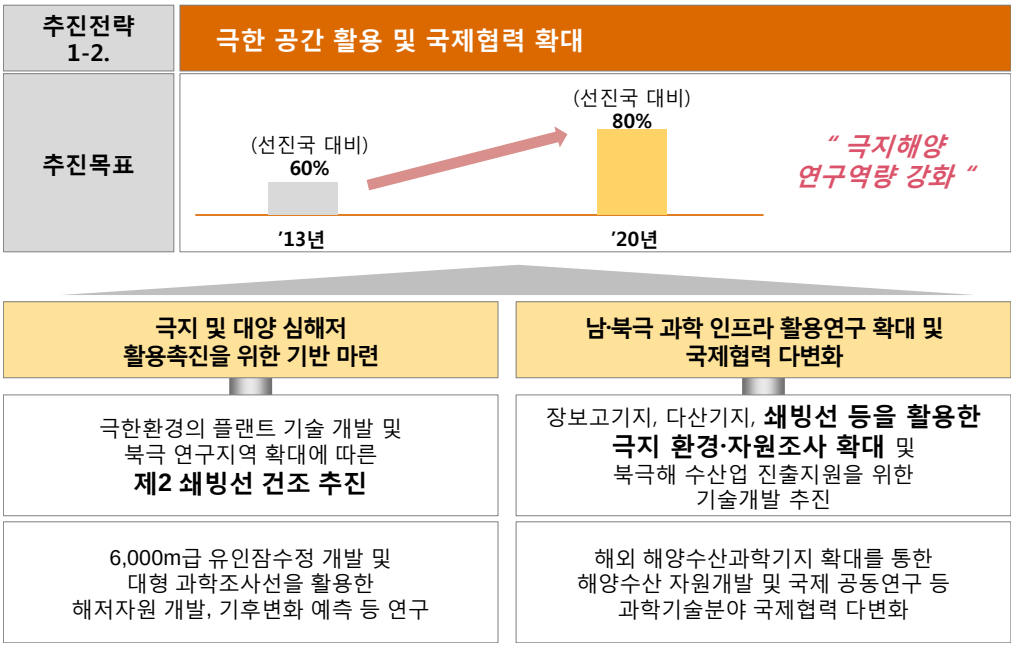
정부는 해양수산부 부활에 따라 해양과 수산 분야를 통합하고 해양수산과학기술의 세계적 경쟁력을 확보하고 해양수산 신산업을 창출하기 위한 국가차원의 체계적인 전략을 마련하고자 '해양수산 R&D 중장기 계획'을 수립하였다. 이를 수립하기 위해 일반 국민 약 1,600여 명과 전문가 80여 명에 대한 설문을 통해 해양수산분야 미래이슈 파악 및 기술수요조사를 실시하였으며, 분야별 전문가로 구성된 기획위원회 운영 및 공청회 개최를 통해 공감대가 형성된 현실적이고 구체적인 발전전략을 도출하였다.



<그림 7-168. 해양수산 R&D 중장기계획 체계도>

'해양수산 R&D 중장기 계획'은 '국민의 꿈과 행복을 실현하는 창조형 해양수산과학기술'이라는 비전 아래 '세계선도기술 확보', '해양수산 일자리 창출', 'R&D민간 참여비중 확대' 등에 대한 2020년까지의 구체적인 목표를 제시하고 있다. 또한 이러한 비전과 목표를 달성하기 위한 3대 R&D 전략 및 12대 실행전략을 제시함으로써 추진에 대한 실행력을 확보하고 있다고 볼 수 있다.

5) 국가과학기술심의회, 해양수산R&D 중장기계획('14~'20), 2014.04.23

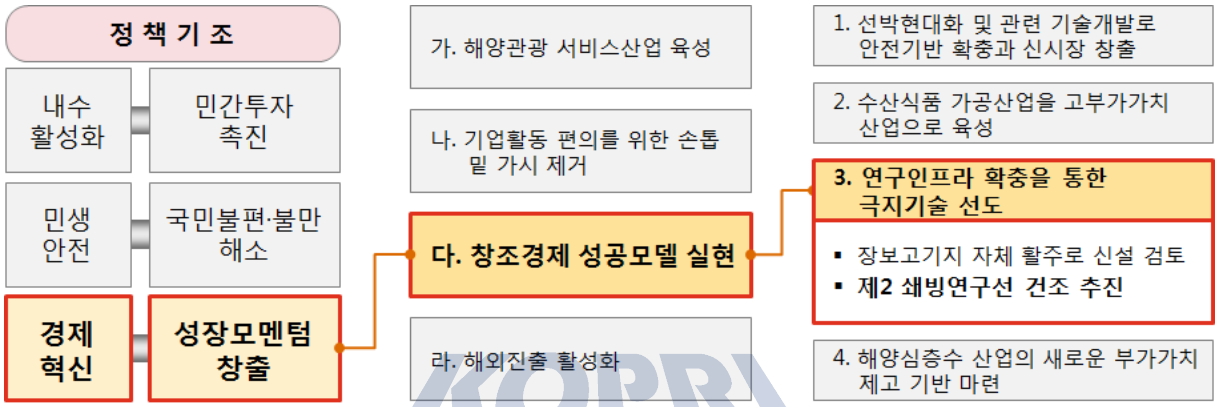


<그림 7-169. 해양수산 R&D 중장기계획 추진전략 1-2. 세부 추진사항>

12대 실행전략 중 두 번째 전략인 '극한공간 활용 및 국제협력 확대'는 제2 쇄빙연구선 건조와 직접적으로 연계되어 있다. 이는 남·북극, 심해 등 극한 공간 활용 확대를 통해 자원을 선점하고 국제역량을 강화함으로써 현재 선진국 대비 약 60% 수준의 극지해양 연구역량을 2020년 까지 80% 수준으로 끌어올리고자 하는 목표를 세우고 있다. 이를 달성하기 위한 세부활동에서 볼 수 있듯이 북극 연구를 강화하기 위한 제2 쇄빙연구선 건조을 계획하고 있으며, 북극 뿐만 아니라 남극의 극지 환경·자원조사를 확대하기 위해서는 제2 쇄빙연구선을 건조하여 아라온호와의 지역별 역할 분담에 따라 강화해야 할 필요가 있다. 이뿐만 아니라 국제 공동연구, 해저자원 개발, 기후변화 등 모든 세부활동에 있어서도 제2 쇄빙연구선의 역할은 분명하다. 과거 아라온호 사례에서 볼 수 있듯이 쇄빙연구선 보유 전과 후의 국제 공동연구 횟수는 큰 차이가 있고, 국내 전용의 연구선 확보 시 자원개발 및 연구활동의 고도화에는 이견의 소지가 없다고 볼 수 있다.

6. 해양수산 경제활성화 방안[6)]

해양수산부는 경제 활성화 차원에서 2017년까지 항만 인프라 개발사업에 1조 2천억원을 투입하고 민간기업의 투자를 적극 유치하겠다는 내용을 중심으로 한 '해양수산 경제활성화 방안'을 2014년 9월 24일에 발표하였다. 이는 최근 세월호 사고 등의 영향으로 침체한 해양수산분야에 활력을 불어넣기 위한 정책의지이자 해양수산분야의 경제성장 모멘텀을 살리고자 하기 위함이다.



<그림 7-170. 해양수산 경제활성화 방안 중 제2 쇄빙연구선 관련 사항>

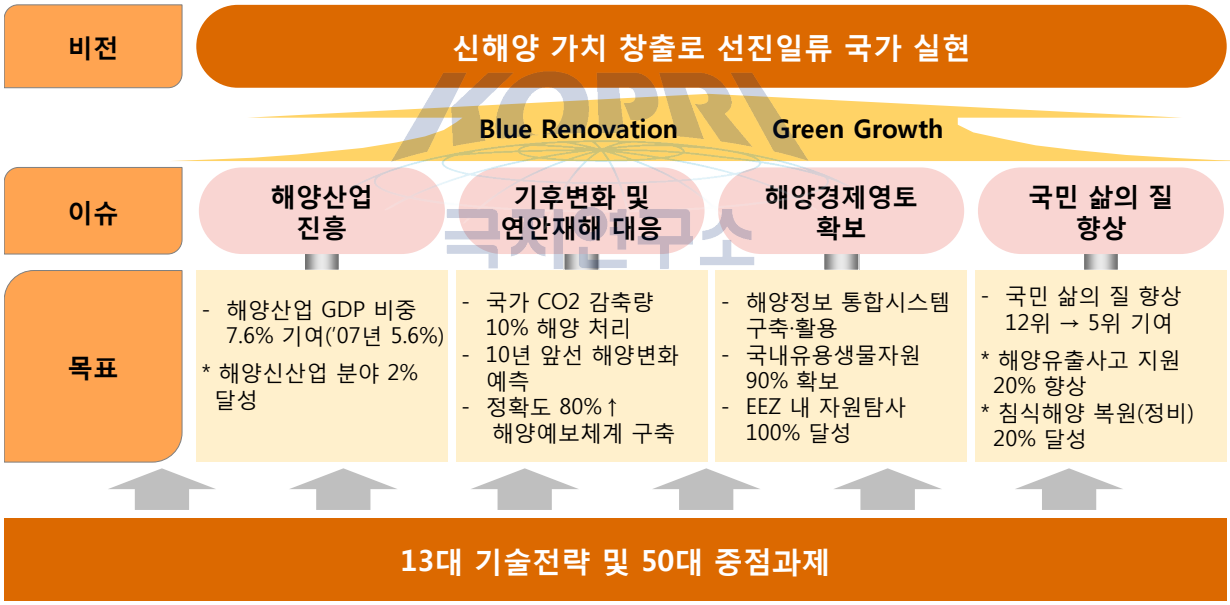
경제활성화 방안에는 '내수 활성화', '민생안전', '경제혁신' 이라는 정책방향에 따른 '민간투자 촉진', '국민 불편·불만 해소', '성장모멘텀 창출' 이라는 정책기조를 제시하고 있다. 이중 '성장모멘텀 창출'을 실행하기 위한 다양한 세부 추진과제 중 '극지기술 선도'를 강조하고 있으며 이는 장보고기지 자체 활주로 신설과 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 세부실행방안으로 제시하고 있다. 제2 쇄빙연구선을 건조함에 따라 극지기술의 선도국가로 발돋움하고 이는 창조경제의 성공모델을 실현하는데 이바지 함으로써 궁극적으로 국가성장의 모멘텀을 창출하는데 일조할 것으로 나타나진다. 결과적으로 극지관련 정부정책을 성공적으로 추진하기 위해서는 가용가능한 쇄빙연구선을 확보해야만 하고 이를 활용한 북극지역 활동을 강화함으로써 지속가능한 영향력을 확보하는 것이 가능할 것으로 보여진다.

6) 해양수산부, 해양수산 경제활성화 방안, 2014,09,24

7. 2020 해양과학기술 로드맵[7)]

'2020해양과학기술 로드맵'은 해양 R&D 기술발전 등 변화된 여건을 고려하여 '12년~'20년 동안 해양과학기술 투자계획 및 운영전략 마련을 위한 중장기 계획으로 '05년에 수립된 '해양과학기술로드맵'과 '08년에 수립된 '해양과학기술 중장기계획'을 대체하는 기술 로드맵이다. 해양 R&D 발전을 위한 자문위원 구성 및 운영계획을 수립하고 내부 간담회 및 외부 공청회를 통해 중장기 비전과 목표를 수립하고, 국토부와 국가과학기술위원회 심의를 거쳐 로드맵이 확정되었다.

주요 내용으로는 해양산업진흥, 기후변화 및 연안재해 대응, 해양경제 영토 확보, 삶의 질 향상 등 해양과학기술 4대 분야와 이에 대한 목표를 설정하고, 이를 달성하기 위한 13대 기술전략 및 50대 중점과제를 선정함으로써 '신해양 가치 창출로 선진일류 국가' 실현을 달성하고자 함이다.

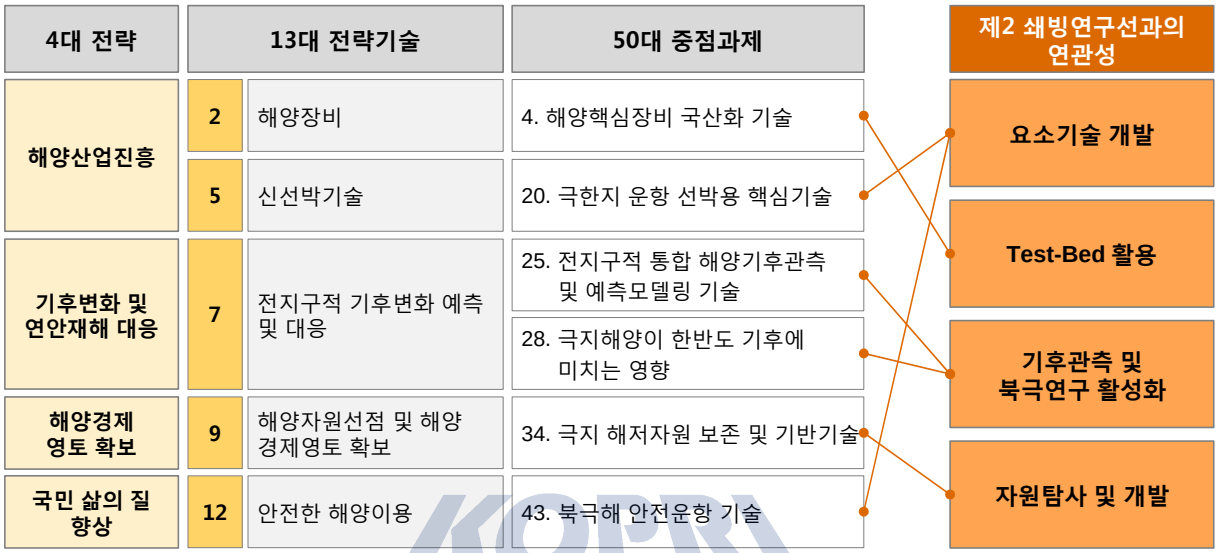


<그림 7-171. 2020 해양과학기술 로드맵 비전 체계도>

2020 해양과학기술 로드맵의 4대 이슈 중 첫번째는 '해양산업 진흥'으로 신재생 에너지 중 해양에너지의 비중을 15%로 높이고, 고부가가치 전략제품과 차세대 선박기술 개발을 통해 조선산업 선도를 목표로 세부 전략을 수립했다. 두번째 이슈인 '기후변화 및 연안재해 대응'의 경우 통합 해양관측정보시스템 구축 및 해양예보 기술 고도화를 통해 공공서비스의 질적 향상을 목표로 하고 있으며,

7) 국토해양부, 2020 해양과학기술 로드맵, 2011.12.22

세 번째 이슈인 '해양경제 영토 확보'는 해양자원에 대한 경제적 차원의 영토를 확대하고 미래 극지자원 개발에 대비한 자원선점을 위한 전략을 수립했다. 네 번째 이슈인 '삶의 질 향상'은 해양오염원 관리 및 대응, 해양사고 저감을 목표로 추진되고 있다. 세부적으로 4대 이슈에 따른 13대 전략기술 및 50대 중점과제와 제2 쇄빙연구선 건조와의 연계성은 다음과 같다.



<그림 7-172. 2020 해양과학기술 로드맵과 제2 쇄빙연구선과의 연계성>

50대 중점과제 중 '해양 핵심장비 국산화 기술'은 해양장비의 수입 의존도가 높은 현 상황을 개선하고, 높은 국내 기술력을 통해 세계 해양장비 시장 선도를 목표로 추진하고 있는 과제이다. 제2 쇄빙연구선 건조 시 개발되는 요소기술을 다양한 해양장비에 적용하고, 쇄빙연구선을 Test-Bed로 활용하여 국내 해양장비 기술력을 향상 시키는데 기여할 수 있다.

또한 20대 중점과제인 '극한지 운항 선박용 핵심기술'은 극한지 운항 핵심기술에 투자하여 국내 조선산업의 장기적인 발전을 목표로 하고 있으며, 제2 쇄빙연구선 건조시 개발되는 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술을 포함한 4개의 요소기술은 쇄빙연구선의 안전성을 높이는 것은 물론 세계 쇄빙·내빙선박 시장을 선도하는데 중요한 기술적 우위로 작용될 수 있을 것이다.

'전지구적 통합 해양기후관측 및 예측모델링 기술'과 '극지해양이 한반도 기후에 미치는 영향'은 해빙변화, 북극 온난화 현상 등 극지 해양의 기후변화를 연구해 미래기후를 예측하고 지구 이상기후에 대비한다는 내용이다. 북극은 지구 기후변화를 예측하기 용이한 지역으로써 제2 쇄빙연구선을 이용해 기후변화와

관련된 연구를 추진할 수 있으며, 지구 기후변화에 대비하는 ICARP, MOSAIC 등 다양한 국제적 연구프로그램에 참여할 계획을 이미 수립한 상태이다.

34대 중점과제인 '극지 해저자원 보존 및 기반 기술'은 국내 자원 한계를 극복하고 해외 해양자원을 선점한다는 내용이다. 현재 북극에는 석유와 천연가스 등 전통적인 화석연료는 물론 가스 하이드레이트 등 새롭게 주목받는 자원까지 다양하게 존재하고 있다. 제2 쇄빙연구선은 북극의 광물 및 해저자원 탐사와 개발을 할 수 있는 기반으로 활용할 수 있으며 관련 계획을 수립하고 있다.

마지막으로 43대 중점과제인 '북극해 안전운항 기술'은 북극 안전항로를 탐지하고 실시간 안전운항 지원 등 북극해에서 일어날 수 있는 사고에 능동적으로 대응할 수 있는 기술을 개발한다는 내용이다. 북극해는 해빙과 유빙으로 인한 위험이 항상 존재하기 때문에 향후 북극항로 이용이 활성화되고 관광지로 개발될 경우 다양한 선박의 안전을 보장할 수 있는 기술이 필요하다. 따라서 제2 쇄빙연구선을 통해 쇄빙기술 및 결빙지역 운항기술을 고도화하는 등 다양한 기술을 개발하는데 도움이 될 수 있다.

정부는 현재 해양과학기술의 가능성에 주목하고 2020년까지의 해양과학기술 투자방향 및 운영전략 로드맵을 위와 같이 수립했다. 미국과 EU, 일본, 중국 등 여러 나라들은 북극을 포함한 극지의 가능성에 대한 연구를 진행하고 있으며, 극지 기후변화 프로그램 및 해양 에너지, 해양 광물자원 개발 등 다양한 분야의 기술개발 목표와 전략, 로드맵을 수립해 체계적으로 추진하고 있다. 따라서 우리나라도 해양과학기술 로드맵 실행이 반드시 필요하며 이를 위해 쇄빙연구선 건조 및 관련 요소기술 개발에 관심을 갖고 투자함으로써 가까이는 해양산업진흥, 멀리는 국민 삶의 질 향상을 위해 노력해야 한다.

KOPRI 극지연구소

8. 정부정책과 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 부합성

북극을 포함한 극지와 관련된 정부 및 관련부처의 정책을 확인한 결과 다양한 정책에서 제2 쇄빙연구선 건조 및 극지연구 활성화에 대한 사항이 반영되어 있음을 확인하였으며 이에 대한 부합성을 정리하면 다음과 같다.

정부 정책 / 부합성 평가	부합도 낮음	부합도 보통	부합도 높음
▪ 박근혜 정부 140개 국정과제(2013.05) - (국정과제 11) 극지에 대한 전략적 개발·활용 - (국정과제 132) 북극이사회 옵서버를 통한 북극항로 개발 참여			●
▪ 제3차 과학기술기본계획(2013~2017) - 미래성장동력 확충 5대 분야의 해양·수산의 미래산업화 추진과제		●	
▪ 북극정책 기본계획 - 과학조사 및 연구분야의 연구활동 기반 확충			●
▪ 해양수산 R&D 중장기 계획 - 극한공간 활용 및 국제협력 확대를 위한 제2쇄빙선 건조 추진			●
▪ 해양수산 경제활성화 방안 - 창조경제 성공모델 실현 4대 분야의 연구인프라 확충을 통한 극지기술 선도			●
▪ 2020 해양과학기술 로드맵(2012~2020) - 극한지 운항 선박용 핵심기술, 기후변화 예측 및 대응 등			●

KOPRI 극지연구소

<그림 7-173. 정부정책과 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 부합성>

○ '박근혜 정부의 140대 국정과제' 중 11번 과제(해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리)의 추진계획으로 '북극항로 개척', '극지에서의 기초·응용 연구 확대'를 제시하였고, 132번 과제(FTA 네트워크 등 경제협력 역량 강화)를 수행하기 위해 '북극항로 개발 참여'를 추진계획으로 제시함

○ '제3차 과학기술기본계획' 중 '미래성장동력 확충'을 달성하기 위한 5대 분야 중 하나인 '해양·수산의 미래산업화'의 세부계획으로 '극한공간 개발기술' 및 '고부가가치 선박기술'을 제시함. 이는 제2 쇄빙연구선에 필요한 요소기술 개발과 연계성이 있음

○ '해양수산 R&D 중장기 계획'의 12대 실행전략 중 '극한공간 활용 및 국제협력 확대'의 실행계획으로 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 제시함

○ '제2차 남극연구활동 진흥 기본계획'은 남극과 관련된 정책을 수립한 내용으로 북극 활동사항에 대해서는 직접적 언급은 없지만 제2 쇄빙연구선 건

조 이후 아라온호의 남극 활동 강화를 통해 시너지 효과가 기대됨

○ ‘해양수산 경제활성화 방안’의 경제혁신에 대한 정책기조인 ‘성장모멘텀 창출’을 달성하기 위해 제2 쇄빙연구선 건조 추진을 제시함

○ ‘2020 해양과학기술 로드맵’에서는 극지운항 핵심기술 개발 및 극지 기후변화 연구의 중요성을 언급함

상기와 같은 정부 정책은 국가발전을 위해 수립된 주요한 사안으로 일관성 있는 실행력 확보가 매우 중요하다. 극지에서 쇄빙선은 신발과 같은 존재이다. 북극이사회 옵서버 자격을 얻을 때에도 아라온호의 남극연구 활동이 결정적 역할을 수행했다. 제2 쇄빙연구선 건조라는 직접적인 정부 정책을 수행하는 차원 이외에도 다양한 북극 정책을 완수하기 위해서는 북극 전용의 쇄빙연구선을 건조함으로써 정부 정책의 실행력을 강화해 나아가야 한다.

KOPRI 극지연구소

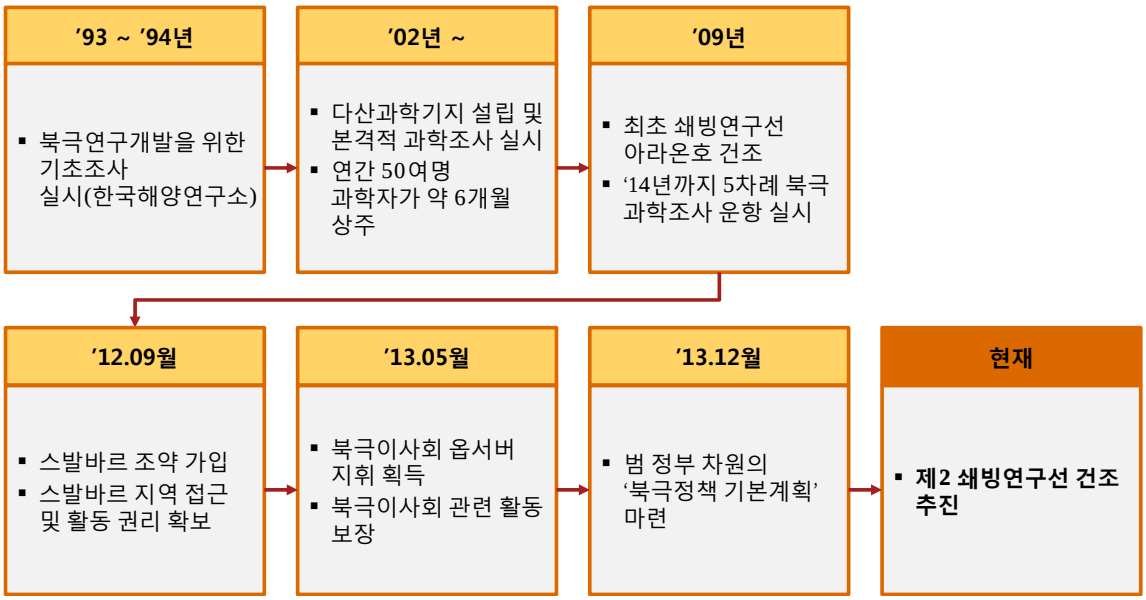
KOPRI
극지연구소

제 2 절 제2 쇄빙연구선 건조사업 추진의지

1. 북극 관련 활동 강화

우리나라가 북극 활동을 활발히 시작한 최초 시점은 약 20여 년 전이라고 할 수 있다. 지난 1993년 당시 한국해양연구소는 북극 연구개발을 위한 기초조사를 실시 하였으며 이를 바탕으로 2002년에는 노르웨이 스발바르 군도의 니알슨에 다산과학기지를 설립함으로써 본격적으로 북극에 대한 과학조사를 실시하였다. 이후 2009년에는 국내 최초의 쇄빙연구선인 아라온호 건조를 통해 남극과 북극에 대한 과학조사를 위한 운항을 실시하였으며, 북극에 대해서는 지난 2014년 까지 총 5차례 운항하면서 해양환경, 대기환경, 해저지층 연구 등 북극해 연구 활동을 실시하였다.

2012년에는 '스발바르 조약'[8]에 후 스발바르 지역에 대한 접근권과 어업·광업·상업 활동에 대한 권리를 확보하였으며, 2013년 5월에는 북극이사회에 옵서버 국가로 가입하면서 북극이사회 관련 활동을 보장 받기에 이르렀다. 우리나라는 지속적으로 북극해 연구 활동을 강화하면서 북극에 대한 중요성을 인지하고 관계부처 합동으로 범정부 차원의 협의를 통해 2013년 12월 '북극정책 기본계획'을 마련함에 따라 국가차원의 북극활동의 추진 기반을 확보하게 되었다.



<그림 7-174. 국내 주요 북극활동 연혁>

8) Svalbard Treaty, 1920.02.09

북극이사회는 대규모 에너지와 자원개발, 항로개척 등 북극 관련 현안에 대한 규범을 마련하고 있으며 북극에 대한 영향력을 가진 유일한 국제기구로서 우리나라가 북극이사회 정식옵서저 지위를 획득한 성과는 북극권 진출의 교두보를 마련하였다는 차원에서 의미가 매우 크다. 더불어 박근혜 정부의 140대 주요 국정과제 중 11번째인 '해양수산업의 미래산업화 및 체계적 해양영토 관리'를 위한 필수 과정으로 꼽혀온 만큼 이와 관련한 정부의 행보에도 탄력을 받을 것으로 전망된다. 이러한 성과를 계기로 정부차원에서도 북극분야의 기본 정책을 수립한 만큼 북극 활동에 대한 의지는 극지와 직접 관련된 한 기관의 사안이 아니라 국가 차원의 현안으로 부상했다고 볼 수 있다.

정부는 북극이사회와의 협력을 통한 북극권 국가와의 국제협력을 공고히 하기 위한 다양한 활동을 전개하고 있으며, 정부의 국제협력 활동의 기본방향은 크게 '기후변화, 환경보호, 북극 연안국과의 공동 이익 등을 위한 과학연구 활동 강화'와 '북극항로 개척, 에너지 및 자원 개발, 수산분야 진출 등 기회 모색'이라고 할 수 있다. 북극항로 개척 및 자원 개발 등 북극 비즈니스 차원의 접근 보다는 과학연구 및 조사 등을 통한 공동이익을 우선시 하면서 북극 연안국 간 민감한 사안을 피하고 조사·연구 활동을 통해 북극사회에 대한 관심을 적극 표명하고자 함이다. 이를 위해 정부는 북극이사회 활동, 고위관리회의, 이사회 산하 작업반 및 TF 활동, 북극이사회 회원국과의 협력 강화 등 다양한 활동을 추진하고 있으며, 세부 활동 사항은 다음과 같다.

KOPRI 극지연구소

가. 북극이사회 활동 강화

○ 북극이사회 및 북극이사회 산하 작업반·Task Force 활동 강화

[표 7-111] 북극이사회 활동 내용

회의명		일시	장소
북극 이사회	북극이사회 고위관리회의 (SAO: Senior Arctic Officials)	13.10.22-23	캐나다 Whitehorse
		14.3.26-27	캐나다 Yellowknife
		14.10.22-23	캐나다 Yellowknife
작업반	북극동식물보존 작업반 회의 (CAFF)	8.25-29	캐나다 Cambridge Bay
		12.2-4 (예정)	노르웨이 Trondheim
	북극오염물질조치프로그램 작업반 회의 (ACAP)	9.9-9.11	폴란드 Gdansk
	북극 모니터링 및 평가 프로그램 작업반 회의 (AMAP)	9.15-18	캐나다 Whitehorse
	북극해양환경보호 작업반 회의 (PAME)	9.16-18	캐나다 Whitehorse
	비상사태 예방준비대응 작업반 회의 (EPPR)	6.16-17	캐나다 Ottawa
		9.23-25	러시아 Arkhangelsk
	지속가능개발 작업반 회의 (SDWG)	3.22-24	캐나다 Yellowknife
		10.18-19	캐나다 Yellowknife
T/F	과학협력 T/F 회의 (SCTF)	4.8-9	핀란드 Helsinki
		5.27-28	아이슬란드 Reikjavik
		9.30-10.1	노르웨이 Tromso
	블랙카본 및 메탄 T/F 회의 (TFBCM)	9.29-10.1	캐나다 Iqaluit

- 북극이사회 고위관리회의는 연간 2-3회 개최, 옵서버 가입 이후 총 3차례 외교부에서 참석
- 북극이사회 산하 6개의 작업반에 총 8회 참석
- Task Force는 2년에 1번 개최되는 각료회의에서 주제별로 구성되며, 2년 임기로 활동. 우리나라는 총 4회에 걸쳐 참석(한국해양수산연구원, 극지연구소, 학계, 외교부 전문가 등 참석)

KOPRI 극지연구소

나. 국가차원 국제협력 추진 현황

○ 니알슨(Ny-Alesund) 심포지움 참석

- 노르웨이 정부가 매년 니알슨 북극기지에서 개최하는 북극 관련 국제학술 행사로서 정부, 학계, 업계 전문가들을 초빙하여 북극 관련 이슈별 최신 동향 및 정책 토의
- 외교부 제2차관, '13.5월 노르웨이 니알슨에서 개최된 "니알슨 북극 국제심포지움"에 참석, 개막식 기조연설

○ 북극써클(Arctic Circle) 회의 참석

- '13.10월 아이슬란드에서 창설된 북극에 관심 있는 각국의 산·학·연·NGO·정부 관계자 간 협의체로서 항행·자원·에너지·수산·북극규범 수립 등 광범위한 이슈 논의
- 제1차 회의에 외교부 경제외교조정관을 수석대표로 하는 정부대표단이 참석, 우리 정부의 북극정책과 비전을 소개
- '14.10.31-11.2간 제2차 회의시 외교부 기후변화대사를 수석대표로 하여 정부, 지자체, 업계, 연구기관을 포함하는 대표단 참석
- 우리정부의 북극 정책 및 활동, 우리 조선업계의 쇄빙선 건조 기술, 북극항로 이용 경험 및 북극관련 과학 연구 활동 등을 소개

○ 북극 프론티어(Arctic Frontiers) 회의 참석

- '07년에 노르웨이 외교부를 포함한 정부, 학계 및 비즈니스 파트너가 후원하는 북극 관련 컨퍼런스
- '14.1월 회의시 우리 대표단(해수부 국장 및 외교부 등 관계부처 관계자)이 파견되어 우리 북극 정책 설명 및 북극 이사회 국가와의 협의 세션에 참가

○ WEF 북극협의회(Global Agenda Council on the Arctic) 참여

- 세계경제포럼(WEF) 북극협의회에 참석, 활동중
- 외교부 제2차관 '14.9월 WEF 북극협의회 위원으로 위촉, 2년간 활동중
- 2014. 9월 및 10월 두차례에 걸친 원격회의에 참가
- 북극 개발 관련 재원 조달 방안 등 협의

다. 북극이사회 회원국과의 외교적 양자협력 강화

○ 노르딕 국가

- 한-노르딕 외교장관 회담 개최('14.9.25, 유엔총회 계기)
- 노르딕 외교장관과의 협의시 북극 공동연구·조사, 북극항로 개발 등 북극 관련 구체협력 추진 합의
- 노르딕 국가 : 노르웨이, 덴마크, 스웨덴, 핀란드, 아이슬란드 5개국

○ 미국

- 한-미 정상회담('14.4.25, 서울)시 극지분야 협력 확대 합의
- 북극이사회 SAO 회의 계기 실무협의 개최('14.3월 및 10월, 캐나다 옐로나이프)
  - 미국 의장국 수임 기간 중 협력 분야 강구 합의(미국은 기후 변화, 북극해, 재생에너지, 이동통신 보급 등에 관심)
- 국내 쇄빙연구선 '아라온호'를 이용한 한-미-캐 공동탐사 실시
  - '14.8.30 - 9.15 간 캐나다 보퍼트 해역에서 '아라온호'를 이용하여 한국, 미국, 캐나다가 환경 및 에너지 관련 제2차 공동탐사 실시 (13.8월 제1차 공동탐사 기실시)
- 북태평양 북극해 컨퍼런스 연례 개최
  - 국내 해양수산개발원과 미국 East-West Center는 북극 관련 학계 중심의 연구 네트워크 구축의 일환으로 '12년 이래 동 연례회의도 개최

○ 캐나다

- 한·캐 정상회담('14.3.11 서울 및 9.22 오타와) 개최
  - 캐나다 총리 방한시('14.3월) 북극 연구·개발 분야 협력에 합의
  - 대통령 캐나다 방문시('14.9월) 북극 환경·생태계에 관한 연구·개발협력, 북극권 에너지·자원 탐사기술 개발을 위한 협력 강화에 합의
- 국내 쇄빙연구선 '아라온호'를 이용한 한-캐-미 공동탐사 실시

○ 러시아

- 한-러 정상회담('13.11월, 서울)시 북극항로 개발을 위한 해운 및 물류 협력사업 발굴 추진, 환경보전 협력 합의
- 한-러 차관급 정책협의회 개최('14.3.18, 서울)

KOPRI 극지연구소

- 외교부 차관보와 러시아 외교부 아태담당차관 간 정책협의회시 북극 분야 협력 방안 논의

- 한- 러 외교부간 북극 협력 연례 양자협의체 구축 합의('14.2.12, 서울)
  - 외교부 다자경제외교국장과 러시아 북극대사간 협의시 합의
  - 외교부간 교류계획서에 '북극 협력에 관한 협의회' 포함('14.3.17)
- 한-놀-러 북극항로 쇄빙선 전문가 회의 개최('14.6월, 오슬로)
  - 한-놀-러 3국간 쇄빙선 분야 반민반관 협의체(1.5 트랙)에 참석, 한-놀-러 쇄빙선 연구 협력 방안 논의
- 대우조선해양, '야말프로젝트'[9] 관련 쇄빙선 10척 수주
  - '14년 대우조선해양은 러시아 천연가스전 개발사업인 "야말 프로젝트"를 통해 쇄빙선 15척 수주

○ 노르웨이
- 한-노르웨이 외교장관회담 개최('14.9월, 유엔총회 계기)
  - 양국간 북극 관련 공동연구·조사, 북극항로 등 산업 개발, 북극관련 국제기구에서의 협력 합의
- 북극이사회 SAO 회의 계기 수석대표 양자회담 개최('14.3월, 캐나다 옐로나이프)
  - 한-노르웨이 간 북극 연구 및 비즈니스 분야 협력 지속 모색 합의
- 한-노르웨이 북극협력 세미나 참석('14.6월, 오슬로)
  - 반민반관 세미나(1.5 트랙)에 양측 정부 및 연구소 전문가가 참여, 협력방안 협의
- 한-노-러 북극항로 쇄빙선 전문가 회의 개최('14.6월, 오슬로)
  - 한-노-러 3국간 쇄빙선 분야 반민반관 협의체(1.5 트랙)에 참석, 한-놀-러 쇄빙선 연구 협력 방안 논의

○ 핀란드
- 한-핀란드 외교장관회담('13.10.16, 서울)시 북극 관련 협력강화 합의
- 한-핀란드 총리회담('13.10.23, 헬싱키)시 쇄빙선 등 북극 항로 개발 분야 등에서 양국간 협력 확대에 합의

○ 스웨덴

9) Yamal project, Russia, 2008

KOPRI 극지연구소

- 한-스웨덴 외교장관회담('13.10월, 서울 사이버스페이스 총회 계기)시 북극 협력 논의
- 제1차 한-스웨덴 극지기술협력 세미나 개최('13.12월, 스웨덴 요테보리)
  - 양국 전문가간 북극항로 협력 방안 협의

○ 덴마크

- 한-덴마크 정상회담 개최('14.10.16, ASEM 계기)
  - 북극에서의 연구 활동 및 자원개발에 있어서 양국간 협력 강화 합의
- 한-덴마크 북극정책·경제 포럼 개최('13.11월, 코펜하겐)
  - 양국 전문가간 북극 항로 및 북극지역 자원개발 방안 협의

○ 기타

- 북극써클 회의 참석 계기 아이슬란드 대통령 면담('13.10월 및 '14.11월)
  - 국내 수석대표는 우리의 북극 정책을 설명하고, 아이슬란드와의 북극 협력 방안 협의

KOPRI 극지연구소

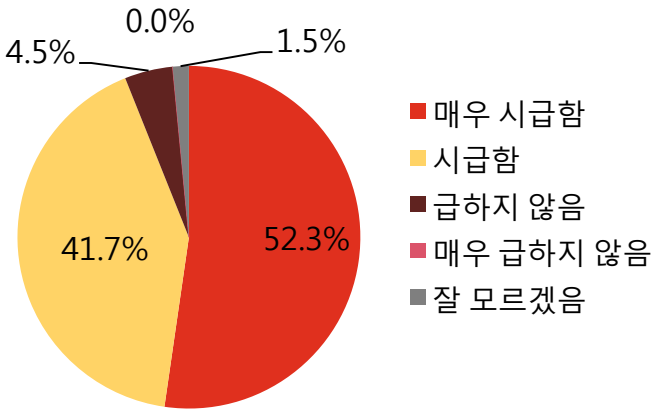
2. 제2 쇄빙연구선 건조사업 관련 설문조사 결과

제2 쇄빙연구선 건조사업 추진과 관련해서 극지 관련 다양한 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시했다. 조사 대상자는 극지 관련 연구자로 설정해 극지연구소 연구원과 아라온호를 통해 연구활동을 했던 연구자 및 탑승자, 극지에 대한 이해가 높은 과학기술 전문가 등 총 132명이 응답했다. 설문기간은 2014년 9월 1일부터 9월 26일로 총 27일간 진행되었으며 조사방법은 이메일로 설문지를 배포하고 이메일과 팩스 등으로 회수했다. 설문내용으로는 시급성, 건조착수 시기, 극지 인프라 선호도에 대한 항목으로 구성했으며, 이와 같은 결과를 분석해 건조계획에 반영하였다(세부 내용은 부록 참고).

[표 7-112] 제2 쇄빙연구선의 기능 및 역할 설문

구분		세부 조사항목
설문 목적		제2 쇄빙연구선 건조를 추진하기 전에 건조 추진의 타당성, 시급성, 기능 및 역할 등에 대한 다양한 전문가들에게 의견을 수렴하여 건조계획에 반영하기 위함
설문 일정		2014년 9월 ~ 9월 26일, 총 27일 간
대상자		극지 관련 연구자(극지(연) 포함), 아라온호를 통해 연구활동을 수행한 연구자 및 탑승자, 극지에 대한 이해가 높은 과학기술 전문가 총 132명
조사 방법		조사대상자를 대상으로 이메일을 이용하여 조사서를 배포하고, 이메일과 팩스 등으로 조사결과 회수
설문 항목	아라온호의 이해	인지도, 대표성과, 아쉬운 점, 쇄빙능력, 제2 쇄빙연구선 반영할 내용, 아라온호 활용도 등
	제2 쇄빙선 추진 근거	시급성, 건조착수 시기, 극지인프라 선호도, 제2 쇄빙연구선의 건조 어려움, 제2 쇄빙연구선의 필요 근거 등
	주요 기능과 제원	아라온호와 기능 차별성, 제2 쇄빙연구선의 적정 규모 및 남북극 활동 비중, 제2 쇄빙연구선 건조 후 아라온호와의 남북극 역할 변화, 외부 이용자 활용 비중 등
	활용성	연구 활용 범위, 기대효과 등
	응답자 현황	산학연관, 연구직, 기술직, 행정직, 경력분야 등

○ 제2 쇄빙연구선 건조 추진의 시점에 대한 설문

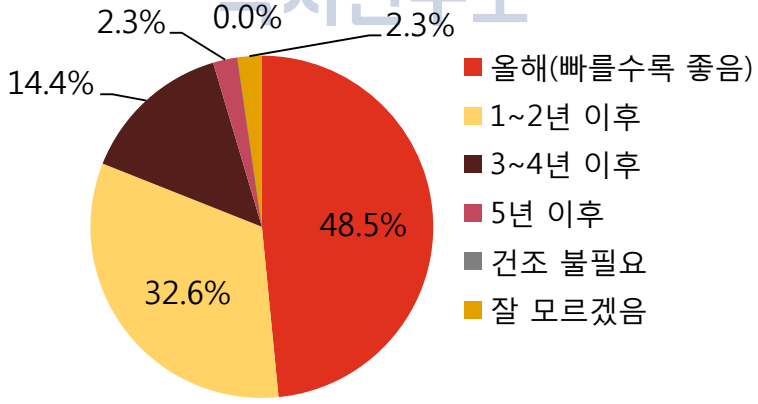


<그림 7-175. 제2 쇄빙연구선 시급성에 대한 설문결과>

- 제2 쇄빙연구선 건조의 시급성에 관한 설문에 대해서는 '매우 시급함' 응답자가 69명, 비율은 52.3%로 가장 높고, '시급함'이 55명, 비율은 41.7%로 뒤를 이음
- 응답자 중 약 94% 정도가 제2 쇄빙연구선 건조가 시급하다고 여김

KOPRI 극지연구소

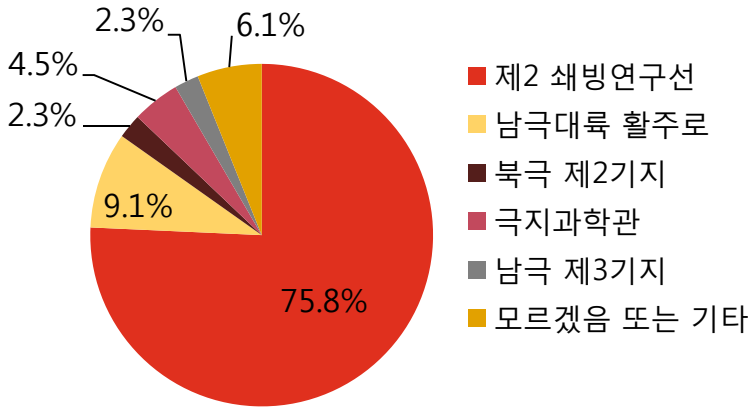
○ 제2 쇄빙연구선 건조 주친(예비타당성 조사 수행)이 적절한 시점



<그림 7-176. 제2 쇄빙연구선 건조착수 시기에 대한 설문결과>

- 제2 쇄빙연구선 건조의 추진 시점에 관한 설문에 대해서는 '올해(빠를수록 좋음)' 응답자가 64명, 비율은 48.5%로 가장 높고, '1~2년 이후'가 뒤를 이음
- 응답자 중 약 80% 이상이 제2 쇄빙연구선 건조를 빨리 수행하기를 바라고 있으며, '건조 불필요'에 대한 응답자는 없음

○ 국내 극지연구 활동지원을 위해 시급히 확보되어야 할 인프라 선택



<그림 7-177. 극지연구 활동을 위한 필요 인프라에 대한 설문결과>

- 극지활동을 위해 반드시 필요한 인프라에 관한 설문에 대해서는 '제2 쇄빙연구선' 이라는 응답자가 100명, 비율은 75.8%로 압도적으로 높음
- 그 뒤로는 남극대륙 활주로(12명, 9.1%), 북극 제2기지(6명, 4.5%), 극지과학관(3명, 2.3%), 남극 제3기지(3명, 2.3%) 순으로 비중을 차지함

'제2 쇄빙연구선의 기능 및 역할 설문'을 통해 응답자의 제2 쇄빙연구선에 대한 필요성과 시급성을 확인할 수 있다. 설문 대상자의 90% 이상은 제2 쇄빙연구선 건조가 시급하다고 여기고 있으며, 건조 시점으로는 80% 이상이 1~2년 이내로 응답함으로써 신속한 사업 추진을 요구하고 있다. 또한 응답자의 75% 이상은 극지연구 활동에 필요한 인프라로써 북극기지, 남극대륙 활주로 등 타 인프라보다 제2 쇄빙연구선이 필요하다고 응답하였다. 상기 설문 결과를 통해 극지연구 관련 전문가들의 제2 쇄빙연구선에 대한 추진의지를 확인할 수 있다.

3. 소결

남극연구 활동에 비해 북극연구 활동은 다소 늦은 감은 있지만 지난 1993년 북극 기초조사를 시작으로 20년 남짓 동안 괄목한 만한 성장을 거두었다. 2008년 이후 세 차례 도전 끝에 북국이사회 옵서버 자격을 획득한 것은 우리나라의 북극연구 활동에 대한 굳은 의지의 결과이다. 이후 우리나라는 북극이사회 고위관리회의 참석뿐만 아니라 작업반 및 Task-Force 활동도 성실히 수행하고 있다. 또한 북극써클회의 등 다양한 북극 관련 회의에 참석하여 우리나라의 북극정책과 북극 연구활동에 대한 의지를 표명하고 있으며 이를 바탕으로 북극이사회 회원국과의 양자협력 방안도 확대해 나가고 있다.

이렇듯 북극 국제사회에서 우리나라의 북극에 대한 관심과 역량을 높게 평가하게 된 계기는 아라온호를 통한 연구활동이 큰 공헌을 했다. 불과 몇 해 전까지만 해도 남극에 상주기지를 운영 중인 20개국 중 쇄빙선이 없는 나라는 우리나라와 폴란드 두 곳 뿐이었다. 쇄빙선이 필요할 때에는 하루 8천 여 만원을 주고 다른 나라로부터 빌려 사용했는데, 그나마 빌릴 수 있는 기간이 제한되어 가고 싶은 곳을 자유롭게 다니기 어려웠다. 더욱이 연구적합 시기인 11월부터 2월까지는 다른 나라도 쇄빙선을 사용하고 있어 빌리는 것조차 어려운 환경이었다. 그러한 열악한 환경에서 극지연구를 수행했던 우리나라는 지난 2009년 국내 최초 쇄빙연구선인 아라온호를 건조하면서 극지연구에 관해 선진국 반열에 오르게 되었다. 자국의 쇄빙선을 운영하게 됨으로써 국내 과학자들의 연구환경은 눈에 띄게 개선되었고 이러한 것은 연구결과의 성과로 귀결되었다.

아라온호를 탑승한 경험자 또는 극지에 대한 이해도가 높은 전문가들은 쇄빙연구선 역할의 중요성을 실감하고 더 나은 연구성과를 위해서라도 또 다른 쇄빙연구선에 대한 필요성을 설문을 통해 강조하고 있다. 쇄빙연구선은 천억 원 이상의 고비용이 소요되는 만큼 건조 추진에 앞서 다양한 관점에서 면밀한 검토가 이루어져야 하는 것이 당연하지만 건조 이후 파생되는 국가 경제적, 사회적, 과학적 파급효과를 겪은 과학자 및 관련 전문가들의 제2 쇄빙연구선 건조에 대한 추진의지는 매우 높다고 할 수 있겠다.

KOPRI
극지연구소

제 3 절 재원조달 가능성

재원조달 가능성은 사업추진을 위한 재원의 투입과 관련하여 계획된 시점과 규모에서의 문제발생 가능성을 분석하여 이로 인한 사업추진 지연의 위험요인을 검토하기 위해 포함된 항목이다. 일반적인 연구개발사업 추진을 위한 재원으로는 중앙정부에 의해 전액 국고 부담하는 방안, 일부 사업비를 사업주체와 중앙정부가 분담하는 방안, 중앙 및 사업주체의 재정지원을 전제로 민자를 유치하는 방안 등 통상 3가지 경우로 구분된다.

국고지원사업은 사업의 공공성 정도에 따라 결정된다. 정부주도의 국고지원사업이라 할지라도 시장의 논리가 적용되는 사업이라면 민간유치 및 민간기업의 적극적인 참여를 유도하여 국가재정의 부담을 줄이는 노력이 필요하다. 하지만 동 사업은 극지활동 진흥을 위한 거대인프라 구축 사업으로 사업의 성과가 기초과학연구 성과제고 등 수익 발생과는 무관한 사업으로 전형적인 정부주도 공공성 사업에 해당한다. 특히 사업의 결과물인 제2 쇄빙연구선의 주요 활동 지역인 북극해가 대부분 연안국의 관할수역으로 상업적 수익 추구보다 연안국과의 평화적·과학적 협력이 우선시되므로 공적 이익을 추구하는 정부지원 사업으로 추진됨이 타당할 것으로 판단된다.

KOPRI 극지연구소

[표 7-113] 연도별 소요예산 투입 계획(안)

연도	구분 및 내용	예산
2017	개념 및 기본설계(30억 원)	45.0
	건조 로드맵(5억 원)	
	요소기술-I 개발(10억 원)	
2018	실시설계(30억 원)	328.6
	요소기술-II 개발(20억 원)	
	건조비의 10%, 감리비의 11%, 감독비의 25%, 예비비(Ⅰ)의 25%	
2019	건조비의 90%, 감리비의 89%, 감독비의 75%, 예비비(Ⅰ)의 75%, 예비비(Ⅱ), 제세금 등	784.4
2020		799.4
2021		900.5
총계		**2,855.9**

1. 국가재정운용계획(2014~2018)[10)]

국가재정운용계획은 중장기적 시계에서 재정운용 전략과 재원배분 방향을 제시하기 위해 당해 회계연도부터 5회계연도 이상의 기간에 대해 재정운용목표와 방향을 정부차원에서 수립한 계획이다. 과거 중기재정계획('82~)은 개략적인 재정투자 방향을 제시하고 예산 편성 시 재정당국의 내부 참고자료로만 활용되었으나, '04년부터는 재정총량 관리목표를 설정하고 분야별 재정투자계획을 제시하였으며 '07년부터는 국가재정법을 제정하여 국가재정운용계획 수립 및 국회 제출을 의무화하기 시작하였다.

국가재정운용계획은 보건·복지·고용, 교육, 환경, R&D 등 총 12대 분야로 구분되어 분야별 투자방향을 제시하고 있으며, 제2 쇄빙연구선 건조사업은 이 중 R&D 분야와 연계성이 높다고 할 수 있다.

최근 5년간 R&D 분야에 대한 정부의 투자는 12.3조원('09년)에서 16.9조원('13년)으로 높은 증가율을 보여 왔다. R&D 분야에 대한 정부 재정 지원은 기초연구, 거대과학, 미래 먹거리 창출, 국민행복기술 등에 집중되어 지속적으로 확대되어 왔다. 정부가 R&D 분야에 대해 투자를 지속적으로 확대함에 따라 과학기술의 양적 성과는 선진국 수준에 도달하였으나, 반면 SCI 논문 1편당 피인용 횟수, 특허출원 건수 등 질적 수준은 국제 기준 대비 아직 낮은 수준이라는 비판이 제기되고 있는 상황이다.

2014~2018년 동안 R&D 분야 재정운용의 기본방향은 창조경제 조기 실현 및 국민의 삶의 질 향상에 역점을 두고 재정을 투자할 계획이며, 기초연구에 대한 투자 비중을 2018년 까지 40%로 확대하겠다는 목표로, 창의적·안정적인 기초연구 환경을 조성하는 것에 주력할 것으로 알려져 있다. 이는 제2 쇄빙연구선 건조사업의 재원조달 가능성에 있어서 긍정적으로 판단된다.

또한 창조적 산업생태계를 구축하여 경제성장을 선도하고 양질의 일자리를 창출할 수 있는 13대 미래 성장동력에 대한 R&D투자를 강화해 나갈 계획임이 발표되었다.

10) 대한민국정부, 2014~2018년 국가재정운용계획, 2014

9대 전략산업 (고유 완성품 분야)			4대 기반산업 (타 산업의 구성·기반 분야)	
주력산업 혁신	미래 신시장 선점	복지·산업 동반성장	지능형 반도체	빅데이터
5G 이동통신	지능형 로봇	맞춤형 웰니스 케어		
심해저 해양플랜트	착용형 스마트기기	재난안전관리 스마트 시스템	지능형 사물인터넷 (IoE)	융복합 소재
스마트자동차	실감형 콘텐츠	신재생에너지 하이브리드 시스템		

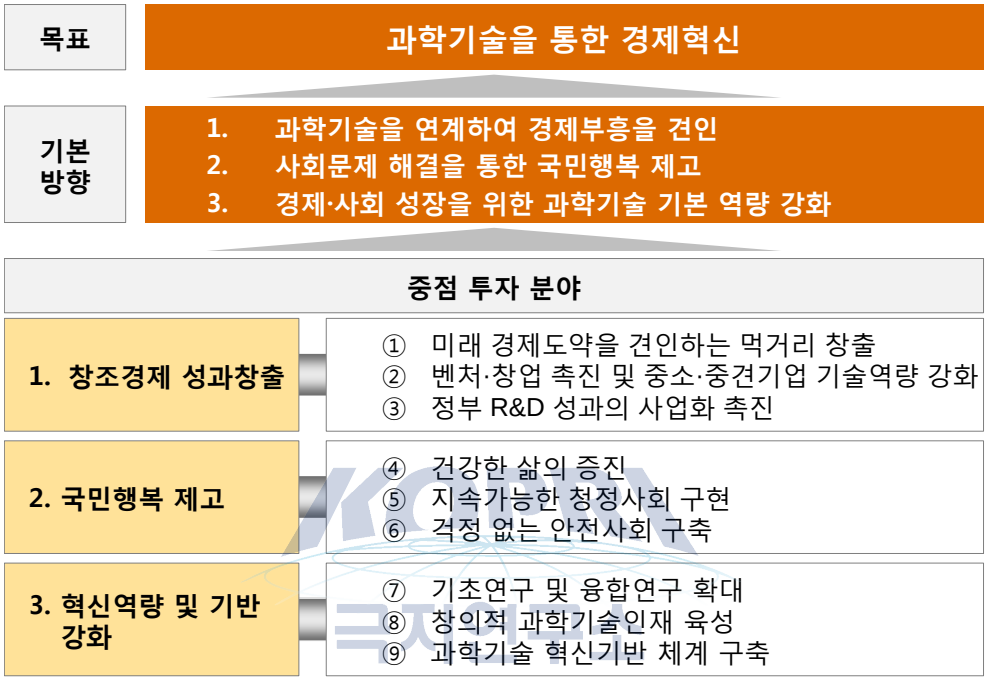
<그림 7-178. 13대 미래성장 동력 분야>

13대 미래성장 동력분야 중 극지기술 및 쇄빙연구선에 대한 직접적인 언급은 없으나 9대 전략산업 중 하나인 '심해저 해양플랜트'는 쇄빙연구선과 깊은 관계가 있다. 심해저 해양플랜트 분야의 발전을 위해서는 국내 해양플랜트 기자재를 국산화할 수 있는 기술개발이 선제적으로 이뤄져야 한다. 극한 조건에서도 품질 기준을 만족시킬 수 있는 기술력을 갖춰야 한다. 동 사업인 제2 쇄빙연구선은 이러한 국내 업체의 기자재의 성능시험 Test-Bed 장비를 탑재하여 실해역에서 테스트 할 수 있는 기반을 조성함으로써 관련산업에 이바지 할 계획을 갖고 있다. 특히 산업통산자원부에서 추진 중인 '극한환경 해양플랜트' 사업과의 유기적인 연계를 위하여 해양수산부와 산업통산자원부 간 연계과제를 발굴하여 추후 전략적으로 협업할 계획을 마련하고 있다(세부내용은 부록 참고).

국가재정운용계획('14~'18)상 매몰비용이 크고 사업 파급효과가 제한적인 대형 시설장비의 신규 투자에 대해서는 신중하고 엄격하게 검토할 계획이지만, R&D 투자 확대에 대한 정부의 의지가 높고, 13대 미래성장 동력 분야 중 하나인 '심해저 해양플랜트'와 제2 쇄빙연구선 건조사업과의 깊은 연관성을 고려했을 때 동 사업의 추진을 위한 정부 재원의 지원은 필요하다고 판단되는 바이다.

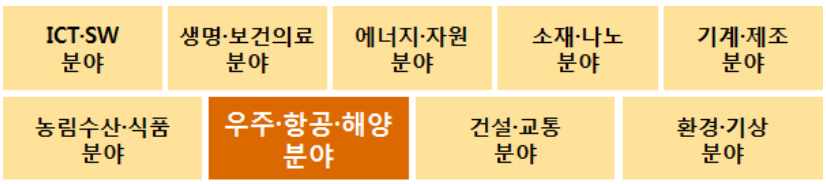
2. 2015년 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)[11)]

'2015년 정부연구개발투자 방향 및 기준(안)'은 2015년도 국가연구개발사업 예산 배분 및 조정과 예산편성의 기본 방향으로 활용하고자 국가과학기술심의회에서 '과학기술기본법 제12조의2'에 의거하여 마련한 것이다.



<그림 7-179. 2015년도 정부연구개발 투자방향>

2015년도 정부연구개발 투자방향은 '과학기술을 통한 경제혁신'이라는 목표 아래 3대 기본방향 및 이를 달성하기 위한 9대 중점 투자 분야를 제시하고 있다. 또한 9대 기술분야를 구성하여 2015년 기술분야별 투자방향을 제시하고 있다.



<그림 7-180. 정부연구개발 투자방향 상 9개 기술분야>

동 사업은 '우주·항공·해양' 분야 중 해양 분야에 해당한다. '우주·항공·해양'는 정부의 2014년 전체 R&D에서 약 5.1%의 비중을 차지하고 있으며 이중 해양 분야가 47.9%로 가장 높은 투자 비중을 보였다.

11) 국가과학기술심의회, 2015년도 정부연구개발투자 방향 및 기준, 2014.04.10

투자현황	- 우주·항공·해양 분야 R&D는 8,248억 원(2014년) - 정부 R&D 내 5.1% 비중 - 해양(47.9%), 우주(29.0%), 항공(23.0%) 순 투자 비중
R&D 투자 성과	- 해양기지 및 대형과학조사선 등 해양 인프라 구축 - 실용화 R&D에 대한 기반투자로 기술이전 등 실적 창출
중기 투자 방향	- **해양영토주권 확보**, 해양산업의 고부가가치화 및 신성장 분야 경쟁력 제고를 위한 유망기술 발굴·육성 - **국제적 환경·안전 이슈에 선제적 대응**을 위한 분야에 투자 강화
'15년도 투자 방향	- **극지·대양의 과학기술 활동영역 확대를 지원** - **극지 인프라를 활용한 극지 기초·응용연구를 지원하고 국제 협력을 강화**

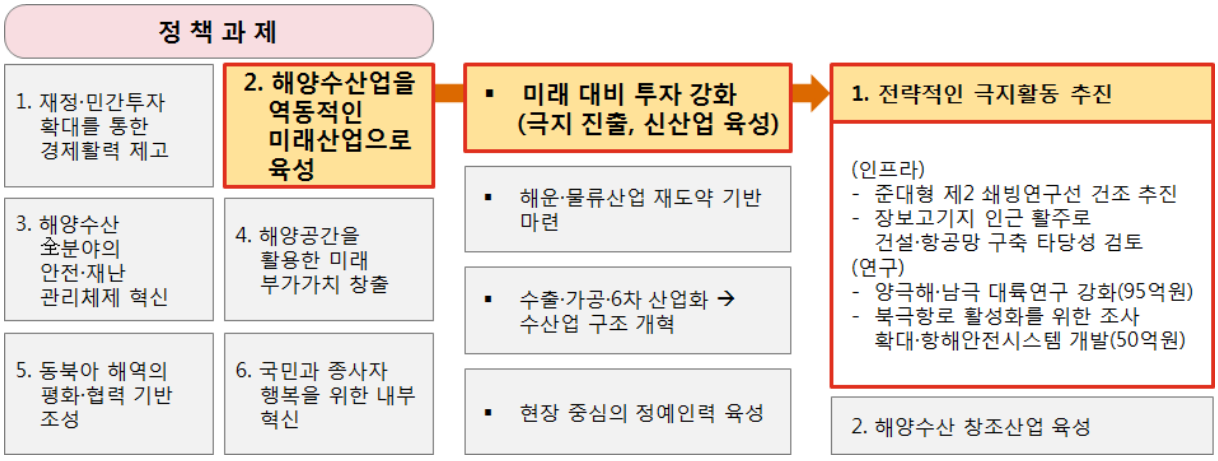
<그림 7-181. 해양 기술분야 투자 현황 및 방향>

정부는 해양 관련 기술분야의 중기 투자 방향으로 해양영토주권 확보 및 국제적 환경·안전 이슈에 대한 투자 강화를 계획하고 있다. '해양영토'란 좁게는 한 국가의 영토 주권이 미치는 관할 해역으로서 영해와 배타적 경제수역 그리고 대륙붕을 의미하지만 직접적인 관할 해역을 넘어 개별 국가가 독점적 탐사와 개발권을 확보한 심해저 및 과학기지를 운영중인 극지를 포함한 지역 또한 해양영토로 정의할 수 있다. 따라서 극지, 특히 북극에 대한 해양영토 주권에 대한 국가간 경쟁이 심화되어 가고 있는 가운데 쇄빙연구선을 활용한 활동이 더욱 중요한 사안이라고 볼 수 있다. 또한 북극해는 기후변화의 온상지로서 국제적 환경 이슈가 대두되고 있는 지역으로 북극해 환경에 대한 국가차원의 대응을 강화할 필요가 있다.

정부의 해양 관련 기술분야의 2015년 투자방향을 살펴보면 '극지·대양의 과학기술 활동영역 확대를 지원', '극지 인프라를 활용한 극지 기초·응용연구를 지원하고 국제 협력을 강화' 라고 계획하고 있다. 쇄빙연구선은 극지 연구에 있어서 반드시 필요한 핵심 인프라이다. 쇄빙연구선의 운항계획이 확보될수록 더욱 심도 깊은 극지 연구가 수행될 수 있는 것은 명백한 사실이다. 앞서 꾸준히 언급한 바와 같이 아라온호의 남극해 항해일수 증가로 인해 북극항해에 제약을 받고 있는 상황이다. 정부연구개발투자방향에서 언급된 것처럼 극지연구에 대한 R&D 투자 지원은 긍정적으로 예상되나, 투자의 효율성 및 성과제고를 위해서는 극지연구 인프라의 꽃인 제2 쇄빙연구선 건조에 집중되어져야 할 것으로 판단된다.

3. 2015년 해양수산부 주요 업무계획[12)]

해양수산부는 2015년 1월에 6대 정책과제에 따른 20대 정책방향을 제시하였다. 이 중 두 번째 정책과제인 '해양수산업을 역동적인 미래산업으로 육성'은 극지 및 제2 쇄빙연구선 건조와 관련된 과제이다.



<그림 7-182. 2015년 해양수산부 주요 업무계획 중 극지활동 관련 내용>

'해양수산업을 역동적인 미래산업으로 육성' 정책과제를 달성하기 위한 세부 추진과제인 '전략적인 극지활동 추진'은 국정과제 11-7 '경제영토 개척'과 직접적인 연계가 있다. 해양수산부는 해양수산 분야의 미래 대비 투자를 강화하기 위한 최우선 방안으로 제2 쇄빙연구선 건조를 제시하고 있으며, 이를 통해 동 사업의 주무부처인 해양수산부 차원에서도 정부 예산확보에 대한 강한 의지를 확인할 수 있다. 더욱이 해양수산부에서 현재 추진 중인 '대형 해양과학조사선'이 2015년에 건조 완료됨에 따라 재원에 여유가 있을 것으로 추정되며, 특히 건조사업 초기에는 설계 등이 수행되어 상대적으로 작은 규모임에 비추어 2017년부터 제2 쇄빙연구선 건조 사업을 수행하는데 기존 재원 범위 내에서 수용 가능할 것으로 판단된다. 향후 예비타당성조사 등 검증 과정을 거치고 2016년에 차년도(2017년) 해양수산분야 사업 예산요구서에 재원 조달을 반영할 계획이다.

12) 해양수산부, 2015년 주요 업무계획, 2015.01.29

4. 국고지원 관련 법적 근거 검토

제2 쇄빙연구선의 건조가 국고지원, 즉 국가의 행정행위로 이루어지기 위해서는 반드시 법률에 근거하여야 하며 법률적으로 사전 검토가 반드시 필요하다. 국고지원으로 추진 될 제2 쇄빙연구선의 건조사업은 총 사업비 규모가 약 2,860억 원 가량으로 예상되는 바, 국가제정법 제38조의 '총 사업비 500억 원 이상의 사업'에 해당하고, 해양수산부의 연구개발사업으로 추진된다는 점에서 동법 제3호의 '과학기술기본법 제11조에 따른 연구개발사업'에 해당하는 바, 제2 쇄빙연구선의 건조를 위해서는 반드시 국가제정법 상의 예비타당성조사가 필요하다.

○ 추진근거

기획재정부장관은 총사업비가 500억 원 이상이고 국가의 재정지원 규모가 300억 원 이상인 신규 사업으로서, 건설공사가 포함된 사업, 「국가정보화 기본법」 제15조제1항에 따른 정보화 사업, 「과학기술기본법」 제11조에 따른 국가연구개발사업, 그 밖에 사회복지, 보건, 교육, 노동, 문화 및 관광, 환경 보호, 농림해양수산, 산업·중소기업 분야의 사업에 대한 예산을 편성하기 위해서는, 기미리 예비타당성조사를 실시하고, 그 결과를 요약하여 국회 소관 상임위원회와 예산결산특별위원회에 제출하여야 한다(국가제정법 제38조).

제2 쇄빙연구선의 건조에 필요한 총 사업비는 약 2천8백억 원 규모로 국가제정법 제38조의 총 사업비 500억 원 이상의 사업에 해당하고, 해양수산부의 연구개발사업으로 추진된다는 점에서 동법 동조 제3호의 과학기술기본법 제11조에 따른 연구개발사업에 해당(아래에서 상세 검토)하는 바, 제2 쇄빙연구선의 건조를 위해서는 반드시 국가제정법 상의 예비타당성조사가 필요하다.

다만, 제2 쇄빙연구소 건조 사업과 같이 해양수산부장관(중앙관서의 장)이 예비타당성조사를 신청하는 경우에는 사업의 명칭·개요·필요성 등을 명시한 예비타당성조사 요구서를 기획재정부장관에게 제출하여야 하며, 기획재정부장관은 해양수산부장관의 요구에 따라 또는 직권으로 해당 사업 관련 중·장기 투자계획과의 부합성 및 사업추진의 시급성 등을 검토한 후 관계 전문가의 자문을 거쳐 예비타당성조사의 실시 여부를 결정 한다. 예비타당성조사를 실시하기로 결정한 경우에는 기획재정부장관은 조사대상사업의 경제성 및 정책적 필요성 등을 종합적으로 검토하여 그 타당성 여부를 판단하고, 그 결과를 공개한다(국가재정법법시행령 제13조).

□ 국가재정법

제38조(예비타당성조사) ①기획재정부장관은 총사업비가 500억원 이상이고 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 신규 사업으로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 대규모사업에 대한 예산을 편성하기 위하여 미리 예비타당성조사를 실시하고, 그 결과를 요약하여 국회 소관 상임위원회와 예산결산특별위원회에 제출하여야 한다. 다만, 제4호의 사업은 제28조에 따라 제출된 중기사업계획서에 의한 재정지출이 500억원 이상 수반되는 신규 사업으로 한다. <개정 2008.2.29., 2010.5.17., 2014.1.1.>

1. 건설공사가 포함된 사업
2. 「국가정보화 기본법」 제15조제1항에 따른 정보화 사업
3. 「과학기술기본법」 제11조에 따른 국가연구개발사업
4. 그 밖에 사회복지, 보건, 교육, 노동, 문화 및 관광, 환경 보호, 농림해양수산, 산업·중소기업 분야의 사업

② 제1항에도 불구하고 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업은 대통령령으로 정하는 절차에 따라 예비타당성조사 대상에서 제외한다. <신설 2014.1.1.>

1. 공공청사, 교정시설, 초·중등 교육시설의 신·증축 사업
2. 문화재 복원사업
3. 국가안보에 관계되거나 보안을 요하는 국방 관련 사업
4. 남북교류협력에 관계되거나 국가 간 협약·조약에 따라 추진하는 사업
5. 도로 유지보수, 노후 상수도 개량 등 기존 시설의 효용 증진을 위한 단순개량 및 유지보수사업
6. 「재난 및 안전관리기본법」 제3조제1호에 따른 재난(이하 "재난"이라 한다)복구 지원, 시설 안전성 확보, 보건·식품 안전 문제 등으로 시급한 추진이 필요한 사업
7. 재난예방을 위하여 시급한 추진이 필요한 사업으로서 국회 소관 상임위원회의 동의를 받은 사업
8. 법령에 따라 추진하여야 하는 사업
9. 출연·보조기관의 인건비 및 경상비 지원, 융자 사업 등과 같이 예비타당성조사의 실익이 없는 사업
10. 지역 균형발전, 긴급한 경제·사회적 상황 대응 등을 위하여 국가 정책적으로 추진이 필요한 사업으로서 다음 각 목의 요건을 모두 갖춘 사업. 이 경우, 예비타당성조사 면제 사업의 내역 및 사유를 지체 없이 국회 소관 상임위원회에 보고하여야 한다.
   가. 사업목적 및 규모, 추진방안 등 구체적인 사업계획이 수립된 사업
   나. 국가 정책적으로 추진이 필요하여 국무회의를 거쳐 확정된 사업

③제1항의 규정에 따라 실시하는 예비타당성조사 대상사업은 기획재정부장관이 중앙관서의 장의 신청에 따라 또는 직권으로 선정할 수 있다. <개정 2008.2.29., 2014.1.1.>

④기획재정부장관은 국회가 그 의결로 요구하는 사업에 대하여는 예비타당성조사를 실시하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2014.1.1.>

⑤기획재정부장관은 제1항의 규정에 따른 예비타당성조사 대상사업의 선정기준·조사수행기관·조사방법 및 절차 등에 관한 지침을 마련하여 중앙관서의 장에게 통보하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2014.1.1.>

□ 국가재정법시행령

KOPRI 극지연구소

제13조(예비타당성조사) ① 삭제 <2014.4.1.>
② 삭제 <2014.4.1.>
③중앙관서의 장이 법 제38조제3항에 따라 예비타당성조사를 신청하는 경우에는 사업의 명칭 · 개요 · 필요성 등을 명시한 예비타당성조사 요구서를 기획재정부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2014.4.1.>
④기획재정부장관은 제3항의 요구에 따라 또는 직권으로 해당 사업 관련 중 · 장기 투자계획과의 부합성 및 사업추진의 시급성 등을 검토한 후 관계 전문가의 자문을 거쳐 예비타당성조사의 실시 여부를 결정하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2014.4.1.>
⑤기획재정부장관은 제4항에 따라 예비타당성조사를 실시하기로 결정한 경우에는 조사대상 사업의 경제성 및 정책적 필요성 등을 종합적으로 검토하여 그 타당성 여부를 판단하고, 그 결과를 공개하여야 한다. <개정 2008.2.29.>
⑥ 삭제 <2014.4.1.>

○ 조사대상

위에서 언급한 예비타당성조사는 제2 쇄빙연구선 건조가 국가연구개발사업에 해당한다는 전제 하에 진행되는 것이다.

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정은 제1조(목적)에서 「과학기술기본법」에 따른 국가연구개발사업의 기획·관리·평가 및 활용 등에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다고 밝힌 후, 제2조(정의)에서 “국가연구개발사업이란 중앙행정기관이 법령에 근거하여 연구개발과제를 특정하여 그 연구개발비의 전부 또는 일부를 출연하거나 공공기금 등으로 지원하는 과학기술 분야의 연구개발사업을 말한다.”고 정의내리고 있다. 제2 쇄빙연구선의 건조가 전액 국고지원으로 추진된다는 점에서 동 규정상 국가연구개발사업에 해당한다.

또한 과학기술기본법 제 11조(국가연구개발사업의 추진) 제2항에 따르면, 정부는 국가연구개발사업의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 지속적으로 강구하여야 하고(제1호), 기업, 교육기관, 연구기관 및 과학기술 관련 기관·단체 간의 협력, 기술·학문·산업 간의 융합 및 창의적·도전적 연구개발이 활성화될 수 있는 방안을 강구하여야 하며(제1의 2호), 연구기관과 연구자에게 최상의 연구환경을 조성하는 등 연구개발 역량을 높이기 위한 지원을 강화하여야(제2호) 한다.

제2 쇄빙연구선 건조가 우리나라 극지연구의 효율성을 제고하고, 극지연구소를 중심으로 산·학·연 공동의 극지활동을 활성화하며, 세계적 관심사인 북극해 결빙해역에 필요한 연구환경을 조성하고 연구개발 역량을 높이는 것이므로, 상기 국가재정법 제38조 및 과학기술기본법 제11조의 국가연구개발사업에 해당한다.

□ 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정

제1조(목적) 이 영은 「과학기술기본법」 제11조 및 제11조의2부터 제11조의5까지의 규정에 따른 국가연구개발사업의 기획·관리·평가 및 활용 등에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 영에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <개정 2012.5.14.>

1. "국가연구개발사업"이란 중앙행정기관이 법령에 근거하여 연구개발과제를 특정하여 그 연구개발비의 전부 또는 일부를 출연하거나 공공기금 등으로 지원하는 과학기술 분야의 연구개발사업을 말한다.
2. "주관연구기관"이란 국가연구개발사업의 연구개발과제(이하 "연구개발과제"라 한다)를 주관하여 수행하는 기관을 말한다.
3. "협동연구기관"이란 연구개발과제가 2개 이상의 세부과제로 나누어질 경우, 협약으로 정하는 바에 따라 연구개발과제의 세부과제(이하 "세부과제"라 한다)를 주관하여 수행함으로써 주관연구기관과 협동으로 연구개발과제를 수행하는 기관을 말한다.
4. "공동연구기관"이란 협약으로 정하는 바에 따라 연구개발과제를 주관연구기관과 분담하거나 세부과제를 협동연구기관과 분담하여 공동으로 추진하는 기관을 말한다.
5. "위탁연구기관"이란 협약으로 정하는 바에 따라 주관연구기관으로부터 연구개발과제의 일부 또는 세부과제의 일부를 위탁받아 수행하는 기관을 말한다.
6. "전문기관"이란 「과학기술기본법」(이하 "법"이라 한다) 제11조제4항에 따라 중앙행정기관의 장이 소관 국가연구개발사업에 대한 기획·관리·평가 및 활용 등의 업무를 대행하도록 하기 위하여 설립하거나 지정한 기관을 말한다.
7. "실시"란 법 제11조의4제1항에 따라 연구개발결과물을 사용(연구개발결과물을 사용하여 생산하는 경우를 포함한다), 양도(기술이전을 포함한다), 대여 또는 수출하는 것을 말한다.
8. "기술료"란 법 제11조의4제1항에 따라 연구개발결과물을 실시하는 권리(이하 "실시권"이라 한다)를 획득한 대가로 실시권자가 국가, 전문기관 또는 연구개발결과물을 소유한 기관에 지급하는 금액으로서 현금 또는 유가증권 등을 말한다.
9. "참여기업"이란 연구개발결과물을 실시할 목적으로 해당 연구개발과제에 필요한 연구개발비의 일부를 부담하는 기업, 「산업기술연구조합 육성법」에 따라 설립된 산업기술연구조합, 그 밖에 중앙행정기관의 장이 정하는 기관을 말한다.
10. "출연금"이란 국가연구개발사업의 목적을 달성하기 위하여 국가 등이 반대급부 없이 예산이나 기금 등에서 연구수행기관에 지급하는 연구경비를 말한다.
11. "기술실시계약"이란 연구개발결과물을 소유한 자와 연구개발결과물을 실시하려는 자가 실시권의 내용, 기술료 및 기술료 납부방법 등에 관하여 체결하는 계약을 말한다.
12. "기초연구단계"란 특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 아니하고 현상 및 관찰 가능한 사실에 대한 새로운 지식을 얻기 위하여 수행하는 이론적 또는 실험적 연구단계를 말한다.
13. "응용연구단계"란 기초연구단계에서 얻어진 지식을 이용하여 주로 실용적인 목적으로 새로운 과학적 지식을 얻기 위하여 수행하는 독창적인 연구단계를 말한다.
14. "개발연구단계"란 기초연구단계, 응용연구단계 및 실제 경험에서 얻어진 지식을 이용하여 새로운 제품, 장치 및 서비스를 생산하거나 이미 생산되거나 설치된 것을 실질적으로

개선하기 위하여 수행하는 체계적 연구단계를 말한다.

□ 과학기술기본법

제11조(국가연구개발사업의 추진) ① 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야 한다. <개정 2014.5.28.>

② 정부는 국가연구개발사업을 추진할 때에는 다음 각 호에 따라 수행하여야 한다. <개정 2014.5.28.>

1. 정부는 민간부문과의 역할분담 등 국가연구개발사업의 효율성을 제고할 수 있는 방안을 지속적으로 강구하여야 한다.

1의2. 정부는 기업, 교육기관, 연구기관 및 과학기술 관련 기관·단체 간의 협력, 기술·학문·산업 간의 융합 및 창의적·도전적 연구개발이 활성화될 수 있는 방안을 강구하여야 한다.

2. 정부는 연구기관과 연구자에게 최상의 연구환경을 조성하는 등 연구개발 역량을 높이기 위한 지원을 강화하여야 한다.

3. 정부가 국가연구개발사업 관련 제도나 규정을 마련할 경우 연구기관과 연구자의 자율성을 최우선으로 고려하여야 한다.

4. 정부는 소요경비의 전부 또는 일부를 지원하여 얻은 지식과 기술 등을 공개하고 성과를 확산하며 실용화를 촉진하여야 한다.

③ 정부는 국가연구개발사업을 투명하고 공정하게 추진하고 효율적으로 관리하며 각 부처가 추진하는 국가연구개발사업을 긴밀히 연계하기 위하여 다음 각 호에 관한 사항을 정하여야 한다.

1. 국가연구개발사업의 기획, 공고 등에 관한 사항
2. 국가연구개발사업의 과제의 선정, 협약 등에 관한 사항
3. 연구개발 결과의 평가 및 활용 등에 관한 사항
4. 국가연구개발사업의 보안, 정보관리, 성과관리, 연구윤리의 확보 등 연구수행의 기반에 관한 사항
5. 그 밖에 국가연구개발사업의 기획·관리·평가 및 활용 등(이하 "기획등"이라 한다)에 관하여 필요한 사항

④ 중앙행정기관의 장은 소관 국가연구개발사업의 효율적 추진을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 소관 법령으로 정하는 기관 또는 단체에 국가연구개발사업의 과제 기획등에 관한 업무를 대행하게 할 수 있다. 이 경우 중앙행정기관의 장은 기획등을 대행하는 자(이하 "전문기관"이라 한다)에 대하여 기획등의 수행에 사용되는 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다.

⑤ 국가연구개발사업의 원활한 추진을 위하여 제3항에 따른 국가연구개발사업의 기획등에 관한 사항과 제4항에 따른 전문기관의 업무에 관한 사항은 대통령령으로 정한다.

[전문개정 2010.2.4.]

KOPRI 극지연구소

5. 소결 : 정부 지원의 필요성

제2 쇄빙연구선은 북극이사회 옵서버 지위 획득 이후 북극활동 및 국제협력 강화를 도모하는 등 공익창출을 위한 정부정책 이행의 가시적 실천이다. 제2 쇄빙연구선은 그 건조단계로부터 건조 후 활용에 이르기까지 다양한 분야가 이익을 공유하는 공익의 순환을 기대할 수 있다. 쇄빙연구선의 건조는 민간기업인 조선사가 담당하는데 이로부터 경제부흥에 필요한 고용창출 효과를 기대할 수 있다. 건조된 쇄빙연구선은 극지연구에 투입되어 우리나라 극지과학 및 기술 성장에 기여할 것이고, 국제공동연구 등 극지활동은 민간외교의 효과를 낳아 정부간 국제협력에 기여할 것이며, 북극의 항로개척 및 북극항행경험의 축적과 기자재 테스트베드 등의 활용을 통해 산업계의 수요에 부응할 수 있다.

쇄빙연구선이 시장의 상품적 가치를 갖지는 못하는 반면, 극지활동 활성화, 과학기술의 발전, 산업적 활용 등 공익적 가치를 갖는다는 점에서, 제2 쇄빙연구선의 건조는 정부가 지원하는 대형 R&D 사업으로 추진되어야 하며, 동 사업의 목표와 목적을 달성하기 위해서는 정부의 꾸준한 관심과 지원이 절대적으로 필요할 뿐만 아니라 건조 후에도 다양한 이해관계자의 조정자로서 정부의 역할이 필요하다.

KOPRI 극지연구소

제 4 절 법·제도적 위험요인

제2 쇄빙연구선의 건조 사업은 다양한 국내외 법규범과 관련되어 있다. 제2 쇄빙연구선이 국가 미래비전 확립에 기여하는 공공투자의 개념을 갖는바 국고지원 관련 국내 법령에 따라 추진하게 될 것이다. 그러나 국내법에 따라 추진되는 사업이라 할지라도 국제법의 위반 여부는 별도로 검토해야 하는데, 국고지원이 국가 보조금에 해당할 수 있어 WTO 보조금협정의 위반 여부를 검토하여야 한다.

한편, 국제사회는 극지해역에서의 안전한 선박운항을 위하여 '극지운항선박 안전코드'(이하 Polar Code)를 채택하였는데, 이는 2017년에 발효가 예정되어 있어 그 후에 건조가 완료되는 제2 쇄빙연구선에 적용된다. 따라서 제2 쇄빙연구선의 건조설계 단계에서부터 Polar Code를 충실히 검토하여 이에 부합되는 선박을 건조하여야 한다.

1. 제2 쇄빙선건조 국고지원의 WTO 보조금협정 타당성 검토

제2 쇄빙연구선 건조 사업은 쇄빙연구선을 기반으로 남·북극 특히 북극 결빙해역의 연구를 활성화함은 물론 쇄빙연구선 건조를 통한 또는 건조에 필요한 요소기술 개발을 목적으로 한다. 이처럼 제2 쇄빙연구선의 건조는 국가연구개발사업에 해당하므로, 국가재정법 및 과학기술기본법에 의거하여 제2 쇄빙연구선 건조 비용 전부를 국고로써 지원할 수 있다.

그러나 제2 쇄빙연구선 건조와 관련한 국내법적 근거가 곧바로 국제조약의 준수를 의미하는 것은 아니다. 법률은 헌법에 따라 국회에서 제정되는 것이고, 국제조약은 주권국가의 정부 간에 체결하는 것이므로[13], 우리나라 법률과 우리나라가 체결한 조약이 반드시 일치하는 것은 아니다. 그리고 국가가 국내법을 이유로 해서 국제의무를 회피할 수 없다는 것은 국제법상 확립된 원칙이다. 더욱이 국제조약의 대한민국 헌법 제6조 제1항에 따라 국내법의 일부를 구성하기도 하므로[14], 제2 쇄빙연구선 건조의 법·제도적 위험요인을 검토함에 있어 국제조약의 검토가 반드시 필요하다.

13) 다만, 국회는 상호원조 또는 안전보장에 관한 조약, 중요한 국제조직에 관한 조약, 우호통상항해조약, 주권의 제약에 관한 조약, 강화조약, 국가나 국민에게 중대한 부담을 지우는 조약 또는 입법사항에 관한 조약의 체결·비준에 대한 동의권을 가진다(헌법 제60조 1항).

14) 헌법에 의하여 체결·공포된 조약과 일반적으로 승인된 국제법규는 국내법과 동일한 효력을 가진다(헌법 제6조 1항).

제2 쇄빙연구선 건조 사업의 국제법적 위험요인은 WTO 보조금협정과의 관계에 있다. 이 사업이 전액 국고지원으로 이루어지고 국내 조선업계를 대상으로 입찰이 이루어진다는 점에서 보조금에 해당할 수 있으므로, 그 경우 WTO 보조금협정의 위반에 해당하는가를 검토한다.

○ 국고지원은 WTO[15] 보조금협정상 '보조금'에 해당하는가?

보조금(subsidy)이란 정책당국이 특정한 정책목표를 달성하기 위하여 산업 및 기업 활동에 제공하는 각종 지원을 의미한다. WTO 보조금협정 제1조 제1항은 보조금으로 인정되기 위한 3가지 요소를 규정하고 있는데, i) 정부 또는 공공기관에 의한 ii) 재정적 기여로 인해 iii) 수혜자에게 혜택이 발생하는 경우에 보조금으로 인정된다.

첫 번째 요건인 보조금 지급의 행위 주체로서 '정부'의 범주는 중앙정부는 물론 지방정부도 포함된다. '공적기관'의 경우 일반적으로 정부가 100% 출자한 정부투자기관과 정부지분이 50%를 넘는 공기업은 공적기관으로 볼 수 있다. 우리나라 기획재정부 및 해양수산부는 전형적인 정부의 예라 할 수 있다.

두 번째 요건인 재정적 기여는 i) 자금 및 채무부담의 직접적 이전, ii) 무상지원, 대출, 지분참여, 대출보증, 세액공제 등 정부 세입의 포기, iii) 사회간접자본 이외의 정부에 의한 특정 재화 또는 서비스의 제공과 정부에 의한 재화 구매, iv) 정부가 금융기관이나 민간기관을 통해 위 3가지와 관련된 기능을 수행하는 경우가 포함된다. 정부의 제2 쇄빙연구선 건조 비용의 지원은 자금의 직접적 이전에 해당한다.

세 번째 요건인 '혜택'은 보조금협정에 정확한 규정이 명시되어 있지 않다. 현재까지의 WTO 분쟁 사례를 살펴볼 때, 패널 및 상소기구는 시장에서 확보 가능한 조건보다 유리한 조건으로 수혜자에게 자금 또는 이에 상응하는 지원이 제공될 때, 일반적으로 혜택이 발생하는 것으로 파악하고 있지만, 어떠한 시장을 기준으로 시장 상황을 판단할 것인가 하는 문제에 대해서는 아직 명확한 해답이 없는 상태이다. 그럼에도 불구하고 건조 비용 일체를 정부가 지원하는 것은 건조 기업에 '혜택'이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

따라서 해양수산부가 국가연구개발사업의 일환으로 일체를 지원하여 수행하는

15) World Trade Organization

제2 쇄빙연구선 건조 사업은 경우 WTO 보조금협정상 보조금 지급에 해당한다.

○ WTO 보조금협정은 모든 보조금을 금지하는가?

1995년 WTO협정이 발효될 당시 WTO 보조금협정은 보조금의 유형을 금지보조금(prohibited subsidy), 조치가능보조금(actionable subsidy), 허용보조금(non-actionable subsidy) 등 세 가지로 분류하였고, 전문가들은 이러한 보조금제도를 신호등에 비유하였다.

적색등에 해당하는 금지보조금 법률상 또는 사실상(*de jure* or *de facto*) 수출실적에 따라 지급되는 수출보조금이나 국산품사용 조건부로 지급되는 수입대체보조금과 같이 수출입에 직접 영향을 미쳐 무역왜곡효과가 크기 때문에 그 지급이 허용되지 않는 보조금이다.

황색등에 해당하는 조치가능보조금은 금지보조금에 해당되지는 않으나 보조금의 특정성이 있는 보조금으로 인하여 다른 회원국 시장에 심각한 손해 등 부정적 효과를 초래하는 경우 상계조치를 가능케 하는 보조금이다.

녹색등에 해당하는 허용보조금은 특정성이 없는 보조금이거나, 특정성이 있더라도 연구개발보조금, 지역개발보조금, 환경보조금과 같이 국제무역의 흐름을 왜곡하지 않아 국가정책상 지급이 허용되는 보조금을 말한다. 그러나 5년간 한시적으로 적용되었던 허용보조금 제도가 2000년 1월 1일부로 폐지됨에 따라 현재 보조금은 크게 금지보조금과 조치가능보조금만 남았다[16].

허용보조금제도가 폐지된 현재에 추진되고 있는 연구개발보조금은 경우에 따라 WTO협정에 합치될 수도 위반될 수도 있는 것이다. 결국 연구개발보조금을 조치가능보조금으로 보아 상계조치의 대상여부를 판단하여야 한다.

○ 조치가능보조금의 상계요건은 무엇인가?

WTO 보조금협정은 제2조에서 '특정성' 있는 보조금만을 규제 대상으로 하고 있다. 보조금이 특정성이 있을 경우에만 WTO의 규율대상이 되어 타 회원국의 대응조치가 가능해지므로, 특정성은 보조금의 성격을 판단하는데 가장 중요한 개념이며 동시에 협정의 해석상 가장 논란의 여지가 많은 개념이다.

특정성이란 보조금 지급의 대상이 법률상 또는 사실상으로 특정 기업(군)이

16) 보조금협정 제8조 허용보조금 조항은 2000년 1월 1일자로 실효된 상태로, 이후 도하라운드에서 그 연장 여부에 관한 합의가 이루어지지 않았으며, 현재로서는 허용보조금 조항 연장을 위한 협상 재개 자체도 불투명하다.

나 산업(군) 또는 특정 지역 안에 위치한 일정한 기업들로 제한되어 있는 경우를 의미한다. 보조금의 특정성 여부를 판단할 때 동 협정은 법적 기준과 함께 사실상 기준을 채택하고 있기 때문에, 실제로는 법적 기준보다 폭넓은 개념이 보조금의 특정성 여부를 판단하는데 사용되고 있다. 이에 고려되는 요소들로는 i) 제한된 숫자의 특정 기업에 의한 보조금 계획의 사용, ii) 특정 기업에 의한 압도적인 사용, iii) 특정 기업에 대해 불균형적으로 많은 금액의 보조금 지급 및 보조금 지급 결정에 있어서 공여기관의 재량권 행사 방식 등이 있다.

조치가능보조금이라 할지라도 타 회원국에 부정적 효과를 초래하지 않는다면 금지되지 아니한다. 여기서 부정적 효과란 다른 회원국의 국내산업에 대한 피해, 다른 회원국이 향유하는 (WTO 협정을 준수할 때 기대할 수 있는) 이익의 무효화나 침해, 다른 회원국의 이해관계에 대한 심각한 손해 및 손해의 우려를 의미한다. 다시 심각한 손해는 보조금으로 인하여 다른 회원의 동종상품이 보조금 지급 회원국 시장으로 수입되는 것이 배제되거나 항해하는 효과가 발생하는 경우, 제3국 시장에 다른 회원국 동종상품의 수출이 배제되거나 방해되는 효과가 발생하는 경우, 동일 시장에서 다른 회원국의 동종상품의 가격에 비해 보조금 혜택을 받은 상품의 현저한(significant) 가격인하나 동일 시장에서 현저한 가격인상억제·가격하락·판매감소를 초래하는 효과가 발생하는 경우, 보조금을 받는 특정 1차상품이나 일용품에서 보조금지급 회원국의 세계시장 점유율이 이전 3년간의 평균 점유율과 비교하여 증가하고 이러한 증가가 보조금이 지급된 기간에 결쳐 일관되게 효과가 발생하는 경우에 존재하는 것으로 간주한다.

위의 내용을 현재 적용되는 보조금의 유형별로 정리하면 아래 표와 같다.

[표 7-114] WTO 보조금의 유형(2000년 1월 1일 이후)

구분	내용
금지보조금 (prohibited subsidy)	▸ 그 자체로 특정성이 있는 것으로 간주되어 특정성 존재 여부와 관계없이 WTO 차원에서의 신속하고 직접적인 제재의 대상이 되거나, 수입국이 자국법에 의해 상계관세를 부과할 수 있음 ▸ WTO 보조금협정상 금지보조금의 운용은 회원국의 경제개발 정도에 따라 적용시점이 달리 규정되어 있으나, 일부 예외를 제외하면 유예기간이 종료되어 거의 모든 회원국의 수출보조금과 수입대체보조금이 예외 없이 금지되고 있음 ▸ 유형 · 수출보조금(export subsidies): 법률상 또는 사실상 수출실적에 따라 공여되는 보조금 · 수입대체보조금(local content subsidies): 수입품 대신 국산품의 사용을 조건으로 하여 공여되는 보조금

구분	내용
조치가능보조금 (actionable subsidy)	▸ i) 정부 또는 공적 기관에 의한 재정적 기여로 인해, ii) 혜택이 부여되고, iii) 특정성이 있을 경우의 3가지 요건이 모두 충족되면 그러한 재정적 기여는 조치가능보조금에 해당 ▸ 다른 회원국의 이익에 부정적인 효과(adverse effect), 즉 i) 다른 회원국의 국내산업에 대한 피해(injury), ii) 1994년 GATT협정에 의한 양허혜택의 무효화 또는 침해, iii) 다른 회원국의 이익에 대한 심각한 손상(serious injury) 등을 초래하였을 경우에는 WTO 제소 또는 피해국으로부터의 직접적인 상계조치를 받을 수 있음

○ WTO 보조금협정상 제2 쇄빙연구선 건조 사업 국고지원의 적법성

제2 쇄빙연구선 건조에 대한 국고지원과 같은 연구개발보조금은 과거에는 허용보조금으로서 합법적으로 용인되었겠으나, 이제는 금지보조금 해당여부 또는 조치가능보조금 중 상계조치 대상여부 등을 검토하여야 한다.

우선 금지보조금의 해당여부를 살펴보면, 제2 쇄빙연구선 건조는 쇄빙연구선 건조를 위한 과학기술개발 및 결빙해역의 극지연구 인프라 마련을 위한 것이므로, 국고지원 즉 보조금의 목적이 대상산업의 수출 증진을 위한 수출보조금이나 사전적으로 수입품 대신 국산품 사용을 조건으로 하여 지원한다는 수입대체보조금과는 무관하다. 따라서 금지보조금에 해당하지 아니한다.

연구개발 지원정책이 금지보조금에는 해당하지 않으나 특정성이 인정되고 교역상대국의 산업에 심각한 손해 등 부정적 효과를 유발한 경우에는 조치가능

보조금에 해당하여 동 협정이 규정하는 상계조치의 대상이 될 수 있다.

예비타당성조사를 신청한 연구개발사업과 관련하여 제기되는 통상 문제는 대부분 특정 상품의 수출과 관련된 특정성의 문제로 압축된다. 정부에 의한 연구개발지원이 특정기술이나 제한된 상품특성에 연계된 기술지원으로 간주될 가능성이 높은 경우, 통상 측면에서 사전적으로 정부지원 대상을 구체적 기술과 관련성이 있는 산업부문 또는 기업부문으로 제한하는 것으로 판단될 여지가 있고 이것은 특정성이 인정되는 것으로 판정될 가능성이 존재함을 시사한다. 그러나 제2 쇄빙연구선 건조는 상품무역을 전제하거나 국내외 시장에 영향을 미치거나 미치게 하려는 의도가 없는 단발성의 연구개발에 해당한다.

정부연구개발 지원의 수혜대상산업이 불균형적인 혜택을 받고 있으며, 이에 따라 시장경쟁을 왜곡하고 있다고 볼 수 있는지 여부는 사업에 따른 상용화 결과가 구체화되지 않은 단계에서는 판단하기 어렵다. 다만 건조사업의 입찰에 성공한 조선업체가 제2 쇄빙연구선 건조를 통해 요소기술 개발에 성공하여 향후 해외 쇄빙선 건조시장에서 우위에 서게 된다면, 이는 간접적으로 시장왜곡 효과를 낳는다는 문제제기의 가능성이 존재한다. 이는 결국 우리 정부의 WTO 정부조달협정상 국내 조선업계 대상 입찰의 합법성과 연구개발지원 결과가 어느 정도 성공적으로 나타나느냐 하는 것과 직결된 문제로서 정책추진의 결과에 비추어 판단해야 한다.

KOPRI 국제연구소

2. 제2 쇄빙연구선 건조와 Polar Code

Polar Code는 선박운항의 안전성을 높이고, 잠재적인 가혹한 극지방의 위험이 있는 원거리 지역에서 인간과 자연환경에 대한 영향을 경감시키기 위해 현행 IMO(국제해사기구)의 협약들을 보완할 목적으로 제정되었다.

Polar Code코드는 크게 강제사항과 권고사항으로 나뉘며, 기존과는 달리 강제사항으로는 PartI-A(안전조치), Part II-A(오염방지조치)로 구성되며, 권고사항으로는 각 Part 별 Part I-B(안전조치), Part II-B(오염방지조치)로 구성되었다. 강제사항인 Part I-A(안전조치)는 총 14장으로 구성되며, 극지항로를 운항하는 선박의 안전성을 확보하기 위해, 일반사항, 극지운항 매뉴얼, 구조안전성, 충격에 의한 안정성, 수밀, 기관, 화재안전, 인명구조 및 설비, 항해 안전, 통신, 운항관리, 긴급조치에 관한 규정이 수록되어 있으며, 각 장은 목적, 기능적 요구조건, 규정/요구조건으로 구성되어 있다. 강제사항인 Part II-B(오염방지조치)는 총 5장으로 구성되며 극지항로를 운항하는 선박에 의해 발생가능성이 있는 기름오염, 유해액체오염, 하수, 폐기물 등에 관한 오염을 완화시키기 위한 요구사항으로 구성되어 있다. 또한 Polar Code는 2017년부터 법적 구속력을 갖게되는데, Part I-A(안전조치)는 SOLAS의 신규 장(chapter)으로 추가되고, Part II-A(오염방지초치)는 MARPOL의 부속서로 강제화 될 예정이다.

상기 PartI-A(안전조치)와 Part II-A(오염방지조치)는 모두 제2 쇄빙연구선과 깊은 관계가 있으나, 전자가 설계-건조-운항단계 모두에 고려되어야 하는 반면, 후자는 운항단계에서 고려되어야 한다는 점에서 차이가 있다. 또한 Polar Code는 선박의 유형을 운항가능해역의 얼음등급에 따라 A, B, C 유형으로 나누고 있는데, 제2 쇄빙연구선은 최소 구빙(舊氷)을 포함한 중간급 일년생 해빙이 있는 극지해역의 운항을 위해 설계된 선박, 즉 Category A선박에 해당하는바 가장 엄격한 기준을 준수하여야 한다. 따라서 본 장에서는 제2 쇄빙연구선의 설계 및 건조 과정에서 고려 또는 준수해야할 PartI-A(안전조치) 중심의 Polar Code 규정을 검토한다.

○ 선박 구조

제2 쇄빙연구선은 외부환경 하중과 조건으로 인하여 선박 구조물의 재료와 치수가 전체 및 국부 응답을 기반으로 하여 구조적 통합성을 유지하여야 한다.

이를 위하여, Category A 선박의 각재(scantling)는 IMO가 인정하는 기준 혹은 이에 상응하는 안전기준을 제공하는 기타 기준을 고려하여 정부 혹은 정부가 인정한 기관의 승인을 받아야 한다.

○ 복원력과 구획

제2 쇄빙연구선은 손상 비손상 조건에서 필요한 복원력 및 구획을 갖추어야 한다. Category A 선박과 Category B 선박은 해빙으로 인한 손상을 견디기 위한 충분한 잔여복원력(residual stability)을 보유해야 하는바, 복원력 계산에 있어 ① 노천갑판 및 통로에 대해 30kg/㎡, ② 수선면 위 선박 양측의 투영측면적에 대해 7.5kg/㎡, ③ 난간, 잡다한 대, (돛대를 제외한)원재, 돛이 없는 선박의 삭구 등 불연속적인 표면의 투영측면적 및 기타 소형물체들의 투영측면적은 연속적 표면의 총투영면적의 5% 및 이 면적의 정적률의 10% 추가 산출 등 동결허용치를 고려하여야 한다. 또한, Category A 선박과 Category B 선박은 얼음으로 인한 선체침투로 발생한 침수에 견딜 수 있어야 한다.

○ 수밀성과 풍우밀성

제2 쇄빙연구선은 수밀성 및 풍우밀성을 유지하기 위한 조치를 제공하여야 하며, 이와 관련된 모든 폐쇄장치 및 문은 작동 가능 상태로 유지되어야 한다. 이를 위하여 착빙이 발생되는 지역 혹은 기간에 운항되는 선박에는 해치 및 문 주위에 얼음 및 눈의 부착을 제거하거나 방지하기 위한 수단이 제공되어야 하고, 해치 및 문이 유압으로 작동하는 경우, 액체의 동결 및 과도한 점성화를 방지하기 위한 수단이 제공되어야 하며, 거주 가능 환경에 설치되지 않았고 해상에서 접근성이 요구되는 수밀 및 풍우밀 문, 해치, 폐쇄장치는 두꺼운 장갑을 포함하여 두툼한 겨울 의류를 입을 사람이 작동할 수 있도록 설계되어야 한다.

○ 기계설비

제2 쇄빙연구선의 모든 기계설비는 선박 안전 운항에 필요한 기능을 할 수 있어야 하는데, 특히 착빙 그리고/또는 눈 축적, 해수로부터 얼음 침투, 동결 및 액체의 점성화, 해수 흡입 온도, 눈 침투 등 외부환경 상황을 극복할 수 있어야 한다. 결빙해역 운항 선박의 기계설비는 차갑고 밀도 높은 유입공기, 배터리 또는 기타 에너지 저장 장치의 성능 소실, 얼음의 상호영향으로 인해 직접적으로 부과되는 하중 등에 대한 대비가 고려되어야 한다. Category A 선박의 프로펠러 날개, 추진 선(propulsion line), 조향장비 및 기타 부속물의 각재는 기관에서 인

정하는 기준 또는 상응하는 안전도를 제공하는 기준을 고려하여 정부 또는 정부가 인정한 기관의 승인을 받아야한다.

○ 기타

상기한 결빙해역 운항 또는 쇄빙운항의 특성에 따른 고려사항 외에도, 제2쇄빙연구선은 설계단계에서 화재 안전 및 보호, 구명장치 및 구명준비, 항행안전, 통신, 해양오염방지 등에 관한 검토가 이루어 져야 한다.

KOPRI 극지연구소

3. 소결

제2 쇄빙연구선 건조는 국고지원이 필요한 사업으로서 그 추진 절차와 관련된 국내 법·제도에 부합되어야 할 뿐 만아니라, WTO 보조금협정과 같은 국제조약의 위반이 없어야 한다.

제2 쇄빙연구선의 건조가 우리나라 극지연구의 효율성을 제고하고, 극지연구소를 중심으로 산·학·연 공동의 극지·해양연구를 활성화하며, 세계적으로 주목받고 있는 북극해 결빙해역에 필요한 연구환경을 조성하여 연구개발 역량을 높이기 위한 것이므로, 본 사업은 과학기술기본법 제11조(국가연구개발사업의 추진)의 국가연구개발사업 즉, 국고지원의 대상이 된다.

제2 쇄빙연구선 건조 사업의 국제법적 위험요인은 건조업체 선정 시 국내업체로 제한하여 입찰할 경우 WTO 보조금협정 위반 여부에 있다. 보조금이란 정책당국이 특정한 정책목표를 달성하기 위하여 산업 및 기업 활동에 제공하는 각종의 지원을 의미하는바, 해양수산부가 국가연구개발사업의 일환으로 건조비용 일체를 지원하여 국내 조선업계가 사업을 수행하는 본 사업은 보조금에 해당한다.

다만, WTO 보조금협정은 일정 요건을 충족하는 보조금만을 규제하는데, 예비타당성조사를 신청한 연구개발사업과 관련하여 제기되는 통상 문제는 대부분 특정 상품의 수출과 관련된 특정성의 문제로 압축된다. 제2 쇄빙연구선 건조는 상품무역을 전제하거나 국내·외 시장에 영향을 미치거나 미치게 하려는 의도가 없는 단발성 연구개발에 해당하는바 일견 보조금협정 위반으로 보이지 않는다. 다만, 사업을 수탁한 건조회사가 요소기술 개발 등의 효과로서 추후 쇄빙선 또는 쇄빙연구선의 해외 경쟁에서 우위를 점한다면 WTO협정상 문제의 소지가 있는바, 국제 경쟁입찰을 실시하는 것이 안전한 절차적 선택이다.

제2 쇄빙연구선의 설계 및 건조단계에서도 Polar Code라는 국제법규범의 준수가 확보되어야 한다. 따라서 제2 쇄빙연구선의 설계 단계에서 선박구조, 선박복원력과 구획, 수밀성 및 수밀건전성, 기계설비, 화재안전 및 보호, 구명장치 및 구명준비, 항행안전, 통신, 해양오염방지 등 Polar Code의 요구사항을 준수여부를 면밀히 검토하여야 한다.

제 8 장

경제적 타당성

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 1 절 국가 R&D 사업의 경제성 평가

1. R&D 사업의 구분

R&D 사업의 경제적 타당성을 평가하기 위해서는 우선 R&D 사업을 유형화한 다음에 각 유형별로 차별화된 편익 항목을 정의할 필요가 있다. 이는 R&D 사업 유형별로 편익항목의 구성이 달라질 수 있기 때문이다. 따라서 R&D 사업 유형별로 편익항목을 구성한 다음에는 직접 추정할 편익항목과 정책적 분석에서 특수평가항목으로 다룰 편익항목을 구분해야 한다. 이와 관련하여 [표 8-117]와 같이 한국과학기술기획평가원(2006a)에서 제시된 R&D 사업의 유형 구분을 참고할 수 있다. 여기서는 R&D 사업을 기초원천기술개발사업, 공공복지기술개발사업, 산업기술개발사업, 연구장비구축사업, 연구센터구축사업, 인력양성사업의 6가지로 구분하였다. 국회예산정책처(2008)와 한국과학기술기획평가원(2008b)에서도 이와 동일하게 R&D 사업을 구분하고 있다.

[표 8-115] R&D 사업 유형별 특성

사업구분	사업특성
기초원천기술개발사업	교육훈련 및 인력양성 효과, 지식증진에의 기여도
공공복지기술개발사업	삶의 질 향상, 에너지 절감, 공해감소
산업기술개발사업	산업경쟁력 향상, 실용화 가능성
연구장비구축사업	국가위상제고, 과학기술하부구조 구축, 첨단연구 분야의 선점, 과학문화유산으로서의 가치
연구센터구축사업	지역경제 파급효과, 집적효과
인력양성사업	교육훈련 효과, 지식증진에의 기여도

출처: 한국과학기술기획평가원(2006a).

한편 과학기술부(2007)의 국가 R&D사업 표준사업분류 기준을 참고할 수 있다. 이 기준에서는 R&D사업을 추진목적이라는 관점에서 연구개발, 인력양성, 국제협력, 시설장비·기반구축의 4가지로 구분하고 있으며, 결과활용이라는 관점에서 지식증진, 산업기술, 공공복지의 3가지로 크게 구분하고 있다. 여기서 지식증진은 다시 순수기초, 목적기초로 구분되고, 산업기술은 단기 및 중장기로 구분되며, 공공복지는 공공·서비스, 보건·농림해양·환경, 지역발전으로 구분된다. 따라

서 R&D사업은 총 28(=4×7)개로 세분화된다.

2. R&D 사업 편익추정의 일반론

직접적 편익이란 R&D사업의 1차적인 목적과 관련된 편익을 의미한다. 즉 사업의 1차적인 목적에 부합하지 않는다면, 비록 해당 R&D사업으로 발생하는 편익이라 하더라도 간접적 편익으로 보는 것이 적절하다. 연구개발사업의 직접편익은 신제품 개발, 생산성 증대, 품질개선, 비용절감 등 여러 가지 형태로 나타날 수 있다. 직접적 편익의 범주를 정할 때에는 각 R&D사업의 사전기획보고서에서 목적으로 제시한 것과 관련된 편익만을 추정의 대상으로 하는 것이 현실적이다.

하지만 A사업과 B사업이 분야만 다르고 본질적으로 유사한 사업인데 A사업 사전기획보고서에서는 한 가지 목적만 제시한 반면에 B사업 사전기획보고서에서는 두 가지 목적을 제시한 경우, 각 사전기획보고서를 기준으로 목적을 인정할지, 아니면 B사업 사전기획보고서를 기준으로 목적을 고려할지의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 사전기획보고서에서 포함되어 있는지 여부와 무관하게 해당 편익이 직접적인 것이라면 추정을 하여 경제성 분석에 반영하는 것이 바람직하다.

간접적 편익이란 R&D사업의 2차적인 목적, 즉 부산물(by-product)의 성격을 가지고 있는 편익을 의미한다. 연구개발사업의 간접편익은 관련 지식의 증대, 인력양성 효과 등이 있는데, 사업의 특성에 따라 직접편익보다 더 중요할 수 있으므로 이러한 경우에는 추정하여 편익에 포함해야 한다. 따라서 간접적인 편익의 반영 여부는 그 중요성에 근거하여 판단해야 한다. 즉, 연구진이 판단하기에 중요한 편익이거나 또는 사업주체가 중요한 편익항목으로 제안 또는 주장하는 경우 이를 고려하여 반영 여부를 결정할 필요가 있다. 다만 간접적 편익의 추정 과정에서 직접적 편익과 이중계산(double counting)의 문제가 발생하지 않도록 잘 통제하는 것이 중요하다.

아울러 간접적 편익을 반영한다면 간접적 편익의 달성을 위해 발생하는 추가적인 비용도 산정하여 총비용에 더해 주는 작업이 필수적으로 요구된다. 한편 간접적 편익의 규모와 간접적 비용의 규모가 대략 비슷하다고 판단되거나 간접적 편익의 추정이 매우 어려운 경우에는, ① 편익과 비용이 같다고 가정하고 경제성 분석에서 제외하거나, ② 정책적 분석에서 특수평가항목으로 반영하는 것을 고려할 수 있다.

또한 편익은 시장에서 화폐단위로 평가할 수 있느냐 여부에 따라 유형편익(tangible benefits)과 무형편익(intangible benefits)으로 구분할 수 있다. 연구개발사업의 유형편익에는 기술개발을 통한 비용절감, 기술료 수입 등이 있으며, 무형편익에는 관련 지식의 증대, 과학기술자의 교육훈련, 국가위상의 제고 등이 있다. 일반적으로 무형편익은 시장가격이 없기 때문에 화폐단위로 측정하기가 곤란하지만, 최근에는 공공투자사업의 경제성 평가 시에 무형편익을 포함시키기 위한 여러 가지 측정방법이 개발되고 있다.

연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 의미하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분하여 추정한 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 한다. 연구개발사업으로 인해 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(또는 가계)와 생산자(기업 또는 산업)로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익은 지불의사액(WTP, willingness to pay)의 관점에서 평가하고, 생산자에게 발생하는 편익은 부가가치(value-added)의 관점에서 평가하는 것이 적절하다.

한편 수혜의 대상을 소비자와 생산자로 뚜렷하게 구분하기 어려운 경우는 국가 전체적 관점에서 부가가치 창출액으로 평가하거나 정성적으로 평가할 수 있다. 각각 추정된 편익을 합산할 때는 이중계산의 문제는 없는지 또는 누락된 부분은 없는지를 주의 깊게 살펴야 한다. 연구개발사업의 편익은 사업마다 다를 뿐만 아니라 동일한 종류의 사업이더라도 투자규모에 따라 달라질 수 있다.

편익이란 용어는 원래 경제학에서 정의하는 것이므로 편익추정은 원칙적으로 경제학적 방법에 근거해야 하는데, 경제학적 방법을 적용하기 위해 많은 시간과 비용이 소요되거나 여러 여건상 적용할 수 없는 경우에는 대용가능한 간편법을 사용할 수 있다. 연구개발사업의 편익을 추정하기 위해서는 원칙적으로 수요곡선 접근법이나 부가가치 접근법과 같은 경제학적 방법론에 근거해야 하나 경우에 따라서는 이것이 용이하지 않거나 불가능할 수 있다. 이런 경우에는 국내외 분석사례를 참고하여 해당 상황에 맞게 조정하는 편익이전(benefit transfer)[1] 작업을 해야 한다.

예를 들어 외국에서 측정한 편익을 구매력지수와 분석시점 등을 종합적으로 고려하여 국내 상황에 맞게 조정한 값을 이용할 수 있으나, 이러한 방법은 왜곡

1) 편익이전의 기법에 대해서는 환경정책평가연구원(2007) 참조

된 결과를 초래할 수 있으므로 주의가 요망된다. 한편 편익이전도 용이하지 않다면 대체비용 접근법을 이용하여 구한 값을 편익의 대용 값으로 삼는 것을 고려할 수 있다. 예를 들어 연구 장비의 편익을 추정하는 경우에 외국의 연구장비를 사용할 때 지불하는 사용료를, 연구센터의 편익을 추정하는 경우에 해외 연구센터를 이용할 때 소요되는 비용을 대용 값으로 이용할 수 있으나, 이러한 방법은 왜곡된 결과를 초래할 수 있으므로 주의가 요망된다.

KOPRI
극지연구소

3. R&D사업 유형별 편익항목

경제성 분석에서 가장 어렵고 힘든 작업인 편익추정은 편익항목을 도출하는 것으로부터 시작된다. 연구개발사업의 편익항목은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로, 해당 부처가 제출하는 사업계획서를 참고하여 편익항목을 구체적으로 세분화하는 것이 필요하다. 연구개발사업의 특수성을 반영하기 위한 가장 기본적인 방법은 사업별로 발생하는 편익항목을 도출한 후 이를 화폐가치로 추정하는 것인데, 계량화가 가능한 편익항목을 화폐가치로 추정하고 계량화가 불가능한 편익항목은 정성적으로 언급하거나 정책적 타당성 내의 특수평가항목에 반영할 수 있다.

기초원천기술개발사업의 경우, 사업의 효과가 직접적으로 개별 소비자에게 영향을 미치거나, 기업의 부가가치 창출에 기여한다고 보기 어렵다. 따라서 기초원천기술을 확보하지 못할 때 국내총생산이 향후 어떠한 부정적 영향을 받을지를 분석하여 편익을 측정할 수 있다. 또는 무리하게 경제적 편익을 따지기보다는 비용의 적정성 검토 및 파급효과 분석에 초점을 맞추어 경제성에 대한 종합적 판단을 할 수도 있다.

공공복지기술개발사업의 경우, 사업의 효과가 개별 소비자에게 미치는 영향을 추정하면서 산업차원에서의 부가가치 창출액을 측정한 후, 이 두 가지를 합하여 편익을 추정할 수 있다. 예를 들어 의료기술개발사업의 경우, 잠재소비자는 해당 의료기술과 유사한 의료서비스에 대해 얼마나 지출하고 있는지 또는 해당 의료기술이 없음으로 인해 얼마나 고통 받고 있는지(cost of illness)를 평가하거나 해당 의료서비스에 대한 지불의사액(willingness to pay)을 조사하는 방식으로 소비자 편익을 측정할 수 있다. 또한 해당 의료기술이 개발된 후 국내 판매 또는 해외수출 등으로 인해 해당 산업의 부가가치가 얼마나 늘어날 것인가를 평가하여 이를 생산자 편익으로 간주할 수 있다.

산업기술개발사업의 경우, 다른 연구개발사업에 비해 소비자와 생산자의 식별이 용이하므로, 소비자 잉여와 생산자의 부가가치 창출액을 합하여 편익을 측정할 수 있다. 예를 들어, 환경친화적 자동차기술개발사업의 경우, 대기의 질 개선으로 소비자는 호흡기 관련 질환을 덜 앓게 되거나 쾌적한 대기를 즐길 수 있으므로 이에 대한 가치를 추정하여 편익으로 삼을 수 있다. 또한 환경친화적 자

KOPRI 금지연구소

동차의 국내소비와 수출증대로 창출되는 부가가치 중에서 해당 연구개발사업의 기여도를 평가하여 생산자 편익으로 삼을 수 있다.

연구장비 구축사업의 경우, 소비자와 생산자의 직접편익을 측정하는 것이 쉽지 않지만 다음의 2가지 편익항목을 고려할 수 있다. 첫째, 해당 연구 장비를 구축하지 않고 해외에 있는 장비를 사용함으로써 지불하는 사용료를 편익으로 반영할 수 있다. 연구 장비를 구축함으로 인해 해외로부터 사용료를 받는다면 이로 인한 수입(부가가치)을 편익에 합할 수 있다. 둘째, 사용료 수입이 미미하거나 산업적 성과의 창출이 불확실하지만, 과학기술 하부구조의 구축으로 인해 국가위상 제고, 국민의 자긍심 고취, 과학문화유산으로서의 가치 등을 창출한다면 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method)의 적용을 고려할 수 있다. 예를 들어 대형광학망원경개발사업(한국과학기술기획평가원, 2006b), 토양·지하수오염확산방지 기술개발사업(한국과학기술기획평가원, 2007b) 등에 조건부 가치측정법이 적용된 바 있다.

연구센터구축사업의 경우, 소비자와 생산자의 직접편익을 측정하는 것이 쉽지 않지만 다음의 2가지 편익항목을 고려할 수 있다. 첫째, 연구센터의 산출물로부터 창출될 부가가치와 예상되는 기술료 수입으로 발생할 부가가치 등을 합하여 편익을 추정할 수 있다. 연구센터의 구축으로 인해 집적이 일어나 비용절감효과가 발생한다면 비용절감편익을 반영할 수 있다. 한편 입주기업을 대상으로 한 설문조사나 공간계량경제모형의 적용을 통해 비용절감율을 추정할 수도 있다. 둘째, 연구센터 중 공익시설에 대해서는 CVM을 적용하여 편익을 추정하는 방안을 고려할 수 있다. 예를 들어 경남 로봇랜드 조성사업(한국개발연구원, 2008b), 인천 로봇랜드 조성사업(한국개발연구원, 2008c) 등의 적용사례가 있다.

마지막으로 인력양성사업의 경우, 양성된 인력이 향후 창출할 부가가치를 구하여 편익을 측정할 수 있다.

KOPRI 극지연구소

4. R&D 사업의 편익추정법

편익의 추정방법은 그것의 수혜 대상이 누구인지, 가용한 자료가 얼마나 있는지, 평가하고자 하는 편익이 무엇인지 등에 따라 다르다. 따라서 여러 가지 편익추정 방법 중에서 최선의 방법을 택하되, 여의치 않다면 차선의 방법을 택하는 전략을 취해야 한다. 편익 추정방법을 결정할 때는 연구개발사업이라는 점에 주목하기 보다는 연구개발사업의 개별 효과 자체에 주목할 필요가 있다.

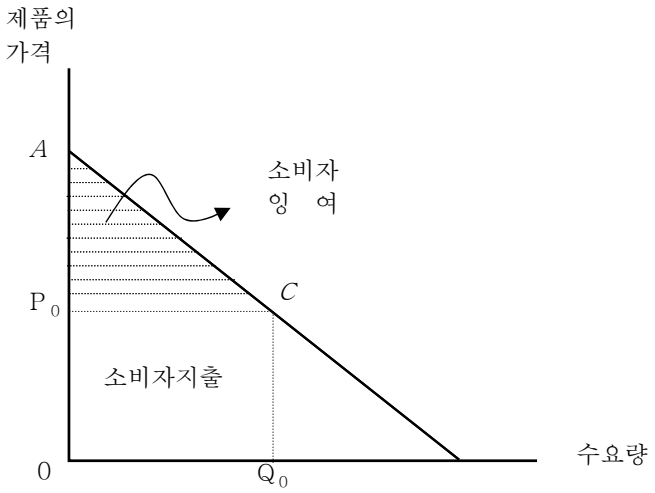
편익의 추정방법은 상향식(bottom-up) 접근법과 하향식(top-down) 접근법으로 구분할 수 있다. 상향식 접근법은 편익의 항목과 범주를 세분화해서 추정한 뒤, 이를 모두 합산하는 방식으로서, 편익의 항목과 범주가 많지 않아서 편익추정이 용이할 때 이용한다. 하지만 편익의 항목과 범주가 많아서 편익추정이 곤란할 때는 하향식 접근법이 유용할 수 있다. 가장 좋은 방법은 상향식 접근법과 하향식 접근법을 모두 적용하여 편익을 추정한 후, 서로 비교하여 조정하면서 일치시키는 것이다.

KOPRI 금지연구소

가. 소비자 중심의 편익 추정

연구개발사업의 효과가 소비자에게 미치는 경우, 소비자 잉여의 창출분이나 증가분을 구해 이를 편익으로 추정한다. 잠재적 소비자들은 연구개발사업의 산출물을 이용하여 만족감을 얻게 되는데, 이를 화폐단위로 표현한 것을 소비자 편익 또는 소비자 후생이라고 하고, 일반적으로 수요곡선 접근법을 이용하여 추정한다.

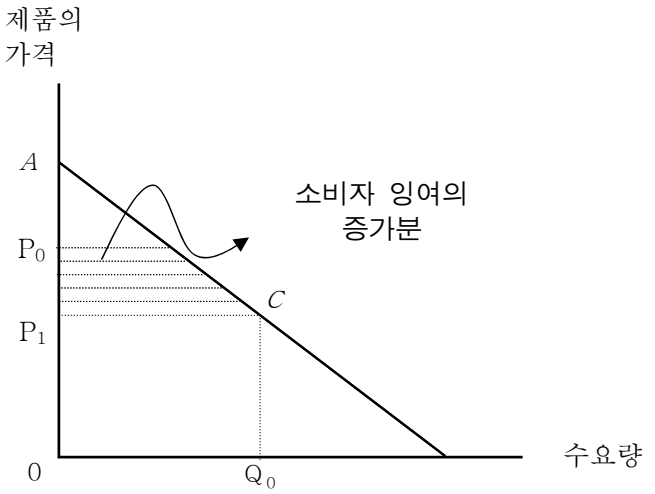
수요곡선 접근법은 산출물의 수요곡선을 구할 수 있을 때 적용하며, 수요곡선의 아래 면적으로 산출물의 소비자 편익을 추정한다. 일반적으로 다른 제품의 가격이 일정할 때, 관심대상 제품가격이 변하면 수요량도 따라서 변하게 되며, 만일 이 제품의 수요량과 가격의 관계를 나타내는 적절한 수요곡선을 추정할 수 있다면 수요곡선의 높이는 바로 한 단위의 제품을 얻기 위해 지불할 의사가 있는 최대 가격을 의미하는 한계지불의사액(marginal willingness to pay) 또는 한계편익(marginal benefit)이 된다. <그림 8-189>에서 산출물의 단위당 가격이 P_0이고 수요량이 Q_0일 때, 소비자가 Q_0만큼을 수요하면서 얻게 되는 총 편익은 수요곡선 아래의 면적 $\square ACQ_00$으로 계산되며, $\triangle AP_0C$를 소비자 잉여(consumer surplus)라 한다.



<그림 8-183. 제품에 대한 수요와 소비자 잉여>

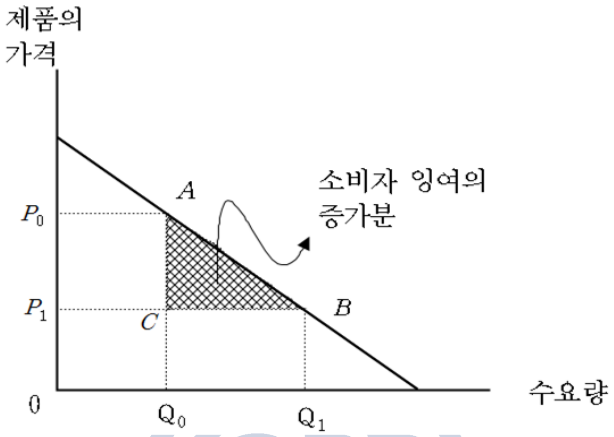
소비자 후생은 소비자가 제품을 이용하기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 최대금액의 합을 의미하고, 소비자 잉여는 소비자 후생 중 실제 제품이용의 대가로 지불한 금액을 뺀 것이다. 따라서 산출물의 수요곡선, 실제 지불된 가격과 소비자들의 수요량을 이용하여 소비자 후생과 소비자 잉여를 계산할 수 있다.

연구개발사업의 산출물이 새로운 것이 아니라 기존 제품의 가격을 하락시킨다면(예를 들어, 휴대폰 주요 부품의 국산화로 휴대폰 가격이 하락할 수 있음), 소비자 잉여의 증가분을 구하여 편익으로 측정할 수 있다. 즉, 가격이 P_0에서 P_1으로 하락할 때, 소비자 잉여의 증가분은 <그림 8-190>와 같이 빗금 친 부분으로 구할 수 있다.



<그림 8-184. 가격하락으로 인한 소비자 잉여의 증가>

연구개발사업의 산출물이 새로운 것도 아니고, 기존 제품의 가격을 하락시키는 것도 아니라 기존 제품의 공급량을 늘리는 것이라면, 소비자 잉여의 증가분 및 지출의 증가분의 합하여 편익으로 삼을 수 있다. 즉, 공급량이 Q_0에서 Q_1으로 증가할 때 소비자 잉여의 증가분은 <그림 8-191>와 같이 $\triangle ABC$의 면적으로 구할 수 있으며, 이때의 편익은 $\square AP_0P_1B$가 된다.



<그림 8-185. 수량증가로 인한 소비자 잉여의 증가>

수요함수를 직접 구할 수 없다면, WTP 증가분 자체를 직접 구할 수도 있다. 이때 사용되는 방법은 소비자의 소비행태를 관측하여 간접적으로 소비자의 선호를 분석하는 현시선호(revealed preference)기법과 소비자에게 직·간접적으로 선호를 물어보는 진술선호(stated preference)기법으로 구분된다. 현시선호기법에는 헤도닉 가격기법(Hedonic price technique), 여행비용 평가법(travel cost method), 회피행동 분석법(averting behavior method) 등이 있는데 적용대상이 제한된 경우가 많다.

시장가격을 이용하여 수요함수를 추정하여 소비자 잉여의 창출분 또는 소비자 잉여의 증가분을 구함

불가능할 경우

현시선호 기법 또는 진술선호 기법 등을 이용하여 소비자 편익의 증가분을 직접 구함

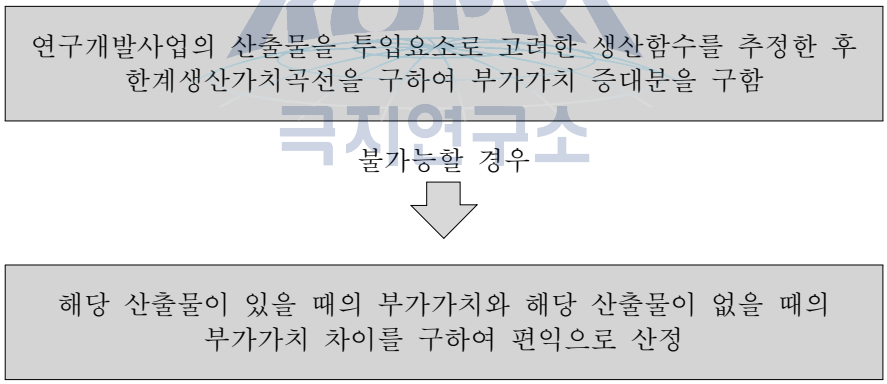
<그림 8-186. 소비자 편익의 추정 방법>

진술선호기법에는 소비자에게 선호를 직접 물어보는 CVM과 선호를 간접적

으로 물어보는 컨조인트 분석법(conjoint analysis)이 있는데, 후자의 값은 크게 추정되는 경향이 있으므로 주로 전자가 사용된다. 진술선호기법은 현시선호기법에 비해 적용상의 제약이 없고, 이론적으로도 우수하나 비용이 많이 드는 단점이 있다. 소비자 편익을 추정하기 위해서는 <그림 8-192>과 같은 단계적 방법론을 고려한다.

나. 생산자 중심의 편익 추정

연구개발사업의 효과가 생산자에게 미치는 경우 해당 산출물의 부가가치 창출분을 구하여 이를 편익으로 추정한다. 연구개발사업의 산출물과 노동, 자본과 같은 투입요소들을 독립변수로 하고 부가가치를 종속변수로 한 생산함수의 추정이 가능하다면 해당 산출물의 한계생산가치(value of marginal products) 곡선을 구하여 아래면적으로 편익을 측정할 수 있다. 생산함수 추정이 여의치 않을 때에는 해당 산출물이 있을 때(with)의 부가가치와 없을 때(without)의 부가가치 차이를 구해 편익으로 측정한다.



<그림 8-187. 부가가치 증가분의 추정 방법>

다. 비용절감분의 추정

연구개발사업으로 인해 비용절감효과가 발생한다면 이때의 비용절감액은 편익이 될 수 있다. 예를 들어, 연구센터를 조성하여 기업들의 집적으로 인해 비용이 절감된다면 이와 관련된 비용절감분은 편익이 된다. 연구센터에 입주하게 되는 업체가 사실 비용절감율을 가장 잘 알기는 하지만, 입주예정 업체를 대상으로 설문조사를 수행하는 경우 업체들이 전략적으로 응답할 가능성이 있으므로, 경우에 따라서는 공간계량경제모형 등을 적용하여 비용절감율을 산정할 필요가 있다. 아울러 연구개발사업으로 인해 피해비용(damage cost)이 줄어든다면 피해비

용의 절감분도 편익의 중요한 항목이 된다. 또한 각종 행정비용의 절감, 기업 차원에서의 비용절감이 발생한다면 이것도 편익으로 반영되어야 한다.

KOPRI 극지연구소

5. R&D사업의 비용편익분석

가. 편익의 개념과 범위

사전적으로 편익(benefit)이란 정(+)의 사업효과를 의미하며, 연구개발사업[2]의 편익이란 연구개발사업의 수행으로 인해 발생할 것으로 기대되는 정(+)의 결과물을 의미한다. 일반적으로 연구개발사업의 수행으로 인해 기대되는 편익은 단위가 금액 단위로 쉽게 도출되거나 혹은 전환되는 편익인 경제적 편익과 해당 연구개발사업을 통해 새롭게 발견되는 기술이나 지식 성과와 같은 과학기술적 편익으로 구분할 수 있다. 또한 이들 편익은 해당 연구개발사업으로부터 직접 파생되었는지, 혹은 다른 중간 단계를 거쳐 편익이 산출되었는지에 따라 직접적 편익과 간접적 편익으로 다시 구분할 수 있다. 즉, 연구개발사업으로 인한 편익은 직접적 경제적 편익, 간접적 경제적 편익, 직접적 과학기술적 편익, 간접적 과학기술적 편익으로 크게 구분할 수 있다.[3]

먼저 직접적 경제적 편익은 연구개발사업의 성격에 따라 새로운 부가가치 창출 편익과 비용절감 편익으로 구분할 수 있다. 새로운 부가가치 창출 편익은 연구개발사업의 결과로써 새로운 제품이나 서비스가 개발되고 상업화되어, 이 결과 시장에서 해당 제품이나 서비스가 실제 거래되어 발생하는 편익을 의미한다. 반면 비용절감 편익은 연구개발사업의 목표가 기존 기술의 개선 및 개량, 혹은 새로운 생산 공정 기술의 개발 등일 경우, 해당 기술의 개발과 적용으로 인해 기존의 생산과정에 존재하는 비효율적인 부분이 제거되거나 혹은 투입 요소 대체 등을 통해 생산의 효율성이 증가하여 동일한 양의 산출에 드는 비용이 연구개발사업으로 인한 신기술 적용 이전에 비해 감소할 때 발생하는 편익을 의미한다.

여기서 공정개선을 목적으로 하는 연구개발사업의 경우 직접적 경제적 편익의

2) 한국과학기술기획평가원(2008b)의 '국가연구개발사업의 사전타당성조사를 위한 분야별 특정분석평가지침'에서는 사업의 성격에 따라 연구개발사업을 기초·원천, 공공·복지, 산업기술, 연구장비개발, 연구센터구축의 6가지로 분류하고 있으며, 본 보고서에서는 이 중 산업기술관련 연구개발사업의 직접적 경제적 편익을 주된 대상으로 한다.

3) 연구자에 따라 경제적 편익을 직접적 경제적 편익, 간접적 경제적 편익, 산업연관 유발효과로 구분하기도 한다. 이 경우 직접적 경제적 편익은 해당 연구개발의 산출물이 시장에서 거래되어 발생하는 경제적 편익만을 지칭하며, 간접적 경제적 편익은 시장의 거래에서 발생하는 것이 아닌 산출물의 보유 혹은 적용으로 인한 경제적 편익을 의미한다. 이러한 관점에서는 비용절감 효과나 수입대체 효과는 간접적 경제적 편익으로 간주된다. 산업연관 유발효과는 연구개발사업의 진행, 연구개발사업의 산출물의 생산 및 거래 등을 통해 국가 경제적 관점에서 간접적으로 유발되는 편익으로, 생산유발효과, 고용 및 취업 유발효과, 부가가치유발효과 등이 여기에 포함된다. 일반적으로 산업연관 유발효과는 산업연관분석에 의해 계산된다.

계산에 약간의 논란이 존재하고 있다. 왜냐하면, 공정개선을 목적으로 하는 연구개발의 경우 한국과학기술기획평가원(2008b)의 분류 방식에 따르면, 해당 연구개발사업을 통해 기술이 개발되어 그 기술(특허) 자체가 시장에서 거래되어 발생하는 편익을 직접적 경제적 편익으로, 그 기술을 수용(이전)하여 공정에서 비용 감소 효과가 발생할 때 이를 간접적 경제적 편익으로 간주하기 때문이다. 하지만

공정개선 연구개발사업의 경우 그 산출물의 적용을 통해 발생하는 비용절감 효과는 직접적 경제적 편익으로 간주하는 것이 적절하다. 이는 기술(특허) 이전에서 해당 기술의 시장 가격(가치)을 추정할 때 기술의 적용으로 인해 발생할 것으로 여겨지는 비용 감소 금액이 기술의 시장 가격에 이미 반영되기 때문에, 이를 직접적, 간접적으로 구분할 경우 비용 감소 효과가 중복 반영되는 문제가 발생하기 때문이다. 따라서 공정 개선 기술 개발의 산출물인 기술의 시장 가격에 해당 기술의 적용으로 인한 비용감소가 상당부분(혹은 거의 대부분) 포함되고 동시에 중복 산정의 문제를 내포하고 있기 때문에, 공정 개선 기술의 경우 해당 기술의 적용을 통한 비용 감소 금액을 직접적 경제적 편익으로 간주하는 것이 보다 적절할 것으로 판단된다.

여기서 명확하게 언급하고 가야 할 사항은 비용절감 효과를 직접적 경제적 편익으로 간주하는 것은 공정개선이나 혁신을 목적으로 하는 연구개발사업에 한정한다는 점이다. 새로운 신제품이나 서비스 개발을 목적으로 하는 연구개발사업의 경우, 해당 산출물이 시장에서 거래되어 발생하는 편익은 직접적 경제적 편익으로, 그리고 그 산출물이 다른 제품이나 서비스의 생산에 생산요소로 투입되어 발생하는 비용절감 효과는 간접적 경제적 편익으로 산정해야 한다는 것이다. 이는 연구개발사업 → 산출물의 시장 거래 → 산출물의 적용으로 인한 비용절감과 같이 연구개발사업 이후 2단계에 걸쳐 편익이 간접적으로 발생하기 때문이다.

간접적 경제적 편익은 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용 및 취업 유발효과 등과 같이 해당 연구개발사업의 결과로 새로운 제품이나 서비스가 시장에서 거래될 때(혹은 새로운 시장이 개척될 때), 해당 시장을 포함한 관련 시장에서 부가적으로 발생하는 경제적 편익을 의미한다. 먼저 생산유발효과는 연구개발사업으로 인해 새로운 생산이 발생함에 따라 연관된 다른 산업들에서 해당 제품을 생산하기 위해 추가적으로 생산하는 중간재 생산(1차 파급효과)과 이러한 중간재를 추가적으로 생산하기 위해 또 다른 산업에서 중간재를 생산(2차 파급

효과)하는 것을 의미한다.

즉, 연구개발사업으로 인한 최종 산출물의 한 단위 추가 생산을 위해 경제 전체적으로 발생하는 추가적 중간재 생산액을 의미한다고 할 수 있다. 부가가치 유발효과는 생산유발효과와 유사하게 최종 산출물의 증가에 의해 국가 경제적으로 발생하는 새로운 부가가치 유발 효과를 의미한다. 고용 및 취업유발효과는 추가적 생산의 증가는 노동수요를 유발한다는 가정으로부터, 새로운 생산으로 인해 국가 경제적으로 발생하는 신규 노동수요 창출효과를 나타낸다.

다음으로 과학기술적 편익은 연구개발사업을 통해 얻을 수 있는 새로운 과학기술적 지식이나 성과를 의미하는데, 이러한 기술적 지식이나 성과와 같은 연구개발의 결과물이 논문이나 특허의 형태로 구체화될 때 이를 직접적 과학기술적 편익이라고 정의할 수 있다. 반면 간접적 과학기술적 편익은 해당 연구개발사업을 통해 기대되는 국민들의 과학기술 이해도 증가, 국가 위상 향상, 교육 및 연구인력 양성, 연구능력 향상 등을 포함한다.

이상에서 논의한 연구개발사업의 편익들을 정리하면 아래의 <그림 8-194>와 같다. 현재 R&D사업 예비타당성조사의 비용편익분석에서는 연구개발사업의 다양한 편익들 중에서 직접적 경제적 편익만을 분석에 포함하고 있기 때문에, 직접적 경제적 편익을 어디까지 정의할 것인지 그리고 어떻게 추정할 것인지에 따라 B/C 비율이 다르게 계산되어 해당 사업의 진행유무에 결정적인 영향을 주고 있다. 따라서 예비타당성 조사의 객관성을 담보하고 분석자의 주관이나 선호에 따라 동일한 연구개발사업의 B/C 비율이 변화하는 것을 방지하고 일관성을 담보하기 위해서는 직접적 경제적 편익의 범위와 추정 방법을 간단하고 정확하게 규정화할 필요성이 제기된다고 할 수 있다.

<그림 8-188. 연구개발사업의 편익 구분>

한편 간접적 경제적 편익은 연구개발사업의 파급효과에 해당하는 개념으로, 현행 R&D사업 예비타당성조사에서는 편익으로 반영하지 않고 필요시 정책적 타당성 내의 사업특수평가항목으로 언급할 수 있다. 경제적 편익과 구분되는 과학기술적 편익의 경우에는 직접적 경제적 편익을 산정하기 위한 기준이 될 수 있지만, 일부 R&D사업에서 비용효과분석을 수행하기 위한 효과의 대리지표로 활용하기도 한다.

나. 시장접근법에 의한 편익 산정

(1) 시장접근법의 개념

경제적 타당성분석에서는 연구개발사업의 B/C Ratio나 순현재가치를 계산하기 위해 앞서 언급한 여러 편익들 중에서 직접적 경제적 편익만을 대상으로 하고 있으며, 이를 계산하기 위해 시장접근법을 대표적으로 활용하고 있다. 시장접근법에서는 해당 사업에 의한 미래 시장규모(매출액)의 증가분에 부가가치율, R&D기여도, 사업점유효과, 사업화 성공률 등을 고려하여 직접적 경제적 편익을 계산한다.

연구개발사업의 직접적 경제적 편익 = 미래 시장 규모 × 사업화 성공률 × 사업기여도 × R&D기여도 × 부가가치율

여기서 '미래 시장 규모'는 해당 연구개발사업과 직접적으로 관련된 국내 산업의 미래 총 생산액(혹은 매출액)을 의미하며, 이는 미래 국내 수요 중 국산품이 차지하는 규모와 해외에 수출되는 규모를 모두 포함한다.[4] '사업화 성공률'은 해당 연구개발사업이 성공적으로 진행되어 원래 의도했던 최종 산출물을 만들어지고 이것이 상용화되어 시장에 성공적으로 출시될 확률을 의미하며, 일반적으로 유사한 연구개발사업들 중 실제 사업화에 성공한 연구개발사업의 비율이 사용된다.

'사업기여도'는 미래 시장에서 발생할 것으로 예상되는 편익 전체가 분석 대상 사업에 의해 발생한 것이 아니기 때문에 순수하게 분석 대상 사업에 의한 효

4) 미래 시장 규모의 추정은 분석 대상 연구개발사업이 완료된 미래 시점부터 관련 기술의 수명 주기 동안 발생하는 것으로 가정하고 있으며, 최근 융합 기술 개발의 경우 직접적인 수명 주기를 산정하기 어려워 관련된 산업의 특허 수명 주기의 평균값을 사용하고 있다. 그러나 융합 기술의 편익 발생 기간을 보다 자세히 산정하기 위해서는 특허 분석을 통한 기술 유사도등을 가중치로 사용하는 방법이 적절할 것으로 보인다. 기술의 수명주기에 대한 논의는 이후 별도의 절에서 다루기로 한다.

과만을 분리하여 살펴보기 위한 것으로, 일반적으로 유사한 목적의 연구개발사업에 투입된 국내 총 연구개발 비용(국가와 민간 포함) 중에서 분석 대상 연구개발사업의 비용이 차지하는 비율로 계산된다. 'R&D기여도'는 새롭게 창출된 매출액 중에서 분석대상 연구개발사업이 기여한 정도를 의미한다.

마지막으로 '부가가치율'은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율을 의미하며, 일반적으로 유사 업계 혹은 기업의 일정 기간 부가가치액을 동일기간의 매출액으로 나눈 비율로 정의된다.

시장접근법은 그 기본 구조상 여러 개의 변수들이 직접적 경제적 편익의 산정에 영향을 미치고 있으며, 변수의 변화에 따라 직접적 편익의 값이 크게 변화한다. 그러나 이들 변수들 중에서 사업화 성공률, R&D기여도, 부가가치율은 일반적으로 기존에 수행된 연구개발사업의 평균치를 사용하며[5], 분석 대상 연구개발사업이 특수한 경우 이를 고려하여 평균치를 조정하여 사용하고 있다.

(2) R&D 사업에의 적용

연구개발사업은 최종 성과물의 형태, 사업의 성격 등에 따라 다양하게 분류할 수 있으나, 여기서는 최종 성과물의 형태에 따라 신제품/서비스 개발을 목표로 하는 사업과 공정개선 기술 개발을 목표로 하는 사업, 그리고 지적 재산권을 목표로 하는 사업으로 크게 구분하여 살펴본다.

먼저 연구개발사업의 목표가 신제품/서비스의 개발이고 이와 관련한 미래 시장 규모의 추정이 가능할 경우, 앞서 언급한 바와 같이 기본적인 시장접근법의 구조를 활용할 수 있다. 이 경우 사업의 편익은 연구개발사업의 추진으로 인한 추가적 창출액(미래 국내 생산액)과 이 추가 창출액 중 연구개발사업에 의한 부가가치 창출비율로 되어 있는데, 여기서 연구개발사업의 추진으로 인한 추가적 창출액의 계산은 사업의 성격과 데이터의 종류에 따라 다르게 접근하게 된다. 연구개발사업의 최종 산출물이 특정 산업군에 포함되고 현재 획득 가능한 자료가 산업 차원의 시장 데이터일 경우 '미래 시장 규모'는 산업 차원의 미래 국내 생산액에 해당 제품(혹은 서비스)이 차지하는 시장점유율을 곱하여 계산된다.

반면 연구개발사업의 목표가 신제품/서비스의 개발임에도 불구하고 미래 시

5) 연구개발사업을 수행할수록, 그리고 관련 지식이 축적될수록 사업화 성공률과 R&D기여도는 증가할 수 있다. 이러한 관점에서 현재 예비타당성 분석에서 사업화 성공률과 R&D기여도와 관련하여 관련된 기존 연구개발사업의 평균치를 사용하는 것은 일정정도 보수적인 관점에서 직접적 경제적 편익이 도출되고 있음을 의미한다.

장 규모의 추정이 어렵고 사업이 다과제로 구성된 경우에는 기존 사업의 통계를 이용하여 '미래 국내 생산액'을 추정하게 되는데, 이 경우 '미래 국내 생산액'은 사업을 구성하고 있는 전체 과제수에 과제당 생산액을 곱하여 계산된다. 그러나 이러한 접근은 과거 연구개발사업의 성과 평균치를 이용한다는 점에서 해당 연구개발사업의 특성, 연구단의 역량 등을 전혀 반영하지 못한다는 한계점이 있다.

다음으로 기존의 생산 공정이나 생산 활동의 일부를 개선하는 기술 개발을 목적으로 하는 연구개발사업의 경우, 직접적 경제적 편익은 새로운 기술의 적용으로 인한 생산비용절감액으로 계산된다. 이 경우 새로 개발되는 기술이 기존의 기술을 완전히 대체하는 경우와 기존 기술의 일부를 효율화시키는 경우가 있으며, 두 경우 모두 위의 경우와 달리 국내 생산액이 아닌 국내 생산 규모의 예측이 필요하다. 즉, 신기술의 적용을 통해 단위 생산에서 비용이 어느 정도 절감되는지를 먼저 추정하고 여기에 미래의 국내 생산 규모를 곱하여 전체 비용절감액을 산출하게 된다.

비용절감액 = 국내 생산 규모 × (기존 기술에 의한 단위당 현재 생산 비용 − 신기술에 의한 단위당 미래 생산 비용 추정치)

비용절감액 = 국내 생산 규모 × 신기술에 의한 비용 절감율 × 기존 기술에 의한 단위당 현재 생산 비용

KOPRI 극지연구소

여기서 금전적 단위의 생산액을 수량 단위의 생산 규모로 어떻게 전환한 것인가와 관련한 문제가 제기된다. 이는 일반적으로 국가 통계 시스템이나 많은 보고서등이 전체 산업의 규모를 집계할 때, 매출액이나 부가가치 등과 같은 금전 단위로 집계하고 있기 때문이다. 따라서 이 경우에는 관련 최종 산출물의 평균가격함수 추정이나 생산원가와 가격과의 관계식 등을 이용하여 미래의 가격을 추정하는 방법을 사용할 수 있다. 일반적으로 하이테크 제품의 경우 대부분 지수적 가격 하락 패턴을 보이는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2006; Bayus, 1993).

마지막으로 연구개발을 통해 특허와 같은 지적재산권의 창출이 기대되는 경우, 사업의 직접적 경제적 편익은 지적재산권의 이전이나 사업화를 통해 기대되는 편익을 통해 계산된다. 먼저 신제품/서비스 개발을 목표로 하는 사업이지만 일차적으로 해당 연구개발사업을 통해 기대되는 것이 최종 산출물이 아니라 특허인 경우에는, 특허의 사업화 비율과 사업화된 특허의 평균 생산액을 곱하여 '미래 국내 생산액'을 추정하게 된다. 그러나 이 경우 특허 거래가 사업 종료 이후 언제 발생

하는지에 따라 경제적 편익의 편차가 크게 발생할 수 있는 문제가 있다.

다음으로 연구개발사업을 통한 최종산출물이 특허이며 기술이전을 목표로 하는 경우에는 예상되는 기술로얄티를 추정하여 경제적 편익을 추정하게 되는데, 일반적으로 기술로얄티는 고정로얄티와 경상로얄티로 구성된다. 고정로얄티는 예상계약금과 기술개발성공률, 사업화추진으로 인한 기대 로열티 창출액 등으로 계산되며, 경상로얄티는 미래 시장 규모, 시장점유율, 이전 기술의 사업화 성공률, 경상로얄티 비율 등으로 계산할 수 있다.

이상에서 연구개발사업의 최종성과물이 신제품/서비스의 개발, 공정개선 기술 개발, 지적재산권의 창출인 경우 직접적 경제적 편익이 어떻게 계산되는지를 간략하게 살펴보았다. 이들을 간략하게 정리하면 [표 8-118]와 같으며, 이들 세 경우 모두 미래 시장 규모 예측치가 필요하다는 공통점이 있다.

[표 8-116] 직접적 경제적 편익 산출을 위한 주요 변수

최종 산출물	구분	직접적 경제적 편익	계산에 필요한 주요 변수들	미래 국내 생산액의 추정
신제품 서비스		신규 부가 가치 창출액	▪ 미래 국내 생산액 ▪ 사업화 성공률 ▪ 사업점유효과 ▪ R&D기여도 ▪ 부가가치율 등	필요함
공정 개선	기존 기술 완전 대체	비용 절감액	▪ 미래 국내 생산 규모 ▪ 기존 기술에 의한 단위당 현재 생산 비용 ▪ 신기술에 의한 단위당 미래 생산 비용(추정치)	필요함
	기존 기술 일부 개선	비용 절감액	▪ 미래 국내 생산 규모 ▪ 신기술에 의한 비용절감율 ▪ 기존 기술에 의한 단위당 현재 생산 비용	필요함
지적 재산권	사업화 가능	신규 부가가치 창출액	▪ 예상 특허 산출량과 특허 사업화율 ▪ 사업화 특허당 평균 생산액 ▪ R&D기여도 ▪ 부가가치율 등	필요함
	기술 이전 자체가 목적	기술 로얄티	▪ 고정로얄티: 예상계약금, 기술개발성공률, 추가기술개발 단계별 마일스톤, 추가개발 단계별 성공률 등 ▪ 경상로얄티: 미래 시장 규모, 시장 점유율, 이전 기술의 사업화 성공률, 경상로얄티 비율 등	필요함 (경상 로얄티 산출시)

KOPRI 극지연구소

(3) 시장접근법에 대한 논의

신제품/서비스 개발을 통한 사업화를 목적으로 하는 연구개발사업의 예비타당성분석에서 현재 직접적 경제적 편익을 산출하기 위해 사용되고 있는 '시장접근법'(혹은 '시장규모접근법')은 그 용어가 기술가치평가 분야에서 일반적으로 사용되는 방법론 중의 하나인 시장접근법과 동일하다. 때문에 시장접근법이라는 용어에 대해 기술경영 및 기술경제, 그리고 특히 특허 관련 전공자들의 경우 혼동의 여지가 많은 실정이다.

일반적으로 기술가치평가에서 기술(혹은 특허)의 가치를 산정하기 위해서는 정성적(qualitative), 정량적(quantitative) 방법을 사용하고 있으며, 정량적 방법의 대표적인 것이 원가접근법(cost approach), 시장접근법(market approach), 이익접근법(혹은 소득접근법, income approach)으로 구분되고 있다. 먼저 원가접근법은 그 기술과 동일한 용도 또는 동일한 유용성을 갖는 기술을 창출하는데 소요되는 원가(대체원가, replacement cost), 해당 기술과 정확하게 일치하는 기술을 개발하는데 소요되는 비용(재생산원가, reproduction cost), 현명한 투자자가 대체 가능한 기술에 지불할 수 있는 최대 금액(신대체원가, replacement cost new)을 해당 기술의 가치로 산정하는 방식이다.

다음으로 시장접근법은 최근에 발생한 매매나 라이센스된 유사한 기술거래를 비교분석한 후 평가대상 기술의 시장가치를 추정하는 방법이며, 기본적으로 시장에서의 가치형태나 경향의 흐름을 파악하기 위한 믿을만한 기술거래의 존재를 전제로 한다. 일반적으로 기술가치평가에서 시장접근법은 평가 대상이 되는 기술자산과 유사한 자산의 판매에 관한 정보가 많은 경우 최적의 평가방법으로, 라이센스나 로열티 산정에 있어 자주 이용되고 있다. 마지막으로 이익접근법은 새로운 기술자산권을 창출하거나 구축하는 비용과는 관계없이 그 자산이 지닌 경제적 이익 창출 능력에 초점을 두는 방식으로 미래의 경제적 이익을 현재가치로 환산한 가액을 추정한다. 이 때 경제적 이익, 수익 기간, 할인율이 중요한 요인으로 작용한다(김연배 외, 2007).

신제품/서비스의 개발과 이의 사업화를 목적으로 하는 연구개발사업에 대해 현재 예비타당성 조사에서 사용하고 있는 시장접근법은 기술가치평가 분야에서 사용하는 시장접근법과 동일한 용어를 사용하고 있음에도 전혀 다른 것을 지칭하고 있으며, 개념적으로는 이익접근법과 유사하다고 할 수 있다. 특히 이익접근

법에서 사용하는 경제적 이익을 미래에 창출할 것으로 예상되는 부가가치라고 해석하면 기술가치평가의 이익접근법은 예비타당성 분석에서의 시장접근법과 그 분석 대상에서만 차이가 있을 뿐 개념적으로는 동일한 분석 방법론이라고 할 수 있다. 즉, 경제성 분석에서 사용하고 있는 '시장접근법'이라는 용어는 개념적으로 기술가치평가의 이익접근법에 가깝다고 할 수 있다.

한편 시장접근법에 의한 직접적 경제적 편익 산정에 활용되는 주요 변수에 대해서도 검토가 필요하다. '사업화 성공률'은 해당 연구개발의 성공 이후 이것이 상업화 성공으로 이어지는 확률을 의미하고 있으며, 두 개의 확률 변수를 포함하고 있다. 즉, '사업화 성공률'은 연구개발사업의 성공률과 상업화 성공률 두 개를 내포하고 있으나, 용어는 후자만을 일컫는 것으로 오해받기 쉽다. 따라서 현재의 시장접근법에서 사용되고 있는 사업화 성공률을 구조적으로 R&D 성공률과 사업화(혹은 상업화) 성공률 두 개로 구분하거나, 혹은 이 둘을 포괄하는 새로운 용어를 도입할 필요가 있다. 현실적으로는 사업화 성공률이 적절하기에 사업화 성공률을 위주로 사용하는 것이 바람직할 것이다.

KOPRI 극지연구소

제 2 절 R&D 사업 비용편익분석 사례

1. 예비타당성조사 사례

가. 녹색산업 선도형 이차전지 기술개발사업

녹색산업 선도형 이차전지 기술개발사업은 급성장하는 전기차·에너지저장용 이차전지와 관련 부품·소재 공급기반을 구축하여 국가의 새로운 성장 동력을 창출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위한 구체적인 목표로 2015년까지 이차전지 세계시장의 45%를 점유하는 것과 소재의 국산화율을 75% 달성을 제시하였다. 총 사업비는 2,941억원(2011년~18년, 국고: 2,068억원, 민간자본: 873억원)이고, 이 중에서 핵심부품소재개발에 총 1,391억원(국고: 998억원, 민자: 393억원)을, 전지제조기술개발에 1,295억원(국고: 840억원, 민자: 455억원)을, 산업기반조성에는 255억원(국고: 230억원, 민자: 25억원)을 지원한다는 계획을 제출하였다.

동 사업은 경제성 분석을 위해 비용편익분석을 수행하였으며, 사업의 편익은 시장규모의 증가분에 근거하여 산정하였다. 전체 사업을 핵심부품소재개발과 전지제조기술개발로 구분하여, 연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액의 기댓값을 도출하였다.

핵심부품소재개발의 추가창출 시장규모는 각 과제의 소재 시장별 시장규모, 소재 국산화율 목표, 기술개발성공률의 곱으로 산출되었다. 이차전지 제품 시장 측면에서의 부가가치율은 현재 소재 분야의 낮은 국산화율이 반영된 것이므로, 핵심부품소재의 국산화 제고에 따른 부가가치의 증가는 이차전지 제품 시장의 편익과 분리하여 국산화에 따른 추가 창출 시장 규모의 편익으로 별도로 산정하였고, 소재분야의 국산화 목표로 제시된 75%의 최종 목표를 준용하였다. 기술개발 성공률은 2008년 산업기술개발사업 성과활용현황을 기준으로 전기전자 분류 내 전지 분야의 사업화 성공률 25%를 적용하였다. 또한 제시한 부품소재의 국산화율이 낮고 기술적 장벽이 존재하는 특화된 분야이므로 연구개발 활동이 활발하지 않으며, 사업 기간 내에 민간의 독자적인 연구개발 추진의 가능성이 높지 않을 것으로 가정하여 동 사업 기여율은 100%로 적용하였다.

전지제조기술개발의 추가창출 시장규모는 각 과제가 포함되는 이차전지 전

체 시장규모, 이차전지 시장점유율 목표, 기술개발성공률, 동 사업 기여율의 곱으로 산정되었다. 대상 시장으로는 초고용량 커패시터, 에너지 저장용 리튬이온전지, 소형 리튬이온전지, 자동차용 리튬이온전지 시장을 선정하여 일본의 전문 시장조사기관인 Hiedge의 조사결과를 적용하였다. 시장점유율 목표는 현재 33% 수준에서 2018년 45% 목표로 제시한 사업계획서의 시장점유율 목표를 준용하였고, 사업화 성공률은 2008년 산업기술개발사업 성과활용현황을 기준으로 전기전자 분류 내 전지 분야의 사업화 성공률 25%를 적용하였다. 마지막으로 동 사업 기여율은 사업 기간 내 예상되는 정부 및 민간의 이차전지 분야 투입규모 중 동 사업의 비중을 계산하여 7.3%를 적용하였다.

이와 같은 과정을 통해 구해진 추가창출 생산액에 R&D에 의한 부가가치 창출비율을 적용하였다. 즉, 연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액의 기댓값에 부가가치비중과 부가가치 대비 R&D 기여율을 곱하여 최종적인 편익을 산출하였다. 부가가치 비중은 한국은행의 2007년 산업연관표를 기준으로, '발전기, 전동기 및 전기변환장치' 업종의 26.0%를 적용하였고, R&D 투자대비 경제성장 기여율은 R&D 예비타당성조사에서 일반적으로 활용하고 있는 28.1%(신태영, 2004)를 적용하였다. 편익기간은 이차전지 관련 분야의 IPC 서브클래스 특허수명주기 분석 결과인 7년을 최초 편익 발생 이후의 편익발생기간으로 적용하였고, 할인율은 예비타당성조사 일반지침 상의 5.5%를 사용하였다.

사업주체가 제시한 계획에 대해 비용편익분석을 수행한 결과, B/C Ratio는 0.87로 경제성을 확보하기 어려운 것으로 나타났다. 한편 연구진은 사업의 목표와 전략, 주관부처의 역할에 부합하지 않는 핵심부품소재개발의 6개 장기과제, 전지제조기술개발의 차세대융복합형이차전지 3개 과제, 산업기반조성의 인력양성 1개 과제 및 과제가 추진되지 않는 2018년도 차세대전지사업단운영지원 비용을 제외한 총 1,883억원을 적정 사업비 규모의 대안으로 도출하였다. 따라서 최종적으로 제시한 대안은 총 사업비 1,883억원, 사업기간은 2011년부터 2017년까지 총 7년으로 1년이 축소되었으며, 이 때 B/C Ratio는 1.04로 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다.

나. 신성장동력 장비경쟁력 강화사업

신성장동력 장비경쟁력 강화사업은 신성장동력 4대 장비산업 강국 도약을 위해 3단계[6]로 나누어 사업을 진행하며 장비 자립률, 기술경쟁력, 국내 생산액, 세계시장 점유율, 고용창출 등의 5개 항목별 목표를 설정하였다. 동 사업의 사업기간은 2011년부터 2018년까지(총 8년)이며, 사업비는 8년간 총 3조원(정부부담 2조원)이다.

[표 8-117] 신성장동력 장비경쟁력 강화사업의 세부목표

항목	목표
장비 자립률	('08) 35% → ('18) 60%
기술경쟁력	('08) 56% → ('18) 95%
국내 생산액	('08) 87억불 → ('18) 352억불
세계시장 점유율	('08) 4.9% → ('18) 10.1%
고용창출	('08) 77,375명 → ('18) 237,875명

출처: 한국과학기술기획평가원(2010g), 2010년 예비타당성조사 보고서: 신성장동력 장비경쟁력 강화사업.

대형 설비형 장비에 해당되는 반도체, 디스플레이, LED, 그린수송과 신 산업형 장비에 해당되는 바이오, 의료, 방송 기술개발을 주요 내용으로 하고 있다. 이때 대형 설비형 장비의 경우 국내 수요업체에서 구매 가능한 양산장비를 개발하도록 하고, 신 산업형 장비의 경우 향후 시장선점 가능성이 큰 아이템을 집중 지원한다는 계획이다.

[표 8-118] 신성장동력 장비경쟁력 강화사업 분야별 전략 품목

구분	분야	전략품목
대형 설비형	반도체장비	30㎚급 장비, 450㎜대응장비 중심 25개 품목
	디스플레이 장비	초대면적 LCD 및 6G급 OLED 인쇄장비 등 7개 품목
	LED장비	MOCVD, 웨이퍼레벨평가장비, Prober/Sorter등 12개 품목
	그린수송장비	라인센터, 플로워타입 대형 보링머신 등 18개 품목
신산업형	바이오장비	크로마토그래피, 원심분리기, 세포분석 장비 등 15개 품목
	의료장비	의료용 소프트웨어, 캡슐형 내시경 등 13개 품목
	방송장비	3D방송용 제작, 편집, 송출장비 등 28개 품목

출처: 한국과학기술기획평가원(2010g), 2010년 예비타당성조사 보고서: 신성장동력 장비경쟁력 강화사업.

6) 1단계(2011-2013), 2단계(2014-2016), 3단계(2017-2018)

동 사업의 경제성 분석을 위해서는 기획보고서에서 제시한 15개 대표과제의 경제성 분석결과를 검토하고, 도출된 문제점들을 보완하여 편익을 재산출하는 과정을 거치고 있다. 연구진이 산출한 최종 편익은 세계시장규모, 한국점유율, 사업점유효과, R&D기여도, 사업화성공률, 부가가치율을 곱한 값이다. 세계시장규모는 관련 보고서나 통계자료를 활용하였으며, 사업점유효과는 연구개발활동조사자료에 동 사업 민간매칭 비율을 적용하여 산출한 29.3%를 이용하였다. R&D기여도는 28.1%(신태영, 2004)를 기본으로 하되 10.9%(하준경, 2005)와 30.6%(과학기술부, 2006)의 두 가지에 대해서도 추가적으로 산출하였다. 사업화성공률은 한국산업기술기획평가원(ITEP)과 한국연구재단의 과제별 2007년 성과조사 자료를 적용하여 산출된 값인 32.4%(전체분야)를 기본으로 적용하고 기계소재와 전기전자 분야 값인 36.0%를 추가적으로 적용하였다. 그리고 국가 차원에서 발생되는 편익 분석이므로 영업이익률 대신 부가가치율을 적용하고, 제품수명 대신 기술수명주기를 적용하였다.

세계 시장의 성장률 및 한국 생산규모가 세계 시장에서 차지하는 정도, 사업화 성공률에 따라 6가지 각각의 경우에 대한 15개 과제의 경제성 분석을 수행한 결과 경제성의 확보가 가능한 것으로 분석되었다(B/C Ratio: 0.98). 그렇지만 15개 과제에 대한 분석은 동 사업 전체 3조원 예산의 7% 부분에 대한 결과이므로 전체로 확대하여 해석하는 데에는 제약이 있는 한계점이 있어 사업 전체에 대한 객관적 산출이 불가능하게 되었다. 이에 따라 연구진은 사업 주체가 제출한 원안, 예타 착수 이후 접수된 자료, 분석결과 등을 토대로 대안을 구성하였다. 우선 사업의 기간을 5년[7]으로 단축하며, 각 분야별 예산은 원안에서 RFP수준의 계획이 마련된 과제로 한정하여[8] 총 사업비도 3조원에서 7551.6억원(국고: 5034.4억원)으로 줄였다. 원안의 15개 대표과제에 85개 과제를 추가한 총 100개 과제에 대한 비용편익분석을 수행한 결과 B/C Ratio는 0.84로 나타났다.

다. 기상조절 기술개발사업

기상조절 기술개발사업은 기후변화 재해(가뭄피해 등)의 능동적 대응을 위하여 기상조절 기술을 확보하는 것을 목적으로 하며, 가뭄 피해 저감 기술의 국가

7) 5년은 각 부처 중기계획 수립의 시간 단위이며 동 사업의 기술개발계획 중 RFP수준의 계획이 마련되어 있는 부분임.(동 사업 원안 2단계의 중간 시점)
8) 과제종료시점은 동 사업 대안의 종료시점인 5년차로 조정하였으며 종료 시점을 맞추기 위하여 일부 과제의 수행 시점이 1년 앞당겨짐

적 확보를 위한 인공 증우(증설) 실용화, 안개 피해 경감을 위한 안개저감 기반 기술개발, 실험연구용 항공기 도입 및 종합 활용 기술개발을 목표로 하고 있다. 사업기간은 2011년부터 2016년까지 총 6년, 주관부처는 기상청(국립기상연구소), 참여기관으로 수자원공사를 제시하고 있으며 총 사업비는 1010억원(순수 R&D 분야: 319.5억원, 인프라 구축(시설장비/표준화) 부문: 635.7억원, 인력양성 및 국제협력 분야: 54.8억원)이다. 순수 R&D의 분야는 인공강우(증우) 기술개발(168억원), 안개저감기술개발(73.5억원), 기상조절 외 항공기활용기술개발인 기상·기후 항공감시기술개발(78억원)로 구성되어 있다. 인프라 구축 분야는 실험연구용 항공기 운영(310억원), 기상조절용 항공검증장비 개발 및 시험(141억원), 기상조절 감시·검증시스템 구축 및 운영(106.2억원), 기상조절 실험기지개선 및 운영(78.5억원)으로 구성되어 있다.

동 사업의 비용편익분석에서는 (1) 기상조절기술여부, (2) 연구개발의 필요성(기술성숙도 여부), (3) 편익발생의 주체(수자원공사 또는 한국공항공사)의 참여여부, (4) 단일항목여부(중복계산배제), (5) 직접편익계산을 원칙으로 하여 해당 편익을 선택하였다. 편익추정은 사업주체가 제시한 자료를 기초로 하여, 국가통계 및 과학적 사실에 근거하여 [표 8-121]과 같은 3가지 시나리오로 구분하여 추정하였다.

KOPRI 극지연구소

[표 8-119] 기상조절 기술개발사업의 경제성분석 시나리오

구분	내용	편익내용
시나리오 1	현실적 시나리오	산불예방
시나리오 2	기술극대화/수자원공사 적극참여	산불예방, 수자원확보, 발전
시나리오 3	기술극대화/수자원공사 공항공사 참여	산불예방, 수자원확보, 발전, 공항안개저감

출처: 한국과학기술기획평가원(2010b), 2010년 예비타당성조사 보고서: 기상조절 기술개발사업.

시나리오 1은 현실적 시나리오이며, 시나리오 2가 실현되기 위해서는 아래의 전제사항이 모두 만족될 것을 가정하였다. 또한 시나리오 2의 전제사항을 충족시키면서 아래의 전제사항을 모두 충족되는 경우에만 시나리오 3이 실현됨을 가정하였다.

용수확보 및 발전편익은 안동·임하댐의 수자원 증가분을 기초로 산정하였으

며, 산불예방편익은 수자원 증가에 활용한 강수량 증가분에 의한 기여를 고려하였고, 공항안개저감에 의한 결항감소편익은 인근지역 공항인 청주·대구공항과 인천공항의 안개로 인한 결항통계를 활용하였다. 특별편익인 가뭄고통해소는 태백시의 가뭄백서 조사 자료를 기초로 하여 대상지역인 안동·임하 인근 유역의 가치로 환산하였다. 편익분석기간은 기술주명주기의 최장기간인 8년으로 고려하였으며[9], 할인율은 5.5%, 인공 증우 운영기간은 12월에서 차년도 5월까지로 가정하였다. 비용편익분석 결과, 각 시나리오 별로 다음과 같은 B/C Ratio를 산정하였으며 모든 경우에 경제적 타당성은 낮은 것으로 분석되었다.

[표 8-120] 기상조절 기술개발사업 경제성분석 시나리오 2의 전제사항

전제사항	관련편익
1. 수자원장기종합계획에 인공증우 기술적용 시기·규모에 명시	용수확보
2. 인공증우 관련 R&D에 관련주체(수자원공사)의 충실한 재원분담	용수확보
3. 인공증우 관련 기술적 난점 해결	용수확보
3-1. 강수재분배 문제없이 강수량의 순증(純增)효과 입증	
3-2. 강수지역의 목표지역을 대상유역(안동·임하)으로 완전히 제어	
3-3. 인공증우 사업으로 인한 손해발생 인과관계 완전입증	
3-4. 장기적 인공증우에 의한 부정적 누적효과 제거	
4. 빗물이용을 위한 인프라 구축	빗물이용

출처: 한국과학기술기획평가원(2010b), 2010년 예비타당성조사 보고서: 기상조절 기술개발사업

[표 8-121] 기상조절 기술개발사업 경제성분석 시나리오 3의 전제사항

전제사항
1. 공항공사 및 항공사의 재원분담 및 적극적인 참여
2. 현재 성숙된 기술을 제외한 연구개발의 여지가 남아있는 사항 명확화
3. 대상 공항에서 지연·결항을 발생하는 안개의 종류 및 빈도관련 통계분석
4. 대상 공항에서 발생하는 주된 안개의 형태에 적합한 실험설계 및 장비구축

출처: 한국과학기술기획평가원(2010b), 2010년 예비타당성조사 보고서: 기상조절 기술개발사업

9) IPC분류상 기상조절기술은 물리학의 항목으로 구분되며, 물리학 분야의 기술수명주기의 평균값은 7.2984년, 중간값은 6.0000년으로 조사됨.

[표 8-122] 기상조절 기술개발사업에 대한 경제성분석 결과 정리

시나리오	구분		B/C	NPV(억원)
1	-		0.04	-1028.1
2	댐용수_수력		0.11	-948.9
	댐용수_양수		0.13	-928.2
	원수_수력		0.31	-734.5
	원수_양수		0.32	-724.0
3	청주 대구 공항	댐용수_수력	0.15	-914.3
		댐용수_양수	0.16	-905.1
		원수_수력	0.35	-701.3
		원수_양수	0.35	-692.1
	인천 공항	댐용수_수력	0.33	-771.6
		댐용수_양수	0.34	-761.2
		원수_수력	0.51	-558.6
		원수_양수	0.52	-548.1

출처: 한국과학기술기획평가원(2010b), 2010년 예비타당성조사 보고서: 기상조절 기술개발사업

KOPRI 금지연구소

라. 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업

폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업은 「폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획」에 따른 에너지 보급률 달성, 세부 대책 추진의 뒷받침, 국가 경쟁력 향상을 위한 관련 기술을 개발을 목적으로 하고 있다. 동 사업은 2030년 폐자원 및 바이오매스 에너지 보급 목표율 7.12% 달성을 뒷받침 할 수 있는 기술개발과 2020년 폐자원 및 바이오매스 에너지화 국가기술수준 선진국 대비 90~95% 달성, 2030년 폐자원 및 바이오매스 에너지 세계시장 6% 점유할 수 있는 기술의 개발을 목표로 하고 있다. 동 사업은 매립·소각·해양투기 되는 폐기물의 에너지화 기술 및 바이오매스의 에너지화 기술 원천연구에서 상용화까지 전 단계에 걸친 기술을 개발하기 위한 것으로, 2011년부터 2020년까지 총 10년 동안 9,256억원(국고: 7,000억원, 민자: 2,256억원)을 투자할 계획을 제출하였다.

최종편익은 사업에 의한 부가가치, R&D 기여도, 동 사업 점유효과, 사업화 성공률의 곱으로 산출되었고, 부가가치의 정의에 따라 두 가지의 시나리오를 구성하여 비용편익분석을 수행하였다. 첫 번째 시나리오에서는 원유수입대체효과와 폐기물처리비 절감액의 합을 부가가치로 정의하였으며, 두 번째 시나리오에서는 원유수입대체효과와 폐기물처리비 절감액의 합에 기술수출액과 부가가치율을 곱한 값을 함께 고려하였다. R&D 기여도는 28.1%(신태영, 2004)를 적용하였고, 동 사업 점유효과는 2009년 연구개발활동조사 보고서(교육과학기술부, 한국과학기술기획평가원, 2009)에 제시된 정부와 민간 R&D투자비율 27:73과 동 사업의 민간참여비율을 적용한 결과 값인 35.5%를 이용하였다. 사업화 성공률은 환경부 차세대 핵심환경 기술개발사업 내 실용/실증 기술 483건의 연구개발과제 중 154건에서 사업화 매출액이 발생하였으므로 31.9%를 적용하였다. 할인율은 5.5%를 적용하였다. 비용편익분석 결과 시나리오 1과 시나리오 2에 대해서 모두 경제적 타당성이 없는 것으로 나타났다. 기술수출액을 부가가치에 포함시키는 것은 전체 결과에 영향을 주지 않았다.

[표 8-123] 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업의 비용편익분석 결과

구분	B/C ratio
시나리오 1 (기술수출 제외)	0.432
시나리오 2 (기술수출 포함)	0.436

출처: 한국과학기술기획평가원(2010i), 2010년 예비타당성조사 보고서: 폐자원 및 바이오매스 에너지화 기술개발사업.

마. 농생명 국가전략대응기술개발사업

농생명 국가전략대응기술 개발사업의 목적은 농업생명공학의 연구개발 기반의 구축, 작물 생산성의 획기적 향상, 고품질 농축산물의 안정적 공급을 통한 식량안보 확보, 첨단 생명공학 및 바이오기술 개발 및 실용화를 통한 국가 안정성과 세계 속의 국가위상 확보이다. 동 사업은 총 5개 영역(식량안보확보, 기후변화대응, 농생물 자원 다양성, 국가현안대응, GMO 안전성 영역)에 대해 사업단을 구성하고 2011년부터 2020년까지 총 10년간 매년 500억원을 균등하게 투입하여 총 5,000억원(국고: 4,378억원, 민자: 560억원, 기타(지자체): 62억원)을 지원한다는 계획을 제출하였다.

5개 영역별 주요 목표는 다음과 같다. 식량안보확보 연구영역은 분자육종,

종속간 교잡, GM가축 개발 등의 기술을 이용해 고품질 신품종을 개발하고 식량 자급률 10% 향상 기술을 확보하는 것을 목표하고 있다. 기후변화대응 연구영역은 지구온난화 등 환경변화에 대응하는 초다수성, 총체저항성 및 재해저항성 증진 기술 개발과 작물 생산성 최대 50% 증가를 목표로 한다. 농생물 자원 다양성 연구영역은 재래종 및 토종 유전자원 국가관리체계 구축을 통해 자원 활용률 2배 향상을 목표로 하며, 국가현안대응 연구영역은 인수공통 전염병예방기술 개발을 통한 가축발병률 50% 저감과 온실가스 방출량 저감 기술 확립을 통한 농업분야 온실가스 50% 저감을 위한 기술 확보를 목표로 한다. 마지막으로 GMO 안전성 연구영역은 GMO 안전성 평가 기반 구축을 통한 국내개발 GMO 20건에 대한 위해성과 안정성을 평가하고 최종적으로는 국내 재배 구현을 목표로 한다.

동 사업계획에서 제시하고 있는 연구영역별 사업목표의 유형을 검토한 결과 직접적인 경제적 부가가치를 창출할 수 있는 가능성이 높은 사업으로 평가되어 비용-편익분석을 적용하는 방법이 적절하다고 할 수 있다. 각 연구영역별로 연구개발 내용에 따라 차별화된 목표시장을 설정하여 사업 추진의 특성을 반영하고자 하였다. 식량안보확보 영역의 경우, 벼, 콩, 채소, 사료용 옥수수, 가축 등 5개 품목의 신품종 개발과 자급률 제고에 따른 추가 생산 편익과 기술수출액을 대상으로 분석하였고, 기후변화대응 영역은 기후변화대응 관련 종자시장에 대한 목표시장을 재설정한 시장편익과, 작물의 생산 향상 편익을 분석하였다. 농생물 자원 다양성 영역의 경우, 자원 활용 유형에 의한 편익 발생에 직접성과 포괄성을 고려해 확장된 종자시장을 목표시장으로 설정하였고, 더불어 자원 활용률 향상으로 인한 편익도 산출하였다. 국가현안대응-인수공통전염병예방 분야는 동물백신시장을 목표시장으로 재설정하였고, 이와 더불어 기술수출 로열티와 가축발병률 감소로 인한 피해절감을 편익으로 설정하였다. 국가현안대응-온실가스방출억제 분야의 경우, 온실가스 저감 목표를 반영하여 농업분야 온실가스 발생량 저감에 해당하는 이산화탄소 배출권 가격을 분석하였으며 GMO 안전성 영역의 경우, GMO 작물 국내 상용화로 인한 편익과 GMO 안전성 평가비용 절감 편익을 분석하였다.

이렇게 시장규모를 산정한 후 사업화성공률, R&D 기여도, 부가가치비율을 곱하여 분야별 최종적으로 편익을 구하였다. 사업화 성공률은 산업화 단계 비중이 높은 농식품부의 연구개발 성과 발생 현황(1994년부터 2008년까지 수행된 2,879개 과제를 대상으로 분석한 결과) 중 통합 사업화 성공률인 12.6%와 지정

공모형 사업(핵심전략/기획)의 성공률인 20.7%를 적용하였다. R&D 기여도는 28.1%(신태영, 2004)와 10.9%(하준경, 2005)를 적용하였으며 부가가치율은 한국은행 2007년 산업연관표 자료를 참고하였다.[10] 비용편익분석 결과, B/C Ratio는 0.77, 총편익현가에서 총비용현가를 제거한 순현가(NPV)는 -748억 원으로 산출되어 사업추진의 경제성이 확보되지 못한 것으로 분석되었다.

바. 정지궤도 복합위성 개발사업

정지궤도 복합위성 개발사업의 총 사업기간은 7년 3개월(2011.3-2018.6), 총사업비는 6,697억원(전액 국고 : 교과부 3,253.5억원, 기상청 1,372억원, 국토해양부 933억원, 환경부 1,138.5억원)으로 기상위성과 해양환경위성 등 2기의 정지궤도 위성을 각각 개발하는 것을 주요 내용으로 하고 있다. 36,000km 고도에서 운용될 중형급 정지궤도 복합위성을 국내 주도로 개발하여 위성관련 핵심기술 자립화와 독자적인 기상, 환경 및 해양관측 능력 확보를 목표로 제시하고 있다.

동 사업은 기상탑재체가 적용된 위성과 해양탑재체 및 환경탑재체가 적용된 위성을 각각 개발하여 정지궤도상에 운용하는 계획을 제시하고 있다. 따라서 위성본체의 금전 환산 편익은 동 사업 완료 시점에서 고유모델 확보 및 시장진출이 가능할 경우에 포함할 수 있으나 정지궤도 위성 분야에서 실질적인 시장진출은 후속사업 종료[11] 이후 시점이 될 것이므로 경제적 편익의 의미가 크지 않다. 이에 따라 연구진은 기상탑재체, 해양 및 환경탑재체의 편익을 각각 산정하였고, 이 과정에서 위성의 이용과 관계없이 모든 사람에게 발생하는 파급효과 및 간접편익은 제외하고 직접적인 편익만을 한정하여 적용하였다.

기상탑재체의 편익은 사회적 비용감소 부분과 사회적 편익 증가부분으로 나눌 수 있다. 사회적 비용감소 부분은 악기상[12]에 의한 인명피해와 재해발생으로 인한 재산피해[13], 항공기 지연으로 인한 손실 등의 사회적 비용감소를 의미한다. 방지가 가능한 재해의 규모는 전체 재해규모에 규모감축비율, 위성관측자료 기여율을 곱하여 산출하였고, 기상악화로 인한 항공기 지연 및 결항으로 인한 편익은 항공사 편익과 지연으로 인한 승객 편익으로 구분하여 산출하였다. 사회적 편

10) 벼 79%, 콩 79.6%, 채소 69%, 사료용 옥수수 13.8%, 축산 32.5%, 맥류 및 잡곡 66.6%, 기타 식용작물 79.6%, 낙농 및 육우 36.1%, 임산물 80%, 의약품 37.4%, 기타 축산 28.9%
11) 동 사업을 통해 개발된 위성 수명의 종료 시점인 2017년
12) 태풍, 호우, 폭설, 혹서, 혹한 등
13) 공공시설, 건물, 농경지 훼손 등

익 증가 부문은 1) 기상예측정보의 정확도 향상으로 인한 기상정보 서비스산업에서의 부가가치 창출편익, 2) 기상예측정보의 향상으로 인한 기상정보 활용산업의 부가가치 창출편익, 3) 기상예측정보의 정확도 향상으로 인한 기상정보 활용산업의 비용절감편익을 의미한다.

기상예측정보 정확도 향상으로 인한 기상정보 서비스 산업에서의 부가가치 창출 편익은 민간기상사업 서비스산업 시장규모에 기상정보의 정확도 개선율, 위성관측자료 기여율, 해당 산업의 부가가치율을 곱하여 산출하였다. 기상예측정보 정확도 향상으로 인한 기상정보 활용산업의 부가가치 창출편익은 2008년 시장규모에 기상정보의 매출액 기여율, 위성관측자료 기여율, 기상정보의 정확도 개선율, 해당 산업의 부가가치율을 곱하여 산출하였다. 기상예측정보 정확도 향상으로 인한 기상정보 활용산업의 비용절감 편익은 2008년 시장규모에 위성관측자료 기여율, 기상정보의 정확도 개선율, 비용절감 기여율을 곱하여 산출하였다. 편익 발생기간은 발사시기(2017년 3월)를 고려하여 2017년 3월~2027년 2월까지로 가정하였다.

해양탑재체는 해양 표면에 대한 자료를 수집하는 것을 주된 기능으로 하며 적조피해 감소, 해난피해저감을 통한 사회적 비용 감소, 어획량 증가의 사회적 편익 증가, 해양조사비용의 절감, 항만공사 설계비의 절감 등의 편익이 발생할 수 있다. 적조피해 감소로 인한 편익은 연평균 적조피해 발생액, 자연재해 피해감소비율, 위성관측자료 기여율의 곱으로 산출하였고 어장정보 수입대체 편익은 연간 수입대체효과와 정보서비스업의 부가가치율의 곱으로 나타내었다.

어장정보서비스의 사업화 편익은 서비스 대상어선 수와 시장점유율, 서비스 가격의 곱으로, 항만공사 설계비 절감 편익은 연평균 항만공사비용에 조사비 및 설계비 비율과 설계비용 절감 비율을 곱하여 산출하였다. 해양오염피해 감소편익은 연평균 유출량, 톤당 피해액, 해양관측을 통한 피해절감비율을 곱하여 산출하였고, 마지막으로 해양조사비용 절감편익은 해양 조사비용(1회)에 2007년도 해양조사실적[14]의 조사항목 중 해양탑재체로 측정 가능한 부문(횟수)을 곱하여 산출하였다.

환경탑재체는 기상탑재체나 해양탑재체에 비해 비시장재적 요소가 강하며, 국민에게 미치는 주요 영향은 대기오염정보의 정확도 개선이라는 서비스라 할

14) 한국해양자료센터, KODC NEWSLETTER No. 49, 2008. 4.

수 있다. 환경현상 자체의 관측에 대한 경제적 관점에서의 분석은 실증자료의 부재로 인해 엄밀한 산출에 제약이 있는 것으로 평가되어 환경탑재체의 관측자료 제공으로 미세먼지, 오존 등의 대기오염 관측 및 예측의 정확도 향상을 통한 사망률 감소 편익만을 편익에 포함시켰다.

경제성분석을 수행한 결과 사업 전체의 B/C Ratio는 0.781로 산출되었다. 기상위성과 해양환경위성 각각을 살펴보면, 위성수명이 10년, 13년이라고 가정하였을 경우 기상위성의 B/C Ratio는 1이상으로 도출되었다. 그러나 해양환경위성의 편익은 위성수명과 상관없이 B/C Ratio가 1이하의 값이 도출되었다.

KOPRI 극지연구소

2. 해양분야 R&D 사업 경제성 분석 사례

가. 해양바이오돔 구축사업

사회적 할인율은 KDI에서 발간한 예비타당성조사 일반지침(제5판)에 근거하여 5.5% 적용하였다. 해양바이오돔 구축사업은 산업적 성과가 발생하기 어려운 사업으로서, 그 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해 볼 때, 본 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 기초과학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국민후생은 증가할 수 있으므로 이 효과를 본 사업의 주요 편익으로 평가한다. 편익 추정에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 편익의 개념이 예비타당성조사 일반지침 제5판에 부합해야 하는 것이며 편익항목간 이중계산의 문제가 없어야 한다는 것이므로, 편익 추정에 있어서 이 2가지 원칙을 견지하고자 하였다.

연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발활동의 결과로 나타나는 모든 경제적 효과를 의미하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분하여 추정한 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 한다. 특정 공공사업으로부터 발생하는 편익은 크게 소비자와 공급자의 두 측면에서 나타나며, 연구개발사업도 예외는 아니므로 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(가계 또는 국민)와 생산자(기업 또는 산업)로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익을 경제학적 후생의 관점, 즉 소비자 잉여(consumer surplus)로 평가되고, 생산자에게 발생하는 편익은 생산자 잉여(producer surplus) 내지는 부가가치의 관점에서 평가되어야 한다. 수혜의 대상을 소비자와 생산자로 뚜렷하게 구분하기 어려운 경우에는 국가 전체의 부가가치 창출에서 평가할 수 있다.

편익을 추정한다는 것은 가치를 어떻게 측정하느냐와 직접적으로 결부되어 있다. 가치를 추정하기 위한 접근방법은 가치창출의 수혜자가 소비자와 생산자 중에 누구냐에 따라 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 해양바이오돔 구축사업의 경우 편익을 크게 소비자 관점과 생산자 관점으로 구분할 수 있다. 첫째, 생산자 관점에서 본다면 해양바이오돔 구축 과정에서 그리고 최종 결과물에서 나타나는 해당 산업 및 관련 산업의 부가가치 유발효과가 있을 수 있다. 둘째, 해양바이오돔 구축사업의 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해보면, 이 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 해양생태학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국

민후생은 증가할 수 있으므로 이 효과도 이 사업의 편익으로 포함된다. 이것은 국민적 자부심을 제공하는 올림픽 금메달이나 비록 방문할 가능성은 없지만 유물들이 잘 보존 및 관리되는 것만으로 만족을 느끼게 하는 박물관 신축의 사례와도 유사한 효용을 국민들에게 제공할 수 있다.

여기서 두 번째 범주만을 연구대상으로 삼는데, 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 기술개발에는 상당한 불확실성이 따르므로 그 효과를 미리 예측하기 어려우며, 예측을 한다 하더라고 해당 산업의 국내 발전이 아직 미미하여 효과를 예측할 만한 기초자료를 확보하기가 어렵다. 둘째, 소비자 측면의 편익만을 추정하여 경제성 분석을 했는데 경제성을 확보된다면 산업적 측면의 편익 추정은 큰 의미가 없을 수 있다.

일반적인 재화의 가치는 시장의 거래를 통해서 가격이란 형태로 관측되기 때문에 가치나 편익의 추정이 용이하다. 즉 시장에서 거래되고 있는 재화의 경우라면 해당 재화가 소비자에게 제공하는 효용 내지는 혜택이 명확하며, 해당 재화에 대해 소비자가 지불하고 있는 가격 정보를 이용하여 해당 재화의 가치를 추정할 수 있다. 아울러 해당 재화에 대한 수요함수를 추정함으로써 해당 재화가 제공하는 편익도 쉽게 추정할 수 있다. 반면 본 조사의 대상이 되고 있는 해양바이오돔 구축사업의 경우, 언뜻 보아 가치가 잘 정의되지 않으며, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 해양바이오돔 구축사업의 혜택이 한국 해양학 발전의 획기적 전기 마련, 국가과학 이미지 제고를 통한 국가경쟁력 상승 기여 및 국민의 자긍심 고취 등 매우 추상적이기 때문이다.

즉 사업 수혜자의 범위를 해양바이오돔을 활용할 해양학자로 국한해야 하는지 아니면 국가적 사업이란 관점에서 수혜자를 국민 전체로 봐야 할지에 대해 의문이 발생한다. 이렇게 사업의 효과가 추상적이며 사업의 수혜자가 일반 국민인 것 같지만 대다수의 국민들이 직접적으로 이용할 가능성은 없는 재화에 대해서는 특별히 고안된 방법론을 적용하여 가치나 편익을 추정할 수밖에 없다. 이러한 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 있다.

이러한 경우 진술선호 접근법의 적용을 고려할 수 있는데, 조건부 가치측정

법(contingent valuation method, CVM)과 컨조인트 분석법(conjoint analysis)이 대표적이다. 조건부 가치측정법은 대상재화에 대한 WTP를 응답자에게 직접적으로 질문하는 방식이며, 컨조인트 분석법은 가격을 포함한 여러 가지 속성들로 이루어진 대안들을 활용하여 대상재화의 가치를 간접적으로 추정하는 방법이다. 한편 한국개발연구원(2004)의『문화시설의 가치추정 연구』상에서 제안된 방법론적 지침을 적극 수용할 필요가 있다. 이 보고서에서는 선수촌 이전, 과학관, 로봇랜드 등의 문화과학시설의 가치 내지는 편익을 추정하기 위해서는 소비자 설문조사를 통해 WTP를 추정해야 한다고 언급하면서 실제로 각 시설에 대한 실증분석 결과를 제시하고 있다. 이 보고서에서 결론적으로 제시한 방법론적 지침을 정리하면 다음과 같다.

사업목적이 특수한 개별 문화과학시설의 가치를 추정하기 위해서는 조건부 가치측정법 또는 컨조인트 분석법을 적용하여 시설물의 가치를 추정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 비시장재화의 가치추정에 있어서 조건부 가치측정법과 컨조인트 분석법 가운데 어느 기법을 선택하느냐의 문제는 일반 응답자들이 선택 가능하고 적절한 대안들을 쉽게 식별할 수 있는 경우 컨조인트 분석법을, 다른 대안이 모색되지 않는 경우는 조건부 가치측정법을 사용하는 것이 일반적이라 할 수 있다. 그러나 어느 방법을 선택할 경우라도 그 구체적인 추정(추정방정식 포함)이나 설문의 방법은 각각의 사례에 맞게 적절하게 선택되어야 하는 문제가 있기 때문에 다소의 편차를 가지고 올 수 있으므로 추정방법에 신중한 접근이 필요하다.

따라서 이 지침에 근거하여 진술선호 평가법의 하나인 조건부 가치측정법을 이용할 수 있다. 그 이유는 본 연구에서 평가해야 할 해양바이오돔 구축사업에 대해 컨조인트 분석법을 적용하기에는 응답자의 인식상의 부담 문제가 제기되며, 평가에 필요한 다양한 속성에 대한 정의가 용이하지 않기 때문이다. 아울러 컨조인트 분석법보다는 조건부 가치측정법이 보다 광범위하게 활용되고 있으며, 타당성 및 신뢰성이 어느 정도 확인되었다. 요컨대 본 연구에서는 조건부 가치측정법을 적용하여 해양바이오돔 구축사업의 경제적 편익을 추정한다.

경제성 분석을 위한 제반 가정 및 전제는 한국개발연구원『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(5판)』(2008)에 근거하였으며, 모든 편익과 비용의 평가는 2011년 12월 시점으로 하였다. 분석대상 기간은 시설비 투자기간인 2013-2019년, 운영비 및 연구비 투자기간인 2016년-2025년을 포함하는 2013년-2025년이다. 사회적 할인율은 5.5%를 적용하였으며, 부가가치세를 제외한 후 비용을 산정하였다.

해양바이오돔 구축사업에 대한 경제성 분석 결과, 총비용의 현재가치는 1,362억원, 총편익의 현재가치는 1,910억원으로 추정되어 순현재가치는 548억원

으로 경제성 분석을 통과한다. 편익/비용 비율은 1.40으로 산정되어 1.0을 초과하며, 내부수익률도 24.7%로 사회적 할인율 5.5%를 초과하여 본 사업은 경제적 타당성을 확보한다.

[표 8-124] 해양바이오돔 구축사업의 경제성 분석 결과

구분	현재가치 합계(억원)		순현재가치 (백만원) (NPV)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
값	1,910	1,362	548	1.40	24.7%

나. 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업

최근 해양 자원 및 공간에 대한 이용이 확대되고, 인위적인 해양 환경 이용이 증가함에 따라 해양폐기물 투기, 육상오염물 유입 증가, 허베이스피리트호에 의한 서해의 유류오염사고 등 일련의 사건사고로 해양오염이 증가하고 있다. 이에 따라 유해물질의 생물 축적 및 생물확산에 의한 2차 오염의 문제가 심각해지고 있다. 오염된 환경은 복원이 대단히 힘들고 많은 비용이 소모되므로 환경복원을 위한 종합적인 관리기술 개발 추진이 시급하다. 또한 2007년 서해에서 발생한 허베이스피리트호 사건과 2010년 미국 멕시코만에서 발생한 기름 유출사건 등은 해양환경의 중요성을 각인시키는 동시에 해양환경 위험 예방과 대응 전략 마련의 중요성을 확인하는 계기가 되었다.

국내에서는 최근 환경위해성 영향을 평가하기 위한 기초적인 작업으로 점오염원에 해당하는 배출수에 대한 통합독성평가를 위한 제도를 도입하여 시행하고 있다. 그러나 배출수에 포함된 중금속/유해물질에 의한 급성 생태독성영향만을 평가하고 이를 통한 관리만 실시하고 있으며, 중금속/유해물질에 의한 이차 독성과 만성생태영향을 반영하고 있지 못하다.

현재 해양에 대한 지역 위해성 평가는 생태위해성 지침을 기반으로 실시되고 있지만, 국내 생태독성자료에 대한 검증이 불충분하기 때문에 외국의 생태독성자료로부터 도출된 생태 무영향 농도를 이용하고 있다. 외국의 생태독성자료를 준용할 수밖에 없기 때문에 국내 해양위해성 평가 결과의 정확성을 떨어뜨리고 국내 해양환경을 고려하지 못하는 단점이 존재한다.

이에 정부는 2020년까지 중금속/유해물질 생태위해성 평가 기술을 선진국 대비 80% 수준으로 향상시키려는 '해양환경기술개발사업 중장기 기본계획 수립

을 위한 기획연구'를 실시하였다. 만약 해양환경 위해성 평가 및 관리기술이 개발된다면, 향후 우리나라의 해양 기술을 선진국 수준으로 끌어올림과 동시에 해양환경 관리에 있어서 국제 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 식수원 보호 및 해양생물 안전성 확보를 통한 국민들의 건강 및 안전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

해양환경 위해성 평가 및 관리 기술개발에는 막대한 정부예산이 소요되므로, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 경제성 분석은 필수적으로 요구된다. 하지만 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술로 인해 발생하는 비시장적 편익은 추정이 어렵다. 하지만 이 기술로 인해 해양환경이 중금속 및 유해물질로부터 안전해지고 국민들의 건강 및 안전을 향상시킴으로써 국민 후생은 증가할 수 있기 때문에 이러한 비시장적 효과도 분명히 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 편익으로 포함되어야 한다.

물론 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술 개발이 실제로 비시장적 편익을 가져올 수 있는지에 대해 의문을 제기할 수 있다. 만약 국민들이 해양환경 위해성 평가 및 관리기술로 인해 해양 환경의 관리 수준을 향상시키고 해양환경이 깨끗해짐으로 인해 국민 건강 증진 또는 안전 확보에 기여하는 것에 의미를 부여하고 만족감을 느껴, 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발을 위해 본인의 소비를 줄여 소득의 일정 부분을 할애하려는 의지가 있을 수 있다면, 경제학적인 의미에서 해양환경 위해성 평가 및 관리기술은 가치를 가지게 된다. 이런 부분이 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 비시장적 가치를 구성한다.

하지만 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발과 같은 연구개발(R&D)사업의 다양한 편익은 그 가치가 명시적으로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상이 되고 있는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경우, 언뜻 보아 비시장적 가치가 잘 정의되지 않으며, 비시장적 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 해양환경 위해성 평가 및 관리 기술이 시장에서 거래가 되고 있는 재화가 아니며, 특히 일반 국민들의 입장에서는 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 혜택이 매우 추상적이기 때문이다. 이러한 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 있다.

해양환경 위해성 평가 및 관리기술은 해수, 퇴적물, 생물체 등 해양환경 중 중금속 및 유해물질의 화학적, 생물학적 모니터링을 함으로써 생태 위해도를 평가하고, 해역별 생태 위해 진단 및 위해 요인을 규명하는 기술이다. 쉽게 말해, 해양 환경에 어떤 중금속 및 유해물질이 얼마나 포함되어 있는지를 모니터링하고 생태 위해도를 진단하여 그 원인을 밝히고 해역별 생태 위해 수준을 평가하기 위한 기초 기술이다.

본 기술은 크게 수생생물에 대한 독성영향 평가 및 예측과 수생태계에 대한 생태독성 영향 진단 및 원인 규명으로 나뉜다. 전자는 독성 유전체가 무엇인지 규명하는 것과 독성이 어떻게 작용하는지를 연구함으로써 시간에 따라 독성 유전체 또는 독성작용이 어떻게 변하는지 동태모형을 개발하고 이를 적용하는 것이다. 또한 하나 이상의 복합독성영향을 평가하고 예측하면서 정량적으로 생태위해성을 평가할 수 있는 방법을 개발하여 해역별 위해관리계획을 세우는 것이 목적이다.

후자는 현장 생태영향을 진단하는 기법과 생태 위해의 원인을 규명하는 기법으로 구성되어 있다. 현장 생태영향을 진단하는 기법은 MoA 기반 in vitro 시험, in vivo, in situ 독성시험, in situ biomaker(생물체 또는 생태계의 상태를 알려주는 지표(혹은 표지자)로, 예를 들어 의학에서 당뇨병 진단에 쓰이는 혈중포도당을 들 수 있음. 해양생태계의 경우 특정 중금속/유해화학물질 그 자체나 생물체의 대사를 통해 생성, 배출된 다양한 물질들이 그 후보가 될 수 있음.)를 통한 화학물질 스크리닝 및 모니터링, 수계생태계 및 서시지 조사 등이 있다. 생태위해 원인 규명 기법은 배출수 및 퇴적물 독성 원인 규명과 특정독성영향분석, 생태위해 진단 및 위해요인 규명 등이 있다.

해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발 기간은 총 10년이며, 초기 4년은 중금속/유해화학물질 생태위해서 평가요소 기술을 개발하고, 차기 4년은 개발된 생태위해성 평가기법을 현장에 적용하고 검증해보는 과정이며, 마지막 2년은 유해물질별 생태위해성 평가 및 관리지침을 개발할 예정이다.

본 연구에서는 조건부 가치측정법을 적용하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경제적 편익을 추정하였다. 편익은 기술개발이 완료된 후부터 10년간 발생한다고 가정하였으며, 설문조사시 이를 응답자들에게 인식시켰다. 비용은 전체 기술개발기간을 3단계로 나누어 1단계(2013-2015)에서 96억원, 2단

계(2016-2018)에서 141억원, 3단계(2019-2020)에서 45억원이 소요되는 것으로 예상되었다. 전체 사업비는 약 282억원이며 연도별로 연구개발비, 고민감도 모니터링, 생물축적/독성, 해역별 위해도 진단 비용으로 나뉜다.

해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업에 대한 경제성 분석 결과는 [표 8-127]에 요약되어 있다. 할인율은 예비타당성조사 표준지침 제5판에 따라 5.5%를 적용하였다. 분석결과 총 비용의 현재가치는 212.43억 원, 총 편익의 현재가치는 458.89억(하한값 : 373.75억원, 상한값 : 522.23억원)으로 추정되어 NPV가 246.46억원(하한값 : 161.32억원, 상한값 : 309.80억원)으로 0보다 커 경제성 타당성을 확보하였다. 또한, B/C 비율은 2.16(하한값 : 1.76, 상한값 : 2.46)으로 산정되어 1.0보다 컸고, IRR도 15.2%(하한값 : 12.5%, 상한값 : 17.0%)로 사회적 할인율 5.5%를 초과하여 해양환경 위해성 평가 및 관리기술개발사업은 경제적으로 타당성이 존재하는 것으로 나타났다.

[표 8-125] 해양환경 위해성 평가 및 관리기술 개발사업의 경제성 분석 결과

구분	현재가치 합계(억원)		순현재가치 (백만원) (NPV)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
값	458.89	212.43	246.46	2.16	15.2%

KOPRI 극지연구소

3. 소결

본 장에서는 다양한 국가 R&D 사업에 대한 6개 경제성 분석 사례와 해양 부문 R&D 사업에 대한 2가지 경제성 분석 사례를 살펴보았다. R&D 사업의 유형이 다양한 만큼 편익 항목도 다양함을 알 수 있었다. 그간 R&D 사업 예비타당성 조사 수행 주체, R&D 사업을 추진하는 주무부처 등에서 다양한 항목별 편익의 추정을 위해 많은 노력을 경주하였다. 가장 널리 사용된 편익추정 방법론은 시장수요 접근법이지만 이것은 사업화를 전제로 하고 있는 R&D 사업에만 적용이 가능하다. 특히 환경분야 R&D 사업의 경제적 편익을 추정하기 위해서는 많은 노력과 추가적인 작업이 필요하며, 다소 많은 비용이 소요되긴 하지만 조건부 가치측정법과 같은 진술선호 평가법의 적용도 적극 고려할 필요가 있다. 아울러 불필요한 논란을 방지하면서 합리성을 확보하는 경제적 타당성 분석의 수행을 위해서는 예비타당성조사 일반지침(제5판) 및 예비타당성조사 R&D 부문 표준지침(제2판)의 근거할 필요가 있다.

KOPRI 극지연구소

제 3 절 총사업비 및 운영비 추정

1. 총사업비 및 운영비 추정의 기준

총사업비 추정은 선박의 설계 및 건조비용(각종 시설장비 설치비 포함)을 고려하여 추정하였으며 연간운영비는 별도로 구분하여 추정하였다. 항목별 기준단가를 산정함에 있어 재료비는 2009년 아라온호 건조사업 실적을 참조하되 연평균 물가상승률 (최근 5년 평균 2.7%)을 고려하였으며, 노무비는 2014년 정부노임단가 적용하였다. 연간운영비는 아라온호의 지난 5년간 운영비를 기준으로 선박 규모를 고려하여 각 항목별 단가를 추정하였다.

가. 선박 설계기준

- 길이 / 폭 : 120 m / 22.5 m
- 총톤수 : 약 12,000 톤급
- 선급 : KR/DNV Polar 20, DAT -45℃, DPS 2
  ※ 아라온호 : KR Polar 10, DAT -30℃, DPS 2
- 승선인원 : 총 120명(연구원: 90명, 승무원 30명)
- 항해일수 : 연속항해 일수 74일 이상
- 헬기 : AS-350급 2대 착륙 및 적재할 수 있는 착륙장 및 격납고
- 기중기
  - 선수 화물용 : 인양중량 35톤 이상
  - 특수장비용 윈치 : 인양중량 35톤 이상
  - 선미 화물용 : 인양중량 15톤 이상 1기, 5톤 이상 1기
- A-Frame : 높이 12m 이상, 인양중량 35톤 이상

나. 선박 운영기준

- 승무원 수 : 30명 기준 (아라온호 25명)
- 승무원 인건비 수준 : 1인 평균 6,500만원 기준

※ 우수 인력 확보를 위해 현재 아라온호 대비 15% 인상

○ 연간 운항일수 : 303일 기준(예비일 62일)

○ 연료비 : 2014년 유류 구매 실적 기준으로 경제 운항속도 반영

※ 제2 쇄빙연구선 경제 운항속도 : 13노트(아라온호 12노트)

※ 운항속도 증가시 1일 연료 소모량도 비례하여 증가

○ 선박유지관리비(수리비, 보험료, 통신비 등) : 아라온호 운영실적 기준, 단 아라온호 운영 실적 4년 평균으로 산정하되 선박 규모 증가에 따른 관련 비용 (각종 수리비, 보험료 등) 증가분 반영

KOPRI 극지연구소

2. 건조 설계비 추정

가. 기본 설계비 추정

아라온호의 건조 시에는 국내 최초임을 고려하여 가능한 한 국내기술 향상을 도모하였다. 즉 외국 선진 업체의 자문을 병행하되 적극적으로 국내의 업체를 활용하였다. 제2 쇄빙연구선의 경우에는 한층 강화된 쇄빙능력과 내한성능 확보를 위해 국내 업체로 한정하지 않고 추진되어야 한다. 따라서 개념 및 기본설계비 규모가 상당항 것으로 추정된다. 개념 및 기본설계비는 건조비 대비 약 1.0%를 고려한다면 약 30억 원 정도이며, 엔지니어링사업대가 기준의 건설부분에 의한 요율(공사비의 1.18%)을 적용해도 약 30억 원으로 추정되기 때문에 본 건조사업 수행 시의 개념 및 기본설계비는 약 30억 원으로 추정한다.

개념 및 기본설계 소요기간은 약 1년으로, 주요제원 및 기본성능, 탑재장비·설비 선정 및 검증, 분야별 계약설계도서 작성, 건조 사양서 작성, 건조선가 내역 작성 등을 포함한다.

KOPRI 극지연구소

나. 건조 로드맵 작성

건조 중인 해양과학조사선의 경우 “대형 해양과학조사선 건조 로드맵 및 활용계획 연구” 사업이 9.55억 원으로 수행되었다. 이를 고려하여, 제2 쇄빙연구선은 사전 기획단계에서 수행되지 못하여 단기간에 작성되어야 하므로 설계부터 건조 및 운영과 활용방안에 이르는 전주기적 세부 추진계획을 중심으로 한 구체적인 건조 로드맵 작성 비용을 5억 원으로 추정한다.

다. 요소기술 개발

제2 쇄빙연구선의 설계와 더불어 병행될 연구개발(안)으로, 일부 핵심기술은 과업 종료 시 개발을 완료하여 쇄빙연구선에 그 결과를 접목하여 상세설계 등 이후의 건조공정에 직접 적용할 것이며, 일부 개발기술은 향후 대형 연구개발과제로 발굴될 것이다. 따라서 세계적으로 극지기술을 선도할 수 있는 고부가가치 준대형급 쇄빙연구선에 대하여 극지항로를 안전 운항할 수 있는 주요 핵심 기술들을 중심으로 선별하여 조기에 확보토록 추진한다.

수행될 주요 기술로는 빙-선체구조 해석 및 안전설계 평가기술, 빙성능 최적화 및 시험평가 기술, 방한성능 실용화 및 기술표준화 기술 및 실해역 안전항해 및 실선 성능 검증 기술 등 주요 핵심기술들이 포함되며, 실선계측 시험과 빙해수조에서의 모형시험 기술, Cold room에서의 극저온 성능 시험평가 등이 개발될 예정으로, 2개년에 걸쳐 약 30억 정도로 산정한다.

라. 실시 설계비

2005년에 수행한 아라온호의 실시설계비는 20억 원(총 건조비 대비 1.8%), 2012년에 수행한 대형 해양과학조사선의 실시설계(상세설계와 건조를 포함한 턴키 계약)비는 76억 원으로 수행하였다.

실시 설계비는 아라온호 건조사례와 대형 해양과학연구선의 건조사례를 고려하고, 타당성 분석에서 설계, 건조 후 활용단계에 이르기까지 단계별 목표와 주체 등을 설정하여 추적관리가 이루어질 수 있도록 전주기 시스템 엔지니어링 방법론을 추가 적용하고, 향후 운영 시 효율적, 체계적 관리가 가능토록 BIM(Building Information Model) 시스템을 구축하도록 하여야 한다. 그러나 짧은 실시설계 기간(6개월)을 고려하고, 세부 내용은 턴키방식에 의해 상세설계와 연동한다면 소요비용이 출소될 수 있을 것이다. 본 건조사업의 경우 실시설계비용으로 총 30억원(총 건조비 대비 1%)을 추정한다.

KOPRI 극지연구소

○ 실시설계에서는 1) 개념 및 기본설계 성과품 검토하고, 2) 분야별 세부 도서 및 도면을 완성하며, 건조입찰을 위한 최종 사양서와 안내서를 작성
- 종합분야 세부 도서 및 도면 : 종합보고서, 건조사양서, 선가내역서 등
- 기본분야 세부 도서 및 도면 : 일반배치도, 모형시험결과보고서
- 선체분야 세부 도서 및 도면구조: 강재배치도, 외판전개도 등
- 선체분야 세부 도서 및 도면의장 : 선체배관계통도, 계선계류장치도 등
- 선실분야 세부 도서 및 도면의장 : 갑판별선실배치도 등
- 기관의장분야 세부 도서 및 도면 : 기관실배치도 등
- 전기통신분야 세부 도서 및 도면 : 전력부하계산서, 동력계통도 등
- 연구장비분야 세부 도서 및 도면 : 선저센서배치도, 연구실배치도 등

3. 건조비 추정

가. 주요제원 및 요구조건 비교

[표 8-126] 아라온호와 제2 쇄빙연구선과의 주요제원 비교

항목		아라온호	제2 쇄빙연구선
주요제원	길이	95.0m	120.0m
	폭	19.0m	22.5m
	깊이	9.9m	-
	흘수	6.8m	8.5m
	총톤수	약 6,950톤	약 12,000톤
쇄빙능력	Ice class	KR Polar 10 1.0m x 3노트	KR/DNV Polar 20 2.0m x 3노트
환경조건	기온	-30℃	-45℃
	수온	-2 ~ 35℃	-
	상대습도	90%	-
추진체계	주기관	약 10,000kw	약 20,000kw
	추진방식	Twin azimuth	Twin system
속력	경제항해	12노트	13노트
항해	항속거리	약 20,000해리	약 20,000해리
	항속기간	약 70일	약 74일
인원	승선인원	85명	120명

KOPRI 극지연구소

나. 공사비 산출

○ 공사비는 재료비와 직접노무비로 구성

○ 재료비의 산출근거는 아라온호의 건조 재료비를 기준으로 각 항목별 산출비율과 물가인상률(1.27) 및 사양강화율(1.1)을 적용하여 산정

[표 8-127] 재료비 중 각 항목별 산출비율과 산출근거

항목	산출비율	산출근거 (아라온호/제2 쇄빙연구선)	비고 (아라온호 재료비, 백만원)
선각공사	1.73	선체 중량비 – 약 3,500톤 / 약 6,043톤(추정)	4,952
화물장치	2.0	크레인 용량비 – 선수 25톤 / 35톤 – 선미 3톤+10톤 / 5톤+15톤	1,317
외장공사	1.87	체적비 – 12,274 m^3 / 22,950 m^3	6,624
갑판배관	1.94	체적비와 마력비 평균 – 12,274 m^3 / 22,950 m^3 – 10MW / 20MW	803
선실의장	1.45	탑승인원비와 갑판면적비 평균 – 85명 / 120명 – 1,805 m^2 / 2,700 m^2	5,204
기관공사	2.0	기관마력비 – 10 MW / 20 MW	27,595
전기공사	2.0	발전기 용량비 – 13,600 KW / 27,200 KW	3,428
탐사장비	1.0	연구장비 유지	5,086(도급) 17,011(관급)

[표 8-128] 공사비 중 재료비 산출결과

항목	재료비(백만원)	산출근거	비고
선각공사	11,968	o 선체중량비 : 약 1.73배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	선체 중량비(1.73) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
화물장치	3,680	o 크레인용량비 : 약 2.0배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	크레인 용량비(2.0배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
외장공사	17,304	o 체적비 : 1.87배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	체적비(1.87배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)

KOPRI 극지연구소

항목	재료비(백만원)	산출근거	비고
갑판배관	2,171	o 체적비 : 1.87배 o 기관마력비 : 2.0배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	체적비와 마력비 평균(1.94배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
선실의장	10,541	o 탑승인원비 : 1.41배 o 갑판면적비 : 1.5배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	탑승인원비와 갑판면적비 평균(1.45배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
기관공사	77,100	o 기관마력비 : 2.0배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	기관마력비(2.0배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
전기공사	9,578	o 발전기 용량비 : 2.0배 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	발전기 용량비(2.0배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
탐사장비	30,870	o 아라온 연구장비 : 50.86억원+170.11억원 o 물가인상률 : 2008년~ 2014년 – 27%(년 3%) o 환경요구조건 등 사양강화 – 10% 반영	연구장비 금액 × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.1)
소계	163,212		

○ 직접노무비의 산출은 아라온호의 건조 시 투입된 노무비를 기준으로, 재료비 산출 시 적용된 각 항목별 산출비율(탐사장비는 일괄계약을 고려하여 4.0 적용)과 노무단가 인상률을 적용하여 산출

- 아라온호 노무비 × 각 분야별 재료비 산출비 × 노무단가 인상률(1.143)
- 아라온호 노무비 : 6,122.7(선각공사), 219.2(화물장치), 1,361.6(외장공사), 411.5(갑판배관), 915.8(선실의장), 1,179.3(기관공사), 1,067.0(전기공사), 117.2(탐사장비)

○ 직접노무비는 총 23,616백만원으로 계상

[표 8-129] 공사비 중 직접노무비 산출결과

항목		아라온호 노무비(백만원)	산출비율	계상 금액(백만원)	비고
공사비	선각공사	6,122.7	1.73	12,107	
	화물장치	219.2	2.0	501	
	외장공사	1,361.6	1.87	2,910	
	갑판배관	411.5	1.94	912	
	선실의장	915.8	1.45	1,517	
	기관공사	1,179.3	2.0	2,695	
	전기공사	1,067.0	2.0	2,439	
	탐사장비	117.2	4.0	535	
	소계	11,394.3		23,616	

○ 재료비와 직접노무비로 구성된 공사비는 총 186,828천원 계상

[표 8-130] 공사비 산출결과

항목		재료비(백만원)	직접노무비(백만원)	금액(백만원)	비고
공사비	선각공사	11,968	12,107	24,075	
	화물장치	3,680	501	4,181	
	외장공사	17,304	2,910	20,214	
	갑판배관	2,171	912	3083	
	선실의장	10,541	1,517	12,058	
	기관공사	77,100	2,695	79,795	
	전기공사	9,578	2,439	12,017	
	탐사장비	30,870	535	31,405	
	소계	163,212	23,616	186,828	

KOPRI 극지연구소

다. 제경비 산출

○ 제경비는 직·간접경비와 일반관리비, 이윤으로 구성

○ 직·간접경비 : 아라온호 직·간접경비(4,914백만원) 대비 체적비(1.87) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.2, 다중선급 등) 산출

○ 일반관리비 : (공사비 + 직·간접경비)의 2% 산출

○ 이윤 : (공사비 + 직·간접경비 + 일반관리비)의 5% 산출

○ 제경비는 총 28,262백만원 계상

[표 8-131] 제경비 산출결과

항목		금액(백만원)	비고
제경비	직·간접경비	14,004	체적비(1.87배) × 물가인상률(1.27) × 사양강화(1.2, 다중선급 등)
	일반관리비	4,016	(공사비 + 직·간접경비)의 2%
	이윤	10,242	(공사비 + 직·간접경비 + 일반관리비)의 5%
	소계	28,262	

라. 건조비(건조원가) 추정

○ 건조비(건조원가)는 공사비와 제경비에 부가가치세를 합한 236,599백만원 계상

[표 8-132] 건조비(건조원가) 산출결과

구 분		금 액(백만원)			비 고
		재료비	노무비	소계	
공사비	선각공사	11,968	12,108	24,076	
	화물장치	3,680	501	4,181	
	외장공사	17,304	2,911	20,215	
	갑판배관	2,171	909	3,080	
	선실의장	10,541	1,518	12,059	
	기관공사	77,100	2,695	79,795	
	전기공사	9,578	2,439	12,017	
	탐사장비	30,870	535	31,405	
	소계(a)	163,212	23,616	186,828	
제경비	직·간접경비			14,004	
	일반관리비			4,016	
	이윤			10,242	
	소계(b)			28,262	
원 가				215,090	(a+b)
부가가치세				21,509	원가의 10%
총 건조원가				**236,599**	

4. 부대비용 추정

가. 감리비용

○ 총 건조원가 추정액을 약 236,599백만원으로 가정하고, 엔지니어링 사업대가 기준에 의한 요율(공사비의 1.3%)을 적용하면 약 3,076백만원 계상

○ 아라온호의 감리비용(1,061.6백만원)에 체적비(1.87배)과 물가인상률(1.27배) 및 사양강화율(1.2배) 등을 고려하면 약 3,025백만원 계상

○ 아라온호의 감리비용(1,061.6백만원)에 수행기간율(실시설계를 포함한 일괄계약을 가정 총 4년, 1.33배)과 건조노무비증가율(1.936배, 23,616/12,201)을 고려하면 약 2,733백만원 계상

○ 상기 추정액들의 평균값인 2,945백만원으로 산정

나. 감독비용

○ 총 건조원가 추정액을 약 236,599백만원으로 가정하고, 아라온호의 경우 건조비 대비 약 2.125% 투입을 고려하면 약 5,028백만원 계상

○ 아라온호의 감독비용에 수행기간율(1.33배)과 물가인상률(1.27배) 및 사양강화율(1.2배) 등을 고려하면 약 4,652백만원 계상

○ 상기 추정액들의 평균값인 4,840백만원으로 계상하고 총 건조원가 대비 10%의 예비비(23,659백만원, 연구관리기관비용 4.5% 포함)를 추가 반영하여 약 28,499백만원 계상

○ 총 28,499백만원으로 산정

다. 취득, 등록, 지방, 농특세 등 제세금

○ 취득세 : 총 건조원가(236,599백만원)의 3% 산정

○ 지방세 : 총 건조원가(236,599백만원)의 0.2% 산정

○ 농특세 : 총 건조원가(236,599백만원)의 0.2% 산정

○ 총 8,044백만원 산정

[표 8-133] 제세금 내역

지방세 구분	세 율	추정세액 (백만원)	관 계 법 규
① 취득세	취득가액의 3%	7098.0	지방세법 제6조 및 제12조 제1항
② 재산세	과세표준의 0.3%	709.8	지방세법 제105조(과세대상) 및 제111조(세율) 4호
③ 지방교육세	1 취득가액의 0.2% 2 재산세액의 20%	473.2 142.0	지방세법 제150조의1(납세의무자) 및 151조의 1(과세표준과 세율)
④ 농특세	취득가액의 0.2%	473.2	농어촌특별세법 제5조 제1항6호
합 계	제1차년도(2021)	8,044.0	① + ③의1 + ④ = 가액의 3.4%
	제2차년도(2022)	851.8	매년: ② + ③의2 =과세표준액의 0.36%

※ 지방세 납부기관 : 선적항을 관할하는 시군

라. 부대비용 산출결과

○ 부대비용은 감리비, 감독비, 제세금을 합하여 총 39,488백만원 계상

[표 8-134] 부대비용 산출결과

구분	금액(백만원)	비고
감리비	2,945	
감독비	28,499	10% 예비비 포함
제세금	8,044	
합계	**39,488**	

KOPRI 극지연구소

5. 운영비 추정

가. 제2 쇄빙연구선과 아라온호와의 운영비 비교

○ 인건비는 결빙지역의 항해 및 안정적인 연구활동 지원을 위하여 선원수를 36명(예비원 포함)에서 44명으로 확대하여 계상 : 1등 항해사(1), 갑판수(1), 기관수(1), 조리수(1), 예비원(2), 지원인력(2) 총 8명 추가

○ 총톤수가 아라온호 7,487톤에서 제2 쇄빙연구선이 12,000톤급으로 대형화 되었고 또한 경제속도가 12 노트에서 13노트로 증가되어 연료비 상승

○ 일반 운영비는 국내·외 여비 등 선종과 크기에 따라 차이가 있지만 비용의 차이는 아라온호와 비교하여 소폭 증가

○ 선박유지비는 선박의 크기, 엔진크기, 승선인원수 및 기항항만의 증가 등을 감안하여 계상

[표 8-135] 쇄빙연구선 운영예산 비교

구분	아라온호(천원)	제2 쇄빙연구선(천원)	비고(증가액, 천원)
인건비	2,524,995	2,971,121	446,126
유류비	5,699,150	10,678,150	4,979,000
일반 운영비	4,991,549	6,018,780	1,027,231
선박유지비	1,825,000	2,480,000	655,000
합계	**15,040,694**	**22,148,051**	**7,107,357**

나. 인건비

○ 제2 쇄빙연구선은 중대형급 선박이고 남북극 결빙지역을 항해하는 특수선으로 고립성, 위험성 등의 특화된 선박임으로 국내 선박중 임금대우가 높은 LNG 운반선의 기준을 적용

○ 육상지원 인력은 아라온호 지원인력과 공용으로 활용함으로 최소인원 배정

○ 선원법 및 남북극을 년간 운항일수에 따라 우수한 선원의 교체를 최소화하고 원활한 교대를 위하여 예비원을 확보하여 운영

○ 선원, 예비원, 지원인력의 인건비로 총 2,971,121 천원 계상

[표 8-136] 승무원, 지원인력의 구성 및 임금

구분	직급 및 업무	인원	연봉(천원)	연봉합계(천원)
선원	선장/기관장	2	174,377	348,754
	1항사/전기장	4	131,583	526,330
	2항사/2기사/전자사	3	88,428	265,283
	3항사/3기사/전기사	3	73,984	221,951
	갑판장/조기장/조리장	3	84,836	254,507
	갑판수/기관수/조리수	7	68,140	476,983
	갑판원/기관원/조리원	8	68,059	544,473
	합계 (①)	**30**	**689,406**	**2,638,281**
예비원 (②)		**12**	**17,737**	**212,840**
지원인력	운항, 공무	1	72,000	72,000
	행정	1	48,000	48,000
	합계 (③)	**2**	**120,000**	**120,000**
총 계 (① + ② + ③)				**2,971,121**

KOPRI 극지연구소

다. 유류비

○ 유류비는 이동항해 102일(동절기 연구항해 및 교육 8일 포함), 연구항해 89일(동절기 연구항해 제외 및 시험항해 포함), 기타 정박 174일(국내·외 기항, 교육, 입거수리 및 예비일 62일 포함) 기준으로 추정

○ 소모량은 이동항해시 49톤, 연구항해시 27톤, 정박시 8톤을 예상하여 적용

[표 8-137] 제2 쇄빙연구선 유류비 산출

추정금액 (천원)	산출내역	
	세부내역	금액(천원)
10,678,150	1. 이동항해 : 49톤 × 1,150천원 × 102일	5,747,700
	2. 연구항해 : 27톤 × 1,150천원 × 89일	2,763,450
	3. 정 박 : 8톤 × 1,150천원 × 174일	1,600,800
	4. 윤 활 유 : 230,000천원 × 2회	460,000
	5. 항 공 유 : 59,000리터 × 1.8천원	106,200

주1: 12,000톤급 Heavy Lift Carrier(DP1) 선박으로 12노트 운항 시 평균 45톤의 연료 소모
주2: 아라온호의 유류소모량은 이동항해 시 25톤, 연구항해 시 14톤(이동항해 대비 56%)임을 고려하여 제2 쇄빙연구선의 유류비 추정은 이동항해 시 49톤(주-1 및 속력 13kns 적용), 연구항해 시 27톤(이동항해 대비 56%) 적용
주3: 제2 쇄빙연구선에는 아라온호보다 더 큰 규모(1.6배)와 더 많은 첨단 전자제품을 구비하는 것을 고려하여, 아라온호의 정박 시 유류소모량(4톤)의 2배로 추정

라. 일반운영비

○ 전체적인 일반 운영비는 선종과 크기에 따라 차이가 있지만, 비용의 차이는 아라온호와 비교하여 소폭 증가

○ 아라온호에 비하여 승선 인원수(5명) 증가와 비례하여 승선식비와 승선수당 등 부대 비용 증가

○ 고가의 연구장비 탑재 수량증가와 선박의 크기가 대형화됨으로 이를 부보하기 위한 선박 보험비 1.9 억원 증가

[표 8-138] 제2 쇄빙연구선 일반운영비

구분	아라온(천원)	제2 쇄빙연구선 (천원)	비고(증가액, 천원)
국 내외 여비	269,100	341,000	71,900
장비임차료	1,004,500	1,162,500	158,000
세미나/자문/홍보/행사비	76,440	101,080	24,640
전문가 활용비	127,000	260,000	133,000
국내외 교육훈련비	108,100	133,000	24,900
통신비	583,000	661,200	78,200
승선수당	150,000	200,000	50,000
선박보험	600,000	795,000	195,000
일반수수료	812,000	820,000	8,000
용역수수료	439,740	480,000	40,260
복리후생비	10,000	10,000	0
주부식비	512,000	640,000	128,000
비품구입 및 기타소모품비	299,669	415,000	115,331
합 계	**4,991,549**	**6,018,780**	**1,027,231**

마. 선박유지비

○ 쇄빙연구선의 특성상 결빙해역에서 항해함에 따라 충격에 의한 선체손상이 예상되고 특히 선저 연구장비의 점검이 필요하기 때문에 수리 소요비용이 필요

○ 쇄빙연구선 및 전기추진 기관의 특성상 핵심 장비인 추진기, 추진기 조종 장치, 자동위치 유지장치 등은 매년 제작사에 의한 정밀점검 시행이 필요

[표 8-139] 제2 쇄빙연구선 선박유지비

구분	예산액	산출내역	
		세부내역	금액(천원)
선박수리비	1,720,000	도크사용료	150,000
		도장작업	200,000
		선체정비	100,000
		기관작업	300,000
		전기정비	20,000
		Drive 정비	20,000
		DP 점검	30,000
		엔진분해정비	200,000
		기관제어시스템정비	300,000
		보조기계정비	100,000
		기타정비	300,000
기관부속품비	760,000	추진기(R.R)	100,000
		추진기(ABB)	100,000
		주발전기	200,000
		기관보기	150,000
		항해장비	50,000
		지원장비	100,000
		일반	60,000
총 합계			**2,480,000**

KOPRI 극지연구소

바. 년간 운영비 추정

○ 약 303일을 운항함으로 년간 운영비는 22,148 백만원으로 추정되었으며 운영비 중 유류비가 약 48.2% 비율로 상당한 부분을 점유

○ 연간 운영비 22,148 백만원을 기준으로 매년 물가인상율 3%를 적용하면 26년간(건조 마지막 연도인 2021년도 포함)의 총 운영비는 약 819,570

백만원이 소요될 것으로 예상

[표 8-140] 년간 제2 쇄빙연구선 운영비

구분	제2 쇄빙연구선(천원)	비율	비 고
인건비	2,971,121	13.4 %	
유류비	10,678,150	48.2 %	MGO 사용
일반 운영비	6,018,780	27.2 %	
선박유지비	2,480,000	11.2 %	
합계	**22,148,051**		

사. 건조 마지막 년도(2021년) 운영비 추정

○ 건조 마지막 년도에는 선원의 투입(핵심요원은 년초 선투입, 시운전 시점 전원 투입)이 절대적으로 필요

○ 전반기(인도 전, 쇄빙시험 및 종합시험항해 수행 전) : 년간 운영비 중 인건비(2,971 백만원, 지원인력 인건비 제외)의 1/3(핵심요원 투입)을 적용하여 약 990백 만원 계상

○ 후반기(인도 후) : 쇄빙시험은 결빙해역으로 이동항해 후 수행이 불가피(아라온호의 경우에도 먼저 인도받은 후 극지현장에 도착하여 건조사 주관으로 쇄빙능력시험 수행)하며 이후 종합시험항해가 병행됨을 고려하여 추정되는 년간 운영비(22,148 백만원)를 적용하되 해당기간(6개월)을 반영하여 약 11,074 백만원 계상

○ 총 12,064 백만원으로 산정

6. 총사업비 및 운영비 추정 결과

가. 제 1단계 소요비용

[표 8-141] 제1단계 소요비용

항목	수량	단위	금액(백만원)	비고
개념 및 기본설계비	1	식	3,000	
건조 로드맵	1	식	500	
요소기술 개발	1	식	3,000	
실시설계비	1	식	3,000	
1단계 건조비 (A)	**9,500**			

나. 제 2단계 소요비용

[표 8-142] 제2단계 소요비용

구 분		금액(백만원)	비 고
건조비	공사비 (a)	186,828	
	제경비 (b)	28,262	
	원 가	215,090	(a+b)
	부가가치세	21,509	원가의 10%
	총 건조원가	**236,599**	
부대비용	감리비	2,945	
	감독비	28,499	10% 예비비 포함
	제세금	8,044	
	소계	**39,488**	
2단계 건조비 (B)	**276,087**		

KOPRI 극지연구소

다. 년간 운영비

[표 8-143] 년간 운영비

구분	제2 쇄빙연구선(천원)	비율	비 고
인건비	2,971,121	13.4 %	
유류비	10,678,150	48.2 %	MGO 사용
일반 운영비	6,018,780	27.2 %	
선박유지비	2,480,000	11.2 %	
합계	**22,148,051**		

라. 총사업비용 및 연간 운영비 추정

○ 제2 쇄빙연구선 건조사업의 총사업비는 285,587 백만원으로 추정되었으며, 2021년 운영비는 12,064 백만원, 2022년부터는 22,148 백만원으로 추정

[표 8-144] 건조사업 소요비용 추정결과

구분		금액(백만원)	비 고
제1단계	개념 및 기본설계비	3,000	
	건조 로드맵	500	
	요소기술 개발	3,000	
	실시설계비	3,000	
제2단계	건조비	236,599	
	부대비용	39,488	
총 건조사업비 합계		**285,587**	
년간 운영비	2021년도	12,064	
	2022년도	22,148	

※ 2014년 기준 추정금액. 실제 사업 진행시, 2017년 이후에는 물가상승, 인건비 등에 대한 변동사항을 반영하여 재조정 필요

제 4 절 제2 쇄빙연구선 건조사업의 편익 추정

1. 편익의 개요

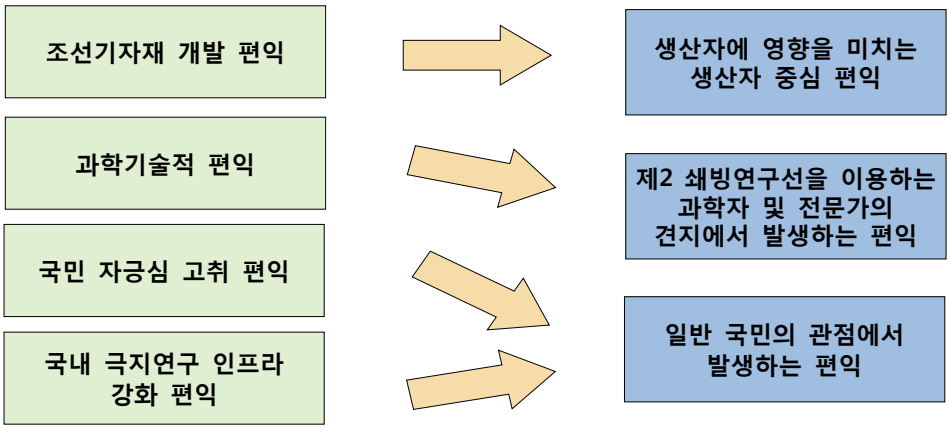
제2 쇄빙연구선 건조사업의 편익은 크게 직접적 경제적 편익인 조선기자재 개발 편익, 직접적 과학·기술적 편익인 과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 편익, 국내 극지연구 인프라 강화 편익의 4가지로 구성된다. 첫 번째 편익은 동 사업의 주요 활용방안 중 하나인 조선기자재 개발을 통한 연구개발사업의 효과가 생산자에게 미치는 생산자 중심의 편익이다. 두 번째 편익은 제2 쇄빙연구선을 이용하는 과학자 내지는 전문가의 견지에서 발생하는 편익이다. 세 번째 편익과 네 번째 편익은 일반 국민들의 입장에서 발생하는 편익이라 볼 수 있다.

① (조선기자재 개발 편익) 쇄빙연구선에 대형 기자재의 Winterization 기술 시험·평가가 가능한 Test-Bed 구축을 통해 기자재의 Winterization 기술을 검증하고 새로운 기술을 개발함으로써 발생하는 생산자 중심의 편익

② (과학기술적 편익) 북극 해역탐사 및 자원조사 연구, 북극 지구환경변화 연구, 북극 국제공동연구, 남극활동 등의 연구수행을 지원함으로써 연구논문, 특허, 기술이전 등이 증가하는 편익

③ (국민 자긍심 고취 편익) 북극지역 영향력 확대를 통해 북극권 국가와의 협력을 강화함으로써 국가의 위상을 제고하고 국민들의 자긍심 고취되는 편익

④ (국내 극지연구 인프라 강화 편익) 주요 선진국들이 2척 이상의 쇄빙연구선을 보유하고 있음을 감안할 때, 국내 극지연구 인프라가 강화되는 편익



<그림 8-189. 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제적 편익의 범주>

R&D 사업에 대한 기존 예비타당성조사 사례 중에서 제2 쇄빙연구선 건조사업과 가장 유사한 사업은 대형 해양과학연구선 사업이다. 한국개발연구원(2009)의『대형 해양과학연구선 사업 예비타당성조사 보고서』도 살펴보면 과학기술적 편익을 주요하게 다뤘으며 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익은 직접 추정하기 보다는 정책적 분석의 특수평가항목으로 반영한 바 있다. 따라서 본 연구에서의 경제적 편익 추정 구도는 기존 예비타당성조사 사례와도 부합한다.

KOPRI 극지연구소

2. 조선기자재 개발 편익의 추정

가. 편익 추정의 개요

제2 쇄빙연구선의 주요 활용방안 중 하나인 조선기자재 극지 현장 Test Bed 활용은 아라온호와의 차별화 전략으로써, Winterization(선박기자재의 방한기술) 성능시험 Test Bed 장비를 탑재하여 극지운항관련 기관, 기자재 및 부품의 Winterization 성능을 실해역에서 테스트하고 실험 결과를 통해 조선소, 기자재 업체 및 안전성평가를 통한 Winterization 요소기술 및 사업화 제품 식별을 목표로 하고 있다.

대형 선박 기자재의 Winterization 기술 시험·평가 가능한 Test Bed 구축을 통해 실해역 선박의 구조강도 및 선체 재료 실험과 선박 건조 기자재의 Winterization 기술을 검증하고 새로운 기술 개발을 통해 세계 기술수준 대비 100% 기술력을 확보하고자 한다. 본 활용방안은 조선기자재의 생산자에 영향을 미치는 생산자 중심 편익 즉, 직접적 경제적 편익에 해당하며, 따라서 본 편익분석은 연구개발사업의 편익 중 시장수요접근법을 활용하여 생산자 중심 편익인 가치창출 편익 분석으로 접근하였다.

KOPRI 극지연구소

나. 조선기자재 개발 편익 산출

동 연구개발사업의 추진을 위해 조선 선두 업체와 조선기자재 관련 중소기업을 대상으로 2014년 12월 8일 “제2 쇄빙연구선 내한 기자재 국산화 세미나”를 개최하였으며 54개 업체가 참석하여 조선기자재 연구개발의 필요성을 논의 하였다. 제2 쇄빙연구선을 활용하여 수행할 조선기자재 개발사업의 주요 과제는 극저온, LNG 기자재, 드릴링 패키지, 해양 Topside 기자재 등 엔지니어링 기반의 국산화 개발 활동으로 DSME, 연구기관, 클러스트, 국책과제 등과 연계하여 엔지니어링 기술을 확보하고 기자재업체에 기술 이전 및 공급이다.

동 연구개발사업의 주요 활용방안인 조선기자재 개발 편익은 미래 시장규모 추정액 중에서 연구개발이 기여한 값으로서 하기식에 따라 정의하였다.

○ 편익 = (1)미래시장규모 × (2)시장점유율 × (2)사업기여율 × (3)R&D기여율 × (4)R&D사업화기여율 × (5)부가가치율

(1) 미래시장규모 및 점유율

조선기자재는 선박의 건조와 수리에 사용되는 모든 기계와 원자재를 총칭하는 것으로 여기에는 선각과 상부구조를 형성하는데 필요한 항해, 조타장치, 그 외 하역장비, 어로장비 등의 의장품이 포함된다. 조선기자재 산업은 다종다양한 기자재를 유기적으로 조합 및 조립하여 원하는 성능의 선박을 건조하는 조선산업의 후방 산업으로 선종과 선형에 따라 다소차이가 있으나 약 420여종에 달하는 이를 용도기능별로 분류하면 대분류로서 선체부, 기관부, 의장부, 전기・전자부로 대별된다. 한국조선해양플랜트 협회에 따르면 조선기자재 시장규모는 2005년부터 2011년까지 연평균 10%의 성장세를 보이고 있으며 특히 수출 비중은 동기간 26%의 성장세를 보이고 있다. 동 연구개발사업은 조선기자재 개발을 통한 관련 조선기자재의 국산화를 목표로 하고 있으며, LNG선박, Drillship, 그리고 특수 선박을 주요 수요처로 하고 있다.

동 연구개발사업은 조선기자재 시장을 대상으로 하며 특히 LNG선박, Drillship 및 특수 선박 등이 주요 수요처이므로 한국 수주량 중 선종별 비중을 고려하여 미래시장규모를 추정하였다. 조선기자재 시장 규모와 조선업 시황 자료는 한국조선해양플랜트 협회에서 발표하는 『2014년 조선사자료집』을 활용하였다.

미래시장 규모 예측은 조선기자재 시장의 경우 2005년부터 2011년 자료 중 최근 기준으로 2009년부터 2011년까지 3개년 연평균 증가율인 1.2%를 적용하였다. 동 연구개발사업을 통한 제품매출은 국내에서 건조되는 선박에 투입되는 조선기자재의 국산화가 목표이므로 국내 매출로 한정하기 위해 조선기자재 시장의 내수 비중과 연평균 증가율을 고려하였다.

[표 8-145] 조선기자재 시장 규모 및 국내 시장 규모

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
전체시장	145.5	147.2	148.9	150.7	152.4	154.2	156.0	157.8	159.7	161.5	163.4
내수비중	75.7%	74.7%	73.7%	72.7%	71.8%	70.8%	69.9%	68.9%	68.0%	67.1%	66.2%
국내시장 규모	110.2	110.0	109.8	109.6	109.4	109.2	109.0	108.8	108.6	108.4	108.2
구분	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
전체시장	165.3	167.3	169.2	171.2	173.2	175.2	177.3	179.3	181.4	183.5	185.7
내수비중	65.3%	64.4%	63.6%	62.7%	61.9%	61.1%	60.3%	59.4%	58.7%	57.9%	57.1%
국내시장 규모	108.0	107.8	107.6	107.4	107.2	107.0	106.8	106.6	106.4	106.2	106.0

단위: 천억원

추가적으로 상기 제시된 LNG선박, Drillship 및 특수 선박이 주요 수요처이므로 해당 선박에 한정하여 연구 개발된 제품이 납품되는 것을 고려해야 한다. 따라서 연도별 한국이 수주한 선박 자료에서 선종별 비중을 고려하였으며, Drillship의 집계가 시작된 2011년부터 2013년까지 각 선종별 비중의 평균값을 적용하였다.

[표 8-146] 한국 수주량 중 선종별 비중

구분	2011	2012	2013	평균
Tanker	4.5%	15.3%	5.0%	8.2%
Product Carrier	2.1%	11.7%	20.6%	11.5%
Chemical Tanker	0.1%	0.3%	0.0%	0.1%
Bulk Carrier	3.7%	1.7%	8.2%	4.5%
Container Ship	45.0%	12.5%	29.4%	29.0%
LNG Carrier	29.1%	26.3%	16.6%	24.0%
LPG Carrier	1.0%	4.9%	7.7%	4.5%
Car Carrier	0.8%	5.9%	4.2%	3.6%
Drillship	9.1%	9.5%	3.8%	7.5%
기타	4.6%	11.9%	4.6%	7.1%
합계	100%	100%	100%	100%

* 기타는 특수선 포함

KOPRI 극지연구소

시장 점유율은 LNG Carrier, LPG Carrier, Drillship, 기타선박의 3개년 평균 비중의 합인 43.1%을 적용하였으며, 위에서 산출된 조선기자재 시장규모, 조선기자재 국내시장 비중, 그리고 한국 수주량 중 선종별 비중을 적용하여 동 사업을 통한 조선기자재 관련 향후 매출 규모를 산출하였다.

[표 8-147] 조선기자재개발 사업의 매출 예상규모

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
매출액	47.5	47.4	47.3	47.2	47.2	47.1	47.0	46.9	46.8	46.7	46.6
구분	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
전체시장	46.6	46.5	46.5	46.4	46.3	46.2	46.1	46.0	45.9	45.9	45.8

단위: 천억원

(2) 사업기여율

조선기자재개발 사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해 대상 시장

또는 산업분야의 연구개발투자규모 중에서 동 연구개발사업이 차지하는 비중을 고려하여 산출하였다. 대상 시장 또는 산업분야는 조선산업분야로 한정하고 한국조선해양플랜트 협회에서 발표하는 『2014년 조선사자료집』에서 조선산업분야 연구개발비 추이 자료를 활용하였으며, 동 연구개발사업이 투입하는 연구개발비 규모는 제2 쇄빙연구선이 순수 조선기자재개발에만 투입되는 비용으로 하였다.

조선산업분야 연구개발비는 발표자료 중 최근 기준인 2013년 2,749억원을 적용하였다. 제2 쇄빙연구선은 조선기자재개발 사업을 위해 전체 운항일수 중 60일을 조선기자재 개발만을 위해 활용할 계획이며, 제2 쇄빙연구선의 건조가 완료되고 운항이 시작되는 2022년부터 2046년까지의 총 운영비와 동 사업을 위해 투입되는 일수를 고려하여 산출하였다. 총 운영비와 연간 운항일수를 고려한 1일당 운영비는 77 백만원으로 동 사업을 위한 운항일수를 적용하여 산출한 비용은 115,571 백만원이다. 여기에 사회적 할인율 5.5%를 고려한 현재가치는 42,628 백만원이다. 따라서 사업기여율은 조선 산업분야 연구개발비 대비 동 연구개발사업비의 비중인 15.5%(426억원/2,749억원)로 추정하였다.

(3) R&D기여율

R&D기여율은 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표이다. 해당 사업의 경제적 가치를 정확하게 추정하기 위해 이를 활용하지만, R&D기여율을 정량적인 근거를 토대로 세부 기술 분야별로 산정하는 것이 어렵기 때문에 거시적 관점의 R&D기여율이 일반적으로 활용된다.

국내에서의 거시경제적 측면에서의 연구개발투자의 탄력성 추정은 28.1%(신태영, 2004), 10.9%(하준경, 2005) 등이 있으나 최근 수치를 반영하지 못하는 한계가 있다. 정확한 R&D기여율을 도출하기 위해서 대상 기술을 상용화하기 위해 필요한 비 R&D 비용을 추정하는 것이 적절하나 이러한 자료 획득이 어려울 뿐만 아니라 근거가 없는 경우가 많기 때문에 R&D기여율 수치를 적용할 수 밖에 없는 경우가 많다. 따라서 동 사업의 조사 착수 시점을 기준으로 가장 최근에 발표된 35.4%(2013년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 “제3차 과학기술기본계획”)를 동 연구개발사업의 R&D기여율로 적용하였다.

(4) R&D사업화성공률

국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 편익창출로 이어지기 위해서는 기술의 실증 및 상용화의 과정을 거치게 되며, 이러한 과정에서 존재하는 불확실성을 반영하기 위해 R&D사업화성공률이라는 변수를 고려 해야 한다.

조선기자재개발 사업은 제2 쇄빙연구선을 활용하여 진행되는 사업으로 극지에서의 연구개발을 위해 제2 쇄빙연구선이 반드시 필요하며, 참여하는 주요 주체들이 중소기업들이다. 따라서 동 연구개발사업은 예비타당성 분석 시 주로 활용하고 있는 R&D사업화성공률 32.4%(“국가연구개발사업 효과 분석 시스템 개발”, KISTEP, 2009)와 국가과학기술정보서비스의 2013년 연구수행주체별 사업화 성과현황에서 중소기업이 차지하는 비중인 58.9%를 적용하여 19.1%의 R&D사업화성공률을 산출하였다.

(5) 부가가치율

편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 산정되기 때문에 부가가치율을 고려해야 한다. 부가가치율은 매출액 중에서 실제 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율을 의미하며, 조선기자재 개발 사업과 관련된 부가가치율은 조사 착수 시점의 최신 한국은행 산업연관표의 투입산출표 중 기본부문의 기초가격평가표를 적용하였다.

이에 2014년 한국은행이 발표한 2012년 기준 산업연관표의 총 투입금액과 총 부가가치금액을 적용하였으며 산출 공식은 다음과 같다. 산출된 부가가치율은 22.5%이다

- 부가가치율 (%) = (부가가치총액 ÷ 총투입액) × 100
- 산업연관표 통합소분류 선박 부가가치계 : 134,233 억원
- 산업연관표 통합소분류 선박 총투입계 : 597,739 억원

(6) 기술수명주기 및 연구 개발 기간

기술수명주기와 연구개발기간은 기준선 분석 즉, 편익기간을 산출하기 위해 필요한 항목이다. 기술수명주기는 한국과학기술정보연구원의 "기술가치평가시스템(Star Value Site)"을 이용하여 조선기자재와 연관된 제품을 대상으로 10 년의 기술수명주기를 산출하였다. 산출에 이용된 IPC(International Patent Classiciation) 키워드와 수명주기 값들은 다음과 같다.

[표 8-148] 조선기자재 관련 제품 기술수명주기

IPC	설명	중앙값
B63B	선박 또는 그 밖에 물에 뜨는 구조물; 선적을 위한 장치(환기, 난방...	11
B63C	선박의 진수, 견인에 의한 운반, 드라이 독크에의 입출, 수난구조...	10
B63H	선박의 추진 또는 조타	9
B63J	선박용 보조장치	10
E02B	수공(선박의 리프트(Lift) E02C; 준설 E02F)	10

연구개발 기간은 금융감독원의 전자공시시스템에서 조회가 가능한 조선기자재 업체들의 사업보고서를 통해 연구개발사업 관련 투자내역, 연구개발과제 및 개발 기간 등을 고려하여 산출하였다. 조회를 통해 조사된 조선기자재와 관련된 연구개발은 11건이며 평균 26개월의 연구개발기간이 소요되었다. 동 연구개발사업에는 3년을 적용하였다.

[표 8-149] 조선기자재 관련 제품 연구개발기간

업체명	개발기간	연구개발 과제
한라IMS	21개월	선박의 펌프밸브레벨통합제어를 위한 DualLink형 Computerized 지능제어시스템 개발 (지식경제부 지역산업선도기술개발사업)
한라IMS	26개월	VRC시스템의 기능성 밸브 액츄에이터 및 정밀 모지셔닝을 위한 유량계의 개발
해덕파워웨이	10개월	선박대형구조물의 내면가공용 고정밀 자동연삭장치의 개발
해덕파워웨이	15개월	대형컨테이너선용 고성능 타 개발
소셜미디어구십구	18개월	실린더라이너용 캐스팅의 자체개발을 통해 원가절감을 도모하고 우수한 품질의 캐스팅 확보로 주물단계에서부터의 품질의 차별화
소셜미디어구십구	35개월	금형주조법을 이용한 내경 460mm 이상 실린더라이너 생산기술 개발
대양전기공업	10개월	해양플랜트에 적용될 방폭형광등
대양전기공업	11개월	선박용 고신뢰성 반도체조명 시스템 개발
대양전기공업	35개월	선방용 차세대 고출력 LED조명기술 개발
대양전기공업	80개월	신조 함정 통합통신체계 통신네트워크 개발
대양전기공업	23개월	고온고압 엔진용 입력 측정 MEMS 센서개발 및 극환경용 패키징 기술 개발 등

(6) 편익 도출 (생산자 중심 편익 산출)

조선기자재개발의 생산자 중심 편익 도출을 위해 산출된 주요 가정 및 항목들은 다음과 같다.

[표 8-150] 편익 산출 항목

구분	내용
사업기여율	15.5%
R&D기여율	35.4%
R&D사업화성공률	19.1%
부가가치율	22.5%
연구개발기간	3년
기술수명주기	10년
편익발생시점	2025년

제2 쇄빙연구선은 2021년 선박 건조를 완료하고 2022년부터 운영을 시작할 예정이다. 연구개발기간 3년과 기술수명주기 10년을 고려하며, 이에 따라 동 연구개발사업의 편익은 2025년부터 2034년까지 발생된다. 편익기간과 사회적 할인율 5.5%를 고려한 편익규모는 편익발생기간 10년 동안 약 480억원 규모이다.

KOPRI 극지연구소

[표 8-151] 조선기가재개발 사업의 편익 추정

구분	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	합계
매출액 (천억원)	46.6	46.6	46.5	46.5	46.4	46.3	46.2	46.1	46.0	45.9	463.2
편익 (억원)	109.6	109.4	109.2	109.0	108.8	108.6	108.4	108.2	108.0	107.8	1,087
PV (억원)	60.8	57.6	54.5	51.5	48.8	46.1	43.6	41.3	39.1	37.0	480.2

3. 과학기술적 편익의 추정

가. 편익 추정의 개요

한국개발연구원(2009)의『대형 해양과학연구선 사업 예비타당성조사 보고서』에서는 과학기술적 편익의 추정을 위해 전문가를 대상으로 한 컨조인트 분석법(conjoint analysis)을 적용했다. 이에 본 사업에서도 특별하게 고안된 설문지를 활용하여 컨조인트 분석법을 적용한다. 앞서 제시된 R&D 사업의 경제성 분석 흐름도와 같이, KISTEP의 R&D 사업 예타 표준지침(제1판)에서는 시장수요로부터 편익에 대한 판단이 어려운 경우 진술선호 접근법의 적용을 허용하고 있다. 특히 컨조인트 분석법은 진술선호 접근법의 하나이다.

제2 쇄빙연구선과 같이 시장에서 거래가 되지 않거나, 현존하지 않는 재화에 대한 과학기술적 편익을 추정하기 위해서는 진술선호 접근법인 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method)과 컨조인트 분석법이 활용된다. CVM은 대상 재화에 대한 지불의사를 응답자에게 직접 질문하는 방법으로 비시장재화의 가치를 측정하는 주요 방법이지만, 가치측정의 대상이 단일 속성으로 이루어진 비시장재화에 한정되기 때문에 다양한 속성을 가진 재화의 가치측정이나 다수의 대안을 평가하는 상황에서는 그 적용이 쉽지 않다.

반면 컨조인트 분석법은 응답자에게 하나 이상의 속성들로 구성된 가상의 대안을 제시하여 응답자의 선호정보를 도출하고, 이로부터 응답자의 효용함수를 추정하여 가치측정 재화의 속성에 대한 화폐적 가치를 추정할 수 있으므로 CVM의 한계를 극복할 수 있다고 알려져 있다. 제2 쇄빙연구선을 이용한 과학연구와 이로부터 파생되는 연구 성과에 대한 가치를 구체적으로 추정하기 위해서는 CVM보다는 컨조인트 분석을 적용하되 응답의 대상을 일반 국민이 아닌 전문가를 대상으로 하는 것이 바람직하다. 이러한 접근은 한국개발연구원(2009)의『대형 해양과학연구선 사업 예비타당성조사 보고서』에서 택한 방식과 정확하게 일치한다.

제2 쇄빙연구선의 가치를 올바르게 평가하기 위해 전문가를 대상으로 설문을 진행하고자 하였으며, 설문 대상자는 기존 아라온호의 활용 경험이 있거나 제2 쇄빙연구선을 활용할 가능성이 있는 전문가, 해양학자 등으로 구성하였다.

나. 컨조인트 분석의 적용

(1) 제2 쇄빙연구선 건조사업의 속성 및 수준 선정

컨조인트 분석은 임의의 재화가 특정 속성들의 결합으로 이루어졌다고 가정하여, 각 속성들의 조합으로부터 재화를 나타내는 가상의 대안집합을 구성하는 것으로부터 출발한다. 대안집합이 구성되면 설문을 통해 각각의 대안에 대한 응답자의 선호자료를 얻는다. 이후 얻어진 응답자의 선호자료는 다항로짓모형(multinomial logit model)을 이용하여 각 속성별 편익을 추정하는데 활용된다.

제2 쇄빙연구선 건조사업의 과학기술적 편익을 추정하기 위해서 먼저 제2 쇄빙연구선을 설명하는 속성들과 각 속성들에 대한 수준을 정하는 것이 필요하다. 제2 쇄빙연구선 건조사업은 다양한 특성을 가지므로, 이러한 특성을 반영할 수 있는 적절한 속성의 선정 및 측정가능한 개념으로 속성을 정의하는 것이 중요하다.

현재 우리나라의 최초 쇄빙연구선인 아라온호는 7천톤급으로 남·북극 결빙해역에서의 독자적인 극지연구 수행 및 남·북극 기지에 대한 보급 및 남극 장보고 과학기지 건설을 지원하고 있다. 아라온호가 수행하는 주요 연구분야는 극지환경변화 모니터링, 대기환경 및 오존층 연구, 고해양 및 고기후 연구, 해양생물자원 개발연구, 지질환경 및 자원특성 등이다. 그러한 아라온호는 남·북극에서 과학활동 및 물자보급·지원 등을 수행하고 있는데, 운행일수가 포화상태이다. 극지역, 특히 북극연구에 대한 수요가 확대되고 있는 반면에 아라온호의 수용능력은 한계에 도달하여 남극과 북극에서 연구활동을 동시에 수행하기가 불가능한 실정이다.

제2 쇄빙연구선은 극지에서 대한민국의 북극정책을 지원하고 극지 진출역량 강화하고자 한다. 구체적으로 북극해 개발, 남북극해 해양조사 등 역할 다양화와 활동해역 증대, 북극항로 결빙해역 항행선박 필요시 지원, 유사시 구난활동을 수행할 수 있다. 또한 남북극과학기지 보급지원활동 및 연구활동을 동시에 수행하고, 강화된 쇄빙능력으로 연구경쟁력과 안전운항능력을 제고하여 연구의 질을 높이는 것이 목적이다.

분석대상 재화에 대해 고려하는 속성의 개수가 작아지면 응답자의 인식상의 부담은 경감되지만 얻게 되는 정보가 부족하며, 속성의 개수가 많아지면 얻게 되

는 정보는 많아지지만 응답자의 인식상의 부담은 커지는 문제를 감안하면서 속성의 수를 결정할 필요가 있다. 즉 얻게 되는 정보와 응답자의 인식상의 부담은 서로 상충관계(trade-off)에 놓여 있기 때문에 적절한 수준에서 타협하는 것이 요구된다.

본 연구의 평가 대상재화인 제2 쇄빙연구선은 다양한 속성을 가질 수 있다. 따라서 의미있고 신뢰성 있는 편익값을 도출하기 위해서는, 다양한 속성 중에서 실제적으로도 중요하고 응답자에게도 중요할 수 있는 속성을 선정하는 것이 필요하다. 이를 위해, 해당 분야 전문가의 협의를 통해 총 9가지 속성과 수준을 결정하였다. 최종적으로 선택된 속성은 [표 8-154]와 같으며, 실제로 설문조사 시 이 표를 응답자에게 제시하였다.

한국개발연구원(2009)의『대형 해양과학연구선 사업 예비타당성조사 보고서』에서 제시된 편익의 구성요소, 사업비용 등을 참고하여 제2 쇄빙연구선 건조사업의 각 속성과 수준을 결정하였다. 전문가 조사를 통해 각 속성이 기대할 수 있는 최고수준과 최저수준을 식별하였고, 이를 바탕으로 개별 속성의 나머지 수준을 고려하였다.

속성변수와 개별 속성변수의 평가 단위가 결정되면, 조건부 선택법 지문을 구성하기 위해 고려되어야 할 요소는 속성수준의 수와 범위이다. 따라서 본 연구에서는 조건부 선택법 질문에 대한 응답자의 의미있고 정확한 판단을 위하여 수행연구에 대해서는 그 수준을 2개로 하였고, 제2 쇄빙연구선의 규모 및 비용 속성변수 등에 대해서는 그 수준을 3~5개의 속성 수를 지정하였다. 각 수준에서의 개별 속성 변수의 범위에 대한 결정은 문헌조사와 해당 분야 전문가와의 협의를 통해 이루어졌다.

건조되는 제2 쇄빙연구선의 규모 속성으로는 10,000톤급, 12,000톤급, 14,000톤급을 고려하였다. 제2 쇄빙연구선을 통해 (1) 북극 해역 탐사 및 자원조사, (2) 북극 지구환경변화 연구, (3) 북극에 대한 국제공동연구, (4) 남극 연구활동 지원의 총 4가지 연구가 추가적으로 수행할 수 있다. 제2 쇄빙연구선이 건조된다면, 귀속된 특정기관 외에 다른 연구기관이나 대학 등이 1년 중 독자적으로 활용할 수 있는 기간은 최소 0개월부터 최대 6개월까지 할 수 있다. 제2 쇄빙연구선을 활용하여 과학연구를 수행할 때 1년당 발생할 연구성과로 (1) 논문성과와 (2) 지적재산권 성과를 각각 기대할 수 있다. 논문성과의 경우 매년 발생하는 논문(국

내+국외) 발표 성과를 200편, 300편, 500편으로 구분하였고, 지적재산권 성과는 매년 발생하는 국내외 특허출원(등록) 성과를 100건, 200건, 400건으로 제시하였다. 제2 쇄빙연구선의 건조비용과 건조 이후 25년 동안 운영에 소요되는 비용은 3개로 하되 7,000억원, 8,000억원, 10,000억원(1조원)으로 하였다.

[표 8-152] 제2 쇄빙연구선 건조사업의 속성과 수준

속성 (attribute)	설명(description)	수준(level)
제2 쇄빙연구선의 규모	건조되는 제2 쇄빙연구선의 규모를 나타냅니다.	▪ 10,000톤급 ▪ 12,000톤급 ▪ 14,000톤급
수행연구	제2 쇄빙연구선을 통해 추가적으로 연구할 수 있는 분야입니다.	
	(1) 북극 해역 탐사 및 자원조사	▪ 수행함 ▪ 수행안함
	(2) 북극 지구환경변화 연구	▪ 수행함 ▪ 수행안함
	(3) 북극에 대한 국제공동연구	▪ 수행함 ▪ 수행안함
	(4) 남극 연구활동 지원	▪ 수행함 ▪ 수행안함
제2 쇄빙연구선의 외부 활용	제2 쇄빙연구선이 귀속된 특정기관 외에 다른 연구기관이나 대학 등이 1년 중 독자적으로 쇄빙연구선을 활용할 수 있는 기간을 의미합니다.	▪ 0개월 ▪ 1개월 ▪ 3개월 ▪ 6개월
제2 쇄빙연구선의 활용을 통한 연구성과	제2 쇄빙연구선을 활용하여 과학연구를 수행할 때 발생하는 1년당 연구성과를 의미합니다.	
	(1) 논문성과 매년 발생하는 논문(국내+국외) 발표 성과	▪ 200편 ▪ 300편 ▪ 500편
	(2) 지적재산권 성과 매년 발생하는 국내외 특허출원(등록) 성과	▪ 100건 ▪ 200건 ▪ 400건
제2 쇄빙연구선 사업 비용	제2 쇄빙연구선의 건조비용과 건조 이후 25년 동안 운영에 소요되는 비용의 합계	▪ 7,000억원 ▪ 8,000억원 ▪ 10,000억원(1조원)

KOPRI 극지연구소

(2) 선택대안집합 설계와 구성

제2 쇄빙연구선 건조사업의 과학기술적 편익 추정을 위해 적용되는 조건부 선택법은 필수적으로 자료생성과정(data generating process)을 거치는 구조화된 방법이다. 이 단계는 여러 속성변수 및 수준들로 구성된 기상서비스 대안들이 응답자의 선택확률에 영향을 주도록 선택대안집합(choice sets)을 설계하는 것이며, 주의 깊게 고안된 실험계획법(experimental design)에 의존한다. 즉, 조건부 선택법은 다른 대안에 의해 변함이 없는 모수 추정치를 얻기 위해 선택대안집합들을 유도하는 데 있어 통계적인 설계이론을 사용한다.

본 연구는 응답자들이 제시된 여러 대안들에 대해 한 개의 대안을 선택하는 행위로부터 개별 속성변수들의 수준변화에 따른 가격효과들을 분리해 내기 위해 개별 속성간의 직교성(orthogonality)을 보장해주는 주효과 직교설계(orthogonal main effects design) 방법을 이용한다. 이러한 직교설계방법은 실제분석에서 속성간의 높은 상관관계가 문제가 되는 것으로 알려진 현시선호 확률효용모형의 단점을 개선하여 준다(Hanley et al., 1998).

앞서 언급하였듯이 본 연구에서 다루는 9개의 속성에 대해 각각 2~4개의 수준이 존재한다. 조건부 선택법 질문에서 응답자들은 일반적으로 여러 개의 대안들에 직면하게 된다. 여기에서는 응답자들의 대안선택에 대한 인식상의 부담을 줄이고 조건부 선택자료를 이용하여 다항로짓모형(multinomial logit model)을 추정할 때 직면하는 '관련 없는 대안으로부터의 독립성(Independence from Irrelevant Alternatives; IIA)' 문제를 해결하기 위해 응답자에게 제2 쇄빙연구선이 건조되지 않는 경우를 의미하는 현재상태 대안과 제2 쇄빙연구선이 건조되는 대안 4가지의 총 5가지를 제시하고자 한다.

선택대안집합을 구성하기 위해서는 너무나도 많은 선택대안집합들이 존재한다.[15] 그러나 응답자에게 모든 선택대안집합들을 한꺼번에 질문하는 것은 비현실적이기 때문에 모형의 추정이 가능하도록 하는 최소 선택대안집합을 전체 대안집합으로부터 도출하였다. 이를 위해 SPSS 패키지를 사용하여 주효과 직교설계를 수행하였다.[16]

15) 가격속성의 경우 원래 속성수준의 개수가 4개이지만 0원을 제외한 3개에 대해서만 직교설계를 한다.

16) 속성들간에 심각한 상호작용(interactions)이 존재한다면, 주효과 직교설계를 사용하여 얻어진 결과들은 편의(bias)될 수 있다. 이 경우 그러한 상호작용들을 효용함수(strictly additive equation보다는 polynomial equation)로 구성하는 것이 더욱 정확할 것이다. 불행히도 모든 상호작용을 포함하는 것은 다음의 두 가지 이유 때문에 종종 기피된다. 첫째, 모든 가능한 속성간의 상호작용을 고려하는 것은 측정되는 효과들의 수를 상당히 증가시킬 뿐만 아니라 모형의

SPSS를 활용한 주효과 직교설계로부터 32개의 선택대안이 도출되었으며 4개씩 쌍을 짓고 여기에다 현재 상태를 포함하여 5개가 하나의 선택대안집합이 되도록 구성하였더니 총 8개의 선택대안집합들이 도출되었다. 이 8개의 대안집합이 각 응답자에게 제시되었다. 모든 응답자들이 제시된 질문에 대해 현재상태 대안과 다양한 속성 수준으로 정의된 개선된 제2 쇄빙연구선 대안 4개 중에서 하나를 선택하도록 질문하였다. [표 8-155]는 실제 설문에서 사용된 하나의 선택대안집합을 나타내고 있다.

[표 8-153] 실제 설문에 사용된 선택대안 집합의 예시

선택 1		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	건조 안함
쇄빙연구선 규모(톤)		14,000	10,000	10,000	10,000	0
수행 연구	북극해역 탐사 및 자원조사	O	X	O	X	X
	북극 지구환경변화 연구	O	X	X	O	X
	북극에 대한 국제공동연구	X	X	O	X	X
	남극 연구활동 지원	O	O	X	X	X
매년 외부기관의 활용일수		3개월	6개월	3개월	1개월	0
연구 성과	매년 국내외 논문발표 편수	300편	500편	200편	300편	0
	매년 특허 출원(등록) 건수	200건	200건	200건	100건	0
사업비용(건조비+25년간 운영비)		7,000억원	7,000억원	1조원	8,000억원	0
하나만 골라 V로 체크해 주십시오		( )	( )	( )	( )	( )

(3) 설문조사 실시

학계, 연구기관, 기업에 등 총 500여 명의 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 설문조사 시기는 2014년 3월이며, 전문조사업체에 의뢰하되 이메일로 설문의사를 타진한 후 동의하면 설문시작하기를 눌러 웹에 접속하여 마우스로 클릭하면서 넘어가는 방식의 조사를 수행하였다. 총 123명의 설문조사에 응답하였으며 1인당 8개의 선택집합에서 하나씩 골라 총 984개(=123개×8개)의 자료를 얻을 수 있었다.

계산이 어렵게 만든다. 둘째, 과도한 모형의 조정은 단순한 직교설계에 비교하여 볼 때 설명력이 크게 떨어진다 (Elrod et al., 1992).

다. 실증분석 결과

(1) 추정모형

컨조인트 분석을 위한 기본적인 모형은 확률모형을 이용하여 정형화될 수 있다. McFadden(1974)에 의해 개발된 다항로짓모형(multinomial logit model)은 대안의 구성요소인 개별 속성이 응답자의 선택확률에 어떻게 영향을 주는지를 모형화하는 데 있어 계량경제학적인 체계를 제공한다. 다항로짓모형은 '비관련 대안의 독립성(independence of irrelevant alternatives, IIA)'을 따른다고 가정한다. 예를 들어, A라는 대안을 선택할 확률 대 B라는 대안을 선택할 확률의 비율은 다른 C라는 대안의 존재 여부에 영향을 받지 않는다는 것이다. 이 모형에서 가장 기본이 되는 것은 개별 응답자의 간접효용함수이다. 응답자 i가 직면한 선택대안집합 C_i 내에 있는 한 선택대안 j로부터 얻는 간접효용함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$U_{ij} = V_{ij}\,(Z_{ij}, S_i) + e_{ij} \tag{1}$$

여기서 V_{ij}는 관측이 가능한 확정적(deterministic) 부분으로 선택대안의 속성(Z_{ij})과 개별 응답자들의 특성(S_i)의 함수이다. e_{ij}는 관측이 불가능한 확률적(stochastic) 부분이다. 응답자 i가 선택대안집합 C_i내의 모든 선택대안들에 대해 $U_{ij} > U_{ik}\ (k \in C_i, k \neq j)$을 만족한다면, 선택대안 j를 선택할 것이다. 이 때, 응답자 i가 선택대안 j를 선택할 확률은 다음과 같이 정형화된다.

$$\Pr_i(j|C_i) = \Pr\{V_{ij} + e_{ij} > V_{ik} + e_{ik}\} = \Pr\{V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}\} \tag{2}$$

식 (2)를 추정하기 위해서는 다항로짓모형 하에서 오차항의 분포는 통상 독립적(independent)이며 일치적(identical)인 제 I형태 극치 분포(Type I extreme value distribution)를 따른다고 가정된다(McFadden, 1974). 이 경우 응답자 i가 선택대안 j를 선택할 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Pr_i(j|C_i) = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(V_{ik})} \tag{3}$$

컨조인트 분석 질문으로부터 얻어진 각 응답자의 응답은 응답자의 효용극대화를 위한 선택결과로서 해석될 수 있다. 본 연구에서의 컨조인트 분석 질문은 응답자에게 5개의 대안들을 제시하고, 응답자가 주어진 대안에서의 속성과 가격

사이의 상충관계를 고려하여 5개의 대안들 중 1개의 대안을 선택하도록 하고 있다. 이 때, 컨조인트 분석 질문에 직면한 개별 응답자 $i=1,\cdots,N$의 선택대안 j에 대한 선택결과는 '예' 또는 '아니오'가 된다. 이와 관련된 변수 Y_{ij}를 $Y_{ij}=\mathbf{1}(i$번째 응답자가 j번째 대안을 선택)로 정의한다. 여기서 $\mathbf{1}(\cdot)$은 인디케이터 함수(indicator function)로 괄호 안이 참이면 1이 되고 아니면 0이 된다. 즉, Y_{ij}는 i번째 응답자가 j번째 선택대안을 선택하였다면 1을 취하고, 그렇지 않으면 0을 취한다. 따라서 본 컨조인트 분석의 로그-우도함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\ln L=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{5}\{Y_{ij}\cdot\ln[\Pr_i(j|C)]\} \quad (4)$$

식 (4)에 최우추정법을 적용하면 필요한 모수에 대한 추정치를 얻을 수 있다 (Stern, 1997; Greene, 2000). 한편 간접효용함수의 관측가능한 부분인 V_{ij}를 다음과 같이 정형화할 수 있다.[17)]

$$V_{ij}=\beta_1 Z_{1,ij}+\beta_2 Z_{2,ij}+\ldots+\beta_9 Z_{9,ij} \quad (5)$$

Z는 모두 속성벡터로서 9개는 모두 [표 8-154]에 정의되어 있는 것을 축약하여 나타낸 것이다. 또한 β는 응답자의 효용에 영향을 미치는 개별 속성들에 대한 계수로 추정되어야 할 모수이다. 식 (5)를 식 (3)에 대입한 후, 다시 이 식을 식 (4)에 대입하여 최우추정법을 적용하면 β에 대한 일치추정치를 얻을 수 있다.

이제 식 (5)에 로이의 항등식(Roy's identity)을 적용하면 개별 속성에 대한 한계 지불의사액(MWTP, marginal WTP)을 구할 수 있다. 즉, 식 (5)를 전미분한 후 약간의 조작을 하면 개별 속성의 현재수준으로부터 한 단위 증가(개선)에 대한 MWTP를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$MWTP_{Z_1}=dZ_9/dZ_1=-\beta_1/\beta_9 \quad (6)$$

$$MWTP_{Z_2}=dZ_9/dZ_2=-\beta_2/\beta_9$$

.....

$$MWTP_{Z_8}=dZ_9/dZ_8=-\beta_8/\beta_9$$

(2) 추정결과

17) 추정 절차에서의 특이성(singularity) 문제를 회피하기 위해 상수항은 추정모형에서 제외되어야 한다. 이러한 특이성(singularity) 문제는 분석자료에서 상수항이 여러 선택대안들에 대해 동일하기 때문에 발생한다.

컨조인트 분석 모형을 적용하는 데 있어서 [표 8-156]에 제시된 바와 같이 변수를 정의하고 사용하였다. 원래 쇄빙연구선 규모와 논문 성과는 연속변수였지만 통계적 유의도 확보를 위해 더미변수로 변환하여 추정하였다. 한국개발연구원(2009)의『대형 해양과학연구선 사업 예비타당성조사 보고서』에서도 마찬가지로 통계적 유의도 확보를 위해 연속변수를 더미변수화하여 추정한 바 있다.

[표 8-154] 모형 추정에 사용된 변수와 변수 입력 방식

변수명	변수 입력
쇄빙연구선 규모	12,000톤급을 더미변수로 반영
북극해역 탐사 및 자원조사	해당 연구를 수행하는 경우를 더미변수로 반영
북극 지구환경변화 연구	해당 연구를 수행하는 경우를 더미변수로 반영
북극에 대한 국제공동연구	해당 연구를 수행하는 경우를 더미변수로 반영
남극 연구활동 지원	해당 연구를 수행하는 경우를 더미변수로 반영
연구선 외부 활용	제2 쇄빙연구선이 귀속된 특정기관 외에 다른 연구기관이나 대학 등이 1년 중 독자적으로 쇄빙연구선을 활용할 수 있는 기간(개월수)을 연속변수로 반영
논문 성과	매년 발생하는 논문(국내+국외) 발표 건수가 300편 이상인지를 더미변수로 반영
지적재산권 성과	매년 발생하는 국내외 특허출원(등록) 건수를 연속변수로 반영
사업추진 비용	제2 쇄빙연구선의 건조비용과 건조 이후 25년 동안 운영에 소요되는 비용의 합계를 연속변수로 반영

다항로짓 모형의 추정결과는 [표 8-157]에 제시되어 있다. 모든 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다. 아울러 추정계수의 부호도 사전적인 예상과 정확하게 일치하였다. 예를 들어 사업추진비용 항을 제외한 모든 항에 대한 추정계수는 양(+)의 부호를 갖는데 이것은 이 속성들의 수준이 증가할수록 응답자의 효용이 증가함을 의미한다. 반면 사업추진비용 항에 대한 계수가 음(-)의 부호를 갖는 것은 비용수준의 증가가 응답자의 효용을 감소시킨다는 것을 의미한다.

[표 8-155] 다항로짓모형의 추정결과

변수명	추정계수	*t*-값	*p*-값
쇄빙연구선 규모	0.2905	3.49	.000
북극해역 탐사 및 자원조사	1.1150	14.25	.000
북극 지구환경변화 연구	0.3767	4.92	.000
북극에 대한 국제공동연구	0.2735	2.79	.005
남극 연구활동 지원	0.6785	8.06	.000
연구선 외부 활용(단위 : 개월)	0.0625	3.14	.002
논문 성과	0.3571	3.48	.001
지적재산권 성과(단위 : 건)	0.1554	5.44	.000
사업추진 비용(단위 : 억원)	-0.1114	-5.00	.000
관측의 갯수	984		
로그-우도함수값	-1,322.32		

추정결과의 통계적 유의성 및 추정계수 부호의 적절성 등을 종합적으로 고려할 때, 응답자들은 컨조인트 분석에서 제시되었던 가상적인 상황의 설정에 효과적으로 반응하였다. 아울러 5개의 대안 중에서 1개의 대안을 선택하도록 요구되었던 가치판단의 작업을 잘 받아들였으며 무리없이 수행하였다고 판단된다. 이러한 점들은 본 연구결과를 정책적으로 해석하고 활용하는 데 있어서 충분한 타당성을 제공해준다.

(3) 속성별 한계지불의사액의 추정

이제 [표 8-157]의 추정결과와 식 (6)을 이용하여 개별 속성에 대한 MWTP를 계산한다. MWTP는 개별 속성의 수준을 한 단위 추가적으로 개선하는 것에 대한 과학기술적 편익의 증가분을 의미한다. 개별 속성에 대한 MWTP 추정치들은 [표 8-158]에 제시되어 있다. 개별 속성에 대한 MWTP 추정치의 *t*-값은 델타법(delta method)을 이용하여 추정되었다(Greene, 2000). 추정된 *t*-값으로 판단하건대, 모든 속성에 대한 MWTP 값들은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

[표 8-156] 속성별 MWTP 추정결과

변수명	MWTP(백만원)	t-값	p-값
쇄빙연구선 규모	260,851	3.58	0.000
북극해역 탐사 및 자원조사	1,001,245	5.28	0.000
북극 지구환경변화 연구	338,257	3.86	0.000
북극에 대한 국제공동연구	245,574	2.81	0.000
남극 연구활동 지원	609,265	4.43	0.000
연구선 외부 활용(단위 : 개월)	56,150	2.97	0.000
논문 성과	320,724	3.14	0.000
지적재산권 성과(단위 : 건)	1,395	4.72	0.000

응답자들은 제2 쇄빙연구선 규모로서 12,000톤급이 10,000톤급에 비해 추가적으로 2,609억원의 가치를 가지는 것으로 평가하였다. 이렇게 12,000톤급 이상에 높은 가치를 부여했다는 사실은 12,000톤급 규모의 제2 쇄빙연구선에 대한 전문가들의 요구가 크고, 이는 12,000톤급이라는 제2 쇄빙연구선의 적절성을 보여준다고 판단된다.

다음으로 응답자들은 건조되는 제2 쇄빙연구선을 통해 수행 가능한 추가적인 4가지 연구들이 높은 가치를 가지는 것으로 평가하였다. 쇄빙연구선이라는 본래 목적을 고려할 때, 과학연구에 대해 높은 가치를 부여하는 것은 당연하다고 보여진다. 그러나 추정된 WTP를 실제 수행 연구의 경제적 가치라고 해석하기에는 무리가 있을 수 있다. 그 이유는 설문 응답자의 반 이상이 제2 쇄빙연구선을 통해 연구를 수행하는 과학자라는 점에서 과학자의 관점에서 연구의 과학기술적 가치를 평가한 것이라 볼 수 있기 때문이다. 따라서 추정된 WTP는 제2 쇄빙연구선의 수행가능한 연구에 대한 응답자들의 선호를 반영하는 것이라고 해석할 수 있으며, 이러한 점에서 응답자들은 북극해역 탐사 및 자원조사에 대해 가장 큰 가치를 부여하고 다음으로 남극 연구활동 지원을 중요하게 평가하였다.

응답자들은 제2 쇄빙연구선이 귀속된 특정기관 외의 외부 연구기관 등이 독자적으로 활용되는 기간이 길수록 그 가치가 증가하는 것으로 평가하였다. 특히 제2 쇄빙연구선이 1년 중 1개월 정도로 외부활용이 될 경우 제2 쇄빙연구선의 가치가 추가적으로 562억원만큼 증가하는 것으로 나타났다.

응답자들은 제2 쇄빙연구선을 이용하여 창출되는 성과로서 지적재산권에 대

해 건당 14억원 정도의 과학기술적 가치를 가지는 것으로 평가하였다. 한편 논문 성과에 대해서는 300편을 넘으면 3,207억원의 과학기술적 가치가 창출되는 것으로 평가했다. 대체적으로 보면 응답자들은 연구성과 자체보다는 제2 쇄빙연구선을 이용하여 수행가능한 연구에 더 큰 가치를 부여하는 것으로 해석할 수 있다.

결론적으로 본 추정결과로부터 응답자들은 12,000톤급 규모의 제2 쇄빙연구선의 건조에 대한 선호가 존재하며, 제2 쇄빙연구선을 이용하여 수행할 수 있는 연구에 많은 가치를 부여하고, 연구선이 특정 기관에 귀속되기보다는 어느 정도 이상의 기간 동안에는 다양한 외부 연구기관과 학계의 독립적인 연구수행에 활용되는 것에 높은 가치를 부여한다는 점을 확인할 수 있다.

(4) 컨조인트 분석 결과의 해석

과학기술적 편익은 제2 쇄빙연구선의 활용방식에 큰 영향을 받을 수 있다. 따라서 몇 가지 Case를 구성하여 과학기술적 편익을 추정할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 3가지 Case를 [표 8-159]과 같이 고려한다.

[표 8-157] 분석대상 3가지 Case

변수명	Case 1	Case 2	Case 3
쇄빙연구선 규모	12,000톤급	12,000톤급	12,000톤급
북극해역 탐사 및 자원조사	2개월	2개월	1.5개월
북극 지구환경변화 연구	2개월	1개월	1.0개월
북극에 대한 국제공동연구	2개월	1개월	1.0개월
남극 연구활동 지원	2개월	1개월	1.5개월
연구선 외부 활용(단위 : 개월)	없음	3개월	6개월
논문 성과	300편	300편	300편
지적재산권 성과(단위 : 건)	100건	100건	100건

제2 쇄빙연구선의 규모는 12,000톤급으로 고정시켜 놓는다. 제2 쇄빙연구선은 1년, 즉 12개월 중 2/3에 해당하는 8개월 동안 가동된다고 가정한다. 이 8개월을 가지고 외부에서 활용할 수도 있으며 외부 활용기간을 제외하고 남은 기간 동안 4개 영역의 연구를 수행하는 것으로 가정한다. 논문성과는 300편을 달성한다고 보되 보수적 접근을 위해 MWTP의 50%만 인정한다. 지적재산권은 100건으로 고정시켜 놓고 분석한다. [표 8-160]에 제시된 과학기술적 편익을 추정하는데 있어서 4개 영역의 연구수행에 따른 편익은 제2 쇄빙연구선을 1년 내내 해당

연구를 위해서만 25년간 활용된다는 가정에 기반하여 도출된 것이므로 연간 활용기간을 감안하여 과학기술적 편익을 평가해야 한다. 즉 [표 8-158] 및 [표 8-159]을 활용하여 Case 1, Case 2, Case 3에 대해 과학기술적 편익을 산정한 결과는 다음과 같다.

[표 8-158] Case 1에 대한 과학기술적 편익

변수명	Case 1	MWTP (백만원)	가중치	과학기술적 편익(백만원)
쇄빙연구선 규모	12,000톤급	260,851	1.0	260,851
북극해역 탐사 및 자원조사	2개월	1,001,245	2/12	166,874
북극 지구환경변화 연구	2개월	338,257	2/12	56,376
북극에 대한 국제공동연구	2개월	245,574	2/12	40,929
남극 연구활동 지원	2개월	609,265	2/12	101,544
연구선 외부 활용(단위 : 월)	없음	56,150	0	0
논문 성과	300편	320,724	0.5	160,362
지적재산권 성과(단위 : 건)	100건	1,395	1.0	139,500
합계				**926,437**

[표 8-159] Case 2에 대한 과학기술적 편익

변수명	Case 2	MWTP (백만원)	가중치	과학기술적 편익(백만원)
쇄빙연구선 규모	12,000톤급	260,851	1.0	260,851
북극해역 탐사 및 자원조사	2개월	1,001,245	2/12	166,874
북극 지구환경변화 연구	1개월	338,257	1/12	28,188
북극에 대한 국제공동연구	1개월	245,574	1/12	20,465
남극 연구활동 지원	1개월	609,265	1/12	50,772
연구선 외부 활용(단위 : 월)	3개월	56,150	3/12	14,038
논문 성과	300편	320,724	0.5	160,362
지적재산권 성과(단위 : 건)	100건	1,395	1.0	139,500
합계				**841,049**

KOPRI 극지연구소

[표 8-160] Case 3에 대한 과학기술적 편익

변수명	Case 3	MWTP (백만원)	가중치	과학기술적 편익(백만원)
쇄빙연구선 규모	12,000톤급	260,851	1.0	260,851
북극해역 탐사 및 자원조사	1.5개월	1,001,245	2/12	125,156
북극 지구환경변화 연구	1.0개월	338,257	1/12	28,188
북극에 대한 국제공동연구	1.0개월	245,574	1/12	20,465
남극 연구활동 지원	1.5개월	609,265	1/12	76,158
연구선 외부 활용(단위 : 월)	6개월	56,150	3/12	28,075
논문 성과	300편	320,724	0.5	160,362
지적재산권 성과(단위 : 건)	100건	1,395	1.0	139,500
합계				**838,754**

한편 과학기술적 편익을 2022년부터 2046년까지 25년간 배분하기 위해서는 산정된 값을 25로 나눠 매년 동일하게 배분한다. 이렇게 추정된 Case별 연간 과학기술적 편익은 [표 8-163]에 제시되어 있다.

KOPRI 극지연구소

[표 8-161] 연도별 과학기술적 편익 추정결과

연도	과학기술적 편익		
	Case 1	Case 2	Case 3
2022	37,057	33,642	33,550
2023	37,057	33,642	33,550
2024	37,057	33,642	33,550
2025	37,057	33,642	33,550
2026	37,057	33,642	33,550
2027	37,057	33,642	33,550
2028	37,057	33,642	33,550
2029	37,057	33,642	33,550
2030	37,057	33,642	33,550
2031	37,057	33,642	33,550
2032	37,057	33,642	33,550
2033	37,057	33,642	33,550
2034	37,057	33,642	33,550
2035	37,057	33,642	33,550
2036	37,057	33,642	33,550
2037	37,057	33,642	33,550
2038	37,057	33,642	33,550
2039	37,057	33,642	33,550
2040	37,057	33,642	33,550
2041	37,057	33,642	33,550
2042	37,057	33,642	33,550
2043	37,057	33,642	33,550
2044	37,057	33,642	33,550
2045	37,057	33,642	33,550
2046	37,057	33,642	33,550
합계	926,437	841,049	838,754

KOPRI 금지연구소

4. 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익

가. 편익추정의 개요

국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익의 추정을 위해서는 CVM을 적용할 수 있다. 제2 쇄빙연구선과 유사한 사업으로서 대형광학망원경 개발사업[18], 해양과학연구선 건조사업[19]의 경우에도, 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 연구 인프라 강화 편익의 산정을 위해 조건부 가치측정법을 적용한 바 있다. 이에 본 사업에서도 CVM을 적용하되, 우선은 유승훈·권석재(2012)의 연구사례에서 제시된 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 편익을 물가수준에 대해 조정한 후 제2 쇄빙연구선 건조사업의 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익으로 산정한다.

대형 해양과학연구선과 제2 쇄빙연구선은 질적으로 다르기는 하지만 해양과학연구 인프라를 조성하고 관련 선박의 확보 및 운영에 따른 국민 자긍심 고취는 유사할 수 있으므로 일종의 편익 이전법을 적용한다.

나. 대형 해양과학연구선 건조사업의 일반 국민 편익 추정결과[20]

(1) 개요

해양과학연구선은 바다위에 떠있는 연구소 개념으로 바다 깊은 곳의 자원개발, 기후변화가 해양에 미치는 영향에 대한 연구 등에 있어서 필수적인 시설이다. 또한 해양생태계 조사 및 해양생물자원 확보 활동을 수행하면서, 먼 바다에서의 전략적 해양안보에 필요한 해양 환경정보를 수집하여 해군 작전에 활용할 수 있다. 대형 해양과학조사선이 없다면, 무엇보다도 바다 깊은 곳의 광물자원 연구 및 탐사를 제대로 할 수가 없다. 따라서 전 세계 각국은 대형 해양과학연구선을 앞세워 인근 바다뿐만 아니라 태평양, 북극해, 남극해 등 먼 바다에 대한 연구도 수행하고 있다.

18) 유승훈, 이주석, 박수동 (2011), 대형광학망원경 개발사업의 경제적 효과 분석 연구, 기술혁신학회지, 제14권, 제1호, 한국기술혁신학회, pp. 40-59.
19) 유승훈, 권석재 (2012), 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 편익 평가, Ocean and Polar Research, 제34권, 제2호, 한국해양연구원, pp. 175-183.
20) 본 소절의 내용은 유승훈, 권석재(2012)의 연구결과를 그대로 소개한 것이다.

대형 해양과학연구선은 소형이나 중형 해양과학조사선으로는 조사할 수 없는 바다 깊은 곳과 바다 바닥 아래를 탐사하고 조사할 수 있으며, 폭풍우와 같은 위험한 기상조건으로부터 선박에 타고 있는 연구원들의 생명을 보호하면서 쉬지 않고 조사활동을 수행할 수 있다. 4천톤급 이상의 탐사선을 중국은 10대, 일본은 7대, 미국은 16대, 프랑스는 6대나 보유하고 있지만, 안타깝게도 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 아직까지 단 한 척의 대형 해양탐사선도 보유하고 있지 못해 해양국가란 국가위상이 흔들리고 있는 것이다.

이에 정부는 국가 해양정책 비전의 달성을 위해 4,000톤급 수준의 대형 해양과학연구선 1대를 추진하였다. 우리나라가 대형 해양과학연구선을 확보하게 된다면, 향후 우리나라 해양과학기술을 선진국 수준으로 끌어올림과 동시에 해양개발에 있어서 국제경쟁력을 확보할 수 있다. 이로써 국가위상이 제고되고 해양연구능력도 증진될 수 있다.

대형 해양과학연구선 건조에는 막대한 정부예산이 소요되므로, 대형 해양과학연구선 건조사업에 대한 경제성 분석은 필수적으로 요구된다. 하지만 대형 해양과학연구선 건조로 인해 발생하는 심해저 자원채취 등 다양한 시장적 편익의 추정은 상대적으로 어렵지 않지만 비시장적 편익은 중요할 수 있지만 추정이 어렵다. 대형 해양과학조사선 건조사업의 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해 볼 때, 이 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 기초과학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국민후생은 증가할 수 있으므로 이러한 비시장적 효과도 분명히 대형 해양과학연구선 건조사업의 편익으로 포함되어야 한다.

물론 대형 해양과학연구선의 건조가 실제로 비시장적 편익을 가져올 수 있는지에 대해 의문을 제기할 수 있다. 국민들은 선진국에서는 보유하고 있는 대형 해양과학연구선이 국내에는 없음으로 인해 해양과학자들이 겪고 있는 어려움을 해결하는 데 관심을 가지고 또는 대형 해양과학연구선을 통해 Science, Nature 등에 게재할 수 있는 논문을 만들어내는 부분에 대해서도 국민적 만족감을 느껴, 대형 해양과학연구선의 건조를 위해 본인의 소비를 줄여 소득의 일정 부분을 부담할 의지가 있을 수 있다. 후술하겠지만 본 연구에서 수행한 조사에서 많은 국민들은 이에 동의하였다. 바로 이런 부분이 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 가치를 구성한다. 이것은 국민적 자부심을 제공하는 올림픽 금메달, 우주개발사업, 대형광학망원경 개발사업 등도 유사한 효용을 국민들에게 제공할 수

있기 때문이다(유승훈 외, 2011).

하지만 대형 해양과학연구선 건조와 같은 연구개발사업의 다양한 편익은 그 가치가 명시적으로 평가되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상이 되고 있는 대형 해양과학연구선 건조사업의 경우, 언뜻 보아 비시장적 가치가 잘 정의되지 않으며, 비시장적 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 대형 해양과학연구선이 시장에서 거래가 되고 있는 재화가 아니며, 특히 일반 국민들의 입장에서는 대형 해양과학연구선 건조사업의 혜택이 매우 추상적이기 때문이다. 이러한 재화를 포괄적으로 정의할 때 통상 비시장재화(non-market)라 하는데, 이것은 해당 재화가 시장에서 거래되고 있지 않으며, 또한 거래되기도 어려운 측면을 반영하고 있다.

경제학자들은 지난 수십 년 동안 이러한 비시장재화의 가치를 추정하기 위하여 많은 고민과 연구를 해 왔으며, 1990년대에 이후에 비시장재화의 가치 추정 방법론이 어느 정도 정립되면서 비약적인 발전을 해 오고 있다. 이와 같이 시장가격이 존재하지 않는 시설이나 서비스의 가치추정을 위해서 여행비용 평가법, 헤도닉 가격기법, 조건부 가치측정법(CVM, contingent valuation method) 등 다양한 가치측정방법론들이 사용되어 왔다. 특히 CVM은 공공재나 서비스와 같은 비시장재화의 경제적 가치를 측정하는 방법으로 널리 사용되고 있다(Bjornstad and Kahn, 1996).

(2) 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 편익 추정 방법론

○ 편익 추정의 범위

대형 해양과학연구선 건조사업의 경우 편익을 크게 소비자 관점과 생산자 관점으로 구분할 수 있다. 첫째, 생산자 관점에서 본다면 대형 해양과학연구선 건조사업의 과정에서 그리고 최종 결과물에서 나타나는 해당 산업 및 관련 산업의 부가가치 유발효과가 있다. 예를 들어, 대형 해양과학연구선 건조과정에서 선박기술이 발전될 수 있으며, 대형 해양과학연구선의 운영을 통해 해저 지하자원 탐사, 해양유전자원 확보 등을 통해 사업적 가치, 즉 부가가치가 발생한다면 이것을 대형 해양과학연구선 건조사업의 편익으로 볼 수 있다.

둘째, 대형 해양과학연구선 건조사업의 혜택에 대한 시각을 일반 국민으로 확대해보면, 이 사업으로 인해 국민들은 자긍심을 느끼고 해양학의 발전에 대해 만족을 느껴 이로 인해 국민후생은 증가할 수 있으므로 이 효과도 이 사업의 편

익으로 포함된다. 본 연구에서는 두 번째 범주만을 연구대상으로 삼는다. 즉 대형 해양과학연구선 건조사업의 혜택 중에서 한국 기초과학 발전의 획기적 전기 마련, 국가과학 이미지 제고를 통한 국가경쟁력 상승 기여 및 국민의 자긍심 고취 등 매우 추상적인 비시장적 편익을 주된 평가 대상으로 한다.

○ 평가대상 재화 : 대형 해양과학연구선 건조사업

해양과학연구선은 고성능의 해저지형 측정 장비 등 기본적인 해양조사 장비를 탑재하고 있어야 하며 또 선박 자체에 대해서 요구되는 성능은 악천후에서도 운항할 수 있도록 내파성이 좋아야 하고 항속거리가 길며 고속이고 운동성능도 좋아야 한다. 대형연구선은 대양 연구활동에 고도의 기능을 보유하고 다학제 연구자들이 적당한 공간에서 안전하게 안정적으로 승선연구 활동을 수행할 수 있는 최첨단 연구선으로 종합해양연구가 가능하며, 전 세계 해역(수심 11,000m 이상)의 탐사가 가능해야 한다. 제원으로는 전장 약 80 m, 총톤수 약 4,000톤급, 항해거리 약 20,000 해리, 운항지속시간 약 60일, 승선인원 : 75명, 운항선속 15 Knots 수준을 만족해야 한다.

한편 대형 해양과학연구선 건조의 비용 규모를 살펴볼 필요가 있다. 한국해양연구원(2008)에서는 선각공사, 의장공사, 기관공사 등과 부대비를 포함한 공사비를 619억원, 이에 제 경비를 더한 총 원가를 712억원, 부가가치세를 포함한 총 사업비를 783억원, 예비비 10%를 고려한 총 사업비를 862억원으로 추정하였다. 반면에 한국개발연구원(2009)에서는 이 총 사업비 규모에 대해 검토한 결과 건조비 및 항만건설비를 약 131억원 증액하는 등 전체적으로 총 사업비를 약 100억원 정도 증액하여 약 962억원으로 산정하였다.

○ 편익추정의 원칙 : 지불의사액

본 연구의 대상이 되고 있는 대형 해양과학연구선 건조사업으로 발생하는 비시장적 편익의 경우, 언뜻 보아 가치가 잘 정의되지 않으며, 가치를 정의한다 하더라도 어떻게 가치를 측정할 것인지에 대해 선뜻 답을 내리기가 쉽지 않다. 이것은 대형 해양과학연구선 건조사업의 혜택이 한국 해양학 발전의 획기적 전기 마련, 국가과학 이미지 제고를 통한 국가경쟁력 상승에의 기여 및 국민의 자긍심 고취 등 추상적이기 때문이다. 아울러 대형 해양과학연구선을 이용할 수요자가 한정되어 있으므로 사업 수혜자의 범위가 크게 제약적이다. 즉 사업 수혜자의 범위를 대형 해양과학연구선을 이용할 해양학자로 국한해야 하는지 아니면 국가적

사업이란 관점에서 수혜자를 국민 전체로 봐야 할지에 대해 의문이 발생한다.

이렇게 사업의 효과가 추상적이며 사업의 수혜자가 일반 국민인 것 같지만 대다수의 국민들이 직접적으로 이용할 가능성은 없는 재화에 대해서는 특별히 고안된 방법론을 적용하여 가치를 추정할 수밖에 없다. 이러한 비시장재화의 공급으로 인해 발생하는 가치 또는 편익을 추정하는 데 있어서의 기본원칙은 해당 재화를 공급받기 위한 소비자의 지불의사액(willingness to pay, WTP)을 추정하는 것이다(Brent, 1995). WTP란 사람들이 특정 공공재나 비시장재화를 공급받기 위해 또는 특정 공공재나 비시장재화의 공급장애를 피하기 위해 지불할 의사가 있는 최대금액을 의미한다. 즉 일정한 소득 하에서 다른 재화에 대한 소비지출을 줄이고 그 만큼 특정 재화의 소비를 위해 지출하고자 한다면 이 금액만큼을 편익으로 보는 것이다.

이러한 WTP의 개념은 편익을 추정하는 데 있어 직관적이며 현대 후생경제학의 기본이론에 부합하기에 편익 추정의 기본 원칙이 되고 있다(Fisher, 1996). 따라서 국·내외의 많은 연구들이 이에 근거하여 공공재뿐만 아니라 유·무형의 문화자산과 공공 재화 및 서비스의 가치를 산정하고 있으며, 한국개발연구원의 예비타당성조사의 지침에서도 문화재나 과학시설 등 비정형사업의 편익산정방법으로 CVM 등 WTP를 도출하는 비시장재화의 가치측정법이 적절함을 제시하고 있다(박현 외, 2004).

○ 편익추정 방법론

현재까지 개발되고 응용되어 온 비시장재화의 가치측정 연구방법론 중 가장 널리 사용되면서 공감을 얻고 있는 것이 CVM이다. CVM은 응답자들로부터 대상재화나 서비스와 관련된 최대 WTP를 도출하여 이를 통해 대상재화나 서비스의 편익을 직접적으로 이끌어내는 가치측정방법이다(Mitchell and Carson, 1989). 사람들에게 친숙하지 않은 비시장재화에 대한 CVM의 WTP 추정치가 얼마나 정확한가라는 문제에 대해 여러 실증연구가 이루어졌는데, CVM으로부터 얻게 되는 응답은 대체적으로 믿을 만하다는 결론을 얻었다(Bjornstad and Kahn, 1996). 이렇게 CVM은 그 타당성과 정확성이 입증되어 각종 문헌에서 자주 등장하고 있다.

○ 지불수단의 선택

조건부 시장의 설정에 있어서 중요한 역할을 하는 것은 응답자가 밝히고자

하는 지불의사를 쉽게 표현할 수 있도록 지불수단을 제시하는 것이다. 본 연구에서는 평가하고자 하는 대형 해양과학연구선 건조사업의 시행을 위한 재원확보 차원과 응답자의 친숙성을 종합적으로 고려하여 소득세를 지불수단으로 하였다. 또한 Arrow et al.(1993)의 지침대로 응답된 WTP에 대한 지불로 다른 재화에 대한 지출을 줄여야함을 응답자에게 인식시켰다.

한편 지불원칙 및 지불기간은 가구당 1년에 1회 향후 10년 동안 부담하는 것으로 하였으며 설문조사원들은 이 점을 응답자에게 강조하였다. 또한 가구의 소득은 제한되어 있으며 그 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실과 정부가 해야 할 사업은 대형 해양과학연구선 건조사업 외에도 많다는 사실을 고려하면서 WTP 질문에 대답할 것을 명시적으로 요청하였다.

○ 지불의사 유도방법 및 제시금액 선택

본 연구에서는 현실시장에서 소비자들의 행동을 결정하는 유형과 국민투표에서 투표하는 유형 및 유사한 양분선택형 질문법으로 지불의사를 유도한다. 통상 단 1회에 걸쳐서 미리 설정된 금액을 “공공재 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가”라고 물어보면, 응답자가 ‘예/아니오’로 한번만 대답하는 방식인 단일경계 모형 및 한 번 더 추가적인 질문을 던지는 이중경계 모형이 널리 적용되고 있다. 하지만 CVM의 적용에서 널리 적용되는 단일경계 모형과 이중경계 모형은 각각 비효율성(inefficiency) 및 편의(bias)의 한계를 안고 있다(Carson and Groves, 2007). 즉 효율성을 제고하면서 편의를 줄일 수 있는 새로운 모형의 적용이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이 점을 감안하여 양분선택형 질문법 중에서 Cooper et al.(2002)이 제안한 1.5경계(one and one-half bound) 모형을 적용하고자 한다.

먼저 응답자들에게 새로운 대형 해양과학연구선 건조사업을 위해 A^L부터 A^U의 범위의 비용이 매년 가구당 발생할 것이라는 정보를 제공한 후, 응답자를 다시 2개의 그룹으로 나눠 첫 번째 그룹의 응답자에게는 A^L을 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 A^U를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문하며, “아니오”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않는다. 두 번째 그룹의 응답자에게는 A^U를 지불할 의사가 있는지를 질문하는데, 이 질문에 “예”라고 응답하면 추가적인 질문을 하지 않으며, “아니오”라고 응답하면 A^L를 지불할 의사가 있는지를 한 번 더 질문을 한다.

본 연구에서는 30명을 대상으로 한 사전조사를 통해 제시금액의 수준과 범위

를 결정한 뒤, 전체 500 가구를 10개의 그룹으로 구분하여 각 그룹에 제시금액의 범위인 (1,000원~3,000원), (2,000원~4,000원), (3,000원~5,000원), (4,000원~6,000원), (5,000원~7,000원), (6,000원~8,000원), (7,000원~9,000원), (8,000원~10,000원), (9,000원~11,000원), (10,000원~12,000원) 중 1개를 무작위로 배정하였다.

○ 설문방법 선택 및 표본 설계

설문방법은 개별면접설문, 전화설문, 우편설문 등이 있다. 대형 해양과학연구선 건조사업의 경제적 편익 추정의 경우 몇몇 복잡한 내용이 포함되어 있기 때문에 비용이 많이 소요된다는 단점이 있지만 응답자가 충분히 이해할 수 있도록 하기 위하여 일대일 개별면접 설문을 실시하였다. 조사지역 및 조사기간은 각각 수도권 지역 및 2008년 12월 초순부터 12월 말까지의 약 1개월이었다. 표본추출 및 면접조사는 조사전문기관인 (주)동서리서치에 의뢰하였다.

책임있는 가구의 의견에 대한 정보를 도출하기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부로 한정하였다. 설문조사 대상지역은 서울시, 인천시, 경기도의 수도권 지역으로 한정하였다. 이것은 설문조사 예산상 전국을 대상으로 하기에는 문제가 있으며, 수도권은 인구의 절반 가량이 살고 있는 곳이라 수도권만 대상으로 하더라도 어느 정도의 대표성을 확보하고 있다고 볼 수 있다. 각 지역의 전체 인구를 대상으로 임의표본을 도출하기 위해 각 지역 내의 인구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본 수를 할당하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하여, 무작위 추출된 총 500 가구의 설문결과를 얻을 수 있었다.

(3) WTP 모형

○ 효용격차모형

본 연구에서 적용하는 CVM은 Hanemann(1984)의 효용격차모형에 기반한다. 효용격차모형은 다음과 같은 절차를 따르고 있다. 우선 제시된 금액에 대해 지불의사가 있는 지 여부를 묻는 질문에 대한 응답을 모형화한다. 즉, '예' 또는 '아니오'의 이산응답을 모형화한 후 최우추정법을 통해 관련된 모수들을 추정한다. 다음 단계로 분포의 성격과 평균값 또는 중앙값의 정의를 이용하여 WTP의 평균값 또는 중앙값을 계산한다.

응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득(m)과 개인의

특성벡터(S)에 근거하여 비시장재화의 상태(j)에 대해 느끼는 효용은 다음과 같은 간접효용함수 u로 표현될 수 있다.

$$u = u(j,m;S),\ j = 0,1 \tag{1}$$

여기서, $j=0$는 비시장재화를 이용할 수 없는 또는 비시장재화가 공급되지 않는 상태를 의미하며 $j=1$는 비시장재화를 이용할 수 있는 또는 비시장재화가 공급되는 상태를 의미한다. 그런데 연구자에게는 응답자가 측정대상 비시장재화의 상태 변화를 선택 또는 거부하는 데 있어 관측이 불가능한 부분이 존재한다. 따라서 간접효용함수는 다음과 같이 관측 가능한 확정적인 부분 $v(j,m;S)$과 관측 불가능한 확률적 부분 ε_j로 구성된다.

$$u(j,m;S) = v(j,m;S) + \epsilon_j \tag{2}$$

간접효용함수에 영향을 미치는 확률적 성분인 ϵ_j는 j에 상관없이 독립적이면서 동일한 분포를 갖는(independently and identically distributed) 확률변수로 평균은 0이다. 각 개인이 효용을 최대화한다고 가정하자. 그렇다면 각 개인은 다음의 조건을 만족할 때, "당신은 비시장재화의 이용을 위해 또는 비시장재화의 공급받기 위해 A원을 지불할 의사가 있습니까?"란 질문에 대해 "예"라고 대답하면서 A원을 기꺼이 지불함으로써 효용을 최대화한다.

$$v(1,m-A;S) + \epsilon_1 \geq v(0,m;S) + \epsilon_0 \tag{3}$$

또는

$$v(1,m-A;S) - v(0,m;S) \geqq \epsilon_0 - \epsilon_1 \tag{3'}$$

이제 효용의 격차와 오차항의 격차를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta v(A) \equiv v(1,m-A;S) - v(0,m;S),\ \ \eta \equiv \epsilon_0 - \epsilon_1$$

그렇다면 "예"라고 응답할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr\{\text{응답이 "예"}\} = \Pr\{\Delta v(A) \geqq \eta\} \equiv F_\eta[\Delta v(A)] \tag{4}$$

여기서 $F_\eta(\cdot)$는 η의 누적분포함수(cdf, cumulative distribution function)이다. "예"란 응답은 $\Delta v \geq 0$일 때 관측되며, "아니오"란 응답은 $\Delta v < 0$일 때 관측된다. 지금부터 C로 표기할 WTP는 확률변수로서 이의 cdf는 $G_C(A)$로 정의된다. 한편 식 (4)는 다음과 같이 다르게 표현될 수 있다.

$$\Pr\{\text{응답이 “예”}\}=\Pr\{C\geqq A\}\equiv 1-G_C(A) \tag{5}$$

따라서 식 (4) 및 (5)를 비교하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$1-G_C(A)\equiv F_\eta[\Delta v(A)] \tag{6}$$

이 결과는 이산반응모형 (4)를 적합 시키는 것이 곧 WTP의 분포함수인 $G_C(\cdot)$의 모수를 추정하는 것으로 해석될 수 있다는 점을 시사한다. 이 때 C는 $j=0$ 상태에서 $j=1$의 상태로 변화하기 위한 WTP이다. C가 음의 값도 가질 수 있을 때의 평균(C^+)은 흔히 다음과 같이 계산된다.

$$C^+=E(C)=\int_0^\infty [1-G_C(A)]\,dA-\int_{-\infty}^0 G_C(A)\,dA \tag{7}$$

○ 1.5경계 모형

주어진 대형 해양과학연구선 건조사업에 대해 i번째 응답자는 직면하여 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있는데, 처음의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^L을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^U를 제시한 경우에 해당한다.

$$\begin{cases} I_i^{YY}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예－예”}) \\ I_i^{YN}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예－아니오”}) \\ I_i^{N}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오”}) \\ I_i^{Y}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “예”}) \\ I_i^{NY}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오－예”}) \\ I_i^{NN}=\mathbf{1}(i\text{번째 응답자의 응답이 “아니오－아니오”}) \end{cases} \tag{8}$$

이제 효용극대화를 추구하는 N명의 표본을 가정할 경우 로그-우도함수는 다음과 같이 구성된다.

$$\ln L=\sum_{i=1}^{N}\left\{\begin{array}{l} I_i^{YY}\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +I_i^{YN}\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^L)] \\ +I_i^{N}\ln G_C(A_i^L) \\ +I_i^{Y}\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +I_i^{NY}\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^L)] \\ +I_i^{NN}\ln G_C(A_i^L) \end{array}\right\} \tag{9}$$

○ 스파이크 모형

지금까지는 WTP 모형을 둘러싼 중요한 논의와 일반적인 WTP 모형에 대해 설명하였다. 이제는 대형 해양과학연구선 건조사업에 국한된 WTP의 성격에 대

해 검토해 볼 필요가 있다. 사실 대형 해양과학연구선은 일반 국민들에게 생소한 재화이며, 대형 해양과학연구선 건조사업의 시행을 위해 본인의 소비를 일부러 줄여 이 금액만큼을 지불한다는 것에 대해 거절의 의사를 가지고 있는 사람들이 적지 않을 것이다. 따라서 이러한 경우에 적용이 가능한 모형의 개발이 필요하며, 이 모형에 투입되어야 할 자료를 확보할 수 있도록 설문지도 적절하게 보완될 필요가 있다.

이와 관련하여, 본 연구에서 사용한 설문지에는 단 1원의 지불의사가 있는지 없는지를 물어보는 질문도 포함되어 있다. 첫 번째 제시금액이 A^U일 때 “아니오-아니오”라고 응답한 응답자와 첫 번째 제시금액이 A^L일 때 “아니오”라고 응답한 응답자에게는 동 사업에 대한 지불의사가 전혀 없는지에 대한 질문을 하였다. 이 질문에 대해 “지불할 의사가 있다”고 응답한다면 양의 WTP를 가지며, “지불할 의사가 없다”고 응답한다면 영의 WTP를 가질 것이다.

사전적인 예상대로, 조사대상 500가구의 53.6%에 해당하는 268가구는 대형 해양과학연구선 건조사업에 대해 지불의사가 전혀 없다는 의견을 밝혔다. 이러한 상황은 WTP에 관한 설문조사 자료에서 흔히 관측된다(Yoo et al., 2001). 영의 값을 가진 WTP 자료의 분석을 위해서는 다수의 가구들이 대형 해양과학연구선 건조사업에 대해 전혀 지불할 의사가 없다는 사실을 고려해야만 한다. 다시 말해서, WTP의 분포는 영의 값을 갖는 응답자 그룹과 양의 WTP를 갖는 응답자 그룹으로 양분되는 것이다. 만약 영의 WTP 응답을 무시하고 분석을 한다면 적지 않은 오류를 범하게 된다. 통상 양의 값만 가지는 경제변수의 경우는 양의 영역에서만 정의되는 분포를 이용하여 분석하면 되지만, WTP 자료와 같이 영의 값과 양의 값을 함께 가질 수 있는 경제변수의 경우에는 정형화에 있어서 어려움이 존재한다.

이러한 영의 WTP 자료를 처리하기 위해 널리 이용되는 모형은 Kriström(1997)이 제안한 스파이크 모형(spike model)이다. 그런데 스파이크 모형은 애초 단일경제 자료에 맞추어 개발되어 이중경계 자료에 맞도록 적절한 조정을 해야 한다. 특히 Yoo and Kwak(2002)은 이중경계 자료에 적합한 스파이크 모형을 제안하였는데, 그 유용성이 입증되어 실증연구에서 널리 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 모형을 이용하고자 한다.

영의 WTP는 대형 해양과학연구선 건조사업이 가구의 후생에 전혀 기여하지

못하거나 혹은 가구가 이 사업에 완전히 무관심할 때, 다음과 같은 소득제약 하의 소비자 효용극대화 문제의 모서리해(corner solution)로서 도출될 수 있으므로, 경제적 행위에 부합한다.

$$\max_{y,Z} [U(y,Z;h) \mid y+Z \leqq m] \tag{10}$$

여기서, $U(\cdot)$는 효용함수, y는 대형 해양과학연구선 건조사업에 대한 WTP, Z는 모든 다른 지출, h는 개인특성을 나타내는 벡터, m는 소득이다.

식 (9)의 3번째 부분에 있는 "아니오"의 응답과 마지막 부분에 있는 "아니오-아니오"의 응답은 다음과 같이 0의 WTP와 두 번째 제시금액(A^L)보다 작은 양의 WTP로 구분된다.

$$\begin{cases} I_i^{AY}=1(\text{지불할 의사가 있다}) \\ I_i^{AN}=1(\text{전혀 지불할 의사가 없다}) \end{cases} \tag{11}$$

$\theta=(a,b)$일 때 WTP의 누적분포함수 $G_C(\cdot;\theta)$는 다음과 같다.

$$G_C(A;\theta) = \begin{cases} [1+\exp(a-bA)]^{-1} & \text{if } A > 0 \\ [1+\exp(a)]^{-1} & \text{if } A=0 \\ 0 & \text{if } A < 0 \end{cases} \tag{12}$$

그런데 식 (9)를 좀 더 들여다보면 다음과 같이 보다 간단하게 정리됨을 알 수 있으므로, 실제 추정시에는 식 (9')를 이용한다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^{N} \left\{ \begin{array}{l} (I_i^{YY}+I_i^{Y})\ln[1-G_C(A_i^U)] \\ +(I_i^{YN}+I_i^{NY})\ln[G_C(A_i^U)-G_C(A_i^L)] \\ +(I_i^{N}+I_i^{NN})\ln G_C(A_i^L) \end{array} \right\} \tag{9'}$$

이때 평균값 WTP는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{WTP} = \int_0^{\infty} [1-G_C(A)]\,dA - \int_{-\infty}^{0} G_C(A)\,dA \equiv (1/b)\ln[1+\exp(a)] \tag{13}$$

(4) 실증분석 결과

○ WTP 응답

본 연구에서 사용되는 대형 해양과학연구선 건조사업에 대한 가구의 WTP는 2008년 12월말 기준으로 수집된 것이다. [표 8-164]은 1.5경계 양분선택형 질문에 대한 응답의 분포를 나타내고 있다. 앞서 설명했듯이, 전체 500명의 응답자를 비슷한 숫자의 10개 그룹으로 구분한 다음에 각 제시금액 범위를 배정하였다. 아울러 각 그룹 안에서는 대략 절반씩 나누어 A^L과 A^U를 제시하였다.

[표 8-162] WTP 응답의 분포

Bid(won)		Number of respon-dents	A^L is presented as a first bid			A^U is presented as a first bid		
A^L	A^U		yes-yes	yes-no	no	yes	no-yes	no-no
1,000	3,000	48	8	7	8	9	6	10
2,000	4,000	50	3	6	16	5	3	17
3,000	5,000	50	7	6	14	3	2	18
4,000	6,000	52	6	4	17	4	1	20
5,000	7,000	53	2	5	19	4	0	23
6,000	8,000	53	6	3	18	5	1	20
7,000	9,000	50	3	4	18	2	3	20
8,000	10,000	50	6	1	18	5	0	20
9,000	11,000	51	2	3	19	2	1	24
10,000	12,000	43	3	1	17	2	0	20
Total		500	46	40	164	41	17	192

○ 1.5경계 모형의 추정결과

1.5경계 모형의 추정결과는 [표 8-165]에 제시되어 있다. 최우추정법 적용 시 전역적 최대값을 쉽게 찾을 수 있도록 제시금액의 단위를 1,000원으로 하여 그 규모를 조정하였다. 추정결과 상수항은 유의수준 5%에서 유의하지 못하지만 제시금액에 대한 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하며 부호도 선험적인 예측과 일치한다. 예를 들어, 제시금액에 대한 추정계수는 음수로 추정되었는데 이것은 제시금액이 커질수록 제시금액에 대해 "예"라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하므로 합리적으로 추정되었음을 알 수 있다.

[표 8-163] 모형의 추정결과

Variables	Coefficient estimates	t-values
Constant	-0.1459	-1.64
Bid	-0.1920	13.06#
Log-likehood	-593.74	
Wald-statistic (p-value)	216.67# (0.000)	
Sample size	500	

Notes: # indicates statistical significance at the 1% level. The bid is expressed in 1,000 won.

한편 추정된 방정식의 통계적 유의도를 살피기 위해, '모든 추정계수는 0이다'라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 Wald-통계량(W)을 구성할 수 있다.

$$W = \hat{\delta}' [\hat{V}(\hat{\delta})]^{-1} \hat{\delta} \quad (14)$$

여기서 $\hat{\delta}$은 추정계수벡터이며, $\hat{V}(\hat{\delta})$은 $\hat{\delta}$의 분산에 대한 추정치이다. 검정통계량 W는 귀무가설 하에서 χ^2-분포를 따르며, 이때 자유도는 $\hat{V}(\hat{\delta})$의 위수(rank)이다. Wald 통계량을 이용할 경우 추정된 모든 계수가 0이라는, 즉 추정된 결과가 무의미하다는 귀무가설을 유의수준 1%에서 기각할 수 있다.

○ 평균 WTP의 추정결과

이상의 추정결과로부터 계산된 WTP의 평균값은 [표 8-166]에 제시되어 있다. 식 (13)의 평균값 WTP는 가구당 연간 3,244원으로 계산되었으며, 델타법(delta method)을 적용하여 추정된 이 값에 대한 표준오차는 272원이다. 따라서 t-값은 11.95로 계산되므로 추정된 평균 WTP는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다.

[표 8-164] 평균 WTP 추정결과

Variables	Estimates
Annual mean WTP per household	3,244원
Standard error	272
t-value	11.95#
95% confidence interval	2,764-3,849
99% confidence interval	2,619-4,030

Notes: # indicates statistical significance at the 1% level. The standard error is computed bny the use of delta method. The confidence intervals are calculated by employing the Monte Carlo simulation technique proposed by Krinsky and Robb(1986).

KOPRI 금지연구소

평균 WTP 값이 3,244원으로 추정된 점에 비추어 볼 때, 제시금액을 1,000원부터 12,000원 사이에서 결정한 것이 적절했는지에 대해 사후적으로 논의할 필요가 있다. 제시금액은 사전조사에서 개방형 질문을 통해 도출된 WTP의 분포에서 좌우에서 각각 5~20%를 절사한 값의 범위 내에서 결정되며, 본 연구도 이러한 절차를 따랐다. 아울러 사후적으로 볼 때, 제일 큰 제시금액에서는 "예"라는 응답하는 비중이 매우 낮으면 제시금액이 적절하게 설정된 것으로 판단할 수 있으며, 제시금액이 가장 높을 때에도 여전히 "예"라는 긍정적 응답자가 없지 않다. 따라서 제시금액이 높게 설계된 것은 아니라고 볼 수 있다.

아울러 평균 WTP 추정에 수반된 불확실성을 반영한 신뢰구간의 계산을 위

해 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용하였다(Park et al., 1991; Cooper, 1994). 무작위 반복표본추출의 회수는 5,000번으로 하였으며, 95% 신뢰구간 및 99% 신뢰구간의 계산결과는 [표 8-166]에 제시되어 있다. 몬테칼로 시뮬레이션 기법의 적용 절차는 다음과 같다. 우선 (a,b)의 추정치와 이에 대한 분산-공분산 행렬을 이용하여 (a,b)의 다변량 정규분포로부터 (a,b)의 값을 발생시켜 평균 WTP를 계산하며 이 과정을 5,000번 반복한다. 이렇게 발생된 5,000개의 평균 WTP 값을 크기순으로 나열한 다음 양끝에서 각각 2.5%를 버리면 95% 신뢰구간을 얻을 수 있으며, 양끝에서 각각 0.5%를 버리면 99% 신뢰구간을 얻을 수 있다.

○ 추정된 평균값 WTP의 확장

CVM 연구를 수행하는 중요한 목적 중에 하나는 표본정보를 이용하여 해당 지역 전체의 WTP 내지는 편익을 추정하는 것이다. 즉 500 가구라는 수도권 지역 표본에 대해 도출된 정보를 활용하여 전국이라는 모집단 전체로 확장하는 작업이 필요하다. 이 과정에서 따져봐야 할 중요한 사항은 과연 표본이 모집단을 제대로 반영하고 있는지 여부이다. 앞서 언급하였듯이, 본 연구에서는 상당한 예산이 소요됨에도 불구하고 국내 유수의 전문조사기관에 의뢰하여 과학적인 표본추출 및 조사를 하고자 하였다. 아울러 설문대상자도 가구 내에서 책임있는 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부만으로 한정하였다. 표본도 우리나라 인구의 1/2 가량이 거주하고 있는 수도권을 대상으로 하였다. 따라서 우리나라 전체 가구, 적어도 수도권 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있으며, 가상시장을 이용했다 하더라도 책임있는 정보를 도출했다고 볼 수 있으므로 표본의 정보를 모집단으로 확장하는 데 별 무리가 없다.

다만 이론적인 관점에서 볼 때, 다른 편익 추정기법에 비해 CVM은 편익의 정확한 값을 구할 수 있지만, 실증적으로 보면 통상 편익의 상한 값을 구하는 것으로 인식되고 있음을 감안하여 평균값 WTP 추정치를 이용하는 대신에 보수적 관점에서 95% 신뢰구간의 하한값을 이용하고자 한다. 또한 수도권에 대해 추정된 값을 수도권 외 13개 광역지방자치단체로 편익이전(benefit transfer)을 해야 하는데, 이때 널리 사용되는 방법은 소득에 대해 조정을 해 주는 것이다. 그런데 소득에 대한 자료를 구하기 어려우므로, 소득 대신에 가계부문 민간소비지출 자

료를 이용한다.

인구주택총조사가 시행된 2005년 기준 광역지방자치단체별 세대수, 가계소비지출, 세대 당 가계소비지출, 세대 당 가계소비지출을 이용하여 조정한 가구당 WTP 값, 2008년 불변가격으로 계산된 대형 해양과학연구선 건조사업의 연간 비시장적 편익에 대한 정보는 [표 8-167]에 요약되어 있다. [표 8-167]에서는 2008년부터 2017년까지 향후 10년 동안 매년 401억 원의 비시장적 편익이 발생하는 것으로 산정되었다. 이 값은 대형 해양과학연구선 건립사업에 대한 비용-편익 분석에서 편익에 대한 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

[표 8-165] 표본 값의 모집단 값으로의 확장

Region	Number of households	Household final consumption expenditure (millionwon)	Household final consumption expenditure per household (million won)	WTP per household (won/yr)	Annual non-market benefit of the project over the period 2008-2017 (billion won)
Metropolitan area	7,462,090	213,381,250	28.6	2,764	20.6
Other region	8,425,038	201,514,603	23.9	2,310	19.5
Total	15,887,128	414,895,853	-	-	40.1

KOPRI 극지연구소

한 가지 더 논의할 수 있는 것은 향후 대형 해양과학연구선 건조 대수가 2대 혹은 3대로 늘어나는 경우에 본 연구결과를 그대로 사용할 수 있는가의 문제이다. 하지만 CVM은 특정한 현재 상태에서 특정한 목표 상태로 개선되는 것과 관련된 편익을 추정할 때 적용되는 기법이므로 향후 대형 해양과학연구선이 1대 있는 상황에서 1대를 추가적으로 건조할 때 그대로 적용할 수는 없다. 이때는 그 상황에 맞게 새로 CVM 연구를 수행해야 한다.

(5) 소결

대형 해양과학연구선 건조사업에는 막대한 예산이 소요되므로, 대형 해양과학연구선 건조사업의 경제적 편익을 정량적으로 분석한 후 사업의 경제적 타당성 여부를 평가해야 한다. 하지만 대형 해양과학연구선 건조사업과 같은 학술 SOC 연구개발사업의 비시장적 편익을 추정하는 것은 매우 어려운 작업이다. 하

지만 사업의 추진 여부를 결정하기 위해서는 엄밀한 경제이론에 근거하여 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 경제적 편익을 과학적으로 추정할 필요가 있다. 이러한 배경 하에서 본 연구에서는 CVM을 이용하여 대형 해양과학연구선 건조사업의 비시장적 편익을 추정하고자 하였다.

특히 지불의사 유도방법으로 1.5경계 모형을 적용하여 설문조사를 수행했으며 1.5경계 모형을 추정하여 결과를 도출하였다. 특히 비교적 최근에 제안된 지불의사 유도방법으로 단일경계 모형의 비효율성을 개선시킬 수 있으면서도 이중경계 모형의 편의를 줄일 수 있는 1.5경계 모형을 적용한 것과 1.5경계 모형과 영의 WTP를 명시적으로 다룰 수 있는 스파이크 모형을 결합한 것도 유의미한 작업이었다고 판단된다. 아울러 CVM을 적용하는 데 있어서, Arrow et al.(1993)의 여러 가지 지침에 근거한 설문설계, 최근에 개발된 표본설문조사 표집기법 및 인터뷰 기법의 운용 등 특별하게 요구되는 여러 조건들을 충분히 만족시키면서 본 연구가 수행되었다.

분석결과 수도권 지역의 대표적 가구는 대형 해양과학연구선 건조사업을 위해 매년 가구당 평균적으로 3,244원의 WTP를 가지고 있었다. 이 값을 연구대상 지역 전체로 확장하면 연간 약 401억 원에 해당한다. 이 값은 대형 해양과학연구선 건조사업의 경제적 편익에 추가될 수 있을 것이다. 예를 들어, 한국해양연구원(2008)에서는 해저열수광상 개발을 통한 483억원의 경제적 편익, 심해저 망간단괴개발을 통한 689억원의 경제적 편익, 해양생물자원 확보를 통한 300억원을 합한 총 1,472억원의 시장적 편익을 제시한 바 있는데 이러한 편익과 본 사업에서의 비시장적 편익을 합하여 대형 해양과학연구선 건조사업의 경제적 편익을 산정할 수 있다.

다. 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익의 추정결과

앞서 설명하였듯이 CVM을 적용하여 구한 대형 해양과학연구선 건조사업의 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 연구 인프라 강화 편익은 연간 40,087백만원으로 추정되었다. 이 값은 2008년 기준이다. 따라서 연구시점인 2014년 12월 시점으로 조정해야 한다. 2010년의 소비자 물가지수를 100이라 할 때, 한국은행(www.bok.or.kr)에 따르면 2008년의 소비자 물가지수는 94.5, 2014년 12월의 소비자 물가지수는 108.8이다. 따라서 2014년 12월 시점으로 표현한 대형 해양과학

연구선 건조사업의 연간 경제적 편익은 46,153백만원(=40,087백만원×108.8/94.5)이다. 이 값을 제2 쇄빙연구선 건조사업의 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 연구 인프라 강화 편익으로 받아 들인다. 지불기간은 향후 10년간이므로 2017년부터 2026년까지 발생하는 편익에 대한 정보는 [표 8-168]와 같이 나타낼 수 있다. 이 값을 제2 쇄빙연구선의 건조가 완료되어 운영되기 시작하는 2022년부터 운영기간 25년을 거친 2046년까지의 편익값으로 재배치하면 [표 8-169]과 같다.

[표 8-166] 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 추정결과(2017~2026년)

연도	편익값(백만원)	2014년말 기준 할인값(백만원)
2017	46,153	43,747
2018	46,153	41,466
2019	46,153	39,305
2020	46,153	37,256
2021	46,153	35,313
2022	46,153	33,472
2023	46,153	31,727
2024	46,153	30,073
2025	46,153	28,505
2026	46,153	27,019
합계	461,531	347,885

KOPRI 극지연구소

[표 8-167] 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 추정결과(2022~2046년)

연도	편익값(백만원)	2014년말 기준 할인값(백만원)
2022	35,760	24,583
2023	35,760	23,301
2024	35,760	22,086
2025	35,760	20,935
2026	35,760	19,843
2027	35,760	18,809
2028	35,760	17,828
2029	35,760	16,899
2030	35,760	16,018
2031	35,760	15,183
2032	35,760	14,391
2033	35,760	13,641
2034	35,760	12,930
2035	35,760	12,256
2036	35,760	11,617
2037	35,760	11,011
2038	35,760	10,437
2039	35,760	9,893
2040	35,760	9,377
2041	35,760	8,889
2042	35,760	8,425
2043	35,760	7,986
2044	35,760	7,570
2045	35,760	7,175
2046	35,760	6,801
합계	**894,000**	**347,885**

KOPRI 극지연구소

5. 편익의 종합화

조선기자재개발 편익, 과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익을 종합화하면 [표 8-170]과 같다.

[표 8-168] 편익의 종합화 결과

연도	과학기술적 편익			국민들의 자긍심 고취 편익	조선 기자재 개발편익	합계		
	Case 1	Case 2	Case 3			Case 1	Case 2	Case 3
2022	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2023	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2024	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2025	37,057	33,642	33,550	35,760	10,965	83,782	80,367	80,275
2026	37,057	33,642	33,550	35,760	10,944	83,761	80,346	80,254
2027	37,057	33,642	33,550	35,760	10,924	83,741	80,326	80,234
2028	37,057	33,642	33,550	35,760	10,904	83,721	80,306	80,214
2029	37,057	33,642	33,550	35,760	10,884	83,701	80,286	80,194
2030	37,057	33,642	33,550	35,760	10,864	83,681	80,266	80,174
2031	37,057	33,642	33,550	35,760	10,844	83,661	80,246	80,154
2032	37,057	33,642	33,550	35,760	10,824	83,641	80,226	80,134
2033	37,057	33,642	33,550	35,760	10,804	83,621	80,206	80,114
2034	37,057	33,642	33,550	35,760	10,784	83,601	80,186	80,094
2035	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2036	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2037	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2038	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2039	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2040	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2041	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2042	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2043	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2044	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2045	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
2046	37,057	33,642	33,550	35,760		72,817	69,402	69,310
합계	926,437	841,050	838,750	894,000	108,742	1,929,167	1,843,792	1,841,492

단위: 백만원

2014년 기준 사회적 할인율 5.5%를 적용한 현재가치는 [표 8-171]과 같다.

[표 8-169] 현재가치 기준 편익의 종합화 결과

연도	과학기술적 편익 PV			국민들의 자긍심 고취 편익 PV	조선 기자재 개발편익 PV	합계 PV		
	Case 1	Case 2	Case 3			Case 1	Case 2	Case 3
2022	24,146	21,921	21,861	23,301		47,447	45,222	45,162
2023	22,887	20,778	20,721	22,086		44,974	42,865	42,808
2024	21,694	19,695	19,641	20,935		42,629	40,630	40,576
2025	20,563	18,668	18,617	19,844	6,084	46,491	44,596	44,545
2026	19,491	17,695	17,647	18,809	5,757	44,057	42,261	42,212
2027	18,475	16,773	16,727	17,829	5,446	41,750	40,048	40,002
2028	17,512	15,898	15,855	16,899	5,153	39,564	37,950	37,907
2029	16,599	15,069	15,028	16,018	4,875	37,492	35,963	35,922
2030	15,734	14,284	14,245	15,183	4,613	35,529	34,079	34,040
2031	14,913	13,539	13,502	14,391	4,364	33,669	32,295	32,258
2032	14,136	12,833	12,798	13,641	4,129	31,906	30,603	30,568
2033	13,399	12,164	12,131	12,930	3,907	30,236	29,001	28,968
2034	12,701	11,530	11,499	12,256	3,696	28,653	27,482	27,451
2035	12,038	10,929	10,899	11,617		23,655	22,546	22,516
2036	11,411	10,359	10,331	11,011		22,422	21,371	21,342
2037	10,816	9,819	9,792	10,437		21,253	20,257	20,230
2038	10,252	9,307	9,282	9,893		20,145	19,201	19,175
2039	9,718	8,822	8,798	9,377		19,095	18,200	18,175
2040	9,211	8,362	8,339	8,889		18,100	17,251	17,228
2041	8,731	7,926	7,905	8,425		17,156	16,351	16,330
2042	8,276	7,513	7,492	7,986		16,262	15,499	15,478
2043	7,844	7,121	7,102	7,570		15,414	14,691	14,672
2044	7,435	6,750	6,732	7,175		14,610	13,925	13,907
2045	7,048	6,398	6,381	6,801		13,849	13,199	13,182
2046	6,680	6,065	6,048	6,446		13,127	12,511	12,494
합계	341,711	310,221	309,372	329,751	48,024	719,486	687,996	687,148

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

6. 경제적 기대효과

가. 분석 개요

연구개발사업의 직접적 경제적 편익은 조선기자재개발 편익, 과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 및 국내 극지 인프라 강화 편익 등이며, 간접적 경제적 편익(경제적 기대효과)은 파급효과에 대한 사항을 분석하여 생산유발효과, 고용유발효과, 부가가치유발효과 등이 해당된다.

분석 방법으로는 경제적 파급효과 분석모형으로 생산 활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호연관관계를 수량적으로 분석하는 방법인 산업연관분석을 이용하였다. 산업연관분석은 경제구조 분석, 생산 활동의 각종 파급효과 분석, 경제예측 및 계획수립, 산업부문별 성장요인 분석 등에 있어 유용한 분석도구이다. 한국은행이 2014년에 발표한 2012년 기준 산업연관표를 바탕으로 조선 및 선박업의 생산유발, 고용유발 및 부가가치유발 효과를 분석하였다.

나. 분석 기간

경제적 파급효과 분석 기간은 제2 쇄빙연구선의 건조가 시작되는 2017년부터 완료되는 2021년이다.

다. 총 건조사업비 및 연도별 집행 내역

조선 및 선박업에 대한 경제적 파급효과 분석을 위해 순수하게 선박 건조비만을 고려해야 하며 이를 위해 총 건조사업비에서 건조비 중 부가가치세액와 부대비용 중 제세금액을 제외하고 총 건조사업비로 가정하였다.

[표 8-170] 총 건조사업비(부가세 및 제세금 제외)

구분	금액(백만원)
개념설계 등 설계비	9,500
건조비	215,090
감리비	2,945
감독비	28,499
총 건조사업비	256,034

연도별 건조사업비 집행내역은 『제5장 건조계획 및 운영방안』에 제시된 연도별 투입계획을 반영하되 부가가치세 및 제세금을 건조비와 부대비용의 해당 연도에서 차감하였다. 연도별 건조사업비 집행 내역은 [표 8-173]과 같다.

[표 8-171] 연도별 건조사업비 집행 내역(부가세 및 제세금 제외)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
설계비	4,500	5,000	-	-	-	9,500
건조비	-	21,509	64,527	64,627	64,527	215,090
부대비용	-	4,198	7,457	8,757	11,032	31,444
총 합계	4,500	30,707	71,984	73,284	75,559	256,034

라. 조선 및 선박업 유발계수

한국은행이 2014년에 발표한 2012년 실측표 기준 산업연관표의 투입산출표 기초가격 통합소분류에서 『095 선박』의 생산유발계수는 2.314, 부가가치유발계수는 0.586, 고용유발계수는 5.5이다.

[표 8-172] 적용 유발계수 요약

산업 부문	생산유발계수(*1)	부가가치유발계수(*2)	고용유발계수(*3)
095 선박	2.314	0.586	5.5

(*1) 생산유발계수는 최종수요 1단위가 발생했을 때, 각 산업부문이 이를 충족시키기 위해 전 산업에 파급시킨 직간접적인 유발생산효과를 나타냄

(*2) 부가가치 유발계수는 어떤 산업부문의 국내생산물에 대한 최종수요가 1단위 증가할 때 전 산업에서 직간접적으로 유발되는 부가가치의 크기를 나타냄

(*3) 고용유발계수는 어떤 산업의 최종수요가 10억원 증가할 경우 각 산업에서 직간접적으로 유발되는 고용자 수를 의미함

마. 경제적 파급효과

총 건조사업비(연구 및 탐사장비 제외)와 조선 및 선박업 유발계수를 이용하여 제2 쇄빙연구선 건조로 인한 경제적 파급효과를 분석한 결과 생산유발효과는 약 5,809억원, 부가가치유발효과는 약 1,471억원, 고용유발효과는 약 1,381명으로 추정된다. 연도별 경제적 파급효과는 [표 8-175]와 같다.

[표 8-173] 경제적 파급효과 종합

구분	효과종류	2017	2018	2019	2020	2021	합계
파급효과	생산유발효과	10,414	68,044	157,531	160,540	184,417	580,946
	부가가치유발효과	2,637	17,230	39,891	40,653	46,699	147,110
	고용유발효과(명)	25	162	374	382	438	1,381

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

KOPRI
극지연구소

제 5 절 경제적 타당성 분석 결과

1. 경제적 타당성 분석

가. 경제성 분석

예비타당성조사의 타당성 기준은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 사업의 경제성에 관한 분석이고, 다른 하나는 정책적 차원에서의 분석이다. 이중 경제성에 관한 분석은 일단 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악할 수 있도록 함으로써 사업에 대한 이해를 돕게 된다. 경제성 평가는 편익/비용 비율(B/C Ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 등의 계산을 통하여 사업의 경제성을 파악하는 과정이며, 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석을 수행한다.

본 연구에서는 비용편익분석을 경제성 분석의 기본 방법론으로 채택하고 있으며, 지침에 따라 분석 기준년도, 분석 기간, 사회적 할인율 등 공통적인 분석 방법을 적용함으로써 타 사업과의 평가의 일관성을 기한다. 본 조사에서는 경제적 타당성 평가를 위하여, 대안간 우선순위 비교 등을 위해 편익/비용 비율(B/C Ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 등을 구하여 비교하였다.

나. 경제성 분석의 주요 전제

본 연구에서는 분석을 시행하는 시점인 2014년을 평가의 기준년도로 정의하여 모든 편익과 비용을 추정한다. 이에 따라 본 조사 편익과 비용의 기준시점은 2014년 12월말이다.

(1) 분석 방법

경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용 비율(B/C Ratio), 내부수익율(IRR), 순현재가치(NPV) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용한다. 편익/비용비율, 순현재가치, 내부수익률은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있고, 어느 한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있

으므로 본 과업에서는 B/C비, 순현재가치, 내부수익률을 모두 분석하여 경제적 타당성을 분석하였다. 각 평가지표의 장·단점 등을 개략적으로 살펴보면 [표 8-176]과 같다.

[표 8-174] 경제성 분석의 개요

분석기법	장 점	단 점
편익/비용 비 율	▪ 이해 용이 ▪ 사업규모 고려 가능 ▪ 비용편익 발생기간의 고려	▪ 편익과 비용의 명확한 구분 곤란 ▪ 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 ▪ 사회적 할인율의 파악
내부수익률	▪ 사업의 수익성 측정 가능 ▪ 타 대안과 비교가 용이 ▪ 평가과정과 결과 이해가 용이	▪ 사업의 절대적 규모 고려치 않음 ▪ 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내제
순현재가치	▪ 대안 선택 시 명확한 기준 제시 ▪ 장래발생편익의 현재가치 제시 ▪ 한계 순현재가치 고려 ▪ 타 분석에 이용가능	▪ 할인율의 분명한 파악 ▪ 이해의 어려움 ▪ 대안 우선순위 결정시 오류발생 가능

(2) 편익/비용 비율

편익/비용비율이란 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용비율)≥1이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t에서의 편익
C_t : 시점 t에서의 비용
r : 할인율(이자율)
n : 내구연도(분석연도)

(3) 내부수익율

내부수익율(Internal Rate of Return: IRR)은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 r을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+IRR)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t에서의 편익
C_t : 시점 t에서의 비용
IRR : 내부수익률
n : 내구연도(분석년도)

(4) 순현재가치

순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t에서의 편익
C_t : 시점 t에서의 비용
r : 할인율(이자율)
n : 내구연도(분석연도)

(5) 경제성 분석시 전제사항

경제성 분석에 있어서 비용과 편익은 모두 '사회적 비용 및 편익'을 의미한다. 따라서 본 사업추진에 소요되는 사업비는 물론 추정된 편익 발생을 위해 소요되는 정부, 민간의 모든 명시적 암묵적 비용을 분석에 포함한다. 편익·비용 분석에 앞서 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』에 따라 다음과 같은 조건을 가정하였다. 첫째, 경제성 분석의 모든 비용과 편익은 2014년도 말 기준 불변가격으로 산정하였다. 둘째, 편익의 발생기간은 투자완료 후 25년으로 전제한다. 셋째, 현재가격은 2014년말을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 적용하고, 건조사업은 그 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면 편익은 건설 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가하였다.

(6) 분석대상 기간 및 사회적 할인율

제2 쇄빙연구선 건조사업이 추진될 경우, 5년의 설계 및 건조기간(2017년 ~ 2021년)이 소요될 것으로 전망된다. 또한 편익의 경우는 2022년도부터 순차적으로 발생하는 것으로 전망된다. 즉 본 경제성 분석에서는 2017년 ~ 2021년에

건조가 수행되고 2022년에 편익이 발생하기 시작하여 25년간 지속되는 것으로 가정한다. 따라서 본 사업의 경제성 분석 대상기간은 2017년~2046년이며, 비용과 편익 항목의 현재가치는 2014년말을 기준으로 산출한다. 경제성 분석을 위한 각종 수익성 지표를 계산함에 있어서 사회적 할인율은 『예비타당성조사 일반지침(제4판)의 수정·보완: 사회적 할인율의 조정』에 따라 5.5%를 적용한다.

다. 비용의 추정

예비타당성조사 일반지침(제5판)에 근거하여 예비비를 반영하되 부가가치세를 제외한 사업비 및 운영비 등을 추정하여 경제성 분석용 비용을 산정하였다. 사업비는 설계 2년 및 건조 3년 동안 발생하며, 운영비용은 제2 쇄빙연구선의 내구연한인 25년 동안 발생한다. 보수적 접근을 위해 잔존가치는 반영하지 않는다.

KOPRI 극지연구소

[표 8-175] 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석용 비용

연도	건조비용	운영비용	합계
2017	4,500		4,500
2018	30,707		30,707
2019	71,984		71,984
2020	73,284		73,284
2021	75,559	12,064	87,623
2022		22,148	22,148
2023		22,148	22,148
2024		22,148	22,148
2025		22,148	22,148
2026		22,148	22,148
2027		22,148	22,148
2028		22,148	22,148
2029		22,148	22,148
2030		22,148	22,148
2031		22,148	22,148
2032		22,148	22,148
2033		22,148	22,148
2034		22,148	22,148
2035		22,148	22,148
2036		22,148	22,148
2037		22,148	22,148
2038		22,148	22,148
2039		22,148	22,148
2040		22,148	22,148
2041		22,148	22,148
2042		22,148	22,148
2043		22,148	22,148
2044		22,148	22,148
2045		22,148	22,148
2046		22,148	22,148
합계	256,034	565,768	821,798

주) 건조비용에서 부가가치세는 제외하였으며, 부대비용에서 제세금도 제외하였음. 단위:백만원

KOPRI 극지연구소

라. 경제성 분석을 위한 시나리오 설정

경제성 분석을 위한 시나리오는 편익 이전법을 적용한 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익을 고려하여 다음의 3가지로 설정하였다.

○ 시나리오 1 : 과학기술적 편익만을 고려

○ 시나리오 2 : 조선기자재 개발 편익과 과학기술적 편익만을 고려한 경우

○ 시나리오 3 : 조선기자재 개발 편익, 과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 모두 고려한 경우

마. 경제성 분석 결과

(1) 시나리오 1에 대한 경제성 분석

과학기술적 편익만을 고려하여 제2 쇄빙연구선 건조사업에 대한 경제성 분석을 실시한 결과는 [표 8-176]과 같이 요약된다. 분석결과, 총비용의 현재가치는 401,315 백만원이며 Case 1, Case 2, Case 3에 대한 총 편익의 현재가치는 각각 341,710 백만원, 310,221 백만원, 309,372 백만원으로 추정되었다. 편익-비용 비율은 각각 0.85, 0.77, 0.77으로 산정되어 B/C 비율이 1에는 미치지만 제2 쇄빙연구선 건조사업이 R&D사업임을 고려해야 한다. 각 Case별 비용 및 편익의 흐름은 각각 [표 8-177], [표 8-178], [표 8-179]에 제시하였다. 2017년~2021년까지의 설계 및 건조 기간에는 투자비가 투입되고, 과학기술적 편익의 경우 2022년부터 발생한다.

[표 8-176] 시나리오 1 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약

구분	현재가치 합계(백만원)		순현재가치 (NPV) (백만원)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
Case 1	341,710	401,315	-59,605	0.85	2.4%
Case 2	310,221		-91,094	0.77	0.5%
Case 3	309,372		-91,943	0.77	0.4%

[표 8-177] 시나리오 1 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	37,057	24,146	14,909	9,715
2023	22,148	13,679	37,057	22,887	14,909	9,208
2024	22,148	12,966	37,057	21,694	14,909	8,728
2025	22,148	12,290	37,057	20,563	14,909	8,273
2026	22,148	11,650	37,057	19,491	14,909	7,842
2027	22,148	11,042	37,057	18,475	14,909	7,433
2028	22,148	10,467	37,057	17,512	14,909	7,045
2029	22,148	9,921	37,057	16,599	14,909	6,678
2030	22,148	9,404	37,057	15,734	14,909	6,330
2031	22,148	8,913	37,057	14,913	14,909	6,000
2032	22,148	8,449	37,057	14,136	14,909	5,687
2033	22,148	8,008	37,057	13,399	14,909	5,391
2034	22,148	7,591	37,057	12,701	14,909	5,110
2035	22,148	7,195	37,057	12,038	14,909	4,843
2036	22,148	6,820	37,057	11,411	14,909	4,591
2037	22,148	6,464	37,057	10,816	14,909	4,351
2038	22,148	6,127	37,057	10,252	14,909	4,125
2039	22,148	5,808	37,057	9,718	14,909	3,910
2040	22,148	5,505	37,057	9,211	14,909	3,706
2041	22,148	5,218	37,057	8,731	14,909	3,513
2042	22,148	4,946	37,057	8,276	14,909	3,329
2043	22,148	4,688	37,057	7,844	14,909	3,156
2044	22,148	4,444	37,057	7,435	14,909	2,991
2045	22,148	4,212	37,057	7,048	14,909	2,835
2046	22,148	3,993	37,057	6,680	14,909	2,688
합계	821,802	401,315	926,425	341,710	104,623	-59,603

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-178] 시나리오 1 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	33,642	21,921	11,494	7,489
2023	22,148	13,679	33,642	20,778	11,494	7,099
2024	22,148	12,966	33,642	19,695	11,494	6,729
2025	22,148	12,290	33,642	18,668	11,494	6,378
2026	22,148	11,650	33,642	17,695	11,494	6,046
2027	22,148	11,042	33,642	16,773	11,494	5,730
2028	22,148	10,467	33,642	15,898	11,494	5,432
2029	22,148	9,921	33,642	15,069	11,494	5,148
2030	22,148	9,404	33,642	14,284	11,494	4,880
2031	22,148	8,913	33,642	13,539	11,494	4,626
2032	22,148	8,449	33,642	12,833	11,494	4,385
2033	22,148	8,008	33,642	12,164	11,494	4,156
2034	22,148	7,591	33,642	11,530	11,494	3,939
2035	22,148	7,195	33,642	10,929	11,494	3,734
2036	22,148	6,820	33,642	10,359	11,494	3,539
2037	22,148	6,464	33,642	9,819	11,494	3,355
2038	22,148	6,127	33,642	9,307	11,494	3,180
2039	22,148	5,808	33,642	8,822	11,494	3,014
2040	22,148	5,505	33,642	8,362	11,494	2,857
2041	22,148	5,218	33,642	7,926	11,494	2,708
2042	22,148	4,946	33,642	7,513	11,494	2,567
2043	22,148	4,688	33,642	7,121	11,494	2,433
2044	22,148	4,444	33,642	6,750	11,494	2,306
2045	22,148	4,212	33,642	6,398	11,494	2,186
2046	22,148	3,993	33,642	6,065	11,494	2,072
합계	821,802	401,315	841,050	310,221	19,248	-91,093

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-179] 시나리오 1 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	33,550	21,861	11,402	7,429
2023	22,148	13,679	33,550	20,721	11,402	7,042
2024	22,148	12,966	33,550	19,641	11,402	6,675
2025	22,148	12,290	33,550	18,617	11,402	6,327
2026	22,148	11,650	33,550	17,647	11,402	5,997
2027	22,148	11,042	33,550	16,727	11,402	5,685
2028	22,148	10,467	33,550	15,855	11,402	5,388
2029	22,148	9,921	33,550	15,028	11,402	5,107
2030	22,148	9,404	33,550	14,245	11,402	4,841
2031	22,148	8,913	33,550	13,502	11,402	4,589
2032	22,148	8,449	33,550	12,798	11,402	4,349
2033	22,148	8,008	33,550	12,131	11,402	4,123
2034	22,148	7,591	33,550	11,499	11,402	3,908
2035	22,148	7,195	33,550	10,899	11,402	3,704
2036	22,148	6,820	33,550	10,331	11,402	3,511
2037	22,148	6,464	33,550	9,792	11,402	3,328
2038	22,148	6,127	33,550	9,282	11,402	3,154
2039	22,148	5,808	33,550	8,798	11,402	2,990
2040	22,148	5,505	33,550	8,339	11,402	2,834
2041	22,148	5,218	33,550	7,905	11,402	2,686
2042	22,148	4,946	33,550	7,492	11,402	2,546
2043	22,148	4,688	33,550	7,102	11,402	2,414
2044	22,148	4,444	33,550	6,732	11,402	2,288
2045	22,148	4,212	33,550	6,381	11,402	2,168
2046	22,148	3,993	33,550	6,048	11,402	2,055
합계	821,802	401,315	838,750	309,372	16,948	-91,943

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

(2) 시나리오 2에 대한 경제성 분석

조선기자재 개발 편익과 과학기술적 편익을 고려하여 제2 쇄빙연구선 건조사업에 대한 경제성 분석을 실시한 결과는 [표 8-180]와 같이 요약된다. 분석결과, 총비용의 현재가치는 401,315 백만원이며 Case 1, Case 2, Case 3에 대한 총 편익의 현재가치는 각각 389,735 백만원, 358,244 백만원, 357,396 백만원으로 추정되었다. 편익-비용 비율은 각각 0.97, 0.89, 0.89으로 산정되어 본 사업은 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타났다. 각 Case별 비용 및 편익의 흐름은 각각 [표 8-181], [표 8-182], [표 8-183]에 제시하였다. 2017년~2021년까지의 설계 및 건조기간에는 투자비가 투입되고, 편익의 경우 조선기자재개발 편익은 2025년부터 발생하고 과학기술적 편익은 2022년부터 발생한다.

[표 8-180] 시나리오 2 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약

구분	현재가치 합계(백만원)		순현재가치 (NPV) (백만원)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
Case 1	389,735	401,315	-11,580	0.97	4.9%
Case 2	358,244		-43,071	0.89	3.2%
Case 3	357,396		-43,919	0.89	3.2%

KOPRI 극지연구소

[표 8-181] 시나리오 2 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	37,057	24,146	14,909	9,715
2023	22,148	13,679	37,057	22,887	14,909	9,208
2024	22,148	12,966	37,057	21,694	14,909	8,728
2025	22,148	12,290	48,022	26,648	25,874	14,357
2026	22,148	11,650	48,001	25,248	25,853	13,598
2027	22,148	11,042	47,981	23,922	25,833	12,879
2028	22,148	10,467	47,961	22,665	25,813	12,198
2029	22,148	9,921	47,941	21,474	25,793	11,553
2030	22,148	9,404	47,921	20,346	25,773	10,943
2031	22,148	8,913	47,901	19,278	25,753	10,364
2032	22,148	8,449	47,881	18,265	25,733	9,816
2033	22,148	8,008	47,861	17,306	25,713	9,297
2034	22,148	7,591	47,841	16,397	25,693	8,806
2035	22,148	7,195	37,057	12,038	14,909	4,843
2036	22,148	6,820	37,057	11,411	14,909	4,591
2037	22,148	6,464	37,057	10,816	14,909	4,351
2038	22,148	6,127	37,057	10,252	14,909	4,125
2039	22,148	5,808	37,057	9,718	14,909	3,910
2040	22,148	5,505	37,057	9,211	14,909	3,706
2041	22,148	5,218	37,057	8,731	14,909	3,513
2042	22,148	4,946	37,057	8,276	14,909	3,329
2043	22,148	4,688	37,057	7,844	14,909	3,156
2044	22,148	4,444	37,057	7,435	14,909	2,991
2045	22,148	4,212	37,057	7,048	14,909	2,835
2046	22,148	3,993	37,057	6,680	14,909	2,688
합계	821,802	401,315	1,035,166	389,735	213,364	-11,580

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-182] 시나리오 2 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	33,642	21,921	11,494	7,489
2023	22,148	13,679	33,642	20,778	11,494	7,099
2024	22,148	12,966	33,642	19,695	11,494	6,729
2025	22,148	12,290	44,607	24,753	22,459	12,462
2026	22,148	11,650	44,586	23,452	22,438	11,802
2027	22,148	11,042	44,566	22,219	22,418	11,177
2028	22,148	10,467	44,546	21,051	22,398	10,585
2029	22,148	9,921	44,526	19,945	22,378	10,024
2030	22,148	9,404	44,506	18,896	22,358	9,493
2031	22,148	8,913	44,486	17,903	22,338	8,990
2032	22,148	8,449	44,466	16,962	22,318	8,513
2033	22,148	8,008	44,446	16,071	22,298	8,062
2034	22,148	7,591	44,426	15,226	22,278	7,635
2035	22,148	7,195	33,642	10,929	11,494	3,734
2036	22,148	6,820	33,642	10,359	11,494	3,539
2037	22,148	6,464	33,642	9,819	11,494	3,355
2038	22,148	6,127	33,642	9,307	11,494	3,180
2039	22,148	5,808	33,642	8,822	11,494	3,014
2040	22,148	5,505	33,642	8,362	11,494	2,857
2041	22,148	5,218	33,642	7,926	11,494	2,708
2042	22,148	4,946	33,642	7,513	11,494	2,567
2043	22,148	4,688	33,642	7,121	11,494	2,433
2044	22,148	4,444	33,642	6,750	11,494	2,306
2045	22,148	4,212	33,642	6,398	11,494	2,186
2046	22,148	3,993	33,642	6,065	11,494	2,072
합계	821,802	401,315	949,791	358,245	127,989	-43,070

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-183] 시나리오 2 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	33,550	21,861	11,402	7,429
2023	22,148	13,679	33,550	20,721	11,402	7,042
2024	22,148	12,966	33,550	19,641	11,402	6,675
2025	22,148	12,290	44,515	24,702	22,367	12,411
2026	22,148	11,650	44,494	23,403	22,346	11,754
2027	22,148	11,042	44,474	22,173	22,326	11,131
2028	22,148	10,467	44,454	21,008	22,306	10,541
2029	22,148	9,921	44,434	19,903	22,286	9,983
2030	22,148	9,404	44,414	18,857	22,266	9,454
2031	22,148	8,913	44,394	17,866	22,246	8,953
2032	22,148	8,449	44,374	16,927	22,226	8,478
2033	22,148	8,008	44,354	16,037	22,206	8,029
2034	22,148	7,591	44,334	15,195	22,186	7,604
2035	22,148	7,195	33,550	10,899	11,402	3,704
2036	22,148	6,820	33,550	10,331	11,402	3,511
2037	22,148	6,464	33,550	9,792	11,402	3,328
2038	22,148	6,127	33,550	9,282	11,402	3,154
2039	22,148	5,808	33,550	8,798	11,402	2,990
2040	22,148	5,505	33,550	8,339	11,402	2,834
2041	22,148	5,218	33,550	7,905	11,402	2,686
2042	22,148	4,946	33,550	7,492	11,402	2,546
2043	22,148	4,688	33,550	7,102	11,402	2,414
2044	22,148	4,444	33,550	6,732	11,402	2,288
2045	22,148	4,212	33,550	6,381	11,402	2,168
2046	22,148	3,993	33,550	6,048	11,402	2,055
합계	821,802	401,315	947,491	357,396	125,689	-43,918

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

(3) 시나리오 3에 대한 경제성 분석

시나리오 3는 시나리오 2에서 고려한 두 가지의 편익과 편익 이전법을 적용한 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지연구 인프라 강화 편익 모두를 고려하였다. 이에 대한 경제성 분석을 실시한 결과는 [표 8-184]과 같이 요약된다. 분석결과, 총비용의 현재가치는 401,315 백만원이며 Case 1, Case 2, Case 3에 대한 총 편익의 현재가치는 각각 719,486 백만원, 687,996 백만원, 687,147 백만원으로 추정되었다. 편익-비용 비율은 각각 1.79, 1.71, 1.71으로 시나리오 1보다 높은 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타났다. 각 Case별 비용 및 편익의 흐름은 각각 [표 8-185], [표 8-186], [표 8-187]에 제시하였다. 2017년~2021년까지의 설계 및 건조 기간에는 투자비가 투입되고, 편익의 경우 조선기자재개발 편익은 2025년부터 발생하고 과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지인프라 강화 편익은 2022년부터 발생한다.

[표 8-184] 시나리오 3 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 경제성 분석 결과 요약

구분	현재가치 합계(백만원)		순현재가치 (NPV) (백만원)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
Case 1	719,486	401,315	318,171	1.79	16.7%
Case 2	687,996		286,681	1.71	15.8%
Case 3	687,147		285,832	1.71	15.7%

KOPRI 극지연구소

[표 8-185] 시나리오 3 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 1)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	72,817	47,447	50,669	33,016
2023	22,148	13,679	72,817	44,974	50,669	31,295
2024	22,148	12,966	72,817	42,629	50,669	29,663
2025	22,148	12,290	83,782	46,491	61,634	34,201
2026	22,148	11,650	83,761	44,057	61,613	32,407
2027	22,148	11,042	83,741	41,750	61,593	30,708
2028	22,148	10,467	83,721	39,564	61,573	29,097
2029	22,148	9,921	83,701	37,492	61,553	27,572
2030	22,148	9,404	83,681	35,529	61,533	26,126
2031	22,148	8,913	83,661	33,669	61,513	24,756
2032	22,148	8,449	83,641	31,906	61,493	23,457
2033	22,148	8,008	83,621	30,236	61,473	22,227
2034	22,148	7,591	83,601	28,652	61,453	21,062
2035	22,148	7,195	72,817	23,655	50,669	16,460
2036	22,148	6,820	72,817	22,422	50,669	15,602
2037	22,148	6,464	72,817	21,253	50,669	14,789
2038	22,148	6,127	72,817	20,145	50,669	14,018
2039	22,148	5,808	72,817	19,095	50,669	13,287
2040	22,148	5,505	72,817	18,100	50,669	12,594
2041	22,148	5,218	72,817	17,156	50,669	11,938
2042	22,148	4,946	72,817	16,262	50,669	11,315
2043	22,148	4,688	72,817	15,414	50,669	10,726
2044	22,148	4,444	72,817	14,610	50,669	10,166
2045	22,148	4,212	72,817	13,849	50,669	9,636
2046	22,148	3,993	72,817	13,127	50,669	9,134
합계	821,802	401,315	1,929,166	719,487	1,107,364	318,172

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-186] 시나리오 3 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 2)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	69,402	45,222	47,254	30,791
2023	22,148	13,679	69,402	42,865	47,254	29,185
2024	22,148	12,966	69,402	40,630	47,254	27,664
2025	22,148	12,290	80,367	44,596	58,219	32,306
2026	22,148	11,650	80,346	42,261	58,198	30,611
2027	22,148	11,042	80,326	40,048	58,178	29,005
2028	22,148	10,467	80,306	37,950	58,158	27,484
2029	22,148	9,921	80,286	35,963	58,138	26,042
2030	22,148	9,404	80,266	34,079	58,118	24,676
2031	22,148	8,913	80,246	32,295	58,098	23,381
2032	22,148	8,449	80,226	30,603	58,078	22,155
2033	22,148	8,008	80,206	29,001	58,058	20,992
2034	22,148	7,591	80,186	27,482	58,038	19,891
2035	22,148	7,195	69,402	22,546	47,254	15,351
2036	22,148	6,820	69,402	21,371	47,254	14,551
2037	22,148	6,464	69,402	20,257	47,254	13,792
2038	22,148	6,127	69,402	19,201	47,254	13,073
2039	22,148	5,808	69,402	18,200	47,254	12,392
2040	22,148	5,505	69,402	17,251	47,254	11,746
2041	22,148	5,218	69,402	16,351	47,254	11,133
2042	22,148	4,946	69,402	15,499	47,254	10,553
2043	22,148	4,688	69,402	14,691	47,254	10,003
2044	22,148	4,444	69,402	13,925	47,254	9,481
2045	22,148	4,212	69,402	13,199	47,254	8,987
2046	22,148	3,993	69,402	12,511	47,254	8,518
합계	821,802	401,315	1,843,791	687,996	1,021,989	286,681

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

[표 8-187] 시나리오 3 - 제2 쇄빙연구선 건조사업의 비용 및 편익의 흐름(Case 3)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2017	4,500	3,832	-	-	-4,500	-3,832
2018	30,707	24,787	-	-	-30,707	-24,787
2019	71,984	55,077	-	-	-71,984	-55,077
2020	73,284	53,149	-	-	-73,284	-53,149
2021	87,623	60,236	-	-	-87,623	-60,236
2022	22,148	14,432	69,310	45,162	47,162	30,731
2023	22,148	13,679	69,310	42,808	47,162	29,129
2024	22,148	12,966	69,310	40,576	47,162	27,610
2025	22,148	12,290	80,275	44,545	58,127	32,255
2026	22,148	11,650	80,254	42,212	58,106	30,563
2027	22,148	11,042	80,234	40,002	58,086	28,959
2028	22,148	10,467	80,214	37,907	58,066	27,440
2029	22,148	9,921	80,194	35,922	58,046	26,001
2030	22,148	9,404	80,174	34,040	58,026	24,637
2031	22,148	8,913	80,154	32,258	58,006	23,344
2032	22,148	8,449	80,134	30,568	57,986	22,120
2033	22,148	8,008	80,114	28,968	57,966	20,959
2034	22,148	7,591	80,094	27,451	57,946	19,860
2035	22,148	7,195	69,310	22,516	47,162	15,321
2036	22,148	6,820	69,310	21,342	47,162	14,522
2037	22,148	6,464	69,310	20,230	47,162	13,765
2038	22,148	6,127	69,310	19,175	47,162	13,048
2039	22,148	5,808	69,310	18,175	47,162	12,367
2040	22,148	5,505	69,310	17,228	47,162	11,723
2041	22,148	5,218	69,310	16,330	47,162	11,112
2042	22,148	4,946	69,310	15,478	47,162	10,532
2043	22,148	4,688	69,310	14,672	47,162	9,983
2044	22,148	4,444	69,310	13,907	47,162	9,463
2045	22,148	4,212	69,310	13,182	47,162	8,969
2046	22,148	3,993	69,310	12,494	47,162	8,502
합계	821,802	401,315	1,841,491	687,147	1,019,689	285,832

단위: 백만원

KOPRI 극지연구소

2. 민감도 분석

타당성을 평가하기 위해서는 사용되는 경제성 평가의 편익과 비용의 계산에는 많은 불확실성이 내포되어 있다. 불확실성에 대처하기 위해서는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 많이 시행하는데, 민감도 분석은 투자비나 경제성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수, 예를 들어서 비용, 편익, 할인율 등에 대해서 각 변수가 일정량만큼 변화되었을 경우 경제성이 어떻게 변화하는지 파악하는 방법이다. 여기서는 편익, 비용, 사회적 할인율을 각각 변화시키면서 민감도 분석을 실시하였다.

가. 편익 및 비용의 변화에 따른 분석

편익 및 비용 변화에 대한 민감도 분석을 위해서 각 시나리오 별 편익 변화와 비용 변화를 ±20%까지 10%p씩 변화시켰다. [표 8-188]에 제시된 분석결과, 과학기술적 편익만을 고려한 시나리오 1의 경우 편익이 20% 이상 증가할 때, 비용이 20% 이상 감소할 때 B/C 비율이 1에 가까워진다. 조선기자재 개발 편익과 과학기술적 편익을 고려한 시나리오 2의 경우, 제2 쇄빙연구선 건조사업의 B/C 비율은 전반적으로 1에 근접한 값을 가지나 편익이 현재보다 20% 이상 감소할 때 0.8이하로 낮아진다. 조선기자재 개발 편익,과학기술적 편익, 국민 자긍심 고취 편익 및 국내 극지인프라 강화 편익을 모두 고려한 시나리오 3의 경우 편익과 비용의 변화에 상관없이 B/C비율은 1이상의 값을 나타낸다.

[표 8-188] 시나리오 별 편익 및 비용의 변화에 따른 민감도 분석(B/C)

구분			변화율(%)				
			−20	−10	0	+10	+20
시나리오 1	Case 1	편익변화	0.68	0.77	0.85	0.94	1.02
		비용변화	1.06	0.95		0.77	0.71
	Case 2	편익변화	0.62	0.70	0.77	0.85	0.93
		비용변화	0.97	0.86		0.70	0.64
	Case 3	편익변화	0.62	0.69	0.77	0.85	0.93
		비용변화	0.96	0.86		0.70	0.64
시나리오 2	Case 1	편익변화	0.78	0.87	0.97	1.07	1.17
		비용변화	1.21	1.08		0.88	0.81
	Case 2	편익변화	0.71	0.80	0.89	0.98	1.07
		비용변화	1.12	0.99		0.81	0.74
	Case 3	편익변화	0.71	0.80	0.89	0.98	1.07
		비용변화	1.11	0.99		0.81	0.74
시나리오 3	Case 1	편익변화	1.43	1.61	1.79	1.97	2.15
		비용변화	2.24	1.99		1.63	1.49
	Case 2	편익변화	1.37	1.54	1.71	1.89	2.06
		비용변화	2.14	1.90		1.56	1.43
	Case 3	편익변화	1.37	1.54	1.71	1.88	2.05
		비용변화	2.14	1.90		1.56	1.43

나. 할인율 변화에 따른 민감도 분석

할인율 변화에 대한 민감도 분석을 위해 할인율을 1.0%p씩 변화시켰다. [표 8-189]에 제시된 분석결과, 각 시나리오 별 할인율에 따른 B/C비율은 큰 폭의 변화는 보이지 않는다. 과학기술적 편익만을 고려한 시나리오 1의 경우 할인율 변화에 따라 최소 0.69에서 최대 0.94의 B/C비율을 나타내고 있다. 시나리오 2의 경우 할인율 변화에 따라 B/C비율이 0.80 ~ 1.07 수준을 유지하고 있다. 시나리오 3의 경우 할인율을 변화시켜도 B/C비율이 1이상으로 경제성에 큰 영향은 없는 것으로 나타난다.

[표 8-189] 시나리오 별 할인율 변화에 따른 민감도 분석(B/C)

구분		할인율(%)				
		3.5%	4.5%	5.5%	6.5%	7.5%
시나리오 1	Case 1	0.95	0.90	0.85	0.81	0.76
	Case 2	0.85	0.81	0.77	0.73	0.69
	Case 3	0.85	0.81	0.77	0.73	0.69
시나리오 2	Case 1	1.07	1.02	0.97	0.92	0.88
	Case 2	0.99	0.94	0.89	0.85	0.80
	Case 3	0.98	0.94	0.89	0.85	0.80
시나리오 3	Case 1	1.99	1.89	1.79	1.70	1.61
	Case 2	1.90	1.81	1.71	1.63	1.54
	Case 3	1.90	1.80	1.71	1.62	1.54

KOPRI 극지연구소

3. 결론

제2 쇄빙연구선 건조사업에 대한 경제적 타당성을 분석한 결과 본 사업은 비용편익 분석을 통과하여 경제적 타당성을 확보한다. 아울러 민감도 분석 결과 비용 및 편익의 변화에 대해 일관되게 경제적 타당성을 확보한다. 따라서 본 사업은 즉시 시행될 필요가 있다.

KOPRI 극지연구소

제 9 장

결론

KOPRI
극지연구소

KOPRI
극지연구소

극지연구소는 기획연구를 통해 제2 쇄빙연구선 건조사업 추진에 대해 내부적으로 사전타당성을 검토했다. 본 사업은 제2 쇄빙연구선의 성공적인 건조와 이를 위해 필요한 요소기술 개발을 병행할 계획이며, 사업추진을 위한 내부 사전타당성의 주요 내용은 다음과 같다.

1. 사업계획의 구체성

○ 본 사업은 총 두차례에 걸친 기획연구를 통해 준비되었으며, 사업의 객관성 및 전문성을 확보하고자 각 분야 전문가들과의 협의 및 공청회 등을 수행하였고, 극지연구소 연구원을 포함한 과학기술전문가를 대상으로 제2 쇄빙연구선의 필요성, 역할, 기능, 재원 등에 대한 수요조사를 실시함

○ 아라온호 건조 당시 참여했던 극지연구소 인력을 중심으로 연구실무위원회를 구성하였고, 분과별로 산·학·연 전문가를 중심으로 자문위원회를 구성하여 운영함

○ 본 사업의 목표는 “고부가가치 준대형급 쇄빙연구선 건조 및 빙성능 최적화 관련 요소기술 개발”로 설정하였고, 이를 달성하기 위한 성과지표를 제시함

○ 본 사업은 해양수산부 승인 아래 극지연구소가 총괄 추진하고, 해양수산부 연구소 및 대학, 선박설계사, 국내·외 조선소, 선급 등의 사업추진체계를 구성하여 건조 완료 시점까지 운영하도록 함

○ 본 사업에 대한 타당성이 입증되면 2017년부터 건조사업이 착수될 예정이며, 실시설계, 개념 및 기본설계 위주의 1단계(18개월), 상세설계 및 건조 위주의 2단계(48개월) 아래 연도별 로드맵을 구성하여 진행될 예정임. 2021년 6월에 인도명명이 이루어지면 시운전 등을 거쳐 2022년부터 본격적인 운항을 계획하고 있음

○ 제2 쇄빙연구선 건조비용은 총 2,856억 원으로 단계별/연도별 재원투입계획을 수립하였고, 안정적 재원 확보를 위해 해양수산부 재정계획에 반영함

○ 아라온호 운영사례 및 운영방식에 대한 비교분석을 통해 제2 쇄빙연구선은 위탁관리 형태의 운영을 계획함. 운항에 필요한 승무원에 대해 역할에 따른 임무를 정의하고, 선박 및 선박관리에 대한 운영방안을 마련함

2. 기술개발의 필요성

○ 북극해는 환경변화에 가장 민감하게 반응해 조사·연구의 최적지로 여겨지고 있으며, 지구온난화로 인한 급속한 해빙으로 북극항로 개척 및 자원탐사 등 경제적 가치가 높은 지역으로 전세계적으로 북극에 대한 관심이 고조되어 가고 있는 상황임. 우리나라 또한 아라온호 건조, 북극이사회 옵서버 가입, 북극정책 기본계획 수립 등 북극 조사·연구 강화를 위한 기반 마련에 심혈을 기울이고 있음

○ 하지만 남극연구활동 및 기지보급 등으로 인해 아라온호의 운항일수는 이미 포화상태에 이르러 있고 이로인해 북극연구 목적의 항행에도 제약이 발생함에 따라 북극 전용의 제2 쇄빙연구선의 필요성이 제기되고 있음

○ 박근혜 정부 국정과제를 포함한 다양한 정부정책에서도 제2 쇄빙연구선 건조를 언급하고 있음. 특히 '박근혜 정부의 140대 국정과제' 중 11번 과제인 '해양 신성장 동력 창출 및 체계적 해양영토 관리'의 추진계획으로 '북극항로 개척', '극지에서의 기초·응용 연구 확대'가 제시되었으며, 이를 실행하기 위해 제2 쇄빙연구선의 필요성을 확인할 수 있음

○ '제3차 과학기술기본계획', 북극정책 기본계획' 등의 국가차원의 정책외에도 주무부처인 해양수산부의 '해양수산 R&D 중장기 계획'과 '해양수산 경제활성화 방안'에서도 본 사업이 제시되어 있음

○ 제2 쇄빙연구선 건조사업의 예산규모는 약 2,856억 원으로 약 5년의 기간에 걸친 대규모 연구개발 사업임. 쇄빙연구선이 시장의 상품적 가치를 직접 계량화하기 어렵지만, 극지활동 활성화, 과학기술의 발전, 산업적 활용 등 공익적 가치를 갖는다는 점에서, 제2 쇄빙연구선의 건조는 정부가 지원하는 대형 R&D 사업으로 추진되어야 함

○ 국가재정운용계획(2014~2018)에 비춰봤을 때, 정부는 기초연구에 대한 투자비중을 2018년 까지 40%로 확대하겠다는 목표를 갖고 있으며, 정부가 설정한 13대 미래 성장동력에 R&D 투자를 강화해 나갈 계획임. 극지연구는 거대과학으로 기초연구가 밑바탕이 되는 연구분야이며 이를 수행하기 위한 핵심인프라인 쇄빙연구선 건조는 기초연구 활성화에 반드시 필요함

3. 기술개발의 시급성

○ 우리나라가 북극 이사회 옵서버 지휘를 획득함에 따라 회원국들과의 양자 협력 기회 및 국제공동연구 수요가 더욱 증가할 것으로 예상되지만 북극 전용의 추가 쇄빙연구선이 없을 경우 관련 연구기회뿐만 아니라 국가차원의 협력 기회까지도 상실할 수 있음

○ 세계적으로 북극에 관한 연구 및 비즈니스 차원의 개발에 대한 중요성이 확산됨에 따라 국가별로 북극정책을 수립하고 실행력 확보 차원에서 신규 쇄빙선 개발에 집중하고 있음. 북극해 진출에 대한 국가간 경쟁이 가속화되고 있는 상황에서 우리나라는 최근 획득한 북극이사회 옵서버의 책무를 수행하고 북극정책 기본계획을 수행하는 등의 국가경쟁력을 확보하기 위해서는 제2 쇄빙연구선 건조가 시급함

○ 쇄빙연구선은 다양한 최첨단 기술이 집약되어 있기 때문에 평균 7년 이상의 건조시간이 필요함. 우리나라의 경우 올해 쇄빙연구선 건조를 결정하고 2017년부터 건조에 착수해도 2022년부터 운항이 가능하기 때문에 미래를 위한 사전 투자라는 관점에서 본다면 현재의 투자결정이 결코 빠른 것이 아님

○ 2022년 이후에는 정치·경제적으로 북극해 대륙붕을 둘러싼 쟁탈전이 심화될 것으로 보임. 현재 러시아, 덴마크를 비롯한 다수의 북극해 연안국들이 대륙붕 연장 요청을 제시하였으며, 빠르면 2023년 이후 대륙붕 연장에 대한 승인 여부가 결정될 것으로 예상. 대륙붕 확장에 따라 연안국의 영해가 확장되면 그만큼 과학연구 활동의 제약이 예상되는 만큼, 조기에 제2 쇄빙연구선 건조 사업 착수가 필요

○ 과학연구 측면에서도 3대 주요 해령(멘델레프, 알파, 로모노소프) 국제공동탐사 및 북극점 단독 탐사를 위해서도 제2 쇄빙연구선의 필요성이 커지고 있음. 이미 독일 등 극지연구 선진국들은 북극해 탐사의 핵심이라 할 수 있는 해당 영역에 대한 탐사에 착수. 또한 북극해의 대표적 국제공동연구 프로그램인 PACEO(Pacific Arctic Climate-Ecosystem Observatory, 태평양 북극해 기후-생태계 관측)에 본격 참여하기 위해서도 제2 쇄빙연구선은 매우 시급. 2022년부터 2단계 사업이 진행될 본 연구프로그램은 북극해 관측

및 과학연구에 핵심적인 역할을 담당하고 있는 만큼 제2 쇄빙연구선 건조를 통해 이에 적극 참여하여 북극해에서의 영향력 확대를 위한 과학외교 활동에 나서야 함

KOPRI 극지연구소

4. 기존 기술 및 사업과의 차별성

○ 제2 쇄빙연구선과 가장 유사한 사업으로는 국내 최초 쇄빙연구선인 아라온호가 있으나, 제2 쇄빙연구선과 비교시 크게 4가지 측면에서 차별성을 가지고 있음

- (쇄빙/내한 성능 강화) Polar 10 (-35℃) → Polar 20 (-45℃)
- (연구/지원 공간 확보) 장착식 → 탈·부착식
- (승선인원 확대) 85명 → 120명
- (주요 활동해역 상이) 아라온호 → 남극, 제2 쇄빙연구선 → 북극

○ 또한 제2 쇄빙연구선을 조선기자재의 방한기술에 대한 성능을 실선검증할 수 있는 Test-Bed로 적극 활용토록 함으로써 기존 아라온호에서 달성하지 못한 성과창출을 도모할 계획임

○ 현재 건조중이거나 운영중인 대형해양과학연구선, 탐해2호, 해양2000호 등 다양한 연구선들은 제2 쇄빙연구선과 비교시 선박의 규모 및 성능, 쇄빙능력은 물론 활동지역과 목적, 내용 등 다양한 측면에서 차이점이 존재함

KOPRI 극지연구소

5. 국고지원의 적합성

○ 본 사업은 북극에서의 연구활동을 지원하기 위한 쇄빙연구선 건조와 건조 시 필요한 요소기술 개발이 주 목적이지만, 쇄빙연구선 관련 기술의 활용은 국내 조선산업의 발전에, 극지 연구성과는 국내 과학기술 및 국제협력 강화에, 북극항로 활성화로 국내 주요 항만와 물류산업 발전 등 다양한 분야에 걸친 긍정적인 파급효과가 클 것으로 예상됨

○ 제2 쇄빙연구선 건조는 사회/경제적, 기술적 공유 및 확산의 정도가 높은 연구개발 사업으로 파생될 수 있는 긍정적인 영향은 다음과 같음

- 북극 내 미답해역에서의 연구가 가능해져 기후, 자원, 생태계 등 다양한 분야에서 극지과학 경쟁력 제고 및 우수성과 창출이 가능함
- 지구 기후변화를 민감하게 관측할 수 있는 북극지역에서의 대기, 해수 흐름 등 기후연구는 앞으로의 자연재해 및 이상기후에 대비할 수 있도록 함
- 북극이사회 옵서버 활동을 비롯해 북극에서의 연구와 자원개발 등 다양한 활동은 국제사회에서의 우리나라 위상을 제고하며 국제협력을 이끌어 내는데 기여할 수 있음
- 건조과정에서 얻게 되는 경험 및 노하우, 기자재에 대한 Track record 등은 기술 경쟁력을 확대하고 세계 조선업계에서의 수주 경쟁력을 제고 할 것으로 기대됨
- 극한 환경에서 자재, 제품, 장비 등을 검증 할 수 있는 기회가 많아짐으로써 관련 기술개발 및 산업 성장을 촉진시킬 수 있음
- 북극에서의 쇄빙선 운항은 북극해 DB 구축과 연계해 해양지도를 만들 수 있으며, 이는 북극해 안전확보 및 북극항로 운항 활성화에 기여할 수 있음
- 북극 항해를 통해 얻은 기초자료는 북극항로 개척을 위한 정보로 활용될 것이며 이는 중장기적으로 국내 물류업체의 비용 및 시간 절감, 국내 물류 허브항구 개발, 해상·내륙 물류산업의 성장으로 이어질 것으로 기대됨
- 쇄빙선의 국내 정박기간 및 실제 운항기간 등을 활용하여 선상교육과 장비교육, 항해교육 등을 실시함으로써 극지역 운항에 대한 전문성을 높일

KOPRI 극지연구소

수 있는 교육기회 제공이 가능함

- 제2 쇄빙연구선 건조는 북극을 포함한 극지에 대한 국민의 관심을 높이고, 극지연구 강국으로의 위상 확립에 따른 국민 자긍심 고취가 가능함

○ 따라서 제2 쇄빙연구선 건조를 단순히 북극연구 활성화로 한정하지 않고 국가 위상과 경제발전을 위한 공공재적 연구기반이라는 인식이 필요하며, 이에 따라 제2 쇄빙연구선의 건조 이후의 활용 및 파급효과를 염두에 둔 국가차원의 지원에 대한 의사결정이 요구됨

북극 자원개발 및 항로개척 등 경제적 관점에 대해 북극 국제사회의 대립이 심화되어 가는 상황에서 상호국가 간에 예민할 수 있는 경제적 활동의 접근보다는 북극 과학연구 활동을 통한 접근이 현재 우리나라가 취해야 할 가장 안정적이고 바람직한 모습이라고 할 수 있다.

북극의 중요성을 확인한 북극 연안국들은 쇄빙연구선 활용한 조사 및 탐사 활동을 통해 경쟁우위를 선점하기 위한 노력을 하고 있으며, 독일과 중국 등의 비북극권 주요 국가들 또한 신규 쇄빙연구선을 건조함으로써 북극 활동에 대한 의지를 표명하고 있다.

이러한 상황에서 우리나라의 국적의 아라온호 만으로는 북극권 활동을 보장하기에는 한계가 존재한다. 우리나라의 북극을 향한 정책을 일관되게 추진하고, 북극을 통한 우리나라의 국익을 극대화하기 위해서는 반드시 필요한 제2 쇄빙연구선 건조를 신속하게 결정하고 추진해야 한다.

KOPRI
극지연구소

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서 입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

KOPRI 극지연구소