

BSPE21530-015-11

온난화 대응 골든타임 확보를
위한 초소형위성 극지방권
감시연구 기획

2022. 03.

KOPRI
극지연구소

한국해양과학기술원
부설극지연구소

해양수산부

주 의

BSPE21530-015-11 온난화 대응 골든타임 확보를 위한 초소형위성 극지방권 감시연구 기획 한국해양과학기술원 부설극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “온난화 대응 골든타임 확보를 위한 초소형위성 극지방권 감시연구 기획”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 03. .

연구 책임자 : 김 현 철 책임연구원

참 여 연 구 원 : 지 준 화 책임연구원

“ : 김 승 희 선임연구원

“ : 박 정 원 선임연구원

“ : 박 진 구 선임연구원

보고서 초록

과제관리번호		해당단계 연구기간	2021.10.01.~ 2022.03.31.	단계 구분	1 단계/ 1 단계
연구사업명	중 사업명				
	세부사업명				
연구과제명	중 과제명				
	세부(단위)과제명	온난화 대응 골든타임 확보를 위한 초소형위성 극지방권 감시연구 기획			
연구책임자	김 현 철	해당단계 참여연구원수	총 : 명 내부 : 명 외부 : 0명	해당단계 연구비	정부: 90,000천원 기업: 천원 계: 90,000천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 원격탐사빙권정보센터		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :	상대국연구기관명 :			
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :			
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)					보고서 면수
<p><input type="checkbox"/> 극지관측 초소형위성 개발/운용 및 활용 기술 개발에 대한 당위성, 필요성 및 시급성 확보</p> <p><input type="checkbox"/> 동 사업의 추진 배경과 목표를 토대로 사업 비전을 “초소형위성의 전천후 극지해빙 관측을 통한 독자적 기후변화 감시능력 확보” 로 설정</p> <p><input type="checkbox"/> 동 사업의 목표를 산업, 정책, 과학기술 관점에서 바라보고 각 관점에서 전략목표, 성과목표, 성과지표를 도출</p> <p><input type="checkbox"/> 현안 해결을 위한 사업의 논리모형을 제시하고 SWOT 분석을 통해 4가지 사업 추진 전략을 도출</p> <p><input type="checkbox"/> 사업 추진 체계 및 사업의 내역사업(2가지)을 설정하고 각 내역 사업별 연구개발 방안을 포함한 세부 사업 내용을 제시</p> <p><input type="checkbox"/> 내역 사업별 연차별(5년차) 기술 로드맵을 설정하고 요소별 예산 배정</p> <p><input type="checkbox"/> 산업연관 분석 및 두 단계의 비용-편익 분석을 통해 동 사업 추진의 경제적 타당성을 정량적으로 평가함으로써 타당성을 확보</p> <p><input type="checkbox"/> 정부의 상위 정책 및 초소형위성 개발 로드맵을 분석하여 동 사업과의 정책적 부합성을 검토함으로써 정책적 타당성 확보</p> <p><input type="checkbox"/> 동 사업이 국내 소형위성 기술 발전에 미칠 영향력을 분석하여 기술적 타당성을 확보</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	극지관측, 기후변화, 초소형위성, 군집위성			
	영 어	polar observation, climate change, micro satellite, satellite constellations			

요 약 문

I. 제목

온난화 대응 골든타임 확보를 위한 초소형위성 극지방권 감시연구 기획

II. 사업 추진 배경

- 기후변화로 인한 지구 온난화의 빠른 진행과 북극 해빙 감소 현상의 가속화로 한 반도의 이상기후가 뉴노멀로 자리잡고 있음
- 세계 각국은 북극발 이상 기상·기후 등 재난을 대비하고 있으며, 북극권 거버넌스 체제에서 영향력을 확보하기 위해 북극 연구 활동을 확대하고 있음
- 북극 물류와 에너지 개발에 대한 관심이 고조되고 있으며, 북극항로를 이용한 물동량은 지속적으로 증가하고 있음. 선진국을 중심으로 북극 물류 개발에 대한 대대적인 투자가 이루어지고 있음
- 연구와 국제협력 기여도 등에 따라 위상이 달라지는 북극 거버넌스 체제에서 아직은 확고한 입지를 확보하지 못한 상황이므로 국가 위상에 걸맞은 북극 활동 선도국가로서 역할 정립 필요

III. 사업 추진 필요성

(정책적필요성)

- 정부는 북극권 연구를 위한 정책 수립을 위해 관련 부처에서 추진하고 있는 사업을 종합하여 ‘북극정책 기본계획’을 수립

- 정부는 기후변화 예측의 중요성과 북극항로의 경제적 효과를 인식하고 ‘2050 극지비전’ 선언을 통해 기후변화에 선제적으로 대응하는 극지정책 추진
- 정부의 극지 정책 세부 추진과제 중 기후변화 연구 강화, 극지 공간정보 구축, 북극항로 개척을 위해서는 극지관측 전용 위성을 개발하는 것이 필요함
- 극지관측 초소형위성을 신속히 개발하고 운영하여 극지의 기후학적·경제적 잠재 가치를 국가 전략적 차원에서 극대화시키는 과업이 긴급히 요청됨

(산업경제적필요성)

- 전세계적으로 인공위성의 활용도가 높아지고 있으며, 초소형위성 등 소형위성을 활용한 전주기적 지구관측 및 통신 서비스 구축이 활발해지고 있음
- 극지관측 초소형위성 사업은 빠르게 발전하고 있는 소형위성 산업 생태계 발전을 촉진하는 역할을 할 것으로 기대됨
- 최근 북극항로를 활용한 물동량이 증가함에 따라 북극 해빙 및 북극항로 감시와 쇄빙선의 활동 지원 등을 위한 북극 감시 자원의 필요성 증대

(과학기술적 필요성)

- 극지관측 초소형위성 개발 사업은 소형위성 개발기술 발전을 촉진함
- 동 사업의 후속 사업으로 계획되고 있는 군집 초소형위성 시스템 개발 사업은 군집위성 시스템 개발 및 운용 기술을 확보할 좋은 기회를 제공할 것으로 예상됨
- 군집위성 시스템을 통해 생산되는 위성정보의 수신·처리를 위한 기술도 동 사업의 후속 사업을 통해 기술 개발이 촉진될 것으로 예상됨

IV. 사업 추진 시급성

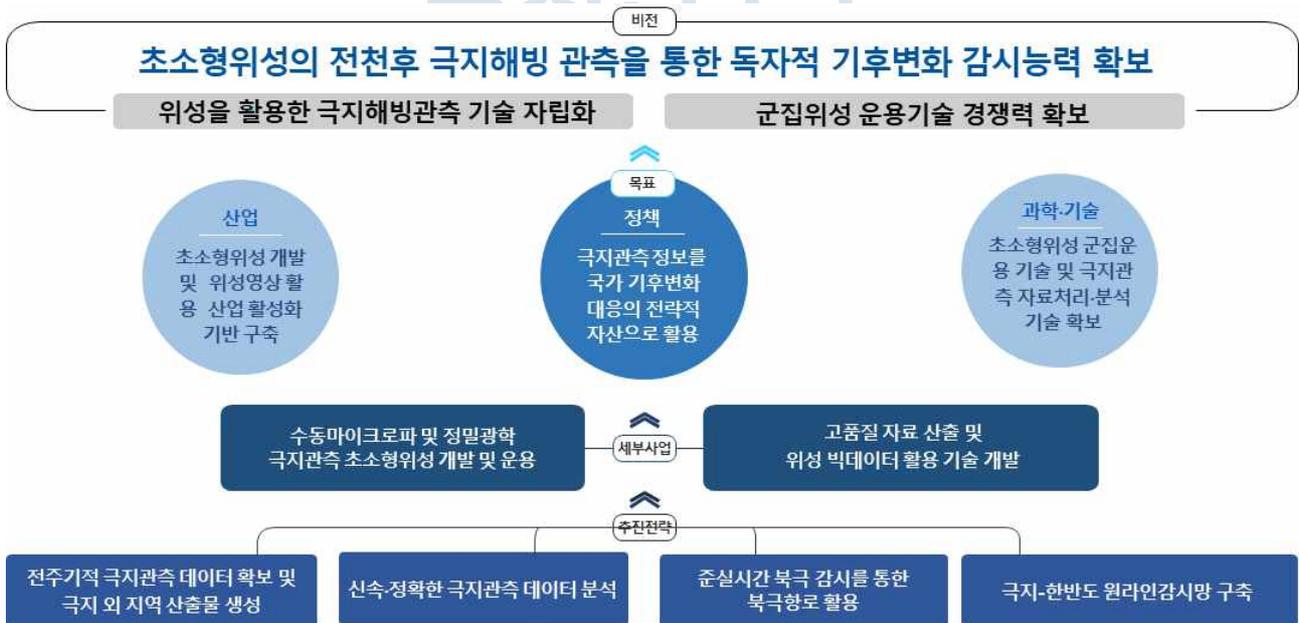
- 급변하는 해빙 정보를 독자적으로 신속하게 획득할 수 있는 초소형 위성 개발 기술을 확보하여 체계적이고 종합적인 모니터링이 시급함

- 국내에 보유하고 있는 다목적위성 만으로는 북극 전체를 커버하는데 장시간이 소요되므로 급변하는 해빙 변화를 감시하는데에는 한계가 있음. 이에, 초소형위성을 통한 정확하고 가치있는 빙권 정보 개발 기술 확보 시급
- 우리나라 온난화에 선제적 대응을 위하여 정확한 고품질의 해빙 정보 생산 뿐만 아니라 한반도를 감시하고 있는 중대형 위성과의 연계 기술 개발이 시급함

V. 사업 비전 및 목표

(사업정의)

- 해빙 변화 감시가 가능한 독자적인 북극 해빙 감시 초소형 위성 (수동형마이크로파 4기, 광학 2기) 개발 및 운용하고 현재 개념 정립 수준인 군집 운용 및 활용에 대한 기반 기술 확보
- 온난화 대응 등 공공목적에 적합한 해빙 정보 생산, 검보정 등 다양한 프로세스에 대한 기반 기술을 개발하여 위성정보 품질의 고도화
- 북극-한반도 원라인 감시망 구축을 위한 초소형 위성정보 AI 활용기술 개발



<사업 비전 및 목표>

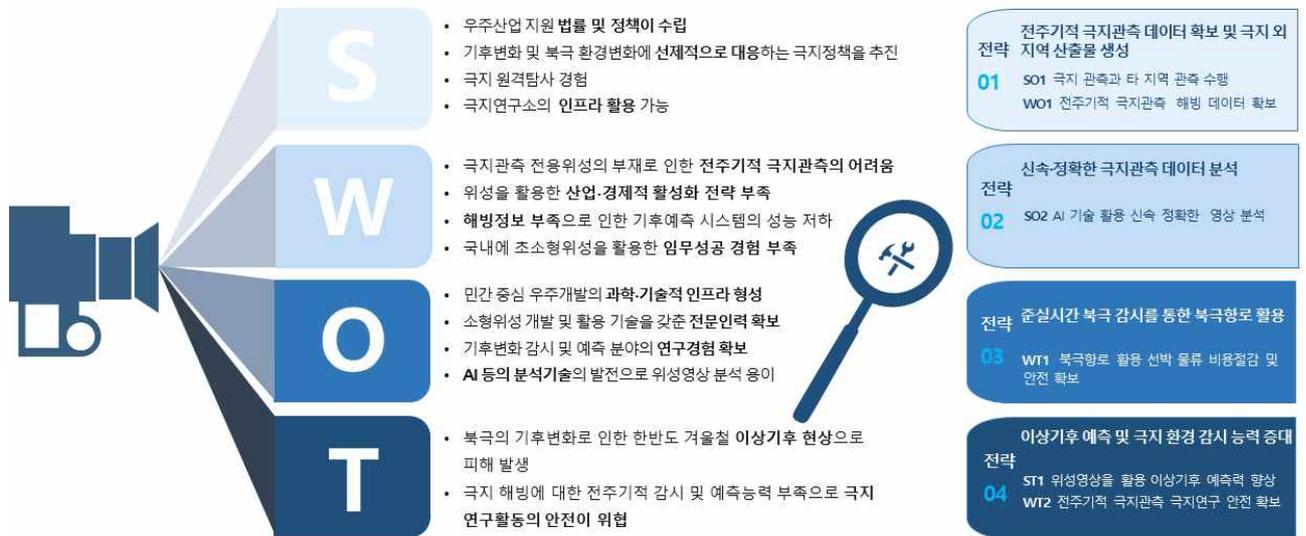
(사업비전)

“ 초소형위성의 전천후 극지해빙 관측을 통한 독자적 기후변화 감시능력 확보” 달성
 선제적 온난화 대응을 위한 초소형위성 개발 및 운용을 통한 고품질 해빙 정보 생산 및 시 기반
 초소형위성 활용 기술을 개발

□ 동 사업의 추진 배경과 목적을 토대로 사업 비전을 ”북극 해빙 초소형위성 감시 체계 구축을 통한 선제적 온난화 대응“으로 설정

(사업목표)

□ 한반도 온난화 대응을 위해 극지 해빙 감소를 준실시간 감시할 수 있는 우주관측기술 확보 및 탄소중립에 기여할 수 있는 위성정보 활용 기술 개발



<SWOT 분석 결과>

VI. 사업 추진 전략

(사업 추진 전략)

□ 동 사업의 논리 모형에 따라 도출된 사업의 당위성을 충족 시키는 추진전략을 도출하기 위해 SWOT 분석을 수행하여 4가지 추진전략을 도출함

○ 전략 1: 전주기적 극지 관측 데이터 확보 및 극지 외 지역 산출물 생성

- SO1: 극지관측과 함께 타 지역 관측 수행

- WO1: 전주기적 극지 관측을 통한 해빙 데이터 확보
- 전략 2: 신속·정확한 극지 관측 데이터 분석
 - SO2: AI 기술을 활용한 신속하고 정확한 영상분석
- 전략 3: 준실시간 북극 감시를 통한 북극항로 활용
 - WT1: 북극항로 활용 선박 물류 비용절감 및 안전 확보
- 전략 4: 이상기후 예측 및 극지환경 감시 능력 증대
 - ST1: 위성영상을 활용한 이상기후 예측 능력 향상
 - WT1: 전주기적 극지 관측을 통한 극지 연구 안전 확보

VII. 세부 사업 내용

(내역 사업 및 세부 사업 구조)

□ 동 사업은 크게 두 가지 내역사업으로 구성되며 내역사업별 주요 내용은 다음 장에서 다룬다

- 북극 해빙 관측 초소형위성 개발
- AI기반 온난화 대응 기술 개발
 - 고품질 빙권정보 생산 및 검보정
 - 극지-한반도 원라인 감시 기술 개발

내역사업 1	내역사업 2
 <p>북극해빙 관측 초소형위성 개발 및 운용</p>	 <p>AI 기반 초소형위성정보 활용기술 개발</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ 목적 북극해 전역의 해빙 변화 감시가가능한 자체 초소형위성 개발 및 관측기술(위성자료 수신,처리 등) 확보 ■ 사업비 283억(국비 기준) ■ 최종 성과물 북극의 위성관측 한계성을 극복하기 위해 북극 해빙 관측 고해상도 초소형위성 (수동마이크로파 4기, 광학 2기) 개발 및 운용 기술 확보 등 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 목적 AI 기술을 활용한 초소형위성자료 검보정 및 활용성 증대를 위한 분석 기술을 개발 ■ 사업비 167억(국비 기준) ■ 최종 성과물 AI 기술을 기반으로 초소형위성과 천리안 위성을 연계한 북극-한반도 원라인 감시 기술 개발 등

<내역 사업 구조>

연차별 기술로드맵 및 예산

	'23	'24	'25	'26	'27	'28~'32	
	북극 해빙 관측 초소형위성 개발 및 운용						
온난화 대응을 위한 초소형위성 북극해빙 감시 기술 개발	시스템요구사항 분석 설계						초소형위성 군집 운용을 통한 북극해빙 정밀 감시기술 확보
	1,000	1,105					
	초소형위성 요구사항 분석, 설계						
	초소형위성 개발						
	1,000	2,905	4,815	5,205	2,735		
	광학 2기 개발		수동마이크로파 4기 개발				
	초소형위성 발사						
	-	1,115	1,115	2,130	2,130		
		광학 2기 발사		수동마이크로파 4기 발사			
	위성자료 수신시스템 개발, 군집운용 기반 기술 확보						
700	615	510	625	595			
위성자료 수신시스템(자료 수신, 저장, 배포) 개발, 군집운용 기반 기술 확보							
	AI 기반 초소형위성 정보 활용 기술 개발						
	고품질 해빙정보 생산 및 검보정						온난화 감시를 위한 위성정보 기반 단기 해빙변화 예측 AI기술 확보
515	395						
AI 빅데이터 구축을 위한 국내외 위성정보 분석							
온난화 대응 위성 해빙정보 분석							
885	495	480					
신속 정확한 온난화 대응을 위한 해빙 특성 정보 선정 및 분석							
초소형위성 산출물 개발 및 검보정							
935	535	945	650	515			
초소형위성에 최적화된 위성 산출물 선정 및 개발		위성산출물(해빙정보) 검보정 및 AI 활용기술 개발					
북극-한반도 원라인 감시 기술 개발						군집운용을 통한 빅데이터 활용 AI 기술 확보	
		490	765	450			
초소형위성 산출물(해빙정보) 생산/배포							
985	990	760	750	690			
북극-한반도 원라인 감시를 위한 AI기반 다중 위성 융합 기술 개발							
980	995	815	830	850			
신속 정확한 온난화 감시를 위한 초소형위성-천리안 연계 AI 활용 기술 개발							

□ 동 사업의 개념을 설명하는 인포그래픽



VIII. 타당성 검토

(경제적타당성)

- 경제적 타당성은 2단계로 진행되었으며 첫 단계는 ‘소비자 중심 가치창출 편익’과 ‘생산비용 저감 편익’에 대한 항목에 대해서 분석되었음. 두 번째 단계는 시나리오를 기반으로 하는 ‘부가가치 창출 편익’, ‘위성영상 구매비용절감액 편익’, ‘북극항로 개발 편익’에 대한 항목으로 분석되었음
- 경제적타당성 2단계에서는 확률모형을 이용한 경제성 분석의 민감도 평가를 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 10,000회 수행함
- (경제적타당성 1단계) 극지연구소에서만 활용한다는 가정에 따라 산출된 편익을

기준으로 판단할 때 B/C Ratio는 약 1.32로 경제성이 있는 것으로 분석됨

- (경제적타당성 2단계) B/C Ratio 분석 결과 하위 1%값이 1.305이므로 99%이상의 확률로 1.3이상의 편익 비율을 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음

(정책적타당성)

- 북극 활동과 위성과 관련한 국가 정책을 분석하고 정책에서 추진하는 상위계획*과의 부합성을 검토함

* 북극정책기본계획, 북극활동 진흥 기본계획, 우주개발진흥 기본계획, 위성정보 활용 종합계획

- 국가 극지정책의 지속 가능한 환경을 만들고, 위성개발 및 극지관측 데이터의 처리 및 보급 기술 개발 측면에서 우주개발 및 위성정보 활용 정책의 방향과 부합함

- 극지관측 초소형위성 사업은 북극을 전주기적으로 관측하기 위해 6기의 초소형위성을 개발하는 것으로, 이를 통해 획득할 극지 관측 자료는 우리나라의 극지 활동 및 주도권 확보를 위해 필수적인 것으로 극지 관련 정책에서 추진하는 극지 연구 강화 및 국제협력 측면에서 부합함

(기술적타당성)

- 국내 초소형위성 관련 기술 역량 및 현황 분석을 토대로 동 사업이 초소형위성 기술 발전에 기여할 정도를 검토함

- 동 사업을 통해 개발될 I) 위성 개발 및 운영 기술 II) 위성정보 처리 및 분석 기술(AI포함) 등은 최근 부상하고 있는 뉴스페이스 산업을 중심으로 기술과 가치의 선순환 고리를 만들어 관련 기술 발전에 기여할 것으로 기대됨

IX. 기획과제 주요성과

□ 인공위성 개발 및 활용, 그리고 위성영상 자료의 제공 및 활용 등 국가 위성정보 공동활용 및 지원을 위한 한국항공우주연구원과의 협력약정서 체결 ('22.02.24)

**국지연구소 - 한국항공우주연구원
협력약정서**

한국해양과학기술원 부설 국지연구소(이하 "국지연구소")와 "국지연구소"의 연구자 한국항공우주연구원은 국지역에서 수행 가능한 항공우주 및 극지 연구 분야의 상호 교류 및 협력 연구 활성화를 위한 협력 약정을 아래와 같이 체결한다.

제 1 조 (협약의 목적)
본 협약서는 양 기관이 극지의 관련 연구 수행에 필요한 인력 및 장비 교류, 자료 제공, 연구사업 기획-개발 등에 관한 상호 협력체계를 수립함으로써 국가 과학 기술 발전과 연구개발 능력 제고에 기여함을 목적으로 한다.

제 2 조 (협약의 내용)
양 기관은 다음 각 호의 분야에 대하여 상호 협력한다.
1. 극지 위성영상 자료의 제공 및 활용을 통한 비핵지 연구 등
2. 무인항공기(드론)를 활용한 극지 환경 및 기후변화 등에 대한 공동연구 등
3. 한반도 온실화 대응을 위한 극지 빙반 연구 및 빙산 개발 및 활용 등
4. 극지역 활용 원격 탐사시스템 등 실제 운영을 위한 항공 우주기술 개발과 우주탐사를 위한 제안 연구 등
5. 상기 분야 수행을 위한 인력과 교육, 인력교류, 장비 공동 활용 및 연구 사업 기획 제안 등

제 3 조 (협약의 원칙)
양 기관은 교류 및 협력 사업을 진행함에 있어서 상호 신뢰성장과 호혜성장의 원칙을 준수하며, 폐쇄성 의미가 있을 때에는 상호 협의하여 결정한다.

제 4 조 (양도 금지)
양 기관의 명칭, 대표자 변경 등 주요한 변동사항이 발생하여도, 별도의 합의가 없는 한 본 협약에 따른 권리와 의무는 승계되며, 이 협약의 권리와 의무는 상호 서명 합의 없이 제3자에게 양도하거나 처분할 수 없다.

제 5 조 (일부행위처 규정 및 운영)
1. 이 협약에 규정된 연구분야의 주요한 추진을 위하여 실무협의체를 구성·운영할 수 있다.
2. 실무협의체의 구성 및 운영에 관한 사항은 상호 협의하여 별도로 정한다.

제 6 조 (비밀유지 의무)
양 기관은 본 협약서를 바탕으로 교환되는 모든 정보와 문서 등을 당사자의 사전 서면 동의 없이 본 협약서의 목적 외의 용도로 사용하거나 외부에 유출 또는 누설하지 않는다. 이러한 비밀유지 의무는 본 협약서의 기간 만료, 해제, 해지 이후에도 유효한 것으로 한다.

제 7 조 (협약의 효력)
이 업무협약서에서 언급하지 않은 사항 또는 추가적인 협의사항의 발생하거나, 상호간 협약의 해석을 피한자가 있을 경우 실무협의회를 통해 조율한다.

제 8 조 (협약의 효력)
1. 본 협약의 유효기간은 양 기관의 장이 서명날인한 날로부터 발생하며, 이후부터 3년간의 효력을 갖는다. 다만, 유효기간 이내에도 협력의 목적을 달성할 수 없거나 달성할 것으로 판단될 때에는 어느 일방의 요청으로 해지할 수 있다.
2. 이 협약서는 유효기간 만료 1개월 전까지 어느 일방으로부터 연장할 권하여 서면 통보가 있을 경우 상호 합의하여 기간을 연장할 수 있다.

2022년 2월 24일



인천 연구수 송도미레오 26

한국해양과학기술원
부설 국지연구소

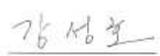
소장 강성호



대변 유시구 차지도 169-4

한국항공우주연구원

원장 이상길





□ 인공위성활용 극지-한반도 환경 공동연구를 위한 협력약정서 체결 ('22.03.10)

**국지연구소 - 국립환경과학원
협력약정서**

한국해양과학기술원 부설 국지연구소(이하 "국지연구소")와 "국지연구소"의 연구자 국립환경과학원은 극지 및 국내 환경 연구와 보전 분야의 발전을 위하여, 양 기관의 긴밀한 업무협력이 필요함을 깊이 인식하여 서로 간의 신뢰를 바탕으로 다음과 같이 협력 약정을 체결한다.

제 1 조 (협약의 목적)
본 협약서는 국지연구소와 국립환경과학원이 보유한 연구역량과 연구 성과를 상호 존중하며, 극지 및 국내 환경 관련 분야에서 교류 활성화를 통해 연구역량과 경쟁력을 강화하고, 국가 및 사회발전에 기여함을 목적으로 한다.

제 2 조 (협약의 내용)
양 기관은 다음 각 호의 사항에 대하여 상호 협력하고 공동 추진한다.
1. 극지 및 국내 환경오염물질과 기후변화인자 모니터링 등 환경변화 관련 공동 연구와 조사
2. 극지 및 국내 환경시료 확보 및 활용을 위한 연구
3. 극지 인자를 활용한 한반도 기후변동성 예측 연구
4. 극지 환경시료에 대한 분석기법 연구 및 교육
5. 연구 수행에 대한 자문 및 연구자 교환 등 인적 교류
6. 연구 수행을 위한 장비와 인프라 시설(아르곤로, 극지 기지 등)의 공동 활용
7. 공동세미나 및 연구발표회 개최 등 기타 합의 사항

제 3 조 (협약의 원칙)
양 기관은 교류 및 협력 사업을 진행함에 있어서 상호 신뢰성장과 호혜성장의 원칙을 준수하며, 폐쇄성 의미가 있을 때에는 상호 협의하여 결정한다.

제 4 조 (협약의 운영)
양 기관의 상호 협력 및 교류에 있어 중요 사항은 협의에 의하여 각각 하고 그 외 일반 사항은 해당기관의 제안 규정을 적용한다.

제 5 조 (양도 금지)
양 기관의 명칭, 대표자 변경 등 주요한 변동사항이 발생하여도, 별도의 합의가 없는 한 본 협약에 따른 권리와 의무는 승계되며, 이 협약의 권리와 의무는 상호 서면 합의 없이 제3자에게 양도하거나 처분할 수 없다.

제 6 조 (비밀유지 의무)
양 기관은 본 협약서를 바탕으로 교환되는 모든 정보와 문서 등을 당사자의 사전 서면 동의 없이 본 협약서의 목적 외의 용도로 사용하거나 외부에 유출 또는 누설하지 않는다. 이러한 비밀유지 의무는 본 협약서의 기간 만료, 해제, 해지 이후에도 유효한 것으로 한다.

제 7 조 (협약의 효력)
본 협약의 유효기간은 양 기관의 장이 서명날인한 날로부터 발생하며, 이후부터 3년간의 효력을 갖는다. 단, 협약이 종료되는 시점의 1개월 전까지 상호 별도의 의사가 없으면 본 협약은 1년씩 자동 연장된다.

제 8 조 (협약의 해지)
이 업무협약서에서 언급하지 않았거나 추후 교류협력 활동을 위해 추가적인 사항이 생길 경우, 양 기관의 합의에 의해 그 내용을 추가하거나 별도의 협약서를 마련하도록 한다.

2022년 3월 10일



인천 연구수 송도미레오 26

한국해양과학기술원
부설 국지연구소

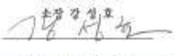
소장 강성호

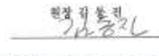


인천 서구 환경로 43

국립환경과학원

원장 김동진





□ 인공위성활용 극지 운항 공동연구를 위한 협력약정서 체결 ('22.03.24)

<p style="text-align: center;">인공위성활용 극지 운항 공동 연구를 위한 협 렽 약 정 서</p> <p>한국해양과학기술원 부설 극지연구소(이하 '극지연구소'라 한다), 연세대학교(이하 '연세대'라 한다), 인화공업전문대학(이하 '인화공전'이라 한다) 대우조선해양주식회사(이하 '대우조선해양'이라 한다)는 당사자 간의 주요 협력 관계를 확인하고 서로 간의 신뢰를 바탕으로 다음과 같이 협력약정을 체결한다.</p> <p>제 1 조 목 적 본 협력약정은 인공위성 활용 극지 운항 관련 공동 연구를 위해 상호 협력 체계를 확립함으로써 각 기관의 상호 이익 증대를 목적으로 한다.</p> <p>제 2 조 협력 분야 및 범위 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양은 인공위성 활용 극지 운항을 위한 공동 연구에 필요한 자료의 공유와 극지 환경 정보를 활용한 연구 개발을 위해 서로 협력한다. 또한 협력 정신을 바탕으로 협력 분야 및 공동 연구를 확대해 나간다.</p> <p>제 3 조 협력 내용</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 공동 연구는 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양이 합의하여 수립하고, 연구 추진에 적극 협력한다. 2. 공동 연구를 위하여 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양은 인력 교류, 장비 공동 활용 분야에서 서로 협력한다. 3. 공동 연구를 위하여 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양은 취득한 자료를 당사자간의 협의 하에 공유할 수 있다. <p>제 4 조 비용 및 결과 발표</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 공동 연구에 필요한 경비는 각자 부담한다. 2. 공동 연구 결과를 발표할 경우 사전에 본 협력약정 당사자의 동의를 얻고, 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양의 공동 승인을 받는다. <p>제 5 조 비밀유지 의무 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양은 본 협력약정을 바탕으로 교환되는 모든 정보와 문서 등을 당사자의 사전 서면 동의 없이 본 협력약정의 목적 외의</p>	<p>등도로 사용하거나 외부에 유출 또는 누설하지 못한다. 이러한 비밀유지 의무는 본 협력약정의 기간 만료, 해제, 해지 이후에도 유효한 것으로 한다.</p> <p>제 6 조 유효 기간 본 협력약정은 서명일로부터 3년간 유효하며, 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양의 상호 합의에 의하여 기간을 변경 또는 연장할 수 있다.</p> <p>제 7 조 협력약정의 변경, 해제, 해지</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 참여 기관 중 어느 당사자가 본 협력약정서상의 상호 협력 관계 및 의무를 위반할 때는 서면으로 본 협력약정을 해제 또는 해지할 수 있다. 2. 본 협력약정서 내용의 변경, 해제, 해지는 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양의 서면 합의로 변경된 경우에만 효력을 가진다. 3. 본 협력약정이 해제 또는 해지되는 경우, 기 교환된 정보 및 자료 등은 지체 없이 상대 기관에게 반환하여야 한다. <p>제 8 조 법적 구속력 본 협력약정서는 서명기관 사이의 상호 협력 사항을 열거한 것으로, 제 5조를 제외하고는 법적 구속력을 갖지 않는다.</p> <p>본 협력약정 내용은 상업적으로 활용하지 아니하며, 협력약정의 체결을 증명하기 위하여 협력약정서 4부를 극지연구소, 연세대, 인화공전, 대우조선해양이 서명 날인한 후 각각 1부씩 보관한다.</p> <p style="text-align: center;">2022년 3월 24일</p> <table border="0" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>연 세 대 학 교</td> <td>인화공업전문대학</td> <td>대우조선해양</td> <td>한국해양과학기술원</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>주식회사</td> <td>부설 극지연구소</td> </tr> <tr> <td>총 장 조영우</td> <td>총 장 서석범</td> <td>대표이사 이철근</td> <td>소장 김상호</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">  </p>	연 세 대 학 교	인화공업전문대학	대우조선해양	한국해양과학기술원			주식회사	부설 극지연구소	총 장 조영우	총 장 서석범	대표이사 이철근	소장 김상호
연 세 대 학 교	인화공업전문대학	대우조선해양	한국해양과학기술원										
		주식회사	부설 극지연구소										
총 장 조영우	총 장 서석범	대표이사 이철근	소장 김상호										



목 차

제 1장 사업추진 배경 및 사업개요

제 1절 추진 배경 및 필요성

1-1. 사업추진 배경	1
1-2. 사업추진 필요성	6
1-3. 사업추진 시급성	16

제 2절 기획연구 사업 내용

2-1. 사업 정의	19
2-2. 사업 목적 및 범위	24
2-3. 기획사업 추진내용	25
2-4. 사업기획 추진체계	25

제 2장 환경 분석

제 1절 정책 환경 분석

1-1. 정책 환경 개요	27
1-2. 극지관련 기본계획	28
1-3. 위성관련 기본계획	33
1-4. 초소형위성 관련 국내외 정책동향	40

제 2절 산업·경제 환경 분석

2-1. 산업·경제 환경 개요	45
2-2. 국내 우주·위성 산업 현황	46
2-3. 국내 위성정보 산업 현황	52
2-4. 초소형 위성 시장동향	63

제 3절 사회 환경 분석

3-1. 사회 환경 개요	71
3-2. 북극 관련 이해관계자 활동 현황	71
3-3. 위성정보 사회적 활용현황	76

제 4절 과학·기술 환경 분석

4-1. 과학·기술 환경 개요	83
4-2. 초소형위성 개발 현황	83

제 3장 수요조사

제 1절 전문가 수요조사

1-1. 전문가 수요조사 개요	91
1-2. 전문가 수요조사 결과	92

제 2절 기술 수요조사	
2-1. 기술 수요조사 개요	96
2-2. 기술 수요조사 결과	97

제 4장 사업 방향 및 내역사업

제 1절 사업 비전 및 목표	
1-1. 사업 비전	108
1-2. 사업 목표	110
제 2절 사업 추진 전략 및 체계	
2-1. 사업 추진 전략	112
2-2. 사업 추진 체계	116
제 3절 내역사업 및 세부과제 도출	
3-1. 내역사업 및 세부과제 구조	119
3-2. 기술로드맵 및 연차별 예산	119

제 5장 세부 사업 내용

제 1절 북극해빙관측 초소형위성 개발 및 운용 [내역사업1]	
1-1. 국내외 동향	122
1-2. 기술 수준 분석	134
1-3. 임무 및 시스템 요구사항	141
1-4. 본체 및 탑재체 개발 방안	148
1-5. 지상 지원장비 개발 방안	186
1-6. 지상시스템 개발 방안	188
1-7. 군집형 초소형 위성 운용 방안	199
1-8. 위성 발사 관련 업무	203
제 2절 온난화 대응 AI 기반 초소형 위성정보 활용기술 개발 [내역사업2]	
2-1. 핵심 기술	209
2-2. AI 활용 국내외 동향 및 기술 수준 분석	211
2-3. 초소형위성 위성정보 활용 방안	214

제 6장 사업 타당성 분석

제 1절 경제성 분석 I	
1-1. 경제적 파급효과	230
1-2. 경제성 분석	236
1-3. 경제성 분석 I 결론	241
제 2절 경제성 분석 II	
2-1. 비용분석	242

2-2. 편익추정 -----	245
2-3. 경제성 분석 -----	262
2-4. 경제성 분석 II 결론 -----	271
제 3절 타당성 분석	
3-1. 정책적 타당성 -----	273
3-2. 기술적 타당성 -----	278
[부록] 기획과제 관련 주요 성과 -----	281



제1장 사업추진 배경 및 사업개요

제1절 추진 배경 및 필요성

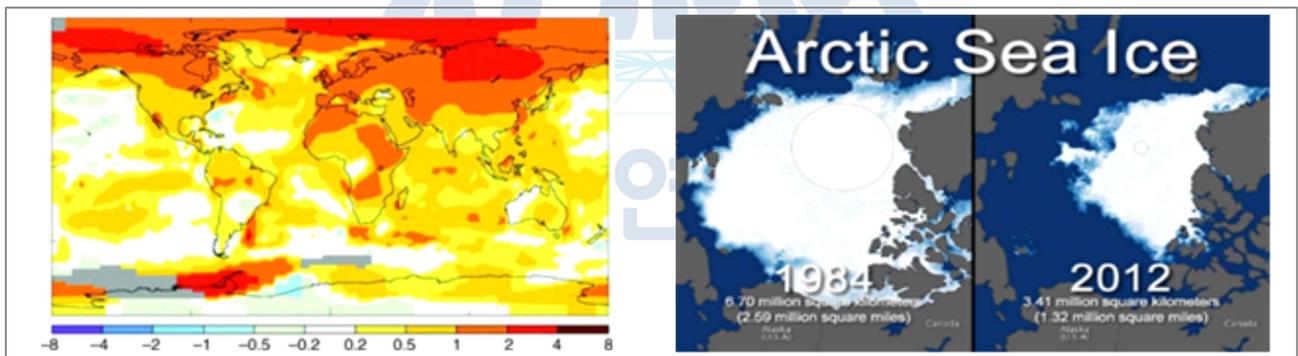
1-1. 사업추진 배경

- 북극 지역은 기후변화에 가장 민감한 지역으로, 급격한 온도 상승에 따른 가파른 해빙 감소를 겪고 있음
- 북극 지표 온도는 기후변화로 인해 가속화된 지구 온난화와 그에 따른 북극 해빙의 감소로 인해 빠르게 상승하고 있음
 - 북극 해빙 면적은 1970년의 약 750만km² 수준에서 2012년에는 400만km² 이하를 기록하는 등 급격히 감소하고 있으며 해마다 상이한 분포를 보이고 있음
 - 북극지역 온도 상승 요인으로는 태양에너지 흡수에 따른 북극해빙 감소의 양의 되먹임 과정과 함께 저위도 지역의 온난한 공기와 고온의 해수의 유입을 꼽을 수 있음
 - 해빙면적 감소패턴의 변동성은 다시 이에 따른 대기 상태의 변동을 유발하여, 이러한 변화 패턴에 대한 이해와 유형 정립이 필수적
 - 따라서, 위성 자료를 활용한 극지관측을 통해 극지연구의 정확성과 효율성을 제고하는 것은 전지구적 기후변화와 극지역의 급격한 해빙 감소, 그리고 그것이 한반도에 미치는 영향을 예측하는 중요 요소임
- 전지구 평균에 비해 가파른 북극의 온도 상승은 중위도와 북극 간의 온도 차이를 바꾸는데 이를 에너지원으로 하는 제트기류의 패턴에 영향을 줌

* 제트기류: 중위도 대류권 상공(10~12km 고도)에 부는 강한 서풍 기류로 중위도 지역의 날씨와 기후에 중대한 영향을 끼침

- 북극의 온난화는 제트기류의 느슨해짐과 사행(蛇行)을 빈번하게 유발해 잦은 중위도 이상기후(한파, 이상고온 등) 발생에 기여
 - 제트기류의 이상 운동은 북극에 위치해야 할 차가운 극 소용돌이(폴라 보텍스)를 중위도로 내려오게 함
 - * 극 소용돌이: 극지역의 대류권 상층부부터 성층권에 걸쳐 형성되어 있는 저기압 소용돌이로 제트기류로 감싸여 극지역의 찬공기를 담고 있음
 - 북극의 제트기류 약화로 인해 북극의 찬 바람이 국내까지 유입돼 발생된 기록적 한파 사례(2018년)
 - 약해진 제트기류가 유발한 대륙성 고기압이 북태평양 고기압과 만나 여름철 장마를 더욱 심화시킨 사례(2020년)

[그림 1-1] 북극의 가파른 온도상승(1958년 ~) 및 해빙 면적의 감소(1979년 ~)



자료: (좌) MacDonald, (우) NASA

- 급변하는 북극이 유발하는 이상 기상·기후가 가져오는 재난에 대비하기 위해, 세계 각국은 북극 연구 활동 확대와 북극권 거버넌스체제에서의 영향력 확보에 박차를 가하고 있음
 - 미국: 북극탐사 프로젝트에 480억 원 투자(2021년)
 - 일본: 북극 대형 융·복합 연구 450억 원 투자(2020~2025년)
 - 중국: 연 7% 이상의 극지·우주·심해 등 7대 분야에 R&D투자 확대 계획
- 나날이 증가하는 북극항로를 이용한 물동량

- 북극항로는 수에즈 운하 항로에 비해 운항 거리가 짧아 물류비 절약을 위해 최근 북극항로를 통한 물동량이 증가하고 있음
- 부산항~ 로테르담항까지 북극항로 이용 시 수에즈 운하 대비 운항 거리와 일수가 1/3 단축(25일/14,300km vs. 35일/19,900km)
- 2013년부터 2018년 10월까지 북극해항로를 통한 화물량은 순증가세
- 2017년 대비 2018년 10월까지의 북극해항로를 통한 화물량은 33% 증가
- 러시아 북동항로(NSR)정보사무소에 따르면 2020년 1~6월에 북동항로를 항해한 선박은 71척이며 935회 항해를 기록, 이는 2018년 같은 기간 (47척, 572회 항해) 대비 51% (척 기준) 급증한 것임 (이태구, 2020)
- 북동 항로를 통과하는 물동량은 2013년 280만 톤에서 2019년 3150만 톤으로 10배 이상 늘어났으며, 2030년까지 1억 1000만 톤에 이를 것으로 추정됨

<표1-1> 북극해항로를 이용한 화물량 현황 (출처: 제7회 북극항로 국제세미나)

Year/Cargo Volume (단위: 만톤)	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Cargo volume transported by sea vessels	2,738	3,708	5,392	7,265	10,535	15,528
Transit Cargo	1,176	274	39	214	194	491
Total	3,914	3,982	5,431	7,479	10,729	16,019

[그림 1-2] 북극해항로를 이용한 화물량 현황



[그림 1-3] 북극해 북극항로 현황



자료: 해양수산부

□ 북극 물류와 에너지 개발에 대한 관심 증대

- 최근 지구온난화에 따른 북극 해빙 면적 감소로 북극항로에서 쇄빙기능이 없는 선박 운항이 현실화되고 있음
- LNG선 '펙다(Phecda)호'는 러시아 당국으로부터 쇄빙선 지원없이 북극항로를 운항할 수 있는 허가를 받아 쇄빙선 도움없이 중국 상하이항에서 야말반도의 사베타항까지 운항함
- 2017년 러시아 야말 LNG 생산 이후 물동량 대폭 증가 예상 (2020년 약 3,100만 톤 -> 2035년 13,000만 톤)
- 노비항과 야말LNG에서는 2019년 기준 각각 770만, 1840만 톤의 물동량이 발생하여 이는 북극항로 전체 물동량의 대부분인 약 80%를 차지
- 물류 비용 절감과 수입선 다변화 관련 수요로 러시아 LNG 북극항로의 물동량이 대폭 증가할 것으로 전망됨
- 전 세계 LNG 생산의 약 5%가 북극권에서 이루어지고 있으며 향후 10%를 넘어설 수 있음
- 러시아는 2024년까지 북극항로 물동량 목표치를 8000만 톤 규모로 설정
- 로사토크는 2030년까지 증대되는 북극항로 물동량 규모를 1억 1000만 톤으로 추정
- 러시아 가스생산업체 노바텍(Novatek)은 북극 LNG사업들이 가동되면서 2030년에는 연간 5700만 톤의 LNG가 북극항로를 통해 수송될 것으로 전망. 또 이 중 약 80%(4600만 톤)가 아시아 시장으로 수출될 것으로 예상함

□ 주변국들은 북극 물류 개발에 대해 대대적인 투자를 진행하고 있음

- 중국: 북극권 연안 4개국 2012~2017년 280조원 투자
- 일본: 상업은행 컨소시엄, 북극 개발프로젝트 5.6조 원 투자
- 러시아: 북극 사회경제발전 국가계획, 2021~2024년 3,240억 원 투자

- 러시아는 북동항로 연중 사용을 위해 원자력쇄빙선 건조에 대규모 투자를 하고 있음
- 러시아 당국은 북동항로 활성화를 위해 여름기간에 쇄빙선없는 단독 항해를 허가
- 노바텍은 쇄빙등급 'Arc7'의 LNG운반선 15척 등을 통해 연간 5700만~7000만 톤 규모의 LNG를 2050년까지 선적할 계획 수립
- 쇄빙선의 인도 없이도 운항이 가능한 Arc7급 선박은 항해 경제성이 대폭 높아질 것으로 기대됨

□ 국가 위상에 걸맞은 북극 활동 선도국가로서 역할 정립 필요

- 현 북극 거버넌스 체제 하에서는 연구와 국제협력 기여도 등에 따라 참여국의 위상이 달라지는 특성 상 확고한 입지를 확보하지 못한 상황
- 북극 환경 변화·바이오 등 분야에서의 일부 성과에도 불구하고, 기후변화 등의 북극권 관심사에 대하여 거시·종합적인 연구 역량 부족
- 북극 연구의 핵심인 위도 80°N 이상의 미답지 연구를 위한 관측 자료와 인프라가 부족하여 국제공동연구 참여 등의 측면에서 한계 직면
- 쇄빙연구선 아라온호가 남-북극 동시 투입으로 북극 연구는 35일만 가능한 반면, 중국은 북극권 최대 국제공동연구(MoSAic, '19~20)에 자국 쇄빙선 투입

1-2. 사업추진 필요성

가. 정책적 필요성

- 정부는 북극권 연구를 위한 정책 수립을 위해 관련 부처에서 추진하고 있는 사업을 종합하여 '북극정책 기본계획'을 수립

- ‘북극정책 기본계획(2013~2017)’은 과학조사·연구활동 강화, 국제협력 강화, 제도기반 확충, 북극 비즈니스 발굴 등을 목표로 4개의 전략과제와 31개의 중점 추진계획으로 구성되어 있음
- (과학조사 및 연구활동 강화) 아라온호와 북극 연구기지 등의 인프라를 활용하여 연구 기반을 확충하고 기후변화 및 북극해 공간정보 연구 강화
- (국제협력 강화) 북극이사회 관련 활동 확대를 통한 국제협력을 강화를 목표로 전문가 발굴 및 이사회 워킹그룹 참여 계획을 수립하고 이사회를 통해 결정되는 사업에 참여
- (제도기반 확충) 극지활동진흥법안의 제정을 추진하고 하위 법령을 구성하여 북극이사회 회원국 및 옵서버 국가와 분야별 산업에 대한 동향을 파악하기 위한 극지정보시스템 구축을 추진
- (북극 비즈니스 발굴) 북극해 지하자원 탐사 공동연구 프로젝트, 북극항로 개척을 위한 항만 개발 등에 참여하여 해운·항만 분야 협력과 북극해 주요국과 해양수산자원 분야 협력 강화

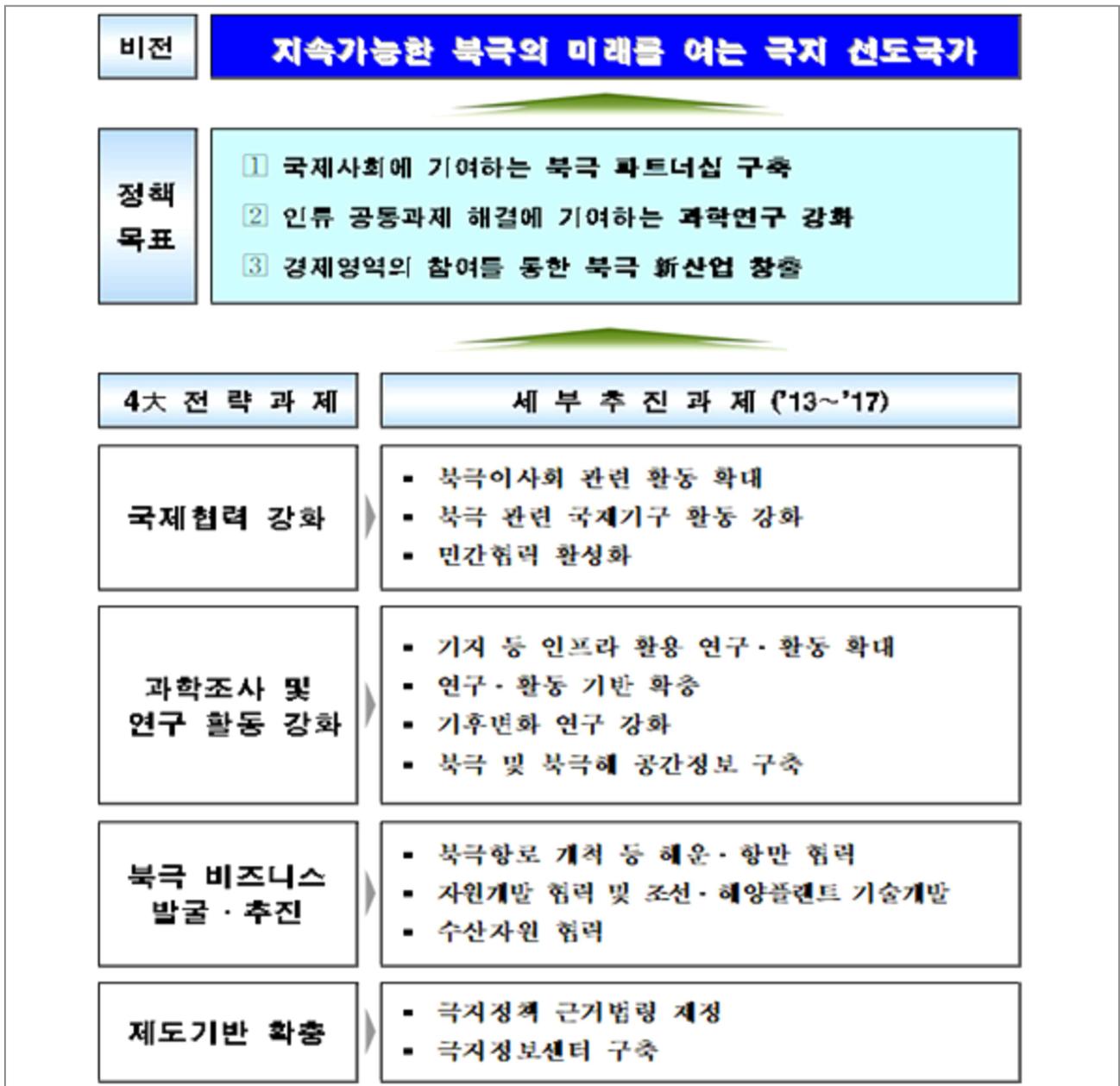
극지연구소

- 정부는 ‘2050 극지비전’ 선언을 통해 기후변화 예측과 북극항로의 경제적 효과에 대한 중요성에 대한 인식을 바탕으로 기후변화에 선제적으로 대응하는 극지정책 추진
- 정부의 극지 정책 세부 추진과제 중 북극항로 개척, 기후변화 연구 강화, 극지 공간정보 구축을 위해 극지관측 목적의 전용 위성 개발이 필요함
 - 전주기적 극지 상시 관측을 통해 획득한 위성자료는 기후변화 예측 모델에 투입자료로 사용하는 등의 활용을 통해 전세계적 이슈인 기후변화 문제에 선제적으로 대응할 수 있는 역량을 증대시켜 정부의 기후변화 대응력과 정책 수립에 기여
 - 초소형위성을 활용한 극지 관측을 통해 현장관측만으로는 현실적으로 불가능한 광범위한 극지 공간정보 구축을 용이하게 함으로써 정부의 극지

공간정보 구축 정책을 뒷받침

- 초소형위성 자료는 갈수록 경제적 가치가 높아지는 북극항로의 개발과 선박 안전 운항을 위해 활용될 수 있어 북극항로 개발을 통해 경제적 이득 및 안보의 이점을 얻고자 하는 정부 정책을 지원할 수 있음

[그림 1-4] 북극정책 기본계획 비전체계도



자료: 관계부처 합동(2013년)

< 2050 극지비전 선언 >

- 하나. 극지는 우리와 연결되어 있는 공간임을 인식하고 극지로부터의 기후변화에 선제적으로 대응하는 극지 정책을 추진한다.
- 하나. 극지의 지속가능한 개발과 극지 자원의 합리적 활용에 협력한다.
- 하나. 무한한 잠재력을 지닌 극지와 상생할 수 있는 미래 신산업을 육성한다.
- 하나. 극지연구 혁신과 실용화 성과 창출을 통해 우리의 과학역량을 향상시킨다.
- 하나. 극지는 미래세대로부터 빌린 공간임을 인식하고, 극지환경 보호를 위한 국제사회 노력에 동참한다.
- 하나. 인류 공동의 유산인 북극의 고유한 사회·문화 전통 유지를 위해 북극 원주민 등 지역사회와 교류를 확대하고 신뢰를 구축한다.
- 하나. 남극 내륙 제3과학기지 등 연구인프라를 확충하고 전문인력을 양성해 극지활동 역량을 강화한다.

□ 극지의 환경 변화에서 기인한 이상기상과 기후변화에 선제적으로 대처하기 위해서는 극지 환경에 대한 보다 종합적이고 광범위한 감시 능력이 필요함

- 북극해는 대양 면적의 2.6%를 차지하고 있고 바닷물의 양을 기준으로 하면 전체의 1%에 불과하지만, 지구 전체의 기후를 조절하는 중요한 역할을 수행
- 최근 지구 온난화로 북극은 예측하기 어려운 빠른 기후변화를 겪고 있으며, 이로 인해 대륙의 빙하가 녹고 해빙 면적이 감소하는 추세일 뿐 아니라 지구 해류 순환 시스템 및 해수면의 높이 등에도 지대한 영향을 끼치고 있음

□ 극지관측 초소형위성을 신속히 개발하고 운영하여 극지의 기후학적·경제적 잠재 가치를 국가 전략적 차원에서 극대화시키는 과업이 긴급히 요청됨

- 초소형위성은 저렴한 개발 비용과 짧은 개발 기간을 가져 시급한 극지관측의 필요성에 대응할 수단으로 적합함
- 초소형위성은 기존의 중대형 위성에 비해서 수명은 짧지만, 단위 위성당 개발 비용이 저렴하여 다수의 초소형위성을 운용하는 것이 기존의 중대형 위성 1기를 운용하는 것과 비교하여 우수한 비용 대비 효과를 기대할 수 있음

- 극지 기후변화 감시를 위해서 동일 지역에 대한 짧은 주기의 관측이 중요함을 고려하면, 북극 관측 시스템은 초소형위성을 다수 활용한 군집위성시스템 형태로 구축하여 운영하는 것이 유리함
- 초소형위성의 전주기적 관측 데이터와 기존 위성의 데이터를 결합하면 고정밀 데이터를 획득할 수 있으며, 이는 기후예측 입력 자료의 품질 향상으로 연결되어 해빙모형의 기후변화 예측 능력 향상이 기대됨
- 정부는 재난재해 감시 및 활용 분야 중심의 맞춤형 위성정보 서비스 활성화를 통해 공공과 민간의 위성정보 활용지원 강화 추진
 - 재난재해 시 골든타임 확보를 위한 실시간 긴급 대응 체계 구축을 위해 실시간 관측망 운영이 가능하도록 초소형위성(10기), 중형위성(4기), 다목적위성(2기)의 운영 체계를 2022년까지 구축하고 2025년까지 초소형위성 20기를 추가 보급
 - 정지궤도·저궤도 위성 통합 관제 시스템을 개발하고 빅데이터 및 인공지능 기술을 접목시킨 위성정보 분석 기술 개발을 지원하여 위성정보 활용을 촉진시키기 위한 기술적 인프라 구축
 - 우주환경(태양풍 전리층 교란 등)과 지구환경(미세먼지, 황사 등) 감시 및 예측을 위한 위성 시스템을 구축하고 해양, 환경, 농림 수산업 등 국민 생활과 연계된 다양한 분야 정보 제공을 위해 위성정보를 활용
- 극지관측 초소형위성은 극지뿐만 아니라 전지구 및 한반도에 대한 위성정보를 생산할 수 있어서 정부의 위성정보 활용 정책에 전반적으로 대응하여 활용 가치가 높음

나. 산업경제적 필요성

- 인공위성의 활용도는 분야를 막론하고 전세계적으로 나날이 높아지고 있으며, 초소형위성 등 소형위성을 활용한 전주기적 지구관측 및 통신 서비스 구축이 활발해지고 있음

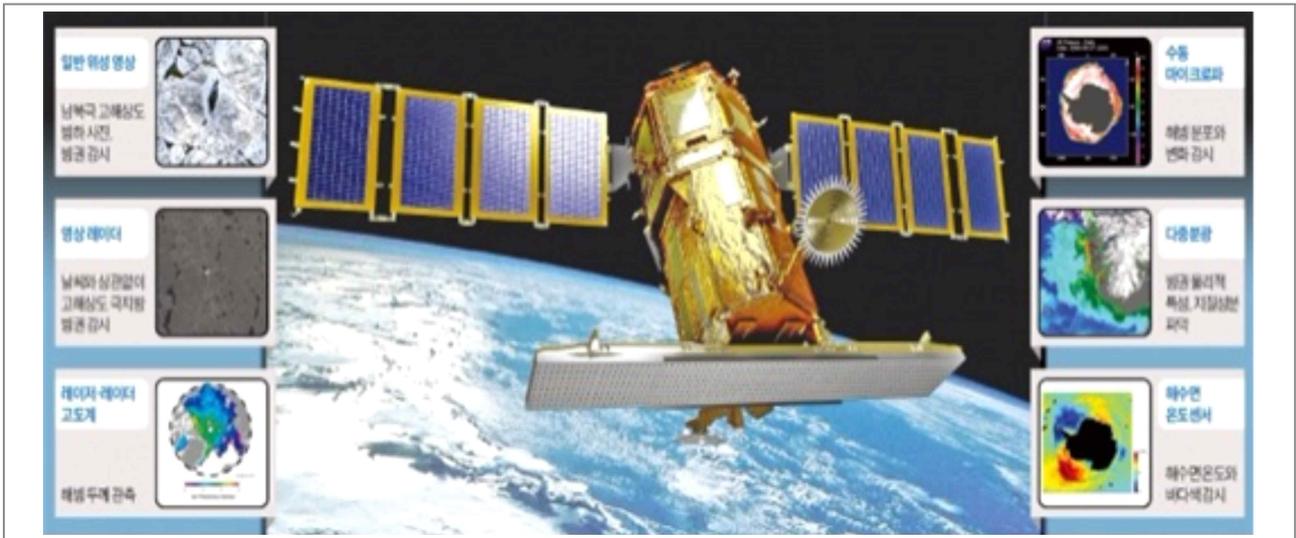
[그림 1-5] 위성정보 활용 기반확충 계획(안)



자료: 관계부처 합동, 우주개발 중장기 계획 - 제2차 우주개발진흥 기본계획 수정, 2013

- 위성정보 활용 서비스 시장은 우주산업의 90% 가량을 차지하며 2018년 기준 약 300조 원 규모로 추산
- 위성영상을 활용한 서비스는 해양, 통신, 농업, 측지, 산림 등 다양한 분야에서 수요를 보이고 있으며 우주산업의 경쟁력 확보를 위해 위성정보 활용 생태계를 조성할 필요성이 있음
- 우리나라는 위성정보 플랫폼 사업을 추진하여 부처별 위성센터를 연계하고 위성정보 서비스 대상을 공공뿐 아니라 민간으로까지 확장함으로써 관련 산업 생태계를 조성하기 위해 노력을 기울이고 있음
- 국민 생활에 직결된 이상기상과 기후변화 예측에 있어 극지관측 자료의 활용이 필수적이기 때문에 극지 관측 위성 활용과 이를 통한 극지관측 자료의 활용 시장을 대상으로 잠재적인 서비스 사업화 수요가 존재함
- 기존의 국내 우주산업은 우주발사체와 인공위성을 중심으로 정부 주도적으로 발전해왔으며, 최근에는 발사체와 위성의 소형화 경향이 뚜렷함

[그림 1-6] 인공위성 영상과 센서를 활용한 남북극 연구 개념



자료: 극지연구소, 극지해빙관측 위성개발/운용을 통한 빙권 정보화 기획연구, 2018

- 국내 초소형위성 개발은 대학을 중심으로 시작되었으며, 대학 내부의 초소형 위성 발사 프로그램들과 2012년부터 시행한 한국항공우주연구원의 초소형 위성 경연대회를 중심으로 발전해 왔음
 - 국내 연구기관은 초소형위성을 국내 관련기술 확보와 우주 환경 관측연구를 위해 6U 플랫폼 위주로 개발해왔으며 한국항공우주연구원, 한국천문연구원 및 해양위성센터가 초소형위성 발사를 기획하고 있음
- 민간기업 중심으로 최근 소형위성 및 소형발사체 기술 개발이 증가하는 추세
- 신속한 정보 획득의 중요성과 위성정보 활용분야 및 수요처의 다변화 추세에 맞춰 기존의 고비용 중대형 위성개발 전략 대신 저비용의 소형위성 개발로 수요에 신속하고 유연하게 대응하는 전략이 중요해짐
 - 따라서 초소형위성 및 소형 탑재체의 개발에 많은 국내외 신생 업체들이 열을 올리고 있으며, 위성 발사체 시장에서 저비용의 소형발사체의 점유율이 갈수록 늘어날 것으로 예상됨
 - 또한 소형위성 다수를 운영하는 위성 군집 설계를 통해 준실시간

지구관측이 가능한 만큼 지속적인 전주기적 관측이 중요한 극지관측과 같은 연구분야에서의 초소형위성 관측 수요가 대폭 증가하고 있음

<표 1-2> 국내 초소형위성 개발 현황

구분	해양위성센터(부산 TP)	한국전문연구원
현황	<ul style="list-style-type: none"> 2U 플랫폼 나노 위성 개발 중 	<ul style="list-style-type: none"> 스나이프 초소형위성 개발 중
목적	<ul style="list-style-type: none"> 다분광 탑재체 기술검증 및 편광 탑재체 궤도 임무 수행 NASA Langley 연구소와 협력 	<ul style="list-style-type: none"> 근지구 우주환경(자기장 등) 관측
센서	<ul style="list-style-type: none"> 다분광 탑재체 (지역정보 수집: 항만 물류, 선박 출입, 해양 자원 관리) 편광 탑재체 (초미세먼지 측정) 	<ul style="list-style-type: none"> 솔리드 스테이트 텔레스코프 자기장 센서 전리권 플라즈마 관측 감마선(gamma ray burst) 관측
추진 경과 및 예산	<ul style="list-style-type: none"> 2U 초소형위성 * 2기 개발기간: 2020.12. ~ 2021.12. 총 개발비 14억 3천만 원 (발사비 제외) 	<ul style="list-style-type: none"> 6U 초소형위성 * 4기 5년 과제기간 중 올해가 5년차, 올해 3 or 4 분기에 발사 예정 (발사체 미정) 총 개발비 87억 원(발사비 120만 USD 포함)

□ 극지관측 초소형위성 사업 시행으로 빠르게 발전하고 있는 소형위성 산업 발전에 기여할 것으로 기대됨

- 중대형 위주 위성 사업을 통해 갖춰진 기존의 위성산업 생태계 활용
- 극지 관측 초소형위성 사업 추진을 통해 초소형위성의 민간 시장의 성장을 기대할 수 있음
- 초소형위성 개발 민간 참여자 후보그룹
 - (발사체) (주)이노스페이스, (주)페리지항공우주 등*
 - * 소형 발사체 분야 국내 주요 기업으로 수 년내 발사 서비스 가능할 것으로 예상
 - (위성 본체 및 탑재체) (주)나라스페이스테크놀로지, 연세대학교 초소형위성센터*, (주)썬트릭아이 등 국내 업체 및 대학 연구소

* 연세대학교 항공전략연구원 산하 초소형위성센터

- 최근 북극항로를 통과하는 물동량이 지속적으로 증가함에 따라 북극 해빙 및 북극항로 감시와 쇄빙선의 운항 지원 등을 위한 위성기반 극지 감시 자원의 필요성 증대
 - 북극항로 경유 시 수에즈 운하를 통과하는 항행거리보다 짧아 물류비 절약을 위해 북극항로를 통한 물동량이 최근 꾸준히 증가하는 추세
 - 해빙의 상시 감시 및 예측을 통해 북극항로의 위험요인을 해결하고 쇄빙선이 안전 운항 할 수 있도록 하는 극지 전용 위성의 전주기적 북극 감시 및 관측의 필요성이 증대되고 있음

다. 과학기술적 필요성

- 극지관측을 초소형위성 개발 사업은 소형위성 개발역량 향상을 촉진함
 - 기존의 국내 위성개발 기술은 중대형 위성 본체개발 위주로 항공우주연구원이 중심이 되어 진행됐으며, 민간에서는 (주)썬트랙아이가 국내에서는 유일하게 중소형 위성시스템을 수출할 정도의 경쟁력을 확보함
 - 점차 소형화되는 위성 크기 추세에 힘입어 초소형위성의 활용도가 또한 주목받고 있으며, 국내에서는 이러한 흐름을 타고 대학을 중심으로 초소형위성 개발기술과 관련인력 양성 사업이 진행됨
 - 최근에는 국가 출연 연구기관인 항공우주연구원, 한국천문연구원 등에서 초소형위성 개발을 본격적으로 추진함에 따라 초소형위성 개발기술 고도화와 함께 초소형위성이 위성개발 투자에서 차지하는 비중이 늘어나고 있음
 - 이러한 흐름 속에서 극지관측 초소형위성 개발 사업은 국내 초소형위성 개발기술 및 관련 전문인력 확보 측면에서 상당한 촉발제 역할을 할 것으로 기대됨

- 위성 본체의 크기가 작아지는 추세에 따라 기존 중대형 위성에 사용된 탑재체의 소형화 필요성이 대두되어 탑재체 소형화 기술 역시 중요해지고 있으며, 이러한 측면에서 본 사업이 갖는 과학기술적 의미가 크다고 할 수 있음
- 동 사업의 후속 사업으로 계획되고 있는 군집 초소형위성 시스템 개발 사업은 군집위성 시스템 개발 및 운용 기술을 확보할 좋은 기회를 제공할 것으로 예상됨
- 극지관측 군집위성 개발 및 운용 기술은 SpaceX의 Starlink와 같은 위성통신을 비롯한 다양한 목적의 군집위성 운용에 활용될 수 있음
- 극지관측 군집위성 시스템 구축 사업을 통해 다양한 분야의 위성정보 활용 및 군집위성을 활용한 전지구적 관측 시스템 구축 기술 개발 촉진이 기대됨

[그림 1-7] Planet Labs의 RapidEye 5기 군집위성 시스템 개념



자료: <https://www.stars-project.org/en/news/news/planet-labs-to-acquire-rapideye/>

- 군집위성 시스템을 통해 생산되는 위성정보의 수신·처리를 위한 기술 또한 동 사업의 후속 사업을 통해 기술 개발이 촉진될 것으로 예상됨

- 군집위성이 생산하는 위성정보를 수신·처리하는 기술은 단순히 단일 위성의 수신·처리 기술을 결합하는 것을 넘어서는 새로운 기술적 요소를 요구함
- 수신·처리에 더해 군집 위성 관제 기술이 포함된 운영은 더욱 높은 기술적 난이도를 가지기 때문에 군집위성 시스템을 위한 지상국 기술은 높은 가치를 지님

1-3. 사업추진 시급성

▶ 극지 해빙 상시 광역 감시 기술 확보 시급

- 급변하는 해빙 환경을 신속하게 감시할 수 있는 독자적인 광역 감시 체계가 시급함
 - 북극은 지구상에서 기온이 가장 빠르게 상승하는 지역이며, 이에 따라 북극해의 해빙(海氷) 또한 빠르게 소멸하고 있음. 현재 추세(~4%/10년)대로 감소 시 21세기 중반에는 해빙이 없는 여름이 관측될 것으로 전망
 - 대부분의 국내 추진 초소형 위성들은 한반도를 중심으로 위성 자원을 집중한 설계에 치중되어 있음
 - 북극 항로 개척 및 에너지 개발에 대한 관심과 대대적인 투자는 선진국을 중심으로 이루어지고 있으므로 북극 활동 선도 국가로서의 역할 정립을 위한 기여가 필요함
 - 사회경제적인 목적을 위한 국내 우주 관측 및 해빙 환경 감시체계 부재로 인하여 급변하는 해빙에 대응할 독자적인 준실시간 해빙 정보 취득에 어려움이 따름

급변하는 해빙 정보를 독자적으로 신속하게 획득할 수 있는 초소형 위성 개발 기술을 확보하여 체계적이고 종합적인 모니터링이 시급함

▶ 극지 관측용 초소형 위성 기반 기술의 선점

- 초소형위성을 활용한 북극 해빙 변화 감시 기술 확보로 북극권 관련산업 성장동력 창출
 - 동 과제에서 적용될 초소형 위성용 수동마이크로파 탑재체를 극지에 적용한 사례는 국내외에 전무하며 초소형위성 종합 개발/운용 기술을 개발하여 고품질의 해빙 정보를 생산하는 국산 원천 기술을 확보
 - 지구 관측 목적의 초소형 위성 분야의 민간 주도 전에 선행하여 국가적인 차원의 역량을 평가하고 북극권 성장 동력을 창출
 - 국제적인 거버넌스 협력 및 북극 이사회에서의 선제적 기술 확보를 통한 국제 기술 교류를 통한 기여 기대
- 가치있고 정확한 빙권 정보 개발 기술 확보 시급
 - 국내에 보유하고 있는 기존의 다목적위성 만으로는 북극 전역을 관측하는데 장시간이 소요되므로 급변하는 해빙 변화 감시에 한계가 있음
 - 초소형 위성 원시자료 획득 시 면밀한 검보정을 통해 활용가능한 정보로서 변환시키는 기술이 필요함
 - 세계적으로 초소형위성으로 획득된 자료가 과학적인 목적으로 사용된 사례는 아직 많지 않음
 - 따라서 과학적인 목적을 위한 원시 자료 가공 기술 개발이 요구됨

정확하고 가치있는 해빙 정보 획득을 위한 초소형위성으로 획득된 원시자료를 가공하는 원천적인 기술 개발을 통해 과학적 목적으로 사용

▶ 시 기반 온난화 대응 기술 개발

- 지구 온난화로 가속화되는 북극 해빙 변화를 실시간 관측하여 한반도

이상기후의 근본적인 원인 파악과 대응이 요구됨

- 온난화 대응을 위한 핵심 정보인 북극 해빙 정보 활용을 위해서는 독자적인 데이터 확보·분석 기술이 필수적임
- 북극 해빙 정보 생산이 가능한 외국 위성은 각 보유국이 우선 사용하며 제공되는 자료 또한 가공 처리된 자료로, 선제적인 독자적 활용이 제한적임
- 이에, 위성 빅데이터 분석을 위한 활용기술 개발을 통해 독자적인 북극 해빙 관측자료 분석 기술 확보를 위한 연구 지원이 요구됨

□ AI 활용 초소형위성 산출물 기술 개발 시급

- 온난화 대응을 위해서는 고품질의 해빙 정보와 해빙 변화와 가져올 한반도의 영향력을 평가할 수 있는 지표가 있어야 함
- 중대형위성과의 융합을 위한 AI 기반 기술을 확보하여 해빙 변화 에너지가 한반도로 전달되는 메커니즘을 규명하는 기초 자료로서 활용될 수 있음
- 선제적인 온난화 대응을 위해서 미래 예측 정보가 바탕이 되어야 하며 해빙 변화와 한반도 간의 온난화 메커니즘이 규명된다면 사전에 온난화에 대한 대응책이 마련될 수 있음
- AI 기반으로 해빙 변화 또한 예측될 수 있으며 이는 고품질의 초소형위성 산출물을 바탕으로 이루어져야함

우리나라 온난화에 선제적 대응을 위하여 정확한 고품질의 해빙 정보 생산 뿐만 아니라 한반도를 감시하고 있는 중대형 위성과의 연계 기술 개발이 시급함

제2절 기획연구 사업 내용

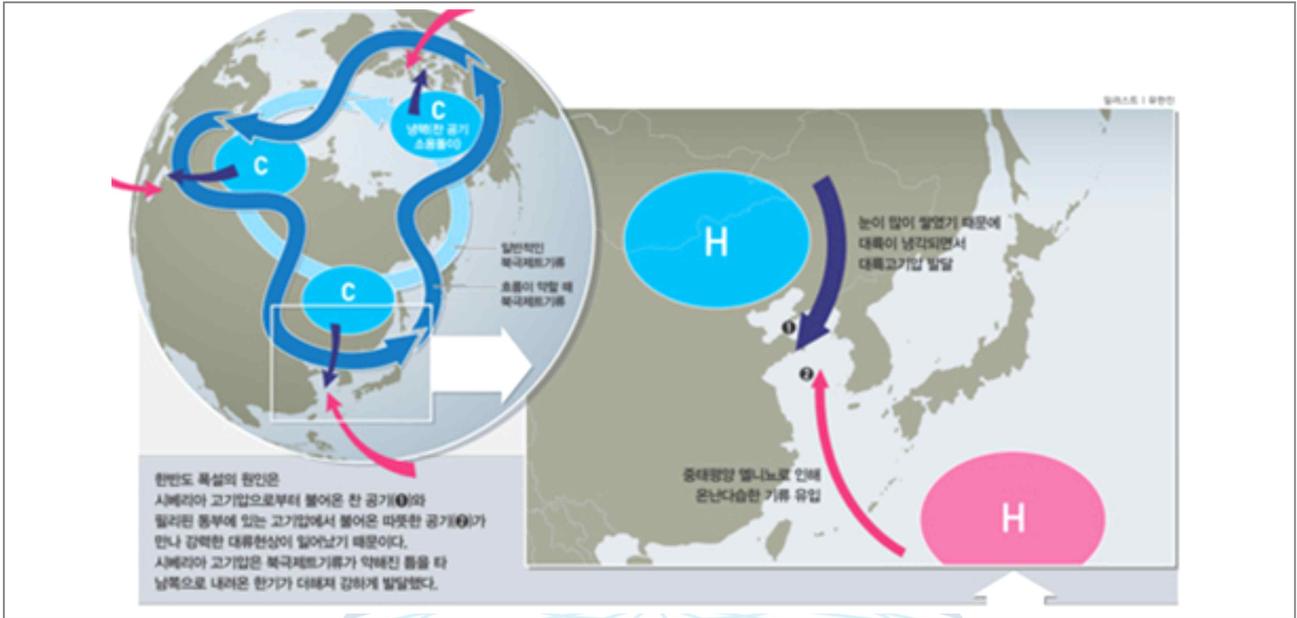
2-1. 사업정의

가. 현안

- 북극은 지구 온난화 및 기후변화 예측, 북극항로 개척, 천연자원 확보 등을 위해 매우 중요한 연구 대상임
 - 미국, 유럽, 일본 등 주요 극지관측 위성 보유국은 극지관측 전용 위성을 통해 극지 연구를 지원함으로써 자국의 이익을 극대화하고 있음
 - 우리나라도 과학기지건설 등을 통해 극지연구소 중심으로 극지 연구에 나서고 있지만, 극지관측 전용 위성의 부재로 극지 연구에 어려움을 겪고 있음
 - 특히, 쇄빙선 등을 활용한 극지 연구 활동을 지원하기 위한 상시 모니터링의 제약으로 인해 연구자의 안전이 위협받고 있으며, 북극항로 개척, 기후변화 예측 등을 위한 정보 제약으로 인해 직·간접 경제적 손실이 막대할 것으로 예상됨
- 지구온난화로 인한 이상기후는 매년 되풀이되고 있어 이제 이상기후 현상이 우리나라 기후의 뉴노멀이 되고 있어 국가적 대처가 시급한 현안임
 - 2016, 2018년 여름철 열파, 2019년 봄철 열파, 2019년 겨울철 이상고온, 가뭄, 2020년 6월 이상고온, 7월 이상저온, 2020년 겨울 역대급 한파 후 이상고온 등 점차 급격한 기온 변화 및 이상기후가 일상화되어가고 있음
 - 이상기후 발생은 정상적인 대기 흐름이 교란되었음을 의미하는데, 최근 지구온난화에 따라 북극 온도의 가파른 상승으로 인해 중위도-극 간의 온도차가 달라지고 있는 것이 주요 원인으로 지목되고 있음
 - 지난 40년간 북극 해빙의 70%가 감소하여 지구 에너지 순환과 북극권 대기 순환에 영향을 주어 한반도를 포함한 중위도 지역에 기상재해와 이상기후를 초래함

- 특히 겨울철 이상기후 현상인 한파, 이상고온과 같은 극심한 기온의 변동의 경우 북극 온도 및 해빙 변화는 꾸준히 주요 원인으로 지목되고 있음

[그림 1-8] 북극해빙 감소와 우리나라 한파의 상관관계



자료: 극지연구소, 극지해빙관측 위성개발/운용을 통한 빙권 정보화 기획연구, 2018

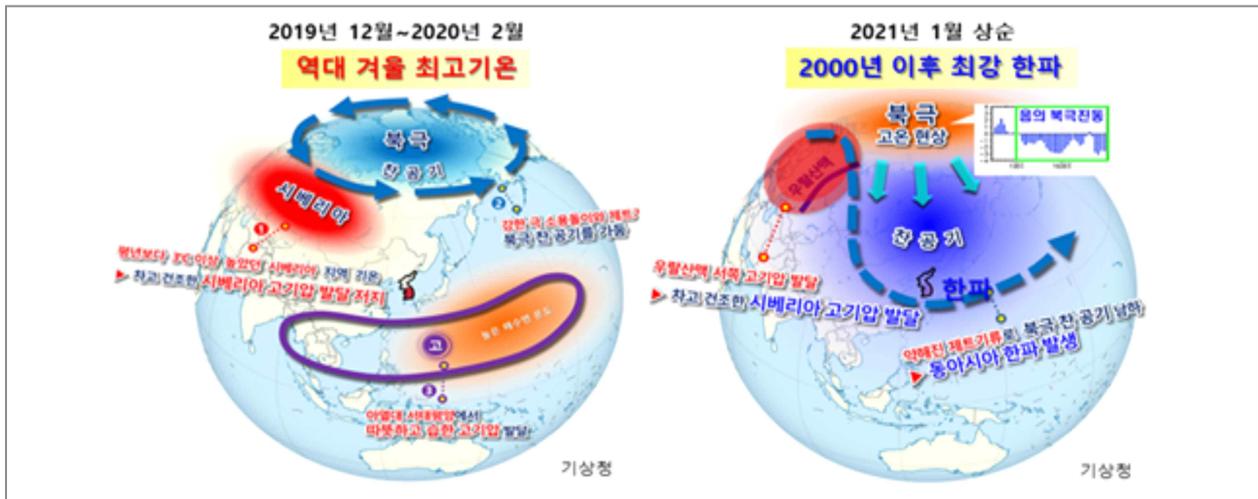
극지연구소

[그림 1-9] 이상기후 관련 뉴스 기사



자료: 신문기사 스크랩

[그림 1-10] 2019, 2020년의 정반대되는 겨울철 기후와 연계된 대규모 패턴



자료: 기상청

□ 가속화되는 극지 해빙 감소는 북극항로, 북극 자원과 연관된 경제적인 기회를 확대시키고 있음

- 북극 해빙 감소로 북극항로 운항 시 수에즈운하 대비 운항거리와 일수가 1/3가량 단축 (25일/14,300km)
- 그동안 북극해 빙해 환경의 제약으로 유전시설과 시추 장비 등의 설치를 꺼리던 많은 국가들이 천연가스와 석유 등의 자원개발을 위해 북극으로 향하고 있음

□ 극지 해빙 변화정보는 한반도 기후변화 예측 모델 수립의 핵심 변수 중 하나임

- 북극 해빙의 감소로 인해 북극해 해빙의 태양에너지 반사량이 감소하고 이는 태양에너지의 흡수를 촉진하여 다시 주변의 해빙을 녹이는 악순환 발생
- 북극 해빙의 감소는 인근 지역에 많은 눈을 뿌리며, 최근 우리나라 겨울철 한파의 주요 원인으로 지목되고 있음
- 북극 해빙의 감소가 가져오는 북극진동의 변화로 한반도에 더 잦은 폭설과 한파 발생이 예상됨

[그림 1-11] 북극항로 비교 및 북극지역 주요 자원현황



자료: 아시아경제

□ 북극 해빙 정보는 다양한 측면에서 지구 온난화의 핵심 요소로 작용하지만 현재 대응을 위한 활용이 제한적

- 우리나라는 극지연구소 주도로 '다목적실용위성'을 사용하여 북극해 해빙 연구 및 모니터링을 수행하고 있으며, 2016년에는 '북극해빙예측사업단'을 조직하여 위성자료와 기후모델을 결합하여 북극 해빙 연구를 수행하였음
- 하지만, '다목적실용위성' 만으로는 극지 위성정보의 적시성, 공급량, 품질 등이 부족하며, 천리안과 같은 국내 중대형위성은 북극을 관측하지 못함
- 북극은 연안국들의 배타적인 자료 활용으로 우주에서의 원격 관측이 가능한 자국의 위성이 없이는 실시간 정보획득이 매우 제한적임
- 따라서, 극지관측에 최적화된 위성의 부재로 양질의 지속적인 극지 관측이 제한받고 있음

나. 현안 해결 방안

- 동 사업을 통해 고효율·저비용 극지 감시 초소형위성 및 활용 기술을 개발하여 국가적 현안을 해결하고자 함
 - 극지연구의 중요성을 인식하고 있는 주요 선진국에서는 인공위성을 활용한 극지 해빙 관측을 위해 관련 기술을 지속적으로 고도화하고 있으며, 유럽연합, 캐나다, 일본 등 선진국들은 극지 해빙 관측의 가장 강력한 도구인 위성을 경쟁적으로 개발해 운영하며 협력하고 있음
 - 한편, 최근 초소형위성 개발이 활성화되며 초소형위성 다수를 활용한 지구관측의 전주기적 자료처리가 용이해짐
 - 우리나라는 극지연구소의 주도로 다목적실용위성을 이용해 북극해 해빙의 변화를 모니터링 및 연구하고 있으며, '원격탐사빙권정보센터'를 조직하여 인공위성 자료를 활용한 AI기반 및 다각도의 북극 해빙 연구를 수행 중
 - 이에, 극지관측에 최적화된 위성개발 및 운용과 AI기술 기반 활용 연구를 통해 온난화 대응 극지 해빙 감시의 국가적 현안을 해결하고자 함
- 동 사업의 후속 사업을 중장기 계획으로 추진하여 공공적 목적을 위한 해빙 정보 확보 전략 고도화
 - 중기 계획으로 초소형위성 군집시스템 구축을 통해 극지관측 자료의 신뢰성과 시간 해상도를 향상시킴
 - 다양한 탑재체를 활용하여 극지연구 활용분야를 확대
 - 10기 이상의 초소형위성을 발사하여 항시 극지관측이 가능한 시스템 구축
 - 장기 계획으로 극지관측 중대형 위성을 개발하여 초소형위성 군집시스템과 동시 운영하여 자료 동기화를 통해 자료 품질 및 신뢰성을 극대화
 - 초소형위성의 전주기적(높은 시간해상도) 자료를 중대형 위성의 고품질(고해상도, 넓은 대역폭) 극지관측 자료와 결합하여 극지관측 정보의 품질 극대화

2-2. 사업 목적 및 범위

- 북극의 독자적인 위성관측 미비점을 극복하기 위해 초소형위성을 개발하여
준실시간 북극 해빙 감시 및 관측 목적의 빅데이터 확보
 - 위성 본체의 구조는 구조계, 자세제어계, 열제어계, 명령 및 데이터 처리계, 통신계, 전력계, 비행소프트웨어, 추진계 등으로 구성되어 있음
 - 대부분의 구조들이 상용화 되어 있으나 효율적인 위성 운용을 위해서 지상에서 각종 검증 기술 등의 적용이 필요
 - 탑재체 중 하나인 수동마이크로파 센서는 개발 및 상용품 사용, 두가지 전략으로 추진 예정으로 초소형위성의 저주파대의 센서 개발은 국제적으로도 적용된 바 없으므로 도전적인 방식임
 - 광학 센서의 경우 상용화 제품을 사용할 계획이나 고도에 따라 공간해상도가 좌우되므로 지상에서 철저한 검증이 선행될 필요가 있으며 관련된 검보정 기술들을 개발 및 적용 예정
- AI 기반 기술 활용한 선제적 온난화 대응으로써 공공목적에 부합하는 전략적인 산출물을 생산
 - 수동마이크로파 센서를 탑재한 초소형위성으로 획득된 원시자료를 상위 단계의 자료로 가공, 산출하는 기술을 개발
 - 광학 초소형위성 자료의 정밀화를 통해 수동마이크로파 센서의 검보정에 활용
 - AI기반 검보정 및 고해상화를 통한 고품질 북극 해빙 자료 산출 기술 개발
 - 해빙 예측, 북극항로개척, 객체탐지(크레바스, 융빙호, 안개, 구름 등)와 같은 활용기술을 개발
 - 천리안 위성 등 타 위성과의 자료 융합을 통한 한반도 온난화 지수 개발

2-3. 기획사업 추진내용

<표 1-3> 기획사업 추진내용

구분	내용
국내외 환경 분석 및 현황 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극지 및 위성 관련 정책 동향 ▪ 경제 산업적 동향 분석을 통한 기회요인 발굴 ▪ 국내·외 연구개발 사례, 기술 수준 분석 ▪ 초소형 위성 개발 및 활용 역량 분석
사업방향 설정, 추진체계 및 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 사업비전 및 목표 수립 ▪ 사업목표 달성을 위한 추진 체계 정립 및 중점 내역사업도출
세부 기술개발 내용 설정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형 위성 개발 및 운용의 구체적인 방안 수립 ▪ AI기반 온난화 대응 활용 기술 개발 방향 제시
신규 연구개발사업 기대효과 도출 및 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업경제적, 사회적, 과학기술적 기대 효과 ▪ 경제적 타당성 분석 ▪ 정책적 타당성 분석 ▪ 과학기술적 타당성 분석

극지연구소

2-4. 사업기획 추진체계

- 수요조사 및 전문가 자문단을 통한 동 사업의 세부사항 도출
 - 102명의 참여한 극지 및 환경 관련 분야 연구자 웹 기반 설문조사를 통해 요구사항을 분석 (요구사항 기반으로 광학 및 수동마이크로파로 결정)
 - 산학연 위성 전문가로 구성된 34인의 자문단을 구성하여 요구사항에 기반한 동 사업의 필요성 및 시급성을 논의하고 사업가능성에 대한 의견을 교류
 - 사업 가능성과 핵심기술도출을 극대화하기 위한 세부사업내용을 조정
 - 폭넓은 의견 수렴으로 극지/비극지 활용방안과 그에 따른 기대역할 파악
- 한국항공우주연구원과의 지속적인 의견 교류

- 초소형위성 개발에 대한 실질적 기술을 확보하고 있는 한국항공우주연구원과의 기술 교류 방안에 대하여 지속적으로 논의
- 실제 운영 방안에 대한 노하우 전수 및 교류 방안 모색 및 지상국/관제 시스템 운영 방안에 대한 기관 사례 벤치마킹
- 관계부처와의 지속적인 교류와 협업을 통한 사업 추진방향 협의 및 사업 수행 관련 협조

[그림 1-12] 동 사업의 추진체계



제2장 환경 분석

제1절 정책 환경 분석

1-1. 정책 환경 개요

□ 정책환경 조사목적

- 동 사업의 원활한 수행을 위해 극지 및 위성 활용 관련 국가 정책을 파악하고 정책 방향과 부합하는 사업 추진 방향을 설정하기 위함

□ 정책환경 조사방안

- 극지 연구 및 활동을 지원하는 기본계획 3가지 및 '2050 극지 비전'에서 제시하는 정책 현황 및 방향을 파악하고 동 사업과의 관련성을 분석
- 위성개발 및 위성정보 활용과 관련한 기본계획 및 종합계획에서 제시하는 국가 위성개발 로드맵과 위성정보 활용 촉진 방안을 파악하고 동 사업과의 관련성을 분석

□ 극지관측 전용위성 개발에 대한 정책·계획 등 조사

- 극지 분야와 위성 활용 분야 정책·계획 조사를 통해 정책 환경 분석을 수행
 - 극지와 관련된 계획 3건 확인, 위성과 관련된 계획 2건을 확인

<표 2-1> 정책 조사 개요

분야	구분	제목
극지	계획	북극정책 기본계획
		북극활동 진흥 기본계획
		2050 극지 비전
위성활용	계획	제3차 우주개발진흥기본계획
		제2차 위성정보 활용 종합계획

1-2. 극지관련 기본계획

가. 북극정책 기본계획

□ 수립 배경

- 북극이사회 영구 옵서버 진출(13.5)을 토대로 국제사회와의 협력을 강화의 필요성이 대두
- 북극 종합정책 추진계획(13.7)을 구체화하는 세부계획을 수립하여 북극권 정책기조를 정립할 필요

□ 주요 내용

- 북극항로 개발, 선박 건조 지원, 해양플랜트 기술 개발 및 자원개발을 통한 북극의 경제적 가치 발굴
- 극지 개발의 지속적 발전을 위해 관계 법령 정비를 통한 제도기반 확충
- 북극이사회 및 북극 관련 국제기구 활동을 통해 국제협력 강화
- 북극 공간정보 구축과 연구활동 지원, 기후변화 대응을 위한 과학조사 및 연구활동 강화

□ 적용 시사점

- 전주기적 극지 관측 초소형위성을 활용하여 준수시간 해빙 변화를 감시하고 극지 환경, 북극항로, 기후 변화, 지하자원 등에 대한 연구 활동을 지원
- 초소형위성 기반 극지 관측 산출물을 국제사회와 공유함으로써 국제사회에서 극지에 대한 우리 정부의 입지를 강화하고 다양한 극지 관련 국제활동에 협력 및 참여 기회 확대

□ 우리나라는 북극이사회 정식 옵서버 진출(2013.05)을 계기로 북극권 공동 이익 증진 및 협력을 위한 정책 결정 과정의 참여 자격을 확보

- 남극과 달리 북극은 통일된 국제조약이 없으며, UN 해양법 협약(1994)에

따라 연안국이 영해 및 EEZ의 주권적 권리를 행사

- 스발바르 조약 등 북극해 연안국 간 지역규범이 존재하나, 북극권에 적용될 수 있는 새로운 국제규범을 선호하지 않음
- 비북극권 국가들은 읍서버 진출 등을 통해 연안국과 양자관계를 강화하고 북극항로 및 자원개발 등 경제·자원 문제에 관심 집중

[그림 2-1] 북극정책 기본계획

4대 전략과제	세 부 추 진 과 제 ('13~'17)
국제협력 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 북극이사회 관련 활동 확대 ▪ 북극 관련 국제기구 활동 강화 ▪ 민간협력 활성화
과학조사 및 연구 활동 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기지 등 인프라 활용 연구·활동 확대 ▪ 연구·활동 기반 확충 ▪ 기후변화 연구 강화 ▪ 북극 및 북극해 공간정보 구축
북극 비즈니스 발굴·추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 북극항로 개척 등 해운·항만 협력 ▪ 자원개발 협력 및 조선·해양플랜트 기술개발 ▪ 수산자원 협력
제도기반 확충	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극지정책 근거법령 제정 ▪ 극지정보센터 구축

자료: 관계부처 합동, 북극정책 기본계획, 2013

□ 북극권 국가와 협력 및 견제 상황을 고려한 북극권 정책기조 정립이 필요하다는 판단 아래 7개 부처·청에서 추진하고 있는 사업을 종합하여 '북극정책 기본계획' 수립(2013.12)

- 7개 부처 및 청은 미래창조과학부, 외교부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 기상청을 포함함

- 과학조사 활동 및 원주민 공동체 지원 등 오피서버 국가로서 책무를 수행하고, 북극권 자원개발 시대 대비 기술 개발 및 협력토대 구축 등 북극권 국가들과 장기적 신뢰관계 형성
- '북극정책 기본계획'은 2013년부터 2017년까지 4대 전략과제별 31개 중점 추진계획을 기본으로함
- 4대 전략과제는 과학조사 및 연구활동 강화, 국제협력 강화, 제도 기반 확충, 북극 비즈니스 발굴 추진 등

나. 북극활동 진흥 기본계획

□ 수립 배경

- 북극 환경의 영향 확대에의한 국민 체감 증진에 따라 북극에 대한 종합적이고 체계적인 개발 및 조사가 요구됨
- 극지는 과학적·경제적으로 중요하다는 인식이 증가하여 정부는 극지 진출을 통해 우리나라의 과학 및 경제영토 확장을 위해 노력하고 있음

□ 주요 내용

- 북극권에 속하지 않는 지리적 불리함을 극복하기 위해 북극권 및 인접국과 상생 협력하여 경제성과를 도출
- 북극이사회 오피서버로서 국제사회의 북극 관련 의제에 적극 참여하고 파트너십을 구축
- 기후변화 및 북극 환경에 대한 관측 및 연구활동을 강화하여 인류 공동문제 해결에 기여하고 미래 환경 문제에 대응
- 북극 홍보 및 전문인력 양성을 통해 북극정책 추진을 위한 역량 강화

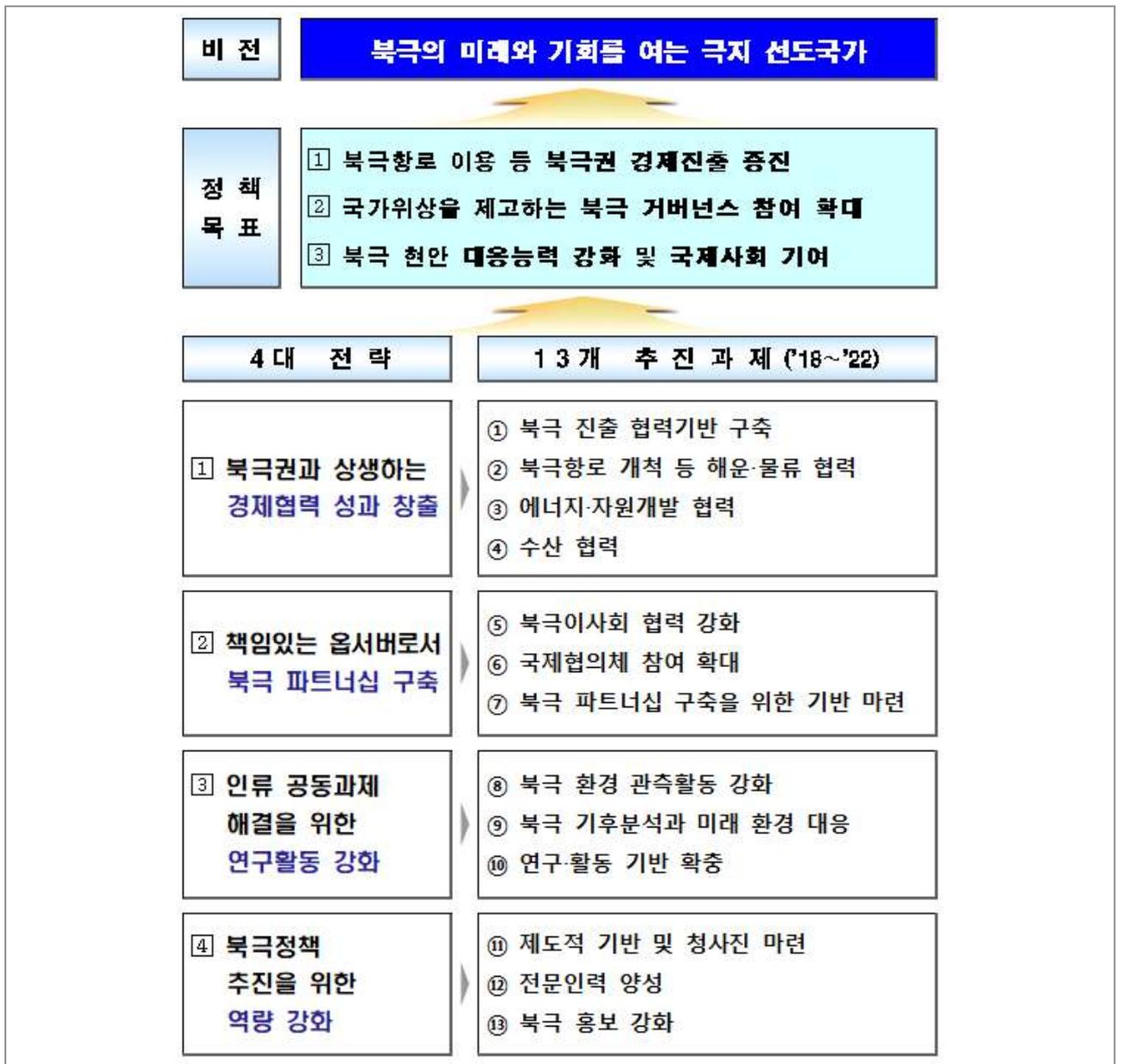
□ 적용 시사점

- 초소형위성의 감시 정보망을 이용하여 북극항로의 항행 안전을

지원함으로써 해운·물류 분야의 국제 협력체계에 있어 주도권을 확보 할 수 있음

- 국민에게 북극 중요성을 홍보하고 위성 운영 및 활용 등 관련 분야의 전문인력을 양성

[그림 2-2] 북극활동 진흥 기본계획 비전체계



자료: 해양정책실 해양개발과, 북극활동 진흥 기본계획('18~'22)(안), 2018

□ 북극권 개발 수요 증가에 따른 우리 기업의 비즈니스 진출과 북극 환경 변화에 대응하기 위한 과학연구 확대에 대한 역량을 강화하는 '新북극정책' 마련 필요

○ 극지는 '기후변화의 진원지이자 결과'이며 미래 자원의 보고로서 과학영토와 경제영토를 확장하기 위해 개척해야 할 기회의 공간

○ 특히, 북극은 급격한 환경변화에 따라 실생활 영향이 확대(한파, 태풍 등)되고, 경제개발이 가속화되고 있어 종합적이고 체계적인 접근 요구

□ 이를 위해, 정부는 북극활동 진흥 기본계획을 마련하여 '북극의 미래와 기회를 여는 극지 선도국가'라는 비전과 4대 추진전략을 마련하여 2022년까지 추진 예정

○ 4대 추진전략: ① 북극권과 상생하는 경제협력 성과 창출, ② 책임있는 오피서버로서 북극 파트너십 구축, ③ 인류 공동과제 해결을 위한 연구활동 강화, ④ 북극정책 추진을 위한 역량 강화

다. 2050 극지 비전

□ 해양수산부는 지난 40년간 우리나라의 극지 활동과 정책성과를 바탕으로 향후 30년의 극지 정책의 방향을 제시할 '2050 극지 비전'을 수립(2018.12)

□ 2050년까지 3대 정책 방향 및 7대 추진전략을 수립 및 실행을 통해 '극지의 새 미래를 여는 7대 극지 선도국가'로 도약하고자 함

○ 3대 정책 방향

- 극지에서의 기회를 극대화하는 극지경제 창출
- 기후변화를 예측하고 대응하는 극지연구 실현
- 신뢰받는 극지협력 파트너로서의 위상 확보

○ 7대 추진전략

- 기후변화에 선제적으로 대응하는 극지정책 추진
- 극지를 통한 새로운 에너지·자원 확보 노력

- 새로운 성장동력으로서 극지 미래신산업 활성화
- 극지연구 혁신 및 실용화 성과 창출
- 국제사회의 극지환경 보전 노력에 적극 참여
- 교류 확대를 통한 북극 진출 교두보 확보
- 연구 인프라 확충 및 인력 양성 등 정책역량 강화

1-3. 위성관련 기본계획

가. 제3차 우주개발진흥기본계획

□ 수립 배경

- 대내외 환경 변화에 적응하기 위해 기존 우주개발 중장기 계획을 재검토하고 향후 5년간(2018-2022)의 우주개발 계획 수립
- 정밀 감시 중심의 위성정보 활용 목적에서 벗어나 재난재해 감시 및 공공활용 분야 중심으로 맞춤형 위성정보 서비스 활성화

□ 주요 내용

- 국민 생활과 관련된 위성정보 서비스 분야를 고도화 및 다양화
- 4차 산업혁명을 지원하는 위성기반 통신 및 항법 서비스 제공
- 다양한 유형의 위성 자산을 총 동원하여 짧은 주기로 한반도를 정밀 감시하는 시스템 구축
- 위성정보활용지원센터 기능 강화 및 위성정보 활용 종합계획 수립 추진
- 위성정보 활용 촉진을 위한 기술적 인프라 구축

□ 적용 시사점

- 동 사업을 통해 임무의 다양화가 가능하고 짧은 주기의 정밀 감시 시스템 구축에 용이하게 사용될 수 있는 초소형위성 시스템 개발 및 운용 기술

확보

- 국내 위성정보 활용 정책은 우주개발진흥법에 근거를 두고 있으며 국가우주 위원회에서 관련 기본계획 및 종합계획을 총괄
- 우주개발진흥법은 우주개발진흥법시행령과 위성정보 보급 및 활용 규정, 위성정보활용협의체 구성 및 운영지침 행정규칙으로 연계

<우주개발진흥법 제5조의 3>

우주개발진흥법 [법률 제15243호, 2017.12.19., 일부개정]

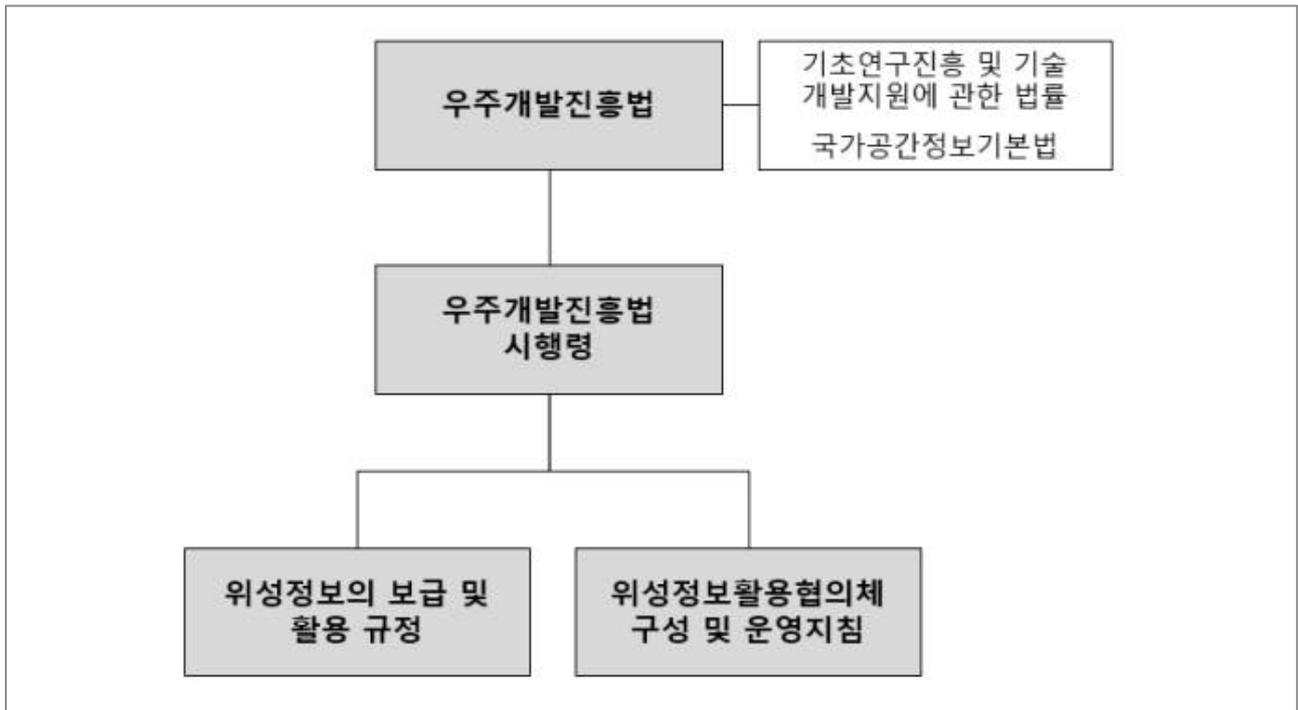
제5조의3(위성정보활용종합계획의 수립)

- ① 정부는 위성정보의 보급 및 활용을 촉진하기 위하여 5년마다 위성정보활용종합계획 (이하 "위성정보활용종합계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.
- ② 위성정보활용종합계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.
 - 1. 위성정보 보급·활용정책의 목표 및 방향에 관한 사항
 - 2. 위성정보의 획득에 관한 사항
 - 3. 위성정보의 보급체계 및 활용계획에 관한 사항
 - 4. 위성정보 관련 전문인력의 양성에 관한 사항
 - 5. 위성정보를 활용한 기술의 수요·동향 및 연구개발에 관한 사항
 - 6. 위성정보 관련 장비 및 시설 등의 중복투자 방지에 관한 사항
 - 7. 위성정보를 획득하기 위한 인공위성 개발의 수요·동향에 관한 사항
 - 8. 그 밖에 위성정보의 보급 및 활용 촉진에 필요한 사항
- ③ 정부는 위성정보활용종합계획을 수립하거나 변경하려는 경우에는 제6조제1항에 따른 국가우주위원회의 심의를 거쳐 확정하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하려는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ④ 정부는 제3항에 따라 확정된 계획을 지체 없이 공고하여야 한다. 다만, 국가의 안전보장에 관한 내용은 공고하지 아니할 수 있다.
- ⑤ 위성정보활용종합계획의 수립과 변경에 관한 세부 절차는 대통령령으로 정한다.

- 위성정보 활용과 관련하여 우주개발진흥법은 기초연구진흥 및 기술개발 지원에 관한 법률과 국가공간정보기본법과도 연계
- 우주개발진흥 실무위원회와 위성정보활용 실무위원회로 구성된 국가 우주위원회는 우주개발 진흥 및 위성정보 활용 관련 기본계획, 종합계획, 시행계획을 수립

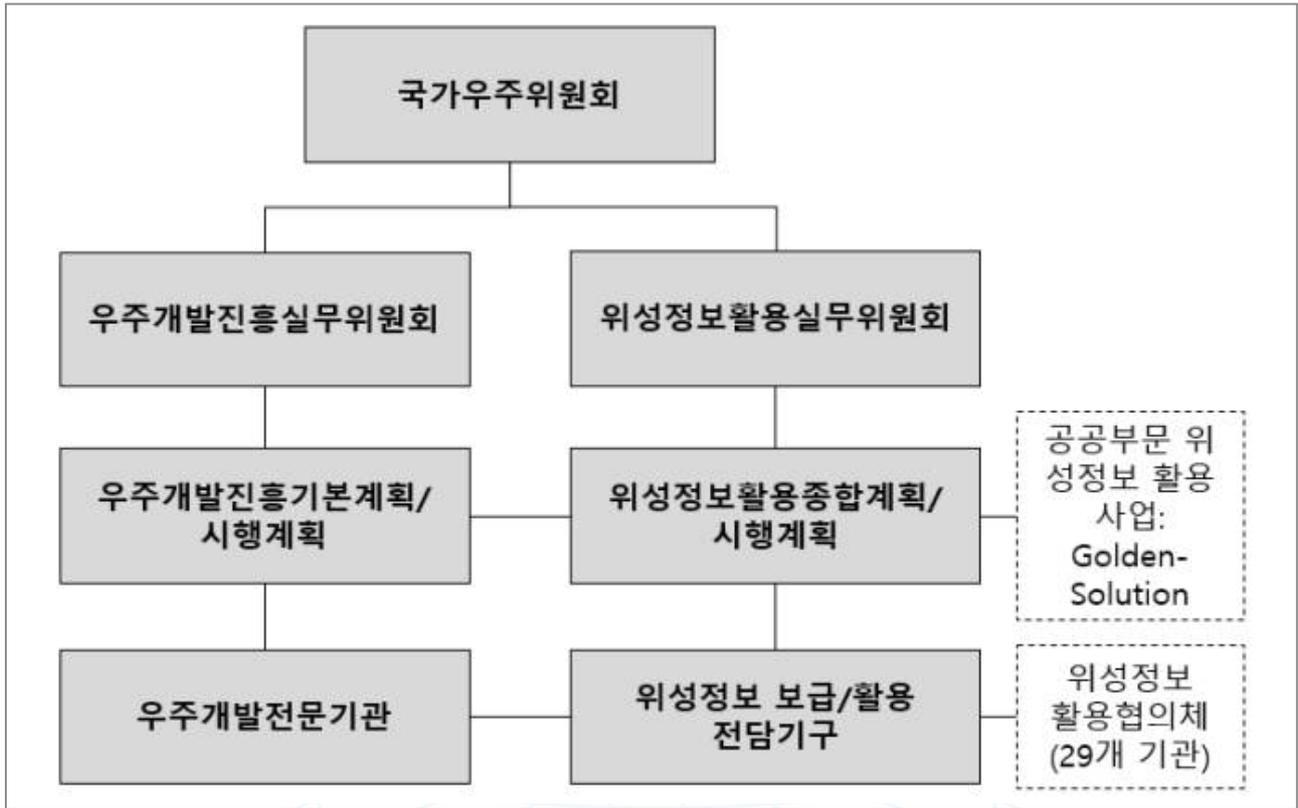
- 우주개발진흥 실무 위원회는 우주개발진흥기본계획 및 시행계획을 관리하며, 우주개발전문기관을 운영
- 위성정보활용 실무위원회는 위성정보활용종합계획 및 시행계획을 관리하며, 위성정보 보급 및 활용 전담기구를 운영

[그림 2-3] 위성정보 활용 관련 법령 체계



- 우주개발진흥기본계획에서 위성정보 활용 정책은 공급확대 중심의 기반구축에서 서비스 강화 및 지원체계 마련 중심의 기반구축으로 변화
 - 1차 기본계획에서는 우주활용을 목표에 반영하여, 우주개발능력 확보를 위한 위성 및 발사체 기술확보와 산업화에 중점을 두고 있음
 - 2, 3차 기본계획에서는 위성정보 활용 촉진을 목적으로 공급확대, 활용 서비스 강화, 지원시스템 구축 등의 과제를 추진

[그림 2-4] 위성정보 활용 관련 정책 운영주체



극지연구소

<표 2-2> 우주개발진흥기본계획

구분	제1차 우주개발진흥기본계획 (2007~2011)	제2차 우주개발진흥기본계획 (2012~2016)	제3차 우주개발진흥기본계획 (2018~2022)
비전	우주공간의 평화적 이용과 과학적 탐사를 촉진하여 국가의 안전보장과 국민경제 발전에 기여	독자적 우주개발능력 강화를 통한 국가위상 제고 및 국가경제발전에 기여	도전적이고 신뢰성 있는 우주개발로 국민의 안전과 삶의 질 향상에 기여
목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. 독자적 우주개발능력 확보를 통한 우주강국 실현 2. 우주산업의 세계시장 진출을 통한 국민경제 발전에의 기여 3. 우주공간의 영역확보 및 우주활용으로 국민 삶의 질 향상 4. 성공적 우주개발을 통한 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정부 R&D 예산대비 우주예산 비중 지속 확대 2. 한국형 발사체 개발을 통한 자력발사능력 확보 3. 민간참여 확대를 통한 인공위성의 지속적 개발 4. 선진국 수준의 우주개발 경쟁력 확보 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 도전과 실리의 조화 2. 전략분야 선택과 집중 3. 신산업과 일자리 창출 4. 국민의 공감 확보

구분	제1차 우주개발진흥기본계획 (2007~2011)	제2차 우주개발진흥기본계획 (2012~2016)	제3차 우주개발진흥기본계획 (2018~2022)
	국민의 자긍심 고취		
	[6대전략, 16개 과제]	[6대 중점과제, 17개 세부 추진과제]	[6대 중점전략, 16개 추진과제]
위성 정보 활용 관련 추진 과제	<p>전략2. 우주개발 결과의 활용 촉진</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 과제 1. 위성관측정보 활용 촉진 <ul style="list-style-type: none"> - 민간, 공공, 해외기관 등에 위성영상자료 공급 확대 - 범부처 협력사업인 GEOSS와 관련하여 위성정보 활용촉진 * GEOSS: Global Earth Observation System 	<p>중점과제 3. 국민 삶의 질 향상을 위한 ‘다가가는 위성정보’ 활용 시스템 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 추진과제 1. 수요자 중심의 위성정보 활용 서비스 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 기상, 해양, 환경 모니터링서비스 강화 - 농업, 산림 관측서비스 강화 - 재해, 재난 대응서비스 강화 - 통신, 항법서비스 강화 - 위성기반 동아시아 상시 관측활용 서비스 구축 ▪ 추진과제 2. 국가 위성정보 활용, 지원 시스템 및 인프라 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 위성정보의 효율적 활용을 지원하기 위한 법령 정비 - 위성정보 활용 촉진을 강화하기 위한 효율적 시스템 구축 - 위성정보의 보급활용기술개발 강화 	<p>중점전략 2. 인공위성 활용서비스 및 개발 고도화·다양화</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 추진과제 1. 국민 생활·안전을 위한 위성서비스 고도화·다양화 <ul style="list-style-type: none"> - 재난·재해 등 국가위기 대응 서비스 제공 - 해양·환경·농수산 등 공공활용 서비스 제공 - 통신·항법 등 4차 산업혁명 기반 서비스 제공 - 한반도 정밀 감시 서비스 제공 - 위성서비스 고도화를 위한 전략 수립 ▪ 추진과제 2. 효율적인 국가위성 개발·활용 체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 위성정보 활용 촉진기반 구축

자료: 관계부처합동, 제1차 우주개발진흥 기본계획(2007~2011); 관계부처합동, 제2차 우주개발진흥 기본계획 (2012~2016); 관계부처합동, 제3차 우주개발진흥 기본계획(2018~2022)

제3차 우주개발진흥기본계획에 위성활용 서비스 고도화·다양화 과제 포함(2018.02)

○ 6개 추진전략과 16개 중점 추진과제 수립·추진

<표 2-3> 제3차 우주개발진흥기본계획 중점 추진과제 및 활용과제

중점 추진과제		위성정보 활용 과제
전략1. 우주발사체 기술 자립	1-1. 한국형발사체 자력발사 성공	
	1-2. 발사성공을 위한 지원체계 구축	
	1-3. 발사체 기술 지속 고도화	
전략2. 인공위성 활용서비스 및 개발 고도화	2-1. 국민 생활 안전을 위한 위성서비스 고도화 다양화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재난·재해 등 국가위기 대응 서비스 제공 ▪ 해양·환경·농수산 등 공공활용 서비스 제공 ▪ 통신·항법 등 4차 산업혁명 기반 서비스 제공 ▪ 한반도 정밀 감시 서비스 제공 ▪ 위성서비스 고도화를 위한 전략 수립
	2-2. 효율적인 국가위성 개발 활용 체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성개발 체계 효율화 ▪ 위성정보 활용 촉진기반 구축
전략3. 우주탐사 시작	3-1. 달 탐사 본격 착수	
	3-2. 우주감시 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우주위험 감시 대응체계 및 기반확충 ▪ 우주위험 감시 기술 확보
	3-3. 다양한 우주과학 탐사 연구 추진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 경제적 비용의 우주탐사 추진(초소형위성 활용)
전략4. 한국형 위성 항법시스템(KPS) 구축	4-1. 구축 타당성 예비검토 추진과 사양 확정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국제협력 및 개발계획 등 구체화 추진
	4-2. KPS 구축 전략 수립 및 추진체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고유신호 제공을 위한 주파수 확보 추진
전략5. 산학연의 우주혁신 역량 강화	5-1. 다양한 혁신주체 육성	
	5-2. 우주 핵심기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우주 핵심기술 정보체계 구축 ▪ 우주기술 개발 프로세스 체계화
	5-3. 우주개발 추진체계 개선	
	5-4. 글로벌 우주협력 강화	
전략6. 우주산업 육성과 우주 일자리 창출	6-1. 우주개발에 민간기업 참여 확대	
	6-2. 우주기술 사업화와 융합 촉진	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우주기술의 사업화 지원 ▪ 우주기술 개발 프로세스 체계화

자료: 관계부처합동, 제3차 남극연구활동진흥 기본계획('17~'21)(안), 2017

나. 제2차 위성정보 활용 종합계획

□ 수립 배경

- 우주개발진흥법 제5조의3에 따라 위성정보의 활용 및 서비스 촉진을 위한 종합계획 수립

□ 주요 내용

- 위기관리, 실생활 활용, 미래 산업 기반구축 등 3대 분야를 위한 위성정보 서비스 제공
- AI 등 새로운 기술을 적용하여 위성정보 활용 기반기술을 선진화하고 위성정보를 활용하여 부가가치를 창출하는 산업 생태계 구축
- 다변화하고 있는 위성 임무 및 활용 분야를 지원하고 효율적인 위성정보 서비스를 제공하기 위해 위성체 핵심기술 확보
- 국가 위성의 운영 인프라를 통합하고 위성 개발 프로세스의 효율성을 높임으로써 국내외 위성 운영 및 개발 협력체계 고도화

□ 적용 시사점

- 동 사업을 통해 탑재체 소형화 기술을 개발하여 초소형위성 본체 기술과 함께 규격화된 효율적 개발 프로세스를 정립
- 동 사업을 통해 극지관측 초소형위성 6기에 대한 관제 및 수신·처리 기술 및 AI 분석 기술을 개발하고 이를 미래 군집위성 운영 기술로 확장하여 위성 운영 인프라를 고도화

□ 우주개발진흥법 제5조의3에 따라 위성정보의 보급활용 촉진을 위한 '제2차 위성정보 활용 종합계획'수립(2019.01)

- 4개 추진전략과 12개 중점 추진과제를 수립하고, 과제 이행을 위한 '위성정보 활용 시행계획'을 매년 수립

[그림 2-5] 제2차 위성정보 활용 종합계획 비전 및 목표

비 전	스마트 위성정보 서비스를 통해 국민 안전을 제고하고 국가 혁신성장을 견인
목 표	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 국민생활 안전에 기여하는 위성정보 활용 서비스 확대 ◆ 핵심기술 자립과 미래기술 선점으로 위성개발 기술 고도화 ◆ 4차 산업혁명 시대의 스마트 위성 및 위성정보서비스 산업 창출
추진전략	추진과제
① 스마트한 3대 국가 위성 정보서비스 제공	1-1 신속·정확한 국가 안전·위기관리 서비스 제공 1-2 다양한 국민 생활밀착 서비스 확대 1-3 미래선도 산업 기반 서비스 추진
② 위성정보 기술혁신으로 여는 위성정보 서비스 산업	2-1 위성정보의 지능화 촉진 3-2 위성정보 활용 확대를 위한 기반기술 선진화 2-3 위성정보서비스 산업 생태계 구축
③ 효율적 위성정보서비스 제공을 위한 다중임무 위성 개발	3-1 공공서비스 견인을 위한 다중임무 위성 개발 3-2 위성탑재체 및 본체 핵심기술 개발 3-3 미래임무에 대비한 첨단 위성기술 확보
④ 위성 개발·활용 인프라와 협력체계 선진화	4-1 선진적인 국가위성 개발 체계 구축 4-2 통합된 국가위성 운영 인프라 구축 4-3 효율적인 국내·외 협력 체계 마련

1-4. 초소형위성 관련 국내외 정책동향

□ 국외 정책동향

- ESA와 영국은 MANTIS(지구관측 군집위성 프로그램)에서 초소형위성을 활용한 군집위성 개발 추진
- ESA는 기술의 우주환경 검증을 지원하는 GST 프로그램 운영, 초소형위성 투자 확대
 - GST 프로그램에서는 '13년부터 초소형위성 개발 투자 및 다양한 비즈니스 모델 창출, 기술검증과 교육에 활용

- 프랑스는 초소형위성 산업 진흥 위해 선행위성 ANGELS* 개발사를 지원하고 초소형위성 플랫폼 확보

* Argos Neo on a Generic Economical and Light Satellite

<표 2-4> 선진국의 소형위성 관련 정책 방향 및 사례

구분	미국	유럽	일본
정책 방향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 민간 기술혁신을 통한 우주산업 진흥 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 민간 소형위성 개발에 민간 자본 유도 지원 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자국 내 기업 육성 위한 자금 지원 정책 수립
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지속가능한 산업 생태계 위해 민간 기술개발 지원 및 소형위성 서비스 수요자 역할 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소형위성 생태계 구축에 초점 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소형위성을 국가안보 및 미래 우주산업 주요 시장으로 판단
사례	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미국 방위고등연구계획국(DARPA)은 Vector Space, Viasat 등 민간기업 선정 및 지원 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유럽우주국(ESA)는 스타트업 기업의 우주부품 개발 및 실험 지원으로 우주임무 공급자 역할 가능토록 지원 (ARTES Pioneer 프로그램) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우주기본계획(2015)에 ORS(Operationaly Responsive Space)*형 소형위성 연구 추진 명시 * 소요 발생시 즉각 설계 발사 체계
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미 국립기상청(NOAA)는 Spire Global社 등 민간기업 데이터로 기상데이터 대체 시도 추진 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 영국은 Virgin Orbit社가 활용할 우주공항 구축, 위성인터넷 서비스 OneWeb社 인수 통한 블랙시트 영향 대비 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 단기발사형위성 실증연구 2016년 착수, 2021년 발사 및 2023년 실증 운용 예정
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미 행정부는 소형위성 관련 거래규정 완화 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 프랑스 우주청(CNES), 민간벤처자본 활용하여 자국 소형위성 진입 기업 지원 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 「우주 벤처 육성을 위한 새로운 지원 패키지」(2018) 발표

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020의 내용을 재정리

□ 적용 시사점

- 주요 선진국은 다수의 초소형위성을 활용하여 전 지구를 덮는 군집위성 시스템을 개발하고 있으며, 국내에서는 동 사업의 중장기 계획으로 초소형위성을 활용한 군집위성 시스템 개발을 계획하고 있음

- 주요 선진국을 중심으로 초소형위성을 활용한 민간 산업이 성장하고 있기 때문에 초소형위성 관련 민간 산업 부문에서 국제적 경쟁력을 갖추기 위해 초소형위성 본체 및 탑재체 기술뿐만 아니라 산출물 활용 기술까지 확보할 필요가 있음

□ 국내 정책동향

- 정부는 초소형위성 플랫폼 개발과제를 통한 전문인력 양성
 - 최근 정부는 체계적인 인력양성 필요성에 따라 초소형위성 경연대회 추진, 개발비와 발사비 등 지원
- 출연(연)은 기관 고유사업 활용한 초소형위성 개발역량 제고 추진
 - 한국항공우주연구원은 초소형위성 기술지원 역할 담당으로 임무수행 성공률 제고

<표 2-5> 국내 소형위성 관련 정책 사례

정책	내용
제3차 우주개발진흥기본계획 등에 소형위성 개발 국가 지원 계획 명시	<ul style="list-style-type: none"> ■ 우주기술 검증 및 과학연구 위한 차세대소형위성 개발 사업 지속 추진 ■ 초소형 위성 경연대회 등 인력양성 및 교육용 플랫폼으로 활용 ■ 재난재해 대비 등 공공임무 달성 위한 군집위성 활용 계획 수립 ■ 대규모 소형위성 편대비행 이용한 서비스 기술 선정
국내 민간 기업 역량 강화 위한 다양한 기업 지원 정책 추진	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중소기업과 스타트업 기업 대상 경쟁형 R&D 도입 방안 제시 ■ 정부 주도 우주 사업의 기업 주관 기조에 맞춰 점진적 국내 기업 역할 확대 추진

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020의 내용을 재정리

<표 2-6> 국내 초소형위성 개발 사례

회차 (개최년도)	위성명	주관기관	크기	임무	발사년월
1회 (2012)	LINK	KAIST	2U	지구 열권 및 이온층 관측	2017.5
	KAUSAT-5	한국항공대	3U	적외선영상 촬영 및 CMG 검증	2018.12
	Tom&Jerry (CANYVAL-X)	연세대	1U, 2U	분리형 우주망원경 기술 검증	2018.12
2회 (2013)	STEPCubeLab	조선대	1U	MEMS기반 추력기 등 핵심기술 검증	2018.12
	SIGMA	경희대	3U	우주방사선 및 자기장 측정	2018.12
	CNUSAIL-1	충남대	3U	태양돛 개발 및 자세제어 기술 검증	2018.12
3회 (2015)	Vision Cube	한국항공대	2U	메가 번개 관측 및 CMG 검증	2018.11
	SNUGLITE	서울대	2U	L1/L2 GPS 개발 및 지진 관측	2018.11
	SNUSAT-2	서울대	3U	관심지역 조기 탐지	2018.11
4회 (2017)	KMSL	조선대 연세대	3U	마이크로중력환경 실험	2020.11
	PUMBAA&TIMON (CANYVAL-C)	연세대	1U, 2U	분리형의 코로나그래프 검증	2020.11
5회 (2019)	STEPCube Lab-11	조선대	8U	광학/적외선 지구관측 및 핵심기술 검증	2022.2 예정
	MIMAN	연세대	3U	대기 에어로졸 관측 탑재체 검증	2022.2 예정
	ASTRIS-2	KAIST	미 정	초분광 지구관측 및 통신위성 기반기술 검증	2022.2 예정
	SNUGLITE-2	서울대	미 정	GPS활용한 날씨 및 대기관측	2022.2 예정

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020의 내용을 재정리

□ 적용 시사점

- 대학과 국가 연구기관을 중심으로 개발되어온 초소형위성 개발 기술을 기반으로 동 사업의 기술적 성공 가능성을 높일 수 있음
- 국내 초소형위성 임무의 가장 큰 어려움 중 하나인 위성 관제 및 데이터

수신·처리 기술을 극지위성센터를 통해 고도화하고 기술의 안정성을 확보할 수 있음



2-1. 산업·경제 환경 개요

□ 산업·경제 환경 조사목적

- 극지관측 전용위성 대한 산업 및 기업 현황 등 조사를 통해 주목할 만한 산업적/경제적 기회요인 및 적용시사점을 발굴하기 위함

□ 산업·경제 환경 조사방안

- 국내 우주·위성 산업현황 및 국내 위성정보 사업현황, 초소형위성 시장 동향을 중심으로 환경 분석을 수행함
- 우주임무를 위한 위성 개발 분야와 위성 산출물의 활용 분야에 대한 현황 조사를 통해 동 사업에서 기획하고자 하는 극지관측 초소형위성 개발을 위한 초소형위성 산업 현황 조사

<표 2-7> 산업·경제 조사 개요

분야	구분	내용
국내 우주·위성 산업현황	산업 및 기업 현황	국내 우주산업 활동규모
		국내 위성개발 현황
국내 위성정보 사업현황	민간 및 공공 현황	민간부문 위성 활용 현황
		공공부문 위성 활용 현황
초소형위성 시장동향	산업 및 기업 현황	초소형위성 시장현황
		해외 기업 현황
		국내 기업 현황

2-2. 국내 우주·위성 산업현황

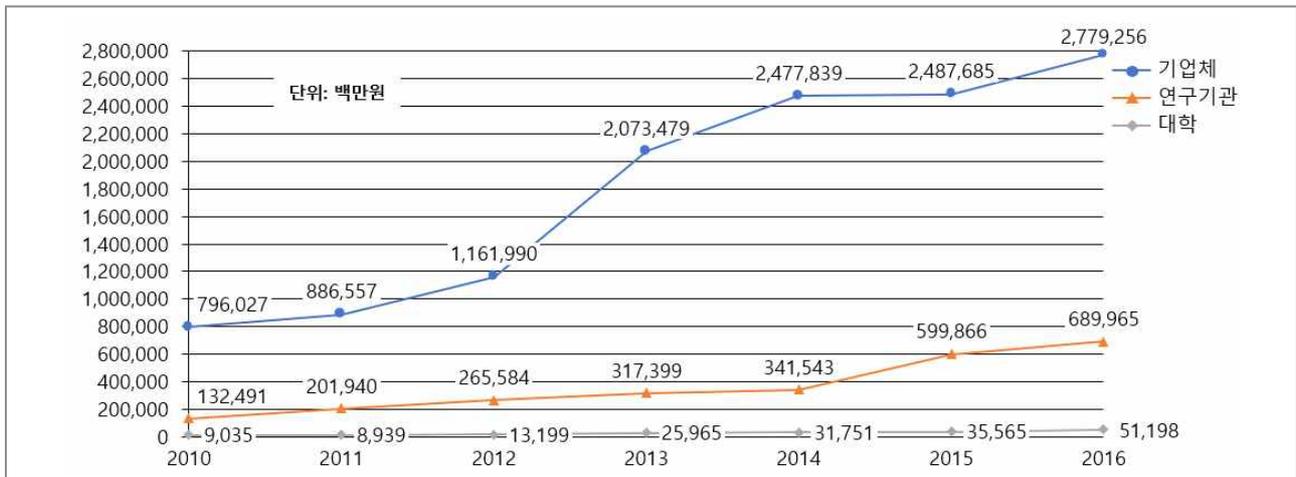
가. 우주산업 활동규모

□ 2016년 기준, 국내 우주산업 활동금액¹⁾은 3조 5,204억원

○ 국내 우주산업 활동금액 규모는 지속적으로 증가(전년 대비 12.6% 상승)

- 2016년 기준 국내 우주산업 활동금액은 2010년 대비 3.8배 증가
- 특히, 2012년 이후 기업체 활동금액이 큰 폭으로 상승

[그림 2-6] 국내 우주산업 활동금액(2010-2016)



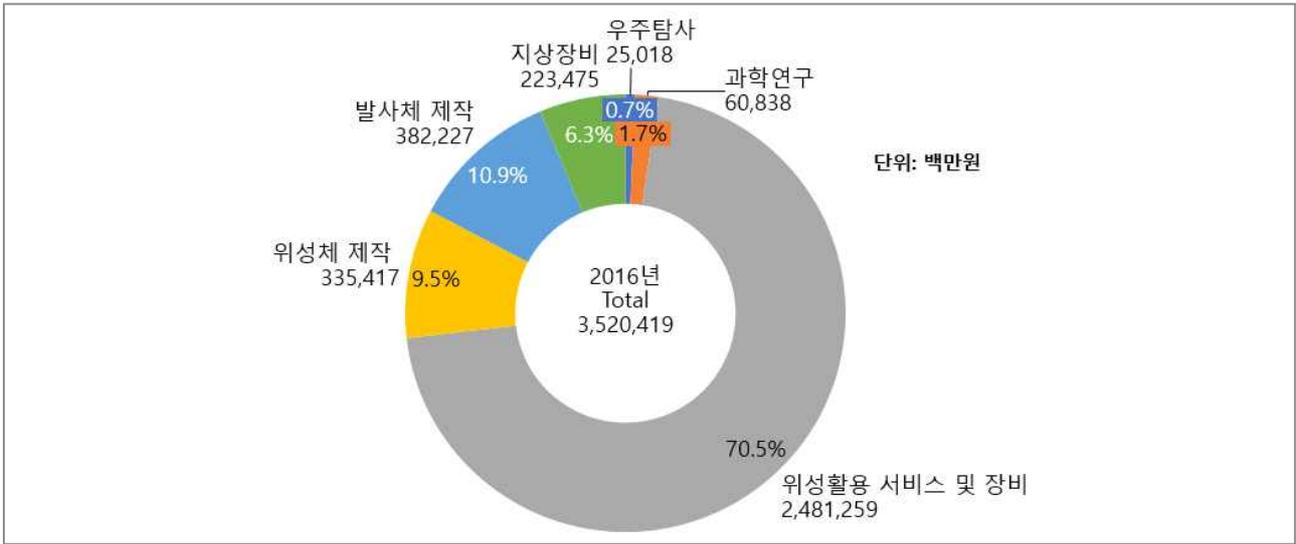
자료: 한국항공우주연구원·한국우주기술진흥협회, 2017 우주산업 실태조사, 2017

○ 위성 활용 서비스가 포함된 우주 활용 분야가 2조 5,671억원(72.9%)으로 우주기기 제작 분야 9,533억원(27.1%) 보다 큰 비중 차지

- (우주기기제작) 매년 지속적인 증가 추세이며, 연구기관이 차지하는 비중이 높음
- (우주활용) 우주활용 분야 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 영역은 '위성활용 서비스 및 장비' 분야로 2조 4,812억원이며, 이는 전체 우주산업의 70.5%, 우주 활용 분야의 96.7%에 해당

1) 우주산업 활동금액은 연구기관의 예산 중 연구기관이나 대학 등 타 기관으로 지출된 예산을 제외한 예산으로 정의함

[그림 2-7] 국내 세부분야별 우주산업 활동금액(2016)



자료: 한국항공우주연구원·한국우주기술진흥협회, 2017 우주산업 실태조사, 2017

□ 위성활용 서비스 및 장비 분야를 구성하는 영상·통신·항법 분야 중 통신 분야가 높은 비중 차지

○ 위성활용 서비스 및 장비 분야 기업체 수는 통신 > 항법 > 영상 순으로 많지만, 큰 차이는 없음

■ 항법 분야 기업체 수 증가세가 높은 편(2013년 대비 2.8배 증가)

<표 2-8> 위성활용 서비스 및 장비 분야별 기업체 수 현황(2016)

(단위: 개)

분야	2013	2014	2015	2016	비중	증감('13→'16)	
업체수	영상	21	28	30	30	20%	9
	통신	46	57	63	61	41%	15
	항법	21	42	54	58	39%	37
합계	88	127	147	149	100%	61	

자료: 한국항공우주연구원·한국우주기술진흥협회, 2017 우주산업 실태조사, 2017

- 2016년 기준, 통신 분야 매출액 규모는 약 2조원으로 83% 점유
 - 매출액 증가 추세는 항법 분야가 높은 수준(2013년 대비 3.4배 증가)
 - 영상 분야도 2013년 대비 1.9배 향상

<표 2-9> 위성활용 서비스 및 장비 분야별 기업체 수 현황(2016)

(단위: 억원)

분야		2013	2014	2015	2016	비중	증감('13→'16)
		영상	347	315	548	649	3%
매출액	통신	18,016	18,801	18,165	20,167	83%	2,151
	항법	1,004	3,323	3,229	3,438	14%	2,434
합계		19,367	22,439	21,942	24,255	100%	4,888

자료: 한국항공우주연구원·한국우주기술진흥협회, 2017 우주산업 실태조사, 2017

□ 적용 시사점

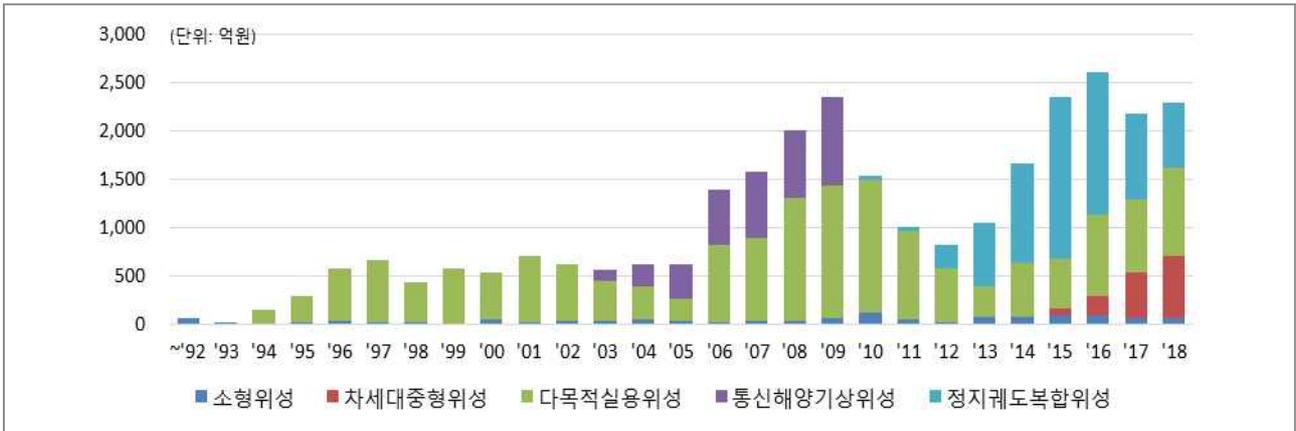
- 우주산업에 투자 금액이 증가하고 특히 위성 소형화 추세로 초소형위성에 대한 관심이 많아지면서, 극지관측 초소형위성의 성공적 개발을 통해 국내 초소형위성 기술 개발 및 활용이 더욱 활성화 되는데 공헌할 수 있음
- 간의 우주 활동이 증가하면서 위성 수도 많아지고, 그에 따라 처리 해야할 위성정보가 기하급수적으로 늘어나면서 지상국 기술 및 위성정보 분석 기술에 대한 수요가 늘어날 것으로 예상됨

나. 국내 위성개발 현황

- 국내 위성개발 투자 규모가 꾸준히 증가하고 추세이나, 미국 등과 같은 선진국에 비하면 아직 낮은 수준
- 위성개발 투자 착수(1990년대) 이후, 공공수요 충족을 위해 위성개발을 다변화하고, 투자 규모도 꾸준히 증가
 - 다목적 실용위성 투자 비중이 가장 높고(누적 기준), 최근에는 정지궤도복합

위성, 차세대 중형 위성 등의 개발로 확대

[그림 2-8] 위성개발 예산의 분야별 투자 추이(단위 : 억원)



자료: 관계부처 합동, 대한민국 인공위성 개발 중장기 전략(안), 2018

- 위성개발 투자액은 우주개발 총예산의 44%를 차지하고 있고, 주로 지구관측 및 기상 분야에 중점 투자 중으로, 2016년 위성개발 투자액(6.7억달러)은 미국의 2%, 중국의 14%, 인도의 61% 수준

<표 2-10> 주요국 위성개발 세부 예산 및 우주개발 총예산(2016)

(단위: 백만달러)

국가	우주개발 총예산	위성개발 예산						
		합계	지구 관측	통신	기상	항법	조기 경보	안보
미국	35,957	8,014	2,295	1,610	2,265	961	509	374
중국	4,909	1,889	878	190	302	509	0	10
러시아	3,182	1,424	247	639	47	313	0	178
일본	3,018	1,497	877	339	94	179	0	8
유럽 (ESA)	1,929	1,207	441	391	342	19	0	14
인도	1,092	335	129	179	0	25	0	2
한국	671	234	102	0	132	0	0	0

자료: 관계부처 합동, 대한민국 인공위성 개발 중장기 전략(안), 2018

□ 1990년대부터 현재까지 총 13기를 개발 완료하여 4기를 운영 중(2018.01 기준)이며, 8기 추가 개발 중

○ (다목적실용위성) 지구 정밀관측·감시

- (차세대중형위성) 다양한 공공관측
- (차세대소형위성) 과학임무/기술검증
- (정지궤도위성) 기상예보, 해양/환경 상시감시

<표 2-11> 우리나라 위성개발 현황

단계	도입기	기반 구축기		성장기
	1990년대	2000년대	2010년대	2020년대~
목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성개발 착수 - 해외기술도입 - 대학·출연(연) 주도 개발 - 시험용 이용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실용급(1~1.5톤) 위성개발 착수 - 체계종합분야 중심 우주기술 자립화 기반구축 - 위성개발 민간참여 확산 - 국가안보 등에 본격적 위성 이용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 플랫폼 구축 - 정지궤도 위성 (3.5톤) - 중형위성(500kg) ▪ 시장성 위주 개발전략 - 중형위성 대량생산 ▪ 핵심기술개발 사업 추진 - 핵심부품 기술로 심화 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성개발·활용 고도화 - 우주기술 자립화 - 우주산업 생태계 조성 - 융합, 서비스 혁신
주요사업	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우리별 1,2,3호 ▪ 다목적실용위성 1호 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 과기위성 1,2,3호 ▪ 다목적실용위성 2,3,5호 ▪ 정지궤도위성 1호 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대소형위성 1,2호 ▪ 다목적실용위성 3A,6,7호 ▪ 차세대중형위성 1,2호 ▪ 정지궤도위성 2A,2B호 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우주핵심 기술사업 ▪ 다양한 저궤도 실용위성+시험위성 사업 ▪ 정지궤도 위성사업

자료: 관계부처 합동, 대한민국 인공위성 개발 중장기 전략(안), 2018

□ 취약한 위성 기술기반에서도 목표 임무수행을 위한 전략기술·첨단기술 등을 개발·습득하고, 고해상도 관측위성은 세계적 수준의 기술까지 도달

○ 고해상도 관측위성 및 정지궤도위성 기반기술과 독자기술 개발

- 다목적실용위성 시리즈*(1·2·3·3A·5·6·7호): 고해상도 관측위성 독자 개발능력과 세계 수준의 지구관측 위성기술 확보

* (3호) 세계 4번째 상용 서브미터급 광학위성, (6호) 세계 7번째 정밀관측용 레이더(SAR) 위성, (3A호) 세계 최초 고해상도 중적외선 센서 탑재 위성

- 천리안위성 시리즈*(1·2A·2B호): 정지궤도위성 기반기술과 국내 주도 개발 능력 확보

* 천리안위성으로 세계 최초 정지궤도 해양위성 및 세계 7번째 기상위성 보유

○ 탑재체 및 위성본체 국산화 개발 및 핵심기술 확보

- 고해상도 광학 관측 탑재체 및 위성본체 설계·해석, 국산화 개발, 조립·시험 등의 핵심기술 확보

□ 다양한 위성정보를 확보·제공하여 공공·상용 활용 분야가 지속 확대

○ 고해상도 저궤도위성(광학 0.55m~0.7m, 적외선 5.5m, 레이더 1m), 정지궤도위성(해양·기상) 운영으로 24시간 한반도 관측정보 획득 가능

○ 다양한 위성영상을 기반으로 지도제작, 국토·해양·자원관리 지원 및 기상예보 서비스 지원

□ 적용 시사점

○ 국내 위성관련 기술 개발은 그동안 공공부문(한국항공우주연구원 중심)이 주도하였으나 뉴스페이스 시대를 맞아 위성 산업이 민간으로 확장하면서, 초소형위성과 같이 개발이 용이하고 가성비가 좋은 소형위성이 각광을 받고 있음

○ 극지관측 초소형위성 사업은 극지 전용 관측위성으로서는 국내 최초로 시도되는 임무이며, 더욱이 초소형위성을 활용하여 임무의 유연성을 확보하고 기존의 중대형 위성으로 할 수 없었던 전주기 관측을 통해 위성활용의 새로운 모델을 제시할 수 있다는 점에서 의미가 큼

<표 2-12> 우리나라 위성활용 추이

시기	위성정보 활용 분야
2010년대	<ul style="list-style-type: none"> 민간분야 및 사회문제 해결 분야로 확대 - 다목적실용위성 3호(2012), 5호(2013), 3A호(2015) 운영 - 광학·레이더·적외선 위성 등 운영을 통한 전천후 관측 능력 확보
2000년대	<ul style="list-style-type: none"> 공공분야 및 국가안보 분야 위성정보 활용 - 다목적실용위성 2호 운영(2006) - 1m급 고해상도 광학 위성영상 및 다중분광 영상 활용
1990년대	<ul style="list-style-type: none"> 지구관측 위성정보 획득 시작 - 다목적실용위성 1호 발사(1999)로 실용급 관측위성 운영 및 위성정보 획득 시작

자료: 관계부처 합동, 대한민국 인공위성 개발 중장기 전략(안), 2018

2-3. 국내 위성정보 산업현황

가. 국내 민간부문 위성정보 활용 현황²⁾

- 위성정보 활용기업은 매출액 규모가 작고, 표준영상판매에서 주요 매출 발생
- 위성정보 활용기업의 매출규모는 작으며, 일부 기업이 수출 전체를 담당
 - 2017년 응답기업(18개 기업) 매출액 합계는 956억원으로 2015년 대비 2.5% 증가
 - 2017년 응답기업 위성정보 활용 매출액 합계는 176억원으로 전체 매출액 합계의 18.4%를 차지하며, 2015년 대비 2.2% 증가
 - 2017년 기준 위성정보 활용 매출액 10억원 미만 기업이 전체 응답기업의 61.1%를 차지
 - 매출액 10억원 이상은 7개 기업으로 전체 응답기업의 38.9% 차지
 - 2017년 수출액은 4,041백만원으로 위성정보 활용 전체 매출액 합계의 23.0%

2) '위성정보(영상) 활용기업 지원정책 및 과제 도출을 위한 설문조사(2018)' 결과의 위성정보(영상) 공급·활용 체계를 중심으로 정리(트리마란, '위성정보 실용화연구 추진전략 수립 및 비즈니스 모델 개발(2018)' 보고서 재인용)

차지하고 있으나, 3개 기업이 전체 수출을 담당

- 수출액의 49.5%가 표준영상 판매에서 발생
- 위성정보 관련 정부 연구개발 출연금, 보조금, 상금 등 영업외수익은 2015년 11억원, 2016년 17억원, 2017년 20억원으로 증가
- 위성정보 활용 매출액과 매출에 포함되지 않는 정부 사업(영업외수익) 합계인 위성정보 활용 활동금액은 2017년 196억원으로 2015년 대비 4.5% 증가

<표 2-13> 위성정보 활용기업 매출액 현황

(단위: 억원, %)

구분	2015	2016	2017	CAGR ('15~'17)
1. 응답기업 매출액 전체 합계1)	911(100.0)	977(100.0)	956(100.0)	2.5
2. 위성정보 활용 매출액 합계2) (비중, %)	168(18.5)	158(16.1)	176(18.4)	2.2
3. 위성정보 활용 수출액 (비중, %)	46(27.4)	26(16.5)	40(23.0)	-6.3
4. 매출에 포함되지 않는 정부(공공기관 사업3)	11	17	20	34.1
5. 위성정보 활용 활동금액4) (2+4)	179	175	196	4.5

* 응답기업수: 18개

주1: 전체 매출액 합계 = 타분야 매출액 + 위성정보 활용 매출액(수출액 포함)

2: 위성정보 활용 매출액 합계: 위성영상 처리기술(SW) 개발 및 용역서비스, 표준영상 판매, 위성영상 가공(지도 제작 등), 위성영상 활용 분석 서비스(컨설팅), 위성영상 처리 관련 HW 판매 등 제품 및 서비스 매출에서 투입요소 중 하나가 위성영상인 매출

3: 매출에 포함되지 않는 정부 사업: 영업외수익으로 손익계산서에 기재되는 위성영상 관련 연구개발 출연금, 보조금, 상금 등

4: 위성정보 활용 활동금액 = 위성정보 활용 매출액 합계 + 매출에 포함되지 않는 정부 사업

자료: 관계부처 합동, 대한민국 인공위성 개발 중장기 전략(안), 2018

○ 위성정보 활용기업의 주요 매출처는 정부 또는 공공기관이며, 위성정보 활용 가치사슬 단계에서 표준영상 판매 매출액이 가장 높은 비중 차지

- 위성정보 활용기업(16개 기업)의 주요 매출처는 정부 또는 공공기관(83.0%), 기업(13.1%), 기타(3.9%) 순으로 조사됨

<표 2-14> 2017년 위성정보 활용 고객별 매출액

(단위: 백만원, %, 개)

구분	정부 또는 공공기관	기업	기타	합계
매출액 합계	13,995	2,198	663	16,856
비율	83.0	13.1	3.9	100.0
기업수	16	5	2	-

* 응답기업수: 16개(중복 응답)

주: 고객별 매출액을 기재하지 않은 2개 기업을 제외함에 따라 매출액 합계와 차이 발생

- 위성정보 활용 가치사슬 단계별 매출액은 표준영상 판매(42.6%), 가공기술 개발(32.4%), 가공영상 판매(19.4%), 분석 서비스 제공(5.6%) 순서임

<표 2-15> 2017년 위성정보 활용 가치사슬별 매출액

(단위: 백만원, %, 개)

구분	가공기술 개발	표준영상 판매	가공영상 판매	분석 서비스 제공	합계
매출액 합계	4,799	6,294	2,868	835	14,796
비율	32.4	42.6	19.4	5.6	100.0
기업수	9	4	8	5	

* 응답기업수: 14개(중복 응답)

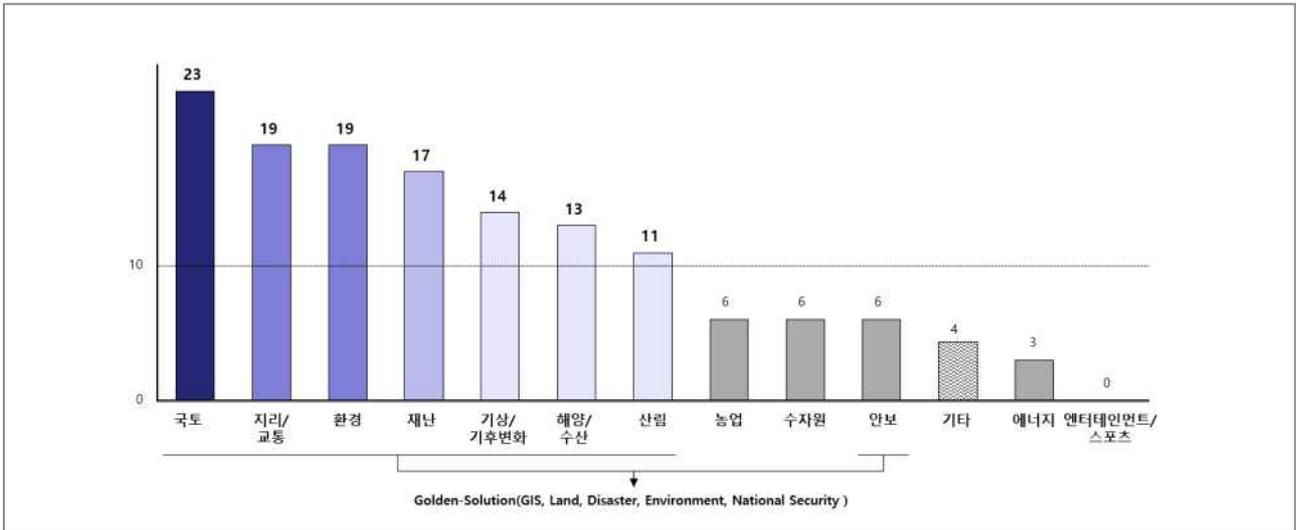
주: 위성정보 활용 가치사슬별 매출액을 기재하지 않은 4개 기업을 제외함에 따라 매출액 합계와 차이 발생

□ 위성영상 활용 측면에서는 아이디어 및 비즈니스 모델, 적용분야, 보급 및 확산 활동 부족과 보안 및 규제에 애로가 있는 것 확인

○ 위성정보활용협의체·기업·대학 등 위성정보 활용 관계자 41명을 조사한 결과, 국토, 지리/교통, 환경, 재난 등의 순서로 활용 분야가 많은 것으로 나타남

- 안보를 제외한 GOLDEN-Solution 사업 대상 분야가 많음. 이는 위성정보 활용이 공공 중심의 사회문제 해결형 개발사업에 중점을 두고 있기 때문임

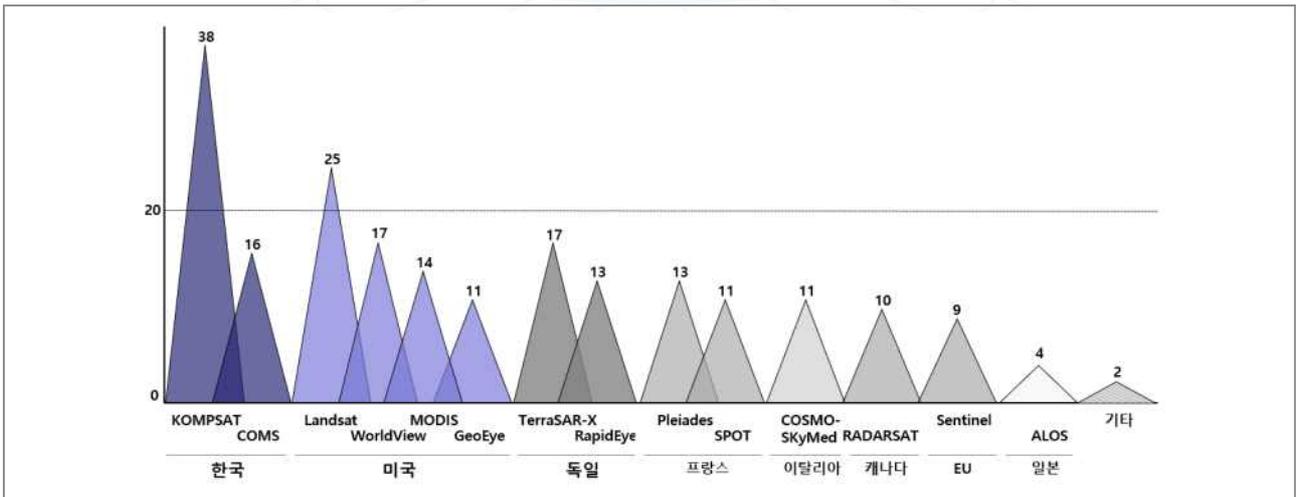
[그림 2-9] 위성정보 적용분야 현황(단위 : 명)



응답자수: 위성정보활용협의체, 대학, 기업 소속 41명(복수응답)

- 위성에서는 KOMPSAT 영상을 가장 많이 활용하고 있으나, 국가별로는 미국 영상을 가장 많이 활용

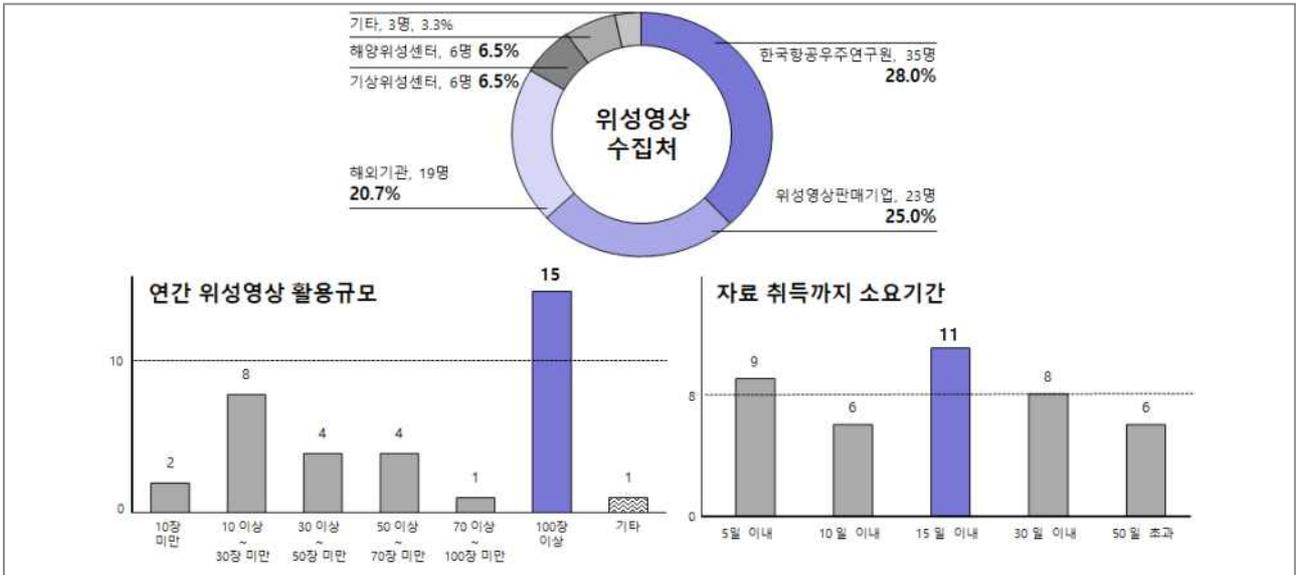
[그림 2-10] 위성 및 국가별 영상 취득 현황(단위 : 명)



응답자수: 위성정보활용협의체, 대학, 기업 소속 43명(복수응답)

- 항우연(28.0%)과 영상판매기업(25.0%)으로부터 위성영상을 주로 취득하고 있으며, 연간 100장 이상 활용에 가장 많은 분포를 보임
 - 영상취득까지는 소요기간은 15일 이내가 가장 많음

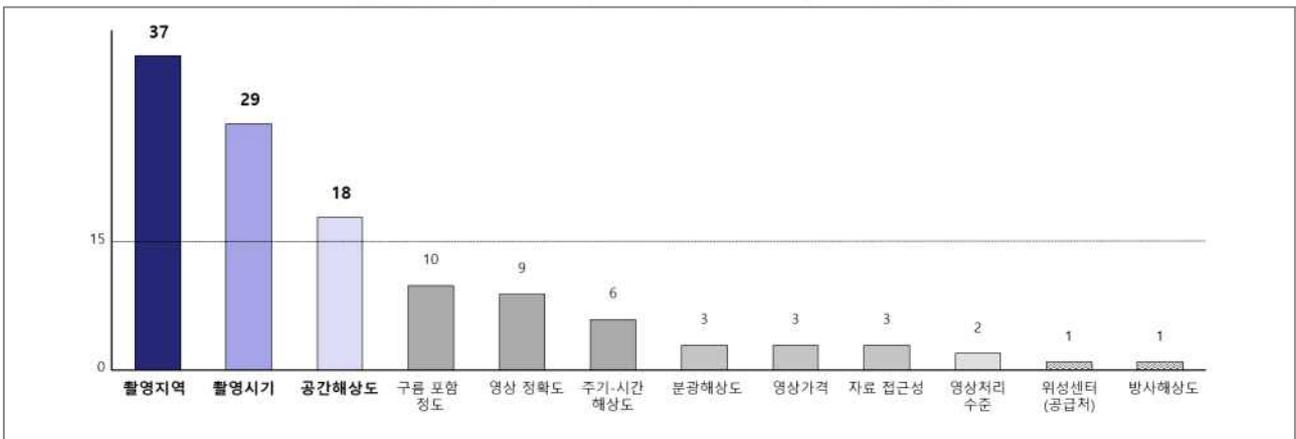
[그림 2-11] 위성영상 취득 및 소요기간, 연간 활용규모(단위: 명, %)



응답자수: 위성정보활용협의체, 대학, 기업; 위성영상 수집처 43명(복수응답), 연간 위성영상 활용규모 35명, 자료 취득까지 소요기간 11명 응답

○ 위성영상 선택 기준은 촬영지역, 촬영시기, 공간해상도 순서로 나타남

[그림 2-12] 위성영상 선택 기준(단위: 명)



응답자수: 위성정보활용협의체, 대학, 기업 41명(복수응답)

○ 위성영상의 낮은 주기해상도와 긴 위성영상 취득 기간이 위성영상 활용의 주요 애로사항으로 파악됨

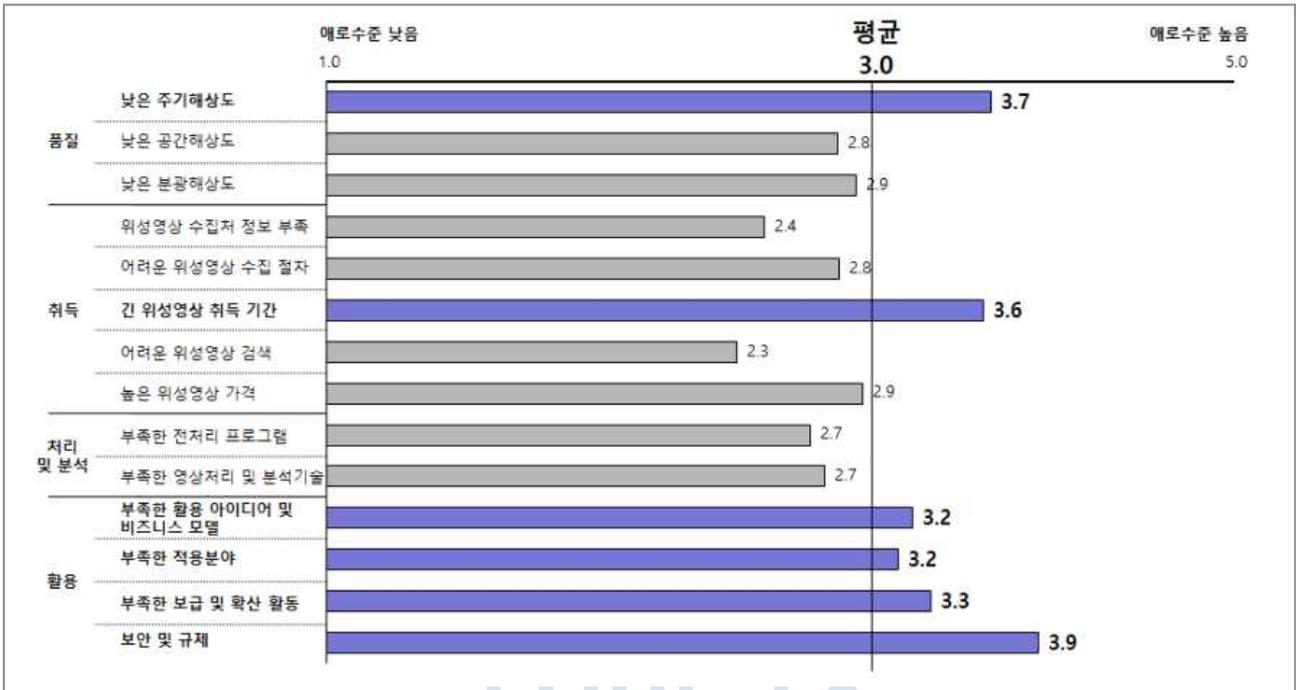
○ 위성영상 활용 측면은 모두 평균(3.0) 이상의 애로가 있는 것으로 파악됨

■ 활용 측면 애로사항: 부족한 활용 아이디어 및 비즈니스 모델, 부족한 적용분야,

부족한 보급 및 확산 활동, 보안 및 규제

- 보안 및 규제는 영상보안처리에 따른 처리시간 증가 및 불완전한 영상 취득에서 기인

[그림 2-13] 위성영상 활용 애로사항(단위: 점)



응답자수: 위성정보활용협의체, 대학, 기업 소속 38명

- 산업경쟁력 강화를 위한 기업 의견에는 위성정보 접근성 개선, 위성정보 가격정책 개선, 위성정보 활용정책 강화 등이 있음

<표 2-16> 위성정보 활용 산업경쟁력 강화를 위한 기업 의견

구분	위성정보 활용기업 의견
위성정보 접근성 개선 (가공 및 분석 서비스 기업)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고해상도 위성영상에 대한 쉬운 접근(위성영상 검색/제공 서비스 등)을 통해 사업 가능성 예측 및 활성화를 위한 정책수립 필요 ▪ 영상관련 기업(부설연구소) 등에도 다양한 위성영상 무상 제공 필요 ▪ 위성영상 공유 활성화 ▪ 위성영상 공급이 많이 부족한 상태 <ul style="list-style-type: none"> - 특히 국내 영상을 공급 받기가 어려움
위성정보 가격정책 개선 (표준영상판매 기업)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정부 기관은 위성영상을 무료로 공급받기 때문에 영상 판매업체는 수요 감소로 매출 악화 우려

구분	위성정보 활용기업 의견
<p>위성정보 활용정책 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 발사체, 탑재체 중심 우주산업 개발 정책으로 위성활용 지원정책 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 위성 개발 및 발사의 궁극적 목표는 위성활용임 - 위성활용 기술은 민간영역 뿐만 아니라 공공영역에서 활용성과 파급력이 높은 기술임 - 우주개발진흥계획, 항공우주기술 분류 등 정부의 주요 우주개발 정책 및 예산, 인력 양성 계획은 발사, 탑재체에 편중되어 있는 실정 - 위성정보 활용을 위한 형평성과 중요도가 고려된 지원정책 요구 ▪ 발사체 위주의 개발 정책에서 벗어난 활용 중심의 정책 수립 필요
<p>민간중심 위성정보 활용정책 추진</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 민간중심의 위성활용 기술 개발 장려 정책 필요 <ul style="list-style-type: none"> - NASA, ESA, JAXA 등 우주개발 선진국의 사례를 보면, 우주 활용기술 개발 주체를 점차 민간으로 이전 - 이는 위성활용기술의 경제·사회적 파급력과 기술 융복합, 기술적 파생효과를 고려한 의도적 민간 기술이전과 활용기술 개발 장려 정책임 - 과거에는 정부 중심의 획일적인 우주활용기술개발에 따른 낙수효과가 민간에 유입되는 형태였으나, 최근에는 기술 융복합, Spin-off 등 다양성과 창의성이 요구되는 기술 개발 트렌드로 변화중 - 민감한 위성활용 트렌드 변화와 국내외 주요 고객의 니즈 등을 고려하여 현재 담보중인 민간중심 위성활용 개발 장려 정책에 대한 변화가 요구됨
<p>위성정보 활용 시장의 이해력 증진 (시장 수용성)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 분야의 위성영상 활용을 위한 정부관계자의 이해력 향상 캠페인 필요 ▪ 유용한 위성정보가 있으나 알지 못하는 경우가 많음 <ul style="list-style-type: none"> - 우선 다양한 채널을 통한 홍보가 필요하며, 다양한 산업에서 활용될 수 있도록 국가적 지원 필요

구분	위성정보 활용기업 의견
<p>시장확대 및 해외 진출, 아이디어 도출 활성화, 위성정보 활용 테스트베드 선정</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내 위성영상을 활용한 해외사업 추진시 필요한 제품군 개발 필요 ▪ 국내 시장 규모가 너무 작음 <ul style="list-style-type: none"> - 대부분 정부 발주 프로젝트이며 예산도 얼마 되지 않음 ▪ 고객(시장) 발굴이 현실적으로 어려움 <ul style="list-style-type: none"> - 고객이 없는 상황에서 관련 산업 활성화는 무의미해 보임 - 이를 위해 고객 발굴, 서비스 발굴을 위한 지원이 필요한 단계라고 판단됨 - 공공분야 활용을 위한 서비스 시장은 미미하지만 존재함 - 민간분야 활용시장은 없다고 판단됨. 이를 개척하기 위한 정부지원이 필요함 - 민간 스스로 투자하여 개척하기엔 관련 기업의 규모와 사업의지가 부족함 <ul style="list-style-type: none"> * 예) 민간활용 아이디어 개발 → 기술개발 → 서비스개발 → 사업화 추진 ▪ 정부에서 아이디어 공모를 통하여 주제를 선정하고 해외진출이 가능하도록 정부와 기업이 공동으로 투자하는 등의 별도 방안을 강구해야 위성정보 활용산업 활성화될 것임 <ul style="list-style-type: none"> - 공공기관에서 발주하는 위성영상을 이용한 지도 제작 또는 알고리즘 개발을 주사업 범위로 영위하는 업체에서는 발주사업이 제한적이므로 기술개발을 통한 상품화 또는 해외진출 등이 필요하지만, 업체에서 투자하기는 쉽지 않음 ▪ 다양한 활용연구를 위한 테스트베드 지역 선정필요 <ul style="list-style-type: none"> - 해당 지역 영상은 보안처리 없이 빠르게 다양한 위성영상을 받아볼 수 있고, 다양한 선도적 연구를 통한 산업화 아이템 발굴 필요 - 테스트베드 지역은 토지, 도시, 산악, 해양 등 다양한 지역 선정 필요
<p>보안규제 완화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성영상 보안규제 강화로 활용에 제한이 있음
<p>위성정보 전문인력 교육</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최신 영상기술정보 및 교육 등 정부 주도의 교육 필요 ▪ 위성영상 관련 전문인력을 보다 더 많이 양성할 수 있는 정책 필요
<p>정부투자 기술개발 결과 공개</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정부지원을 통한 연구성과가 활용될 수 있도록 관련 정보 공개와 기술이전 활성화 필요
<p>실용화 연구 개선</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정부 관계 부처에서 나오는 사업들 대부분은 나누어 먹기식 1회성 R&D에 그침 ▪ 많은 예산에도 좋은 결과물이 나오지 않음 <ul style="list-style-type: none"> - 결과물들이 상용 수준의 산출물이 될 수 있도록 전문적인 사업체를 선정하고, 좋은 결과물은 지원 시스템을 마련하여 더 업그레이드 될 수 있도록 해야 함 ▪ 이슈가 되는 새로운 위성영상 처리기술 개발도 중요하겠지만 기개발된 기술이 실제 사용될 수 있도록 지속적인 투자 필요 ▪ 위성정보 활용을 위한 코어 기술인 “위성영상 정밀지도 제작 소프트웨어” 국산화 시급

□ 적용 시사점

- 위성정보가 농림, 수산, 해양, 도시 등 거의 모든 분야로 활용되면서 위성정보 활용 산업이 새로운 시장으로 급부상하고 있음
- 위성정보 활용 시장의 산업적 발전을 위해서는 위성정보를 획득 및 수집하고, 처리 하여 배포하는 위성정보에 대한 체계적인 시스템 구축이 필요함
- 극지 관측 초소형위성은 극지 연구자가 필요로 하는 다양한 극지 관측 정보를 제공할 뿐만 아니라 극궤도 또는 태양동기궤도 상에서 얻을 수 있는 전 세계의 육상 및 해상 영상 정보를 제공할 것으로 기대됨
- 타 기관과 연계하여 다양한 분야의 수요자를 만족시키는 서비스 모델로 자리잡는다면 이는 국내 위성정보 활용 산업 활성화에 촉매제 역할을 할 것으로 보임

나. 국내 공공부문 위성정보 활용 현황

□ 국토교통부 등 정부 각 부처는 위성정보를 활용한 고유사업을 추진

- 전문기구 설립, 시스템 구축 등 위성정보 공급·활용체계 고도화, 위성정보를 활용한 공공서비스 활성화, 해외 위성 활용 협력을 통한 위성정보 활용 촉진 기반 확충 등 성과 달성

<표 2-17> 부처별 위성정보 활용 추진실적(2017)

구분	추진과제	세부내용
국토교통부	국토위성정보 시스템·기술 개발 및 활용센터 설립	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국토위성정보 시스템 기본설계 실시 및 개발새앙 기술별 로드맵 수립 ▪ 국토관측위성의 고정밀 표준영상 및 정사영상 정확도 확보를 위한 기초기술 연구 추진 ▪ 토지이용 분류 및 객체추출 등 주요 응용기술 개발 및 향후 개발 방향성 정립

구분	추진과제	세부내용
	접근불능지역 공간정보 구축	<ul style="list-style-type: none"> 회령, 정주 등 4개 주요 도심지역 대축척 공간정보 신규 제작 평안도 일원에 대한 공간정보 수정제작
기상청	기상위성자료 현업지원기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 구름셀 식별을 위한 대류운 탐지 및 추적기술 개발 가뭄재해 감시를 위한 토양수분 추정 정확도 향상 고해상도 적설탐지 알고리즘 개발
농림축산식품부	팜 맵 갱신 및 활용 서비스	<ul style="list-style-type: none"> 항공영상을 활용한 광역단위 팜 맵 갱신 위성영상 및 항공영상을 활용한 지역단위 팜 맵 갱신 지적도와 팜 맵을 융합한 팜 맵 2.0 구축 등 활용모델 발굴
농촌진흥청	국외 곡물 생산환경 관측시스템 구축 연구	<ul style="list-style-type: none"> 콩, 옥수수 수량 추정 정확도 개선 (90% 이상) 생육인자 지도 제작 생육상황 평가 (미국)
	원격탐사를 이용한 5대 채소작황 예측기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 영상분류기법 개발 및 재배면적 산정 영상기반 마늘 작황 추정
	원격탐사 기반 동계 맥류, 조사료 작물 재배현황 추정 및 생육진단 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 작물분류 기술, 재배면적 산정 알고리즘 개발
산림청	위성정보를 활용한 산림모니터링 체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> 강릉 대형산불(2017.5.8) 피해지역 모니터링 산림위성의 실용화 방안 연구
	위성정보 활용모델 개발을 위한 연구 확대	<ul style="list-style-type: none"> 산림탄소흡수원 정보통계 기반 구축 및 북한 산림정보 DB 구축 산림자원 해석 및 산악기상정보 생성, 산림유영화 분류 등 활용모델 개발
	영상정보 기반 소나무류 고사목 자동탐지 모듈개발	<ul style="list-style-type: none"> 고사목 자동탐지 알고리즘 정확도 검증 고사목 판독 모듈 개발
	위성영상 활용 임상도 현행화 제작 체계 고도화	<ul style="list-style-type: none"> 전국 혼효림내 소나무림 분포 분석 위성영상 활용 수종분포 자동분석 시범
	위성영상 활용 글로벌 산림자원	<ul style="list-style-type: none"> 글로벌 기후변화대응 사업(한-라오스

구분	추진과제	세부내용
	모니터링	REDD+시범사업) 추진을 위한 위성정보 활용
통계청	원격탐사 활용 경지면적 조사	<ul style="list-style-type: none"> 2017년 전국 시·도, 시·군별 경지면적조사
	북한 전 지역 벼 재배면적 시험조사	<ul style="list-style-type: none"> 북한 벼 재배면적조사를 위한 모집단 구축 2018년부터 북한 전 지역 벼 재배면적조사 가능
해양수산부	정지궤도 해양위성 활용연구(2단계)	<ul style="list-style-type: none"> 천리안 해양관측위성(GOCI)의 현업활용기술 개발 해양환경분석 알고리즘 개발 및 정확도 향상연구
	해양탐재체 통합자료처리시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 자료처리·분석 및 영상정밀보정 기술 개발
	지구관측위성 해양정보 활용 시스템 운영 및 한반도 주변 해황 변동 연구	<ul style="list-style-type: none"> 연안역 계절별 수온, 적조발생, 연근해역 야간 불빛 분포 등 다중위성 해양정보 생산 우리나라 해역의 위성관측 수온 정보 모바일 제공
행정안전부	위성정보 활용 재난분석 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> 한반도 지표온도 및 일 최고기온 추정기술 개발을 통한 주요도시 열섬화 특성 분석 대규모 위성자료 DB 관리기술 개발
환경부	세분류 토지피복지도 구축(8차) 및 환경주제도 갱신	<ul style="list-style-type: none"> 항우연 위성정사영상을 활용한 강원도 접근불능지역 토지피복지도 DB 구축
	환경위성 활용기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> 대기질 분야 환경위성 자료 활용 기반기술 마련 및 대기오염물질 이동특성 분석 대기질과 타 분야간 융·복합 기술 개발

자료: 「제1차 위성정보 활용 종합계획('14~'18)」, 2018년도 시행계획(안) (관계부처 합동, 2018)의 2017년도 주요 추진실적 내용을 정리

□ 적용 시사점

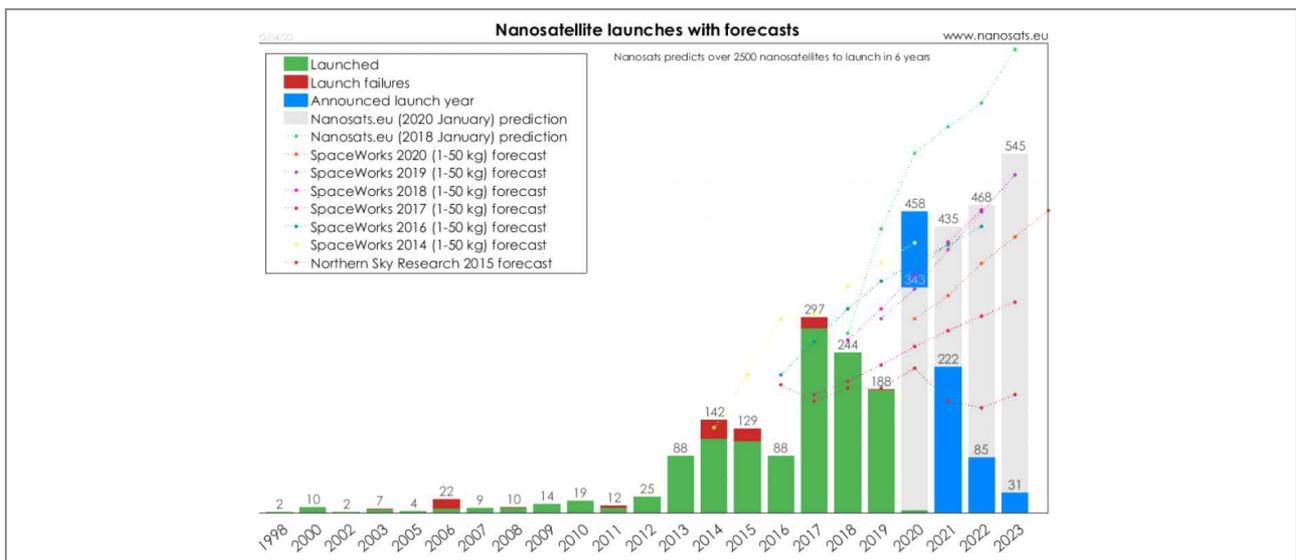
- 동 사업을 통해 기존의 정부 부처별 타 활용센터와 협력하여 데이터 및 분석 소프트웨어를 공유할 수 있음
- 위성정보의 활용을 촉진하기 위해 최근 다양한 형태의 위성정보 플랫폼 구축 사업이 정부 차원에서 추진되고 있음
- 극지연구소는 극지 관측 데이터 배포 서비스를 통해 정부에서 추진하고 있는 위성정보 플랫폼 사업에 기여할 수 있음

2-4. 초소형위성 시장동향

□ 해외시장 현황

- 초소형위성 발사 현황(예상치 포함)
 - 연도별 변화가 있지만 전체적으로 발사수가 증가하는 경향을 나타냄
 - 관련 기술이 개선되면서 발사 실패율도 현저히 감소하고 있음

[그림 2-14] 초소형위성 발사 현황



- 초소형위성군 현황(예상치 포함)

○ 초소형위성군 크기별 현황

- 2010년 이후 초소형위성의 발사 수가 크게 늘어났으며 그 중에서도 0.25U~6U 사이의 초소형위성 비중이 상당 부분을 차지하고 있어서 위성의 소형화 추세를 알 수 있음

□ 초소형위성(초소형위성) 발사체 시장 동향

○ 과거 소형위성의 낮은 수익성으로 piggyback 형식 등 중대형 발사체에 편승하여 발사되었으나, 최근 초소형위성에 대한 수요 증가와 발사중량 최적화 시도 및 브로커 활동 증가로 발사서비스 옵션이 늘어나는 상황

○ 우리나라와 인도의 발사체 시장 진출 가능성으로 비용 우위 발사체의 시장잠식이 예견되며, 중국CASIC*의 시장진출 또한 가격경쟁가속화 요인

* CASIC : China Aerospace Science and Industry Corporation

○ 대형 발사체(heavy launcher)의 경우 과거 10년간 소형위성의 30%수준이었으나, 최근 초대형발사체를 이용한 발사도 이뤄지며 발사체 스펙트럼이 확장 중에 있음

○ 위성의 질량에 따른 구분으로는, 10kg 이하 나노 위성시장의 경우, 인도 ISRO와 미국 Northrop가 각각 22%(265기), 18%(215기) 차지

- 단, 인도 ISRO의 경우 인도 정부 발사 수요로 인한 상용서비스 제한이 있음
- 미국 Northrop의 경우 NASA를 대신하여 국제우주정거장에서 초소형위성 발사 담당, 많은 초소형위성을 발사하였음

○ 지난 10년간 소형위성 발사가 가능했던 국가는 우리나라를 포함, 불과 10여개국으로, 우주개발중인 다른 70여 개국은 타 국가에 의존해야 하는 상황

- 발사역량을 갖춘 국가들은 자국 수요에도 대응해야 하기에 전세계적 발사역량은 충분치 못한 상황
- 가장 큰 역량의 미국, 중국은 80%가 넘는 자국 수요에 대응중
- 그 다음으로 러시아, 인도는 각각 76%, 94%의 발사역량을 해외수요에 대응중

- 시장금액의 면에서는, 2009-2019년 소형위성 발사시장은 약 39억달러로 추산되며 2029년까지는 176억달러까지 성장할 것으로 전망됨
- 또한 50kg 이하 초소형위성 발사가격은 6만2천달러/kg에서 4만1천달러/kg로 약 33% 감소, 그 이상 급에서는 더 큰 79% 감소를 보임
 - Starlink나 Kuiper 등 소형군집위성 발사에 따른 것으로 풀이됨
- 초소형위성의 미래 시장 점유율은 지난 10년간에 비교하여 향후 10년간 약 162억달러로 약 390%의 매출성장을 기록할 것으로 추산됨
- 그러나 지난 10년간 발사체 시장은 일부 몇몇 기업에 집중되었음
 - 가장 많은 시장을 점하는 Space X의 Falcon 9는 약 9억9천달러를 기록, 중국 CGWIC(중국장성산업공사)가 4억6천만달러, 다음으로 유럽의 Arianespace와 미국의 Northrop 사가 각각 4억3천, 4억달러를 기록
- 2020-2028년 사이 발사체를 정하지 못한 수요가 약 27억 달러에 이르고 있음
 - SpaceX와 Blue Origin을 제외한 발사체 정해진 수요는 65억달러이며, 향후 두 거대기업이 전체 수요의 약 36%를 차지할 전망이다
 - 게다가 코로나 19 상황으로 벤처캐피탈의 소극적 투자에 발사체 기업 간 파산과 합병이 일어날 수 있으므로, 안정적 운영을 위해서는 정부 수요가 필요한 상황

<표 2-18> 군집위성을 활용한 주요 인터넷 통신 서비스

개발업체	서비스명	서비스개시	구축현황
SpaceX	Starlink	2020.11	800여개 발사(' 20.10.18 현재) 최대 3만기까지 발사 예정
Amazon	Project Kuiper	미정	3,236기 위성발사예정
OneWeb	OneWebsatelliteconstellation	2021	76대 발사 최대 4.8만기 발사 예정

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020

<표 2-19> 주요 지구관측 군집운용 시스템

개발 업체	보유 위성	보유 대수	제공서비스	획득정보	관측 파장	특징
Planet Labs	Dove시리즈 Skysat 등	150	준 실시간 광학 지구관측 영상 및 수요맞춤형 영상	해상도 4.4m(Dove), 0.9m/2m 영상 (최대 0.5m, kysat)	광학	재방문 시간 ~3.5h
Black sky	Pathfinder-1 Pathfinder-2	6	준 실시간 광학 지구관측 영상 및 수요맞춤형 정보	해상도 ~1m 영상	광학	재방문 시간 1.5h
ICEYE	ICEYE-X1 ICEYE-X2	3	준 실시간 레이더 지구관측 영상	해상도 0.4m~3m 영상	X-band	재방문 시간 12~36h
Spire Global	LEMUR	~90	선박, 날씨, 항공 정보	AIS 신호 GNSS-RO 정보 ADS-B 신호	전파	정보 업데이트 시간 각각 15분, 6시간, 5분

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020

□ 국내시장 동향

<표 2-20> 주요 지구관측 군집운용 시스템

구분	산업동향
국가 수요	<ul style="list-style-type: none"> 정부수요 기반 소형위성은 KAIST 인공위성 연구소 개발, 탑재체와 부품은 출연연구소와 기업이 납품 초소형위성 플랫폼의 정부 수요 증가
해외 수출	<ul style="list-style-type: none"> 우리별 시리즈 경험 썬트랙아이社, 세계 소형위성 시장 경쟁력 갖추며 성장 다양한 기술 보유 및 말레이시아, UAE, 스페인에 소형위성 수출 성공
정부 지원	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 기업의 우주개발 사업 참여 확대 기초 나라스페이스社등 정부R&D 수행 통한 경험으로 초소형위성 제작 및 기업 설립 등 공공수요 사업에 참여

자료: KISTEP 기술동향브리핑 - 소형위성, 2020의 내용을 재정리

□ 적용 시사점

- 위성과 발사체가 소형화 되면서 우주산업의 진입장벽이 낮아졌고, 이를 기회로 국내에서도 소형 발사체 및 초소형위성 개발 스타트업이 생겨나고 있음
- 특히, 위성의 소형화 추세와 함께 소형 탑재체의 필요성도 증가하면서 위성 본체 기술에 비해 선진국 대비 뒤쳐졌던 위성 탑재체 기술 분야에서 선도적

위치를 점할 수 있는 좋은 기회임

- 이러한 측면에서, 수동마이크로파 센서와 광학 센서의 소형화 기술 개발을 포함하는 동 사업이 성공하면 국가 위성기술 발전에 큰 기여를 할 수 있음

가. 해외 기업 현황

□ 미국과 유럽 등 선진국을 중심으로 정부의 지원하에 초소형위성 개발 스타트업이 빠른 속도로 성장하고 있음

- 신기술 구현을 목적으로 저비용 초소형위성을 제작하는 대학교 등 소규모 집단에 지원하는 유럽의 QB50*, NASA의 SSTP*가 대표적인 우주환경시험 지원 프로그램

* QB50 : 전 세계 다양한 대학과 기관이 참여하여 제작한 총 36기의 초소형위성을 2017년에 발사한 유럽의 대표 초소형위성 개발프로그램이며, 유럽의 기업(에어버스 등), 교육기관(영국 서리대학 등), 정부연구기관(독일 DLR 등)이 컨소시엄을 구성하고 과학(Science)과 기술(Technology) 분야 지원

* SSTP(Small Spacecraft Technology Program)은 소형위성 플랫폼을 활용하여 대형위성 등에 활용될 혁신기술을 검증하고 우주환경 시험을 통해 비용 절감 등 리스크 절감을 위해 기업, 대학 등에 지원한 프로그램

- NASA와 미 대학이 개발 중인 초소형위성 플랫폼 기반의 탐사선 루나 아이스초소형(Lunar IceCube)은 아르테미스(Artemis) 프로젝트* 추진에 앞선 2021년 발사되어 달의 물분포와 표토의 화학성분을 분석하는 임무 수행 예정

* 2024년까지 달의 극지방에 우주인을 다시 보내고 화성 탐사를 대비해 달 기지와 달 궤도 정거장(Lunar Gateway)을 건설과 유인탐사를 목표로 하는 NASA 프로젝트

- 또한, AdvanceSpace社는 향후 건설될 Lunar Gateway의 달 궤도 안정성 검증을 위해 NASA와 계약을 체결하고 12U급 초소형위성 CAPSTONE*을 2021년 발사 예정

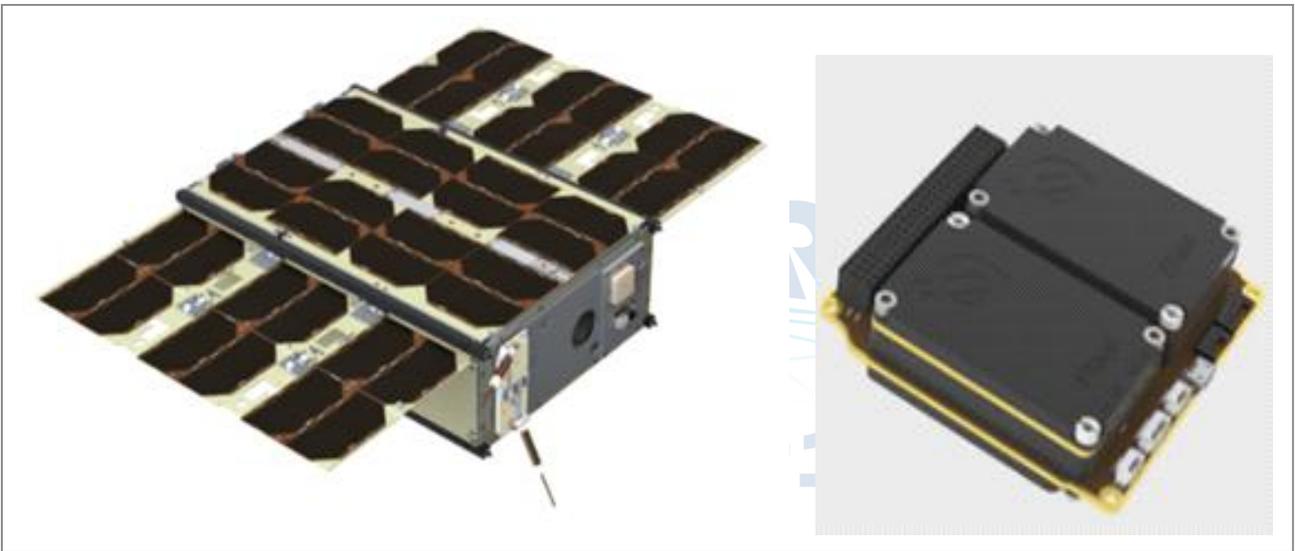
* Cislunar Autonomous Positioning Technology Operations and Navigation Experiment

- 2005년 스타트업 기업으로 시작된 스웨덴과 영국 기반의 AAC Clyde

Space社は 초소형위성과 부품 개발 및 제작 솔루션을 종합적으로 갖춘 기업이며, Spire Global社の LEMUR 시리즈 제작사로서 2018년 소형위성 대수 기준 세계 시장점유율 1위(9.6%)를 차지

- 덴마크 Aalborg 대학 출신들이 주축이 되어 2007년 설립된 GOMspace사는 2018년 기준연매출 약 187억 원을 달성하고 있으며, 미래 초소형위성 군집위성 시스템의 시장수요를 대비한 COTS 기반의 대량생산 설비를 구축하고 하루 1기 생산을 목표

[그림 2-17] GOMspace 6U 플랫폼(좌)과 통신 어플리케이션(우)



자료: GOMspace 홈페이지

나. 국내 기업 현황

- 국내 초소형위성 개발 업체는 초소형위성 경연대회 출신 인력들이 주도하고 있으며, 최근에는 연구기관이 참여하여 산학연 협력 체계가 구축되고 있음
- 2022년 발사예정인 차세대소형위성2호에 탑재되는 소형 X-band 영상레이더(SAR)와 근지구 우주방사선 관측기(NISS)는 인공위성연구소와 한국천문연구원이 제작하였고, 우주핵심기술개발 사업에서 개발된 총 4개의 기술검증 부품은 산업기술대학교 등 교육기관과 두시텍社 등 기업이 제작

- 초소형군집위성개발사업에서 개발될 국내 최초의 지구관측 군집위성 시스템은 본체와 체계개발을 KAIST 인공위성연구소가 담당하고 주 탑재체는 썬트렉아이社가 제작
- 썬트렉아이는 다양한 소형위성 플랫폼, 광학 탑재체, 지상국 등 독자 소형위성 제작 및 운용 솔루션을 보유하고, 말레이시아, UAE, 스페인 등지에 해상도 1m급 상업용 지구관측 소형위성을 성공적으로 수출
- 정부R&D 위성개발사업에 부품 공급 역량을 갖춘 저스텍, 솔탑, 센서피아 등 중소기업이 초소형위성 개발사업에 참여하거나 독자적 기술개발을 추진
- 초소형위성 경연대회 참여경험을 토대로 설립된 초소형위성 개발업체인 나라스페이스社는 다양한 국내출연기관 및 지자체사업* 에 참여중

* 해양관측용 초소형위성 개발을 위한 부산시 용역사업 등

□ 최근 국내에도 소형 발사체 개발 업체가 등장하면서 우리나라도 본격적인 뉴스페이스 시대에 진입하고 있음

- 페리지우주항공社는 최초의 국내 소형발사체 개발 기업으로서 40kg급 탑재체를 지구 저궤도(500km)에 실어나르는 발사체를 개발 중이며, 이노스페이스社가 후발 주자로 합류
- 벤처캐피탈 등 국내 민간 재원으로 개발되는 페리지우주항공社의 Blue Whale 발사체는 1백만 달러의 저비용 발사비 달성을 추구하고, 2021년 3분기 호주에서 첫 발사 예정22)
- 이노스페이스社는 하이브리드 로켓 엔진을 이용하는 ICARUS 발사체를 탑재중량에 따라 구분하여 개발 중이며, 2021년 첫 시험발사 예정

3-1. 사회 환경 개요

□ 사회 환경 조사목적

- 전지구적 사회환경 측면에서 북극 및 남극과 관련된 주요 이해관계자들의 활동내용 및 활동경향에 대한 분석을 수행함
- 이를 통해 극지관련 위성개발 및 위성센터 운영방안 수립에 영향을 미치는 요인 및 고려사항을 도출해 세부사업내용 정의시 참고함

□ 사회 환경 조사방안

- 극지관측 전용위성 및 극지위성센터 개발에 대한 사회 환경 등 조사
- 사회 환경 분석을 위해, 극지를 둘러싼 국제사회의 경쟁과 협력 활동 및 위성정보의 사회적 활용 분야 조사
- 북극 및 남극을 둘러싼 국제 사회의 거버넌스에 대한 조사를 통해 국가별 경쟁과 협동이 공존하는 극지의 지정학적 특성이 미치는 사회적 영향력을 분석
- 위성정보의 사회적 활용분야에 대한 조사를 통해 위성정보가 갖는 사회적 의미 파악

3-2. 북극 관련 이해관계자 활동현황

가. 북극 관련 사회적 여건

- (기본현황) 북극은 풍부한 광물자원과 북극항로 등 경제 기회의 지역이자 지난 30년간 결빙해역이 절반으로 감소한 기후변화의 현장

- 거버넌스 측면에서, 통일된 국제조약이 없이 UN 해양법 협약(1994), 북극이사회(1996) 등 다양한 규범과 협의체 존재

<표 2-21> 사회 환경 조사 개요

분야	구분	내용
북극 관련 국제사회 현황	국제 거버넌스 조사	북극 관련 국제사회 여건
		북극 이사회 회원국 동향
		주요 옵서버 국가 동향
남극 관련 국제사회 현황	국제 거버넌스 조사	남극 관련 국제사회 활동
위성정보의 사회적 활용분야	국내외 위성정보 활용 분야	국외 위성정보 활용 분야
		국내 위성정보 활용 분야

- (국제 동향) 북극연안국은 원주민 복지, 환경보호 등을 강조하면서도 북극개발 경쟁과 보호주의 움직임이 감지되는 등 경제환경 급변
 - 비북극권 국가들은 옵서버 진출(현재 13개국) 등을 계기로 연안국과 양자관계를 강화하여 북극항로 및 자원개발 등 경제·자원문제 관심
 - 중국은 ‘빙상 실크로드’ (Polar Silk Road) 통한 ‘일대일로’ 전략의 완성을 천명 (북극정책백서), 일본은 러시아와 ‘Arctic LNG-2 프로젝트’ 협력 협정 체결(2016년)
- (물리 환경) 북위 66.5도 이북지역 또는 영구 동토층의 한계선을 지칭하고, 면적은 약 2,100만km²로서 지구 지표면의 약 6% 차지
 - 북극해(약 1,400만km²)는 세계 5대양의 하나로 겨울철에는 얼음으로 덮이나 여름철에는 30% 수준으로 축소
 - 북극해는 전체해역 중 82%가 연안국 영해 및 EEZ, 18%가 공해로 구성
 - 북극은 미개발 자원의 보고로 세계 미발견 석유의 13%, 천연가스의 30% 매장 (미국 지질조사국, 2008년), 풍부한 광물자원 보유
- (경제) 러시아 야말 LNG 개발 및 후속 자원개발사업 확대, 노르웨이 북극해 개발 본격화, 알래스카 유전개발 요구 증대 등 경제환경 급변
 - 러시아 국내화물의 북극해 해상운송 물동량이 대폭 증가 중이고, 중국,

덴마크 등 해운국가의 북극항로 이용 준비 본격화

- 2017년 1천만 톤으로 역대 최대치 기록, 2018년 야말 LNG 운송 본격화 시 급격한 증가 예상
- 中: ‘일대일로’ 정책에 빙상 실크로드 도입, 덴: 상업 컨선 운항 추진(2018, 머스크社)

□ (거버넌스) 통일된 국제조약이 없고, UN해양법협약('94년 발효), 북극이사회(1996) 등 다양한 규범과 협의체 존재

- 남극은 영유권 분쟁·광물자원 개발 금지, 평화적·과학적 이용만 허용(남극조약, 1959)

□ 적용 시사점

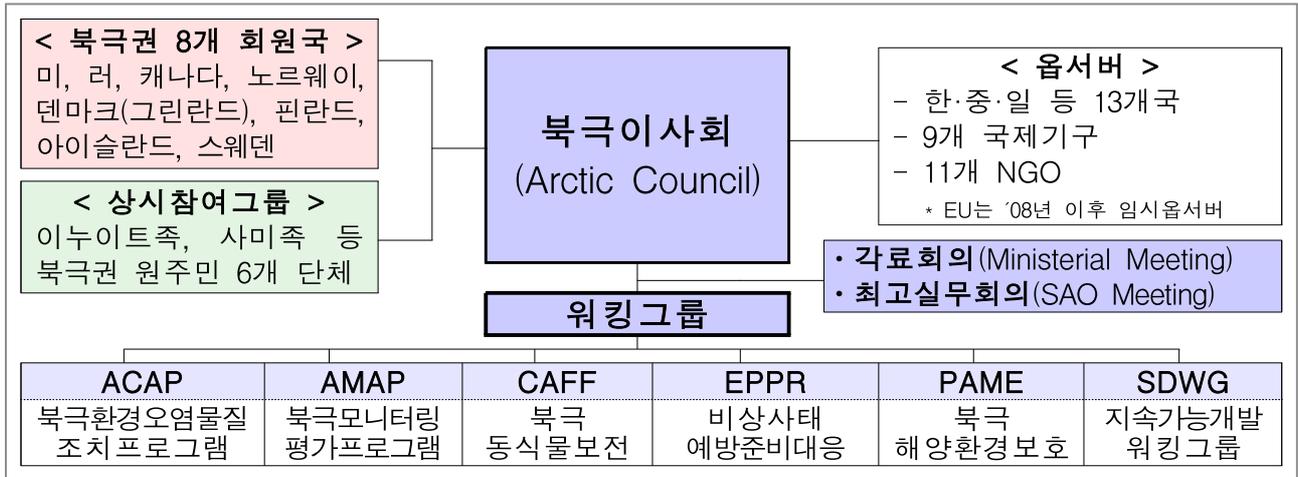
- 북극은 풍부한 광물자원과 북극항로 등 경제적인 측면에서 잠재적인 기회를 많이 가지고 있어 전담 임무를 수행할 수 있는 관측위성의 필요성이 전략적으로 필요함
- 거버넌스 관점에서 북극관련 다양한 규범과 협의체가 존재하는 상황이므로 이해관계자간 협력 속에 극지관측 데이터 공유 및 연계를 담당할 위성센터의 역할이 요망됨

나. 북극이사회 8개 회원국 동향

□ (러시아) 러시아 북극 지역의 사회경제발전 2020계획(2016)을 통해 북극 LNG 사업과 북극항로 개발 등 적극 추진

- ‘야말 LNG’ 상업생산을 가동(2017)하고 ‘Arctic LNG-2’ 사업을 준비 중이며, 러시아 노바텍社는 LNG 환적터미널 건설 추진
 - 야말반도 가스전 개발 및 Sabetta항 액화플랜트 건설사업(연간 1,650만톤 생산 예상)
 - 야말 LNG 후속 기단반도 가스전 개발사업('23년 이후 연간 1,800만톤 생산 예상)

[그림 2-18] 북극이사회 조직 구성



□ (미국) '환경보호'에서 '자원개발'로 정책 선회

- '북극지역정책'('09년)을 통해 안보, 국제거버넌스, 대륙붕 한계 연장, 과학협력, 북서항로, 자원개발, 환경보호·관리 등 북극정책 청사진 제시
- 트럼프 행정부 출범 후, '미국 우선 해양에너지 전략' 발표('17.3), 북극 대륙붕 석유시추 탐사 승인('17.7) 등 개발 중심의 정책변화 기류

□ (캐나다) 원주민과 환경보호를 중심으로 '북방전략'('09년) 추진

- 극지연구 전담기구인 '캐나다 극지지식청(Polar Knowledge Canada)' 출범(2015.6) 및 북극해 연안 고속도로(투크토야크투크-이누비크) 완공(2017.11)
- 북극해 보호에 175백만불 지원을 추진('18~'22)하고, 미국과의 보포트해 해양경계 문제 및 덴마크와의 한스섬 영유권 문제 대응

□ (덴마크) '2011-2020 북극전략'을 수립(2011년)하고, 기후변화 예측·적응에 관한 북극과학연구, 인프라 투자, 관광산업 활성화 등 적극 추진

- 그린란드는 자치권 확대(2009년)와 함께 '그린란드 석유·광물자원 개발계획 (2014-2018)'을 발표(2014년)하고 인프라 개발 추진

□ (노르웨이) 북극권 국가 최초로 '북극전략'(2006년)을 수립하였고, 이후

新북극전략*인 '노르웨이 북극전략: 지정학과 사회발전 사이' 발표(2017년)

* 인적자원과 국제협력을 통한 지식기반 비즈니스 및 인프라 등 지속가능한 개발에 초점

- 20년만에 북극해 미탐사 지역의 석유 탐사권을 신규 허가('16년)하는 등 북극해 자원개발을 적극 추진 중이나 해양오염 비판에 직면

□ (북극권 비연안국) 북극이사회를 통한 북극 거버넌스 적극 참여

- (핀란드) 북극이사회 및 북극경제이사회 現 의장국(2017.5~2019.5)으로서 환경, 통신망, 기상협력 등을 강조한 북극정책 우선프로그램 발표(2017년)

- 해저통신(핀란드-노르웨이-러-일-중), 철도(노르웨이-핀란드) 등 인프라사업 추진

- (아이슬란드) '북극씨클회의'*를 통해 북극 거버넌스에서 우위를 확보하고자 하며, 수산업 비중이 높은 가운데 자원개발 등으로 다변화 모색

* 북극이사회보다 광범위한 이슈를 논의하고 다양한 전문가 및 이해관계자 참여

- 차기 북극이사회 및 북극경제이사회 의장국 수임 예정(2019.5~2021.5)

- (스웨덴) 경제·사회·환경적으로 지속가능한 개발을 강조하는 '新북극정책'을 발표(2016)하고, 사미족 등 원주민 전통지식 보존노력 수행

□ 적용 시사점

- 북극이사회 회원국 대부분이 환경보호 기조를 유지하면서 자원개발을 비롯해 과학연구, 인프라 투자, 관광사업 활성화 등 다양한 분야의 전략적 활용을 위한 정책개발에 나서고 있음

- 극지관측 위성센터에서는 북극이사회 회원국의 정책기조 및 변화상황에 따라 전략적으로 대처하고 협력할 수 있는 임무와 기능, 역할 정립이 필요함

다. 주요 옵서버 국가 동향

- (중국) 제13차 5개년 계획('16~'20)에서 북극 활동을 확대할 계획임을 밝혔고, 명문화된 북극정책인 '북극정책백서'*를 처음으로 발간('18.1월)

* '북극 이해, 북극 보호, 북극 개발, 북극 거버넌스 참여' 의 4대 정책목표 제시, 백서의

핵심은 ‘빙상 실크로드’ 를 통해 중국-북극-유럽을 잇는 일대일로 전략의 완성

- 기존 ‘일대일로(一帶一路)’ 국가전략에 북극 인프라 개발 현안을 포함하고, 북극 자원개발을 위한 국제협력* 추진 중

* 14개 연구기관(중국 6, 노르딕국가 8)이 참여 중인 노르딕 북극 연구센터(China Nordic Arctic Research Center, '13년 ~), 러시아와의 빙상 실크로드(Polar Silk Road) 협력 등

- (일본) 북극정책 발표('15년) 후 자원·북극항로 분야에서 러시아와 협력*을 지속하고, 타 북극권 국가와의 경제·과학 협력방안 모색 중

* 사할린 탄화수소 탐사·개발·생산 협력협정('16년), LNG-2 프로젝트 협력협정(2016년) 등

- 아시아 최초 북극과학기지 설치('91년), 북극 환경연구 컨소시엄(JCAR) 설립(2011년), 북극 전담 쇄빙연구선 건조 추진 등 북극진출 노력 강화

□ 적용 시사점

- 주요 읍서버 국가의 경우 자체적인 북극개발 관련 정책 및 계획을 마련하고 북극권 국가와의 자원개발 및 경제/과학 분야 협력방안을 적극적으로 모색하고 있음

- 극지관측 위성센터에서 극지관측용 위성개발 및 운영, 임무설계 및 활용분야 발굴 등 국내실정에 부합하는 정책개발을 비롯해 읍서버 국가와의 상호협력방안 마련이 요망됨

3-3. 위성정보 사회적 활용현황

가. 해외현황

- 위성정보는 환경·에너지·자원, 식량안보, 재난대응 등 다양한 사회문제 해결을 위한 지구관측 정보를 제공하는 필수 인프라로 자리매김

- 위성정보를 활용한 서비스 분야가 확대됨에 따라 관련 시장 규모도 지속 확대될 전망(('16) 2,286 백만불 → ('25) 4,637 백만불)

- (미국) 안보, 농업, 재난, 해양 등에 위성정보 활용 공공 의사결정 지원체계를 구축하고, 최상급 위성 인프라로 세계 위성정보산업 주도
- (EU) ESA 주도하에 대규모 위성활용 프로젝트를 추진하며 민간참여를 유도하는 등 독자적 위성정보 활용모델 정립 추구
- (일본) 대국민 서비스 증진을 위한 위성정보 통합플랫폼을 구축하고, 우주산업 육성 차원에서 위성정보 활용 정책 강화

□ 민간 분야에서는 영상제공 및 교육(DigitalGlobe), 디지털지도서비스(구글) 등 첨단기술을 활용하여 위성영상 기반의 신산업 창출

- 플래닛랩스(Planet Labs)는 구글과 협력을 통해 위성영상, 구글의 빅데이터 등 여러 정보와의 융복합을 통한 신개념 서비스 창출 시도
- 해외 주요업체는 AI 빅데이터 등의 기술을 도입하여 방대한 위성정보를 효율적으로 분석 활용하는 최첨단 서비스 제공을 시작
- 위성영상과 경제지표, 소셜미디어, 뉴스 등 다양한 데이터에 AI 알고리즘을 적용하여 각 분야별 맞춤형 분석서비스 확대 추세

□ (초)소형위성 군집운용으로 특정지역의 위성영상의 획득주기를 단축(준실시간)하고 커버리지를 확대하여 다양한 서비스 영역 창출

- (초)소형위성 대규모 운영을 통해 전지구 광대역 인터넷 서비스 제공 및 위성통신 데이터서비스 향상

□ 위성 개발 확대와 더불어 미래 위성기술 분야의 혁신활동 활발

- 국방·안보 등 전통수요 이외에 다양한 공공 민간 서비스 수요 대응을 위해 국가 및 민간의 관측 위성 개발 확대
- 우주개발 투자 국가는 28개국('96) → 47개국('06) → 70개국('16)으로 증가하였고, 이 중 56개국이 지구관측 서비스 중심으로 집중 투자
- 민간을 중심으로 급증하는 글로벌 통신수요 충족을 위해 쏘지구 위성 통신시스템 구축과 동시에 고전송율 위성(HTS) 개발을 추진
- 우주 선진국들은 미국 GPS 의존도를 낮추고 자국의 인프라 보호 및

위치정보 산업육성을 위한 독자 위성항법시스템 구축

- 우리나라도 한국형 위성항법시스템(KPS)구축 기획 중('34년 서비스 예정)
- 3D 프린팅 등 혁신적 제조 기술 적용으로 위성제작 비용 시간 절감
- 타 분야(IoT AI 신소재 신재생에너지 등)와의 기술융합으로 우주태양광 발전, 양자통신위성 등 신규 위성영역 창출

□ 위성 인프라 및 효율적인 위성정보 통합 운영체계 구축 운영

- 주요국은 저궤도 위성의 관제와 위성정보의 수신 처리를 우주개발기관으로 일원화 (정지궤도위성은 기상 관측 기관에서 담당)

<표 2-22> 해외 주요 국가의 위성운영

구분	저궤도 위성		정지궤도위성
일본	JAXA 통합	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관제: JAXA 산하의 SAOC* * Satellite Application and Operation Center ▪ 수신·처리: JAXA 산하의 EOC* * Earth Observation Center 	JMA(기상청)
유럽	ESA 통합	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관제: ESA 산하의 ESOC* * European Space Operation Center ▪ 수신·처리: ESA 산하의 ESRIN* * European Space Research Institute 	EUMETSAT(기상위성센터)
미국	NASA 통합	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 관제: NASA ▪ 수신·처리: NASA, USGS(지질조사국) 	NOAA(해양대기청)

- 독일 일본 등은 재난 재해 대응 강화를 위해 위성운영기관 내에 전담 부서를 설치하고 관련 시스템을 구축 운영
- EU는 각종 재해에 대해 위성영상 지도 분석정보 등을 제공하는 코페르니쿠스 위기관리시스템(EMS)을 ESA 내에 구축 운영

□ 효율적 위성정보 활용을 위한 국제협력 확대

- 위성보유국가 간 전략적 협력을 확대하는 등 각국의 위성자원 활용 효율성

제고를 위한 다각적인 방안을 추진

- BRICS 5개국(브라질, 러시아, 인도, 중국, 남아공)은 각국이 보유한 위성 자원의 공동 활용을 위한 위성군집체계 구축에 합의
- 독일은 고해상도 SAR 위성의 다자협력 체계인 WorldSAR 공동 운영 프로젝트* 추진을 주도

* PAZ(스페인), TerraSAR/TanDEM 및 후속위성(독일), 다목적6호(한국 참여 검토중)

- 환경감시, 재난 재해 등 글로벌 이슈 대응을 위한 국제협력과 우주 선진국 UN 주도의 인도주의적 개도국 지원 프로그램 활성화

□ 적용 시사점

- 위성정보는 환경/에너지/자원 및 식량안보, 재난대응 등 다양한 사회적 문제해결을 위한 필수 인프라로서 중요성이 점점 증대되고 있고 다양한 민간참여를 통해 서비스 분야도 지속적으로 확대돼 시장규모도 커지고 있는 추세임
- 특히 영상제공 및 교육, 디지털지도서비스 등 AI를 활용해 위성영상 기반의 신산업이 창출을 통해 각급 사회적 계층의 맞춤형 분석서비스가 확대되고 있음
- 주요국은 저궤도 위성의 관제와 위성정보의 수신처리를 전담기관으로 일원화 하고 있는 추세이며 효율적인 위성정보 활용을 위한 국제협력을 확대하고 있음
- 극지를 매개로 하는 다양한 사회적 문제해결을 위한 전담 관측위성이 요구되며 다양한 맞춤형 활용분야의 개발 및 국제협력 업무수행을 위한 극지관련 전담 위성센터를 중심으로하는 통합운영체계 마련이 필요함

나. 국내 현황

- 다양한 위성정보를 획득 보급하여 수입대체 효과를 창출하고 기상 환경 해양 국토 농림 등 다양한 공공서비스 영역에서 활용

- 위성영상 획득량(누적, 만장): ('13) 243 ⇨ ('15) 322 ⇨ ('18.9월) 493
- 위성영상 수입대체효과(누적, 억원): ('13) 4,471 ⇨ ('15) 7,657 ⇨ ('18.9월) 12,740
- 국내공공배포(누적, 장): ('13) 38,118 ⇨ ('15) 72,932 ⇨ ('18.9월) 145,056
- 위성영상 활용산업은 영상 판매 가공을 중심으로 공공수요에 의존하는 저부가가치 산업 구조이나, 분석 서비스 산업도 등장하는 추세
- '17년도 위성영상 활용 매출(%): 영상판매(62), 영상가공(32), 분석서비스(6)

<표 2-23> 위성영상 활용 매출 구성별 매출비율 및 주요 기업

구분	매출비율	주요 기업
영상판매	62%	솔탐, 신한항업, 에스아이아이에스, 인디웨어, 인스페이스, 중앙항업, 지로스, 지오셋아이, 지오스토리, 지오씨엔아이, 지오아이티, 픽소니어
가공 및 기술개발	32%	비엔티, 솔탐, 에스이랩, 인디웨어, 인스페이스, 중앙항업, 지로스, 지솔루션, 지오씨엔아이, 지오아이티, 컨텍, 픽소니어, 하이퍼센싱
분석서비스	6%	신한항업, 인디웨어, 인스페이스, 하이퍼센싱, SIA

- 향후 약 20기 이상의 초소형위성을 군집 운용하여 고빈도 관측체계를 구축함으로써 정보획득 능력을 제고할 계획(2025)
 - 초소형위성 개발 계획: 초소형위성 2기를 경쟁형으로 개발하고 우수한 모델을 복제 양산하여 고빈도 관측체계를 구축(2025)
- 위성통신·항법 산업분야는 관련 부품·단말기 제작과 일부 서비스 제공을 중심으로 민간의 산업이 형성
 - 국내 우주활용 기업체 매출액 약 3조원 중 77%(2.6조원)가 위성방송통신 서비스

매출액이며, 9.6%(325억원)가 위성항법 서비스 매출액(17년)

□ 위성 개발 확대 및 민간기업 위성산업 참여 확대

- 다목적실용위성(1·2·3·3A·5호)과 천리안위성(1·2A·2B) 개발로 세계 수준의 지구관측 저궤도 위성기술과 정지궤도 국내 주도 개발 능력 확보
 - (3호) 세계 4번째 상용 서브미터급 광학위성, (6호) 세계 7번째 정밀관측용 레이더(SAR) 위성, (3A호) 세계 최초 고해상도 중적외선 센서 탑재 위성
- 국내 민간기업의 위성개발 참여 확대와 출연(연) 확보기술의 적극적 이전(71건)으로 위성산업 경쟁력 강화
 - 다목적실용위성 민간참여 비율(%): (1호) 20 → (2호) 22 → (3호) 33 → (3A호) 46
 - 추진계(한화), 전력계(KAD), 열제어계(두원중공업), 탑재체(AP위성, LIG넥스원) 등

□ 효율적인 위성 운영체계 구축 운영

- 항공우주연구원, 기상청, 해양과학기술원 등에서 역할을 분담하여 총 3기의 저궤도위성과 2기의 정지궤도위성을 관리

<표 2-24> 위성영상 활용 매출 구성별 매출비율 및 주요 기업

구분	저궤도위성 (다목적위성 3호/5호/3A호)	정지궤도위성 (천리안 1/2A호)
한국항공우주연구원	주관제, 부수신	주관제, 부수신
국가기상위성센터	-	기상탑재체 주수신, 부관제
해양과학기술원	-	해양탑재체 주수신, 부관제

- 국가 위성정보의 체계적·효율적 활용을 위해 통합활용지원시스템을 구축하여 저궤도 위성영상의 활용성 제고
- 통합활용지원시스템(<http://ksatdb.kari.re.kr>) 이용 건수: (14) 약 7만 → ('18) 약 36만
- 다중위성 운영의 효율성 향상을 위해 국가위성을 통합적으로 운영하기 위한 인프라 구축을 추진 중

□ 효율적 위성정보 활용을 위한 국제협력 확대

- 재난·재해 관련 위성영상 무상 제공 확대 등 국제기구(International Charter, GEO*)에 적극 참여를 통한 국제협력 강화

* Group on Earth Observation: 100여국이 참여하는 지구시스템 공동 관측·감시 국제회의

- 해외와 공동으로 위성을 운영하여 한반도 영상 확보 증대 및 해외 국가와의 공동 위성운영 추가 추진 중
- 중남미 위성 협력을 통한 한반도 영상 월평균 330장 추가획득('17.6월~)

□ 적용 시사점

- 현행 위성 영상 판매/가공 중심의 공공수요 의존에서 분석서비스까지 확대되고 있는 산업구조 변화추세에 발맞추어 극지관측 위성정보도 영상판매, 가공 및 기술개발, 분석서비스까지 활용분야를 고부가가치화 해야 함
- 경쟁형 개발을 통해 선정된 우수모델을 극지 관측용으로 군집운영하는 방식을 통해 고빈도 관측체계를 구축해 정보획득 능력을 획기적으로 높여야 함
- 국내 위성산업의 경쟁력을 한층 더 높일 수 있도록 국내 민간기업의 극지관측 위성 개발 참여확대 및 출연(연) 기술의 적극적인 기술이전을 촉진할 수 있는 전담 위성정보센터의 기능 강화 및 확대가 요망됨
- 국제협력 차원에서 극지관측 위성정보를 상호 공유하고 연계할 수 있는 협력방안 마련 필요함

제4절 과학·기술 환경 분석

4-1. 과학·기술 환경 개요

□ 과학·기술 환경 조사목적

- 과학·기술 변화트렌드 분석을 통해 극지 관련 초소형 위성개발 및 위성센터 역할정립과 운영방안 수립시에 영향을 미칠 수 있는 요소를 파악하기 위해서임

□ 과학·기술 환경 조사방안

- 극지관측 전용위성 및 극지위성센터 개발에 대한 초소형위성 기술개발 현황 및 사례 등을 조사함
- 초소형위성 기술 수준을 파악하기 위한 선진국 초소형위성 기술 현황 분석 및 벤치마킹 대상이 될 수 있는 초소형위성 개발 사례를 조사함
- 국내외 초소형위성 활용 우주임무 및 기술 개발 조사를 위해 주요 선진국의 활동 현황 및 개발 사례를 조사

<표 2-25> 과학·기술 환경 조사 개요

분야	구분	내용
초소형위성 기술 현황	국내외 기술 개발 현황	국외 주요 선진국 기술개발 현황
국내 기술개발 현황		기상탐재체 주수신, 부관제
초소형위성 개발 사례	초소형위성 사례	국내외 초소형위성 임무 사례

4-2. 초소형위성 기술개발 현황

가. 해외현황

□ 초소형위성에 적합한 우주과학 탑재체를 개발하여 지구환경 관측, 전천 관측을 수행하거나 최근 지구궤도를 벗어나 심우주탐사 분야에도 적극적으로 활용하는 추세

○ 2018년 화성 탐사 로버 인사이트(InSight)와 함께 2기의 초소형위성(MarCO-A, -B)이 발사되었고, 로버 착륙시점에 지구와의 데이터 중계를 담당하는 임무를 성공적으로 수행

○ NASA와 미 대학이 개발 중인 초소형위성 플랫폼 기반의 탐사선 루나 아이스초소형(Lunar IceCube)는 아르테미스(Artemis) 프로젝트* 추진에 앞선 2021년 발사되어 달의 물분포와 표토의 화학성분을 분석하는 임무 수행 예정

* 2024년까지 달의 극지방에 우주인을 다시 보내고 화성 탐사를 대비해 달 기지와 달 궤도 정거장 (Lunar Gateway)을 건설과 유인탐사를 목표로 하는 NASA 프로젝트

□ 해외 기술 동향

[미국]

○ NASA는 향후 건설될 Lunar Gateway의 달 궤도 안정성 검증을 위해 Advance Space社와 계약을 체결하고 12U급 초소형위성 CAPSTONE*을 2021년 발사 예정

* Cislunar Autonomous Positioning Technology Operations and Navigation Experiment

○ 미국 NASA에서는 Small Spacecraft Technology Program(이하 STP)을 통하여 산업체, 대학 및 NASA 자체에서 1U~6U급 나노/초소형위성의 기술 개발 사업 수행

- STP의 수행 목적은 나노/초소형위성을 통해 기존 위성 서브시스템의 새롭고 혁신적인 기술을 개발하고, 개발된 기술을 우주에 직접 시험하여 중대형위성에 소요되는 비용, 위험성 및 시간 등을 절감하기 위함

○ NASA는 초소형위성을 이용한 차세대 우주비행체의 추진시스템을 공동 개발하고 있으며, 나노/초소형위성을 이용하여 차세대 우주 비행체의 통신, 자세제어, 추진, 전력 및 탑재체 등을 선정하여 공동 개발하고 있음

<표 2-26> NASA 초소형위성의 산업체 공동 연구

프로젝트	협력기관	사업내용
Operation Demonstration for MPS-120 Cubsat	Aerojet General Corp.	초소형위성용 추진시스템 개발
Advanced Hybrid Rocket Motor for Cubesat	Aerospace Corp.	초소형위성용 이원추진시스템 개발
Iodine RF Thruster	Busek Company Inc.	초소형위성용 추력기 개발
1U Cubsat Green Propulsion System	Busek Company Inc.	1U급 친환경 추진시스템 개발
Coupled Electromagnetic Thruster System for Small satellite	MSNW LLC	전자기 플라즈마 추력기 개발
Maraia Earth Return Capsule	NASA Johnson Space Center	110km고도의 지구재진입 캡슐 연구

자료: 윤용식 외, 나노초소형위성 산업 동향과 개발 현황, 2016

- 이들 기술 개발과 함께 NASA에서 수행하고 있는 나노/초소형위성의 주요 우주비행 임무로 먼저 지구 저궤도 탐사를 위해 NASA Ames 연구소에서 2006년 발사한 Genesat-1를 사용하여 지구 저궤도에서 박테리아 실험을 위한 초소형 시험 장치 검증과 태양전지 및 보조 전지의 실험 결과를 무선 통신으로 지상에 전송하는 시험을 수행
 - 2013년에는 PhoneSat 1.0을 발사하여 우주에서 Nexus One 스마트폰 기술을 검증한 바 있으며 2014년에는 EDSN(Edison Demonstration of Smallsat Networks)으로 우주에서 8대의 초소형 위성 사이에 통신 정보 공유를 검증하기 위한 실험을 수행한 바 있음
 - NASA JPL에서는 2014년 ISARA(Integrated Solar Aray & Reflect aray Antena) 사업을 통하여 지상과의 고용량 통신을 위한 Ka-Band 반사판 어레이 안테나 실험을 수행한 바 있으며 2015년 하반기에 NASA로부터 연구비를 지원받은 Tyvak사는 CPOD(Cubesat Proximity Operations Demonstration) 사업을 통해 2대의 초소형 위성을 사용하여 랑데부, 도킹 등의 우주 비행임무를 수행한 바 있음
- 나노/초소형위성을 이용한 달 및 소행성 탐사를 위해 NASA JPL, MSFC와 UCLA가 공동으로 2017년 12월 발사를 목표로 Lunar Flashlight사업을 통하여 달 남극에 얼음의 양과 분포도 등을 탐사

<표 2-27> NASA 초소형위성의 대학 공동 연구

프로젝트	협력기관	사업내용
High Rate X/S-Band Communication System	Colorado Univ.	대용량 전송 통신시스템개발
Novel Integrated Antena	Houston Univ.	안테나 전개방식 및 자재 기술 개발
Precision Navigation with MEMS IMU	West Virginia Univ.	위성의 정밀 제어용 저비용 초소형 MEMS IMU 개발
Autonomous Rendezvous & Docking S/W	Texas Univ.	1m~1km에서 랑데부와 도킹을 자율적으로 수행 하는 S/W 개발
Radiation Tolerant, FPGA-based Computer	Montana State Univ.	상용FPGA를 SEU까지 견딜 수 있도록 고신뢰성 컴퓨터개발
Integrated Precision ADCS	Florida Univ.	별센서 및 정밀 자세제어시스템 의 개발
Propulsion & Orbit Maneuver Integration	Western Michigan Univ.	전기추력기를 이용한 3축 자세 제어 및 궤도 변경 기술 개발
Film-Evaporation MEMS Tunable Aray	Purdue Univ.	극초소형추진기 개발및초전력 열제어 장치 개발
Low Mass, Extreme Low Temp. Energy Storage	California State Univ.	초경량, 초저온 전력 저장 시스템 개발
Compressed Sensing for Advanced Imaging	Texas A&M	제한된출력으로 최대한의 압축형 센싱 기술 개발
Fourier-Transform Spectrometer	Appalach inState Univ.	지구 및 태양관측 등을 위한 초 소형 분광기개발
3-D Printing for Complete Cubesat	New Mexico Univ.	3차원프린터로 초소형위성부품 제작

주1 : MEMS(Micro Electro Mechanical System)

주2 : IMU(Inertia Measurement Unit)은 위성체 미세 전자기계 시스템의 관성측정 장치

주3 : FPGA(Field Programmable Gate Aray)는 프로그램된 논리 요소와 프로그래밍이 가능한 내부선이 포함된 반도체 소자

주4 : SEU(Single Event Upset)는 우주에서 자기 폭풍이나 고에너지 전자에 의해 방전 현상이 일어나는 경우 전자 부품을 손상시켜 저장된 데이터나 소프트웨어를 손상시키고 CPU를 중단시키는 것을 의미

주5 : ADCS(Atitude Determination and Control System)은 인공위성의 자세 결정 및 제어 시스템

자료: 윤용식 외, 나노초소형위성 산업 동향과 개발 현황, 2016

- 우주 태양광 비행선(Solar Sail)을 이용하여 지구에서 달까지 천이비행을 하기 위한 기술 개발 사업을 수행할 예정이며, NASA Marshall Space Flight Center 에서는 Near Earth Asteroid Scout 소행성 탐사 프로젝트를 통하여 초소형위성을 이용한 소행성 랑데부 기술과 소행성 근접비행(flyby)에 의한 정밀 사진 촬영 기술을 개발하기 위한 연구를 수행 중

- 미국의 소형 인공위성기술은 1987년부터 미국항공우주학회(AIAA)와 Utah State University에서 공동 주관하는 Small Satellite Conference에서 체계를 갖추기 시작했다고 할 수 있음
 - 매년 소형위성 관련 논문 발표와 전시회 개최 등을 통하여 현재는 일본, 러시아, 유럽 등의 대학 및 전문 연구기관에서도 참여하는 국제 학술대회로 진행되고 있고, 전 세계 소형위성에 대한 기술 교류 및 기술 개발에 많은 기여를 하고 있음
 - 발사된 통신 위성 가운데 미국의 스타트업(Start-Up) 기업인 Swarm Technologies 社の 사물인터넷(IoT) 통신 중계 위성의 경우 1U 초소형위성의 물리적 크기 및 중량의 1/4에 불과한 것으로 알려져 세계에서 가장 가벼운 위성으로 선정

[일본]

- 일본 JAXA에서는 2011년 국제 우주정거장의 일본 실험 모듈인 Kibo에서 소형위성을 방출하는 실험을 위한 초소형위성 경연대회를 개최
 - 본 경연의 기술적 평가 요인은 인터페이스 및 인공위성의 안정성 요구에 대한 적합성, 시스템 및 서브시스템의 설계 실현성, 위성 운용의 실현성 그리고 개발 관리체계 등의 타당성
 - 임무 평가 요인은 기대에 따른 성과 수준, 시기 적절성, 우주개발 이용의 파생 분야 확정 및 발전성 그리고 인재 육성 효과 등. 이러한 평가 항목을 통하여 3기의 초소형위성을 선정하였고, 2012년 10월 Kibo 모듈에서 로봇 팔을 사용하여 우주궤도로 직접 발사하는데 성공
- 우주정거장 Kibo 모듈에서 초소형위성을 우주에 직접 발사함으로써 지상 발사체에 의한 발사환경 보다 작은 진동 환경으로 위성을 원하는 우주 궤도에 진입시킬 수 있음
 - Kibo의 초소형위성 발사는 2012년 10월 일본 3기, 미국 2기, 2013년 1월 일본 /베트남 1기, 미국 3기, 2014년 2월 미국 30기, 리투아니아 2기 페루 1기, 2014년 8월 미국 12기, 2015년 2월 브라질 1기 그리고 2015년 3월 미국 16기 등을 성공적으로 발사한 바 있음
- 일본에서 초소형위성의 본격적인 시작은 2003년 6월 도쿄대와 도쿄공업대(이하 Titech)가 1kg급 초소형 위성인 CubeSat XI*-IV를 개발하면서부터 시작됨

* CubeSat XI : 3만 달러 규모의 예산으로 2년의 개발 기간과 8년 이상의 수명을 가

진 위성 대학을 중심으로 한 일본의 초소형위성

- 개발 사업은 처음에 우주 사업 전반에 대한 실제 교육, 실패로 부터의 교훈, 사업 관리 훈련, 국제 협력과 상호 이해 그리고 다른 기술 분야로의 기여 등 주로 교육적인 목적
- 도쿄대학 주관으로 개발된 초소형위성은 2003년 7월 발사된 Cubesat XI-IV와 2005년 10월에 발사된 Cubesat XI-V, 2009년 1월에 발사된 PRISM Hitomi 그리고 2015년에 발사된 Nano-JASMINE 등
- 이들 위성이외에 Titech의 Cute1.7+APD(2006년, 2008년)와 KKS-1 (2009년), 니혼대학의 SEEDS FM1(2006년)및 FM2 (2008년), 홋카이도 기술연구소의 HITSAT(2006년), 카가와대학의 STARS(2009년), 토호쿠대학의 SPRITE-SAT(2009년), UNSEC의 UNITEC-1(2010년), 가고시마대학의 KSAT(2010년), 와세다대학의 WASEDA-SAT2(2010년), 소카대학의 Negai☆(2010년), 큐슈기술연구소의 HORYU-I(2012) 등의 초소형위성이 개발되어 발사됨

○ 일본 정부 사업으로 도쿄대에서 주관하고 있는 Hodoyoshi 프로젝트는 2010년부터 2015년까지 4기의 위성을 개발하면서 초소형위성의 신뢰성 개념 수립, 요소 기술 개발, 소프트웨어 등 제작 공정 개발 그리고 위성 결과의 민간 이용자 그룹 창출 등을 목적으로 사업을 수행중

- 2002년에는 비영리단체인 UNISEC(University Space Engineering Consortium)을 설립하여 대학 수준의 초소형위성과 하이브리드 로켓을 설계, 개발, 제작 및 발사 등을 수행중
- 이 단체는 외국인을 포함한 50명 이상의 학생 회원과 20명의 지원자로 구성 되어 약 40개 대학에서 60여개 실험실 등이 참여하고 있음

<표 2-28> Kibo 발사 실험을 위한 초소형위성

위성명	개발기관	크기	주요임무
RAIKO	오가야마대	2U	지구 촬영 발사시 상대 운동 관측
FITSAT-1	후쿠오카공업대	1U	고속 송신 모듈 실험
WE WISH	명 성 전 기 (주)	1U	초소형 열적외선카메라 실험

자료: 윤용식 외, 나노초소형위성 산업 동향과 개발 현황, 2016

[캐나다]

- 캐나다의 초소형위성의 제작, 발사 및 운용을 가장 활발히 수행하는 곳은 토론토 대학 내에 UTIAS SFL(Space Flight Laboratory, 이하 SFL)
 - USFL에서는 인공위성 시스템 및 서브시스템의 개념에서 운용까지 연구하는 석사과정과 박사과정을 개설하여 운용 중
 - 또한 SFL에서는 CanX 계열의 캔 위성과 NLS(Nanosatellite Launch Service)와 NEMO(Nanosatellite for Earth Monitoring Observation)계열의 나노위성을 독일, 네덜란드, 덴마크 그리고 일본의 대학과 함께 설계, 제작, 발사를 수행하고 있음
 - 캔위성 및 나노위성의 우주비행 검증을 거친 XPOD 분리시스템을 개발하여 사용하고 있음
- 적용 시사점
 - 위성개발 기술부족 국가와 스타트업 중심으로 초소형 위성개발에 대한 시장 진입 장벽이 상대적으로 낮은 조건 활용필요
 - 기존 중·대형위성 대비 군집운영 방식으로 통해 특정지역에 대한 준 실시간 관측이 가능하며, 개발비용 및 위험성, 개발시간 측면에서 상대적인 기술 비교 우위점을 가진 초소형 위성개발을 적극 활용해야 함
 - 초소형 위성의 사양은 1U~12U까지 다양한 시도가 이루어지고 있음
 - 최근의 개발추세에 따라 소형위성 플랫폼의 활용분야가 다변화되고, 지구관측, 위성통신, 우주과학 분야에 두드러진 기술진보가 나타나고 있는 추세 활용 필요

나. 국내 현황

- 최근 국내 연구기관과 기업을 중심으로 초소형위성과 초소형위성 플랫폼 개발에 관심이 높아지고, 다양한 임무에 적합한 기술획득을 추진
 - 2012년부터 과기부 초소형위성 경연대회가 추진되어 국내 대학 중심의 초소형위성 플랫폼의 제작과 관련 임무 수행을 추진
 - 대학이 자유롭게 초소형위성의 임무와 개발 방식을 제안하는 도전적인 프로그램이었으나, 개발 경험과 자원 부족 등의 이유로 다수의 위성이 발사 후 교신에 실패하였거나 제한적 임무만 수행

□ 선진국 대비 늦은 착수('90년대부터 우주개발에 투자 시작)와 낮은 예산에도 불구하고, 위성 분야의 경쟁력은 상당 부분 확보

○ 국가수요의 사업단위로 계획 추진되어 다목적실용 3A 6 7호, 정지궤도 2A 2B호, 차세대중형 1호, 차세대소형 1호 등 다양한 위성 개발

○ 세계 최초의 고해상도 중적외선 센서 탑재 위성인 다목적 3A호를 통해 정밀광학위성 설계기술 100%, 주요 구성품 67% 국산화 달성

□ 적용 시사점

○ 국내 소형위성은 다양한 부품과 기술의 우주환경 검증을 수행하고, 중대형 위성에 적용될 부품의 사전 기술시연 플랫폼 차원에서 활용되는 발전과정을 보임

○ 최근 국내 연구기관과 기업을 중심으로 초소형위성과 초소형위성 플랫폼 개발에 대한 관심이 증가하고 있으며, 다양한 임무에 적합한 기술획득을 추진하고 있으므로 극지관측용 위성개발에 필요한 기술획득 가능성도 높음

○ 최근 초소형위성 분야에 대한 관심이 높아지면서 위성부품 기업과 신생기업의 시장진출이 활발하게 진행되고 있으며, 정부도 다양한 공공서비스에 초소형위성 활용을 준비 중에 있음

○ 극지를 비롯한 다양한 타위성자료 및 관측자료에 대한 자료의 상호운용성을 고려한 영상처리 및 활용시스템 개발 및 이를 전담수행할 위성센터의 역할도 필요함

제3장 수요조사

제1절 전문가 수요조사

1-1. 전문가 수요조사 개요

- 국내 각 분야별 위성개발 및 활용 전문가 34명을 대상으로 북극 해빙 관측 초소형위성에 대한 수요조사를 수행

<표 3-1> 초소형위성 수요조사 대상자 목록

전문가	소속	직급 (혹은 직위)
강경인	KAIST 인공위성연구소	책임연구원
김도형	기상청 국가기상위성센터	과장
김유일	인하대학교	교수
김원국	부산대학교	교수
김철현	대우조선해양	책임연구원
김해동	한국항공우주연구원	책임연구원
김현수	인하공업전문대학	교수
박수영	국토교통부 국토지리정보원 국토위성센터	연구관
사공영보	(주) 솔탑	대표이사
손영백	한국해양과학기술원 제주특성연구센터	센터장
신동석	(주) 씨트랙아이	전무이사
양효진	국토지리정보원 국토위성센터	연구관
유주형	한국해양과학기술원 해양위성센터	센터장
이동원	국립환경과학원	과장
이창욱	강원대학교	교수
이철	KAIST 인공위성연구소	책임연구원
이훈열	강원대학교	교수
임정호	울산과학기술원	교수
임종빈	국가우주정책연구센터	선임
정대원	한국항공우주연구원	책임연구원

전문가	소속	직급 (혹은 직위)
정재훈	국립환경과학원 환경위성센터	연구관
정형섭	서울시립대학교	교수
조영헌	부산대학교	교수
채태병	한국항공우주연구원	책임연구원
최종국	한국해양과학기술원 해양위성센터	책임연구원
최중효	대우조선해양	책임연구원
한경수	부경대학교	교수
한희정	한국해양과학기술원 해양위성센터	책임기술원
현창욱	동아대학교	교수
홍상훈	부산대학교	교수
홍성욱	세종대학교	교수
홍성원	영산대학교	교수
황의호	수자원공사 수자원위성연구센터	센터장
황재동	국립수산과학원	연구사

자료: 수요조사 결과

□ 수요조사 질문항목

- 위성자료 유형
- 기존 위성의 극지 활용 애로사항
- 극지관측 초소형위성의 활용 계획
- 수동마이크로파 센서 활용 연구분야
- 고해상도 광학 센서 활용 연구분야
- 극지관측 초소형위성으로부터 원하는 산출물의 유형

1-2. 전문가 수요조사 결과

□ 위성자료 유형

○ 위성자료는 활용위성, 탑재체 종류, 산출물 유형 관점에서 제시

<표 3-2> 사용한 또는 사용할 계획인 위성자료 유형

구분	전문가 답변
활용 위성	▪ SSMI, AMSR, Landsat, Modis, Sentinel-1, ALOS, ALOS-2, Envisat, Kompsat-5, Cryosat-2, Icesat-1/2, COSMO-SkyMED
탑재체 종류	▪ 광학 센서, 초분광 센서, 수동마이크로파 센서, 능동마이크로파 센서, 고도계
산출물 유형	▪ 해빙 두께, 해빙 나이, 해빙 이동 경로 등

자료: 수요조사 결과

□ 기존 위성의 극지 활용 애로사항

- 기존 저궤도 위성을 극지연구에 활용하는데 있어 애로사항을 7가지 항목으로 구분하고 각 항목에 대해 5점척도로 평가
- 조사결과 자료 확보 용이성, 자료 제공 주기, 시간 해상도, 대용량 자료 취득 속도에 대한 애로사항이 상대적으로 높은 것으로 나타남
- 기타 애로사항으로는 '검증자료 획득의 어려움'이 조사됨

<표 3-3> 기존 위성을 극지연구에 활용하는데 있어 애로사항

구분	평가항목 별 답변 수				
	매우 불만족	불만족	보통	만족	매우 만족
산출물의 정확성	0	2	5	2	0
자료 확보 용이성	2	3	4	0	0
자료 제공 주기	2	3	4	0	0
공간 해상도	0	2	4	3	0
시간 해상도	0	6	3	0	0
대역 및 분광 해상도	0	3	4	2	0
대용량 자료 취득 속도	1	4	4	0	0
합계	5	23	28	7	0

자료: 수요조사 결과

□ 극지관측 초소형위성의 활용 계획

<표 3-4> 극지관측 초소형위성 활용 계획

구분	전문가 답변
탑재체 종류	<ul style="list-style-type: none"> 수동마이크로파 센서, 광학 센서
활용 목적 (사유)	<ul style="list-style-type: none"> 수동마이크로파 센서 산출물의 검보정을 위해 고해상도 광학 센서 자료를 활용 적은 비용으로 사용자 목적에 최적화된 임무설계 시계열 자료의 확보 증대, 결측의 감소 개수를 늘려서 편대로 이동한다면 시간해상도를 높이거나 광역 관측을 시도하는 효과도 얻을 수 있음 고해상도 해빙정보 map을 통한 북극항로 선박에 작용하는 빙하중 추정 정확도 향상

자료: 수요조사 결과

□ 수동마이크로파 센서 활용 연구분야

<표 3-5> 초소형위성 센서 활용 수요

구분	센서 활용 연구분야
수동마이크로파 센서	<ul style="list-style-type: none"> 해빙 종류, 농도, 두께, 면적, 표면 거칠기 토양 습도, 표층염분, 수온, 바람, 빙하중 추정, 선박 구조 건전성 관리
정밀 광학 센서	<ul style="list-style-type: none"> 해빙 표면 구조, 해빙 변화 탐지, 해빙 3차원 수치표고모델 생성, 해빙 에너지 순환 연구 토지피복 분류, 변화탐지, 농업/산림 분야, 영구동토층, 선박 탐지, 선박 이동 분석, 해양 염록소 농도 변화, 육상 감시 및 변화탐지, 해빙 집적도 분석, 빙하중 추정
원하는 산출물 유형	<ul style="list-style-type: none"> 빙권산출물(해빙 온도, 농도, 두께, 거칠기, 알베도, 이동 경로), 환경/대기/기상 산출물, 표층염분, 육상 산출물

자료: 수요조사 결과

□ 요약 및 시사점

- 활용도가 높은 위성자료의 유형은 광학 센서, 마이크로파 센서, 그리고 고도계를 통해 얻은 자료인 것으로 나타남
- 기존 저궤도 위성자료에 대한 만족도는 만족한다는 답변보다 불만족한다는 답변이 4배 더 많이 나온 것으로 볼 때, 현재 운용되고 있는 저궤도

위성자료의 보급 및 활용 체계에 대한 개선이 필요

- 극지관측 초소형위성의 활용도는 높게 평가되었으며, 그 이유로는 다수의 초소형위성을 통한 높은 시간 해상도 획득 및 광역 관측의 가능성이 대부분을 차지하였음
- 수동 마이크로파 센서의 활용 분야로는 해빙, 토양수분, 표층염분, 북극항로 등의 답변이 많았으며, 특히 해빙과 관련해서는 해빙의 종류, 해빙 거칠기, 해빙 면적, 해빙 농도, 해빙 두께 등의 정보 획득을 기대하는 것으로 나타남
- 고해상도 광학 영상을 통해 얻을 수 있는 정보로는 해빙의 표면구조 및 에너지 순환, 해빙 집적도, 3차원 수치표고모델, 토지 피복의 분류 및 변화탐지, 해양 엽록소, 선박 이동 경로 등을 기대하는 것으로 나타남
- 극지관측 초소형위성의 기대 산출물로는 빙권, 해양, 대기, 기상, 환경 등 다양한 분야의 활용도를 갖는 산출물을 기대하는 것으로 나타남
- 극지관측 초소형위성은 기존 저궤도 위성의 낮은 시간해상도를 개선할 수 있다는 점에서 필요성이 높게 평가되고 있으며, 수동 마이크로파 센서와 다분광 센서가 탑재되면 높은 활용도를 기대할 수 있음

2-1. 기술 수요조사 개요

□ 조사목적

- 극지와 관련된 분야의 연구자를 대상으로 극지관측 초소형위성 개발 및 (가칭)극지위성센터 기능확장에 대한 연구자들의 의견 조사를 위한 수요조사 실시
- 극지관측 초소형위성 개발 및 (가칭)극지위성센터 운용 계획 수립 타당성 분석을 위한 기초자료 확보를 위하여 수요조사 실시

□ 조사설계

○ 조사대상

- 원격탐사학회와 해양학회 회원

○ 조사방법

- 해당 학회에 의뢰하여 학회 회원들에게 이메일로 설문 웹페이지 링크를 전달하는 방식으로 설문 진행
- 설문 웹페이지는 리서치 전문업체인 (주)엠브레인에 의뢰하여 제작

○ 소요일정: 총 1주 내외

- (주)엠브레인의 설문 검토(1~2일 소요)
- 원격탐사학회와 해양학회의 설문 진행 및 (주)엠브레인의 결과 정리(4~5일 소요)
- 트리마란이 설문결과 분석 수행(1~2일 소요)

○ 설문 결과물: 엑셀 통계표

□ 질의내용

- 설문 문항 초안 작성 후 문항간 연계성을 고려하고 중복성을 피하도록

문항 내용 및 문항간 배치를 조정하고 각 부문별 설문항목을 대·중분류로 구성

<표 3-6> 수요조사 질의 내용

대분류	중분류	질의 내용
	응답자 정보	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 응답자 유형, 응답자 연구분야, ▪ 연구자 유형별 연구분야, 직종 유형별 연구분야
위성 센터	위성영상 사용 실태	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성영상 사용현황 ▪ 위성영상 활용 저해요소 ▪ 위성영상 활용 촉진요소 ▪ 위성영상 연간 구매수준 ▪ 위성영상 장당 구매비용 ▪ 위성영상 연간 구매예산
초소형 위성	초소형위성 활용 니즈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성 활용의지 ▪ 초소형위성 활용연구분야 ▪ 초소형위성 고려사항 및 극지위성센터 기대역할 ▪ 초소형위성 기대산출물
	초소형위성 전략 가치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성 개발 시급성 ▪ 초소형위성 기술개발 가능성 ▪ 초소형위성 관측자료 활용성

자료: 수요조사 결과

2-2. 기술 수요조사 결과

- 연령대는 40대를 중심으로 30대에서 50대까지의 비중이 80%정도를 차지하고 있으며, 학력은 박사급(70%)이, 직종은 학계·연구계 비중(각 45% 내외)이 상대적으로 크게 나타남

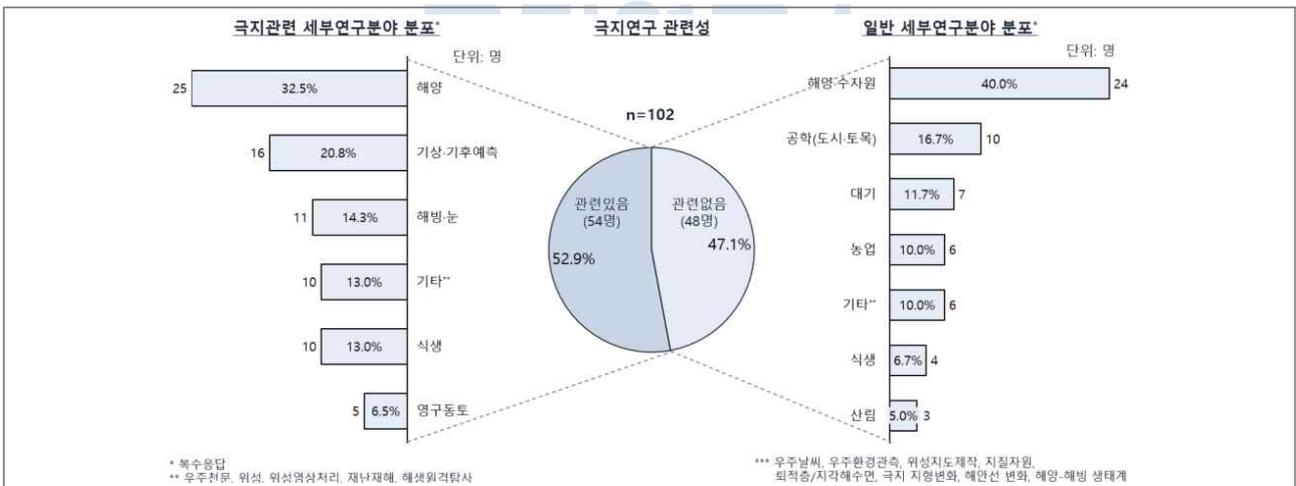
[그림 3-19] 응답자 유형



자료: 수요조사 결과

- 응답자 중 극지 관련 연구수행자는 과반을 상회(52.9%)하고 해양, 기상·기후예측 분야 비중이 크며, 일반연구분야는 해양·수자원, 공학(도시·토목) 분야가 높은 수치를 보임

[그림 3-20] 응답자 연구분야

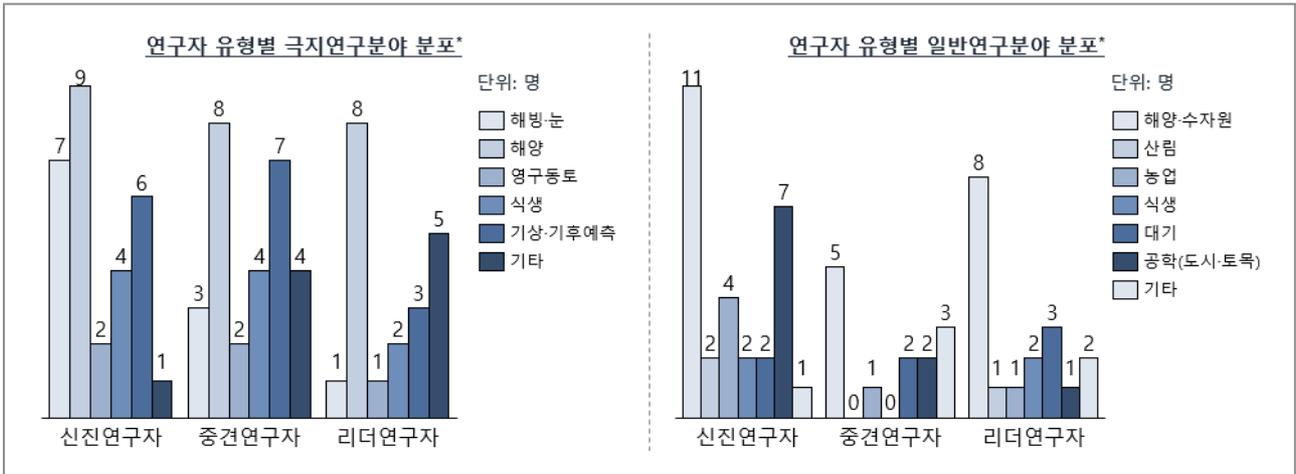


자료: 수요조사 결과

- 연구자 유형* 모두 극지관련 연구에서는 해양 분야에 대한 연구비중이 가장 높았으며, 일반 연구주제에서는 해양/수자원 분야를 가장 많이 연구 중인 것으로 조사됨

* 연구자유형: 20·30대→신진연구자, 40대→중견연구자, 50·60대이상→리더연구자

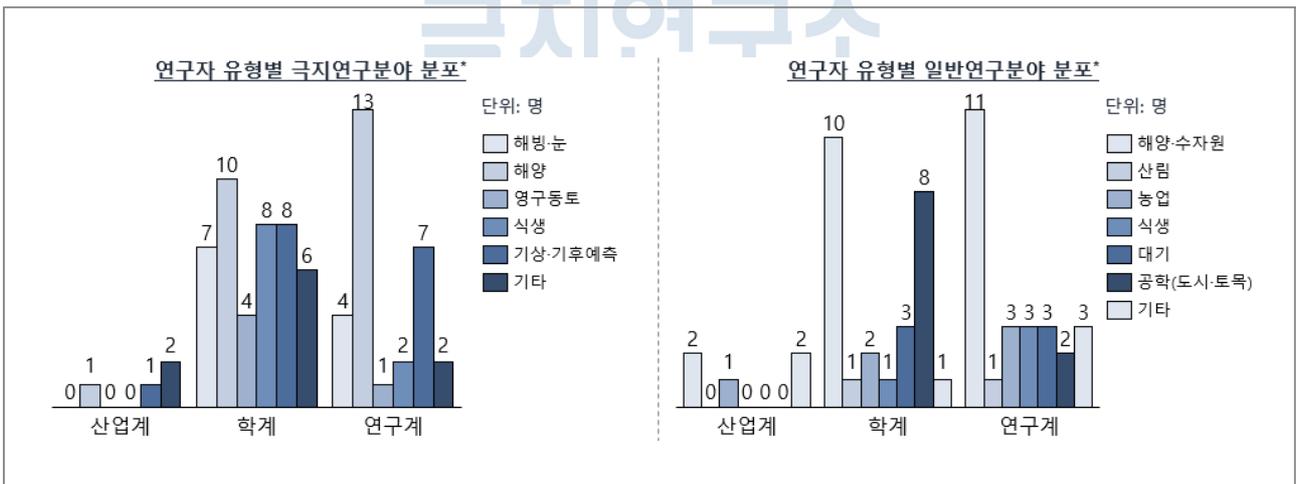
[그림 3-21] 연구자 유형별 연구분야



자료: 수요조사 결과

- 학계와 연구계 모두 극지관련 연구분야 중 해양분야에 대한 연구를 가장 많이 수행하는 것으로 나타났으며, 일반 연구분야에서는 해양/수자원 연구를 제일 많이 하는 것으로 파악됨

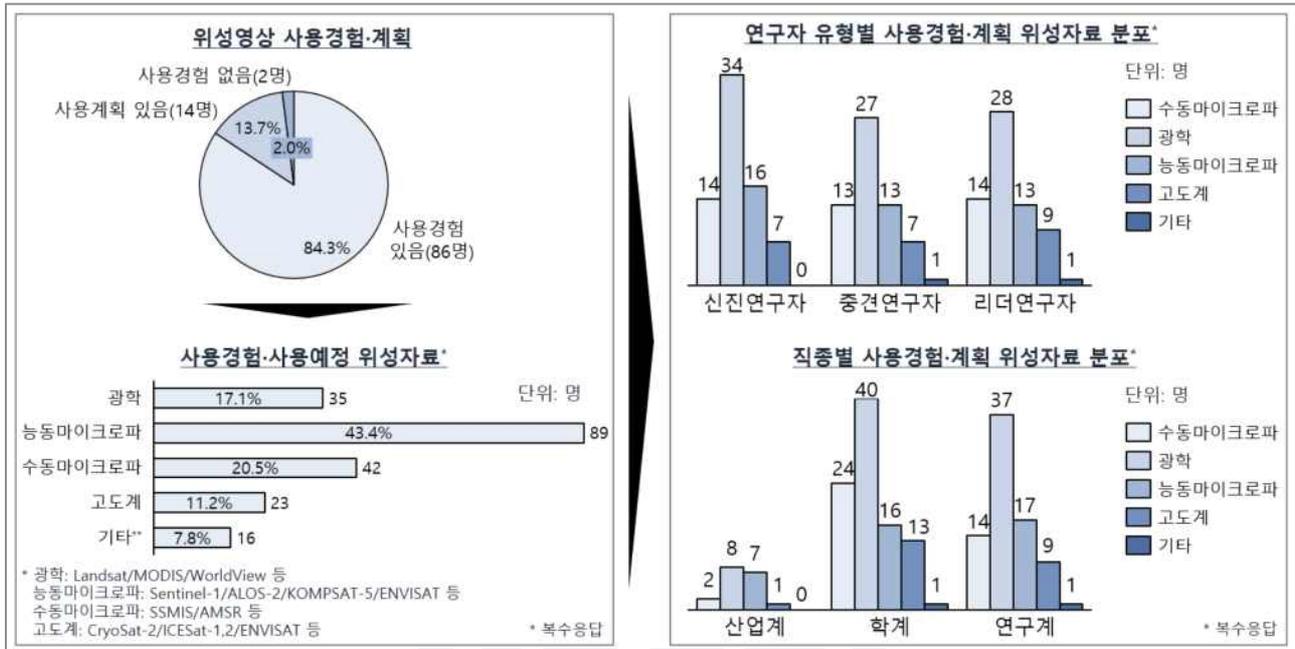
[그림 3-22] 직종 유형별 연구분야



자료: 수요조사 결과

- 위성영상 사용경험 보유응답자가 85%에 달하고 사용계획도 13.7%를 보여 활성화 수준이 높으며, 연구자·직종 유형별로 광학, 능동·수동 마이크로파 순으로 활용도가 크게 나타남

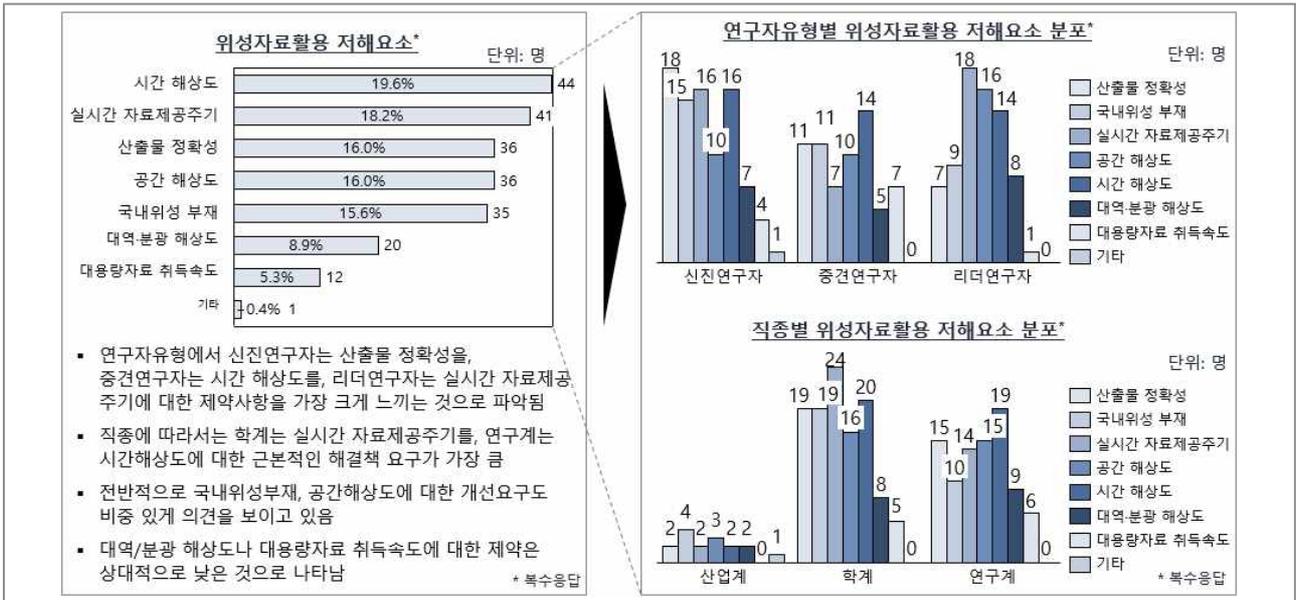
[그림 3-23] 위성영상 사용 현황



자료: 수요조사 결과

- 위성영상자료 활용에 제약을 주는 요소로 시간 해상도가 가장 높은 수치를 보이고 있으며, 연구자유형 및 직종에 따라서 최우선시 하는 저해요소가 다르게 나타남
- 연구자유형에서 신진연구자는 산출물 정확성을, 중견연구자는 시간 해상도를, 리더연구자는 실시간 자료제공 주기에 대한 제약사항을 가장 크게 느끼고 있는 것으로 파악됨
- 직종에 따라서는 학계는 실시간 자료 제공 주기를, 연구계는 시간해상도에 대한 근본적인 해결책 요구가 가장 큼
- 전반적으로 국내 위성 부재, 공간해상도에 대한 개선요구도 비중 있게 의견을 보이고 있음
- 대역/분광 해상도나 대용량자료 취득 속도에 대한 제약은 상대적으로 낮은 것으로 나타남

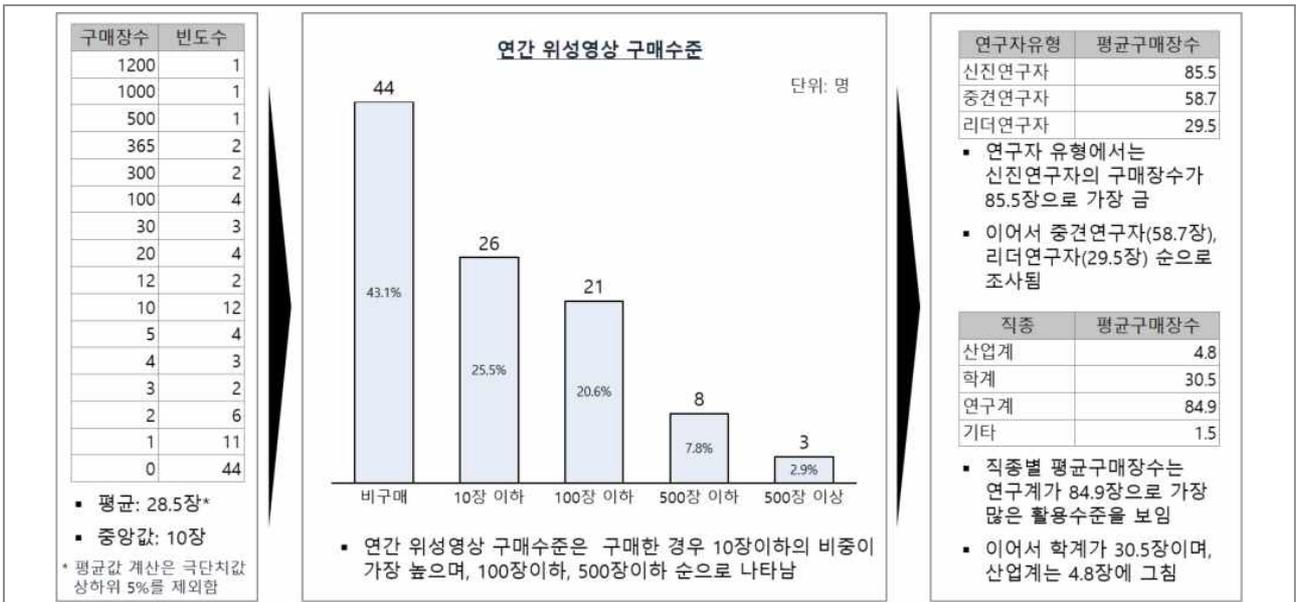
[그림 3-24] 위성영상 활용 저해요소



자료: 수요조사 결과

□ 위성영상은 연간기준 평균 28.5장을 구매하고 이 중 10장 이하의 비중이 가장 높게 나타났으며, 신진연구자와 연구계에서 상대적으로 많은 구매수준을 보이고 있음

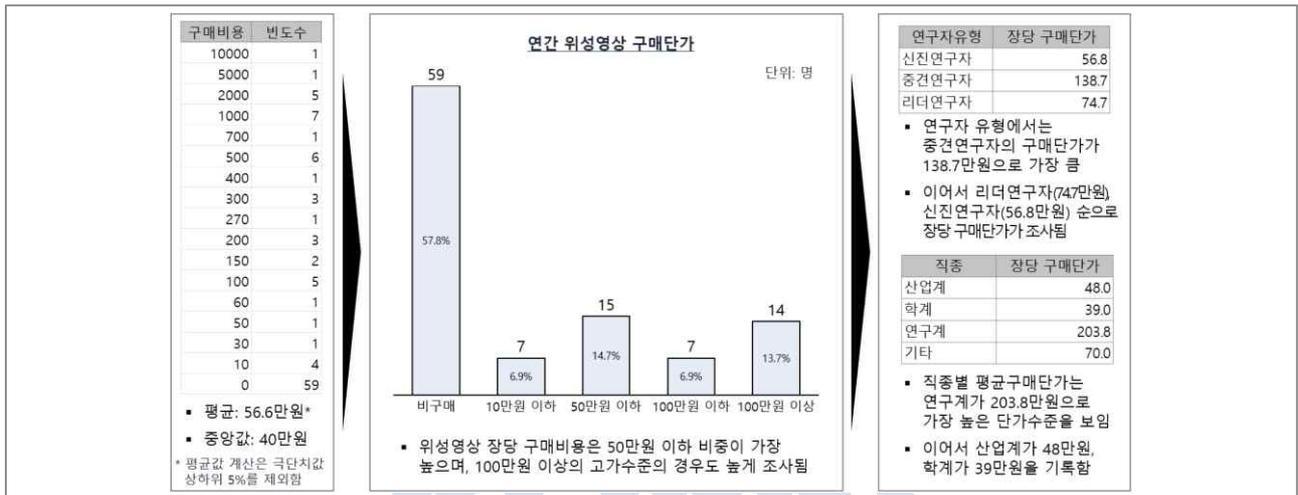
[그림 3-25] 위성영상 연간 구매 수준



자료: 수요조사 결과

- 위성영상은 구매단가는 평균 56.6만원인데, 50만원 이하 비중과 100만원 이상의 비중이 비슷한 규모를 기록했으며, 중견연구자와 연구계에서 상대적으로 높은 구매단가를 보임

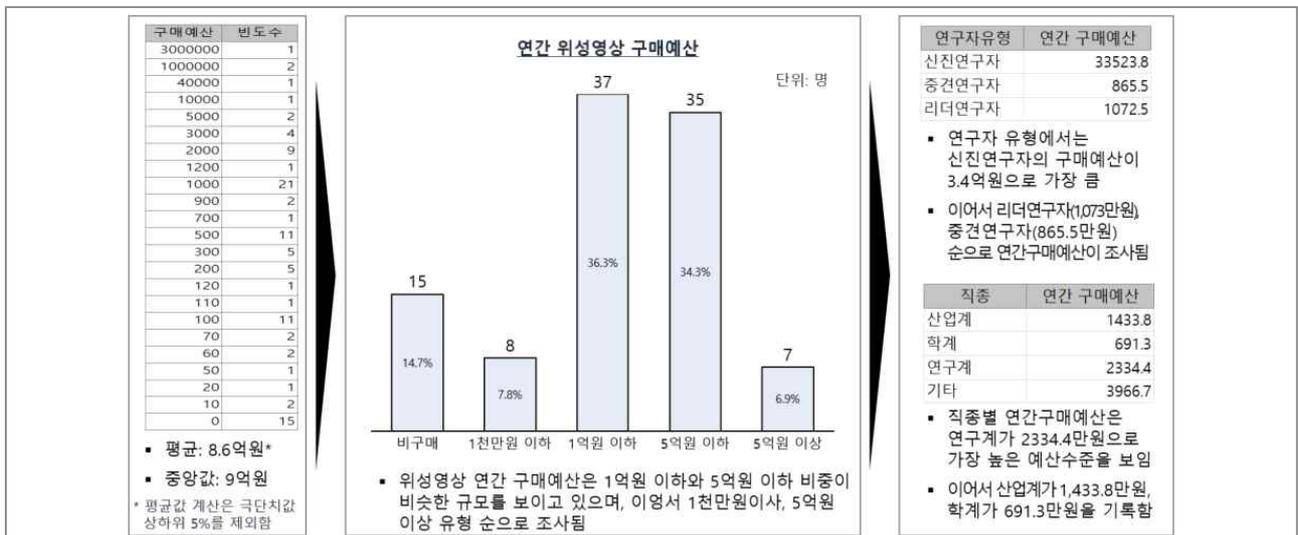
[그림 3-26] 위성영상 장당 구매비용



자료: 수요조사 결과

- 위성영상은 구매예산은 평균 8.6억인데, 1억원 이하 비중과 5억원 이상 비중이 비슷한 규모를 기록했으며, 신진연구자와 연구계에서 상대적으로 높은 구매 예산을 보임

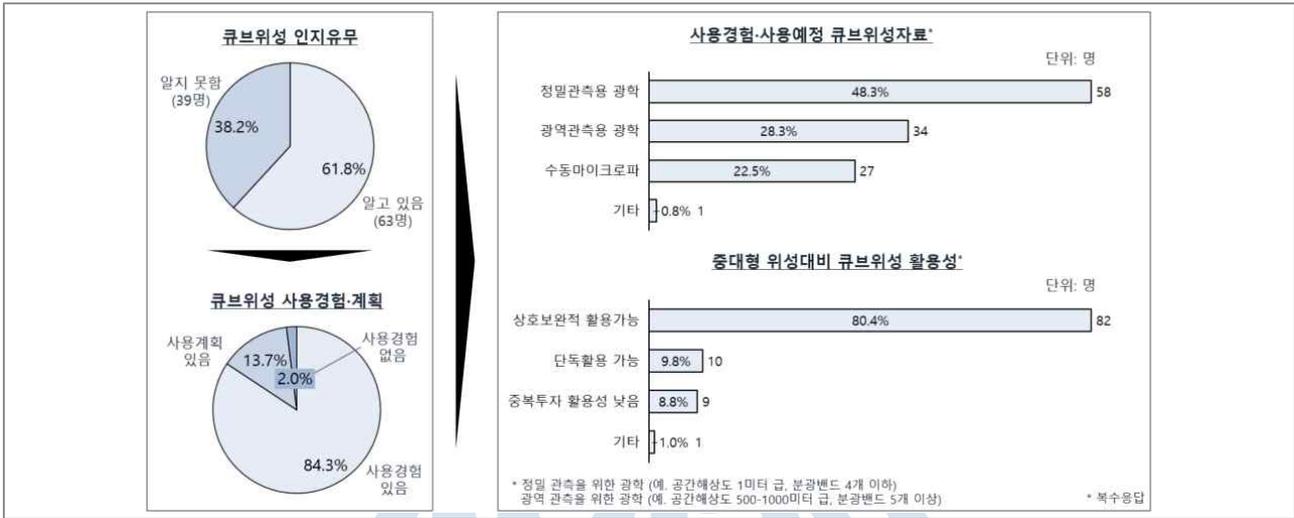
[그림 3-27] 위성영상 연간 구매 예산



자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 인지비중은 61.8%이고 이 중 사용경험·계획 보유응답자가 98%에 달하며, 정밀관측용 광학자료 니즈가 크고 중대형 위성과 상호보완적 활용성이 크다고 인식하고 있음

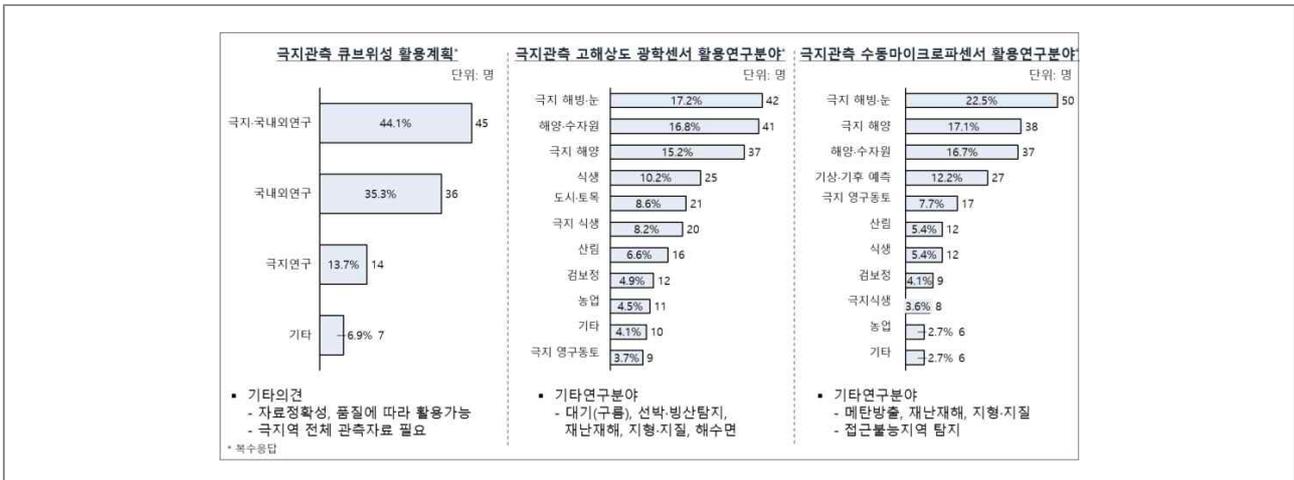
[그림 3-28] 초소형위성 활용 의지



자료: 수요조사 결과

- 극지를 비롯해 국내외 관련 연구에 폭넓게 사용한다는 의견비중이 가장 컸으며, 주요 연구가능분야로 극지 해빙·눈, 해양·수자원, 극지해양 등의 비중이 상대적으로 크게 나타남

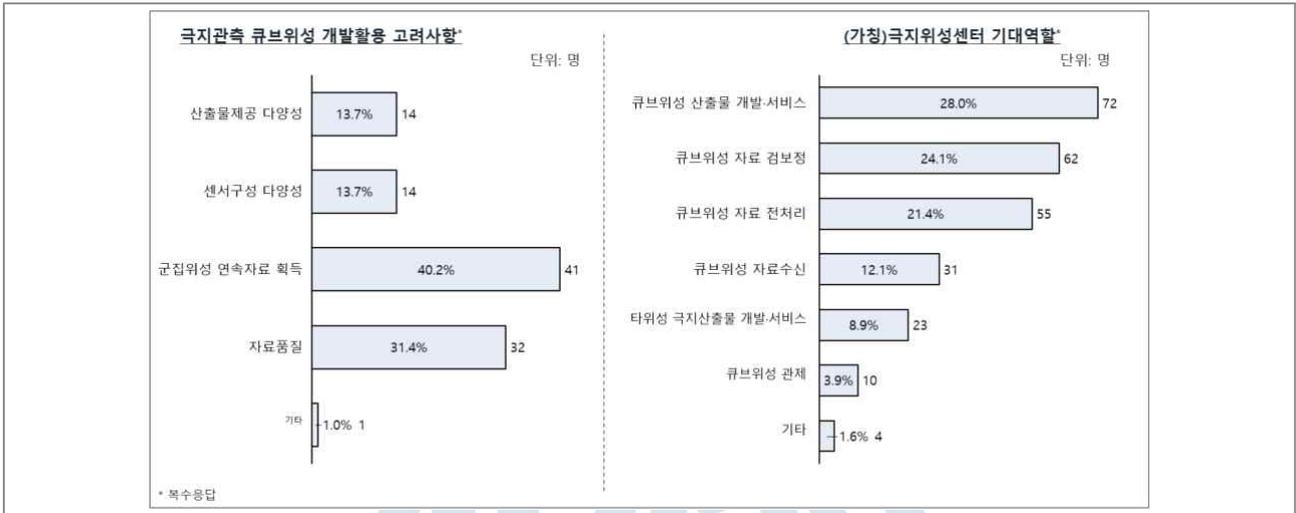
[그림 3-29] 극지 관측용 초소형위성 활용 연구분야



자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 개발·활용시 군집위성을 통한 연속자료획득에 대한 니즈가 가장 높았으며, (가칭)극지위성센터에서 초소형위성 관련 산출물 개발·서비스에 기대가 가장 크게 조사됨

[그림 3-30] 극지관측 초소형위성 고려사항 및 극지위성센터 기대역할



자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 주요 기대산출물은 빙권-해빙두께와 해빙농도, 대기·기상-강수량과 수증기량, 해양-해수면온도와 해수반사도, 육상-식생지수와 토양수분에 대한 니즈가 상대적으로 큼

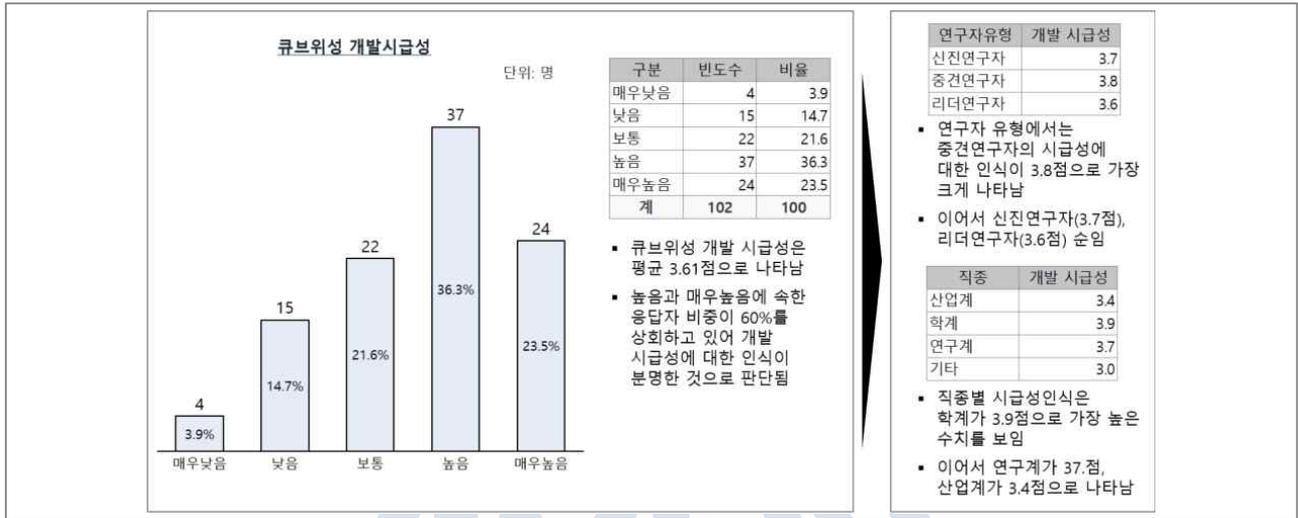
[그림 3-31] 극지관측 초소형위성 기대 산출물

빙권			대기·기상			해양			육상		
구분	빈도수	비율	구분	빈도수	비율	구분	빈도수	비율	구분	빈도수	비율
해빙두께	28	34.6	강수량	19	31.7	해수면온도	25	65.8	식생지수	37	52.1
해빙농도	28	34.6	수증기량	17	28.3	해수반사도	21	55.3	토양수분	11	15.5
해빙면적	7	8.6	구름분포	8	13.3	엽록소분포	6	15.8	지표온도	7	9.9
해빙분포	6	7.4	지표온도	5	8.3	해표면 파랑	5	13.2	토지피복	4	5.6
해빙온도	4	4.9	미세먼지	4	6.7	해수흐름	4	10.5	재난관측	3	4.2
해빙이동경	3	3.7	강설량	2	3.3	표층염도	4	10.5	적설지역	2	2.8
극지 지질	2	2.5	에어로졸	2	3.3	해상풍속	3	7.9	가뭄지수	1	1.4
해빙적설	1	1.2	AOD	2	3.3	해색	3	7.9	고도변화	1	1.4
해빙안전성	1	1.2	평균해면기	1	1.7	해표면고도	3	7.9	육지간척	1	1.4
해빙유형분	1	1.2	계	60	100	해양오염	3	7.9	지반변위	1	1.4
계	81	100				부유물농도	2	5.3	지질분속	1	1.4
						부유물이동경로	2	5.3	지형분석	1	1.4
						해수속도	1	2.6	해안선변화	1	1.4
						해안선변화	1	2.6	계	71	100
						해양식생	1	2.6			
						계	38	100			

자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 개발에 대한 시급성에 대한 인식조사에서 평균 3.6점을 기록했으며, 연구자 유형에서는 중견연구자(3.8점)가, 직종에서는 학계(3.9점)에서 시급한 개발니즈가 확인됨

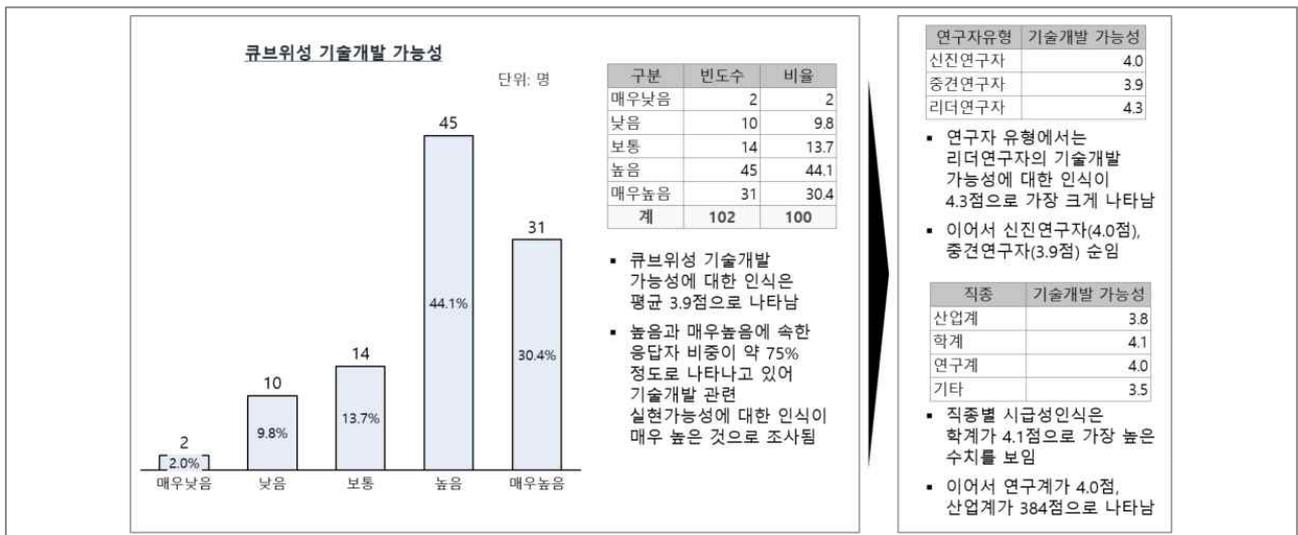
[그림 3-32] 초소형위성 개발 시급성



자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 기술개발 가능성에 대한 인식조사에서 평균 3.9점을 기록했으며, 연구자 유형에서는 리더연구자(4.3점)가, 직종에서는 학계(4.1점)가 가능성을 높게 보고 있음

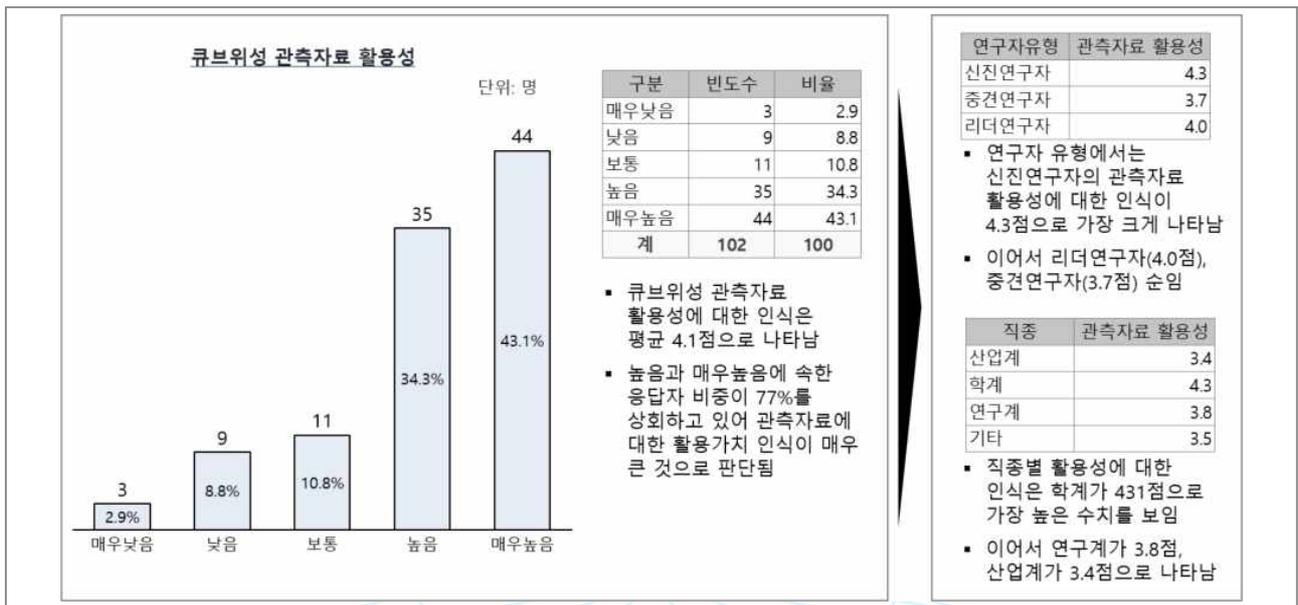
[그림 3-33] 초소형위성 개발 가능성



자료: 수요조사 결과

- 초소형위성 관측자료 활용성에 대한 인식조사에서 평균 4.1점을 기록했으며, 연구자 유형에서는 신진연구자(4.3점)가, 직종에서는 학계(4.3점)가 가능성을 높게 보고 있음

[그림 3-34] 초소형위성 관측자료 활용성



자료: 수요조사 결과

극지연구소

□ 요약 및 시사점

- 연구 분야의 극지 관련 여부와 상관없이 위성정보 활용분야는 해양 분야가 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 위성정보 유형 중 가장 많은 수요가 있는 유형은 광학 영상정보이고 그 다음이 수동/능동 마이크로파인 것으로 나타남
- 극지관측 정보를 다목적실용위성에 의존하고 있는 현 상황에 대해 응답자의 의견을 종합해보면, 극지관측 전용위성의 부재로 인한 가장 큰 어려움은 극지관측 데이터의 시간해상도가 낮고 자료제공 주기도 길다는 점에 있음
- 위성정보 선호 유형에 대해서는 믿을 수 있는 자료를 편리하게 얻고 싶다는 수요가 강한 것으로 나타남
- 전체 응답자의 71%가 향후 초소형위성 활용 계획을 갖고 있으며, 이는

관련 산업 육성 및 극지관측 초소형위성의 신뢰도 향상에도 긍정적 요인으로 작용함

- 초소형위성을 통해 생성한 영상 산출물의 유형별 수요를 살펴보면 정밀광학 산출물이 가장 필요한 것으로 나타남
- 국내 연구자들은 초소형위성과 기존의 중대형 위성의 상호 보완적 기능에 대해 긍정적으로 평가하고 있음
- 위성정보 사용자의 의지와 실현 가능성 측면에서 극지관측 위성을 타 분야 활용을 위한 지구관측에 활용하고자 하는 수요가 있음
- 위성정보 사용자는 위성 하나가 생성하는 영상 품질보다 여러 위성으로 구성된 군집위성의 필요성을 더욱 크게 인식하고 있음
- 위성 관제는 극지위성센터의 역할로 인식되지 않고 있음



제4장 사업 방향 및 내역사업

제1절 사업 비전 및 목표

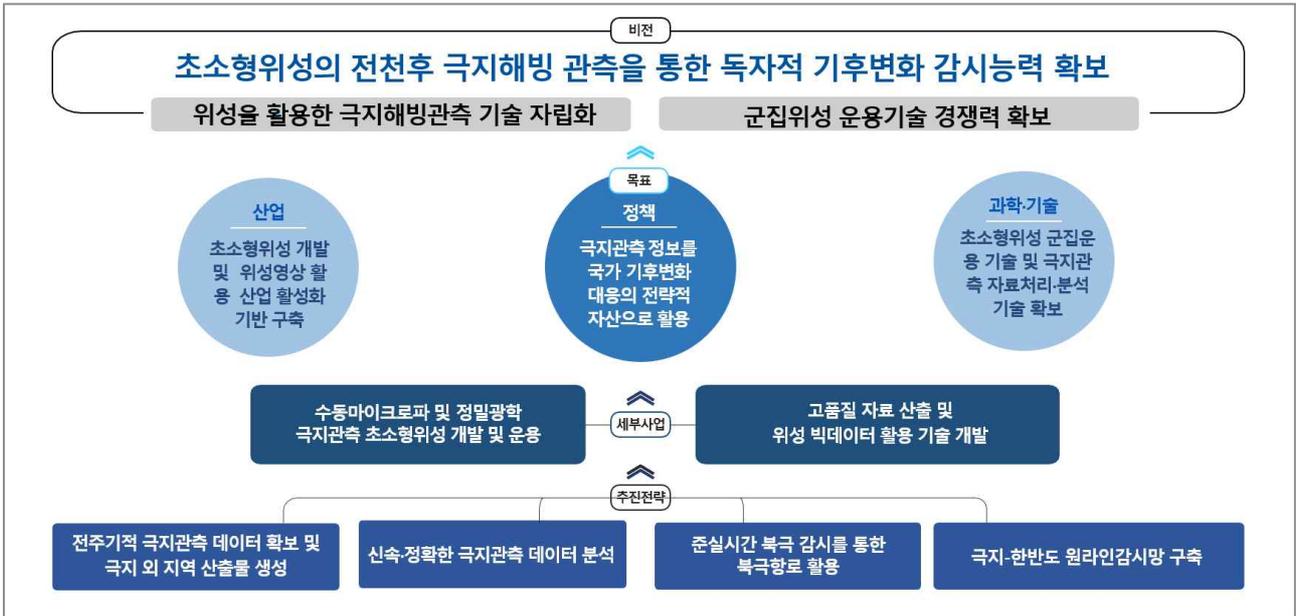
- 북극 해빙 감시 초소형 위성 개발 및 운용
 - 해빙 변화 감시가 가능한 독자적인 초소형 위성을 개발 및 운용
 - 수동형마이크로파 4기, 정밀 광학 센서 2기
 - 현재 개념 정립 수준인 초소형 위성 군집 운용 및 활용에 대한 기반 기술 확보
- AI기반 초소형 위성정보 활용기술 개발
 - 온난화 대응 등 공공목적에 적합한 해빙 정보 생산, 검보정 기술 개발을 통한 위성정보 품질 향상
 - 북극-한반도 원라인 감시를 위한 AI 활용기술 개발

1-1. 사업 비전

“ 초소형위성의 전천후 극지해빙 관측을 통한 독자적 기후변화 감시능력 확보” 달성
선제적 온난화 대응을 위한 초소형위성 개발 및 운용을 통한 고품질 해빙 정보 생산 및 AI기반 위성 빅데이터 활용 기술을 개발

- 본 사업의 추진 배경과 목적, 환경분석 및 수요 조사를 기반으로 사업 비전을 “초소형위성의 전천후 극지해빙 관측을 통한 독자적 기후변화 감시능력 확보 (선제적 온난화 대응을 위한 초소형위성 개발 및 운용을 통한 고품질 해빙 정보 생산 및 AI기반 위성 빅데이터 활용 기술을 개발)”로 설정

[그림 4-1] 사업 비전 및 목표



○ (Core Value) 본 사업이 국가 차원에서 제공할 핵심 가치는 북극 해빙 관측 초소형위성 운용을 통한 온난화에 대한 선제적 대응 능력 확보

- 우리나라의 기상과 기후, 전 세계적인 온난화 모니터링 및 예측을 위해 극지관측 위성의 보유는 매우 중요
- 극지 해빙에 대한 전주기적이고 독자적인 관측정보 획득은 해빙, 대기, 해양 등의 상호 작용에 대한 이해, 기후변화 감시 및 예측에 매우 중요
- 특히, 독자적 극지관측 위성을 보유하고 운용하는 것은 세계적인 기후변화 연구에 기여할 분 아니라, 국가 차원에서 과학적, 정책적, 경제적으로도 매우 필요함

○ (Core Purpose) 본 사업을 추진하는 궁극적 목적은 초소형 위성을 활용한 극지관측 자료 확보 및 자료품질 고도화를 구축하고 AI 기반 활용 기술 및 기존 중대형 위성과의 연계를 통해 온난화 대응의 신속성과 독자성을 보유하는 것임

- 극지전용 위성을 통한 전주기적 관측시간 확보 및 빅데이터 획득으로 극지 기인 기후변화 예측인자 추정 정밀도 향상

[그림 4-2] 동 사업의 인포그래픽



- 극지관측 위성 데이터를 수신·처리·분석하는 통합 서비스 플랫폼을 통해 극지 기원 기후변화 예측을 위한 풍부한 연구자료 확보
- (Visionary Goals) 본 사업을 통해 달성하고자 하는 이상적 목표는 초소형위성을 활용한 온난화 대응 기술 고도화를 통해 전 세계 기후변화 어젠다를 이끄는 선도 국가에 진입하는 것에 있음

1-2. 사업 목표

- 사업목표는 '전략목표', '성과목표' 및 '성과지표' 체계로 구성
 - (전략목표) 해당 연구개발사업 수행을 통해 달성하고자 하는 정책 목표
 - 전략목표는 산업/정책/과학기술 이상 3개 분야로 구분

- 동 사업의 비전·목적에 부합하는 목표를 중심으로 설정
- (성과목표) 사업의 전략목표 달성을 위하여 반드시 달성해야 할 핵심 성과를 성과 목표로 설정
- (성과지표) 성과목표를 객관적으로 측정하기 위한 지표로서, '국가연구개발사업 표준 성과지표'에서 제시한 가이드에 맞춰 설정

<표 4-1> 극지관측 초소형위성 개발 및 기후변화 예측기술 개선 사업 목표 체계

구분	산업 관점	정책 관점	과학·기술 관점
전략 목표	초소형위성 및 재해·재난 대응 분야 산업 활성화 기반 구축	극지관측 정보를 국가 기후변화 예측의 전략적 자산으로 활용	위성 원격탐사 기술 고도화 및 온난화 대응 기술 개선
성과 목표	초소형위성 개발 및 운용 분야 산업규모 확대	위성정보를 활용하여 기후변화 대응을 위한 국제 공동 연구 수행	초소형위성 본체 및 탑재체 자체개발 기술 고도화
성과 지표	위성개발, 발사 및 운용 기술 100% 국내 조달	위성정보를 활용한 기후변화 예측 연구사업의 국제협력 비중 50% 이상	초소형위성 본체 및 탑재체 기술 세계 80% 수준

극지연구소

2-1. 사업 추진 전략

가. SWOT 분석

□ 극지 빙권 감시 초소형위성 개발/운영 및 AI 기반 활용 기술 개발의 강점, 약점, 기회 및 위협 요인 도출

○ 강점(Strength)

- 「우주개발기본계획」 및 「위성정보 활용 종합계획」과 같은 우주개발 및 위성정보 활용산업 발전을 지원하는 법률 및 정책이 수립됨
- 초소형위성은 일반적인 중대형위성에 비해 설계가 간단하고, 짧은 기간 저비용 (1/10~1/100)으로 군집 운용이 가능함
- 정부가 극지에서 기인하는 기후변화의 인과관계의 중요성 및 북극권 연구의 경제적 효과를 인식하고 기후변화 및 북극 환경변화에 선제적으로 대응하는 극지정책 추진 (2050극지비전, 「북극활동 진흥 기본계획」)
- 극지연구소를 중심으로 축적된 빅데이터 기반 위성활용 원격탐사를 통한 극지연구 경험과 원격탐사빙권정보센터의 인프라 활용 가능
- 지속적인 북극 현장관측 자료의 축적으로 인한 대기 자료동화 및 예측 시스템과 아라운호를 활용한 극지 상층 기상관측 시스템 활용 가능

○ 약점(Weakness)

- 극지관측을 위한 전용 위성의 부재로 인해 전주기적 극지환경 관측이 어려워 해양수산 기후변화 감시 및 예측 능력에 한계가 있음
- 인공위성을 활용한 극지 원격탐사 연구를 산업·경제적 활성화 및 기후변화 예측의 기회로 활용하기 위한 전략 부족
- 극지연구소에서 개발한 대기모델 기반 기후예측 시스템은 해양-해빙-대기 간 상호작용을 고려하지 못하여 예측 성능 저하
- 국외 연구기관 및 대학에서는 초소형위성을 활용한 성공적 지구관측 임무의 사례가 있지만, 국내에는 아직 성공사례가 없음

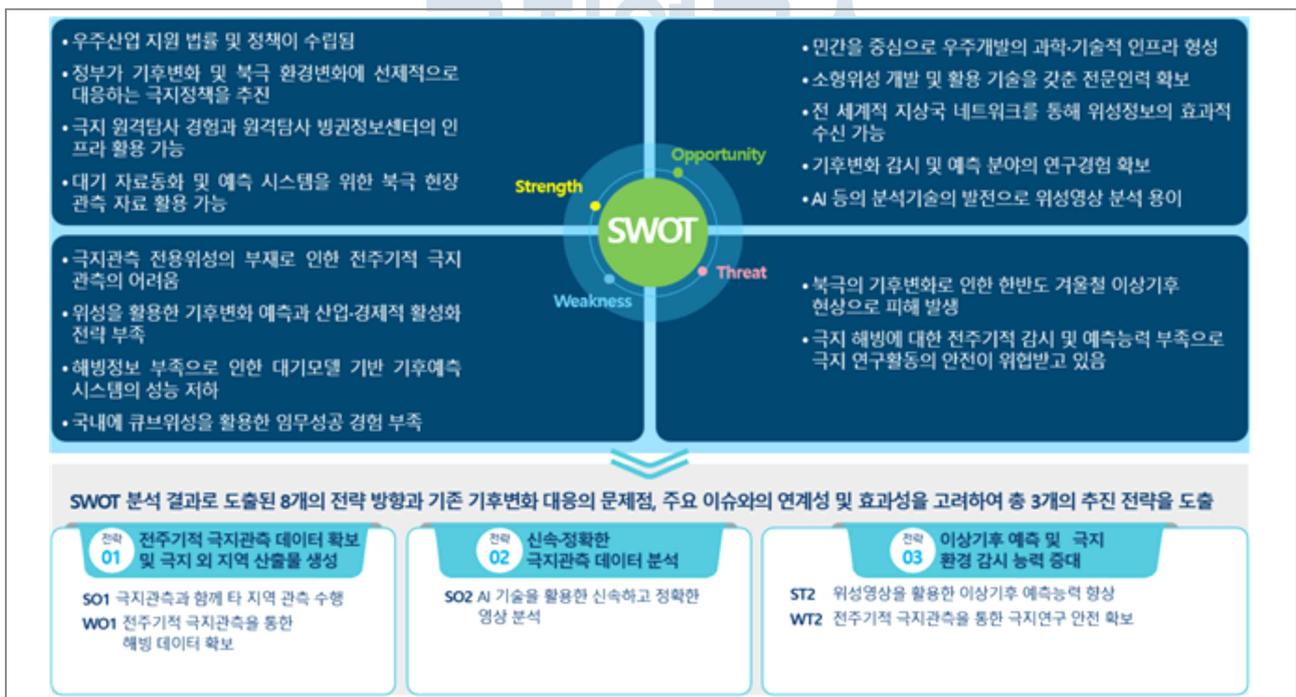
○ 기회(Opportunity)

- 국내 소형위성 및 소형발사체 산업이 빠르게 발전하고 위성정보 수요가 증가하는 등 민간을 중심으로 우주개발의 과학·기술적 인프라가 형성되고 있음
- 대학 및 국가 연구기관을 중심으로 소형위성 개발 및 활용 기술을 갖춘 전문인력이 양성되고 있음
- 전 세계적으로 위성정보 수신 지상국 네트워크가 형성되어 있어 극지관측 초소형위성이 생성하는 영상정보를 효과적으로 수신할 수 있음
- 국내에서 다양한 연구과제를 통한 기후변화 감시 및 기후예측 분야의 연구가 활발히 수행되어 왔으며, 최근에는 AI 등의 빅데이터 분석기술의 발전으로 위성영상 분석이 용이해짐

○ 위협(Threat)

- 북극의 기후변화로 인한 한반도 겨울철 이상기후 현상으로 피해가 발생하고 있으며 앞으로 피해가 확대될 것으로 예상됨
- 극지 해빙에 대한 전주기적 감시 및 예측능력 부족으로 극지 활동의 안전이 위협받음

[그림 4-2] SWOT 분석 결과



□ 도출한 요인을 활용하여 총 8개의 전략 방향 수립

○ SO 전략 (강점을 강화하여 기회를 잡는 전략)

- 극지관측과 함께 위성궤도 내 주요 지역 관측 수행
- AI 기술을 활용한 신속하고 정확한 영상분석

○ ST 전략 (강점을 활용하여 위협에 대비하는 전략)

- 위성영상을 활용한 북극항로 선박 감시 능력 향상
- 위성영상을 활용한 겨울철 이상기후 예측 능력 향상

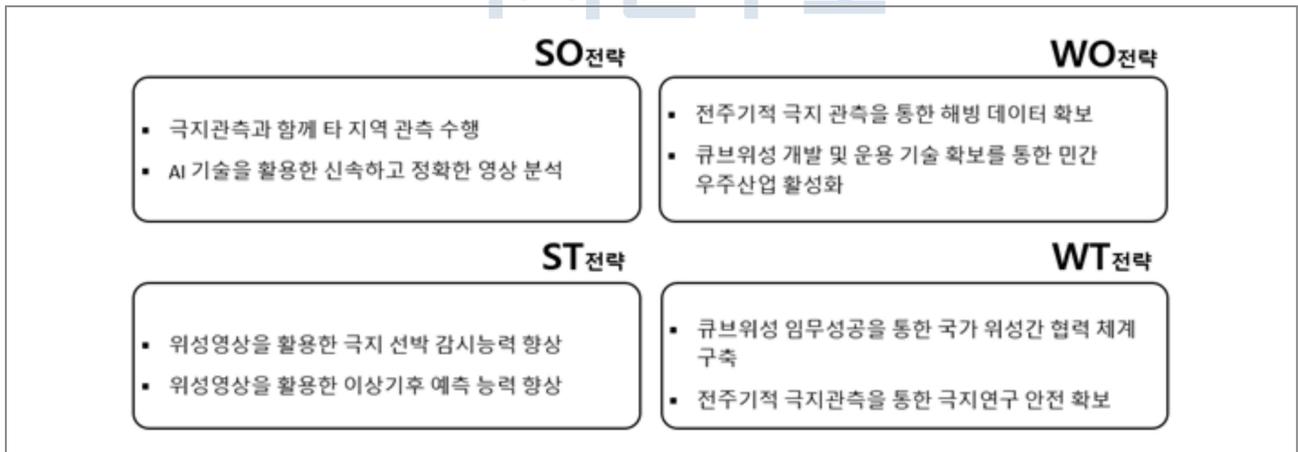
○ WO 전략 (약점을 보완하여 기회를 잡는 전략)

- 전주기적 극지 관측을 통한 해빙 및 극지 빙권 데이터 확보
- 초소형위성 개발 및 운용 기술확보를 통한 민간 우주산업 활성화

○ WT 전략 (약점을 보완하여 위협에 대비하는 전략)

- 초소형위성 임무 성공을 통한 국가 위성 간 협력체계 구축
- 전주기적 극지관측을 통한 극지 인프라의 안전 확보

[그림 4-3] SO, ST, WO, WT 전략



□ SWOT 분석 결과로 도출된 8개의 전략 방향과 기존 기후변화 대응의 문제점, 주요 이슈와의 연계성 및 효과성을 고려하여 총 4개의 추진 전략을 도출

- 전략 1: 전주기적 극지 관측 데이터 확보 및 극지 외 지역 산출물 생성
 - SO1: 극지관측과 함께 타 지역 관측 수행
 - WO1: 전주기적 극지 관측을 통한 해빙 데이터 확보
- 전략 2: 신속·정확한 극지 관측 데이터 분석
 - SO2: AI 기술을 활용한 신속하고 정확한 영상분석
- 전략 3: 준실시간 북극 감시를 통한 북극항로 활용
 - WT1: 북극항로 활용 선박 물류 비용절감 및 안전 확보
- 전략 4: 이상기후 예측 및 극지환경 감시 능력 증대
 - ST1: 위성영상을 활용한 이상기후 예측 능력 향상
 - WT1: 전주기적 극지 관측을 통한 극지 연구 안전 확보

나. 사업 추진 전략

- (추진전략 1) 전주기적 극지관측 데이터 확보 및 극지 외 지역 산출물 생성
 - 극지 초소형위성 6기 편대비행을 활용하여 짧은 주기(90회/일)로 극지관측 데이터를 생성함으로써 데이터의 시간해상도 증대
 - 극지 초소형위성 1기의 극지(북극, 남극) 재방문 주기는 30회/일로 예상됨
 - 극지 초소형위성 4기의 일렬 편대비행을 활용하면 최대 120회/일의 극지관측이 가능하며 위성간 편대거리 조정을 통해 데이터 생성 간격을 조정할 수 있음
 - 극지 외 주요지역에 대한 임무수행을 통해 타 분야에 활용 가능한 위성 산출물 생성
 - 태양동기궤도의 특성상 극지관측을 통한 기후변화 예측 외에도 해양, 수산, 산림, 자원, 국토, 농림 등 다양한 분야에 활용 가능한 위성 산출물 생성 가능
- (추진전략 2) 신속·정확한 극지관측 데이터 분석

- 극지 초소형위성이 생성하는 데이터를 전 세계 위성 지상국을 활용하여 신속하게 수신
 - 통신 네트워크를 활용하여 전 세계 지상국으로부터 수신된 극지관측 데이터를 (가칭)극지위성센터로 수집한 후, 데이터 전처리 수행
 - 전처리를 거친 ARD(Analysis Ready Data)를 활용하여 AI 영상분석 기술을 통해 신속하고 정확하게 영상분석 결과물 산출
- (추진전략 3) 준실시간 북극 감시를 통한 북극항로 활용
 - 초소형위성의 준실시간 감시를 통하여 북극 항로 개척 및 빙해선박 건조에 중요한 정보를 제공
- (추진전략 4) 이상기후 예측 및 극지환경 감시 능력 증대
 - 초소형위성 관측정보를 활용한 극지 기인 이상기후 예측 능력 향상
 - 극지 상시 관측을 통해 극지에서 활동 중인 연구진 및 쇄빙선(아라온호)의 연구 활동 지원 및 안전 확보
 - 극지 초소형위성의 관측 자료를 분석하여 해빙 특성 정보를 제공함으로써 쇄빙선의 안전한 항로 결정 지원
 - 극지에서 활동 중인 연구진의 안전확보 및 광역탐사를 통한 연구 활동 지원

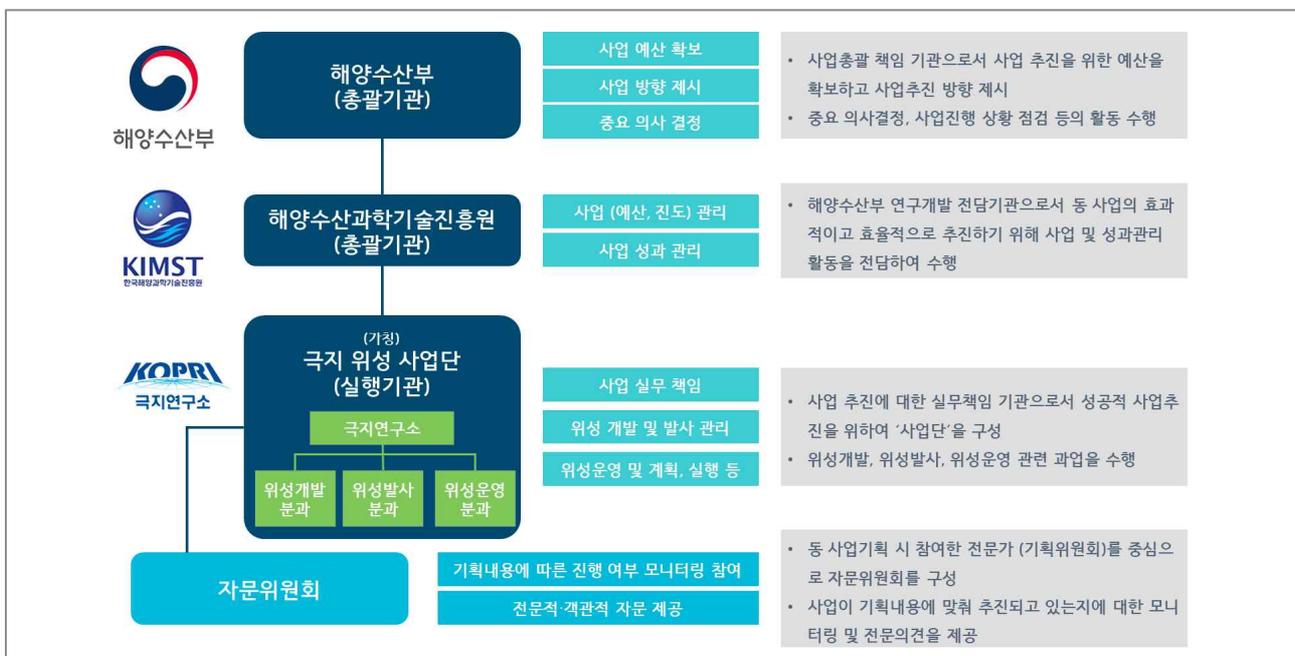
2-2. 사업 추진 체계

- 동 사업은 해양수산부, 해양수산과학기술진흥원(KIMST), 극지연구소간 긴밀한 협력체계 하에서 사업을 추진하고자 함
 - (해양수산부) 사업총괄 책임 기관으로서 사업 추진을 위한 예산을 확보하고 사업추진 방향 제시, 중요 의사결정, 사업진행 상황 점검 등의 활동을 수행하도록 함
 - (해양과학기술진흥원) 해양수산부 연구개발 전담기관으로서 동 사업이 효과적이고 효율적으로 추진될 수 있도록 사업 및 성과관리 활동을 전담하여 수행하도록 함

○ (극지연구소) 사업 추진에 대한 실무책임 기관으로서 성공적 사업추진을 위하여 '사업단'을 구성하여, 위성개발, 위성발사, 원격탐사빙권정보센터 기능보강 관련 과업을 수행하도록 함

- (위성개발) 사업기획 내용을 참고하여 전문가 자문위원회 논의를 통해 위성개발 기관을 공모하여 위성개발을 위탁개발하는 방식으로 추진
- (위성발사) 전문가 자문위원회 논의를 통해 적절한 발사기관을 선정·위탁하는 방식으로 추진
- (원격탐사빙권정보센터) 극지(연) 사업단이 주축이 되어 동 사업을 통해 개발할 초소형위성 활용도를 향상시킬 수 있도록 원격탐사빙권정보센터 운영계획을 수립하여 나가도록 함

[그림 4-4] 사업추진 체계(안)



○ (자문위원회) 동 사업기획 시 참여한 전문가(총괄위원회)를 중심으로 자문위원회를 구성하여, 사업이 기획내용에 맞춰 추진되고 있는지에 대한 모니터링 및 전문의견을 제공하도록 함

□ 특히, 해양수산부는 해양수산 기후변화 대응 R&D 강화 차원에서 동

사업의 추진을 적극 지원하고 있음

- (배경) 파리협정과 새로운 기후체제 출범에 따라, 2050 탄소중립에 대한 전 세계적 의제화 등 기후변화 대응을 위한 국제사회의 움직임에 우리나라도 적극 참여할 필요가 있음
 - (필요성) 해양 및 극지 등의 정보는 한반도 기후변화와 이상 기후 예측에 있어 중요한 자료이나, 해양 및 극지에 대한 국내 감시 자산이 부족하여 충분한 정보 획득에 어려움이 있음
 - (추진방향) 해양수산부는 극지관측 전용 위성개발의 필요성을 인식하고 초소형위성 군집체계 개발을 통해 극지의 빙권 정보에 대한 상시 관측이 가능하도록 하여 기후변화 및 한반도 중장기 이상 기후 예측에 활용하는 계획을 추진
 - (기대효과) 해양수산부의 해양수산 기후변화 대응을 위한 초소형위성 개발 추진을 통해, 정보 교류가 부족했던 기상청과의 정보 협력 체계를 구축하고 더 나아가 세계 기후변화 의제에 참여 함으로써 국가 기후변화 대응 역량을 높일 수 있음
- 동 사업을 수행하면서 국내외 초소형위성 개발 경험이 있는 기관 및 상업용 발사 서비스 제공 기관과 협력하고 극지관측 위성영상 활용 기관을 지원

제3절

내역사업 및 세부과제 도출

3-1. 내역사업 및 세부과제 구조

- 동 사업은 크게 두 가지 내역사업으로 구성되며 내역사업별 주요 내용은 다음 장에서 다룸
- 북극 해빙 관측 초소형위성 개발
- AI기반 온난화 대응 기술 개발
 - 고품질 빙권정보 생산 및 검보정
 - 극지-한반도 원라인 감시 기술 개발

<표 4-2> 핵심 내역사업 및 내역사업별 세부 개발 기술/내용

핵심 내역 사업		세부 개발 기술/내용
북극 해빙 관측 초소형위성 개발		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 시스템 요구사항 분석, 설계 ▶ 초소형위성 개발 기술 ▶ 위성자료 수신시스템 개발 기술 ▶ 군집운용 기반 기술
AI기반 온난화 대응 기술 개발	고품질 빙권정보 생산 및 검보정	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국내외 위성 정보 분석 ▶ 온난화 대응에 적합한 빙권 정보 분석 ▶ 위성 산출물 개발 기술 ▶ 해빙 정보 검보정 기술
	극지-한반도 원라인 감시 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 초소형위성 산출물 생산/배포 시스템 개발 ▶ 다종 위성 융합 기술 개발 ▶ AI 기반 온난화 감시 기술 개발

3-2. 기술로드맵 및 연차별 예산

- 기술로드맵 및 연차별 예산

<표 4-3> 기술로드맵 및 연차별 예산

	'23	'24	'25	'26	'27	'28~'32	
	북극 해빙 관측 초소형위성 개발 및 운용						
	시스템요구사항 분석 설계						
	1,000	1,105					
	초소형위성 요구사항 분석, 설계						
	초소형위성 개발						
온난화 대응을 위한 초소형위성 북극해빙 감시 기술 개발	1,000	2,905	4,815	5,205	2,735	초소형위성 군집 운용을 통한 북극해빙 정밀 감시기술 확보	
	광학 2기 개발		수동마이크로파 4기 개발				
	초소형위성 발사						
	-	1,115	1,115	2,130	2,130		
	광학 2기 발사		수동마이크로파 4기 발사				
	위성자료 수신시스템 개발, 군집운용 기반 기술 확보						
	700	615	510	625	595		
	위성자료 수신시스템(자료 수신, 저장, 배포) 개발, 군집운용 기반 기술 확보						
	AI 기반 초소형위성 정보 활용 기술 개발						
	고품질 해빙정보 생산 및 검보정						
515	395						
AI 빅데이터 구축을 위한 국내외 위성정보 분석							
온난화 대응 위성 해빙정보 분석							
885	495	480			온난화 감시를 위한 위성정보 기반 단기 해빙변화 예측 AI기술 확보		
신속 정확한 온난화 대응을 위한 해빙 특성 정보 선정 및 분석							
초소형위성 산출물 개발 및 검보정							
935	535	945	650	515			
초소형위성에 최적화된 위성 산출물 선정 및 개발		위성산출물(해빙정보) 검보정 및 AI 활용기술 개발					
북극-한반도 원라인 감시 기술 개발							
		490	765	450		군집운용을 통한 빅데이터 활용 AI 기술 확보	
초소형위성 산출물(해빙정보) 생산/배포							
985	990	760	750	690			
북극-한반도 원라인 감시를 위한 AI기반 다중 위성 융합 기술 개발							
980	995	815	830	850			
신속 정확한 온난화 감시를 위한 초소형위성-천리안 연계 AI 활용 기술 개발							

- 동 사업은 '23~'27 동안 총 사업비 450억원으로 책정됨
- (내역사업1) '북극 해빙 관측 초소형위성 개발 및 운용' 내역사업에는 5년간 283억원의 예산이 소요됨
 - 초소형위성 요구사항 분석, 설계 ('23~'24, 2,105백만원)
 - 초소형위성개발('23~'27, 16,660백만원)
 - 광학 2기 개발('23~'24, 3,905백만원)
 - 수동마이크로파 4기 개발 ('25~'27, 12,755백만원)
 - 초소형위성발사('24~'27, 6,490백만원)
 - 위성자료 수신시스템 개발 및 군집 운용 기반 기술 확보 ('23~'27, 3,045백만원)
- (내역사업2) 'AI 기반 초소형위성 정보 활용 기술 개발' 내역사업에는 5년간 167억원의 예산이 소요됨
 - 고품질 해빙정보 생산 및 검보정('23~'27, 6,350백만원)
 - AI 빅데이터 구축을 위한 국내외 위성정보 분석 ('23~'24, 910백만원)
 - 온난화 대응 위성 해빙정보 분석 ('23~'25, 1,860백만원)
 - 초소형위성 산출물 개발 및 검보정('23~'27, 3,580백만원)
 - 북극-한반도 원라인 감시 기술 개발('23~'27, 10,350백만원)
 - 초소형위성 산출물 생산/배포('25~'27, 1,705백만원)
 - 북극-한반도 원라인 감시를 위한 AI기반 다중 위성 융합 기술 개발('23~'27, 4,175백만원)
 - 신속 정확한 온난화 감시를 위한 초소형위성-천리안 연계 AI 활용 기술 개발 ('23~'27, 4,470백만원)

제5장 세부 사업 내용

제1절 초소형위성 개발 및 운용 [내역사업1]

1-1. 국내외 동향

가. 국외 동향

- 미국, 유럽을 중심으로 상당수의 지구관측 초소형위성이 발사, 운영 중에 있음
 - 기업 및 학교, NASA나 ESA와 같은 국가 우주개발 기관의 활발한 협업을 통하여 다양한 종류의 초소형위성을 개발, 운용 중에 있음
 - 대형 라디오미터인 ATMS와 유사한 성능을 보이는 초소형위성에 탑재 가능한 크기로 소형화 된 수동마이크로파 라디오미터 탑재체도 개발이 완료되었으며, TEMPST의 경우 TRL-9 달성
- 본 연구개발을 통하여 개발될 초소형 극지빙권 감시 위성과 유사한 임무를 수행하는 초소형위성의 해외 개발동향은 다음과 같음
 - PlanetScope(Dove)
 - 3U, 5 kg 미만 초소형위성으로 광학 영상 촬영 용임
 - 2013년 시험 발사 성공 후, 2014년 1월 첫 번째 발사인 Flock-1 위성군은 28기의 위성체로 구성되었으며, 국제우주정거장 궤도에서 운용중
 - 현재 PlanetScope의 15번째 위성군인 Flock-3P가 발사되었고, 130기 이상이 운영중.
 - 대부분 태양동기궤도에서 운용 중이며, 궤도/고도에 따라 3~5 m 해상도의 영상 제공
 - 영상획득 성능은 매 궤도당 20,000 km²

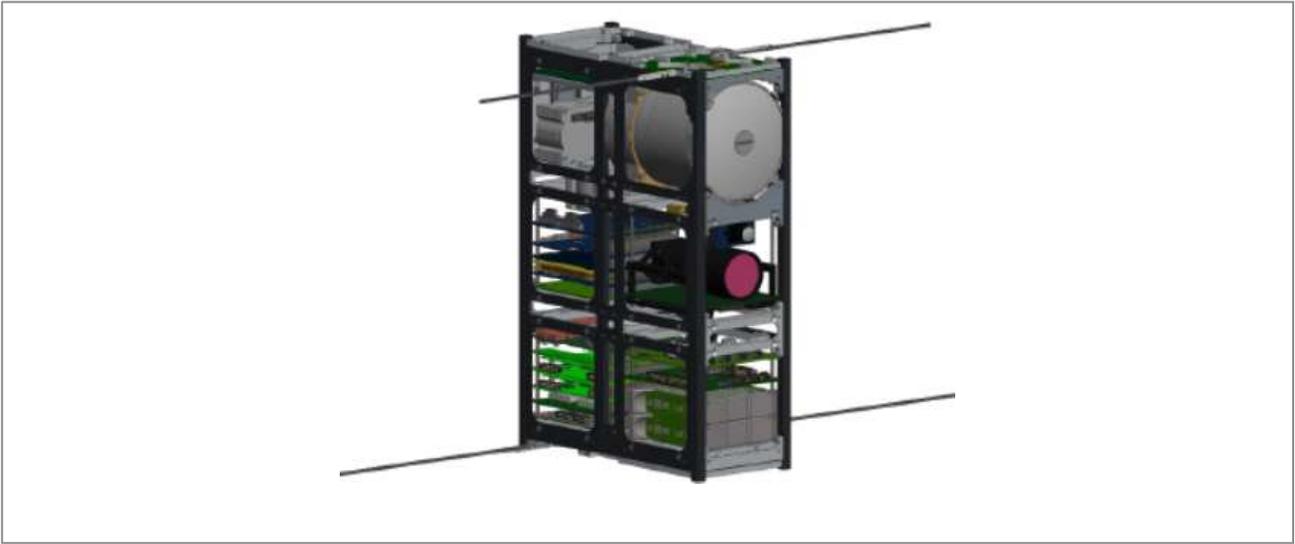
[그림 5-1] PlanetScope 위성



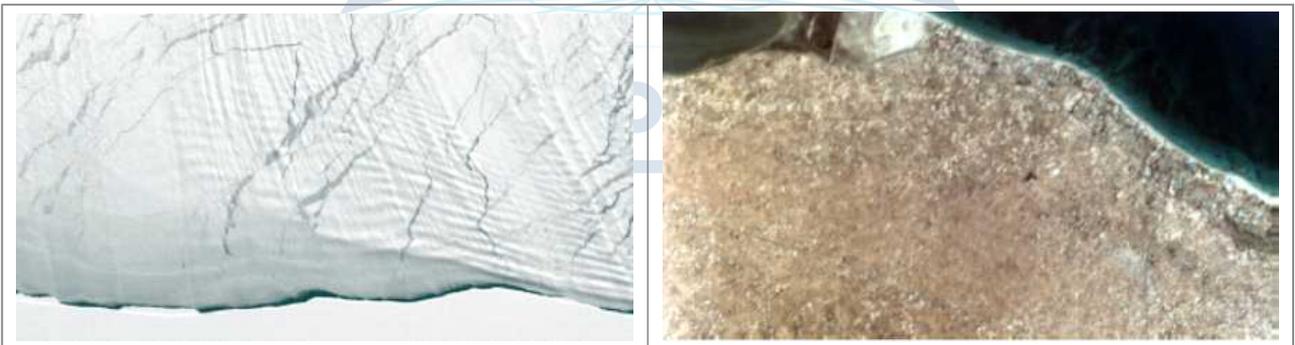
○ Napa-1

- ISISpace 사(네덜란드)에 태국의 공군에 36억원에 판매한 6U 초소형위성으로 2020년에 발사됨
- 태국어로 창공을 의미하는 Napa-1은 SCS Space의 Gecko Imager를 기본 페이로드로 사용하는 6U CubeSat으로, 500km 고도에서 39m GSD(지면 샘플링 거리)로 RGB 스냅샷 이미지를 촬영할 수 있음
- 또한 Simera Sense의 TriScape 카메라는 궤도 내 기술 데모로 탑재되어 RGB 대역에서 5미터의 GSD로 고품질 이미지를 제공할 수 있음
- 고해상도 카메라를 사용하는 경우 픽셀 크기와 인공위성의 높은 이동속도로 인하여 번짐(smear)가 발생하여 영상이 더 흐릿해 질 수 있음(그림 20)
 - ✓ 이를 방지하기 위한 Forward Motion Compensation이나 Target Tracking을 사용하지 않는 경우에는 MTF 손실을 막기 위하여 위성 진행방향을 따르는 번짐(smear)을 한 픽셀로 제한해야 하며, 이를 위해서는 자세제어계 롤(roll), 피치(pitch), 요(yaw) 기동 정밀도가 특정 값 이하로 제어될 수 있어야 함(Napa-1의 경우 810 mdeg/sec)
 - ✓ 인공위성의 지터는 픽셀 크기의 10% 이하이어야 함(Napa-1의 경우 81 mdeg/sec)

[그림 5-2] Napa-1 내부 구조



[그림 5-3] Napa-1 Gecko 카메라로 촬영한 남극 해안선 영상(좌), Napa-1 Simera TriScape 카메라non-ground target tracking 모드로 촬영한 튀니지 Mezraia의 도시 영상(우)



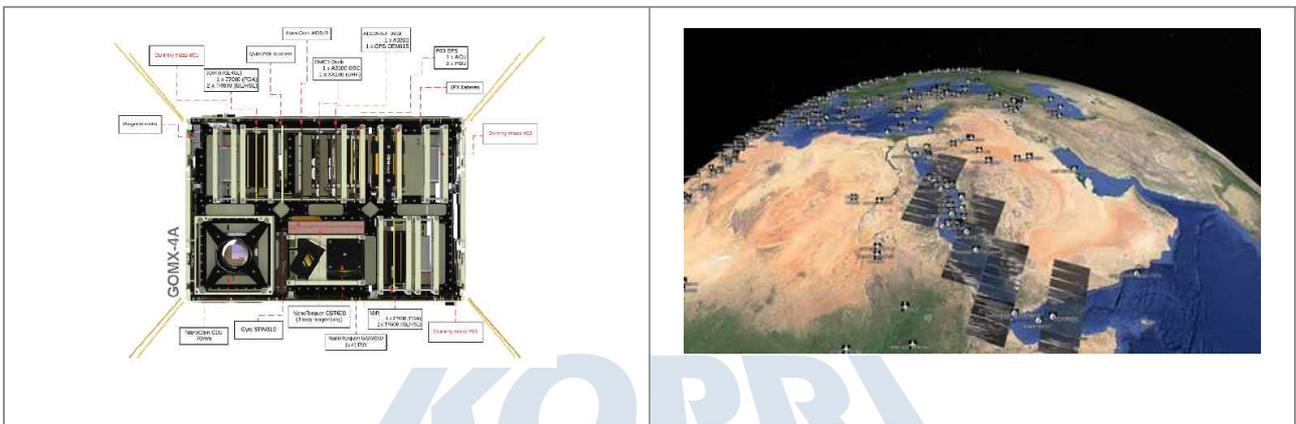
○ GomX-4

- GomX-4A와 -4B는 북극 지역 모니터링과 대형위성 시스템이 처리할 기술을 시연할 목적으로 개발된 6U 쌍둥이 초소형위성임
- 유럽우주국과 GomSpace사(덴마크)가 제작하여 2018년 2월 발사.
- 중량은 각 8 kg이고, 고도 500 km 태양동기궤도에서 운영중
- GomX-4A는 ADS-B 및 AIS 수신기, Nanocam C1U 70 mm(RGB 카메라, 해상도 30 m @ 650km) 탑재
 - ✓ Nanocam C1U 70 mm 카메라 사양 : RGB 대역, 30 m @ 650 km 해상도, 60

km 영상폭, 2048x1536 pixels 1/2 “(4:3) format color CMOS sensor

- GomX-4B는 초분광 카메라(HyperScout)가 탑재하고 있고, 저온가스추력기가 장착되어 궤도 상에서 자유롭게 위치와 방향을 조정할 수 있음
- GomX-4 아키텍처의 주요 통신 버스는 CAN 버스 기반

[그림 5-4] GomX-4A 내부 구성(좌), GOMX-4A로 촬영한 비행기, 선박 및 사진 프레임의 표현(우)



<표 5-1> HyperScout®-1 specifications summary for the IOD (In Orbit Demonstration) mission

IOD orbit	■ Sun Synchronous, 500 km altitude, LTDN 15:00 hrs
FOV (Field of View)	■ 23° (ACT) x 16° (ALT) - nominal FOV 31° (ACT: Across Track)
GSD (Ground Sampling Distance)	■ 70 m @ 500 km
Swath IOD	■ 200 x 150 km (ACT x ALT) @ 500 km
Spectral range	■ 400 - 1000 nm
Spectral resolution	■ 15 nm
Dynamic range	■ 12 bit
SNR	■ 50-100 @ 500 km
Instrument mass	■ 1.3 kg

○ CICERO

- GPS와 Galileo Radio Occultation을 이용하여 지구의 대기 및 기상을 관측하기 위해 GeoOptics사에서 개발

- 전 지구적 기상 패턴 측정을 위한 GPS Radio Occultation 센서를 검증할 목적으로 개발됨
- 2017년 6월 최초 발사, 뒤이어 7월 3기를 발사하였으나 궤도 안착에는 실패.

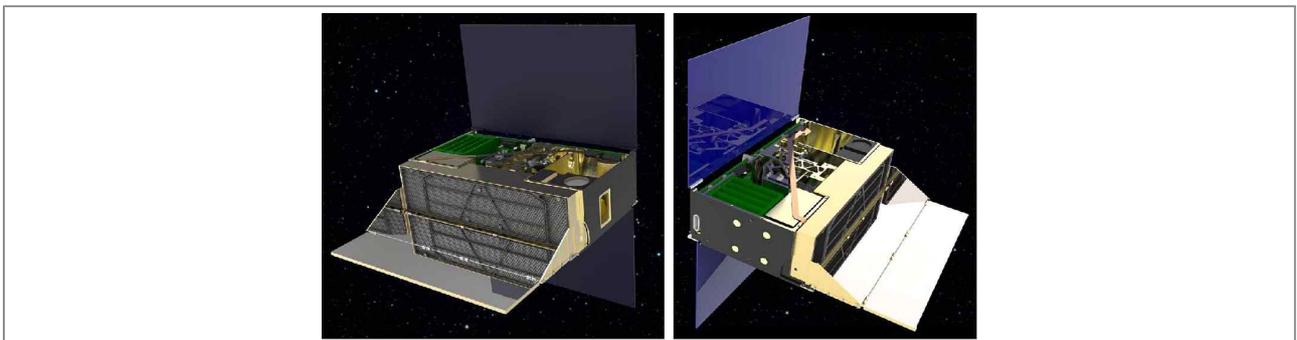
[그림 5-5] CICERO 위성



○ HyperCube

- 지구 대기에서 바람의 속도, 방향, 고도를 측정하도록 설계된 3차원 측심기를 탑재한 6U 초소형위성으로 Harris사(미국)에서 개발 중
- 초분광 증적외선 분광계를 탑재하여 대기중 수증기의 3차원 분포를 측정하고 다른 시간에 동일한 대기 영역 수직 분포를 측정하여 풍속을 추정할 수 있음
- 202X년 발사예정일로 데모 버전을 개발 중
- 12기의 군집위성으로 운용될 계획이며 매 6시간마다 전지구 범위의 대기 관측

[그림 5-6] HyperCube 위성



○ WNISAT-1

- Weathernews사(일본)와 Axelspace사(일본)가 공동으로 개발한 북극해 및 대기 모니터링 전용 초소형 위성으로 2013년 발사되었으며, 임무수명 2년, 27 X

27 X 27 cm 크기와 10 kg의 중량을 지님

- 고도 600 km, 태양동기궤도
- WNISAT-1 임무의 목적은 북극해 얼음 상태에 관심이 있는 해운선 고객에게 모니터링 데이터를 제공하고 북극 해운 경로를 궁극적으로 사용하여 기존 항로에 비해 상당한 비용을 절감할 수 있도록 하는 것임
- WNISAT-1 임무의 기본 요구 사항은 다음과 같음
 - ✓ 임무의 관측 지역은 계절에 따라 다름: 하절기에는 북위 70~80° 범위에서 집중 관측이 필요하며, 겨울철 관측은 주로 북위 40~50° 범위에서 수행
 - ✓ 고객 기반에 신뢰할 수 있고 시기적절한(자주) 정보를 제공하려면 500m의 공간 해상도를 가진 광역 VNIR 이미지(500km x 500km)가 필요함 하루에 약 10개의 장면이 필요함
- 두 대의 카메라가 탑재되어 500 X 500 km의 지역의 가시광선(R, G, B) 및 근적외선 영역(0.75-1.0 μm) GSD 500 m의 영상을 매일 10장씩 촬영할 수 있음
- 1556 nm와 1570 nm의 레이저빔 탑재체를 이용하여 대기 중 이산화탄소 밀도를 측정할 수 있음

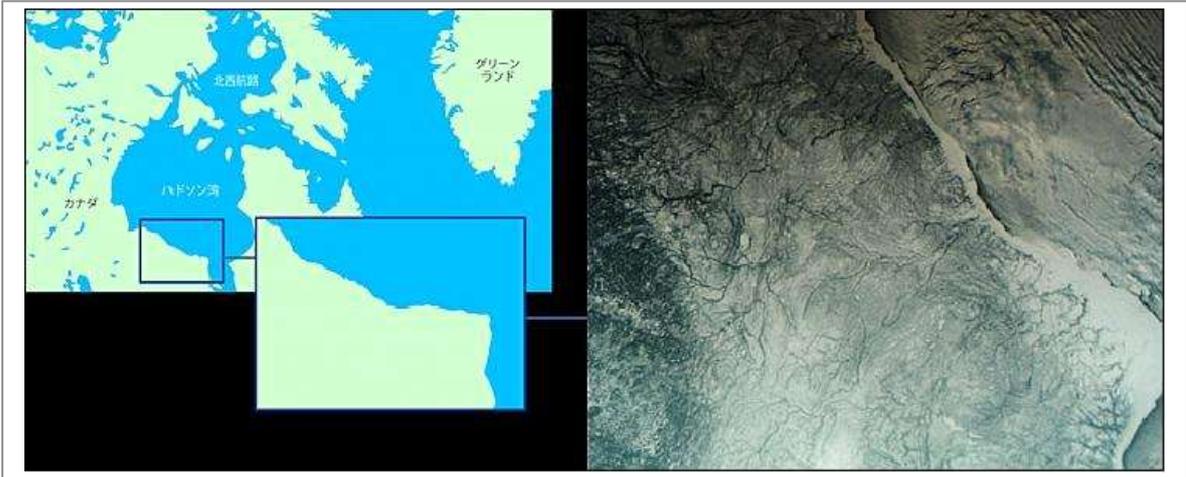
[그림 5-7] WNISAT-1 위성



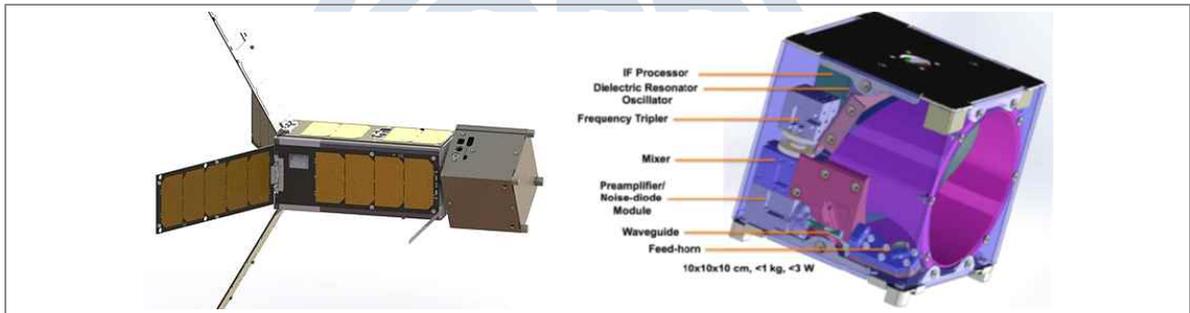
○ MicroMAS

- MIT(미국)에서 개발한 3U 크기의 수동 마이크로파 라디오미터 위성으로 2013년 7월 발사.
- 118 GHz 범위의 마이크로파 복사 신호를 관측하여 허리케인 및 대형 폭풍에 대한 데이터 수집
- 개선된 재방문 주기와 대형 극궤도 위성에 가까운 해상도 제공 가능

[그림 5-8] 2013년 12월 20일에 획득한 캐나다 허드슨 만 해안(좌)을 촬영한 WNISat-1의 이미지(우)(Axel space)



[그림 5-9] (좌)MicroMAS 위성 형상, (우)MicroMAS 라디오미터 탑재체



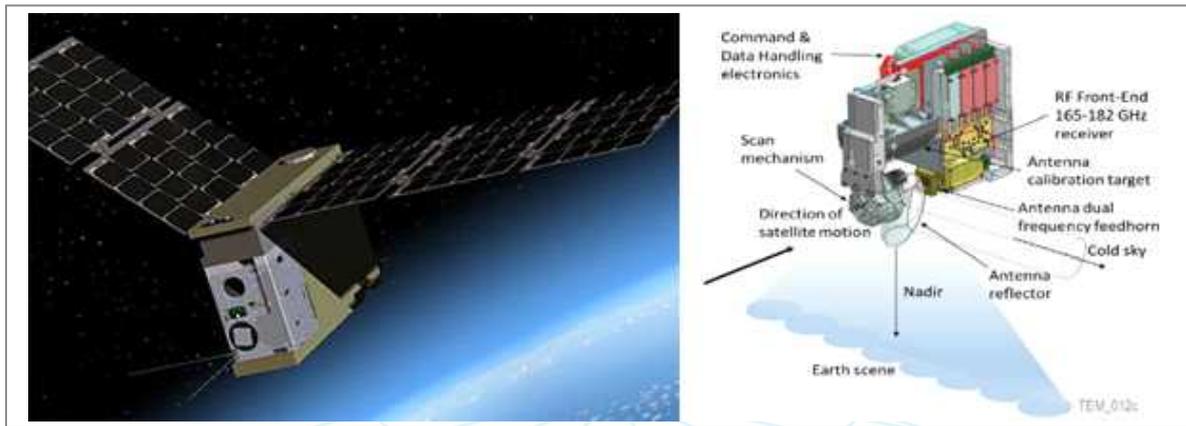
○ PolarCube

- Colorad Space Grant Consortium(미국)에서 개발한 3U 수동 마이크로파 라디오미터 탑재체 위성
- 2021년 1월 공중발사체인 LauncherOne을 이용하여 발사됨
- 118.75 GHz의 중심주파수를 갖는 9개 채널이 있는 MiniRad라는 이름의 수동 마이크로파 라디오미터 탑재
- 극지방에서의 대기 측심, 해빙/해양 탐지 및 매핑에 대한 검증 임무

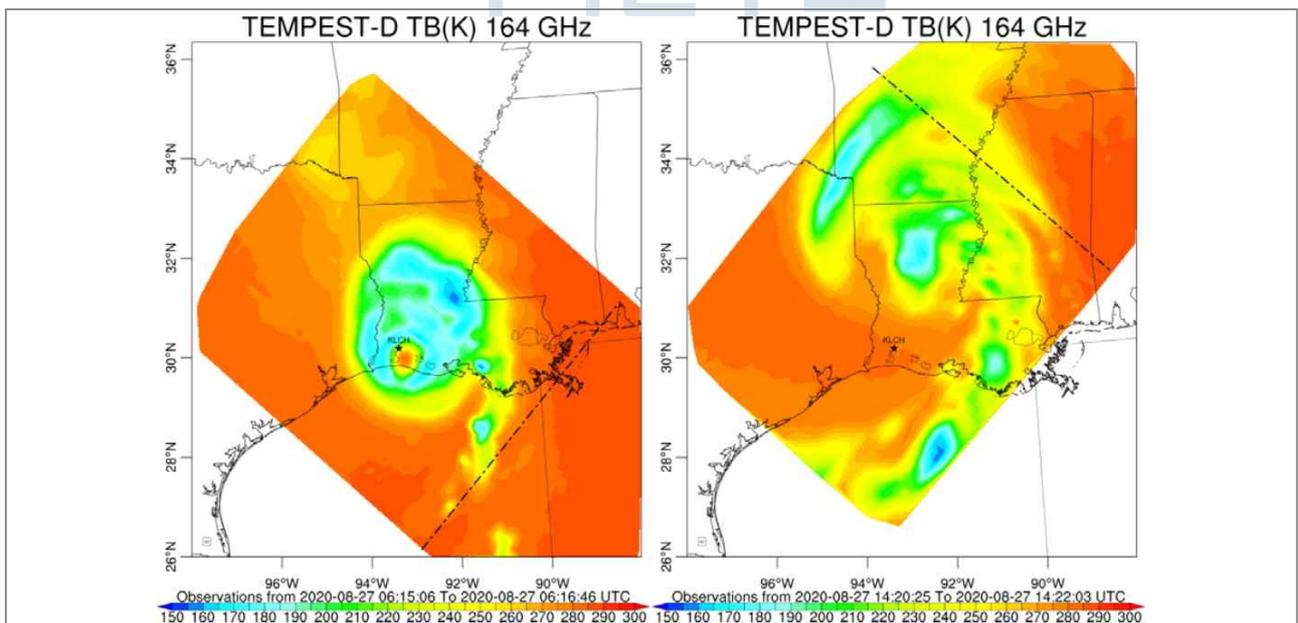
○ TEMPEST-D

- Colorado State University, NASA JPL에서 개발한 6U 수동 마이크로파 라디오미터 초소형위성으로 Blue Canyon Technologies사(미국)에서 본체 제작
- 6기로 구성된 TEMPEST 임무에 대한 검증용 위성
- 87 ~ 181 GHz에 걸친 5개 채널을 통해 전 지구적 구름 및 강수의 시간에 따른 관측 데이터 수집
- 더 큰 탑재체에 필적하는 성능을 지닌 매우 안정적인 라디오미터 탑재체임

[그림 5-10] TEMPEST-D 위성(좌), TEMPEST-D 라디오미터 탑재체(우)



[그림 5-11] TEMPEST-D를 통해 획득한 다른 동일 지역 다른 시간대의 밝기온도



○ FMPL-2

- Polytechnic University of Catalonia에서 개발한 Dual microwave 탑재체로 Tyvack사의 6U 초소형위성에 탑재되었으며, 2020년 3월 9일 Vega 발사체로 발사됨
- Dual microwave 탑재체는 GNSS-R(GNSS 반사계)과 L-밴드 마이크로파 라디오미터가 동시에 장착되었으며 Cat-5/A 초소형셋에 탑재됨
- 지표에서 반사된 GNSS 위성의 1,575.42 MHz 마이크로파와 지표에서 복사되는 1,413 MHz L-밴드 마이크로파를 감지
- 해빙 탐지 및 해빙 두께 모니터링, 해빙 위 연못 부분 탐지, 저해상도 토표 수분 관측 등 해빙 및 지표 데이터 획득

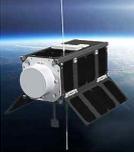
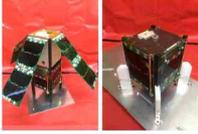
나. 국내 동향

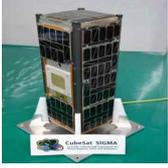
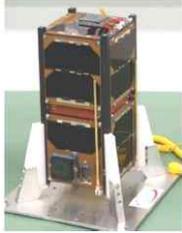
- 극지방권 감시와 유사한 임무를 수행하는 지구관측위성의 경우, 국내에서는 실용급 이상의 위성을 이용하여 수행되고 있음
- 초소형 위성 관련 국내 업체는 대부분 중소기업이나 스타트업 규모임
- 대부분의 업체들은 서브시스템의 센서, 구동기, 탑재컴퓨터, 통신모듈, 전력모듈 등을 자체 제작하는 수준임 특정 임무를 독자 개발하거나, 고급 임무에 대한 자체 시스템 설계, 분석 경험이 상대적으로 미흡
- 대부분의 부품 개발이 개별적으로 이루어지고 있어, 우주에서 특정 임무를 수행하기 위한 요구사항을 만족하기 보다는 상용급 부품으로서의 요구사항 충족에 머물고 있는 경우가 많음
- 출연연의 주요사업 일환으로 개발하는 초소형 위성의 일부 구성품을 개발 납품, 일부 기술의 개발 사업 참여 등을 수행 중
- 정부와 한국항공우주연구원의 주도로 2013년부터 격년으로 2019년까지 초소형위성 경연대회 사업을 진행하면서 국내 여러 대학이 초소형위성을 개발 및 발사 한 경험을 갖고 있으나, 임무에 성공한 사례는 거의 없음
- 국내 한국항공우주연구원, 한국천문연구원에서는 우주기술 검증, 우주과학

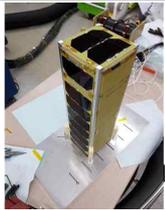
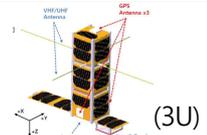
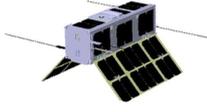
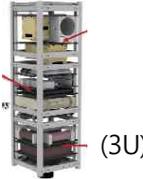
등의 목적으로 초소형위성을 개발 중이나 아직 기관 주관으로 발사되어
임무 수행중인 초소형위성은 없음

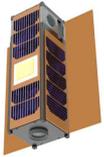
□ 국내 초소형위성 개발이나 운용 현황은 선진국에 비해 아직 미미함

<표 5-2> 국내 초소형위성 개발 현황

초소형 위성 명	개발 기관	발사일	임무	운용현황	형상 (크기)
HAUSAT-1	항공대	2006-07-26	GPS 수신기 검증 및 태양전지판 전개	발사 실패	 (1U)
KHUSAT-1	경희대	2013-11-21	입자 및 우주방사선 관측	TM Only(No 임무데이터)	 (3U)
KHUSAT-2	경희대	2013-11-21	입자 및 우주방사선 관측	통신 실패	 (3U)
LINK	KAIST	2017-04-18	저고도 대기 관측	비콘/TM/TC 수신, 임무데이터 일부 수신	 (2U)
KAISAT-5	항공대	2018-01-12	지구관측 및 우주 방사선 측정	통신 실패	 (3U)
CANYVAL-X	연세대	2018-01-12	분리형 우주망원경 기술검증	통신 실패	 (2U+1U)

초소형 위성 명	개발 기관	발사일	임무	운영현황	형상 (크기)
KHUSAT-3	경희대	2018-01-12	우주방사선 및 자기장 측정	통신 실패	 (3U)
CNUSAIL-1	충남대	2018-01-12	태양돛 개발 및 자세제어 연구	통신 실패	 (3U)
STEP Cube Lab	조선대	2018-01-12	우주핵심기술 개발 및 궤도 검증	비콘 수신	 (1U)
SNUSAT-2	서울대	2018-12-03	관심지역 조기 탐지	비콘, TM 수신(No 임무데이터)	 (3U)
SNUGLITE	서울대	2018-12-03	이중주파수 GPS 수신기와 자기장 센서 이용 우주환경 관측	비콘, TM 및 일부 임무데이터 수신	 (2U)
Vision Cube	항공대	2018-12-03	메가번개 관측 및 초소형 CMG 개발 검증	통신 실패	 (2U)
K2SAT	KAIST,공사,조선대	2018-12-03	지구관측, 음성 재전송	통신 실패	 (3U)

초소형 위성 명	개발 기관	발사일	임무	운영현황	형상 (크기)
KMSL	조선대, 연세대	2021-03-22	화염전파/소멸 현상 분석, 곰벌레 생존 및 생활 연구	비콘, TM/TC, 일부 데이터 수신	 (3U)
CubeSat Yonsei	연세대	2021-03-22	코로나그래프, 태양광차폐막 시험	통신 실패	 (2U+1U)
STEP Cube Lab-II	조선대	2022 예정	다중밴드 지구관측, 기술검증	개발중	 (6U)
SNUGLITE-II	서울대	2022 예정	3D 지구대기 관측, 기술검증	개발중	 (3U)
ASTRIS-II	KAIST	2022 예정	초분광카메라 지구관측	개발중	 (3U)
MIMAN	연세대	2022 예정	한반도 주변 미세먼지 관측	개발중	 (3U)
HiREV	항우연	미정	고해상도 사진 및 영상 촬영	개발중	 (6U)
KARDSAT	항우연	미정	랑데부/도킹 기술 우주 시연	개발중	(6U+3U)
SNIFE	천문연 (항우연)	2022년 예정	이온층/자기권/우주 입자 검출	개발중	 (6U X 4)

초소형 위성 명	개발 기관	발사일	임무	운영현황	형상 (크기)
SOLESAT-1	솔탑	미정	기술검증	개발중	 (3U)

1-2. 기술 수준 분석

가. 산업·기술 수준 분석 개요

- 한국과학기술평가원에서 발간한 ‘2020년 기술수준평가’ 보고서를 바탕으로, 본 기획연구 대상 분야의 기술수준을 검토하였음
 - 과학기술기본법 제14조 2항에 의거하여, 매 2년마다 국가중점 기술에 대한 현황 및 발전 추이를 파악하고 과기정책의 성과를 점검
 - 2020년은 11대 분야 120개 중점과학 기술에 관한 기술 수준 평가를 수행
 - 검토 대상 기술별 상대적 기술수준과 기술격차에 관하여 검토
- 120대 중점과학 기술 중 위성개발 역량, 위성 활용역량으로 구분하여 분석·제시

나. 위성 개발역량

- (기술 수준) 우주환경 관측·감시·분석 기술이 상대적 가장 저조하고 수소·연료전지 기술이 상대적으로 가장 우수한 것으로 평가됨
 - (우주발사체 개발 및 운용 기술) 정부의 적극적인 투자로 많은 발전을 이루었으나, 우주선진국 대비 인프라 및 인력이 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 60% 수준으로 평가됨
 - (우주환경 관측·감시·분석 기술) 지속적인 정부의 집중 지원이 이뤄지고 있으나, 장기적 계획 부재와 특정 분야 중심의 연구가 수행되는 상황으로 최고 선도국 대비 55.5% 수준으로 평가됨

- (우주 탐사 및 활용 기술) 달 탐사 외의 우주탐사의 구체적 후속계획이 부재하고 지구관측위성, 발사체 등 여러 연구개발을 시도하고 있으나 예산 및 인력이 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 56.0% 수준으로 평가됨

<표 5-3> 위성 개발역량 관련 기술 개요

분야	기술명
위성 개발역량 (5개 기술)	우주발사체 개발 및 운용 기술
	우주환경 관측·감시·분석 기술
	우주 탐사 및 활용 기술
	고해상 감시 정찰 및 장거리 정밀 타격 기술
	수소·연료전지 기술
위성 활용역량 (7개 기술)	국토공간정보 구축 및 분석기술
	빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술
	재난 전주기 정보통신체계 기술
	기후변화 감시에측적응 기술
	자연재해 감시에측대응 기술
	지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술
	초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

- (고해상 감시 정찰 및 장거리 정밀 타격 기술) 고해상도 SAR 개발, 정밀 유도무기 기술 개발, 다기능 레이더용 소재 개발 등 다양한 연구개발이 수행되고 있으나 감시정찰 및 타격기술 수준이 미흡한 상황으로 최고 선도국 대비 65.0% 수준으로 평가됨
- (수소·연료전지 기술) 연료전지 등 일부 분야에서 선도 중이나 발전 분야는 뒤처지고 소재의 국산화 등이 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 75.0% 수준으로 평가됨
- (기술 격차) 우주발사체 개발 및 운용 기술의 격차가 가장 큰 반면, 수소·연료전지 기술이 상대적으로 격차가 작은 것으로 나타남

<표 5-4> 위성 개발역량 관련 기술 개요

분야	기술명	기술 개요
우주 · 항공 · 해양	우주발사체 개발 및 운용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 위성체 및 우주탐사선을 지상에서 우주공간으로 쏘아 올리는 발사체 시스템의 설계제작시험평가 발사 운용 등의 체계 기술로, 엔진 구조체 유도항법제어 등의 서브시스템 개발기술, 체계종합, 시험평가 및 신뢰성 향상 기술, 발사대 관련 지상 시스템과 통제시스템, 발사장 운용 등을 포함하는 우주발사체 시스템 종합기술
우주 · 항공 · 해양	우주환경 관측 · 감시 · 분 석 기술	<ul style="list-style-type: none"> 우주 기원 규명, 우주 환경감시, 우주 재난 방지 등을 위해 우주 물체를 정확히 관측 · 검출할 수 있는 고감도 · 고정밀 망원경 및 센서기술로 방대한 우주 데이터를 체계적으로 관리하고 정확하게 분석하는 기술
우주 · 항공 · 해양	우주 탐사 및 활용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 우주 활용성 증대를 위해 달 · 소행성 · 화성 등지를 탐사하기 위한 목적의 우주비행체 설계 · 제작 및 항행 · 운영 기술과 다수의 저궤도 · 정지궤도 관측 위성을 이용해 기상 · 환경 해양 국가안전재난예방 항법조연결통신 등에 활용하기 위한 위성 제작 · 활용 기술
국방	고해상 감시 정찰 및 장거리 정밀 타격 기술	<ul style="list-style-type: none"> 독자적 감시정찰 능력 확보를 위한 지상, 해상, 공중, 우주의 작전 영역별 전략 · 전술 표적 감시정찰 기술 및 고성능 센서 기술
에너지자원	수소 · 연료전지 기술	<ul style="list-style-type: none"> 수소에너지의 생산저장이송에 관한 기술과 수소를 연료로 전기와 열을 생산하는 고효율 발전기술인 연료전지 기술을 포함 주택 건물용 분산전원, 휴대용 전원, 중대형 발전설비 뿐만아니라 수소전기차, 잠수함, 무인비행기, 인공위성 등 수송용 전원으로 활용할 수 있는 다양한 연료전지 기술을 포함

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

<표 5-5> 위성 개발역량 관련 주요국 기술수준

기술명	한국	중국	일본	유럽	미국
우주발사체 개발 및 운용 기술	60.0 %	85.0 %	85.0 %	92.0 %	100.0 %
우주환경 관측 · 감시 · 분석 기술	55.5 %	75.0 %	79.0 %	87.5 %	100.0 %
우주 탐사 및 활용 기술	56.0 %	82.5 %	84.0 %	90.0 %	100.0 %
고해상 감시 정찰 및 장거리 정밀 타격 기술	65.0 %	75.0 %	65.0 %	85.0 %	100.0 %
수소 · 연료전지 기술	75.0 %	70.0 %	100.0 %	95.0 %	95.0 %

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

<표 5-6> 위성 개발역량 관련 주요국 기술격차

기술명	한국	중국	일본	유럽	미국
우주발사체 개발 및 운용 기술	18.0 년	8.0 년	8.0 년	4.5 년	0.0 년
우주환경 관측·감시·분석 기술	10.0 년	7.0 년	5.0 년	3.0 년	0.0 년
우주 탐사 및 활용 기술	15.0 년	6.8 년	5.0 년	3.0 년	0.0 년
고해상 감시 정찰 및 장거리 정밀 타격 기술	7.0 년	4.5 년	6.0 년	3.0 년	0.0 년
수소·연료전지 기술	3.0 년	5.0 년	0.0 년	1.0 년	1.0 년

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

다. 위성 활용역량

- (기술 수준) 초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술이 상대적 가장 저조하고 국토공간정보 구축 및 분석 기술이 상대적으로 가장 우수한 것으로 평가됨
- (국토공간정보 구축 및 분석 기술) 국가 주도로 스마트시티 구현을 위한 다양한 투자가 시도되고 있으나, 3D 공간정보 구축 분야는 해외 의존도가 높으며, 예측 분석 기술력이 미흡한 상황으로 최고 선도국 대비 81.0% 수준으로 평가됨
- (빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술) 국가적으로 꾸준한 투자와 연구가 진행되고 있으나 노후 시설물이 부족하여 건물 보다는 도로 중심의 기술이 발전하는 상황으로 최고 선도국 대비 80.0% 수준으로 평가됨
- (재난 전주기 정보통신체계 기술) 세계 최초로 여러 세대의 이동통신을 상용화하고 선진화된 통신기술을 선도하고 있으나, 복합재난 예측에 필요한 필요한 연구개발과 예산은 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 80.0% 수준으로 평가됨

<표 5-7> 위성 활용역량 관련 기술 개요

분야	기술명	기술 개요
건설 · 교통	국토공간정보 구축 및 분석기술	<ul style="list-style-type: none"> 국토의 효율적이고 지속가능한 개발과 관리를 위해 정확하고 정밀한 국토해양 공간정보의 획득과 활용성을 제고하고, 정밀한 공간정보 구축과 활용 및 배포 등에 필요한 기반 기술 종합적으로 획득된 국토공간에 관한 위치 및 공간정보를 가공하며 효율적인 저장 및 활용 편의성을 극대화하는 기술로서, 정보인프라기술과 통신기술 등을 융합적으로 활용한 이용자 중심의 맞춤형 서비스 기술
건설 · 교통	빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 국가 인프라 상세 정보(이력, 상태, 환경 등)를 활용하여 인프라 안전수준 및 미래수명을 예측하고, 인프라 맞춤형 조치 방안을 제시하기 위한 기술
재난안전	재난 전주기 정보통신체계 기술	<ul style="list-style-type: none"> 자연재해 및 사회적 재난 등 다양한 유형의 재난 발생, 대응, 복구까지 전주기의 재난관측, 모니터링, 예·경보 발령 및 전달, 데이터 관리, 정보분석 등과 관련된 통신·방송 기술 모든 재난단계에 대해 신속한 초기대응과 복구를 효율적으로 지원하기 위한 기술로 정보수집 기술, 분석·활용기술, 정보전달을 위한 방송통신 기술, 정보관리 기술 등을 포함
환경 · 기상	기후변화 감시예측적응 기술	<ul style="list-style-type: none"> 장기간의 온실가스 및 기수자료의 산출을 통해 전국 및 지역 기후 변화의 원인을 규명하는 기술 지구시스템모델 및 화학기후모델 개발을 통해 탄소순환을 예측하고 장기체류 기후변화 원인물질(CO2) 및 단기체류 기후변화 원인물질이 기후변화에 미치는 영향을 평가하는 기술
환경 · 기상	자연재해 감시예측대응 기술	<ul style="list-style-type: none"> 전 지구적 자연재해를 감시, 원인 규명, 예측하는 기술 국지적인 자연재해(지진, 산사태, 산불, 재해 기상 등) 발생 시 초기 대응을 위한 예·경보 및 실시간 상황 파악 기술
ICT · SW	지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 특성에 적합한 빅데이터 분석 방법(통계, 딥러닝, 기계학습, 그래프 분석 등)을 연구하고 이를 공공과 산업분야에 융합·활용하여 가치를 창출하는 기술 빅데이터 분석 방법의 고도화를 통해 적시에 필요한 통찰력(Insight)과 예지력(Foresight)을 확보하는 분석기반 기술 IoT센서의 FastData 분석 기술, 딥러닝 기반의 심층분석 기술, 멀티모달 데이터 통합 분석 기술, 예측 분석 기술 등을 포함
ICT · SW	초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술	<ul style="list-style-type: none"> 기존 데이터베이스로 처리하기 어려운 비정형대용량 데이터를 빠르고 확장성 있게 관리, 처리할 수 있는 소프트웨어 플랫폼 기술 인공지능의 정확성 향상을 위해서는 데이터의 품질과 데이터 처리 성능이 전제되어야 하므로 이를 이루기 위한 기반 기술

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

<표 5-8> 위성 활용역량 관련 주요국 기술수준

기술명	한국	중국	일본	유럽	미국
국토공간정보 구축 및 분석기술	81.0 %	80.0 %	80.0 %	94.0 %	100.0 %
빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술	80.0 %	75.0 %	90.0 %	91.5 %	100.0 %
재난 전주기 정보통신체계 기술	80.0 %	73.5 %	90.0 %	90.0 %	100.0 %
기후변화 감시예측적응 기술	80.0 %	85.0 %	90.0 %	100.0 %	100.0 %
자연재해 감시예측대응 기술	75.0 %	80.0 %	90.0 %	98.0 %	100.0 %
지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	79.0 %	88.0 %	75.0 %	88.0 %	100.0 %
초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술	69.0 %	85.0 %	65.0 %	80.0 %	100.0 %

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

- (기후변화 감시예측적응 기술) 최근 모델링 및 위성 관련 투자로 세계적 수준에 근접하고 있으나, 온실가스 감시 등을 위한 지상/위성 관측기술 개발 및 적용 등에 있어서 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 80.0% 수준으로 평가됨
 - (자연재해 감시예측대응 기술) 후발주자로 출발하였으나 선택과 집중을 통해 자연재해 감시 예측을 위한 수치모델링 기술 진전이 선도 그룹을 추격하는 상황으로 최고 선도국 대비 75.0% 수준으로 평가됨
 - (지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술) 국가 주도의 데이터 구축 사업 등의 효과로 다양한 분야에서 데이터 분석이 활용되고 있으나 혁신적 기술력이 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 79.0% 수준으로 평가됨
 - (초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술) 소수 대기업 중심으로 기술을 주도하고 있으나 특정 주제 중심의 응용연구 중심으로 사용화 수준의 시스템 통합 경험이 부족한 상황으로 최고 선도국 대비 69.0% 수준으로 평가됨
- (기술 격차) 자연재해 감시예측대응 기술의 격차가 가장 큰 반면, 지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술이 상대적으로 격차가 작은 것으로 나타남
- 국내에는 통신, 해양, 기상, 환경, 국토, 산림, 농업, 수자원 등 목적별로

위성을 활용하기 위한 센터가 운영 또는 구축 예정하고 있음

<표 5-9> 위성 활용역량 관련 주요국 기술격차

기술명	한국	중국	일본	유럽	미국
국토공간정보 구축 및 분석기술	3.0 년	2.5 년	3.0 년	1.0 년	0.0 년
빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술	3.5 년	4.0 년	2.3 년	1.0 년	0.0 년
재난 전주기 정보통신체계 기술	2.0 년	3.0 년	1.0 년	1.0 년	0.0 년
기후변화 감시에측적응 기술	4.0 년	3.0 년	1.5 년	0.0 년	0.0 년
자연재해 감시에측대응 기술	5.0 년	3.0 년	2.0 년	0.5 년	0.0 년
지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술	2.0 년	1.0 년	2.0 년	1.5 년	0.0 년
초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술	3.5 년	2.0 년	3.5 년	2.0 년	0.0 년

자료: KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2021년

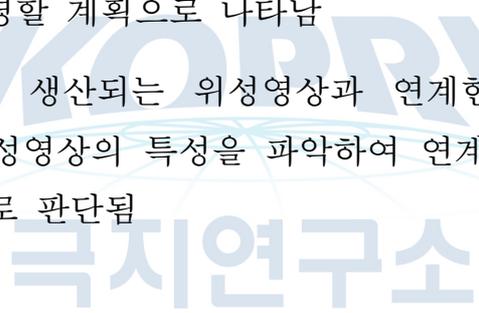
<표 5-10> 국내 정부부처별 위성활용센터 설립·운영 현황

구분	국가기상위성센터	해양위성센터	국가해양위성센터	환경위성센터	국토위성센터
소속	기상청 (환경부)	해양과학기술원 (해양수산부)	국립해양조사원 (해양수산부)	국립환경과학원 (환경부)	국토지리정보원 (국토부)
목적	▪ 기상위성 지상국 개발 및 운영	▪ 해양환경 실시간 모니터링	▪ 해양 관측위성의 효율적 관리 및 활용	▪ 지구환경 실시간 모니터링 및 방제	▪ 국토·자원관리, 재난재해 대응
기능 및 임무	▪ 위성기상 감시능력 향상, 기상분석, 국제협력 등	▪ 위성 운영, 품질 관리, 활용 기술 개발, 후속 위성 기획 및 개발 등	▪ 해양 관측 위성의 안정적 운영, 위성 정보 생산·관리·공급	▪ 기후변화, 대기오염, 생태계 변화감시를 통한 정책수립 지원	▪ 국토위성정보 활용 인프라 구축, 기술 및 서비스 개발
주요 산출물	▪ 기상위성 기본영상, 안개, 황사·태풍·산불 감시, 구름, 해수면 온도, 오존 측정량, 식생지수 등 지구 환경 관련 자료	▪ 해양관측 데이터, 해양 위성 분석 자료, 해양/연안 환경 모니터링 자료, 적조 감시 자료 등	▪ 항로 및 항만정보, 생태정보, 연안 환경/자원 정보, 해양안보 및 안전 정보, 연안 재해 정보 등	▪ 동아시아 대기오염 및 기후변화 유발물질 감시·예측 자료 등	▪ 국토교통부 또는 일반 사용자가 즉시 활용이 가능한 형태인 표준 산출물 이상의 위성자료

라. 기술 수준 분석 시사점

- 우리나라는 위성 개발역량 보다는 위성 활용 역량이 우수한 것으로 나타남
- 선도국 대비 위성 개발역량은 평균 62.3% 수준으로 상대적으로 저조하게 나타남

- 선도국 대비 위성 활용역량은 평균 77.7% 수준으로 상대적으로 우수하게 나타남
- 위성 개발역량 중에서는 우주환경 관측·감시·분석 기술과 우주 탐사 및 활용 기술이 상대적으로 저조한 것으로 나타남
- 위성 활용역량 중에서는 초고속 대용량 데이터 플랫폼 기술, 자연재해 감시·예측·대응 기술, 지능형 빅데이터 분석 및 활용 기술이 상대적으로 저조한 것으로 나타남
- 효율적 극지연구를 위하여 국내 생산되는 위성영상과의 연계 분석할 수 있는 역량의 확보가 필요할 것으로 판단됨
- 정부 부처별 고유 임무를 보다 효율적으로 수행하기 위하여 전용 위성 및 위성센터를 구축·운영할 계획으로 나타남
- 향후 정부 부처별 생산되는 위성영상과 연계한 극지 연구를 위해서는 부처별 생산되는 위성영상의 특성을 파악하여 연계될 수 있는 시스템으로의 개발이 필요할 것으로 판단됨



1-3. 임무 및 시스템 요구사항

가. 임무 요구사항

1) 임무 요구사항

- 임무 목적 : 초소형위성을 활용한 북극 해빙관측
- 세부 목적
 - 기존 위성 검보정을 위한 고정밀 해빙정보(면적, 두께, 거칠기 등) 생산
 - 시간 해상도 : 1회/일, 공간해상도 : 10 km 수준
 - 북극항로 운항 지원을 위한 해빙 정보 생산(해빙 가장자리 탐지)
 - 다중 위성과의 연계를 통한 한반도-극지 원라인 감시

2) 궤도설계안

□ 경사각

- 극지방권 감시 궤도 설계에 있어서 가장 최우선적으로 고려되어야하는 궤도 요소는 경사각임
 - 어떤 경사각을 이용하는지에 따라 감시 가능한 범위, 발사 비용 등 수많은 요소들이 달라짐
- 극지방권 감시를 위하여 이용 가능한 가장 대표적인 궤도로는 극궤도(Polar Orbit)와 태양동기궤도(Sun Synchronous Orbit, SSO)가 있음
 - 극궤도는 보통 극지방인 위도 $66^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 구간의 경사각을 갖는 궤도를 뜻하나 본 분석에서는 90° 의 경사각에 대한 분석을 실시함

□ 90° 경사각 궤도

- 90° 의 경사각을 갖는 궤도의 경우에는 위도 90° 지점을 매 회전마다 방문한다는 점에서 극지방권 감시에 있어서는 최적의 경사각이라고 할 수 있음
- 하지만 90° 경사각의 경우 타 궤도들에 비하여 수요가 거의 없는 편이라 발사 시 Ride-Share가 불가하여 발사를 희망할 경우 독자적인 발사체를 이용하여 발사를 하거나 90° 궤도로 발사되는 다른 대형위성의 수요가 발생할 때까지 대기해야함
- 이는 발사비용 상승 혹은 발사 일정 지연으로 인하여 임무 설계 및 수행에 있어서 큰 단점으로 작용하는 요소임

□ 태양동기궤도

- 태양동기궤도는 위성의 궤도 평면이 지구의 태양 회전 궤도의 주기와 일치하게 되는 궤도임
- 이러한 특징은 위성이 태양빛을 항상 일정한 방향으로 보게 되고 위성이 항상 일정한 환경에서 운용됨에 따라 위성의 태양전지판 설계, 열제어 설계, 임무 소프트웨어 설계 등에 있어서 상당한 이점으로 작용 할 수 있음

- 이러한 장점으로 인하여 태양동기궤도는 수요와 공급이 모두 충분한 궤도로 실제로 초소형위성의 발사 서비스를 제공하는 SPACEFLIGHT 社의 2022년부터 2024년까지 발사예정인 총 11대의 발사체 중 9대가 태양동기궤도를 이용할 정도로 공급이 많아 선택의 폭이 상당히 넓음
- 비용면에서도 Ride-Share가 가능하여 90°궤도에 비하여 발사비용을 상당히 절감할 수 있음
- 태양동기궤도를 이용할 경우 궤도의 특성상 저궤도에서는 95°~ 98° 근처의 경사도를 가지게 되는데 이 경우에 극점 근방 지역에 관측이 안 되는 경우가 생기게 되어 탑재체에 대한 추가적인 자세 기동이 필요하며 탑재체의 성능저하가 필연적으로 발생
- 태양동기궤도의 경사각은 수식 계산을 통하여 계산되며 해당 수식은 다음과 같음

$$i = \cos^{-1} \left(\frac{-2}{3} \cdot \frac{d\Omega}{dt} \cdot \frac{1}{J_2} \cdot \left(\frac{a(1-e^2)}{R_E} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{a^3}{\mu_E}} \right)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \text{Nodal Precession} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$J_2 = J_2 \text{ Constant } (1.08262668 \cdot 10^{-3})$$

$$R_E = \text{Radius of the Earth } (6378\text{km})$$

$$a = \text{Semi - Major Axis}$$

$$e = \text{Eccentricity}$$

$$\mu_E = \text{Standard Gravitational Parameter of Earth } (398,600.44189 \frac{\text{km}^3}{\text{s}^2})$$

- 위 식에서 장반경(a)과 이심률(e)을 제외하고 다른 값들은 모두 상수로 태양동기궤도의 경사각은 장반경과 이심률에 의하여 결정됨

□ 반복지상궤적 궤도 설계

- 반복지상궤적 궤도는 일정한 지상궤적을 일정 주기마다 반복하여 방문하는 궤도

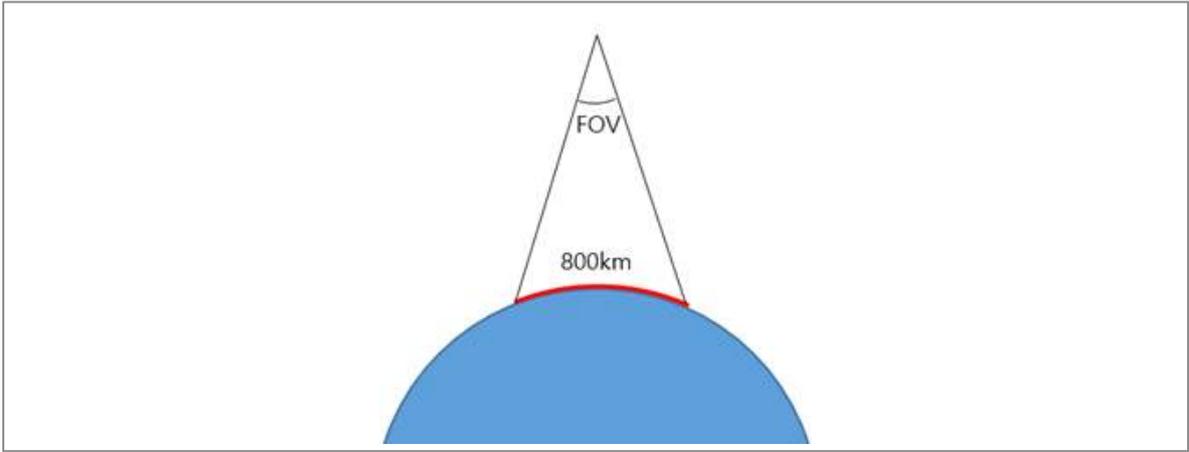
- 해당 궤도는 궤도의 장반경과 경사각에 따라 계산되는 특정 해에 따라서 결정되며 특정 궤적을 일정 기간마다 반복하여 방문하기 때문에 목표로 하는 지역에 대하여 주기적인 관찰이 필요할 때 유용한 궤도임
- 반복지상궤적의 유지를 위해서는 장반경의 유지가 필수적이거나 위성체는 우주 공간에서 다양한 섭동력에 의하여 시간이 지날수록 장반경이 지속적으로 줄어들기 때문에 이를 위해서는 추력기를 활용해야함
 - 추력기를 활용할 때 1mN급의 추력기를 6U, 12kg에 대하여 운용 했을 때 1회 연소로 상승할 수 있는 고도는 약 163m임
 - 이때 위성의 장반경은 단위궤도당 약 1.4m씩 감소하며 하루에 약 22m의 감소가 발생하기 때문에 약 180시간마다 한 번의 연소가 필요
 - 추력기를 활용할 경우 추가적인 전력 소모 및 공간이 필요한데 기존에 Radiometer를 탑재한 6U 초소형위성인 TEMPEST-D의 경우를 참고했을 때 6U의 크기로는 추력기를 배치하는 것이 불가하여 반복지상궤적 궤도를 이용하고자 할 경우에는 위성의 크기가 9U혹은 12U로 변경을 고려해야함

2) 궤도분석

□ 가정사항

- 각각 90도와 태양동기궤도에서 마이크로파 라디오미터의 Swath Width(지상촬영 면적)을 800km로 고정하여 북극권에 대한 분석을 실시
- Swath Width를 고정한 상태에서 분석을 진행했기 때문에 고도 변경에 따른 재방문주기 및 커버리지 분석의 결과는 큰 차이가 없음
- 북극권 구역을 66°~74°, 74°~82°, 82°~90°, 총 세 구역으로 나누어서 분석을 실시함
- 가정 사항은 다음과 같음
 - ✓ Epoch Time : 2023년 1월 1일
 - ✓ FOV(Field of View) : 지상촬영 면적이 800 km가 되는 FOV는 고도에 따라 다음 표와 같음

[그림 5-12] 지상촬영 면적이 800 km가 되는 FOV

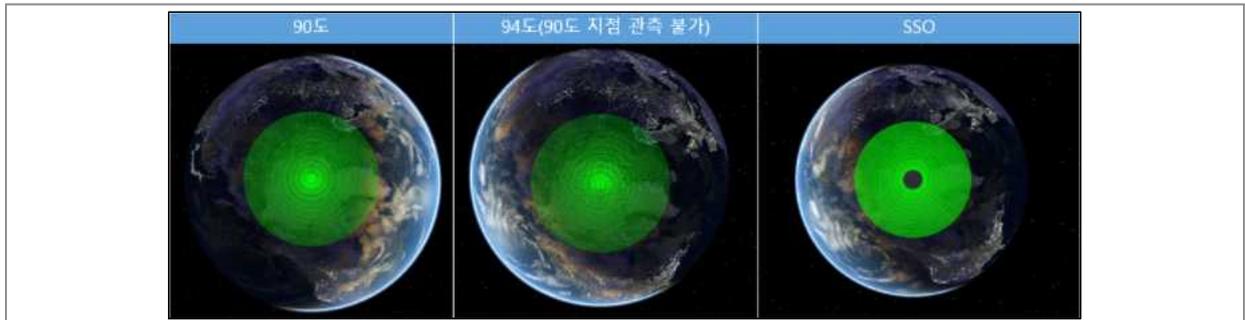


<표 5-11> 고도별 FOV 각도

고도 (km)	FOV (°)
450	81.67
460	80.46
470	79.28
480	78.12
490	77.00
500	75.90
510	74.83
520	73.79
530	72.76
540	71.77
550	70.79

✓ Area of Interest(AOI) : 위도 66° ~ 90°지역

[그림 5-13] 경사각에 따른 AOI

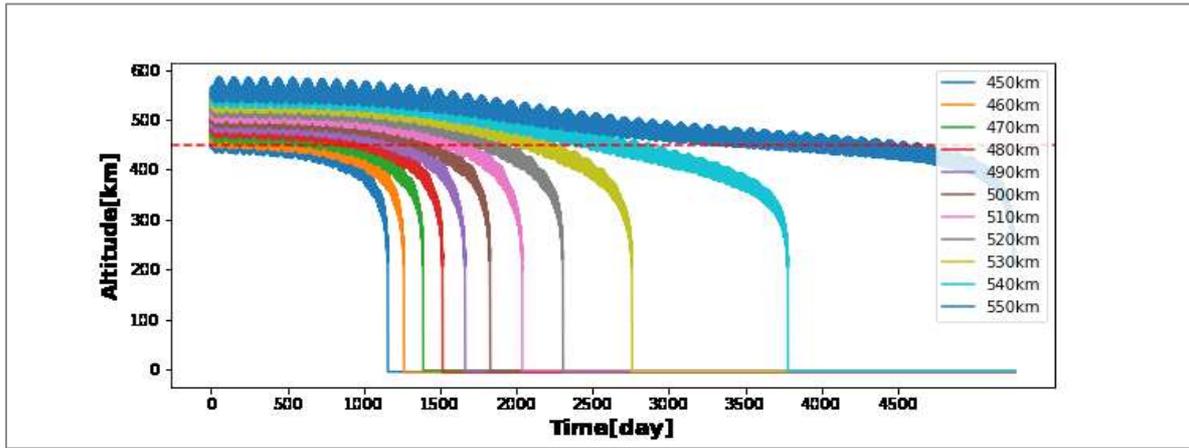


- ✓ 위성 경사각에 따라 극점에서 관측 불가 지역이 발생 가능
- ✓ Ecc : 0.001°
- ✓ Area 계산 : x = 0.3, y = 0.1, z = 0.2, 태양 전지판 = 0.5*0.3
- ✓ 대기모델 : MSIS-2000 (F10.7)
- ✓ Drag Area = Average(Body Area)
- ✓ SRP Area = 0.15
- ✓ 시뮬레이션 시간 : 60일
- ✓ 자세제어 : 지구지향(북위 66°이상), 태양지향(북위 66°이하)
- ✓ Prop : RK89
- ✓ 위성 무게 : 10kg

□ 궤도 수명 분석

- 500~700km의 저궤도에서는 위성의 고도에 영향을 줄 만큼의 희박한 대기가 존재
- 대기 저항은 물체의 속도(v), 질량(m), 대기밀도(ρ), 대기와 접촉하는 단면적(A)에 따라 $a_d = \rho \frac{A}{m} v^2$ 에 의해 결정됨
- 고도 약 460 km 이상에서는 궤도 수명 3년을 만족하지만 3년 동안의 임무를 위해서는 어느 정도 고도가 유지되어야 함
- 고도 약 450 km 이상에서 임무 성능을 만족할 수 있다고 할 때, 약 3년 동안 450 km 이상을 유지하기 위해서는 고도 500 km 이상의 궤도를 사용해야 함
- 본 분석에서는 고도 500 km를 기준으로 임무 분석을 실시하였음

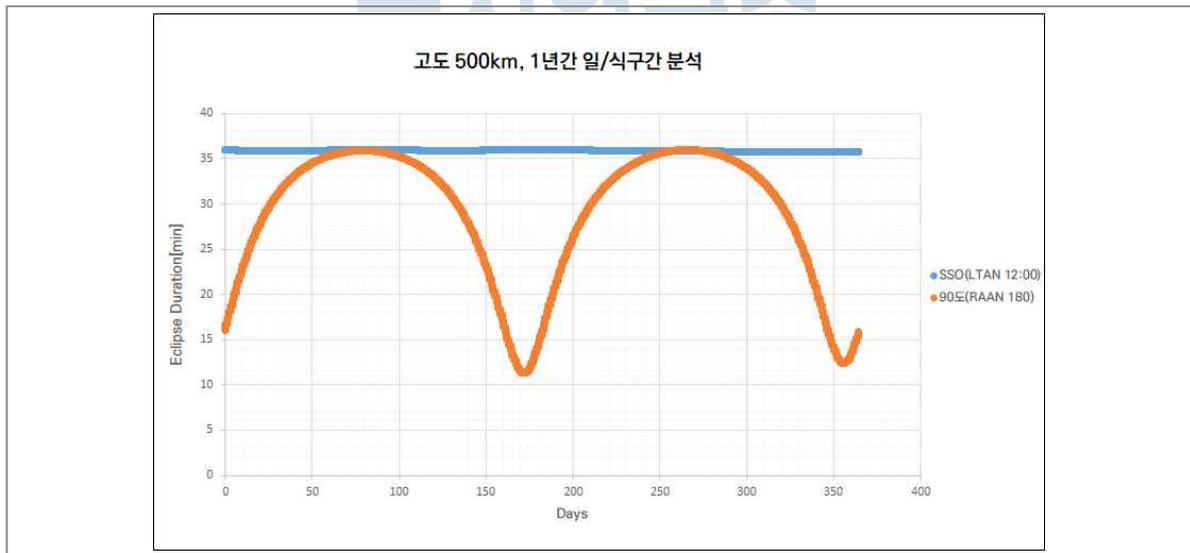
[그림 5-14] 고도별 위성 수명 분석



(가) Eclipse 분석 : 고도 500 km에서 경사각 90° 와 태양동기궤도 운용 시의 일/식 구간 분석

- 태양동기궤도의 경우, 고도 500 km LTAN 12:00을 갖는 RAAN 값을 설정했으며, 극궤도의 경우 RAAN 값을 180°로 가정하였으며 1년 동안 일/식 구간의 길이는 다음 그림과 같음

[그림 5-15] 고도 500km에서 1년간 일/식구간 분석



- 태양동기궤도는 시간에 큰 영향을 받지 않고 일정한 시간동안 태양을 지향하는 반면, 경사궤도의 경우, 기간에 따라서 일/식 구간 간격에 상당히

큰 범위의 편차를 보임

- 태양동기궤도는 RAAN 값에 따라 일/식 구간의 길이가 크게 달라짐
- 이와 같은 경우 환경의 변화, 특히 온도와 전력수급에 대한 문제가 지속적으로 발생하여 임무 설계시 고려할 사항이 많아지는 단점이 생김
- LTAN이 6 a.m. 또는 6 p.m.인 Dawn/Dusk 궤도의 경우 식구간이 0에 가까워 전력 생산 관점에서는 유리하나 대부분의 시간동안 태양열이 위성에 입사하기 때문에 방열 문제가 발생할 수 있음

1-4. 본체 및 탑재체 개발 방안

가. 본체 개발 방안

- 극지관측 초소형위성 본체는 구조계, 열제어계, 자세제어계, C&DH, 비행 소프트웨어, 전력계, 통신계, 추진계의 서브시스템으로 구성
- 국내외의 다양한 초소형위성 공급자가 본체 각 서브시스템 구성품을 공급하고 있음
- 탑재컴퓨터, 통신장비 등 국내 개발 중인 제품이 있으므로 국내 개발을 고려할 수 있음
- 일반적으로 초소형위성의 평균 기대수명은 약 1.1년이나 3년 임무 수명을 달성하기 위해서는 다음과 같은 방안들도 고려해야함
 - 우주이력이 있는 구성품 활용으로 신뢰성 제고
 - 중요 구성품의 이중화(Redundancy)를 채택하여 신뢰성을 제고할 수 있으나 초소형위성은 크기에 제약이 크므로 이를 고려하여야 하며, 이중화 사용시 위성 비용 및 무게 증가를 감수해야 함
 - 우주 방사선 차폐 실드 두께를 증가시켜야 하며 이 경우에도 무게 증가를 감수해야 함

○ 배터리의 경우가 문제일 수 있는데, 이는 용량을 키우거나 신뢰성이 높은 제품을 사용하는 것으로 해결이 가능함

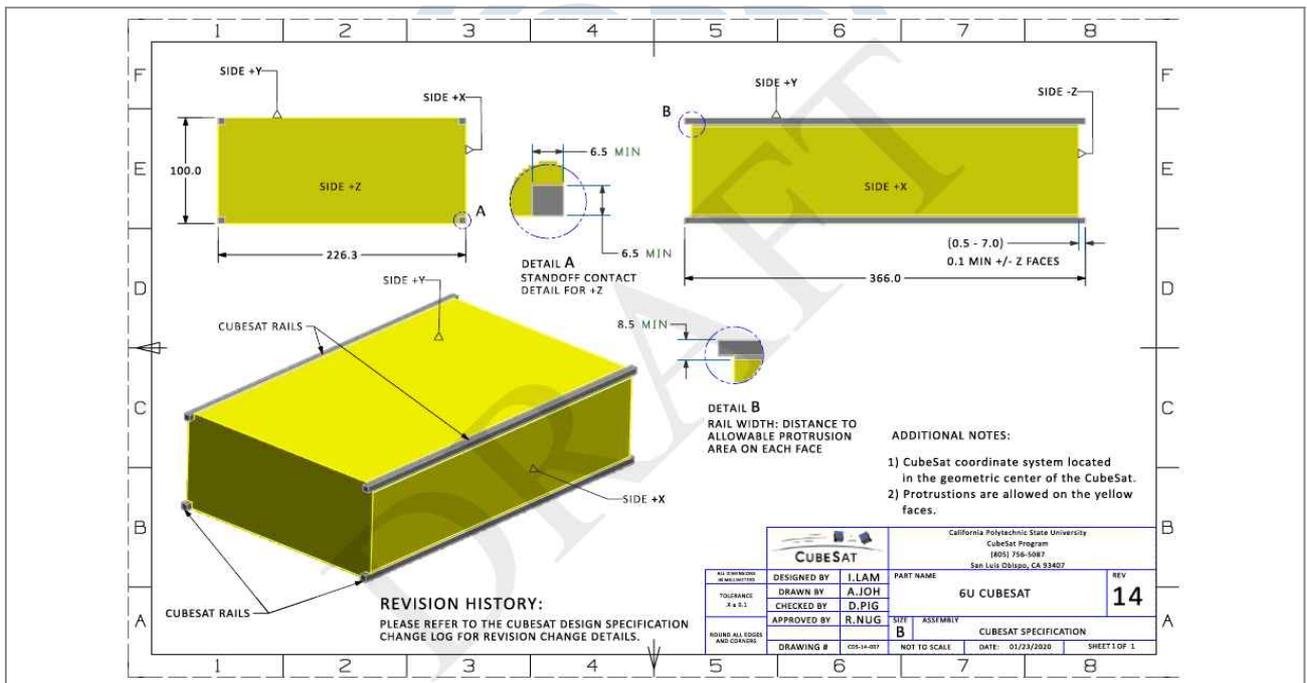
□ 장착할 탑재체의 크기, 임무 등을 고려하였을 때 초소형위성 6U 플랫폼을 제안함

○ 초소형위성의 기본 단위 1U는: 일반적으로 10 cm X 10 cm X 10 cm, 1 ~ 1.33 kg. 6U 플랫폼 사용

○ 초소형위성은 일반적으로 규격화된 구조체에 각 서브시스템 모듈을 아래 그림 42와 같이 쌓는 형식으로 배치하는 형태로 설계

□ 위성체 설계 및 AIT(조립/통합/시험)은 국내 기술로 수행

[그림 5-16] CubeSat Design Specification Rev. 14에 정의된 6U 초소형셋 상세 규격



[그림 5-17] 6U 초소형위성 내부 구조 (예)



나. 구조계(SMS)

- 구조계는 발사 및 위성 운영 기간 동안 위성 본체를 지탱할 수 있어야 하며 위성 본체와 발사체의 결합이 잘 되도록 최소의 질량으로 설계되어야 함
- 위성 발사 과정 중에 발생하는 진동 및 우주 환경을 위성이 견딜 수 있도록 구조를 설계
- 위성 구조계 설계는 위성 본체의 다른 서브시스템 및 발사체 특성과 밀접하게 연관되어 있음
- 위성 구조물 설계는 CDR Rev. 14에 정의된 6U 초소형위성 규격 이내에서 커스터마이징 가능
- 일반적으로 구조물에 위성의 전원스위치가 되는 Kill switch (Separation switch)를 구성
- 위성 조립 시 조립성을 고려한 조립 절차와 설계 필요

<표 5-12> 상용 판매되고 있는 초소형위성용 구조물 제품

모델 /제조사	6U Structure/ EnduroSat	6U Nanosatellite Structure / Gomspace	6-Unit CubeSat Structure / ISISPACE
형상			

다. 열제어계(TCS)

- 열제어계는 섭씨 영하 269도에 달하는 극한 우주 환경에서 위성의 모든 구성 요소들이 작동에 적합한 온도 범위를 유지하도록 함
 - 열제어 방식에는 구성품의 물성치를 활용하는 수동적 방식과 전력을 사용하는 능동적 방식이 있는데, 신뢰도가 높은 수동적 열제어 방식이 선호되며, 능동적 열제어 방식을 사용하여 이를 보조함
 - 초소형위성의 경우 매우 작은 크기로 인해 열제어 설계에 제약이 있으며, 대부분 구성품의 적절한 배치, 표면 처리(코팅) 등의 방식을 통해 열설계가 이루어짐 열모델링 및 (궤도/구성품/열환경 시험의)열해석이 열제어계의 주 업무가 될 것임

라. 자세제어계(ACS)

- 각종 센서 정보를 이용하여 위성의 현재 자세를 파악하고 원하는 자세와 현재 자세 사이의 차이에 따른 필요 토크를 계산한 후 구동기를 활용하여 필요 토크를 발생시킴으로써 원하는 자세로 이동
 - 자세제어계는 자세결정 시스템과 자세제어 시스템으로 구분되며 자세결정 시스템에는 별센서 및 자이로(Gyro) 등의 자세 센서가 사용되고 자세제어 시스템에는 자기토크, 자세 추력기, CMG 등의 자세 구동기가 사용됨
 - 자세제어 알고리즘은 자세 동역학 모델과 자세 제어기로 구성되며 자세결정을 통해 파악한 현재 자세와, 자세 동역학 모델로부터 예측한 미래 시점의 자세를 기반으로 자세 구동기를 통해 발생시켜야 할 토크(Torque)를

계산

- 초소형위성용 자세제어 구성품은 초소형위성 규격에 적합하게 모듈화 되어 제공될 수 있음

<표 5-13> 상용 판매되고 있는 자세제어계 제품

모델 / 제조사	XACT-50 / Blue Canyon (미국)	IADCS400 / AAC CLYDE SPACE (스웨덴)	MAI-500 / Adcole Maryland Aerospace (미국)
형상			
무게	1.23 kg	1.3 kg	1.049 kg
부피	10 x 10 x 7.54 cm(0.75U)	0.96 x 0.96 x 0.67 cm	1.0 x 1.0 x 6.23 cm
입력전압	12 V	5 V	5 V
Data Interface	RS422	I ² C (Optional RS422, CAN)	RS422, SCI/UART
지향 정밀도	0.003° for 2 axes 0.007° for 3rd axes	0.05°	0.1°for LVLH 0.008°for ECI
Momentum	15 mNms	30 mNms	11mNms

마. 명령 및 데이터 처리계(C&DH)

- 명령 및 데이터 처리(C&DH) 서브시스템은 위성 내 모든 명령과 데이터를 처리하는 서브시스템
 - 위성을 제어하기 위한 명령과 위성에서 생성된 모든 데이터(House keeping data, Mission data, Log datam etc.)를 관리 및 저장
 - House keeping data : 온도, 압력, 전압 및 전류, 안테나 및 태양전지판 전개 등 위성의 모든 상태 데이터
 - 위성 내 모든 구성품과 탑재체의 인터페이싱 역할 수행
 - 주요 구성품으로는 탑재컴퓨터와 인터페이스 보드가 있음

<표 5-14> 상용 판매되고 있는 탑재컴퓨터 제품

모델 / 제조사	OnBoard Computer / EnduroSat	ISIS OnBoard Computer/ ISISPACE	Sirus OBC / AAC Clyde
형상			
무게	130 g	94 g	130 g
Processor	ARM Cortex M7	32-bit ARM9	32-bit LEON3FT
RAM	512 KB	SDRAM : 64MB	SDRAM : 64MB NVRAM : 16KB
Interface	RS485, RS422, UART, I2C, SPI, USB	RS485, RS422, UART, I2C, SPI, USB	RS485, RS422, UART, I2C, SPI, USB, CAN, Space wire
Power Consumption	-	0.4 W	1.3 W

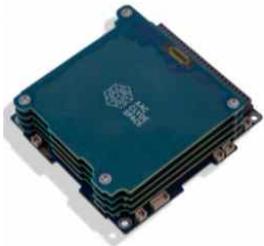
바. 전력계(EPS)

- 전력계는 위성이 동작하는데 필요한 모든 전력을 생산, 분배, 변환, 공급하는 역할을 수행한다. 전원공급기(PCDU), 배터리, 태양전지판으로 구성됨
 - 각 구성품과 탑재체의 소모전력과 위성 운용개념을 바탕으로 전력 분석하여 전력계 설계 진행
 - RBF를 구성하여 지상에서 Separation Switch가 동작하지 않을 때 위성 전원의 On/Off 제어가 되어야 함
 - 과전류에 대한 Latch up Protection 기능이 포함되어야 함
- 전원공급기
 - 배터리에 축적된 에너지를 각 구성품이 필요한 전압에 맞게 변환하여 분배
 - 전원공급기는 각 구성품에 대한 Power Cycling이 되어야 함

<표 5-15> 상용 판매되고 있는 전원공급기 제품

모델 / 제조사	EPS I / EnduroSat	P60 System / Gomspace	NANO-PLUS / AAC Clyde
형상			
무게	193 g	80 g	148 g
부피	-	92.0 x 88.9 x 28.8 mm	95.9 x 90.2 x 20.8 mm
Channel	6 Channels	9 Channels	10 Channels
Data Interface	I2C, UART, USB	CAN / I2C	I2C
Regulated Power Buses	3.3V, 5V, V_BAT	3.3V, 5V, 8V, 12V	3.3V, 5V, 12V

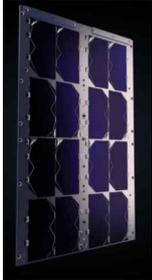
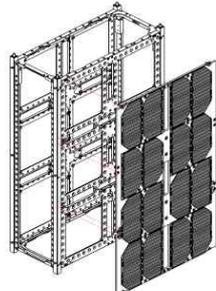
<표 5-16> 상용 판매되고 있는 배터리 제품

모델 / 제조사	Battery Pack / EnduroSat	BPX / Gomspace	OPTIMUS / AAC Clyde
형상			
무게	1280 g	500 g	670 g
부피	1U	93.0 x 86 x 41 mm	95.9 x 90.2 x 20.8 mm
Capacity	84 Wh	75 Wh	80 Wh
Charge/Discharge Current	Configurable	1.25 A	5.2 A

□ 태양전지판

- 극지빙원 감시를 위해 라디오미터나 전자광학 카메라를 운용하기 위해서는 충분한 전력량 확보가 필요
- 태양전지판 전개 메커니즘을 활용하여 더 많은 태양전지판을 구성할 수 있음

<표 5-17> 상용 판매되고 있는 태양전지판 제품

모델 / 제조사	6U Solar Panel/ EnduroSat	BPX / Gomspace	PHOTON / AAC Clyde
형상			
무게	300 g	453 g	270 g
Max Voltage	19.2 V (2x8 cell)	2.42 V (1 cell)	-
EOL	29 + %	30.18 %	30,7 %
Max Power	19.2 W in LEO	1.2 W (1 cell)	Up to 9W per 3U populated face

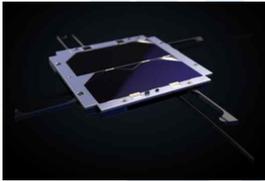
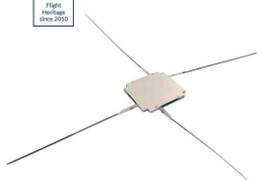
나) 통신계

- 통신계는 위성 상태데이터, 위성운용을 통해 생성된 임무데이터를 지상으로 송신하고, 지상국에서 위성을 제어하기 위한 명령을 수신 받을 수 있는 시스템이다.
- 일반적으로 전력량이 충분하지 않은 초소형위성에서는 UHF/VHF 대역의 주파수로 TM/TC를 수행하고, 데이터 양이 많은 임무데이터는 Downlink 시 S-band(10Mbps 이하)/X-band(10Mbps 이상) 대역을 채택하여 사용
- 통신 주파수 선정에는 영리기관에서 상업적 목적으로 사용 시에는 상업용 주파수대역을 선정해야하고, 비영리기관에서 연구목적, 학술목적으로 사용 시 아마추어 대역이 사용 가능
- 통신계는 각 대역 별 송신기, 수신기, 안테나로 구성되어 있음
- UHF/VHF 송수신기/안테나

<표 5-18> 상용 판매되고 있는 UHF Transceiver 제품

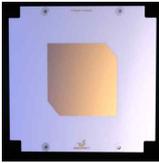
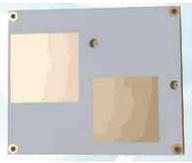
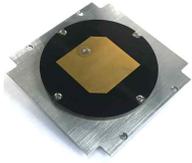
모델 / 제조사	UHF Transceiver II/ EnduroSat	NanoCom AX100 / Gomspace	VHF/UHF Transceiver / ISISPACE
형상			
Frequency Range	UHF : 430~440 MHz	VHF : 143~150 MHz UHF : 430~440 MHz	VHF : 148~150 MHz UHF : 430~440 MHz
Modulation	2GFSK, GMSK	GFSK/GMSK	BPSK, GMKS
Mass	94 g	24.5 g	75 g
Interface	RS485, UART, I2C	I2C, UART, CAN	I2C

<표 5-19> 상용 판매되고 있는 UHF Antenna 제품

모델 / 제조사	UHF Transceiver II/ EnduroSat	NanoCom Ant-6f UHF / Gomspace	VHF/UHF Transceiver / ISISPACE
형상			
Frequency Range	UHF : 435~438 MHz	UHF : 340~680 MHz	VHF : 148~150 MHz UHF : 430~440 MHz
Porlarization	Circular	Circular	Linear / Circular
Mass	85 g	90 g	< 100 g
Interface	I2C	I2C	I2C

□ S-band 안테나 및 수신기

<표 5-20> 상용 판매되고 있는 S-band Antenna 제품

모델 / 제조사	S-band Antenna ISM / EnduroSat	S-band Antenna / IQSpaceCOM	S-band Patch Antenna / ISISPACE
형상			
Frequency Range	2400 ~ 2450 MHz	2033 ~ 2208 MHz	2200 ~ 2290 MHz
Porlarization	LHCP	RHCP	RHCP
Mass	64 g	58 g	50 g
HPBW	71°	70°	100°

<표 5-21> 상용 판매되고 있는 S-band Transmitter 제품

모델 / 제조사	S-band Transmitter/ EnduroSat	SRS4 / Satlab	S-band High Data Rate Transmitter / ISISPACE
형상			
Frequency Range	2400 ~ 2450 MHz	2025 ~ 2110 MHz	2200 ~ 2290 MHz
Modulation	QPSK, 16-APSK	BPSK, QPSK	BPSK, OQPSK
Data Rate	20 Mbps	12.5 Mbps	10 Mbps (OPQSK)
Mass	250 g	253 g	132 g
Interface	RS-485/UART/LVDS	RS-422/Ethernet/CAN	I2C/LVDS

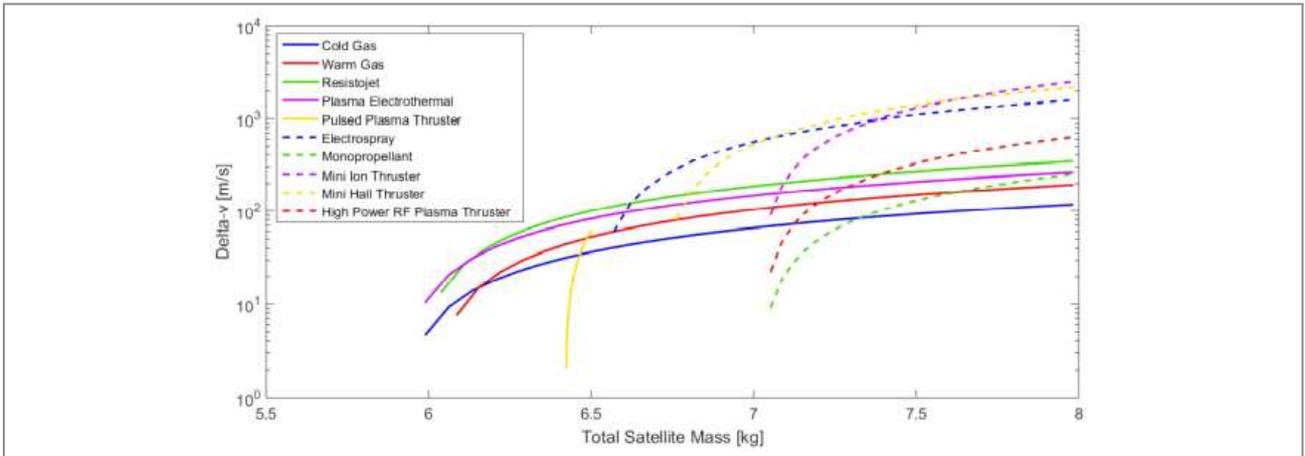
사. 추진계(PS)

- 추진계는 일반적으로 궤도 제어(유지 및 변경)를 위한 추력을 생성하는 서브시스템으로 연료에 따라 추진계 유형이 달라지고 위성 수명이 영향을 받음

<표 5-22> 추진기의 종류와 비교

추력기 종류	비추력 (s)	추력	기술 현황	용도
고체 (Solid)	280-300	10-106 N	안정	궤도진입
화학추력기 (액체)				
Monopropellant	155-225	0.05-0.5 N	안정	궤도보정/자세제어
Bipropellant	350-450	5-5×10 ⁶ N	안정	궤도천이/궤도보정
Cold Gas	~50	0.05-200 N	안정	궤도보정/자세제어
아크젯/리시스트젯	400-1500	5 mN-5 N	안정	궤도천이/궤도보정
홀/이온추력기	1500-6000	0.001-500 mN	실용화 단계	궤도천이/궤도보정
Feep/액체금속 추력기	2000-6000	0.2-1.35 mN	실용화 단계	궤도유지/자세제어

[그림 5-18] 6U 초소형샷의 추력방식에 따른 ΔV 와 위성 총 중량



□ 초소형위성에 탑재할 소형 추력기 사양

- 화학식 혹은 Cold Gas 추력기는 높은 추력 (Thrust)을 낼 수 있고 비교적 간단한 장점이 있으나 낮은 비추력 (Specific Impulse)에 기인하여 연료의 소모가 많은 특징이 있음
- 전기 추력기는 구조가 간단하고 미세 정밀 제어가 가능하며, 비추력이 높은(>3500 s) 장점이 있지만 추력 발생이 작으며 종류에 따라 부피와 질량이 크고, 전력 소모량이 높다는 단점이 있음
- 초소형위성 초소형샷의 추력기는 사용의 목적에 따라 요구되는 속도변화량 ΔV 가 추산되며, 통상적으로 궤도유지를 위해서는 $\Delta V = 50 \sim 100$ m/s가 필요하고, 궤도의 천이를 위해서는 이보다 큰 숫자가 필요함
- 초소형위성 추력기의 경우 현재 기술의 수준으로는 탑재시 1U 정도의 공간을 차지하기 때문에 3U 위성에는 추력기를 탑재하는데 제한이 있어 상세 임무 설계에 따라 탑재 여부를 결정해야 함
- 극지관측 초소형위성의 경우 6U를 계획하고 있으므로 추력기로는 우주에서의 운영사례가 풍부한 Cold-gas type나 전기추력을 고려할 수 있음
- 초소형샷에 탑재 가능한 상용 추력기는 다음과 같음

<표 5-23> 초소형셋에 탑재가능한 화학식 추력기

제품	제작사	추력 (mN)	비추력 (Isp, s)	전력 (W)	무게 (Dry, g)	크기 (cm or U)	우주운영
PPT	Busek	0.5	700	2	550	0.5U	성공
BmP-220	Busek	0.02	536	1.5-7.5	500		
PPTCUP	Mars Space Ltd.	25-35	~600 s	2	280	9×9×2.5	성공
MEMS system	NanoSpace	0.1-1	90-110	2	250	0.33U	성공
Micro resistojet	Busek	10	80-150	3-15	1250	1	성공
Resistojet	Busek	10	150	15	1250	1U	성공

<표 5-24> 6U 초소형셋에 탑재가능한 Cold-gas 추력기

제품	제작사	추력 (mN)	비추력 (Isp, s)	무게 (Dry, g)	크기 (cm)	우주운영
NANOPS	SFL	35	46	480	5 × 5 × 10	성공
CNAPS	SFL	12.5-50	45	240	7 × 12.5 × 18	성공
MEMS	Aerospace Corporation	100	30	188	9.1 × 9.1 × 2.2	성공
Micropropulsion	Microspace Rapid Pte Ltd	1	32	-	-	성공
T3-uPS	TU Delft	6	69	<10 g	-	성공
MEPSI	VACCO	53	65	456	9.1 × 9.1 × 2.5	성공
MarCO	VACCO	25	-	-	-	성공
MiPS	VACCO	10	40	542-1245	< 10 × 10 × 10	성공

[그림 5-19] 6U에 탑재 가능한 Cold-gas 추력기 (좌)Micropropulsion)와 (우)MEPSI



[그림 5-20] 초소형위성의 추력기 (좌) Cold gas (우) 전기추력기(FEEP)



<표 5-25> 초소형샷에 탑재가능한 전기 추력기

제품	제작사	추력 (mN)	비추력 (Isp, s)	전력 (W)	무게 (Dry, g)	크기 (cm or U)	우주 운영
BHT-200	Busek	13	1390	200	1000	8Ø5.5	성공
BIT-3	Busek	1.1	2150	56-80	3000	1.5U	성공
PPTCUP	Mars Space Ltd.	0.04	~600 s	2	280	0.25U	성공
NanoFeep	morpheus	0.02	3000-8500	3	160	1U	성공
Micro resistojet	nanoFEEP	1-10	50	3-15	1250	0.5U	성공
NANO IR3	ENPULSION	0.5	2000-6000	45	1420	1U	성공

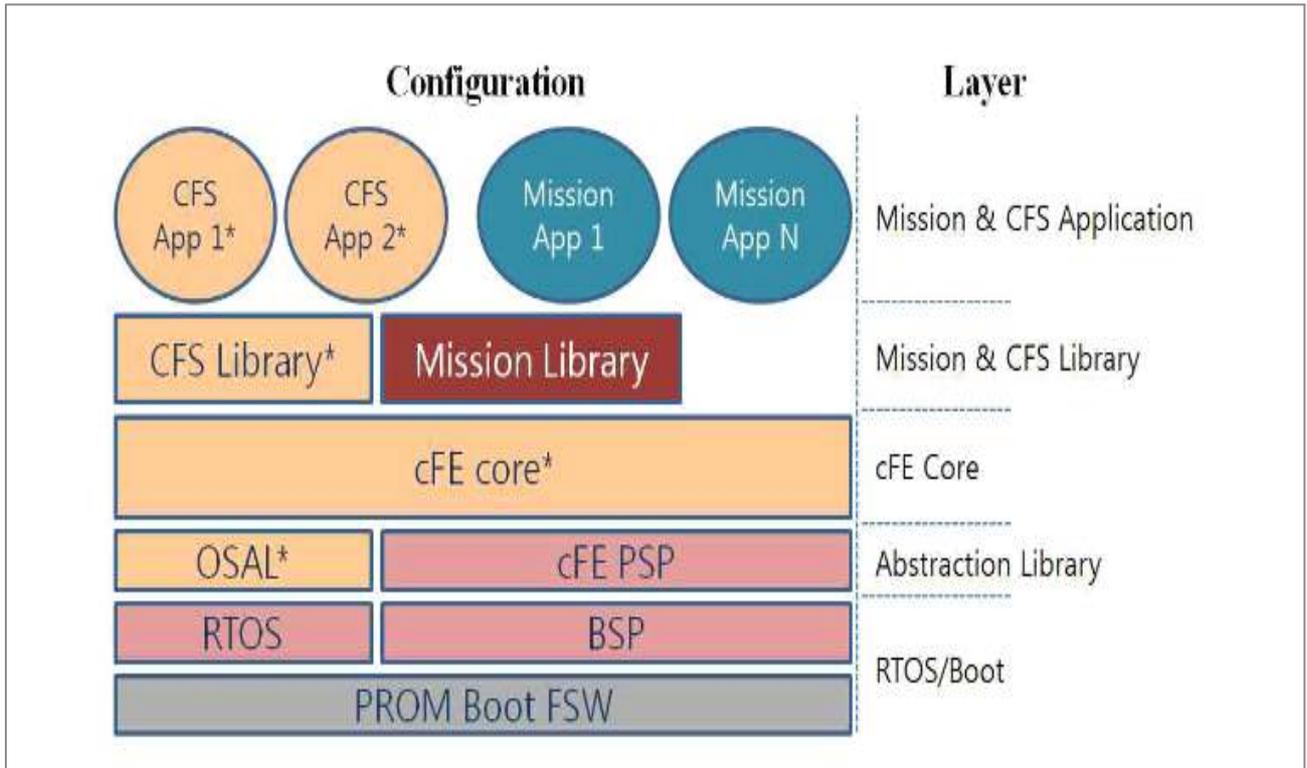
아. 비행소프트웨어(FSW)

- 비행소프트웨어는 위성이 운용되고 임무를 수행하는데 필요한 모든 작업을 수행하는 소프트웨어
 - 일반적으로 위성의 탑재컴퓨터에서 동작
 - 초소형위성 비행소프트웨어 개발 키트는 Gomspace, Bright Ascension, ISISPACE 등 개발되어 판매 중
- CFS (Core Flight System)
 - 미국 NASA GFSC(Goddard Space Flight Center)에서 위성개발 프로젝트에 범용적으로 사용될 수 있도록 개발한 비행소프트웨어 플랫폼
 - ✓ 짧은 시간 내 고품질의 비행소프트웨어 개발 가능
 - ✓ 시간/비용에 대한 불확실성 최소화

- ✓ 조직 간의 협업 증대
- ✓ 유지보수 용이
- ✓ 소프트웨어 재사용성 강화

○ CFS는 추상화, 정보 은닉, 모듈화와 같은 객체 지향 소프트웨어 기법에 근거하여 개발

[그림 5-21] CFS Layered Architecture



- CFS 가장 하단에는 OSAL(OS Abstraction Layer)계층이 위치하며 이는 OS를 추상화 하는 계층으로 CFS가 OS에 독립적으로 사용될 수 있도록 함 (OS가 변경되어도 OSAL 상단의 소프트웨어 구현은 변동 없음)
- OSAL 바로 상단의 cFE core는 기존 비행소프트웨어의 분석 거쳐 미션에 관계없이 공통적으로 사용되는 모든 임무에 적용 가능
- 가장 상단에는 어플리케이션 Layer 이며 임무에 필요한 세부 기능들이 구현됨
- 각 어플리케이션은 CFS 기반 소프트웨어가 실행되는 동안 실시간으로 로드

및 언로드가 가능하며 모든 어플리케이션에 공유가 되는 메시지 버스가 제공되어 메시지를 주고받는 방식으로 어플리케이션이 연동됨

- 위와 같은 방식으로 인해 구현된 어플리케이션은 재사용성이 용이함

□ GenerationOne (Flight Software Development Kit) - Bright Ascension

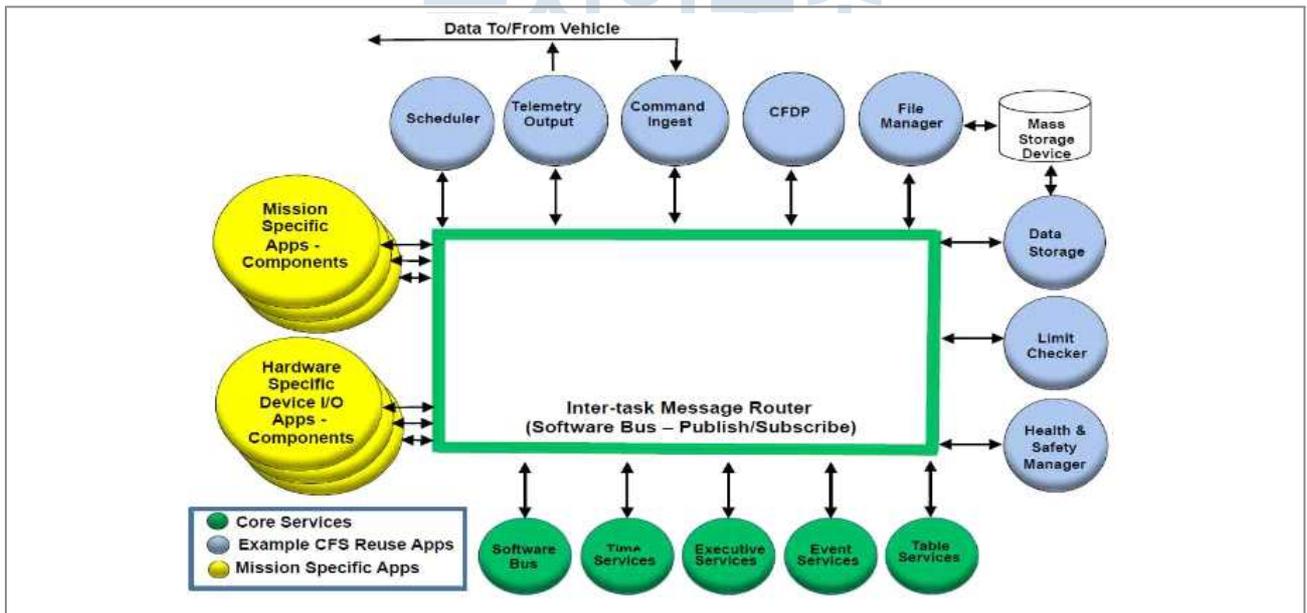
- Bright Ascension社에서 개발

○ GenerationOne은 현재 궤도운영 중인 29개의 초소형위성을 통해 Space Heritage를 확보

○ 다양한 초소형위성 임무를 통해 검증된 라이브러리를 기반으로 비행소프트웨어를 개발함으로써 개발기간 절감 및 고 신뢰도를 확보

○ XML 파일 설정을 통하여 Deployment를 만들고 각 컴포넌트의 정적 라이브러리를 이용하여 바로 OBC에 이식할 수 있는 실행파일로 변환함으로써 모듈 단위로 쉽게 프레임워크 개발 가능

[그림 5-22] Message bus and application of CFS



- 다양한 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼을 지원

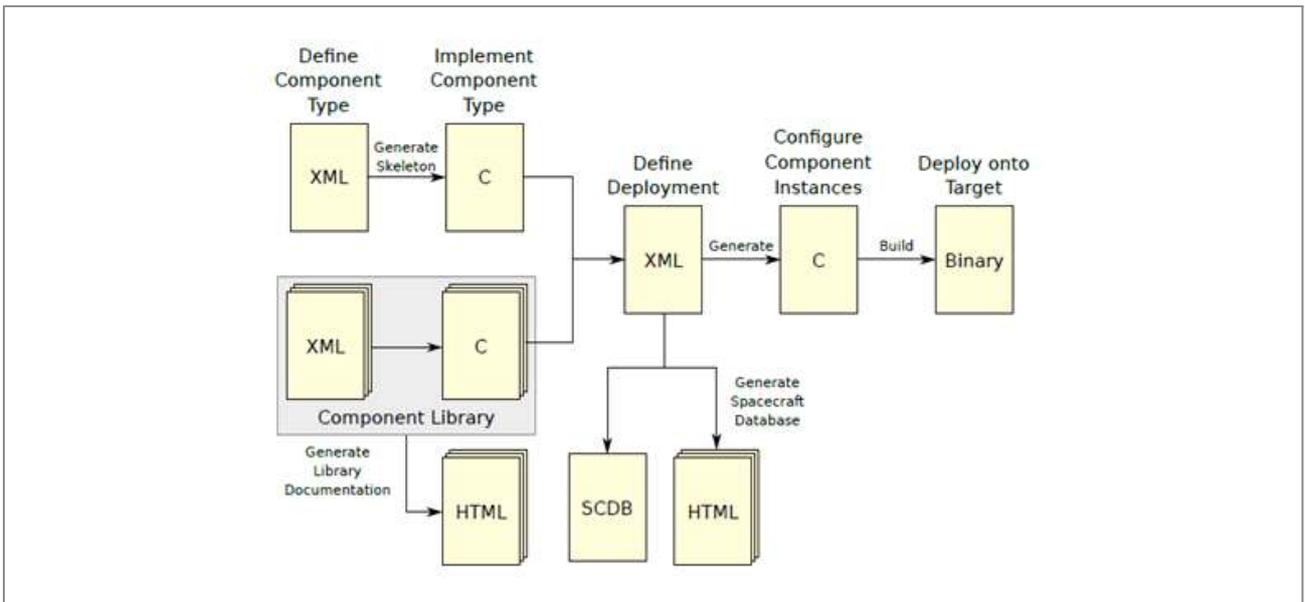
- 플랫폼 추상화를 통해 FSDK는 FreeRTOS vanilla Linux에서 RTEMS까지 다양한 운영체제에서 작동
- 라이브러리 컴포넌트들은 플랫폼에 독립적으로 시스템 주변장치와 서브시스템에 쉽게 접근 할 수 있도록 하고, 높은 수준의 모듈성 제공

<표 5-26> GenerationOne 플랫폼 및 서브시스템 지원

Onboard Computer	Operating System
<ul style="list-style-type: none"> ▪ AAC-Clyde Clyde Space OBC and Sirius OBC ▪ CubeSpace CubeComputer ▪ GomSpace Nanomind A3200 and Z7000 ▪ Pumpkin BeagleBone Black OBC ▪ Texas Instruments MSP430-based platforms ▪ Vorago RH-01 VA10820-based radiation hardOBC ▪ Xiphos Q7 and Q8 ▪ Soletop QBrain Many other Linux-based OBCs including Raspberry Pi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Linux ▪ FreeRTOS ▪ RTEMS ▪ Bare metal environment using the built-in cooperative multi-tasking capabilities of the framework

- 동일 제조사에서 개발한 초소형위성 지상국 소프트웨어인 MCS(Mission Control System)과 높은 호환성을 가지고 있음

[그림 5-23] XML 파일을 통한 GenerationOne의 코드, 데이터베이스, 설명서 생성



- 일반 기능 외에 우주 방사선 영향을 완화하는 아래 기능을 가진 소프트웨어 개발이 필수적임
 - 펌웨어 :EDAC/SECDED, ECC 처리
 - OS/Drivers : Retry & scrub mechanism
 - FDIR(Failure Detection, Isolation and Recovery) 구현

자. 탑재체 개발 방안

1) 다중분광 센서 탑재체

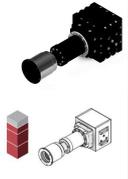
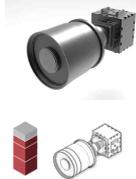
- 다중분광 센서 탑재체를 통하여 다음과 같은 정보를 획득할 수 있음
 - 북극 해빙 표면 특징 파악
 - 해빙의 형상 및 분포, 해빙-바다 경계 등에 대한 고해상도 영상 촬영
- 광학 카메라는 공간해상도가 높아질수록 관측폭이 좁아지는 특성이 있는데, 현존하는 초소형위성 광학 카메라의 성능을 고려하면 해상도 5m급 고해상도 위성 두 대로 하루 안에 북극권 전역 관측은 어려움. 따라서 본 사업에서는 관측폭 80 km급과 20 km급 카메라를 동시에 탑재하여 관측폭이 넓으면서 해상도가 상대적으로 낮은 광학카메라를 사용하여 넓은 영역에 대한 이미지를 획득하고, 고해상도 영상이 필요한 특정 지역에 대하여 고해상도 영상을 획득하는 방안을 제안함
- 초소형위성 센서 제조사의 사양을 참고하여 본 사업에서 개발할 다중분광 센서 사양의 권장 안은 다음과 같음 (고도 500 km 기준)

<표 5-27> 다중분광 센서 사양 권장 안

항 목	사 양
관측대역	RGB + 근적외선
공간해상도 (m)	5 , 40
관측폭 (km)	20 , 80
무게 (kg)	0.39 + 1.1 kg 이내
전력 (W)	1.5W + 5.8W
크기 (U)	1U + 1.5U 이하

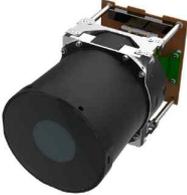
□ 초소형위성용 다중분광카메라를 공급하는 국내 업체가 있으며 (예: KAIROSPACE) 개발 기술력을 갖추고 있음 이러한 산업체와의 협업을 통해 본 임무에 적합한 카메라 자체를 개발하는 방안도 있으나 구매보다 검증 등에 투입되는 비용이나 시간으로 인해 비용 및 일정 증가가 발생할 수 있음

<표 5-28> KAIROSPACE 사 초소형위성용 다중분광카메라 상세 규격

	22 mm Camera		90 mm Camera
<ul style="list-style-type: none"> ■Size 2.5U ■Mass 1 kg ■Operating conditions -60° C~+60° C, vacuum ■Spatial resolution @600km 37 m color ■Swath width @ 600km 125km ■Aperture 22 mm ■Field of View 12° ■Focal length 76.5 mm ■Spectral band Up to 6 bands as customer' s request (RGB, Red Edge, NIR, PAN) ■Image sensor CMOS(3388x2712 pixel) ■Data interface Gigabit Ethernet/LVDS/RS422/RS485 ■Data format Mono 8/10/12/14 bit RGB 8/10/12 bit ■Control interface CAN/RS232/RS422/RS485 		<ul style="list-style-type: none"> ■Size 2.5U ■Mass 1.4 kg ■Operating conditions -40° C ~ +60° C, vacuum ■Power 12V ~ 0.35A ■GSD @ 400km 5 m color / 3 m PAN ■Swath width @ 400km 9.95 km ■Aperture 90 mm ■Field of View 1.5° ■Focal length 500 mm ■Image sensor CMOS(3388 x 2712 pixel) ■Frame rate 6.9 FPS at full resolution (14 bit) ■Photometric resolution 14 bit (8/12/14 bit selectable) ■Spectral band Up to 6 bands as customer' s request (RGB, Red Edge, NIR, PAN) ■Data interface Gigabit Ethernet/LVDS/RS422/RS485 ■Control interface CAN/RS232/RS422/RS485 	

- 초소형위성용 다중분광 카메라는 국내외 초소형위성 업체에서 완제품을 판매 중에 있으며, 요구사항을 만족하는 적절한 제품을 선정, 구매하여 위성체와 통합하는 방식이 신뢰성 제고, 개발 기간 단축 및 비용 절감 차원에서 유리하다고 판단됨

<표 5-29> 초소형위성 용 다중분광 카메라 제품 (예)

모델 / 제조사	MultiScope 100 CIS / SIMERA Sense (남아공)	TriScope100 / SIMERA Sense (남아공)	Chameleon-MS / SCS & SAC (남아공)
형상			
공간해상도	4.75 m (@500km)	4.75 m (@500km)	PAN 6 m; MS 12m (@500km)
Swath	19.4 km (@500km)	19.4 km (@500km)	49 km (@500km)
Size	1.5U	1.5U	2U
Mass	1.1 kg	1.1 kg	1.6 kg
Spectral band	7 band (450nm~900nm)	RGB, 670nm	PAN + 4 MS
Power Consumption	5.8 W	5.8 W	< 7 W
Pixel Depth	10-bit	10-bit	10-bit or 12-bit
모델 / 제조사	GECKO Imager / Dragonfly Aerospace (남아공)	90 mm Camera / KAIRO Space(한국)	
형상			
공간해상도	39 m	5 m color / 3 m PAN	
Swath	80 km (@500 km)	9.95 km (@500km)	
Size	1U	2.5U	
Mass	0.39 kg	1.4 kg	
Spectral band	RGB	Up to 6-band (RGB, Red edge, NIR, PAN)	
Power Consumption	2.7 W	12V~0.35A	
Pixel Depth	8-bit or 10-bit	-	

□ 다중분광 센서로부터 획득할 수 있는 주요 정보는 다음과 같음

<표 5-30> 다중분광 센서의 주요 산출물

분야	산출물 구분	세부 산출물
극지 연구 활용	적설 산출물	적설영역 (snow cover)
	해빙 산출물	해빙 농도 (concentration) 해빙 면적 (extent) 해빙 녹는 영역 (melting area) 해빙 분류 (first year, multi-year 등)
	극지 해양	해양 부유물 모니터링
		해양 오염 탐지
	극지 대기	대기 습도
	영구동토층	결빙영역 (ice cover)
타 분야 활용	해양	탁수 탐지 클로로필 농도 추정 가시거리 (visibility) 분석
	기상	구름 탐지 및 분석 황사, 미세먼지 등 대기질 연구 안개, 태풍 감시 등 기상재해 감시
	농산림	산불 등 산림재해 피해지조사 활용 식생지수 RGB 칼라영상

□ 다중 분광 센서 활용방안

- 3U 다중 분광 센서의 대표적인 예는 미국 PlanetScope 위성으로 475km 고도에서 3.7m 정도 해상도를 가진 24.6 km × 16.4 km 크기 영상 제공
- 다중 분광 센서는 농업, 도시관리, 지도제작, 산림관리, 해양 등 다양한

분야에서 사용

- 극지 연구 분야에서는 해빙이동 관측에 사용
- 분광기와 다분광센서를 동시에 장착하여 운영하는 경우 분광기 결과의 검증에 사용 가능

2) 수동 마이크로파 라디오미터 탑재체

- 수동 마이크로파 라디오미터는 국내에서 시험모델에 대한 연구는 수행된 바 있으나 위성 탑재용 라디오미터는 개발 사례가 없으며 본 사업을 통해 최초 개발되는 것임
- 따라서 해외 사례를 참고하여 국내 개발하는 방안을 제안함
- 성공 가능성을 높이기 위해 국외 대학이나 관련 연구 기관과의 협력이 필요함
- 일부 해외 연구(MiniRad 라디오미터)에서 수동 마이크로파 라디오미터에 사용되는 주요 부품 출처를 공개한 바 있어 Appendix에 첨부하였음
- 수동 마이크로파 라디오미터 사양 권장 안
- 초소형위성 개발 사례를 참고하여 본 사업에서 개발할 수동 마이크로파 라디오미터 사양의 권장 안은 다음과 같이 정리하였음

<표 5-31> 수동 마이크로파 센서 권장 사양 (안)

항 목	사 양
활용분야	적설, 해빙, 극지해양, 극지 대기, 영구동토층
중심 주파수 (GHz)	89 (1 ch.), 118.75 (8 ch.), 183 (4 ch.)
공간해상도	10 km 이하
Swath	800 km 이상
수신기 성능	탐측기 측정감도 2 K 이하, 측정 정확도 2K 이하
크기 및 무게	4U 이하 / 5 kg 이하
소비전력 (W)	6.5 W 이하

□ 해외에서 개발된 수동 마이크로파 센서 초소형위성 사례는 다음 표와 같음

<표 5-32> 수동 마이크로파 센서 탑재 위성 사례

항 목	측정 주파수 (GHz)	관측해상도 (km)	관측폭 (km)	스캔방법
MicroMas-2	90, 118, 183, 200	13~20	2500	cross-track scan
CubeRRT	6~45	120~300	-	line scan
TEMPEST-D	90, 165~183	13~25	1550	cross-track scan
FMPL-2	1 GHz radiometer (1.413 GHz)	-	300	line scan
	GNSS-R (1.575 GHz)	1~20	-	DDM

□ 수동 마이크로파 센서로부터 획득할 수 있는 주요 산출물은 다음과 같음

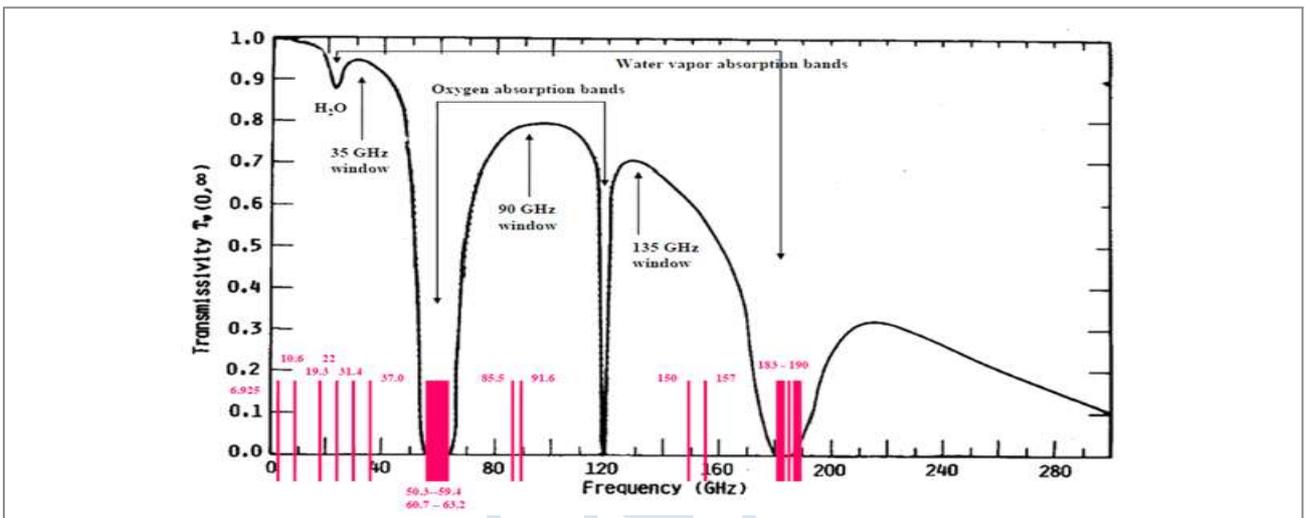


<표 5-33> 수동 마이크로파 센서의 주요 산출물

분야	산출물 구분	세부 산출물
극지 연구 활용	적설 산출물	해빙 위 적설 깊이 및 면적 적설 표면온도 적설-해빙 경계층 온도
	해빙 산출물	해빙 농도 (concentration) 해빙 면적 (extent) 해빙 두께 (thickness) 해빙 거칠기 (surface roughness) 해빙 녹는 영역 (melting area) 해빙 분류 (first year, multi-year 등) 해빙 표면 온도 (surface temperature) 해빙 표면 방출율 단년도/다년도 해빙 구분 해빙점유율
	극지 해양	해수면 온도 해상풍속 추정 해상 파고 추정
	극지 대기	대기 온습도
	영구동토층	결빙영역 (ice cover) 결빙 표면 온도 (ice surface temperature) 토양수분 농도 영구동토층 표면 온도 (surface temperature)
타 분야 활용	해양	해상 풍속 유의 파고 염분
기상	대기 습도 구름 탐지 강수/강설 탐지	대기 습도 구름 탐지 강수/강설 탐지
농산림	토양수분 강수 추정	토양수분 강수 추정

- 수동 마이크로파 센서를 초소형위성에 탑재하여 기후 여건에 구애받지 않고 극지해빙 관측을 수행
- 수동 마이크로파 센서는 거의 모든 기상조건에서 해빙을 관찰할 수 있기 때문에 원격탐사 역사상 가장 초기부터 사용되어 왔으며, 일반적으로 19, 37, 90 GHz의 파장을 이용하여 해빙의 유형과 농도 및 면적을 측정
- 마이크로파 라디오미터의 파장에 따른 관측 영역은 다음과 같음

[그림 5-24] 수동형 마이크로파 탑재체 관측영역



<표 5-34> 마이크로파 주파수에 따른 주 관측 대상

주파수	대표적 관측 목표
1.4 GHz 부근	토양 수분, 해양 염분
2.7 GHz 부근	토양 수분, 해양 염분
6 GHz 부근	해수면, 해양 지표 상태, 해빙온도
11 GHz 부근	해양 지표 상태, 강수, 적설, 해빙
15 GHz 부근	수증기, 강수
18 GHz 부근	수증기, 강수, 해빙, 해양 지표 상태
22 GHz 부근	수증기, 구름 수적
30 GHz 부근	구름 수적, 수증기, 해빙, 적설
37 GHz 부근	구름 수적, 강수, 수증기, 해빙, 적설
57 GHz 부근	온도 연직분포
90 GHz 부근	구름 수적, 구름 빙정, 해빙
118.70 GHz 부근	온도 연직분포
183.31 GHz 부근	수증기 연직분포
325.10 GHz 부근	수증기 연직분포
380.20 GHz 부근	수증기 연직분포

- 주파수가 높을수록 작은 안테나 사용이 가능하므로 초소형위성용 라디오미터는 높은 주파수 대역(약 80 GHz 이상)이 유리함 [21]
- 일반적으로 89 GHz 이하의 주파수에 적합한 안테나 리플렉터는 그 크기로 인해 6U 초소형위성에 탑재하기 어려움
- 예를 들어 EON-MW 초소형위성 탑재체의 경우, 약 50 GHz 주파수를 사용하여 고도 600 km에서 30 km의 공간해상도를 얻기 위해서 11 cm 크기의 이중 반사판 라디오미터가 요구되었으며, 10 km의 공간분해능을 위해서는 안테나 개구면의 크기는 36 cm(고도 600 km 기준)로 재설계가 되어야 함
- 89 GHz 이상의 주파수에서는 10 cm 정도의 안테나 반사판을 탑재하여 6U 초소형위성으로 중대형 위성 라디오미터에 육박하는 성능을 낼 수 있음
- GNSS-R(Reflectometry)와 L-band 라디오미터를 동시에 탑재하여 지면에서 반사된 GNSS 위성의 마이크로파(L-band에 해당)와 지면에서 복사되는 L-band 마이크로파를 감지하고 이를 통해 해빙, 토양 수분 관측

등에 사용하는 연구가 이루어지고 있는데, 이 경우 패치 안테나 배열을 초소형위성에도 장착하여 사용 가능

□ 수동형 마이크로파 라디오미터의 구분

○ 수동형 마이크로파 영상기와 GNSS-R

- 수동형 마이크로파 영상기는 주로 적도 지방의 구름을 관측하거나 토양습도를 관측
- 위성에서 관측하는 이유는 전 지구 관측 데이터를 얻기 위함이며, 1일 1회 이상의 전 지구 관측을 위하여 관측폭 이상 2000 km과 해상도 이상의 매우 넓은 지역 및 해상도로 10 km 관측 정보를 직접 제공

<표 5-35> 수동 마이크로파 영상기와 GNSS-R

항목	수동형 마이크로파 영상기와 GNSS-R
임무	극지 해빙두께 및 면적
관측 영상 요구사항	5일 기준 통합 2D image(Oversampling Grid 3 km) : 라디오미터(300 km 이하), GNSS-R(20 km 이하)
수신기 성능	라디오미터: 대역폭 4 MHz 이상, 측정감도 1 k 이하, 측정 정확도 2 k 이하, 적분시간(100 ms 이상), 내부 회로 스위칭 타입 2 포인트 교정 지원. GNSS-R: GPS L1/E1, 입력신호 100 ms, 8개 이하 GPS-L1 DDM/S or 2개 이하 (Galileo-E1 DDM/s 제공)
안테나 성능	Zenith 방향 안테나 빔폭 및 Directivity(86도 이상, 6.5 dB 이상, RHCP) Nadir 방향 안테나 빔폭 및 Directivity(1413 MHz : 크로스트랙 36도 이하, 트랙방향 58도 이하, 12 dB 이상, 1575.42 MHz 크로스트랙 35도 트랙방향 54도 이하, 12 dB 이상, LHCP)
동작 온도 범위	전자장치: PFM 기준 -10도~40도
무게 및 크기 및 소비전력	위성: 6U, 8 kg, 탑재체: 2U 1.4 kg 이상, 8.5 W 이상
개발 모델	EM, QM, FM

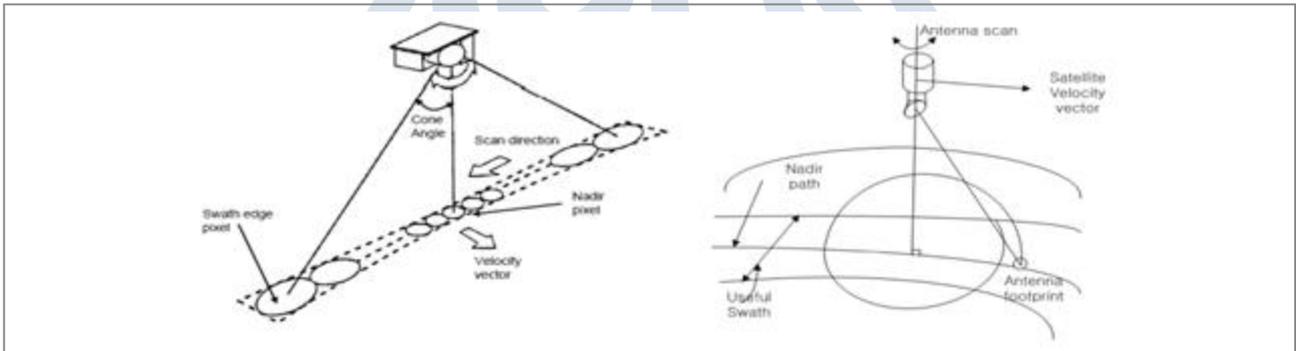
○ 수동형 마이크로파 탐측기

- 수동형 마이크로파 탐측기는 온도 채널과 습도 채널을 관측하여 온습도 프로파일을 제공하고 수치예보 모델의 기본 입력데이터로 활용
- 전 지구 관측이 반드시 필요하고 예보 정확도를 높이기 위하여 국제적인 협업을 통하여 여러 나라에서 여러 개의 위성으로 관측데이터를 제공

□ 수동형 마이크로파 스캔 방식

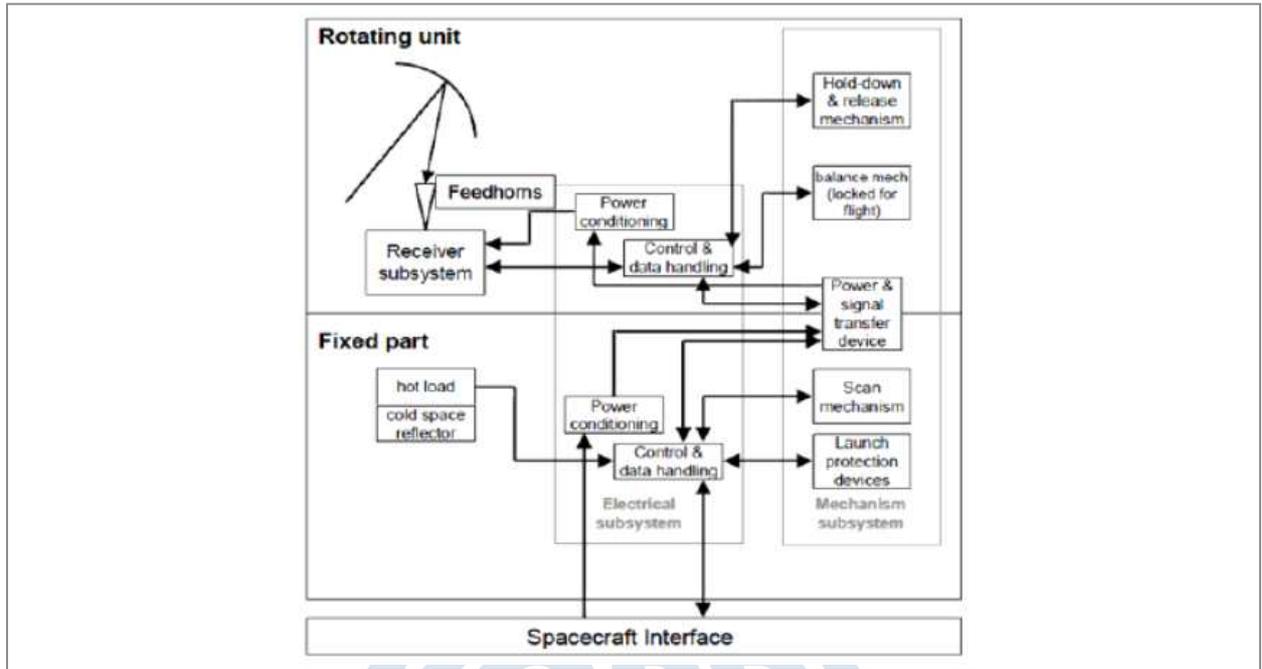
- 지구 관측 위성의 관측 방법에는 크로스 트랙 스캔 방법과 코니컬 스캔 방법을 이용
- 크로스 트랙 스캔 방법은 주로 가시광과 열적외에서 사용되고 수동형 마이크로파에서는 탐측(sounding)을 위하여 주로 사용
- 지구 관측 위성을 위한 수동형 마이크로파 라디오미터 시스템은 전구관측을 위하여 회전스캔 방식을 필요
- 회전 스캔 방식에는 코니컬 스캔과 크로스트랙 스캔이 있음
- 크로스트랙 스캔 방식은 탐측기에 주로 사용되며 모터에 의하여 반사기가 회전됨

[그림 5-25] 수동 마이크로파 라디오미터 탑재체의 기계적 스캔 방법



- 수동형 마이크로파 라디오미터는 안테나서브시스템, 수신기서브시스템, 전기서브시스템, 기계서브시스템으로 구성됨

[그림 5-26] 위성 수동형 마이크로파 라디오미터 서브시스템 개념



□ 본 사업을 통해 개발되어야하는 유사한 사례인 PolarCube와 TEMPEST-D 사례에 대한 분석을 수행함

□ PolarCube의 주요 임무

○ PolarCube는 주로 북극 및 남극 지역 대기 관측에 중점을 둔 탐측기(Sounder)임

- 기상에 관계없이 해빙 농도와 대류권 온도 매핑 기능을 개발하기 위해 극지방의 해빙, 해양 상공 대류권의 온도 프로파일을 수집
- 저렴한 예산으로 지구 과학 임무 및 환경 모니터링을 위해 개발된 소형 수동 마이크로파 라디오미터 위성 센서의 기능을 시연/평가
- 열대 및 중위도에 비해 수분이 적고 비교적 적은 양의 액체 구름이 있는 극지 환경에서 118 GHz 대역은 해빙 및 남과 같은 표면 기능에 높은 감도를 제공

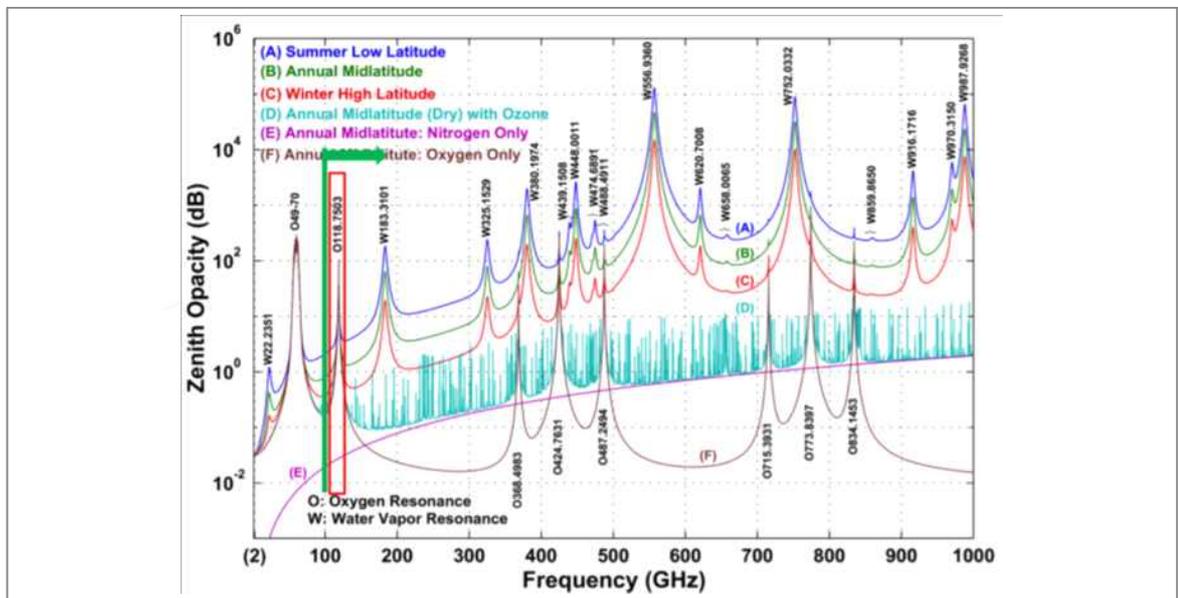
□ PolarCube의 탐측 원리

○ PolarCube는 중심주파수를 118.7503 GHz로 하며 밴드폭에 따라 8개의

채널로 구성되는 MiniRad라는 수동 마이크로파 라디오미터를 탑재하고 있음
118 GHz는 초소형위성에서 구현하기 적절한 라디오미터의 주파수임

- 전파 모델은 극지방의 118.7503 GHz 선 중심으로부터 주파수 5 GHz에서 표면에 < 3 dB 불투명도가 있고 따라서 해빙/해양 부분에 대한 높은 민감도가 있다고 추론
- 다음 그림은 대기 불투명도 스펙트럼으로 118.7503 GHz에서 대기 중 산소에 대해 높은 민감도를 보이며 이를 통해 대기 특성을 파악함

[그림 5-27] Atmospheric Opacity Spectrum



- 해빙과 구름에 대한 복사계의 가장 높은 중간 주파수 채널의 응답은 해빙 농도 매핑을 위한 현재 고해상도 데이터를 제공하는 NASA Aqua AMSR-E 센서의 89 GHz 채널에서 제공하는 것과 유사함
- 118GHz 선 중심에 더 가까운 추가 채널은 해빙 상태를 특히 대류권 하부 내에서 대류권 온도 변화와 상관시키는 데 사용되는 동시 온도 프로파일링 기능을 제공
- 여러 연구에서 최근 북극의 대류권 수증기 증가를 지적하고 있지만,

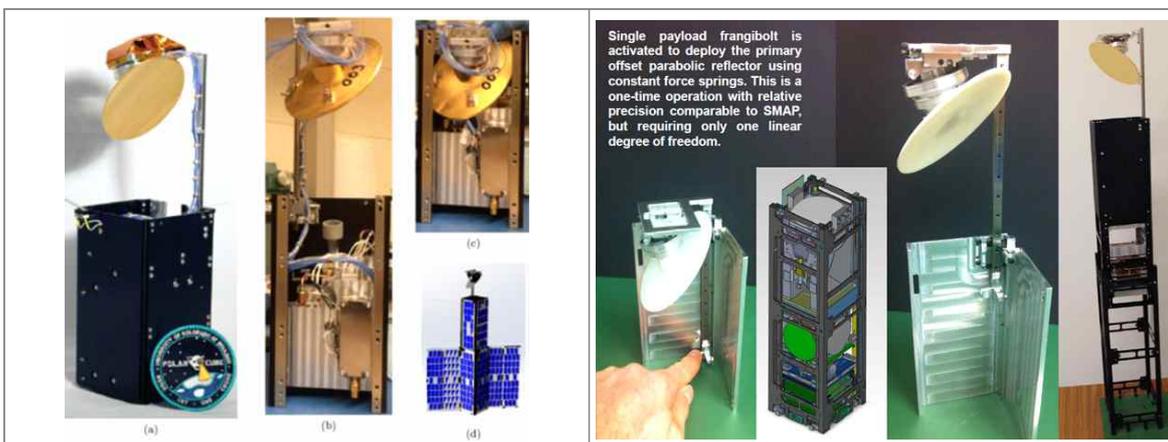
극지방의 온난화와 수증기에 대한 정확하고 일관된 데이터를 얻는 것은 계절적 및 공간적 이질성으로 인해 지속적인 개발이 필요

- 상공 눈덩이 속성은 그린란드 내륙과 남극 대륙의 맑은 하늘 상태에서 존재하는 매우 건조한 대기로 인해 118 GHz 센서로 감지할 수 있음
- 현재 사용 가능한 위성 주파수(예: AMSR-2의 89 GHz)에서 수동 마이크로파 방출 변동에 대한 과거 연구에 따르면 강설 발생, 그리고 가을에 쌓인 눈덩이의 열적 진화 이후 수동 마이크로파 방출에 강한 변동이 있음을 나타냄

□ PolarCube Instrument Specifications

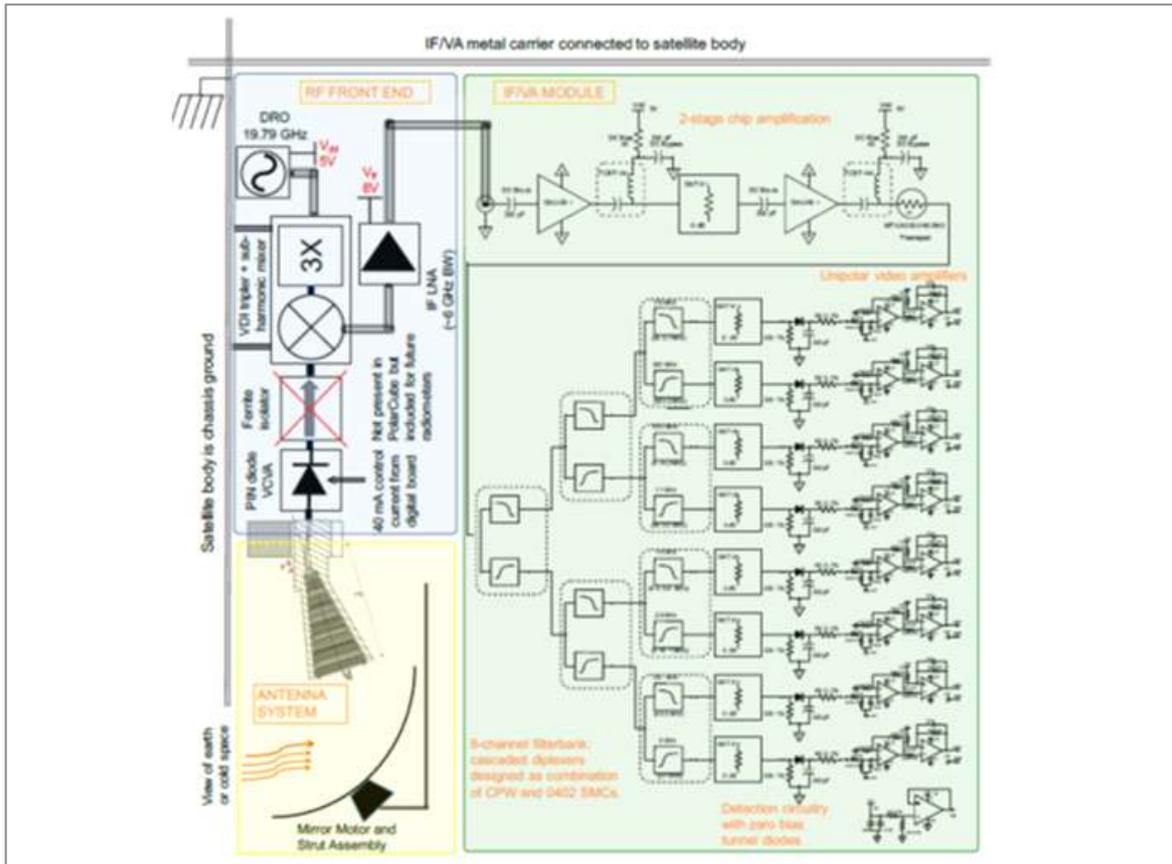
- 3U CubeSat 페이로드인 MiniRad는 스캐닝 오프셋 포물면 주 리액터와 고정 파형 피드로 구성된 안테나 하위 시스템이 있는 8채널, 이중 측파대 118.75 GHz 스캐닝 수동 마이크로파 온도 탐측기(sounding)임
- 단일 스트럿으로 지지되는 반사판(모터 어셈블리 포함)은 보관 형상에 있으며 발사 후 전개됨

[그림 5-28] The MiniRad radiometer inside the PolarCube 3U CubeSat(좌), PolarCube Reflector Deployment(우)

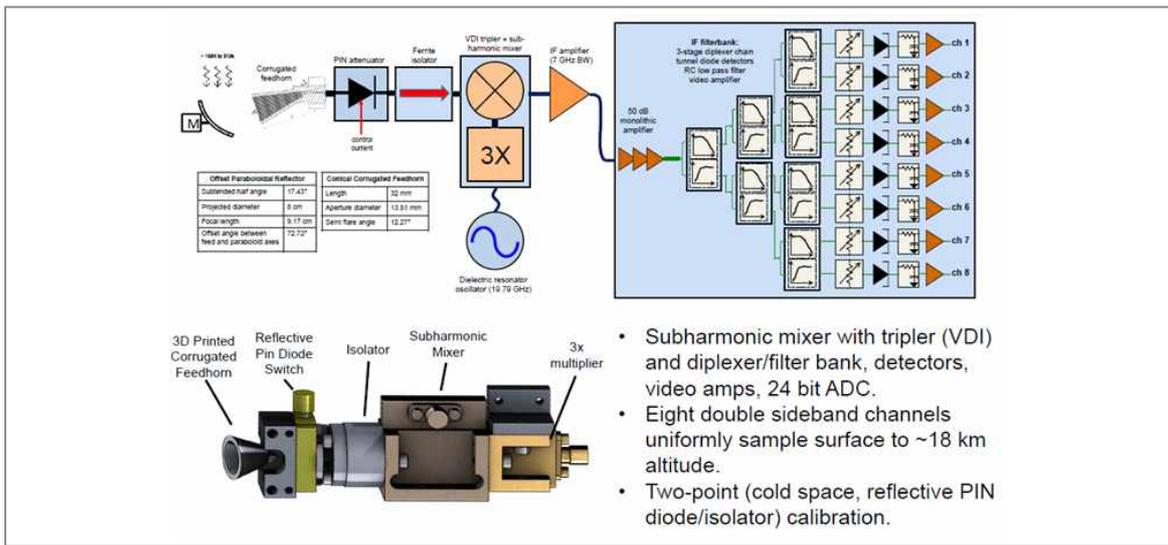


- Total power radiometer(TPR)의 WR-8 도파관 기반 무선 RF front-end에는 DSB(Double Side Band) 서브 고조파 혼합기 및 삼중기, DRO(Dielectric Resonator Oscillator) 및 IF(중간 주파수) LNA(저잡음 증폭기)가 포함됨

[그림 5-29] 118.75 GHz MiniRad CubeSat 라디오미터의 기능선도



[그림 5-30] PolarCube Radiometer Architecture



- Payload(미러 모터 포함)의 최대 전력 소모는 5W임
- LNA 및 IF 표면 실장 MMIC 증폭기는 전력 소모를 최소화하기 위해 전력 부족 모드에서 작동됨
- 118.75 GHz 공진과 DSB 믹서의 대칭 특성으로 인해 국부 발진기 주파수의 작은 드리프트가 2차 오류로 나타남
- IF 스펙트로미터 모듈은 8채널 필터뱅크로 구성되며, 이 필터뱅크는 중심 주파수가 대류권 상부(대류권계면 포함)에서 지표면까지 감도를 제공하도록 선택되었으며, 통합 잡음을 3 dB 샘플링된 픽셀당 0.5~3K 수준으로 줄이는데 사용할 수 있는 최대한 많은 대역폭을 제공함

<표 5-36> PolarCube : 8 Radiometric channels

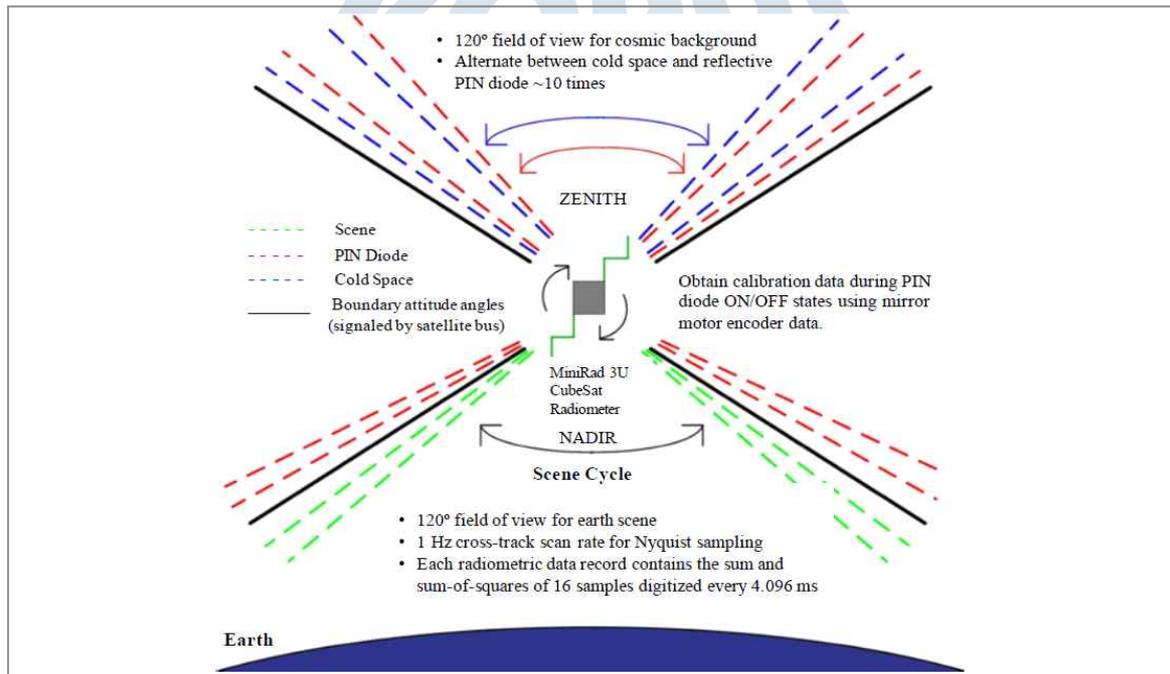
Channel	1	2	3	4	5	6	7	8
IF fc(MHz)	200	400	700	1100	1500	2100	3100	5000
BW(MHz)	100	200	400	400	400	800	1200	2600
Noise RMS (K)	2.18	1.39	0.882	0.861	0.857	0.603	0.503	0.356

- 채널 중심 주파수는 가중치 기능이 표면 가까이에서 고도 18 km까지

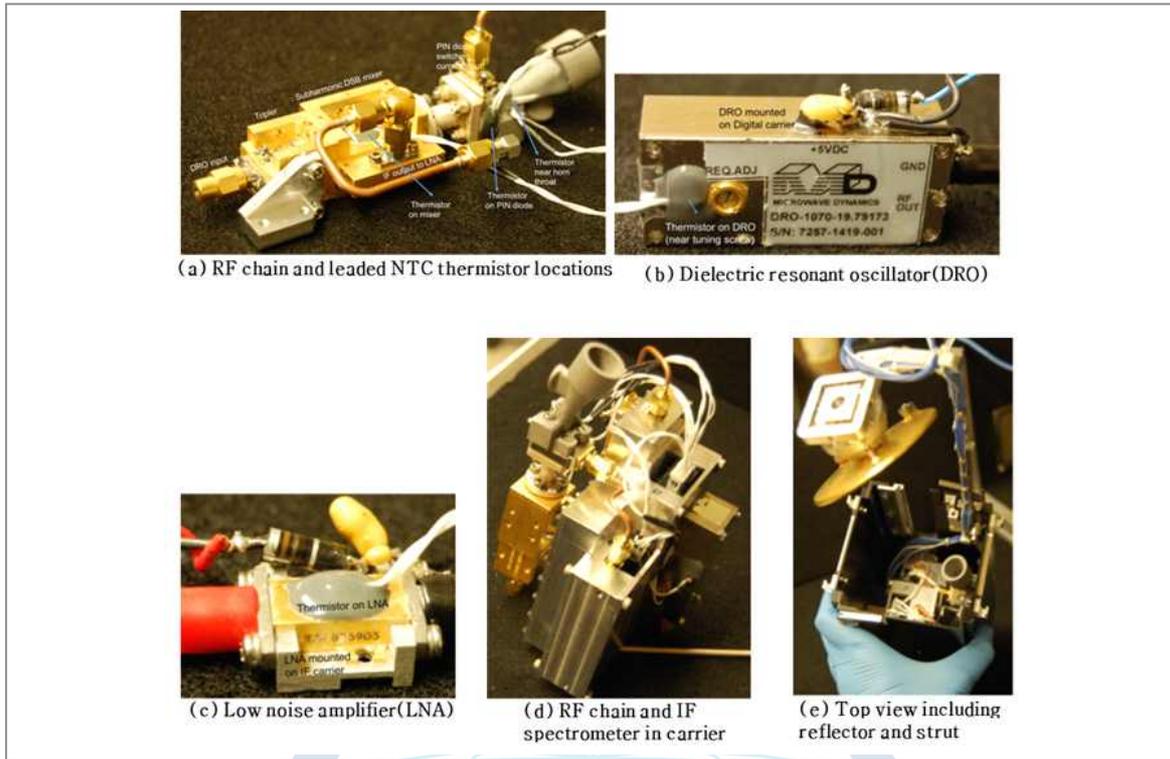
피크가 되도록 선택

- 라디오미터는 표면 가까이에서 1 km, 상부 대류권과 하부 성층권에서 5 km의 균일하지 않은 수직 분해능을 가지고 있음
- 우주에서 사용되는 라디오미터는 ~1K 이하의 밝기 온도 정확도를 확보하기 위해서 하려면 탑재체 온도에 대한 함수로서 기구의 종단 간 공간 및 스펙트럼 응답, 노이즈 온도와 이득 스펙트럼에 대해 정확히 알고 있어야하며 최소한의 보정오차로 반복적인 보정이 필요함
 - MiniRad Hybrid Two-point calibration 방식을 사용하여 라디오미터의 반사판이 초당 1회전 할 때 마다 지상 관측 후 Cold calibration source인 심우주, PIN 다이오드 스위치를 거치며 보정을 수행함

[그림 5-31] Calibration cycle of the MiniRad radiometer



[그림 5-34] Pictures of the final assembled radiometer hardware



□ TEMPEST-D의 주요 임무

- TEMPEST-D는 기상 관측 위성으로 주 임무는 새 CubeSat 마이크로웨이브 라디오미터의 성능 검증이며, 해당 측정기는 태풍, 폭풍을 추적하면서 구름과 구름의 변화과정, 강수량의 변화를 감지하여 예상 강수량을 측정
- 구름의 특성 정보가 축적되면 기후예상 모델에서 가장 어려운 좁은 지역에 폭우가 갑자기 내리는 기습폭우 같은 정보를 획득 가능
- 강우량과 비구름의 변화를 실시간 추적이 가능

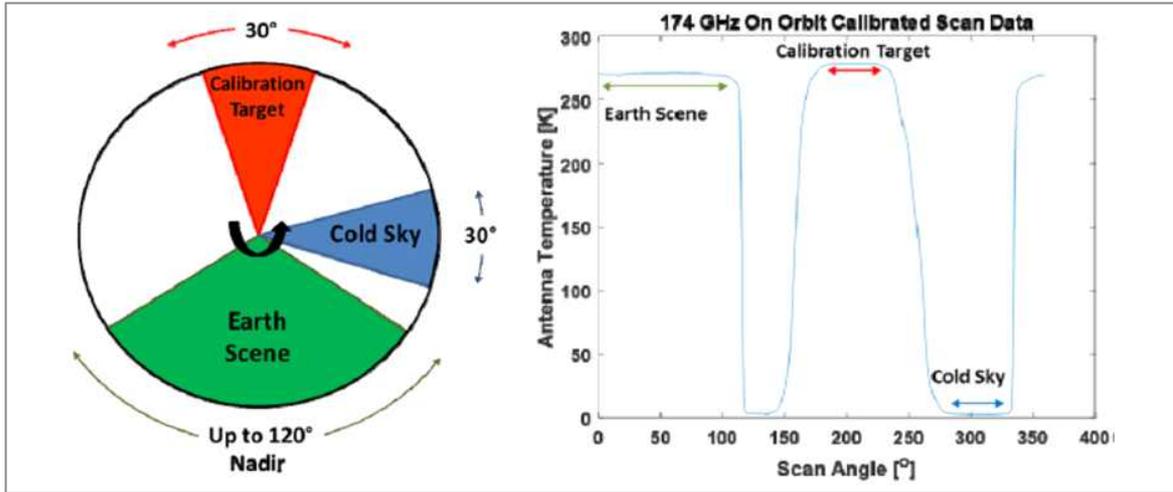
□ TEMPEST-D 라디오미터 탑재체 사양

<표 5-37> TEMPEST-D 사양

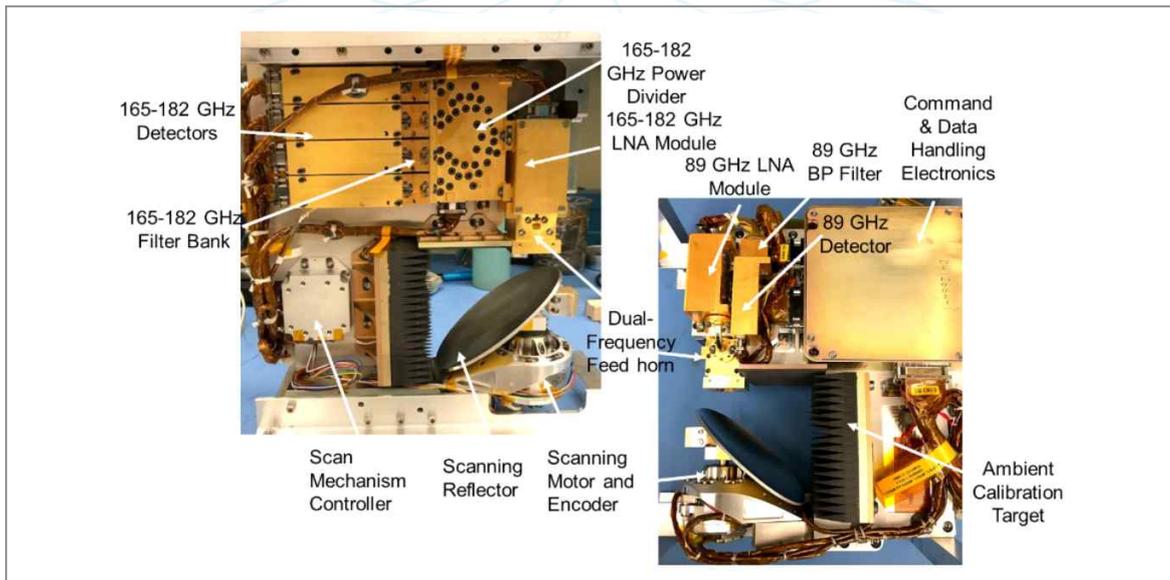
항 목	사 양	
System noise temperature	< 600 K for 89, 165 and 176 GHz < 750 K for 180 and 182 GHz	
채널 수	5	
대역폭	4 GHz at 89 GHz and 165 GHz and 2 GHz at 176, 180 and 182 GHz	
Minimum spatial resolution	13 km at 182 GHz	25 km at 89 GHz
Minimum beam efficiency	> 90 %	> 90 %

- 5개의 주파수 대역에서 밀리미터파 라디오미터는 지구 $\pm 60^\circ$ nadir angles을 이룸, 1550 km의 관측폭 초기 궤도 고도의 410 km.
- 공간해상도 범위는 181 GHz에서 12.5 km부터 87 GHz에서 25 km
- 편파는 87 GHz 채널에서 quasi-vertical 편파이며, 다른 나머지 주파수 대역의 채널에서는 quasi-horizontal 편파 특성
- 안테나의 반전력빔폭은 87 GHz에서 3.6° , 164 GHz에서 1.68° , 174 GHz에서 1.69° , 178 GHz에서 1.72° , 181 GHz에서 1.8°
- 부엽 레벨은 30 dB 이하이며, 주빔의 효율은 91 % 이상
- 위성 궤도 고도의 400 km부터 위성의 조사영역은 천저에서 87 GHz에서 25 km이며, 181 GHz에서 12.5 km임
- 라디오미터 안테나 반사판이 2초에 1회전 하면서 매 회전마다 대상 관측-cold sky(심우주) 측정 보정-흑체 측정 보정을 반복함

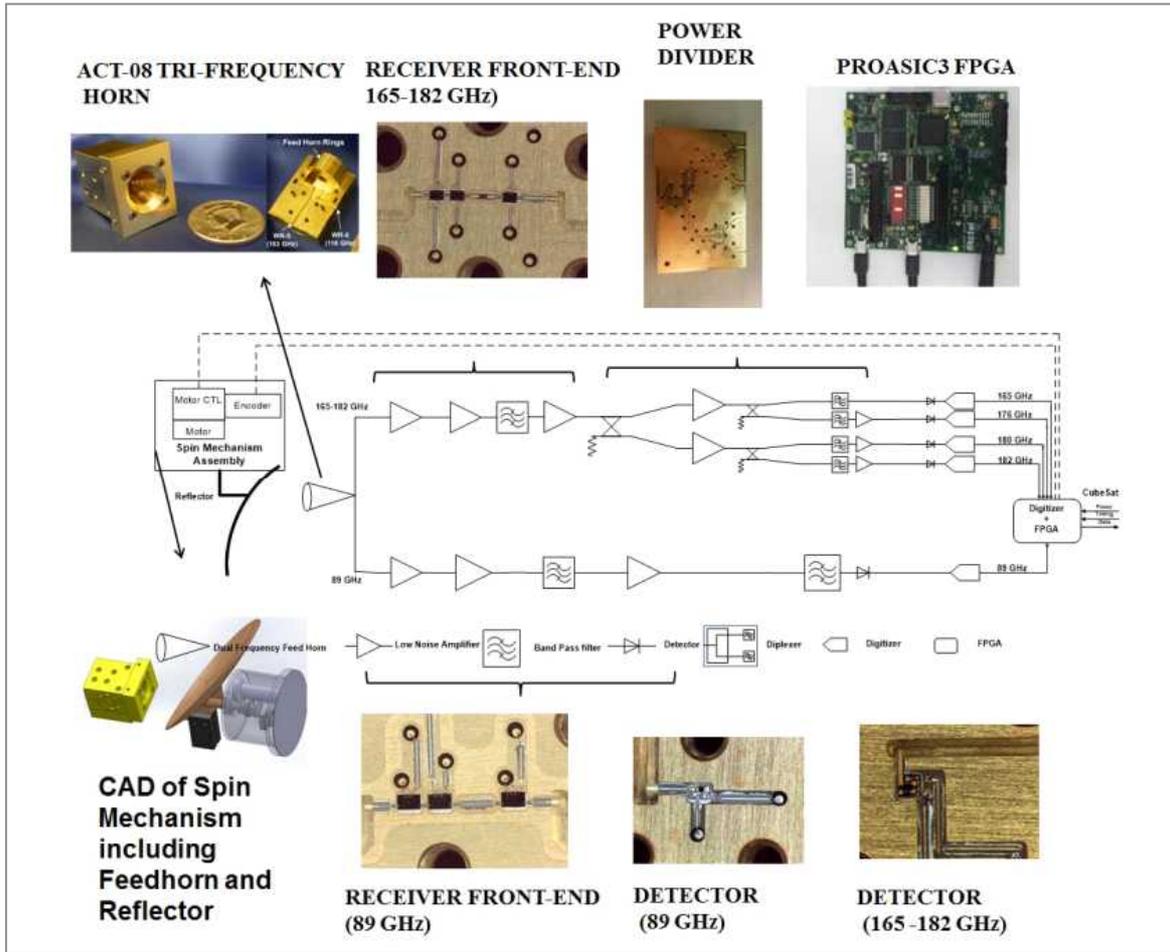
[그림 5-35] Two point end-to-end calibration of TEMPST-D (좌) Observing profile, (우) 174 GHz에 대한 궤도 상 보정 스캔 데이터



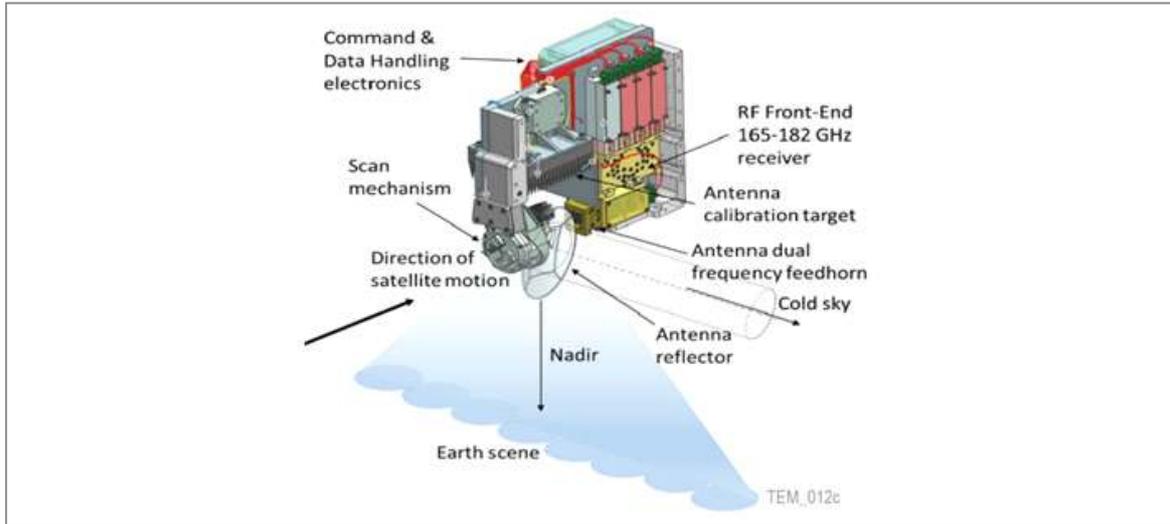
[그림 5-36] TEMPEST-D radiometer as packaged and integrated into the 6U CubeSat spacecraft



[그림 5-37] Instrument block diagram and photos of components



[그림 5-38] TEMPEST-D millimeter-wave radiometer instrument scans at 30 r/min to view the Earth scene across a 935-km swath from 400-km orbital altitude

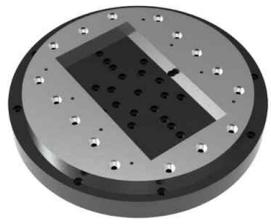


1-5. 지상 지원장비 개발 방안

가. MGSE (Mechanical Ground Supporting Equipment)

- MGSE는 위성 보관/조립/이동에 활용되며 그 종류는 다음 표와 같음
- MGSE는 상세설계 단계에서 구조설계를 반영하여 제작해야 함

<표 5-38> MGSE 종류 (예)

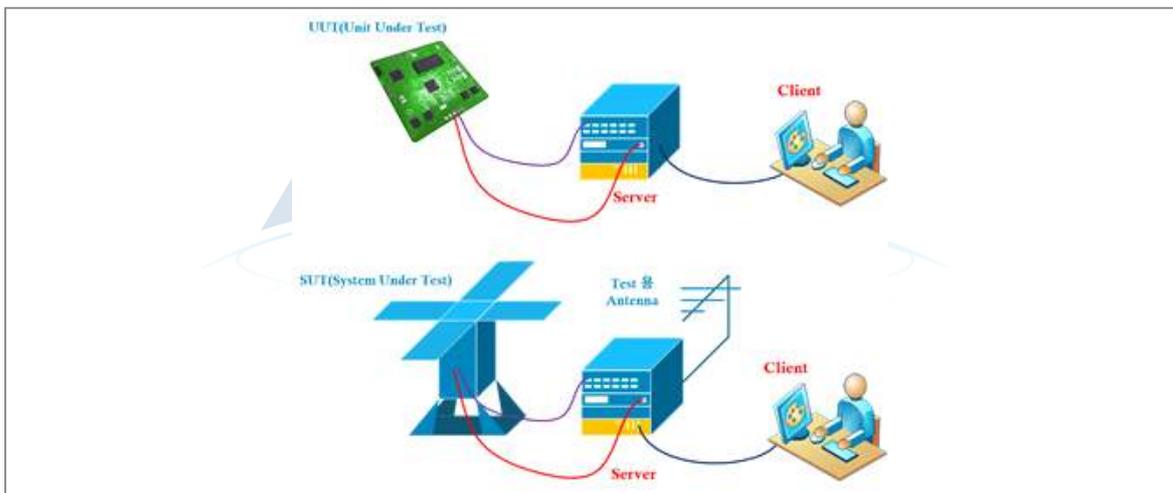
		
거치 및 시험용 MGSE	조립용 회전 Dolly	시험용 Adapter

나. EGSE (Electrical Ground Supporting Equipment)

- 지상 지원 장비 EGSE는 위성의 신뢰성을 검증하기 위해 위성 부품 단계의 시험부터 시스템 조립 시험에 이르기까지 전 범위에서 사용

- 자체 개발한 EGSE는 태양전력모사장치, 궤도/사세 동역학 시뮬레이터, IO 시뮬레이터, 지상국 시뮬레이터, GNSS 시뮬레이터로 구성
- EGSE는 모든 시험을 수행 및 Script를 통해 위성시험을 자동화할 수 있도록 개발
- 시험결과 및 모사데이터 등 Log Data를 수집 및 저장관리
- 위성 통합 시험 시 EGSE를 활용하여 비행소프트웨어와 위성 운용시나리오가 반영된 Script를 기반으로 시험 수행 가능

[그림 5-39] 초소형위성용 EGSE 운용 개념



<표 5-39> EGSE 구성 및 기능 (예)

시뮬레이터	기능
궤도/자세 동역학 시뮬레이터	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위성의 구조 및 부품 정보를 바탕으로 센서 및 구동기 데이터 모사 ▪ 비행소프트웨어와 연동하여 소프트웨어 검증 보조 ▪ EGM96, IGRF10 등의 환경모델을 반영하여 궤도 및 자세 모사 ▪ 시뮬레이션 결과 시각화
태양전력 모사장치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 9채널 태양전지판 전원 모사 ▪ X, Y, Z축 구분을 통한 태양전지판 전원 모사 ▪ MPPT 전원 성능 모사 및 그래프 출력 ▪ Ethernet 인터페이스 지원
I/O 시뮬레이터	<ul style="list-style-type: none"> ▪ UART, RS232, RS485, RS422 TX/RX 통신지원 ▪ CAN, SPI, I2C 통신지원 ▪ SBDL, LVDS, GPIO 신호 모사 입력 지원 ▪ ADC/DAC 신호모사 및 입력 지원 ▪ Ethernet 인터페이스 지원
지상국 시뮬레이터	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실제 지상국 장비를 통한 UHF 대역 신호 모사 및 데이터 처리 ▪ AFSK/GMSK/BPSK 등 변복조 지원 ▪ AX.25 프로토콜 통신데이터 지원 ▪ 지상국 활용 가능 ▪ GPS 신호모사 및 수신 ▪ RS-232 / Ethernet 인터페이스 지원

1-6. 지상시스템 개발 방안

가. 지상시스템의 구성

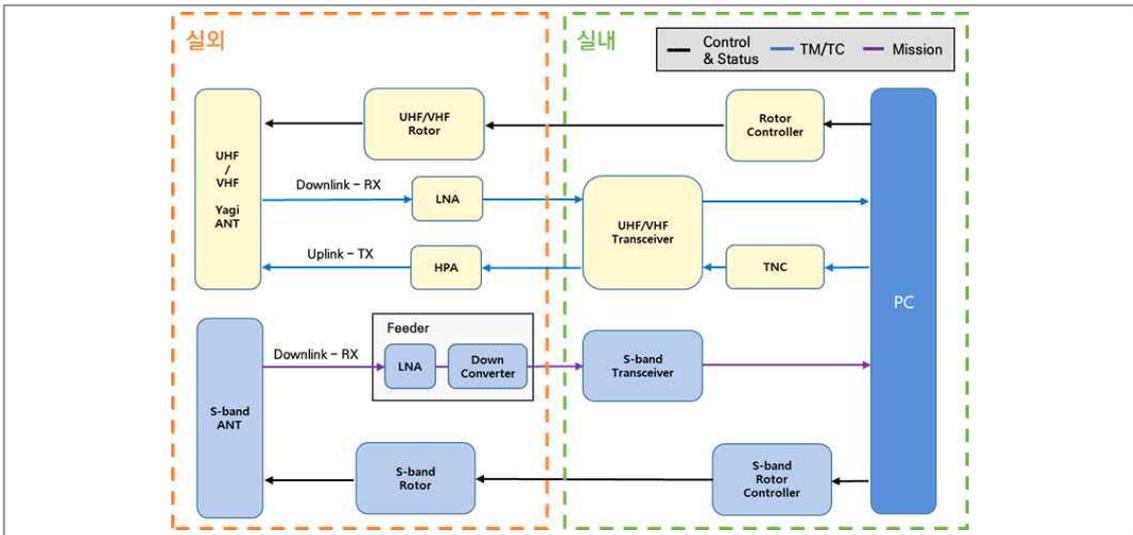
1) 지상국 시설

- 극지방권 감시를 위한 초소형위성의 지상국은 위성과 지상국 접촉 횟수를 최대로 확보하여 준 실시간 감시 차원에서 유리하다고 판단됨
- 극지방에 지상국 시설을 구축하기 위해서는 극지방의 극한 환경(극한의 영하 온도, 강풍 등)을 고려한 시설 구축이 필요함

[그림 5-40] 노르웨이 스팔바르 지역 위성 기지국 (좌), 남극지방 지상국 구축 예 (우)



[그림 5-41] 하드웨어 구성도 (예)



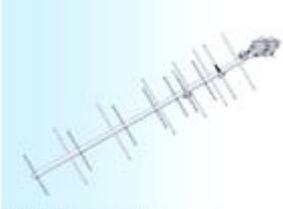
□ 초소형 위성용 지상국 하드웨어 구성 및 사양

- 초소형 위성용 지상국 하드웨어는 관제하고자 하는 위성의 제원(통신 방식, 링크 버짓, 주파수 대역 등)을 고려하여 하드웨어를 선정해야 함
- 위성 관제 및 상태데이터에 대한 수신을 위한 UHF System과 임무 데이터 수신을 위한 S-band System으로 구성
- 위와 같은 시스템을 구축하기 위한 하드웨어의 구성도를 아래 그림에 제시함(RF 기능적인 부분만 고려, 극지환경을 고려한 안테나 타워, 레이돔

등 고려하지 않음)

<표 5-40> 지상국 하드웨어 리스트 및 사양 (안)

	3.7M S-band Antenna & Rotor & Feeder	
	Manufacturer	Orbital 社
	Operating Frequency	S-Band, X-band
	Antenna Gain	36.8.0 dBi
	LNA Conversion	65 dB
	Polarization	RHCP or LHCP(Opt.)
	IF Frequency	70 MHz
	Power	208 -240 VAC, 20 A, 50/60 Hz
	Pointing Accuracy	0.1°
	Rotating Range	Elevation : 184° / Azimuth : 360°
	S-band Receiver	
	Manufacturer	SATCORE
	Input IF Frequency	60~78 MHz
	Supported Demodulation	BPSK, QPSK, SQPSK, 8-PSK, MSK, 16-QAM, 16-APSK
	Maximum data rate	40Mbps
	Protocol	CCSDS / DVB-S2
	Size	19" 2U
	Interface	Ethernet

	UHF Antenna	
	Manufacturer	M2 Antenna System
	Model	401CP14X
	Frequency Range	399 ~ 403MHz
	Gain	13.3 dBic
	Antenna Type	Yagi
	Beamwidth	30°
	Polarization	RHCP or LHCP(Opt.)
	UHF Antenna Rotor	
	Manufacturer	Yaesu
	Input Power	Rotor : 200~240 VAC, Controller : 12 VDC
	Rotation Time	Elevation : 180° (67 s) / Azimuth : 360° (58 s)
	Rotation Torque	Elevation : 14 kg-m / Azimuth : 6 kg-m
	UHF Transeiver	
	Manufacturer	Ettus
	Operating Frequency	70MHz ~ 6GHz
	Output Power	10dBm
	Modulation	Configurable
	Maximum data rate	56Msps(symbol per sec.)
	LNA (UHF)	
	Manufacturer	mini-circuits
	Operating Frequency	0.1~500MHz
	Maximum Input power	5 dBm
	Noise Figure	2.9(dB)
	Gain	24dB(±0.5)

2) 지상국 소프트웨어

□ 지상국 소프트웨어 계층 구조

- 극지위성 관제를 위한 초소형위성의 지상국 소프트웨어는 위성 관제 및 수신을 위한 시스템과 수신 받은 데이터를 처리하고 저장할 수 있는 시스템이 필요함
- 원활한 위성운용을 위해 수신부로부터 수신 받은 현재 위성의 실시간 상태를 가시화 하여 표출 할 수 있는 시스템 필요
- 아래 그림에 제시한 지상 시스템은 위성 관제 및 수신을 위한 SCS(Satellite Control System)과 탑재체 데이터 처리와 위성 상태 가시화 표출 및 모니터링을 위한 DPS(Data Processing System)로 구성

[그림 5-42] 지상국 소프트웨어 계층도



□ 지상 시스템의 서브시스템 기능들을 아래와 같이 정리하였음

○ SCS(Satellite Control System)

- MPS(Mission Planing Subsystem) : 임무 교신 관리 및 스케줄링기능
- SOS(Satellite Operations Subsystem) : 위성 제어를 위한 명령 생성 및 텔레메트리 처리, 이벤트 관리 기능
- TT&C (Tracking, Telemetry & Command) : 지상국 하드웨어를 제어하고 서브시스템과 연동을 지원기능

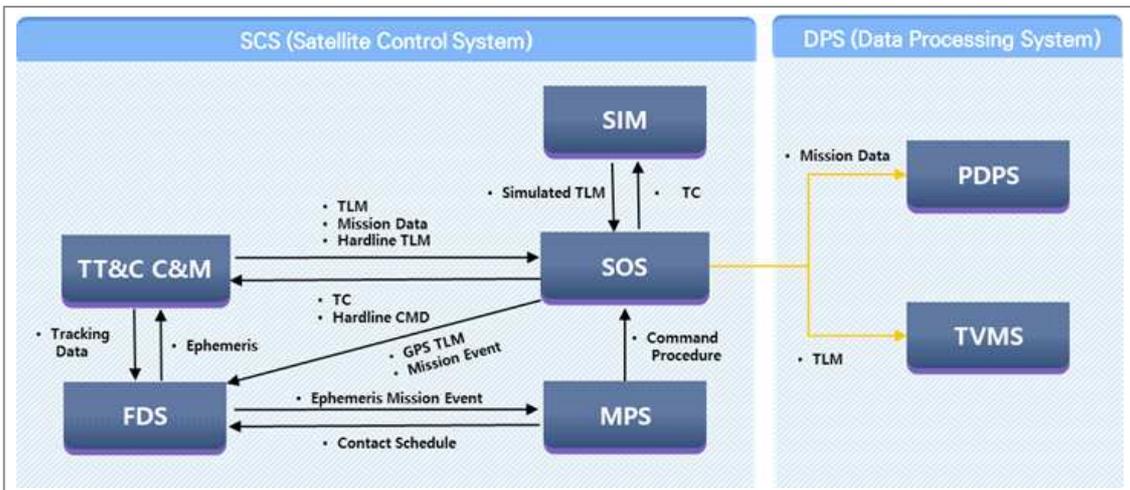
- FDS (Flight Dynamic Subsystem) : 위성의 궤도 및 자세 분석기능
- SIM (Simulator Subsystem) : 위성 운용 시나리오 관리 및 시뮬레이션기능

○ DPS (Data Processing System)

- PDPS (Payload Data Processing Subsystem) : 위성으로부터 수신된 탑재체 데이터 처리
- TVMS (Telemetry Visualization & Monitoring Subsystem) : 텔레메트리 데이터 처리 및 전시(가시화) 기능

□ 지상시스템 아키텍처

[그림 5-43] 지상 시스템 아키텍처



나. 관제 및 수신 부분

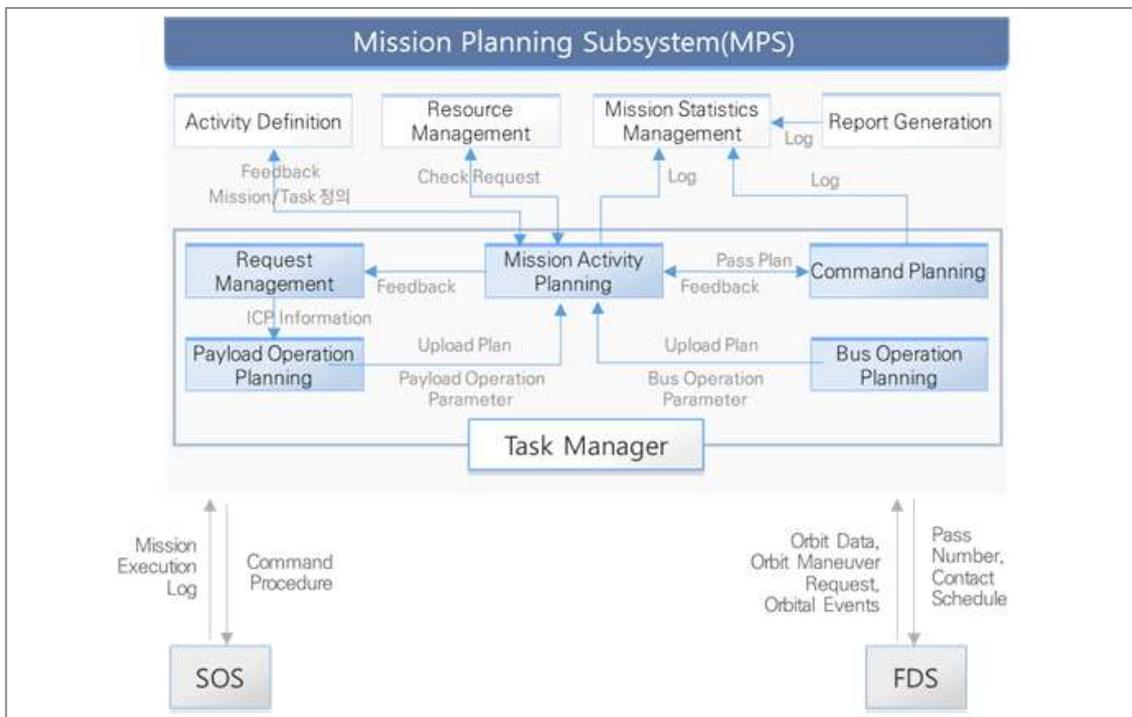
1) 위성 제어 시스템(Satellite control System)

□ 임무 계획 서브시스템(MPS: Mission Planning Subsystem)

- 임무 계획 서브시스템은 교신 스케줄 생성 및 관리, 위성 교신스케줄 조회 및 표출, 궤도 번호 관리 등 교신에 대한 전반적인 관리와 임무 자동 생성, 임무 속성 관리, Activity 정의, 사용자 정의 임무 계획, 임무 진행 상태 표출 등 위성 임무에 대한 전반적인 관리 수행

- 각 모듈의 시작 및 종료 이벤트에 따라 다음 모듈의 시작을 진행할 수 있도록 자동화 관리 기능을 제공
- 임무/테스크를 유연하게 하기 위해 임무 계획에 필요한 임무/테스크 속성을 편집할 수 있는 환경제공을 하며 속성에 구문을 적용하여 사용자가 코드 수정 없이 속성을 추가 및 편집가능

[그림 5-44] 임무 계획 서브시스템 개념도 (안)

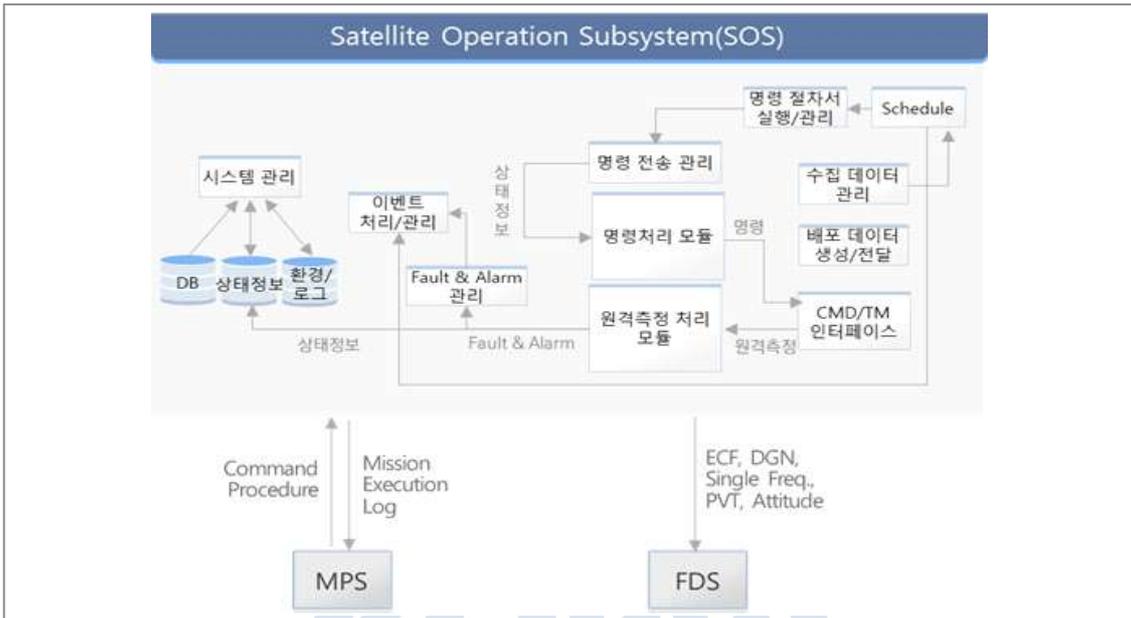


□ 위성 운용 서브시스템(SOS: Satellite Operations Subsystem)

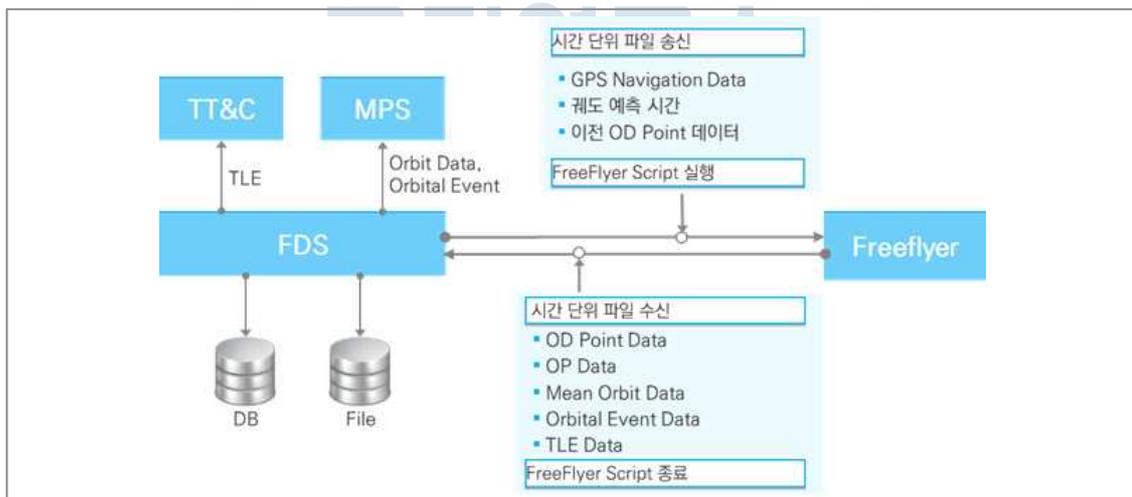
- 위성 운용 서브시스템은 지상 시스템에 대한 전반적인 시스템 관리를 수행
- MPS에서 계획된 임무를 바탕으로 위성으로 송신할 명령 생성
- 위성에서 수신한 텔레메트리에 대한 처리(수신, 검증, 저장, 추출, 표출 및 알람)와 처리된 데이터를 각 서브시스템으로 배포하는 기능
- 위성 운용 중 발생하는 이벤트(Fault, Alarm)를 절차에 따라 처리/관리하는

기능을 포함하며, 히스토리 관리, 장기추이분석, 리포트 생성 등 기능을 지원

[그림 5-45] 위성 운용 서브시스템 개념도 예



[그림 5-46] 비행역학 서브시스템 개념도 (안)



□ 비행역학 서브시스템(Flight Dynamics Subsystem)

- 임무 및 자세 분석 기능을 수행하는 서브시스템
- TT&C에서 수신한 Doppler Correction 정보, 위성 GPS 정보와 TLE

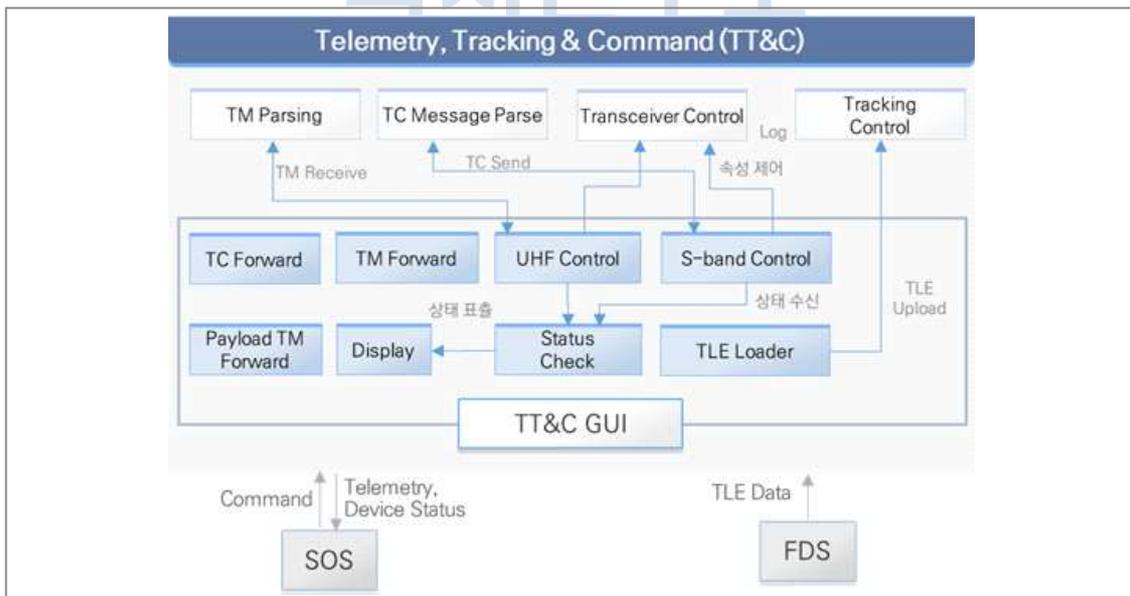
데이터를 바탕으로 궤도분석을 수행하여 궤도 결정 및 궤도 예측데이터와 TLE 데이터를 생성

- 업데이트 된 데이터를 지상시스템 내 서브시스템에 배포
- 생성된 데이터를 바탕으로 위성 별 평균 궤도 현황을 표출

□ 추적 및 제어 서브시스템(TT&C: Tracking, Telemetry and Command Subsystem)

- 지상 시스템의 하드웨어를 원격 제어하는 서브시스템
- 지상국 로테이터, 송수신기 등을 원격 제어하며 각 장비들의 연결 상태, 설정 등을 확인, 변경, 표출함
- 지상 시스템에서 생성한 명령 데이터를 Packing 하고, 위성에서 수신 받은 텔레메트리 데이터를 Unpacking하여 지상시스템에 전달하는 기능을 수행
- 임무 데이터를 PDPS로 Path Sharing함

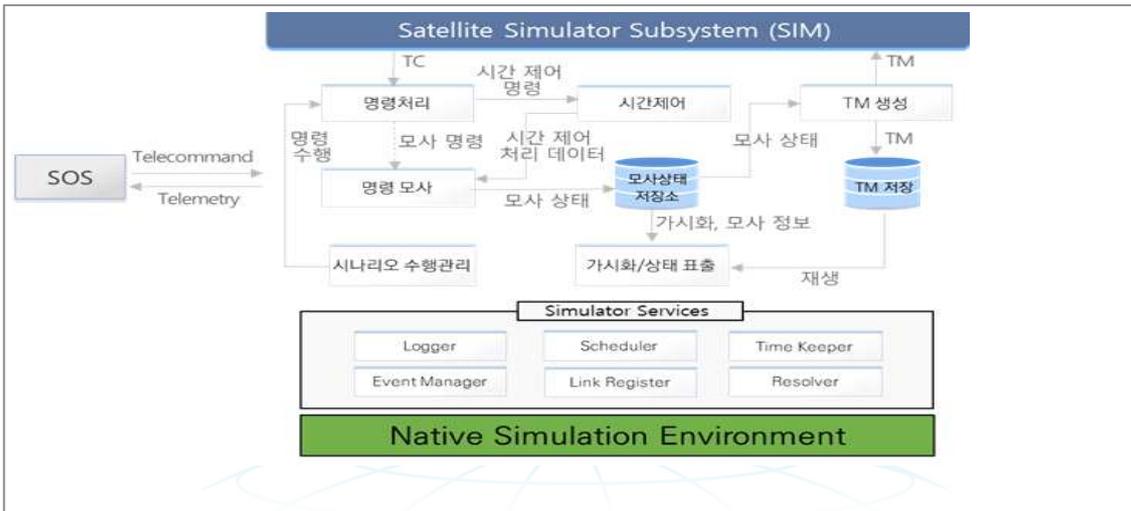
[그림 5-47] 추적 및 제어 서브시스템 개념도



□ 시뮬레이터 서브시스템(SIM: Satellite Simulator Subsystem)

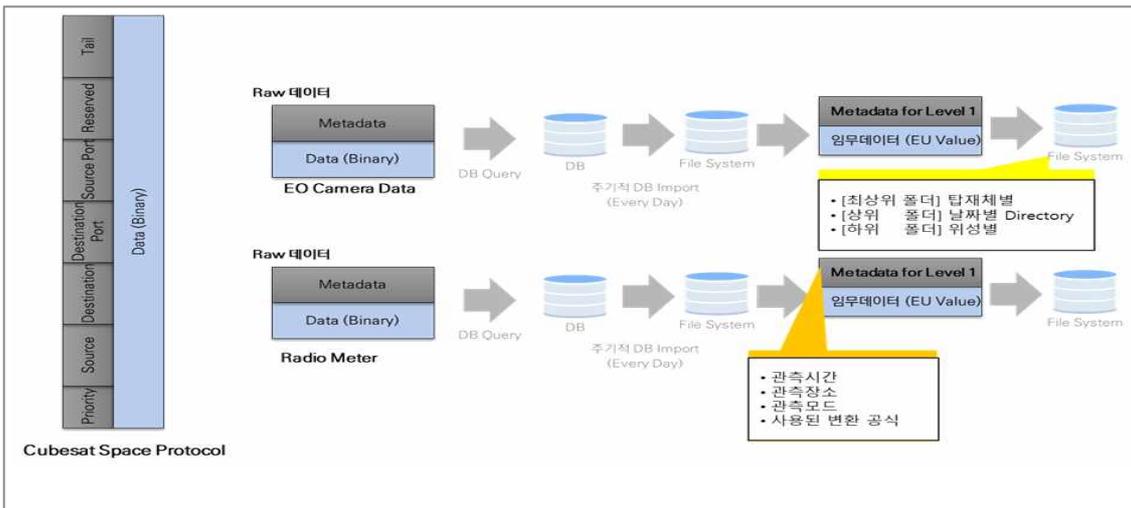
- 시나리오 관리 및 시뮬레이션 기능
- 위성 운용간 발생 할 수 있는 이벤트에 대한 해결 방안 분석
- 위성 운용 전 데모 시연을 통해 노하우 및 숙련도 확보

[그림 5-48] 시뮬레이터 서브시스템 개념도



극지연구소

[그림 5-49] 탑재체 데이터 처리 서브시스템 개념도



2) 데이터 처리 시스템

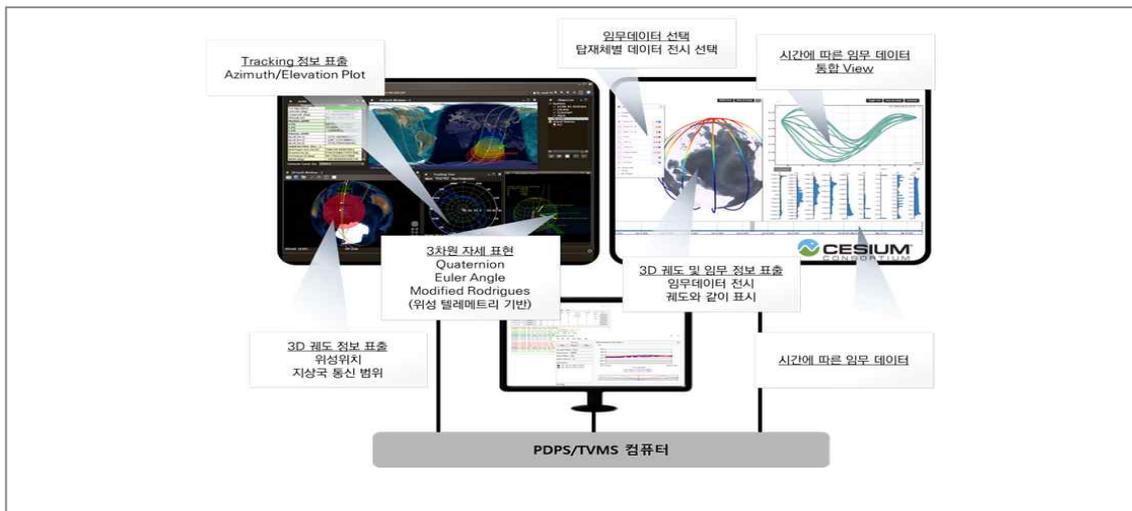
□ 탑재체 데이터 처리 서브시스템(PDPS: Payload Data Processing Subsystem)

- 위성에서 수신된 임무데이터를 영상 보정 및 처리 전 단계에서 위성별, 날짜별, 탑재체 별로 분류하여 저장하는 서브시스템
- TT&C에서 Path Sharing된 임무데이터를 수신 받아 데이터처리 수행
- 처리된 데이터를 카테고리 별로 구분 후 저장

□ 가시화 및 모니터링 서브시스템 (TVMS : Telemetry Visualization & Monitoring Subsystem)

- 현재 위성 상태와 지상 시스템 운용에 전반적인 부분을 가시화 및 모니터링
- 시간에 따른 위성 상태 변화 추이 표출
- 실시간 위성 상태데이터 표출
- 위성 Tracking 정보 표출

[그림 5-50] 가시화 및 모니터링 서브시스템



1-7. 군집형 초소형 위성 운용 방안

가. 지상국 접촉 분석

- 기본적으로 초소형위성의 발사는 다른 중형이상의 위성 발사 시 함께 탑재되어 우주로 쏘아 올리는 Ride Share 방식으로 발사가 이루어지게 됨
- Ride Share로 위성이 우주공간에 배치되게 되면 위성들은 같은 지점에서 한 번에 사출되어 각 위성들이 동일 궤도상에 좁은 간격으로 뭉쳐서 배치되기 때문에 위성들이 지상국과 접촉하기 위해서는 방문 하였을 때마다 어떤 위성과 접촉을 시도할 것인지 우선순위를 정하여서 접촉을 하여야 함
- 위성의 분산배치를 위해서는 발사단계에서 순차 발사를 통해 지정 위치에 배치시키는 방법이 있고 사출 이후 항력 또는 추력기를 이용하여 분산시키는 방법이 있음
 - 발사단계에서 분산을 하는 방식은 크게 두 가지 방식이 있는데, 첫 번째로 발사 시 Ride Share 방식이 아닌 주 위성으로 발사를 함으로써 각 초소형위성들의 지정된 위치에 사출하여 배치하는 방법이 있고, 두 번째로는 2대 이상의 발사체를 활용하여 서로 다른 궤도에서 위성을 배치함
 - 사출 이후에 분산하는 방법으로는 위성체의 자세를 변화시키면서 항력을 이용하여 분산시키는 방법과 추력기를 활용한 방식이 있음 해당 방식에 대한 상세 설명은 아래 3)의 분석에서 실시함
- 가정 사항
 - 지상국 : Svalbard Ground station (북위 : 78.229°, 경도 : 15.407°), Elevation 10°
 - 위성 6대
 - 전개 시 위성 간 True Anomaly 차이 : 10°
 - 위성 고도 : 500km
 - 위성 경사각 : 태양동기궤도(97.4018°), LTAN 12:00
 - 위성 센서 : 지구지향, Cone Half Angle : 30°
 - 궤도전파기 : J2Mean

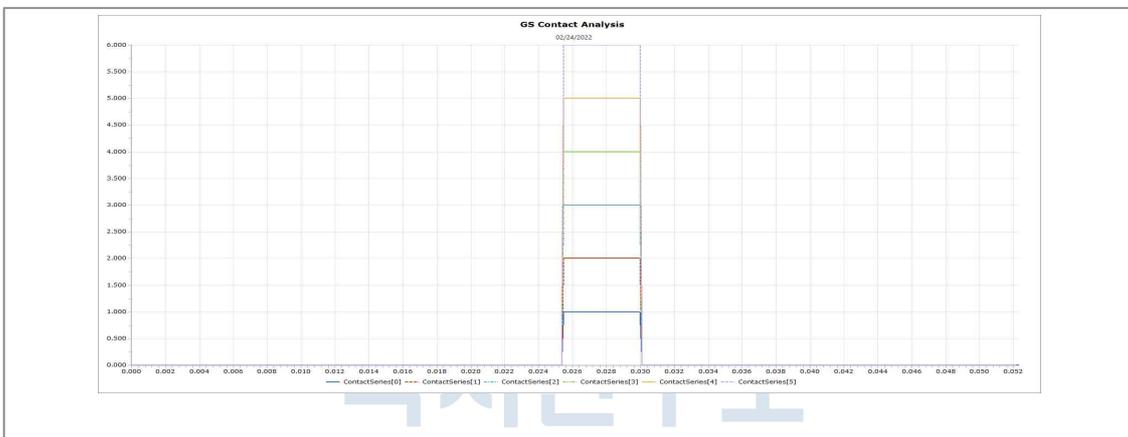
1) 지상국 접속 분석

□ 위성 1대 분석

- 위성 1대를 30일 동안 운용하면서 1일 평균 지상국 접속 횟수와 평균 접속 시간을 도출
- 위성은 1일 평균 10.8회 지상국과 접촉하였으며 1회 접속 시 평균적으로 6.524분 동안 접속

□ 위성 6대 동일 위치 배치

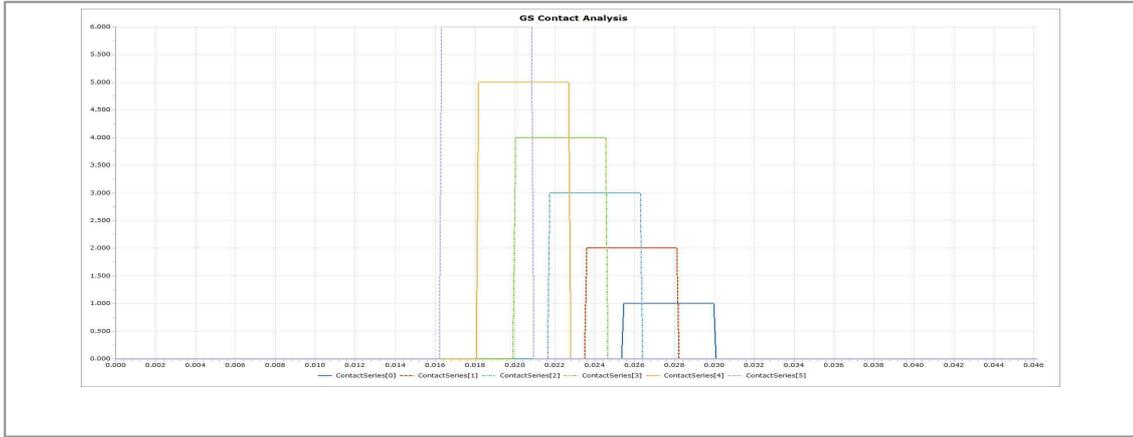
[그림 5-51] 위성 6대 동일위치 배치 시 지상국 접속 결과



- 위성 6대를 운용할 때, 동일한 발사체로 동일한 궤도에 위성들을 배치할 경우 그림 5-51과 같이 6대의 위성이 동시에 지상국과 접속할 기회 획득. 이때 지상국에서는 어떤 위성과 교신할지를 결정하여야 하며 지상국 2대를 운용한다고 가정했을 때 지상국에서는 한 번에 최대 2개의 위성과 교신 가능
- 따라서 6대의 위성이 모두 지상국과 접속하기 위해서는 3회의 접속을 필요로 하며 때문에 6대를 동일 위치에 배치할 경우 각각의 위성들은 하루에 평균 3.6회의 접속기회를 갖게 됨

□ 위성 6 대 TA 10°간격으로 배치

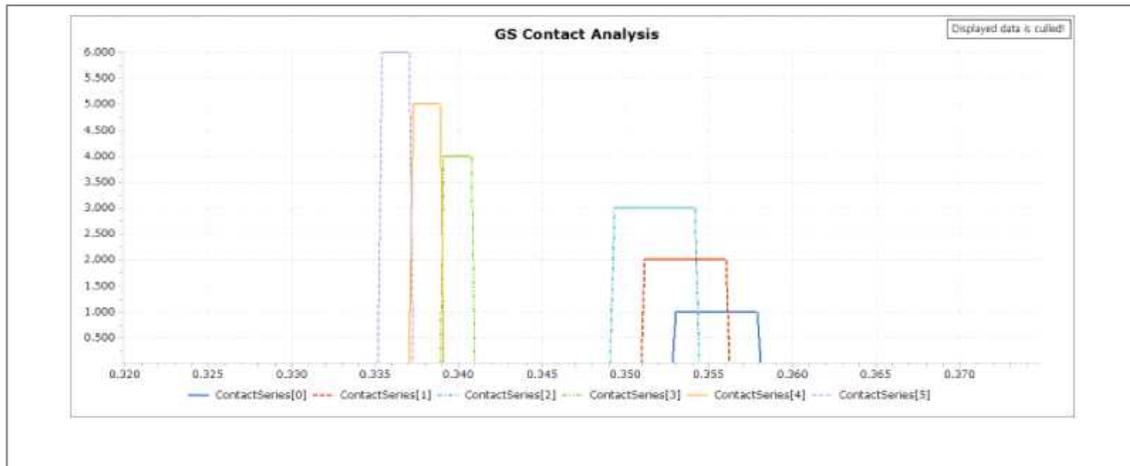
[그림 5-52] 위성 6대 TA 10° 간격 배치 시 지상국 접속 결과



- 위성 6대를 한 개의 궤도에 TA 10°간격으로 배치를 했을 때 그림 5-52와 같이 지상국 접속 기회를 갖게 됨
- 위성이 간격을 가지고 지상국과 접속하기 때문에 첫 번째 진입한 위성이 접속을 끝났을 때 5번째 위성이 접속을 하면서 한 번의 궤도 움직임에 최대 4개의 위성과 접속이 가능
- 한번에 4개의 위성을 접속했을 때, 다음 접속 시 남은 2개의 위성과 접속해야하므로 위성 간 간격을 두고 운용할 경우 평균적으로 2번의 방문에 모든 위성과 접속이 가능
- 결과적으로 각 위성은 하루 평균 5.4회의 접속을 함 이때, 위성간의 간격을 10°에서 15°로 늘리게 되면 대부분의 경우에 2번의 방문으로 모든 위성과 접속 가능
- 위성 6대를 2개 궤도에 3개의 위성을 각각 배치했을 때의 지상국 접속 형상은 그림 5-53과 같음
- 위성을 2개 궤도에 나눠서 배치했을 때, 6개의 위성이 모두 지상국과 접속하기 위해서는 평균적으로 1.5번의 방문 필요
- 결과적으로 각 위성은 하루 평균 7.2회 접속함 만약 위성간의 거리를 15°로 확대할 경우 1회 방문에 모든 위성들에 대한 관측이 가능해지면서 2개

궤도에 위성을 15°간격으로 배치할 경우 1번의 방문만으로 모든 위성의 관측이 가능해지며, 하루 평균 10.8회의 위성 관측이 가능해짐

[그림 5-53] 위성 6대 TA 10° 간격 2개 궤도 배치 시 지상국 접속 결과

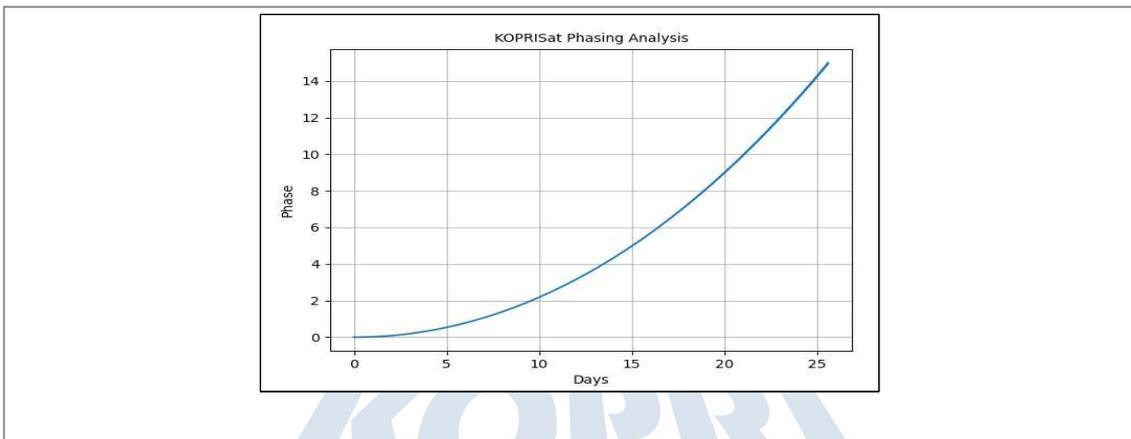


2) 항력을 이용한 위성간 거리 조절 방식 분석

- 앞서 언급했듯이 Ride Share를 통하여 배치된 위성 간 거리 조절을 위해서는 추력기를 사용하거나 대기항력을 이용하여 거리 조절을 시행함
- 항력을 이용하여 위성간 거리를 조절하는 방식으로는 거리를 조절하고자 하는 위성체의 가장 넓은 면(일반적으로 태양전지판 면적)을 위성의 진행방향과 일치시키도록 기동하여 대기항력을 최대로 받도록 함
- 해당 분석에서는 2대의 위성의 거리를 15°간격까지 벌리는데 소요되는 시간을 분석함 이는 위성들을 2개 궤도에 배치했을 때, 한 번의 방문만으로 모두 관측이 가능해지는 간격임 사용된 상세 가정 사항은 다음과 같음
 - 두 위성 모두 낮 구간에서 태양지향을 하며 식 구간에서는 각각 최소 항력과 최대 항력을 받음
 - 두 위성 모두 낮 구간에서 공급하는 전력만으로 운용이 가능
 - 전개가 완료되기 전까지는 임무수행은 하지 않는다고 가정

- 일/식구간의 크기는 본 장 3절에서 실시한 일/식 구간 분석과 동일한 조건에서 분석을 실시했으며, 1회전 당 평균 낮 구간은 35.88분, 밤 구간은 58.64분임
- 분석결과는 다음과 같음

[그림 5-54] 위성 2대를 15° 간격 전개까지 걸리는 시간



- 위성 2대를 15°간격으로 전개하는데 25.6일이 소요됨
- 본 장 3절에서 분석한 결과를 참고했을 때 각 위성간의 간격이 15°까지 벌어질 경우 한 궤도면에서는 2번의 방문, 두 궤도면에서는 한 번의 방문만으로 모든 위성들이 지상국과 접촉이 가능함

1-8. 위성 발사 관련 업무

- 위성 발사와 관련된 업무로는 발사체 선정/계약 관련 업무와 위성 등록 관련 업무가 있음
- 대부분의 초소형위성은 주 위성(중대형 위성) 발사 시 Piggy-Back 형태로 발사하기 때문에 저비용으로 다수의 위성을 발사할 수 있음
- 단독 발사가 아니기 때문에 전용 발사체가 아니기 때문에 발사 일정 조율이 어렵고, 원하는 특정 궤도가 있는 경우 그 궤도에 해당하는 주

위성이 발사할 때 까지 기다려야 하는 단점이 존재

- 최근 초소형위성만 선적하여 발사하는 소형 발사 서비스가 증가하여 발사 지연 확률이 낮기 때문에 발사 일정 지연에 대한 위험을 줄일 수 있음

[그림 5-55] 초소형위성 발사관(POD)(좌), 발사체 탑재 방법(Ride sharing)(우)



□ 위성 발사체 선정/계약을 위해서는

- 임무분석 결과에 따른 궤도 선정
- 궤도에 따른 발사체 선정
- 발사 서비스 업체 비교 후 발사 서비스 업체 선정 및 계약 수행
- 발사 서비스 업체와의 업무 조율
- 위성 선적 등을 고려해야 함

□ 위성 등록 관련 업무로는

- 위성망 국제등록 (주파수 등록)
- 지구국 등록
- 우주물체 예비 등록, 우주물체 등록
- 전략물자 수출 허가 관련 등이 있음

□ 발사체 선정

- 발사체 선정 시, 업무 협의의 용이성, 발사 비용, 발사 일정, 업무 편의성, 발사 이력 및 성공률 등을 고려함

□ 발사체 및 업체 조사/분석

- 발사 서비스를 제공하는 업체 중, 여러 개의 발사체를 지원하는 Spaceflight사와, ISI Launch사가 초소형 위성 발사 서비스에 대한 장점을 보임

[그림 5-56] 발사 서비스 업체(Spaceflight, GK Launch, ISI Launch) 비교

	01 Spaceflight	02 GK Launch	03 ISI Launch
개요	<ul style="list-style-type: none"> 2011년 설립된 발사 서비스 및 임무 관리 제공 회사 업체 국적 - 미국 선적 위치 - 미국 2013년, 첫 Rideshare 발사 	<ul style="list-style-type: none"> ROSCOSMOS State Space Corporation의 자회사 업체 국적 - 러시아 선적 위치 - 러시아, 카자흐스탄 30년 이상 Global 국제 우주 프로젝트 참여 	<ul style="list-style-type: none"> ISISPACE의 자회사 업체 국적 - 네덜란드 선적 위치 - 네덜란드 2013년 3U ISIPOD CubeSat 개발(큐브위성 발사관)
비용	<ul style="list-style-type: none"> 150,000 USD (3U / <5kg / Falcon-9) 	<ul style="list-style-type: none"> 200,000 USD (3U / <5kg / Soyuz-2) 	<ul style="list-style-type: none"> 172,500 EUR (3U / <5kg / Firefly Alpha)
비행 이력	<ul style="list-style-type: none"> 200기 이상의 초소형위성 발사 이력 보유 (2018 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> 200기 이상의 초소형위성 발사 이력 보유 (2018 기준) 	<ul style="list-style-type: none"> 414기 초소형위성 발사 이력 보유 (2020 기준)
지원 발사체	 <ul style="list-style-type: none"> 전 세계 모든 발사체를 대상으로 발사 지원 서비스 제공 	 <ul style="list-style-type: none"> Soyuz-2 발사체에 대한 발사 서비스 지원 	 <ul style="list-style-type: none"> 10개 이상의 다양한 발사체를 대상으로 발사 지원 서비스 제공
발사관 지급 여부	<ul style="list-style-type: none"> 지급 	<ul style="list-style-type: none"> 지급 	<ul style="list-style-type: none"> 지급

□ 발사 서비스 업체 계약 업무

○ 발사체 선정/계약 절차는 다음과 같은 단계로 진행됨(예시)

<표 5-40> 발사체 선정 및 계약 절차 (예)

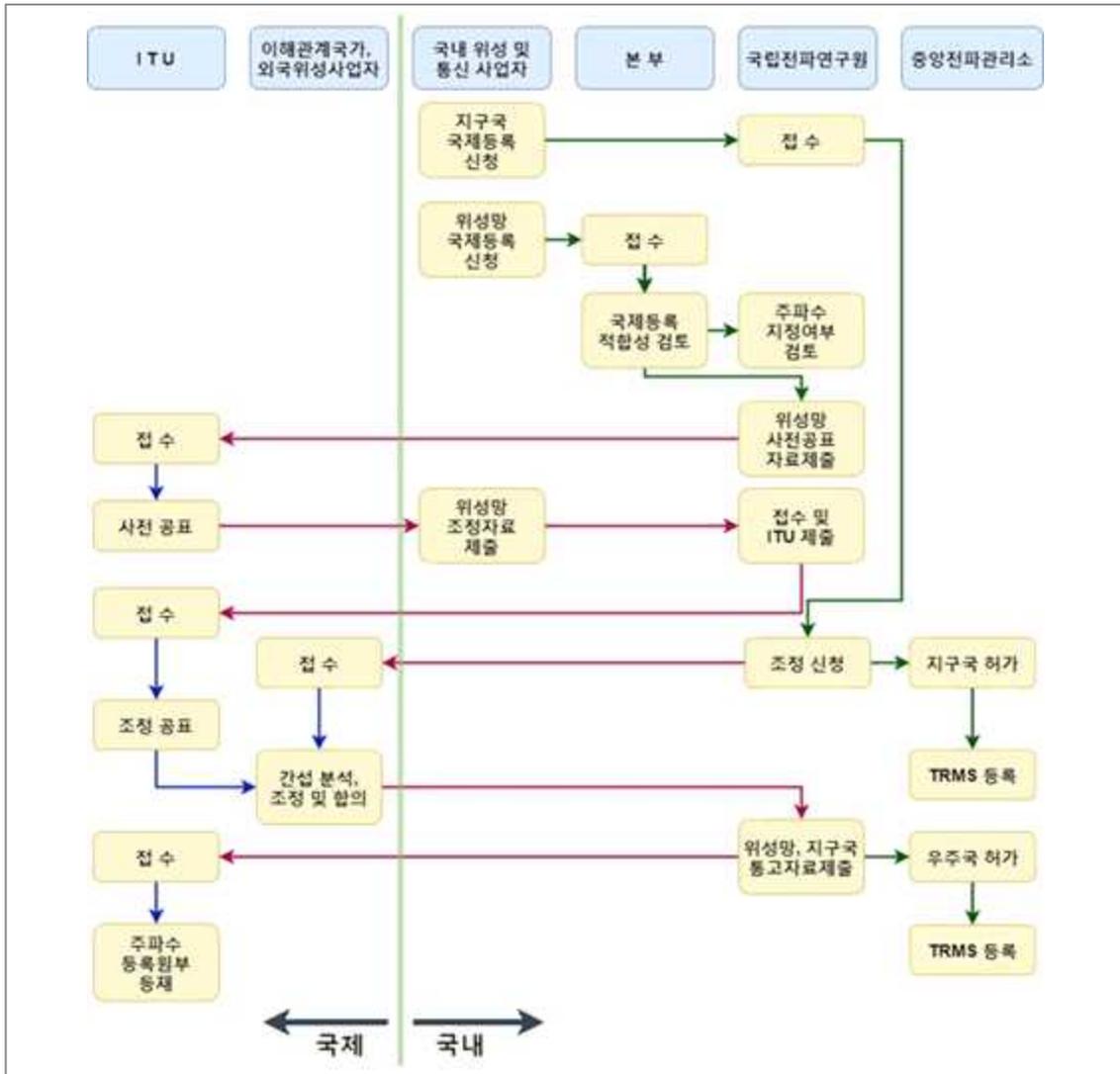
계약 단계	주요 업무
1차 계약	임무/궤도 발사 일정에 따른 발사체 선정 발사 서비스 업체와 기밀유지 협약(NDA) 체결
총 발사 비용의 40 % 지불	
2차 계약	위성 운반 및 시험용 발사관 수령 (예: Test-POD) 발사체 요구사항 및 시험항목 등 관련 문서 수령 (via and Interface Control Document)
총 발사 비용의 30 % 지불	
3차 계약	발사체, 발사관과 위성 조립 과정 현장 업무 지원 현장 업무에 필요한 시설 및 장비 지원 (클린룸, 위성 상태 확인 등) 이슈 사항 발생 시 각 이슈에 대한 절차서에 의한 원격 업무 수행
총 발사 비용의 20 % 지불	
4차 계약	발사체 발사 이후 금액 결제 (잔금 결제) 발사 지연 시 대응 방법 논의 (발사체 변경, 발사 일정 변경 등) 발사 실패 시 보험 처리 관련 논의
총 발사 비용의 10 % 지불	

□ 위성망 국제 등록

○ 위성망 국제등록 절차는 다음 그림과 같음

○ 아마추어 대역의 주파수를 사용 시 국제 아마추어 무선연맹에도 주파수 등록을 해야 함

[그림 5-57] 위성망 국제등록 절차



□ 지구국 등록

- 국내에서 지구국을 구축하여 사용 시 지구국 등록 절차를 수행하여야 함
- 초소형위성용 UHF, S-band 지상국 구축 후 지상국 준공검사 실시
- 해외에 지구국 구축 시 해당 국가에서 요구하는 등록절차를 따라야 함

□ 우주물체 등록

- 우주물체 예비등록 : 우주물체 예비등록은 위상 발사 3개월 전까지 등록되어야 함
- 우주물체 등록 : 우주물체 등록은 위성 발사 이후 과학기술정보통신부에 우주물체 등록이 되어야 함
- 지상국 자격증 취득
 - 등록된 지구국을 운용하기 위해서는 아래와 같은 취득사항이 필요
 - 아마추어 무선기사 3급 - 3명
 - 무선설비 자격증 - 1명



2-1. 핵심 기술

가. 고품질 해빙 정보 생산 및 검보정 기술

□ AI 빅데이터 구축을 위한 국내외 위성정보 분석

- 인공위성은 국가나 지역에 제한을 받지 않고, 광범위한 정보를 수집
- 우주 공간에서 지구를 관측하는 위성 자료는 빅데이터를 생성하기에 용이하며 AI를 통해 신속하고 빠르게 분석이 가능함
- 최근 지구 온난화로 인한 북극 해빙 특성(해빙 면적, 두께 등)에 대하여 다양한 시공간 해상도로 관측되고 있는 국내외 위성의 정보를 분석하여 AI 분석에 사용될 수 있는 빅데이터를 구축

□ 초소형위성 산출물 개발 기술

- 수동마이크로파, 광학 초소형위성의 원시자료는 그 자체로 유용한 정보가 될 수 없음. 따라서 목적에 부합하는 산출물을 제작하는 알고리즘 개발이 요구됨
- 일반적으로 위성의 산출물은 현장 관측과의 결합으로 경험적으로 산출되거나 AI를 기반으로 함
- 초소형위성에 최적화되며, 공공 목적에 부합하는 다양한 산출물 선정 및 관련 알고리즘을 개발

□ 해빙 정보 검보정 기술

- 센서의 성능이 자료의 품질을 일차적으로 좌우하지만 품질에 영향을 미치는 다양한 요소들이 여전히 존재함
- 특히 극지를 관측하게 될 초소형 위성의 경우 전례가 드물고 매우 도전적인 과제이므로 자료의 품질을 최적화하는데 상당한 노력이 따를 것으로 예상함

- 그러나 기존 인프라(쇄빙선, 극지기지)에서 획득된 양질의 현장 관측 데이터베이스가 구축되어 있으며 이를 적극적으로 활용하여 초소형 위성 산출물의 품질을 고도화 시킬 수 있음

□ 온난화 대응에 적합한 빙권 정보 산출

- 전 지구적인 온난화, 특히 한반도에 영향을 미치는 온난화의 영향과 북극의 해빙 상태의 연결성은 이미 널리 알려져 있음
- 그러나 해빙의 면적, 두께 등 어떤 요소가 구체적으로 어떤 메커니즘으로 한반도 온난화에 영향을 미치는지는 아직도 논의되고 있음
- 한반도 온난화 대응을 위해서 적합한 빙권 정보 산출을 위해서 초소형 위성 산출물 기반의 다각도 연구가 수행될 예정임. 이에 온난화 대응에 적합한 빙권 정보를 선정하고 산출, 품질 관리가 수행될 것임

나. 북극-한반도 원라인 감시 기술

□ 초소형위성 산출물 생산/배포 시스템 개발

- 공공목적에 부합하기 위하여 초소형 위성 자료를 가공하여 생산한 정규 활용산출물의 서비스 등 배포 대상을 확대하고 제공하는 자료는 사용자 용이성 측면에서 개발이 요구됨
- 전반적인 시스템은 산출물 가공 소프트웨어, 검색주문관리 서브시스템, 활용분석처리 서브시스템, 자료관리 서브시스템, 배포처리 서브시스템으로 구성

□ 다종 위성 융합 기술 개발

- 환경위성센터 등 각 기관 위성센터는 이미 천리안위성 2호 위성 관측자료를 활용한 에어로졸 및 안개융복합 산출물 개발, 해색의 산출물 정확도 개선, 인공지능을 이용한 2A/2B호 융합 활용 등에 대한 협력체계를 마련하고 있음
- 이에, 초소형 위성 또한 천리안 위성과 AI 기반 융복합 체계를 마련하여

북극의 급격한 변화의 에너지가 한반도로 전달되는 기작을 규명할 필요가 있음

- 초소형위성과 중대형위성이 가지는 장단점이 서로 보완된다면 자료의 품질 고도화 같은 시너지 효과를 창출할 것으로 기대함

□ AI 기반 온난화 감시 기술 개발

- 온난화와 연관된 북극 해빙의 변화는 감시의 측면에서 상당히 중요한 요소임
- 결국 해빙의 변화를 인지하고 예측할 수 있다면 온난화에 대한 선제적인 대응이 가능할 것으로 보임
- 해빙의 예측은 AI 기술을 바탕으로 수행될 것이며 이미 유관 기술을 어느정도 확보한 상태임

2-2. AI 활용 국내외 동향 및 기술 수준 분석

가. 국내외 동향

- 빅데이터 시장 증대에 따른 인공지능(AI) 신 서비스의 대량 데이터 처리 및 분석·활용을 위한 데이터 기술 기반 연구가 전 세계적으로 활발히 진행 중

- AI는 극 지역을 대상으로 해빙 요소 산출, 해빙 유형 판별, 음빙호나 크레바스와 같은 객체 탐지, 해빙 예측에 활발하게 적용되는 추세에 있음
- 현재까지 북극 인프라와 위성 산출물을 활용하여 AI기반의 검보정 기술을 개발한 전례는 없음

□ AI기반 해빙 유형 지도

- 해빙의 유형은 생성환경 및 나이에 따라 여러 가지로 분류되며, 미국 NIC, 러시아 AARI, 캐나다 CIS, 유럽 EUMETSAT 산하 OSI-SAF 등 해외 유명

극지 연구 기관에서는 주기적으로 해빙 유형 지도를 발간함.

- 위성 정보가 급증함에 따라 매뉴얼적인 방법으로 광활한 극지역의 해빙 지도를 생성하는데에는 한계가 있음
- 덴마크에서는 Automated Sea Ice Products (ASIP) 프로젝트의 일환으로 합성곱신경망 방식을 사용하여 다중 위성 기반의 해빙 차트를 발행하고 있음
- 프랑스, 노르웨이에서 합성곱신경망을 이용해 Sentinel-1 SAR 이미지에서 초년생 및 다년생 해빙을 구분함
- 대부분 SAR에 기반하여 해빙 유형을 구별하나 광학 초소형위성 빅데이터 기반의 해빙 유형 구별도 가능함

□ 해빙 정보 예측을 위한 AI 활용

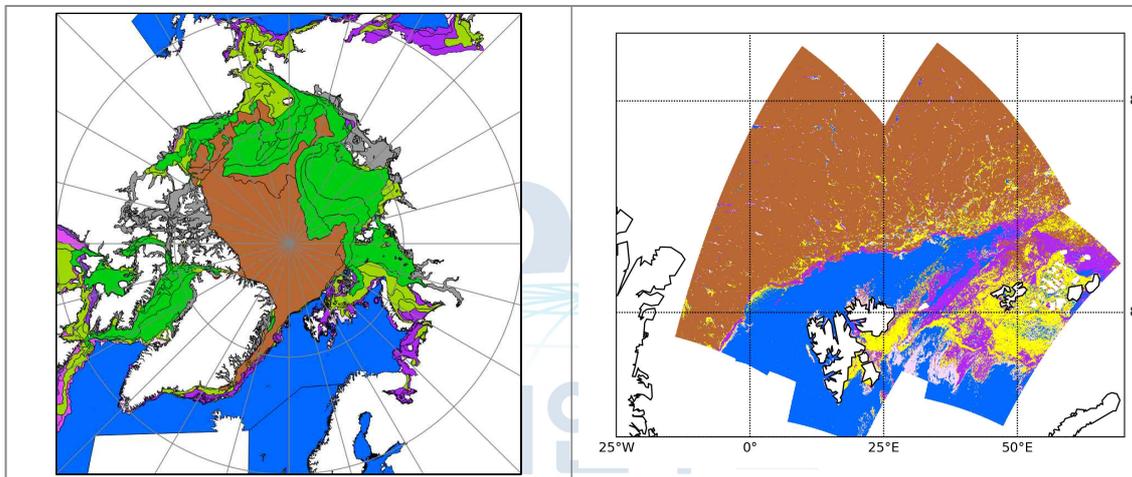
- 해빙-해양-기상 위성 빅데이터와 인공지능 예측모델의 융합을 통해 시공간적 예측성 향상이 필요
- Sea Ice Prediction Network (SIPN)는 2008년부터 전 세계 해빙예측 그룹으로부터 9월 북극해빙 면적 예측치인 Sea Ice Outlook (SIO)를 매년 6, 7, 8, 9월 제출받아 그 결과를 비교하는 리포트를 발간하고 있음.
- 전남대에서는 해양-해빙 초기자료, 대기예측장을 이용한 접합모델 기반으로 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 공간해상도로 북극해빙 중장기 (6개월) 예측 시스템을 개발하였음.
- 선박해양플랜트연구소에서는 북극항로 선박용 항해안전지원시스템 개발을 위해 해빙-해양-대기 변수와 관련된 위성자료 기반의 통계적 기법을 이용하여 중단기 빙상상태 예측기법을 개발, 시범 운용하였음.
- 현재 전 세계 40개 내외의 그룹으로부터 통계, 수치모델 기반의 9월 북극 해빙 예측결과가 SIPN에 제출되고 있으며, 2019년부터 인공지능 기반의 예측 모델 결과가 리포트 되기 시작하였고, 매년 증가하여 2021년에는 극지연구소의 예측 결과가 포함되어 총 7개의 팀에서 인공지능 기반 예측 모델 결과가 발표되었음

나. 기술 수준 분석

□ 영상레이더 관측 기반 북극해 해빙 유형 분류 기술

- 극지연구소에서는 영상레이더 기반의 해빙 유형 구분을 수행한 바 있음
- 영상레이더 자료의 텍스처 분석을 기반으로 NIC 해빙 지도를 활용한 기계학습 알고리즘을 개발하고, 자동화된 처리과정을 통해 주기적인 산출물을 생성함

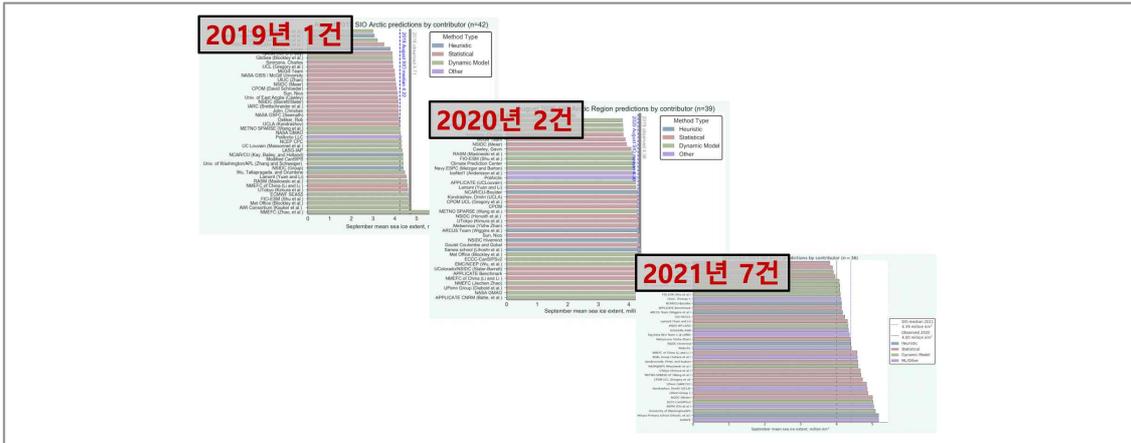
[그림 5-58] 해빙 유형 지도의 예. (왼쪽) NIC 발간 해빙 지도 (오른쪽) 영상레이더 기반 2km 해상도의 프로토타입



□ 인공지능 기반 해빙 예측 연구 현황

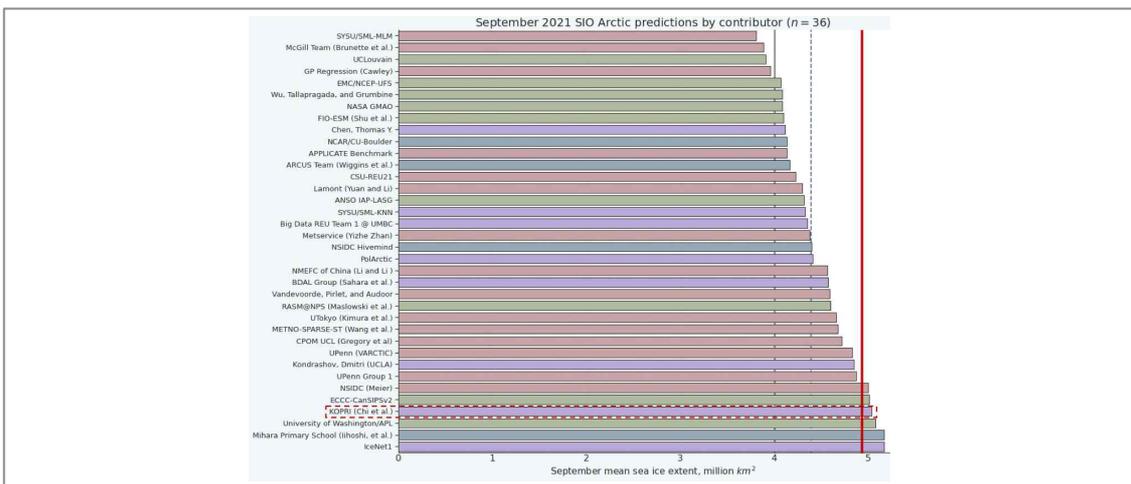
- 2017년 극지연구소 주요사업인 “북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발”을 통해 세계 최초로 시계열 예측에 특화된 인공지능모델과 위성 해빙 빅데이터를 이용한 연구를 수행하여 결과를 발표하여, 인공지능 기반 해빙 예측 모델을 선도함

[그림 5-59] Sea Ice Prediction Network에 제출된 인공지능 기반 예측 결과 증가 추세 (보라색 bar는 인공지능 기반의 예측 모델)



- 2021년 국내에서는 최초로 SIPN에 9월 해빙 예측 결과를 제출하여 약 98%의 정확도로 세계 5위 수준 (인공지능모델 중 1위)의 정확도를 보여주어 해빙예측 분야에서 극지연구소의 위상을 제고하였고 향후 발전 가능성을 보여줌
- 극지 관측 초소형위성의 빅데이터를 기반으로 예측 성능 향상에 기여할 가능성 있음

[그림 5-60] 2021년 9월 해빙예측 결과 (붉은색 실선: 실제 관측값, 붉은색 점선: 극지연구소 예측값)



2-3. 초소형위성 위성정보 활용 방안

<표 5-43> 초소형위성 산출물 활용 방안에 대한 전문가 자문내용 주제별 정리

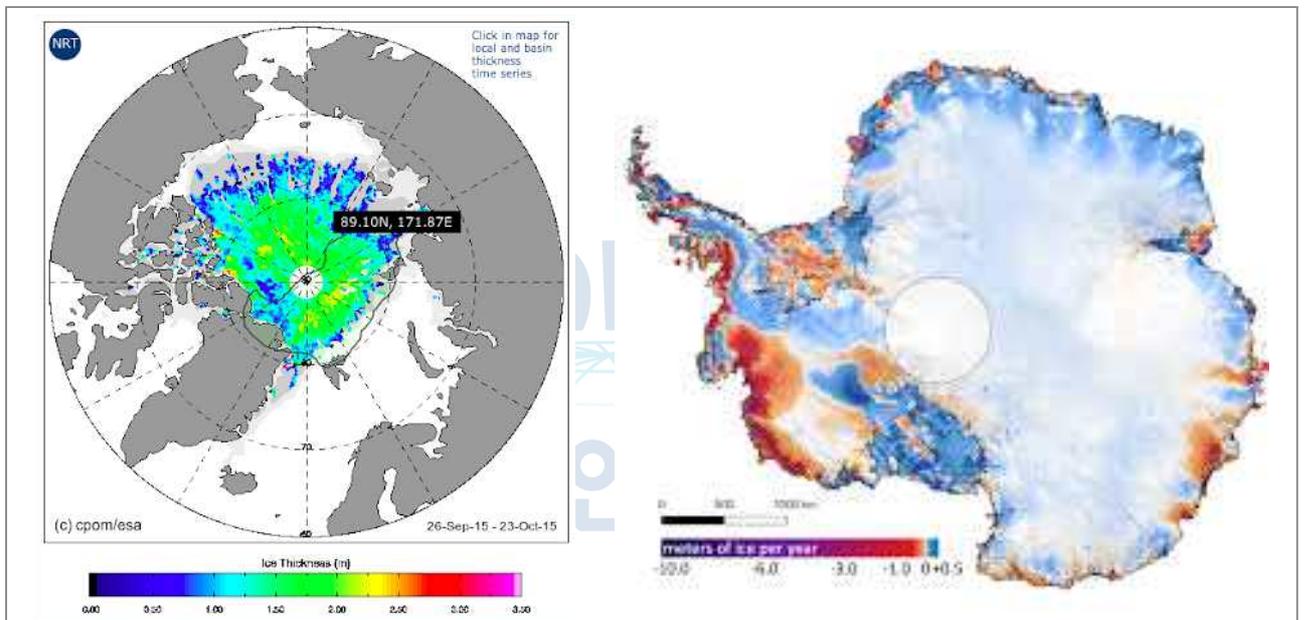
구분	전문가 자문 내용
해빙 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 해빙 농도(해빙 면적) 분석 ▪ 해빙 종류 분석 ▪ 해빙 두께 분석 ▪ 멜트폰드(melt pond) 분포 분석 ▪ 해빙 표면거칠기 분석
기후변화 예측	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기후변화 및 환경 특성 변화 등을 예측 및 분석
북극항로 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 북극항로용 빙해선박의 안전 운항과 디지털 트윈
빙해선박 지원	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 빙해선박을 위한 해빙 정보의 활용
극지환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극지 식생분포 분석 ▪ 극지 수질 분석
비극지 환경	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 화산활동모니터링, 재난/재해 감시, 식생/토양/피복의 변화 탐지, 강우량, 수증기량, 해상풍, 수온 측정, 수자원관리, 선박 감시, 토지 이용관리, 부유조류 추적 등

□ 빙해선박을 위한 해빙 정보의 활용

- 위성을 통해 추정된 해빙 데이터는 비교적 큰 공간해상도 스케일 (Macro-scale)의 정보를 포함하고 있으므로, 해빙의 두께 및 기계적 특성과 같은 보다 작은 해상도 스케일 (Micro-scale)에 대한 정보를 별도로 추출하는 과정을 거칠 필요가 있으며, 이는 과학-공학의 학제 간 융합에 의한 협업의 틀에서 수행되는 것이 바람직하다고 판단됨
- 위성을 통해 추정된 해빙 데이터를 통해 micro-scale의 해빙 정보를 추출하기 위해서는 지속적인 현장 계측을 통해 얻어진 해빙 두께 및 해빙의 기계적 특성 등 다양한 정보를 사전에 확보하고, 서로 다른 두 스케일의 데이터 간의 상관관계를 분석하여 빙해선박의 안전성 검토에 활용할 필요가 있음

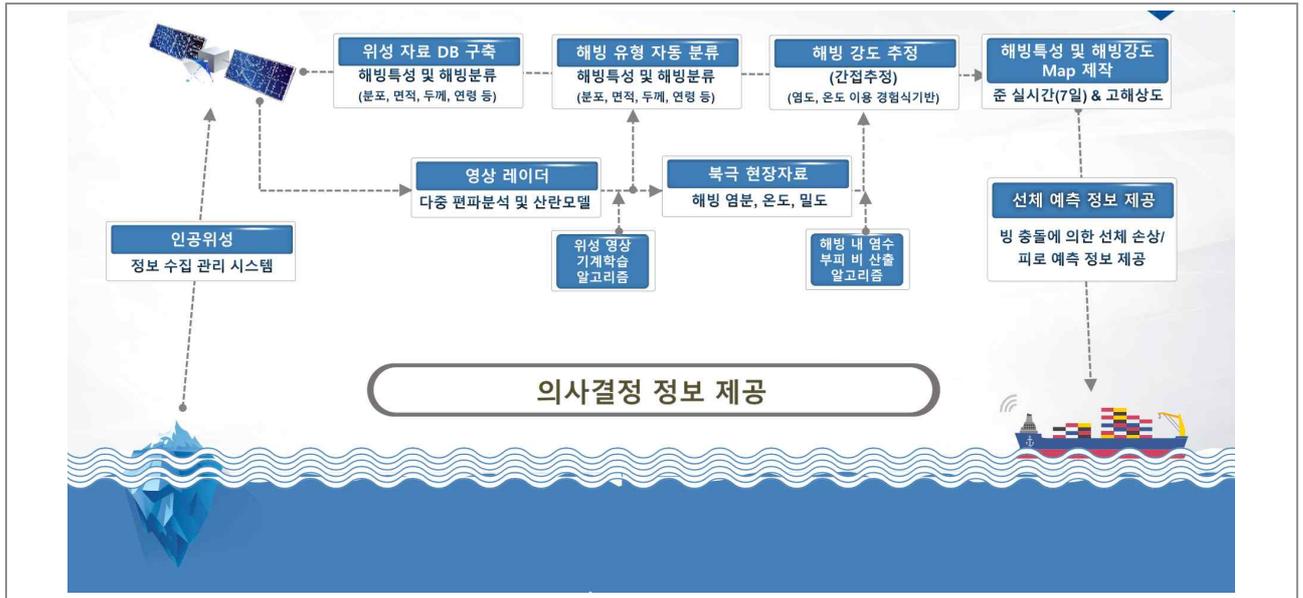
- 위성 데이터와 현장 계측 데이터 간의 상관성의 분석을 위해 다층퍼셉트론, 인공신경망 등과 같은 AI 기법을 적용할 수 있으며, 추출된 데이터를 통해 파랑 산포도와 유사한 “빙 분포도”를 도출할 수 있음
- 계측된 물리량을 DB화 하여 북극해의 해빙 분포에 대한 장기적인 변화 추이 등을 면밀하게 고찰할 수 있으며, 이를 통해 빙해선박의 설계 및 운영에 광범위하게 활용이 가능할 것으로 판단됨

[그림 5-61] 위성 관측을 통한 해빙 직접도의 예

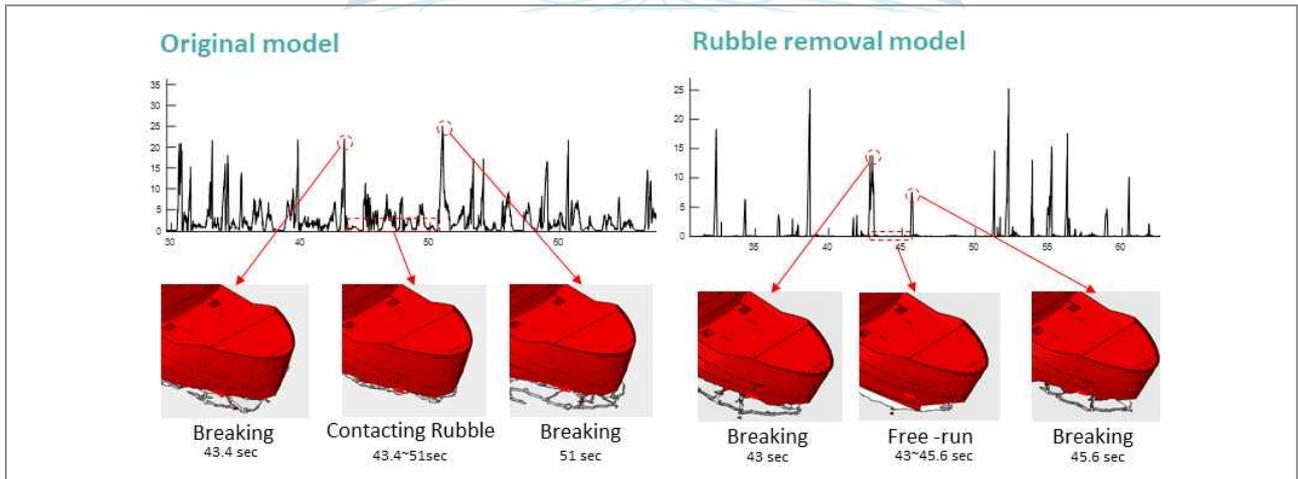


- 도출된 빙 분포도는 해빙의 기계적 특성치 및 두께 등을 포함하고 있는 정보로, 이를 기반으로 빙해선박에 작용하는 빙하중을 추정할 수 있으며 최종적으로 빙해선박의 안전항로 및 구조적 안전성을 확보함에 있어서 중요한 데이터로 활용될 수 있을 것으로 기대됨

[그림 5-62] 원격탐사 자료의 빙해선박 적용 사례



[그림 5-63] 위성 데이터를 활용한 빙해선박의 빙하중 추정 사례

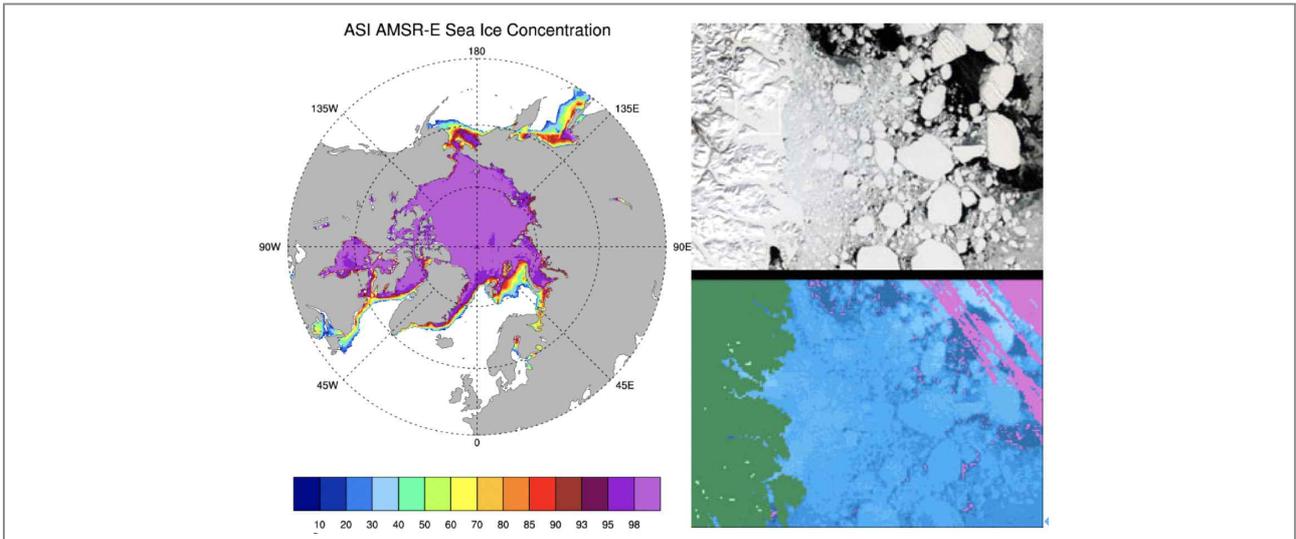


□ 해빙 농도(해빙 면적) 분석

○ 기존 산출물 현황

- 기존 해빙농도/면적 자료의 한계점: 수동 마이크로파 센서 위성 활용 산출물 (~10km, 일별) 및 광학 기반 산출물 (~1km, 일별)의 추정 결과가 상이하여 두 자료 간 연계가 어려워 보다 정확한 고해상도의 해빙 농도/면적 산출물이 부족한 실정임

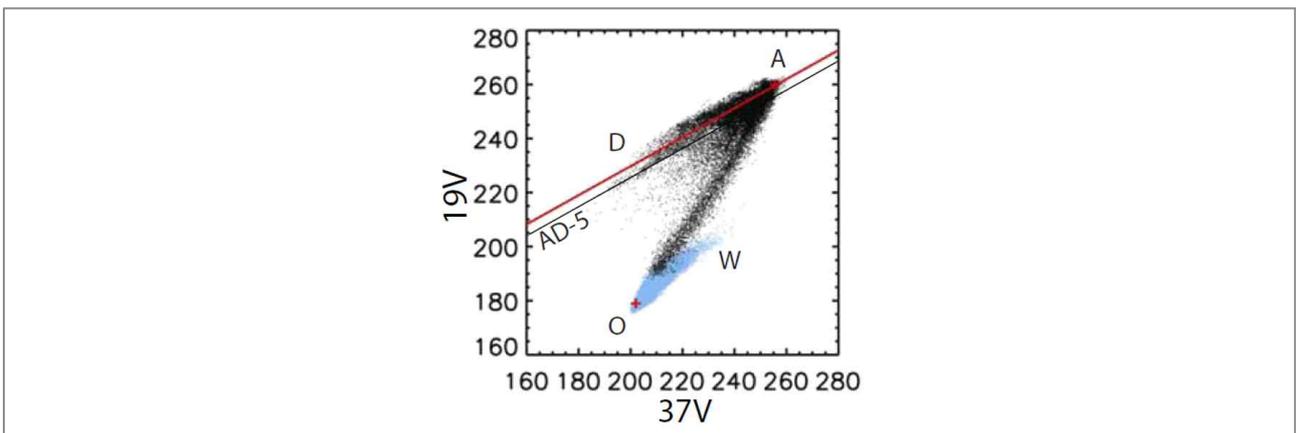
[그림 5-64] AMSR 해빙농도 (왼쪽) and MODIS 해빙 면적 (오른쪽)



○ 초소형위성 활용

- 수동마이크로파: 해빙 및 해수의 emissivity 차이 활용 해빙 탐지 및 농도 추정 (1.4, 7, 19, 23, 37, 89 GHz 등 다양한 파장대 활용)
- 고해상도 해빙 탐지를 통한 정밀한 해빙 면적 (extent) 및 가장자리 (edge) 추정 가능
- 구름이 없는 시기에는 고해상도 다중분광 위성 이미지의 융합 활용 (교차 검증) 통한 고해상도 해빙 분석 가능

[그림 5-65] 19V, 37V GHz 채널을 이용한 bootstrap 기반 해빙농도 추정 알고리즘에서 두 채널의 상관성을 나타내는 예시. AD라인은 100% 해빙, OW 라인은 100% 해수를 나타냄



○ 기대 결과

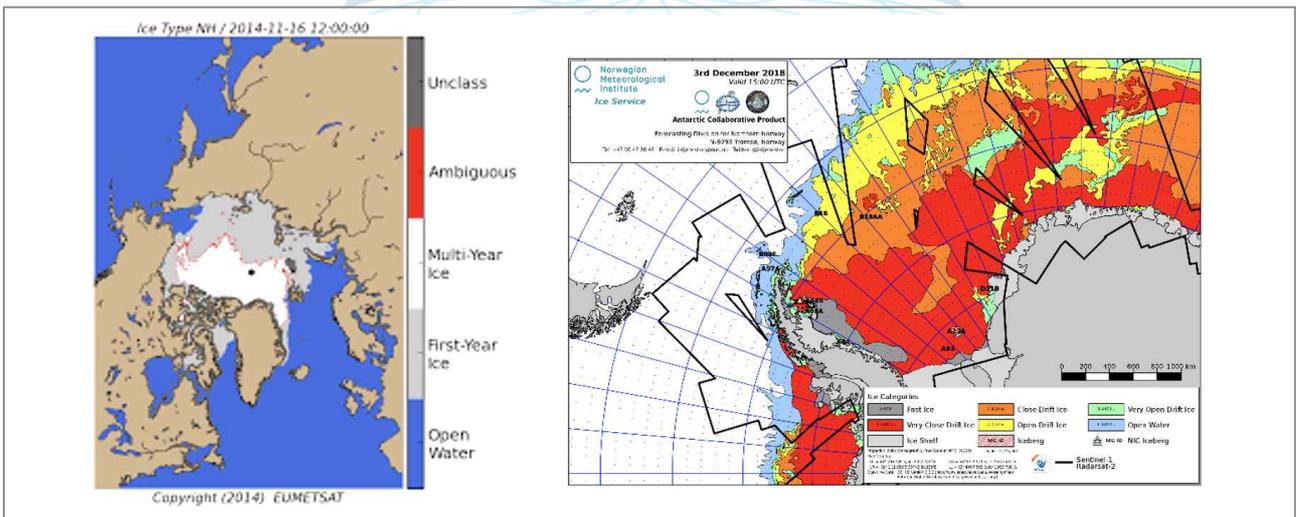
- 수동마이크로파 및 다중분광영상 교차검증을 통한 보다 정확한 산출물 제공
- 1~10km 수준의 고해상도, 고정밀 일별 산출물 제공 가능할 것으로 기대
- 극지 고해상도 해빙 농도 및 면적 자료 산출

□ 해빙 종류 분석

○ 기존 산출물 현황

- 기존의 해빙 종류(type)와 관련한 산출물은 SSMI/S, ASCAT, AMSR2를 융합, 활용하여 산출하는 OSISAF 해빙종류(10km, 일별) 자료가 있음
- 하지만 현장자료량이 충분하지 않아, 정확도가 많이 떨어지는 편임. 또한 이러한 현장자료의 한계를 극복하기 위하여 해빙 종류 자료의 reference로써 전문가들이 직접 눈으로 분류를 하는 해빙 차트(sea ice chart) 자료를 활용하는데, 해빙 전문가의 주관적인 해석에 의하여 분류를 하는 한계점이 있음

[그림 5-66] OSISAF 해빙 종류(왼쪽)와 해빙차트(오른쪽)

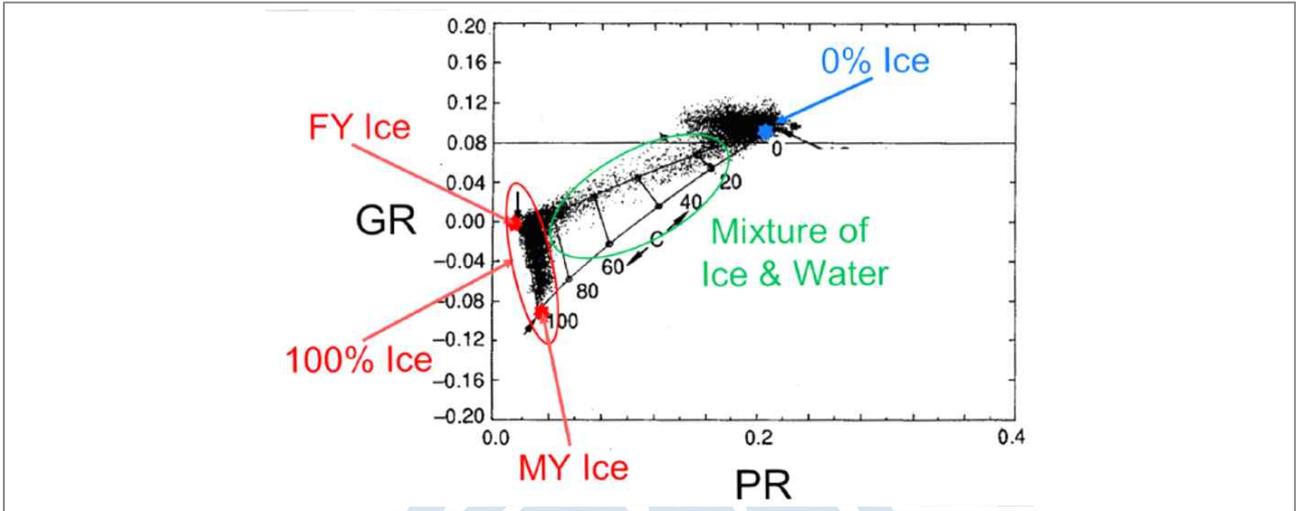


○ 초소형위성 활용 방안: 1.4-89GHz

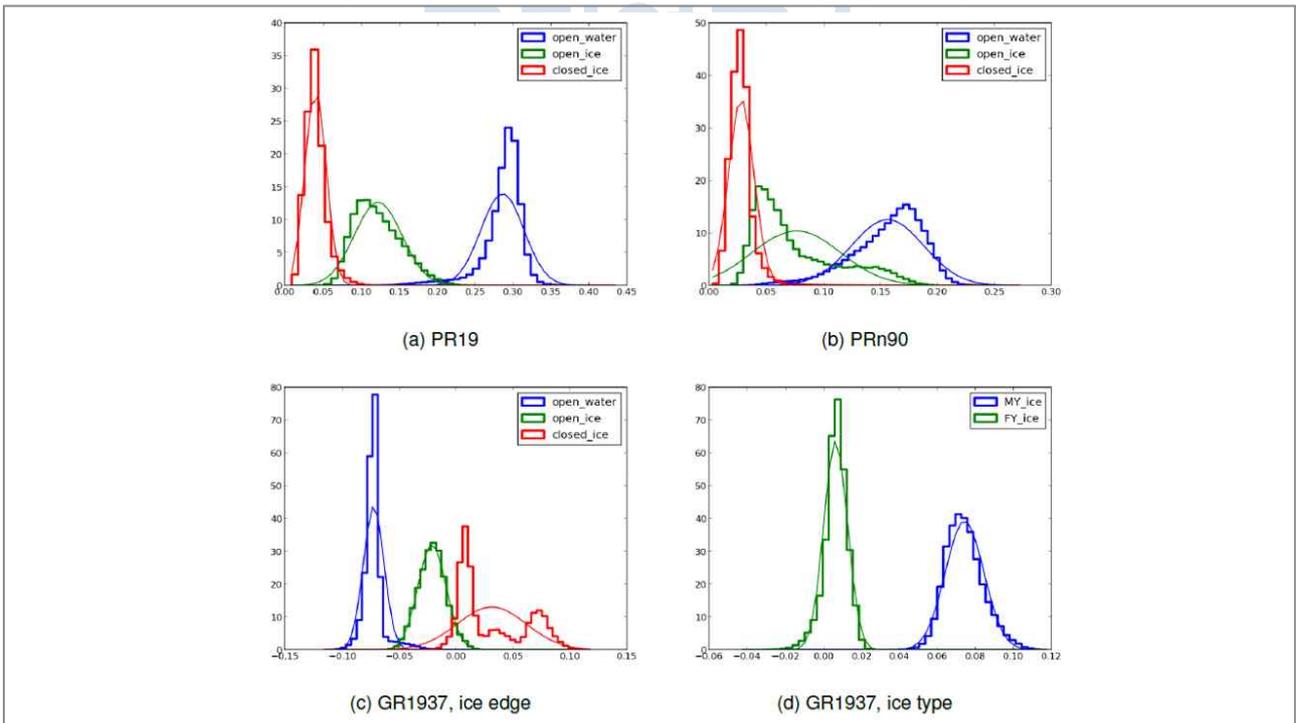
- 수동마이크로파: 단년빙(first-year ice), 다년빙(multi-year ice), 해수(open water)의 emissivity 차이 활용 해빙 종류 분류 (1.4, 7, 19, 23, 37, 89 GHz 등 다양한 파장대 활용)
- 고해상도 다중분광 위성 이미지 융합 활용을 통한 표면 종류(seawater, snow, melt pond 등)에 의한 해빙 종류 분류의 불확실성 감소

- 해빙 종류 reference로 주로 활용되는 해빙차트 생산 시 추가적인 참고자료로 활용 가능

[그림 5-67] 19, 37GHz 밝기온도 자료에서 계산한 GR(spectral gradient ratio)과 PR(polarization ratio)을 이용한 해빙 종류 분류 예시



[그림 5-68] GR(spectral gradient ratio)과 PR(polarization ratio) 자료를 이용한 Bayesian 방법 기반 해빙 분류



○ 기대 결과

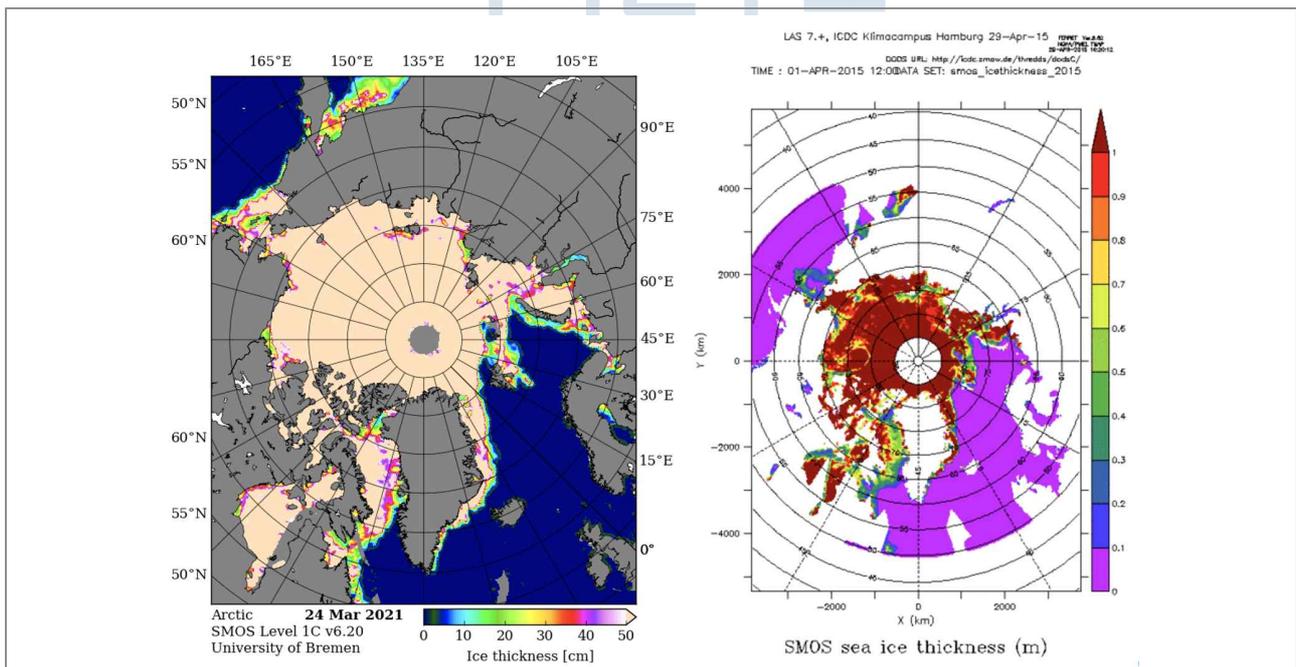
- 고해상도/고정밀 일별 해빙 종류 산출물 제공
- 수동마이크로파 및 다중분광 이미지의 융합을 통한 해빙 차트와의 비교 검증
-> 초소형 위성을 활용한 고해상도 해빙 종류 산출 교차검증을 통한 기존 산출물 보다 정확한 산출물 제공

□ 해빙 두께 분석

○ 기존 산출물 현황

- 기존 해빙 두께 산출물의 한계점: 수동 마이크로파 위성 기반 산출물 (~10km, 일별)은 ~0.5m 두께 이하의 얇은 해빙을 대상으로 분석할 수 있으나, SMOS 및 SMAP 등 단일 센서 관측으로 인한 불확실성이 존재함
- 주요 오차 원인으로 해빙 표면온도, 해빙 농도, 염분도, 표면거칠기, radio frequency interference (RFI) 등이 있음
- 또한, 기존에 널리 활용되는 L-band PM (Aquarius, SMOS, SMAP)의 경우, 낮은 수온으로 인하여 70도 이상의 고위도 지역에 대한 염분의 정확도가 매우 낮은 실정임

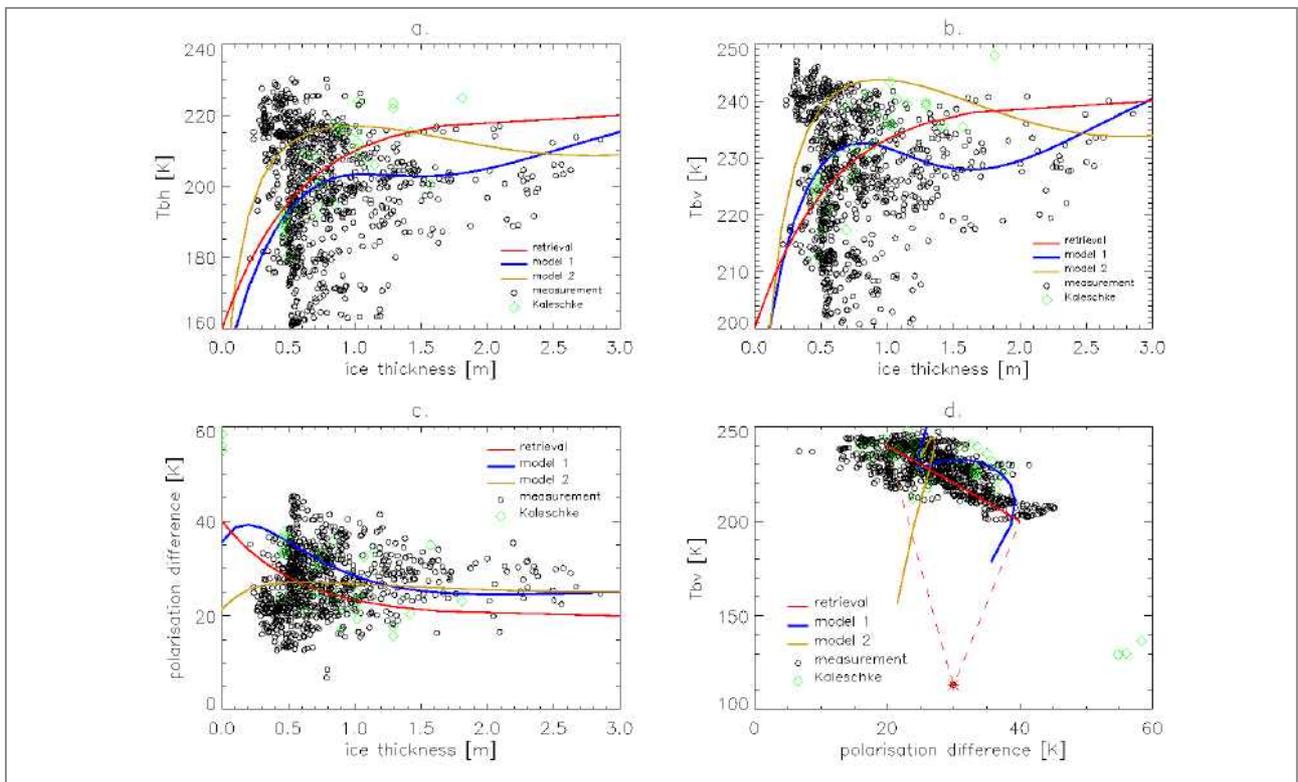
[그림 5-69] Bremen대학(왼쪽)과 Hamburg대학(오른쪽)에서 만든 SMOS 기반 얇은 해빙 두께자료



○ 초소형 위성 활용 방안: 1.4GHz

- L-band passive microwave 활용 얇은 해빙에 대한 해빙 두께 및 염분도 산출
- 기존 고위도 지역에서 측정한 수많은 표층염분 현장자료와 고해상도 L-band PM 관측값을 활용한 극지 지역에 대한 해수면 염분 산출물의 고도화
- 앞서 초소형 위성을 활용하여 산출한 고해상도의 해빙면적, 농도, 종류, 염분도 등의 보조 자료를 활용한 얇은 해빙 두께 산출물의 고도화

[그림 5-70] L밴드 수동 마이크로파 SMOS 위성 기반 얇은 해빙 두께 추출



○ 기대 결과

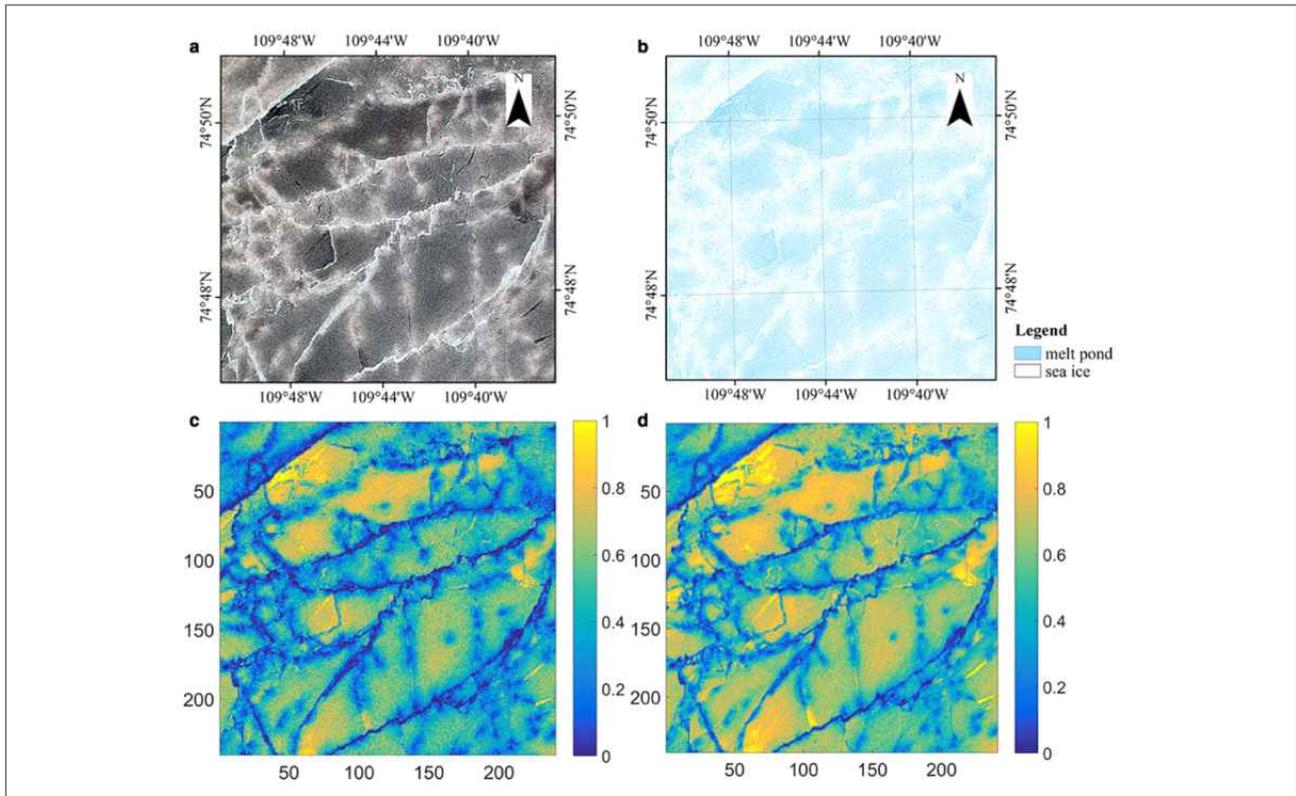
- 공간해상도 10km 이하의 고정밀, 고해상도 일별 해빙 두께 산출물 제공 가능
- 상대적으로 불확실성이 높은 여름철 (6~9월)에 대한 해빙 두께 산출물도 제공 가능할 것으로 기대

□ 용빙호 (melt pond) 분포 분석

○ 기존 산출물 및 초소형 위성 활용 방안

- 기존 용빙호 관련 연구는 주로 AMSR나 SSMI/S 등과 같은 수동마이크로파 센서를 활용하여 수행됨
- 이들은 약 10~25km의 해상도를 가지며 일별 용빙호 비율을 제공함

[그림 5-71] FCLS 알고리즘 검증을 위해 사용되는 WorldView-2 영상



○ 초소형 위성 활용

- 고해상도의 초소형 위성을 활용하면 높은 공간 해상도를 활용하여 기존 수동 마이크로파센서 기반 산출물에 비해 높은 해상도의 용빙호 비율을 제공할 수 있을 것으로 기대함
- 초소형 위성의 광학 및 수동 마이크로파 센서를 다중 융합하여 용빙호에 관한 연구에 시너지를 낼 수 있을 것으로 기대

○ 기대 결과

- 10km 미만의 고해상도, 고정밀 일별 용빙호 산출물 제공 가능

- 광학 위성과의 연계를 통해 용빙호에 대한 연구에 대한 시너지 기대

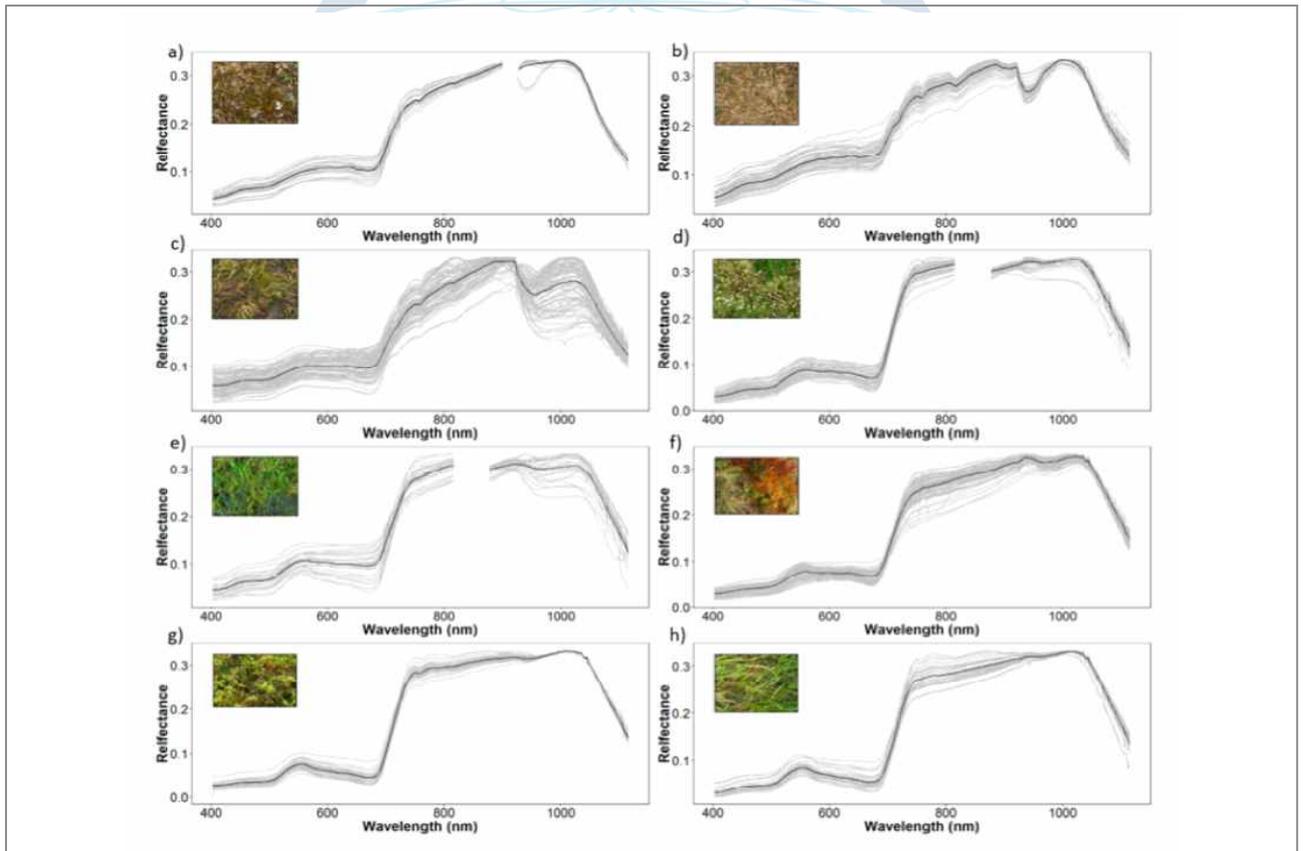
□ 해빙 표면 거칠기 분석

○ 초소형 위성 활용 방안

- Albedo가 높은 극지에서는 광학영상의 반사도만으로는 표면 정보를 구분하는데 어려움이 있으므로, 표면 거칠기를 활용하기에는 어려운 문제가 있음
- 초소형 위성의 고해상도 광학 정보를 활용하여 표면 거칠기에 대한 정보를 추출 후 분석. 다양한 지표 종류에 대한 분류가 가능할 것으로 기대함. 다만 표면 거칠기에 대한 기존 연구는 주로 라이다나 MISR(Multi angle imaging spectroradiometer)를 이용하여 초소형 위성을 바로 활용하기에는 어려움이 있을 수 있음. 초소형 광학 위성에서 다양한 각도에서 off-nadir 영상을 취득한 후 표면 거칠기를 분석할 수 있음

□ 극지 식생 분포 분석

[그림 5-72] 농경지역의 스펙트럼 프로파일



○ 기존 산출물 및 초소형 위성 활용 방안

- 다중분광 위성으로 관측한 북극 지역의 식생 NDVI 및 스펙트럼 분포를 활용하여 식생 분포를 분석하는 연구가 제시됨
- 초소형 위성의 다중분광 자료를 활용하여 극지역의 식생 정보를 추출하여 지도화할 수 있을 것으로 기대, 근적외 밴드를 활용한 식생 분포 정량화 및 탐지, 장기 감시를 통한 변화탐지 등에 추가 활용 기대
- 다만 다중분광 영상에서 식생을 분석하는데 사용되는 일반적인 방법들을 사용할 수 있으나, 극지 식생의 종류나 분포는 제한적이면서 다른 지역과는 다른 형태이므로 방법 적용에 주의가 필요함

□ 극지 수질 분석

○ 기존 산출물 현황

- 극지를 비롯한 고위도 지역에 대한 원격탐사 활용 수질 관련 산출물은 제공되지 않고 있는 상태임
- 극지 분야의 수질 분석에 주로 활용되고 있는 Landsat-8, Sentinel-3, Sentinel-2 등 해색 및 고해상도 위성의 경우, 국소지역에 대한 실험적인 시도만 이루어지고 있음

○ 초소형 위성 활용 방안: Blue/Green/Red/NIR 밴드

- 가시영역 및 NIR band를 활용한 수질 분석
- 기존 널리 활용되는 경험식 기반의 수질 분석 알고리즘 활용 및 개선 가능
- 기존 초소형위성을 활용한 수질 분석 선행연구 참고한 대기보정 및 수질분석 알고리즘 활용 기대

○ 기대 결과

- 타 위성 관측 자료와의 융합을 통한 고해상도 (10~100m)의 일별 수질 산출물 제공이 가능할 것으로 기대

<표 5-44> 다양한 센서 활용한 Chlorophyll-a 농도 추정을 위한 경험식 사례

Algorithm	Sensor	Blue(nm)	Green(nm)
OC4	SeaWiFS	443>490>510	555
OC4E	MERIS	443>490>510	560
OC40	OCTS	443>490>516	565
OC3S	SeaWiFS	443>490	555
OC3M	MODIS	443>488	547
OC3V	VIIRS	443>486	550
OC3E	MERIS	443>490	560
OC30	OCTS	443>490	565
OC3C	CZCS	443>520	550
OC2S	SeaWiFS	490	555
OC2E	MERIS	490	560
OC20	OCTS	490	565
OC2M	MODIS	488	547
OC2M-HI	MODIS (500-m)	469	555
OC2	OLI/Landsat 8	482	561
OC3	OLI/Landsat 8	443>482	561

□ 북극항로용 빙해선박의 안전 운항과 디지털 트윈

- 북극해의 해빙은 다양한 형태로 존재할뿐더러 해상환경 및 기후의 영향으로 인해 실시간으로 변동하는 특성을 가지는데, 이는 선박의 안전 운항, 최적 항로 등의 결정을 위해서 필수적으로 수집되어야 하는 정보임
 - 계측을 통한 선박의 구조 건전성 관리는 항해 중인 선박의 운동 특성, 선체에 발생하는 응력 패턴 및 이러한 응답을 야기하는 외부 환경하중에 대한 실시간 계측 및 분석을 필수적으로 요구하는데, 북극항로를 항해하는 선박의 경우 북극해에 널리 퍼져있는 해빙에 대한 정보수집이 필연적으로 수반되어야 함
- 수집된 해빙 정보를 분석하여 북극항로 및 북극해 주변을 항해하는 선박에 작용하는 빙하중을 실시간으로 예측하고, 이를 토대로 선박의 안전성을 확보할 수 있는 최적의 운항 경로를 결정하는 기술은 다가오는 북극항로 개발 시대에 매우 중요한 기술적 사안 중 하나로 인식되고 있으며, 현재

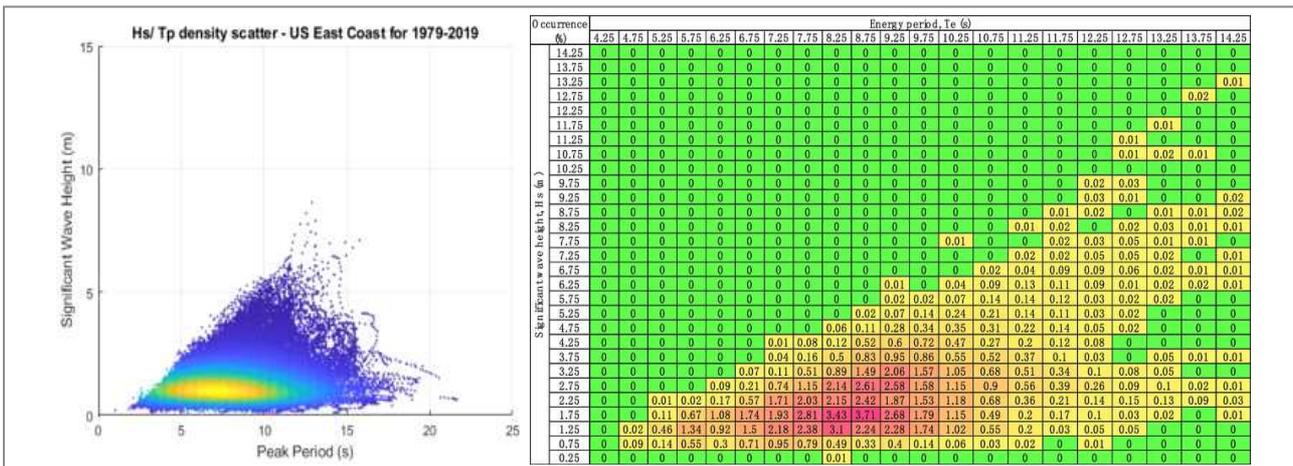
국내 조선업계 및 선주들의 큰 관심사 중 하나임

- 북극항로 및 대양을 항해하는 선박의 안전 운항을 위해서는 선박의 안전(safety)에 대한 감리를 수행하는 국제기관인 선급(classification society)의 규정을 따라야 함
- 선급의 규정은 역사적으로 몇 번의 변곡점을 겪었는데, 이것은 차례로 근대 물리학의 발달, 컴퓨터 기술의 성장, ICT 기술의 급속한 발달과 직간접적으로 연계되어 왔음
- 빙해선박을 포함한 조선소에서 설계/건조되는 모든 선박은 선급이 지정한 규칙(rule)에 따라 설계되고 건조되어야 하며 이는 선급의 관리 감독하에서 진행

○ 파랑하중은 대양을 항해하는 선박의 연료 소모율, 선체의 구조적 건전성, 선원의 안전에 직접적인 영향을 주는 주요한 인자로 위성을 통해 파랑에 대한 정보를 사전에 획득하는 것은 선박의 구조적 안전성과 안전 운항에 있어 매우 중요함

- 선박에 작용하는 파랑에 대한 정보는 선박이 항해하는 해역에 대한 파랑 산포도(wave scatter diagram)로 표현이 되는데, 이는 모든 해역에 대한 파랑을 실제측함으로써 얻어진 파랑 스펙트럼에 기반하고 있음
- 파랑 스펙트럼은 특정 해역에서 계측된 파고의 시계열을 분석하여 얻어지는 통계적 특성치를 나타내는 중요한 데이터임

[그림 5-73] 파랑 산포도의 예시



- 해상에 설치된 부이(Buoy) 혹은 선박에 탑재된 레이더를 통해 비교적 단순한 방법으로 계측이 가능한 파랑과 달리 해빙에 대한 정보의 취득은 현장에서의

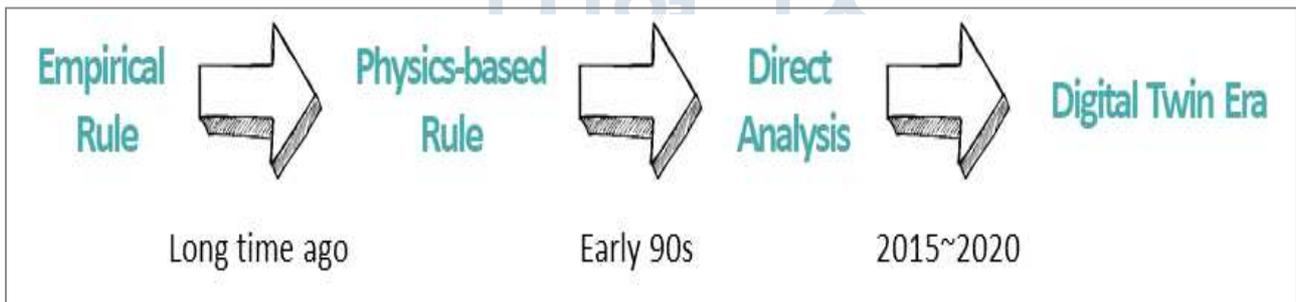
해빙 시료채취, 해빙의 두께 및 크기 계측 등과 같이 극한 환경에서의 현장 조사가 요구되어, 매우 많은 시간과 비용을 필요로 하는 작업으로 북극해에 광범위하게 펼쳐진 모든 해빙에 대한 정보를 실시간으로 수집하는 것은 불가능

- 위성을 통한 해빙의 관측은 광범위한 북극해의 해빙 분포 특성과 해빙의 기계적인 특성을 유추해 낼 수 있는 매우 효율적인 방법으로, 수동마이크로파를 이용한 해빙의 특성 파악 및 광학센서를 통한 해빙의 분포 및 경로 파악 등과 같이 실시간 혹은 준실시간에 기반한 해빙 정보의 수집에 유일한 대안으로 주목받고 있음

○ 선박이 운항 중에 경험하는 다양한 현상을 측정하고 분석하여 이를 디지털 모델에 반영함으로써 보다 실제에 가까운 상황을 디지털 모델에서 구현하는 디지털 트윈 기술 개발에 위성정보를 활용할 수 있음

- 디지털 트윈 기술을 통해 선박의 구조 건전성 관리(structural integrity management)를 효율적으로 수행하여 선박의 구조적 안전성을 확보
- 역학 이론의 성장에 따라 선급에 관한 경험적 규칙이 역학 기반의 규칙으로, 역학 기반의 규칙이 컴퓨터 성능의 발달에 따라 직접해석 기반의 규칙으로 변화해 나가는 과정을 거침

[그림 5-74] 선박안전 운항을 위한 선급 규칙의 패러다임 변천사



- 최근에 일어나는 ICT 기술의 급속한 성장으로 인해 선박의 안전성과 연관된 선급의 규칙은 또 다른 큰 변곡점을 겪게 되는데, 이는 기존의 설계(design well) 중심의 안전성 확보로부터 관리(manage well) 중심의 안전성 확보로의 패러다임 변화에 그 핵심이 있음
- 북극을 항해하는 빙해선박의 경우 파랑하중에 노출되는 일반 선박과는 달리, 해빙, 유빙 등과 같은 얼음과의 충돌이 그 주요 외력이 되므로 빙 스펙트럼 및 빙 산포도와 같은 해빙의 시공간 분포에 대한 통계적인 데이터를 취득하고 이

를 통해 빙해선패의 안전항로 및 구조 안전성 등을 검토할 필요가 있으며, 이는 디지털 트윈에 기반한 빙해선패의 구조 건전성 관리에 핵심적인 요소 중 하나임

□ 기후변화 및 환경 특성 변화 등을 예측 및 분석

- 극지방 해역에 형성된 해빙(sea ice) 및 유빙(drift ice)의 면적은 계절에 따라 큰 변화를 나타냄
- 이러한 극지의 광범위한 해빙 면적의 변화와 해빙 분포의 변화는 전 지구적 기후 및 환경 변화에 매우 큰 영향을 미침
- 극지위성을 활용하여 극지방에 광범위하게 분포하는 해빙의 특성을 관측함으로써 극지방에서 일어나는 변화를 관측할 수 있으며 이를 토대로 기후변화 감지 및 예측 연구가 가능함
- 기상과 대기에 비교적 영향을 받지 않는 수동 마이크로파 센서를 이용하여 효과적으로 구름의 영향이 많은 극지를 관측할 수 있으며, 수동 마이크로파 센서는 광역에 대한 관측을 가능하게 하여 해빙 변화 특성 파악에 유리함 (최근 관련 연구가 많이 수행되었음)
 - 10km 해상도의 수동 마이크로파 센서를 이용하여 해빙의 매우 효과적인 관측이 가능할 것으로 예상됨
 - 활용 목적을 고려하여 적정 해상도, 촬영당 관측 범위, 관측 주기 등은 센서 설계/개발 전에 관련 전문가 자문을 통해 구체화해야 함
 - 극지 환경변화, 해빙 특성을 얼마나 넓은 지역에 대해 꾸준히 관측을 진행할 지 계획하여 극지위성 임무 설계 필요

제6장 사업 타당성 분석

제1절 경제성 분석 I

1-1. 경제적 파급효과

□ 산업연관분석 개요

- 산업연관모형(Input Output Model)이란 한 경제에서 생산되는 재화와 서비스의 산업간 거래관계, 즉 일정기간 중 생산된 모든 재화와 서비스의 각 산업간 거래를 일정한 체계에 따라 정리한 일반균형 통계체계
- 산업연관표는 생산활동을 통하여 각 산업 간에 이루어지는 매매거래를 토대로 일정기간 동안 국내에서 생산된 모든 재화와 서비스의 산업간 거래관계를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 통계표
- 산업연관분석은 산업연관표를 이용하여 국민경제를 구성하고 있는 산업의 단계에서 산업부문간의 상호연관관계를 파악, 최종수요를 외생변수로 부여함으로써 외생변수가 국민경제에 미치는 파급효과를 분석

<산업연관표 형식>

		중간수요						최종 수요	수입 (공제)	총 산출액
		1	2	...	j	...	n			
중 간 투 입	1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}	Y_1	M_1	X_1
	2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}	Y_2	M_2	X_2
	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
	i	x_{i1}	x_{i2}	...	x_{ij}	...	x_{in}	Y_i	M_i	X_2
	⋮	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮	⋮
	n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nj}	...	x_{nn}	Y_n	M_n	X_n
부가가치		V_1	V_2	...	V_j	...	V_n			
총투입액		X_1	X_2	...	X_j	...	X_n			

- 본 타당성조사에서는 2021년 3월 한국은행에서 발표한 2018년 165개 상품간 산업연관표를 이용하여 본 사업의 파급효과를 분석함

□ 국가경제 파급효과 분석을 위한 유발계수

- 산업연관분석은 최종수요의 변동(소비 혹은 투자)이 각 산업의 생산활동에 미치는 직·간접의 파급효과를 계측하는 것
 - 최종수요 변동으로 인한 경제적 파급효과는 보통 세 가지, 즉, 생산 유발효과, 부가가치 유발효과, 고용 및 취업 유발효과 측면에서 파악함
 - 부가가치 유발효과는 다시 부가가치를 구성하는 항목별로 각각의 유발효과로 나눌 수 있음
- 투입계수: 각 산업 부문이 해당 부문의 재화나 서비스 생산에 사용하기 위하여 다른 부문으로부터 구입한 원재료 및 연료 등의 중간투입액을 총투입액으로 나눈 값
 - 투입계수 = $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$
- 부가가치계수: 노동 등에 대한 본원적 투입물에 대한 대가인 피용자보수, 영업잉여 등 부가가치액을 총투입액으로 나눈 값
 - 부가가치계수 = $v_{ij} = \frac{V_j}{X_j}$
- 생산유발계수
 - 최종수요가 한 단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 생산액 수준을 나타내는 것으로 도출과정에서 역행렬의 수학적 방법을 이용
 - 생산유발계수는 어느 한 사업의 생산물에 대한 최종수요가 1단위 증가할 때 국내 전체 산업에서 생산되는 산출액의 크기를 나타내는 것으로, 어떤 산업에 대한 최종수요가 1단위 증가했을 때 직·간접으로 유발되는 생산액의 크기를 나타냄
 - 생산유발계수의 도출

* 산업연관표를 수급방정식으로 작성

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 - M_1 &= X_1 \\ \vdots & \\ a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n + Y_i - M_i &= X_i \\ \vdots & \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + Y_n - M_n &= X_n \end{aligned}$$

* 수급방정식의 행렬 표현

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_i \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}$$

* 행렬식의 표현

$$AX + Y - M = X$$

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M)$$

$(I - A)^{-1}$: 생산유발계수

- $(I - A^d)^{-1}$ 생산유발계수는 국산과 수입을 구분하여 작성하는 비경쟁수입형 표의 투입계수로부터 도출되는 생산유발계수

- 극지관측 초소형위성 파급효과 분석시, $(I - A^d)^{-1}$ 이용

○ 부가가치유발계수: 최종수요의 변동이 국내생산의 변동을 유발하고 생산활동에 의해 부가가치가 창출되므로 결과적으로 최종수요의 변동이 부가가치의 변동의 원천이 되며, 이때 최종수요와 부가가치간의 연관관계를 나타내는 관계식을 부가가치유발계수라 함

- $\hat{A}^V(I - A^d)^{-1}$: 부가가치유발계수(행렬)

○ 취업유발계수: 노동계수는 노동량에 자영업주 및 무급가족종사자를 포함하느냐 하지 않느냐에 따라 취업계수와 고용계수로 구분

- $L_w = \hat{l}_w(I - A^d)^{-1}Y^d$: 취업유발계수

○ 생산유발효과: 산업연관표의 내생부분에서 도출되는 투입계수가 안정적이라는 가정 하에 소비, 투자, 수출 등 최종수요가 변화할 때 이를 충족하기 위해 직간접으로 유발되는 산출 단위를 의미

- 생산유발효과는 생산유발계수를 이용하여 산출

□ 국가경제 파급효과 분석 결과

- 극지관측 초소형위성 및 (가칭)극지위성센터 기능확장에 따른 파급효과 분석을 위해 한국은행의 2018년 산업연관표를 이용하여 산업연관분석 실시
 - 산업연관표를 이용하여 극지관측 초소형위성과 (가칭)극지위성센터 기능확장에 따른 타 산업 분야의 생산유발효과, 부가가치유발효과, 그리고 취업유발효과를 분석
- 극지관측 초소형위성 개발은 연구개발, (가칭)극지위성센터 기능확장은 정보서비스에 해당하는 것으로 판단
- 극지관측 초소형위성 개발에 따른 신규 발생 수요는 초소형위성 개발비용을 이용하고, 극지위성센터 기능확장에 따른 신규 발생 수요는 정보서비스 개발비용을 이용
 - 극지관측 초소형위성 개발 비용은 194억원
 - 극지위성센터 정보서비스 개발 비용은 136억원
- 극지관측 초소형위성 개발비(19,400백만원)의 생산유발효과는 연구개발 산업에 대해 19,457백만원으로 추정
 - 타 산업 및 전체 산업의 생산유발효과는 각각 12,587백만원, 32,044백만원으로 추정됨
- 극지관측 초소형위성 개발비(19,400백만원)의 부가가치유발효과는 연구개발 산업에 대해 11,907백만원으로 추정
 - 타 산업 및 전체 산업의 부가가치유발효과는 각각 5,073백만원, 16,979백만원으로 추정됨
- 극지관측 초소형위성 개발비(19,400백만원)의 취업유발효과는 연구개발 산업에 대해 205명으로 추정

<표 6-1> 초소형위성 개발에 따른 파급효과

단위: 백만원, 명/10억원

구 분	생산유발효과		부가가치유발효과		취업유발효과	
	유발계수	파급효과	유발계수	파급효과	유발계수	파급효과
연구개발	1.003	19,457	0.614	11,907	10.6	205
타산업	0.649	12,587	0.261	5,073	-	-
전체 산업	1.652	32,044	0.875	16,979	-	-

- 극지위성센터 정보서비스 개발비(13,600백만원)의 생산유발효과는 연구개발 산업에 대해 13,734백만원으로 추정
 - 타 산업 및 전체 산업의 생산유발효과는 각각 9,453백만원, 23,187백만원으로 추정됨
- 극지위성센터 정보서비스 개발비(13,600백만원)의 부가가치유발효과는 연구개발 산업에 대해 7,347백만원으로 추정
 - 타 산업 및 전체 산업의 부가가치유발효과는 각각 4,052백만원, 11,399백만원으로 추정됨
- 극지위성센터 정보서비스 개발비(13,600백만원)의 취업유발효과는 연구개발 산업에 대해 205명으로 추정

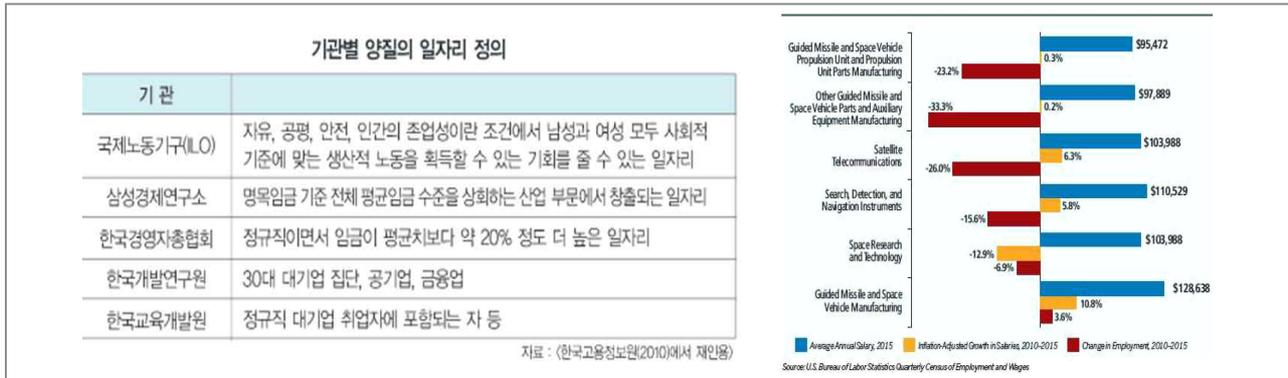
<표 6-2> 극지위성센터 정보서비스 개발에 따른 파급효과

단위: 백만원, 명/10억원

구 분	생산유발효과		부가가치유발효과		취업유발효과	
	유발계수	파급효과	유발계수	파급효과	유발계수	파급효과
정보서비스	1.010	13,734	0.540	7,347	7.3	99
타산업	0.695	9,453	0.298	4,052	-	-
전체 산업	1.705	23,187	0.838	11,399	-	-

□ 문재인 정부는 '양질의 일자리 창출'을 국정 최우선 목표로 제시하였으며, 양질의 일자리는 일반적으로 안정적이고 평균임금을 상회하는 민간 창출 일자리를 의미함

[그림 6-1] 기관별 양질의 일자리 정의(좌) 및 미국 우주산업 평균 연봉 지표(우)



자료: 한국고용정보원(2010)(좌); 한국항공우주연구원 미국 우주산업의 고용변화와 임금, Space Report 2017(우)

- 전 세계적으로 우주분야 인력은 고소득의 안정적인 일자리를 제공받고 있으며, 미국 우주 부문 평균 연봉은 약 11만 달러(2015)로 다른 산업 부문의 평균 연봉의 두 배가 넘는 것으로 파악됨
- 따라서 본 사업을 통해 창출될 일자리는 양질의 일자리가 될 가능성이 높음
- 고용유발계수를 통해 양적 측면에서도 우주산업의 일자리 창출 성적은 제조업 분야에서 자동차, 조선 다음에 위치하고 있음

<표 6-3> 업종별 고용유발계수(2014), 산업연구원

구 분	자동차	조선	항공우주	철강	반도체	석유화학
매출액(조원)	189.9	57.1	5.9	81.7	84.0	93.8
세계시장순위	6	2	15	6	2	4
수출액(조원)	66.8	33.1	2.3	20.4	62.1	41.8
고용인원(천명)	366	132	14	103	117	67
고용유발계수(10억당)	6.64	6.45	5.42	3.68	2.95	2.71

- 한국무역협회 국제무역연구원의 자료에서도 항공우주 산업의 취업유발효과는 26.7로 크게 나타나는 것으로 파악됨(2017)
- 본 사업의 부가가치 및 타 산업에 끼치는 파급효과는 특히 큰 것을 확인할

수 있음

- 통신위성과 같이 본 사업에서 생산되는 인공위성의 경우 일반적으로 같은 제품의 kg당 가격이 반도체의 약 2~3배에 이르고, 자동차에 비해서는 약 500배에서 1,000배인 것을 확인할 수 있음
- 또한, 타 산업 파급효과를 나타내는 부가가치 생산액 및 생산유발계수도 조선, 자동차 산업보다 큰 것을 확인할 수 있음

1-2. 경제적 분석

가. 경제성 분석 개요

□ 비용/편익 분석 개요

- 경제성 분석은 비용-편익 분석(Benefit-Cost Analysis), 순현재가치(Net Present Value: NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR) 등을 적용하여 경제적 타당성을 분석
 - 공공사업에 대한 경제성 분석은 사회적 자본의 직·간접 투자에 따른 투명성을 확보하기 위한 중요한 수단
- 편익/비용 비율(Benefit-Cost Ratio: B/C ratio)은 경제적 가치를 판단함에 있어 이해가 용이하고 사업규모를 고려함에 따라 널리 활용됨
 - 총편익과 총비용에 대해 할인된 현재가치 금액의 비율, 즉 미래에 발생될 편익과 비용을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값
 - 일반적으로 분석결과 B/C ratio \geq 1.0이면 경제성이 있는 것으로 판단
 - B/C ratio의 계산방법은 식 (1)과 같음

$$\text{편익/비용 비율(B/C ratio)} = \frac{\sum_{t=t_0}^n B_t / (1+r)^t}{\sum_{t=t_0}^n C_t / (1+r)^t} \quad \text{식 (1)}$$

t : 연수, t_0 : 사업의 개시시점, n : 사업의 완료시점(분석기간),
 B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용, r : 할인율

□ 비용 산출 개요

- (비용 항목) 사업계획에 따라 극지초소형위성 개발과 극지위성정보서비스 개발 시 요구되는 제반 비용을 적용
- (비용 기간) 사업계획에 따라 2022년부터 2026년까지 5년간 투입되는 비용을 적용
- (할인율) 투입 비용의 현재가치 산출을 위한 사회적 할인율은 4.5%를 적용함³⁾

□ 편익 산출 개요

- (편익 항목) 동 경제성 분석에서는 ‘소비자 중심 가치창출 편익’과 ‘생산비용 저감 편익’ 두 가지 편익을 산출하였음
 - ‘가치창출 편익’은 편익 대상자에 따라 ‘소비자 중심 편익’과 ‘생산자 중심 편익’으로 구분되며, 동 사업은 극지초소형위성 소비자(극지연구소) 중심의 위성영상 사용가치가 창출될 것이라는 가정하에 편익을 산출
 - 극지초소형위성 소비자는 극지연구소 외에도 위성정보를 활용할 연구기관, 대학교, 기업이 있으나, 동 경제성분석은 보수적 편익 산출을 고려하여 소비자는 극지연구소로 제한하여 편익을 산출
 - ‘비용저감 편익’은 ‘생산비용 저감 편익’과 ‘피해비용 저감 편익’으로 구분되며, 동 사업은 기존에 없던 극지초소형위성을 통해 위성영상 구매를 대체함으로써 위성영상 구매비용을 저감 할 것이라는 가정하에 편익을 산출

3) 예비타당성조사 수행 총괄지침(기재부) 제57조에 제시된 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 산출

<표 6-4> 연구개발부문 편익 항목 구분, KISTEP

구분	세부 편익 항목	설명
가치창출 편익	소비자 중심 편익	연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우, 후생경제학에 근거하여 산출
	생산자 중심 편익	연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우, 시장수요접근법이 대표적
비용저감 편익	생산비용 저감 편익	자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감액을 산출
	피해비용 저감 편익	재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용의 저감액을 산출

○ (편익 기간) 사업계획에 따라 2025년부터 2028년까지 발생하는 편익을 산출함

- 극지초소형위성은 2025년 1기, 2026년 2기가 개발되어 발사할 계획을 하고 있음
- 극지초소형위성 수명은 위성 사용환경에 따라 다르지만(3년~5년), 보수적 관점에서 편익 산출을 고려하여 최대 3년간 사용할 수 있다는 가정하에 산출

<표 6-5> 연차별 편익산출 대상 위성 수

구분	2025년	2026년	2027년	2028년
활용 위성 수	1기	3기	3기	2기

○ (할인율) 투입 비용의 현재가치 산출을 위한 사회적 할인율은 4.5%를 적용함⁴⁾

나. 산출 결과

4) 예비타당성조사 수행 총괄지침(기재부) 제57조에 제시된 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 산출

□ 비용 산출 결과

- 사업계획에 따라 연차별 극지초소형위성 개발 비용을 2021년 기준 현재가치로 환산하여 28,731 백만원으로 산출
 - 2022년부터 2026년까지 5년 동안 연차별 50억원에서 80억원까지 총 330억원 투입계획을 적용하여 산출
 - 예비타당성조사 수행 총괄지침에서 제시한 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 2021년 기준 현재가치로 약 28,731 백만원으로 산출

<표 6-6> 극지관측 초소형위성 및 정보서비스 개발 비용

단위: 백만원

구 분	2022	2023	2024	2025	2026
초소형위성 개발	1,400	3,500	3,500	5,500	5,500
(가칭)극지위성센터 정보서비스 개발	3,600	2,500	3,400	2,500	1,600
총 사업 비용	5,000	6,000	6,900	8,000	7,100
사업비용 현재가치 (PV)	4,785	5,494	6,046	6,708	5,697

□ 편익 산출

[그림 6-2] 극지초소형위성 개발을 통한 편익 산출 개념(위성 1기 운용 기준)



- 편익은 '생산비용 절감 편익(A)'과 '소비자 중심 편익(B)'을 합하여 산출
- (생산비용 절감 편익(A)) 극지초소형위성이 없어 극지 연구를 위한 위성영상을 구매할 때 발생한 비용 절감액을 생산비용 절감액으로 산출
 - 현재까지 극지연구소에서는 극지 연구를 위하여 매년 약 5,000장의 위성영상을 위성영상 한 장당 약 500,000원에 구매하여 연구에 활용
 - 동 사업을 통해 극지초소형위성을 개발을 통해 지금까지 매년 구매했던 위성영상을 모두 대체할 것이라는 가정에 따라 산출
- (소비자 중심 편익(B)) 동 사업을 통해 개발된 위성영상을 저렴하게 구매함으로써 발생하는 부가적인 편익을 산출
 - 동 사업을 통해 개발된 극지초소형위성을 통해 받게 될 위성영상은 한 장당 약 25만원(위성영상 관련 기업체 의견⁵⁾)의 가치가 있을 것이라는 가정하에 산출
 - 동 사업을 통해 개발된 극지초소형위성95.5은 위성 한 기당 연간 약 14,600장⁶⁾을 제공할 것으로 가정하여 산출
 - 위성 1기만 운용하는 2025년에는 기존에 극지연구소에서 구매한 5,000장을 제외한 9,600장이 부가적인 소비자 편익으로 발생하는 것으로 가정하여 산출
 - 위성 3기가 모두 운용되는 2026년, 2027년에는 기존 극지연구소에서 구매한 5,000장을 제외한 38,800장이 부가적인 소비자 편익으로 발생하는 것으로 가정하여 산출
 - 위성 2기만 운용되는 2028년에는 기존 극지연구소에서 구매한 5,000장을 제외한 24,200장이 부가적인 소비자 편익으로 발생하는 것으로 가정하여 산출
 - 동 경제성 분석에서 편익에 대해서는 현재가치로 환산하지 않은 금액을 적용함
 - 편익 산출을 위한 위성영상 가격은 2021년 기준가격으로 위성영상 가격은 매년 사회적 할인율 수준으로 인상될 수 있음을 고려하여 현재가치로 환산하지 않음

5) 극지초소형위성의 잠재적 사용자들을 대상으로 극지초소형위성에서 생산될 위성영상에 대한 사용자 한계지불의사비용을 조사한 결과 약 29만원 수준으로 조사되었음을 고려할 때 적절한 금액이라 판단됨

6) 극지초소형위성이 하루 40장의 위성영상(극지역 20장, 타 지역 20장)을 촬영할 수 있다고 가정하고, 365일 매일 40장씩 촬영한다고 가정할 때 위성 1기는 매년 14,600장의 위성영상을 촬영할 수 있다는 가정에 따라 산출

<표 6-7> 극지관측 초소형위성 및 정보서비스 개발 편익

단위: 백만원

구 분	2025	2026	2027	2028
생산비용 절감(A)	2,500	2,500	2,500	2,500
소비자 중심 편익(B)	2,400	9,700	9,700	6,050
총 편익	4,900	12,200	12,200	8,550

1-3. 경제적 분석 I 결론

○ 극지연구소에서만 활용한다는 가정에 따라 산출된 편익을 기준으로 판단할 때 B/C Ratio는 약 1.32로 나타남

- (비용) 극지초소형위성 개발 비용은 2021년 현재가치 기준 28,731 백만원을 적용
- (편익) 극지초소형위성 개발을 통한 편익은 약 37,850 백만원으로 산출



2-1. 비용분석

가. 비용추정의 일반론

- 비용 추정은 현재의 지식수준과 가용한 자료를 바탕으로 미래의 비용을 추정하는 작업임
 - 일반적으로 과거 자료의 수집 및 분석, 계량 모델/도구의 적용 및 비용 예측을 위한 데이터베이스 작성을 기초로 함
- 비용 추정의 목적은 시스템 또는 기능적 요구를 충족시키는 예산 요건을 산출하는 것으로, 현실적 관점에서 비용에 대한 결정을 내리기 위함
- 비용 추정의 실익은 예산배정 과정의 지원, 미래 잠재역량의 강화, 고비용 요소와 원인을 드러냄으로 인한 위험에 대한 인식, 경쟁·대안의 평가, 그리고 비용의 제안과 그에 대한 평가가 가능하다는 점에 있음
 - 비용 추정의 질(quality)은 정확성, 통합성, 신뢰성, 시기의 적절성 등에 의해 결정됨
- 비용 추정을 위한 자료가 준비되었으면 접근 방식에 대한 결정을 해야 함
 - 비용의 추정에 사용하기 위하여 개념적 방법론의 선택이 필요함
 - 추정의 종류를 선택함에 있어서는 과거와 현재의 실제 가용한 데이터를 고려해야 함
- 일반적으로 알려진 추정의 종류는 다음과 같음
 - Life Cycle Cost Estimate(LCCE)
 - Independent Cost Estimate(ICE)
 - Budget Estimate

- Rough Order of Magnitude (ROM)
- Estimate At Completion(EAC)
- Independent Cost Assessment(ICA)
- Analysis of Alternatives(AoA)
- Economic Analysis(EA) 등이 있음

나. 동 사업 비용 추정의 개요

- 미국의 경우는 미회계국(GAO; Government Accountability Office)이 "Cost Estimating and Assessment Guide: Best Practices for Developing and Managing Capital Program Costs" 비용추정을 위한 가이드라인을 제공하고 있음
- RAND가 발표한 "우주시스템 비용추정을 향상시키기 위한 연구" 등으로부터 비용 추정을 합리적으로 수행하기 위해 노력하고 있음
- 우리나라의 경우에는 우주개발 경험 축적이 미약하여 비용분석을 위한 체계적인 연구결과가 축적되어 있지 않은 상태임
- 그 결과 위성개발 및 제작에 소요되는 비용을 정확히 추정하기는 어려운 여건에 있음
 - 따라서 위성운영 주체가 추정한 예산을 그대로 사용함
- 먼저 위성체는 2023년에 시스템 요구사항 및 설계와 개발을 시작하여 정밀광학용 위성체 1호와 2호는 2024년도와 2025년도에 각각 발사하는 것으로 봄
- 수동 마이크로파 위성체는 2026년도에 2기를 발사하고, 2027년도에 2기를 발사하는 것으로 봄
- 위성의 임무수명은 발사 후 3년으로 가정하여 최대 2030년도까지 임무를 수행하는 것으로 봄

<표 6-8> 초소형위성 개발 단계에 따른 역할 및 추진체계(안)

분야	기술명	기술 개요									
		연도									계
항목	초소형위성	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
광학(누적대수)				1	2	2	2	1			
수동마이크로파(누적대수)						2	4	4	4	2	

□ 위성개발 및 운용비용

- 위성개발을 위한 시스템 요구사항 및 설계 비용은 2023년~2024년까지 매년 10 억 원이 소요되는 것으로 봄
- 위성 개발비는 정밀광학용 위성체와 수동 마이크로파 위성체의 개발에 소요되는 비용으로서 2023~2027년 동안 총 170 억 원이 소요되는 것으로 봄
- 위성체는 총 6기가 발사되며 위성체당 발사 비용은 10억 원으로 추정함
- 위성개발 및 운용에 따른 기반기술 확보 비용은 2023~2027년 기간 동안 총 33억 원이 발생하는 것으로 봄

□ 빙권 정보생산 및 검보정비용

- 국·내외 위성정보 분석을 위한 개발비용으로 2023~2024년 동안 9억 원이 소요되는 것으로 봄
- 빙권정보 분석 비용으로 2023~2024년 동안 19억 원이 소요되는 것으로 봄
- 위성 산출물(해빙정보) 개발을 위한 비용을 2023~2024년 동안 14억 원이 소요되는 것으로 봄
- 위성 산출문(해빙정보) 검보정 비용으로 2025~2027년 동안 19억 원이 소요되는 것으로 봄

□ 감시기술비용

- 산출물 생산 및 배포 비용으로 2025~2026년 동안 18억 원이 소요되는 것으로 봄
- 다중위성융합기술 비용으로 2023~2027년 동안 44억 원이 소요되는 것으로 봄
- AI 기술개발 비용으로 2023~2027년 동안 44억 원이 소요되는 것으로 봄

□ 연간 총투자비용 산정

- 초소형 위성개발 및 운용에 따르는 총 비용을 연도별·항목별로 정리하면 다음과 같음
- 2023~2027년 동안 총 투자 비용은 450억 원으로 산정됨

2-2. 편익추정

가. 편익 추정의 개요

1) 공공투자사업의 편익 추정⁷⁾

□ 예비타당성조사의 편익추정 기본 지침

- 편익 추정의 단위는 개별 사업이고, 합리적인 편익추정을 통해 평가대상의 장단점을 분석하여 종합한 평가결과를 도출하여야 함
- 경제적 타당성 분석은 공공투자사업의 시행여부 판단에 있어서 사업을 시행할 경우에 발생하는 편익을 사업이 추진되지 않는 경우와 비교하여야 하며, 비용과 편익을 고려하여 보다 큰 규모의 편익을 얻을 수 있는 방안을 선택한다는 후생경제학에 이론적 기반을 두어야 함
- 즉, 본 조사에서 순편익의 발생이란 사업으로 인한 경제적 후생 개선이 사업으로 인한 손실을 보상하고도 남을 경우를 의미한다는 것임
- 통상 사업별 경제적 편익의 형태는 다음 세 가지로 요약할 수 있음. 첫째, 농업사업 및 공업사업과 같이, 최종산출물의 형태가 확실하고 이것이

7) “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, KISTEP, 2020.1

소비자들에게 최종소비재로서 사용될 경우에는 이것의 시장가치 중 부가가치가 편익이 됨. 둘째, 교통사업이나 공익사업처럼 산출물이 최종소비재의 성격보다는 중간재(intermediary goods)의 성격을 강하게 지닐 경우 해당 산출물에 의해 발생한 비용절감효과(cost-saving effects)가 사업의 편익이 될 수 있음. 마지막으로 사회정책사업처럼 산출물이 질적 개념일 경우에는 비용효과 분석을 이용하여 편익 측정 문제를 해결할 수 있음.

- 예비타당성조사에서 고려되는 편익은 재무적 편익이 아닌 경제적 편익임. 금전적 편익에 해당하는 과급효과이거나, 계량화가 곤란하거나, 측정방법론이 정립되지 않았거나, 편익의 기준이 부재하거나, 편익의 산정에 논란이 있는 경우 추정의 대상에서 제외되어야 할 것임

□ 연구개발사업의 편익추정 개념

- 사전적으로 편익(benefit)이란 정(positive)의 사업효과를 의미하며, 연구개발사업의 편익은 연구개발사업의 수행으로 인해 발생할 것으로 기대되는 정의 결과물을 의미함
- 일반적으로 연구개발사업의 수행으로 인해 기대되는 편익은 경제적 편익과 과학기술적 편익으로 구분할 수 있으며, 경제적 편익은 사업의 결과물 중 금액 단위로 쉽게 도출 또는 전환될 수 있는 효과이며, 과학기술적 편익은 해당 연구개발사업을 통해 새롭게 발견되는 기술이나 지식 성과를 의미함
- 연구개발사업을 통해 발생할 수 있는 경제적 편익은 직접적 경제적 편익, 간접적 경제적 편익, 산업연관 유발효과로 구분할 수 있는데 직접적 경제적 편익은 연구개발의 산출물이 시장에서 거래되어 발생하는 경제적 편익만을 지칭하며, 예비타당성조사에서는 직접적 경제적 편익만을 해당 사업의 편익항목으로 반영하고, 간접적 경제적 편익과 산업연관 유발효과는 편익항목으로 포함하지 않음
- 연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발활동의 결과로 직접적으로 나타나는 모든 긍정적 효과를 의미하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를

구분하여 추정된 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 함

- 연구개발사업으로 인해 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(또는 가계)와 생산자(기업 또는 산업)로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익은 지불의사액(willingness to pay, WTP)의 관점에서 평가하고, 생산자에게 발생하는 편익은 부가가치(value-added)의 관점에서 평가하는 것이 적절함.
- 연구개발부문 예비타당성조사에서 연구개발사업의 편익으로 인정되기 위해서는 그 효과가 해당 사업의 핵심 목표와 부합하며 사업의 결과로부터 직접적으로 발현되는 것으로 크게 정(positive)의 편익인 가치창출 편익과 부(negative)의 편익인 비용저감 편익으로 구분할 수 있음.
- 공공투자사업의 편익추정을 위해서는 사업의 결과물과 관련이 있는 재화나 서비스에 대한 시장 수요의 추정이 필수적이며, 시장수요접근법(market demand approach)이라는 방법론으로 생산자 중심의 편익을 계산하고 있음
- 시장수요접근법은 해당 연구개발사업의 시행에 의한 미래 시장규모의 증가분에, 해당 연구개발사업의 기여로 창출된 직접적 편익을 한정하기 위한 다양한 변수를 고려하여 편익을 다음과 같이 산정함
- 편익 = 미래 시장규모 × 사업기여율 × R&D기여율 × R&D사업화성공률 × 부가가치율 (식 6-1)
- 미래 시장규모란 해당 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업/제품의 미래총생산액(또는 매출액)을 의미하며, 일반적으로 미래 국내 수요 중 국산품이 차지하는 규모와 해외에 수출되는 규모를 모두 포함함
- 새롭게 창출되는 미래 시장이나 매출액의 증가분을 바탕으로 추정되는 연구개발사업의 편익에는 조사 대상사업 외에도 과거에 추진되었거나 동시대에 진행되는 해당 기술 분야의 유사 연구개발사업 및 다양한 주체들의 연구개발활동이 기여하는 편익이 포함되어 있으므로 조사대상 연구개발사업에 의해 창출되는 편익만을 계산하기 위해서는 대상 시장 또는 기술분야의 전체 연구개발투자 규모 중에서 해당 사업이 차지하는 비중을

고려해야 함

- R&D 기여율은 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표이며, 해당 사업의 경제적 가치를 합리적으로 추정하기 위해 적용하며, 조사 착수 시점을 기준으로 가장 최근에 발표된 공신력 있는 수치를 적용하는 것이 적절함
- 사업화성공률은 연구개발사업의 결과물이 시장에서의 부가가치 창출로 이어지는 과정에서 발생할 수 있는 불확실성을 반영하는 모수로서의 의미가 있으며, 주관부처에서 제출하는 연구개발성과의 활용에 대한 조사·분석보고서를 활용하되, 필요에 따라 기타 자료를 활용하는 식의 접근이 적절할 것임
- 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율을 적용해야 하며, 부가가치율은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 효과가 차지하는 비율을 의미하므로 일반적으로 업종 또는 기업의 일정 기간 부가가치액을 동일기간의 매출액으로 나눈 비율로 정의함
- 가치창출 편익과는 다른 개념으로 비용저감으로 인한 편익을 고려할 수 있으며, 비용저감의 유형으로는 생산비용저감과 피해비용저감 등이 있음
- 기존 공정을 대체할 새로운 공정기술의 개발이나 기존의 생산 공정이나 활동의 일부를 개선 개량하는 기술 개발을 목적으로 하는 연구개발사업에 대한 직접적 경제적 편익은 새로운 기술의 적용으로 인한 생산비용저감액으로부터 다음과 같이 계산됨
- 생산비용저감액 = (기존 기술에 의한 현재의 단위당 생산비용 - 신기술에 의한 미래의 단위당 생산비용 추정치) × 국내생산규모 (식 6-2)
- 피해비용저감 편익은 국가연구개발사업을 통해 개발된 환경 또는 보건분야 기술을 적용하여 기존의 재난·재해·사고·질병 등으로 인해 발생하는 피해비용을 저감하는 경우에 고려할 수 있는 편익항목임

나. 동 사업의 편익 추정

1) 부가가치 창출 편익

□ 부가가치 편익분석은 다음과 같은 절차로 수행하고자 함

- 선행 연구 등을 통한 편익 요소 추출
- 편익 추정 모델 개발
- 모델에 사용되는 편익 파라미터 정의

□ 선행 연구에서의 편익 요소 추출

- 기상위성 개발 관련 선행연구로는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)⁸⁾에서 2010년도에 수행한 "정지궤도복합위성 개발사업 예비타당성조사 보고서"와 한국개발연구원(KDI)⁹⁾에서 2010년에 수행한 "독자수치예보모델 개발사업 예비타당성조사 보고서", 그리고 2011년 "차세대 도시·농림 융합 스마트 기상서비스 개발사업 예비타당성조사 보고서"¹⁰⁾ 등이 있음
- 기상위성에 대한 사회경제적 효과분석에 관한 연구로는 안재경¹¹⁾의 "저궤도 기상위성 개발의 경제적 타당성 분석"과 이예슬 등¹²⁾의 "우리나라 정지위성 GK2A를 활용한 사회적 가치창출: 비용편익분석을 중심으로(사회적 기업연구, 2019)"가 있으며, EUMETSAT¹³⁾에서 수행한 Socio- Economic Benefit Studies(2014)와 Mehta¹⁴⁾가 NOAA로부터 수행한 Joint Polar Satellite System: Economic Analysis(2015)등이 있음
- 각 연구에서 식별한 편익항목은 다음 <표6-1>과 같음

8) 한국과학기술기획평가원, *정지궤도 복합위성 개발사업 예비타당성조사 보고서*, 2009.10.

9) 윤경수(한국개발연구원), *독자수치예보모델 개발사업 예비타당성조사 보고서*, 2010.08.

10) 정용관(한국개발연구원), *차세대 도시·농림 융합 스마트 기상서비스 개발사업 예비타당성조사 보고서*, 2011.11.

11) 안재경, "저궤도 기상위성 개발의 경제적 타당성 분석," 한국기상학회 불학술대회집, 2016

12) 이예슬 등, "우리나라 정지위성 GK2A를 활용한 사회적 가치창출: 비용편익분석을 중심으로," 사회적 기업연구, 2019

13) EUMETSAT, *EUMETSAT Socio-Economic Benefit Studies*, 2014.06.

14) Ajay Mehta, "Joint Polar Satellite System: Economic Analysis," 2015 AMS Annual Meeting, 2015.

<표 6-9> 편익식별 항목

연구	편익 항목
KISTEP(2010)	-사회적 비용감소편익 : 인명피해감소, 재산피해 감소, 항공기 지연손실 감소 -사회적 편익 증가 : 기상정보서비스 산업의 부가가치 창출, 기상활용산업의 부가가치 창출 및 비용절감
KDI(2010)	-산업계의 편익 -일상생활에서의 편익 -재해감소 편익
KDI(2011)	-공공서비스 편익 : 재해경감편익, 교통혼잡비용절감 편익 -산업측면에서의 편익 : 전력산업 편익, 건설업 편익, 유통업 편익
안재경(2016), 이예슬 등(2019)	-재산보호 및 인프라 : 인명피해감소, 재산피해 감소, 교통혼잡비용절감 편익 ¹⁵⁾ -국내경제 부가가치 창출 -국민에 의한 개인적 활용 편익
EUMETSAT(2014)	-재산보호 및 인프라 -유럽 경제 부가가치 창출 -국민에 의한 개인적 활용 편익
Mehta(2015)	-미국 경제 부가가치 창출 -기타 편익 ¹⁶⁾

- <표 6-2>에서 보는 바와 같이 연구마다 각기 상이한 편익항목을 식별하고 있으나, 해당 경제의 산업 측면에서 부가가치 창출 편익을 공통적으로 고려하고 있으며, 주제에 따라 고유한 편익을 첨가하여 계량화하고 있음
- 본 연구에서는 EUMETSAT과 Mehta의 연구를 토대로 초소형위성 개발로 인한 국내경제 부가가치 창출 편익을 산출하고, 극지연구소의 위성사진 구매 비용 절감 편익과 북극항로 개발 편익을 추가하여 편익 항목으로 고려함

□ 편익 추정 모델 개발

- EUMETSAT(2014)에서는 사회적 편익을 “재산보호 및 인프라” 부문,

15) 안재경(2016)의 연구에서만 고려하였음

16) 계량화하지않고 서술만 수록하였음

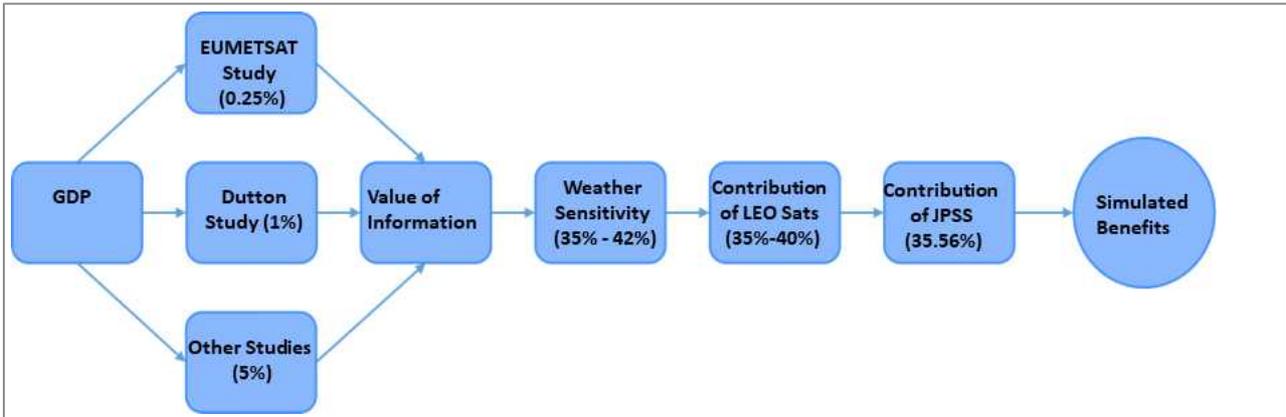
“유럽경제 부가가치기여”부문, 그리고 “유럽시민에 의한 개인적 활용”부문 등 세 가지 부문으로 나누어 Metop 저궤도위성의 사회경제적 편익을 추정하여 비용혜택분석을 수행하였음

- 재산보호 및 인프라 부문에서는 주로 기상정보예측의 정확도 향상으로 인한 재해예방비용을 위주로 추정하였으며, 유럽경제 부가가치기여 부문에서는 독자적인 모델을 개발하여 편익을 추정하였고, 마지막으로 시민에 의한 개인적 활용부문은 Lazo의 연구¹⁷⁾를 근거로 유럽시민의 가구당 기상정보 지불의사비용을 (최소 €20, 최빈 €80)를 가정하여 추정하였음
- 유럽경제 부가가치기여 추정 모델 개발에 있어서는 NWP(Numerical Weather Prediction)모델을 사용하여 Metop위성의 기상정보 기여율(12.5%)을 계산하고(Metop 자료가 제공되지 않았을 때의 ECMWF의 시뮬레이션 결과인 8%를 보수값으로 계산), 각 산업별 부가가치추정방식보다는 전체 유럽의 GDP에 날씨에 민감한 산업비중(33.3%)을 곱하고, 각 산업의 부가가치기여율(최소 0.25%, 최빈 1%)을 가정하여 계산하여, 가장 보수적인 파라미터를 사용한 최소의 편익추정치와 발생확률이 높은 파라미터를 사용한 가장 개연성 있는 편익추정치를 도출하였음
- Mehta(2015)는 EUMETSAT (2014)에서 도출한 세 가지 부문 대신에 두 번째 부문인 부가가치기여를 주된 편익항목으로 산출하고, 나머지 부문은 기타 편익으로 분류하여 서술은 하였으나, 계량화하지는 않았음
- 즉, 날씨에 민감한 산업비율은 35%~42%로 추정하고, 저궤도기상위성의 기여율을 35%~40%, JPSS의 기여율을 35.56%로 하였고, 각 산업의 부가가치기여율(최소 0.25%, 최대 5%)로 몬테카를로 시뮬레이션 방법으로 계산하여 최소 5%값, 평균 및 중앙값, 95%값, 최대값 등을 제시하였음
- Mehta(2015)의 모델¹⁸⁾을 도식화하면 다음 <그림 6-1>과 같음

17) J.K. Lazo, R.E. Morss, and J.L. Demuth, “300 billion Served: Sources, Perception, Uses, and Values of Weather Forecasts,” Bulletin of the American Meteorological Society, 90(6), 2009

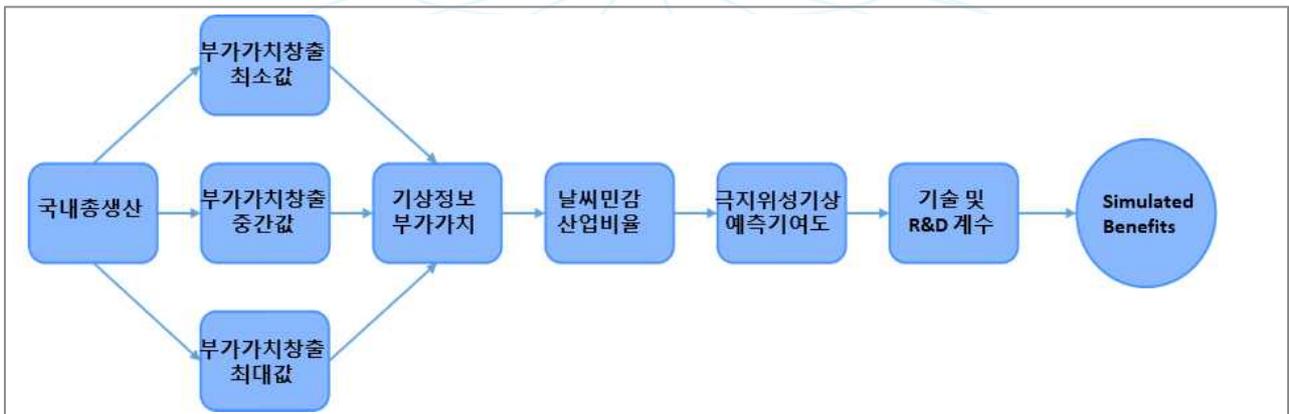
18) 국민경제적 부가가치 비율에서 Dutton 연구의 출처는 다음과 같음
John A. Dutton, “Opportunities and priorities in a new era for weather and climate services,” American Meteorological Society, Vol 83, No. 9, 2002

[그림 6-3] Mehta편익추정 모델



- 본 연구에서는 편익추정의 타당성을 확보하기 위해 EUMETSAT(2014)와 Mehta(2015)의 분석들에 기반하여 모델을 설계하기로 하고, (식 6-1)을 감안하여, 다음 <그림 6-2>와 같이 본 연구의 편익추정모델을 개발하였음

[그림 6-4] 편익추정 모델



□ 모델에 사용되는 편익 파라미터 정의

- 국내총생산 : 한국은행은 e-나라지표에서 2020년도 국민총생산을 1,933조2천억원으로 발표하였고, 2022년도의 경제성장율을 3.1%로 발표하였으므로 향후 국민총생산액은 2020년도의 총액에서 매해 평균 3.1%, 분산 0.5%의 정규분포를 따를 것으로 가정함
- 기상정보가 국민총생산에 미치는 부가가치 증대비율은 최소 0.25%

(EUMETSAT, 2014), 중간값으로는 1%(J.A. Dutton, 2002), 최대값으로는 5%(Mehta, 2015)를 갖는 삼각분포를 따를 것으로 가정함

- 날씨에 민감한 산업의 비율 추정에 있어서 EUMETSAT은 GDP의 1/3이 영향을 받는다고 추정하였으며, Mehta는 25%~42%를 제시하였고, 우리나라의 경우에는 녹색성장위원회¹⁹⁾에서 날씨에 영향을 받는 산업의 비율을 52%로 추정하고 있으므로, 최소값 25%, 중간값 33%, 최대값 52%를 갖는 삼각분포를 따를 것으로 가정함
- 초소형극지위성에 의한 기상예측기여도를 계산하기 위해서는 위성에 탑재된 세계 최고수준의 센서로부터 얻는 data로 극지방의 기후를 예측할 때의 기여도(센서의 수, 센서의 품질 모두 최고일 때)를 추정한 후, 극지방의 기후예측이 우리나라 기상예측에 기여하는 정도를 추정해야하기 때문에 극지연구소 및 기상청 전문가로부터 자문을 받아 초소형위성센서의 기후예측기여도를 30%, 극지방기후예측의 기상예측 기여도를 30%를 중간값으로 하고 $\pm 1\%$ 를 최대값과 최소값으로 하는 삼각분포로 가정함
- 기술 및 R&D계수는 본 과제에서 탑재할 광학센서 및 수동 M/W센서의 수와 성능이 세계최고 수준 대비 수준, 본 과제의 성공률을 추정하는 국내 R&D 성공률, 그리고 본 과제가 극지기후예측에 기여하는 사업기여율을 추정하여야 함
- (식 6-1)에 포함된 R&D기여율은 고려하지 않는 것이 타당할 것으로 판단하였는데, 그 이유는 R&D기여율은 일반 기업이 R&D와 생산, 판매 및 마케팅 등의 기술이 어우러져 시장규모를 늘릴 수 있다는 가정 하에 고려하는 계수이나, 본 과제에서는 본 과제에서 획득한 정보 자체가 부가가치를 창출하기 때문이며, 대신 기상정보를 해석할 수 있는 국내기상기술수준을 추가하였음
- 세계최고 광학센서 초소형 위성은 Planet Labs 사의 것으로 총 21기가 운영 중에 있으며, 세계최고 마이크로파센서 초소형 위성은 TEMPEST의 8기이고, 기타 센서로는 SAR를 들 수 있으며 핀란드 iCEYE 14기가 운영 중에

19) 녹색성장위원회, 기후변화적응관련 유망산업 발굴 및 활성화방안 연구, 2012

있으며, 광학센서의 비중은 20%, M/W센서는 50%, SAR등은 30%로 가정하였음

- 본 과제에서 탑재할 센서의 품질목표가 세계최고 수준이므로 센서의 개수에 기반하여 탑재센서의 성능은 광학센서의 경우에는 개당 $20\%/21=0.952\%$, 수동M/W센서는 개당 $50\%/8=6.25\%$ 로 가정하여 연도별로 본 과제에서 탑재하여 기능을 수행할 수 있는 센서의 종류와 개수를 고려하여 다음 <표 6-3>와 같이 추정하였음

<표 6-10> 연도별 탑재센서 성능비율

연도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
광학(개)	1	2	2	1	0	0
수동마이크로파(개)	0	0	2	4	4	2
성능비율(%)	1.0	1.9	14.4	26.0	25.0	12.5

- 국내 R&D성공률은 97%이상으로 지나치게 낙관적인 수치로 많은 비난²⁰⁾을 받고 있으므로, 본 연구에서는 보수적인 입장에서 국내R&D사업화 성공률로 대체하였음
- KISTEP(2021)²¹⁾에서 언급한 21%를 최소값으로 하고, 김선우, 김재원(2020)²²⁾에서 언급한 제4차 중소기업기술혁신5개년계획(2019~2023)의 목표인 50%를 최대값으로 하며, 연합뉴스(2020)²³⁾에서 인용한 2016년도~2018년도 3년 평균 연구소 수행 사업화 성공률 38.6%를 중간값으로 하는 삼각분포를 따른다고 가정함
- 국내기상기술수준은 KISTEP(2020)의 2020년도 기술평가²⁴⁾ 결과, 환경기상분야의 국내 기술수준인 81.1%를 사용하였음
- 사업기여율은 극지기후예측을 위한 본 R&D 예산 이외의 정부 및 민간 R&D비용대비 본 과제 예산의 기여비율로 본 과제의 450억원과

20) https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/10/27/2020102701857.html

21) KISTEP, 한국형발사체고도화사업 예비타당성조사 보고서, 2021.08

22) 김선우, 김재원, 혁신성장을 위한 중소기업R&D지원 개선방향, 과학기술정책연구원, 2020.03

23) <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200929171900003>

24) KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2020

해수부과제²⁵⁾의 75억원으로 85.71% (=450억원/(450억원+75억원)로 추정함

○ 본 연구에서 사용한 파라미터를 요약하면 다음 <표 6-4>와 같음

<표 6-11> 편익추정 파라미터 요약

구분	특성	비고	
국내총생산	2020년도GDP기준 성장률~정규분포 (3.1%, 0.5%)	한국은행	
부가가치증대 비율	삼각분포(0.25%, 1.00%, 5.00%)	EUMETSAT, NOAA	
날씨민간산업비율	삼각분포(25.0%, 33.3%, 52.0%)	EUMETSAT, NOAA, 녹색성장위원회	
극지위성 기상예측기여도	삼각분포(8%, 9%, 10%)	전문가 자문	
기술 및 R&D 계수	탐재센서 성능	탐재연도별 성능비율	전문가 자문
	R&D(사업 화)성공 률	삼각분포(21.0%, 38.6%, 50.0%)	KISTEP, STEP1
	국내기상 기술수준	81.1%	KISTEP
	사업기여 율	85.71%	자체 추정

○ <표 6-4>의 중간값을 기준으로 부가가치 창출편익을 구하면 다음<표 6-5>와 같음

<표 6-12> 연도별 탐재센서 성능비율

연도	2025	2026	2027	2028	2029	2030
부가가치 창출 편익(백만원)	1,709	3,524	27,480	51,044	50,695	26,133

○ <표 6-3>의 파라미터를 가지고 편익 추정은 EUMETSAT(2014)이나 Mehta(2015)에서 수행한 방식과 같은 몬테카를로 시뮬레이션을 수행함

○ 몬테카를로 시뮬레이션은 불확실한 사건의 가능한 결과를 추정하는데 사용되는 수학적 기법²⁶⁾으로, 실제의 현상이나 시스템이 시간에 따라

25) 극지연구소, “극지기후변화/기상예측시스템(KPOPS)의 개발 및 활용연구,” 해수부, 2016~2019

변화하는 모습을 모사하여(imitate) 분석자에게 제공하는 도구로써, 수학적으로 풀 수 없는 매우 복잡한 실제 문제에 대한 해결 방안을 수립하는데 일조할 수 있음

- 몬테카를로 시뮬레이션은 위험 분석(risk analysis)의 효과적인 수단²⁷⁾으로 활용되고 있어서, 다양한 입력 변수의 불확실성 하에서 우리가 구하고 싶은 결과값에 대한 분포(distribution)인 범위(range)와 가능성(likelihood)을 보여주며, 주로 입력 변수의 영향도를 측정할 수 있는 민감도 분석이나 각 입력 변수들 간의 상관 분석 등에 활용되고 있음

2) 위성영상 구매비용절감액 편익

□ 기본 가정

- 극지연구소의 연간 위성영상 구매비용을 절감할 수 있음
- 2025년도부터 위성영상 촬영이 가능하나, 모든 센서가 정상적으로 구비되는 2028년도부터 2030년도까지 구매비용 절감액 만을 계상함
- 구매비용 절감액에 R&D사업화 성공률을 곱하여 기재 편익을 계산함

□ 편익계산

- 현재까지 극지연구소에서는 극지 연구를 위하여 매년 약 5,000장의 위성영상을 위성영상 한 장당 약 500,000원에 구매하여 연구에 활용하고 있음
- 매년 위성영상 구입비에 R&D사업화성공률을 곱하여 계산하며, R&D사업화성공률 중간값을 사용할 경우의 비용절감액 편익은 다음 <표 6-6>와 같이 산출됨

<표 6-13> 연도별 탑재센서 성능비율

연도	2028	2029	2030
----	------	------	------

26) <https://www.ibm.com/kr-ko/cloud/learn/monte-carlo-simulation>

27) Advanced Engineering Economy, CS Chan and GP Sharp-bette, Wiley(2021)

연도	2028	2029	2030
부가가치 창출 편익(백만원)	965	965	965

3) 북극항로 개발 편익

ㄱ. 개요

□ 북극항로를 이용한 물동량은 지속적으로 증가하고 있음

- 북극항로가 수에즈 운하를 경유하는 항로보다 거리가 짧아 물류비를 절감할 수 있어 최근 북극항로를 통한 물동량이 증가하고 있음
- 부산항~ 로테르담항까지 북극항로 이용 시 수에즈 운하 대비 운항 거리와 일수가 1/3 단축
- 2017~2020년 동안 북극해항로를 통한 화물량은 연평균 48% 증가함
- Rosatom사에 따르면 2020년 북극항로 물동량은 3,200만 톤으로 집계됨

<표 6-14> 북극항로 물동량 집계 (출처: Rosatom, 단위: 만 톤)

연도	2017	2018	2019	2020
북극항로 물동량 집계	1,070	1,800	3,150	3,200
증가율		68%	75%	2%

□ 북극항로 물동량은 향후 더욱 증가할 것으로 예상됨

- 북극항로 물동량은 2013년 280만 톤에서 2019년 3150만 톤으로 10배 이상 늘어났으며, 러시아는 2030년까지 1억 1000만 톤에 이를 것으로 예상함
- 북극항로 물동량의 2021~2025년 동안 연평균 증가율은 20.1%에 이르며, 이후 2025~2030년 증가율은 6.58%에 이를 것으로 예상됨

<표 6-15> 북극항로 물동량 예측 (출처: Rosatom, 단위: 만 톤)

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

연도	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
북극항로 물동량	4,616	5,543	6,658	8,000	8,526	9,087	9,685	10,323	11,000

- 전세계 북극항로 물동량이 늘어남에 따라 우리나라의 북극항로 물동량 또한 증가할 것으로 예상됨
- 극지 초소형 위성의 도입에 따라 북극항로를 이용한 물류비용 절감 혜택을 산정할 필요가 있음
- 본 보고서에서는 향후 북극항로 물동량 가운데 LNG물동량을 중심으로 물류비용 절감 혜택을 산정함
 - 러시아의 북극 자원개발과 NSR의 물동량 추이는 밀접히 연관됨
 - 러시아는 야말 프로젝트를 통해 LNG 생산기지를 구축하고 북극항로를 이용을 활성화 시키고자 함
 - 야말반도의 LNG매장량은 약 35억t으로 전세계 매장량의 30%로 추정됨
- 컨테이너선의 북극항로 활용은 현재 도입초기이며 본격적인 이용활성화는 2030년 이후로 예상됨
 - 북극항로에는 컨테이너선 항해에 필요한 항구 기반시설과 노동력이 부족함
 - 현재 시험운항 중인 컨테이너선은 북극항로의 낮은 수심으로 인해 5000TEU급 위주임
 - 5000TEU 이상 규모의 컨테이너선에 쇄빙장치를 설치하고 전문적인 승무원들을 공급하기에는 아직 여건이 열악함
 - 현재로서는 북극항로가 컨테이너선에 이용될 가능성은 낮음 (이태구, 2020)
 - 따라서 본 보고서에서는 LNG의 북극항로 이용에 따른 물류비용 절감을 중심으로 분석함

나. 분석의 가정

- 본 보고서에서는 다음과 같은 가정을 토대로 북극항로 편익을 분석함
- 초소형 위성의 활용이 본격화 되는 2028년부터 3년간 편익이 발생한다고 봄
- 북극항로를 이용한 LNG 수입량 가정
 - 한국가스연맹이 분석한 관세청 발표자료에 따르면 2020년 러시아로부터 전체 가스 수입량의 5%(201만9천톤)를 수입한 것으로 나타남
 - 2028년 이후 러시아산 LNG의 수입량을 전체 러시아 수입량의 약 50% (100만톤)로 가정함
 - 북극항로 이용 시 Arc7급 선박을 이용하되 여름철 운항 전제하에 쇄빙선은 불필요한 것으로 가정함

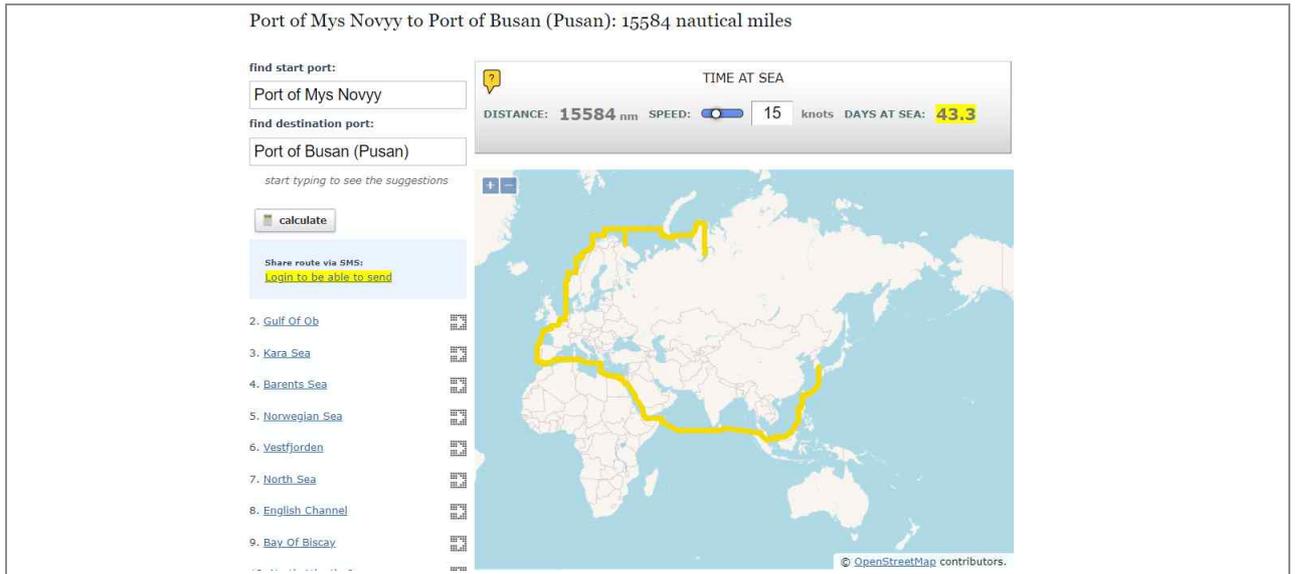
[그림 6-5] 한국의 LNG수입량 및 수입국 비중(출처: 한국가스연맹)



- 북극항로 이용 시 운항거리
 - 야말반도(Novy 항)에서 부산항까지의 거리를 다음과 같이 가정함 (출처: ports.com)
 - 수에즈운하 경로: 15,584 nm(nautical mile)

○ 북극항로 경로: 4,067 nm

[그림 6-6] 항로 거리: 야말반도~부산항



선박의 제원은 항로에 따라 다음과 같이 가정함

수에즈운하 항로

○ Mark 3급

○ 탱크용량: 174,000 m³

○ 선박가격: 2,000 억원

○ 용선료: 10,000 USD/day²⁸⁾

○ 속력: 15 knot

북극항로

○ Acr 7급

○ 탱크용량: 174,000 m³

○ 선박가격: 3,300 억 원

28) <https://www.argusmedia.com/en/hubs/lng>

○ 용선료: 16,500 USD/day²⁹⁾

○ 속력: 12 knot

통행료

○ 수에즈 운하 통행료: 672,611 USD³⁰⁾

○ 북극항로 통행료: 407,556 ³¹⁾

보험비

○ 북극항로의 경우 하루 2,344 USD의 보험비가 추가로 소요된다고 가정³²⁾

기타 가정

○ LPG 연료를 쓴다고 가정함

○ LPG연료의 가격은 톤당 500 USD로 가정하고 연료소비량은 0.28 ton/nm로 가정함 ³³⁾

○ 선원비용은 하루 당 3,500 USD로 가정함³⁴⁾

ㄷ. 북극항로 편익 분석

LNG연료 가정할 경우 북극항로와 수에즈 항로 이용 시 각각의 총비용과 비용 절감

<표 6-16> 북극항로 물동량 예측 (출처: Rosatom, 단위: 만 톤)

항목	북극항로	수에즈항로
항해일수	14일	43일
LNG 운송량	174,000 m3	
용선료	233,005	432,889

29) Mark3급 선박가격과 Arc7급 선박가격 비율에 따라 산정함

30) <https://lethagencies.com/calculator-suez>

31) <http://www.nsra.ru>. Acr7급 선박의 여름철 운항을 전제로 채빙선 비용은 필요하지 않음.

32) 김보경(2016)

33) Raza and Schoyen (2014)

34) 김보경 (2016)

항목	북극항로	수에즈항로
연료비(LNG)	569,380	2,181,760
선원비	49,425	151,511
보험료	33,101	-
통행료	407,556	672,611
총비용	1,292,467	3,438,771
비용절감액	2,146,304	

□ <표 6-9>를 근거로 LNG 1 m³ 당 절감액은 12.3 USD로 나타남

□ 따라서 연간 총절감액은 다음과 같음

$$12.3 \text{ USD} * \text{LNG 연간 수입량} = 12,300,000 \text{ USD} = 14,815 \text{ 백만원}$$

<표 6-17> 북극항로 개발 편익

연도	2028	2029	2030
북극항로 개발 편익(백만원)	14,815	14,815	14,815

2-3. 경제성 분석

가. 경제성 분석의 체계

1) 공공투자사업의 경제성 분석³⁵⁾

□ 예비타당성조사의 경제성 분석 기본 지침

○ 예비타당성조사에서는 기술적 타당성, 경제적 타당성, 법률적 타당성을 종합적으로 평가하고 있으며, 이 중 경제적 타당성 분석 즉, 경제성 분석은 사업의 경제적인 가치에 대한 분석으로 B/C 분석 즉, 비용과 편익의 현재가치의 비율을 도입하여 조사 수행함

○ 편익(Benefit)은 특정사업의 국민후생에 대한 공헌이며, 비용(cost)은 특정사업의 추진을 위한 총비용(운영비용 포함)을 뜻하고, 경제성 분석 결과 일반적으로 $B/C \geq 1$ 이면 경제적 타당성을 확보한 것으로 봄

35) “국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침, KISTEP, 2020.1

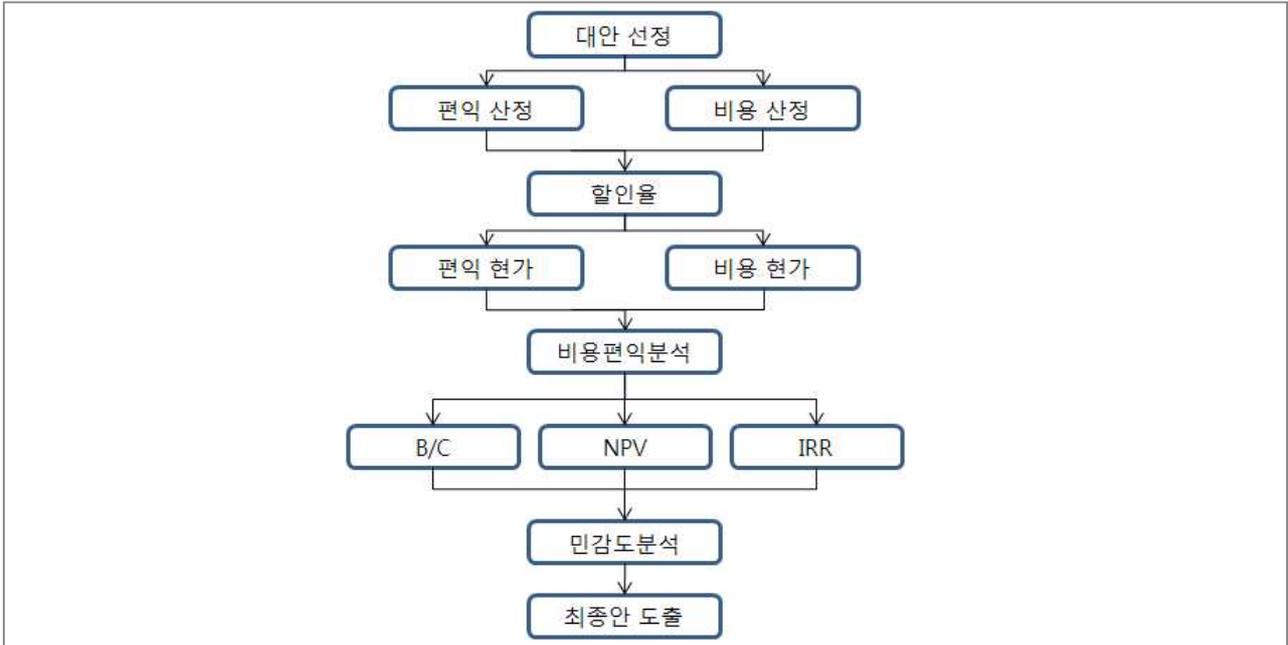
- 즉, 본 조사에서 순편익의 발생이란 사업으로 인한 경제적 후생 개선이 사업으로 인한 손실을 보상하고도 남을 경우를 의미한다는 것임
- 현행 예비타당성조사에 적용되고 있는 비용·편익(B/C) 분석법은 현재가치로 화폐가치화한 편익과 비용을 비교하여 사업의 타당성을 평가하는 보편적인 방법으로서 효율성을 중시하는 경제학적 이론을 배경으로 삼고 있는 평가기법임

□ 비용편익분석 개요

- 비용·편익 분석은 특정 목표를 달성하기 위하여 예상되는 여러 대안들(alternatives)에 대하여 각각의 비용과 편익을 측정하고 비교 평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이라고 규정할 수 있으므로 사업대안들의 비용과 편익을 측정하고 평가하는 일반적인 절차를 모두 내포하고 있으며, 이와 관련된 여러 원칙과 기준 하에서 분석을 해야 함
- 비용편익분석은 순현재가치(NPV)나 내부수익률(IRR), 수익성지수(PI) 등을 도출하는 현재가치 추정법을 이용하며³⁶⁾, 정량적 분석이 가능한 분야에 대해서만 효과 측정이 가능한 것으로 비용편익분석의 절차는 다음 <그림 6-5>과 같음

36) 임동순 외, 2005, 규제개혁의 효과 분석 및 평가, 산업연구원

[그림 6-7] 비용-편익 분석 절차



2) 동 과제의 경제성 분석

□ 경제성 분석의 틀

- 경제성 분석을 위해서는 사회적 할인율, 기준연도, 내용연수, 비용 발생시점 및 비용 추정값, 편익발생 시점 및 편익추정값 등 편익분석 요소에 대한 정의가 선행되어야 함
- 경제적 타당성 판단 근거지표는 B/C비율, 순현재가(Net Present Value), 내부수익률(Internal Rate of Return) 등이 있음
- 편익 추정의 불확실성을 고려하고 보다 철저한 민감도 분석³⁷⁾을 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행함

나. 경제성 분석

1) 경제성 분석의 기본 가정

□ 사회적 할인율

- 사회적 할인율은 경제 및 사회 여건에 따라 3년마다 조정을 검토하는데,

37) 기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 51조, 2019

현재는 4.5%를 적용함³⁸⁾

□ 기준연도

- 분석의 기준일은 본 사업의 분석이 착수된 전년도 말인 2021년도말(2022년도 초)로 정함³⁹⁾

□ 내용연수

- 내용연수는 사업계획서에 제시된 사업기간과 사업효과의 발생기간을 고려하여 적용하여야 함⁴⁰⁾
- 본 과제의 초소형위성은 광학센서의 경우 2024년도 말과 25년도 말에 각각 1기씩 발사하여 다음 3년간 운영하고, 수동M/W센서의 경우 2026년도 말에 2기, 2027년도 말에 각각 2기씩 발사하여 다음 3년간 운영할 수 있으므로 내용연수 기간은 2030년도 말까지로 함

□ 비용발생시점 및 추정값

- 비용발생시점 및 추정값은 제3장에서 기술한 대로 추정함

□ 편익발생시점 및 추정값

- 비용발생시점 및 추정값은 제4장에서 기술한 대로 추정하되, 각 파라미터 변화에 따른 편익의 규모는 몬테카를로 시뮬레이션을 10,000회 수행하여 추정함

□ 경제성 분석 지표

- 경제적 타당성 판단 근거지표는 B/C비율을 기본으로 하고, 순현재가(Net Present Value) 및 내부수익률(Internal Rate of Return)을 제시함

2) 경제성 분석

□ 몬테카를로 시뮬레이션 개요

38) 기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 50조, 2019

39) 기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 49조, 2019

40) 기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제 49조, 2019

- 10,000회 수행한 몬테카를로 시뮬레이션 개요는 다음 <그림 6-6>과 같이 원활하게 수행되었음

[그림 6-8] 시뮬레이션 개요

Simulation Summary Information	
Workbook Name	Monte Carlo Simulation 시나리오.xlsx
Number of Simulations	1
Number of Iterations	10000
Number of Inputs	5
Number of Outputs	3
Sampling Type	Latin Hypercube
Simulation Start Time	2022-02-25 17:41
Simulation Stop Time	2022-02-25 17:41
Simulation Duration	00:00:05
Random # Generator	Mersenne Twister
Random Seed	2067246481
Total Errors	0
Collect Distribution Samples	All
Convergence Testing	Disabled
Smart Sensitivity Analysis	Enabled

극지연구소

□ 입력 파라미터

- 불확실성을 감안한 입력 파라미터별 시뮬레이션 적용 결과는 다음 <그림 6-7>과 같음

[그림 6-9] 입력 파라미터 적용 결과

Name	Worksheet	Cell	Graph	Min	Mean	Max	5%	95% Errors	
Category: GDP(실질성장률)									
GDP(실질성장률) / 2022	기본 통계	B4		-0.28%	1.70%	3.59%	0.88%	2.52%	0
Category: R&D사업화 성공률									
R&D사업화 성공률 / 2022	기본 통계	B20		21.03%	34.20%	49.79%	24.86%	44.84%	0
Category: 날씨민감 산업비율									
날씨민감 산업비율 / 2022	기본 통계	B6		25%	37%	52%	28%	47%	0
Category: 부가가치증대 기여율									
부가가치증대 기여율 / 2022	기본 통계	B10		0.24%	2.08%	4.96%	0.65%	4.02%	0
Category: 초소형위성기후기여율*기상예측기여율									
초소형위성기후기여율*기상예측기여율 / 2022	기본 통계	B13		8.01%	9.00%	9.99%	8.32%	9.68%	0

ㄱ. 비용편익(B/C)분석

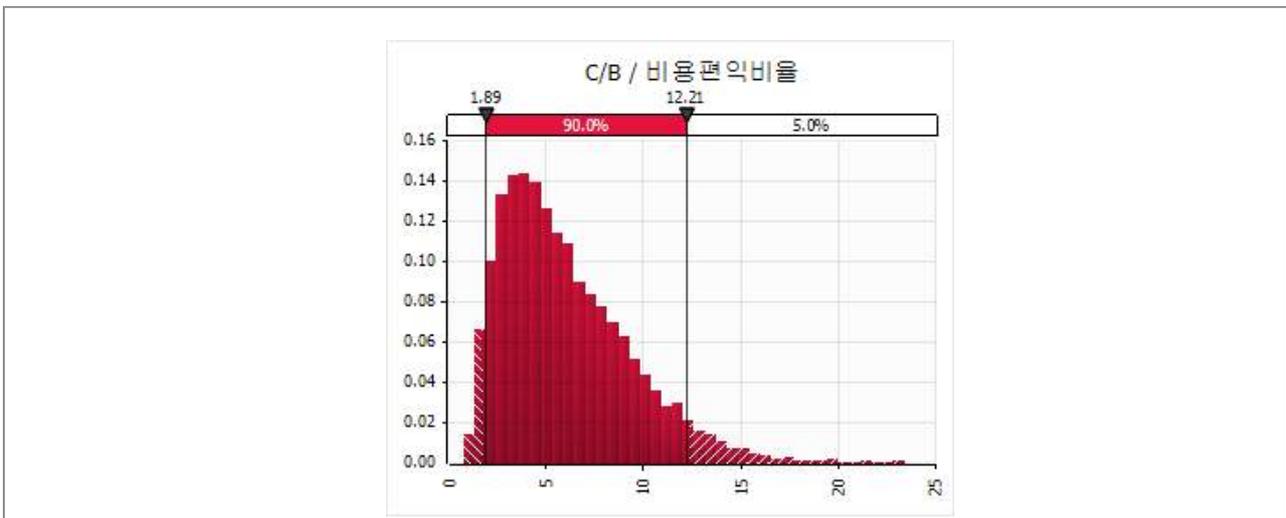
□ 비용편익분석의 결과

- B/C비율 하위 1% 값이 1.305이므로 99%이상의 확률로 1.3이상의 B/C비율을 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음
- B/C비율의 최소값은 0.691, 평균값은 5.965, 중앙값은 5.277, 최대값은 23.435로 나타남

[그림 6-10] 비용편익비율분석 결과

Summary Statistics for C/B / 비용편익비율			
Statistics		Percentile	
Minimum	0.691	1.0%	1.305
Maximum	23.435	2.5%	1.568
Mean	5.965	5.0%	1.887
Std Dev	3.270	10.0%	2.370
Variance	10.69476579	20.0%	3.121
Skewness	1.012008797	25.0%	3.466
Kurtosis	4.112258604	50.0%	5.277
Median	5.277	75.0%	7.864
Mode	4.119	80.0%	8.580
Left X	1.887	90.0%	10.510
Left P	5%	95.0%	12.211
Right X	12.211	97.5%	13.716
Right P	95%	99.0%	15.447
#Errors	0		

[그림 6-11] 비용편익비율분석 결과



ㄴ. 순현재가분석

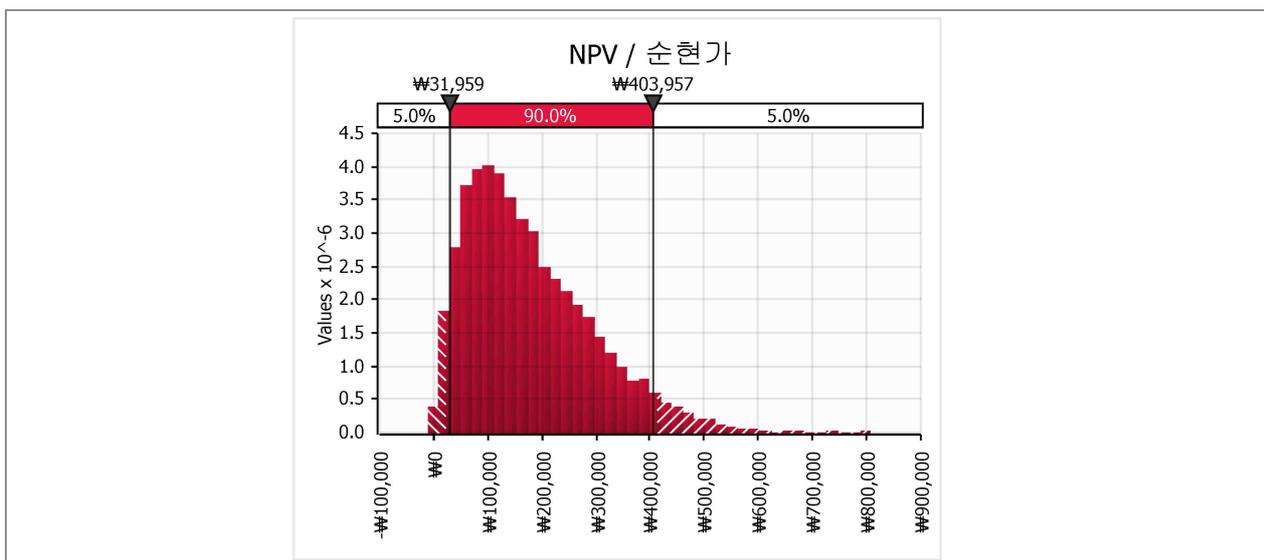
□ 순현재가분석의 결과

- 순현재가 하위 1% 값이 109억원이므로 99%이상의 확률로 100억원이상의 순현재가를 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음
- 순현재가의 최소값은 -111억원, 평균값은 1,788억원, 중앙값은 1,541억원, 최대값은 8,083억원로 나타남

[그림 6-12] 순현재가분석 결과

Summary Statistics for NPV / 순현재가			
Statistics		Percentile	
Minimum	-₩11,119.02	1.0%	₩10,977.99
Maximum	₩808,373.72	2.5%	₩20,463.89
Mean	₩178,879.61	5.0%	₩31,959.26
Std Dev	₩117,832.04	10.0%	₩49,368.88
Variance	13884389606	20.0%	₩76,404.95
Skewness	1.012008797	25.0%	₩88,856.48
Kurtosis	4.112258604	50.0%	₩154,108.94
Median	₩154,108.94	75.0%	₩247,314.84
Mode	₩112,375.44	80.0%	₩273,127.60
Left X	₩31,959.26	90.0%	₩342,648.22
Left P	5%	95.0%	₩403,956.82
Right X	₩403,956.82	97.5%	₩458,182.31
Right P	95%	99.0%	₩520,538.44
#Errors	0		

[그림 6-13] 순현재가분석 결과



ㄴ. 내부수익률분석

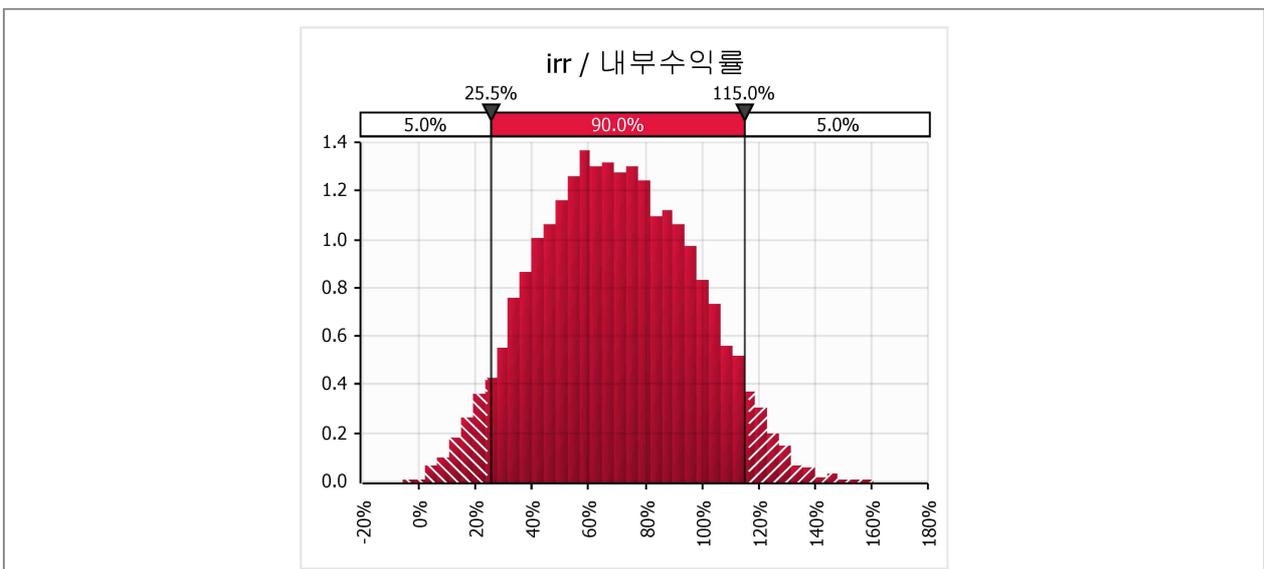
□ 내부수익률분석의 결과

- 내부수익률 하위 1% 값이 12.8%이므로 99%이상의 확률로 12.8%이상의 내부수익률을 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음
- 내부수익률의 최소값은 -6.0%, 평균값은 69.6%, 중앙값은 68.8%, 최대값은 160.8%로 나타남

[그림 6-14] 내부수익률분석 결과

Summary Statistics for irr / 내부수익률			
Statistics		Percentile	
Minimum	-6.0%	1.0%	12.8%
Maximum	160.8%	2.5%	18.9%
Mean	69.6%	5.0%	25.5%
Std Dev	27.4%	10.0%	34.0%
Variance	0.075073554	20.0%	45.1%
Skewness	0.105452015	25.0%	49.5%
Kurtosis	2.528704257	50.0%	68.8%
Median	68.8%	75.0%	89.5%
Mode	64.7%	80.0%	94.2%
Left X	25.5%	90.0%	106.0%
Left P	5%	95.0%	115.0%
Right X	115.0%	97.5%	122.6%
Right P	95%	99.0%	130.2%
#Errors	0		

[그림 6-15] 내부수익률분석 결과



㉔. 민감도분석

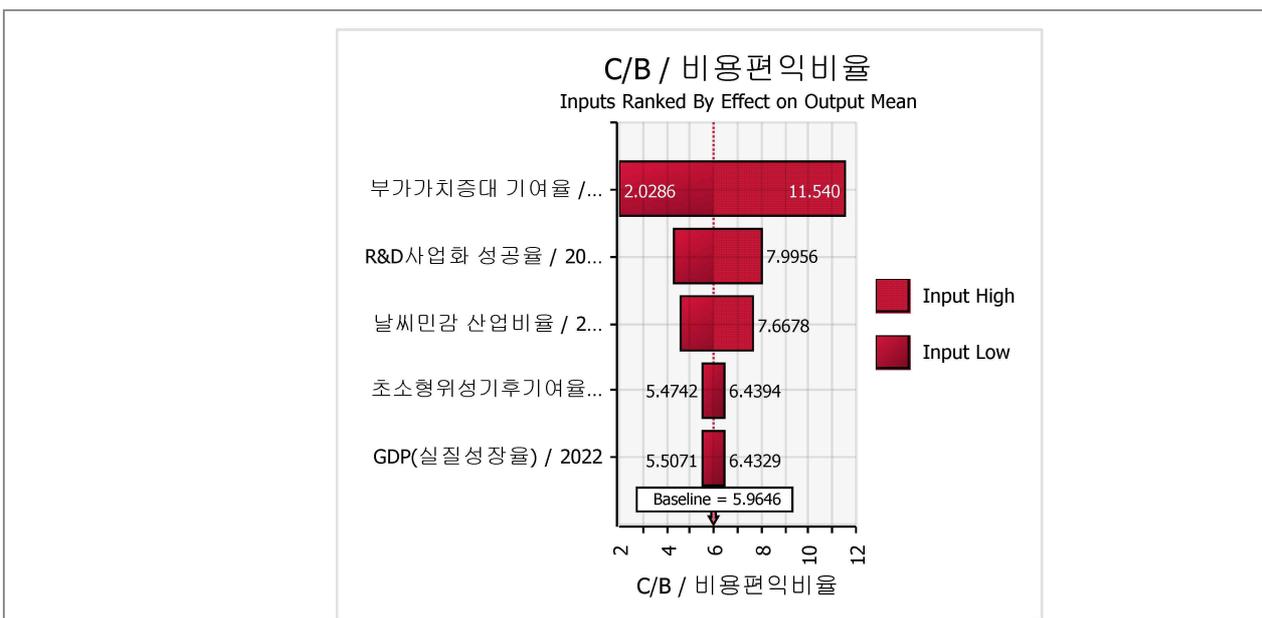
□ B/C비율에 대한 민감도분석의 결과

- 부가가치증대기여율 > R&D사업화성공율 > 날씨민감산업비율 > 초소형위성기후기여율 > GDP성장율의 순으로 B/C비율에 미치는 영향도가 큰 것으로 나타남
- 영향도가 가장 큰 부가가치증대기여율의 경우, 평균 B/C/비율인 5.965 상태에서 이 비율을 2.029까지 낮출 수 있으며, 최대 11.54까지 높일 수 있는 것으로 나타남

[그림 6-16] B/C비율에 대한 민감도분석 결과

Change in Output Statistic for C/B / 비용편익비율			
Rank	Name	Lower	Upper
1	부가가치증대 기여율 /2022	2.029	11.540
2	R&D사업화 성공율 /2022	4.353	7.996
3	날씨민감 산업비율 / 2022	4.584	7.668
4	초소형위성기후기여율*기상예측기여율 /2022	5.474	6.439
5	GDP(실질성장율)/ 2022	5.507	6.433

[그림 6-17] B/C비율에 대한 민감도분석 결과



2-4. 경제성 분석 II 결론

- 미국, 일본, 중국 등은 북극발 이상기후를 대비하고 북극권 거버넌스 체제에서 영향력을 확보하기 위해 북극 연구 활동을 확대하고 있음
- 온난화로 인한 급격한 빙권 감소로 북극권 이용 가능성이 증가하면서 물류·에너지·자원 등 분야에서 기대감이 고조되고 있음
- 국가 위상에 걸맞은 북극 활동 선도국가로서 역할 정립하고 대응 전략 수립을 위해 북극권 환경의 급격한 변화를 상시 광역 감시할 수 있는 위성기술에 대한 연구개발이 필요함
- 단기간 저비용으로 대응 가능한 초소형 위성을 활용 상시 광역 감시 연구를 위한 개발 계획이 필요함
- 본 보고서에서는 극지분석용 초소형 위성 연구개발 사업에 대한 경제적 타당성을 분석함
 - 비용은 위성개발 및 운용비용, 빙권 정보생산 및 검보정비용, 감시기술비용으로 구분됨
 - 정밀광학 위성을 2기, 수동 마이크로파 위성을 4기 발사하는 것으로 가정함
 - 혜택은 직접편익만 포함하며, 부가가치 창출 편익, 위성영상 구매비용절감액 편익, 북극항로 개발 편익으로 구분하여 분석하였음
- 경제적 타당성 판단 근거지표는 B/C비율을 기본으로 하고, 순현재가(Net Present Value) 및 내부수익률(Internal Rate of Return)을 제시함
- 확률모형을 이용한 경제성 분석을 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 실시함
 - 몬테칼로 시뮬레이션을 10,000회 수행함
- 비용편익(B/C)분석 결과, B/C비율 하위 1% 값이 1.305이므로 99%이상의 확률로 1.3이상의 B/C비율을 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음

- B/C비율의 최소값은 0.691, 평균값은 5.965, 중앙값은 5.277, 최대값은 23.435로 나타남
- 순현가분석의 결과 순현가 하위 1% 값이 109억원이므로 99%이상의 확률로 100억원이상의 순현가를 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음
- 순현가의 최소값은 -111억원, 평균값은 1,788억원, 중앙값은 1,541억원, 최대값은 8,083억원로 나타남
- 내부수익률분석 결과 내부수익률 하위 1% 값이 12.8%이므로 99%이상의 확률로 12.8%이상의 내부수익률을 보이므로 경제적 타당성이 확보된다고 판단할 수 있음
- 내부수익률의 최소값은 -6.0%, 평균값은 69.6%, 중앙값은 68.8%, 최대값은 160.8%로 나타남
- 비용편익(B/C), 순현가, 내부수익률 분석 결과를 종합하면 초소형 위성개발의 경제적 타당성이 입증된다고 볼 수 있음
- 초소형 위성개발을 통해 국가 위상에 걸맞은 북극 활동 선도국가로서 역할 정립하고 대응 전략 수립을 위해 북극권 환경의 급격한 변화를 상시 광역 감시할 수 있을 것으로 기대됨.

3-1. 정책적 타당성

□ 상위 계획과의 부합성

- 우리나라는 중장기적 극지 비전을 통하여 체계적으로 극지 연구를 추진하고 있으며, 극지 연구 및 활동을 지원하기 위한 기본계획을 수립하고 있음
- 우리나라는 위성을 활용한 우주개발 및 위성정보의 활용을 촉진하기 위한 기본계획 및 종합계획을 수립하여 추진하고 있으며, 최근 이러한 정책 방향이 민간 산업을 촉진하는 방향으로 유도되고 있음
- 동 사업은 국가 극지정책의 지속 가능한 환경을 만들고, 위성개발 및 극지관측 데이터의 처리 및 보급 기술 개발 측면에서 우주개발 및 위성정보 활용 계획의 방향과 부합함

<표 6-18> 극지관측 초소형위성 사업의 정책 부합성

구분	관련 정책 목표	사업 부합성
북극정책 기본계획	연구 활동 기반 확충	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 극지 연구에 필요한 데이터 확보를 위해 위성 관측 시스템 개발 ▪ 극지관측 데이터 수신 및 처리를 통한 극지연구 자료 생성
	기후변화 연구 강화	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성을 활용하여 극지 빙권 관측 데이터를 확보하고 이를 이용하여 기후변화 예측 ▪ 기존 현장 데이터 기반의 기후변화 예측 시스템을 위성 데이터를 이용하여 보완
	북극 및 북극해 공간정보 구축	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성 관측 정보를 이용하여 극지 해빙 분포 및 북극항로 개발을 위한 공간정보 확보 ▪ 극지 해빙 두께, 분포 등의 특성 분석을 통해 극지역 공간정보 변화 예측
북극활동 진흥 기본계획	북극 환경 관측	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성을 활용한 극지 해빙, 대기, 해양 등 극지환경 관측
	북극권과 상생하는	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 초소형위성의 데이터를 북극권 국가와 공유하여 북극권

구분	관련 정책 목표	사업 부합성
	경제협력 성과 창출	개발에 대한 지분 확보 <ul style="list-style-type: none"> 북극권 국가와 협력을 통해 북극항로를 개발하고 경제적 효과를 거두기 위해 초소형위성 감시망을 활용
우주개발진흥 기본계획	재난·재해 등 국가위기 대응 서비스 제공	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 따른 폭한 및 폭염 등 재난 예측을 위해 초소형위성 관측 데이터를 활용
	선진국 수준의 우주개발 경쟁력 확보	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성 본체 및 탑재체 개발 경험을 확보하고 군집위성 시스템 구축을 위한 기술 개발
위성정보 활용 종합계획	미래임무에 대비한 첨단 위성기술 확보	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성 편대 시스템 개발을 통해 군집위성의 빅데이터를 활용한 다양한 미래 임무에 대비
	위성정보 활용 확대를 위한 기반기술 선진화	<ul style="list-style-type: none"> 극지위성센터를 통해 위성정보 수신·처리에서부터 AI를 이용한 분석 및 배포 기술에 이르기까지 전 과정의 기술 확보

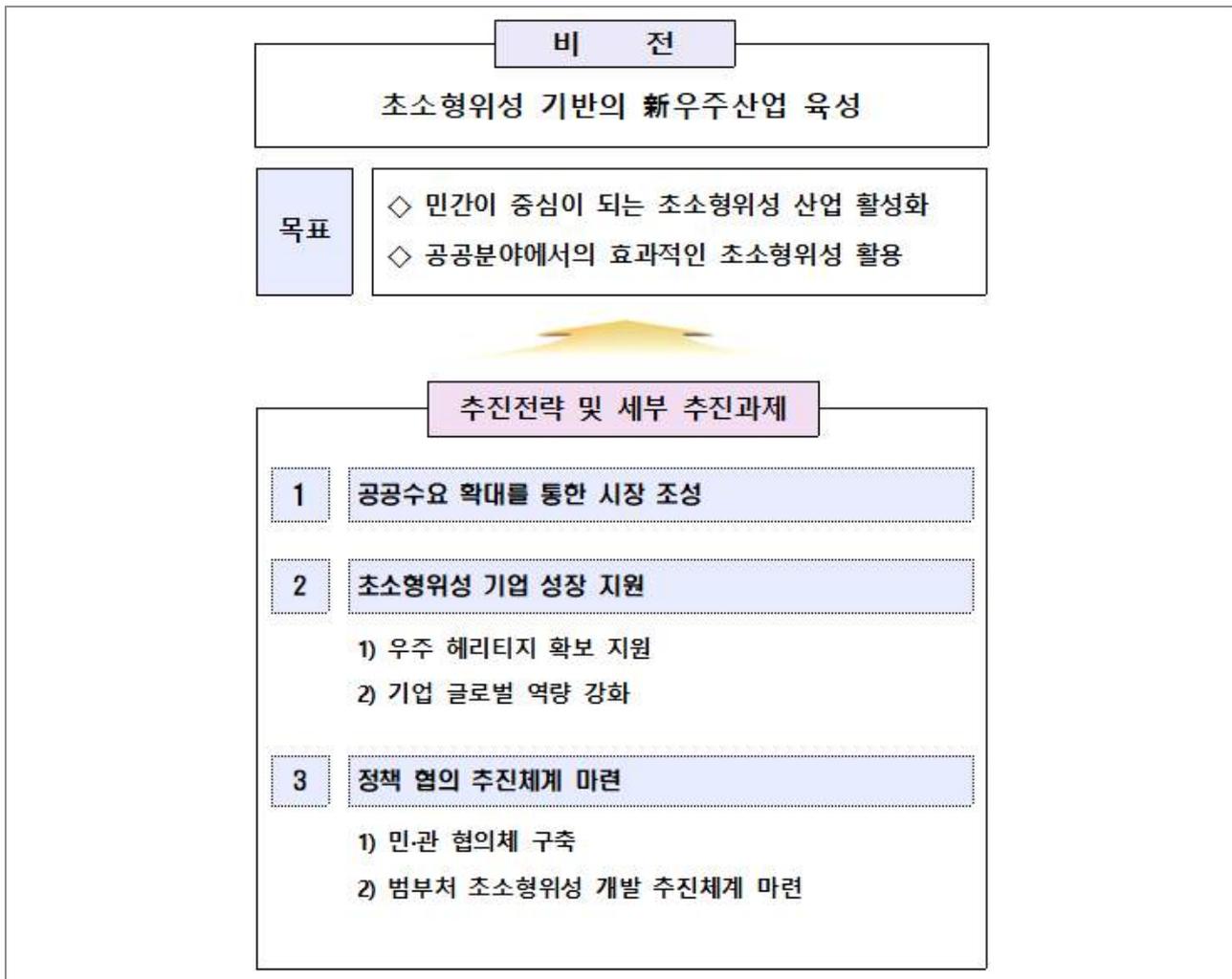
□ 법·제도 측면

- 극지 연구 및 활동 강화를 위하여 국가 정책에는 '북극정책 기본계획', '북극활동 진흥 기본계획' 등이 있음
- 우주개발 진흥법 기본계획에서는 위성 개발과 위성을 활용한 과학 연구 및 실생활 문제 해결을 위한 기본 계획 수립을 의무화함
- 극지관측 초소형위성 사업은 위성 본체 기술, 위성 탑재체 기술, 지상국 기술, 발사체 기술을 기반으로 진행하기 때문에 국가 우주개발 진흥 정책에서 '위성개발' 기술 부분의 방향과 부합함
- 극지관측 초소형위성의 산출물은 기후변화가 야기할 다양한 국가적 재난·재해에 대비하기 위한 예측 자료를 제공하기 때문에 '위성을 활용한 과학 연구 및 실생활 문제 해결' 측면에서 국가 정책과 부합함
- 극지관측 초소형위성 사업은 북극을 전주기적으로 관측하기 위해 6기의 초소형위성을 개발하는 것으로, 이를 통해 획득할 극지 관측 자료는 우리나라의 극지 활동 및 주도권 확보를 위해 필수적인 것으로 극지 관련 정책에서 추진하는 극지 연구 강화 및 국제협력 측면에서 부합함

□ 과학기술정보통신부(과기정통부)의 초소형위성 개발 로드맵과의 부합성

- 과기정통부는 「초소형위성 개발 로드맵」을 수립(2021. 06. 19.)하여 2031년까지 공공분야에 초소형위성 100기 이상의 개발을 추진하며, 이 과정에 민간 산업이 참여할 수 있도록 추진
 - 국가 안보용 정보생산을 위해 초소형위성 감시체계를 구축하고 6G 통신을 위한 초소형 위성통신망을 구축하는 등 미래 선도기술을 확보
- 초소형위성은 사양의 규격화가 가능하고 중대형위성에 비해 저비용으로 단기간 개발이 가능하다는 점에서 공공 및 민간 부분의 증가하는 위성활용 수요에 빠르고 효과적으로 대응할 수 있다는 장점이 있음

[그림 6-18] 초소형위성 개발 로드맵(안)



자료: 과학기술정보통신부, 초소형위성 개발 로드맵, 2021

○ 과학기술정보통신부의 초소형위성 개발 로드맵 이행을 통해 국내 초소형위성 산업 규모가 커지고 민간수요가 확대될 것으로 기대됨

- 국내 시장 조성을 위해 초소형위성 개발을 위한 범부처 추진체계 마련 필요
- 민간 산업의 역량 강화를 지원하고 진입장벽을 낮추어 다양한 민간 기업이 초소형위성 개발에 참여할 수 있도록 추진 필요
- 민간이 초소형위성을 포함한 우주산업을 주도할 수 있도록 인프라를 구축하고 민·관 협의체 구성 필요

[그림 6-19] 공공분야 초소형위성 개발계획(안)



자료: 과학기술정보통신부, 초소형위성 개발 로드맵, 2021

○ 공공분야 초소형위성 개발 계획을 수립하여 4개의 신규 수요 도출

- (국가안보) 초소형위성의 광학 및 레이더(SAR) 관측 자료를 기존 중대형 위성의 자료와 결합하여 전주기적 한반도 감시 체계 운용
- (6G 통신) 초소형위성 간 통신기술을 이용하여 군집위성을 활용한 안정적인

6G 위성통신 시범망 구축

- (우주전파환경) 초소형위성의 군집위성 시스템을 통해 전주기적·동시다발적 관측망을 구축하여 우주전파 재난 및 우주환경 변화 감시에 활용
- (미래선도기술) 인공지능·빅데이터, 자율 랑데부·도킹, 우주쓰레기 제거, 자율 충돌회피기술 등의 미래선도기술 확보를 위한 초소형 검증 위성 개발

○ 범부처 초소형위성 개발 추진체계를 마련하여 국가우주위원회, 과기정통부, 활용부처의 역할을 정립하고 점진적으로 산업체 주도의 양산 체제로 전환

- 초소형위성의 기획부터 개발, 활용까지 정부의 관리 프로세스를 체계화하고 민간 산업체의 참여를 확대하는 방향으로 기술의 민간 이전을 추진
- (국가우주위원회) 범부처 수요를 종합하고 계획을 심의
- (과기정통부) 위성 및 지상 시스템 개발·운영 총괄
- (활용부처) 요구사항 도출을 통해 개발 세부 계획을 수립하고 활용시스템을 개발 및 활용

<표 6-19> 초소형위성 개발 단계에 따른 역할 및 추진체계(안)

기획		추진		개발		운영		활용	
활용기반 수요도출	수요분석, 요구성능 분류·통합	초소형위성 개발·활용 계획 확정	예비타당성 조사 수행, 예산 확보	초소형위성 시스템 개발·제작	초소형위성 발사 및 운용	현업 활용			
활용부처 과기정통부	과기정통부	국가우주위	과기정통부 활용부처	과기정통부 (활용부처)	과기정통부 (활용부처)	활용부처			

자료: 과학기술정보통신부, 초소형위성 개발 로드맵, 2021

○ 국가위성운영센터를 통해 초소형위성을 포함한 저궤도 위성 통합 관제 및 수신·처리 시스템의 효율성을 향상시키고, 국가위성 통합데이터 시스템을 운영하여 위성 데이터를 통합적으로 관리·활용하는 계획을 추진

○ 동 사업의 당위성

- 동 사업은 극지관측 초소형위성 6기의 편대임무를 개발하는 것으로, 이는 초소형위성 개발 로드맵에서 계획하는 극지관측 군집위성 개발의 기술적 토대를 마

련

- 동 사업에서는 초소형위성용 정밀광학 센서와 수동마이크로파 센서 기술을 개발 할뿐만 아니라 센서 데이터를 중대형 위성의 고정밀 데이터와 융합하여 데이터 품질을 높이는 시험을 수행할 계획이기 때문에, 동 사업을 통해 초소형위성 개발 로드맵에서 계획하고 있는 전주기적 한반도 감시 체계 구축의 기술적 토대를 제공할 수 있음
- 동 사업에서는 극지위성센터 구축을 통해 초소형위성의 전주기적 데이터를 수신·처리하는 기술을 개발하고 더 나아가 군집위성의 관제 및 대용량, 다중위성 데이터를 수신·처리하는 기술을 개발할 계획이기 때문에, 동 사업에서 개발될 기술은 정부가 추진하는 국가위성운영센터 및 위성정보 통합 관리·활용 시스템 구축에 활용 가능
- 동 사업에서 추진할 초소형위성 개발 및 극지위성센터 구축에는 원격탐사 분야의 전문 지식을 갖춘 다수의 인력이 필요할 것으로 예상되는 바, 동 사업에서 배출될 기술개발 경험을 갖춘 고속련 전문인력은 초소형위성 개발 로드맵에서 추진하는 연구개발에 활용될 수 있음
- 동 사업은 기술 개발 및 우주산업 인력 양성 측면에서 민간 우주산업에 위성 개발 인프라를 제공함으로써 초소형위성 개발 로드맵을 통해 정부가 추진하는 초소형 위성 공공수요 확대 및 민간 산업 활성화에 큰 역할을 할 것으로 기대됨

3-2. 기술적 타당성

□ 국내 초소형위성 관련 기술 개발 역량

- 국내 초소형위성 개발 초기에는 초소형위성 경연대회에 참가한 국내 대학을 중심으로 인력양성 및 교육 목적으로 기술 개발이 이루어졌다면, 최근에는 한국천문연구원, 한국항공우주연구원, 한국천문연구원, 부산테크노파크 등 연구기관에서 활용 목적에 맞는 다양한 초소형위성이 개발되고 있음
- 국내 위성 본체 개발 기술은 한국항공우주연구원을 중심으로 중대형 위성 위주로 기술을 축적해 오다가, 최근에 전 세계적인 위성 소형화 추세에 힘입어 기존의 중대형 위성 기술을 초소형위성에 적용하고 있기 때문에 위성 본체 기술은 선진국 수준에 도달해 있음

- 국내 위성 탑재체 개발 기술은 국내 독자적 기술을 육성하기 보다는 선진국의 기술을 도입하여 적용해 왔기 때문에 기술 성숙도가 낮지만, 초소형위성과 같은 소형위성이 각광 받는 추세에 따라 탑재체 소형화 기술 부분에 역량을 집중한다면 선진국 수준의 기술 개발이 가능함
- 위성 관제 및 데이터 수신·처리를 위한 지상국 시스템 개발 기술은 다수의 국가 위성 운용 경험을 통해 선진국 수준에 도달하였으며, 초소형위성에 대한 지상국 기술은 그 난이도가 중대형 위성과 유사하거나 보다 낮기 때문에 기존 기술을 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단됨
- 국내 우주 발사체 기술은 아직 선진국 기술에 의존해야 하는 상황이나 소형 발사체 기술 개발에 대한 투자가 증가하고 한국형 발사체 기술 개발이 무리 없이 진행되고 있기 때문에 독자적 발사체 기술 확보가 가능할 것으로 판단됨

□ 극지관측 초소형위성 개발을 통한 기술 역량 증가 전망

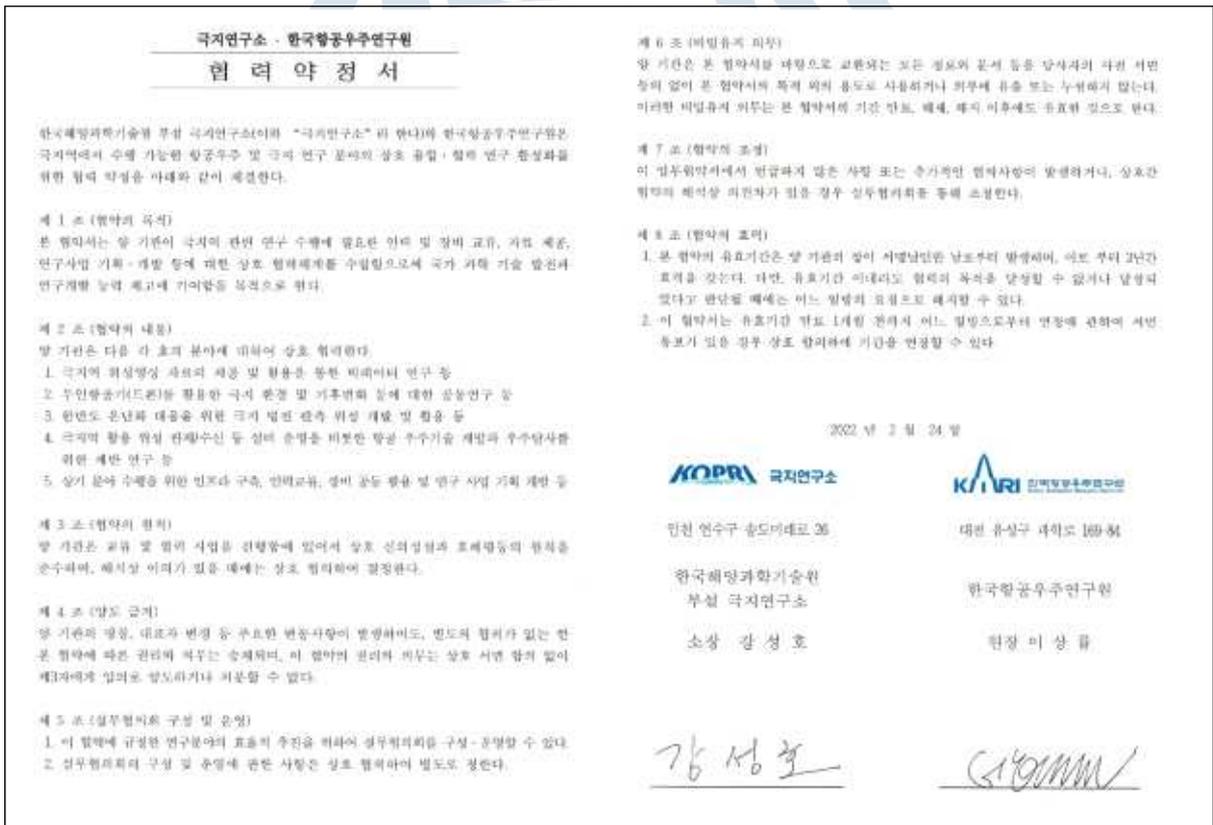
- 극지관측 초소형위성의 기술요소는 초소형위성 본체, 수동 마이크로파 센서 및 정밀광학 센서, 극지위성센터, 발사체로 구성되며, 각 기술요소별로 국내 위성 개발 기술에 미칠 영향은 긍정적으로 전망됨

<표 6-20> 극지관측 초소형위성 사업이 국내 위성 기술에 미치는 영향에 대한 전망

구분	기술 관련 사업 목표	국내 위성 기술에 미치는 영향
초소형위성 본체 개발 기술	초소형위성을 통한 위성 본체 모듈화 및 규격화	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성 본체 개발 과정에서 축적한 경험은 추후 국내 초소형위성 개발에 활용될 수 있으며, 특히 초소형위성 사양 규격화를 통해 기술의 효율성을 증대시킬 수 있음
	초소형위성 본체를 구성하는 부품의 소형화 및 국산화	<ul style="list-style-type: none"> 극지관측 초소형위성을 통해 위성 본체를 구성하는 부품에 대한 기술 자리도를 높이고 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨
초소형위성용 소형 탑재체 개발 기술	소형 수동마이크로파 센서 개발	<ul style="list-style-type: none"> 수동마이크로파 센서 소형화를 통해 확보할 기술은 추후에 능동마이크로파 센서 소형화에 사용될 수 있음
	소형 정밀광학 센서 개발	<ul style="list-style-type: none"> 선진국 수준에 도달해 있는 국내 중대형 위성용 정밀광학 센서 기술과 융합하여 정밀도와 안정성이 높은 소형 정밀광학 센서 기술의 국산화 가능
지상국 시스템 개발 기술	지상국 기능을 갖춘 극지위성센터 구축	<ul style="list-style-type: none"> 극지위성센터 구축 기술은 국내 위성센터 간 연계 기술로 고도화 가능
	위성 데이터 수신·처리·분석 기술	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성이 생성하는 전주기적 극지 관측 데이터의 수신·처리 기술은 위성정보 빅데이터 처리 및 분석 기술 개발에 활용 가능
발사체 기술	발사 대행업체를 통한 안정적이고 신속한 발사	<ul style="list-style-type: none"> 초소형위성 발사를 위해 한국형 발사체 또는 기업이 개발하고 있는 소형 발사체를 활용

□ 위성개발 활용분야 수요에 의한 한국항공우주연구원 MOU ('22.02.24)

- 인공위성 개발 및 활용, 그리고 위성영상 자료의 제공 및 활용 등 국가 위성정보 공동활용 및 지원을 위한 협력약정서 체결
- (협력기관) 극지연구소, 한국항공우주연구원
- (협약 목적) 극지연구소와 한국항공우주연구원간 국가 위성정보 활용 및 위성 개발 공동 연구를 위한 상호 협력체계를 구축
- (협력 분야 및 방향) 극지역 위성영상 자료의 제공 및 활용을 통한 빅데이터 연구, 한반도 온난화 대응을 위한 극지 빙권 관측 위성 개발 및 활용 등 공동 연구개발을 협력함



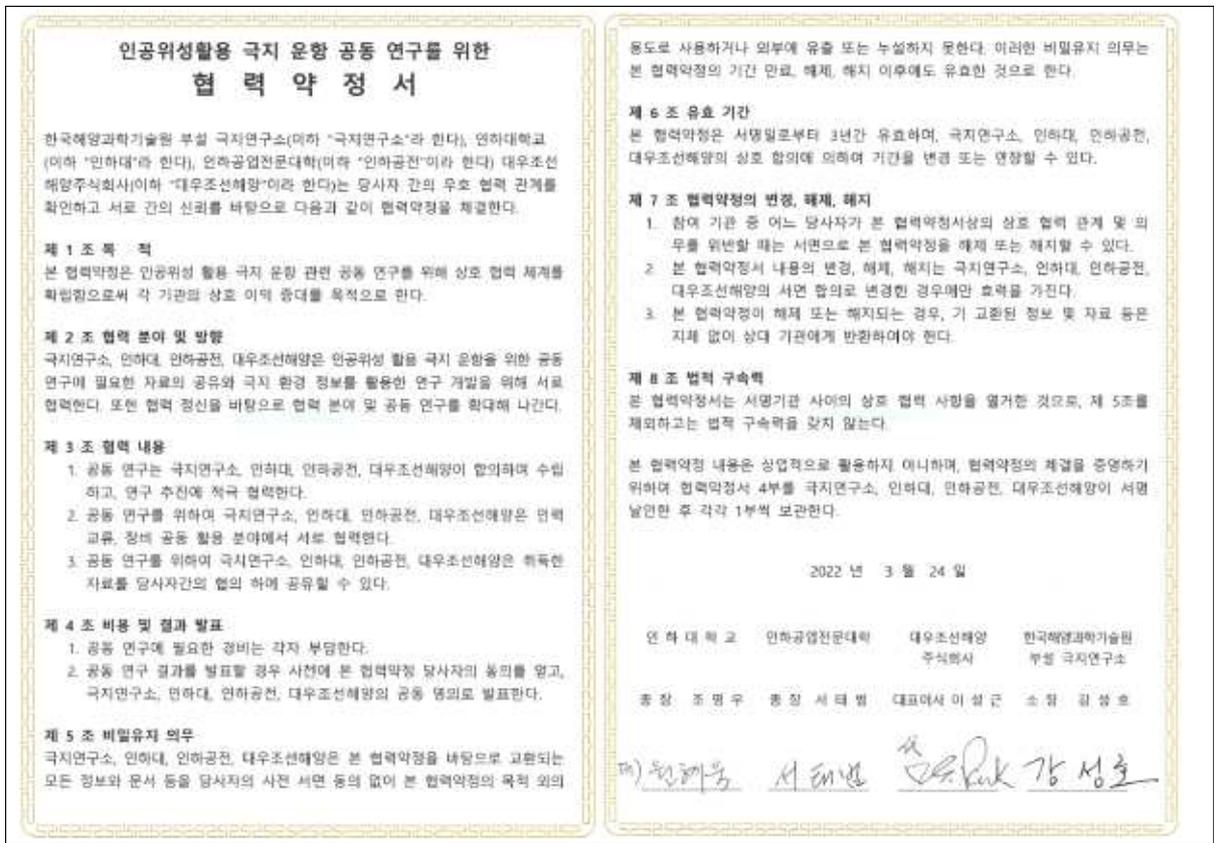
□ 한반도 환경 감시 수요에 의한 국립환경과학원 MOU (“22.03.10)

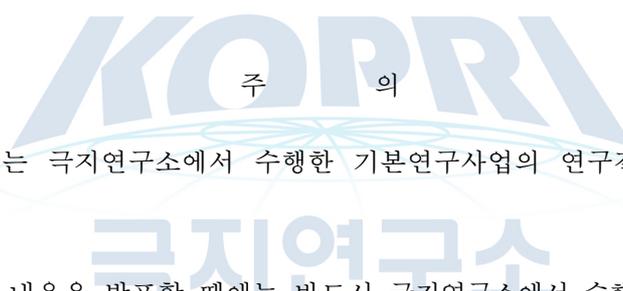
- 인공위성활용 극지-한반도 환경 공동연구를 위한 협력약정서 체결
- (협력기관) 극지연구소, 국립환경과학원
- (협약 목적) 극지연구소와 국립환경과학원의 연구 역량을 이용한 환경변화 공동 연구를 위한 상호 협력체계를 구축
- (협력 분야 및 방향) 극지연구소, 국립환경과학원간 한반도 환경변화 공동 연구를 위한 극지관측용 초소형위성과 국립환경위성센터의 환경위성 자료 공유 등 공동 연구개발을 협력함



□ 극지운항기술 개발 수요에 의한 민간/대학/극지 MOU ('22.03.24)

- 인공위성활용 극지 운항 공동연구를 위한 협력약정서 체결
- (협력기관) 극지연구소, 대우조선 해양주식회사, 인하대학교, 인하공업전문대학,
- (협약 목적) 인공위성을 활용한 극지 운항 분야 산학연 공동연구를 위해 상호 협력체계를 구축
- (협력 분야 및 방향) 극지연구소, 대우조선 해양주식회사, 인하대학교, 인하공업전문대학은 인공위성 활용 극지 운항을 위한 공동 연구에 필요한 자료의 공유와 극지 환경 정보를 활용한 연구개발을 협력함





1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.