

표 지(주요사업)

(뒷면)

(측면)

(앞면)

| | | |
|--|---|---|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;"> 주 의 (편집순서9) </div> <p style="text-align: center;">(16 포인트 고딕체)</p> <p style="text-align: center;">↑ 15cm ↓</p> | B S P N 2 2 0 3 0 - 0 0 1 - 6 | <p style="text-align: right;">BSPN22030-001-6 (14포인트 중고딕체)</p> <p style="text-align: center;">↑ 5cm ↓</p> <p style="text-align: center;">위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 (20 포인트 중고딕체)</p> <p style="text-align: center;">Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data (16 포인트 신명조체)</p> <p style="text-align: center;">↑ 5cm ↓</p> <p style="text-align: center;">2022. 12. 31. (16 포인트 신명조체)</p> <p style="text-align: center;">한 국 해 양 과 학 기 술 원 부 설 극 지 연 구 소 (17 포인트 명조계열)</p> <p style="text-align: center;">↑ 4cm ↓</p> |
| | 위 성 데 이 터 기 반 통 합 극 지 운 항 선 박 및 해 양 구 조 물 건 전 성 관 리 시 스 템 개 발 한 국 해 양 과 학 기 술 원 부 설 극 지 연 구 소 | |
| | ↑ 3cm ↓ | |

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2022. 12. 31.



| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|--|--|-------------------------------------|----------------------------------|----------------|---|-----------|-----------|-----------|
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | | | 일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>] | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술평가관리원 | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 정책지정[<input type="checkbox"/>] 지정공모[<input type="checkbox"/>] | | 품목지정[<input checked="" type="checkbox"/>] 자유공모[<input type="checkbox"/>] | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | - | - | - | | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | - | - | - | | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | | | |
| | | 영문 | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | 314-82-03300 | | | | | |
| | | 주소 | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | 114621-0000479 | | | | | |
| | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | 기타 | | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | 송강현 | | 직위 | 소장 | | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | 070-8799-8574 | | 휴대전화 | 010-3308-7180 | | | | |
| | | | 전자우편 | khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | 1088 2766 | | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | 1단계 | 1년차 | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | | | | |
| | | | | 2년차 | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | | | | |
| | | | | 3년차 | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | | | | |
| | | | | | 지방자치단체 | | | | | | |
| 단 | 계 | 연 | 도 | 현 | 금 | 현 | 금 | 현 | 물 | 합 | |
| 1 | 1 | 차 | 년 | 도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | 736,400 | 129,810 | 866,210 | |
| | | 2 | 차 | 년 | 도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 |
| | | 3 | 차 | 년 | 도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 |
| | | 합 | 계 | | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임 자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | | | | |
| | | 대우조선해양 | 최종효 | 책임 | 010-6653-3197 | jhchoi@dsme.co.kr | 공통 대기업 | | | | |
| | | 퓨처메인 | 김종석 | 상무 | 010-2285-3980 | kjs1458@hanmail.net | 공통 중소기업 | | | | |
| | | 인하대학교 | 김유일 | 교수 | 010-9689-4914 | yuookim@inha.ac.kr | 공통 대학 | | | | |
| | | 서울대학교 | 장범선 | 교수 | 010-9227-8964 | seanjang@snu.ac.kr | 공통 대학 | | | | |
| | | 인하공업전문대학 | 김현수 | 교수 | 010-9205-6733 | hyunsookim@inhac.ac.kr | 공통 대학 | | | | |
| | | 극지연구소 | 김현철 | 센터장 | 010-8938-2675 | kimhc@kopri.re.kr | 공통 출연연 | | | | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | | | | | | | | | | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | 김호선 | | 직위 | 책임 | | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | 070-8799-8542 | | 휴대전화 | 010-3166-5515 | | | | |
| | | | 전자우편 | kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | 1064 5539 | | | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현 (서명)²⁰⁾
주관연구개발기관의 장: 이 형 철 (직인)²⁰⁾
공동연구개발기관의 장: (직인)²⁰⁾

산업통상자원부장관 귀하

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|----------------|--|---|----------------------------------|-----------|---|-----------|-------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | | | 일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>] | | | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술진흥기관리원 | | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 정책지정[<input type="checkbox"/>] 지정공모[<input type="checkbox"/>] | | 품목지정[<input checked="" type="checkbox"/>] | | 사유공모[<input type="checkbox"/>] | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | - | - | - | | | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | - | - | - | | | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | (사)한국신급 | | 사업자등록번호 | | 314-82-03300 | | | | | |
| | | 주소 | | (46762) 부산광역시 강서구 영지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | | 114621-0000479 | | | | | |
| | | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | | 기타 | | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 송강현 | | 직위 | | 소장 | | | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8574 | | 휴대전화 | | 010-3308-7180 | | | | | |
| | | | | 전자우편 khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1088 2766 | | | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | | 1단계 | | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | | | |
| | | | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | | | |
| | | | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | | | | | |
| | | | | | | 지방자치단체 | | | | | | | |
| 단 | 연 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 합 | | | | |
| 계 | 도 | 금 | 금 | 물 | 금 | 물 | 금 | 물 | 계 | | | | |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 | | | | |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 | | | | |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 | | | | |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | | | | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | 전자우편 | | 비고 | |
| | | | | | | | | | | | | 역할 ¹⁶⁾ 기관유형 ¹⁷⁾ | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | | 최종호 | | 책임 | | 010-6853-3197 | | jhchoi@dsme.co.kr | | 공동 대기업 | |
| | | 퓨처메인 | | 김종석 | | 상무 | | 010-2285-3980 | | kjs1458@hanmail.net | | 공동 중소기업 | |
| | | 인하대학교 | | 김유일 | | 교수 | | 010-9689-4914 | | yuooilkim@irha.ac.kr | | 공동 대학 | |
| | | 서울대학교 | | 장범선 | | 교수 | | 010-9227-8964 | | seanjang@snu.ac.kr | | 공동 대학 | |
| | | 인하공업전문대학 | | 김현수 | | 교수 | | 010-9205-6733 | | hyunsookim@irhatc.ac.kr | | 공동 대학 | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | 극지연구소 | | 김현철 | | 센터장 | | 010-8938-2675 | | kimhc@kopri.re.kr | | 공동 출연연 | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | | 김호선 | | 직위 | | | | 책임 | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8542 | | 휴대전화 | | 010-3166-5515 | | 전자우편 kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 1064 5539 | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자:
주관연구개발기관의 장:
공동연구개발기관의 장:

송 강 현
이 형 철



산업통상자원부장관 귀하

| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|--|--|---------------------|---|----------------|-------------------------------------|-----------|--|--|
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | 일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>] | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | 세부사업명 ⁴⁾ | | | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술평가관리원 | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 청색지정[<input type="checkbox"/>] 지정공모[<input type="checkbox"/>] | | 품목지정[<input checked="" type="checkbox"/>] 자유공모[<input type="checkbox"/>] | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | - | - | - | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | - | - | - | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | | | |
| | | 영문 | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | 314-82-03300 | | | | |
| | | 주소 | | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | 114621-0000479 | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 송강현 | | 직위 | 소장 | | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | 070-8799-8574 | 휴대전화 | 010-3308-7180 | | | | |
| | | 전자우편 | | khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | 1088 2766 | | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | | 1단계 | | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | |
| | | | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | |
| | | | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | | | |
| | | | | 지방자치단체 | | | | | | | |
| 단 | 연 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 합 | | |
| 계 | 도 | 금 | 금 | 물 | 금 | 물 | 금 | 물 | 계 | | |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 | | |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 | | |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 | | |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | | | | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | 최중호 | 책임 | 010-6653-3197 | jhchoi@dsme.co.kr | 공동 | 대기업 | | | |
| | | 퓨치메인 | 김종식 | 상무 | 010-2285-3980 | kjs1458@hanmail.net | 공동 | 중소기업 | | | |
| | | 인하대학교 | 김유일 | 교수 | 010-9689-4914 | yuooilkim@inha.ac.kr | 공동 | 대학 | | | |
| | | 서울대학교 | 장병선 | 교수 | 010-9227-8964 | seanjang@snu.ac.kr | 공동 | 대학 | | | |
| | | 인하공업전문대학 | 김현수 | 교수 | 010-9205-6733 | hyunsookim@nhac.ac.kr | 공동 | 대학 | | | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | 극지연구소 | 김현철 | 센터장 | 010-8938-2675 | kimhc@kopri.re.kr | 공동 | 출연연 | | | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | 김호신 | | 직위 | 책임 | | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | 070-8799-8542 | 휴대전화 | 010-3166-5515 | | | | | |
| | | | 전자우편 | kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | 1064 5539 | | | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
주관연구개발기관의 장: 이 형 철
공동연구개발기관의 장: 박 두 선

(서명)²⁰⁾
(직인)²⁰⁾
(직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

| 최종보고서 | | [√] 일반형 [] 통합형(세부) [] 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------|---------|-----------|
| | | [] 통합형(총괄) [] 병렬형(총괄) | | 일반[√], 보안[] | | | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | 산업통상자원부 | 사업명 | 세부사업명 ⁴⁾ | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | 한국산업기술평가관리원 | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | 제2020-19호 | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | |
| | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | 정책지정[] 지정공모[] 품목지정[√] 자유공모[] | | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | | | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | | | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | |
| | | 영문 | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | (사)한국선급 | 사업자등록번호 | 314-82-03300 | | | | |
| | | 주소 | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | 법인등록번호 | 114621-0000479 | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | 송강현 | 직위 | 소장 | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 070-8799-8574 전자우편 khsong@krs.co.kr | 휴대전화 | 010-3308-7180 | | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | 1단계 | 1년차 | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | | |
| | | | | 2년차 | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | | |
| | | | | 3년차 | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | 총 연구개발비 | | | | | |
| | | | 지방자치단체 | | | | | | |
| 단계 | 연도 | 현금 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 합계 |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | 최종효 | 책임 | 010-6653-3197 | jhchoi@dsme.co.kr | 공동 | 대기업 | |
| | | 퓨처메인 | 김종석 | 상무 | 010-2285-3980 | kjs1458@hanmail.net | 공동 | 중소기업 | |
| | | 인하대학교 | 김유일 | 교수 | 010-9689-4914 | yuooilkim@inha.ac.kr | 공동 | 대학 | |
| | | 서울대학교 | 장범선 | 교수 | 010-9227-8964 | seanjang@snu.ac.kr | 공동 | 대학 | |
| | | 인하공업전문대학 | 김현수 | 교수 | 010-9205-6733 | hyunsookim@inhac.ac.kr | 공동 | 대학 | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | 극지연구소 | 김현철 | 센터장 | 010-8938-2675 | kimhc@kopri.re.kr | 공동 | 출연연 | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | 김호선 | | 직위 | 책임 | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 070-8799-8542 전자우편 kimhs@krs.co.kr | 휴대전화 | 010-3166-5515 | | | | |
| | | | 국가연구자번호 | | 1064 5539 | | | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
주관연구개발기관의 장: 이 형 철
공동연구개발기관의 장: 이 선 휘

(서명)²⁰⁾
(직인)²⁰⁾
(직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

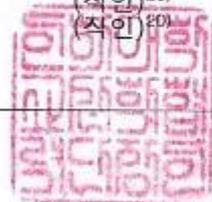
| 최종보고서 | | [√] 일반형 [] 통합형(세부) [] 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------|--|
| | | [] 통합형(총괄) [] 병렬형(총괄) | | 일반[√], 보안[] | | | | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | 산업통상자원부 | 사업명 | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | 한국산업기술평가관리원 | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | 제2020-19호 | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | 20008632 | | | | | | |
| | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | | | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | 정책지정[] 지정공모[] 품목지정[√] 자유공모[] | | | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | - | | | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | - | | | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | | |
| | | 영문 | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | 314-82-03300 | | | | |
| | | 주소 | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | 114621-0000479 | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | 송강현 | | 직위 | 소장 | | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | 070-8799-8574 | | 휴대전화 | 010-3308-7180 | | | |
| | | | 전자우편 | khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | 1088 2766 | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | 1단계 | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | | |
| | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | | |
| | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | | | | |
| | | | | 지방자치단체 | | | | | | |
| 단 계 | 연 도 | 현 금 | 현 금 | 현 물 | 현 금 | 현 물 | 현 금 | 현 물 | 합 계 | |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 | |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 | |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 | |
| 합계 | | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | 책임 자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 | | | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | 최종효 | 책임 | 010-6653-3197 | jhchoi@dsme.co.kr | 공동 | 대기업 | | |
| | | 퓨처메인 | 김종석 | 상무 | 010-2285-3980 | kjs1458@hanmail.net | 공동 | 중소기업 | | |
| | | 인하대학교 | 김유일 | 교수 | 010-9689-4914 | yuooilkim@inha.ac.kr | 공동 | 대학 | | |
| | | 서울대학교 | 장범선 | 교수 | 010-9227-8964 | seanjang@snu.ac.kr | 공동 | 대학 | | |
| | | 인하공업전문대학 | 김현수 | 교수 | 010-9205-6733 | hyunsockim@rhac.ac.kr | 공동 | 대학 | | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | 극지연구소 | 김현철 | 센터장 | 010-8938-2675 | kimhc@kopri.re.kr | 공동 | 출연연 | | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | 김호선 | | 직위 | | 책임 | | | |
| | | 연락처 | 직장전화 | 070-8799-8542 | | 휴대전화 | | 010-3166-5515 | | |
| | | | 전자우편 | kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1064 5539 | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
 주관연구개발기관의 장: 이 형 철
 공동연구개발기관의 장: 김 주 형

(서명)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|---|----------------|--|------|----------------------------------|-----------|--|-----------|--|
| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | |
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | | | 일반 <input checked="" type="checkbox"/> , 보안 <input type="checkbox"/> | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술평가관리원 | | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 정책지정 <input type="checkbox"/> 지정공모 <input type="checkbox"/> | | 품목지정 <input checked="" type="checkbox"/> 자유공모 <input type="checkbox"/> | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | | 조선/해양시스템관련 IT | | 100% | | - | | - | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | | 조선/해양시스템 관련 SW | | 100% | | - | | - | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | |
| | | 영문 | | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | | 314-82-03300 | | |
| | | 주소 | | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | | 114621-0000479 | | |
| | | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | | 기타 | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 송강현 | | 직위 | | 소장 | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8574 | | 휴대전화 | | 010-3308-7180 | | |
| | | | | 전자우편 khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1088 2766 | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | | 1단계 | | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | |
| | | | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | |
| | | | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | | |
| | | | | | | 지방자치단체 | | | | |
| 단 | 연 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 합 | |
| 계 | 도 | 금 | 금 | 물 | 금 | 물 | 금 | 물 | 계 | |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 | |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 | |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 | |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | |
| | | | | | | | | 전자우편 | | |
| | | | | | | | | 비고 | | |
| | | | | | | | | 역할 ¹⁶⁾ | | |
| | | | | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | | 최종효 | | 책임 | | 010-6653-3197 | | |
| | | jhchoi@dsme.co.kr | | | | | | | | |
| | | 퓨처메인 | | 김종석 | | 상무 | | 010-2285-3980 | | |
| | | kjs1458@hanmail.net | | | | | | | | |
| | | 인하대학교 | | 김유일 | | 교수 | | 010-9689-4914 | | |
| yuooilkim@inha.ac.kr | | | | | | | | | | |
| 서울대학교 | | 장범선 | | 교수 | | 010-9227-8964 | | | | |
| seanjang@snu.ac.kr | | | | | | | | | | |
| 인하공업전문대학 | | 김현수 | | 교수 | | 010-9205-6733 | | | | |
| hyunsookim@inhac.ac.kr | | | | | | | | | | |
| 극지연구소 | | 김현철 | | 센터장 | | 010-8938-2675 | | | | |
| kimhc@kopri.re.kr | | | | | | | | | | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | | | | | | | | | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | | 김호선 | | 직위 | | 책임 | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8542 | | 휴대전화 | | 010-3166-5515 | | |
| | | | | 전자우편 kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1064 5539 | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
 주관연구개발기관의 장: 이 형 철
 공동연구개발기관의 장: 김 재 영

(서명)²⁰⁾

(직인)²⁰⁾

(직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|----------------|--|---|----------------------------------|-----------|--|-----------|
| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | |
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | | | 일반 <input checked="" type="checkbox"/> , 보안 <input type="checkbox"/> | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술평가관리원 | | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 정책지정 <input type="checkbox"/> 지정공모 <input type="checkbox"/> 품목지정 <input checked="" type="checkbox"/> 자유공모 <input type="checkbox"/> | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | | 조선/해양시스템관련 IT | 100% | - | - | - | - | - |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | - | - | - | - | - |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | |
| | | 영문 | | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | | 314-82-03300 | |
| | | 주소 | | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | | 114621-0000479 | |
| | | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | | 기타 | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 송강현 | | 직위 | | 소장 | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8574 | | 휴대전화 | | 010-3308-7180 | |
| | | | | 전자우편 khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1088 2766 | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | | 1단계 | | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | |
| | | | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | |
| | | | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ | | 총 연구개발비 | |
| | | | | | | 지방자치단체 | | | |
| 단 | 연 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 합 |
| 계 | 도 | 금 | 금 | 물 | 금 | 물 | 금 | 물 | 계 |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | |
| | | | | | | | | 전자우편 | |
| | | | | | | | | 비고 | |
| | | | | | | | | 역할 ¹⁶⁾ 기관유형 ¹⁷⁾ | |
| 공동연구개발기관 | | 대우조선해양 | | 최종효 책임 | | 010-6653-3197 | | jhchoi@dsmc.co.kr | |
| | | 퓨치메인 | | 김중석 상무 | | 010-2285-3980 | | kjs1458@hanmail.net | |
| | | 안하대학교 | | 김유일 교수 | | 010-9689-4914 | | yuooilkim@inha.ac.kr | |
| | | 서울대학교 | | 장범선 교수 | | 010-9227-8964 | | seanjang@snu.ac.kr | |
| | | 인하공업전문대학 | | 김현수 교수 | | 010-9205-6733 | | hyunsockim@rhctc.ac.kr | |
| | | 극지연구소 | | 김현철 센터장 | | 010-8938-2675 | | kimhc@kopri.re.kr | |
| 연구개발기관 외 기관 ¹⁸⁾ | | | | | | | | | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | | 김호선 | | 직위 | | 책임 | |
| | | 연락처 | | 직장전화 070-8799-8542 | | 휴대전화 | | 010-3166-5515 | |
| | | | | 전자우편 kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1064 5539 | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
 주관연구개발기관의 장: 이 형 철
 공동연구개발기관의 장: 박 기 식

(서명)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|--|----------------|--|------|---------------------------------------|---|--|---------|------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 최종보고서 | | <input checked="" type="checkbox"/> 일반형 | | <input type="checkbox"/> 통합형(세부) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(세부) | | 보안등급 ¹⁾ | | | | | |
| | | <input type="checkbox"/> 통합형(총괄) | | <input type="checkbox"/> 병렬형(총괄) | | | | 일반 <input checked="" type="checkbox"/> , 보안 <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 중앙행정기관명 ²⁾ | | 산업통상자원부 | | 사업명 | | 세부사업명 ⁴⁾ | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | | | | |
| 전문기관명 ³⁾ | | 한국산업기술평가관리원 | | | | 내역사업명 ⁵⁾ | | | | | | | |
| 공고번호 ⁶⁾ | | 제2020-19호 | | 총괄연구개발 과제번호 ⁷⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | | | |
| | | | | 연구개발 과제번호 ⁸⁾ | | 20008632 | | | | | | | |
| 선정방식 ⁹⁾ | | 정책지정 <input type="checkbox"/> 지정공모 <input type="checkbox"/> 품목지정 <input checked="" type="checkbox"/> 자유공모 <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | |
| 기술분류 | 산업기술분류 ¹⁰⁾ | | 조선/해양시스템관련 IT | | 100% | | - | | - | | | | |
| | 국가과학기술분류 ¹¹⁾ | | 조선/해양시스템 관련 SW | | 100% | | - | | - | | | | |
| 총괄연구개발과제명 ¹²⁾ (해당 시 작성) | | 국문 | | | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | | | | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ¹³⁾ | | 국문 | | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | | | | |
| | | 영문 | | Development of Integrated Health Management System for Polar Operation Ships and Offshore Structures Based on Satellite Data | | | | | | | | | |
| 주관연구개발기관 | | 기관명 | | (사)한국선급 | | 사업자등록번호 | | 314-82-03300 | | | | | |
| | | 주소 | | (46762) 부산광역시 강서구 명지오션시티9로 36 | | 법인등록번호 | | 114621-0000479 | | | | | |
| | | | | | | 기관유형 ¹⁷⁾ | | 기타 | | | | | |
| 연구책임자 | | 성명 | | 송강현 | | 직위 | | 소장 | | | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 070-8799-8574 | | 휴대전화 | | 010-3308-7180 | | | |
| | | | | 전자우편 | | khsong@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1088 2766 | | | |
| 연구개발기간 ¹⁴⁾ | | 전체 ¹⁴⁻¹⁾ | | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | | | | | | | | |
| | | 단계 ¹⁴⁻²⁾ | | 1단계 | | 1년차 | | 2020. 04. 01 - 2020. 12. 31(9 개월) | | | | | |
| | | | | | | 2년차 | | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12 개월) | | | | | |
| | | | | | | 3년차 | | 2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12 개월) | | | | | |
| 연구개발비 ¹⁵⁾ (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 ¹⁵⁻¹⁾ | | 기관부담연구개발비 ¹⁵⁻²⁾ | | 그 외 기관 지원금 ¹⁵⁻³⁾ 지방자치단체 | | 총 연구개발비 | | | | | |
| 단 | 연 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 현 | 합 | | | |
| 계 | 도 | 금 | 금 | 금 | 금 | 금 | 금 | 금 | 금 | 계 | | | |
| 1 | 1차년도 | 700,000 | 36,400 | 129,810 | | | | 736,400 | 129,810 | 866,210 | | | |
| | 2차년도 | 865,000 | 45,000 | 167,000 | | | | 910,000 | 167,000 | 1,077,000 | | | |
| | 3차년도 | 1,081,000 | 56,258 | 184,302 | | | | 1,137,258 | 184,302 | 1,321,560 | | | |
| | 합계 | 2,646,000 | 137,658 | 481,112 | | | | 2,783,658 | 481,112 | 3,264,770 | | | |
| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | | 기관명 | | 책임자 | | 직위 | | 휴대전화 | | 전자우편 | | 비고 | |
| | | | | | | | | | | | | 역할 ¹⁶⁾ 기관유형 ¹⁷⁾ | |
| | | 대우조선해양 | | 최종효 | | 책임 | | 010-6653-3197 | | jhchoi@dsme.co.kr | | 공동 대기업 | |
| | | 퓨처메인 | | 김종석 | | 상무 | | 010-2285-3980 | | kjs1458@hanmail.net | | 공동 중소기업 | |
| | | 인하대학교 | | 김유일 | | 교수 | | 010-9689-4914 | | yuooilkim@inha.ac.kr | | 공동 대학 | |
| | | 서울대학교 | | 장범선 | | 교수 | | 010-9227-8964 | | seanjang@snu.ac.kr | | 공동 대학 | |
| | | 인하공업전문대학 | | 김현수 | | 교수 | | 010-9205-6733 | | hyunsookim@inhac.ac.kr | | 공동 대학 | |
| | | 극지연구소 | | 김현철 | | 센터장 | | 010-8938-2675 | | kimhc@kopri.re.kr | | 공동 출연연 | |
| 연구개발과제 실무책임자 ¹⁹⁾ | | 성명 | | 김호선 | | 직위 | | 책임 | | | | | |
| | | 연락처 | | 직장전화 | | 070-8799-8542 | | 휴대전화 | | 010-3166-5515 | | | |
| | | | | 전자우편 | | kimhs@krs.co.kr | | 국가연구자번호 | | 1064 5539 | | | |

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023 년 3 월 1 일

연구책임자: 송 강 현
 주관연구개발기관의 장: 이 현 양
 공동연구개발기관의 장: 강 상 훈

(서명)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾
 (직인)²⁰⁾



산업통상자원부장관 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

| | | | | | | | |
|--|---|---|--|--------------------------------|--|------------|-----|
| 세부사업명 ¹⁾ | 산업기술혁신사업 | 총괄연구개발 과제번호 ³⁾ (해당 시 작성) | | | | | |
| 내역사업명 ²⁾ | 조선해양산업핵심기술개발사업 | 연구개발 과제번호 ⁴⁾ | 20008632 | | | | |
| 기술분류 ⁵⁾ | 산업기술분류 | 조선/해양시스템관련 IT·SW | 100% | 2순위 소분류 명칭 | 00% | 3순위 소분류 명칭 | 00% |
| | 국가과학기술표준분류 | 조선/해양시스템 관련 SW | 100% | 2순위 소분류 명칭 | 00% | 3순위 소분류 명칭 | 00% |
| 총괄연구개발과제명 ⁶⁾ (해당 시 작성) | | | | | | | |
| 연구개발과제명 ⁷⁾ | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | | | | | | |
| 전체 연구개발기간 ⁸⁾ | 2020. 04. 01 - 2022. 12. 31(33 개월) | | 기술료 | 징수[<input type="checkbox"/>] | 비징수[<input type="checkbox"/>] | | |
| 총 연구개발비 ⁹⁾ | 총 3,264,770 천원 (정부지원연구개발비 : 2,646,000 천원, 기관부담 연구개발비 : 618,770 천원) | | | | | | |
| 연구개발단계 ¹⁰⁾ | 기초[<input type="checkbox"/>] 응용[<input type="checkbox"/>] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[<input type="checkbox"/>] | | 기술준비도(TRL) ¹¹⁾ (해당 시 작성) | | 착수시점 기준[3] 종료시점 목표[6] 해당없음[<input type="checkbox"/>] | | |
| 연구개발과제 유형 ¹²⁾ (해당 시 작성) | 원천기술형[<input type="checkbox"/>] 혁신제품형[<input checked="" type="checkbox"/>] 해당없음[<input type="checkbox"/>] | | | | | | |
| | 산업고도화형[<input type="checkbox"/>] 사회문제해결형[<input type="checkbox"/>] 신산업창출형[<input type="checkbox"/>] 해당없음[<input checked="" type="checkbox"/>] R&D 샌드박스(일반)[<input type="checkbox"/>] R&D 샌드박스(지정)[<input type="checkbox"/>] 해당없음[<input checked="" type="checkbox"/>] | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 ¹³⁾ (해당 시 작성_중복체크) | IP R&D연계[<input type="checkbox"/>] 표준연계[<input type="checkbox"/>] 디자인연계[<input type="checkbox"/>] BI연계[<input type="checkbox"/>] 경쟁형R&D[<input type="checkbox"/>] 국제공동[<input type="checkbox"/>] 안전관리형[<input type="checkbox"/>] 챌린지 트랙[<input type="checkbox"/>] 복수형R&D[<input type="checkbox"/>] 대형통합형[<input type="checkbox"/>] 서비스형[<input type="checkbox"/>] 국가핵심기술[<input type="checkbox"/>] 탄소중립[<input type="checkbox"/>] 해당없음[<input checked="" type="checkbox"/>] | | | | | | |
| 연구개발 목표 ¹⁴⁾ 및 내용 ¹⁵⁾ | 최종 목표 | <p>[최종목표]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 극지용 선박 및 해양플랜트용 빙하중 및 선체 구조응답 계측 모니터링 시스템 기반 디지털 트윈 모델 구축 및 실시간 통합 구조건전성 모니터링 시스템 개발 <p>[1차년도 목표]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주관기관(한국선급) : 통합 모니터링 시스템 기반 구축을 위한 플랫폼 구성 방안 분석 및 참여기관 연구결과 적용방안 가시화 및 디지털 트윈 모델 가시화(I) ○ 참여기관 1(대우조선해양) : 극지용 계측 센서, 장비 사양 및 요구조건 결정 ○ 참여기관 2(퓨처메인) : 극저온 계측 센서 및 DAQ 시스템 사양결정 ○ 참여기관 3(인하대학교) : 극지운항 선박의 실선 계측 데이터 분석 및 선체 구조응답 계측 기반 빙하중 추정 기술 개발 ○ 참여기관 4(서울대학교) : 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 및 극지운영 해양구조물의 환경하중에 대한 미계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 ○ 참여기관 5(인하공업전문대학교) : 극지 빙강도 추정 및 극지 운항 선박의 구조 해석법 정립/실선의 구조 응답 결과 비교 ○ 참여기관 6(극지연구소) : 해빙 분포 관측 기술 적용 및 과거 빙 분포 비교/분석 <p>[2차년도 목표]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주관기관(한국선급) : 통합 모니터링 시스템 개발 및 극지용 디지털 트윈 기술 개발 ○ 참여기관 1(대우조선해양) : 빙하중 예측 정밀도 극대화 기술 개발 ○ 참여기관 2(퓨처메인) : 극저온 데이터 계측을 위한 통합 시스템 구축 및 신뢰성 검증 ○ 참여기관 3(인하대학교) : 극지운항 선박의 선체 구조 피로 손상도 평가기법 기술 개발 및 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 ○ 참여기관 4(서울대학교) : 해양구조물의 빙하중 추정 및 빙하중 및 환경하중에 의한 피로 손상도 평가기술 개발 ○ 참여기관 5(인하공업전문대학교) : 위성데이터 기반 상태 진단을 위한 빙하중 추정 및 보정 기술 개발 ○ 참여기관 6(극지연구소) : 해빙 유형 자동 분류 | | | | | |

| | |
|--|--|
| | <p>[3차년도 목표]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○주관기관(한국선급) : 통합 모니터링 시스템 실증 및 극지용 디지털 트윈 운영시스템 개발 ○참여기관 1(대우조선해양) : 해빙 특성 및 빙 하중 예측 시스템 개발 ○참여기관 2(퓨처메인) : 실선 계측을 통한 시스템 검증 및 프로그램 보완 ○참여기관 3(인하대학교) : 선체 피로 잔여 수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 기반 선체 장기 피로손상도 예측 기술개발 및 선체 표면 마모 손상도 예측 기법 개발 ○참여기관 4(서울대학교) : 해양구조물의 디지털 트윈 모델 구축 및 장기 피로손상도 예측 기술 개발 ○참여기관 5(인하공업전문대학교) : 극지 운항 해역 빙 특성 및 환경 데이터 기반 빙하중 및 환경하중 분포 예측 ○참여기관 6(극지연구소) : 해빙 강도 추정 기술 개발 |
| <p style="text-align: center;">전체 내용</p> | <p>[1차년도 개발내용]</p> <p>[한국선급]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○각 참여기관 연구결과 상관관계 분석 및 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 ○통합 모니터링 시스템 UI 개발(I) ○디지털 트윈 모델 시스템 분석 및 요구 사항 분석 ○디지털 트윈 정보교환 통합 모델 설계 ○CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(I) <p>[대우조선해양]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○극지용 모니터링 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 ○극지용 계측 장비 식별 및 요구 성능/사양 결정 <p>[퓨처메인]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○극저온 기술 보유 제작사 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 ○H/W 사양 및 요구조건 결정(극저온 계측 센서 요구 성능 분석 및 사양 결정) ○극저온 계측 센서 선정 및 Test ○계측 데이터 및 장비 응답 에러 대응 시스템 모듈 개발 ○선체 응답 계측 시스템 검증 ○센서의 내구성 시험을 위한 시뮬레이터 제작 ○데이터 통신 기술 개발 최적화 <p>[인하대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○빙하중 및 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발 ○극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 ○빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반) ○빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 및 부식 예측 평가 기술 개발 <p>[서울대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 (인하대와 공동) ○극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발 ○환경하중 관련 계측된 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 <p>[인하공업전문대학]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 ○빙하중 추정기술 개발(위성데이터 계측 기반) <p>[극지연구소]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○위성정보 수집 관리 시스템 활용 다중위성자료 종류 파악 및 과거 자료 확보 <p>[2차년도 개발내용]</p> <p>[한국선급]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○극지용 계측 시스템 기반 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 ○통합 모니터링 시스템 UI 개발(II) ○실시간 선체 응답 및 개별 센서 데이터 가시화 UI 개발 ○계측 데이터 저장 환경 설정 기능 및 UI 개발 ○피로강도 예측 알고리즘 개발 및 UI 개발(Rainflow counting 기반) ○리포트 생성 기능 기본 알고리즘 구성 및 개발 ○데이터 활용을 위한 raw data archive configuration 개발 ○통합 모니터링 시스템 검증 ○CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(II) ○디지털 트윈 시스템 구축 |

[대우조선해양]

- 해빙의 강성, 두께, 강도, 밀도 등의 빙 정보 추정 기술 개발 고도화
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)

[퓨처메인]

- 통합 계측시스템 구축 및 신뢰성 확보
- 계측 장비 및 센서 극저온 환경시험 및 인증시험
- 데이터 통신 프로토콜 통합을 위한 펌웨어 개발
- 계측 데이터의 Export 기능 모듈 개발

[인하대학교]

- 빙하중 추정 기법 및 빙기인 피로손상도 평가 관련 문헌 조사
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)
- 극지운항 선박의 선체 구조 피로손상도 평가기법 기술 개발
- 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험

[서울대학교]

- 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 기반)
- 빙하중 추정 기술 개발(해양구조물 구조응답 기반)
- 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교
- 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 빙충돌 시뮬레이션 결과와 비교
- 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발
- 환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발

[인하공업전문대학]

- 빙하중 비교 분석 및 보정 기술 개발
- 빙하중 추정기술 개발(위성데이터 계측 기반)
- 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발
- 극지운항 선박의 구조해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교

[극지연구소]

- 영상레이더 자료 처리 기반 해빙유형 자동 분류 기술 개발

[3차년도 개발내용]

[한국선급]

- 통합 모니터링 시스템 검증
- 실시간 모니터링 기반 통합 구조 건전성 모니터링 시스템 개발
- 인증 요구조건 준비
- 인증(또는 원칙 승인(AIP))

[대우조선해양]

- 빙하중 및 환경 하중 분포 예측
- 실선 장착 및 실증 검증 시험

[퓨처메인]

- 실선 계측을 통한 현장 데이터 분석 및 시스템 평가
- 통합 계측 운영 프로그램의 안전성 평가
- 극지용 구조응답 계측 및 운영 시스템 성능 보완 및 제작 완료

[인하대학교]

- 선체 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
- 장기 피로손상도 예측 기술 개발
- 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(선박)

[서울대학교]

- 해양구조물 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
- 예측된 빙하중(위성 계측 기반) 기반 해양구조물 구조응답 예측 기술 개발
- 빙하중 관련 계측 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발
- 환경하중 및 빙하중 계측 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증
- 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(해양구조물)
- 빙하중에 기인 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발

[인하공업전문대학]

- 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발
- 빙하중 및 환경 하중 분포 예측

[극지연구소]

- 다중편파 영상레이더 산란모델 및 편파분석 기술을 활용한 해빙 강도 추정 알고리즘 개발

1단계

목표

- 해당없음

| | | | |
|--|---------------|----|--------|
| | (해당 시 작성) | 내용 | ○ 해당없음 |
| | n단계 (해당 시 작성) | 목표 | ○ 해당없음 |
| | | 내용 | ○ 해당없음 |

| | |
|-----------------------|---|
| 연구개발성과 ¹⁶⁾ | <ul style="list-style-type: none"> ○ 실시간 통합 모니터링 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 극지에 운항하는 선박에 대하여 실시간 계측을 통해 누적 데미지 확인 및 문제 발생시 알람 경고 주는 통합 모니터링 시스템 개발을 완료하였으며, 해당 시스템에 대하여 쇄빙 연구선 아라온호 실선 검증 및 인증서를 획득함 - 추가로 극지 운항 선박의 안전한 항로를 제안할 수 있는 최정항로에 대한 알고리즘을 개발하고 모니터링 시스템과의 연동을 완료함 ○ 디지털 트윈 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 3차원 선박 모델에 계측 데이터 및 예측 데이터를 활용하여 주요 Hot Spot 구역의 누적 데미지 및 추정 데미지를 보여주고, 미계측 위치의 Hot Spot 구역에 예측 데미지까지 가시화 해주는 3차원 디지털 트윈 시스템을 개발함 ○ 정량적 연구 목표 달성치 <ul style="list-style-type: none"> - 국외 SCI(E)급 논문을 총 5편(2차년도 2편, 3차년도 3편)을 게재 완료하였으며, 총 23편의 국내외 학술대회 논문집 발표를 수행함 - 국내 특허 1건 및 국외 특허(PCT) 1건 출원을 완료하였으며, 모니터링 시스템에 대하여 GS(GoodSoftware) 1등급 인증서를 획득하고, 저작권 1건 등록을 완료함 - 총 4명의 고용을 창출하였으며, 총 7건의 홍보(학술대회 기획세션 3건, 온라인 기사 4건) 성과를 달성함 |
|-----------------------|---|

| | |
|------------------------------------|---|
| 연구개발성과 활용계획 및 기대 효과 ¹⁷⁾ | <p>[연구개발성과의 활용방안 및 기대효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 선박 및 해양구조물에서 업무를 수행하는 선원의 경우 열악한 생활 환경 뿐 아니라 극한의 위험 환경에 노출되어 있으나, 본 기술 개발을 통해 안전한 작업 환경 조성 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 극지에 운영되는 선박 및 해양구조물의 조기 알람 서비스를 통하여 파손 및 사고를 미연에 예측하고 대응할 수 있음으로써 안전한 작업환경 조성이 가능함 ○ 대기업과 중소기업이 상생 가능한 시스템을 구축하고 개발함으로써 국내 관련 산업체를 견인할 수 있을 것으로 기대 <ul style="list-style-type: none"> - 특히 해당 기술을 핵심으로 공격적인 영업을 수행하여 해외 극지 운항 선박 물량을 다수 확보할 경우 침체된 국내 조선 산업에 활력을 부여 |
|------------------------------------|---|

[연구개발성과의 기술기여도]

| 연구개발 기관명 | 기술기여도(단위: %) | | | | | | |
|----------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 연구개발종료 1년차 | 연구개발종료 2년차 | 연구개발종료 3년차 | 연구개발종료 4년차 | 연구개발종료 5년차 | 연구개발종료 6년차 | 연구개발종료 7년차 |
| 한국선급 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 대우조선해양 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 퓨처메인 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 인하대학교 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 서울대학교 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 인하공업전문대학 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 극지연구소 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|--------------|-----------|-------------------|-----------|--------------|-----|-----|----|
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 ¹⁸⁾ | | | | | | | | | | | | |
| 연구개발성과의 등록·기탁 건수 ¹⁹⁾ | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구 시설·장비 | 기술 요약 정보 | 소프트웨어 | 표준 | 생명자원 | | 화학물 | 신품종 | |
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | | 정보 | 실물 |
| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 ²⁰⁾ | 구입 기관 | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입가격 (천원) | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소) | ZEUS 등록번호 | | | |
| 국문핵심어 (5개 이내) | 인공위성 | | 빙 하중 | | 빙 예측 | | 모니터링 시스템 | | 디지털 트윈 | | | |
| 영문핵심어 (5개 이내) | Satellite | | Ice load | | Ice forecast | | Monitoring system | | Digital twin | | | |

목 차

| | |
|---|-----|
| 1. 연구개발과제의 개요 | 1 |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 | 2 |
| 2-1. 기술개발 추진 일정 | 2 |
| 2-2. 연구개발기간 추진 실적 및 추진 내용 | 8 |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 | 98 |
| 3-1. 정성적 연구개발성과 | 102 |
| 3-2. 정량적 연구개발성과 | 103 |
| 3-3. 세부 정량적 연구개발성과 | 105 |
| 3-4. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 | 111 |
| 4. 목표 미달시 원인분석(해당시 작성) | 111 |
| 4-1. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용 | 111 |
| 4-2. 자체 보완활동 | 111 |
| 4-3. 연구개발 과정의 성실성 | 111 |
| 5. 도전과 배움 | 112 |
| 6. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도 | 113 |
| 7. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 | 114 |
| 8. 연구개발비 사용실적 | 114 |
| 9. 자체보안관리진단 | 115 |
| 10. 안전관리 이행 현황 | 116 |
| 10-1. 연구실 안전 조치 | 116 |
| 10-2. 안전관리형 과제 안전관리 현황 | 124 |
| [별첨자료] 세부 정량적 연구개발 성과에 대한 증빙 또는 추가제출 자료 | 125 |

| | | | | | | | | |
|---------------|--|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|---|--|
| 최종보고서 | [<input checked="" type="checkbox"/>] 일반형 | | [<input type="checkbox"/>] 통합형(세부) | | [<input type="checkbox"/>] 병렬형(세부) | | 기술료 | |
| | [<input type="checkbox"/>] 통합형(총괄) | | | [<input type="checkbox"/>] 병렬형(총괄) | | | 정수 [<input type="checkbox"/>] 비정수 [<input checked="" type="checkbox"/>] | |
| 중앙행정기관명 | 산업통상자원부 | | 사업명 | 세부사업명 | | 조선해양산업핵심기술개발사업 | | |
| 전문기관명 | 한국산업기술평가관리원 | | | 내역사업명 | | | | |
| 연구개발과제명(과제번호) | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발(20008632) | | | | | | | |

1. 연구개발과제의 개요

○ 연구개발기술의 정의 및 범위

- (정의)

- 극지용 선박 및 해양플랜트용 빙하중 및 선체 구조응답 계측 모니터링 시스템 기반 디지털 트윈 모델 구축 및 실시간 통합 구조건전성 모니터링 시스템 개발

- (범위)

- 극지용 선박 및 해양플랜트에 대한 (위성탐사 기반)해빙 분석 및 빙 하중 예측 기술 개발과 실선(아라온) 구조응답 계측 데이터 분석 결과와 연계하여 **해빙 상태 예측 시스템 및 빙하중을 고려한 구조응답 추정 기술**을 개발하고,
- 극지용 빙 하중 및 선체구조 응답 계측 시스템 구축 기반 **실시간 구조응답 계측 모니터링 시스템** 개발하여,
- (위성데이터 기반)예측된 빙 하중 총돌해석 기반 빙하중 및 (실선 선체 구조응답 계측 기반)계측된 빙 하중 구조응답 기반 빙 하중 비교 분석 및 상호 보정 기술 개발을 통한 **극지운항 선박 및 해양플랜트의 선체 구조 피로손상도 평가 기법**의 기술 개발을 바탕으로,
- 극지용 선박 및 해양플랜트에 대한 실시간 디지털 트윈 모델 시스템 구축 기반 **통합 구조건전성 관리 시스템**을 개발하는데 목적이 있음
 - [TIER 1] 위성 데이터를 기반으로 해빙에 대한 분포 관측 및 분석 기술을 개발하고 이를 이용하여 해빙의 강도 및 빙 하중을 추정하는 기술 개발
 - [TIER 2] 극지 환경에 적합한 계측 시스템 구축 및 신뢰성을 확보하고, 실시간 빙 하중 및 선체구조의 응답을 계측할 수 있는 실시간 구조응답 계측 모니터링 시스템 개발
 - [TIER 3] 위성 데이터 및 실선 계측 데이터를 이용한 빙 하중 추정 및 디지털 트윈 모델 기반 선박 및 해양구조물 구조 건전성 평가 기술 개발
 - [TIER 4] 극지용 선박 및 해양구조물의 구조 건전성 진단 및 예측을 통한 선체 구조 유지보수 전략 수립 및 디지털 트윈 모델 기반 통합 구조 건전성 관리 모니터링 시스템 개발

○ 연구개발과제의 배경 및 필요성

- (배경)

- 현재 및 미래의 고부가가치 먹거리 산업인 극지 운항 선박 및 해양구조물과 관련하여 **주요 핵심 기술 확보가 시급**하고, 극지 조선 산업 시장 선점을 위해서는 극지 환경 및

해빙에 대하여 계측과 예측을 통해 안전성 및 건전성을 확보하는 기술개발이 필요함

- (필요성)

- 지구 온난화로 인하여 북극항로를 운항하는 상선, 북극 자원을 활용하기 위한 해양구조물 및 쇄빙선의 폭발적인 증가에 대비하여 해빙 정보 예측, 빙하중 추정, 구조 응답 실시간 계측, 위험 회피 정보 제공 및 최적 유지 보수 방안 마련 등을 위한 **통합 구조 건전성 모니터링 시스템의 개발이 필요함**
- 이를 통해 극지 운항 선박 및 해양구조물의 안정성 및 운항 효율 극대화를 통한 **경제성 향상 기대**
- 이러한 시스템을 개발하기 위하여 본 연구개발에서는 인공위성을 통한 정확한 해빙 예측, 저온에서 안정적으로 작동하는 계측 시스템, 실시간 구조응답을 처리하여 위험을 판단하는 기술, 잔여 수명 예측을 통한 **검사, 유지보수 결정 및 디지털 트윈 기술을 이용한 통합 시스템 개발 필요**
- 본 연구개발을 통하여 계측된 위성데이터를 기반으로 극지에 운항하는 선박 및 운영하는 해양구조물의 **건전성 관리 시스템을 개발하고자 함**

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 기술개발 추진 일정

[한국선급]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--|----------------|----------------|-----|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 각 참여기관 연구결과 상관관계 분석 및 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 | ----- | | | 100% |
| 2 | 통합 모니터링 시스템 UI 개발(I) | ----- | | | 100% |
| 3 | 디지털 트윈 모델 시스템 분석 및 요구 사항 분석 | ----- | | | 100% |
| 4 | 디지털 트윈 정보교환 통합 모델 설계 | ----- | | | 100% |
| 5 | CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(I) | ----- | | | 100% |
| 6 | 극지용 계측 시스템 기반 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 | | ----- | | 100% |
| 7 | 통합 모니터링 시스템 UI 개발(II) | | ----- | | 100% |
| 8 | 실시간 선체 응답 및 개별 센서 데이터 가시화 UI 개발 | | ----- | | 100% |
| 9 | 계측 데이터 저장 환경 설정 기능 및 UI 개발 | | ----- | | 100% |
| 10 | 피로강도 예측 알고리즘 개발 및 UI 개발(Rainflow counting 기반) | | ----- | | 100% |
| 11 | 리포트 생성 기능 기본 알고리즘 구성 및 개발 | | ----- | | 100% |
| 12 | 데이터 활용을 위한 raw data archive configuration 개발 | | ----- | | 100% |

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--|-------|----------------|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 13 | 통합 모니터링 시스템 검증 | | ----- | | 100% |
| 14 | CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(II) | | ----- | | 100% |
| 15 | 디지털 트윈 시스템 구축 | | ----- | | 100% |
| 16 | 통합 모니터링 시스템 검증 | | | ----- | 100% |
| 17 | 실시간 모니터링 기반 통합 구조 건전성 모니터링 시스템 개발 | | | ----- | 100% |
| 18 | 선급 형식 승인 요구조건 준비 | | | ----- | 100% |
| 19 | 선급 형식 승인(또는 원칙 승인(AIP)) | | | ----- | 100% |

[대우조선해양]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--------------------------------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 문헌 조사 (국내/외 극지 선박 및 해양플랜트 모니터링 시스템) | ----- | | | 100% |
| 2 | 선진 기술력 및 기술동향 분석 | ----- | | | 100% |
| 3 | 극저온 계측 장비 기술 동향 보고서 작성 | ----- | | | 100% |
| 4 | 극한 환경 조건 분석 및 요구 조건 결정 | ----- | | | 100% |
| 5 | 실제 빙 하중 기인 구조 응답 신호로부터 가용 주파수 결정 | ----- | | | 100% |
| 6 | 극한 환경 조건에서도 운용 가능한 계측 장비 선정 | ----- | | | 100% |
| 7 | 빙 기인 구조 응답 신호 계측을 위한 계측 장비 사양 결정 | ----- | | | 100% |
| 8 | 극지용 계측 장비 및 설비 구매 요구 사양서 작성 | ----- | | | 100% |
| 9 | 빙 정보의 DB 구축 | | ----- | | 100% |
| 10 | 신뢰성 분석을 위한 빙 정보의 확률 분포 변수 설정 | | ----- | | 100% |
| 11 | 장/단기 빙정보 추정 기술 개발 및 고도화 | | ----- | | 100% |
| 12 | 빙하중 예측 정밀도 검토 및 정량적 오차율 계산 | | ----- | | 100% |
| 13 | 빙하중 추정 기술 정밀도 향상을 위한 피드백 산출 | | ----- | | 100% |
| 14 | 실측 데이터를 이용한 개발 된 S/W 검증 | | | ----- | 100% |

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|----------------|-------|-----|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 15 | 실증 검증 시험 계획 수립 | | | ----- | 100% |
| 16 | 실증 검증 시험 결과 분석 | | | ----- | 70% |

[퓨처메인]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--|----------------|----------------|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 기술보유 제작사 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 | ----- | | | 100% |
| 2 | H/W 사양 및 요구조건 결정 - 극저온 계측 센서 요구 성능 분석 및 사양 결정) | ----- | | | 100% |
| 3 | 극저온 계측 센서 선정 및 Test | ----- | | | 100% |
| 4 | 계측 데이터 및 장비 응답 에러 대응 시스템 모듈 개발 - 계측 장비 에러 검출 (센서 탈착, 케이블 절단 등 고려) | ----- | | | 100% |
| 5 | 선체응답 계측 시스템 검증 - 극저온 환경 측정 정밀도 검증 | ----- | | | 100% |
| 6 | 센서의 내구성 시험을 위한 시뮬레이터 제작 내구성 성능평가 표준방법 확립 | ----- | | | 100% |
| 7 | Test bed 설계 도면 작성 Test bed 제작 및 평가 | ----- | | | 100% |
| 8 | 데이터 통신 기술개발 최적화 - 계측 신호 선내 통신 최적 방법 개발 | ----- | | | 100% |
| 9 | 시스템 Diagram, Interface 구축 및 Test 환경 구현 | | ----- ----- | | 100% |
| 10 | Test bed 제작 및 극저온 환경 성능시험 | | ----- | | 100% |
| 11 | 극저온 환경에 적합한 센서와 DAQ 구현 극저온 환경에 적합하도록 케이싱 구현 | | ----- | | 100% |
| 12 | 계측 장비 및 센서 안전성 확보 시험 계측 장비 및 센서 극저온 환경시험 및 인증시험 | | ----- | | 100% |
| 13 | 선체응답 계측 시스템 검증 - 극저온 환경 측정 정밀도 검증 | | ----- | | 100% |
| 14 | 데이터 통신을 위한 통합 데이터 통신 프로토콜 펌웨어 개발 | | ----- | | 100% |
| 15 | 데이터 조회 및 데이터 Export 기능 개발 각 기관이 Raw 데이터 활용이 가능하도록 개발 | | ----- | | 100% |
| 16 | 실선 계측을 통한 현장 데이터 분석 및 시스템 평가 통합 계측 운영 프로그램 안전성 평가 | | | ----- | 100% |
| 17 | 저진동 이부 노이즈 구별 필터 성능평가 센서 이상 신호 검출 및 필터링 기술 평가 | | | ----- | 100% |
| 18 | 센서의 고정부 이탈, 케이블의 손상에 따른 이상 신호 검출 평가 | | | ----- | 100% |
| 19 | 센서와 계측기 간의 통신 프로토콜 펌웨어 성능 평가 | | | ----- | 100% |

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--------------------------------------|-------|-----|-------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 20 | 극저온 환경에서 성능 평가를 통해 시스템 문제 도출 및 보완 완료 | | | —— | 100% |
| 21 | 데이터 계측 및 분석의 신뢰성을 위한 펌웨어 보완 완료 | | | —— | 100% |
| 22 | 극저온 구조응답 계측 및 운영 시스템 성능 보완 및 제작 완료 | | | —— | 100% |

[인하대학교]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 빙하중 및 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발 | —— | | | 100% |
| 2 | 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 | —— | | | 100% |
| 3 | 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반) | —— | | | 100% |
| 4 | 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 및 부식 예측 평가 기술 개발 | —— | | | 100% |
| 5 | 빙하중 추정 기법 및 빙기인 피로손상도 평가 관련 문헌 조사 | | —— | | 100% |
| 6 | 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반) | | —— | | 100% |
| 7 | 극지운항 선박의 선체 구조 피로손상도 평가기법 기술 개발 | | —— | | 100% |
| 8 | 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 | | —— | | 100% |
| 9 | 선체 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발 | | | —— | 100% |
| 10 | 장기 피로손상도 예측 기술 개발 | | | —— | 100% |
| 16 | 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발 (선박) | | | —— | 100% |

[서울대학교]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--|-------------|-------------|-----|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 | —— | | | 100% |
| 2 | 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발 | —— | | | 100% |
| 3 | 환경하중 관련 계측된 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 | —— | | | 100% |
| 4 | 위성데이터 기반으로 예측된 빙 정보에 대한 충돌 해석 기반 빙하중 추정 기술 개발 (해양구조물 충돌 부위 모델링 포함) | | —— | | 100% |
| 5 | 구조 응답에 기반한 외부 빙하중 추정 기술 개발(수치 데이터 이용) | | —— | | 100% |

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|---|-------|----------------|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 6 | 위성 및 직접 계측 빙하중과의 비교 분석 | | ----- | | 100% |
| 7 | 추정 빙하중 비교 분석 및 정밀도 향상 | | ----- | | 100% |
| 8 | 피로 취약부위 스펙트랄 피로해석 수행 | | ----- | | 100% |
| 9 | 극지운영 해양구조물의 구조해석법 정립 및 빙충돌 시뮬레이션 결과와 비교 | | ----- | | 100% |
| 10 | 극지운영 해양구조물의 국부구조(Column) 피로손상도 평가기법 기술 개발 | | ----- | | 100% |
| 11 | 환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로 손상도 예측 기술 개발 | | ----- | | 100% |
| 12 | 해양구조물 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발 | | | ----- | 100% |
| 13 | 예측된 빙하중(위성 계측 기반) 기반 해양구조물 구조응답 예측 기술 개발 | | | ----- | 100% |
| 14 | 빙하중 관련 계측 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 | | | ----- | 100% |
| 15 | 환경하중 및 빙하중 계측 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증 | | | ----- | 100% |
| 16 | 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(해양구조물) | | | ----- | 100% |
| 17 | 빙하중에 기인 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발 | | | ----- | 100% |

[인하공업전문대학]

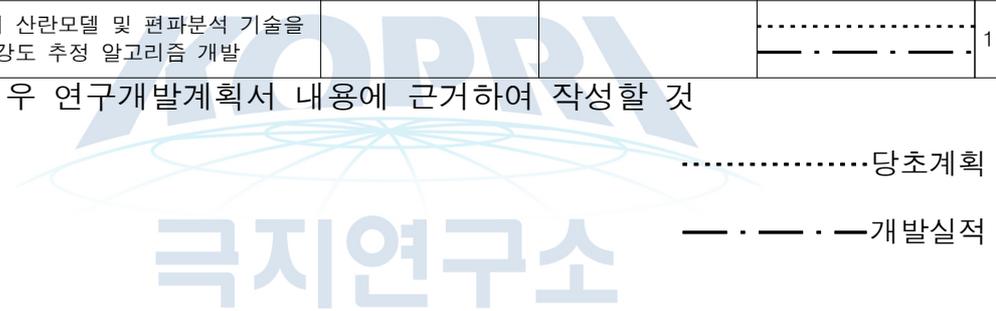
| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|---|----------------|----------------|----------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 | ----- | | | 100% |
| 2 | 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 계측 기반) | ----- | | | 100% |
| 3 | 빙하중 비교 분석 및 보정 기술 개발 | | ----- | | 100% |
| 4 | 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 계측 기반) | | ----- | | 100% |
| 5 | 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 | | ----- | | 100% |
| 6 | 극지운항 선박의 구조해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교 | | ----- | | 100% |
| 7 | 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 | | ----- | | 100% |
| 8 | 빙하중 및 환경 하중 분포 예측 | | ----- | | 100% |
| 9 | (위성데이터 조사 및 분석 결과 활용) 실패역 데이터 비교를 통한 빙하중 추정 기법 검증 | | | ----- | 100% |
| 10 | 빙하중 예측 정밀도 개선 | | | ----- | 100% |

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|--|-------|-----|--------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 11 | Sea Ice 시계열 예측 기법 개발 | | | ——— | 100% |
| 12 | 위성 자료 기반 해빙 특성 추정 시스템의 디지털 트윈 연계 기술 지원 | | | ——— | 100% |
| 13 | 위성 자료 기반 빙하중 예측 시스템의 디지털 트윈 연계 기술 지원 | | | ——— | 100% |

[극지연구소]

| 일련 번호 | 개발 내용 | 추진 일정 | | | 달성도 (%) |
|----------|---|--------------|--------------|--------------|------------|
| | | 1년차 | 2년차 | 3년차 | |
| 1 | 저해상도 해빙농도 위성자료 확보/분석 | ——— | | | 100% |
| 2 | 고해상도 위성정보를 이용한 위성정보 정밀도 검정 | ——— | | | 100% |
| 3 | 정밀 해빙정보 알고리즘 개발 | ——— | | | 100% |
| 4 | 고해상도 영상레이더 기반 해빙 유형 자동 분류 기술 개발 | | ——— | | 100% |
| 5 | 다중편파 영상레이더 산란모델 및 편파분석 기술을 활용한 해빙 강도 추정 알고리즘 개발 | | | ——— | 100% |

※ 개발내용의 경우 연구개발계획서 내용에 근거하여 작성할 것



2-2. 연구개발기간 추진 실적 및 추진 내용

< 연구개발성과 성능 목표 및 실적 >

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목 에서 차지하 는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/) | 연구개 발 전 국내수 준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험) 인증기준 | 기준 실정근거 | 평가 방법 | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-----------------------|----------------|------------|-----------------------|------------------------------------|---|
| | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | | |
| 위성 데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 | 해빙유형 분포 관측 및 분석 | 1. 해빙 특성 자 료(극지연) | 건 | 4 | 미국/NSIDC (80/80) | 주1회 | 40 | 52 | 52 | 40 | 52 | 52 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 ¹⁾ |
| | | 2. 해빙 유형 분 류 산출물(극 지연) | 건 | 4 | 미국/NIC (50/50) | 사례 없음 | 9 | 12 | 12 | 9 | 12 | 12 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 |
| | 3. 해빙강도 추정 산출물(극 지연) | 건 | 4 | 사례없음 | 사례 없음 | | 6 | 12 | | 6 | 12 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 | |
| | 4. 해빙 미래 상태 예측 빙 유형 분류(극지연) | 건 | 4 | 러시아/AARI (30/30) | 사례 없음 | | 2 | 6 | | 0 | 12 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 | |
| | 5. 해빙하중 추정 오차율(인 하공전, DSME) ²⁾ | % | 10 | 러시아/AARI (60/60) | 사례 없음 | 50 | 30 | 10 | 54.5 | 7.99 (2차년도 기달성) | 4.81 | - | ISO - 199 06 | 전문가 평가 또는 학회 주최 및 프로시딩 제출 | |
| 빙하중 추정 구조응답 오차율 | 6. 극지운영 해양구조물 구 조응답 오차율(서울대) | % | 7 | - | 사례 없음 | | | 10 | | | 9.4 | - | - | 전문가 평가 | |
| | 7. 극지운항 선박 구조응답 오차율(인하대) | % | 7 | 노르웨이/NT NU (10/10) | 사례 없음 | 40 | 20 | 10 | 40 | 7 (2차년도 기달성) | - | - | - | 전문가 평가 | |
| 극저온 계측시스템 | 8. 계측센서 정확도(퓨처메 인) | % | 7 | 노르웨이GMC Maritime | 사례 없음 | | 70 | 90 | | 86.00 | 99.00 | - | - | 전문가 평가 | |
| | 9. 무선통신 정확도(퓨처메 인) | % | 5 | 스페인 Libelium | 사례 없음 | | 70 | 90 | | 79.15 | 96.96 | - | - | 전문가 평가 | |
| | 10. 시스템 운용 S/W 검증 (퓨처메인) | 건 | 8 | 미국 National Instruments | 사례 없음 | | 1 (사양 서) | 1 | | 1 (사양 서) | 1 | - | - | 공인시험확인 (인증)서 | |
| | 11. 극저온계측시스템 특허 출원(퓨처메인) | 건 | 10 | 노르웨이/Ligh t Structures | 사례 없음 | | 1 (국내 특허) | 1 (PCT) | | 1 (국내 특허) | 1 (PCT) | - | - | 특허 출원서 | |
| 극지운항 선 박 구조 평 가 기술 | 12. 선체 포면 마모 시험 (인하대) | 건 | 5 | 러시아/FEFU (60/60) | 사례 없음 | | | 1 | | | 1 | - | - | 전문가 평가 | |
| | 13. 선체 피로 잔여 수명 및 파손 평가(인하대) | 건 | 5 | 노르웨이/NM TNU(50/50) | 사례 없음 | | | 1 | | | 1 | - | - | 전문가 평가 | |
| 14. 통합 모니터링 시스템(한국선급) | | 건 | 10 | 노르웨이/Fire co (50/50) | 30 | 1 (데이터 가시화) | 1 (UI개발 완료) | 1 (인증) | 1 (데이터 가시화) | 1 (UI개발 완료) | 1 (인증) | - | - | 공인시험확인 (인증)서 | |
| 디지털 트윈 기반 관리 시스템 개발 | 15. 디지털 트윈 모델 구축 (한국선급) | 건 | 8 | 모나코/VSHIP (30/30) | 10 | 1 (요구사 항명세) | | | 1 (요구사 항명세) | | | | | 전문가 평가 | |
| | 16. ISP 요구 기능(한국선 급) | % | 2 | 모나코/VSHIP (30/30) | 10 | | 50 | 100 | | 50 | 100 | - | | 전문가 평가 | |

[주관연구개발기관명 : 한국선급]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목에서 차지하는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/보유기업 (/) | 연구개발 전 국내수준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험)인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 |
|----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------|----------------|----------------|-----------|----------------|----------------|-----------|------------|---------|--------------|
| | | | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | | | |
| 1. 통합 모니터링 시스템(한국선급) | 건 | 10 | 노르웨이/Fireco (50/50) | 30 | 1 (데이터 가시화) | 1 (UI개발 완료) | 1 (인증) | 1 (데이터 가시화) | 1 (UI개발 완료) | 1 (인증) | - | - | 공인시험확인 (인증)서 |
| 디지털 트윈 기반 관리 시스템 개발 | 2. 디지털 트윈 모델 구축 (한국선급) | 건 | 모나코/VSHIP (30/30) | 10 | 1 (요구사항 명세) | | | 1 (요구사항 명세) | | | | | 전문가 평가 |
| | 3. ISP 요구 기능(한국선급) | % | 모나코/VSHIP (30/30) | 10 | | 50 | 100 | | 50 | 100 | - | | 전문가 평가 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|------------------------------------|------|------------------|--|
| 1 | 통합모니터링시스템 | 1차년도 | 자체 평가 (개발 기관) | 퓨처메인에서 개발한 통합 계측 시스템에 의하여 데이터를 수신하고 본 모니터링 시스템에 실시간 구조 응답을 구현함. 또한 선박/해양구조물의 피로손상도를 예측하는 시스템을 구현 |
| | | 2차년도 | 자체 평가 (참여 기관) | |
| | | 3차년도 | 공인시험 확인서 | |
| 2 | (디지털 트윈 기반 관리 시스템 개발) 디지털 트윈 모델 구축 | 1차년도 | 전문가 평가 | 3차원 디지털 트윈 모델을 구현하기 위한 3D 모델링을 수행하고 디지털 트윈 모델 요구사항에 적합하지 검토 |
| 3 | (디지털 트윈 기반 관리 시스템 개발) ISP 요구 기능 | 2차년도 | 전문가 평가 (ISP 50) | 디지털 트윈 시스템의 요구 사항 항목에 대한 구현률을 검증하고 관련 전문가(프로그램, 선박, 구조분야 등) 평가를 통한 개발시스템의 파일럿 및 실선 적용 평가 |
| | | 3차년도 | 전문가 평가 (ISP 100) | |

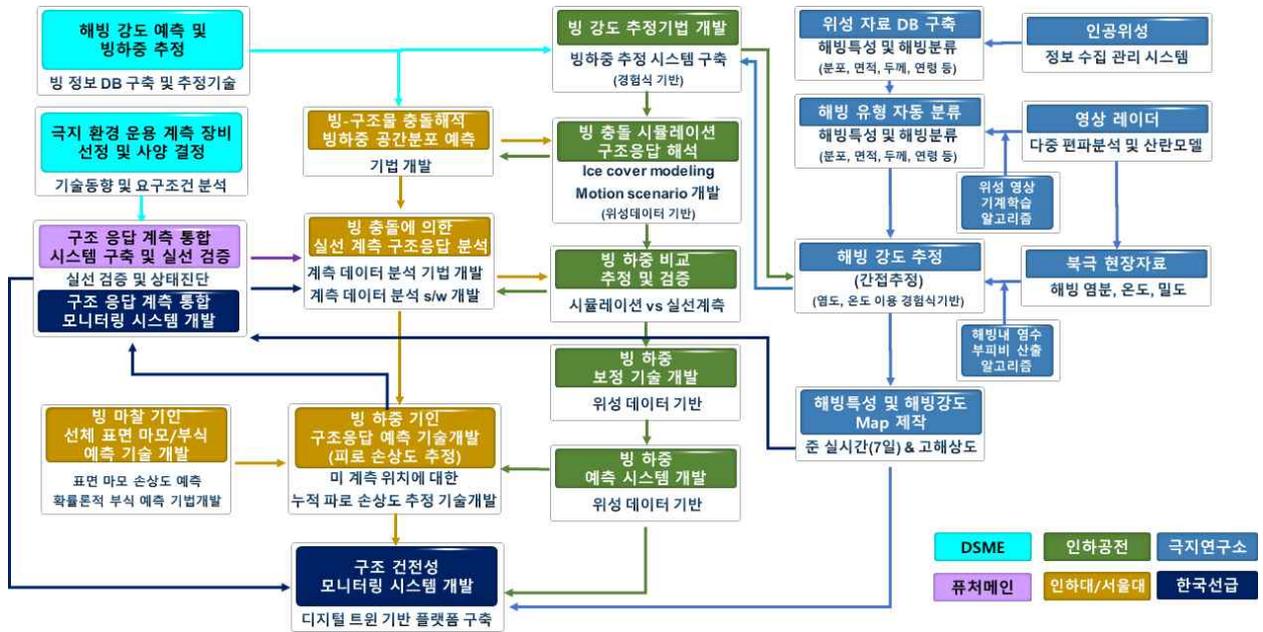
○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 각 참여기관 연구결과 상관관계 분석 및 통합 모니터링 시스템 Interface 분석
- 통합 모니터링 시스템 UI 개발(1)
- 디지털 트윈 모델 시스템 분석 및 요구 사항 분석
- 디지털 트윈 정보교환 통합 모델 설계
- CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(1)

- (추진 실적)

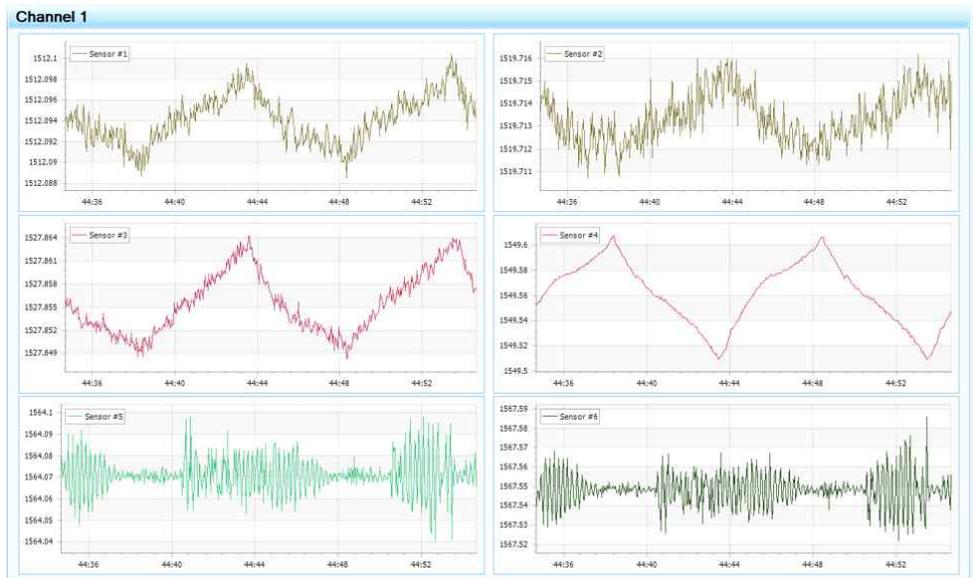
- 전체 참여기관 연구결과 연계 방안 및 구조 건전성 모니터링 시스템 개발 Interface 분석



- 계측장비에서 출력하는 각종 센서의 데이터를 의미 있는 물리량으로 가공하여 시각적으로 표현하기 위한 데이터 확인 UI개발을 목적으로 함
- 사용자에게 보여줄 데이터는 센서의 원시 데이터, 원시데이터를 가공한 물리량, 응력 데이터를 누적한 fatigue 데이터, 통계데이터임
- 각각의 데이터 성격에 맞는 UI로 효율적으로 데이터를 전달할 수 있는 시스템 개발을 최종 목표로 함

(1) Raw data 가시화

- 센서에서 출력하는 가공되지 않은 데이터를 확인하기 위하여, DAQ 또는 실시간데이터를 제공하는 서비스로부터 받은 데이터를 가시화함. 범용적인 광학 센서 DAQ에서 출력하는 데이터를 기반으로 원시데이터를 가시화 하는 UI를 개발함

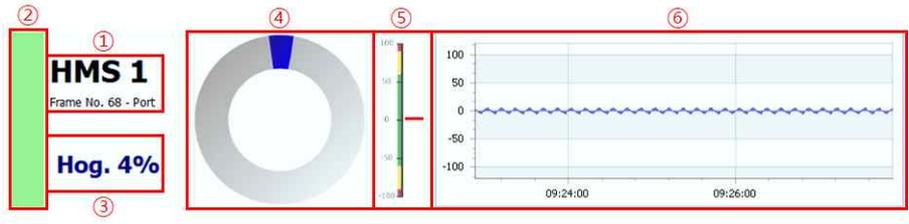


< 실시간 취득데이터 출력 UI - 센서 별 시계열 그래프 >

(2) Sensor data 가시화

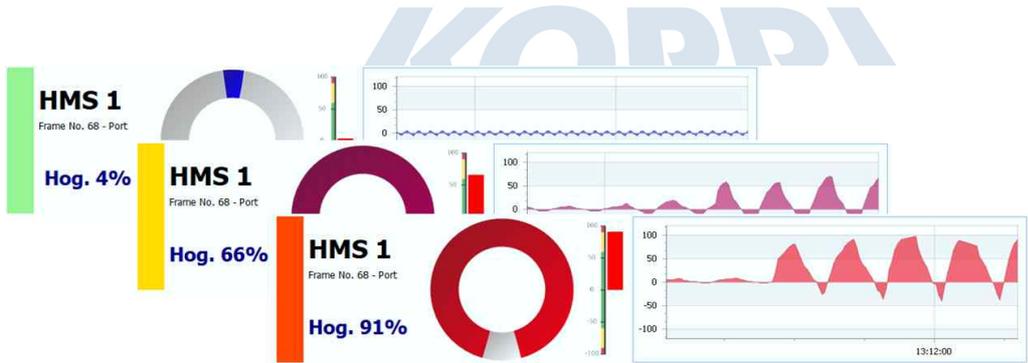
- 취득한 원시데이터는 적절한 가공을 하여 센서에서 측정한 물리량으로 표현함.

원시데이터를 물리량으로 가공하는 수식은 센서의 제조사에서 캘리브레이션 시트 또는 데이터 시트를 제공하며, 이 데이터를 이용하여 실시간으로 물리량을 계산하여 아래 UI로 표현함

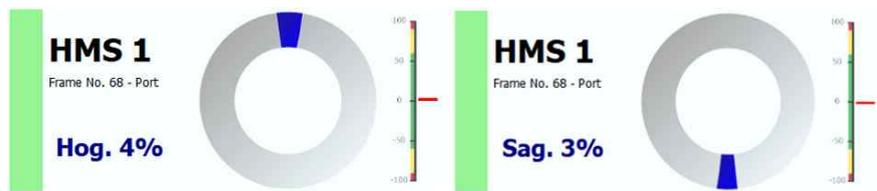


< Hull girder bending moment 센서 출력 UI >

- ① 센서 이름 : 센서의 이름과 간략한 위치를 표현함
- ② 센서 상태표시 : Allowable bending moment 대비 현재 bending moment를 색상으로 표현함
- 0% ~ 60% : 연두색, 60% ~ 90% : 노란색, 90% ~ 100% : 빨간색
- ③ Allowable bending moment 대비 현재 bending moment를 hogging, sagging으로 구분하여 표시함.
- ④ 원형그래프 : Hogging시, 12시 방향부터 포션이 늘어나고, sagging시 6시 방향부터 포션이 늘어난다.
- ⑤ 막대그래프 : Hogging시 (+) 방향, sagging시 (-) 방향으로 표현함
- ⑥ History : 지난 5분 동안의 기록을 표시함.



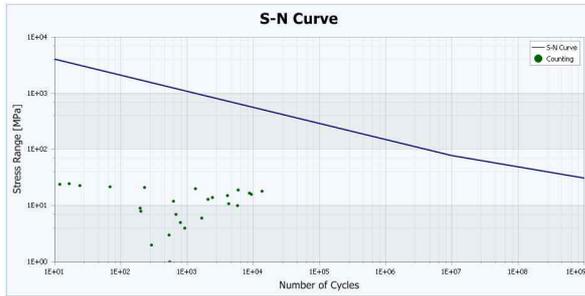
[그림] Bending moment 범위별 색상표현



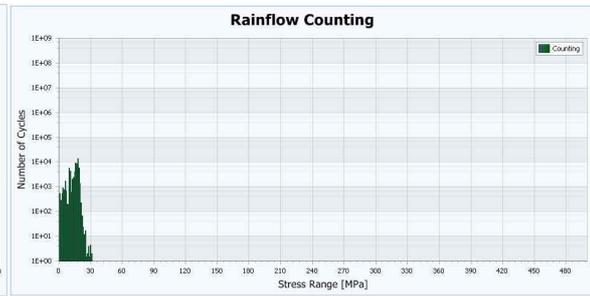
< Hogging, Sagging 시 그래프 표현 >

(3) Fatigue data 가시화

- Strain 센서의 경우 계산된 스트레스를 누적하여 일정 주기로 rain-flow counting을 수행하고, 누적데이터를 다음 UI에 표시함



< Fatigue data - S-N Curve >



< Fatigue data - Rain-flow Counting >

(4) 통계데이터 가시화

- 시스템에 설치된 센서 별로 일정시간마다 통계데이터 계산을 하고, 그 데이터를 아래 UI에 표시함



< 통계데이터 표현 UI >

- Data table : 선체에 설치된 주요 센서들의 최근 5분 동안의 통계데이터를 표시한다.
- Timeline : ①에서 선택한 센서의 주요 통계항목을 24시간 동안 누적하여 표현한다. ①에서 Ctrl 키를 누른 상태로 복수개의 센서를 선택하여 비교할 수 있다.
- 범례 : 원하는 데이터 이름을 클릭하여 선별하여 볼 수 있다.

- 디지털 트윈 기반 통합 구조건전성 관리시스템 요구사항 명세서 개발
- 디지털 트윈 기반 운영 플랫폼
 - CAD Assistant 활용 3D F.E Model 기반 운용 시스템
 - 실시간 선체 구조응답 모니터링 기반 누적 피로 손상도 가시화 Interface
 - 실시간 선체 구조응답 모니터링 기반 센서 미 계측 위치 장기 피로 손상도 예측 알고리즘 Interface
 - 운용 시스템 정보 교환 통합 모델 기반 3D 모델 정보 Interface
- 디지털 트윈 기반 관리 플랫폼
 - 운영 플랫폼 기반 사용자 의사결정 지원 Interface
 - 사용자 운용 매뉴얼 및 유지보수 정보 제공

◦ 계층구조를 갖는 선체구조정보 DB

| | | | | | | | |
|---|--------------|---|-----|----------------|---|-------|------------|
| 2 | Bulk Carrier | | | | | | |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | | | |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |
| 2 | Bulk Carrier | ₩ | 2.1 | Hull Structure | ₩ | 2.1.1 | Upper Deck |

| | | | | | | | |
|---|---------|--|--|---------------------------|---|-----------|------------------------------------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| ₩ | 2.1.1.1 | | | Deck Stringer Plate | | | |
| ₩ | 2.1.1.1 | | | Deck Stringer Plate | ₩ | 2.1.1.1.1 | General(Deck Stringer Plate) |
| ₩ | 2.1.1.2 | | | Deck Strake Plate | | | |
| ₩ | 2.1.1.2 | | | Deck Strake Plate | ₩ | 2.1.1.2.1 | General(Deck Strake Plate) |
| ₩ | 2.1.1.3 | | | Deck Longitudinal(Web) | | | |
| ₩ | 2.1.1.3 | | | Deck Longitudinal(Web) | ₩ | 2.1.1.3.1 | General(Deck Longitudinal(Web)) |
| ₩ | 2.1.1.4 | | | Deck Longitudinal(Flange) | | | |
| ₩ | 2.1.1.4 | | | Deck Longitudinal(Flange) | ₩ | 2.1.1.4.1 | General(Deck Longitudinal(Flange)) |

< 계층 구조의 DB >

◦ 최신 기술 동향을 고려하여 개발 방향을 CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 결정 및 개발 진행

| | CAD-Assistant | SeaTrust-SLM |
|-------------------|--|---|
| 지원 운영체제 | Windows 7, 10, Android, iOS | Windows 7 |
| 지원가능 CAD포맷 | STEP, IGES, gITF, XBF, BREP, OBJ, VRML, BDF(개발중), OCX(개발중) | IGES, BREP, STEP, EzStruct |
| 주요 기능 | 사용자 의사 결정 지원을 위한 3D 모델 Viewer/Controller | 정보 관리를 위한 통합 지원 플랫폼 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> •다양한 운영체제와 CAD포맷을 지원함. •Dynamic한 User friendly GUI. •최신 그래픽 라이브러리(OCC v.7이상) •높은 확장성(3D 모델 뷰어) •KR On-going Project(3D설계승인시스템)의플랫폼 | <ul style="list-style-type: none"> •통합지원체계(Hull, Machinery, 문서, 선용품등) •선사 또는 검사원 관리 방법 노하우 적용 •유저 권한 기반 정보 관리 •다양한 DB 축적 가능(사진, 레포트) •다양한 기능 기 개발 완료 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> •QT based 플랫폼 사용으로 개발 경험 부족. •최신 그래픽 라이브러리개발 경험 부족. | <ul style="list-style-type: none"> •유지 보수 중단(2015년 이후, 경영층 지시 사항) •현재 구동 안됨.(라이브러리 및 개발 환경등의 사유) •노후 그래픽 라이브러리(OCC v.6) |
| 향후 발전 가능성 | C# Framework Based Program으로전환 (타 3D 모델 기반 SW로의 확장성을 위함.) | 노후 라이브러리(그래픽, 레포트등) 교체 필요. |
| 결론 | O | X |

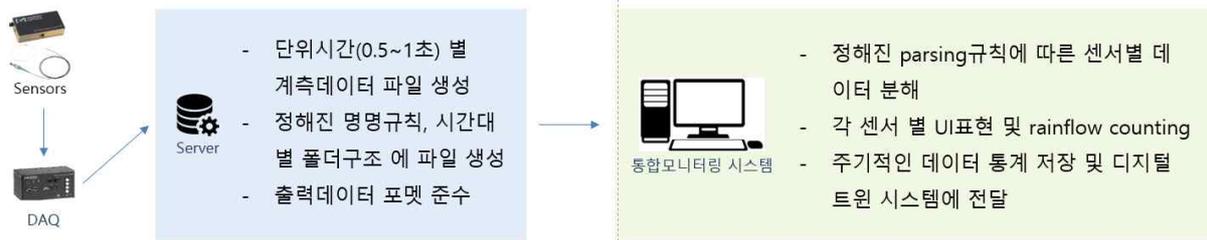
○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 극지용 계측 시스템 기반 통합 모니터링 시스템 Interface 분석
- 통합 모니터링 시스템 UI 개발(II)
- 실시간 선체 응답 및 개별 센서 데이터 가시화 UI 개발
- 계측 데이터 저장 환경 설정 기능 및 UI 개발
- 피로강도 예측 알고리즘 개발 및 UI 개발(Rainflow counting 기반)
- 리포트 생성 기능 기본 알고리즘 구성 및 개발
- 데이터 활용을 위한 raw data archive configuration 개발
- 통합 모니터링 시스템 검증
- CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(II)
- 디지털 트윈 시스템 구축

- (추진 실적)

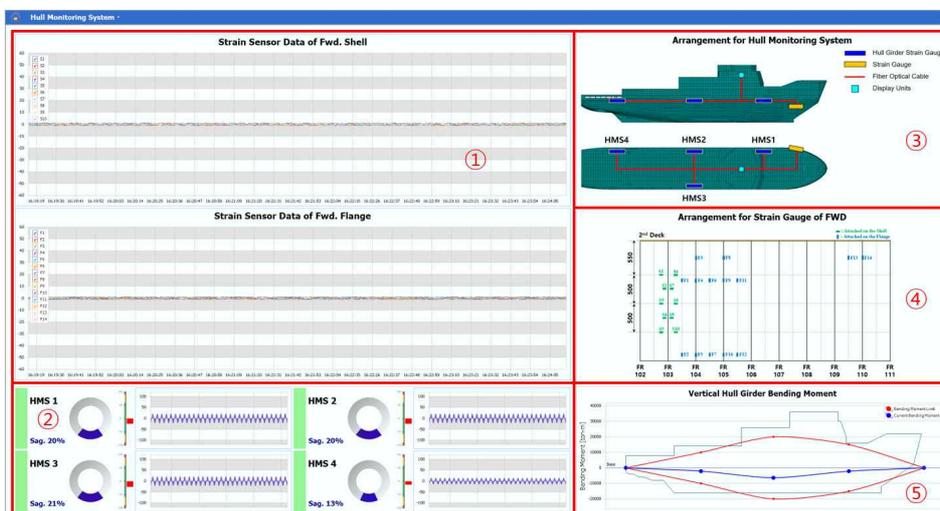
- 극지용 계측 시스템 기반 통합 모니터링 시스템 Interface를 위하여 데이터 계측 연구기관인 퓨처메인과 데이터 출력방식에 대한 협의를 완료하였으며, 추가로 출력 파일이름에 대한 명명 규칙 및 출력 데이터의 포맷에 대한 협의 완료



< 계측시스템 - 모니터링 시스템 Interface 구성 >

- 통합모니터링 시스템의 경우 빙하충을 받는 선수부에 약 20개의 센서의 응답을 실시간 확인 할 수 있는 UI를 아래와 같이 개발하였으며, 센서 각각의 통계량을 확인할 수 있는 UI를 개발함

· 메인 화면구성



- ① Strain Monitoring : 선수부에 해빙이 출동할 것으로 예상되는 곳에 설치된 strain gauge의 데이터를 실시간으로 표시함. Shell에 설치된 센서와 Flange에 설치된 센서의 데이터를 독립적으로 표현함. 지난 5분간의 데이터를 누적하여 표시함
- ② Hull Monitoring : Allowable bending moment 대비 현재 bending moment를 hogging, sagging으로 구분하여 표시함
- ③ 전체 시스템 구성과 설치된 센서의 위치를 표시함
- ④ 선수부에 설치된 센서의 위치를 자세하게 표시함
- ⑤ Vertical Hull Girder Bending Moment : 현재 선체에 작용하고 있는 굽힘 응력을 센서가 설치된 위치의 값으로 보간 하여 표시함. 같은 프레임의 좌현, 우현에 설치된 경우 두 센서에서 측정된 값의 평균을 표시함

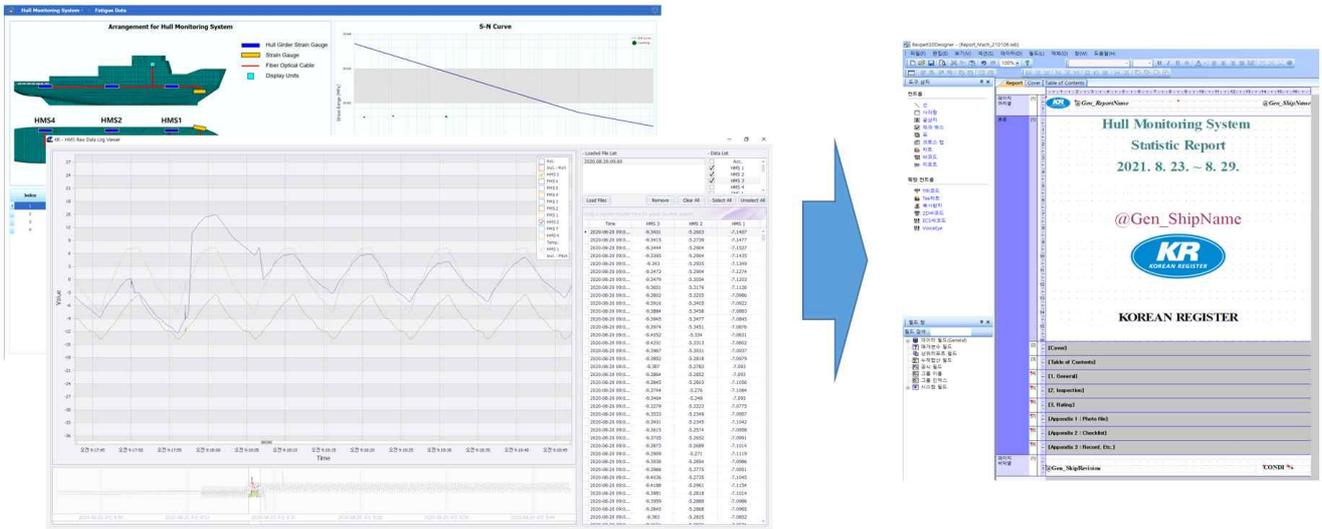
▪ Strain Monitoring



✓ 메인화면에 표현한 strain gauge의 데이터를 자세하게 모니터링 할 수 있는 화면으로, 좌측에는 Shell에 부착된 센서, 우측에는 Flange에 부착된 센서의 데이터를 표현함.

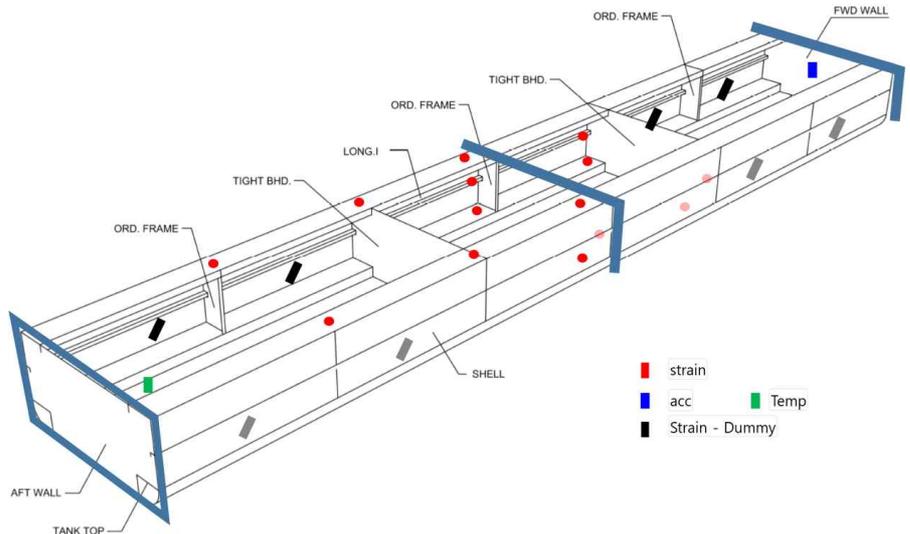
- ① Data table : 설치된 센서들의 최근 5분 동안의 통계데이터를 표시함
- ② Real-time Chart : 센서 각각의 데이터를 실시간으로 표현함. 지난 5분간의 데이터를 누적하여 표시함

리포트 생성모듈 개발

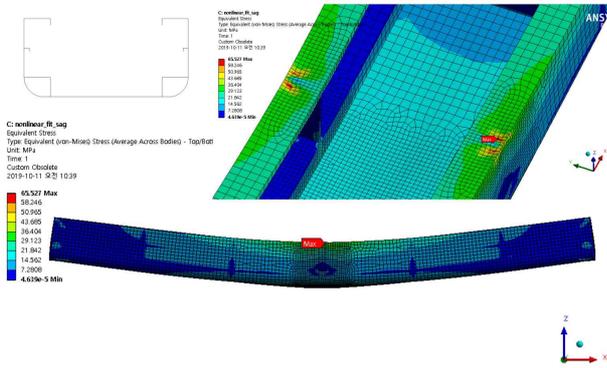


✓ 프로그램에서 정기적으로 생성되는 센서별 각종 통계데이터를 자동으로 리포트로 생성하는 기본모듈 개발 완료

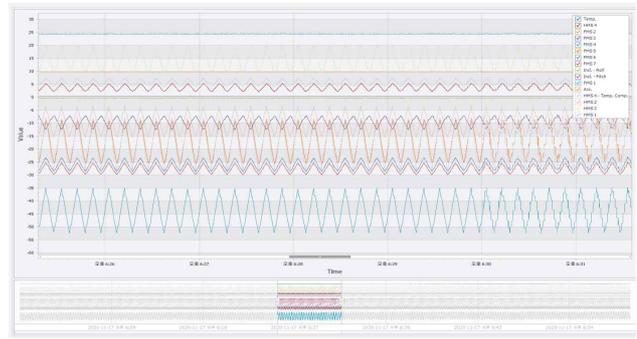
- 통합 모니터링 시스템에 대한 검증을 위하여 선박의 6자유도 운동을 모사할 수 있는 Test Bed를 구축하여 모니터링 시스템에 대한 검증을 수행하였으며, 검증 결과 계측된 데이터가 손실 없이 모니터링 되는 것을 확인함



< TEST BED 전경 및 Test 센서 부착 위치 >

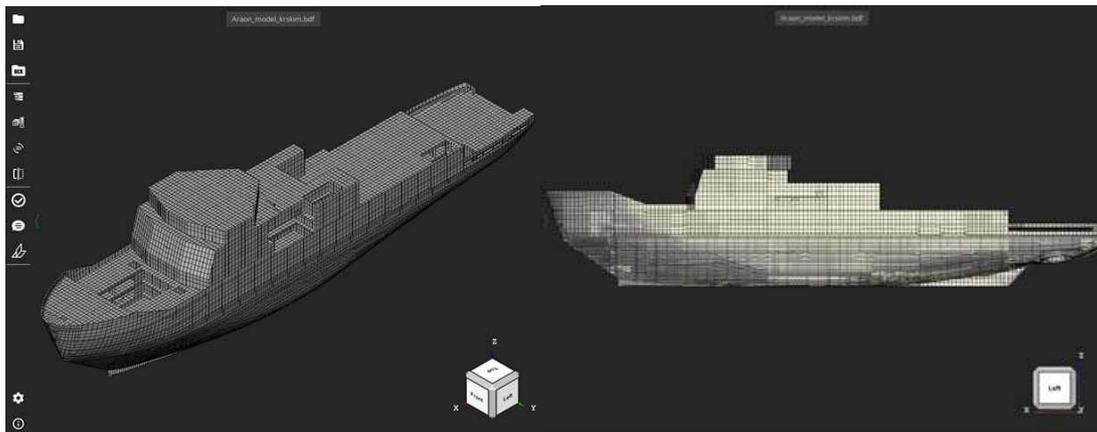


< TEST BED 거동 모사를 위한 유한요소 해석 >



< 계측 데이터 출력 >

- 당초 3D 디지털 트윈 기반 구조 건전성 관리 시스템은 한국선급의 SLM(Ship Life-cycle Management) 소프트웨어를 기반으로 개발하려고 하였으나, 해당 소프트웨어가 노후화로 인하여 최신 기술로 개발된 경량 3D Viewer(S/W 명칭: CAD Assistant) 기반으로 개발하도록 방향을 선회함
- 본 경량 3D Viewer는 디스플레이 모드 변경, 모델 계층 구조 표현, 클리핑(Clipping), Visibility 변경, View Box, Data Exchange 등 최신 기술 및 UI로 구성되어 있으므로, 사용자의 사용성 및 편의성 등에서도 매우 이점이 있을 것으로 기대되며, 한국선급에서 최근 계속 개발하고 있으므로 개발이나 유지보수 측면에서도 효율이 향상될 수 있음
- 본 연구의 대상 선박은 아라온 쇄빙선이므로 3D 디지털 트윈 기반 구조 건전성 관리 시스템에서도 아라온 쇄빙선의 디지털 트윈 모델을 구축함. Mesh 기반 알고리즘을 통하여 센서 비부착 위치의 값들이 예측하기 때문에 본 디지털 트윈도 Mesh 모델을 시스템에 탑재함



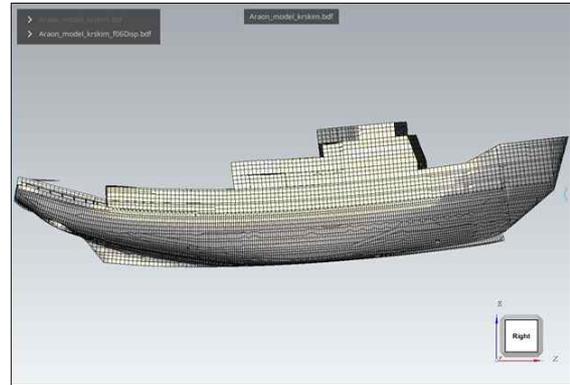
< 경량 3D Viewer 기반 구조 건전성 관리 시스템의 3D 디지털 트윈 모델 가시화 >

- 3D 디지털 트윈 기반 구조 건전성 관리 시스템에 대한 정보교환 표준 프로토콜에 대한 설계를 완료하였으며, 표준데이터 구조 기반 3D 모델 정보 인터페이스 개발을 완료함
- Mesh 기반 디지털 트윈 모델의 정보 교환 표준 프로토콜을 위하여 Nastran BDF Format을 활용하고, 이의 인터페이스가 개발되었음. 추가적으로 Displacement,

Stress 등 정보 교환의 요소 기술 개발을 위하여 Nastran F06 Format 인터페이스 도 동반하여 개발함

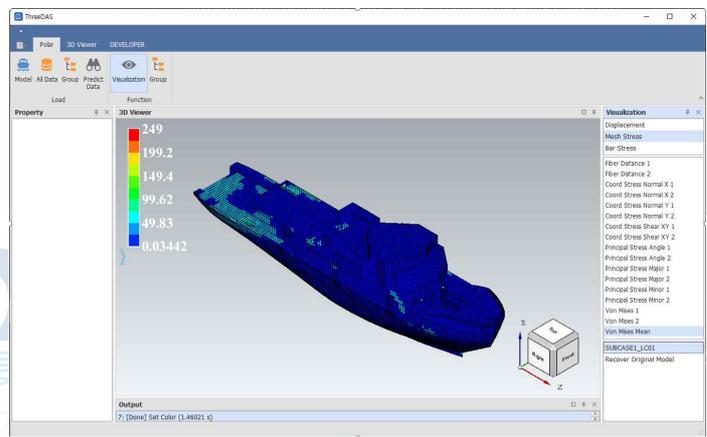
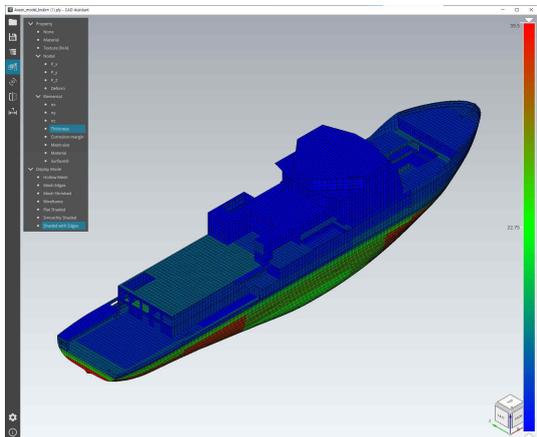
```
public class F06StressQuadTria
{
    double fiberDistance1;
    double fiberDistance2;
    double coordStressNormalX1;
    double coordStressNormalX2;
    double coordStressNormalY1;
    double coordStressNormalY2;
    double coordStressShearXY1;
    double coordStressShearXY2;
    double principalStressAngle1;
    double principalStressAngle2;
    double principalStressMajor1;
    double principalStressMajor2;
    double principalStressMinor1;
    double principalStressMinor2;
    double principalStressVonMises1;
    double principalStressVonMises2;
}

public class F06StressBar
{
    double SA1, SA2, SA3, SA4, SA_Max, SA_Min;
    double SB1, SB2, SB3, SB4, SB_Max, SB_Min;
    double axialStress;
}
```



< F06 Stress 전용 프로그래밍 Class 구조 >

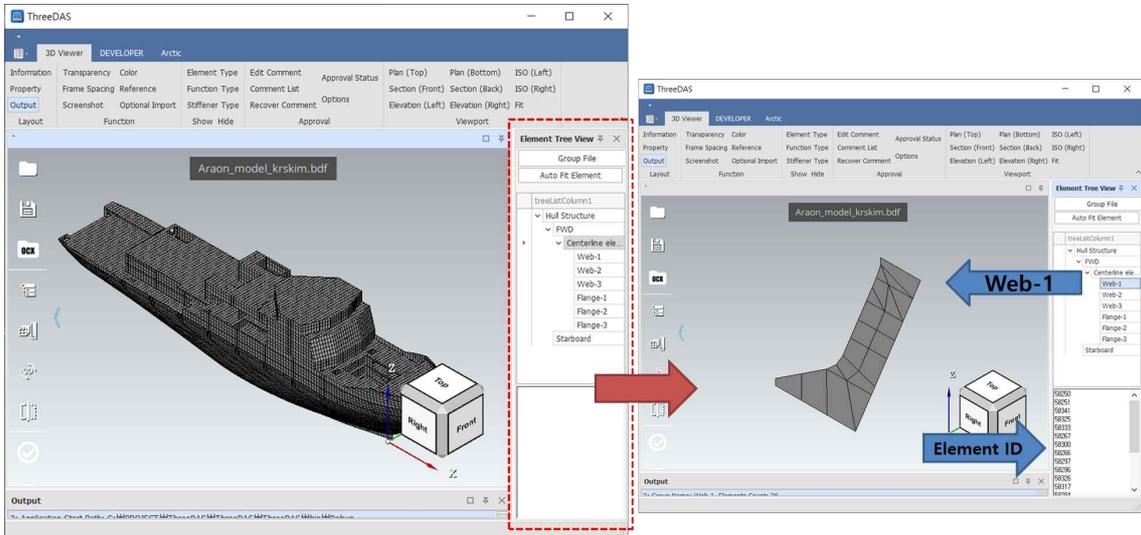
< Displacement 인터페이스 및 가시화 >



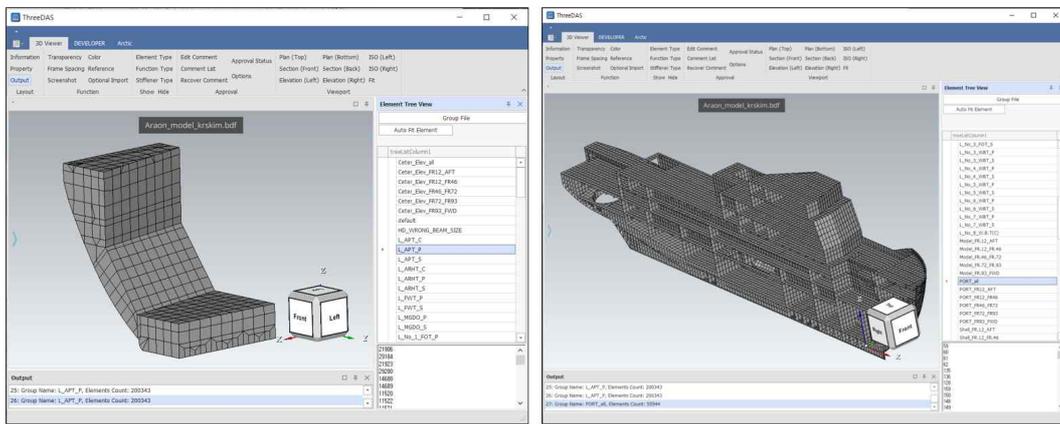
< Thickness 인터페이스 및 색상 가시화 >

< Stress 인터페이스 및 색상 가시화 >

- 선체 구조 부재 단위 그룹 모델 구축을 위하여 표준 형식의 정보 교환 모델을 설계하였으며, 이는 범용적 활용을 위하여 XML 기반으로 개발되었음. 추가적으로 선체 구조 부재 단위 데이터베이스를 구축하였으며, 이에 사용자가 원하는 구조 부재만 선택적으로 관찰할 수 있도록 하여 사용자 활용성을 높임
- XML 기반뿐만 아니라 추가적으로 Text 기반 포맷도 구축하여 더욱더 데이터 활용성을 높였으며, 부가적으로 Nastran SES Format 인터페이스도 동반 개발되었음. 해당 Text Format, SES 데이터는 XML Format으로의 변환 기능도 개발함



< 소프트웨어의 부재 그룹의 선택 가시화 기능 >



< 특정 부재 그룹인 “L_ATPT”, “Port” 선택적 가시화 >

극지연구소

○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 통합 모니터링 시스템 검증
- 실시간 모니터링 기반 통합 구조 건전성 모니터링 시스템 개발
- 선급 형식 승인 요구조건 준비
- 선급 형식 승인

- (추진 실적)

- 통합 모니터링 시스템 국내 유일 쇄빙연구선 ARAON 탑재 및 실증
- 데이터 수신 및 실시간 계측 시스템 검증



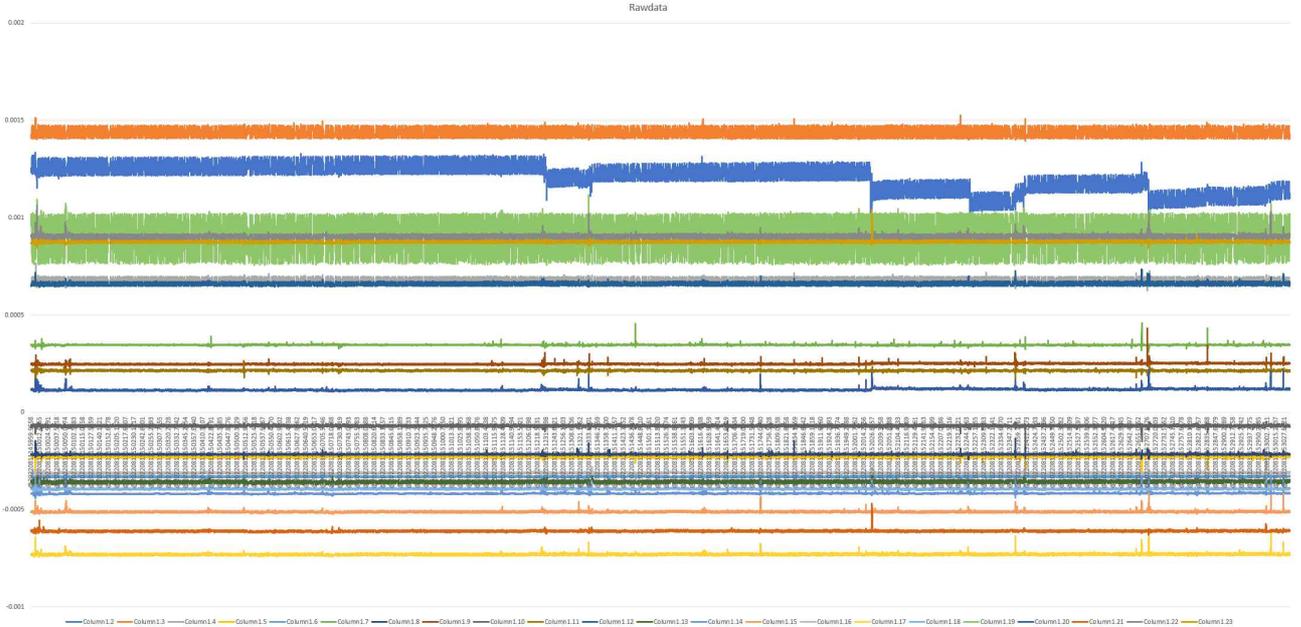
< 아라온 전경 >



< 계측 센서 설치 전경 >



< 통합 모니터링 시스템 아라온 탑재 실증 전경(아라온 Thrust Room) >



< 아라온호 운항 중 취득한 데이터 >

MR-Hull Monitoring System for Ships Operating in Polar Waters 1.000

Hull Monitoring System - Optimal Route Estimation

Optimal Route Estimation

Input

Ice Information File
 - Ice Info. File Path : D:\Wice_info.csv
 - I-RES File Path : D:\Whims_copy.res

Waypoint
 - Latitude :
 - Longitude :

| Index | Latitude | Longitude |
|-------|----------|-----------|
| 1 | 115.0000 | 185.0000 |
| 2 | 124.0000 | 100.0000 |
| 3 | 134.0000 | 92.0000 |

I-RES Optimal Route Estimation

Result Route

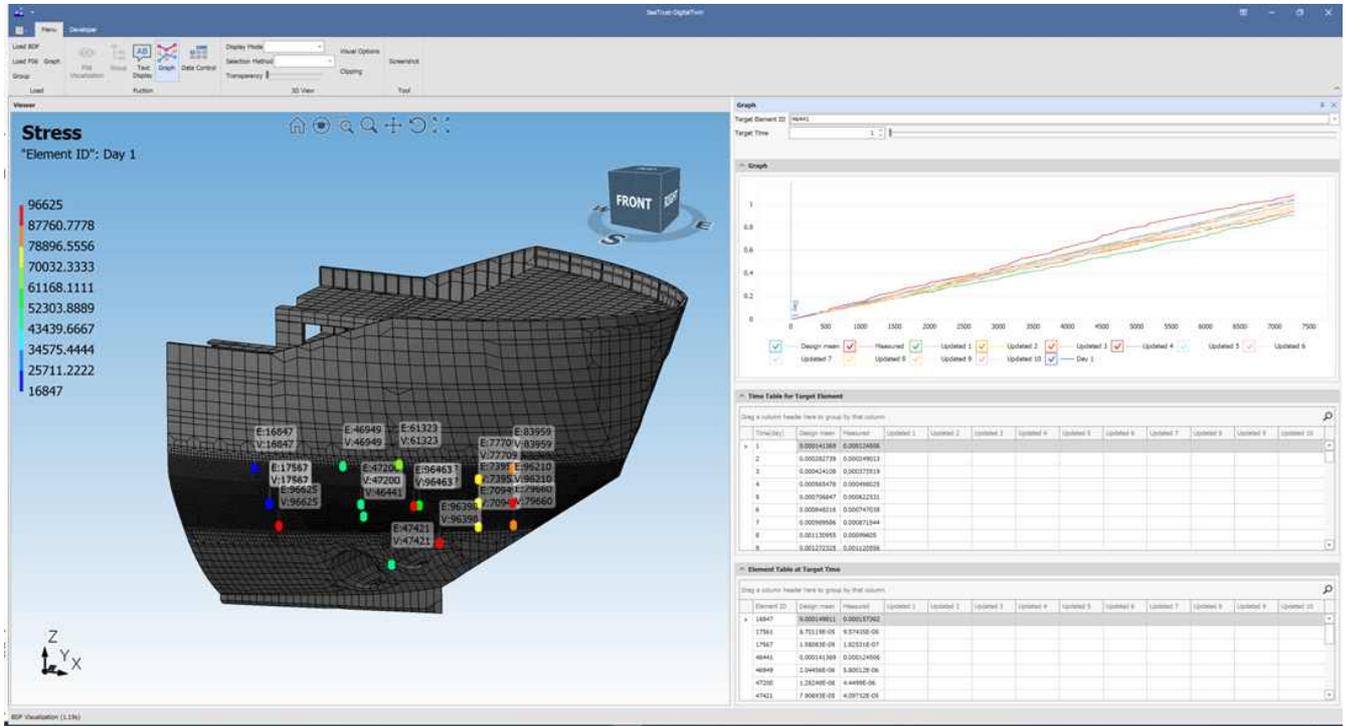
| Index | Latitude | Longitude |
|-------|----------|-----------|
| 1-1 | 115.0000 | 185.0000 |
| 1-2 | 116.0000 | 184.0000 |
| 1-3 | 117.0000 | 183.0000 |
| 1-4 | 118.0000 | 182.0000 |
| 1-5 | 119.0000 | 181.0000 |
| 1-6 | 120.0000 | 180.0000 |
| 1-7 | 121.0000 | 179.0000 |
| 1-8 | 122.0000 | 178.0000 |
| 1-9 | 123.0000 | 177.0000 |
| 1-10 | 124.0000 | 176.0000 |
| 1-11 | 124.0000 | 175.0000 |
| 1-12 | 124.0000 | 174.0000 |
| 1-13 | 124.0000 | 173.0000 |
| 1-14 | 124.0000 | 172.0000 |
| 1-15 | 124.0000 | 171.0000 |
| 1-16 | 124.0000 | 170.0000 |
| 1-17 | 124.0000 | 169.0000 |
| 1-18 | 124.0000 | 168.0000 |
| 1-19 | 124.0000 | 167.0000 |
| 1-20 | 124.0000 | 166.0000 |
| 1-21 | 124.0000 | 165.0000 |
| 1-22 | 124.0000 | 164.0000 |
| 1-23 | 124.0000 | 163.0000 |
| 1-24 | 124.0000 | 162.0000 |
| 1-25 | 124.0000 | 161.0000 |
| 1-26 | 124.0000 | 160.0000 |
| 1-27 | 124.0000 | 159.0000 |
| 1-28 | 124.0000 | 158.0000 |
| 1-29 | 124.0000 | 157.0000 |
| 1-30 | 124.0000 | 156.0000 |
| 1-31 | 124.0000 | 155.0000 |
| 1-32 | 124.0000 | 154.0000 |
| 1-33 | 124.0000 | 153.0000 |
| 1-34 | 124.0000 | 152.0000 |
| 1-35 | 124.0000 | 151.0000 |
| 1-36 | 124.0000 | 150.0000 |
| 1-37 | 124.0000 | 149.0000 |
| 1-38 | 124.0000 | 148.0000 |
| 1-39 | 124.0000 | 147.0000 |
| 1-40 | 124.0000 | 146.0000 |

< 인하공업전문대학의 빙저항을 고려한 최적항로 계산모듈 연동 >

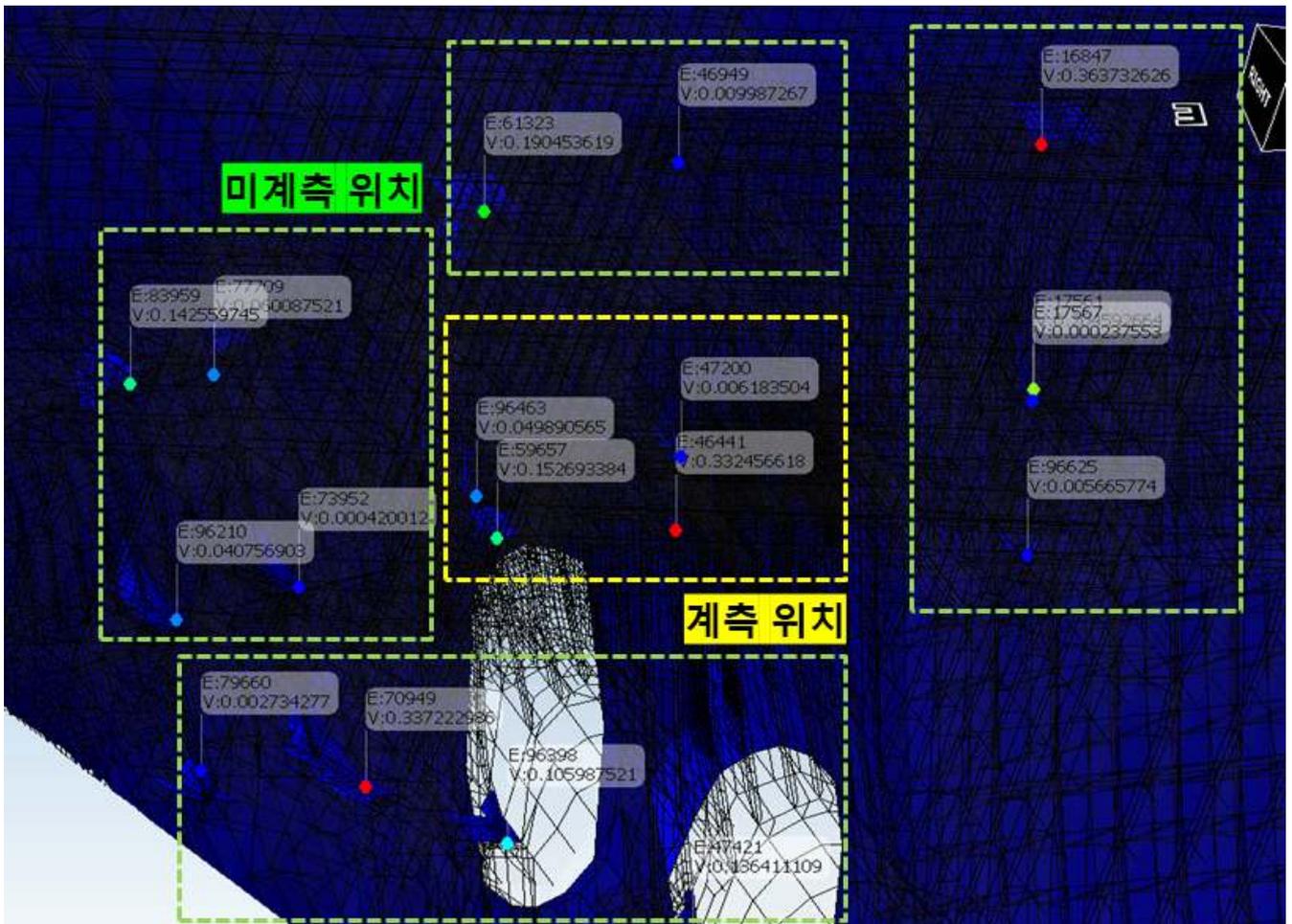


< 통합 모니터링 시스템 최종 UI >

- 실시간 모니터링 기반 통합 구조 건전성 모니터링 시스템 개발
 - 계측 및 미계측 위치의 누적 및 장기 피로 손상도 예측 가시화
 - 디지털 트윈 시스템 운용 매뉴얼 개발
 - 누적 피로 손상도에 따른 유지보수 정보 제공



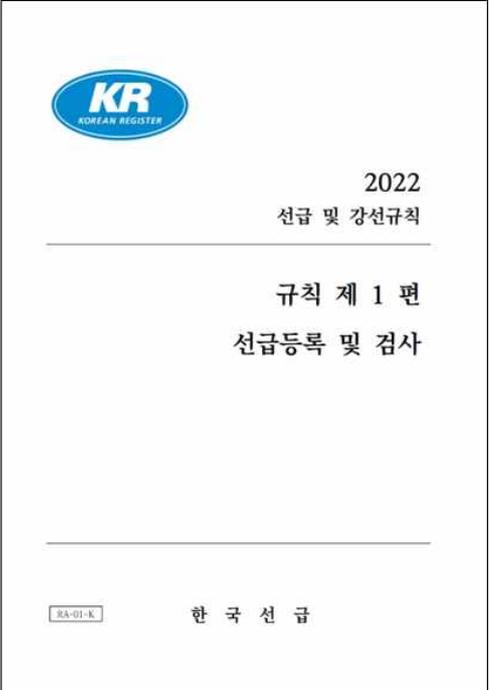
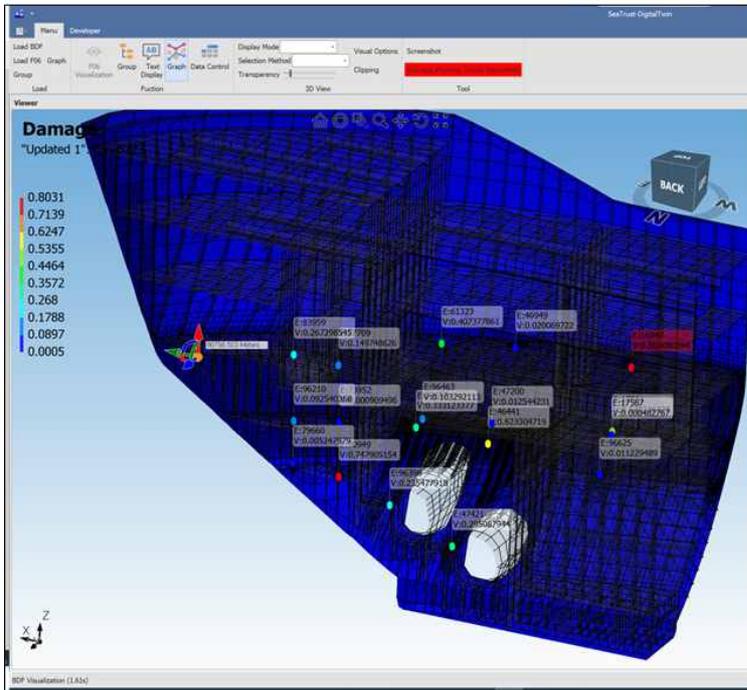
< 계측 위치 누적 피로 손상도 가시화 >



< 미 계측 위치 장기 피로 손상도 예측 가시화 >



< 시스템 사용자 운용 매뉴얼 정보 제공 >



< 누적 피로 손상도에 따른 유지보수 정보 제공 >

- GS(Good Software) 인증 요구조건 준비 및 대응
 - 국제표준 ISO/IEC 25023, 25051, 25041을 기반으로 한 소프트웨어 제품 품질 평가모델을 만족하기 위한 통합 모니터링 시스템 보완
 - 기능적합성, 성능효율성, 호환성, 사용성, 신뢰성, 보안성, 유지보수성, 이식성, 일반적 요구사항 등 소프트웨어 제품 품질 기준 충족



소프트웨어 제품 품질

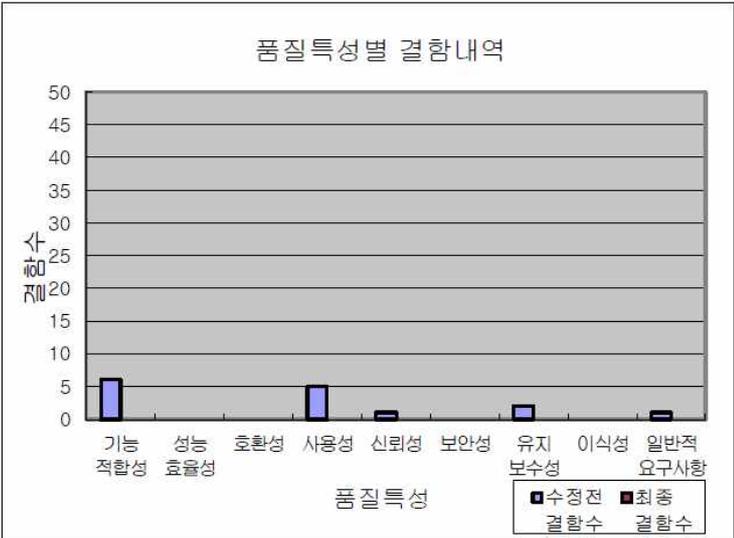
| 기능적합성 | 성능효율성 | 호환성 | 사용성 | 신뢰성 | 보안성 | 유지보수성 | 이식성 | 일반적 요구사항 |
|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-----|---------------|
| 기능완전성 | 시간반응성 | 공존성 | 적절 인식성 | 성숙성 | 기밀성 | 분석성 | 적용성 | 제품설명서 요구사항 |
| 기능정확성 | 자원효율성 | 상호운용성 | 학습성 | 가용성 | 무결성 | 변경성 | 설치성 | 사용자취급설명서 요구사항 |
| 기능적절성 | 용량성 | | 운영성 | 결함허용성 | 부인방지성 | 시험성 | 대체성 | 품질특성별 정보제공 |
| | | | 사용자 오류 방지성 | 복구성 | 책임성 | | | |
| | | | 사용자인터페이스 심미성 | | 인증성 | | | |
| | | | 접근성 | | | | | |

품질주특성
 품질부특성

< GS 인증 1등급 제품 품질 기준 상세 >

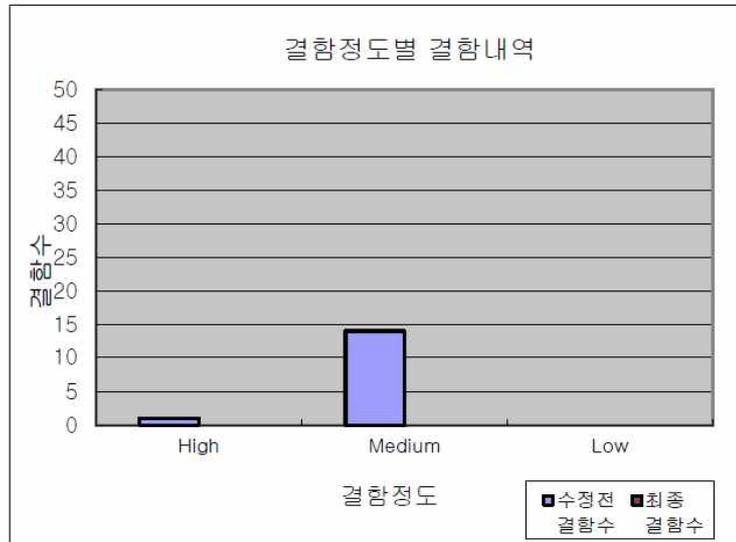
- 관리자 취급설명서, 사용자 취급설명서, 제품설명서 작성
- 한국정보통신기술협회(TTA)에서 식별한 결함 15건 보완 및 검증 완료
- GS(Good Software) 인증 시험결과 (시험성적서 : TGS-B-22-169)
- 품질특성별 결함 내역

| 품질특성 | 수정전 결함수 | 최종 결함수 |
|---------|---------|--------|
| 기능적합성 | 6 | 0 |
| 성능효율성 | 0 | 0 |
| 호환성 | 0 | 0 |
| 사용성 | 5 | 0 |
| 신뢰성 | 1 | 0 |
| 보안성 | 0 | 0 |
| 유지보수성 | 2 | 0 |
| 이식성 | 0 | 0 |
| 일반적요구사항 | 1 | 0 |
| 계 | 15 | 0 |



• 결함정도*별 결함내역

| 결함정도 | 수정전 결함수 | 최종 결함수 |
|--------|---------|--------|
| High | 1 | 0 |
| Medium | 14 | 0 |
| Low | 0 | 0 |
| 계 | 15 | 0 |



* 결함 정도

- H(High): 기능이 정상적으로 동작하지 않거나, 시스템(HW) 혹은 프로그램이 비정상적으로 종료되는 등의 치명적인 결함이 발생하는 경우
- M(Medium): 프로그램 운영에는 문제가 없으나, 기능이 정확하게 동작하지 않거나 사용자의 혼란을 야기하는 정도의 결함이 발생하는 경우
- L(Low): 프로그램 운영에 문제가 없고, 기능도 정확하게 동작하나 권고 사항 수준의 경미한 결함이 발생하는 경우

◦ GS(Good Software) 인증 1등급 획득



< GS 인증 1등급 획득 Cert. No. 22-0464 >

[공동연구개발기관명1 : 대우조선해양]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목에서 차지하는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/) | 연구개발 전 국내수준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험)인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | |
|-------------------------|---|---------------------|-------------------------|------------------|------|----|----|----|------|------------------|------------|---------|--------------|---------------------------|
| | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 위성 데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 | 1. 해빙하중 추정 오차율(인 항공전, DSME) ²⁾ | % | 10 | 러시아/AARI (60/60) | 사례없음 | 50 | 30 | 10 | 54.5 | 7.99 (2차년도 기 달성) | 4.81 | - | ISO - 199 06 | 전문가 평가 또는 학회 주최 및 프로시딩 제출 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|--------------------------------------|----------------------|---------------------------|--|
| 1 | (위성데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석) 해빙하중 추정 오차율 | 1차년도 2차년도 3차년도 | 전문가 평가 또는 학회 주최 및 프로시딩 제출 | 빙저항 성능 추정을 위한 I-RES 프로그램의 빙저항 추정(계산)치와 쇄빙 연구선 아라온 호에 모형시험 결과의 상호 비교를 통해 오차율 계산 |

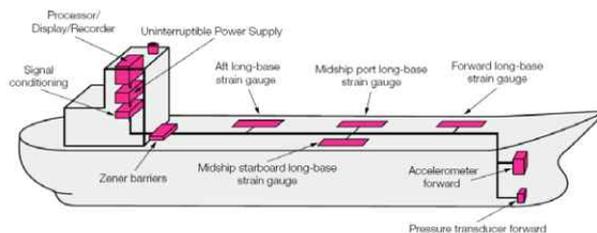
○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 극지용 계측 센서, 장비 사양 및 요구조건 결정

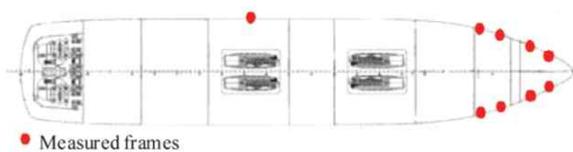
- (추진 실적)

- 극지용 모니터링 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석
 - 최근 극지에서 석유·가스개발 및 물류수송 활동이 증가함에 따라 대형 유조선, 가스운반선, 벌크운반선 등 운송수단의 북극 운항에 대한 대비가 필요함. 빙하중의 세기에 따라 선체구조 및 선형, 출력기관의 선정이 좌우되므로 빙하중의 정확한 산정이 매우 중요함. 특히 빙해역 운항 시 선박의 변형, 운동특성, 빙상정보, 그리고 운항 정보 등을 한꺼번에 통합 계측할 수 있는 시스템 개발이 요구됨
 - 선체 응력 모니터링 시스템은 주요 선박 운동과 선체 구조 응답을 측정하고 보여주는 시스템임. 실시간 운동과 응력 모니터링으로 승무원들은 빙하가 선체에 미치는 구조적인 영향을 알려주고 위험을 줄일 수 있도록 승무원의 결정을 도와줌
 - ✓ Global 빙하중 모니터링 시스템: 주로 쇄빙선에 적용 되는 시스템으로 최소 2개의 스트레인 게이지와 가속도계로 선체 응력 및 움직임 정보를 기록하고 표시함. 일반적으로 스트레인 게이지는 상단 갑판에 배치하고 중심선 위치의 선수에서 수직 가속도를 측정



<Typical hull measurement system>

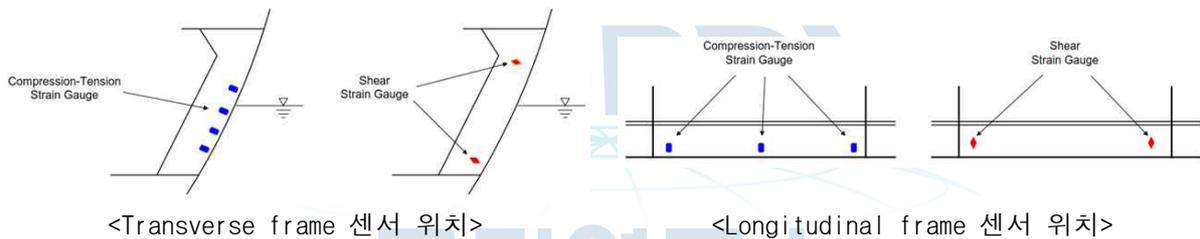
- ✓ 국부 빙하중 모니터링 시스템: 국부 빙하중 모니터링 시스템은 빙하 지역을 항해하는 선박을 위해 설치되는 가장 일반적인 장치로서, 시스템이 실시간으로 표시되도록 구성되고 operating waterline을 따라 일련의 스트레인 게이지에서 발생하는 선체 응력을 기록하도록 구성됨
- 스트레인 게이지의 위치는 주로 bow 또는 bow shoulder 근처에 위치하며 secondary member frame을 따라 배열 됨. 아래 그림은 계측된 프레임의 위치와 실제 센서 설치 모습을 보여줌



<센서의 위치>



<프레임 센서 설치>



<Transverse frame 센서 위치>

<Longitudinal frame 센서 위치>

- 빙 모니터링 시스템은 선박의 관리들이 위험을 줄이고 선박을 보호할 결정을 내리는 데 도움을 주어 빙해역 운항을 원활하게 할 수 있음. 하지만 참고 문헌을 살펴보면 정확한 빙하중을 산정하기에는 어려움이 있음. 정확한 local/global ice load를 해석하기 위해서는 계측 시스템의 개발과 발전이 필요함

- 극지용 계측 장비 식별 및 요구 성능/사양 결정
 - 스트레인 게이지와 가속도계의 기본 사양은 다음 표와 같음

| Specification | Uniaxial Strain with Temperature | Bi-axial Strain | In-plane Strain with Temperature |
|--------------------------------|--|--|--|
| Strain range | $\pm 4000\mu\text{m}/\text{m}$ | $\pm 4000\mu\text{m}/\text{m}$ | $\pm 4000\mu\text{m}/\text{m}$ |
| Accuracy (with LS FBGA) | $2\mu\text{m}/\text{m}$ | $2\mu\text{m}/\text{m}$ | - |
| Orientation of strain sensor | - | - | $0^\circ-45^\circ-90^\circ$ |
| Temperature range | $[-65,70]^\circ\text{C}$ | $[-165,70]^\circ\text{C}$ | $[-165,70]^\circ\text{C}$ |
| Frequency range (with LS FBGA) | 0-680Hz | 0-680Hz | - |
| Temperature compensation | Built-in temperature sensor | - | Built-in temperature sensor |
| Size (mm) | 140x222x18 | 140x222x18 | 140x200 |
| Cable | indoor/outdoor metal free (std black sheath) low smoke, no halogen | indoor/outdoor metal free (std black sheath) low smoke, no halogen | indoor/outdoor metal free (std black sheath) steel braid available(black sheath) low smoke, no halogen |
| Wavelength | [1528,1563]mm | [1535,1570]mm | [1528,1563]mm |
| Grating reflectivity | >80% | >80% | >80% |
| Insertion loss (typical) | 1dB | 1dB | 1.5dB |
| Insertion loss (max) | 1.50dB | 1.50dB | 2.0dB |

| Model | m25 | m17 | m06 |
|--------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| Acceleration range | | $\pm 20\text{m}/\text{s}^2$ | |
| Accuracy (with LS FBGA) | $\pm 0.1\text{m}/\text{s}^2$ | $\pm 0.2\text{m}/\text{s}^2$ | $\pm 0.1\text{m}/\text{s}^2$ |
| Temperature range | | $[-25,70]^\circ\text{C}$ | |
| Wide temperature (-wt) | | $[-65,70]^\circ\text{C}$ | |
| Frequency range (with LS FBGA) | 0.01-100Hz | 0.01-100Hz | 0.01-5Hz |
| Temperature compensation | Digital high-pass filtering, $f > 0.01\text{Hz}$ | | |
| Size(mm) | 127x81x57 | | |
| Mounting | Screws | | |
| Enclosure material | AlSi-alloy | | |
| Cable | indoor/outdoor metal free low smoke, no halogen | | |
| Wavelength | [1525,1565]nm | | |
| Grating reflectivity | >80% | | |
| Insertion loss (typical) | 1dB | | |
| Insertion loss (max) | 1.50dB | | |



<Strain gauge>



<Accelerometer>

- 국부적으로 발생하는 빙 기인 구조 응답을 측정하기 위해서는 응력 및 가속도 센서의 설치 위치 선정이 중요함. 대상 내빙 구조의 선형 정보 및 기본 제원(흘수, 중량 정보 등)으로부터 위치에 따른 운항 시의 빙 하중의 크기의 비교가 가능하며 이를 근거로 내빙 구조 구역 별로 1~2 개소에 센서의 설치가 필요함
- 실시간 빙 하중 기인 선체 강도 응답 평가를 위해 굽힘 모멘트과 전단 응력의 모니터링이 필요함. 선체 길이 방향의 한 단면 당 4개 이상의 응력 및 가속도 센서의 설치가 필요함
- 계측 된 응력, 가속도 신호는 통합 모니터링 시스템에서 실시간으로 모니터링이 가능해야 하며 디지털 트윈 기술의 구현에 적합한 데이터 형식으로 변환이 가능해야 한다.

○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 해빙의 강성, 두께, 강도, 밀도 등의 빙 정보 추정 기술 개발 고도화
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)

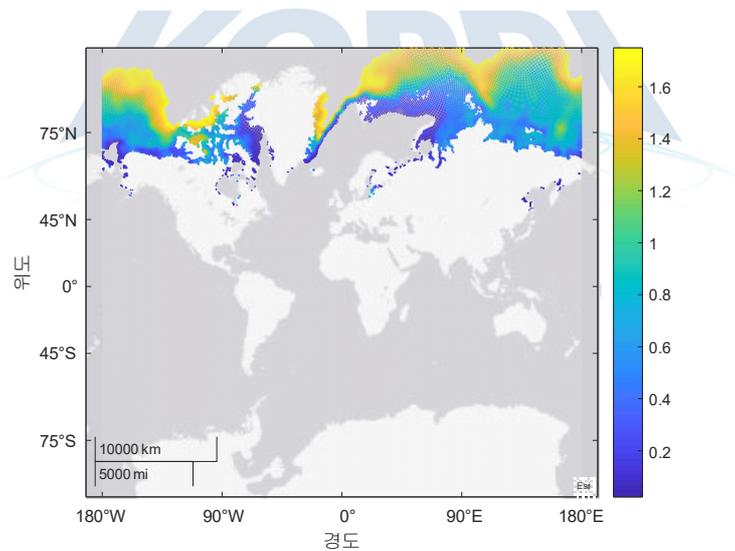
- (추진 실적)

- 극지 LNGC의 시운전에서의 실측 해빙 정보 획득
 - 2021년도 5월 7일부터 17일까지 실측 해빙 정보를 획득하였고 인공위성을 이용한 빙 정보 추정 기술 개발을 위해 극지연구소에 제공
 - 실측 해빙 정보
 - ✓ Net Ice Thickness
 - ✓ Snow Thickness
 - ✓ Ice Temperature
 - ✓ Ice Salinity
 - ✓ Ice Density
 - ✓ Flexural Strength



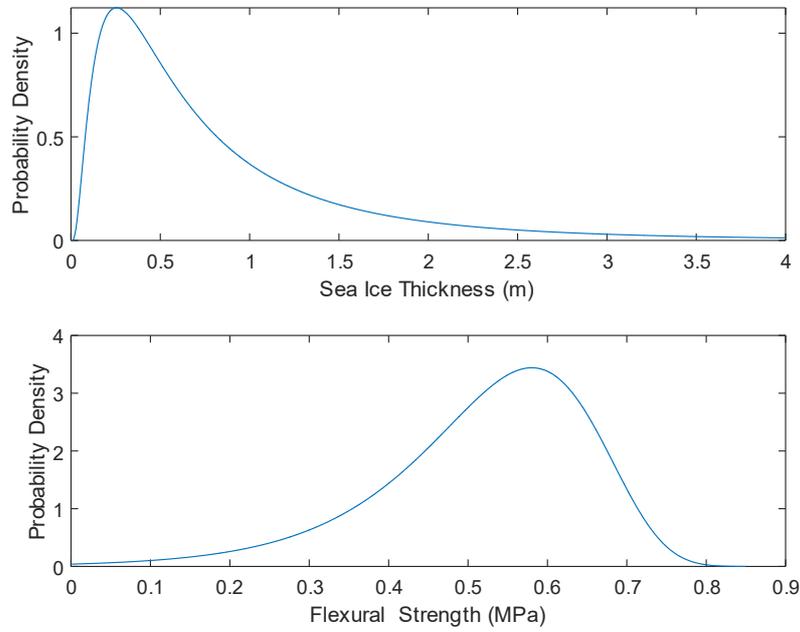
<극지 운항 LNG선의 시운전 및 해빙의 굽힘 강도를 측정하기 위한 실험>

- 인공 위성 정보로부터 얻은 빙 정보(해빙 두께, 강도 등), 극지 선박의 운항 정보 획득
 - 위성자료 기반 북극 해빙의 11년간 (2010년 10월부터 2021년 4월 까지) 굽힘강도, 두께, 농도 정보와 극지 LNG선(NIKOLAY URVANTSEV호)의 항차 좌표와 선속 자료 수집



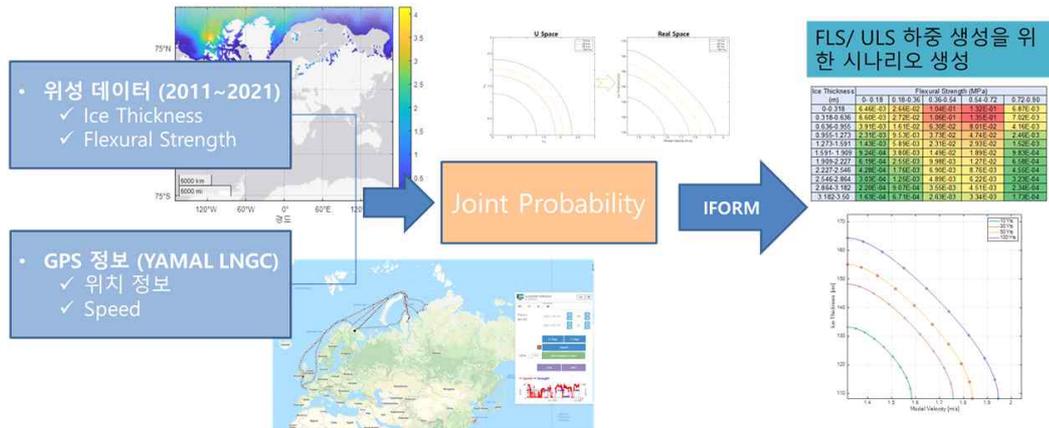
<위성자료 기반 북극 해빙의 두께>

- 해빙의 두께, 강도의 확률 분포 추정
 - 얻어진 빙 정보로부터 확률 분포를 추정함. 항차 좌표에 해당하는 해빙 두께와 굽힘 강도 정보가 선택되었으며 Lognormal Distribution과 Extreme Value Distribution이 사용됨



<위성데이터 기반의 빙 두께 및 강도의 확률 분포>

- 극지 운항 선박의 선체 구조 피로 및 강도 해석 시나리오 생성



<위성 데이터를 이용한 해빙 정보 추정 및 이를 이용한 구조해석 시나리오 생성>

- 빙 두께, 빙 굽힘 강도, 선속을 이용한 피로 해석 시나리오를 생성함. 빙 두께와 빙 굽힘 강도과의 Joint Probability, 빙 두께와 선속과의 Joint Probability를 각각 생성함

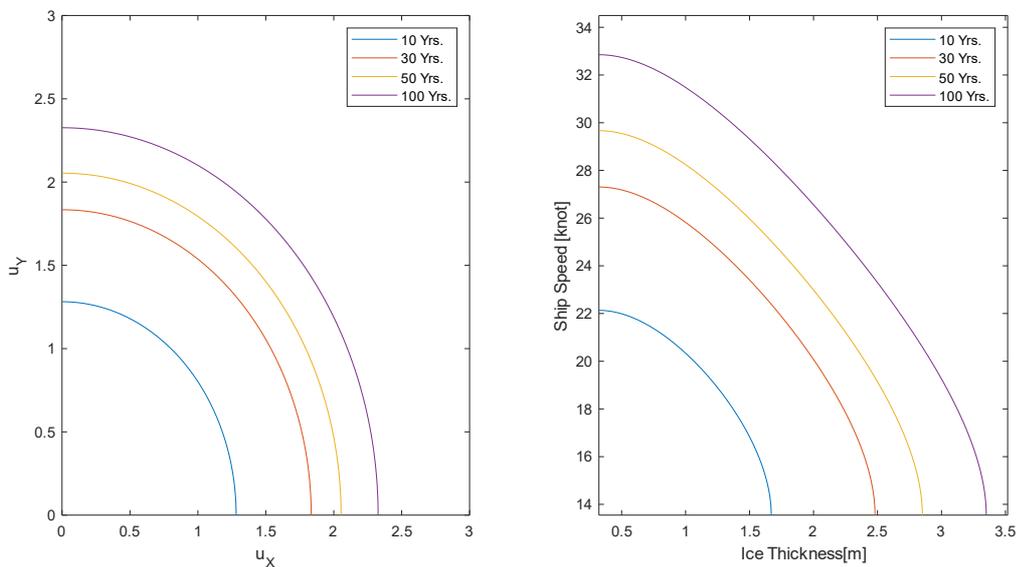
<Joint Probability of Ice Thickness and Flexural Strength>

| Ice Thickness (m) | Flexural Strength (MPa) | | | | |
|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0- 0.18 | 0.18-0.36 | 0.36-0.54 | 0.54-0.72 | 0.72-0.90 |
| 0-0.318 | 6.46E-03 | 2.66E-02 | 1.04E-01 | 1.32E-01 | 6.87E-03 |
| 0.318-0.636 | 6.60E-03 | 2.72E-02 | 1.06E-01 | 1.35E-01 | 7.02E-03 |
| 0.636-0.955 | 3.91E-03 | 1.61E-02 | 6.30E-02 | 8.01E-02 | 4.16E-03 |
| 0.955-1.273 | 2.31E-03 | 9.53E-03 | 3.73E-02 | 4.74E-02 | 2.46E-03 |
| 1.273-1.591 | 1.43E-03 | 5.89E-03 | 2.31E-02 | 2.93E-02 | 1.52E-03 |
| 1.591-1.909 | 9.24E-04 | 3.80E-03 | 1.49E-02 | 1.89E-02 | 9.83E-04 |
| 1.909-2.227 | 6.19E-04 | 2.55E-03 | 9.98E-03 | 1.27E-02 | 6.58E-04 |
| 2.227-2.546 | 4.28E-04 | 1.76E-03 | 6.90E-03 | 8.76E-03 | 4.55E-04 |
| 2.546-2.864 | 3.03E-04 | 1.25E-03 | 4.89E-03 | 6.22E-03 | 3.23E-04 |
| 2.864-3.182 | 2.20E-04 | 9.07E-04 | 3.55E-03 | 4.51E-03 | 2.34E-04 |
| 3.182-3.50 | 1.63E-04 | 6.71E-04 | 2.63E-03 | 3.34E-03 | 1.73E-04 |

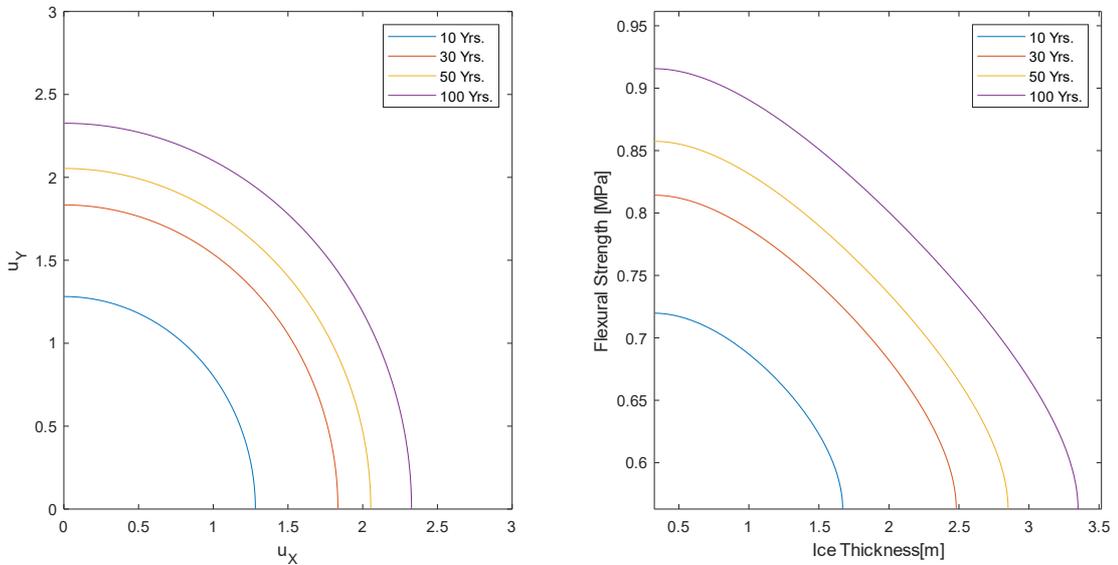
<Joint Probability of Ice Thickness and Ship Speed>

| Ice Thickness (m) | Ship Speed (knot) | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------|------------|-------------|-------------|
| | 0- 4.22 | 4.22-8.44 | 8.44-12.66 | 12.66-16.88 | 16.88-21.10 |
| 0-0.318 | 4.67E-02 | 3.06E-02 | 6.26E-02 | 7.78E-02 | 5.87E-02 |
| 0.318-0.636 | 4.77E-02 | 3.13E-02 | 6.40E-02 | 7.95E-02 | 6.00E-02 |
| 0.636-0.955 | 2.83E-02 | 1.85E-02 | 3.79E-02 | 4.70E-02 | 3.55E-02 |
| 0.955-1.273 | 1.67E-02 | 1.10E-02 | 2.24E-02 | 2.79E-02 | 2.10E-02 |
| 1.273-1.591 | 1.04E-02 | 6.78E-03 | 1.39E-02 | 1.72E-02 | 1.30E-02 |
| 1.591-1.909 | 6.68E-03 | 4.38E-03 | 8.95E-03 | 1.11E-02 | 8.40E-03 |
| 1.909-2.227 | 4.48E-03 | 2.93E-03 | 6.00E-03 | 7.45E-03 | 5.63E-03 |
| 2.227-2.546 | 3.09E-03 | 2.03E-03 | 4.14E-03 | 5.15E-03 | 3.89E-03 |
| 2.546-2.864 | 2.20E-03 | 1.44E-03 | 2.94E-03 | 3.65E-03 | 2.76E-03 |
| 2.864-3.182 | 1.59E-03 | 1.04E-03 | 2.13E-03 | 2.65E-03 | 2.00E-03 |
| 3.182-3.50 | 1.18E-03 | 7.72E-04 | 1.58E-03 | 1.96E-03 | 1.48E-03 |

- Returned Period에 따른 강도해석 필요한 빙 조건 및 선속을 계산함. IFORM을 사용하여 각 Returned Period에서의 빙 두께, 빙 굽힘 강도, 선속을 계산함



<IFORM을 이용한 Returned Period에 따른 선속과 빙 두께>



<IFORM을 이용한 Returned Period에 따른 선속과 빙 굽힘 강도>

- 선속의 경우, Open Sea에서의 선속이고 제한 속도 및 빙 하중에 따른 속도 감소를 고려하고 있지 않아 과대하게 계산 됨. 즉 구조 강도에 따른 선속 제어를 반영하지 않음



○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 실선 장착 및 실증 검증 시험

- (추진 실적)

- 부유식 LNG 저장 해양 구조물의 설치
 - 극지 운항 LNG선의 경우, 기존 LNG선 대비 수송 효율이 떨어짐
 - 야말반도에서 생산되는 LNG 수송의 효율을 높이기 위해 유럽 및 아시아 항로의 중간 지점에 부유식 LNG 저장 해양구조물의 설치가 필요함
 - ✓ 아시아 항로를 위해 Kamchatka 근방에 설치
 - ✓ 유럽 항로를 위해 Murmansk 근방에 설치



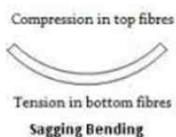
<부유식 LNG 저장 해양구조물을 이용한 극지 LNG의 운송>

[출처: High North News /Malte Humpert]

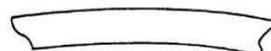
◦ 특성 비교 (LNG FSU vs Arctic LNGc)

- 극지 운항 쇄빙 LNG선과 극지 설치 부유식 LNG 저장 해양구조물의 주요 특징 비교
- Hull Girder Bending Moment의 양상 비교
 - ✓ LNG FSU:는 엔진과 같은 고중량의 장비가 선미에 장비되지 않고 중앙의 LNG 화물이 주요 하중이므로 Sagging 상태
 - ✓ Arctic LNG Carrier:엔진을 비롯한 다양한 장비가 선미에 설치되어 있어 선수와 선미에 주요 하중이 분포하므로 Hogging 상태

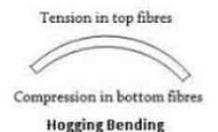
| LNG FSU | | Arctic LNG |
|---------|------------------|------------|
| No | Propulsion | Yes |
| 360K | Capacity | 174K |
| No | Ice breaking | Yes |
| Sagging | Dominant bending | Hogging |



Sagging



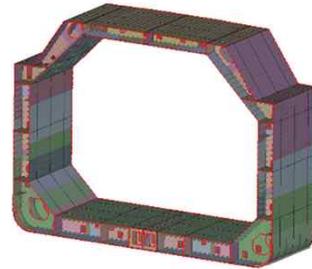
Hogging



◦ 열전달 해석과 조건

- 저온 상태에서의 강도 유지를 위해 온도에 따른 선체 구역별 Steel grade 결정요 구 됨
- IGC code와 USCG 규정을 따라 섭씨 -163도의 LNG와 다양한 환경조건이 고려 된 열 전달 해석 수행 함
- 극지운항 LNG 운반선과 극지 설치 LNG 저장 해양구조물의 경우, 주문주의 요청으 로 별도 조건 (cold condition)이 고려 됨

| Reg. | IGC | USCG | COLD (FSU) |
|------------|-----------|------|------------|
| Temp. | Air | 5 | -18 |
| | Sea | 0 | -2 |
| Wind speed | No | 5kts | |
| LNG on | Sec. mem. | | |



<열전달 해석 조건>

◦ 하중 요소 별 갑판 변형 비교

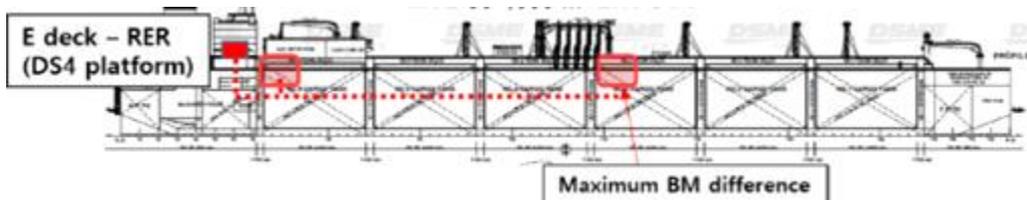
- 화물 하중, 화물 온도 및 외부 기온에 대한 갑판 변형 경향

| LNG FSU | | LNGc | |
|-------------|-------------|-------------|--|
| Compression | Cargo load | Tension | |
| Compression | Cargo temp. | Compression | |
| Compression | Air temp. | - | |

- LNG FSU 갑판의 경우, 지속적인 압축 경향을 보이므로 극지 환경에서는 압축 변 위가 누적 될 것으로 보임
- LNG FSU의 갑판 변형에 대해 요소 별 정량적인 평가를 위한 응력/온도 모니터링 시스템을 설치 함

◦ Structural Monitoring System

- Overview



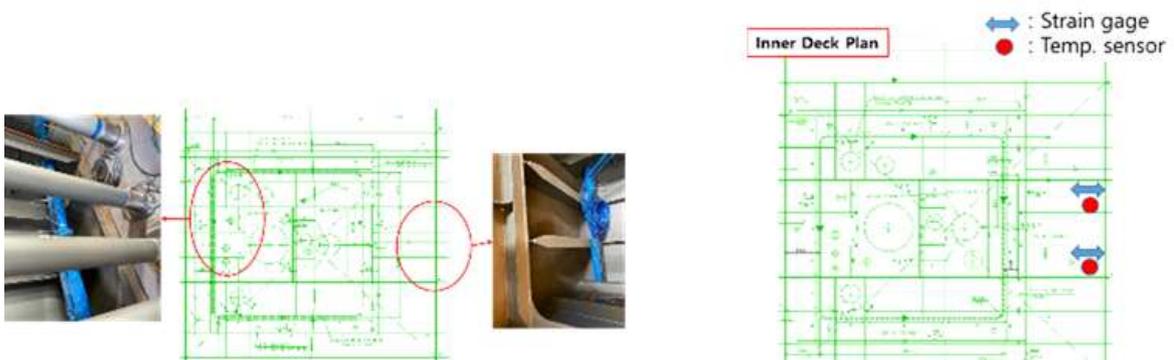
- 선체 응력 및 온도 모니터링 시스템 구축을 위해 위 그림과 같이 3번과 6번 화물 창에 응력계측을 위한 스트레인 게이지와 온도 센서가 설치
- 거주구역내 장비 공간에 계측 결과 처리 및 저장을 위한 장비가 설치

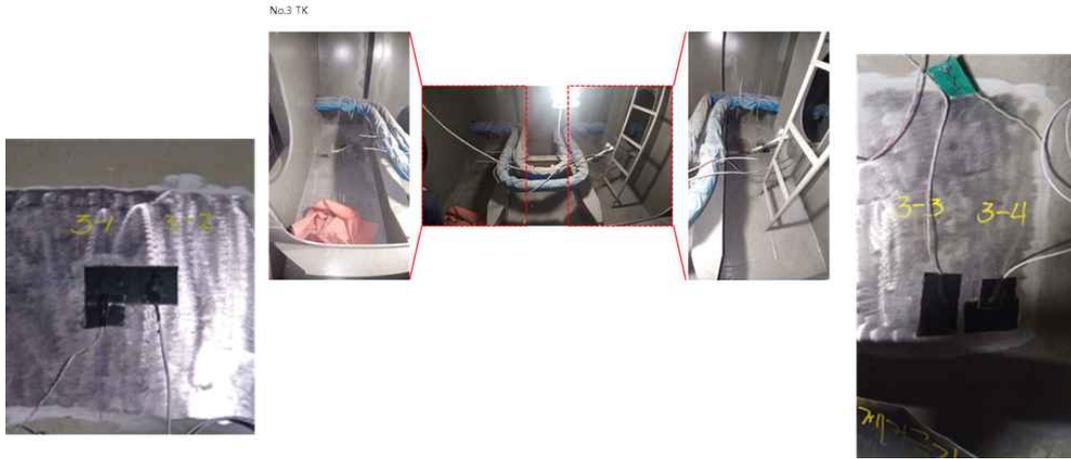
<계측 시스템 구성 요소 및 스펙>

| H/W | 모델 (제조사) | 설명 | |
|--------------|---------------------------|--|--|
| Strain Gauge | CFLA-3-350-11-6FA-1 LT | Cryogenic Temperature Strain Gauge Single Axis 3mm Length 350 Ohms(±0.3%) |  |
| DAQ Chassis | DNA-PPC5 | DAQ Chassis 3I/O boards Stream data over Ethernet |  |
| DAQ Module | DNA-AI-208 | 8-channel,18-bit, 1 kS/s per channel, strain gage input board Strain gauge 데이터를 취득하는 DAQ용 모듈 |  |
| | DNA-AI-222 | 12-channel,fully isolated RTD/resistance measurement board RTD 데이터를 취득하는 DAQ용 모듈 |  |
| IS Barrier | 7761ac (EATON) | Strain gauge 브릿지/ RTD 전용 방폭 베리어 |  |
| Server | HPE DL20G10 | E-2224 4Core 3.4GHz 16GB Memory 480GB SSD*1, 1TB HDD*1 |  |

◦ 센서 설치 위치

- 구조 도면을 비롯하여 현장에 설치되는 각종 배관과 장비들과의 간섭을 고려하여 센서 설치 위치 결정





<3번 화물창에 설치된 센서>



<6번 화물창에 설치된 센서>

○ 향후 계획

- 센서 설치를 완료하였으나, LNG 화물 탱크 내 생산 공정이 지연되면서 센서와 데이터 처리 및 저장 장치를 연결하는 케이블의 설치가 지연되고 있으며, 2023년 2월경에 완료될 예정
- 시운전을 통해 모니터링 시스템을 검증 예정
- 실제 극지 지역에서의 선체 응력, 온도를 계측하고 스마트십 플랫폼을 데이터를 지상기지로 전송하고 분석할 계획

[공동연구개발기관명2 : 퓨처메인]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목에서 차지하는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/보유기업 (/) | 연구개발 전 국내수준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험)인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | |
|----------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------|---|-----------|---------|---|-----------|------------|---------|-------|--------------|
| | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 극저온 계측시스템 | 1. 계측센서 정확도(퓨처메인) | % | 7 | 노르웨이GMC Maritime | 사례 없음 | | 70 | 90 | | 86.00 | 99.00 | - | - | 전문가 평가 |
| | 2. 무선통신 정확도(퓨처메인) | % | 5 | 스페인 Libelium | 사례 없음 | | 70 | 90 | | 79.15 | 96.96 | - | - | 전문가 평가 |
| | 3. 시스템 운용 S/W 검증 (퓨처메인) | 건 | 8 | 미국 National Instruments | 사례 없음 | | 1 (사양서) | 1 | | 1 (사양서) | 1 | - | - | 공인시험확인 (인증)서 |
| | 4. 극저온계측시스템 특허 출원(퓨처메인) | 건 | 10 | 노르웨이/Light Structures | 사례 없음 | | 1 (국내 특허) | 1 (PCT) | | 1 (국내 특허) | 1 (PCT) | - | - | 특허 출원서 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|----------------------------|------|--|---|
| 1 | (극저온 계측시스템) 계측센서 정확도 | 2차년도 | 극저온 수조에서 유사한 환경을 조성하고 센서 데이터 신뢰성 평가를 위한 시작품을 만들어 평가 | 스트레인게이지 : -50°C의 환경에서도 데이터 계측 가능 진동센서: -50°C의 환경에서도 데이터 계측 가능 |
| | | 3차년도 | 극저온 수조에서 유사한 환경을 조성하고 센서 데이터 신뢰성 평가를 위한 시작품을 만들어 평가 | 스트레인게이지 : -50°C의 환경에서도 데이터 계측 가능 진동센서: -50°C의 환경에서도 데이터 계측 가능 |
| 2 | (극저온 계측시스템) 무선통신 정확도 | 2차년도 | 무작위 샘플 센서를 선정하고 무선 Data 통신 데이터의 loss율, 통신 속도 평가 | 실시간 데이터 정확도 95% 이상 실시간 무선 데이터 통신 주기 2시간 이내 |
| | | 3차년도 | 무작위 샘플 센서를 선정하고 무선 Data 통신 데이터의 loss율, 통신 속도 평가 | 실시간 데이터 정확도 95% 이상 실시간 무선 데이터 통신 주기 2시간 이내 |
| 3 | (극저온 계측시스템) 시스템 운용 S/W 검증 | 2차년도 | 계측 시스템 운용을 위한 필수 기능이 정상적으로 구현되는지 검증 | 1. 계측 장비 에러이상 감지 모니터링 기능 2. 계측 데이터 측정 설정 기능 3. 데이터 계측 저장 주기 설정 기능 |
| | | 3차년도 | 계측 시스템 운용을 위한 필수 기능이 정상적으로 구현되는지 검증 | 1. 계측 장비 에러이상 감지 모니터링 기능 2. 계측 데이터 측정 설정 기능 3. 데이터 계측 저장 주기 설정 기능 |
| 4 | (극저온 계측시스템) 극저온계측시스템 특허 출원 | 2차년도 | 국내외 극저온계측 시스템과 관련된 특허를 분석하여 국내 및 PCT 특허를 출원하여 출원서 제출 | 국내 및 PCT(특허협력조약) 특허 출원 |
| | | 3차년도 | 국내외 극저온계측 시스템과 관련된 특허를 분석하여 국내 및 PCT 특허를 출원하여 출원서 제출 | 국내 및 PCT(특허협력조약) 특허 출원 |

○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 극저온 기술 보유 제작사 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석
- H/W 사양 및 요구조건 결정(극저온 계측 센서 요구 성능 분석 및 사양 결정)
- 극저온 계측 센서 선정 및 Test
- 계측 데이터 및 장비 응답 에러 대응 시스템 모듈 개발
- 선체 응답 계측 시스템 검증
- 센서의 내구성 시험을 위한 시뮬레이터 제작
- 데이터 통신 기술 개발 최적화

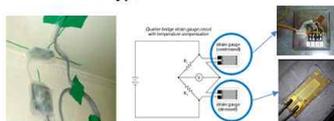
- (추진 실적)

- 극저온 기술 보유 제작사 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석
 - 특허기술동향 조사는 1993년 6월부터 2020년 4월까지 공개, 취하, 소멸, 포기, 등록된 한국 및 해외의 특허를 대상으로 수행됨
 - 주요 출원국의 특허 출원 현황을 살펴보면, 2000년 이전까지는 매우 낮은 출원 건수를 보이고 있으며, 2010년 이후 증가 추세를 보이고 있음
 - 한국의 출원 건수는 2012년 이후 2018년까지 출원수가 급격히 증가하고 있으며, 2019년 이후는 낮은 출원수를 보이고 있음
 - 본 핵심기술 개발을 위한 구조응답 계측 통합 모니터링 시스템과 같은 내용의 특허는 현재 국제 특허에 등록된 것은 없는 것으로 확인되었고, 특허 출원이 가능함
- H/W 사양 및 요구조건 결정(극저온 계측 센서 요구 성능 분석 및 사양 결정)
 - 상온 및 저온 환경시험 결과를 토대로 혹한 환경을 향해하는 극지 운항 선박 내의 진동과 스트레인 게이지를 측정하는 계측 시스템의 구성요소를 선정함. 크게 세 가지의 기준을 가지고 계측기 및 센서를 선정함

1. Stability at intense cold,
2. Integration nominal scale,
3. Suitability for use, 다음의 세 가지로 선정함

- 여기에 적합한 것으로 진동 센서는
 - 진동 센서: PCB-603C01,
 - 스트레인게이지: HBM-1-LC11-10/120,
 - 진동 계측기: NI-9230,
 - 스트레인 게이지 계측기: NI-9235

- Strain Gauge
 - ✓ General type



- ✓ LBSG (Long Baseline Strain Gage) type

| Requirement | General | LBSG |
|-------------------|---------|------|
| size (length, mm) | 20 | 2000 |
| Min. Temp (°C) | -30 | -25 |
| Max. Freq. (Hz) | 170 | 100 |
| Strain Limit (%) | 2 | 2 |
| Fatigue Limit | 0 | X |

- Accelerometer
 - ✓ MEMS type



- ✓ FBG type



| Requirement | MEMS | FBG |
|-------------------|--------|---------------|
| size (length, mm) | 25 | 127 |
| Range (g) | ±2~400 | ±2 |
| Min. Temp (°C) | -55 | -20 (wt: -65) |
| Freq. Range (Hz) | 0~70 | 0.01~100 |

- 극저온 계측 센서 선정 및 Test
 - 극저온 계측 센서로는 스트레인 게이지와 진동 센서를 선정하였으며, 이들 센서를 국내 시판되고 있는 제품들을 구매하여, 상온 및 저온 환경(Cold Room)에서 충격 시험을 실시하고 안정된 센서를 선정함
 - 특히 저온 시험의 경우 - 30℃까지 온도를 낮추고, 충격량을 변화하면서 응답 특성을 분석하여 센서를 선정함
- 계측 데이터 및 장비 응답 에러 대응 시스템 모듈 개발
 - 계측 센서의 손상과 이탈 시 입력되는 신호를 분석하여 센서의 신뢰성을 확립하는 기술을 개발하고, 시험함
 - 센서의 입력 전압 변동과 입력 파형 분석, 데이터 트랜드에서 동일 값의 경우 자동 체크하는 기능들을 개발하여 적용하였으며, 극저온의 경우 케이블 손상이 잦은 관계로 무선 센서를 적용하여 시험 및 평가함
- 선체 응답 계측 시스템 검증
 - 상온 및 저온 환경에서 시판 중인 계측 센서와 측정기를 실험한 결과
 - 진동 센서로는 PCB, 스트레인 게이지 HBM Quarter-bridge strain gauge를 선정, 계측기로는 NI-9235를 선정하여 상온 및 Cold room에서 충격 시험을 가하고 응답 특성을 분석함. 시험에 필요한 설정 값을 설정하고, 응답 특성을 분석함
 - 시험 결과 데이터가 문제없이 들어오는 것이 확인됨
- 센서의 내구성 시험을 위한 시뮬레이터 제작
 - 극저온 환경의 Cold Room의 경우 작업자가 내부에서 모든 측정이 불가능하고, 센서 설치 후 Cold Room 밖에서 조정이 가능해야 함. 즉, 시뮬레이터의 작동이 원격이나 외부에서 운전이 가능해야 함
 - 이런 기준을 근거로 하여 원격으로 조정이 가능한 충격 시험기 제작을 목표로 하였으며 설계 도면을 작성하고 제작함
- 데이터 통신 기술 개발 최적화
 - 극저온 환경에서 케이블의 손상에 의한 데이터 손실 등이 발생하는 경우 계측시스템은 무용지물이 됨
 - 센서 케이블의 신뢰성 확보와 함께 무선 센서를 이용한 계측 시스템을 고려하게 되며 무선 센서와 DAQ 사이의 통신 인터페이스 개발과 함께 전송 테스트를 실시하여 문제가 없음을 확인함

○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- 통합 계측시스템 구축 및 신뢰성 확보
- 계측 장비 및 센서 극저온 환경시험 및 인증시험
- 데이터 통신 프로토콜 통합을 위한 펌웨어 개발
- 계측 데이터의 Export 기능 모듈 개발

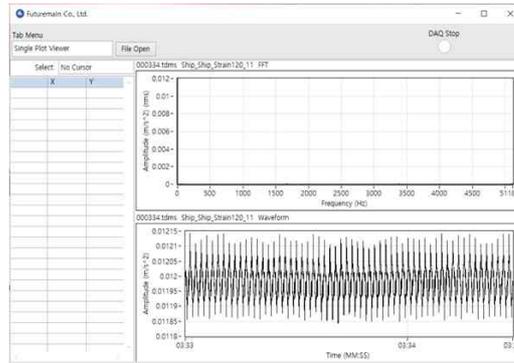
- (추진 실적)

- 통합 계측시스템 구축 및 신뢰성 확보
 - 실선 계측을 위한 시스템 구축 및 설치 완료
 - ✓ 스트레인 및 진동 측정을 위한 계측 시스템 실선(아라온) 설치 완료
 - ✓ 계측 시스템 사양 정립 완료
 - ✓ 실선 측정을 위한 센서 및 계측시스템 구축완료
 - 소프트웨어 구현 완료
 - ✓ 상기 구축한 계측 시스템에서 데이터가 원활하게 수집되는지 여부를 모니터링 하기 위한 운영 소프트웨어 구축 완료
 - 실선 계측을 위한 시스템 설치
 - ✓ 북극항해 예정인 아라온(실선)에 상기 계측 시스템 및 소프트웨어를 설치하여 실선 데이터 취득 완료
- 계측 장비 및 센서 극저온 환경 시험 및 인증시험 (사양도출)
 - 실선 계측을 통한 시스템 안정성 검증 및 극저온 환경 시험
 - ✓ 2021.07.01.~2021.09.24.(총 85일) 동안 북극항로를 운항한 아라온 호(실선)에 계측 시스템을 설치하고 실제 북극을 항해하면서 극저온 환경에서의 계측 시스템 안정성 평가 및 3차년도 인증을 위한 사양 도출 완료
 - ✓ 실선 계측 전체 기간의 계측한 트렌드 데이터
 - ✓ 총 3차 항해에 걸친 실선 계측과 시스템 안정성 검증 및 극저온 환경 시험
 - 선박 운항 특성에 따른 1항차(베링해지역), 2항차(유빙 해역), 3항차(유빙 해역)로 나누어 계측 데이터 수집 완료
 - 센서 위치 별 스트레인 및 진동 데이터 비교
 - ✓ 본 과제에서는 유빙 충돌에 의한 선체 스트레인 변화와 함께 진동 특성을 함께 분석함. 스트레인 센서와 진동 가속도 센서를 부착하여, 스트레인과 진동의 변화를 동시에 검출하면서 데이터 분석을 실시함
 - ✓ 결과적으로 진동 데이터와 스트레인게이지를 비교해보면 비슷한 시간대에 변화가 일어남을 확인할 수 있었음. 진동량 변화가 스트레인 변화보다 큰 이유는 유빙 충돌이 없는 경우이나, 이미 응력을 받고 있는 경우에도 배가 연구 목적으로 멈췄다 움직였다 하기 때문임. 본 계측에서 유빙의 충돌 시와 함께 유빙 충돌이 없는 경우의 모든 조건에서 데이터 계측이 잘 이루어짐
 - 센서 위치 별 스트레인 및 진동 데이터 비교
 - ✓ 데이터의 신뢰성 검증을 위해 특정 일자 및 특성 시간대에서 정밀한 데이터 분

석실시

- ✓ 스트레인 및 진동 데이터를 직접 비교하였으며, 유빙 충돌이 잦은 시간대, 유빙 충돌이 없고 배가 운항하다 멈춤을 반복한 시기 및 배가 항구에 접안하는 시점 등을 선정하여 비교분석을 진행
 - 1) 7월 24일 스트레인 및 진동 데이터 계측완료
 - 2) 7월 31일 스트레인 및 진동 데이터 계측완료
 - 3) 9월 23일 정박 시 스트레인 및 진동 데이터 계측완료
- 추가적인 진동센서의 극저온 환경 신뢰성 테스트
 - ✓ 진동 센서 계측 신뢰성 테스트를 진행한 결과 데이터의 평균 정확도 97%로 2차 목표 달성
 - ✓ 스트레인게이지 센서의 계측 신뢰성 테스트를 진행한 결과 데이터의 평균 정확도 85.42%로 2차년도 목표 달성
- 실선 계측을 통한 데이터 검증 결과
 - ✓ 본 연구개발 목표인 시스템 안정성 검증 및 극저온 환경시험을 위해 북극 항해를 운항하는 아라온 선박에서 실선 계측 및 실시간 항해 데이터를 분석하여 극저온 데이터 계측 시스템을 구축 및 안정성 검증과 극저온 환경시험을 진행함
 - ✓ 실선 계측을 통해 하드웨어 시스템 구성의 경우 96.5%의 안정성을 확인함(케이블 불량 1 회 발생으로 인한 3일간의 데이터 손실)
- 계측 데이터 통신 프로토콜 통합을 위한 펌웨어 개발
- 계측시스템 통신을 위한 Modbus 프로토콜 개발
 - ✓ 극저온 환경에서 급격히 변화하는 환경과 데이터 손실 등이 발생하는 경우를 고려하여 1차년도 OPC 프로토콜을 이용한 계측 데이터 수집에서 Modbus 통신 프로토콜까지 호환이 가능하도록 하는 Modbus 프로토콜 클라이언트 개발을 완료함
 - ✓ 기존의 OPC 통신보다 데이터의 전송 속도가 더 빠르고 안정적인 본 과제의 계측 시스템에 적합한 통신 방식인 Modbus 프로토콜을 추가 개발함
 - ✓ 개발 내용은 1) 파일 수신 함수, 2) 파일 디코딩 함수, 3) 파일 출력 함수, 4) 파일 읽기 함수, 5) DAQ 통신 반복 함수 등으로 구성됨
- 계측 데이터의 Export 기능 모듈 개발 완료
- 데이터 Export 기능 모듈 개발완료
 - ✓ 실선 계측에서 취득된 데이터를 관련 기관에서 활용할 수 있도록 공유된 폴더 안에 자동으로 Export된 파일이 저장될 수 있는 기능 개발을 완료함
 - ✓ 계측된 Raw 데이터는 Export 시 TDMS 포맷 파일을 이용하였으며, 해당 포맷은 바이너리 포맷으로 크기가 작으면서도 기관이 요구하는 정보를 제공할 수 있고, 읽기 방법도 다양하여 쉽게 활용할 수 있다는 장점이 있음

| 이름 | 유형 | 크기 |
|-----------------|---------|---------|
| 20200915_171243 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171300 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171318 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171336 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171354 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171412 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171430 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171448 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171506 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171524 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171542 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171600 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171618 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171636 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171653 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171711 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171729 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171747 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171804 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171822 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171839 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171857 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171915 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171933 | TDMS 파일 | 1,354KB |
| 20200915_171950 | TDMS 파일 | 1,354KB |



< 본 개발 Export 기능을 통해 자동 생성된 파일 폴더 및 데이터 >

○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 실선 계측을 통한 현장 데이터 분석 및 시스템 평가
- 통합 계측 운영 프로그램의 안전성 평가
- 극지용 구조응답 계측 및 운영 시스템 성능 보완 및 제작 완료

- (추진 실적)

- 실선 계측을 통한 현장 데이터 분석 및 시스템 평가
 - 스트레인 게이지 센서의 경우 선박내 사용가능한 전용 접착물을 이용하여 이탈 및 충격에 의한 변형을 최소화 할 수 있는 방안을 기준으로 설치함



< 선박 내부에 스트레인 게이지 센서 부착 >

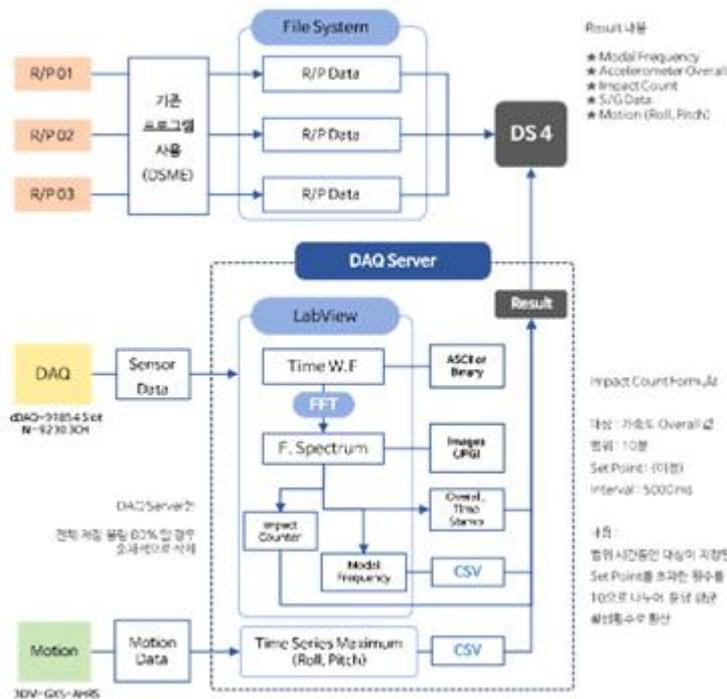
- 데이터 취득 시스템을 구성하는 전용 케이스를 제작하여 데이터 취득 기간 중 물리적인 충격 등에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 구성으로 제작하여 선박내 설치 후 데이터 취득을 진행함
- 선박내 스트레인 센서 및 DAQ간의 통신구성은 유선 기반으로 구성하여 선박 내외

부의 충격량을 스트레인 게이지 센서가 안정적으로 취득하도록 구성함



< 통합계측 시스템 제작 후 적용 >

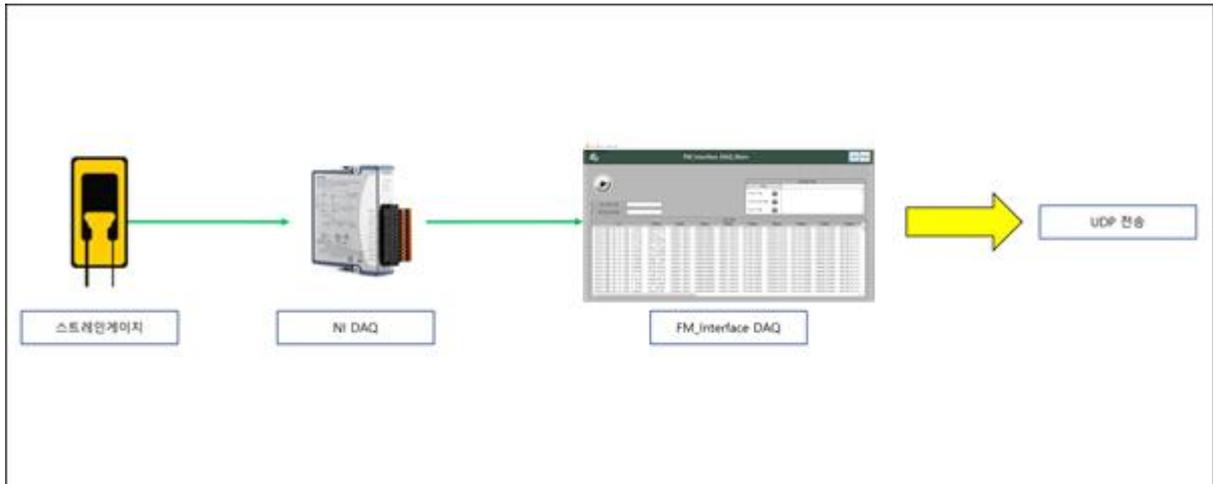
- 본 시험과정에서 센서의 이탈은 발생하지 않은 것으로 확인함
- 통합 계측 운영 프로그램의 안전성 평가
 - 스트레인, 진동 계측시스템 아래 그림과 같이 구성하였으며, 센서 데이터를 Time Waveform으로 변환 후 푸리에 변환을 거쳐, CSV 파일구성으로 서버에 전송하도록 구현함



< 스트레인, 진동 계측시스템 구성도 >

- 극지용 구조응답 계측 및 운영 시스템 성능 보완 및 제작 완료
- 선박시스템에서 여러 채널의 Strain Gage data를 받아 메인 프로그램으로 값을 전달하도록 구성됨

- ✓ 스트레인게이지 센서 데이터 수집 (24ch)
- ✓ 데이터 수집은 실시간 가능(1sec~) + 채널수 가변 가능
- ✓ 특정 IP로 전송 가능 (format UDP)

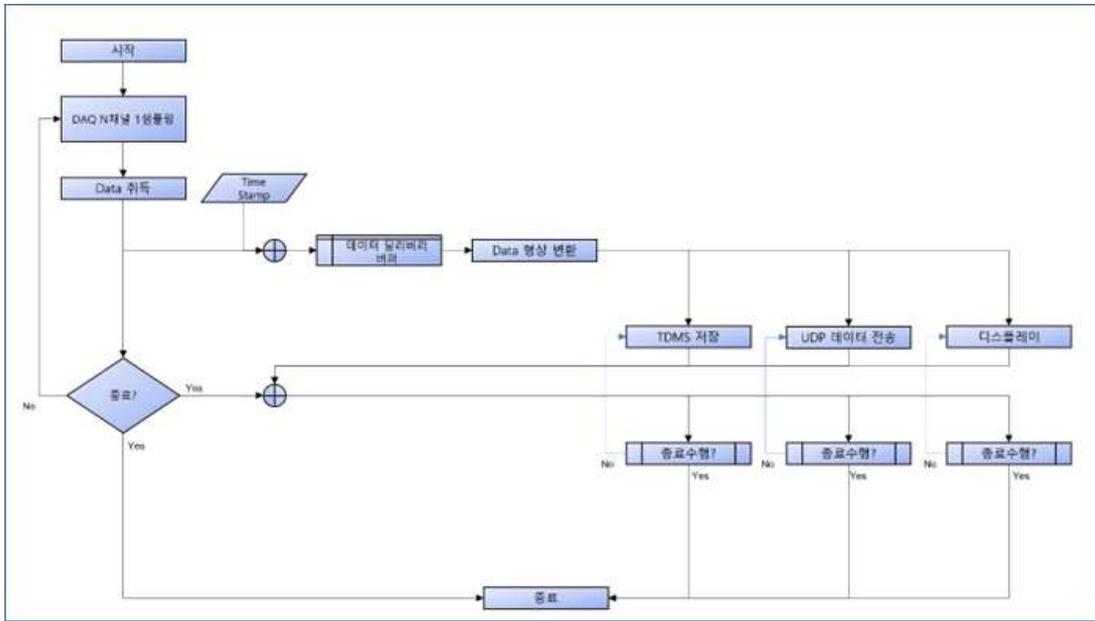


< 프로그램 사용을 위한 HW 구성도 >

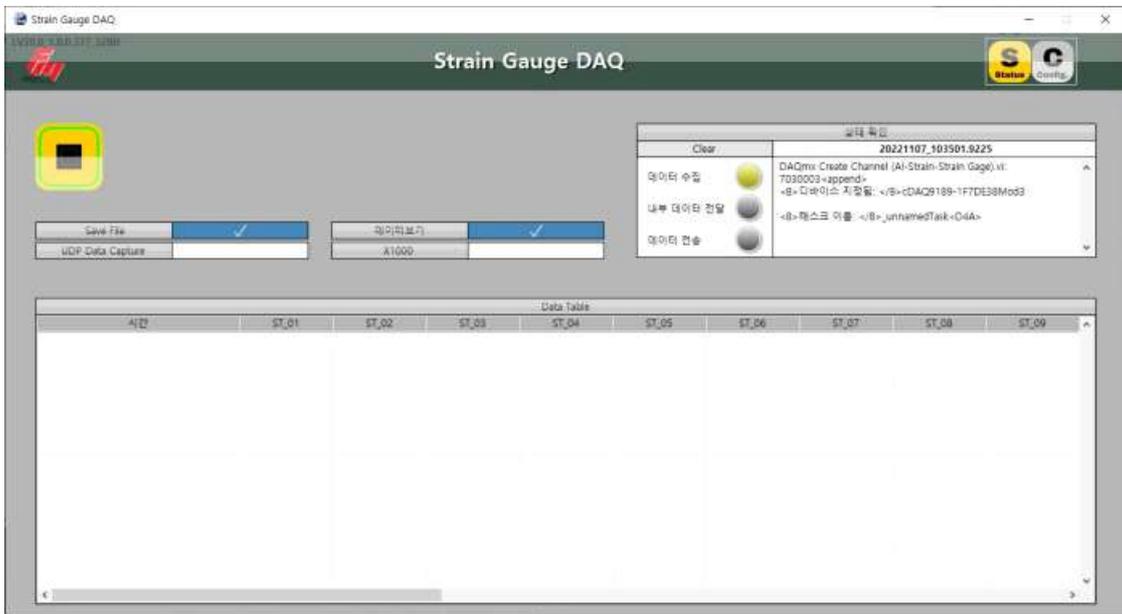


< 메인 화면에서 센서 측정정보의 입력 표시 구성 >

- 스트레인 게이지 DAQ 시스템 구성과 데이터 취득 처리결과의 확인
 - ✓ TDMS File, UDP Data Capture 지원하도록 구성함



< 프로그램 구성도 >



< Strain Gauge DAQ UI 구성 >

- 24ch Strain Gauge Data를 1초당 20개씩 저장하여 발송하도록 구성 및 테스트 완료함

| Time | ST_01 | ST_02 | ST_03 | ST_04 | ST_05 | ST_06 | ST_07 | ST_08 | ST_09 | ST_10 | ST_11 | ST_12 | ST_13 | ST_14 | ST_15 | ST_16 | ST_17 | ST_18 | ST_19 | ST_20 | ST_21 | ST_22 | ST_23 | ST_24 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20221025_000000.04521 | -0.00168 | 0.001373 | 0.000639 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000267 | -0.00014 | 0.000448 | 3.74E-05 | 0.000173 | 0.000663 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000923 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000893 | 0.000913 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.09607 | -0.00168 | 0.001372 | 0.000638 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000447 | 3.63E-05 | 0.000173 | 0.000665 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000925 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000895 | 0.000913 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.14594 | -0.00168 | 0.001374 | 0.000638 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000267 | -0.00014 | 0.000446 | 3.7E-05 | 0.000173 | 0.000662 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00028 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000922 | 0.00033 | -0.00054 | 0.00089 | 0.000912 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.19581 | -0.00169 | 0.00137 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000445 | 3.39E-05 | 0.000171 | 0.000667 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000926 | 0.000327 | -0.00054 | 0.00089 | 0.000915 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.24567 | -0.00168 | 0.001372 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000446 | 3.7E-05 | 0.000174 | 0.000664 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000923 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000894 | 0.000912 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.29554 | -0.00168 | 0.00137 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000445 | 3.59E-05 | 0.000172 | 0.000666 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000924 | 0.000328 | -0.00054 | 0.000897 | 0.000913 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.34585 | -0.00168 | 0.001374 | 0.000639 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000447 | 3.7E-05 | 0.000174 | 0.000662 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000922 | 0.000332 | -0.00054 | 0.000892 | 0.000913 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.39572 | -0.00168 | 0.001373 | 0.000639 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000446 | 3.62E-05 | 0.000174 | 0.000664 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000923 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000894 | 0.000911 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.44659 | -0.00169 | 0.001371 | 0.000638 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000445 | 3.6E-05 | 0.000173 | 0.000666 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000925 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000897 | 0.000914 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.49645 | -0.00169 | 0.00137 | 0.000638 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000447 | 3.62E-05 | 0.000172 | 0.000666 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000925 | 0.000328 | -0.00054 | 0.000899 | 0.000915 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.54632 | -0.00169 | 0.001369 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000444 | 3.41E-05 | 0.000173 | 0.000668 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000926 | 0.000326 | -0.00054 | 0.000902 | 0.000915 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.59618 | -0.00168 | 0.001371 | 0.000639 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000447 | 3.7E-05 | 0.000174 | 0.000665 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000925 | 0.000328 | -0.00054 | 0.000897 | 0.000914 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.64705 | -0.00169 | 0.00137 | 0.000638 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000446 | 3.49E-05 | 0.000172 | 0.000667 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000924 | 0.000328 | -0.00054 | 0.000899 | 0.000915 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.69691 | -0.00169 | 0.00137 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000447 | 3.52E-05 | 0.000172 | 0.000668 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000926 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000902 | 0.000915 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.74678 | -0.00169 | 0.001368 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000445 | 3.4E-05 | 0.000171 | 0.000668 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000927 | 0.000327 | -0.00054 | 0.000905 | 0.000916 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.79765 | -0.00169 | 0.001367 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000445 | 3.18E-05 | 0.000169 | 0.00067 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000929 | 0.000326 | -0.00054 | 0.000907 | 0.000918 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.84751 | -0.00169 | 0.00137 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000445 | 3.48E-05 | 0.000172 | 0.000667 | -0.00028 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000926 | 0.000329 | -0.00054 | 0.000901 | 0.000916 | -0.01189 | -0.05554 |
| 20221025_000000.89738 | -0.00169 | 0.001369 | 0.000637 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000265 | -0.00014 | 0.000444 | 3.45E-05 | 0.000171 | 0.000668 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000926 | 0.000327 | -0.00054 | 0.000904 | 0.000917 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.94725 | -0.00169 | 0.001367 | 0.000636 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000266 | -0.00014 | 0.000444 | 3.28E-05 | 0.00017 | 0.00067 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00067 | -0.00034 | 0.000928 | 0.000327 | -0.00054 | 0.000907 | 0.000918 | -0.0119 | -0.05554 |
| 20221025_000000.99911 | -0.0017 | 0.001364 | 0.000636 | -0.00019 | -0.00033 | 0.000264 | -0.00014 | 0.000443 | 3.22E-05 | 0.000169 | 0.000672 | -0.00027 | -0.00037 | -0.00042 | -0.00027 | -0.00068 | -0.00034 | 0.000929 | 0.000326 | -0.00053 | 0.000911 | 0.000919 | -0.0119 | -0.05554 |

< 1초당 24ch 스트레인 게이지센서에서 기록되는 데이터 구성 >

[공동연구개발기관명3 : 인하대학교]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목에서 차지하는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/보유기업 (/) | 연구개발 전 국내수준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험)인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | |
|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|-------|----|----|----|----|--------------|------------|---------|-------|--------|
| | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 빙하중 추정 구조응답 오차율 | 1. 극지운항 선박 구조응답 오차율(인하대) | % | 7 | 노르웨이/NT NU (10/10) | 사례 없음 | 40 | 20 | 10 | 40 | 7 (2차년도 기달성) | - | - | - | 전문가 평가 |
| 극지운항 선박 구조 평가 기술 | 2. 선체 표면 마모 시험(인하대) | 건 | 5 | 러시아/FEFU (60/60) | 사례 없음 | | | 1 | | | 1 | - | - | 전문가 평가 |
| | 3. 선체 피로 잔여 수명 및 파손 평가(인하대) | 건 | 5 | 노르웨이/NM TNU(50/50) | 사례 없음 | | | 1 | | | 1 | - | - | 전문가 평가 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|---|------|--------------|---|
| 1 | (빙하중 추정 구조응답 오차율) 극지운항 선박 구조응답 오차율 | 1차년도 | 자체 평가(개발 기관) | - 빙하중에 노출되는 구조물의 국부 구조응답에 대한 실측치와 예측치의 비교분석의 사례는 찾아보기 어려움 - 빙하중에 의한 구조응답의 랜덤한 특성으로 인해 응답의 통계치를 통한 분석이 이루어지는 것이 바람직 함 |
| | | 2차년도 | 자체 평가(참여 기업) | - 구조물에 작용하는 빙하중의 크기를 빙해수조에서 수행된 모형시험의 결과와 비교 검증하였으며 이를 전문가 의견 청취를 통하여 평가함 |
| | | 3차년도 | 전문가 평가 | - 응답 오차율의 최종 목표치[10%]를 2차년도 연구결과를 통해 기 달성하였음[7%] |
| 2 | (극지운항 선박 구조 평가 기술) 선체 표면 마모 시험 | 3차년도 | 전문가 평가 | - 선체 표면과 상호작용하는 빙에 의한 표면의 마모량에 대한 사전 연구 사례는 매우 제한적 임 - 실험을 통한 마모량 추정에 대한 기반기술 확보의 관점으로 접근 할 필요가 있음 - 선체 표면과 얼음의 마찰로 인해 발생하는 마찰력 및 마모량에 대한 정량적 데이터 확보하고 관련 전문가 평가를 통해 시험 결과 타당성 평가 |
| 3 | (극지운항 선박 구조 평가 기술) 선체 피로 잔여 수명 및 파손 평가 | 3차년도 | 전문가 평가 | - 빙하중에 기인한 피로 수명 정량화에 대한 기존 연구사례가 매우 제한적인 상황이며 이는 빙하중에 기인한 구조응답 추정의 불확실성에 기인함 - 잔여수명 및 파손확률의 추정은 통계적 접근법에 기반해야 할 필요가 있으며 확률론적 접근법이 요구됨 - 주어진 운항 환경에 따른 선체 주요 부위 잔여 피로손상도 및 파손확률 절차를 개발하고 관련 전문가 평가를 통한 절차서 타당성 평가 |

○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

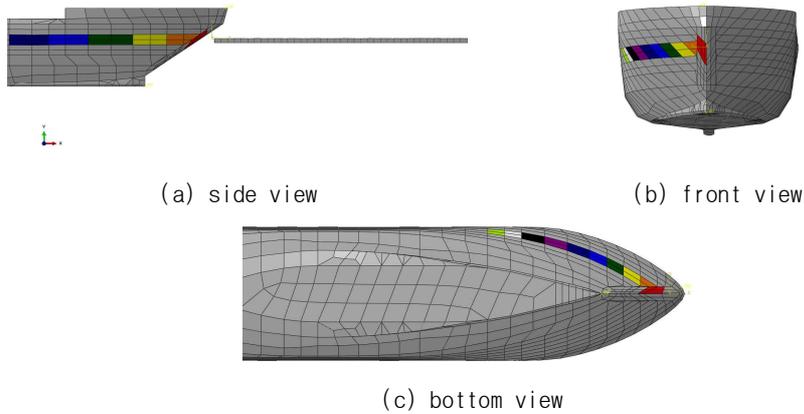
- (추진 내용)

- 빙하중 및 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발
- 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)
- 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 및 부식 예측 평가 기술 개발

- (추진 실적)

- 빙하중 및 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발

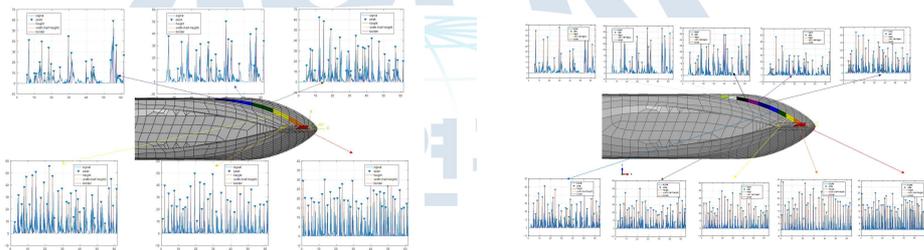
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측)을 기반으로 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발 수행
- 선체의 국부 빙하중 추출을 위해 선체가 빙과 충돌되는 부분에 패널을 지정함



(c) bottom view

<패널의 위치>

- 패널 크기에 따른 국부빙하중 경향성을 확인하기 위해서 하단의 그림과 같이 패널의 개수를 10개, 6개로 나누어서 지정한 패널의 모니터링을 통해 국부 빙하중을 추출함

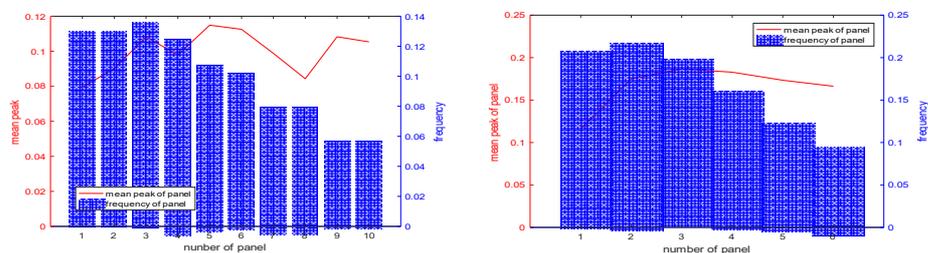


(a) 6개 패널의 위치별 국부 빙하중

(b) 10개 패널의 위치별 국부 빙하중

<패널 위치에 따른 국부 빙하중>

- 전체 국부 빙하중의 최대 극치값의 20%보다 큰 극치를 기준으로 하였으며, 데이터 시간이 2초 사이에 하나의 극치만을 카운팅함



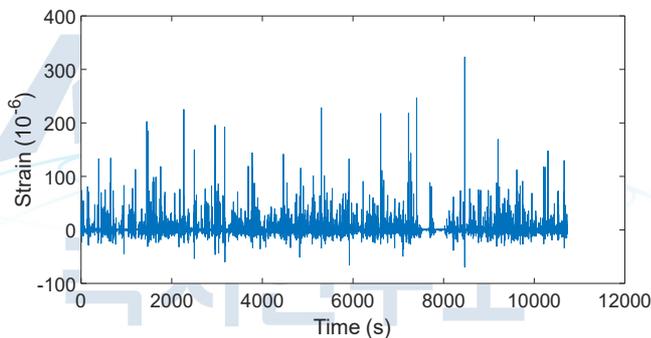
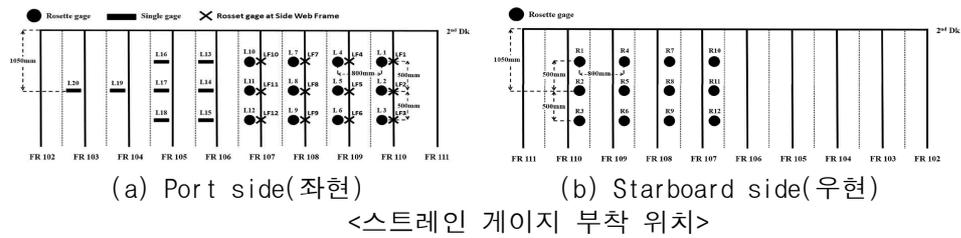
(a) 6개 패널의 위치별 국부 빙하중

(b) 10개 패널의 위치별 국부 빙하중

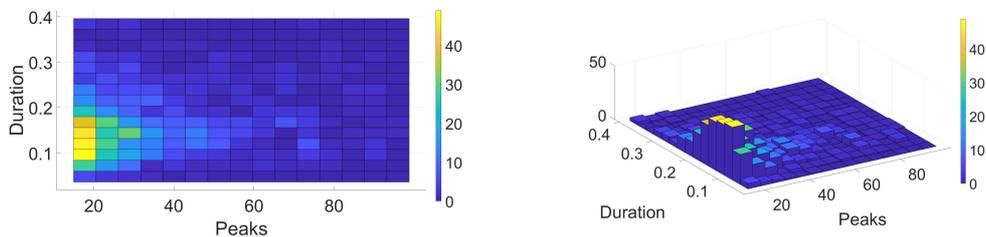
<패널 위치에 따른 빙하중의 극치의 평균 및 극치횟수>

○ 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석

- 선박이 운항할 때 데이터를 수집하는 목적은 선체에 작용하는 변형률, 운동 특성, 운항 정보 등을 얻고 이를 이용해 대상 선박을 모니터링하는 데 있음. 본 연구에서는 쇄빙연구선 ARAON호가 2016년도에 계측한 스트레인 게이지 데이터를 사용하여 빙하중이 선체에 주었던 영향에 대해 분석함
- 스트레인 게이지는 선박의 좌현과 우현의 외판에 대해 종방향으로는 FR.102에서 FR.111 사이에, 높이 방향으로는 Minimum bow draft(6,350mm A/B)에서 2nd Deck(7,100mm A/B) 하부에 설치됨
 - Port side(좌현) : 1축 게이지 8개, 3축 로제트 게이지 20개, 광섬유 센서 5세트
 - Starboard side(우현) : 3축 로제트 게이지 12개



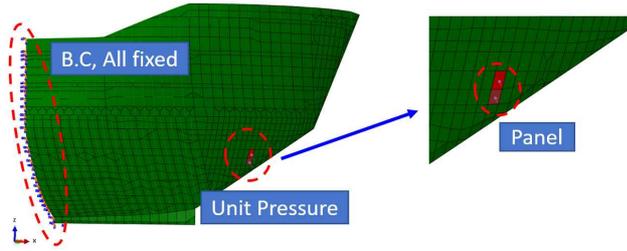
- 계측된 스트레인 시계열 데이터 분석을 위해 스트레인 Peak 값 & Duration 파라미터를 사용하여 데이터 분석을 수행함
- Peak 값은 15×10^{-6} 이상의 값으로 가정하였고 빈도수가 극도로 낮은 구간에 대해서는 세트는 분석



- 입력 하중에 대한 스트레인 응답은 영향계수에 의해 연결됨
- 선체의 특정 위치에서의 영향계수의 값을 알면 그 위치에서의 스트레인 게이지

데이터 결과를 이용하여 외부 하중의 추정이 가능함

- FE 모델에서 각 게이지의 위치를 Panel로 선정된 이후 Panel에 단위 하중을 입력하고 해석결과에서 얻어진 각 스트레인 값들을 이용하여 영향계수를 산정함
- FE 모델을 통해서 획득된 영향계수 값을 실제 계측된 스트레인 게이지 데이터와 연결하여 외부 하중 값을 추정함



<ARAON호의 유한요소 모델>

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ C_{31} & C_{32} & \dots & C_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_m \end{Bmatrix}, (n > m)$$

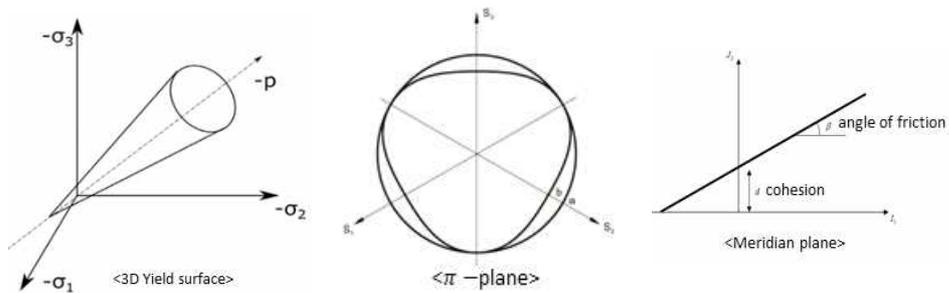
(a) 영향계수 추정

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_m \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ C_{31} & C_{32} & \dots & C_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{Bmatrix}$$

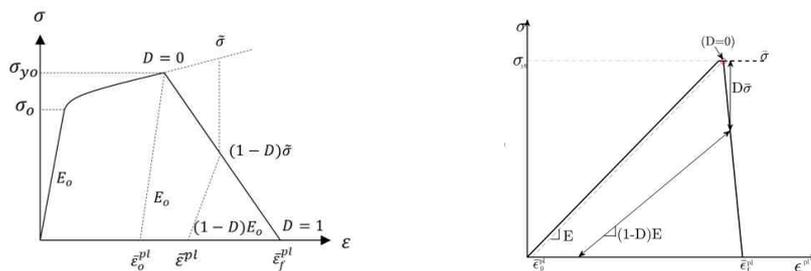
(b) 영향계수 값을 통한 하중 역추정

<FE 모델과 실측 데이터를 이용하여 하중을 역추정하는 과정>

- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)
 - 빙은 낮은 변형률 속도에선 연성재료 특성을 보이며, 높은 변형률 속도에선 취성 재료의 특성을 보임
 - 빙의 취성적인 거동과 파괴를 Drucker-prager yield criterion에 damage model을 적용하여 모사함



<Drucker-Prager yield criterion>

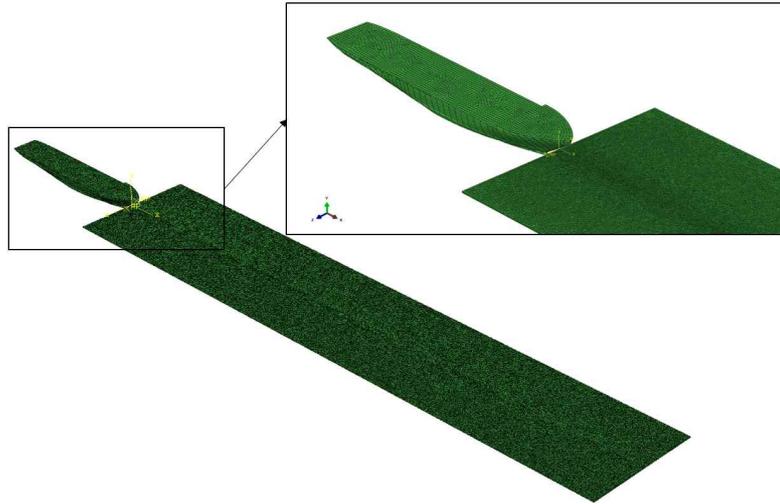


(a) General damage model

(b) Modified damage model

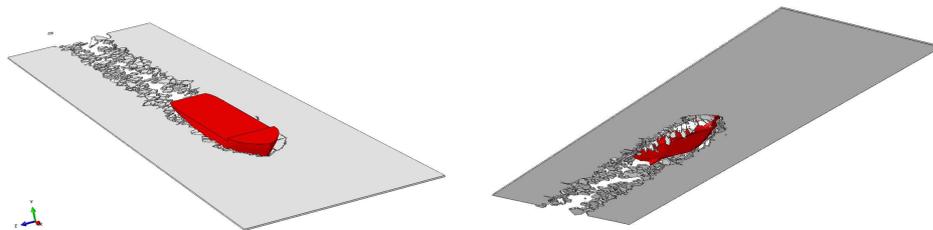
<Damage model>

- 프리즘 6절점 요소를 사용하여 평탄빙을 모델링 하였으며, 평탄빙 모델의 길이는 0.03m, 길이 20m, 폭 4m 임
- 아라온 모형선은 선폭 0.3m, 선체길이 5.089m, 흘수 0.364m 그리고 선수각 30° 임
- 아라온 모델과 평탄빙 접촉조건은 수직방향의 압괴를 구현하기 위해 압력-침투량 곡선을 정의하였으며, 접선방향 접촉은 마찰접촉을 부여함



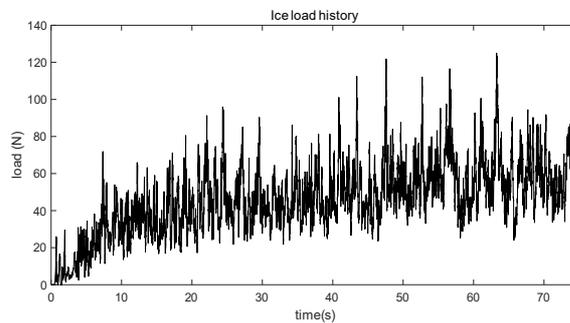
<빙하중 추정을 위한 유한요소 모델>

- 선체와 평탄빙의 충돌로 인해 생기는 빙 파단을 발생을 확인함
- 파단된 빙편은 중력과 부력으로 인해 자유수면 위로 떠올라, 선체를 밀어내는 현상을 보임



(a) bird eyes view

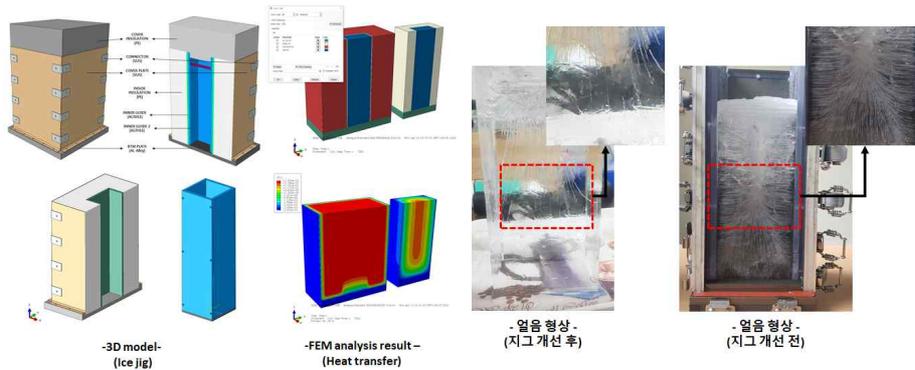
(b) fish eyes view



(c) Ice load history

<빙하중 해석결과>

- 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 및 부식 예측 평가 기술 개발
 - 다결정 순수빙(Polycrystalline fresh water ice)의 제조를 위해 얼음 제작용 지그를 설계함
 - 얼음 제작용 지그에 사용되는 단열재의 두께를 산정하기 위해서 열전달 해석을 수행함
 - 개선된 얼음 제작용 지그를 사용하여, 다결정 순수빙이 제조됨을 확인함



(a) 얼음 제작용 지그 및 해석 결과

(b) 얼음 품질 비교

<다결정 순수빙 지그 제작 과정 및 형상>

- 콘크리트 마모 실험을 위해 속도는 35mm/s이며, 콘크리트의 이동 스트로크는 100.0mm로 설정함
- 얼음을 누르는 수직 하중은 약 680kgf이다. 진행된 마모 사이클은 약 66,600 사이클 수행함



<마모 시험 장비>

- 마모 실험이 진행될수록 콘크리트 표면이 거칠어짐을 확인하였으며, 이를 통해 마모시험기 정상적인 작동을 검증함



<콘크리트 표면 상태의 변화>

○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

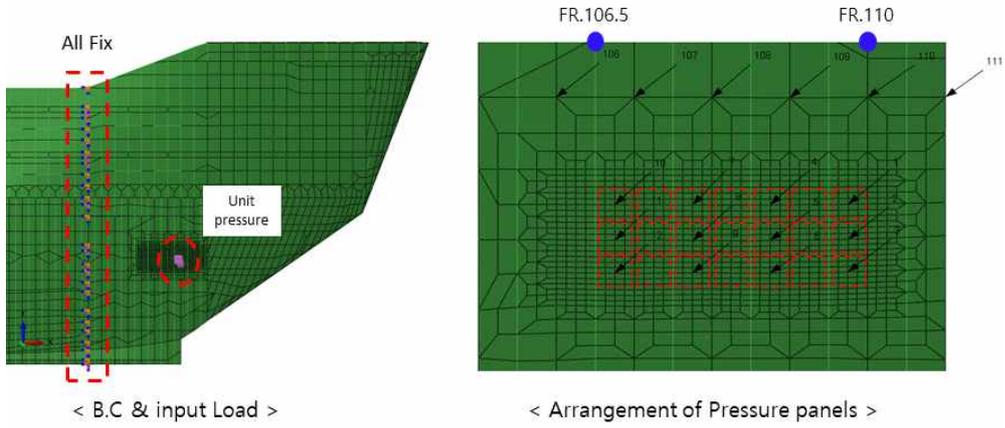
- 빙하중 추정 기법 및 빙기인 피로손상도 평가 관련 문헌 조사
- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)
- 극지운항 선박의 선체 구조 피로손상도 평가기법 기술 개발
- 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험

- (추진 실적)

- 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조응답 계측 기반)
 - 빙해선박에서 계측된 구조응답을 기반으로 선체 외판에 작용하는 빙하중을 추정
 - 추정된 빙하중 및 응력영향계수를 이용하여 미계측 위치에 대한 구조응답을 역추정
 - 선체 외판에 작용하는 빙하중과 선체내부 특정위치의 응력간의 관계를 의미하는 응력 영향계수법 개념을 적용

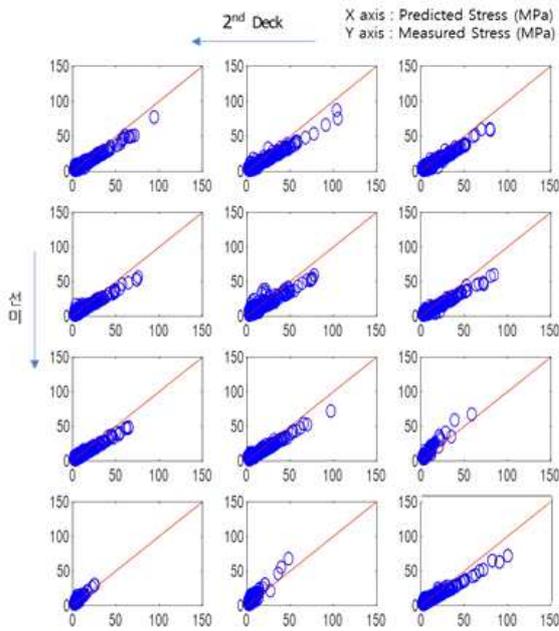
$$\begin{matrix} \left. \begin{matrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \\ \vdots \\ p_m(t) \end{matrix} \right\} \\ \text{Estimated Pressure} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdot & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \cdot & C_{2m} \\ C_{31} & C_{32} & \cdot & C_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdot & C_{nm} \end{bmatrix}^{-1} \\ \text{Pseudo inverse} \end{matrix} \begin{matrix} \left. \begin{matrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \varepsilon_3(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) \end{matrix} \right\} \\ \text{Measured Strain} \end{matrix}, (n > m)$$

<응력영향계수법>



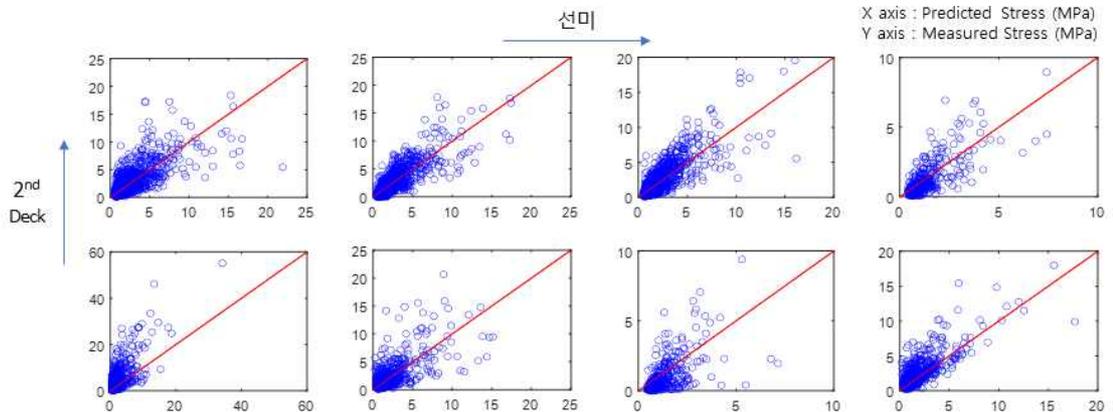
<빙하중 추정을 유한요소 해석모델>

- 빙하중 예측을 위해 사용된 shell의 응력응답을 비교적 정확하게 재추정하는 것을 확인할 수 있었음



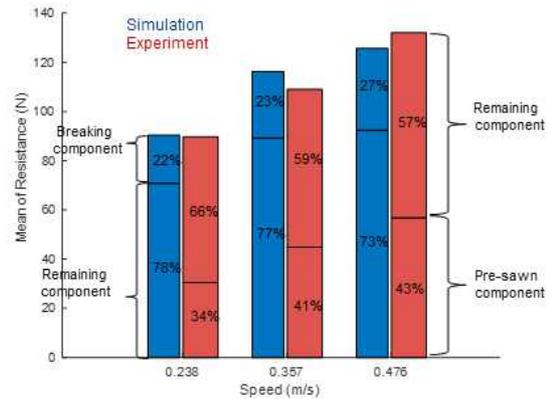
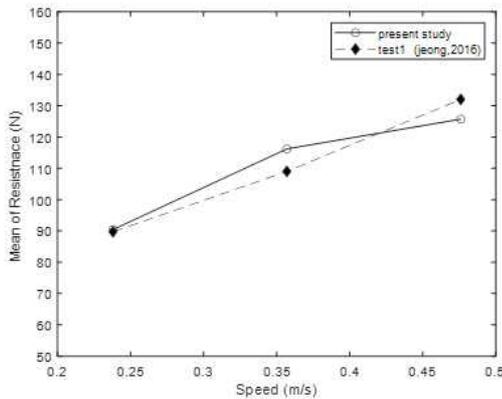
<Shell의 응력응답 예측 결과>

- 미계측 위치라고 가정된 frame의 응력응답의 경우 응답값의 경향성을 비교적 잘 표현하였으나 shell 응력 응답만큼의 정확도를 확보하지 못하는 것으로 타나남



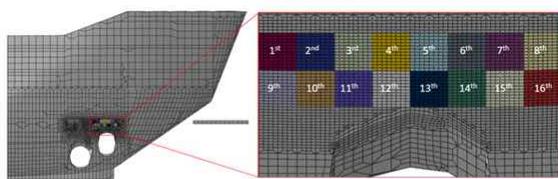
<Frame의 응력응답 예측 결과>

- 극지운항 선박의 선체 구조 피로손상도 평가기법 기술 개발
 - 1차년도에 개발된 수치해석기법을 적용하여 ARAON 선박에 대한 빙하중을 예측하고 이를 모형시험의 결과와 비교분석 함
 - 해석을 통해 얻어진 ARAON 모형에 작용하는 빙하중의 크기가 모형시험 결과 대비 최대 7%정도의 오차를 보임을 확인함
 - 선체 구조응답은 빙하중에 선형적으로 비례하여 나타나므로 구조응답의 오차를 또한 10%이내의 정확도를 보일 것으로 판단됨

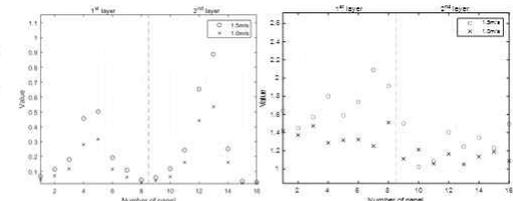


<수치해석 결과와 모형시험 결과의 비교>

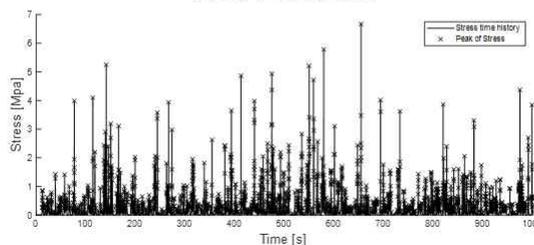
- 직접해석법을 통해 얻어진 국부 빙하중을 이용하여 선체 내부의 특정 중횡부재 교차부에서의 피로손상도를 추정하였음
- 응력의 시계열을 이용한 방법과 하중의 통계치를 이용한 방법을 검토한 결과 하중의 통계치를 이용한 방법이 보다 보수적인 결과를 나타냄을 확인함



<피로해석을 위한 패널분할>



<응력peak의 확률분포모수>



<Hot spot 응력 시계열>

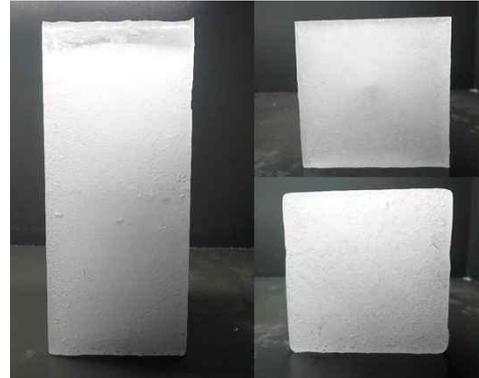
| [Damage/km] | Speed case | | |
|-------------|------------|-----------|--------|
| | 1.5m/s | 1.0m/s | 0.5m/s |
| Method 1-1 | 3.8044e-9 | 2.4596e-9 | - |
| Method 1-2 | 2.6694e-9 | 1.7453e-9 | - |
| Method 2 | 3.2365e-7 | 1.6610e-7 | - |

<단위 길이당 피로 손상도>

<ARAON호의 피로수명 예측 결과>

- 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험
 - 1차년도 예비 시험의 절차에 따라 빙시험편은 제조하고, 이를 마모시험기에 장착하여 마모/마찰 시험을 진행함
 - 빙 시험편은 초순수를 이용하여 제조하였으며, 얼음 입자와 초순수를 혼합하여 제빙기에서 얼려 제작하였음

- 마모시험은 총 20,000cycle의 왕복 거리 동안 수행되었으며, 마찰계수는 연속적으로, 표면 거칠기는 2,500cycle마다 계측되었음
- 시험편의 표면 거칠기는 DIAVITE사에서 제조된 표면 거칠기 계측기인 compact II를 사용하였음



<마모시험기 및 빙시험편>



<DIAVITE사의 COMPACT II 표면 거칠기 계측기>

- 빙해선박에 적용되는 2가지 도료를 도포한 평판 시험편을 제작하여 마모 및 마찰 시험에 작용함
- 마모시험에 적용된 도료는 Jotun사 및 PPG사의 제품으로 도막두께는 약 500microns 정도였으며, 스프레이형 분사기를 이용하여 판재에 도포함



JOTUN (Maratholn IQ2)

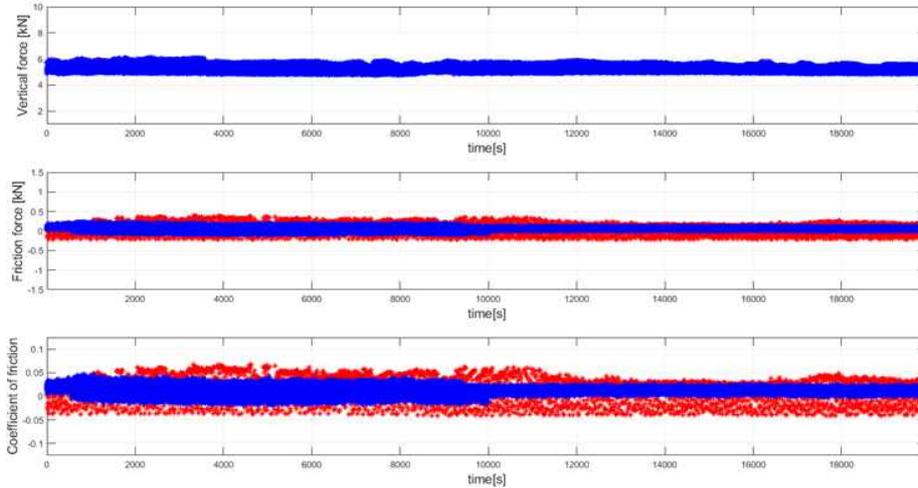


PPG (SigmaShield 1200)

<마모 시험에 적용된 도료 시험편>

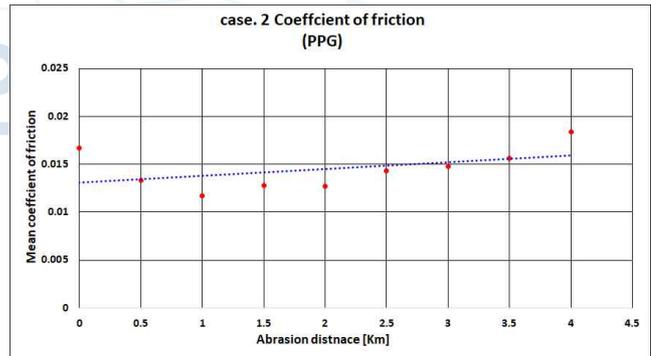
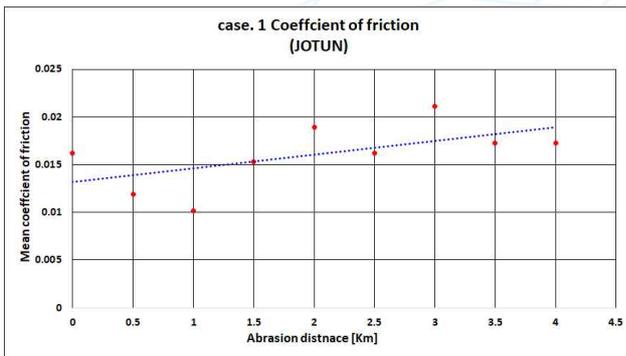
- 마모시험이 진행되는 동안 수직방향 하중, 수평방향 하중을 연속적으로 계측하여 마찰계수를 도출하였으며 마모거리에 따른 마찰계수의 변화양상을 파악하였음

- 시험기가 방향을 전환하는 동안에 발생하는 불안정한 응답으로 인해 중앙 평행부의 정상구간에서의 데이터만 선별적으로 선택하여 마찰계수 산정에 적용하였음



<마모시험 중에 측정된 하중 및 마찰계수의 시간이력>

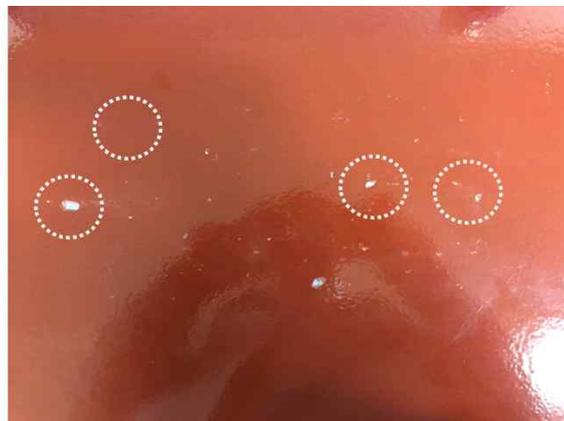
- 마모거리가 증가함에 따라 마찰계수는 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이는 얼음과 도료의 마모로 인해 표면의 거칠기가 지속적으로 증가하였기 때문에 발생한 현상으로 판단됨
- 마모거리가 증가함에 따라 도장 표면의 도료가 박리되는 현상이 관찰되었으며, 이는 두가지 도료에 공통적으로 발생하는 현상이었으며, 표면 거칠기 변화의 원인으로 추정됨



<마모 거리에 따른 마찰계수의 변화 양상>



마모실험 후 시편의 표면 상태 (마모시험 1회차)



마모실험 후 시편의 표면 상태 (마모시험 8회차)

<도장 시험편 표면의 마모>

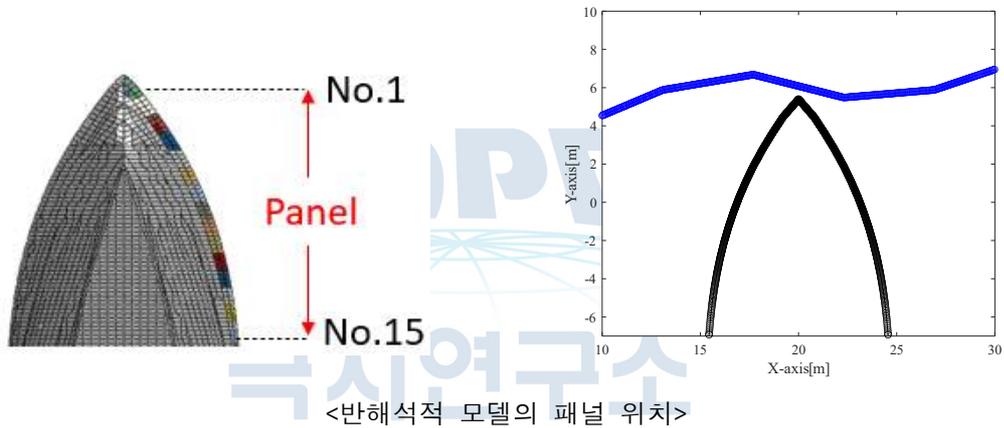
○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

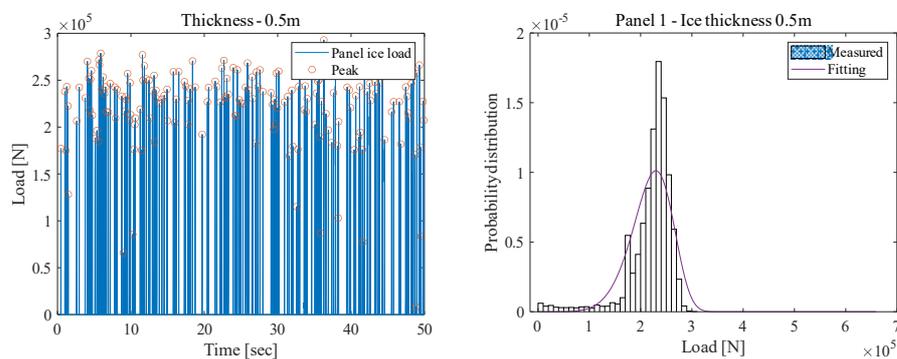
- 선체 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
- 장기 피로손상도 예측 기술 개발
- 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(선박)

- (추진 실적)

- 빙해선박의 피로수명 예측기법 개발
 - 짧은 계산 시간을 위하여 반해석적 방법을 도입하여 선박이 쇄빙시 빙하중을 계산함
 - 선체의 선수부 외판을 15개의 패널로 나누었으며 선수부터 12개의 패널을 사용하여 빙하중의 크기, 충돌횟수 변화를 관찰함
 - 평탄빙이 쇄빙되며 깨지는 웨지의 개수는 3개 또는 4개 중 50% 확률로 샘플링 되도록 설정하였음



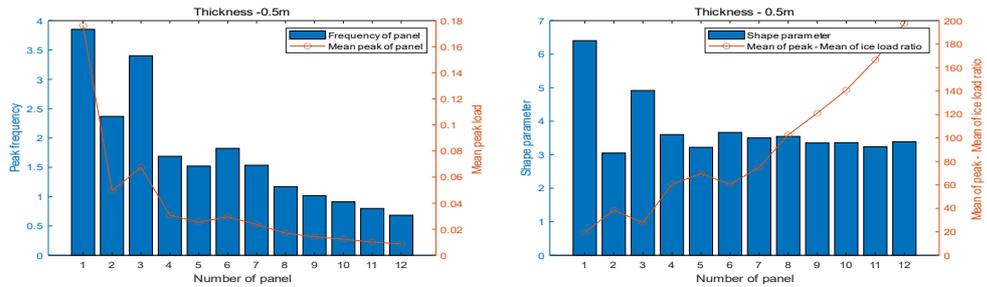
- 패널별로 빙하중의 시계열 결과를 계산하였으며 빙하중 통계치를 구하기 위해 빙하중 극치를 카운팅하였음
- 빙하중 극치의 분포를 구하고 와이블 분포(Weibull distribution)로 피팅하였음



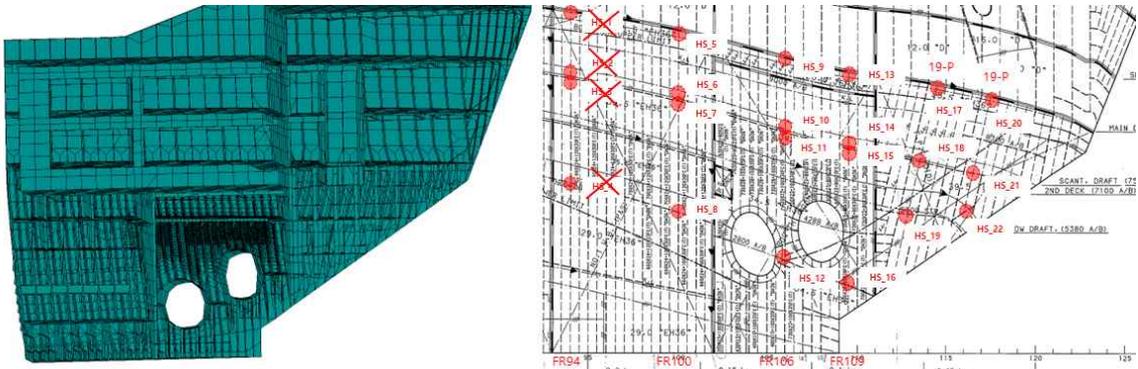
<빙하중 이력 결과 및 빙하중 극치의 분포>

- 패널별 빙하중의 시계열로부터 빙하중의 공간 분포, 빙하중 충돌빈도, 빙하중 평균 - 빙하중 극치의 평균간의 비, 와이블 분포의 형상모수를 계산함

- 빙하중의 공간 분포, 빙하중 충돌빈도, 와이블 분포의 형상모수는 선수 전면부 패널에서 가장 크고 측면으로 갈수록 감소하는 것을 확인할 수 있으며 측면으로 갈수록 충돌빈도가 낮아지기 때문에 빙하중 평균 - 빙하중 극치의 평균간의 비는 증가하는 것을 확인이 가능함

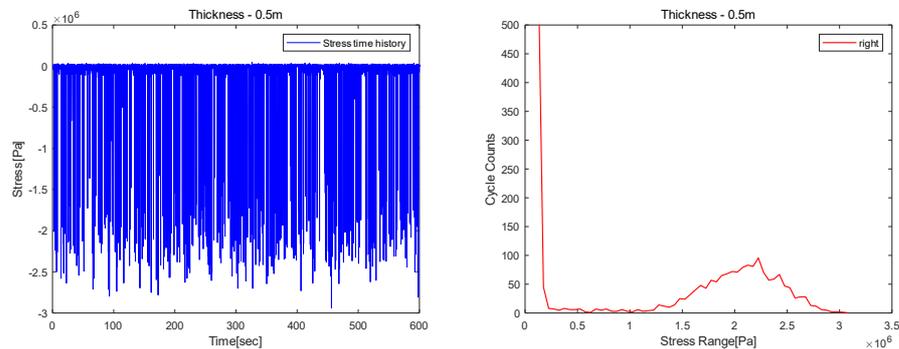


<빙하중 이력 결과 및 빙하중 극치의 분포>



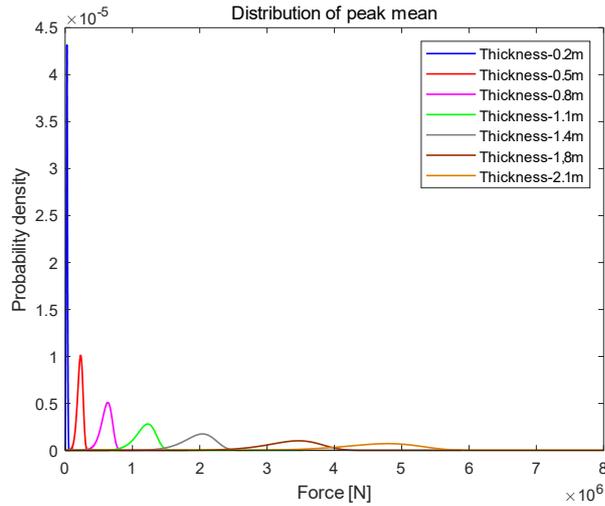
<핫스팟 포인트의 위치>

- 22개의 위치의 핫스팟이 선정되었으며 1번부터 4번까지의 핫스팟은 패널에서부터 거리가 크게 떨어져 있기 때문에 영향계수가 0에 가깝게 계산되었음. 따라서 5번부터 22번 핫스팟에 대하여 피로손상도 계산을 수행함
- 12개의 패널에 영향계수 행렬을 곱하여 22개의 핫스팟에서의 응력 시계열을 계산이 가능함
- 응력 시계열을 레인플로우 카운팅하여 응력 진폭의 분포를 도출이 가능함



<22번 핫스팟에서의 응력 시계열 및 응력 진폭 분포>

- 시뮬레이션으로부터 생성된 가상의 계측 추력 데이터로부터 전체 빙하중을 계산하고 빙하중 통계치를 이용하여 패널별 하중 피크의 분포를 계산이 가능함
- 영향계수를 곱하여 핫스팟에서의 패널별 대미지를 계산하고 선별된 패널들로부터 오는 응력의 극치가 모두 중첩된다는 가정을 통해 보수적으로 피로손상도가 계산됨

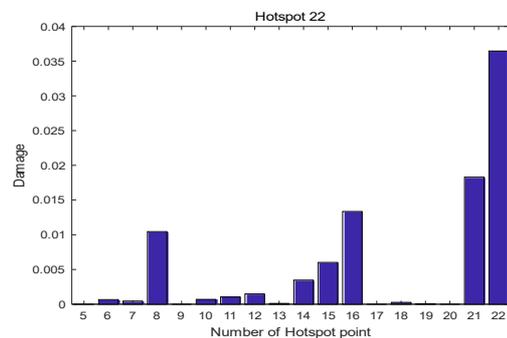
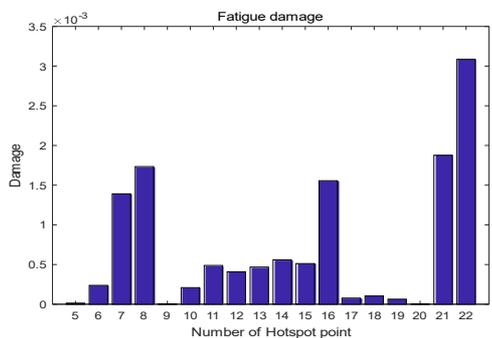


<22번 핫스팟에서의 응력 시계열 및 응력 진폭 분포>

| Ice Thickness (m) | Ship Speed (Knot) | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------|------------|-------------|------------|
| | 0~4.22 | 4.22~8.44 | 8.44~12.66 | 12.66~16.88 | 16.88~21.1 |
| 0.00~0.32 | 0.051 | 0.034 | 0.069 | 0.086 | 0.065 |
| 0.32~0.64 | 0.053 | 0.034 | 0.070 | 0.087 | 0.066 |
| 0.64~0.95 | 0.031 | 0.020 | 0.042 | 0.052 | 0.039 |
| 0.95~1.27 | 0.018 | 0.012 | 0.025 | 0.031 | 0.023 |
| 1.27~1.59 | 0.011 | 0.007 | 0.015 | 0.019 | |
| 1.59~1.91 | 0.007 | 0.005 | 0.010 | | |
| 1.91~2.23 | 0.005 | 0.003 | | | |

<Scatter diagram>

- 얼음의 두께 및 선속에 따른 피로손상도와 상단의 Scatter diagram을 이용하여 항해기간동안의 피로손상도를 추정함
- 시뮬레이션 기반의 응력시계열로부터 계산된 20년 동안의 피로손상도와 빙하중 통계치와 가상의 계측 데이터를 이용한 1년 동안의 피로손상도를 추정함

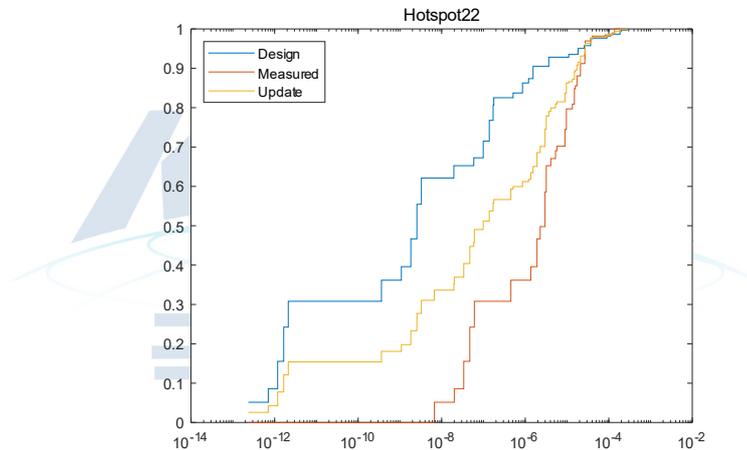


< 피로손상도 (좌 : 시뮬레이션 기반, 우 : 계측 데이터, 빙하중 통계치 기반) >

- 5번부터 22번까지 핫스팟의 피로손상도를 계산하였으며 선수부 전면부에 있는 22번 핫스팟에서의 피로손상도가 가장 크게 나타난 것을 확인 가능함
- 시뮬레이션 기반 피로손상도 및 계측 데이터와 빙하중 통계치 기반의 피로손상도를 이용하여 각각의 피로손상도 확률 분포를 만들 수 있음. 여기서 평탄빙 두께, 선속에 따른 피로손상도의 확률 값은 Scatter diagram의 확률값을 사용함
- 22번 핫스팟에 대하여 두 개의 피로손상도 확률 분포를 누적 확률분포로 나타내면 하단 그림의 파란선과 붉은 선과 같음. 하단의 식을 이용하여 두 개의 누적 확률 분포 $F(x)$, $G(x)$ 를 새로운 누적 확률분포로 업데이트 할 수 있으며 α 는 $F(x)$ 누적 확률 분포에 대한 신뢰도를 의미함

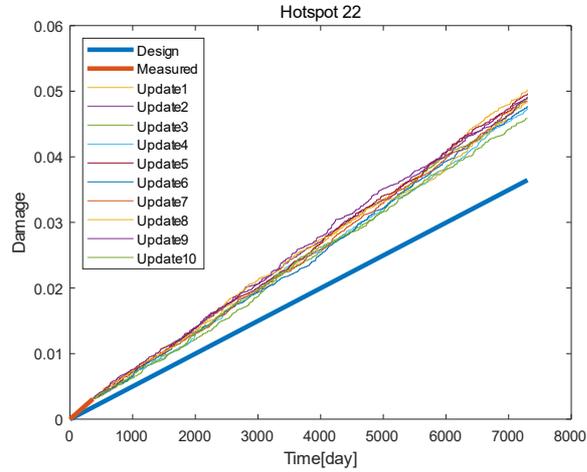
$$U(x) = \alpha F(x) + (1 - \alpha)G(x)$$

- 두 개의 누적 확률 분포로부터 업데이트 된 새로운 누적 확률 분포는 노란 선과 같음



<피로손상도 누적 확률 분포 업데이트>

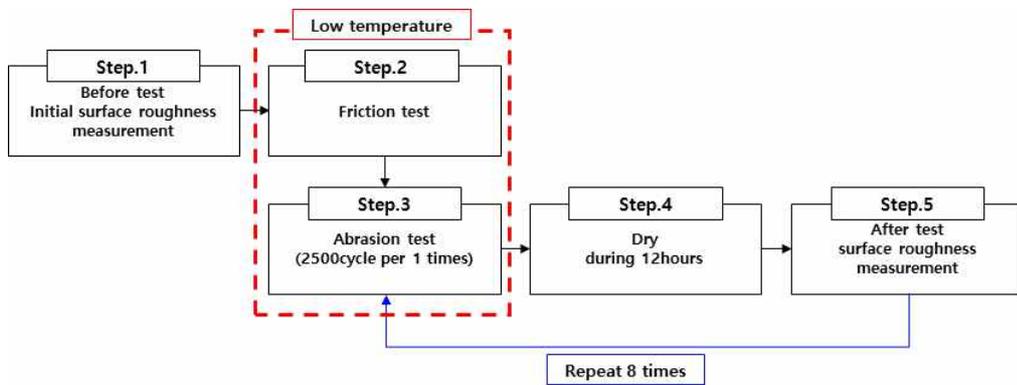
- 업데이트된 누적 확률 분포로부터 샘플링을 통해 계측 시점 이후의 피로손상도에 대하여 추정할 수 있음. 하단의 그림은 파란 선이 시뮬레이션 기반의 피로손상도, 주황 선이 빙하중 통계치와 계측 데이터 기반의 피로 손상도를 의미함
- 계측 시점 이후의 피로손상도는 업데이트된 피로손상도 확률 분포로부터 샘플링된 10개의 샘플들로 나타냄. 확률 분포로부터 추출되었기 때문에 무작위성을 갖고있는 것을 확인이 가능함



<피로손상도 업데이트>

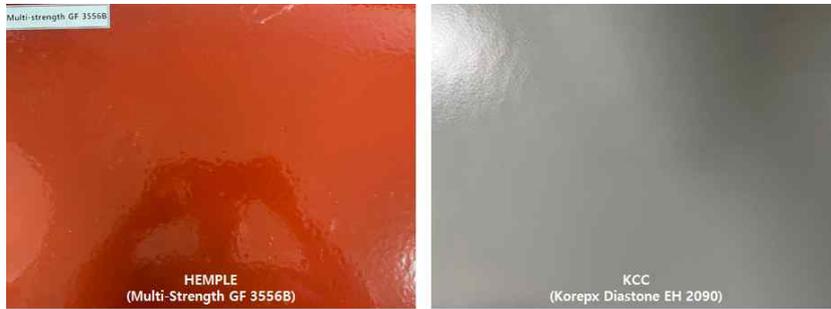
○ 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험

- 초순수와 얼음 입자를 혼합 후, 제빙기에서 얼려 빙 시편을 제조하였음
- 마모시험은 2500cycle씩 총 8회 수행하였으며, 마찰계수는 2500cycle 계측 데이터를 평균하여 산정함

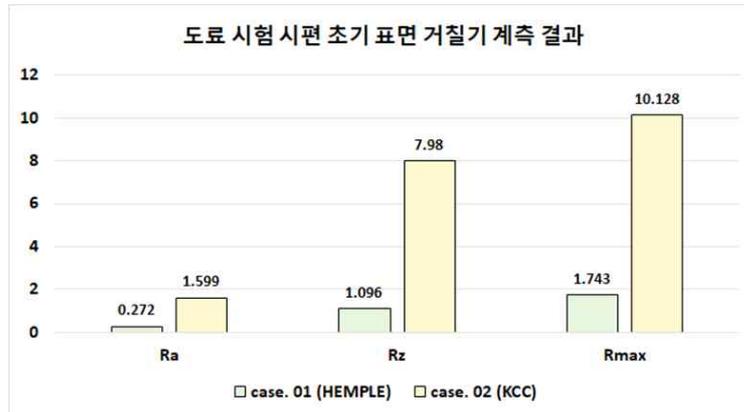


<마찰/마모 시험 절차>

- DIAVITE사에서 제조된 표면 거칠기 계측기인 compact II를 사용하여 시편의 표면 거칠기를 계측함
- 시험편의 표면 거칠기는 1회 마모시험이 완료 될 때마다 시험편의 표면 거칠기를 계측함
- 빙해선박에 적용되는 2가지 도료를 도포한 평판 시험편을 제작하여 마모 및 마찰 시험에 작용함
- 마모시험에 적용된 도료는 HEMPEL사 및 KCC사의 제품을 사용하였으며, 스프레이 형 분사기를 이용하여 판재에 도포함
- 마찰/마모 시험 수행 전, 시험편의 표면 거칠기를 계측하여 시험편의 초기 표면 거칠기 상태를 파악함

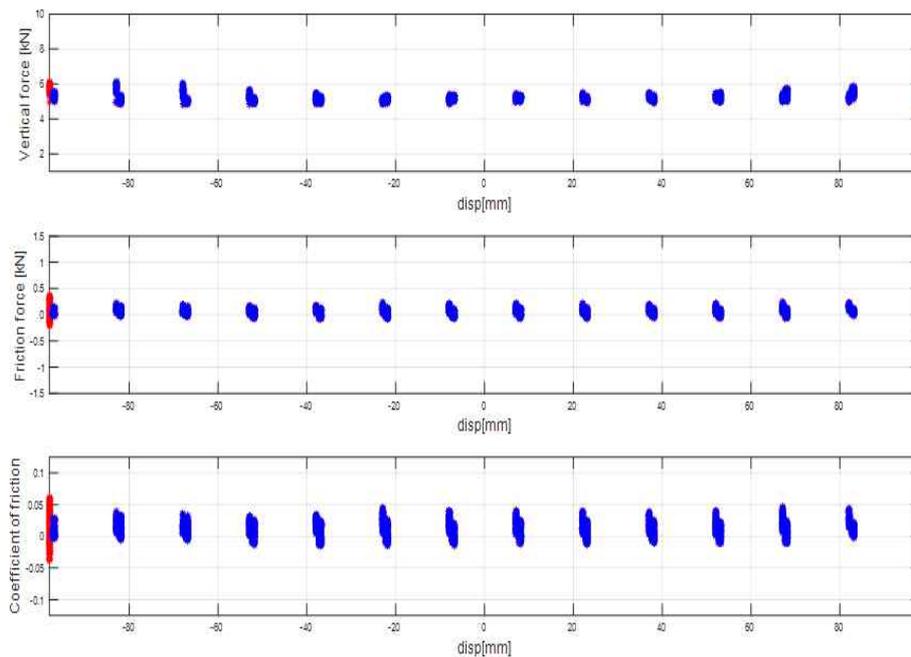


<마모 시험에 적용된 도료 시험편의 초기 표면 상태>



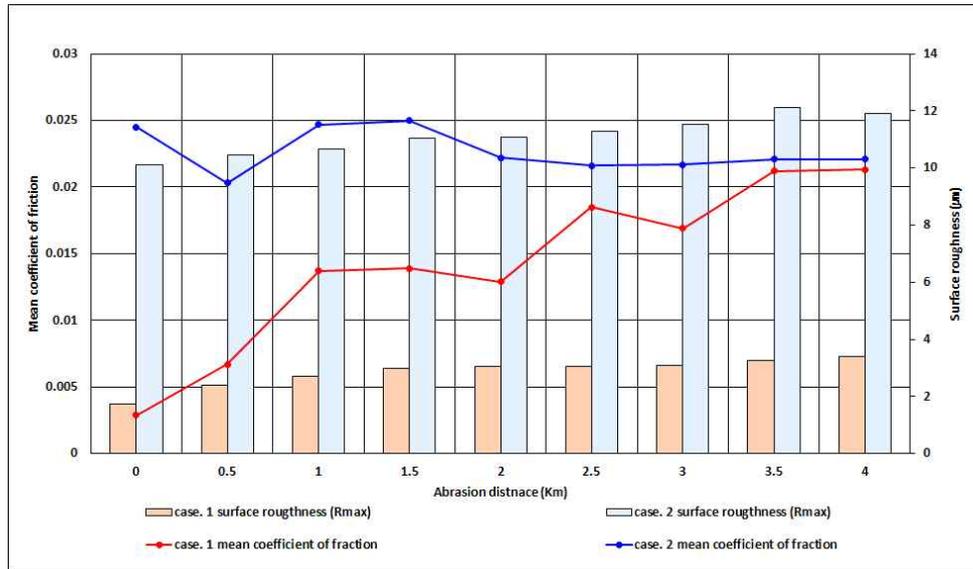
<시험편 초기 표면 거칠기 계측 결과>

- 마모시험이 진행되는 동안 수직방향 하중, 수평방향 하중을 연속적으로 계측된 데이터를 사용하여 마찰계수를 도출하였으며 마모거리에 따른 마찰계수의 변화양상을 파악하였음
- 마모시험 무빙 플레이트가 방향을 전환하는 부분에서 불안정한 계측 데이터가 계측으로 인해 중앙 평행부의 정상구간에서의 데이터만 선별적으로 선택하여 마찰계수 산정에 적용하였음



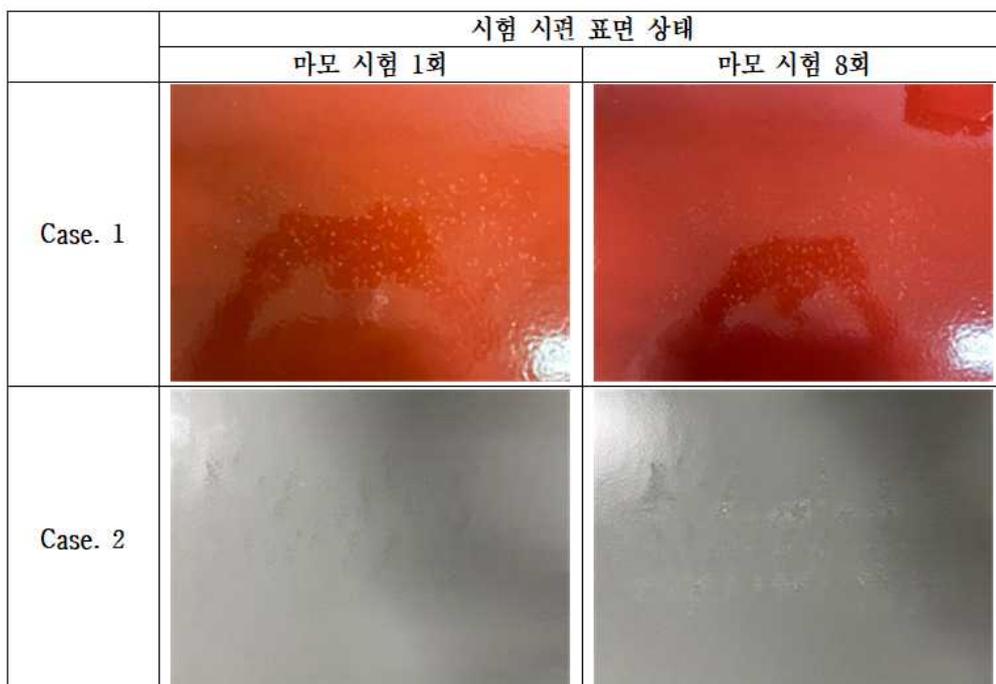
<마모시험 중에 계측된 하중 및 마찰계수 데이터>

- HEMPEL사 도료가 도포된 시편(case. 1)의 경우, 마모거리가 증가함에 따라 마찰계수는 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나, KCC사 도료가 도포된 시편(case. 2)의 경우, 마모거리가 증가함과 관계없이 마찰계수 변화가 나타나지 않음
- 마모거리가 증가함에 따라 HEMPEL사 도료가 도포된 시편(case. 1)의 경우 표면 거칠기가 증가하는 경향을 보였으며, KCC사 도료가 도포된 시편(case. 2)의 경우, 표면 거칠기 변화가 크게 나타나지 않음
- 두 시험편의 마찰계수 및 표면 거칠기 변화 양상이 차이를 보이는 것은 사용된 도료의 성분 차이 및 도료 도포 방식이 차이라고 판단됨



<마모 거리에 따른 마찰계수 및 표면 거칠기(Rmax)의 변화 양상>

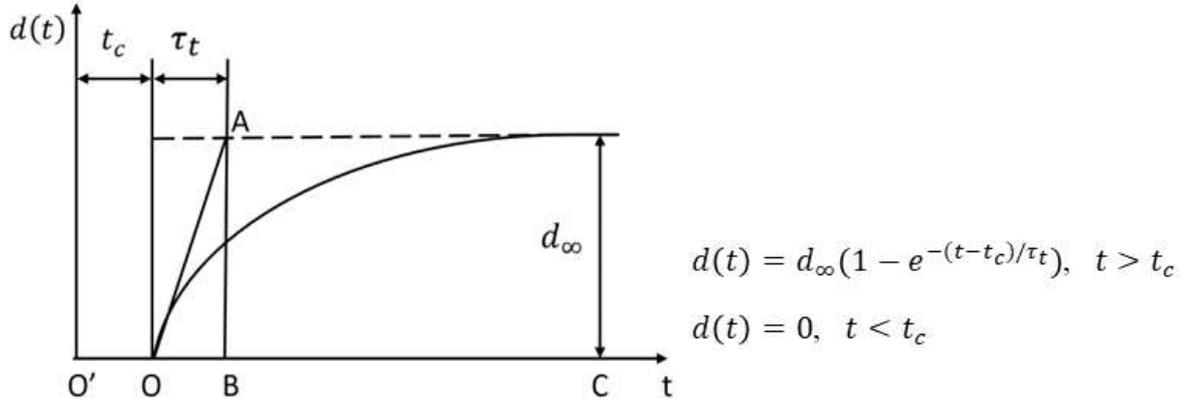
- 마모거리가 증가함에 따라 도장 표면의 도료가 박리되는 현상이 관찰되었으며, 이는 두가지 도료에 공통적으로 발생함



<도장 시험편 표면의 마모>

◦ 확률론적 부식 예측 기법 개발

- 부식의 시간 이력을 예측할 수 있는 비선형 부식 모델을 도입하고, 모델 파라미터를 확률 변수로 취급함으로써 확률론적 부식 예측을 수행
- Soarea and Garbatov (1999)가 제안한 지수 함수 형태의 부식 모델을 도입하고 모델 파라미터인 d_∞ 와 τ_t 를 확률 변수로 취급



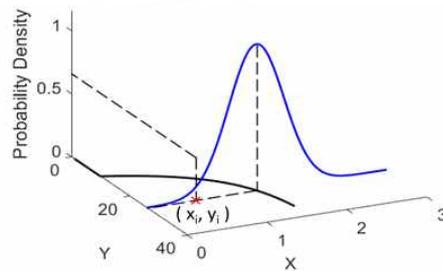
<Soarea and Garbatov의 부식 예측 모델>

- 베이저안 추론 기법을 적용하여 계측 데이터가 획득된 후 부식 모델의 확률변수에 대한 확률 분포를 업데이트
- 계측 데이터 취득에 따라 장기 부식 추정량을 실시간으로 수정해 나가며, 계측 데이터의 양이 증가할수록 부식 추정량의 정확도를 향상시키는 방향으로 진행

$$P(D | H) = \prod_{i=1}^n P(D_i | H)$$

$$L(D | \beta, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n P(y_i | x_i, \beta, \sigma^2)$$

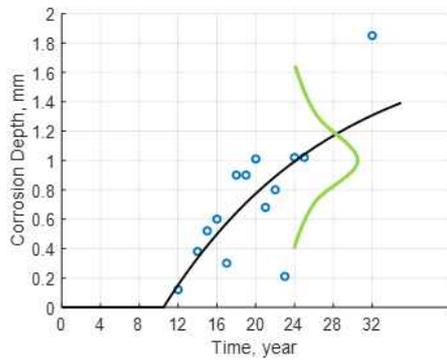
$$= (2\pi\sigma^2)^{-\frac{n}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_i)^2\right\}$$



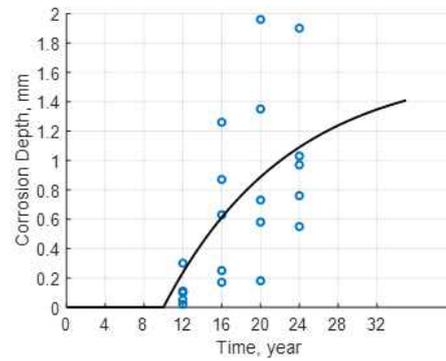
- $e \sim N(0, \sigma^2)$
- Data : (x_i, y_i)
- μ_i : predicted values from the model

<베이저안 추론 기법에 따른 확률 변수의 업데이트>

- 문헌에서 취득한 부식 데이터를 활용하여 제안된 기법을 실 데이터에 적용하여 장기 부식량을 추정하고 제안된 방법론의 유효성을 검증함
- 초대형 원유운반선의 상부 deck plate에서 획득된 1,168개의 데이터를 적용하여 부식량 예측을 수행함



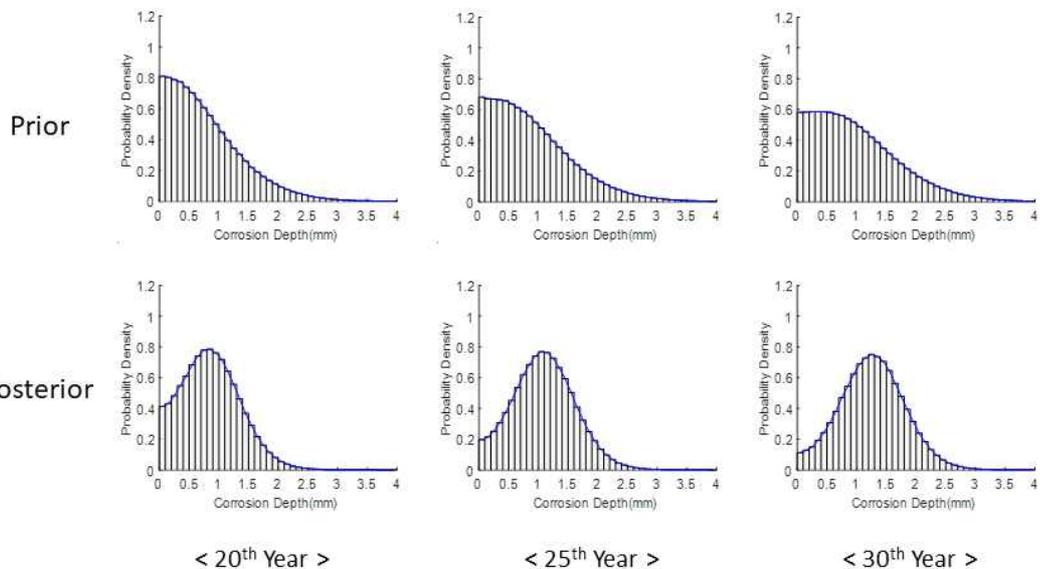
< Reference corrosion data >



< Sampled corrosion data >

<문헌을 통해 취득된 가상의 부식 데이터>

- 데이터가 취득된 시점을 기준으로 부식 모델 파라미터에 대한 사후 확률분포를 계산하고 이를 통하여 해당 시점에서 부식량에 대한 확률 분포를 얻음
- 시간이 지날수록 부식량의 평균치가 점진적으로 증가하는 경향을 보임을 확인할 수 있으며, 이는 장기 부식량 추정 및 이를 바탕으로 한 유지 및 보수에 대한 의사 결정의 기초 데이터로 활용 가능함



< 20th Year >

< 25th Year >

< 30th Year >

<20년, 25년, 30년 후의 부식량에 대한 확률분포>

[공동연구개발기관명4 : 서울대학교]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목 에서 차지하 는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/) | 연구개 발 전 국내수 준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험) 인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------|---|---|----|---|---|----------------|------------|-------|--------|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 빙하중 추정 구조응답 오차율 | 1. 극지운영 해양구조물 구 조응답 오차율(서울대) | % | 7 | - | 사려 없음 | | | 10 | | | 9.4 | - | - | 전문가 평가 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|---|------|--------|--|
| 1 | (빙하중 추정 구조응답 오차율) 극지운영 해양구조물 구조응답 오차율 | 3차년도 | 전문가 평가 | <ul style="list-style-type: none"> - 극지운영 해양구조물의 구조응답에 대한 실측치와 예측치를 비교분석한 사례는 찾아보기 어려움 - 극지운영 해양구조물의 구조응답에 대한 실측치 확보가 어려워 운동해석과 구조해석결과를 이용하여 랜덤해상상태를 구현하고 여기서 구조응답을 구하여 실측치로 사용함 - 랜덤해상상태에서 구한 구조응답과 디지털 트윈 모델에서 얻은 예측치를 비교 검증하였으며 이를 전문가 의견 청취를 통해 평가함 |

○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

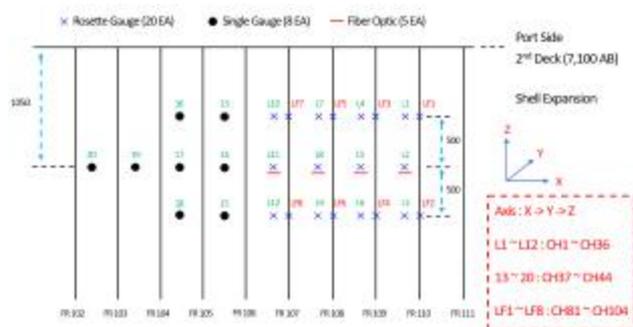
- 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석
- 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발
- 환경하중 관련 계측된 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발

- (추진 실적)

- 극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석
 - 2019년 남극 로스해 빙하중 계측데이터 및 보고서 확보
 - Strain gage 위치별 strain 계측 데이터 시계열 데이터의 통계치 분석

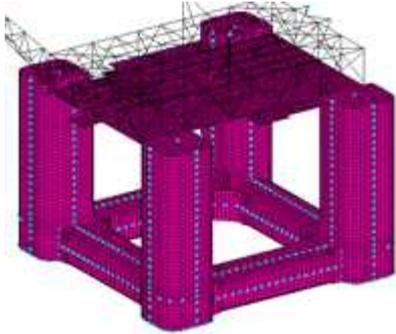


<Ross sea의 Pack ice 예>



<아라온호 선측 외판 계측 위치>

- 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발
 - 반잠수식 원유생산설비 FE 모델 확보
 - 13 Heading angle x 33 frequency 에 대해 운동해석 후 전선해석 해석 수행



<해석 대상의 Semi-Platform>

<전선해석 수행 결과 RAO>

- 환경하중 관련 계측된 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발
 - Sectional load에 대한 RAO (Response Amplitude Operator) 도출
 - Sectional load에 대한 DBM (Distorsion Based Method) 적용
 - 기존 방법에서 First mode를 자기 상관계수가 최대치의 30% 이상인 mode 중 가장 에러가 작은 것으로 최적화 수행, RAO 및 시계열 데이터 예측이 높은 정확도 달성



<최적화된 DBM 방법을 이용해 얻은 방향별 RAO 및 시계열 데이터의 비교>

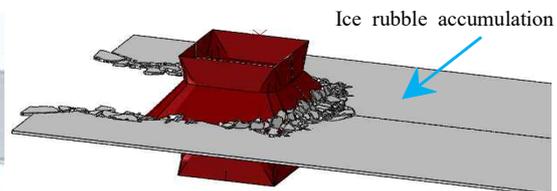
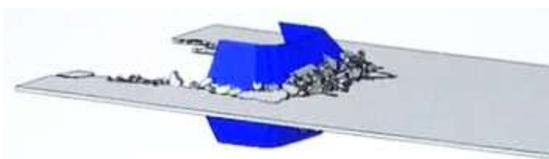
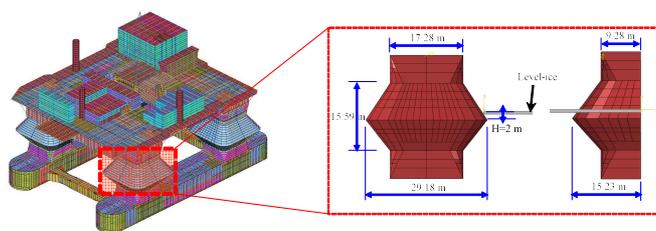
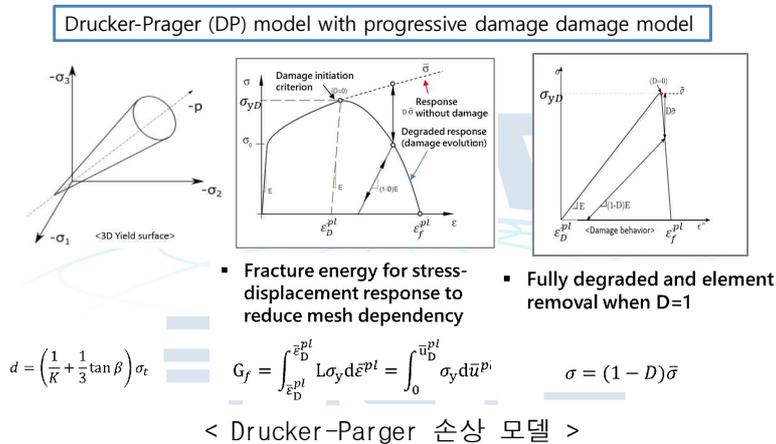
○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 기반)
- 빙하중 추정 기술 개발(해양구조물 구조응답 기반)
- 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교
- 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 빙충돌 시뮬레이션 결과와 비교
- 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발
- 환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발

- (추진 실적)

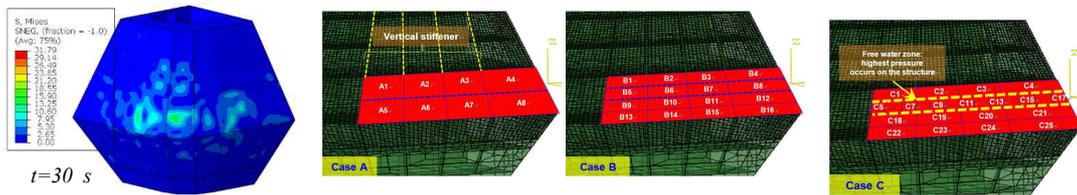
- 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 기반)
 - 해양구조물의 ice 충돌 부위 모델링
 - Abaqus와 DP 손상모델을 이용한 빙충돌 시뮬레이션을 통한 빙하중 추정 기술 개발



< Artic7용 해양구조물의 ice belt존에 대해 deformable body와 rigid body에 대한 시뮬레이션 >

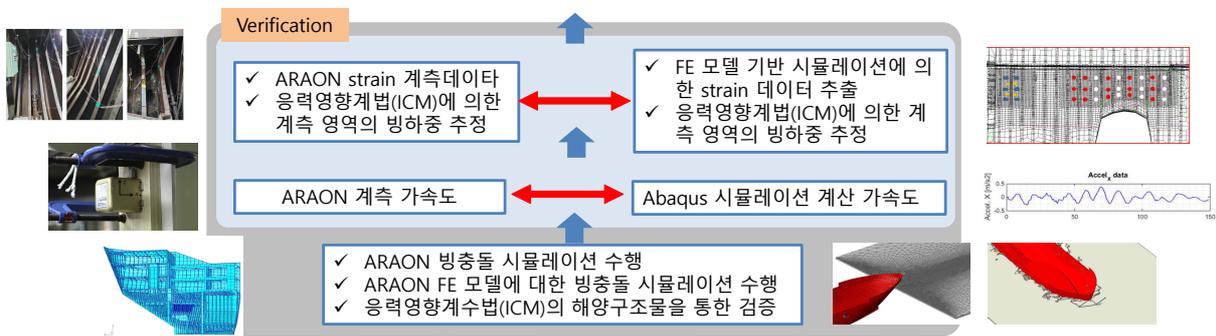
- Rigid body 및 deformable body에 대해서 빙충돌 시뮬레이션 수행
- Deformable body에서 계산된 응력을 바탕으로 응력영향계수법을 이용하여 빙충돌

하중 예측시 Rigid body로부터 계산된 빙하중 (contact force)와 비교하여 최적의 strain gage 배치 결정



< deformable body에서 얻어진 응력 분포 (왼쪽)과 strain gage 부착위치에 대한 case study >

- 빙하중 추정 기술 개발(해양구조물 구조응답 기반)
 - ARAON 실선 계측 데이터를 이용해 실선 구조응답 결과 비교
 - 전체 수행 내용 개요

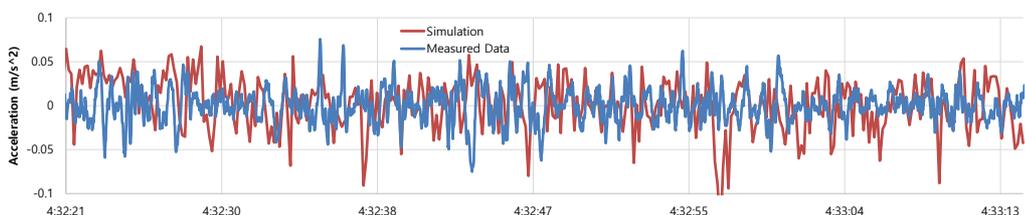


- ARAON에 대해서 ICE level 존에 가까운 지역 선정, rigid body 및 deformable body에 대해 시뮬레이션 수행



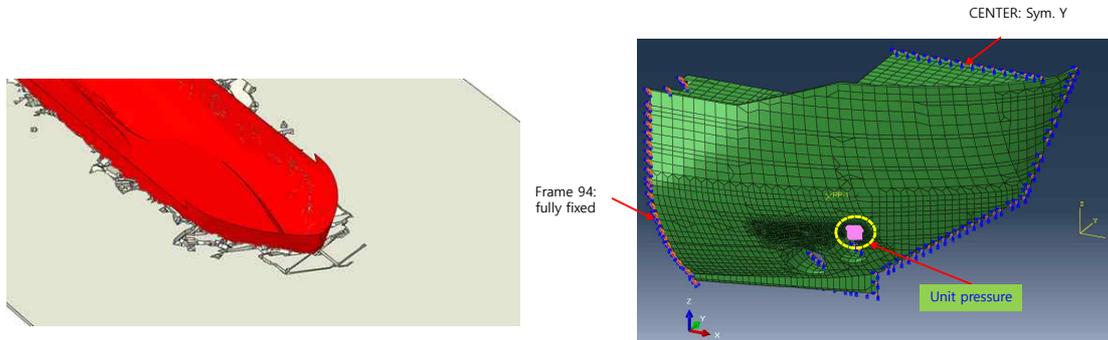
< ARAON 항해동영상 및 strain gage 배치, 가속도 및 속도 센서 설치 >

- 등속도 구간을 선택하여 추진하중 계산 후, 등하중에 대한 시뮬레이션 수행
- 시뮬레이션에서 계산한 선속 방향 가속도와 계측된 가속도의 비교



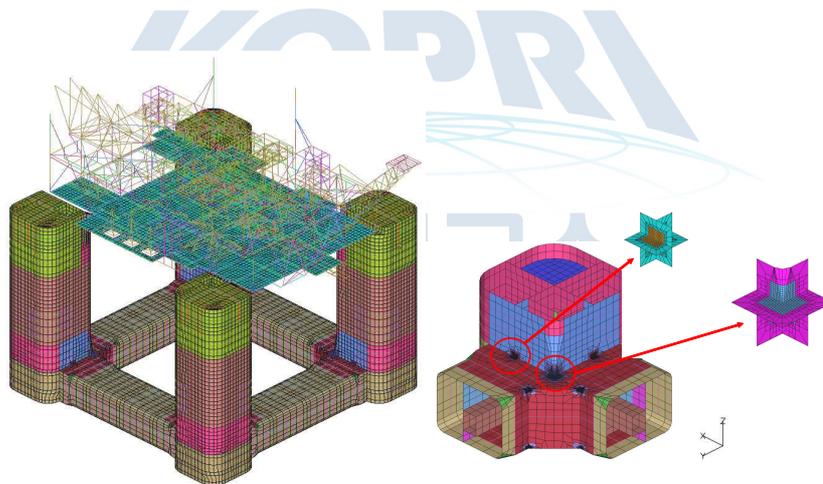
< ARAON 계측 선속 방향 가속도와 시뮬레이션에서 얻어진 가속도의 비교 >

- 응력영향계수법을 이용하여 시뮬레이션의 빙하중과 계측된 게이값을 이용한 빙하중의 비교



< ARAON에 대한 igid body 및 deformable body에 대해 시뮬레이션 수행 >

- 극지운영 해양구조물의 구조 피로손상도 평가기법 기술 개발
 - 피로취약부위 스펙트랄 피로해석 수행환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발
 - 일반적인 타입의 Semi-Production unit의 선체 피로 취약 부위 모델링 및 전선스펙트랄 피로해석 수행 및 주어진 장기 환경 하중 분포에 대한 피로 손상도 예측 기술 개발



< Semi-FPU 전선 모델과 피로 취약부위의 피로해석 모델링 >

- Distortion Based Method (DBM)을 이용하여 환경하중 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증 (3차년도 예정 내용)
- 기존 방법의 단점을 보완하기 위해 Distortion mode의 최적화 수행 기능 추가

$$\{F\} = [B][M]^+ \{X\}$$

Sectional loads

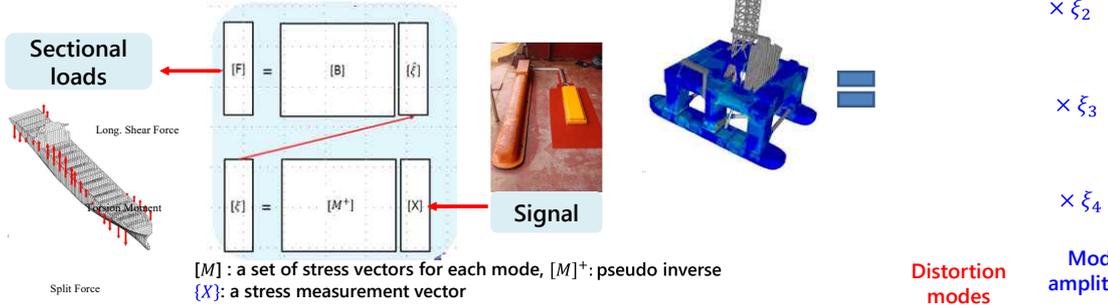
Stress measurements at sensors

$\times \xi_1$

$[B]$: a set of sectional hull girder load vectors for each mode

$\{\xi\}$: a modal amplitude vector

$\times \xi_2$



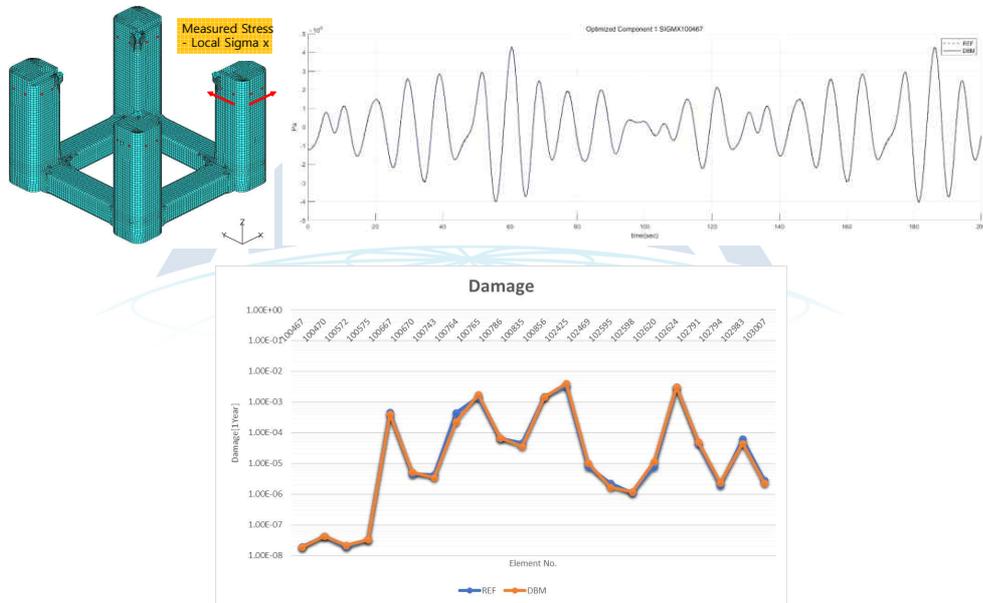
$[M]$: a set of stress vectors for each mode, $[M]^+$: pseudo inverse
 $\{X\}$: a stress measurement vector

Distortion modes

Modal amplitudes

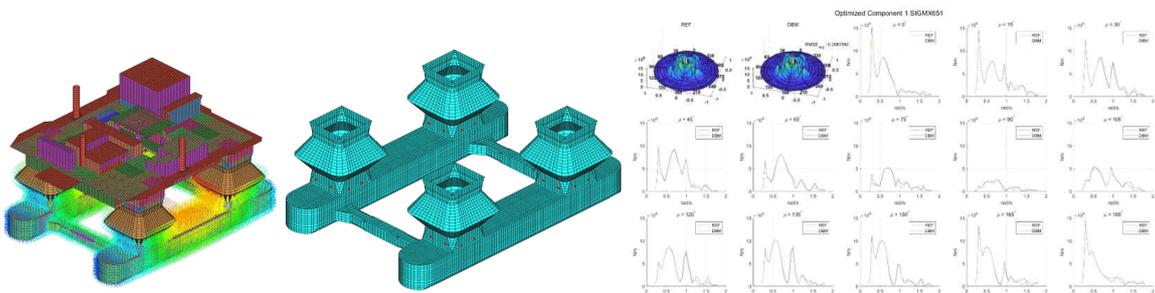
< Distortion Based Method를 이용한 sectional load 또는 미계측 부위 예측방법 >

- 32개의 stress sensor를 이용하여 피로손상도 예측 결과와 실제 계산된 RAO를 이용한 값과 비교



< DBM과 Column 상단 응력 이용한 hotspot 응력 예측 결과 및 피로손상도 예측 결과 >

- Artic 7에 대해서도 동일한 방법으로 예측된 hotspot의 RAO와 실제 RAO를 비교하여 잘 일치하는 것을 확인하였음



< DBM과 Column 하단 응력을 이용한 hotspot 응력 RAO 예측 결과 >

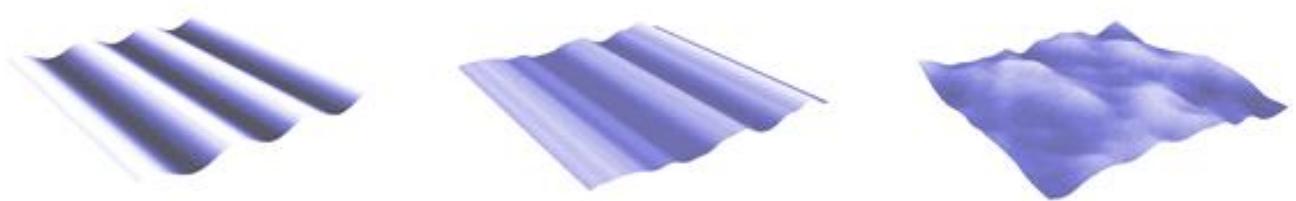
○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

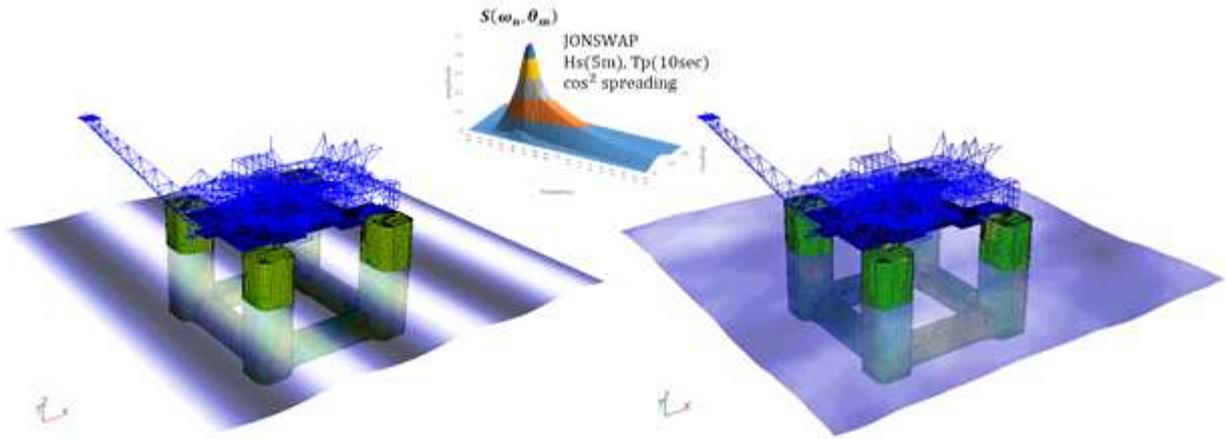
- 해양구조물 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
- 예측된 빙하중(위성 계측 기반) 기반 해양구조물 구조응답 예측 기술 개발
- 빙하중 관련 계측 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발
- 환경하중 및 빙하중 계측 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증
- 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(해양구조물)
- 빙하중에 기인 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발

- (추진 실적)

- 해양구조물 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
 - 극지 운영 해양구조물의 실시간 시뮬레이션에 기반한 응력 시계열에서 피크 카운팅을 통해 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발
- 예측된 빙하중(위성 계측 기반) 기반 해양구조물 구조응답 예측 기술 개발
 - 빙 총돌 부위에 대해 위성 예측된 빙 정보에 대한 구조응답을 영향계수행렬을 정의하여 예측
- 빙하중 관련 계측 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발
 - 빙 총돌 시뮬레이션을 통하여 빙 총돌 하중과 구조응답간의 영향계수행렬을 구하여 미 계측 부위 구조응답을 예측
- 환경하중 및 빙하중 계측 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증
 - 실측치를 얻기 위한 랜덤해상상태에서 wave와 stress를 시계열데이터로 구현함

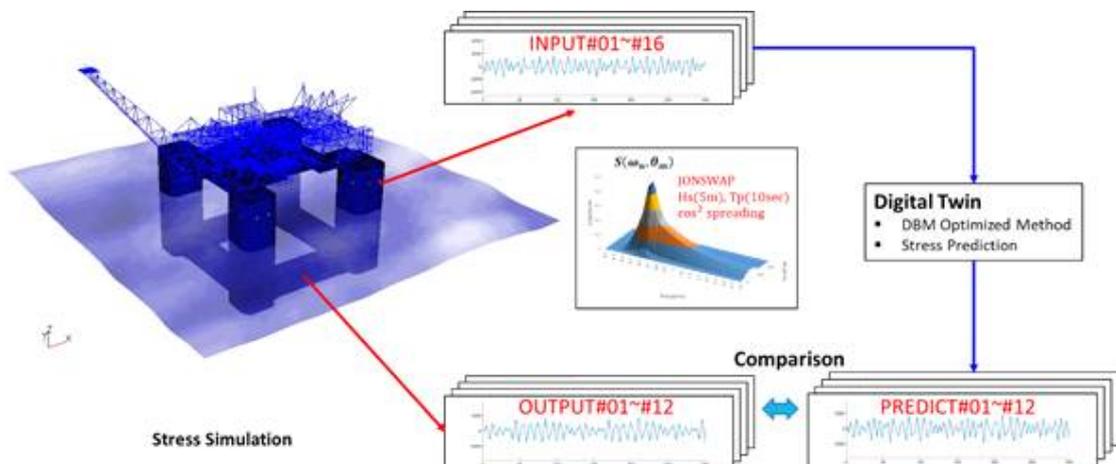


< 랜덤해상상태 구현을 위한 불규칙-단파정 wave 시뮬레이션 >



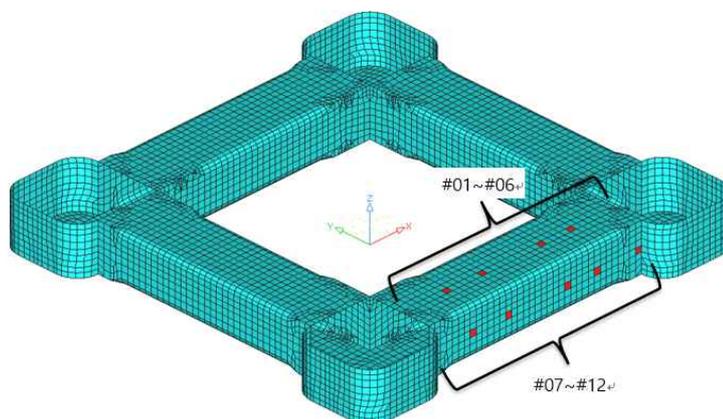
< 규칙파와 wave spectrum을 이용한 랜덤해상상태에서의 stress 시뮬레이션 >

- 디지털 트윈 검증을 위해 랜덤해상상태에서의 stress와 디지털 트윈의 예측치를 비교
- JONSWAP spectrum, Hs=5m, Tp=10sec, Main heading=120° , cos2 spreading 조건을 사용하여 랜덤해상상태 구현



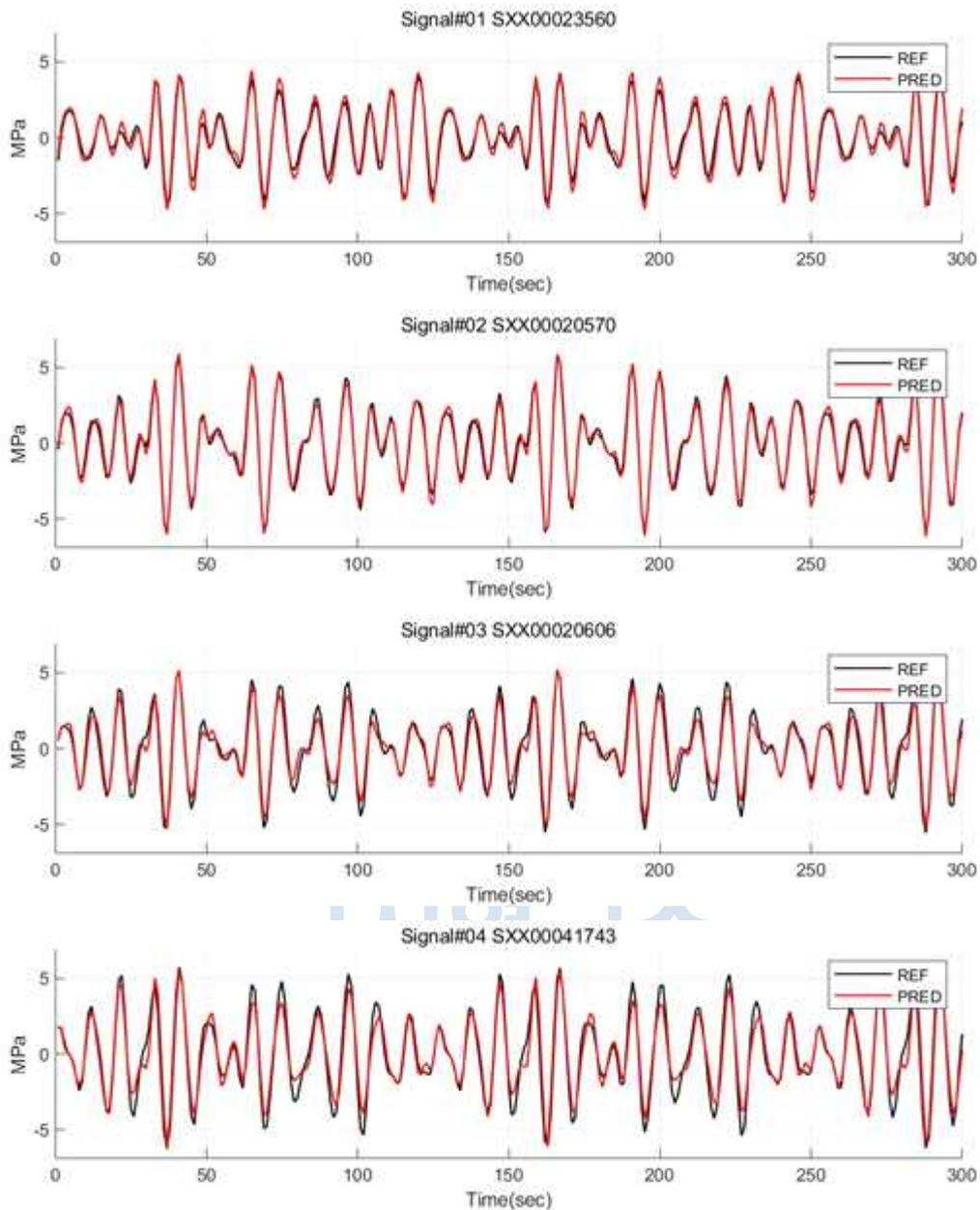
< 디지털 트윈 검증을 위한 실측치와 예측치 비교 절차 >

- column에서 16개 요소를 선택하여 stress sensor로 사용하고, pontoon에서 12개의 요소를 선택하여 검증용 stress로 사용



< 디지털 트윈 검증용 위치 >

- 랜덤해상상태 구현에서 나온 stress signal과 디지털 트윈의 예측 stress signal을 비교하고 오차율을 정의하여 계산



< Stress Signal#01~#04 - 랜덤해상상태 구현값(REF)과 예측치(PRED) >

- 오차율 정의

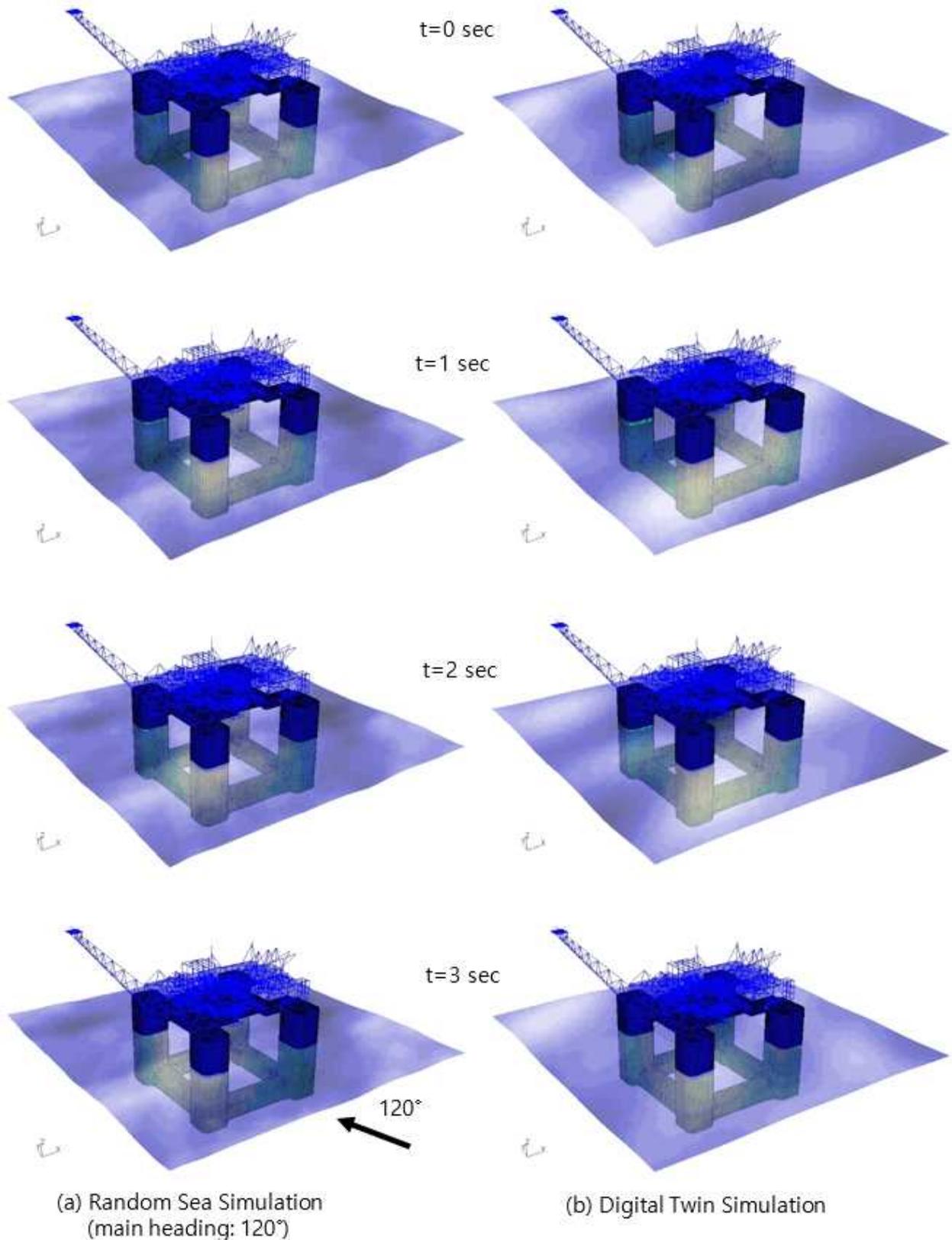
$$error\ rate(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|REF_i - PRED_i|}{\max(|REF_1|, \dots, |REF_N|)} \times 100$$

REF_i : measured time signal data
 $PRED_i$: predicted time signal data
 N : Number of time signal data

- 12개의 검증용 signal에서의 오차율은 최대 9.4%로 계산됨

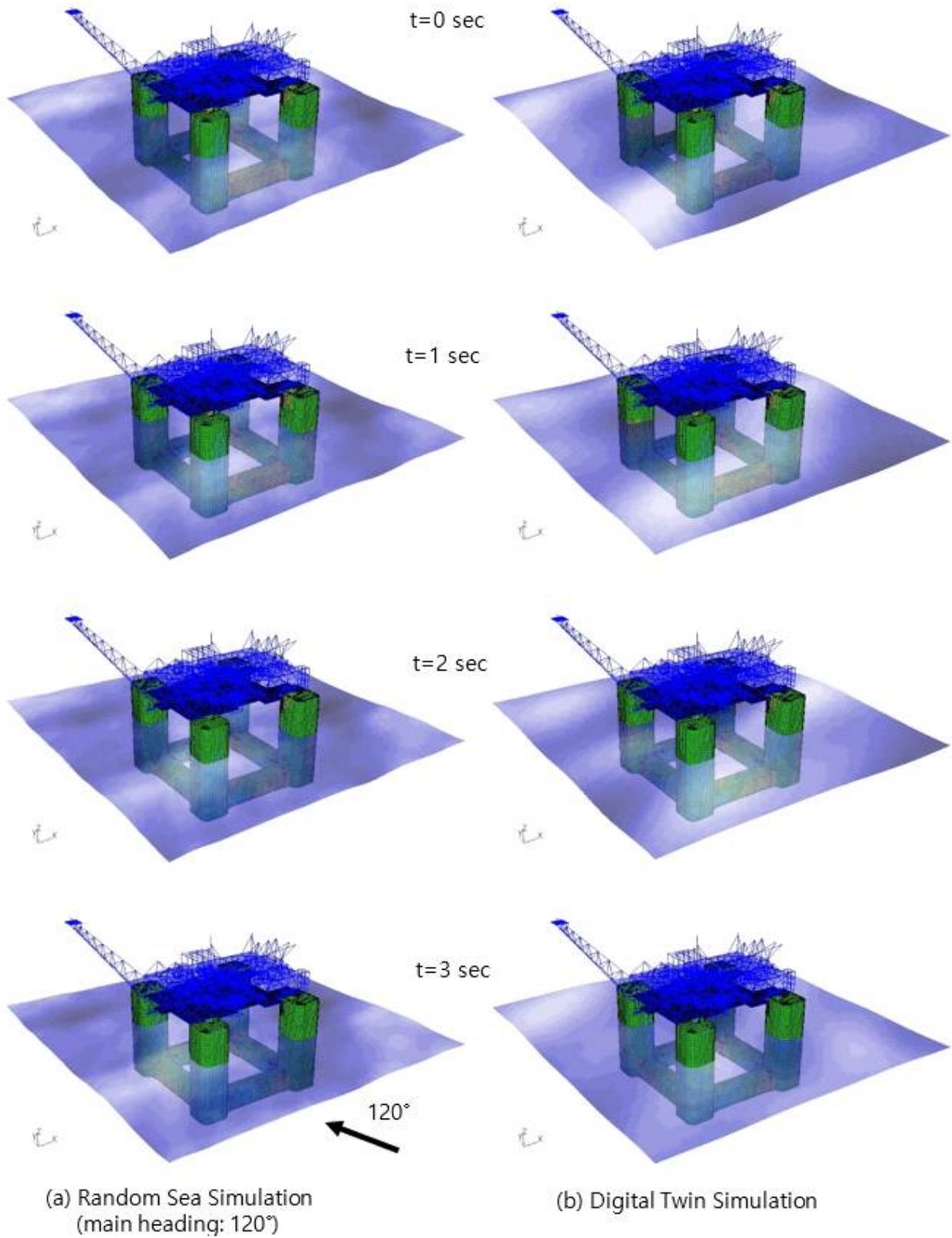
| Signal No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Error rate(%) | 7.58 | 4.36 | 8.43 | 9.40 | 6.97 | 7.90 | 4.16 | 5.45 | 7.03 | 4.36 | 4.56 | 5.17 |

- 디지털 트윈 모델에서 예측치와 관련된 B matrix를 outer shell에서의 pressure 로 바꾸어 전체 pressure를 예측하고 그 분포를 비교하여 유사함을 확인함



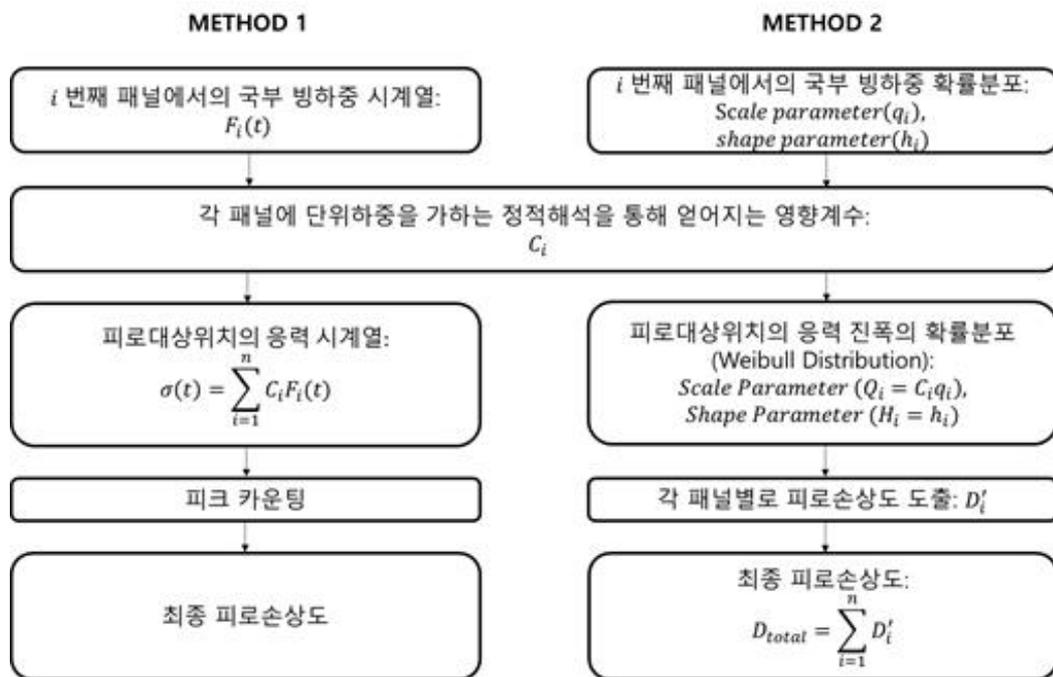
<랜덤해상상태와 디지털 트윈 시뮬레이션의 시간별 Pressure 분포 비교>

- 디지털 트윈 모델에서 예측치와 관련된 B matrix를 outer shell에서의 stress로 바꾸어 전체 stress를 예측하고 그 분포를 비교하여 유사함을 확인함



< 랜덤해상상태와 디지털 트윈 시뮬레이션의 시간별 Stress 분포 비교 >

- 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(해양구조물)
 - 2가지 극지선박용 도료로 도포된 판재에 대한 빙마모/마찰 시험 수행 완료
- 빙하중에 기인 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발
 - Method 1은 선체 외판에 하중계산을 위한 패널을 나누고 패널별 빙하중의 시계열을 계산함. 국부 빙하중은 IRF(Impulse Response Function) 또는 영향계수를 통해 피로대상위치의 응력 시계열로 변환될 수 있고, 피크 카운팅을 통해 얻은 응력 진폭의 사이클을 Palmgren-Miner 규칙에 적용하여 피로손상도를 도출하는 방법임
 - Method 2는 패널별로 빙하중 진폭의 확률분포를 계산하고 영향계수법을 통해 응력 진폭의 확률분포로 변환함. 이를 Palmgren-Miner 규칙에 적용하면 단일 피로대상위치에 대해 패널별로 피로손상도가 계산되며 이들의 선형합으로 최종 피로손상도를 결정함



< 피로평가를 위한 절차 및 순서도 >

- 최종 피로손상도는 Palmgren-Miner의 선형 누적손상법칙에 따라 다음과 같이 계산됨. k 는 서로 다른 응력 진폭의 개수, N_j 는 S-N 선도 상에서 특정 응력 진폭 S_j 에 파단까지 필요한 사이클 횟수, n_j 는 응력 진폭 S_j 의 실제 작용 횟수임

$$D = \sum_{j=1}^k \frac{n_j}{N_j}$$

- 응력의 작용 횟수 n_j 을 구하기위해 먼저 응력 진폭의 확률밀도함수가 $f_i(S_j)$ 일 때 응력범위를 적당한 간격 ΔS 로 이산화 하여 확률 P_j 을 구하면 다음과 같음

$$P_j = f_i(S_j)\Delta S$$

- 특정 응력의 작용횟수는 다음과 같이 정리됨. $N_{0,i}$ 은 조건 i 에서 발생한 전체 응력 피크의 수임

$$n_j = N_{0,i}P_j = N_{0,i}f_i(S_j)\Delta S$$

- 응력의 허용 사이클 횟수 N_j 는 S-N 선도로부터 다음과 같이 구해짐. m 과 K 는 재료 상수임

$$N_j = K S_j^{-m}$$

- 특정 조건 i 에서의 피로손상도와 전체 피로손상도는 다음과 같이 정리됨. l 은 서로 다른 조건의 개수이며 c_i 는 보정 계수임

$$D_i = \frac{N_{0,i}}{K} \sum_{j=1}^k S_j^m f_i(S_j)\Delta S, \quad D = \sum_{i=1}^l c_i D_i$$



[공동연구개발기관명5 : 인하공업전문대학]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목에서 차지하는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/) | 연구개발 전 국내수준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험)인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | |
|-------------------------|--|---------------------|-------------------------|------------------|-------|------|----|----|------|------------------|------------|---------|--------------|---------------------------|
| | | | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | | | | 2 |
| 위성 데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 | 1. 해빙하중 추정 오차율(인하공전, DSME) ²⁾ | % | 10 | 러시아/AARI (60/60) | 사례 없음 | 50 | 30 | 10 | 54.5 | 7.99 (2차년도 기 달성) | 4.81 | - | ISO - 199 06 | 전문가 평가 또는 학회 주최 및 프로시딩 제출 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|-------------|----------------------|---------------------------|--|
| 1 | 해빙하중 추정 오차율 | 1차년도 2차년도 3차년도 | 전문가 평가 또는 학회 주최 및 프로시딩 제출 | 빙저항 성능 추정을 위한 I-RES 프로그램의 빙저항 추정(계산)치와 쇄빙 연구선 아라온 호에 모형시험 결과의 상호 비교를 통해 오차율 계산 |

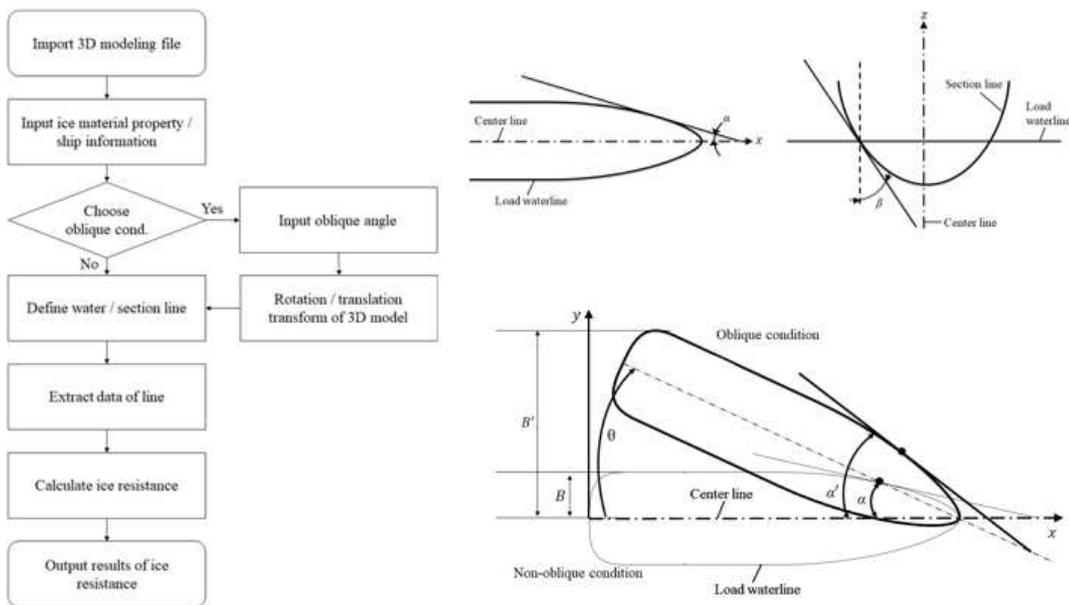
○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발
- 빙하중 추정기술 개발(위성데이터 계측 기반)

- (추진 실적)

- 해빙 특성 추정 시스템 프로그램 개발
- 해빙 특성을 통한 빙하중 추정 프로그램 개발



<빙 저항 추정 Flow chart>

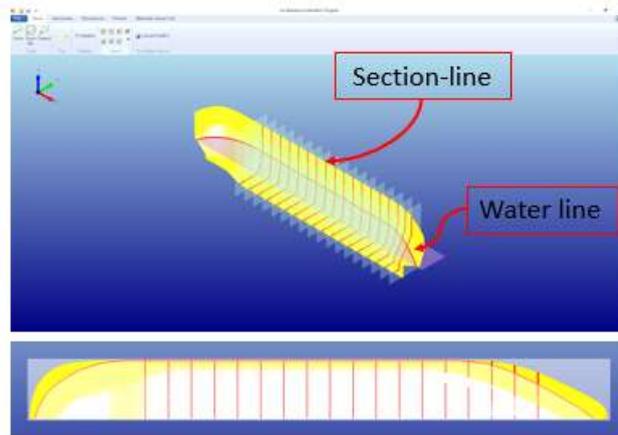
$$R_{Total} = R_{Breaking} + R_{Clearing} + R_{Buoyancy} + R_{Openwater}$$

$$R_{BR} = C \cdot \lambda \sigma_f h_i^2 \frac{F_X}{F_Z} \cdot B, \quad \lambda = \left(\frac{3\rho_w g}{E h_i^3} \right)^{1/4}$$

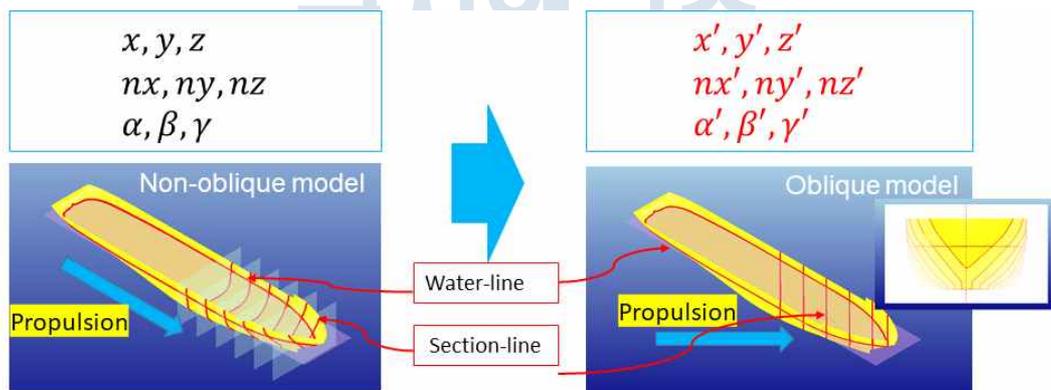
$$F_X = \int_0^{L_E} \frac{\tan^2 \alpha \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta} dx, \quad F_Z = \int_0^{L_E} \frac{\tan \alpha \tan \beta \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{1 + \tan^2 \alpha + \tan^2 \beta} dx$$

$$R_{CL} = 2\rho_w g h B \cdot Fr_B \left[K_3' \int_0^{L/2} \frac{[y'(x)]^2}{\cos \alpha} dx + K_3'' f_g \int_0^{L/2} \frac{y'(x)}{\cos \alpha} dx \right], \quad Fr_B = \sqrt{\frac{V_S}{gB}}$$

$$R_{BU} = R_{sp} + R_{sf}, \quad R_{sp} = \frac{\sum_0^{L/2} L_i \sum_0^B \rho_{\Delta} g h \bar{s} b_i}{L/2}, \quad R_{sf} = \sum_0^{L/2} L_i \sum_0^B f_g \rho_{\Delta} g h b_i \sin \beta$$

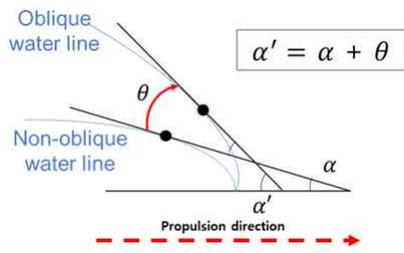


<프로그램 내 Line 분할 방법>

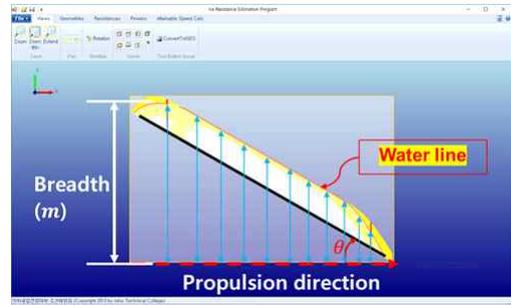


<사향 조건 변환 방법>

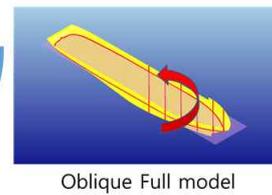
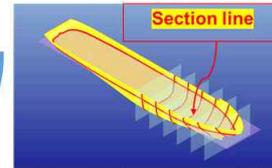
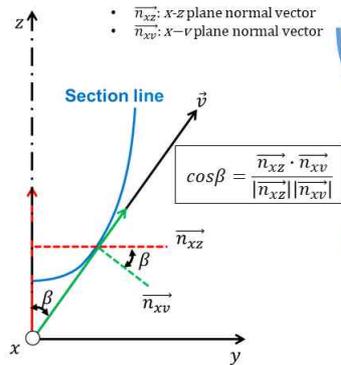
- 전체 빙저항은 Spencer(1992) 추정 이론을 기반으로 추정
- 물에 의해 발생하는 유체 저항은 전체 빙저항에서 매우 작은 비중으로 무시
- 부력 저항은 Enkvist(1972)의 빙저항 추정법을 적용
- 빙 제거 저항은 Ionov(1981) 빙저항 추정법을 적용
- 쇄빙 저항은 Shimanskii(1938) 빙저항 추정법을 적용
- 얼음의 상태 및 조건과 계산 선형에 대한 정보를 입력하여 라인 분할하여 계산
- 사향 계산 시 비사향 계산과 다르게 좌표 축을 변환하여 계산



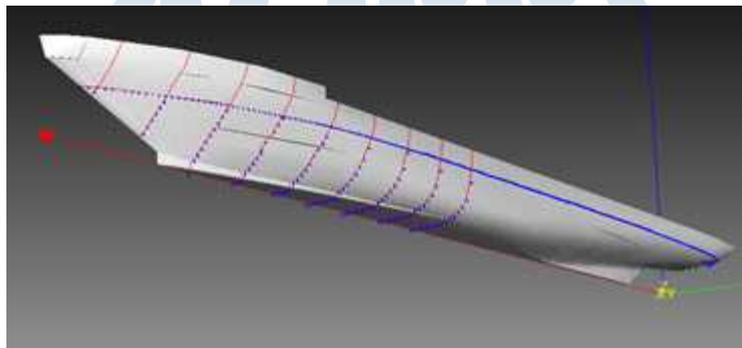
- θ : Oblique angle
- α : Non-oblique alpha
- α' : Oblique alpha



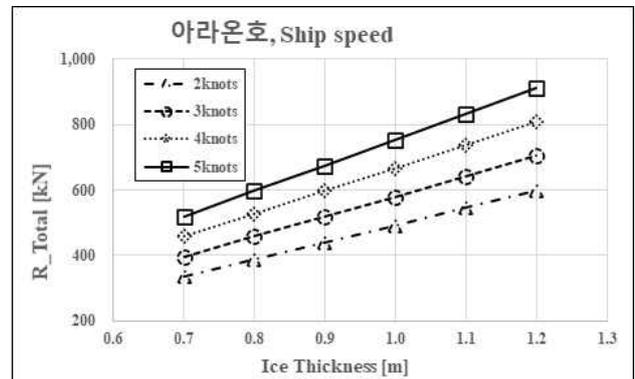
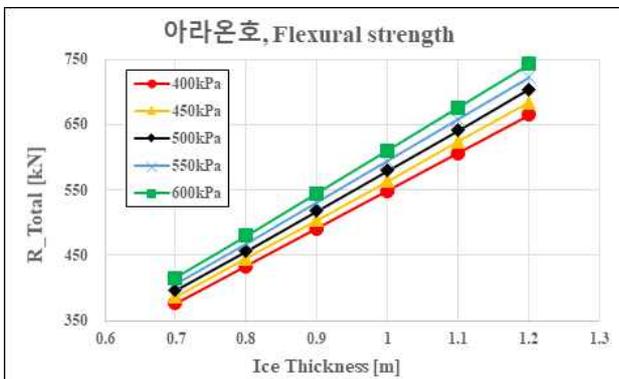
<축 변환 예시 (Water Line)>



<축 변환 예시 (Water Line)>



<대상 선형 아라온호>



<조건에 따른 아라온호 빙 저항 비교>

- 얼음의 굽힘 강도 및 대상 선형의 속도에 따른 빙 저항 비교

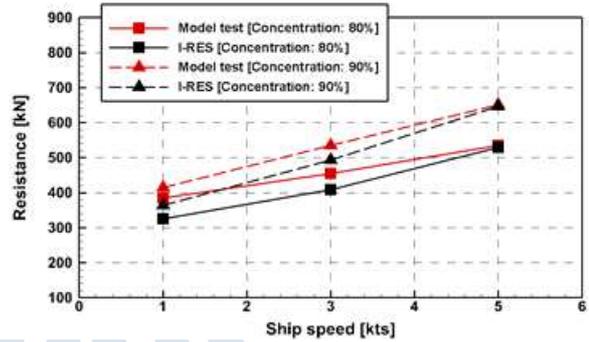
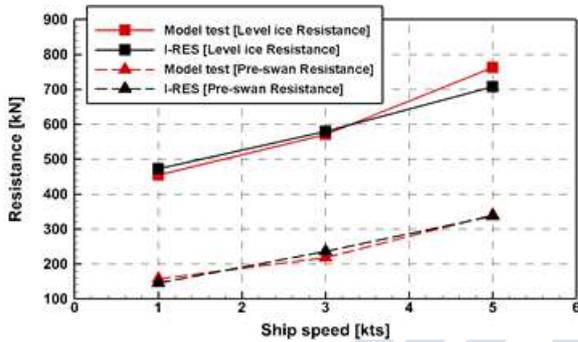
○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 빙하중 비교 분석 및 보정 기술 개발
- 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발
- 위성자료 기반 빙하중 추정기술 개발
- 위성자료 기반 극지해역 Ice Cover Modeling

- (추진 실적)

- 평탄빙 및 미리 자른 얼음, 빙편 얼음 등에 대한 빙하중 계산 및 모형 시험 등과 비교



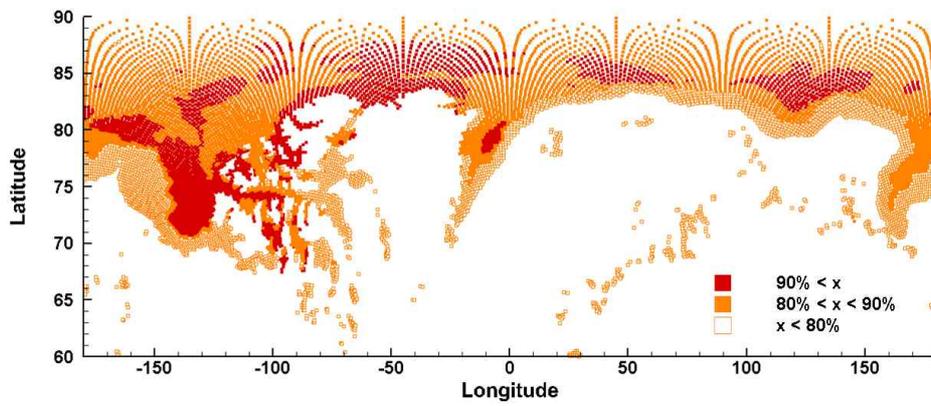
<빙 저항 계산 및 모형 시험 비교>

< 평탄빙 및 미리 자른 얼음 빙저항 추정 및 비교 >

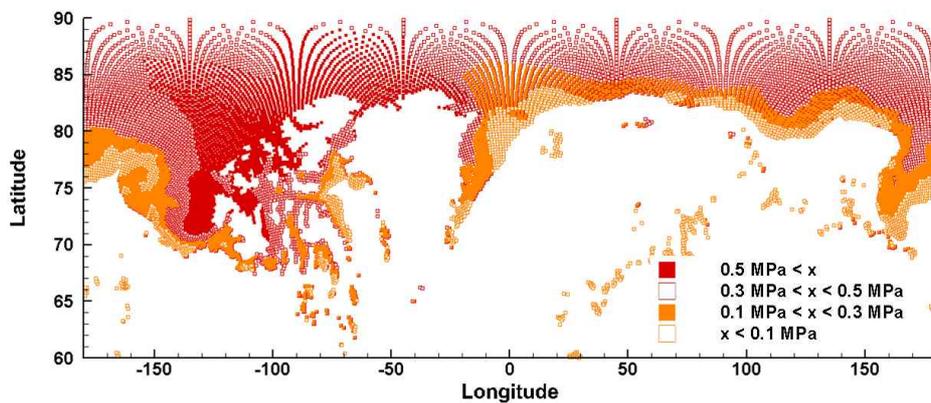
| | Flexural Strength [kPa] | Ice Thickness [m] | Ship Speed [kts] | Level ice Resistance [kN] | Pre-swallow Resistance [kN] |
|------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Model Test | 746 | 0.56 | 1 | 454.02 | 156.95 |
| | | | 3 | 570.61 | 218.56 |
| | | | 5 | 761.46 | 339.51 |
| I-RES | 746 | 0.56 | 1 | 490.43 (8.02%) | 154.20 (-1.75%) |
| | | | 3 | 580.06 (1.65%) | 243.83 (11.56%) |
| | | | 5 | 670.21 (-12.0%) | 333.98 (1.62%) |

- 평탄빙과 미리 자른 얼음 모두 모형 시험과 비슷한 경향을 나타냄
- I-RES 프로그램의 최대 오차율은 약 12% 내외로 선속이 높은 경우 오차율을 보임
- 선속 및 얼음 두께에 대한 영향을 함께 고려하여 I-RES 프로그램에 대한 타당성을 확보함

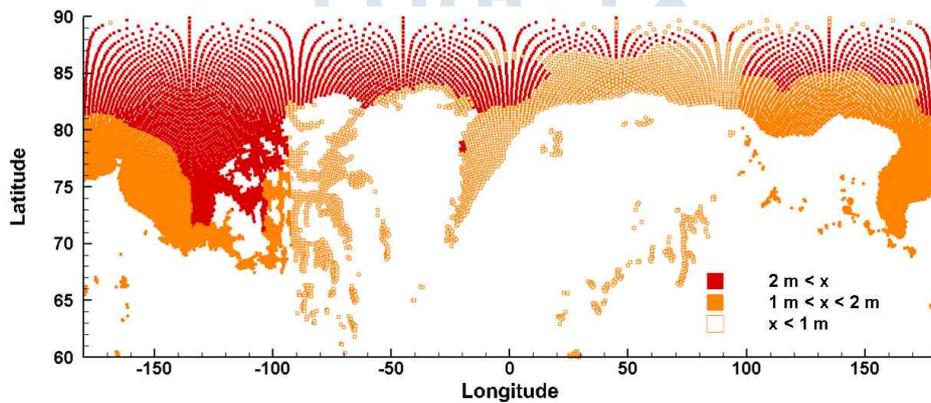
- 경위도에 따른 해빙 특성 분포도 분석
- 분석된 해빙 특성을 통한 각 경위도에서의 빙하중 추정



(a) Concentration [%]



(b) Strength [MPa]



(c) Thickness [m]

<해빙 특성에 따른 위성데이터 분포>

- 해빙 특성 데이터는 극지연구소에서 처리한 위성 데이터를 사용
- 각 경위도에 따른 위성데이터를 각각의 해빙 특성에 범위에 따라 분석 진행

◦ 추정된 빙하중을 통해 극지 해역 Modelling 및 최적 항로 추정

| | |
|---|----|
| F | 좌표 |
| G | H |

| | |
|---|----|
| F | 좌표 |
| G | H |

시작점 및 도착점 이동 경로 이동 불가능한 노드

| | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| (0, 0) | (0, 1) | (0, 2) | (0, 3) | (0, 4) |
| (1, 0) | (1, 1) | (1, 2) | (1, 3) | (1, 4) |
| (2, 0) | (2, 1) | (2, 2) | (2, 3) | (2, 4) |
| (3, 0) | (3, 1) | (3, 2) | (3, 3) | (3, 4) |
| (4, 0) | (4, 1) | (4, 2) | (4, 3) | (4, 4) |

(1) 시작점 및 목표점 설정

시작점 및 도착점 이동 경로 이동 불가능한 노드

| | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| (0, 0) | (0, 1) | (0, 2) | (0, 3) | (0, 4) |
| (1, 0) | 79.4 (1, 1) | (1, 2) | (1, 3) | (1, 4) |
| 64.8 (2, 0) | 14.6 64.8 | (2, 1) | (2, 2) | (2, 3) |
| 0 64.8 | 58.9 (3, 0) | (3, 1) | (3, 2) | (3, 3) |
| 7.1 51.8 | (4, 0) | (4, 1) | (4, 2) | (4, 3) |
| (4, 4) | | | | |

(2) 운항 여부 판단 및 시간 결정

| | |
|---|----|
| F | 좌표 |
| G | H |

| | |
|---|----|
| F | 좌표 |
| G | H |

시작점 및 도착점 이동 경로 이동 불가능한 노드

| | | | | |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| (0, 0) | (0, 1) | (0, 2) | (0, 3) | (0, 4) |
| (1, 0) | 79.4 (1, 1) | (1, 2) | (1, 3) | (1, 4) |
| 64.8 (2, 0) | 14.6 64.8 | (2, 1) | (2, 2) | (2, 3) |
| 0 64.8 | 58.9 (3, 0) | (3, 1) | (3, 2) | (3, 3) |
| 7.1 51.8 | 23.5 (4, 1) | (4, 2) | (4, 3) | (4, 4) |
| | 17.6 25.9 | | | |

(3) 낮은 비용으로 이동

시작점 및 도착점 이동 경로 이동 불가능한 노드

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------|
| (0, 0) | (0, 1) | 96.3 (0, 2) | (0, 3) | (0, 4) |
| (1, 0) | 79.4 (1, 1) | 31.5 64.8 | (1, 2) | (1, 3) |
| 64.8 (2, 0) | 14.6 64.8 | 83.7 (1, 3) | 102.7 (1, 4) | |
| 0 64.8 | 58.9 (3, 0) | 44.8 38.9 | 50.9 51.8 | |
| | 23.5 (4, 1) | 92.1 (2, 4) | 53.2 38.9 | |
| | 17.6 25.9 | 71.1 (3, 3) | 82.6 (3, 4) | |
| | | 58.1 13.0 | 56.7 25.9 | |
| | | 60.5 (4, 3) | 74.5 (4, 4) | |
| | | 60.5 0 | 64.5 13.0 | |

(4) 이전 계산에서 재계산

< 최적 항로 결정 계산 과정 예시 >

- 파란색 지점은 시작점 및 목표점을 나타내고 있음
- 출발점에서 근접 지점에서의 운항 가능 여부를 판단하고 이동 가능하다고 판단되면 빨간색 박스와 같이 근접 지점에서의 이동 비용을 계산
- 이동 비용과 예상 비용을 합친 총 비용이 가장 낮은 지점으로 이동
- 운항 가능하지 않은 지점만 존재 시 이동 불가하며, 운항이 가능한 지점이 존재하는 지점까지 되돌아와 알고리즘을 반복하여 목표점까지 계산 진행

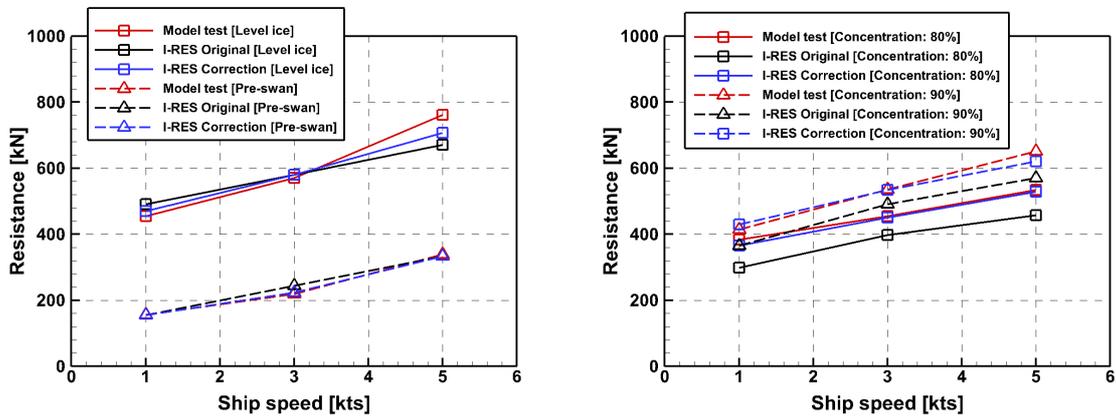
○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- (위성데이터 조사 및 분석 결과 활용)실해역 데이터 비교를 통한 빙하중 추정 기법 검증
- 빙하중 예측 정밀도 개선
- Sea Ice 시계열 예측 기법 개발
- 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템의 디지털 트윈 연계 기술 지원
- 위성자료 기반 빙하중 예측 시스템의 디지털 트윈 연계기술 지원

- (추진 실적)

- 빙저항 추정을 위한 기존 경험식 보완
- 평탄빙 및 유빙과 같은 여러 해빙에 대한 대상 선형의 모형 시험 결과에 따른 상관 계수를 경험식에 보완



<빙 저항 계산 및 모형 시험 비교 그래프>

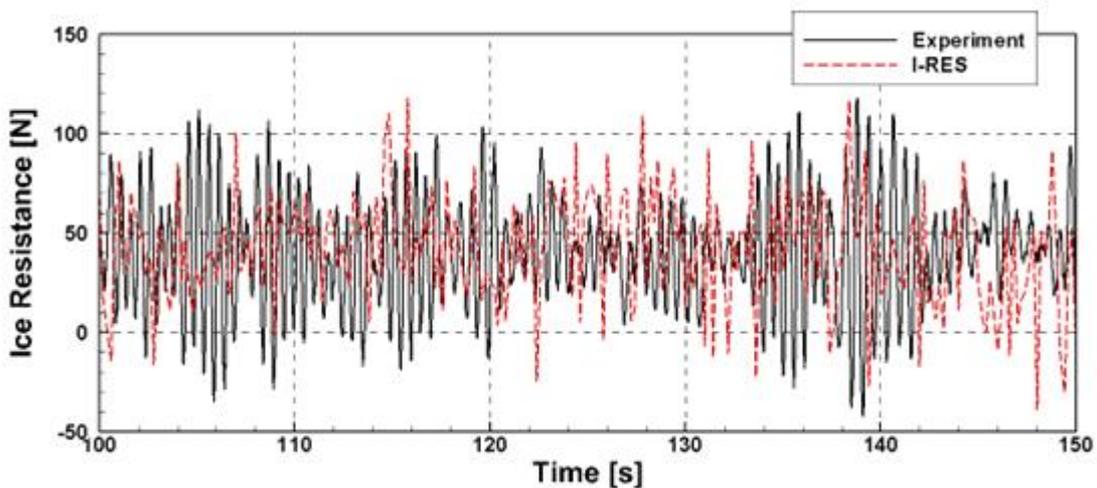
| | Flexural Strength [kPa] | Ice Thickness [m] | Ship Speed [kts] | Level Ice Resistance [kN] | | Pre-swane Resistance [kN] | |
|------------|-------------------------|-------------------|------------------|---------------------------|----------|---------------------------|----------|
| | | | | Original | Correct | Original | Correct |
| Model Test | 746 | 0.56 | 1 | 454.02 | | 156.95 | |
| | | | 3 | 570.61 | | 218.56 | |
| | | | 5 | 761.46 | | 339.51 | |
| I-RES | 746 | 0.56 | 1 | 490.43 | 470.54 | 154.20 | 154.28 |
| | | | | (8.02%) | (3.63%) | (-1.75%) | (-1.70%) |
| | | | 3 | 580.06 | 579.86 | 243.83 | 223.18 |
| | | | | (1.65%) | (1.34%) | (11.56%) | (2.11%) |
| | | | 5 | 670.21 | 707.41 | 333.98 | 336.84 |
| | | | | (-12.0%) | (-2.64%) | (1.62%) | (-0.78%) |

<평탄빙 및 미리 자른 얼음 조건의 빙저항 비교>

| | Flexural Strength [kPa] | Ice Thickness [m] | Ship Speed [kts] | Pack Ice Resistance[kN] | | | |
|------------|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------------|----------|----------|----------|
| | | | | 80% | | 90% | |
| | | | | Original | Correct | Original | Correct |
| Model Test | 1157 | 1.06 | 1 | 384 | | 414 | |
| | | | 3 | 454 | | 535 | |
| | | | 5 | 534 | | 651 | |
| I-RES | 1157 | 1.06 | 1 | 299 | 366 | 365 | 430 |
| | | | | (-15.6%) | (-4.63%) | (-12.2%) | (3.97%) |
| | | | 3 | 397 | 450 | 491 | 534 |
| | | | | (-10.2%) | (-0.86%) | (-7.9%) | (-0.10%) |
| | | | 5 | 458 | 528 | 570 | 620 |
| | | | | (-14.2%) | (-1.13%) | (-12.4%) | (-4.81%) |

<빙편 얼음 조건의 빙저항 비교>

- 모형 시험 상관 계수를 통해 오차율 개선
 - 평탄빙 및 미리 자른 얼음의 경우 오차율 4% 미만으로 실험 결과와 매우 유사함
 - 빙편 얼음의 경우 집적도 80%와 90%에서 오차율 5 미만으로 유사함을 확인
- Anderson-Darling normality test 기법을 적용한 빙저항 계산 시스템 구축

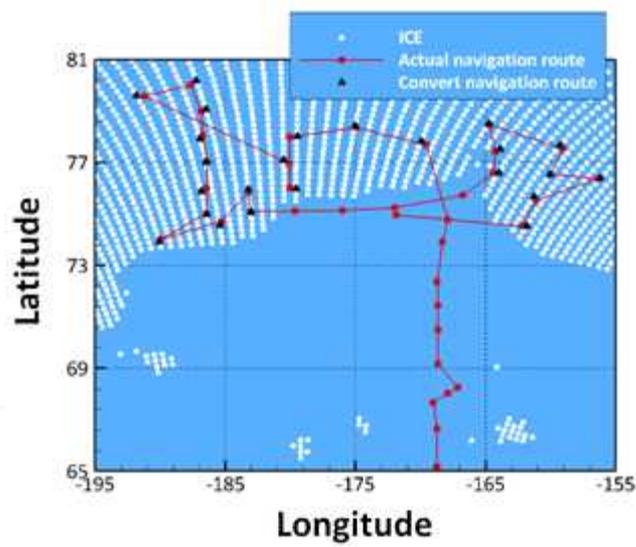


<Sea Ice 빙 저항 시계열 비교>

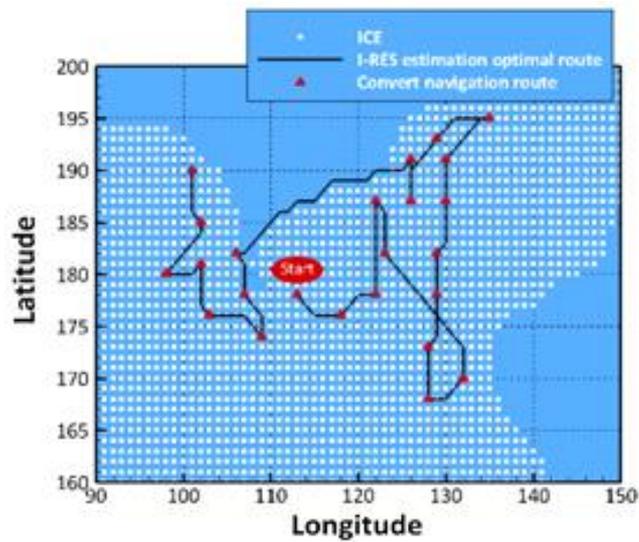
- R 언어 및 Anderson-Darling normality test 기법을 적용하여 빙 저항 계산 시스템 구축
 - 데이터 처리 개수가 증가할수록 정확도도 증가함
 - 빙 하중 구간에 따른 빈도수 결과를 이용하여 시간에 따른 새로운 빙 저항 추정
- 북극해 해빙 특성을 통한 빙저항 추정 및 최적 항로 추정 시스템 구축
 - 북극해 해빙 특성 및 선박의 빙저항 추정 결과를 적합한 포맷으로 변환 및 추출
 - 북극해 해빙 특성에 따른 최적 항로 결과를 적합한 포맷으로 변환 및 추출



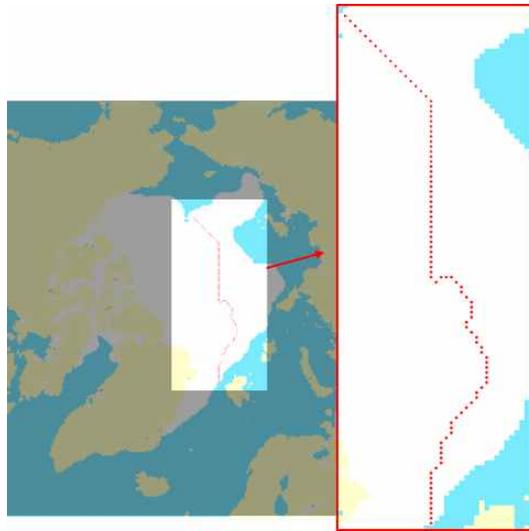
<최적 항로 계산 과정 Flow chart>



<비교를 위한 좌표 위치 변환>



<항해 정점 비교를 통한 최적 항로 알고리즘 검증>



<북극해 최적 항로 추정 결과>

<항해 정점 비교를 통한 예상 시간 비교>

| Case | Month | Day | Hour | Min | 실제 시간 | 예상 시간 |
|------|-------|-----|------|-----|-------|-------|
| 1 | 7 | 26 | 22 | 0 | 17 | 13.37 |
| 2 | 7 | 27 | 11 | 0 | 13 | 12.42 |
| 3 | 7 | 28 | 22 | 50 | 35.83 | 18.62 |
| 4 | 7 | 29 | 17 | 0 | 18.16 | 10.71 |
| 5 | 7 | 31 | 7 | 50 | 38.83 | 48.98 |
| 6 | 7 | 31 | 23 | 0 | 15.16 | 17.62 |
| 7 | 8 | 1 | 22 | 30 | 23.5 | 18.78 |
| 8 | 8 | 2 | 10 | 40 | 12.16 | 18.82 |
| 9 | 8 | 2 | 23 | 20 | 12.66 | 13.48 |
| 10 | 8 | 3 | 13 | 5 | 13.75 | 15.73 |
| 11 | 8 | 4 | 4 | 40 | 15.58 | 8.15 |
| 12 | 8 | 4 | 21 | 0 | 16.33 | 12.19 |
| 13 | 8 | 6 | 5 | 43 | 32.72 | 12.61 |
| 14 | 8 | 7 | 8 | 40 | 26.95 | 13.53 |
| 15 | 8 | 7 | 19 | 0 | 10.33 | 7.39 |
| 16 | 8 | 11 | 16 | 36 | 93.6 | 22.25 |
| 17 | 8 | 12 | 4 | 53 | 12.28 | 5.32 |
| 18 | 8 | 12 | 22 | 30 | 17.62 | 9.02 |
| 19 | 8 | 13 | 13 | 42 | 15.2 | 12.33 |
| 20 | 8 | 14 | 1 | 45 | 12.05 | 9.76 |
| 21 | 8 | 14 | 12 | 40 | 10.92 | 10.82 |
| 22 | 8 | 15 | 5 | 40 | 17 | 17.12 |
| 23 | 8 | 16 | 0 | 2 | 18.36 | 13.6 |

- 최적 항로 프로그램 결과를 검증하기 위해 북극 항해 정점 결과와 비교 진행
- 위성 데이터 계측 날짜는 2018년 10월 15일, 공간 해상도는 224km의 일정한 간격
- 북극 항해 정점 데이터의 계측 날짜는 2021년 7월부터 8월까지 항해한 데이터
- 항해 정점과 위성 데이터의 좌표가 완전한 일치 보이지 않기 때문에 데이터가 존재하는 가장 가까운 지점으로 좌표 이동
- 계산 시간 단축을 위하여 기존 좌표계를 일정한 좌표계인 EASE2 Grid로 변환
- 최적 항로를 통해 추정된 예상 운항 시간이 실제 운항 시간보다 유사하거나 작은 것을 확인

[공동연구개발기관명6 : 극지연구소]

| 평가 항목 (주요성능 Spec) | 단위 | 전체 항목 에서 차지하 는 비중 (%) | 세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/) | 연구개 발 전 국내수 준 | 목표 | | | 실적 | | | 표준(시험) 인증기준 | 기준 설정근거 | 평가 방법 | | |
|----------------------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|------------------------|---------------------|----------|----|----|----|----|----------------|------------|-------|---|---------------------------|
| | | | | | 성능수준 | 성능수준 | 1 | 2 | 3 | 1 | | | | 2 | 3 |
| 위성 데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 | 해빙유형 분포 관측 및 분석 | 1. 해빙 특성 자 료(극지연) | 건 | 4 | 미국/NSIDC (80/80) | 주1회 | 40 | 52 | 52 | 40 | 52 | 52 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 |
| | | 2. 해빙 유형 분 류 산출물(극 지연) | 건 | 4 | 미국/NIC (50/50) | 사례 없음 | 9 | 12 | 12 | 9 | 12 | 12 | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 |
| | 3. 해빙강도 추정 산출물(극 지연) | 건 | 4 | 사례없음 | 사례 없음 | | 6 | 12 | | 6 | 12 | | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 |
| | 4. 해빙 미래 상태 예측 빙 유형 분류(극지연) | 건 | 4 | 러시아/AARI (30/30) | 사례 없음 | | 2 | 6 | | 0 | 12 | | - | - | 전문가 평가 또는 국제 학회지 게재 |

□ 평가항목별 표준(시험) 인증기준, 기준설정근거, 평가방법

| 순번 | 평가항목 (성능지표) | 구분 | 평가방법 | 평가환경 |
|----|---|------|-----------|---------------------------------------|
| 1 | 해빙유형분포 관측 및 분석 - 해빙 특성 자료 | 1차년도 | 전문가평가 | SCIE급 국제학회지 검토 기간으로 인하여 전문가 평가로 대체 |
| | | 2차년도 | 국제 학회지 게재 | SCIE |
| | | 3차년도 | 국제 학회지 게재 | SCIE |
| 2 | 해빙유형분포 관측 및 분석 - 해빙 유형 분류 산출물 | 1차년도 | 전문가평가 | SCIE급 국제학회지 검토 기간으로 인하여 전문가 평가로 대체 |
| | | 2차년도 | 국제 학회지 게재 | SCIE |
| | | 3차년도 | | |
| 3 | 해빙강도 추정 산출물 | 2차년도 | 국제 학회지 게재 | SCIE |
| | | 3차년도 | | |
| 4 | 해빙 미래 상태 예측 빙유형 분류* | 3차년도 | 국제 학회지 게재 | SCIE |

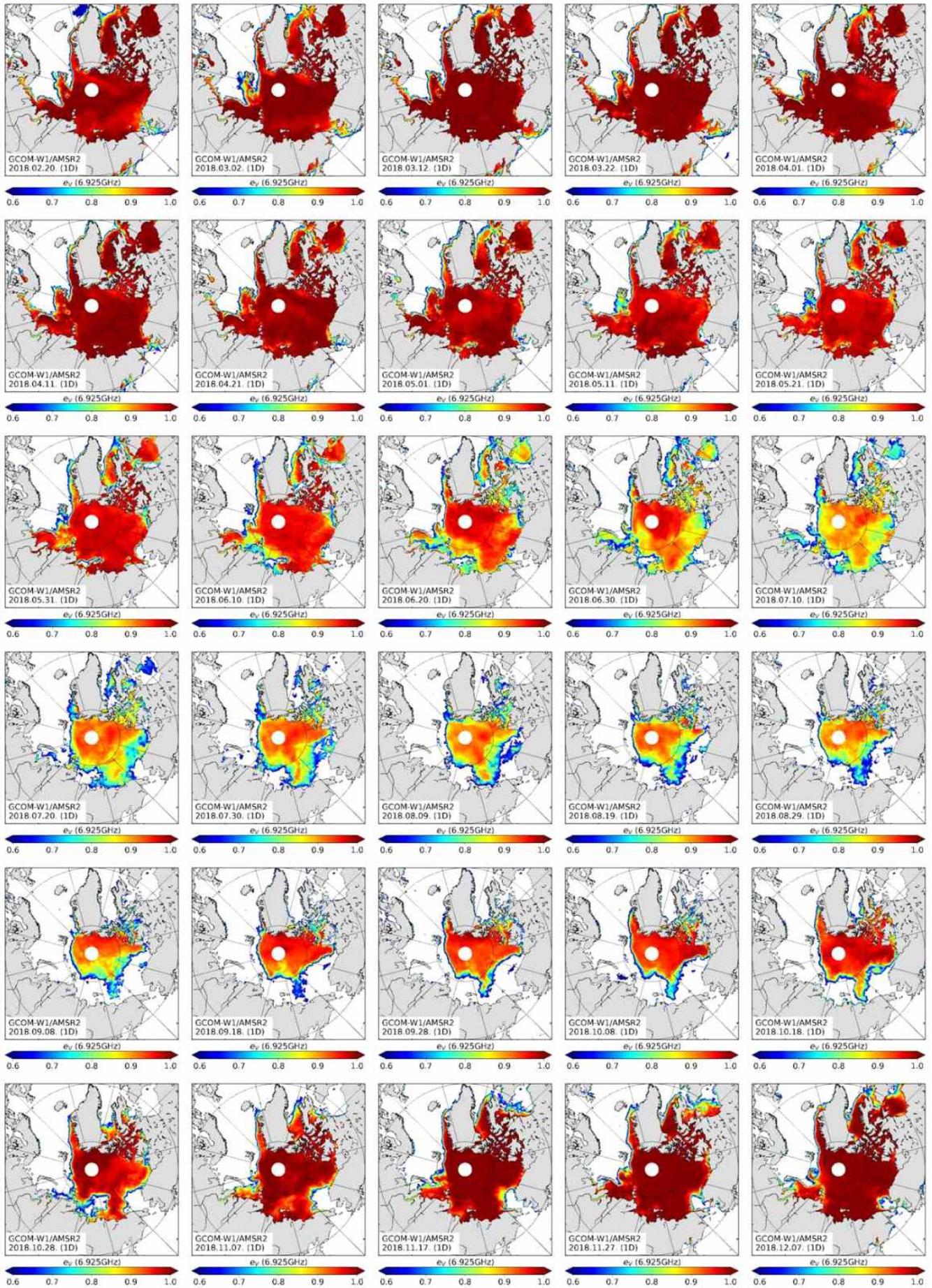
○ (1차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 위성정보 수집 관리 시스템 활용 다중위성자료 종류 파악 및 과거 자료 확보

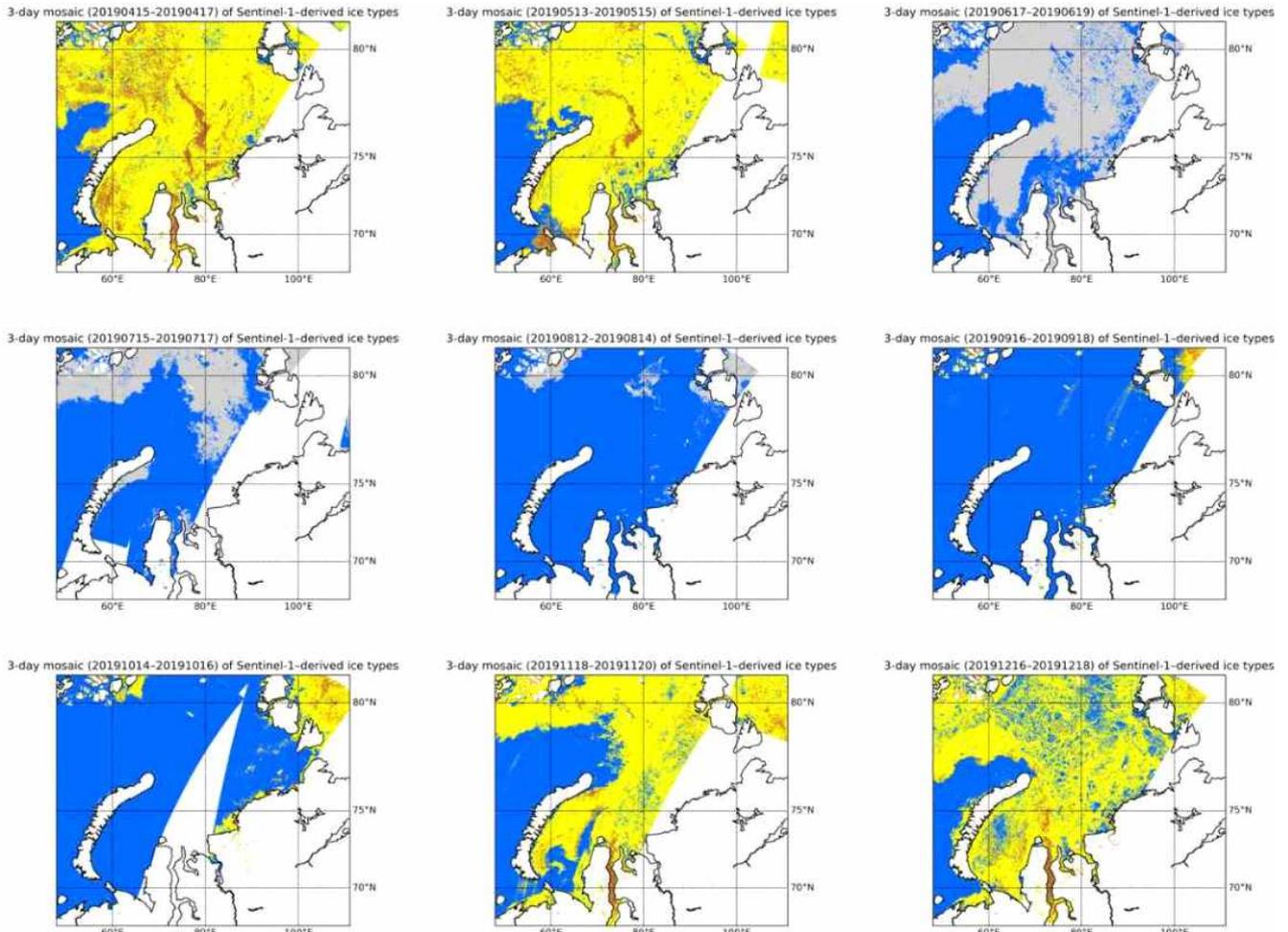
- (추진 실적)

- 수동마이크로파 위성영상을 활용한 해빙 방출율 자료 제작
 - Radiative transfer 모델 활용 눈과 해빙 두께를 고려한 방출율 계산 모델 개발
 - 12.5 km 공간해상도, 주1건, H편파 V편파 각 40건 제작



<수동마이크로파 위성 자료를 활용한 북극 해빙방출율(2018.02.20.~2020.12.07., 10일간격, V편파)>

- 고해상도 영상레이더 기반 해빙 유형 분류 산출물 제작
 - 북극 항로 개발이 예상되는 해빙 가장자리 영역 해빙 유형 분류
 - Kara Sea 지역 해빙 유형 분류 산출물 월 1건, 총 9건 제작



<고해상도 영상레이더 Sentinel-1 위성 영상을 활용한 해빙 유형 분류 결과(2019.04~12. 월 1건, 총 9건)>

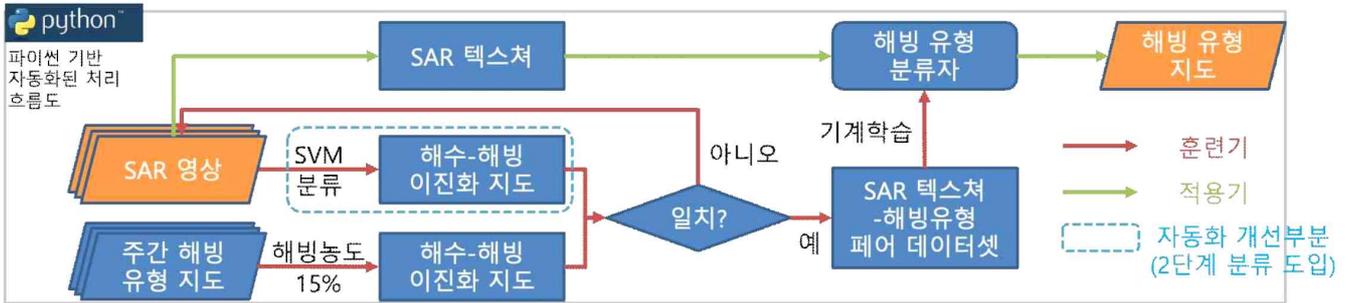
○ (2차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 영상레이더 자료 처리 기반 해빙유형 자동 분류 기술 개발

- (추진 실적)

- 영상레이더 자료 처리 기반 해빙유형 자동 분류 기술 개발
 - 고해상도 영상레이더에서 해빙과 바다 분류 진행
 - 1주일 간격으로 배포 중인 주간 해빙 유형 지도와 일치하는 영역 추출 후 해빙 텍스처와 유형간 학습 자동화
 - 학습된 알고리즘을 고해상도 영상레이더 영상에서 추출한 텍스처에 적용
 - 해빙 유형 분류 기술 자동화

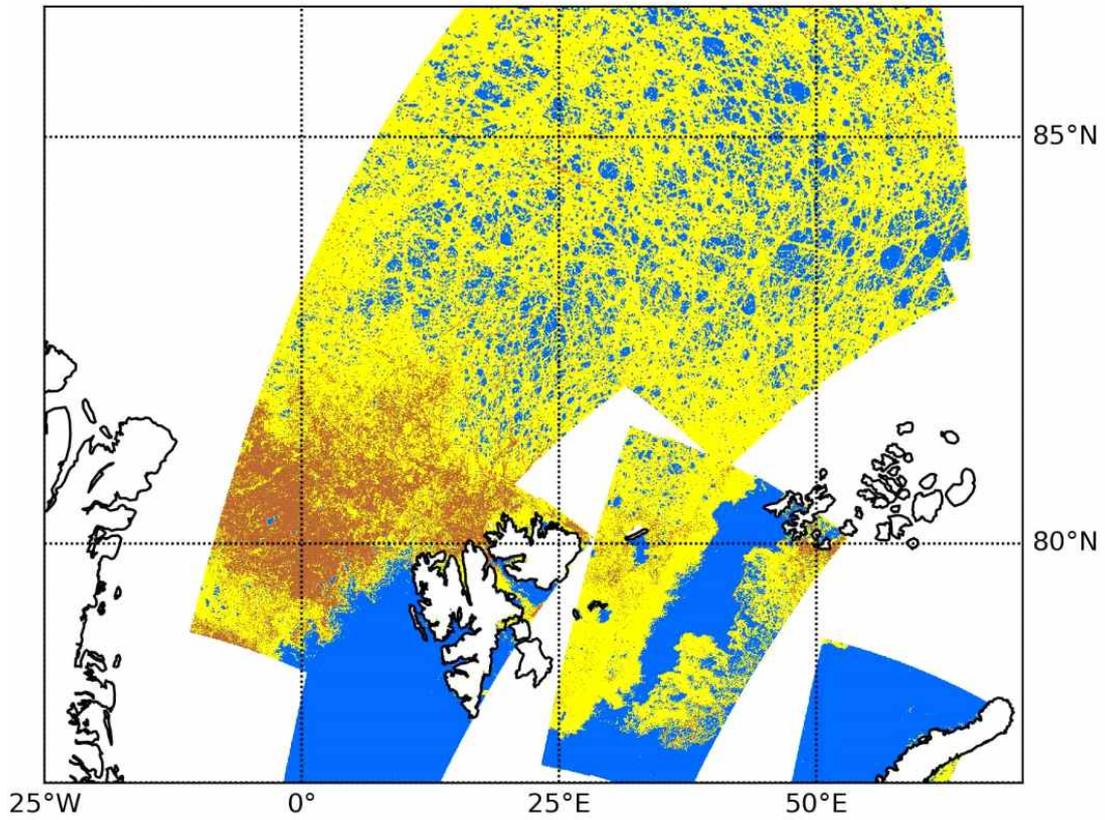


- 수동마이크로파 위성 활용 해빙 특성 파악을 위한 mBGT 분석 연구
 - 해빙의 방출율은 해빙 상태의 물리적 변화를 보여주는 주요한 파라미터 중 하나임
 - 지난 1차년도에 복사전달모델 (RTTOV)를 활용한 해빙의 방출율 (e) 산출을 제안함

$$e = \frac{BT - BT_{e=0}}{BT_{e=1} + BT_{e=0}}$$

- 여기서, BT는 AMSR2로 관측된 밝기 온도, $BT_{e=0}$ 와 $BT_{e=1}$ 는 방출율이 0과 1인 표면에서의 밝기 온도로 재분석장 자료를 입력자료로 한 복사전달모델 (RTTOV)을 계산하여 얻을 수 있음
- 이번 차년도에는 지난해보다 개선된 버전의 ECMWF 재분석장 자료 (ERA5)를 사용하여 해빙 방출율 성능을 향상시킴
- 개선된 ERA5는 변수들의 산출 정확도 개선뿐만 아니라, 기존 6시간 간격 (ECMWF-interim)이던 재분석장 자료가 1시간 간격 (ERA5)으로 시간 해상도가 6배 개선됨
- 다중 원격탐사 자료 활용 북극 해빙강도 산출 (3차년도)
 - 해빙 평균 두께(CryoSat-2 SMOS 자료)와 평균 온도(ERA5 2m temperature)를 활용하여 굽힘강도 산출
 - 2010년부터 2020년까지 10년 기간 북극 전체 굽힘강도 산출물 제작
 - 바렌츠해 지역 현장조사 기록과 비교하여 결과 검증
- 영상레이더 기반 해빙유형 자동 분류 기술 개발 완료
 - 북극 해빙 유형 분류 산출물 12건 (월1건) 제작 완료
 - 1일 단위 결과 합성으로 3종 분류 정확도 87% 달성
 - 하절기에는 표면 용빙으로 해빙 분류에 한계가 있으며 추가 자료를 사용하여 보완 필요

1 day mosaic (2019-06-07) of Sentinel-1 derived ice types

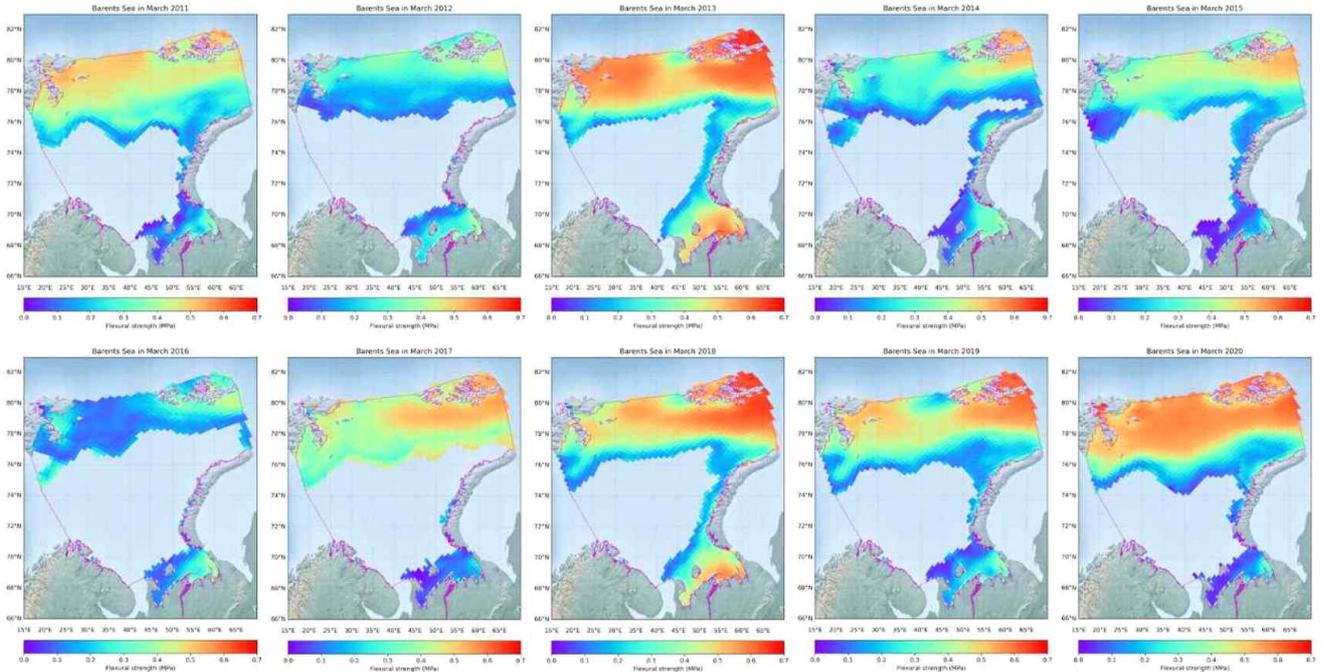


- 북극 해빙 및 해수 표면 수동마이크로파 특성 산출물 관련 국제 저널 출판
- 수직 및 수평 편파별 해빙 방출율 산출물 52건 (주1건, 2019년) 제작 완료



<수직(왼쪽) 및 수평 (오른쪽) 편파별 해빙 방출율 산출물 >

- 다중 원격탐사 자료 기반 해빙 강도 산출물 6건 이상 제작 완료



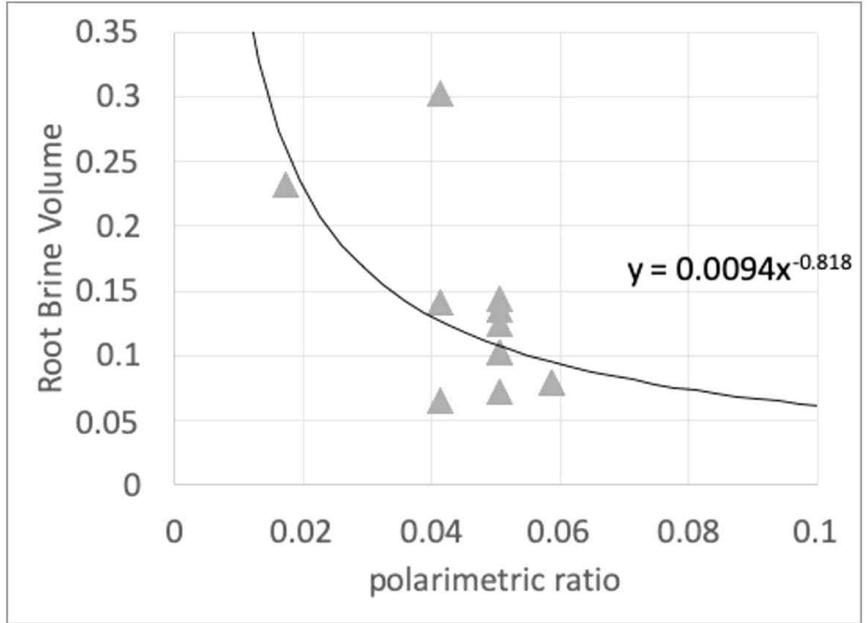
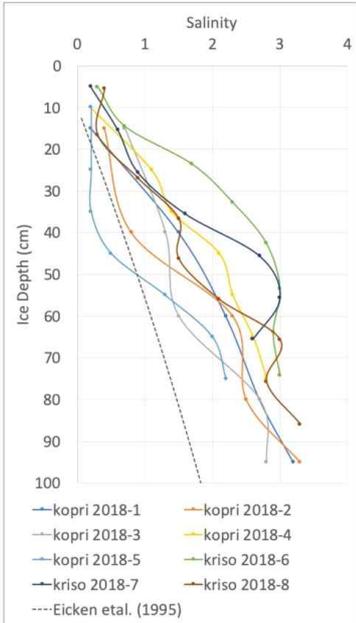
○ (3차년도) 추진 내용 및 실적

- (추진 내용)

- 다중편파 영상레이더 산란모델 및 편파분석 기술을 활용한 해빙 강도추정 알고리즘 개발

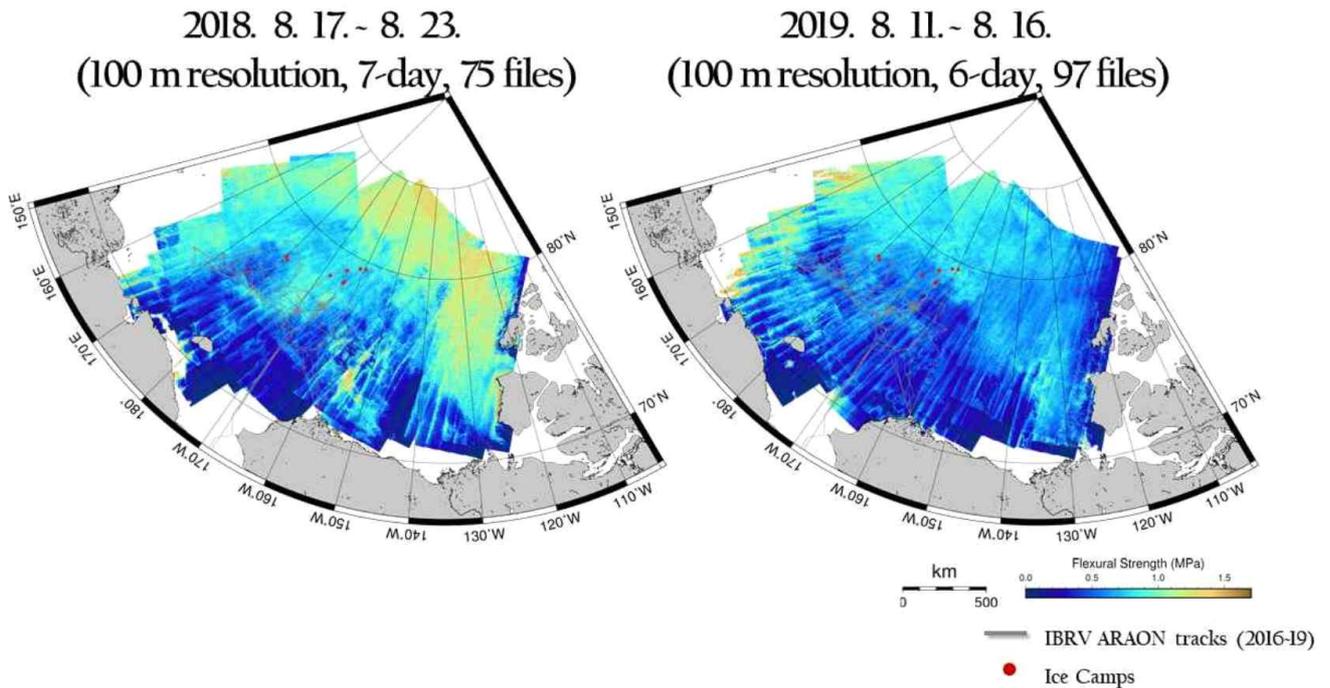
- (추진 실적)

- 다중편파 영상레이더 활용 해빙 강도 추정 알고리즘 개발
 - 해빙의 굽힘강도는 brine volume 과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으며 brine volume은 두께와 해빙의 온도에 민감하게 변화함
 - 고해상도 영상레이더는 해빙 표면 상태에 따라 후방산란이 달라지며 (예: 단년빙은 주로 어둡게, 다년빙은 밝게 보임) 특히 다중편파비율(HV/HH)은 표면 거칠기에 비례하는 해빙의 두께와 밀접한 관계가 있음
 - 본 연구에서는 북극 현장조사에서 확보된 해빙 코어 자료를 활용하여 Sentinel-1 고해상도 영상레이더 다중편파비율과 brine volume간의 관계를 파악하고, 이를 활용하여 굽힘강도를 추정하는 알고리즘을 개발함



<(좌)북극 현장에서 확보한 해빙 코어 자료 (우) 해빙 코어를 이용하여 계산된 brine volume 과 다중편파비율간 회귀분석을 통해 확보된 경험식>

- Sentinel-1 영상으로 북극 전체를 커버하기 위해서 약 6일 이상의 시간이 걸리기 때문에 수십~수백장의 영상들을 모자이크하여 최대 100m, 평균 500m 공간해상도를 갖는 해빙강도지도를 제작함



<2018년 8월, 2019년 8월에 확보된 Sentinel-1 영상을 활용하여 제작한 100m급 공간해상도를 갖는 축치해 지역 해빙 굽힘강도 지도>

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

○ 최종 목표 달성 수준

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|--|---|--|
| [1차년도] [한국선급] ○ 각 참여기관 연구결과 상관관계 분석 및 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 ○ 통합 모니터링 시스템 UI 개발(I) ○ 디지털 트윈 모델 시스템 분석 및 요구 사항 분석 ○ 디지털 트윈 정보교환 통합 모델 설계 ○ CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(I) | ○ 각 참여기관 별 연구 수행 범위 및 연계 방안 분석 ○ Raw Data, Sensor Data Fatigue Data 등 가시화 ○ 디지털 트윈 플랫폼 요구 사양서 명세서 개발 ○ 계측구조를 갖는 선체구조정보 DB 개발 완료 ○ CAD Assistant 기반 디지털 트윈 개발 방향 설정 | ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [대우조선해양] ○ 극저온 모니터링 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 ○ 극저온 계측 장비 식별 및 요구 성능/사양 결정 | ○ 극저온 모니터링 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 보고서 작성 ○ 극저온 계측 장비 식별 및 요구 성능/사양 결정 | ○ 100% ○ 100% |
| [퓨처메인] ○ 극저온 기술 보유 제작사 시스템 기술 현황 및 발전 추세 분석 ○ H/W 사양 및 요구조건 결정(극저온 계측 센서 요구 성능 분석 및 사양 결정) ○ 극저온 계측 센서 선정 및 Test ○ 계측 데이터 및 장비 응답 에러 대응 시스템 모듈 개발 ○ 선체 응답 계측 시스템 검증 ○ 센서의 내구성 시험을 위한 시뮬레이터 제작 ○ 데이터 통신 기술 개발 최적화 | ○ 특허기술동향 조사 분석 보고 진행 ○ 극저온 운항 선박 내의 진동과 스트레인 게이지를 측정하는 계측 시스템의 구성요소를 선정 ○ 극저온 계측 센서로는 스트레인 게이지와 진동 센서 선정 및 -30℃ 테스트 진행 ○ 계측 센서의 손상과 이탈 시 입력되는 신호를 분석하여 센서의 신뢰성을 확립하는 기술을 개발하고, 시험 ○ 상온 및 저온 환경에서 시판 중인 계측 센서와 측정기를 실험 후 센서 및 계측기 선정 ○ 극저온 환경에서 테스트를 위하여 원격으로 조정이 가능한 충격 시험기 제작 진행 ○ 무선 센서와 DAQ 사이의 통신 인터페이스 개발과 함께 전송 테스트를 실시 | ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [인하대학교] ○ 빙하중 및 선체구조 응답 계측 최적 방법론 개발 ○ 극저온항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 ○ 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조 응답 계측 기반) ○ 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 및 부식 예측 평가 기술 개발 | ○ 빙하중 추정 기술을 기반으로 한 선체구조 응답 계측 최적 기법 정립 ○ ARAON호에서 계측된 스트레인 데이터를 사용하여 빙하중이 선체에 미치는 영향 분석 ○ 평탕빙과 선박 충돌 해석을 통해서 빙하중 추정 기법 정립 ○ 콘크리트 시험편을 적용한 마모시험을 통해서 시험 방법론 정립 | ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [서울대학교] ○ 극저온항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 (인하대와 공동) ○ 극저온항 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발 ○ 환경하중 관련 계측된 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 | ○ Strain gage 위치별 strain 계측 데이터 시계열 데이터의 통계치 분석 ○ 반잠수식 원유생산설비 FE 모델 확보하여 운동해석과 전선구조해석을 수행 ○ DBM(ditorsion Based Method)을 적용하여 디지털 트윈을 구축하고 sectional load의 RAO를 예측 | ○ 100% ○ 100% ○ 100% |

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|---|--|--|
| [인하공업전문대학] ○ 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 ○ 빙하중 추정기술 개발(위성데이터 계측 기반) | ○ 해빙 특성 추정 시스템 프로그램 개발 ○ 해빙 특성을 통한 빙하중 추정 프로그램 개발 | ○ 100% ○ 100% |
| [극지연구소] ○ 위성정보 수집 관리 시스템 활용 다중위성자료 종류 파악 및 과거 자료 확보 | ○ 위성정보 수집 관리 시스템 활용 다중위성자료 종류 파악 및 과거 자료 확보 ○ 위성정보 수집 관리 시스템 활용 과거 자료 확보 및 과거 빙 분포 분석 ○ 확보된 위성자료 활용하여 해빙 분포 정보 제작 및 제공 | ○ 100% |
| [2차년도] [한국선급] ○ 극지용 계측 시스템 기반 통합 모니터링 시스템 Interface 분석 ○ 통합 모니터링 시스템 UI 개발(II) ○ 실시간 선체 응답 및 개별 센서 데이터 가시화 UI 개발 ○ 계측 데이터 저장 환경 설정 기능 및 UI 개발 ○ 피로강도 예측 알고리즘 개발 및 UI 개발(Rainflow counting 기반) ○ 리포트 생성 기능 기본 알고리즘 구성 및 개발 ○ 데이터 활용을 위한 raw data archive configuration 개발 ○ 통합 모니터링 시스템 검증 ○ CAD Assistant 기반 디지털 트윈 모델 설계 및 구축(II) ○ 디지털 트윈 시스템 구축 | ○ 모니터링 시스템 Interface 분석 완료 ○ 모니터링 시스템 UI 개발 완료 ○ 실시간 선체 응답 및 개별 센서 데이터 가시화 UI 개발 완료 ○ 계측 데이터 저장 환경 설정 기능 및 UI 개발 완료 ○ 피로강도 예측 알고리즘 개발 및 UI 개발 완료 ○ 리포트 생성 기능 개발 완료 ○ Raw data archive configuration 개발 완료 ○ Test Bed 기반 모니터링 시스템 검증 ○ CAD Assistant 기반으로 변경 및 디지털 트윈 모델 구축 ○ 디지털 트윈 시스템 구축(ISP기준 50%이상) | ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [대우조선해양] ○ 해빙의 강성, 두께, 강도, 밀도 등의 빙 정보 추정 기술 개발 고도화 ○ 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조 응답 계측 기반) | ○ 해빙 정보(두께, 강도, 염도 등)의 실측 완료 ○ 위성 데이터를 이용한 빙 정보의 확률 분포 계산 완료 ○ IFORM을 이용한 빙 하중 추정기술 개발 완료 | ○ 100% ○ 100% |
| [퓨처메인] ○ 통합 계측시스템 구축 및 신뢰성 확보 ○ 계측 장비 및 센서 극저온 환경시험 및 인증시험 ○ 데이터 통신 프로토콜 통합을 위한 펌웨어 개발 ○ 계측 데이터의 Export 기능 모듈 개발 | ○ 통합 계측시스템 구축 완료 및 실선에 계측시스템 설치완료 ○ 통합 계측 시스템 신뢰성 확보를 위한 계측 시스템 구축 완료 (진동+스트레인게이지) ○ 계측 장비 및 센서의 극저온 환경시험을 위해 실제 북극항로를 운항하는 아라온 실선에 계측시스템 설치 및 인증 테스트 진행완료 - 계측 센서의 신뢰성 97%달성 - 계측 시스템 안정성 96.5% 달성 ○ 데이터 통신 프로토콜 통합을 위한 펌웨어 개발 - OPC 통신 및 Modbus환경의 데이터 송수신이 가능한 펌웨어 개발 완료 ○ 계측 데이터의 Export 기능 모듈 개발 - 계측 데이터의 excel, Python등 활용하기 위한 유연한 포맷을 지원하는 파일로 데이터를 export하는 모듈 개발 완료 | ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [인하대학교] ○ 빙하중 추정 기법 및 빙기인 피로 손상도 평가 관련 문헌 조사 | ○ 관련 문헌 및 참고자료 조사 완료 | ○ 100% |

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 빙하중 추정 기술 개발(선체 구조 응답 계측 기반) 극지운항 선박의 선체 구조 피로 손상도 평가기법 기술 개발 빙하중 기인 선체 표면 마모 시험 | <ul style="list-style-type: none"> 응력영향계수법을 이용한 빙하중 추정 및 미계측 위치 응답계산 기법 정립 직접 해석법 및 반해석적 방법을 이용한 선체 피로손상도 평가 기술 개발 완료 2가지 극지선박용 도료로 도포된 판재에 대한 빙마모/마찰 시험 수행 완료 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 100% |
| [서울대학교] <ul style="list-style-type: none"> 빙하중 추정 기술 개발(위성데이터 기반) 빙하중 추정 기술 개발(해양구조물 구조응답 기반) 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교 극지운영 해양구조물의 구조 해석법 정립 및 빙충돌 시뮬레이션 결과와 비교 극지운영 해양구조물의 구조 및 계류선 피로손상도 평가기법 기술 개발 환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> Abaqus 시뮬레이션을 이용한 빙하중 추정 기술 개발 해양구조물의 응력 기반으로 응력영향 계수법을 이용한 빙하중 추정 기술 개발 AROAN 빙충돌 시뮬레이션 및 실계측 데이터와 가속도 및 빙하중 비교 극지운영 해양구조물의 전선해석 및 피로해석법 정립 및 해석 수행 환경하중에 대한 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발 및 해석 수행 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 100% 100% 100% |
| [인하공업전문대학] <ul style="list-style-type: none"> 빙하중 비교 분석 및 보정 기술 개발 빙하중 추정기술 개발(위성데이터 계측 기반) 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템 개발 극지운항 선박의 구조해석법 정립 및 실선 구조응답 결과 비교 | <ul style="list-style-type: none"> 평탄빙 및 미리 자른 얼음, 빙편 얼음 등에 대한 빙하중 계산 및 모형 시험 등과 비교 경위도에 따른 해빙 특성 분포도 분석 분석된 해빙 특성을 통한 각 경위도에서의 빙하중 추정 추정된 빙하중을 통해 극지 해역 Modeling 및 최적 항로 추정 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 100% 100% |
| [극지연구소] <ul style="list-style-type: none"> 영상레이더 자료 처리 기반 해빙 유형 자동 분류 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 영상레이더 자료 처리 기반 해빙유형 자동 분류 기술 개발 완료 | <ul style="list-style-type: none"> 100% |
| [3차년도] [한국선급] <ul style="list-style-type: none"> 통합 모니터링 시스템 검증 실시간 모니터링 기반 통합 구조 건전성 모니터링 시스템 개발 선급 형식 승인 요구조건 준비 선급 형식 승인(또는 원칙 승인(AIP)) | <ul style="list-style-type: none"> 통합 모니터링 시스템 ARAON 북극운항 실증 완료 디지털 트윈 플랫폼 개발 완료 및 전문가 평가 완료 GS(Good Software) 1등급 인증 대응 GS 공인 인증서 획득 완료 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 100% 100% |
| [대우조선해양] <ul style="list-style-type: none"> 빙하중 및 환경 하중 분포 예측 실선 장착 및 실증 검증 시험 | <ul style="list-style-type: none"> 인하공업전문대학에서 기 개발한 S/W 검증 극지 환경용 FSU에 Strain Gage, Temperature Gage 장착 및 실증 시험 준비 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% |
| [퓨처메인] <ul style="list-style-type: none"> 실선 계측을 통한 현장 데이터 분석 및 시스템 평가 통합 계측 운영 프로그램의 안전성 평가 극지용 구조응답 계측 및 운영 시스템 성능 보완 및 제작 완료 | <ul style="list-style-type: none"> 극지선박에서 취득한 데이터의 입수 및 공동연구개발 기관에 전달 완료 (2022.06-2022.11 취득 데이터) “극지운항선박을 위한 KR 선체응력감시 시스템, 1000”, GS 1등급 인증 취득 (2022.11.07.) 극지 환경에서 설치 운용을 위한 HW 및 운영 프로그램 성능 보완 완료, 데이터 Export 기능이 반영된 통합 계측 시스템 제작 완료 | <ul style="list-style-type: none"> 100% 100% 100% |
| [인하대학교] <ul style="list-style-type: none"> 선체 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> 극지 운항 실시간 시뮬레이션에 기반한 장기 피로손상도 예측 기술 개발완료 | <ul style="list-style-type: none"> 100% |

| 추진 목표 | 달성 내용 | 달성도(%) |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 장기 피로손상도 예측 기술 개발 ○ 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(선박) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 설계 피로손상도와 계측 피로손상도를 이용한 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발 완료 ○ 2가지 극지선박용 도료로 도포된 판재에 대한 빙마모/마찰 시험 수행 완료 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 100% ○ 100% |
| [서울대학교] | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 해양구조물 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가 기술 개발 ○ 예측된 빙하중(위성 계측 기반) 기반 해양구조물 구조응답 예측 기술 개발 ○ 빙하중 관련 계측 기반 해양구조물 미 계측 부위 구조응답 예측 기술 개발 ○ 환경하중 및 빙하중 계측 기반 미 계측 부위 구조응답 결과 비교 검증 ○ 선체 마모 손상도 및 부식 예측 기법 개발(해양구조물) ○ 빙하중에 기인 해양구조물의 장기 피로손상도 예측 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 극지 운영 해양구조물의 실시간 시뮬레이션에 기반한 응력 시계열에서 피크 카운팅을 통해 피로 잔여수명 예측 및 파손 위험도 평가기술 개발 ○ 빙 총돌 부위에 대해 위성 예측된 빙 정보에 대한 구조응답을 영향계수행렬을 정의하여 예측 ○ 빙 총돌 시뮬레이션을 통하여 빙 총돌 하중과 구조응답간의 영향계수행렬을 구하여 미 계측 부위 구조응답을 예측 ○ 환경하중에 대한 미 계측 부위 구조응답을 운동해석과 구조해석을 통해 구현한 랜덤해상상태에서 나온 구조응답과 비교 검증함 ○ 2가지 극지선박용 도료로 도포된 판재에 대한 빙마모/마찰 시험 수행 완료 ○ 극지 운영 해양구조물의 실시간 시뮬레이션에 기반한 장기 피로손상도 예측 기술 개발완료 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [인하공업전문대학] | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ (위성데이터 조사 및 분석 결과 활용) 실해역 데이터 비교를 통한 빙하중 추정 기법 검증 ○ 빙하중 예측 정밀도 개선 ○ Sea Ice 시계열 예측 기법 개발 ○ 위성자료 기반 해빙 특성 추정 시스템의 디지털 트윈 연계 기술 지원 ○ 위성자료 기반 빙하중 예측 시스템의 디지털 트윈 연계기술 지원 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 빙저항 추정을 위한 기존 경험식 보완 ○ 북극해 해빙 특성을 통한 빙저항 추정 및 최적 항로 추정 시스템 구축 ○ 평탄빙 및 유빙과 같은 여러 해빙에 대한 대상 선형의 모형 시험 결과에 따른 상관 계수를 경험식에 보완 ○ Anderson-Darling normality test 기법을 적용한 빙저항 계산 시스템 구축 ○ 북극해 해빙 특성 및 선박의 빙저항 추정 결과를 적합한 포맷으로 변환 및 추출 ○ 북극해 해빙 특성에 따른 최적 항로 결과를 적합한 포맷으로 변환 및 추출 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 100% |
| [극지연구소] | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 다중편파 영상레이더 산란모델 및 편파분석 기술을 활용한 해빙 강도 추정 알고리즘 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 다중편파 영상레이더 활용 해빙 강도 추정 알고리즘 개발 완료 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 100% |

3-1. 정성적 연구개발성과

(과학적 성과)

- 북극 항로 개발에 필수인 북극 해빙 특성 파악을 위해 다중 위성 원격탐사 자료를 활용함. 다중 원격탐사 자료 중 수동마이크로파 위성 신호 분석을 통해 해빙 농도 및 해빙 두께(눈 깊이) 계산에 토대가 되는 최저 Brightness Temperature 산출물 제작 및 시공간 분석 수행함. 북극 항로 개발 및 극지 온난화로 인한 환경변화 도출에 사용될 것으로 기대됨

(기술적 성과)

- 영상레이더 자료의 텍스처 분석 기반으로 기계학습 알고리즘을 개발하고 자동화된 처리과정을 통해 해외 유명 극지 연구 기관에서도 주기적으로 발간하는 해빙 유형 지도 산출물 제작 가능
- 계측 데이터를 활용하여 미계측 위치에 대한 응답치를 추정하는 기술을 개발함으로써 선체의 디지털 트윈화 응답 예측 기술을 개발함

(경제적 성과)

- 해빙에 운항하는 선박의 누적 피로 손상도 예측을 통한 통합 건전성 관리 시스템을 이용하여 불필요한 선박의 점검을 최소화 하고 점검이 필요한 시기를 미리 예측하여 최소한의 비용으로 선박의 건전도 향상을 최대화 할 수 있는 기술 개발임
- 북극의 최적 항로를 개발함으로써 기존 수에즈 항로와 비교하여 최대 21%의 비용 절감 효과(운항일수 기준 10일)와 함께 물류 비용 감소에 의한 해운 산업의 경쟁력이 향상될 것으로 전망됨
- 러시아 정부에 따르면 2030년 기준 북극항로 물동량은 약 1억톤으로 전망하고 있으며, 이런 시장에 대한 기술 선점이 중요한 상황임에 따라 본 기술개발을 통해 북극항로 기술 선점에 우위를 차지할 수 있음

(사회적 성과)

- 본 연구팀의 연구성과를 해양 관련 국내 최대 학술대회인 “2021년 한국해양과학기술협의회 공동학술대회” 와 국내 조선 분야의 산업과 기술이 집약되어 있는 “2021년 /2022년 대한조선학회 추계학술대회” 에 기획 세션을 개최함으로써 국내 관련 산/학/연 전문가들에게 해당 과제 성과물의 우수성을 홍보하는 계기를 마련함

(인프라 성과)

- 본 연구개발에서 개발 중인 극지운항 선박의 통합 모니터링 시스템은 극지 해역에 운항하는 선박의 안전성과 신뢰성을 확보 할 수 있는 연구 성과이며, 이 기술의 국내 조선산업에 적용함으로써 극지 운항 선박 또는 산업의 신시장 진출을 통해 막대한 이윤 창출이 가능할 것이라 판단됨
- 또한 디지털 트윈 시스템의 경우 조선 산업 전반에 적용이 가능한 기술로써 선박의 시기 적절한 유지보수 시기를 결정함으로써 불필요한 작업을 획기적으로 줄일 수 있는 기술로 추후 막대한 유지보수 비용의 절감이 가능한 기술임

3-2. 정량적 연구개발성과

(과학적 성과)

- 본 연구개발 수행으로 인해 개발된 연구 성과를 국외 학술논문(SCIE급)을 2021년(2차년도)에 2편, 2022년(3차년도)에 3편, 총 5편의 국외 학술논문을 게재 함
- 또한, 연구개발 성과의 외부 홍보를 위하여 2021년(2차년도)에 국내/외 학술대회에서 16편의 논문을 발표하였으며, 2022년(3차년도)에 국내/외 학술대회에서 7편의 논문을 발표해 총 23편의 논문을 발표함

(기술적 성과)

- 본 연구개발 성과 중 “진동과 스트레인의 복합분서를 통한 선체이상감지 방법 및 시스템”의 성과물에 대하여 국내 특허 출원(2021.12.30.)을 완료함
- 앞서 출원한 “진동과 스트레인의 복합분서를 통한 선체이상감지 방법 및 시스템”의 성과물에 대하여 PCT(Patent Cooperation Treaty, 특허협력조약)에 출원(2022.11.03.)을 완료함
- “극지운항선박을 위한 KR 선체응력감시 시스템 1.000”에 대하여 2022년 9월 19일에 저작권(소프트웨어) 등록을 완료함(등록번호 : C-2022-034566-2)
- “극지운항선박을 위한 KR 선체응력감시 시스템 1.000”에 대하여 2022년 10월 17일에 TTA(한국정보통신기술협회)를 통해 GS(Good Software) 1등급 인증을 획득함(인증번호 : 22-0464)

(경제적 성과)

- 본 연구개발을 통한 고용은 청년 의무 1명이었으나, 3명의 신규채용이 추가적으로 이루어져 총 4명의 연구원을 신규로 채용함

(사회적 성과)

- 2차년도 연구개발 기간 중 “2021년 한국해양과학기술공동협의회 공동학술대회(’21.05.13)”와 “2021년 대한조선학회 추계학술대회(’21.11.04)”, “2022년 대한조선학회 추계학술대회(’22.11.10)”에 기획세션을 개최함
- 본 연구에서 개발된 “극지운항선박을 위한 KR 선체응력감시 시스템 1.000”에 대하여 2022년 11월 30일에 총 4곳(IT데일리, 인터뷰365, 해사신문, 헬로티) 언론사에서 홍보 기사를 게재함

(인프라 성과)

- 본 연구에서 개발하고 있는 해빙유형 분포에 대한 특성자료와 해빙유형 부류 산출물, 해빙강도 추정 산출물 및 해빙 미래 상태 예측 빙유형 분류 산출물의 경우 추후 북극 또는 남극의 해빙에 대한 연구의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대됨
- 본 연구에서 빙 마찰/마모 수행을 마찰/마모 시험기를 제작하였으며, 제작된 마찰/마모 시험기를 통해 극지 환경에서 운영되는 해양플랜트 구조물 및 극지 선박에 사용되는 도료 마찰/마모 성능 검증 연구 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대됨

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원, \$, 명)

| 성과지표명 | | 단계/연도 | | 1단계 | | | 계 |
|-------------------------------|-----------|-------|-----------------|-----------------|---------|---------|---|
| | | | | 2020 | 2021 | 2022 | |
| 전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾ | 국내·외 논문게재 | 건수 | 목표 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 실적 | 2 | 3 | 5 | |
| | 국내·외 학술대회 | 건수 | 목표 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | 실적 | 16 | 7 | 23 | |
| | 지식재산권(출원) | 건수 | 목표 | 1 | 1 (PCT) | 2 | |
| | | | 실적 | 1 | 1 (PCT) | 2 | |
| | 기술 및 제품인증 | 검수 | 목표 | | 1 | 1 | |
| | | | 실적 | | 1 | 1 | |
| | 생명자원/화합물 | 건수 | 목표 | | | | |
| | | | 실적 | | | | |
| 지식재산권(등록) | 건수 | 목표 | | | | | |
| | | 실적 | | | | | |
| 저작권 | 건수 | 목표 | | 0 | 0 | | |
| | | 실적 | | 1 | 1 | | |
| ... | | | | | | | |
| 연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾ | 사업화실적 | 실적 | 목표 | | 0 | 0 | |
| | | | 실적 | | 1 | 1 | |
| | 기술이전 | 건수 | 목표 | | | | |
| | | | 실적 | | | | |
| | 투자실적 | 금액 | 목표 | 0 | | 0 | |
| | | | 실적 | 30,000 | | 30,000 | |
| | 매출실적 | 금액 | 목표 | | 0 | 0 | |
| | | | 실적 | | 140,000 | 140,000 | |
| | 비용절감 | 금액 | 목표 | | | | |
| | | | 실적 | | | | |
| 수입대체 | 금액 | 목표 | | | | | |
| | | 실적 | | | | | |
| 고용창출 | 명 | 목표 | 1 | 0 | 1 | | |
| | | 실적 | 1 ¹⁾ | 4 ²⁾ | 5 | | |
| 홍보실적 | 건 | 목표 | 0 | 0 | 0 | | |
| | | 실적 | 2 | 5 | 7 | | |
| 포상 및 수상실적 | 건 | 목표 | | | | | |
| | | 실적 | | | | | |
| ... | | | | | | | |

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

- 1) 2021년 신규채용자 1명 : 전성광 (입사일 : 2022.06.03.) / 21년 사업장 가입자명부 10번, 참여연구원
- 2) 2022년 신규채용자 4명
- 김성훈 (입사일 : 2022.07.01.) / 22년 사업장 가입자명부 15번
 - 성시영 (입사일 : 2022.01.10.) / 22년 사업장 가입자명부 17번, 참여연구원
 - 한규태 (입사일 : 2022.05.09.) / 22년 사업장 가입자명부 20번
 - 오수현 (입사일 : 2022.05.09.) / 22년 사업장 가입자명부 10번, 참여연구원

3-3 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 볼륨 (권(호)) | 발행처 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 임팩트팩터 (IF) | 발행일자 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---|---|-----------------|--------------|----------|-------------------------|---------------|------------|----------------|------|
| 1 | Spatial and Temporal Variability of Minimum Brightness Temperature at the 6.925 GHz Band of AMSR2 for the Arctic and Antarctic Oceans | Remote Sensing | 권영주 | 13 | MDPI | SCIE | 5.349 | 2021.05.28 | 2072-4292 | 50% |
| 2 | Probabilistic ship corrosion wastage model with Bayesian inference | Ocean Engineering | Changbeom Kim | Volume 246 | | SCIE | 3.795 | 2022.02.15 | 0029-8081 | 100% |
| 3 | Fatigue damage estimation of icebreaker ARAON colliding with level ice | Ocean Engineering | Sangkyu Jeon | Volume 257 | | SCIE | 3.795 | 2022.06.15 | 0029-8081 | 100% |
| 4 | Estimation of ice loads on offshore structures using simulations of level ice-structure collisions with an influence coefficient method | Applied Ocean Research | TRUONG DAC DUNG | 125 | ELSEVIER | SCIE | 3.761 | 2022.08 | 0141-1187 | 100% |
| 5 | The Estimation of the Total Freeboard of Arctic Sea Ice in Winter Using Passive Microwave Satellite Measurements | Journal of Atmospheric and Oceanic Technology | 김종민 | 39 | ASM | SCIE | 2.531 | 2022.10.27 | 0739-0572 | 50% |

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 발행처 | 발행일자 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|--|---------------------------------|-----------------|-------------|------------|----------------|------|
| 1 | 환경하중에 대한 해양구조물의 구조 응답 예측 기법 연구 | 선박해양플랜트구조연구회 | 장창환 | 대한조선학회 | 2021.01 | | 100% |
| 2 | Numerical simulation on the ice load acting on ARAON using damage-based erosion model | 극지기술연구회 | 전상규 | 대한조선학회 | 2021.02.25 | | 100% |
| 3 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | 2021년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 송강현 | 한국해양과학기술협의회 | 2021.05.13 | | 100% |
| 4 | 위성데이터를 이용한 빙하중 계산 연구 | 2021년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 김현수 | 한국해양과학기술협의회 | 2021.05.13 | | 100% |
| 5 | 위성데이터 기반 북극해 해빙 분포 관측 및 특성 산출물 분석 | 2021년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 김승희 | 한국해양과학기술협의회 | 2021.05.13 | | 100% |
| 6 | 극지선박 모니터링 시스템 개발을 위한 센서 및 DAQ선정에 관한연구 | 2021년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 이선희 | 한국해양과학기술협의회 | 2021.05.13 | | 40% |
| 7 | Numerical Simulation on the Ice Load Acting on ARAON using Damage-based Erosion Model | POAC2021 | 전상규 | POAC | 2021.06.14 | | 100% |
| 8 | Fatigue Damage Estimation of a Sloped Offshore Structure in Level Ice | POAC2021 | 신윤철 | POAC | 2021.06.14 | | 100% |
| 9 | Numerical Simulation of Failure of Sea Level-ice Based on the Damage-based Erosion Model | ISOPE-2021 | Dac Dung Truong | ISOPE | 2021.06.20 | 1098-6189 | 100% |
| 10 | 시뮬레이터 기반 실시간 빙하중 추정 기술 개발 | 극지기술연구회 | 김유일 | 대한조선학회 | 2021.08.26 | | 100% |
| 11 | Yamal LNG선 시운전에서의 해빙충정 | 2021년도 대한조선학회 추계학술대회 | 최종효 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |
| 12 | 극지용 선박의 디지털 트윈 모델 구축을 위한 피로수명 예측 기법 개발 | 2021년 대한조선학회 추계학술대회 | 김유일 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |
| 13 | Araon에 대한 빙 중물 시뮬레이션과계측 데이터의 비교 | 2021년 대한조선학회 추계학술대회 | 장범선 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |
| 14 | 환경하중에 대한 해양구조물의 구조 응답 예측 기법 연구 | 2021년 대한조선학회 추계학술대회 | 장창환 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 발행처 | 발행일자 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|----|---|---------------------------|------|--------|------------|-------------|------|
| 15 | 위성데이터를 이용한 북극해 최적 항로 결정에 관한 연구 | 2021년도 정기총회 및 추계 학술대회 | 김현수 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |
| 16 | 원격탐사 자료 기반 바렌즈해 해빙 굽힘강도 분포 및 최근 10년 변동 분석 | 2021년도 대한조선학회 추계 학술대회 | 김승희 | 대한조선학회 | 2021.11.04 | | 100% |
| 17 | 환경하중에 대한 해양구조물의 시계열 구조 응답 예측 기법 연구 | 2022년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 장창환 | 대한조선학회 | 2022.06.02 | | 100% |
| 18 | 경계요소법을 이용한 평판빙 - 구조물 충돌해석에 대한 기초연구 | 2022년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 | 손재현 | 대한조선학회 | 2022.06.02 | | 100% |
| 19 | 통합 극지운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 | 2022년 대한조선학회 추계 학술대회 | 송강현 | 대한조선학회 | 2022.11.09 | | 100% |
| 20 | 실시간 시뮬레이터에 기반한 아라온호의 국부 빙하중 예측 및 피로수명 평가 | 2022년 대한조선학회 추계 학술대회 | 손재현 | 대한조선학회 | 2022.11.09 | | 100% |
| 21 | 최근 10년동안 북극 해빙 굽힘강도 시공간 변화 | 2022년 대한조선학회 추계 학술대회 | 김승희 | 대한조선학회 | 2022.11.09 | | 100% |
| 22 | 위성데이터를 이용한 항로추정의 실선 결과와 비교 | 2022년 대한조선학회 추계 학술대회 | 김현수 | 대한조선학회 | 2022.11.09 | | 100% |
| 23 | 극지 운송 부유식 LNG 저장 해양구조물의 구조건전성 관리를 위한 모니터링 시스템 구성 및 설치 | 2022년 대한조선학회 추계 학술대회 | 조영천 | 대한조선학회 | 2022.11.09 | | 100% |

□ 기술 요약 정보

| 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 개발상태* | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관 외 활용여부 |
|----|-----|-------|----------|-------|-------|-------|---------------|
| | | | | | | | |

* 아이디어창안, 특허만신청(등록), 기술개발진행중, 기술개발완료, 시제품단계, 실용화단계, 시장개척단계, 기타에서 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 보고서 원문

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|--------|-----|-------|
| | | | |

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|----|------------------------|----------|----------|-------|
| | | | | |

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 종류 | 지식재산권 명 | 국내/외 구분 | 발명자명 | 출원 | | | 등록 | | 기여율 | 활용 여부* |
|----|----------|------------------------------------|---------|----------|---------|------------|-------------------|-----|-------|-----|--------|
| | | | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | 특허출원 | 진동과 스크레인의 복합분석을 통한 선체이상감지 방법 및 시스템 | 국내 | 이선휘 외 2인 | 퓨처메인(주) | 2021.12.30 | 10-2021-0192732 | - | - | 40% | 활용 |
| 2 | PCT출원 | 진동과 스크레인의 복합분석을 통한 선체이상감지 방법 및 시스템 | PCT | 이선휘 외 2인 | 퓨처메인(주) | 2022.11.03 | PCT/KR2022/017142 | - | - | 40% | 활용 |

* 제품화, 방어, 전용실시, 통상실시, 무상실시, 매매/양도, 상호실시, 담보대출, 투자 기타에서 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|----|--------------------------------|-------------|----------------|-------------|------------------|-----------|------|
| 1 | 극지운항선박을 위한 KR 선체응력감시 시스템 1.000 | 2022.07.31. | 사단법인 한국선급 외 1인 | 2022.09.19. | C-2022-03456 6-2 | 사단법인 한국선급 | 100% |

□ 신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 출원일 | 고시일 | 보호 기간 | 지정 번호 |
|----|----|-----|-----|-------|-------|
| | | | | | |

□ 기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증 기관 | 인증 내용 | | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|-----------------|------------|---------|------------|------|
| | | | 인증명 | 인증 번호 | | |
| 1 | SW인증 | TTA(한국정보통신기술협회) | 소프트웨어품질인증서 | 22-0464 | 2022.10.17 | 대한민국 |

□ 표준화

○ 국내표준

| 번호 | 표준구분 ¹⁾ | 표준번호 | 표준명 | 해당심의위원회 | 제안주체 | 제·개정 구분 ²⁾ | 제·개정일자 (예고/최종고시) |
|----|--------------------|------|-----|---------|------|-----------------------|---------------------|
| | | | | | | | |

- * 1) 한국산업표준(KS), 단체표준 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 신규제정 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

| 번호 | 표준개발 유형 ¹⁾ | 표준화단계 구분 ²⁾ | 표준번호(표준영문명) | 표준 기구명 ³⁾ | 표준 분과명 | 의장단 활동여부 | 표준특허 추진여부 | 제안자 | 제·개정 구분 ⁴⁾ | 등록 일자 | 승인 일자 |
|----|-----------------------|------------------------|-------------|----------------------|--------|----------|-----------|-----|-----------------------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | |

- * 1) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.(표준개발 유형을 고려하여 해당 단계 기재)
- * 3) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 4) 신규제정 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 성과는 참여연구자가 PL, CO-PL로 참여하여 개발하는 국제표준을 기재합니다.(Expert 활동 제외)

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|----|------|--------|--------|-------|-------|-----------|----------------|---------------|
| | | | | | | | | |

□ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관명 (대표자명) | 징수유형* | 최초 기술실시 계약체결일 | 계약금액 | 대상국가 | 당해연도 기술료/납부 금액 | 누적 징수 현황 |
|----|-----------|------------------------|-------|---------------|------|------|----------------|----------|
| | | | | | | | / | |

- * 정액(지정)기술료, 경상(착수) 기술료, 경상(매출정률) 기술료, 혼합(정액+경상) 기술료, 무상 중 해당하는 사항 기재합니다.

□ 사업화 투자실적

| 번호 | 연도 | R&D 투자금액 | 설비 투자금액 | 기타 투자금액 | 합계 | 투자 자금 성격* |
|----|------|-------------|---------|---------|-------------|-----------|
| 1 | 2021 | 300,000,000 | - | - | 300,000,000 | R&D 투자 |

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식 ¹⁾ | 사업화 형태 ²⁾ | 지역 ³⁾ | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|----|----------------------|----------------------|------------------|--|-----------------|--------|---------|--------|----------|-------|
| | | | | | | | 국내(천원) | 국외(달러) | | |
| 1 | 자기실시 | 신공정 개발 | 국내 | FSU(H2513) N2 Componder 진단용 진동계측 시스템 구축 및 데이터 분석 | 라이센스 및 유지 보수 포함 | 대우조선해양 | 140,000 | - | 2022 | 10년 |

* 1) 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 매출 실적(누적)

| 사업화명 | 발생 연도 | 매출액 | | 합계 | 산정 방법 |
|---|-------|---------|--------|---------|----------------------|
| | | 국내(천원) | 국외(달러) | | |
| FSU(H2513) N2 Componder 진단용 진동계측시스템 구축 및 데이터 분석 | 2022 | 140,000 | - | 140,000 | 계약서 기준 ³⁾ |
| 합계 | | | | | |

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

| 성과 | | 진동 계측 시스템 납품 | | | |
|--------------------------------|-------------|--------------|---------|---------|------|
| 사업화 계획 | 사업화 소요기간(년) | | | | |
| | 소요예산(천원) | | | | |
| | 예상 매출규모(천원) | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 | |
| | | 140,000 | 300,000 | 450,000 | |
| | 시장 점유율 | 단위(%) | 현재까지 | 3년 후 | 5년 후 |
| | | 국내 | 5% | 7% | 10% |
| 국외 | | 0% | 1% | 3% | |
| 향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획 | | | | | |
| 무역 수지 개선 효과(천원) | 수입대체(내수) | 현재 | 3년 후 | 5년 후 | |
| | 수출 | | | | |

□ 고용 창출

| 번호 | 고용창출기관 | 고용유형 ¹⁾ | 고용연도 | 근무분야 ²⁾ | 고용형태 ³⁾ | 채용구분 ⁴⁾ | 고용인원(명) |
|----|--------|--------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 1 | 퓨처메인 | 직접고용(참여연구자) | 2021 | 연구개발인력 | 정규직 | 경력 | 1 |
| 2 | 퓨처메인 | 직접고용(참여연구자) | 2022 | 연구개발인력 | 정규직 | 경력 | 3 |
| 3 | 퓨처메인 | 직접고용(사업화고용) | 2022 | 연구개발인력 | 정규직 | 신입 | 1 |
| 합계 | | | | | | | |

* 1) 직접고용(참여연구자), 간접고용(사업화고용)에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 연구개발인력, 생산인력, 기타인력에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 정규직, 무기계약직, 계약직, 기타에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 4) 신규, 경력에서 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 고용 효과

| 구분 | | 고용 효과(명) | |
|-------|------|----------|----|
| 고용 효과 | 개발 전 | 연구인력 | 11 |
| | | 생산인력 | - |
| | 개발 후 | 연구인력 | 14 |
| | | 생산인력 | - |

3) 2022년 발주, 계약체결 후 진동분석 설치 진행 중

□ 비용 절감(누적)

| 순번 | 사업화명 | 발생연도 | 산정 방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|------|-------|------------|
| | | | | |
| 합계 | | | | |

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

| 구분 | 사업화명 | 수입 대체 | 수출 증대 | 매출 증대 | 생산성 향상 | 고용 창출 (인력 양성 수) | 기타 |
|-------|--|-------|-------|---------|--------|--------------------|----|
| 해당 연도 | FSU(H2513) N2 Componder 진단용 진동계측시스템 구축 및 데이터 분석 | | | 140,000 | | 4 | |
| 기대 목표 | | | | | | | |

□ 산업 지원(기술지도)

| 순번 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원 |
|----|----|----|-------|----|----|
| | | | | | |

□ 기술 무역

(단위: 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 기 정수액 | 총 계약액 | 해당 연도 정수액 | 향후 예정액 | 수출/ 수입 |
|----|-------|--------|--------|------------|-------|-------|--------------|-----------|-----------|
| | | | | | | | | | |

[사회적 성과]

□ 법령 반영

| 번호 | 구분 (법률/시행령) | 활용 구분 (제정/개정) | 명 칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|----------------|------------------|-----|-------|-----|-------|-------------|
| | | | | | | | |

□ 정책활용 내용

| 번호 | 구분 (제안/채택) | 정책명 | 관련 기관 (담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|-----|------------------|-------|-------|
| | | | | | |

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분 (신규/개선) | 설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|--------------------------|------------------|-------------------------|-----|-------|
| | | | | | |

□ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류 | 기준 연도 | 현황 | | | | | | | | | | | |
|----|----|-------|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|--|
| | | | 학위별 | | | | 성별 | | 지역별 | | | | | |
| | | | 박사 | 석사 | 학사 | 기타 | 남 | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 | |
| | | 2020 | 2 | | | | 2 | | 2 | | | | | |
| | | 2021 | | 1 | 1 | | 2 | | 2 | | | | | |
| | | 2022 | 2 | 3 | 1 | | 6 | | 6 | | | | | |

□ 산업 기술 인력 양성

| 번호 | 프로그램명 | 프로그램 내용 | 교육 기관 | 교육 개최 횟수 | 총 교육 시간 | 총 교육 인원 |
|----|-------|---------|-------|----------|---------|---------|
| | | | | | | |

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비 |
|----|---------|-----|---------|-------|-------|
| | | | | | |

□ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분 (유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
| | | | | | | |

□ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|--------------|---------|---|-------------|
| 1 | 학술대회 기획세션 개최 | 대한조선학회 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 기획세션 | 2021.05.13. |
| 2 | 학술대회 기획세션 개최 | 대한조선학회 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 기획세션 | 2021.11.03 |
| 3 | 학술대회 기획세션 개최 | 대한조선학회 | 위성데이터 기반 통합 극지 운항 선박 및 해양구조물 건전성 관리 시스템 개발 기획세션 | 2022.11.10 |
| 4 | 온라인 기사 | 해사신문 | 공동개발 '선체응력감시시스템' GS인증 1등급 획득 | 2022.12.01 |
| 5 | 온라인 기사 | IT 데일리 | 공동개발 '선체 응력 감시시스템' GS인증 1등급 획득 | 2022.11.30 |
| 6 | 온라인 기사 | 헬로티 | 퓨처메인 '선체응력 감시 시스템' GS인증 1등급 획득 | 2022.11.30 |
| 7 | 온라인 기사 | 인터뷰 365 | 퓨처메인, 한국선급 공동개발 '선체응력감시시스템' GS인증 1등급 획득 | 2022.11.30 |

□ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|----|-----|-------|-------|-----|-------|
| | | | | | | |

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

| 구축기관 | 연구시설/ 연구장비명 | 규격 (모델명) | 개발여부 (○/×) | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부 | 연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호 | 구축일자 (YY.MM.DD) | 구축비용 (천원) | 비고 (설치 장소) |
|------|----------------|-------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|---------------|
| | | | | | | | | |

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

3-4. 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

해당사항 없음

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

4-1. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당사항 없음

4-2. 자체 보완활동

해당사항 없음

4-3. 연구개발 과정의 성실성

해당사항 없음

5. 도전과 배움

- R&D 전주기별 경험(한계→극복과정→배움)

□ 사업계획 수립 단계

- (한계) 극지 운항 선박의 계측된 데이터가 제한적이라 데이터 획득에 어려움이 발생
- (극복과정) 극지 운항 선박에 빙하중 계측을 실제로 실시한 기관(DSME, KRISO, 해양대학교 등)과 업무 협업을 계획함
- ☞ (배움) 과제의 기획단계에서부터 문제점을 미리 파악하고, 국내 유관기관 및 산/학/연 전문가와의 협업을 미리 계획하는 것이 중요함

□ 과제수행 단계

- (한계) 선체 모니터링 시스템의 실증을 위하여 쇄빙선박에 실 탑재 및 측정을 하여야 하나, 국내에 설치가 가능한 쇄빙선은 아라온 연구선이 유일하며, 해당 선박은 운항중인 선박으로 계측 센서 부착에 어려움이 발생됨
- (극복과정) 본 연구팀에 참여기관인 극지연구소의 도움을 요청하여 아라온 선박에 센서 부착 및 연구인력 탑승에 인가를 받아 센서를 설치하고 연구인력이 직접 아라온호에 탑승하여 실증을 진행함
- ☞ (배움) 앞서 문제가 될 사항에 대해 미리 파악하고 검토하여야 될 것으로 판단되며, 관련 유관기관과의 업무 협력이 필수라 판단됨

□ 사업화 준비 단계

- (한계) 선체모니터링 시스템과 디지털 트윈 시스템에 대하여 선박에 적용하기 위해서는 시스템의 우수성을 증명하여야 하나, 증명하는데 한계가 있음
 - (극복과정) 개발된 시스템에 대하여 인증서 획득을 통해 우수성을 검증하였으며, 대내외 홍보를 통해 성과물의 선사 및 조선소에 대대적인 우수성을 홍보함
 - ☞ (배움) 사업화를 위해서는 관련 업체에 적극적인 홍보 활동이 필수임
-

6. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

[위성데이터를 이용한 해빙 강도 맵 개발]

- 해당 기술개발을 이용하여 북극해의 운항을 위한 최적 운항 루트를 개발하여 선박에 적용하는 빙하중을 최소화하면서 선박이 목적지에 도달하는 기간도 최소화하여 선박의 유지보수 비용을 절감함과 동시에 선박 운항 효율 향상과 연비 절감이 가능한 기술 개발임
- 유엔기후변화협약 당사국회의(COP27)에서 발간한 “빙하권 상태 2022”에서는 기후 변화로 인하여 2050년에는 여름철 북극의 빙하가 사라질 것이라고 하며, 이를 대비하여 북극 운항 항로에 대한 기술 노하우와 빅 데이터 취득을 통해 향후 북극항로 기술 선점이 가능할 것으로 판단됨

[극지운항 선박 및 해양구조물의 실시간 모니터링 시스템]

- 앞서 개발된 최적 루트를 통한 운항 선박의 운항 효율 향상 및 구조적 안전성 확보가 가능할 것으로 판단되나, 예상치 못한 현장 상황에 의하여 선체에 구조적 문제가 발생할 가능성이 있으며, 특히 북극과 같은 극지 지역에 운항하는 선박에 문제가 발생될 경우 대형사고 또는 큰 인명사고로 이어질 가능성이 높음
- 본 연구개발에 개발한 선체 실시간 모니터링 시스템의 경우 실시간으로 선체에 작용하는 응력과 기존의 누적 데미지를 모니터링 함으로써 선원들이 직관적으로 선체의 문제점을 확인할 수 있으며, 문제가 발생될 여지가 생기면 알람을 통해 선원들에게 직접 경고를 줄 수 있는 시스템임
- 실제 극지를 운항하는 선박에 다양한 센서를 부착하여 운항 중의 데이터를 취득하여 분석할 수 있는 기회를 마련하고, 향후 다양한 조건의 선박 및 선박관련 부품의 진동 및 소음발생에 대한 진단기능의 추가적인 개발이 가능한 기반을 마련할 것으로 기대함
- 측정 분석에 사용한 센서의 극한적인 상황을 감안하여 다양한 형태와 기능을 가진 센서의 적용을 통해 센서 제작사와 제품 성능개선과 데이터 취득 과정의 개선이 가능할 것으로 기대함

[디지털 트윈 시스템]

- 선박에서 계측된 누적데미지에 대하여 3차원 모델에 가시화된 데미지를 표현해주고, 해당 데이터를 바탕으로 미계측 위치에 대한 누적데미지도 예측해 줌으로써 선박을 효율적으로 관리할 수 있음
- 과거 데이터를 기반으로 예측되는 미래의 해빙 상태에 대하여 해당 선박의 누적 데미지의 추정이 가능하며, 이를 이용하여 선박의 유지보수 및 검사 등의 의사 결정 수행에 도움을 줄 것으로 판단됨
- 본 기술개발은 극지운항 선박의 선체에 한정되어 있으나, 실제 선박의 전체 구조를 디지털 트윈화 하려는 연구 및 기술개발이 활발하게 진행하고 있으며, 본 연구는 진행 또는 진행 예정인 선박의 디지털 트윈 기술 개발의 초석이 될 것으로 사료됨

7. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

[한국선급]

- 한국선급에서는 소프트웨어(SeaTrust)를 개발하여 판매 및 유지관리하는 업무를 직접 수행하고 있으며, 본 연구에서 개발된 선체 모니터링 시스템과 디지털 트윈 시스템에 대하여 UI 업데이트 및 사용성 향상을 통해 소프트웨어를 판매하거나, 입급 선박 유치를 위한 기술 서비스를 수행하여 수입 창출에 기여하고자 함

[대우조선해양]

- 1단계 활동 (2024년)
 - ✓ 확보 시스템의 다양한 스펙 작성 및 견적가 산출
 - 확보 시스템을 포함 한 제품 (극지용 선박 및 해양 구조물) 스펙 작성 및 견적가 산정 예정이며, 확보 시스템이 가져 올 수 있는 제품 가격 경쟁력을 정량적으로 산출 예정임.
- 2단계 활동 (2025년)
 - ✓ 선주 홍보 및 영업
 - 다수의 인증을 획득한 확보 시스템 기술 홍보를 국내외 학회 및 전시회에서 홍보 할 예정이며, 특히 여러 주문주, 전문가들이 참석하는 GAS-THECH 등에 홍보하여 주문주의 이목을 집중 시킬 예정
 - ✓ 선진 극지기술 전문기관과의 공동 연구 결과를 통한 시스템 보완 및 홍보
 - KSRC, NRC, AARI 등과 같은 극지 기술 전문 기관의 최근 및 미래 기술을 반영하여 시스템 개선을 지속적으로 할 예정임.
- 3단계 활동 (2026년)
 - ✓ 주문주 요구 조건 반영 및 가격 경쟁력 확보
 - 주문주와의 영업 미팅에서 시스템을 소개하고 주문주 요구 조건을 반영한 시스템 가격 경쟁력을 확보할 예정임.
 - ✓ 극지 선박 및 해양구조물 수주 시 시스템 적용
 - 영업단계에서 확보 시스템을 적용한 다양한 옵션을 주문주에게 제시하고 수주 시 실선에 확보 시스템을 적용하여 사업화를 완성 예정임

[퓨처메인]

- 기존 고정적인 상태에서 온도 등 외부 환경의 영향이 상대적으로 덜 받는 설비에 대한 진동분석에서 극지를 운행하는 실물 선박을 대상으로 진동분석을 통해 측정방식의 다양한 접근과 데이터 취득, 데이터 전송과정의 추가적인 진행기술을 개발할 수 있었음
- 극저온 뿐만 아니라 고온의 상황에서도 발생할 수 있는 측정환경에 따른 측정시스템의 개발과 함께 측정결과를 안정적으로 수행할 수 있는 측정장치의 개선을 통해 다양한 형태의 측정장비의 제작을 기대할 수 있음

8. 연구개발비 사용실적(연구비통합관리시스템으로 제출 예정)

9. 자체보안관리진단

○ 주관연구개발기관 : 한국선급

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------------|--|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 보안업무 시행 기준, 정보보안업무 시행 기준, 보안방법체계운용 지침, 국가연구개발과제 보안관리 지침 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : 총무팀 박종호 차장 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 분기별 시행 | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 분기별 시행 | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 보안사고 발생 시 처리 | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자료 안성성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(√), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 대우조선해양

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : DSME 보안관리 규정 (DSM-G-104) | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : 보안관리부 엄종두 책임 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 매월 첫째 주 월요일 | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 매월 첫째 주 월요일 | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : ISO27001 | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자로 안서성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(√), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(√), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 퓨처메인(주)

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 연구실 안전관리 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : 부설연구소, 이준영 과장 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022.12.16 | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 2022.12.16 | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 정보유출방지시스템 구축 보안가이드 | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자로 안서성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 인하대학교

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 인하대학교 일반보안규칙 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : IT 인프라팀 이상범 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 온라인 교육 | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 온라인 교육 | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 정보보안 사고 처리기준 | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자로 안서성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(√), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(√), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 서울대학교

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 서울대학교 보안업무 처리규정, 서울대학교 국가연구개발사업 보안관리 지침 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검 실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : (서울대) 서울대학교 정보화본부 정보화지원과, (연구관리) 관리기관 및 연구처(지침 제4조항) - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022.01.27 | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : (개별 수강) 국가과학기술인력개발원(KIRD) 연구보안관리 | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 서울대학교 국가연구개발사업 보안관리 지침 제10조(보안사고 발생 시 처리) | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자료 안서성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(√), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 인하공업전문대학

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|--|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 연구사업보안관리지침, 보안업무 및 개인정보보호에 관한 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : ○○보안팀 ○○○(보안팀 미운영) | O(), X(√) | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 연구보안관리 기본_KIRD11월 온라인교육(연구지원인력 대상) | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 연구사업보안관리지침 제8조(보안등급에 따른 조치) 제9조(보안사고 발생시 처리) | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | 지원기관의 요청에 의해 실시 |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자료 안전성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 극지연구소

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 비고 (미실시 사유) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 보안관리 체계 | ○ 기관 내 보안관리규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 정보보안시스템보안 지침, 정보보안 요령, 연구사업보안관리지침 등 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리 조직이 있으며, 자체 보안점검실시 등 잘 운영되고 있다 - 보안담당자 부서 및 성명기재 : 시설보안실 실장 이기성 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022년 3분기 불시보안점검(2022.09.14.) | O(√), X() | |
| | ○ 보안교육을 정기적(1회이상/연)으로 실시하고 있다 - 보안교육 실시 일자 기재 : 2022.11.28.(2022년 하반기 전직원 보안교육) | O(√), X() | |
| | ○ 보안사고에 대한 방지대책 및 비상시 대응계획이 준비되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 안전보건경영 절차서 | O(√), X() | |
| 참여연구자 관리 | ○ 연구개발과제별로 참여연구자에 대하여 보안서약서를 징구하고 보안교육을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 해외 출장 시 사전 보안교육과 귀국보고 실시를 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 퇴직예정자에 별도로 보안 서약서 징구, 반출자로 안서성 검토, 연구성과물 회수, 전산망 접속 차단 여부를 확인하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외국인 연구자가 연구개발과제에 참여하는 경우 영문보안서약서 작성, 출입지역 제한, 반출·반입 물품 제한, 특이 동향을 별도 관리하고 있다 | O(), X() | 외국인 연구자 미참여시 공란 |
| 연구개발 내용/결과 관리 | ○ 주요 연구자료 및 성과물의 무단유출 방지대책을 수립하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안성 검토 방법 및 절차를 이행하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 기술이전 관련 내부규정 및 절차를 준수하고 있다 | O(√), X() | |
| 연구시설 관리 | ○ 연구시설 보안관련 내부규정 또는 지침을 이행하고 있으며, 연구시설 출입자에 대한 개인별 출입권한 차등을 부여 하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 시설에는 보안장비 설치와 보호구역이 지정되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 외부 입주기관의 연구 시설 내부 출입통제 조치를 하고 있다 | O(), X() | 외부 입주기관 없는 경우 공란 |
| 정보통신망 관리 | ○ 정보통신망 보안관련 내부규정 또는 지침이 구비되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 보안관리책임자의 승인 항목이 구분되어 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 주요 데이터에 대해 백업을 실시하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 개인용 정보통신장비(노트북, USB메모리)에 대하여 인가/관리중이다 | O(√), X() | |
| | ○ 전산망 보호를 위한 HW 및 SW 등을 도입하여 적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 직책, 임무별 열람 권한을 차등화하여 부여하고 있다 | O(√), X() | |

10. 안전관리 이행 현황

10-1. 연구실 안전 조치

○ 주관연구개발기관 : 한국선급

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|---|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 연구실안전관리기준, 안전보건운영관리절차서 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 경영기획본부(김명식) - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 매월 셋째주 수요일 실시 중 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 안전보건운영관리절차 및 지침서 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 2022.07.14.(반기1회 실시 중) | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 2022.10.31(반기1회 실시 중) | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 대우조선해양

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|--|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 대우조선해양 HSE 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 안전보건기획부 박광중 책임 - 자체 안전점검 실시 일자 기재 : 매주 실시 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 안전사고 조사 및 처리 절차 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 매주 실시 | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 매주 실시 | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 퓨처메인(주)

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|--|------------|------------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 연구실 안전관리 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 부설연구소, 이준영 과장 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022.12.16 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 연구실 안전관리 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 20xx.xx.xx | O(), X(√) | 제품 제조과정 없음 |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 2022.12.16 | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 인하대학교

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|--|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 인하대학교 일반보안규칙 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 안전방재실 구경모 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022.09.15 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 사고 발생시 긴급 대처 및 행동 요령 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 2022.07.22 | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 온라인 교육 | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 서울대학교

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|--|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 서울대학교 연구실 안전환경 관리 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 조선해양공학과 장범선 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 매월 1회 실시 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 제13조 안전사고처리 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 매년 1회 실시 | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 학기별 온라인 정기교육 | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 인하공업전문대학

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|---|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 안전보건관리규정, 전기안전관리규정, 개인형 이동장치안전관리규정, 실습실안전관리규정, 학생 집단 활동 안전관리 규정 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 사무처 시설팀 이충구/교무처 실습지원팀 이형배 - 자체 안전점검 실시 일자 기재 : 매일 실시 | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 실습실안전관리규정, 실습실 안전관리 매뉴얼 실습실 사고대응 매뉴얼 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 정밀안전진단 실시, - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 2022.7.13, 7.15. | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 학과별 실습교과목별 안전교육 실시 - 안전교육 실시 일자 기재 : 2022.2.28.~3.4./2022.8.29.~9.2. | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

○ 공동연구개발기관 : 극지연구소

| 구분 | 체크항목 | 결과 체크 (√표) | 미실시 사유 |
|------------|--|------------|--------|
| 안전관리 체계 | ○ 기관 내 안전관리 규정을 제정/적용하고 있다 - 기관의 규정명칭 기재 : 안전보건경영 지침서, 안전보건경영 절차서, 안전보건경영 표준매뉴얼 | O(√), X() | |
| | ○ 안전 책임자를 지정하고 있으며, 자체 안전 교육을 실시하고 있다 - 안전 책임자 부서 및 성명기재 : 안전관리실 실장 정도영 - 자체 보안점검 실시 일자 기재 : 2022년도 연구실 안전주간 운영(2022.11.21.~11.25) | O(√), X() | |
| | ○ 안전사고에 발생 시 대처방안, 보고절차 및 방지대책 수립되어 있다 - 규정의 조문 또는 가이드 기재 : 안전보건경영 표준매뉴얼 | O(√), X() | |
| | ○ 안전점검 및 안전진단을교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전점검 및 진단 일자 기재 : 2022년도 10월 안전점검(2022.10.11.~10.14) | O(√), X() | |
| | ○ 안전교육을 정기적으로 실시하고 있다 - 안전교육 실시 일자 기재 : 2022sus 안전보건익식 개선 교육(2022.06.29.) | O(√), X() | |
| 연구시설 안전 관리 | ○ 연구시설 및 장비 사용에 대한 안전관리 지침을 제정/적용하고 있다 | O(√), X() | |
| | ○ 연구시설 및 장비에 보호장비, 보호구 등이 설치되어 있다 | O(√), X() | |

10-2. 안전관리형 과제 안전관리 현황(연구개발과제 특성이 안전관리형 과제 경우에 한함)



< 별첨 자료 >

| 세부 정량적 연구개발 성과에 대한 증빙 또는 추가제출 현황 | | | 별첨 자료 |
|----------------------------------|------------------------------|---|---|
| 위성데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 | 해빙 유형 분포 관측 및 분석 | 1. 해빙 특성 자료(극지연) | 01_1_해빙 분포 관측 기술 적용 및 과거 빙 분포 비교분석 증빙보고서_1차년도 |
| | | 2. 해빙 유형 분류 산출물(극지연) | 01_2_위성데이터 기반 해빙 분포 관측 및 분석 증빙보고서 |
| | 3. 해빙강도 추정 산출물(극지연) | 01-3_해빙 특성/해빙 유형 분류/해빙강도 추정 산출물 전문가 평가의견서_2차년도 | |
| | 4. 해빙 미래 상태 예측 빙 유형 분류(극지연) | 01-4_정량적 목표 달성 SCIE 논문 증빙 | |
| | 5. 해빙하중 추정 오차율(인하공전, DSME) | 02_1_극지 빙강도 추정 및 극지 운항 선박의 구조 해석법 정립_실선의 구조 응답 결과 비 증빙보고서 02_2_해빙하중 추정 오차율 증빙보고서 02_3_위성데이터 기반 상태진단을 위한 빙하중 추정 기술 개발 증빙보고서 02_4_해빙하중 추정 오차율 증빙 프로시딩_학회발표자료 02_5_해빙하중 추정 오차율 전문가 평가의견서 | |
| 빙 하중 추정 구조 응답 오차율 | 6. 극지운영 해양구조물 구조응답 오차율(서울대) | 03_1_극지운항 선박의 구조응답 실선 계측 데이터 분석 및 극지운영 해양구조물의 환경하중에 대한 미계측 부위 구조응답 예측기술 개발 증빙보고서 03_2_구조응답 계측 데이터 분석 및 미계측 부위 구조응답 예측 증빙보고서 03-3_극지운영 해양구조물 구조응답 오차율 전문가 평가의견서 | |
| | 7. 극지운항 선박 구조응답 오차율(인하대) | 04_1_극지 구조물의 구조응답 추정을 위한 빙하중 예측 수치해석 증빙보고서 04_2_빙해선박의 피로수명 예측기법 개발 증빙보고서 04_3_극지운항 선박 구조응답 오차율 전문가 평가의견서 | |
| 극저온 계측 시스템 | 8. 계측센서 정확도(퓨처메인) | 05_1_극저온 계측센서 및 DAQ 시스템 테스트 증빙보고서 | |
| | 9. 무선통신 정확도(퓨처메인) | 05_2_극저온 계측 시스템 구축 및 실선 계측을 통한 검증 증빙 보고서 05-3_계측센서 정확도 및 무선통신 정확도 전문가 평가의견서 | |
| | 10. 시스템 운용 S/W 검증(퓨처메인) | 06_1_시스템 운용 S/W 사양서 06_2_GS인증서 | |
| | 11. 극저온계측시스템 특허 출원(퓨처메인) | 07_1_특허출원서(국내 1, PCT 1) | |
| 극지운항 선박 구조 평가 기술 | 12. 선체 표면 마모 시험(인하대) | 08_1_빙_도료 마찰마모시험 증빙보고서 08_2_선체 표면 마모 시험 전문가 평가의견서 | |
| | 13. 선체 피로 잔여 수명 및 파손 평가(인하대) | 09_1_빙해선박의 피로수명 예측기법 개발 증빙보고서 09_2_선체 피로 잔여 수명 및 파손 평가 전문가 평가의견서 | |
| 14. 통합 모니터링 시스템(한국선급) | | | 10_1_통합모니터링 시스템 UI개발 증빙보고서 10_2_통합 모니터링 시스템 매뉴얼 10_3_GS인증 시험성적서 10_4_GS인증서 10_5_저작권 등록증 |
| 디지털 트윈 기반 관리 시스템 개발 | 15. 디지털 트윈 모델 구축(한국선급) | 11_1_디지털 트윈 기반 통합 구조 건전성 관리 요구서 11_2_디지털 트윈 요구사항 명세서 전문가 평가의견서 | |
| | | 12_1_디지털 트윈 모델 및 시스템 구축 증빙보고서 12_2_SeaTrust-DigitalTwin User Manual 12_3_ISP 요구기능 전문가 평가의견서 | |
| | 16. ISP 요구 기능(한국선급) | | |
| 17. 논문(국내외 전문 학술지) | | | 13_1_논문 증빙 |
| 18. 국내 및 국제 학술회의 | | | 14_1_국내 및 국제 학술회의 증빙 |
| 19. 지식재산권 | | | 07_1_특허출원서(국내 1, PCT 1) |
| 20. 저작권 | | | 10_5_저작권 등록증 |
| 21. 기술 및 제품 인증 | | | 10_4_GS인증서 |
| 22. 고용 창출 | | | 15_1_고용 창출 증빙 |
| 23. 홍보 실적 | | | 16_1_홍보 증빙 |
| 24. 기타 | | | 17_1_극지용 모니터링 기술 현황 및 발전 추세 분석 17_2_실측 해빙 정보 획득 및 위성 데이터 기반 구조 해석 시나리오 정립 17_3_실선 장착 및 실증 검증 시험 |



주 의

1. 이 보고서는 산업통상자원부에서 시행한 산업기술혁신사업 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 산업통상자원부(한국산업기술평가관리원)에서 시행한 산업기술혁신사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.