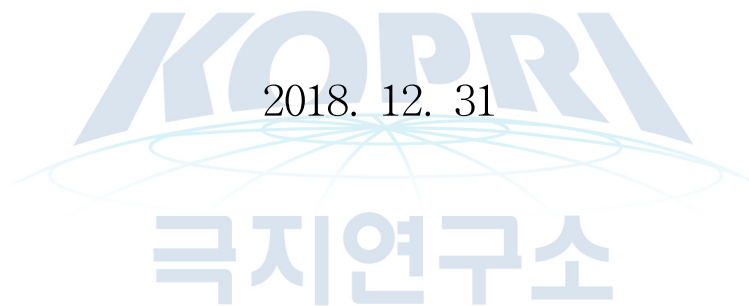


기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68 빙산 상시
모니터링 시스템 기반 구축 연구

Development of Iceberg A-68 monitoring system to
strengthen response to climate change issues




한국해양과학기술원
부설극지연구소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68 빙산 상시 모니터링 시스템 기반 구축 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 12.



연구 책임자 : 한 향 선

참여 연구원 : 김 현 철
" : 이 원 상
" : 이 춘 기
" : 지 준 화
" : 진 경
" : 현 창 욱
" : 손 영 선
" : 김 재 인
" : 이 성 재

보고서 초록

과제관리번호	PE18250	해당단계 연구기간	2018.03.01. ~ 2018.12.31.	단계 구분	1 / 1
연구사업명	중 사업명	기본연구사업(정책지원사업)			
	세부사업명	기본연구사업(정책지원사업)			
연구과제명	중 과제명	기본연구사업(정책지원사업)			
	세부(단위)과제명	기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68 빙산 상시 모니터링 시스템 기반 구축 연구			
연구책임자	한 향 선	해당단계 참여연구원수	총 : 10 명 내부 : 10 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 100,000 천원 기업: 천원 계: 100,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	극지연구소 북극해빙예측사업단/ 해수면변동예측사업단		참여기업명		
국제공동연구	-				
위탁 연구	-				
요 약					보고서 면수
<ul style="list-style-type: none"> - 남극 대형 빙산에 대한 위성 기반 상시 모니터링 시스템의 구축 필요성과 당위성 분석을 진행 - 국내외 인공위성 및 현장조사 기반 빙산 연구 동향과 상시 모니터링 시스템 구축 여부에 대한 조사 수행 - 국외 선진 연구기관들은 자국의 인공위성을 활용하여 빙권 관련 이슈를 선점하고자 노력하고 있으나, 지속적인 모니터링을 위한 시스템은 구축하지 않고 있음 - 기후변화 관련 빙권 이슈에 대한 기관 차원의 선제적 대응과 기관 고유 정보 및 홍보서비스 기능 강화를 위해 우리나라의 독자적 자원인 아리랑 위성을 적극 활용하는 빙산 상시 모니터링 시스템 구축이 필요함을 제시 - 빙산 상시 관측에 활용할 수 있는 국내외 인공위성들의 관측 특성 분석 - 마이크로파를 사용하는 영상레이더, 레이더 고도계 및 수동 마이크로파 센서가 빙산 정보를 산출하는데 있어 유용하게 활용될 수 있음이 분석되었고, 특히 자료에 대한 접근성이 좋은 Sentinel-1과 우리나라 고유의 아리랑 위성을 융합하는 것이 빙산 상시 모니터링에 가장 효과적 - 인공위성 관측 자료로부터 빙산의 면적, 이동, 회전, 두께, 빙산 주변 해빙농도, 빙봉 흐름속도 등 다양한 빙산 정보를 산출하기 위한 자료처리기술 분석 및 확보 - 빙산 A-68 위성 모니터링 정보의 대외 서비스 및 홍보를 수행하기 위해 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지(http://kosmos.kopri.re.kr) 구축 - 이 연구에서 수행된 인공위성 기반 빙산 정보 산출기술 확보 및 A-68 모니터링 정보서비스 결과를 바탕으로 위성탐사를 통한 대형 빙산 및 주변 환경 상시 모니터링 시스템 구축안 설계 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	인공위성, 원격탐사, 빙권, 빙산 A-68, 영상레이더, 레이더 고도계, 수동 마이크로파 센서, 빙산정보, 상시 모니터링 시스템			
	영 어	Satellite, Remote sensing, Cryosphere, Iceberg A-68, Synthetic aperture radar, Radar altimetry, Passive microwave sensor, Iceberg information, Monitoring system			

요 약 문

I. 제 목

기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68 빙산 상시 모니터링 시스템 기반 구축 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 빙산 A-68은 2017년 7월 남극반도의 Larsen C 빙붕에서 분리된 초대형 빙산으로, 세계 각 국에서는 빙산 A-68과 관련된 기후변화 이슈를 선점하기 위해 노력하고 있음
- 본 연구는 기후변화 관련 이슈에 선제적 대응과 홍보서비스 강화를 위한 빙산 A-68 및 주변 환경 상시 모니터링 정보서비스 체계 기반 구축안을 도출하는데 그 목적이 있음
- 빙산 상시 모니터링 및 정보서비스를 통해 극지연구 국제협력 주도권 확보가 가능함
- 빙산 모니터링 정보 생산 및 대외서비스로 미래 지구 환경 변화 예측을 위한 중요 기초 정보를 제공할 필요가 있음
- 빙산 및 주변 환경 모니터링을 통해 해양수산부 제3차 남극연구활동 진흥 기본계획 중 하나인 인류공동의 현안해결에 기여하는 남극연구 선도국을 실현
- 빙산 진화에 따른 환경변화 이해를 위해 인공위성 원격탐사 기반 빙산 모니터링 기초 연구 수행이 필요함

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 인공위성 원격탐사 기반 빙산 A-68 상시 모니터링 및 정보서비스 체계 구축안 도출
- 빙산 상시 모니터링 시스템 구현을 위한 인공위성 원격탐사 자료처리 기술 확보
- 빙산 정보서비스 플랫폼을 구축하고 모니터링 자료의 대외서비스를 통해 위성 기반 빙권 모니터링 시스템 개발의 토대 마련

IV. 연구개발결과 및 성과

- 빙산 모니터링 정보서비스 사례 분석
 - 국외 위성연구 선진기관의 빙권 연구 동향과 빙산 모니터링 관련 연구 사례 분석
- 빙산 상시관측 위성 분석

- 우리나라의 아리랑 위성 시리즈와 국외 개발 인공위성의 빙권 관측 특성 및 활용 사례 분석
- 빙산 상시 모니터링에 효과적으로 활용될 수 있는 인공위성 파악
- 인공위성 관측 특성에 따라 산출 가능한 빙산정보 분석
- 빙산 위성정보 처리기술
 - 인공위성 관측 자료로부터 빙산 정보 산출을 위한 자료처리기술 확보 및 제안
 - 빙산 A-68에 대한 위성 모니터링 산출 기술 적용 및 결과 분석
- 빙산 위성 모니터링 정보서비스 웹사이트 구축
 - 빙산 A-68 위성 모니터링 정보의 대외 서비스 및 홍보 수행을 위한 웹사이트 구축 및 운용
 - 빙산 모니터링 정보의 시각적 구성 및 대외 홍보 가치를 높이기 위한 구성
- 빙산 상시 모니터링 시스템 구축안 설계
 - 인공위성 기반 빙산정보 산출기술 확보 및 A-68 빙산 모니터링 정보서비스 결과를 바탕으로 대형 빙산 및 주변 환경 상시 모니터링 시스템 구축안을 설계
 - 상시 모니터링 시스템 구축 및 운용에 필요한 사항 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

- 연구개발결과의 체계화를 통한 남극 빙산 위성자료 처리기술 고도화
- 빙산 모니터링 시스템 개발 및 운용을 통해 관련 연구분야에 기초자료 제공
- 기관 고유의 기후변화 관련 이슈 홍보 콘텐츠로 활용
- 인공위성 기반 빙권 종합 정보화 연구개발 및 정보서비스 방향 설정에 활용

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구개발의 배경	1
제 2 절 연구개발의 목적	2
제 3 절 연구개발의 필요성	3
제 4 절 연구개발내용 및 범위	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	7
제 1 절 국내 연구개발 현황	7
제 2 절 국외 연구개발 현황	9
제 3 장 연구개발 내용 및 결과	13
제 1 절 빙산 모니터링 정보서비스 사례 분석	13
제 2 절 빙산 상시관측 가능 위성 분석	22
제 3 절 빙산 위성정보 처리기술	63
제 4 절 빙산 위성 모니터링 정보서비스 웹사이트 구축	73
제 5 절 빙산 상시 모니터링 시스템 구축 및 운영전략 설계	91
제 6 절 주요 연구 변경 사항	94
제 4 장 기대성과 및 활용방안	95
제 5 장 참고문헌	96
부록: 빙산 A-68 위성 모니터링 정보	99

표 목차

표 1. 연구개발 목표 및 내용	6
표 2. 아리랑 위성별 탑재 센서와 발사일자	22
표 3. 아리랑 2호의 MSC 센서 특성	23
표 4. 아리랑 3호의 AEISS 센서 특성	25
표 5. 아리랑 3호와 3A호 특성 비교	27
표 6. 아리랑 3A호의 AEISS-A 센서 특성	27
표 7. 아리랑 5호의 COSI 센서 특성	30
표 8. Terra/Aqua의 MODIS 센서 특성	34
표 9. Landsat-7의 ETM+ 센서 특성	38
표 10. Landsat-8의 OLI 센서 특성	40
표 11. Landsat-8의 TIRS 센서 특성	40
표 12. Sentinel-1 영상획득 모드에 따른 관측 조건	43
표 13. TerraSAR-X SAR 촬영 모드별 특성	50
표 14. COSMO-SkyMed 촬영 모드별 특성	53
표 15. CryoSat-2 관측 모드별 특성	57
표 16. AMSR2 센서 특성	59
표 17. SSMIS 센서 특성	60
표 18. 위성 기반 빙산 모니터링 정보의 종류	63
표 19. 빙산 상시 모니터링 정보서비스 홈페이지 메뉴 구성	73

그림 목차

그림 1. Sentinel-1이 촬영한 빙산 A-68 (출처: 유럽우주국)	2
그림 2. 아리랑 5호 위성의 빙산 C-33 발생 탐지 사례	8
그림 3. 아리랑 5호 기반 빙산 C-33 상시 모니터링 사례	8
그림 4. STAR 시스템 운영 화면	9
그림 5. 유럽우주국의 Sentinel-1 위성이 관측한 빙산 A-68 발생 모습 (출처: 유럽우주국)	10
그림 6. 독일항공우주센터의 TerraSAR-X 위성이 관측한 빙산 A-68의 위치 변화 (출처: 독일항공우주센터)	11
그림 7. Project MIDAS 홈페이지 메인화면	11
그림 8. 인공위성 산란계 관측 기반 남극 빙산 이동 정보 (출처: 남극 빙산 추적 데이터베이스)	12
그림 9. 유럽우주국의 Copernicus 프로그램 임무 (출처: 유럽우주국)	13
그림 10. Sentinel-1B 위성이 2017년 7월 12일 촬영한 빙산 A-68	14
그림 11. Project MIDAS에서 제공한 빙산 A-68 모니터링 리포트	15
그림 12. Project MIDAS에서 MODIS 영상을 통해 제공한 빙산 모니터링 정보	16
그림 13. Project MIDAS에서 2018년 7월 공개한 빙산 A-68의 1년간의 변화 모습	16
그림 14. Larsen C 빙붕 붕괴 직전인 2017년 6월 29일에 촬영된 TerraSAR-X SAR 영상 (출처: 독일항공우주센터)	17
그림 15. 빙산 A-68 발생 직후인 2017년 7월 12일의 MODIS 영상 (출처: 미국항공우주국)	18
그림 16. 빙산 A-68 발생 직후인 2017년 7월 12일의 Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)	19
그림 17. 빙산 A-68 발생 2개월 후의 Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)	19
그림 18. 남극 반도 주변 빙산에 대한 인공위성 마이크로파 산란계 영상 (출처: 남극 빙산 추적 데이터베이스)	20
그림 19. 남극 빙산 추적 데이터베이스에서 제공하는 빙산 위치	21
그림 20. 아리랑 2호 (출처: 한국항공우주연구원)	23

그림 21. 아리랑 2호가 관측한 남극 바톤 반도	24
그림 22. 아리랑 3호 (출처: 한국항공우주연구원)	25
그림 23. 아리랑 3호로 촬영된 남극 바톤 반도 주변 지역	26
그림 24. 아리랑 3A호가 촬영한 남극 장보고 과학기지 주변 전정색 영상	28
그림 25. 아리랑 3A호 AEISS-A 영상(좌)과 아리랑 3호 AEISS 영상(우)의 비교 (출처: 한국항공우주연구원)	28
그림 26. 아리랑 5호 (출처: 한국항공우주연구원)	29
그림 27. 아리랑 5호 SAR 영상 촬영 모드	30
그림 28. 난센 빙봉의 붕괴 및 빙산 C-33을 촬영한 아리랑 5호 광역 모드 SAR 영상	31
그림 29. 장보고 과학기지 주변 프리슬리 빙하 표면을 촬영한 아리랑 5호 표준 모드 SAR 영상	32
그림 30. Terra 위성 (출처: 미국항공우주국)	33
그림 31. Aqua 위성 (출처: 미국항공우주국)	33
그림 32. MODIS 남극권 일간 모자이크 영상 (출처: 미국항공우주국)	35
그림 33. MOA 남극 지표 영상 (Scambos <i>et al.</i> , 2007)	36
그림 34. Landsat 위성 개발 타임라인 (출처: 미국지질조사국)	37
그림 35. Landsat-7 위성 (출처: 미국항공우주국)	37
그림 36. LIMA 남극 전역 영상 (Bindschadler <i>et al.</i> , 2008)	38
그림 37. 남극 난센 빙봉에 대한 Landsat-7 ETM+ 센서의 SLC 고장 전(좌) 및 후(우) 영상	39
그림 38. Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)	39
그림 39. Landsat-8 OLI 영상으로 관측된 남극 빙봉의 흐름속도 (출처: 미국항공우주국)	41
그림 40. Sentinel-1 위성 (출처: 유럽우주국)	42
그림 41. Sentinel-1 영상획득 모드 모식도 (출처: 유럽우주국)	43
그림 42. Sentinel-1 TOPSAR 영상 획득 모식도 (출처: 유럽우주국)	44
그림 43. 동남극 멜버른 화산에 대한 Sentinel-1 레이더 간섭영상 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)	45

그림 44. Sentinel-1 오프셋 추적기법 기반 장보고 과학기지 주변 변위 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)	45
그림 45. Sentinel-1 영상레이더 오프셋 추적기법으로 측정된 2015 - 2016년 남극 빙봉의 동쪽 및 북쪽 방향으로의 흐름속도 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)	46
그림 46. 독일항공우주센터의 위성 개발 계획 (출처: 독일항공우주센터)	46
그림 47. TerraSAR-X 위성 (출처: 독일항공우주센터)	47
그림 48. TerraSAR-X와 TanDEM-X 영상 취득 모습 (출처: 독일항공우주센터)	48
그림 49. TanDEM-X 임무를 통해 획득된 전지구 DEM (출처: 독일항공우주센터)	49
그림 50. 테라노바 만 주변 빙하지역에 대한 TanDEM-X DEM 예시 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)	49
그림 51. TerraSAR-X 영상 촬영 모드 모식도 (출처: 독일항공우주센터)	50
그림 52. TerraSAR-X SAR 영상으로 분석된 북극 해빙농도, 융빙호면적, 융빙호 밀도, 융빙호 개수 (Han <i>et al.</i> , 2016)	51
그림 53. COSMO-SkyMed 위성 (출처: 이탈리아우주국)	52
그림 54. COSMO-SkyMed 위성군 운용을 통한 시간해상도 구현 (출처: 이탈리아우주국)	52
그림 55. 레이더 간섭기법으로 측정된 동남극 캠벨 빙하의 연평균 흐름속도(좌) 및 속도 도의 표준편차(우) (Han and Lee, 2015)	54
그림 56. 영상레이더 간섭기법으로 관측된 빙하와 해빙의 표면 변위 (Han and Lee, 2018)	54
그림 57. COSMO-SkyMed 영상으로 분석된 남극 빙하의 표면 변형률 지도 (Han and Lee, 2017)	55
그림 58. CryoSat-2 위성 (출처: 유럽우주국)	56
그림 59. CryoSat-2 기반 북극 리드 탐지 결과 (Lee <i>et al.</i> , 2018)	58
그림 60. CryoSat-2로 관측된 남극 수치지형고도 (Slater <i>et al.</i> , 2018)	58
그림 61. SSMIS로 관측된 북극과 남극의 해빙농도	61
그림 62. 빙산의 분포와 밝기온도 특성을 나타내는 SAR 영상과 수동 마이크로파 센서 관측 영상 (Han and Lee, 2011)	61
그림 63. SAR 영상에서 빙산 면적 산출을 위한 폴리곤 추출	64
그림 64. 빙산 A-68 면적의 시계열 분석 정보	64

그림 65. 빙산의 이동 및 회전정보 산출을 위한 기준점 선정	65
그림 66. 빙산 A-68의 이동 및 회전에 대한 시계열 분석 정보	66
그림 67. 빙산 A-68 두께 위성정보 산출 예시	67
그림 68. InSAR로 관측한 빙하의 조위변형 (Han and Lee, 2014)	68
그림 69. Ross 빙봉에 대한 Sentinel-1 InSRA 영상 (한국해양과학기술원 부설 극지연구 구소, 2018)	68
그림 70. Larsen C 빙봉에 대한 Sentinel-1 InSAR 영상	69
그림 71. 오프셋 추적기법으로 관측된 빙하의 흐름속도 (Han <i>et al.</i> , 2013)	70
그림 72. Larsen C 빙봉에 대한 Sentinel-1 오프셋 추적기법 적용 결과	71
그림 73. 빙산 A-68 주변 해역의 2017년 1월 평균 해빙농도와 월평균 해빙농도의 이상 치	72
그림 74. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 메인 배너 영역	74
그림 75. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 빙산 간략 소개 및 주요 뉴스 영역	75
그림 76. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 모니터링 정보 영역 ..	76
그림 77. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 모니터링 연구 소개 페이지	77
그림 78. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 발생 소개 페이지	78
그림 79. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 리포트 페이지 구성	79
그림 80. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 리포트 목록	79
그림 81. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 면적 정보제공 페이지	80
그림 82. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 면적 위성정보 표출 화면	81
그림 83. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 이동 정보제공 페이지	82
그림 84. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 이동 위성정보 및 분석결과 표출 화면	82
그림 85. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 두께 정보제공 페이지	83
그림 86. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 두께 위성정보 표출 화면	84
그림 87. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Larsen C 빙봉 흐름속도 정보제공 페이지	85
그림 88. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Larsen C 빙봉 흐름속도 위성정보	

표출 화면	85
그림 89. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 정보제공 페이지	86
그림 90. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 위성정보 표출 화면	87
그림 91. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 위성정보 분석 결과 표출 화면	87
그림 92. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 연구팀 소개 페이지	88
그림 93. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 블로그 목록 페이지	89
그림 94. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 블로그 세부 내용 페이지	89
그림 95. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Contact Us 페이지	90
그림 96. 위성 관측 기반 남극 빙산 상시 모니터링 시스템 설계 모식도	91



제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 배경

1. 빙산 모니터링의 중요성

- 빙산(iceberg)은 빙하(glacier) 또는 빙붕(ice shelf)이 붕괴되어 바다에 부유하는 형태로 발생한 빙체를 의미하며, 빙산의 붕괴로 인해 발생한 빙체 또한 빙산이라고 지칭함.
- 남극해에는 매우 많은 빙산이 존재하고 있으며, 해류와 바람에 의해 이동하고 있음(Silva *et al.*, 2006; Jacka and Giles, 2007; Tournadre *et al.*, 2012).
- 빙산의 진화 과정에서 발생하는 용빙수는 바다로 유입되어 해빙의 형성 환경(Martin *et al.*, 2007; Merino *et al.*, 2016), 해류 순환(Silva *et al.*, 2006; Dinniman *et al.*, 2007), 해양 생태계(Arrigo *et al.*, 2002; Kooyman *et al.*, 2007; Schwarz and Schodlok, 2009), 선박의 항해(Lasserre, 2015)에 매우 큰 영향을 미치고 있기 때문에 빙산에 대한 상시 모니터링이 요구됨.
- 또한 빙산의 진화 과정은 해양과의 상호작용을 통해 지속적으로 감소하고 있는 남극 빙붕의 미래 변화를 예측하는 데에도 중요한 단서를 제공할 수 있음.

2. 빙산 A-68의 발생

- 빙산 A-68은 2017년 7월 남극반도에 위치해 있는 Larsen C 빙붕에서 분리된 빙산으로, 발생 당시 면적이 5800 km²인 초대형 빙산임(Benn and Åström, 2018).
- 빙산 A-68의 발생으로 인해 Larsen C 빙붕 면적이 약 10% 감소하였음.
- 현재 빙산 A-68은 남극에서 가장 큰 빙산에 해당하며, 인류의 빙산 관측 이래로 6번째로 큰 빙산임.
- 초대형 빙산 A-68은 남극 반도 주변의 해양 환경에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음.
- 대규모 빙권 변화 이벤트인 Larsen C 빙붕의 붕괴와 빙산 A-68의 발생에 전 세계의 관심이 집중되었으며, 세계 각국에서는 지속적인 모니터링을 수행하여 빙산 발생과 관련된 이슈를 선점하고자 노력하고 있음.
- 우리나라 또한 기후변화 관련 이슈에 대한 국가 및 극지연구소 기관 차원의 선제적 대응 능력 강화를 위해 독자적 자원을 활용하여 빙산 A-68에 대한 상시 모니터링을 수행할 필요가 있음.
- 빙산 상시 모니터링을 통해 빙권 이슈를 선점하여 국제협력 주도권을 확보하고 기관의

홍보기능 강화가 가능함.

- 우리나라는 쇄빙연구선 아라온호와 아리랑 위성이라는 독자적 인프라가 구축되어 있으며, 이를 활용하여 대형 빙산 및 빙봉의 상시 모니터링과 예측 정보 생산에 있어 국제적으로 경쟁력 우위를 확보할 수 있음.

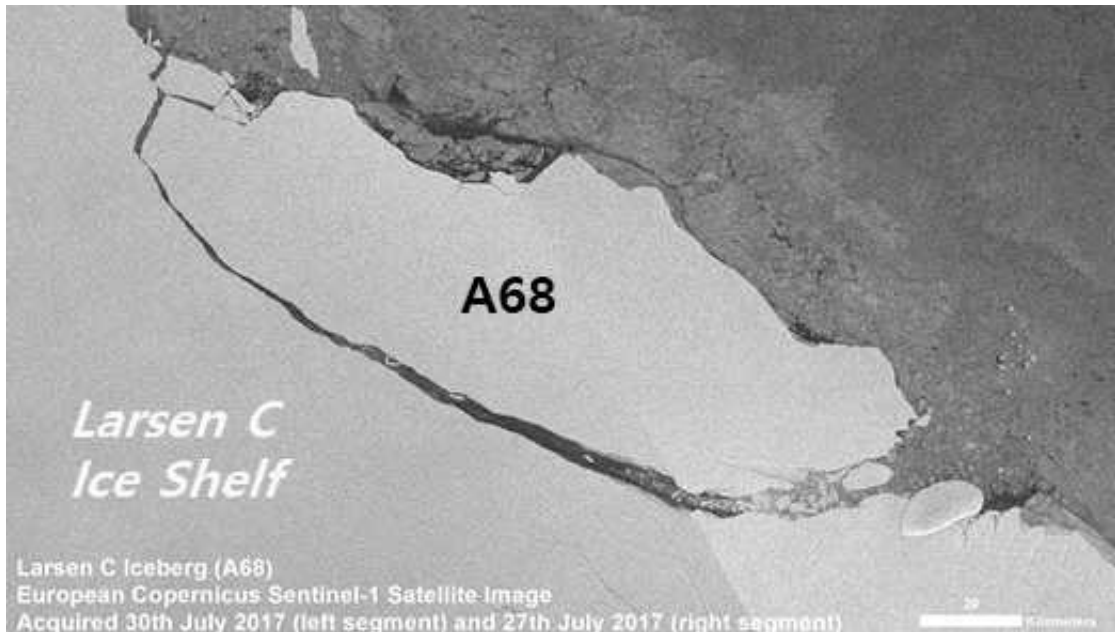


그림 1. Sentinel-1이 촬영한 빙산 A-68 (출처: 유럽우주국)

극지연구소

제 2 절 연구개발의 목적

본 연구개발의 최종목표는 아래와 같다.

- 기후변화 관련 이슈에 선제적 대응과 홍보서비스 강화를 위한 A-68 빙산 및 주변 환경 상시 모니터링 및 정보서비스 체계 기반 구축

연구개발 목표 달성을 위해 빙산 모니터링 및 정보서비스 사례를 분석하고, 위성관측 자료의 처리기술을 확보한다. 위성 기반 빙산 모니터링 정보를 가시화하며, 모니터링 정보서비스 및 홍보 웹사이트를 설계, 운용한다. 이를 통해 남극 대형 빙산 및 빙봉 상시 모니터링 시스템 구축 기반을 기획하고자 한다.

본 연구개발의 목적에는 쇄빙연구선 아라온호를 활용하여 빙산 A-68에 대한 현장원천관측 자료를 최초로 획득하는 내용도 포함되어 있다. 그러나 빙산 A-68 주변의 고농도 해빙과 약기상의 영향으로 인해 아라온호의 빙산 접근이 불가하였으며, 이에 따라 현장원천관측자

료의 획득이 수행되지 못하였다. 이에 본 연구에서는 인공위성 관측에 초점을 맞추어 연구 개발 목표를 달성하고자 하였음을 밝힌다.

제 3 절 연구개발의 필요성

- Larsen C 빙봉의 대규모 붕괴와 초대형 빙산 A-68의 분리에 전 세계 관심이 집중되고 있음.
- 대규모 빙권 이벤트에 대한 독자적 상시 감시체계 구축을 통해 빙산 A-68과 관련된 이슈를 선점하고 기관 고유 홍보서비스를 수행할 필요가 있음.
- 빙산 상시 모니터링을 통해 극지연구 국제협력 주도권 확보가 가능함.
- 빙산 모니터링 정보 생산을 통해 미래 지구 환경 변화 예측을 위한 중요 기초 정보를 제공할 필요가 있음.

1. 기술적 측면

- 기후변화 관련 빙권 변화 이슈에 선제적 대응을 위한 시스템 개발 필요
 - 대규모 빙권 변화 이벤트인 빙산 A-68에 대해 독자적인 상시 모니터링 시스템을 개발
 - 빙산 A-68 주변 빙봉-해빙-해양환경 변화의 상시 감시를 위한 인공위성 원격탐사 자료처리 기술 확보 요구
 - 상시 모니터링 시스템 개발을 통한 기후변화 관련 이슈에 대한 기관 차원의 대응 기능 강화
- 초대형 빙산 A-68 및 주변 환경정보 확보 및 제공 서비스 필요
 - 비정기적 관측을 통한 단순 정보를 제공하는 해외 모니터링 시스템의 한계점을 개선
 - 상시 관측을 위한 원격탐사 자료수신 및 처리기술 개발을 통해 빙산 및 빙산 주변 환경에 대한 정보의 확보와 제공 서비스 수행 요구

2. 경제·산업적 측면

- 해수부 제3차 남극연구활동 진흥 기본계획('17~'21) 수행 선도
 - 빙산 A-68과 주변 빙봉-해빙-해양환경을 상시 모니터링하여 기후변화와의 상관관계

를 규명하는데 중요한 정보를 제공함으로써 ‘인류공동의 현안해결에 기여하는 남극연구 선도국’ 실현

- 한국고유 자원을 활용한 빙권변화 감시체계 구현
 - 빙권 분야에 극지연구소가 한국항공우주연과의 협력을 통해 독자적으로 활용 가능한 아리랑 위성을 활용하여 빙산 A-68 관련 이슈에 능동적으로 대처할 필요가 있음
 - 쇄빙연구선 아라온호 기반의 현장조사가 가능하다면 위성관측을 보완할 수 있는 실시간 빙산정보 수집 가능

- 국제 극지 협력연구의 주도권 확보
 - 빙산 모니터링은 상시적인 위성 관측이 필수적
 - 아리랑 위성과 가용할 수 있는 해외 위성의 융합을 통해 상시 모니터링 시스템을 개발, 운용하여 남극 국제 협력연구를 주도

3. 과학적 측면

- 글로벌 환경변화 예측 및 대응을 위한 과학적 근거 마련
 - 빙산 A-68 주변 빙붕, 해빙의 변동성이 남극해 해양 및 생태환경에 미치는 영향 분석을 위한 정보
 - 매우 간헐적으로 발생하는 초대형 빙산의 진화과정에 관한 입체적 관측을 통해 해빙-해양 상호작용 수치모델 정확성 향상에 기여
 - 초대형 빙산 이동 및 진화 관련 해양학, 생물학, 빙하학 등에서 활용 가능한 기초 원천정보 제공

- 빙산 모니터링을 위한 인공위성 원격탐사 기초 연구 필요
 - 인공위성 자료를 활용한 빙산 상시 모니터링 및 정보 생산에 대한 기초 연구가 부족함.
 - 빙산 진화에 따른 환경변화 이해를 위해 인공위성 원격탐사 기초 연구의 수행이 필요함.

4. 사회·문화적 측면

- 남극조약협약당사국지위 획득 국가로서 남극에 대한 국가 차원의 실질적 기여 필요
 - 해수면상승 등 글로벌 현안 해결을 위한 국가 차원의 기여 요구
 - 남극 연구활동 국제협력 주도를 통한 남극 거버넌스 리더십 제고 기대
 - 남극 영유권 및 생물자원 탐사, 관광, 환경보호구역 설정 등 남극조약협약당사국회의의 현안 논의 주도를 위한 발판 마련
- 과학적 이슈에 대한 신속한 언론 대응 및 홍보서비스 강화
 - 독자적으로 개발한 빙산 A-68 상시 모니터링 시스템을 통해 관련 이슈 선점 및 홍보 서비스 수행
- 초대형 빙산 이동에 따른 경제적 피해 상황 정밀 모니터링
 - 주변 해양에 계류 중인 해양 관측 장비 피해 상황 모니터링 및 예측 필요
 - 빙산 이동경로 모니터링 및 기초 예측정보 제공으로 연안 접안시설물 피해에 선제적 대응방안 마련



제 4 절 연구개발내용 및 범위

- 본 연구에서는 기후변화 관련 이슈에 대한 선제적 대응과 기관 고유의 정보/홍보서비스 기능의 강화에 기여하기 위한 인공위성 기반 빙산 A-68 상시 모니터링 및 정보서비스 체계 구축안을 도출하고자 함.
- 빙산 상시 모니터링 시스템 구현을 위한 인공위성 원격탐사 자료처리 기술을 확보하고, 빙산 관련 위성 정보 서비스 체계의 기반을 구축하고자 함.
- 빙산 A-68 정보서비스를 위한 플랫폼을 구축하고 상시 모니터링 자료를 대외 서비스함으로써 향후 위성 기반 빙권 모니터링 시스템 개발의 토대를 마련하고자 함.

표 1. 연구개발 목표 및 내용

구분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2018)	기후변화 관련 이슈에 선제적 대응과 홍보서비스 강화를 위한 빙산 A-68 및 주변 환경 상시 모니터링 시스템 및 정보서비스 체계 기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> ○ 빙산 A-68 상시 모니터링 시스템 및 정보서비스 기반 설계 - 빙산 모니터링 및 정보서비스 사례 분석 - 상시 관측 가용 위성 분석 - 빙산 정보 생산을 위한 위성자료 처리기술 확보 - 빙산 모니터링 정보/홍보 서비스 웹사이트 설계 및 운용 - 위성 기반 빙산정보 검보정 방안 수립 - 상시 모니터링 시스템 구축안 설계



제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구개발 현황

- 극지연구소 해양수산부 R&D 과제 ‘장보고기지 주변 빙권변화 진단, 원인규명 및 예측’ 연구를 통해 초대형 현장관측 기반 빙산 진화과정 모니터링 기술 확보
 - 빙권변화 정밀감시 입체적 관측망 구축 기술 확보 및 대용량 현장 원천관측자료 분석 시스템 구축 완료
 - 수치모델링을 통한 빙권변화 예측 연구 수행

- 위성 기반 빙산 및 주변 환경 상시 감시체계 구축 사례 없음
 - 현재까지 국내에서 개발된 인공위성 기반 남극 빙산 및 주변 환경에 대한 상시 모니터링 구축 사례는 전무함.
 - 극지연구소 기관고유과제인 ‘서남극해 원격탐사 연구’에서 인공위성 원격탐사를 통한 빙봉-해빙 모니터링 관련 기술이 개발된 바 있으나, 상시 모니터링 시스템 구축까지 발전되지 못함.

- 극지연구소-한국항공우주연구원 협동연구를 통한 아리랑 위성의 빙산 상시 관측 활용성 제시
 - 난센 빙봉의 붕괴 및 빙산 C-33의 단기 모니터링이 수행된 바 있음.
 - 아리랑 위성의 빙산 상시 관측 활용성이 검증됨.

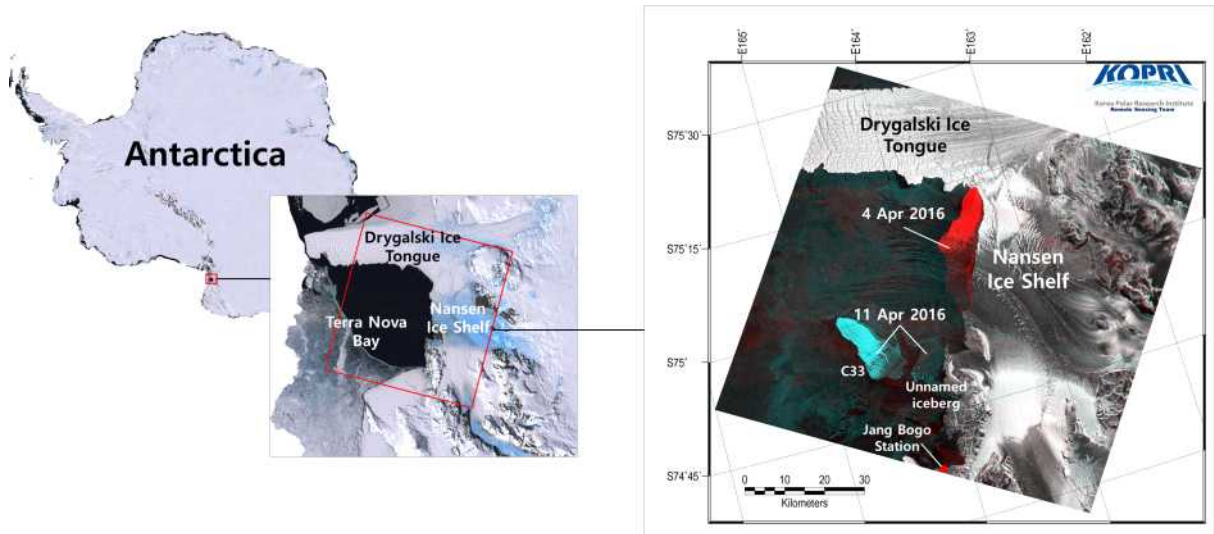


그림 2. 아리랑 5호 위성의 빙산 C-33 발생 탐지 사례

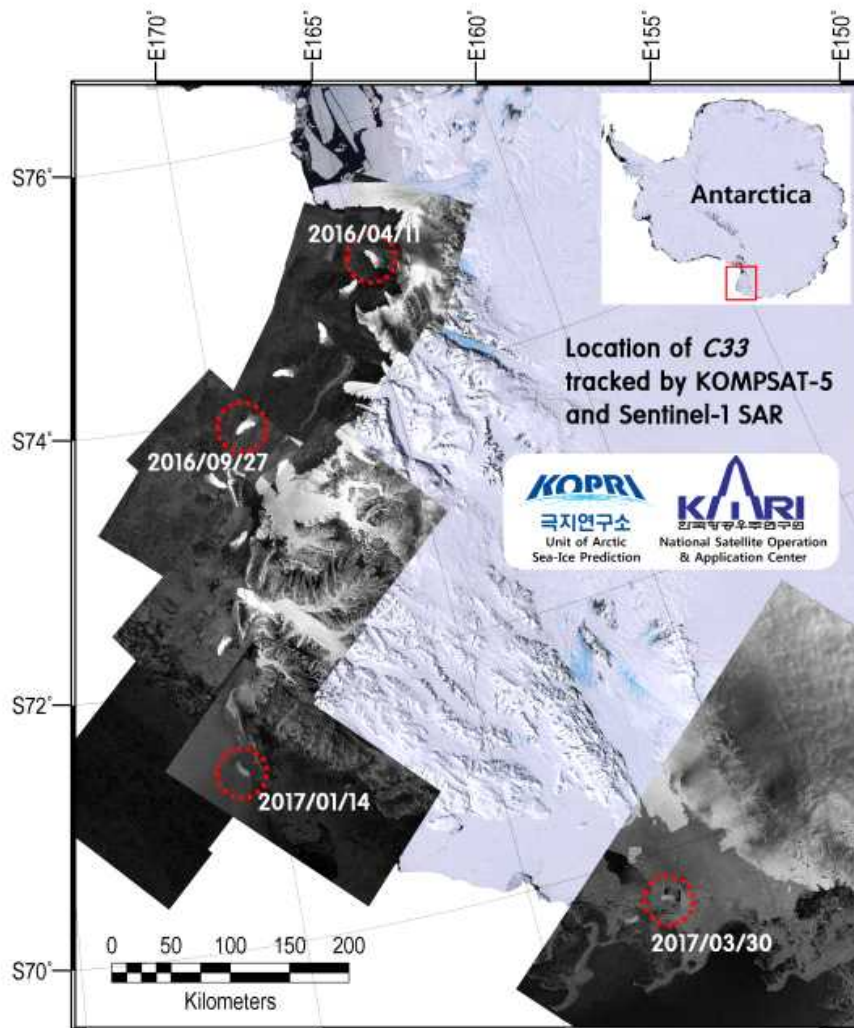


그림 3. 아리랑 5호 기반 빙산 C-33 상시 모니터링 사례

- 극지연구소 고유의 국내 최초 빙권 위성자료 자동 수집 관리 시스템 개발
 - 극지연구소 기관고유사업 ‘북극 해빙 위성관측을 위한 분석 기술 개발’의 일환으로 빙권 위성정보 수집 모니터링 시스템(STAR 시스템) 개발
 - STAR 시스템을 통해 위도 60도 이상의 극지역에 대한 인공위성 관측자료를 준실시간으로 확보
 - STAR 시스템은 빙권 변화 모니터링보다 위성자료 구축에 초점이 맞추어져 있으나, 위성자료 수신 기능은 빙산 상시 모니터링에 유용하게 활용 가능

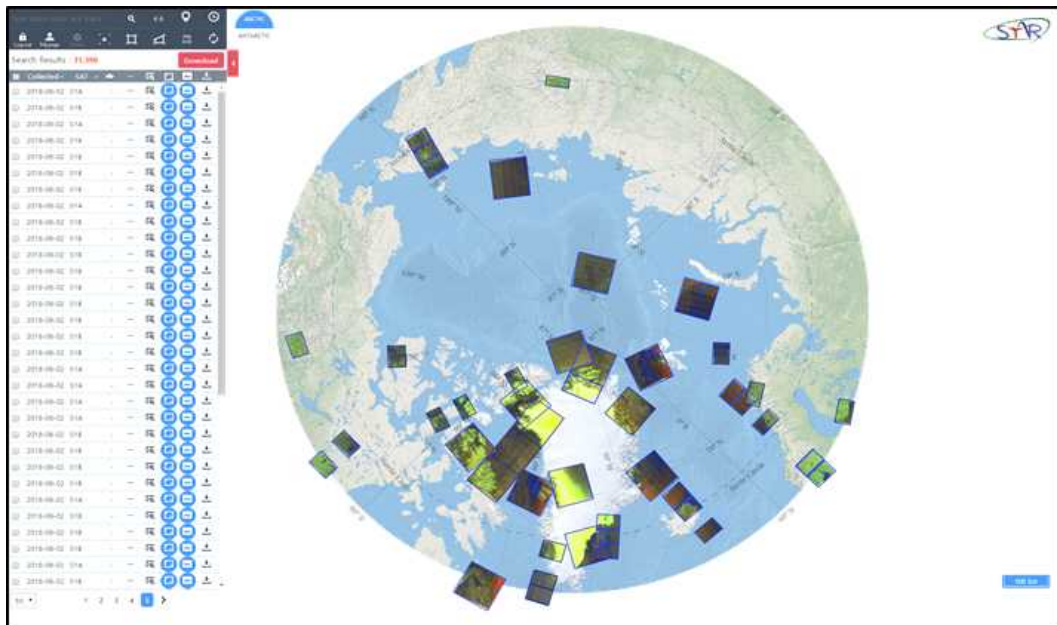


그림 4. STAR 시스템 운영 화면

- 아리랑 위성의 빙산 관측 부분 활용성과 극지연구소 고유의 STAR 시스템을 통해 남극 대형 빙산의 상시 모니터링 시스템 구축이 가능할 것으로 판단됨.

제 2 절 국외 연구개발 현황

- 국외에서는 위성탐사 전문 연구기관들을 중심으로 자국의 인공위성들을 활용한 남극 빙산 및 빙봉 모니터링 연구 활발히 진행 중
- 유럽우주국(European Space Agency; ESA)
 - Copernicus Marine Environment Monitoring Service(CMEMS)에서 운용하는 인공위

성 영상레이더(synthetic aperture radar, SAR)인 Sentinel-1을 이용하여 Larsen C 빙봉의 붕괴 관측 수행

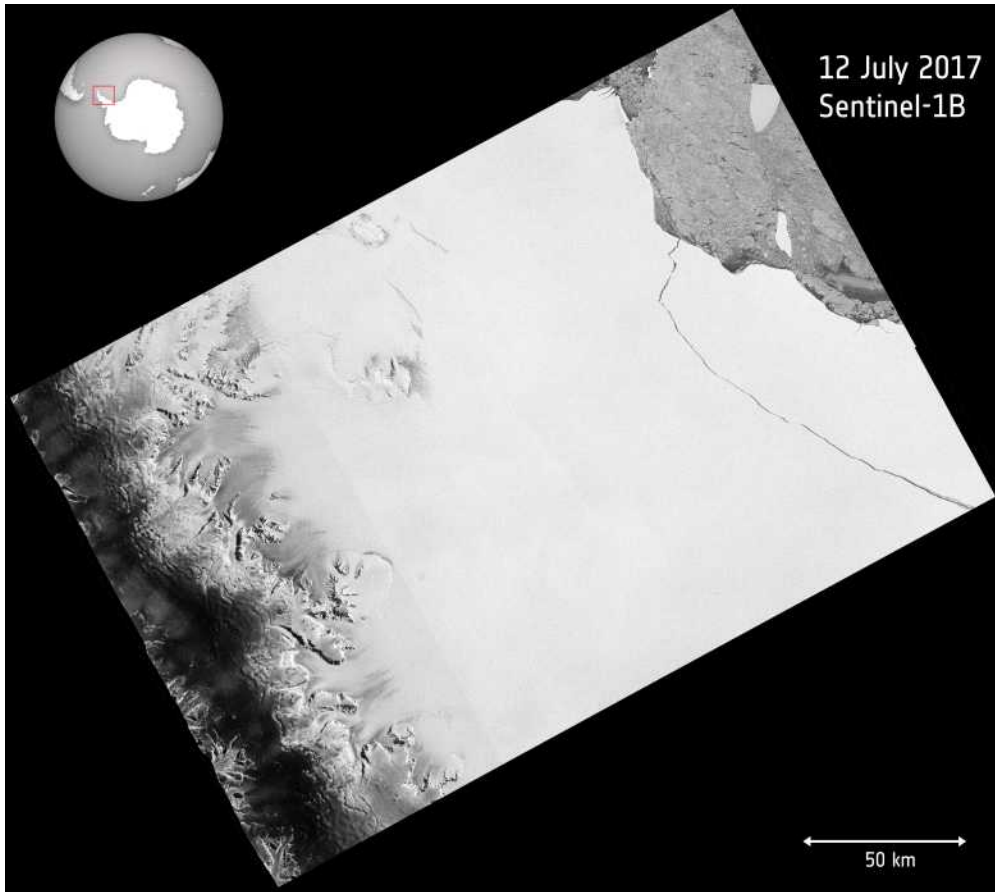


그림 5. 유럽우주국의 Sentinel-1 위성이 관측한 빙산 A-68 발생 모습 (출처: 유럽우주국)

- 독일항공우주센터(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt; DLR)
 - 자국의 SAR 탑재 인공위성인 TerraSAR-X를 활용하여 Larsen C 빙봉의 붕괴를 관측하고, 위성관측 정보를 온라인에서 제공

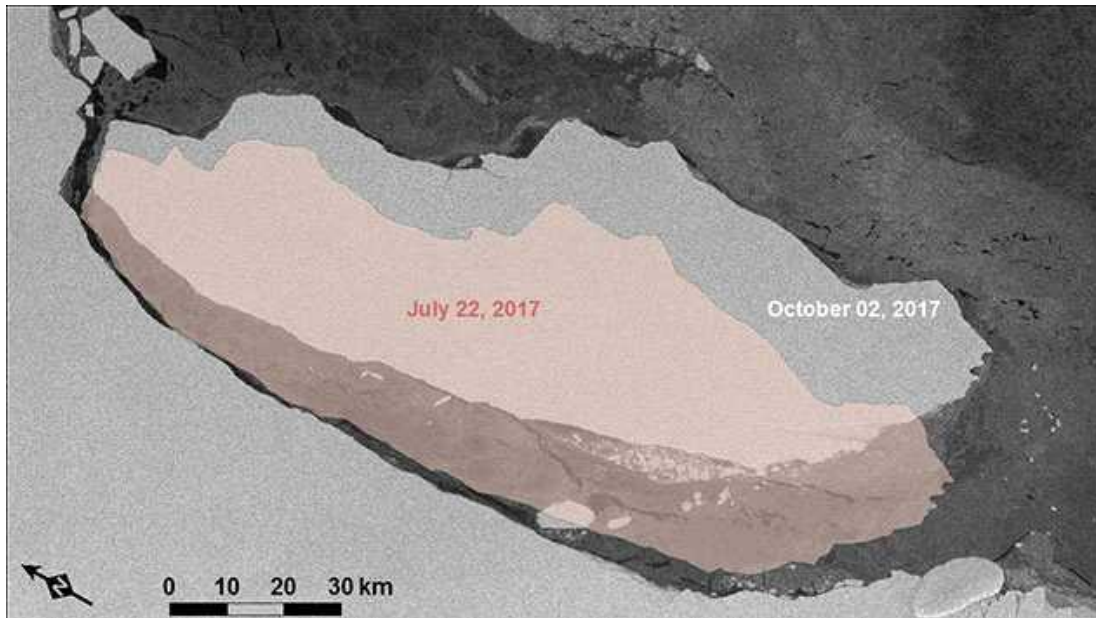


그림 6. 독일항공우주센터의 TerraSAR-X 위성이 관측한 빙산 A-68의 위치 변화 (출처: 독일항공우주센터)

○ Project MIDAS

- 영국을 기반으로 하는 연구 프로젝트 컨소시엄
- 인공위성과 현장관측 자료를 이용하여 Larsen C 빙붕의 붕괴 및 A-68 빙산의 분리를 관측하고, 관련 정보를 제공(www.projectmidas.org)



그림 7. Project MIDAS 홈페이지 메인화면

- 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration; NASA)
 - National Ice Center(NIC)를 중심으로 인공위성 마이크로파 산란계(scatterometer) 관측자료를 통해 남극 빙산의 위치 정보 제공

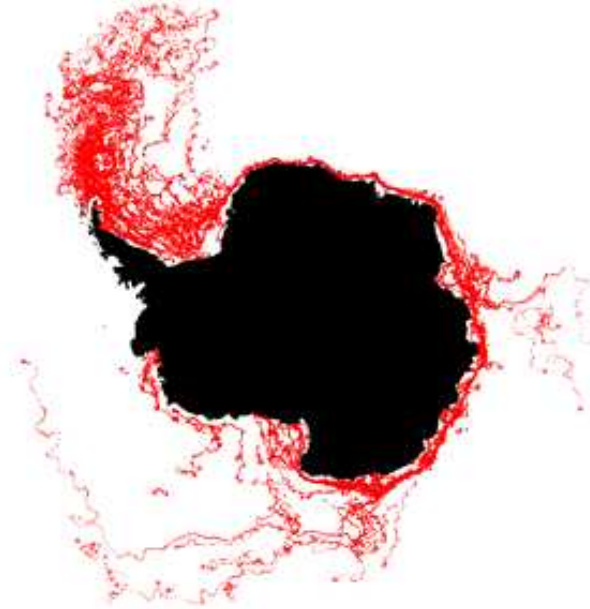


그림 8. 인공위성 산란계 관측 기반 남극 빙산 이동 정보 (출처: 남극 빙산 추적 데이터베이스)

극지연구소

- 국외 개발 남극 빙권 모니터링 사례의 한계
 - 자국 위성을 활용한 지속적인 관측이 가능하다는 장점이 있으나, 대부분의 경우 빙봉의 붕괴 시점에 대해서만 제한적인 모니터링 수행
 - Project MIDAS의 경우 Larsen C 빙봉과 빙산 A-68에 대해 지속적인 관측 정보를 제공하고는 있으나, 정보 서비스의 주기가 규칙적이지 않고 빙산의 면적, 이동 등의 빙산 진화 정보는 제공하지 않음.
 - NIC의 빙산 추적 시스템은 빙산의 위치 정보 외에 다른 정보는 제공하지 않음.
- 국외 기관에서 시행하고 있는 비정기적 모니터링과 일차적 정보 생산/제공에 국한되지 않고 상시 모니터링을 통해 기후 및 해수면 변화 예측에 필수적인 빙산의 진화 정보를 제공할 수 있는 시스템 구축이 필요함.

제 3 장 연구개발 내용 및 결과

제 1 절 빙산 모니터링 정보서비스 사례 분석

1. 유럽우주국(ESA)의 빙권 관측 및 자료 서비스

유럽우주국은 Copernicus 프로그램을 통해 전 지구 환경변화 관측을 수행하고 있다. Copernicus 프로그램은 이전에 GMES로 알려진 세계 환경 및 보안 감시 프로그램의 새로운 명칭이다. 이 프로그램은 유럽우주국과 유럽위원회의 협력에 의해 실행되고 있으며, 30 개 이상의 위성으로부터 관측된 정보를 활용하고 있다.



그림 9. 유럽우주국의 Copernicus 프로그램 임무 (출처: 유럽우주국)

Copernicus 프로그램의 중추적인 역할을 담당하는 위성은 Sentinel 위성 시리즈이다. Sentinel-1A와 Sentinel-1B 위성은 각각 2014년 4월과 2016년 4월에 발사된 SAR 탑재 위성으로, 주야 및 날씨에 관계없이 전천후로 고품질의 지표 관측 영상을 제공하고 있다. 2015년 6월 발사된 Sentinel-2A는 육상 관측을 위한 고해상도 광학 센서를 탑재하고 있다. 동일한 광학 센서를 탑재한 Sentinel-2B는 2017년 3월에 성공적으로 발사되었다. 2016년 2월과 2018년 4월에 발사된 Sentinel-3A 및 Sentinel-3B 위성은 해양과 육지에 관련된 정보를 제공한다. Sentinel-4와 Sentinel-5는 각각 정지궤도 및 극궤도로 운용되면서 대기 모니터링을 위한 데이터를 제공한다. Sentinel-6에는 전 지구 해수면 높이를 측정하기 위한 레이더 고도계가 탑재된다.

유럽우주국은 SAR를 탑재한 Sentinel-1 위성을 적극 활용하여 빙권을 모니터링하고 있

다. 그림 10은 Sentinel-1B 위성이 2017년 7월 12일 촬영한 A-68 빙산의 모습이다. 해당 위성영상은 전 세계에서 가장 빠르게 빙산 A-68의 발생을 관측한 것이다. 유럽우주국은 Sentinel-1 위성을 통해 현재까지 지속적으로 빙산을 촬영하고 있으며, 빙산이 이동하는 모습을 영상정보로 제공하고 있다.

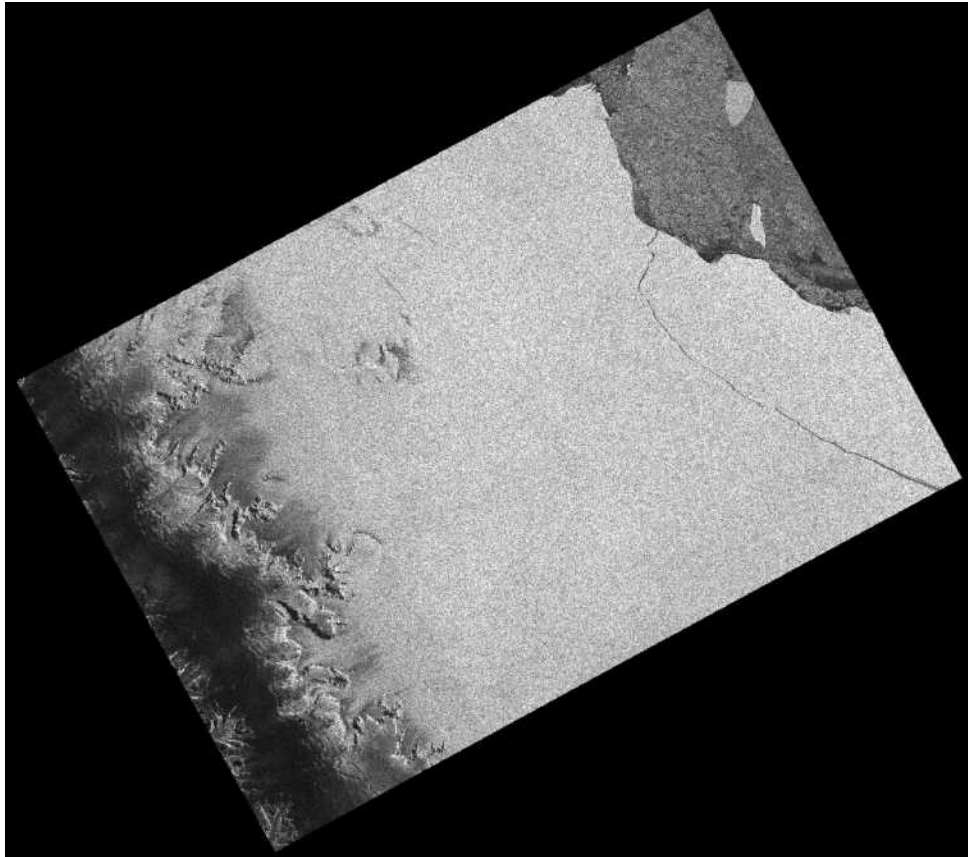


그림 10. Sentinel-1B 위성이 2017년 7월 12일 촬영한 빙산 A-68

유럽우주국은 독자 위성 및 상시 모니터링 프로그램을 운영하면서 전 지구의 환경 변화를 관측하고, 기후변화 연구에 필요한 정보를 생산하고 있다. 그러나 A-68을 비롯한 남극 빙산에 대해서는 인공위성 관측 영상을 주로 제공하고 있으며, 위성자료 처리를 통한 부가산출물은 제공하고 있지 않다.

2. Project MIDAS의 모니터링 정보 제공

Project MIDAS는 영국에 기반을 둔 남극 연구 프로젝트로, 라센 C 빙봉의 변화와 지구 온난화의 영향에 대한 연구를 주로 수행하고 있다. 이 프로젝트는 현장조사, 위성관측, 빙봉의 역학적 특성 모델링을 통해 빙봉과 기후변화 사이의 관계를 연구하고 있다.

Larsen C responds to the calving of A68

by Adrian Luckman, Martin O'Leary and Project MIDAS

July 24, 2017

45,833

On July 12 2017, data from the Sentinel-1 satellite confirmed the calving from the Larsen C Ice Shelf of Iceberg A68, a slab of ice 5,800 km in area and weighing more than 1 trillion tonnes. New Sentinel-1 interferometry data from July 18 now shows how the remaining ice shelf is responding to the calving event.

Rifts (dark curving lines in the image), already present before A68 detached, are still in evidence and show where further small icebergs will probably be created. In a further development, a new rift appears to be extending northwards (towards the top left) and may result in further ice shelf area loss. Although this new rift will probably soon turn towards the shelf edge, there may be a risk that it will continue on to Bawden Ice Rise, a crucial point of stabilisation for Larsen C Ice Shelf.

The MIDAS Project will continue to monitor the ongoing impact of these events on the Larsen C ice shelf. Further updates will be available on this blog, and on our Twitter feed.



Map of Larsen C, overlaid with Sentinel-1 SAR thermal image from July 12 2017, showing the iceberg has calved.

그림 11. Project MIDAS에서 제공한 빙산 A-68 모니터링 리포트

Project MIDAS는 빙산 A-68의 발생을 야기한 Larsen C 빙붕의 균열을 수년간 관측하였고, 현장조사 및 위성관측 결과를 공식 홈페이지를 통해 제공해 왔다. 빙붕의 붕괴와 빙산의 발생을 모니터링 하는 데에는 Sentinel-1 SAR 위성과 Terra 및 Aqua 위성에 탑재된 광학센서인 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)로부터 촬영된 영상이 주로 사용되었다.

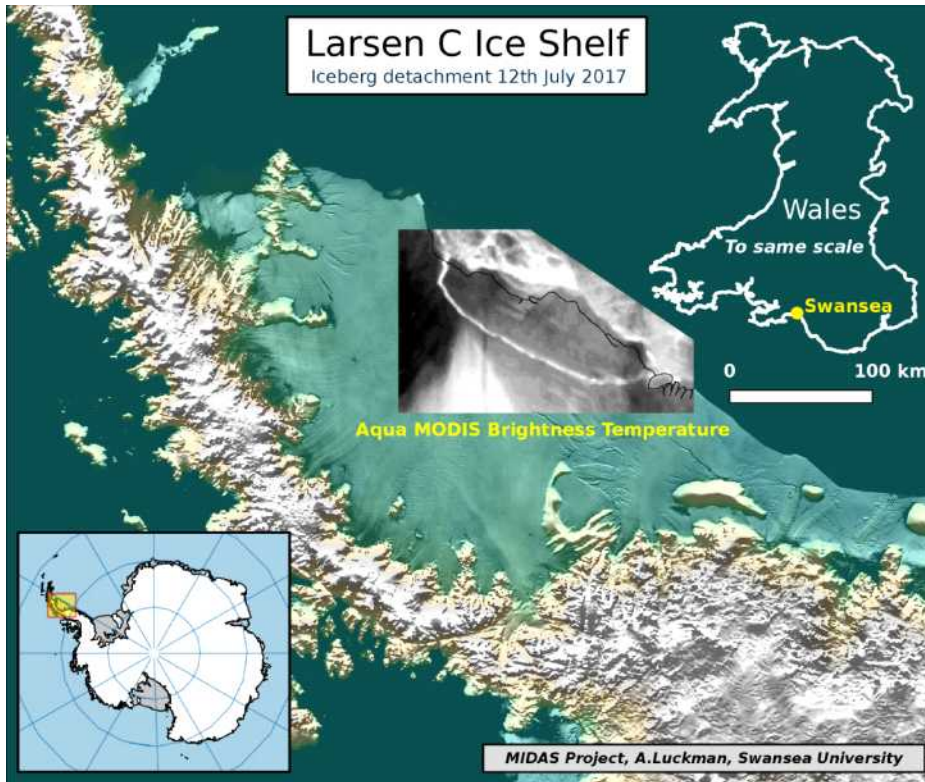


그림 12. Project MIDAS에서 MODIS 영상을 통해 제공한 빙산 모니터링 정보

Project MIDAS는 빙산 A-68이 발생하기까지 지속적인 위성 모니터링 정보를 제공하였으나, 빙산 발생 이후 약 1년간 모니터링 정보를 서비스하지 않았다. Project MIDAS에서 가장 최근에 제공된 정보는 2018년 7월에 공개된 A-68 빙산의 1년간의 변화 모습이다.

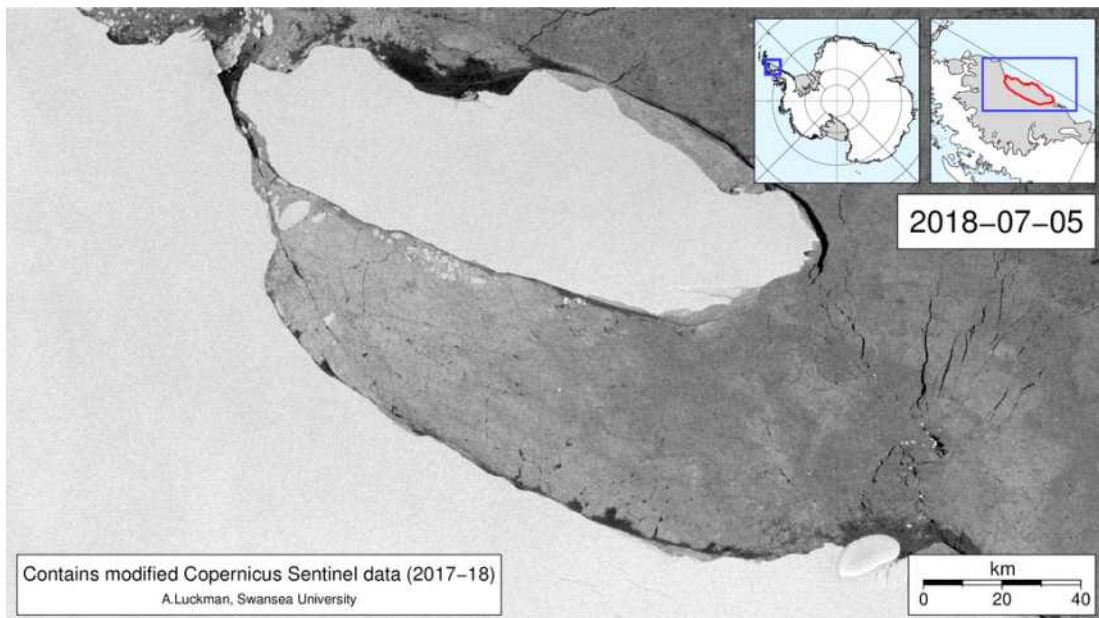


그림 13. Project MIDAS에서 2018년 7월 공개한 빙산 A-68의 1년간의 변화 모습

Project MIDAS는 앞서 국외 연구개발 사례 분석에서 설명한 바와 같이 A-68 빙산이 발생하는 과정, 즉 빙봉의 붕괴에 대한 정보를 주로 제공해 왔으며, 빙산의 진화 과정에 대한 정보는 거의 제공하고 있지 않다.

3. 독일항공우주센터(DLR)의 남극 빙권 모니터링

독일항공우주센터는 자국의 영상레이더 탑재 위성인 TerraSAR-X와 TanDEM-X를 활용하여 남극의 주요 빙하 및 빙봉, 빙산을 관측하고 있다. Larsen C 빙봉의 붕괴와 빙산 A-68의 발생도 TerraSAR-X 및 TanDEM-X 위성을 이용하여 관측하였으며, A-68 빙산에 대한 시계열 관측 영상을 온라인에서 제공하고 있다.

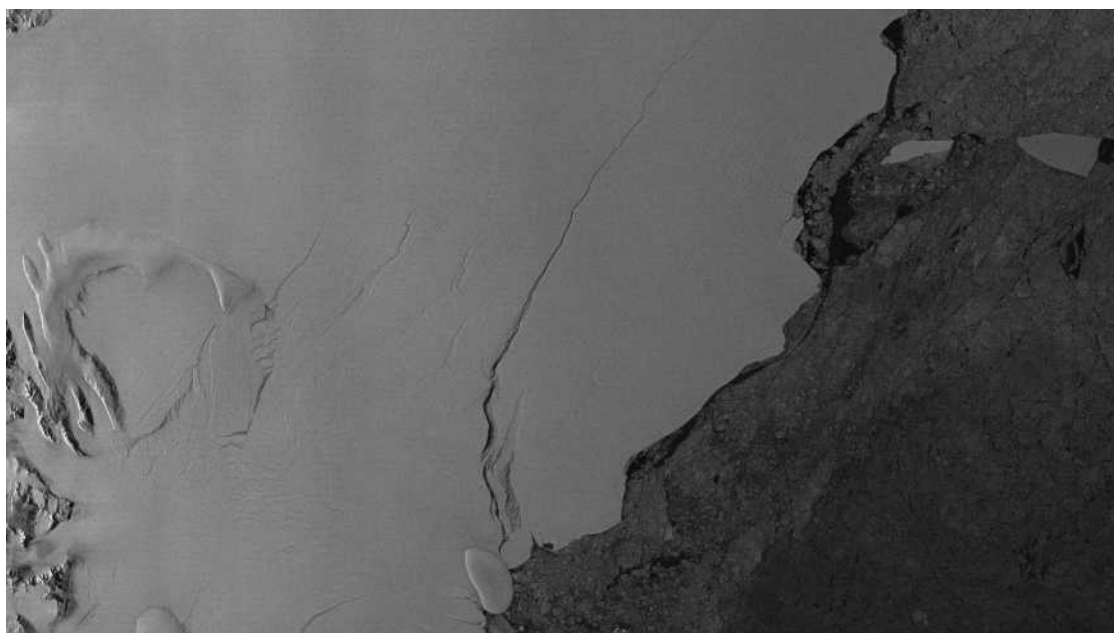


그림 14. Larsen C 빙봉 붕괴 직전인 2017년 6월 29일에 촬영된 TerraSAR-X SAR 영상 (출처: 독일항공우주센터)

독일항공우주센터는 유럽우주국에서 운용 중인 Sentinel-1 위성이 넓은 촬영 범위를 가지므로 대형 빙산의 장기 모니터링에 적합하지만 수십 m에 해당하는 공간 해상도는 빙산의 표면 특징을 정확히 관찰할 수 없는 반면, 자국의 TerraSAR-X와 TanDEM-X는 고해상도의 SRA 영상을 제공하여 빙산 표면의 미세한 crack 까지 정밀하게 관측할 수 있다는 장점을 내세우고 있다. 그러나 독일항공우주센터 또한 빙산의 변화에 대한 정량적인 정보를 제공하기 보다는 위성 관측 영상의 온라인 서비스에 집중하고 있다.

4. 미국항공우주국(NASA)

미국항공우주국은 주로 광학센서를 탑재한 인공위성을 활용하여 남극 빙권의 변화를 모니터링 하고 있으며, 관측 영상을 온라인에 공개하고 있다. Larsen C 빙봉의 붕괴와 빙산 A-68의 발생, 빙산의 유동 또한 인공위성 광학영상을 통해 모니터링 되었다. 그림 15와 그림 16은 빙산 A-68이 발생한 직후의 MODIS 및 Landsat-8 영상이며, 그림 17은 빙산 발생 2개월 후의 Landsat-8 영상이다.

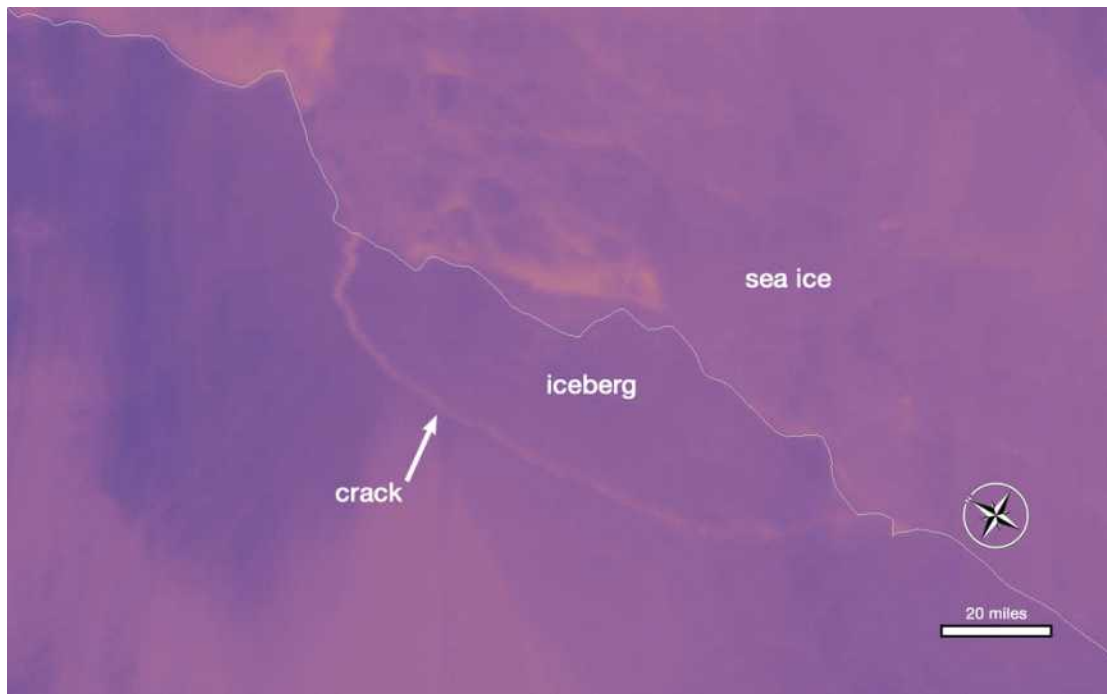


그림 15. 빙산 A-68 발생 직후인 2017년 7월 12일의 MODIS 영상 (출처: 미국항공우주국)

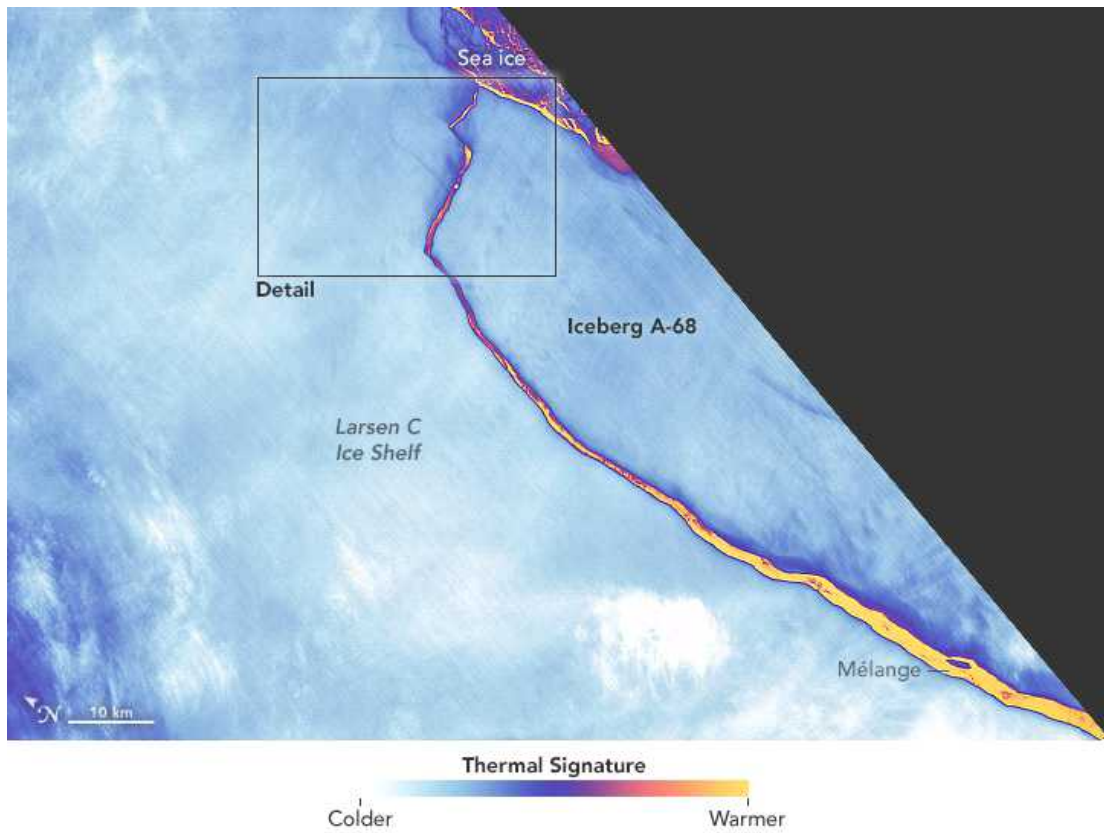


그림 16. 빙산 A-68 발생 직후인 2017년 7월 12일의 Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)

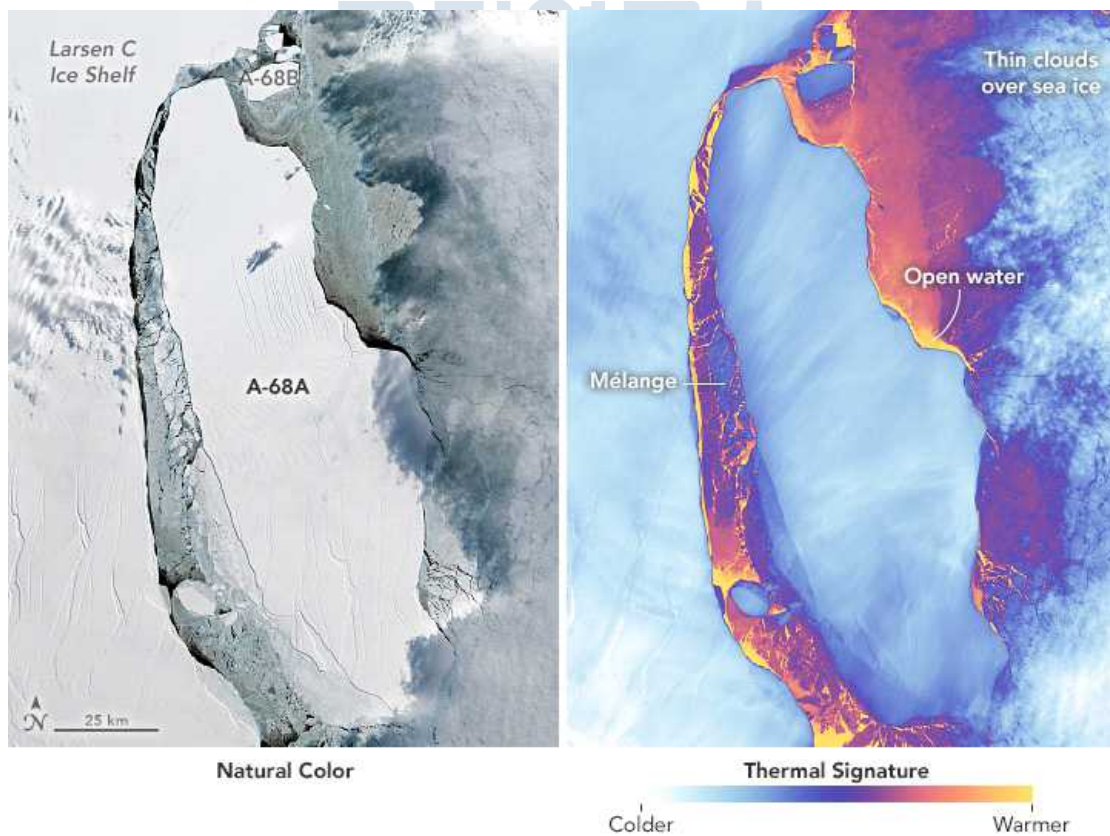


그림 17. 빙산 A-68 발생 2개월 후의 Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)

미국항공우주국에서는 빙산에 대한 광학영상을 온라인에 주기적으로 공개하면서 빙산의 유동 특성에 대한 개략적 정보를 제공하고 있다. 그러나 유럽의 전문 연구기관들과 마찬가지로 인공위성 영상정보를 제공하는데 그치고 있으며, 빙산 진화에 관한 정량적 분석 결과는 제공하고 있지 않다.

5. 남극 빙산 추적 데이터베이스(Antarctic Iceberg Tracking Database)

Brigham Young University와 NIC가 공동으로 개발한 남극 빙산 추적 데이터베이스는 인공위성 마이크로파 산란계 관측을 기반으로 남극 주요 빙산의 위치와 크기에 대한 정보를 주기적으로 제공하고 있다. 남극 빙산 추적 데이터베이스는 빙산에 대한 상시 모니터링 정보를 정량화하여 제공하는 유일한 시스템이라 할 수 있다.

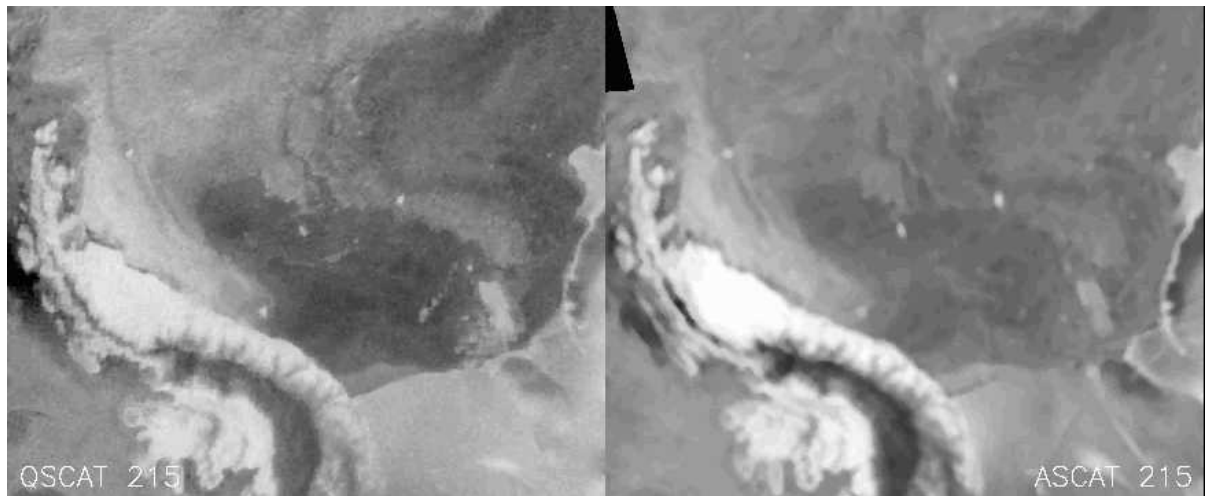


그림 18. 남극 반도 주변 빙산에 대한 인공위성 마이크로파 산란계 영상 (출처: 남극 빙산 추적 데이터베이스)

Iceberg	Length (NM)	Width (NM)	Latitude	Longitude	Remarks	Last Update
A23A	44	40	75°47'S	41°03'W	belle (grounded)	1/4/2019
A57A	11	5	62°39'S	58°47'W	belle	1/4/2019
A63	11	3	76°17'S	46°41'W	belle (grounded)	1/4/2019
A64	16	11	69°44'S	60°59'W	belle (grounded)	1/4/2019
A68A	62	26	66°39'S	58°45'W	belle	1/4/2019
A68B	7	3	65°09'S	57°58'W	belle	1/4/2019
B09B	27	9	66°21'S	143°30'E	wilke	1/4/2019
B09F	20	8	60°58'S	54°21'W	belle	1/4/2019
B09G	12	7	68°01'S	41°46'E	amerw (grounded)	1/4/2019
B09I	12	6	64°38'S	94°29'E	wilkw	1/4/2019
B15T	25	6	54°50'S	24°59'W	weddw	1/4/2019
B15AA	11	6	65°00'S	40°01'W	belle	1/4/2019
B15AB	11	4	65°59'S	51°19'E	amerw (grounded)	1/4/2019
B16	16	6	62°46'S	44°16'W	belle	1/4/2019
B22A	44	24	74°01'S	109°10'W	amune (grounded)	1/4/2019
B28	10	7	74°43'S	108°51'W	amune (grounded)	1/4/2019
B29	11	5	74°33'S	108°57'W	amune (grounded)	1/4/2019
B30	19	13	64°21'S	139°20'W	amunw	1/4/2019
B37	8	3	74°32'S	108°40'W	amune (grounded)	1/4/2019
B38	6	4	77°01'S	155°01'W	rosse (grounded)	1/4/2019
B39	8	4	65°29'S	121°16'E	wilke	1/4/2019
B40	8	5	65°39'S	132°21'E	wilke (grounded)	1/4/2019
B41	8	4	74°22'S	144°10'W	amunw	1/4/2019
B42	17	5	73°14'S	116°32'W	amunw (grounded)	1/4/2019
B43	10	5	73°18'S	132°26'W	amunw	1/4/2019
B45	8	6	74°42'S	109°23'W	amune (grounded)	1/4/2019
B46	14	4	75°02'S	101°19'W	amune	1/4/2019
C15	14	10	66°14'S	143°13'E	wilke	1/4/2019
C18B	20	4	65°28'S	113°54'E	wilkw (grounded)	1/4/2019
C21B	12	8	64°59'S	95°54'E	wilkw (grounded)	1/4/2019
C24	11	3	64°50'S	96°01'E	wilkw (grounded)	1/4/2019
C29	5	5	66°06'S	142°50'E	wilke	1/4/2019
C30	9	3	64°47'S	96°18'E	wilkw (grounded)	1/4/2019
C31	9	3	64°41'S	96°31'E	wilkw (grounded)	1/4/2019
C32	7	5	65°49'S	133°31'E	wilke	1/4/2019
C33	6	4	68°38'S	155°22'E	rossw (grounded)	1/4/2019
C34	11	5	65°52'S	142°50'E	wilke	1/4/2019
C35	12	5	68°16'S	148°11'E	wilke (grounded)	1/4/2019
D15A	51	24	66°39'S	81°58'E	amere (grounded)	1/4/2019
D15B	33	12	66°59'S	81°35'E	amere (grounded)	1/4/2019
D20A	20	9	66°55'S	36°18'E	amerw (grounded)	1/4/2019
D21B	11	4	74°48'S	27°23'W	weddw	1/4/2019
D22	12	3	65°55'S	86°58'E	amere (grounded)	1/4/2019
D23	8	6	69°26'S	74°39'E	amere (grounded)	1/4/2019
D26	19	2	69°22'S	29°25'E	wedde (grounded)	1/4/2019
D27	8	5	67°16'S	81°52'E	amere (grounded)	1/4/2019

그림 19. 남극 빙산 추적 데이터베이스에서 제공하는 빙산 위치

남극 빙산 추적 데이터베이스에서 활용하고 있는 인공위성 마이크로파 산란계는 매일 전 남극을 관측할 수 있는 장점이 있으나, 수십 km에 달하는 공간해상도는 빙산을 정밀하게 관측하는데 한계가 있다. 또한 여름철에는 빙산 표면의 용융으로 인해 마이크로파 산란계 관측 자료로부터 빙산을 탐지할 수 없는 경우도 발생한다.

본 연구에서 분석된 바에 의하면 빙산을 비롯한 남극 빙권 모니터링 연구사례는 국외에 집중되어 있으며, 국내에서는 관련 연구가 전무하다. 국외 연구개발 사례에서도 모니터링 시스템의 개발을 통해 빙산의 정보를 제공하는 것은 남극 빙산 추적 데이터베이스가 유일하지만, 제공되는 정보는 빙산의 위치와 크기에 국한되어 있다.

국외 연구기관의 남극 모니터링 연구 대부분이 독자적으로 활용할 수 있는 인공위성을 기반으로 수행되고 있음이 분석되었다. 우리나라 고유 자원인 아리랑 위성을 통한 상시 모니터링 시스템 구축 및 정보서비스는 국제적으로 극지 연구에 있어 우위를 점하는데 기여할 수 있으리라 판단된다.

제 2 절 빙산 상시관측 가능 위성 분석

본 연구에서는 남극 빙산 상시관측에 활용할 수 있는 인공위성을 분석하였다. 먼저 우리나라의 독자적 자원으로 극지 관측에 활용할 수 있는 아리랑 위성에 대해 분석하였다. 아리랑 위성(Korea Multi-Purpose Satellite; KOMPSAT)은 우리나라에서 개발한 한국형 다목적 실용위성으로, 1999년 12월 광학센서인 Electro Optical Camera (EOC)를 탑재한 1호가 발사된 이후 2013년 8월 X-band SAR를 탑재한 5호가 발사되기까지 총 5기가 발사되었다. 현재 아리랑 1호를 제외한 모든 위성이 정상적으로 운용되고 있다. 본 연구에서는 현 시점에서 영상 촬영이 가능한 아리랑 2, 3, 3A 및 5호 위성에 대한 조사를 수행하였다.

표 2. 아리랑 위성별 탑재 센서와 발사일자

위성	탑재 센서	발사일자
KOMPSAT-1	Electro Optical Camera (EOC)	1999. 12. 21
KOMPSAT-2	Multi-Spectral Camera (MSC)	2006. 07. 28
KOMPSAT-3	Advanced Earth Imaging Sensor System (AEISS)	2012. 05. 18
KOMPSAT-3A	Advanced Earth Imaging Sensor System-A (AEISS-A) Infrared Imaging System (IIS)	2015. 03. 26
KOMPSAT-5	Corea SAR Instrument (COSI) Atmosphere Occultation and Precision Orbit Determination (AOPOD) Laser Retro Reflector Array (LRRA)	2013. 08. 22

1. 아리랑 2호

아리랑 2호(KOMPSAT-2)는 2006년 7월 발사된 위성으로 아리랑 1호(KOMPSAT-1)의 관측 프로그램을 지속하기 위해 개발되었다. KOMPSAT-2 위성관측의 주요 목표는 재난 감시 및 대응책 마련, 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)을 위한 독자적인 고해상도 이미지 확보, 국내외의 지도 제작, 자원 조사, 국토의 균형 있는 개발 등이다.

아리랑 2호는 고도 685 km에서 태양동기궤도로 지구를 관측하고 있으며, 28일의 재방문 주기를 가진다. 아리랑 2호는 Multi-Spectral Camera (MSC)를 탑재하여 가시광선 대역과 근적외선 대역에서 4 m 해상도의 영상을 촬영하며, 1 m 해상도의 전정색(panchromatic) 영상을 촬영한다. MSC 센서의 촬영 폭은 약 15 km 이다.



그림 20. 아리랑 2호 (출처: 한국항공우주연구원)

표 3. 아리랑 2호의 MSC 센서 특성

Parameter	Value
Spectral range in MS	450 - 520 nm 520 - 600 nm 630 - 690 nm 760 - 900 nm
Spectral range in Pan	500 - 900 nm
GSD (Ground Sample Distance)	1 m - Pan 4 m - MS
Swath width	15 km at nadir
Field of view (FOV)	$\pm 0.62^\circ$
SNR (Signal to Noise Ratio)	100

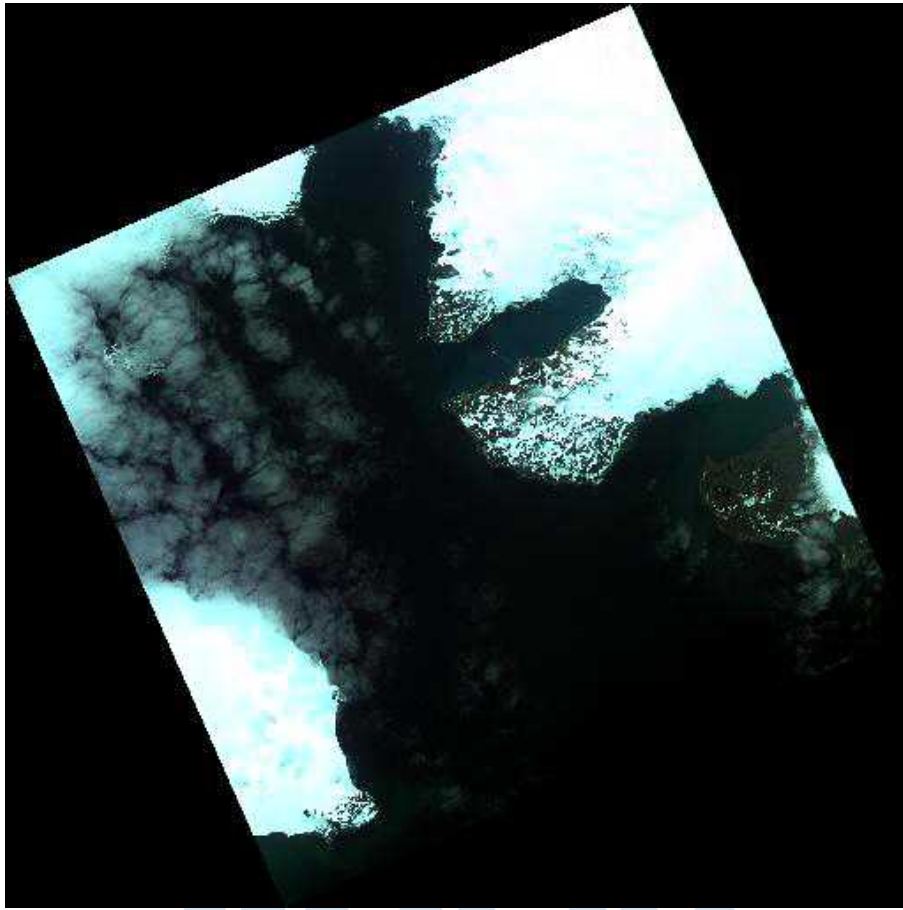


그림 21. 아리랑 2호가 관측한 남극 바톤 반도

2. 아리랑 3호

2012년 5월 발사된 아리랑 3호(KOMPSAT-3)는 아리랑 1, 2호의 임무 연장을 위해 개발되었다. 아리랑 3호는 685 km 고도에서 28일의 재방문 주기를 가진다. 탑재체로는 광학센서인 Advanced Earth Imaging Sensor System (AEISS)가 있다. AEISS는 2.8 m 공간해상도의 가시광선 및 근적외선 영상 촬영이 가능하며, 전정색 영상의 경우 0.7 m 해상도로 촬영이 가능하다. 촬영 폭은 약 15-17 km로 아리랑 2호와 거의 유사하다.

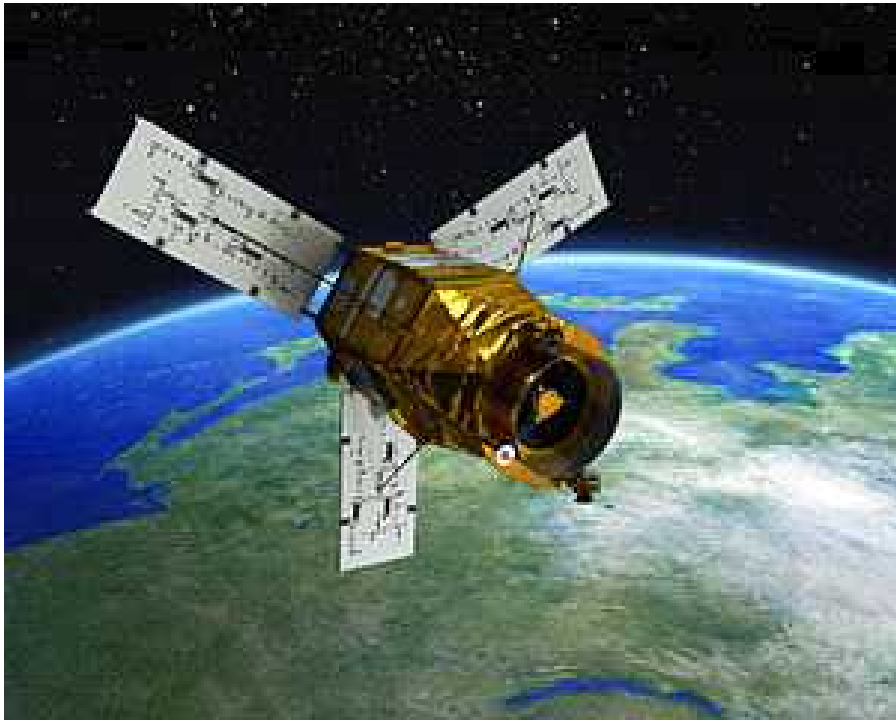


그림 22. 아리랑 3호 (출처: 한국항공우주연구원)

표 4. 아리랑 3호의 AEISS 센서 특성

Parameter	Value
Spectral range in MS	450 - 520 nm
	520 - 600 nm
	630 - 690 nm
	760 - 900 nm
Spectral range in Pan	450 - 900 nm
GSD (Ground Sample Distance)	0.7 m - Pan
	2.8 m - MS
Swath width	15 km at nadir
SNR (Signal to Noise Ratio)	100

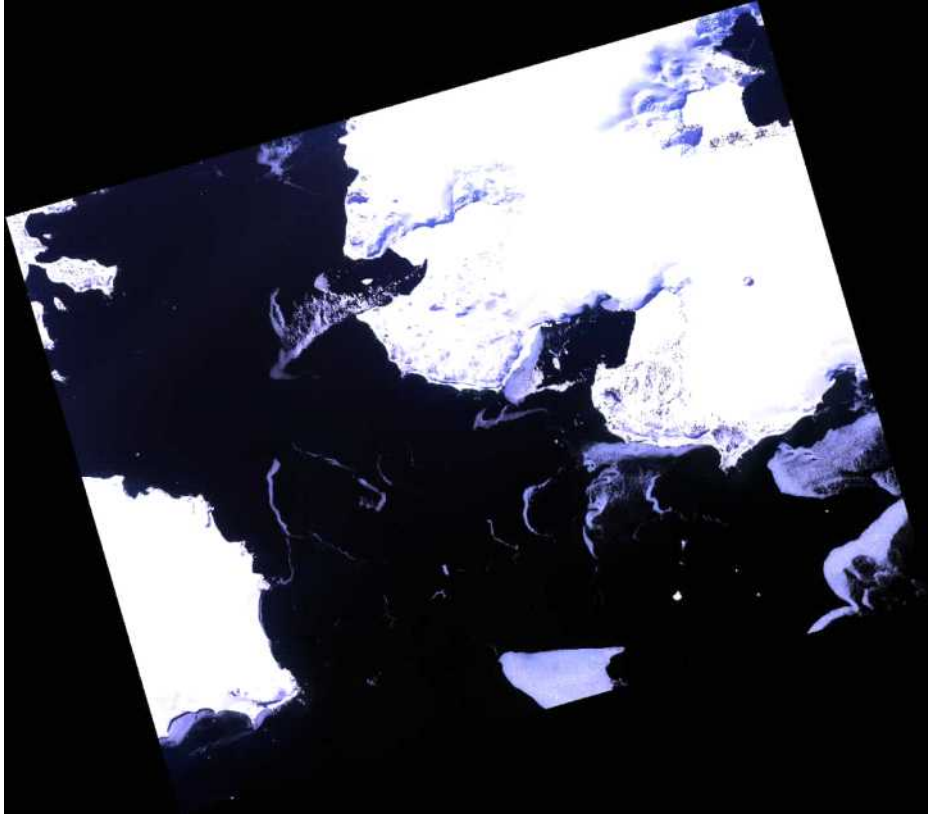


그림 23. 아리랑 3호로 촬영된 남극 바톤 반도 주변 지역

3. 아리랑 3A호

아리랑 3A호(KOMPSAT-3A)는 2015년 3월 발사된 다목적 실용위성으로 아리랑 3호와 거의 유사하지만, 아리랑 위성 시리즈 중 최초로 다중 센서를 탑재하였다. 아리랑 3A호는 아리랑 3호보다는 다소 낮은 고도인 528 km에서 태양동기궤도로 운용되면서 28일마다 동일 지역을 촬영하고 있다. 아래 표는 아리랑 3호와 3A호 위성의 운용상 차이점을 보여준다.

아리랑 3A호는 Advanced Earth Imaging Sensor System-A (AEISS-A)와 Infrared Imaging System (IIS) 센서를 탑재하고 있다. 현재 아리랑 3A호는 AEISS-A 영상만을 공개하고 있다. AEISS-A는 가시광선과 근적외선 파장대역에서 2.2 m 해상도의 영상을 촬영하며, 진정색 밴드에서는 0.55 m 해상도의 영상을 촬영한다. AEISS-A는 아리랑 3호의 AEISS 보다 높은 공간해상도로 지표 관측이 가능하지만 영상 촬영 폭은 약 12 km로 다소 좁은 편이다. 아리랑 3A호는 IIS를 탑재하여 3-5 마이크로미터 파장대역의 영상 취득이 가능하다. IIS는 12 km의 촬영 폭에 대해 5.5 m 공간해상도의 영상을 제공한다.

표 5. 아리랑 3호와 3A호 특성 비교

Parameter	KOMPSAT-3A	KOMPSAT-3
Payload	EO, IR	EO
Altitude	528 km	625 km
Inclination	97.513°	98.13°
Mean LTAN (Local Time on Ascending Node)	13.5 hours	13.5 hours
Orbital period	95.2 min	98.5 min
Orbit velocity	7.60 km/sec	7351 km/sec
No. revolutions	15.1 revolutions/day	14.6 revolutions/day
Ground speed	7.02 km/sec	6.78 km/sec
Repeated ground track	28 days/409 revolutions	28 days/423 revolutions

표 6. 아리랑 3A호의 AEISS-A 센서 특성

Parameter	Value
Spectral range in MS	450 - 520 nm
	520 - 600 nm
	630 - 690 nm
	760 - 900 nm
Spectral range in Pan	450 - 900 nm
GSD (Ground Sample Distance)	0.55 m - Pan
	2.2 m - MS
	5.5 m - IR
Swath width	12 km at nadir
SNR (Signal to Noise Ratio)	> 100

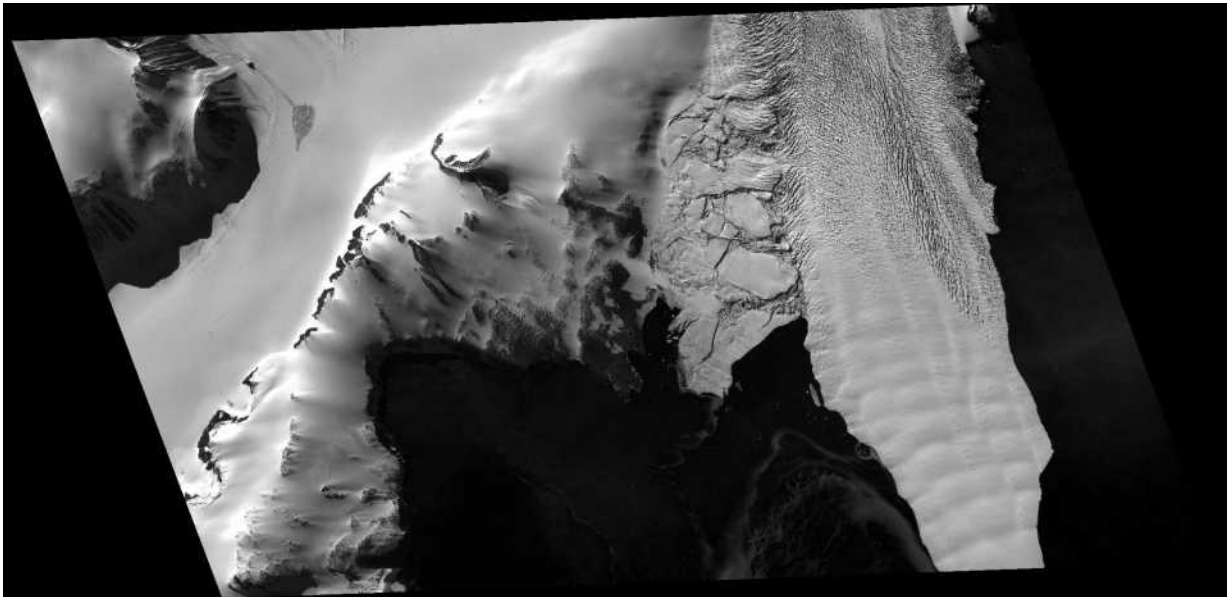


그림 24. 아리랑 3A호가 촬영한 남극 장보고 과학기지 주변 전정색 영상



그림 25. 아리랑 3A호 AEISS-A 영상(좌)과 아리랑 3호 AEISS 영상(우)의 비교 (출처: 한국항공우주연구원)

4. 아리랑 5호

아리랑 2호와 3호, 3A호는 모두 광학영상을 촬영하는 다목적 실용위성이다. 반면 아리랑 5호(KOMPSAT-5)는 우리나라 최초로 SAR를 탑재한 위성으로, 2013년 8월 발사된 이후 현재까지 고품질의 지표 영상을 제공하고 있다. 아리랑 5호는 중심주파수 9.66 GHz의 X-band SAR인 Corea SAR Instrument (COSI)를 탑재하고 있으며, 550 km 고도에서 태양 동기궤도로 운용되어 28일마다 동일 지역을 관측한다. 아리랑 5호는 COSI 외에 Atmosphere Occultation and Precision Orbit Determination (AOPOD)와 Laser Retro

Reflector Array (LRRR) 센서를 탑재하고 있다. 이 두 센서는 위성의 운용을 위해 탑재된 센서이며, 본 연구에서는 분석에서 제외하였다.

아리랑 5호의 주요 임무는 고해상도 SAR 영상 취득을 통해 고부가가치의 지리정보를 제공하고, 해양 및 육상을 관측하여 재난 재해를 비롯한 환경변화를 모니터링 하는 것이다. 아리랑 5호는 SAR 시스템을 탑재하여 기상 조건과 태양 고도에 관계없이 지표 관측이 가능한 장점이 있어 광학센서를 탑재한 아리랑 2, 3, 3A호보다 효율적으로 빙권 상시 모니터링에 활용될 수 있다.

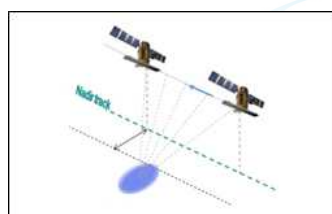


그림 26. 아리랑 5호 (출처: 한국항공우주연구원)

아리랑 5호의 X-band SAR는 총 7개의 촬영 모드에서 단일 편파 영상을 취득할 수 있다. 각각의 촬영 모드는 서로 다른 공간해상도와 관측 폭을 가진다. 아리랑 5호 SAR는 레이더 촬영 각도의 조정을 통해 2일마다 동일 지역을 관측할 수 있는데, 이는 예측 불가능한 빙권의 변화를 탐지하는데 매우 도움이 된다.

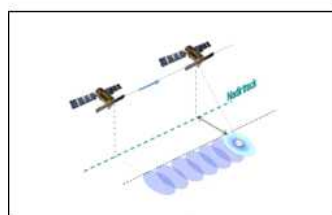
표 7. 아리랑 5호의 COSI 센서 특성

Parameter	Value
Design life	5 years
Center frequency	9.66 GHz
Standard mode imagery	3 m GSD, 30 km swath width
High resolution mode imagery	1 m GSD, 5 km swath width
Wide swath mode imagery	20 m GSD, 100 km swath width
image acquisition time	2 continuous minutes per orbit
Polarization	Selectable among: HH, HV, VH, VV
Incidence angle range	20° - 45° (nominal) 45° - 55° (extended)
NESZ (Noise Equivalent Sigma Zero)	≤ -17 dB



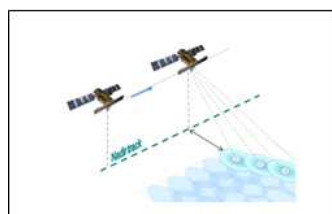
High-resolution mode over a small area (5 km swath)

High Resolution mode(HR) - 1.0 ~ 2.7 m GSD
Enhanced High Resolution mode(EH) - 1.0 ~ 2.0 m GSD, 5 km swath width
Ultra High Resolution mode(UH) - 0.85 ~ 2.0 m GSD, 5 km swath width



Medium-resolution mode over continuous swaths (30 km swath)

Standard mode(ST) - 3.0 ~ 7.9 m GSD
Enhanced Standard mode(ES) - 2.5 ~ 3.3 m GSD



Low-resolution mode that creates extra-wide swaths by collecting short segments at different ranges (100 km swath)

Wide Swath mode(WS) - 20 m GSD (only for geocoded products)
Enhanced Wide Swath mode(EW) - 6.25 m GSD

그림 27. 아리랑 5호 SAR 영상 촬영 모드

아리랑 5호의 고해상도 촬영 모드 또는 표준 촬영 모드에서 획득된 영상은 3 m 이내의 공간해상도를 가지므로 크레바스와 같이 빙권 표면의 미세한 구조를 관측하는데 효과적이다. 반면 광역 촬영 모드는 비교적 저해상도의 영상을 제공하여 빙권 표면의 정밀하게 관측하는데 한계가 있지만, 100 km의 넓은 촬영 폭을 가지기 때문에 A-68 빙산과 같은 대규모 빙체를 모니터링 하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

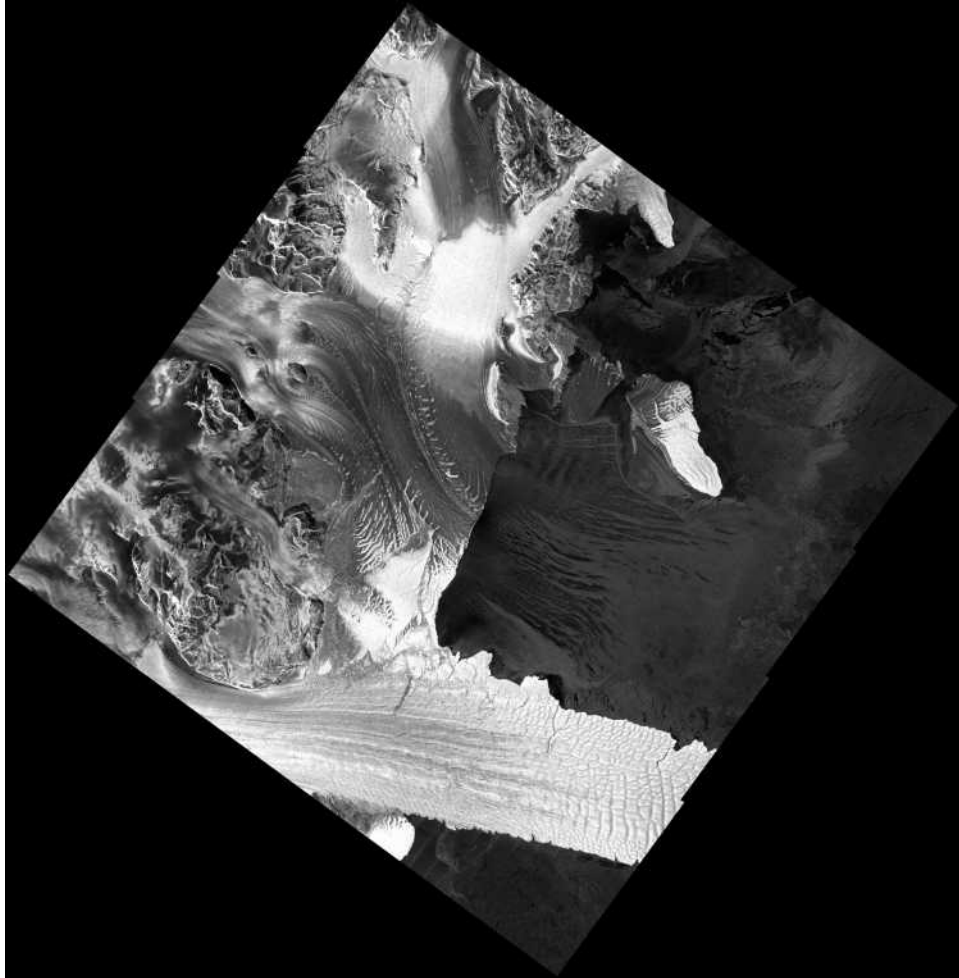


그림 28. 난센 빙붕의 붕괴 및 빙산 C-33을 촬영한 아리랑 5호 광역 모드 SAR 영상

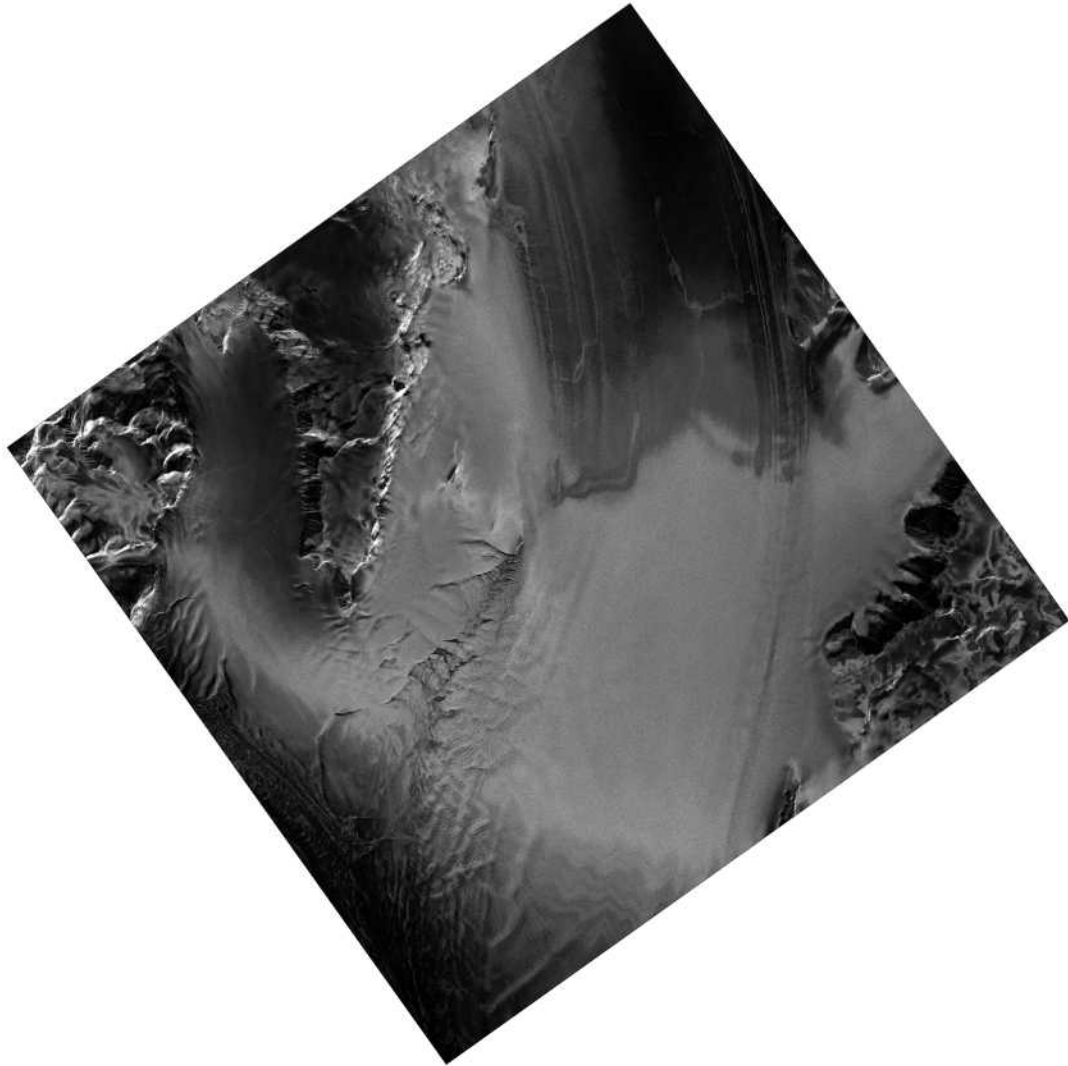


그림 29. 장보고 과학기지 주변 프리슬리 빙하 표면을 촬영한 아리랑 5호 표준 모드 SAR 영상

5. Terra/Aqua MODIS

Terra 위성과 Aqua 위성은 대표적인 지구 환경 관측 위성이다. 1999년 12월 발사된 Terra는 오전 10시 30분(local time)에 북쪽에서 남쪽으로 지나가는 궤도를 가지며, 2002년 5월에 발사된 Aqua는 오후 1시 30분(local time)에 남쪽에서 북쪽으로 지나간다. Terra와 Aqua에 공통으로 탑재된 MODIS는 1-2일마다 지표면을 관측할 수 있는 중저해상도 광학센서로, 가시광선부터 열적외선 영역 사이의 36개 파장대역에서 영상자료를 취득한다. MODIS에서 취득된 다중분광 영상자료는 육상, 해양, 대기 등 다양한 분야에 널리 활용되고 있다.

MODIS는 적색과 근적외선 파장대역에서 250 m 공간해상도의 영상을 제공하며, 청색, 녹색, 근적외선, 단파 적외선 파장에서는 500 m 해상도로 영상을 취득한다. 나머지 29개의 파장대역에서는 1 km 해상도로 영상을 촬영한다.



그림 30. Terra 위성 (출처: 미국항공우주국)



그림 31. Aqua 위성 (출처: 미국항공우주국)

표 8. Terra/Aqua의 MODIS 센서 특성

Primary Use	Band No.	Bandwidth (μm)	Spatial Resolution at nadir
Land/Cloud Boundaries	1	0.620 - 0.670	250 m
	2	0.841 - 0.876	
Land/Cloud Properties	3	0.459 - 0.479	500 m
	4	0.545 - 0.565	
	5	1.230 - 1.250	
	6	1.628 - 1.652	
	7	2.105 - 2.155	
Ocean Color Phytoplankton Biogeochemistry	8	0.405 - 0.420	1000 m
	9	0.438 - 0.448	
	10	0.483 - 0.493	
	11	0.526 - 0.536	
	12	0.546 - 0.556	
	13	0.662 - 0.672	
	14	0.673 - 0.683	
	15	0.743 - 0.753	
	16	0.862 - 0.877	
Atmospheric Water Vapor	17	0.890 - 0.920	
	18	0.931 - 0.941	
	19	0.915 - 0.965	
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	
	21	3.929 - 3.989	
	22	3.929 - 3.989	
Atmospheric Temperature	23	4.020 - 4.080	
	24	4.433 - 4.598	
Cirrus Clouds	25	4.482 - 4.549	
	26	1.360 - 1.390	
Water Vapor	27	6.535 - 6.895	
	28	7.175 - 7.475	
	29	8.400 - 8.700	
Ozone	30	9.580 - 9.880	
	31	10.780 - 11.280	
Surface/Cloud Temperature	32	11.770 - 12.270	
	33	13.185 - 13.485	
Cloud Top Altitude	34	13.485 - 13.785	
	35	13.785 - 14.085	
	36	14.085 - 14.385	

MODIS의 촬영 범위는 2,330 km로 매우 광범위한 영역을 한 번에 관측할 수 있는 장점이 있다. 따라서 빙권의 광역 모니터링에 효과적으로 활용될 수 있다. NASA는 MODIS 영상을 이용하여 북극과 남극권에 대한 모자이크 영상을 매일 제공하고 있으며, 남극 대륙에 대한 모자이크 영상(Mosaic of Antarctica; MOA)도 제작하여 배포하고 있다.

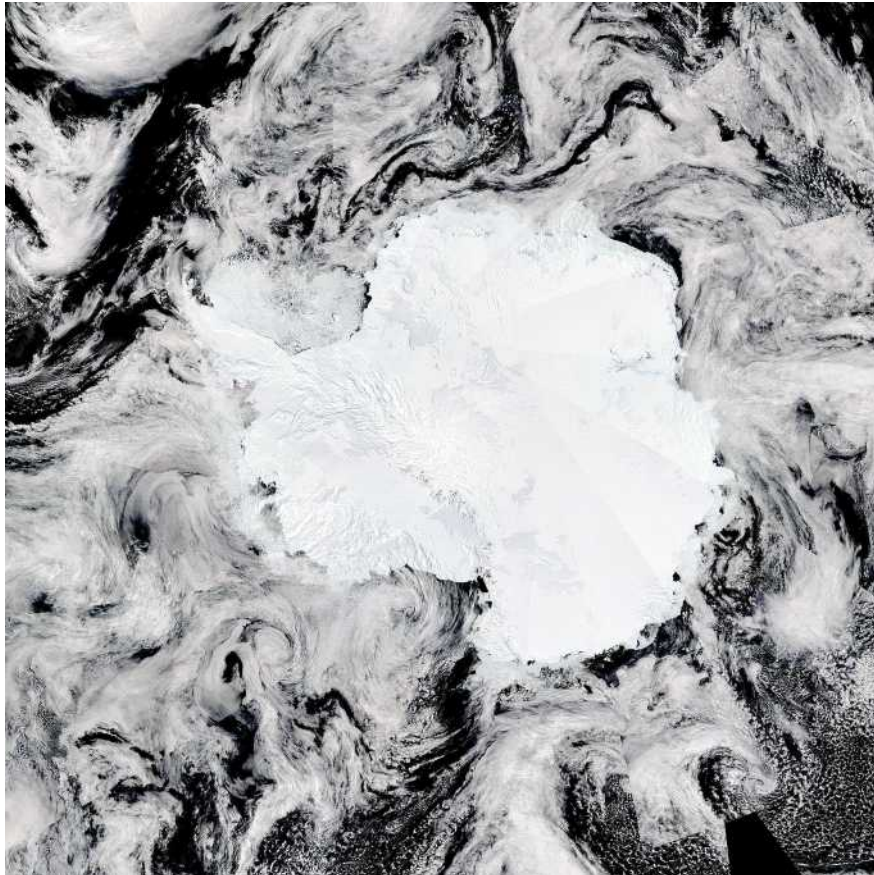


그림 32. MODIS 남극권 일간 모자이크 영상 (출처: 미국항공우주국)

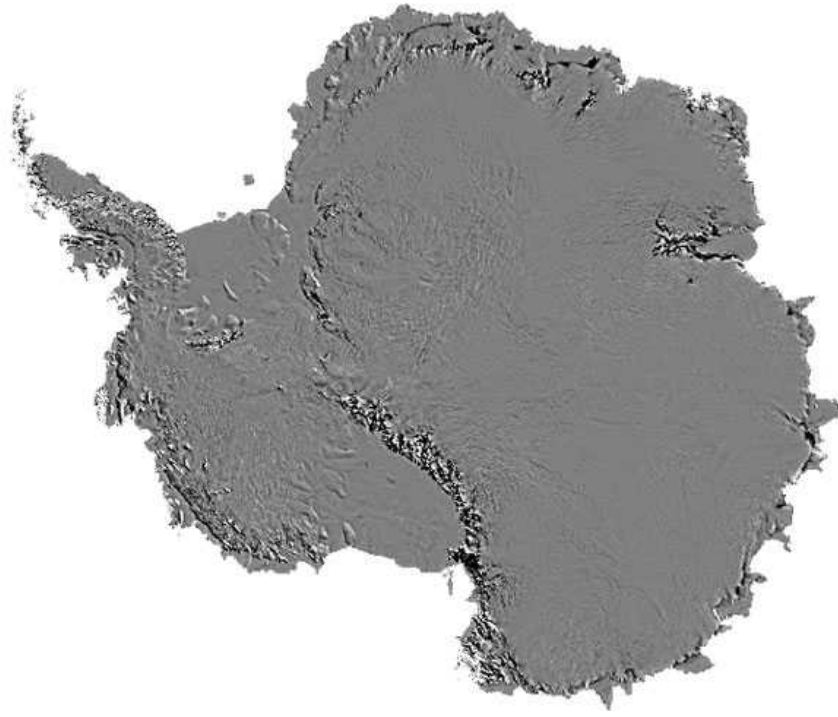


그림 33. MOA 남극 지표 영상 (Scambos *et al.*, 2007)

MODIS는 적외선 파장대역에서도 지표 관측을 수행하므로 얼음 표면의 열적 특성을 고려하면 구름이 없는 야간에 획득된 영상은 중저해상도(1 km)의 공간해상력에도 불구하고 빙권 모니터링에 활용될 수 있다. 그러나 광학센서 특성상 구름이 분포하는 지역에서는 빙권 표면 관측이 불가능한 단점이 있다.

6. Landsat-7

Landsat은 NASA의 대표적인 지구관측 인공위성으로 1972년 Landsat-1호 위성이 발사된 이후 1975년, 1978년, 1982, 1984년에 각각 Landsat-2, 3, 4, 5호 위성이 발사되었다. Landsat-6호는 1993년 발사되었으나 정상적으로 궤도에 오르지 못하였다. 현재 1999년과 2013년에 발사된 Landsat-7호와 8호가 정상적으로 운용되고 있다. 모든 Landsat 위성의 탑재체는 광학 센서이다.

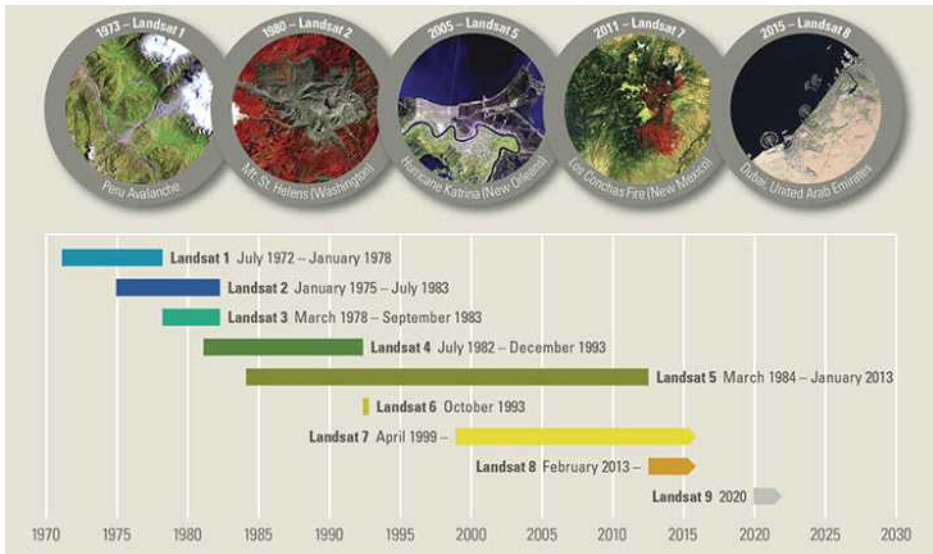


그림 34. Landsat 위성 개발 타임라인 (출처: 미국지질조사국)

Landsat-7은 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) 센서를 탑재하고 있으며, 705 km 상공에서 태양동기궤도로 운용되며 16일의 재방문 주기를 가진다. ETM+는 가시광선과 근적외선, 중적외선, 열적외선, 전정색 등 총 8개 파장대역에서 영상을 획득한다. 열적외선 영상(60 m 공간해상도)과 전정색 영상(15 m 공간해상도)을 제외한 모든 파장대역의 영상은 30 m의 공간해상도를 가진다. Landsat-7 ETM+의 촬영 폭은 약 170 km이다.

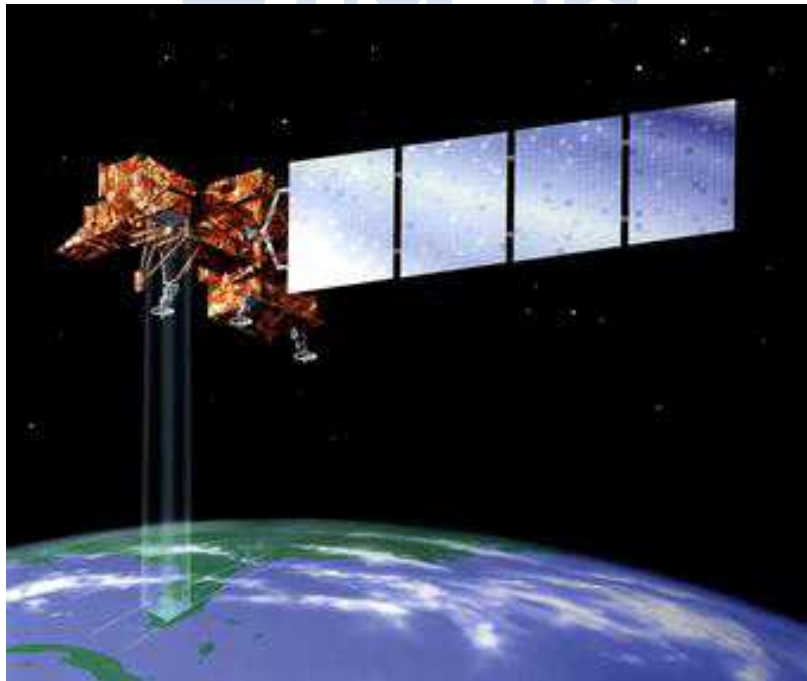


그림 35. Landsat-7 위성 (출처: 미국항공우주국)

표 9. Landsat-7의 ETM+ 센서 특성

Band No.	Bandwidth (μm)	Instantaneous FOV (IFOV, μrad)	Spatial Resolution (m)
1	0.45 - 0.52	42.5	30
2	0.53 - 0.61	42.5	30
3	0.63 - 0.69	42.5	30
4	0.78 - 0.90	42.5	30
5	1.55 - 1.75	42.5	30
6	10.4 - 12.5	85.2	60
7	2.09 - 2.35	42.5	30
8	0.52 - 0.90	21.3	15

Landsat-7 ETM+ 영상은 빙권 표면의 특성을 관측하기에 충분한 해상도를 가지고 있어 빙권 모니터링 연구에 널리 활용되어 오고 있다. NASA에서는 Landsat-7을 활용하여 남극 대륙 모자이크 영상(Landsat Image Mosaic of Antarctica; LIMA)을 제작, 배포하고 있다. 그러나 ETM+는 2003년 6월부터 scan line corrector (SLC)의 고장으로 인해 영상 내에 데이터가 획득되지 못한 부분이 규칙적인 줄무늬로 표현되고 있는데, 이 부분은 빙권 상시 모니터링에 있어 제약으로 작용할 수 있다.



그림 36. LIMA 남극 전역 영상 (Bindschadler *et al.*, 2008)

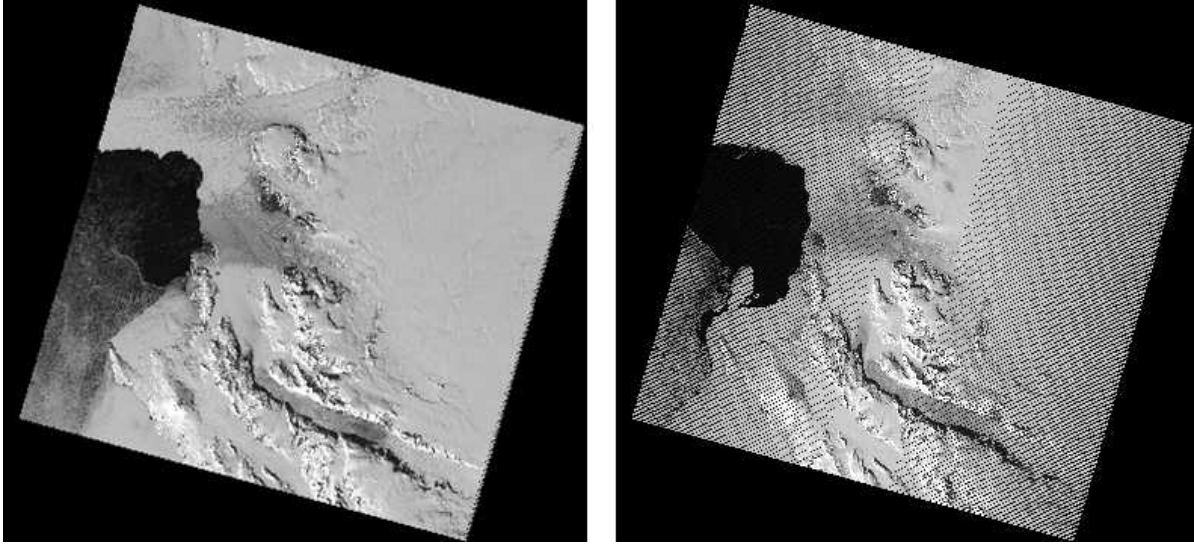


그림 37. 남극 난센 빙봉에 대한 Landsat-7 ETM+ 센서의 SLC 고장 전(좌) 및 후(우) 영상

7. Landsat-8

가장 최근에 발사된 Landsat-8은 Landsat-7과 같은 궤도 특성을 가지며, 16일마다 동일 지역을 관측한다. Landsat-8의 탑재체는 Operational Land Imager (OLI)와 Thermal Infrared Sensor (TIRS)로 각각 9개와 2개 파장대역에서 영상을 촬영한다. OLI로 촬영된 영상의 공간해상도는 전정색 영상(15 m)를 제외하면 모두 30 m이다. 열적외선 영상은 TIRS로 획득되며, 공간해상도는 100 m이다.



그림 38. Landsat-8 영상 (출처: 미국항공우주국)

표 10. Landsat-8의 OLI 센서 특성

Band No.	Bandwidth (μm)	Use of data	Spatial Resolution (m)
1	0.43 - 0.45	Aerosol/coastal zone	30
2	0.450 - 0.51	Pigments/scatter/coastal	30
3	0.53 - 0.59	Pigments/coastal	30
4	0.64 - 0.67	Pigments/coastal	30
5	0.85 - 0.88	Foliage/coastal	30
6	1.57 - 1.65	Foliage	60
7	2.11 - 2.29	Minerals/litter/scatter	30
8	0.50 - 0.68	Image sharpening	15
9	1.36 - 1.38	Cirrus cloud detection	30

표 11. Landsat-8의 TIRS 센서 특성

Band No.	Bandwidth (μm)	Use of data	Spatial Resolution (m)
10	10.6 - 11.19	Thermal detection	100
11	11.5 - 12.5		100

Landsat-8 OLI는 Landsat-7 ETM+에 비해 고품질의 지표 영상을 제공하며, 방사해상도 또한 16 bit로 ETM+의 8 bit보다 우수하다. 이는 지표면의 물리적 특성을 보다 정확하게 관측할 수 있게 한다. 그림 39는 2013년부터 2018년까지 획득된 수천 장의 Landsat-8 OLI 영상에 영상정합 기법을 적용하여 산출한 남극 빙봉의 흐름속도를 보여준다. 이와 같이 Landsat-8 OLI 영상은 빙하나 빙봉의 유동특성 관측에 효과적일 수 있다. 그러나 Landsat-7 ETM+와 동일한 16일의 시간해상도는 빙산과 같이 위치가 유동적인 빙체의 상시 모니터링에는 부적합 할 수 있으며, 광학센서의 특성상 구름이 있는 지역에서는 활용도가 낮은 단점이 존재한다.

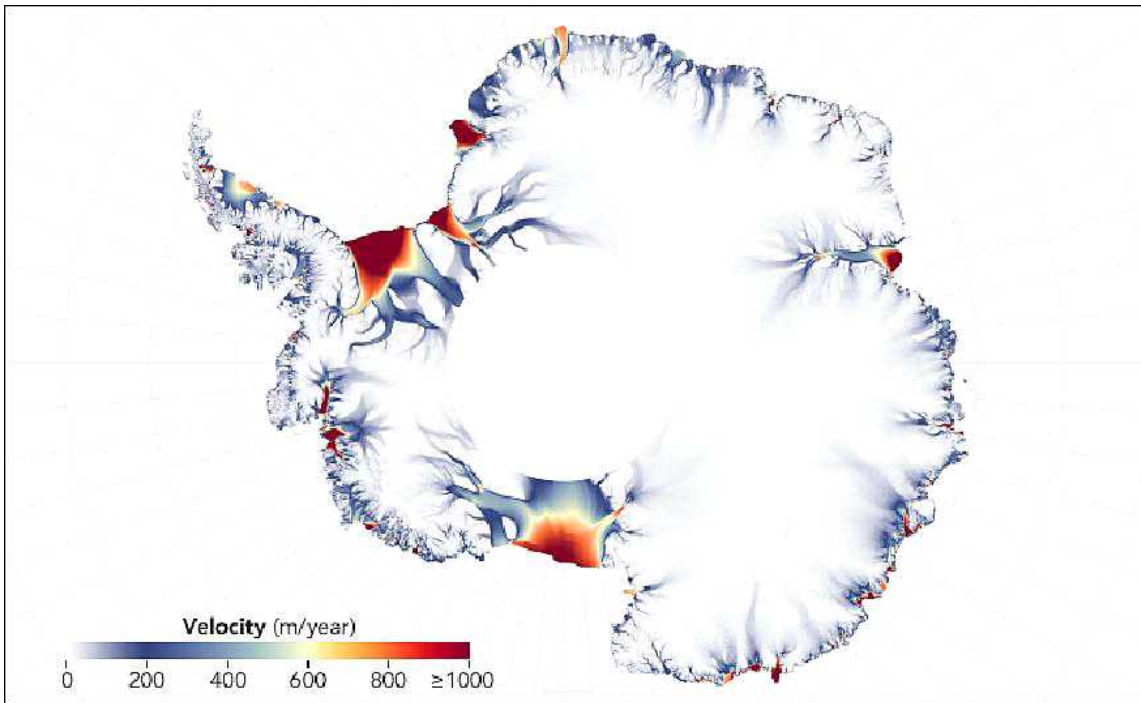


그림 39. Landsat-8 OLI 영상으로 관측된 남극 빙봉의 흐름속도 (출처: 미국항공우주국)

8. Sentinel-1

유럽우주국의 Sentinel 위성 시리즈는 현재 임무 수명 만료에 가까워지고 있는 유럽우주국 인공위성들의 지구 관측 임무를 대체, 연장하기 위한 목적으로 개발되었다. 현재 Sentinel-1, 2, 3, 4, 5, 5p가 운용되고 있으며, 각각의 위성은 서로 다른 센서를 탑재하여 대기, 해양, 육상 모니터링 등 다양한 분야에서 지구 관측을 수행하고 있다. 본 연구에서는 Sentinel 위성 시리즈 중에서 SAR를 탑재한 Sentinel-1에 대한 분석을 수행하였다.

Sentinel-1은 육상 및 해양 감시의 목적으로 개발된 위성으로 2014년 4월 발사된 Sentinel-1A와 2016년 4월 발사된 Sentinel-1B 등 두 개의 동일한 위성체로 구성되어 있다. 두 개의 위성은 각각 주간 및 야간 시간대에 동일한 지역을 촬영하도록 서로 궤도를 공유하며, SAR 탑재체(C-band Synthetic Aperture Radar; C-SAR) 또한 동일하다. 각각의 위성은 12일의 재방문 주기를 가진다. 두 위성은 동일한 궤도를 공유하고 있는데, 두 위성을 모두 활용할 경우 6일 간격으로 동일한 영역을 관측할 수 있다.



그림 40. Sentinel-1 위성 (출처: 유럽우주국)

ESA는 Sentinel-1의 주요 지구관측 임무를 다음과 같이 정리하고 있다.

- 산림, 수질, 농업 관련 육상 모니터링
- 자연재해 관련 긴급 지원
- 해양 환경 모니터링 및 해상 보안을 위한 선박 탐지
- 해빙 및 빙산 모니터링
- 고해상도 해빙지도 제작
- 해빙 탐지 및 예측
- 해상 기름 유출 탐지
- 선박 탐지
- 기후변화 모니터링

Sentinel-1은 중심주파수 5.405 GHz의 C-band SAR를 탑재하고 있으며, 총 4가지 모드에서 영상 획득이 가능하다. Sentinel-1 SAR는 단일편파(HH, VV) 및 이중편파(HH+HV, VV+VH) 영상 획득이 가능하다. 이중편파 영상은 육상 표면 분류 및 해빙 유형 분류 등 영상으로부터 지표 피복을 구분하는데 유용하게 활용될 수 있다.

표 12. Sentinel-1 영상획득 모드에 따른 관측 조건

Imaging mode	Incidence angle (deg.)	Spatial resolution (m)	Swath width (km)	Polarization
Stripmap	20 - 45	5 × 5	80	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Interferometric Wide Swath (IW)	29 - 46	5 × 20	250	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Extra Wide Swath (EW)	19 - 47	20 × 40	400	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Wave	22 - 35 35 - 38	5 × 5	20 × 20	HH, VV

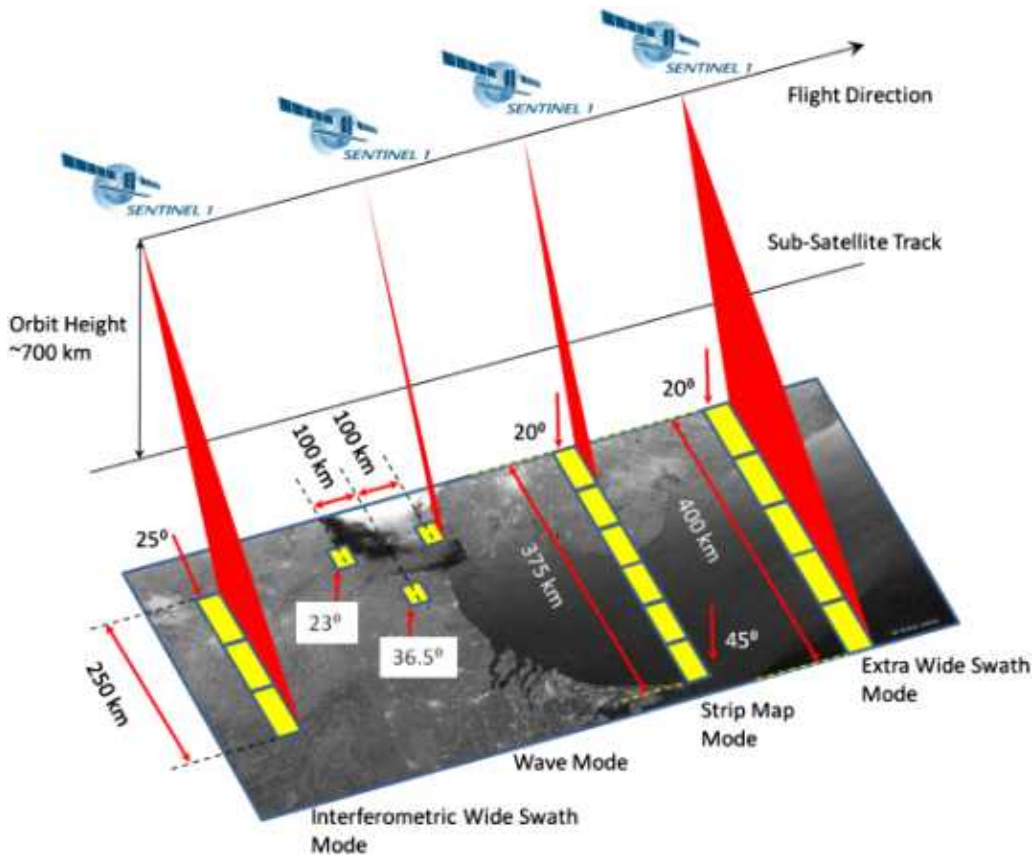


그림 41. Sentinel-1 영상획득 모드 모식도 (출처: 유럽우주국)

Sentinel-1 SAR의 Stripmap 모드는 80 km의 촬영 범위에서 공간해상도는 5 m 급의 영상을 제공한다. Interferometric Wide Swath (IW) 모드는 250 km 촬영 범위에서 5 m × 20 m의 해상도의 영상을 제공한다. IW 모드는 Terrain Observation with Progressive Scan (TOPS) 관측 기법을 통해 3개의 sub-swath를 이미징한다. TOPS 기술을 사용하면 일반적인 스캔 SAR 영상 획득 기법과 같이 넓은 범위의 영상을 촬영할 수 있을 뿐만 아니라, 빔이 각 burst마다 azimuth 방향으로 전방에서 후방으로 조종되어 scalloping 효과가 발생하지

않고 고품질 이미지를 얻을 수 있다. 도플러 스펙트럼(azimuth domain)과 파수 스펙트럼(elevation domain)이 충분히 오버랩 되기 때문에 간섭기법 수행도 가능하다.

TOPS 기술은 전체적으로 균일한 영상 품질을 보장할 수 있는 장점이 있다. IW 모드는 육지에 대한 Sentinel-1의 기본 영상획득 모드이다. Extra Wide Swath (EW) 모드는 넓은 범위의 관측이 요구되는 해양 및 해빙에 대한 기본 영상획득 모드이다. 총 5개의 sub-swath를 이미징하는 TOPS 기술을 적용하며, 20 m × 40 m 해상도의 영상을 제공한다. EW 모드는 IW 모드와 같이 간섭기법 수행에도 사용될 수 있다. Wave 모드는 다른 두 개의 입사각에서 교대로 획득한 20 km × 20 km의 Stripmap 데이터로 구성된다.

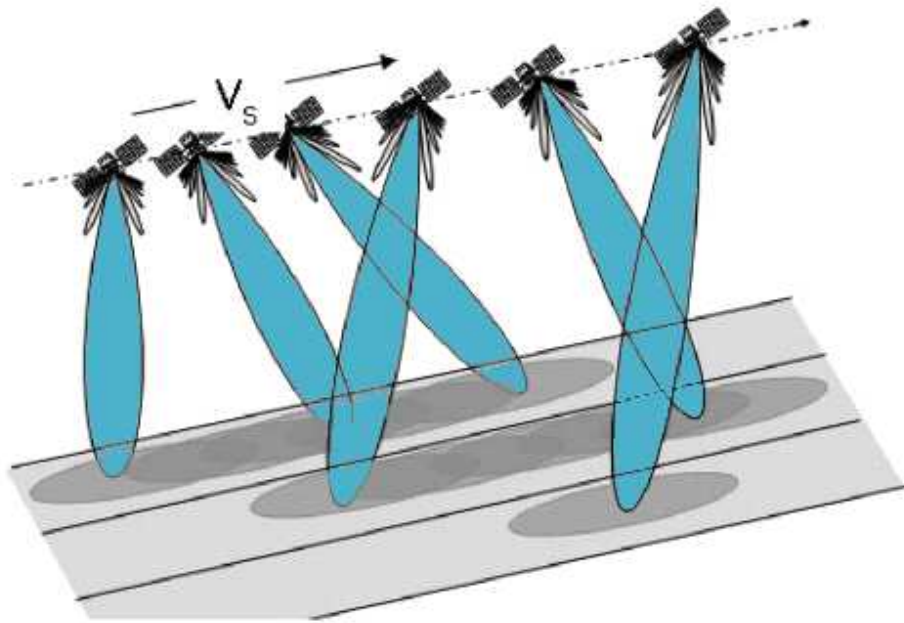


그림 42. Sentinel-1 TOPSAR 영상 획득 모식도 (출처: 유럽우주국)

Sentinel-1 SAR 영상은 넓은 범위에 대해 고해상도의 영상을 제공하므로 빙권에 대한 상시 모니터링에 효과적으로 사용될 수 있다. 그림 43-45는 Sentinel-1을 활용한 빙권 모니터링 사례를 보여주는 예시이다.

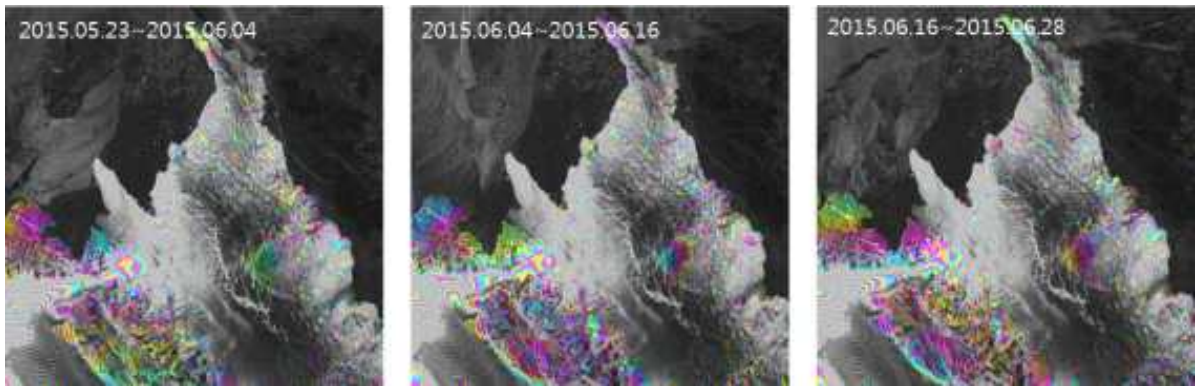


그림 43. 동남극 멜버른 화산에 대한 Sentinel-1 레이더 간섭영상 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)

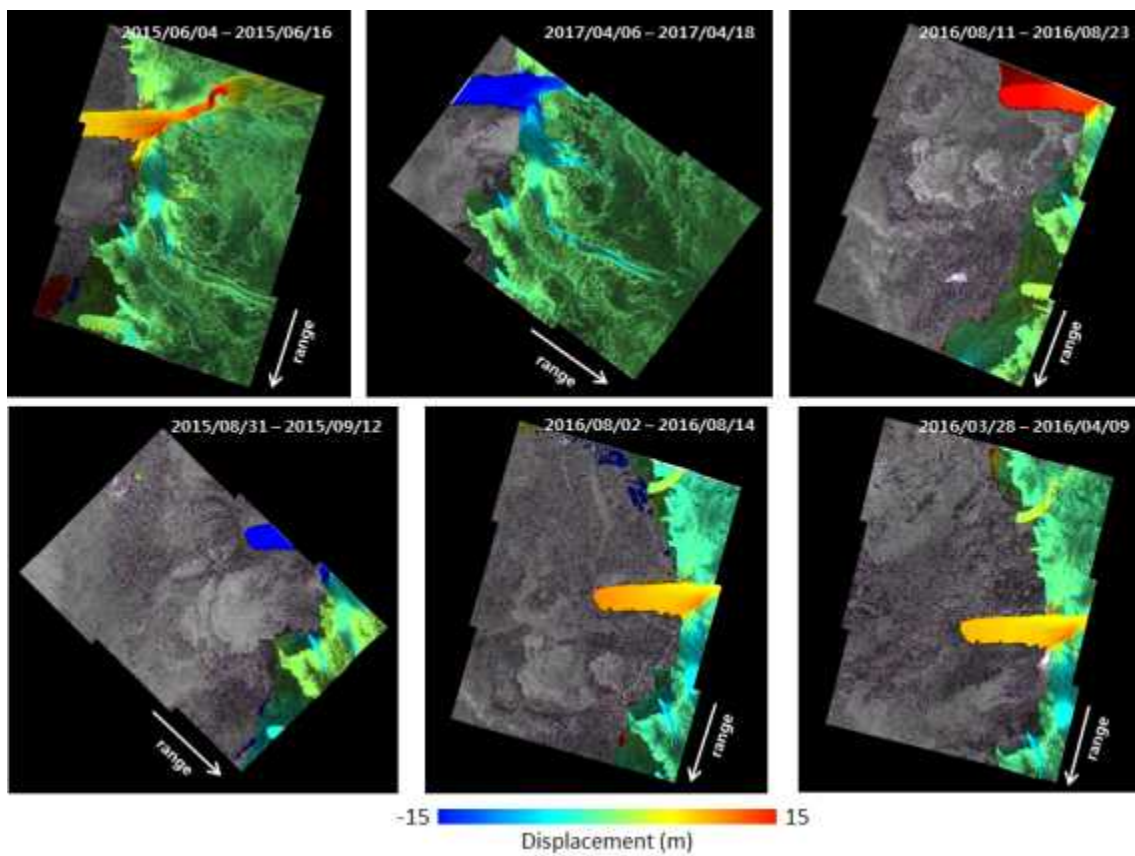


그림 44. Sentinel-1 오프셋 추적기법 기반 장보고 과학기지 주변 변위 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)

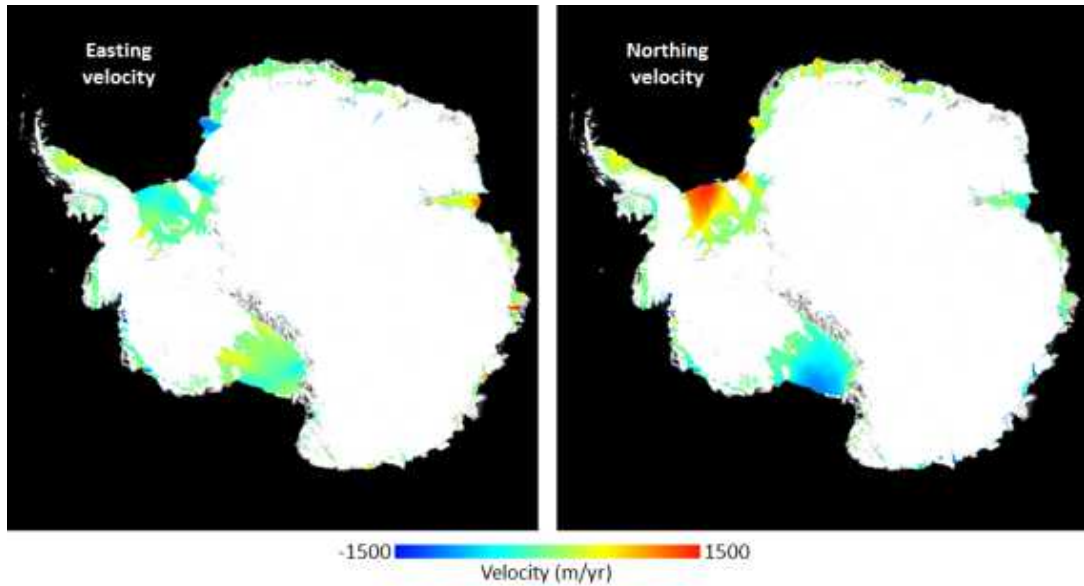









그림 45. Sentinel-1 영상레이더 오프셋 추적기법으로 측정된 2015 - 2016년 남극 빙붕의 동쪽 및 북쪽 방향으로의 흐름속도 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)

9. TerraSAR-X/TanDEM-X

유럽의 독일과 이탈리아는 SAR 시스템을 독자적으로 개발하여 지구 관측을 수행하고 있다. TerraSAR-X와 TanDEM-X는 독일항공우주센터에서 운용하고 있는 X-band SAR 탑재 위성으로 각각 2007년 6월과 2010년 6월에 발사되어 현재까지 정상적으로 임무를 수행하고 있다. 독일항공우주센터는 TerraSAR-X와 TanDEM-X 외에도 다수의 인공위성의 개발 계획을 진행하고 있으며, 이를 통해 다양한 학문 분야에 기여하고 위성 관련 산업의 확대를 도모하고 있다.

Mission	Satellite	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022
TerraSAR-X		■	■	■	■	■	■	■	■	■
TanDEM-X		■	■	■	■	■	■	■	■	■
PAZ (Spain)				■	■	■	■	■	■	■
TerraSAR-NG (WorldSAR)						■	■	■	■	■
HRWS							■	■	■	■
Tandem-L						■	■	■	■	■
Technology Line 2										

digital beamforming with reflector
 bistatic, formation flight
 Innovative techniques (polarimetric SAR interferometry, tomography)

Next Generation of radar missions for global monitoring of dynamic processes on the Earth's surface

그림 46. 독일항공우주센터의 위성 개발 계획 (출처: 독일항공우주센터)

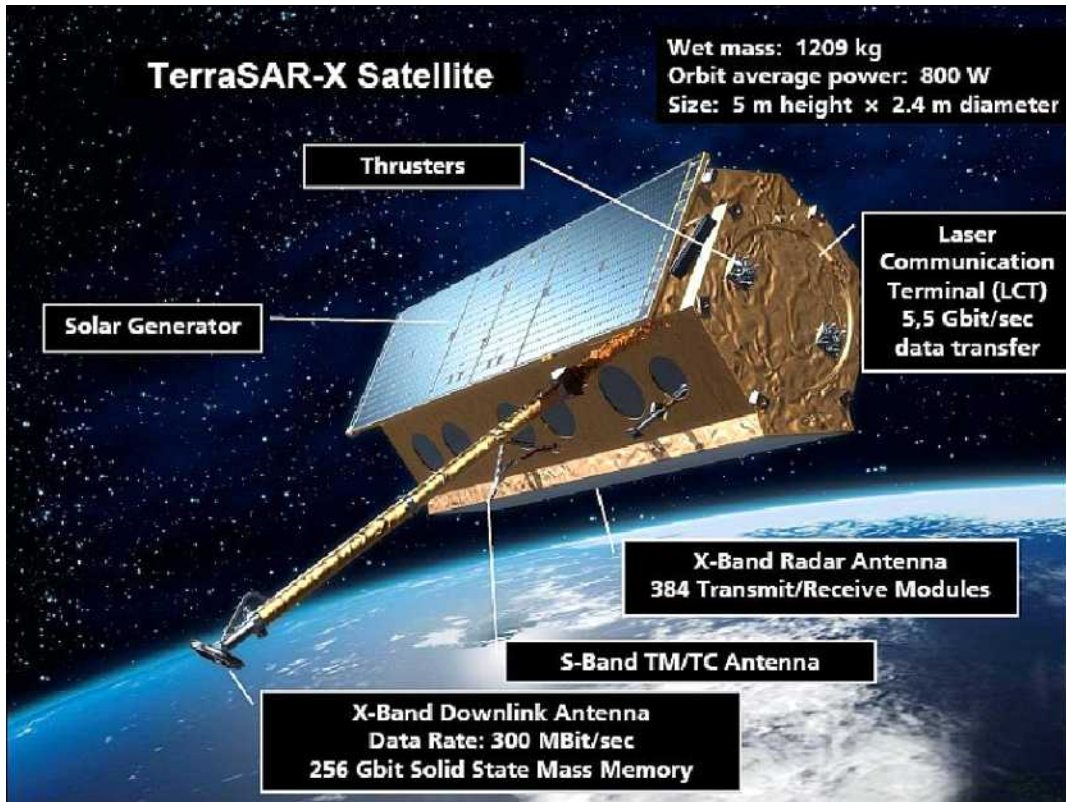


그림 47. TerraSAR-X 위성 (출처: 독일항공우주센터)

TerraSAR-X와 TanDEM-X의 주요 임무는 고해상도 다중 편파 영상 취득이 가능한 X-band SAR를 통해 수문학, 지질학, 기후학, 해양학 및 재난 재해 감시를 수행하고, 전 지구의 고정밀 수치지형고도 모델(digital elevation model; DEM)을 제작하는 것이다. TerraSAR-X와 TanDEM-X는 수 초 이내의 시간 동안 동일한 지역을 관측할 수 있다. 이는 mm급의 고도정밀도를 가지는 수치지형모델 제작을 가능하게 한다.

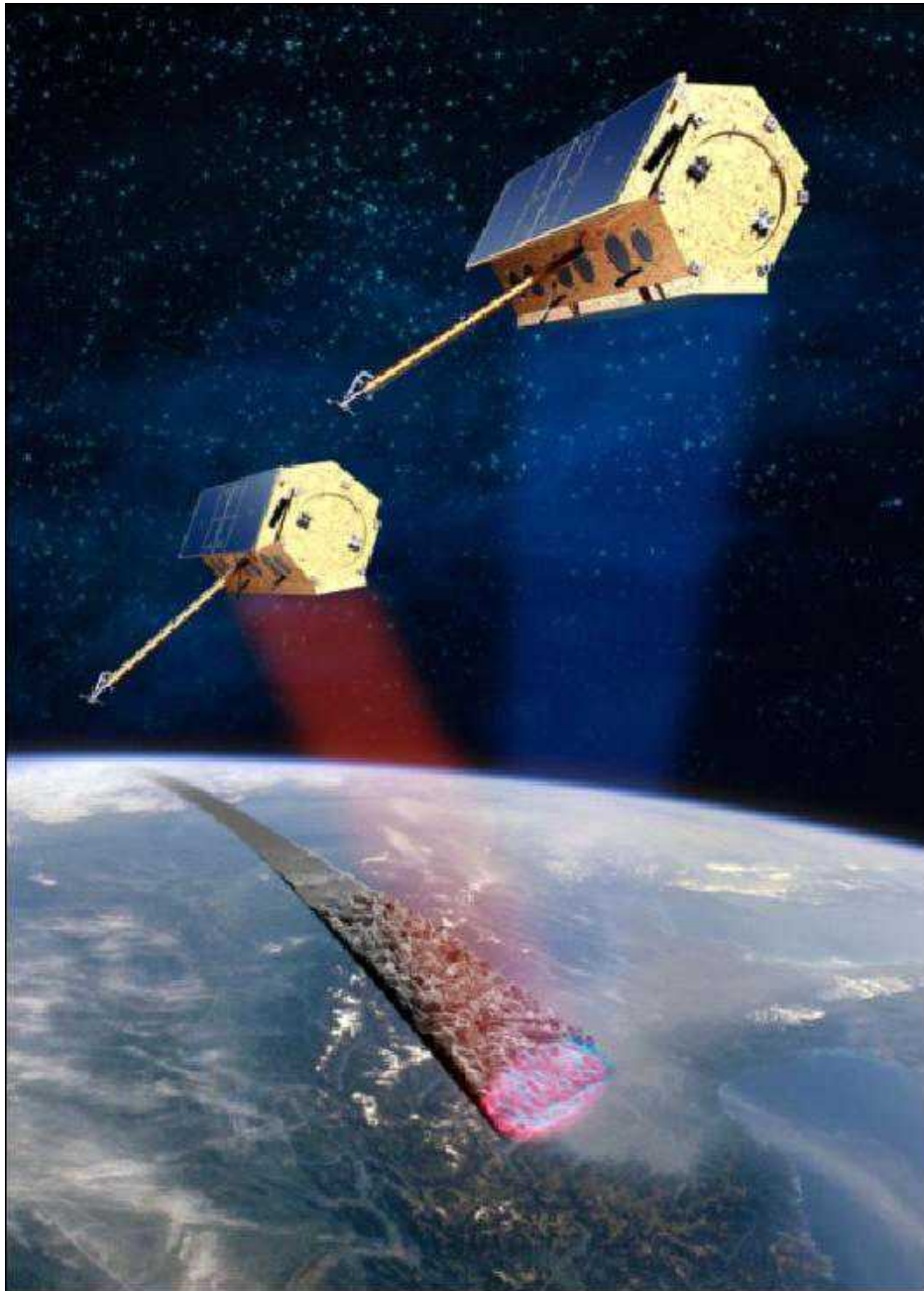


그림 48. TerraSAR-X와 TanDEM-X 영상 취득 모습 (출처: 독일항공우주센터)

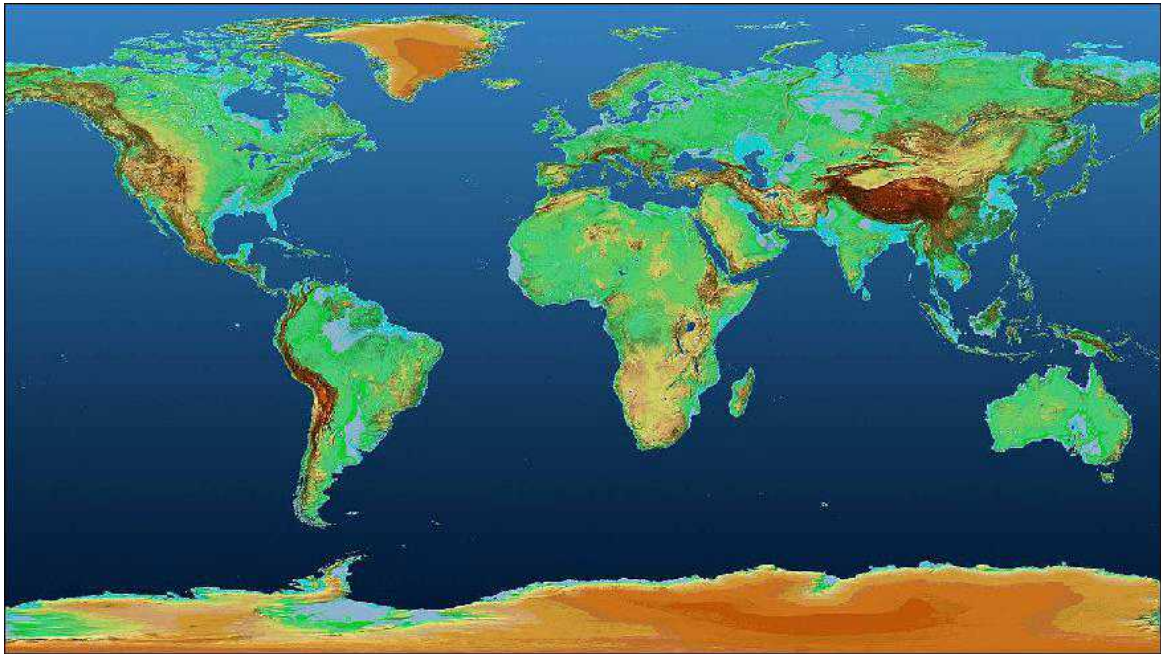


그림 49. TanDEM-X 임무를 통해 획득된 전지구 DEM (출처: 독일항공우주센터)

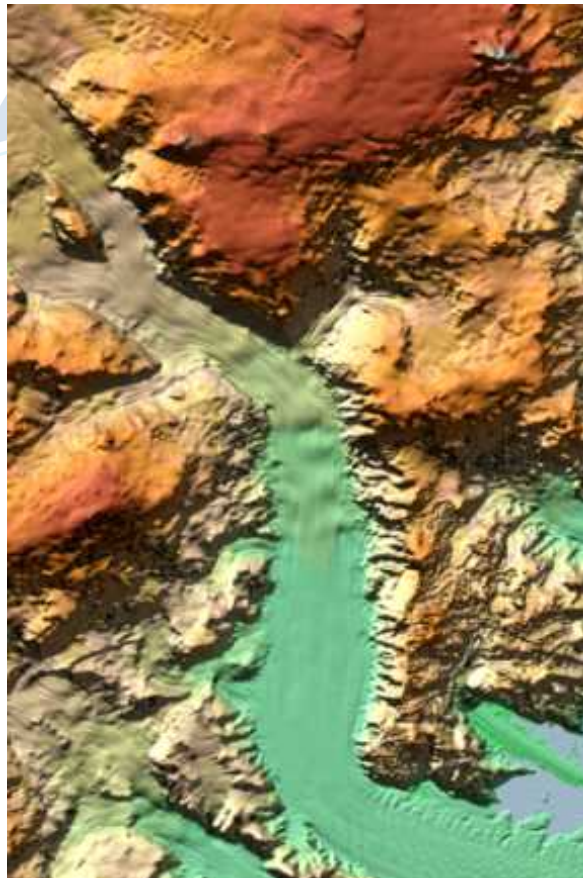


그림 50. 테라노바 만 주변 빙하지역에 대한 TanDEM-X DEM 예시 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)

두 위성에 탑재된 SAR는 9.65 GHz의 중심주파수를 가지며, 단일 편파 또는 이중 편파 영상을 취득한다. 총 5개의 촬영 모드(High-Resolution Spotlight, Spotlight, Stripmap, ScanSAR, ScanSAR Wide)를 통해 영상을 취득하고 있으며, 각각의 촬영 모드 특성은 아래와 같다.

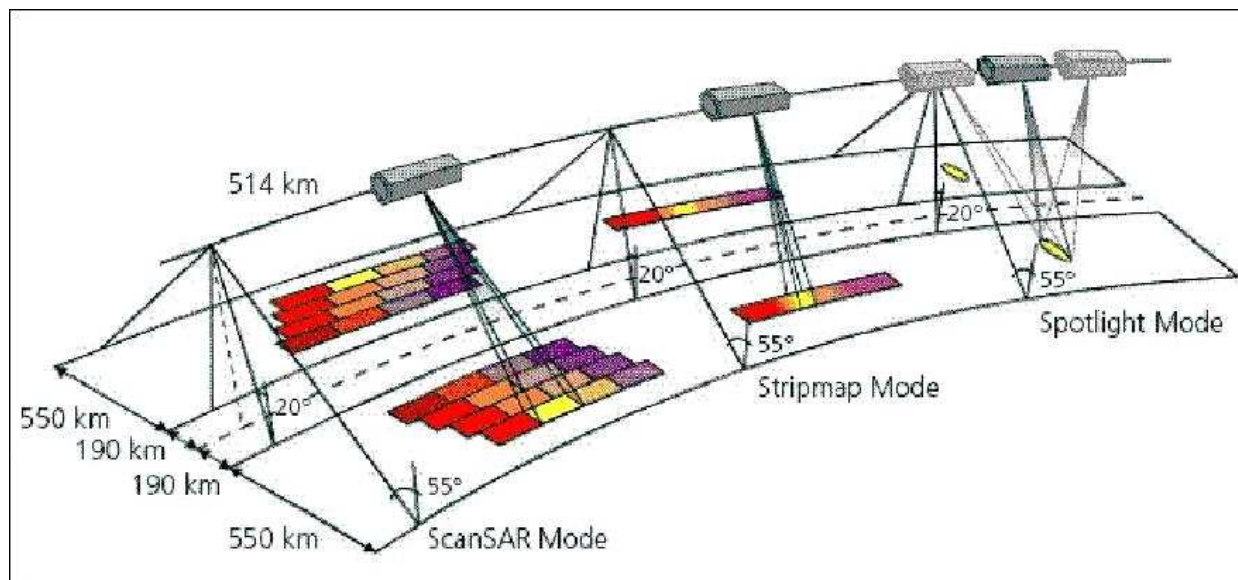


그림 51. TerraSAR-X 영상 촬영 모드 모식도 (출처: 독일항공우주센터)

표 13. TerraSAR-X SAR 촬영 모드별 특성

Operational mode Parameter	High-Resolution Spotlight (HS)	Spotlight (SL)	Stripmap (SM)	ScanSAR (SC)
	Resolution (cross-track × along-track)	2 m 1 m	2 m 1 m	3 m 3 m
Product coverage (along-track × cross-track)	5 km × 10 km	10 km × 10 km	50 km × 30 km	150 km × 100 km 200 km × (194 - 266 km) for ScanSAR Wide
Access range of incidence angles	15-60°	15-60°	15-60°	20-60°
Sensitivity NESZ	-23 dB	-23 dB	-22 dB	-21 dB

TerraSAR-X와 TanDEM-X의 시간해상도는 11일로 유동량이 작은 빙체의 감시에 효과적으로 사용될 수 있다. 또한 ScanSAR 모드는 100 km 이상의 촬영 폭을 가지므로 규모가 큰 빙권 이벤트 관측에 유용하다. 다만 11일의 시간해상도는 유동량이 큰 빙체의 상시 모니터링에는 다소 부적합할 수 있다. 그러나 1 m 급의 고해상도 영상 제공이 가능하여 타 위성을 활용한 상시 모니터링 결과의 검보정에는 매우 효과적으로 사용될 수 있다. 그림 52는 해빙 모니터링 연구 분야에서의 TerraSAR-X 영상 활용 사례이다.

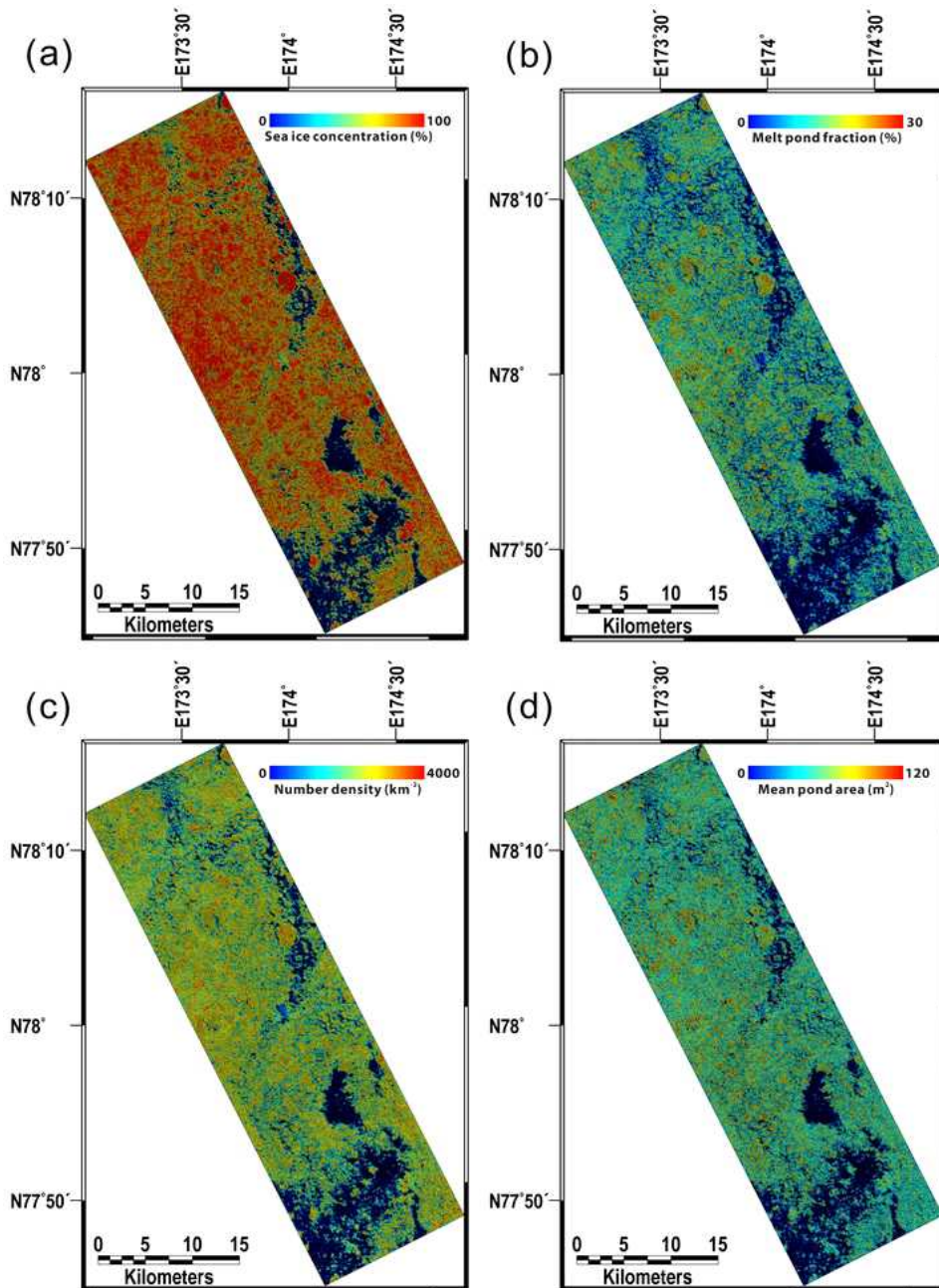


그림 52. TerraSAR-X SAR 영상으로 분석된 북극 해빙농도, 융빙호면적, 융빙호 밀도, 융빙호 개수 (Han et al., 2016)

10. COSMO-SkyMed

COSMO-SkyMed는 이탈리아 우주국(Italian Space Agency)과 이탈리아 국방부(Italian Ministry of Defence)에 의해 개발된 인공위성으로, 중심 주파수 9.6 GHz의 X-band SAR 시스템을 탑재하여 고해상도의 영상을 제공하고 있다. COSMO-SkyMed는 총 4기의 위성군(constellation)으로 구성된다. 각각의 위성은 16일의 시간해상도를 가지고 있으나, 4기의 위성을 모두 이용할 경우 최소 1일의 시간 해상도를 구현할 수 있는 장점이 있다.

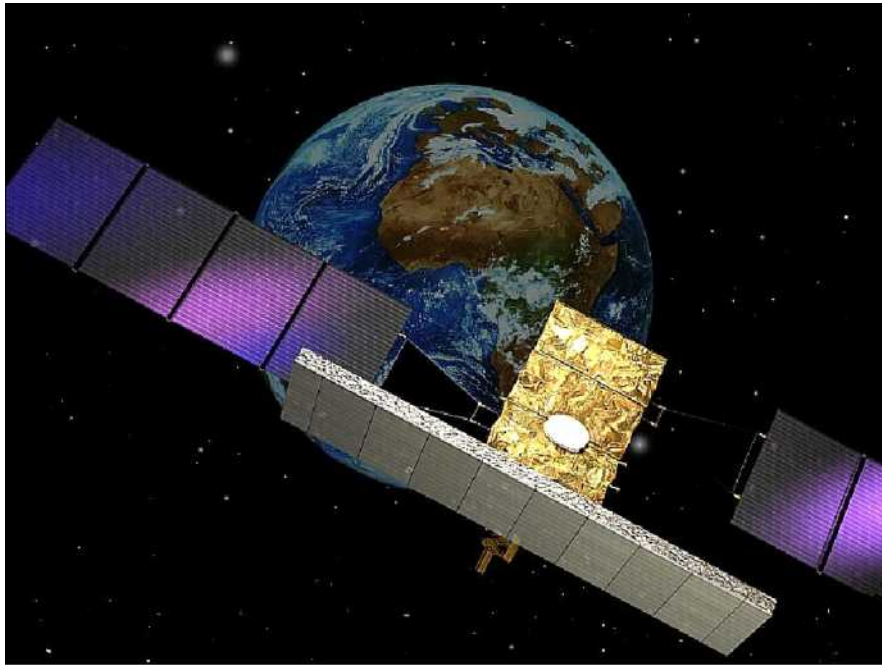


그림 53. COSMO-SkyMed 위성 (출처: 이탈리아우주국)

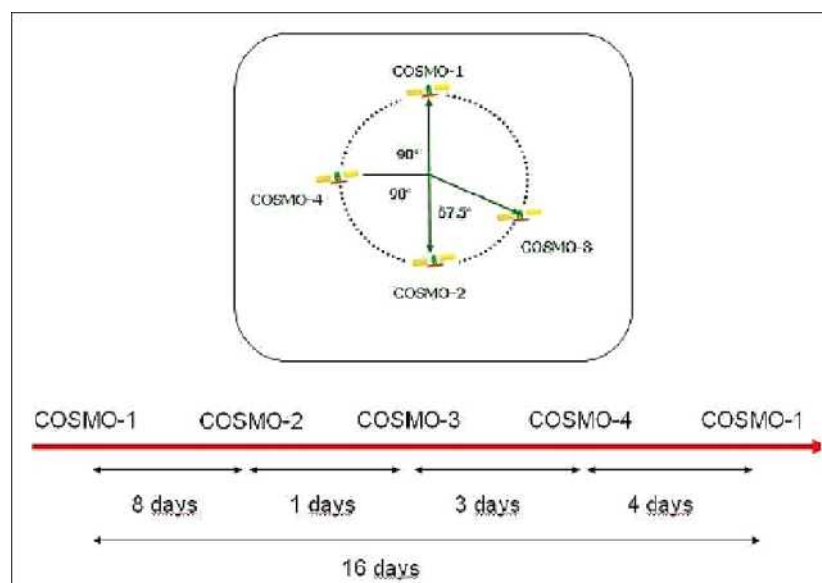


그림 54. COSMO-SkyMed 위성군 운용을 통한 시간해상도 구현 (출처: 이탈리아우주국)

COSMO-SkyMed의 X-band SAR는 Spotlight, Stripmap, ScanSAR 모드로 운용되며 최대 2개의 편파 영상을 취득할 수 있다. 2개 편파를 동시에 취득할 경우 Stripmap 모드로 운용된다. 각각의 촬영 모드에 대한 자세한 내용은 아래 표와 같다.

표 14. COSMO-SkyMed 촬영 모드별 특성

Operational modes with one polarization selectable among HH, VV, HV, or VH	
Spotlight	Spatial resolution: ≤ 1 m Swath width: 10 km
Stripmap (HIMAGE)	Spatial resolution: 3 m Swath width: 40 km
ScanSAR (Wide Region)	Spatial resolution: 30 m Swath width: 100 km
ScanSAR (Huge Region)	Spatial resolution: 100 m Swath width: 200 km
Operational modes with two polarizations selectable among HH, VV, HV, or VH	
Stripmap (Ping Pong)	Spatial resolution: 15 m Swath width: 30 km

COSMO-SkyMed는 X-band SAR를 통해 고해상도의 영상을 최소 1일 간격으로 제공할 수 있는 장점이 있어 유동량이 큰 지역에 대한 상시 모니터링에 효과적으로 사용될 수 있다. 그림 55-57은 COSMO-SkyMed를 활용한 빙권 모니터링 연구 사례를 나타내는 것으로, 흐름속도가 빠른 빙하 지역에서 COSMO-SkyMed가 효율적으로 사용될 수 있음을 보여준다.

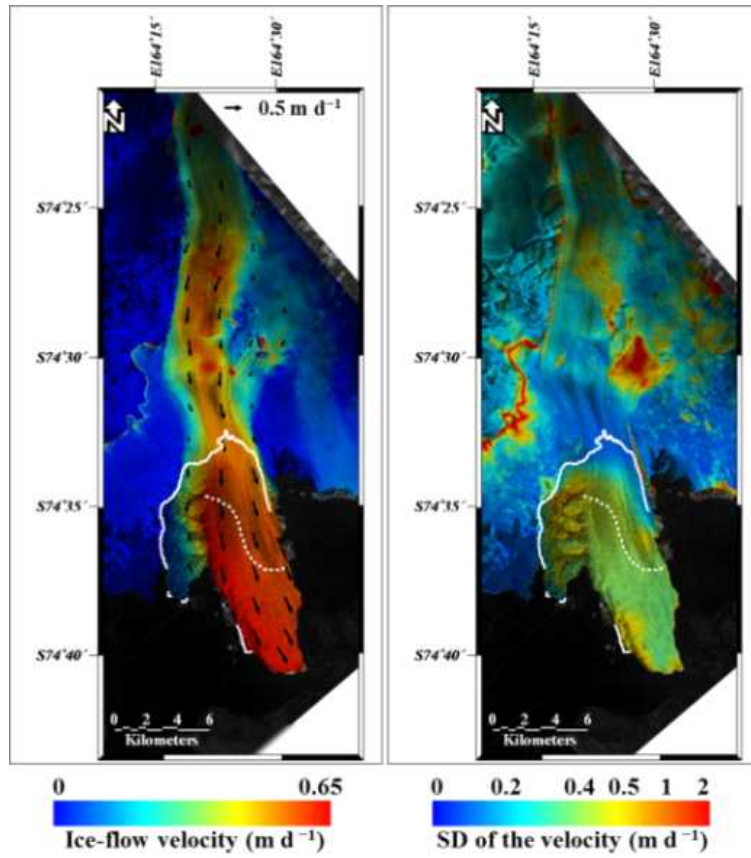


그림 55. 레이더 간섭기법으로 측정된 동남극 캠벨 빙하의 연평균 흐름속도(좌) 및 속도의 표준편차(우) (Han and Lee, 2015)

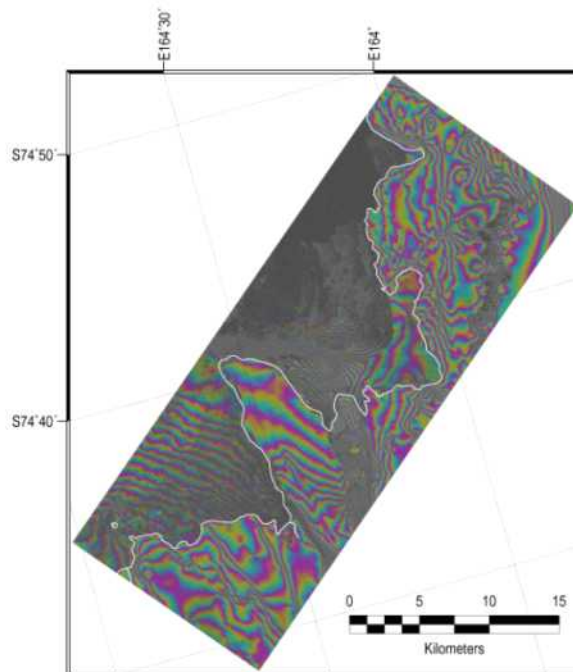


그림 56. 영상레이더 간섭기법으로 관측된 빙하와 해빙의 표면 변위 (Han and Lee, 2018)

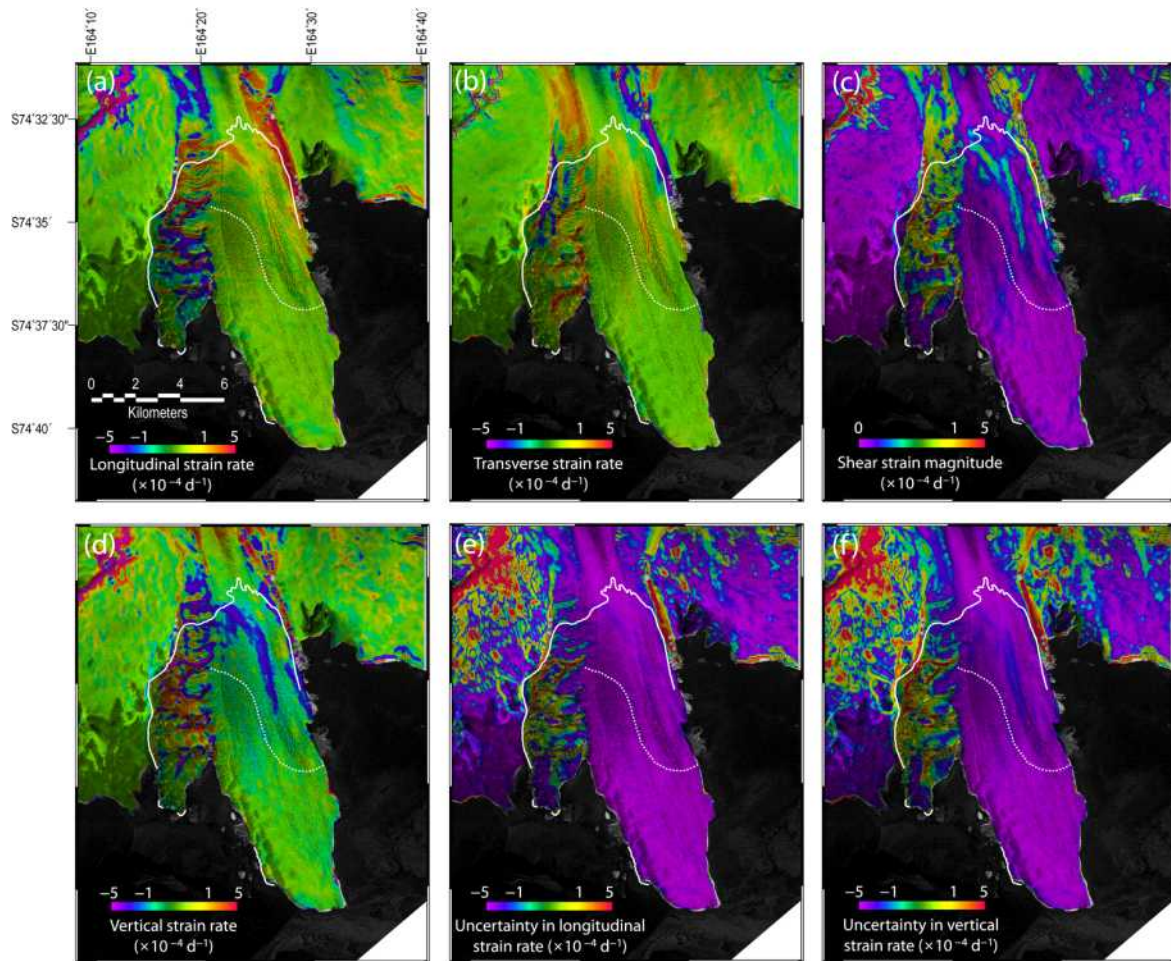


그림 57. COSMO-SkyMed 영상으로 분석된 남극 빙하의 표면 변형률 지도 (Han and Lee, 2017)

극지연구소

SAR를 탑재한 위성은 위에서 분석된 것 외에도 캐나다의 Radarsat-2, 일본의 ALOS-2가 있다. 두 위성은 각각 C-band와 L-band SAR를 탑재하여 완전 편파 영상을 제공하고 있으며, 수 백 km의 범위까지 관측이 가능하여 빙권 모니터링에 활용될 수 있다. 그러나 각각 24일과 14일의 시간해상도를 가지고 있어, 이동이 빠른 빙산의 상시 모니터링에는 효율적이지 않다. 또한 Sentinel-1을 제외한 모든 국외 SAR 영상은 유료로 제공되고 있어 자료에 대한 접근성이 좋지 않고, 지속적인 SAR 영상 취득이 요구되는 빙산 상시 모니터링에 활용하기 쉽지 않은 실정이다.

11. CryoSat-2

빙권을 구성하고 있는 얼음의 두께 변화를 모니터링하기 위해서는 인공위성 레이더 고도계가 필수적으로 활용되어야 한다. 현재 극지역 얼음의 두께 변화 모니터링에 가장 널리 활용되고 있는 레이더 고도계는 2010년 8월 발사된 유럽우주국의 CryoSat-2다. CryoSat-2는 중심주파수 13.575 GHz의 Ku-band 레이더 고도계인 SAR Interferometer Radar Altimeter (SIRAL)을 탑재하고 있으며, 369일의 시간해상도(30일 sub-cycle)를 가진다. CryoSat-2는 위도 70도에서 위성 진행 방향으로 약 350 m, 위성 궤도 간격 2.5 km마다 관측이 가능하고 관측 범위는 위성 진행 방향에 대해 약 300 m, 위성 진행에 대한 수직 방향에서 약 1.5 km이다. 이와 같은 관측 조건은 극지에서 얼음의 두께를 높은 공간해상도로 측정할 수 있게 한다.



그림 58. CryoSat-2 위성 (출처: 유럽우주국)

SIRAL은 3개의 관측 모드에서 운용되고 있다. Low Resolution Mode (LRM) 모드는 저해상도의 고도 관측 모드로써 공간적인 고도 변화량이 크지 않은 바다와 빙상의 중심부 높이 관측에 주로 이용되고 있다. SAR 모드는 해빙의 높이 관측에 주로 사용되고 있으며, SAR Interferometric (SARIn) 모드는 지형의 기울기가 존재하는 빙하나 빙봉 등에서 운용되고 있다.

표 15. CryoSat-2 관측 모드별 특성

Mode of Operation Parameter	LRM	SAR	SARIn
Receive chain	1 (left)	1 (left)	2 (left and right)
Samples per echo	128	128	512
Sample interval	0.47 m	0.47 m	0.47 m
Range window	60 m	60 m	240 m
Bandwidth	350 MHz	350 MHz	350 MHz
PRF	1970 Hz	17.8 kHz	17.8 kHz
Tx pulse length	49 μ s	49 μ s	49 μ s
Useful echo length	44.8 μ s	44.8 μ s	44.8 μ s
Burst length	N/A	3.6 ms	3.6 ms
Pulses/burst	N/A	64	64
Burst repetition interval	N/A	11.7 ms	46.7 ms
Azimuth looks (46.7 ms)	91	240	60
Tracking pulse bandwidth	350 MHz	350 MHz	40 MHz
Samples per tracking echo	128	128	128
Size of tracking window	60 m	60 m	480 m
Averaged tracking pulses (46.7 ms)	92	32	24

CryoSat-2의 SIRAL은 ENVISAT 및 ERS-1/2 등 이전 세대의 인공위성에 탑재되었던 레이더 고도계에 비해 해상도와 정확도가 높은 지표 고도 관측 결과를 제공한다. 현재 CryoSat-2 SIRAL은 북극의 해빙 두께 및 남극 빙상, 빙붕의 두께 관측에 매우 효과적으로 사용되고 있다.

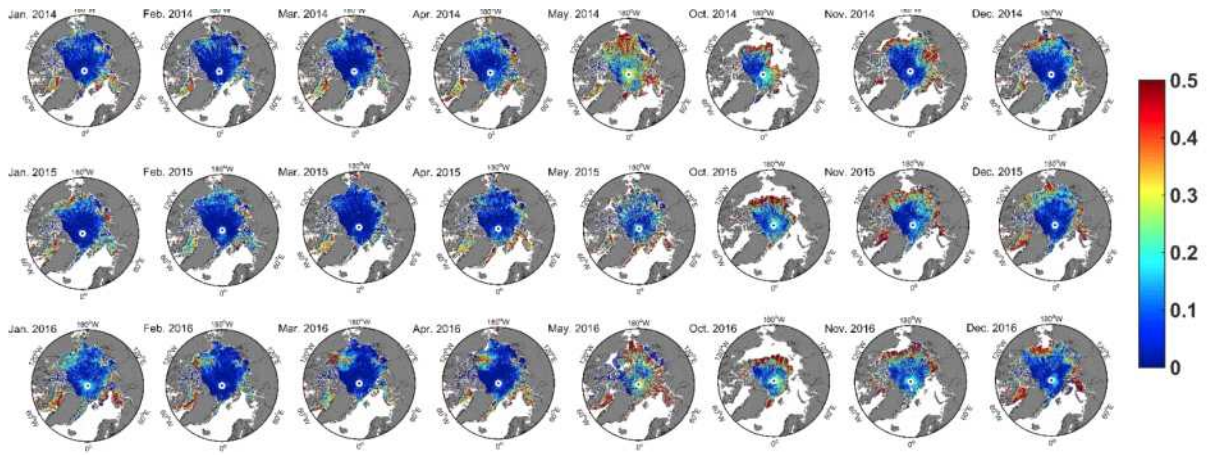


그림 59. CryoSat-2 기반 북극 리드 탐지 결과 (Lee *et al.*, 2018)

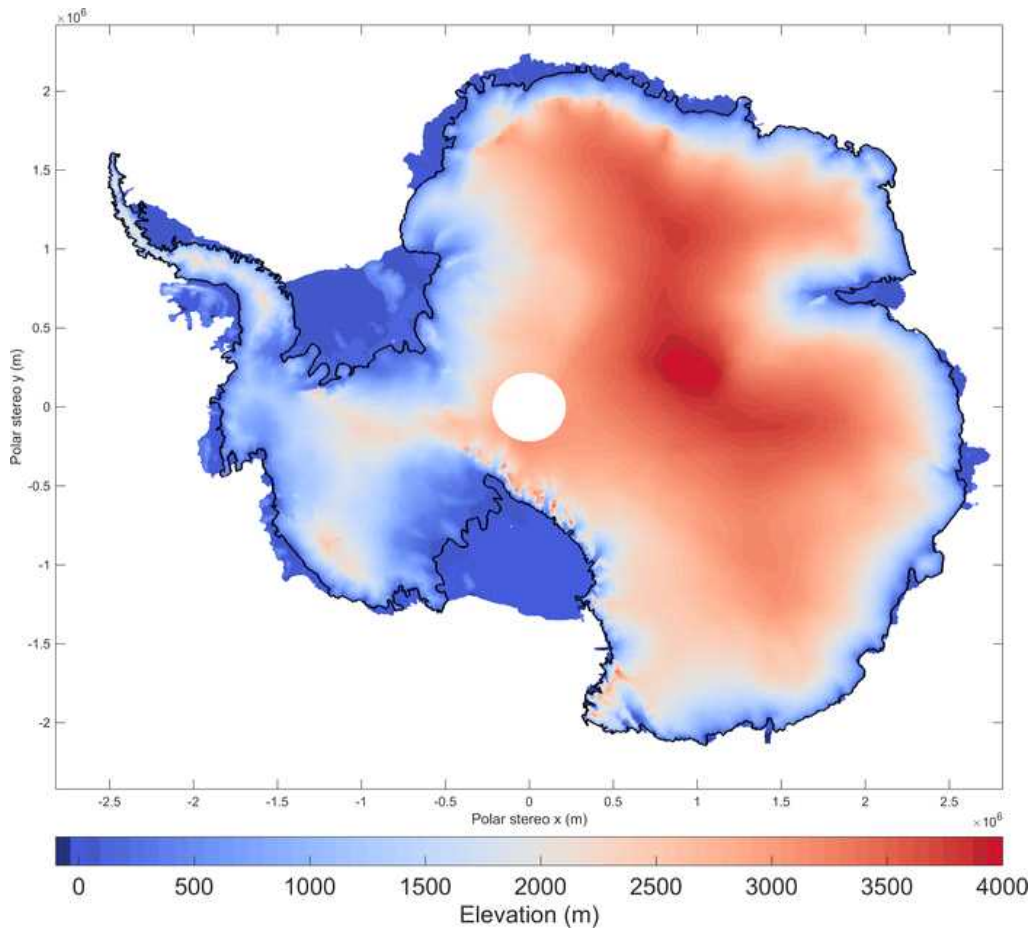


그림 60. CryoSat-2로 관측된 남극 수치지형고도 (Slater *et al.*, 2018)

12. Passive Microwave Sensors

1970년대부터 운용되어 온 인공위성 수동 마이크로파 센서는 가장 오랜 기간 지속적으로 극지를 관측한 위성 센서이다. 수동 마이크로파 센서는 마이크로파 대역에서 지표로부터 방사되는 복사에너지를 측정한다. 바다와 해빙, 빙상/빙붕은 서로 다른 마이크로파 복사특성을 나타내는데, 이러한 복사특성의 차이를 통해 빙권의 변화를 모니터링 하는데 수동 마이크로파 센서가 널리 활용되어 왔다. 현재 가장 대표적인 수동 마이크로파 센서는 Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) 위성에 탑재된 Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSMIS)와 Global Change Observation Mission-Water (GCOM-W) 위성에 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2)이다. 두 센서 모두 매일 북극과 남극 전역에 대한 마이크로파 복사특성을 관측하여 해빙농도와 빙상의 온도 특성에 대한 정보를 제공하고 있다.

수동 마이크로파 센서는 매일 극지 전역을 관측할 수 있다는 장점이 있으나 수 km~수십 km에 달하는 공간해상도는 빙권 모니터링에 있어 단점으로 작용한다. 이에 따라 빙산 모니터링 연구에서는 수동 마이크로파 관측 자료를 빙산의 위치를 파악하는 경우에만 사용하고 있는 추세이다. 그러나 빙산 주변 해빙 모니터링에 있어서는 수동 마이크로파 센서도 유용하게 활용될 수 있다. 빙산의 진화과정에 따른 주변 해양환경의 변화는 해빙의 형성/소멸 기작에 영향을 미치게 되는데, 이에 대한 연구를 위해서는 빙산 주변 해빙을 지속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

표 16. AMSR2 센서 특성

Central frequency (GHz)	Bandwidth (MHz)	Polarizations	NEΔT	IFOV (km × km)	Spatial Sampling (km × km)
6.925	350	V, H	0.3 K	35 × 62	10 × 10
7.3	350	V, H	0.3 K	35 × 62	10 × 10
10.65	100	V, H	0.6 K	24 × 42	10 × 10
18.7	200	V, H	0.6 K	14 × 22	10 × 10
23.8	400	V, H	0.6 K	11 × 19	10 × 10
36.5	1000	V, H	0.6 K	7 × 12	10 × 10
89.0	3000	V, H	1.1 K	3 × 5	5 × 5

표 17. SSMIS 센서 특성

Central frequency (GHz)	Bandwidth (MHz)	Polarizations	NEΔT	IFOV (km × km)	Spatial Sampling (km × km)
19.35	356	V, H	0.34 K	42.4 × 70.1	25.0 × 12.5
22.235	407	V	0.45 K	42.4 × 70.1	25.0 × 12.5
37.0	1580	V, H	0.24 K	27.5 × 44.2	25.0 × 12.5
50.3	380	H	0.21 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
52.8	389	H	0.20 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
53.596	380	H	0.21 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
54.4	382	H	0.20 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
55.5	391	H	0.22 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
57.29	330	RC	0.26 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
59.4	239	RC	0.25 K	17.5 × 25.8	37.5 × 12.5
60.792668 ± 0.357892 ± 0.050	106	RC	0.38 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
60.792668 ± 0.357892 ± 0.016	29.4	RC	0.37 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
60.792668 ± 0.357892 ± 0.006	10.4	RC	0.58 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
60.792668 ± 0.357892 ± 0.002	5.2	RC	0.86 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
60.792668 ± 0.357892	2.7	RC	1.18 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
63.283248 ± 0.285271	2.7	RC	1.23 K	17.5 × 25.8	75.0 × 12.5
91.655	2829	V, H	0.19 K	13.1 × 14.4	12.5 × 12.5
150	3284	H	0.53 K	13.1 × 14.4	12.5 × 12.5
183.31 ± 6.6	1025	H	0.56 K	13.1 × 14.4	12.5 × 12.5
183.31 ± 3.0	2038	H	0.39 K	13.1 × 14.4	12.5 × 12.5
183.31 ± 1.0	3052	H	0.38 K	13.1 × 14.4	12.5 × 12.5

* RC = right circular, NEΔT = instrument noise

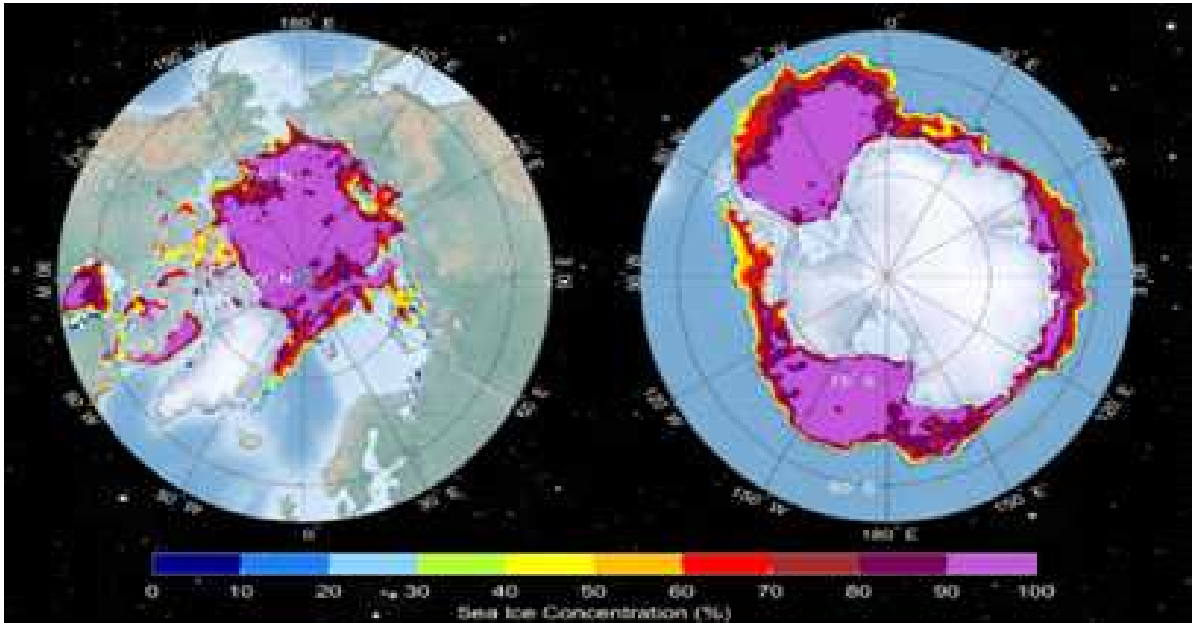


그림 61. SSMIS로 관측된 북극과 남극의 해빙농도

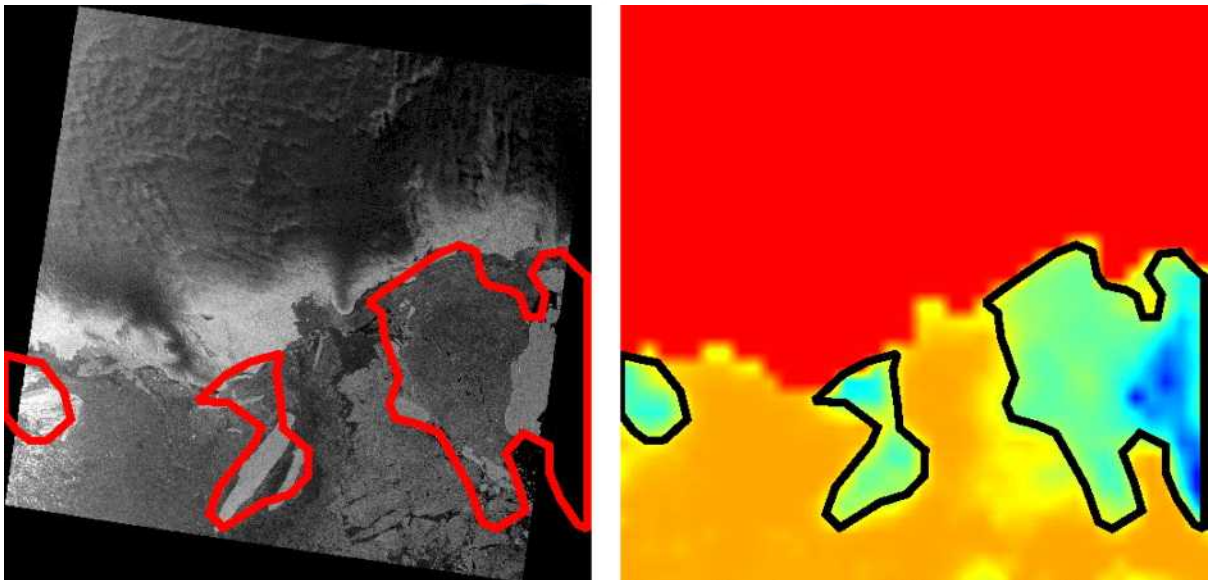


그림 62. 빙산의 분포와 밝기온도 특성을 나타내는 SAR 영상과 수동 마이크로파 센서 관측 영상 (Han and Lee, 2011)

빙권 관측에 활용 가능한 인공위성들을 분석한 결과, SAR를 탑재한 위성이 광학센서를 탑재한 위성보다 빙권 모니터링에 더 효과적으로 사용될 수 있을 것이라 판단할 수 있다. SAR 탑재 위성 중에서는 우리나라의 고유 자원인 아리랑 5호와 관측 자료에 대한 접근성이 높은 Sentinel-1이 빙산 모니터링에 가장 효과적인 것으로 판단된다. 특히 Sentinel-1A와 Sentinel-1B 위성을 모두 활용하면 6일에 한 번씩 동일한 지역을 관측할 수 있어 빙산 모니터링뿐만 아니라 인접 빙하와 빙붕의 유동특성도 관측할 수 있다. 그리고 수 백 km 범위를 촬영할 수 있어 A-68과 같은 대규모 빙산의 모니터링에도 효과적이다. 빙산의 두께

변화 관측에는 CryoSat-2가 활용될 수 있고, 빙산 주변 해빙 관측에는 수동 마이크로파 센서 관측 자료가 효율적으로 활용될 수 있음이 분석되었다.

위의 분석 결과를 바탕으로 빙산 A-68을 비롯한 남극의 빙산을 상시 모니터링 하는 시스템을 구축하는 데에는 아리랑 5호와 Sentinel-1, CryoSat-2, 수동 마이크로파 센서 관측 자료가 가장 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 고해상도의 SAR 영상을 제공하는 TerraSAR-X, TanDEM-X 및 COSMO-SkyMed는 유료로 제공되기 때문에 상시 모니터링에 활용은 어렵지만 아리랑 5호와 Sentinel-1 기반 빙산 모니터링 결과를 검보정 하는데 활용될 수 있으리라 판단된다. 그 외의 고해상도 광학영상을 제공하는 위성들은 SAR 영상에서 분석되기 어려운 빙산의 표면 특징을 관찰하는데 활용될 수 있으리라 보인다.



제 3 절 빙산 위성정보 처리기술

이 연구에서는 아리랑 5호와 Sentinel-1, CryoSat-2 및 수동 마이크로파 센서 관측 자료를 이용한 빙산 A-68 상시 모니터링 시스템의 구축안을 제시하기 위해, 먼저 각각의 위성에서 산출 가능한 빙산 위성정보를 아래 표와 같이 정의하였다.

표 18. 위성 기반 빙산 모니터링 정보의 종류

빙산 위성정보	활용 위성
빙산 면적 (모양/붕괴 탐지)	아리랑 5호, Sentinel-1
빙산 이동 (이동속도 및 회전)	아리랑 5호, Sentinel-1
빙산 두께	아리랑 5호, Sentinel-1, CryoSat-2
빙산 주변 빙붕 흐름속도	Sentinel-1
빙산 주변 해빙농도	수동 마이크로파 센서 탑재 위성

빙산의 면적과 이동, 두께는 빙산의 진화를 설명하는 가장 기본적인 정보로써 상시 모니터링 시스템에서 필수적으로 제공되어야 한다. 빙산을 발생시킨 빙붕은 빙산의 분리 이후 체적이 감소하고 이로 인해 유동특성이 변화할 수 있다. 그리고 빙산의 진화는 주변 해양 환경에 영향을 미치며, 이는 해빙의 농도 변화를 야기할 수도 있다. 따라서 빙산 상시 모니터링 시스템에서는 빙산 진화에 대한 기본적인 정보 외에도, 빙산이 발생된 빙붕의 흐름속도와 빙산 주변 해빙농도에 대한 정보가 함께 제공될 필요가 있다.

이 절에서는 위에서 정의된 빙산 및 주변 환경 정보를 위성 관측 자료로부터 산출하기 위한 자료처리기술에 대해 분석한다.

1. 빙산 면적 위성정보 산출 기법

빙산의 면적은 빙산이 촬영된 SAR 영상으로부터 산출이 가능하다. SAR 영상으로부터 빙산의 면적을 산출하는 방법은 다음과 같다. 먼저 육안 관측을 통해 SAR 영상으로부터 빙산에 대한 폴리곤(polygon)을 디지털화한다. 그리고 폴리곤의 면적을 계산하여 빙산의 면적을 구한다. 육안 관측을 통한 빙산 디지털화에는 분석가의 주관이 개입될 수 있으며, 여기서 빙산 면적 산출에 부정확성이 발생할 수 있다. 이와 같은 부정확성을 최소화하기 위해 최소 2인 이상의 SAR 영상 분석 전문가가 폴리곤에 대한 검수를 진행한 후 면적을 산출한다. 그림 63은 Sentinel-1 SAR 영상에서 빙산 A-68의 폴리곤을 추출한 예시이다.

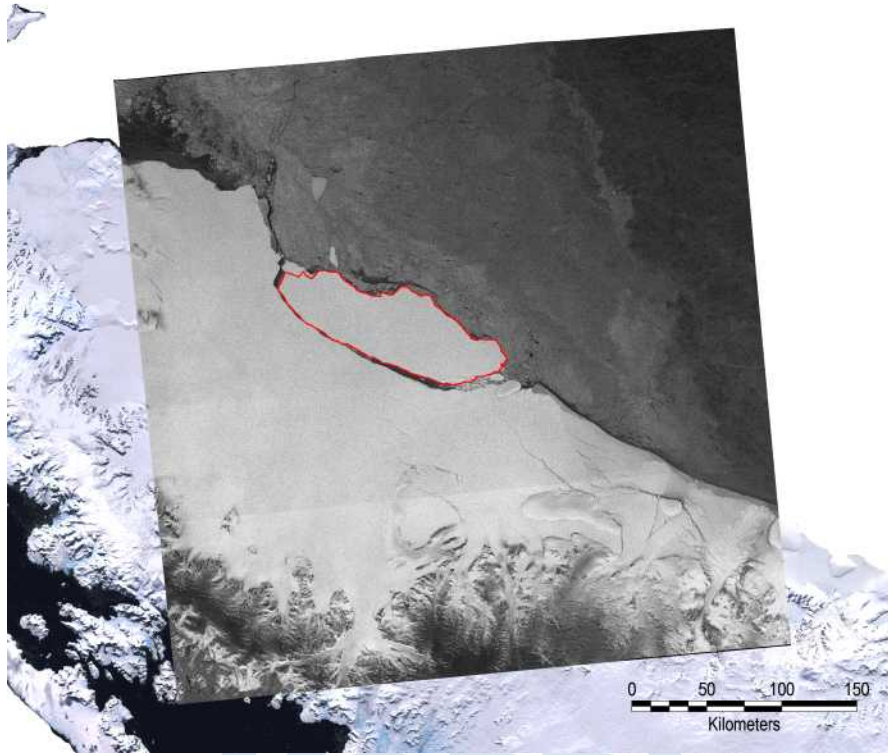


그림 63. SAR 영상에서 빙산 면적 산출을 위한 폴리곤 추출

빙산 상시 모니터링 시스템에서는 빙산 A-68이 촬영된 모든 아리랑 5호 및 Sentinel-1 SAR 영상으로부터 빙산에 대해 추출된 폴리곤으로부터 면적을 산출하고, 면적에 대한 시계열 관측 정보를 위성영상과 함께 제공할 수 있다. 그림 64는 인공위성 SAR 영상을 통해 분석된 빙산 A-68 면적의 시계열 변화를 나타내는 그래프이다.

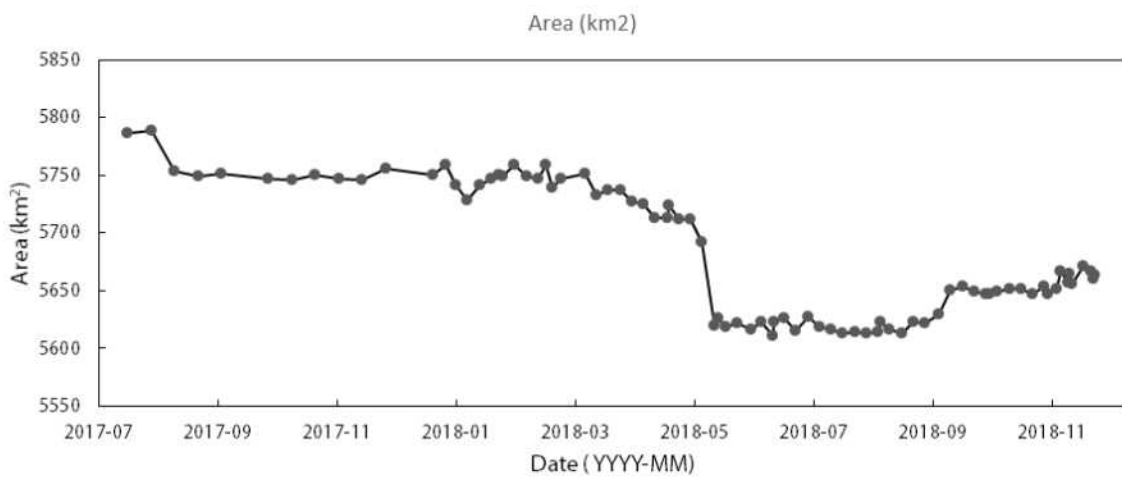


그림 64. 빙산 A-68 면적의 시계열 분석 정보

2. 빙산 이동 위성정보 산출 기법

빙산의 이동정보는 이동속도와 회전의 두 가지 정보로 구성된다. 빙산의 이동속도는 시간에 따라 연속적으로 획득된 SAR 영상으로부터 빙산을 탐지한 후, 시간에 따른 빙산의 중심 위치 변화를 분석하여 산출한다. 또한 빙산의 붕괴가 거의 발생되지 않는 두 개의 지점을 설정하여 해당 지점에서의 위치변화를 구하고 이동속도를 산출한다. 이 두 개 지점에 대한 위치변화 값은 빙산의 회전정보를 산출하는데 사용된다. 아래 그림은 빙산의 회전 정보 산출을 위해 선택한 두 개 지점(P1, P2)의 위치를 보여준다. 이 두 지점은 빙산 A-68에서 현재까지 붕괴 현상이 발생하지 않은 위치에 해당한다.

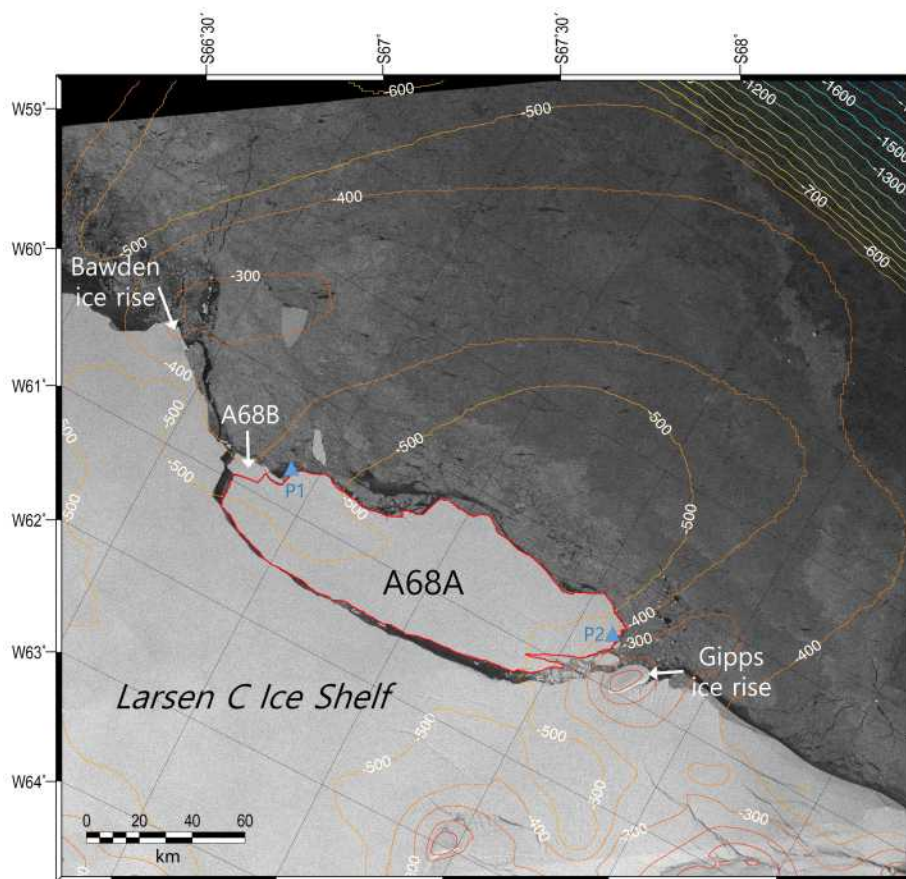


그림 65. 빙산의 이동 및 회전정보 산출을 위한 기준점 선정

이 연구에서 기획하는 빙산 상시 모니터링 시스템에서는 빙산의 위치에 대한 영상정보와 함께 빙산의 이동속도 정보를 시계열로 제공할 수 있다. 그림 66은 현재까지 분석된 빙산 A-68의 이동 속도와 회전량을 나타낸다.

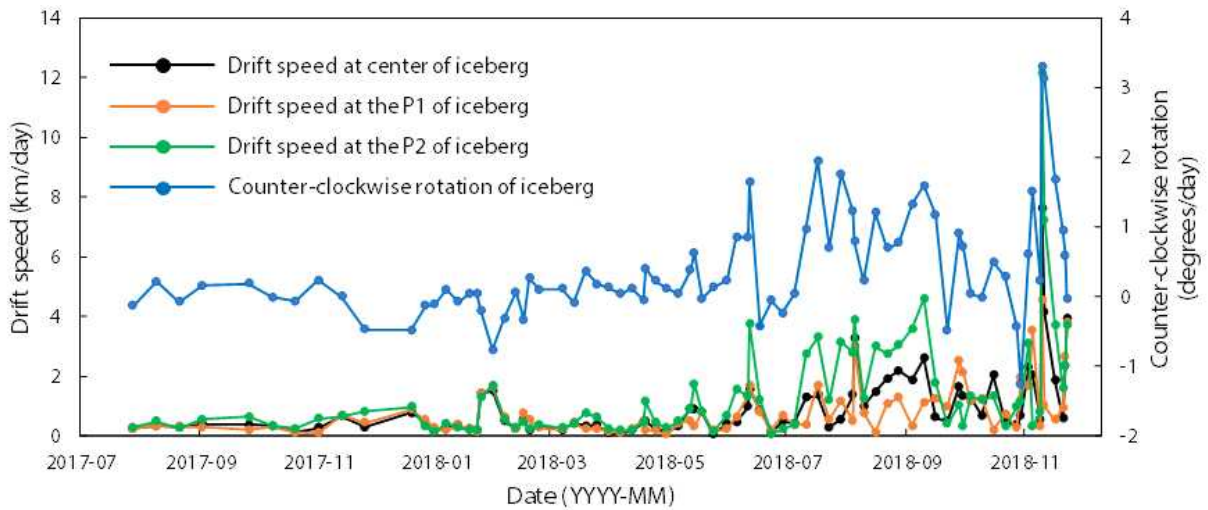


그림 66. 빙산 A-68의 이동 및 회전에 대한 시계열 분석 정보

3. 빙산 두께 위성정보 산출 기법

빙산의 두께는 인공위성 고도계로 관측된 빙산의 freeboard 높이를 기반으로 산출할 수 있다. 빙산은 해류와 바람에 의해 지속적으로 움직이므로, 인공위성 고도계 관측 자료로부터 빙산의 위치에 대한 freeboard 높이를 정확히 산출하기 위해서는 고도계 관측 당시의 빙산 위치를 특정해야 한다. 이 연구에서는 빙산이 탐지된 SAR 영상과 동일한 날짜에 획득된 CryoSat-2 SARIn 모드 자료를 구축하고, 빙산의 경계 내에 포함된 CryoSat-2 관측 값을 추출하였다. CryoSat-2로 측정된 빙산 freeboard 높이의 오류를 수정하기 위해 Chuter and Bamber (2015)에 설명된 freeboard 산출 방법을 사용하였다. 먼저 고도계로 관측된 빙산 freeboard 높이는 EIGEN-6C4 Geoid를 이용하여 재산출 하였고, 조력에 의한 해수면 높이 변화는 DTU12MDT 및 CATS2008a 모델을 사용하여 보정하였다.

고도계로 관측된 freeboard 높이는 빙산이 유체 정역학적 평형 상태(hydrostatic equilibrium state)에 있다는 가정 하에 아래 식을 이용하여 두께로 변환될 수 있다.

$$Z - \delta = \frac{(e - \delta)\rho_w}{\rho_w - \rho_i} \quad (1)$$

위 식에서 Z 는 빙산의 두께, δ 는 firm 밀도 보정치(firm density correction), e 는 freeboard 높이, ρ_w 와 ρ_i 는 각각 해수와 빙산의 밀도이다. 이 연구에서는 Griggs and Bamber (2009)를 참고하여 해수와 빙산의 밀도를 각각 1027 kg m^{-3} 과 917 kg m^{-3} 로 정의하였고, firm 밀도 보정치는 10 m를 적용하였다.

빙산의 두께변화에 대한 정보를 제공하려면 동일한 위치에서의 두께를 지속적으로 관측해야 한다. 그러나 빙산은 계속해서 움직이기 때문에 동일 위치에서 시간에 따라 연속적인 두

계 관측은 불가능하다. 이에 빙산 상시 모니터링 시스템에는 SAR 영상에서 탐지된 빙산의 경계 내에서 CryoSat-2 기반의 빙산 두께 프로파일을 영상정보로만 제공한다.

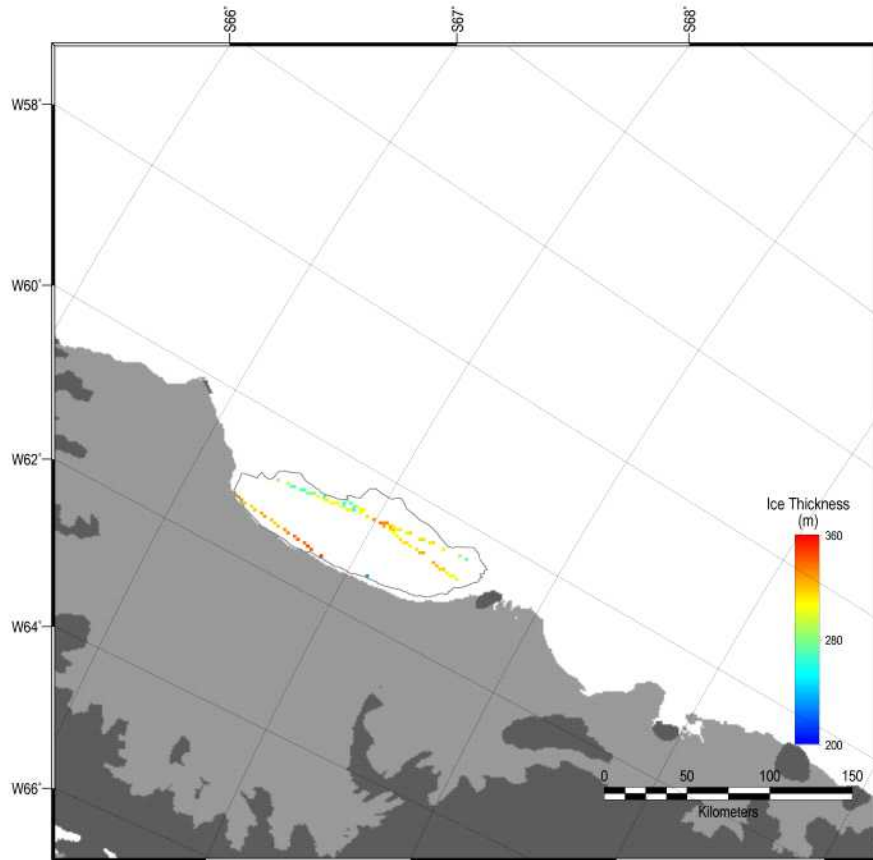


그림 67. 빙산 A-68 두께 위성정보 산출 예시

4. 빙붕 흐름속도 위성정보 산출 기법

대규모 빙산의 발생으로 인한 빙붕의 체적 감소는 빙붕의 흐름속도에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 이 연구에서는 빙산의 발생 이후 빙붕 속도변화에 대한 모니터링 정보를 제공하고 자 Sentinel-1 SAR 영상 기반 빙붕 흐름속도 산출기술을 확보하였다.

SAR 영상으로부터 빙붕의 흐름속도를 관측하는 데에는 레이더 간섭기법(InSAR)과 오프셋 추적기법이 있다. InSAR 기법은 동일한 연구지역에서 획득된 2장 이상의 SAR 영상으로부터 위상의 차이를 계산하여 지표 변위를 관측하는 기술이다. InSAR 기법으로 측정된 SAR 영상 사이의 위상차에는 지표면의 상대적인 고도 변화량과 변위, 대기효과에 의한 노이즈가 모두 포함되어 있다. InSAR로 관측된 위상차에서 상대적인 고도 변화량과 노이즈를 제거하면 지표면의 변위를 측정할 수 있다. 고도 변화량과 지표 변위에 비해 노이즈에 의한 위상차의 크기가 매우 작다고 가정하면, InSAR 결과로부터 고도 변화량에 의한 위상차를 제거하여 지표변위만을 추출할 수 있다. 고도 변화량에 의한 위상은 연구지역에 대한 수치

고도모델(digital elevation model, DEM) 등을 통해 모의할 수 있으며, 이를 InSAR로 관측된 위상차에서 차분하여 지표변위를 측정한다. 이를 통해 측정된 지표변위는 레이더 관측방향(line of sight, LOS)의 변위이다.

영상레이더로 관측된 지표변위는 대기효과 등에 의한 노이즈가 없을 경우 mm 급의 정밀도를 가질 수 있다. 또한 빙권의 지표변위는 일반적으로 알려진 레이더 간섭기법 수행 과정에서의 노이즈보다 훨씬 크다. 따라서 빙하의 흐름속도(Han and Lee, 2015; 2017), 빙붕의 조위변형(Han and Lee, 2014), 해빙의 변형(Han and Lee, 2018) 등 다양한 빙권 연구 분야에 영상레이더 간섭기법이 널리 활용되고 있다.

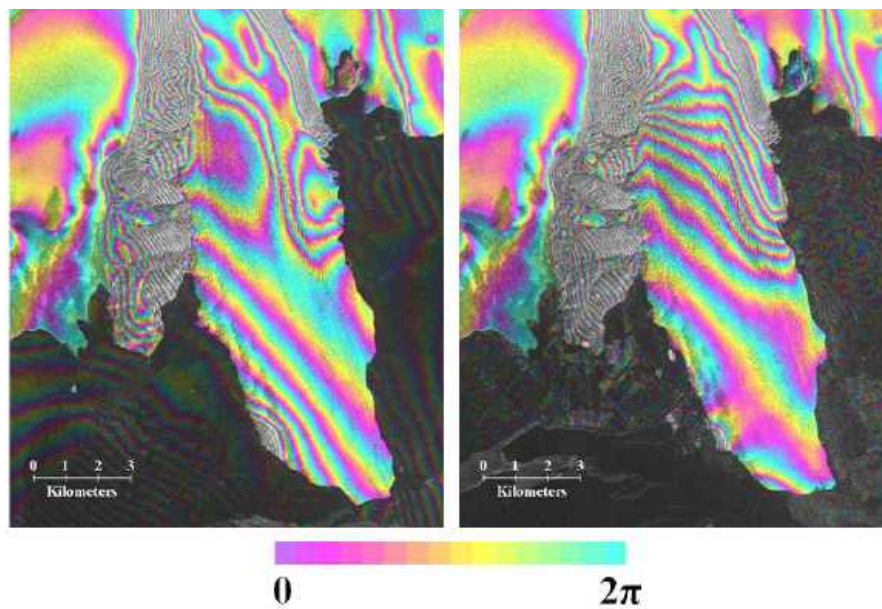


그림 68. InSAR로 관측한 빙하의 조위변형 (Han and Lee, 2014)

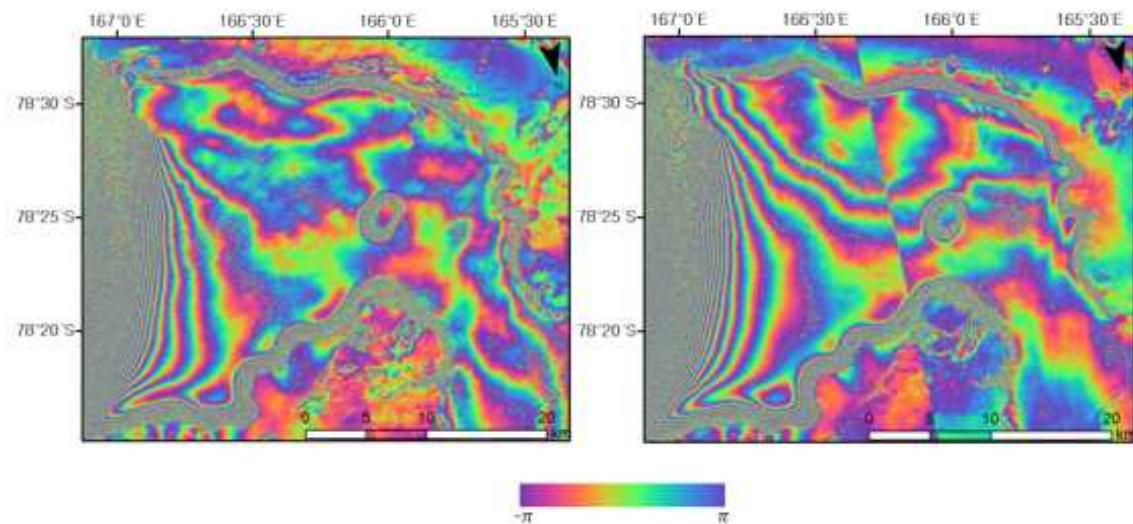


그림 69. Ross 빙붕에 대한 Sentinel-1 InSAR 영상 (한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018)

빙권 표면의 변위가 매우 크거나, 간섭기법 수행을 위한 SAR 영상 사이의 시간 차이가 크면 영상 사이에 decorrelation이 크게 발생하여 레이더 간섭기법에 의한 변위 측정이 어려울 수 있다. Larsen C 빙봉은 하루 동안 수 m의 흐름을 보이는 빙봉으로 InSAR 간섭기법의 적용이 어려울 수 있다. 그림 70은 2018년 8월 18일과 8월 24일에 Larsen C 빙봉에 대해 획득된 Sentinel-1 SAR 영상에 레이더 간섭기법을 적용하여 생성한 간섭도이다. 빙봉 표면에서는 빠른 흐름속도로 인한 decorrelation 때문에 간섭신호가 거의 관찰되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 Larsen C 빙봉의 흐름속도 관측에 InSAR 기법이 부적합함을 의미한다.

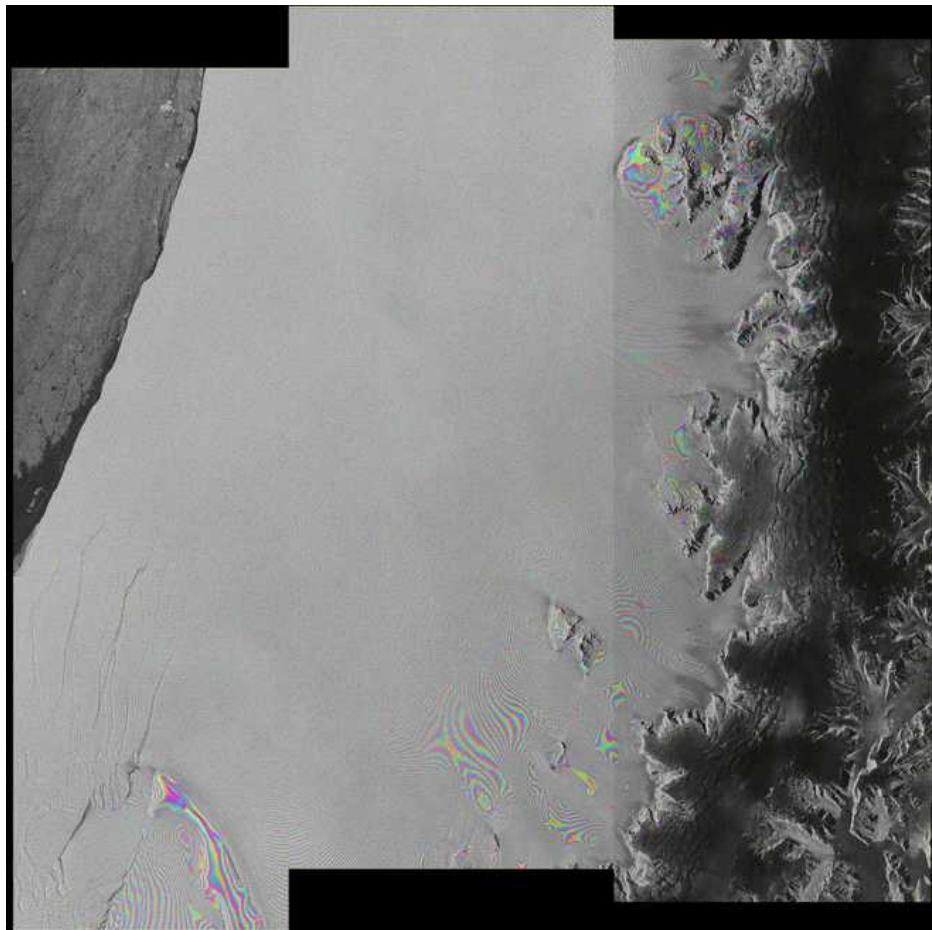


그림 70. Larsen C 빙봉에 대한 Sentinel-1 InSAR 영상

지표 변위가 매우 크거나 SAR 영상의 획득 주기, 즉 시간 차이가 크면 레이더 간섭기법 수행이 어렵다. 이러한 경우 오프셋 추적기법이 지표 변위 관측에 유용하게 활용될 수 있다. SAR 영상으로부터 오프셋 추적기법을 수행하는 데에는 SAR 영상의 강도(intensity)를 추적하는 기법과 간밀도(coherence)를 추적하는 기법이 있다(Strozzi et al., 2002). SAR 강도 추적은 영상의 강도를 이용하여 특정 크기의 이미지 패치가 관측 방향(range)과 위성 진행방향(azimuth) 방향에 대해 가장 높은 상관성을 가지는 위치를 찾음으로써 수행된다.

SAR 영상 사이에 높은 긴밀도가 유지되면 작은 이미지 패치를 통해 오프셋 추적이 가능해진다. 반면 긴밀도가 낮을 경우, 이미지 패치의 크기를 증가시켜야 하며, 이 경우 오프셋 추적이 가능하나 정확도가 낮아질 수 있다. 강도 추적과 상호 보완적으로 사용될 수 있는 긴밀도 추적은 이미지 패치가 긴밀도에 대해 가장 높은 상호 상관을 보이는 위치를 찾는 기법이다. 일반적으로 개략적인 오프셋을 사전에 정의한 후 수행된다.

오프셋 추적기법은 레이더 간섭기법 적용이 어려운 지역에 대해 높은 활용성을 가질 수 있다. 또한 레이더 간섭기법이 LOS 방향의 변위만 측정이 가능한데 비해 오프셋 추적기법은 2차원의 변위를 측정하기 때문에 빙하의 흐름 방향 등을 관측할 수 있는 장점이 있다. 그러나 지표 변위 관측 정밀도는 일반적으로 수 m 이며, 관측 공간 해상도 또한 이미지 패치 크기에 의존하여 수 백 m - 수 km인 단점이 있다.

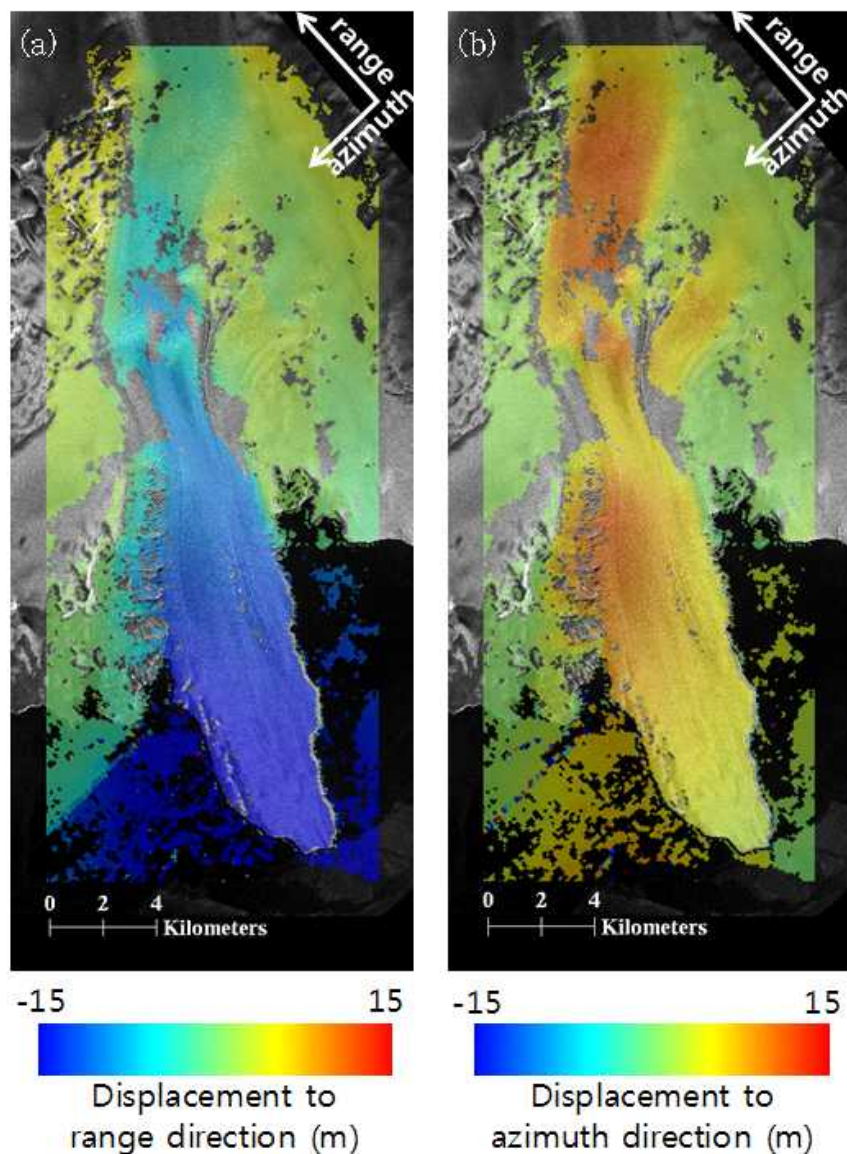


그림 71. 오프셋 추적기법으로 관측된 빙하의 흐름속도 (Han *et al.*, 2013)

Larsen C 빙봉은 흐름속도가 빠르기 때문에 오프셋 추적기법이 용이하게 활용될 수 있다. 그림 72는 그림 70의 레이더 간섭영상 제작에 사용된 Sentinel-1 SAR 영상을 오프셋 추적기법에 적용하여 생성한 range 방향, azimuth 방향의 표면 변위이다. 오프셋 추적기법 적용 결과는 레이더 간섭기법 적용 결과에 비해 훨씬 넓은 영역에서 흐름속도 산출이 가능함을 보여준다.

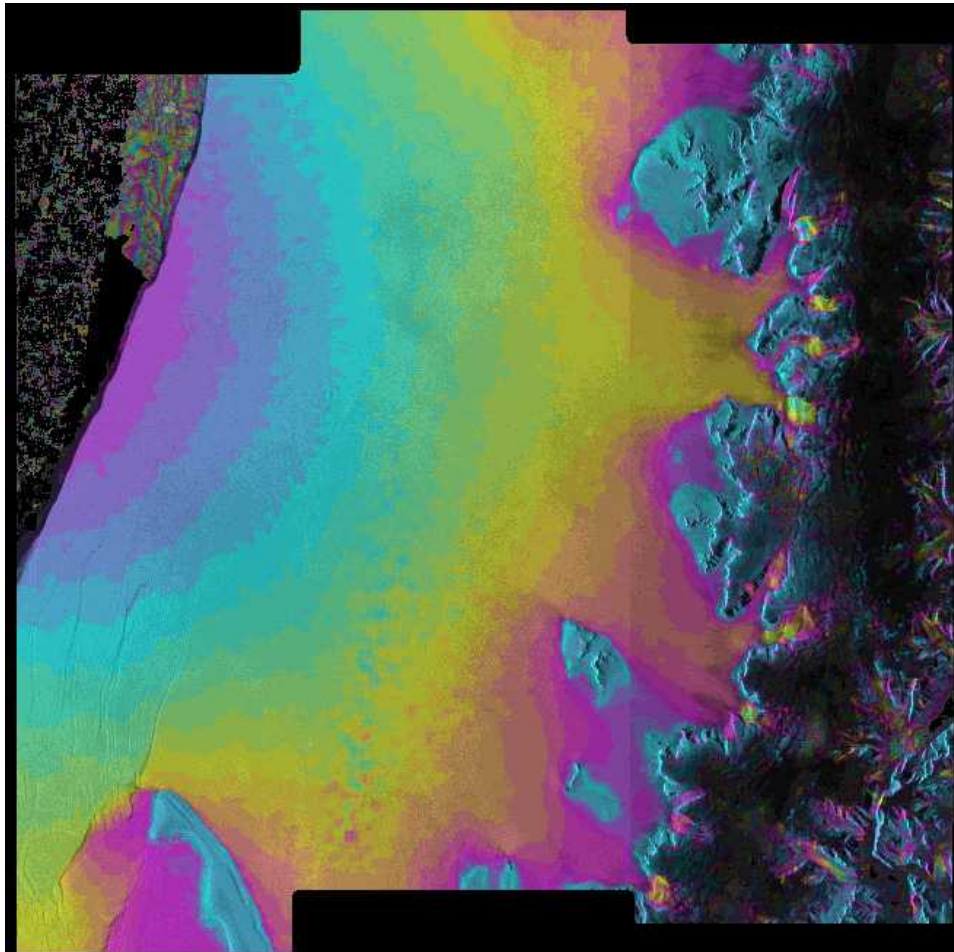


그림 72. Larsen C 빙봉에 대한 Sentinel-1 오프셋 추적기법 적용 결과

이 연구에서는 Sentinel-1A/B SAR 영상을 활용하여 6일 간격의 Larsen C 빙봉 흐름속도를 산출하고, 그림 72와 같은 흐름속도 정보를 상시 모니터링 시스템을 통해 제공할 수 있도록 하는 기술을 확보하였다.

5. 빙산 주변 해빙농도 위성정보 산출 기법

빙산의 용빙수는 바다로 유입되어 해류 순환뿐만 아니라 해양 생태계, 해빙의 형성 환경 등에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 인공위성에서는 바다 내부에서의 해류 순환과 해양 생태계의 변화에 관련된 정보를 쉽게 산출할 수 없지만, 해빙의 형성 환경에 대한 정보는 수동 마

이크로파 센서 기반 해빙농도를 통해 모니터링 할 수 있다. 이 연구에서는 SSMIS로 관측된 해빙과 바다의 마이크로파 복사특성에 NASA Team 알고리즘(Cavalieri *et al.*, 1984)을 적용하여 해빙농도를 산출하는 기술을 확보하였다.

NASA Team 알고리즘은 PR과 GR을 이용하여 해빙과 바다를 구분한다. PR과 GR은 각각의 채널(ν) 및 편파(p)에서 밝기온도(T_B)를 이용하여 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$PR(\nu) = \frac{(T_B(\nu, V) - T_B(\nu, H))}{(T_B(\nu, V) + T_B(\nu, H))} \quad (2)$$

$$GR(\nu_1 p \nu_2 p) = \frac{(T_B(\nu_1 p) - T_B(\nu_2 p))}{(T_B(\nu_1 p) + T_B(\nu_2 p))} \quad (3)$$

식 (2)와 식(3)으로부터 계산되는 PR(18)과 GR(37V18V)는 해빙의 종류와 open water를 구분하는 중요한 변수로 작용한다. 해빙은 PR(18)과 GR(37V18V)에서 작은 값을 가지게 된다. 반면에 open water는 PR(18)과 GR(37V18V)에서 모두 높은 값을 가지므로 해빙과의 구별이 용이하다.

A-68 빙산을 대상으로 하는 상시 모니터링 시스템에서는 빙산 주변 해역에 대한 월평균 해빙농도와 해당 월의 30년 평균 해빙농도에 대한 이상치(anomaly)를 제공하도록 하였다. 또한 남극 전역에 대한 월평균 해빙농도 정보도 함께 제공할 수 있는 자료처리 기술을 확보하였다.

극지연구소

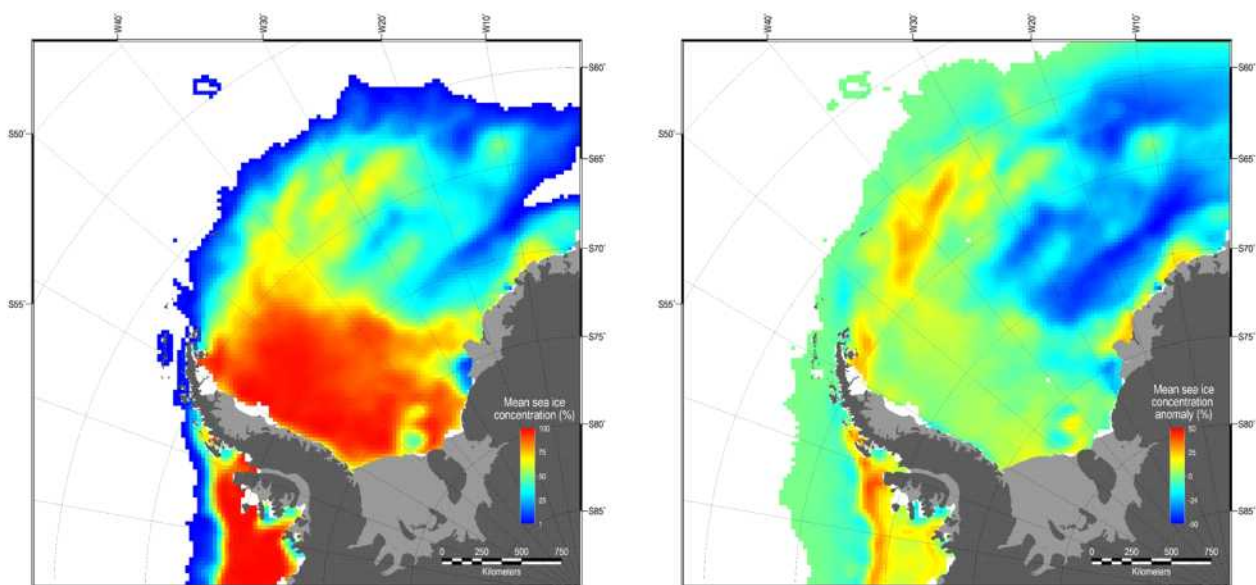


그림 73. 빙산 A-68 주변 해역의 2017년 1월 평균 해빙농도와 월평균 해빙농도의 이상치

제 4 절 빙산 위성 모니터링 정보서비스 웹사이트 구축

빙산 상시 모니터링 시스템에서 제공하는 인공위성 관측 기반 빙산 관련 정보는 빙산의 면적, 이동, 두께, 빙붕의 흐름속도, 빙산 주변 해빙농도로 정의되었다. 이 연구에서는 A-68 빙산 모니터링 정보의 대외 서비스 및 홍보를 수행하기 위해 “A-68 빙산 모니터링 정보서비스” 홈페이지(<http://kosmos.kopri.re.kr>)를 구축하였다. 본 홈페이지는 A-68 빙산 및 주변 환경에 대한 인공위성 모니터링 정보를 제공하고, 이를 바탕으로 극지연구소의 홍보 기능 강화를 목적으로 한다.

A-68 빙산 모니터링 정보서비스 홈페이지의 주요 기능은 다음과 같다.

- A-68 빙산 모니터링 정보 관련 콘텐츠 서비스
- 이용자 중심의 편의성을 고려한 빙산 모니터링 정보 제공
- 빙산 모니터링 연구의 홍보를 수행할 수 있는 디자인 및 콘텐츠 제공
- 정보서비스의 확장성을 고려한 페이지 구축 및 다양한 소셜네트워크서비스와 연동

빙산 상시 모니터링 정보서비스 홈페이지는 정부, 학계, 교육계, 언론, 산업계 및 해외 연구기관이 쉽게 접근할 수 있도록 구성하고, 디자인 요소와 콘텐츠 요소를 분리하여 디자인 변경 및 유지관리가 편리하도록 설계하였다. 메뉴의 재구성, 콘텐츠 분류로 메뉴 계층을 4 단계 이하로 최소화 하도록 설계하였고, 모니터링 정보 콘텐츠를 쉽게 업데이트 할 수 있도록 하였다. 또한 스마트폰 환경에서 이용하기 편리한 반응형 홈페이지로 개발하여 다양한 소셜 네트워크 서비스와의 연동될 수 있도록 하였다.

빙산 상시 모니터링 정보서비스 홈페이지의 메뉴 구성을 요약하면 다음과 같다.

표 19. 빙산 상시 모니터링 정보서비스 홈페이지 메뉴 구성

주요 항목		하위 항목	상세 설명
빙산 모니터링 정보 서비스	소개	- 프로젝트 소개 - 공지사항	- 빙산 모니터링 과제 소개 - 모니터링 관련 공지사항
	빙산 개요	- A-68 빙산	- A-68 빙산 상세 설명
	모니터링 소식	- 빙산 모니터링 소식	- 빙산 모니터링 정보 분석 게시 - 분석결과 주기적 업데이트
	빙산 관측	- 빙산 위성관측 정보 - 빙산 현장관측 정보	- 빙산 위성관측 자료 게시 - 위성정보 이미지 다운로드
	연구진	- 참여 연구진 소개	- 참여 연구진 및 연구분야 소개
	관련사이트	- 국내기관 - 국외기관	- 국내외 관련 사이트

1. 메인화면 구성

빙산 A-68 상시 모니터링 정보서비스 홈페이지의 메인화면은 메인 배너 영역, A-68 빙산 간략 소개 영역, 주요 핵심 뉴스 영역, A-68 빙산 모니터링 정보 영역, 홈페이지 하단 등 총 5개의 영역으로 구성하였다.

메인 배너 영역은 홈페이지 방문자의 관심을 집중시킬 수 있도록 남극 빙산에 대한 동영상으로 구성하였고, A-68 간략 소개 영역은 SAR 영상과 함께 빙산에 대한 설명으로 구성하였다. 주요 핵심 뉴스 영역은 A-68 빙산 모니터링 정보 또는 극지연구소에서 핵심적인 연구수행 결과를 전달하기 위한 카테고리 구성하였다. 홈페이지 게시물 중에 카테고리를 'Featured News'로 지정할 경우, 해당 항목에 관련 글이 나타나도록 하였다.

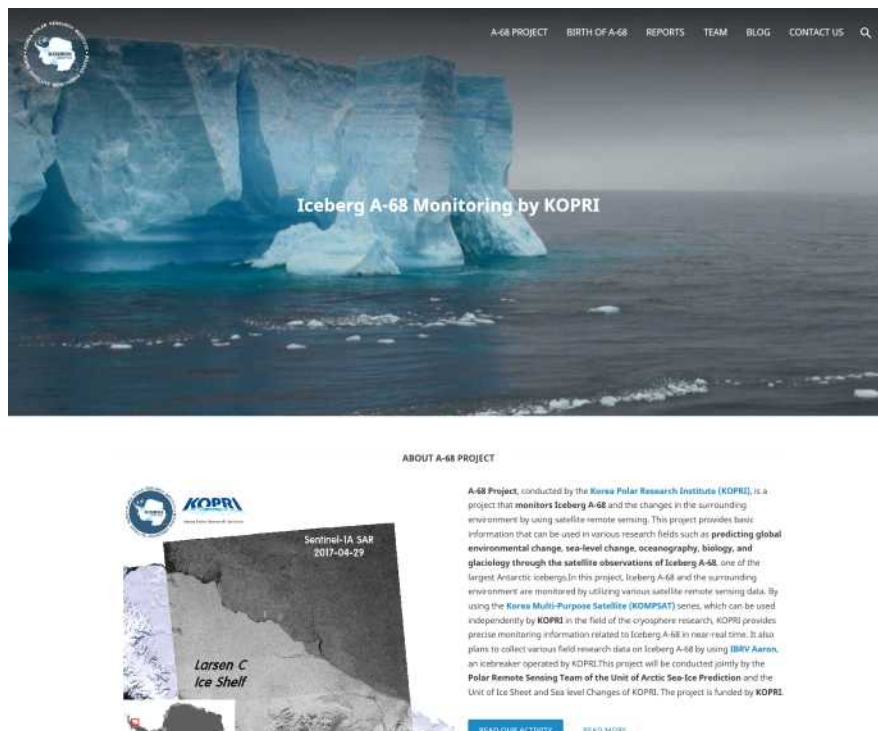
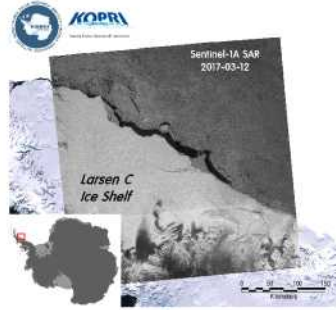


그림 74. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 메인 배너 영역



ABOUT A-68 PROJECT



A-68 Project, conducted by the Korea Polar Research Institute (KOPRI), is a project that monitors Iceberg A-68 and the changes in the surrounding environment by using satellite remote sensing. This project provides basic information that can be used in various research fields such as predicting global environmental change, sea-level change, oceanography, biology, and glaciology through the satellite observations of Iceberg A-68, one of the largest Antarctic icebergs. In this project, Iceberg A-68 and the surrounding environment are monitored by utilizing various satellite remote sensing data. By using the Korea Multi-Purpose Satellite (KOMPSAT) series, which can be used independently by KOPRI in the field of the cryosphere research, KOPRI provides precise monitoring information related to Iceberg A-68 in near-real time. It also plans to collect various field research data on Iceberg A-68 by using BRUV Aeon, an underwater robot operated by KOPRI. This project will be conducted jointly by the Polar Remote Sensing Team of the Unit of Arctic Sea Ice Prediction and the Unit of Ice Sheet and Sea Level Changes of KOPRI. The project is funded by KOPRI.

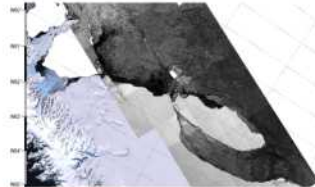
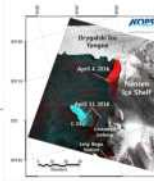
READ OUR ACTIVITY READ MORE

FEATURED NEWS FOR ICEBERG A-68



NEWS FEATURED NEWS

An example of Ice shelf/Iceberg monitoring by KOMPSAT-5 - Collapse of Nansen Ice Shelf and Iceberg C-33



BLOG WATCHED NEWS

KOMPSAT-5 observes Iceberg A-68 continuously

6 months ago 1 comment

KOMPSAT-5 is the first Korean satellite launched with an X-band Synthetic

그림 75. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 빙산 간략 소개 및 주요 뉴스 영역

A-68 빙산 모니터링 정보 영역은 빙산의 면적, 두께, 이동, 빙산 주변 해빙농도, 빙산 속도 등 5가지 주요 빙산 정보에 대한 카테고리로 이동할 수 있게 제작하였다. 메인화면의 하단 영역은 A-68 빙산 모니터링 정보 카테고리 링크, 빙산 위성영상과 시계열 분석 차트 링크, 그리고 관련 사이트 연동으로 구성하였다.

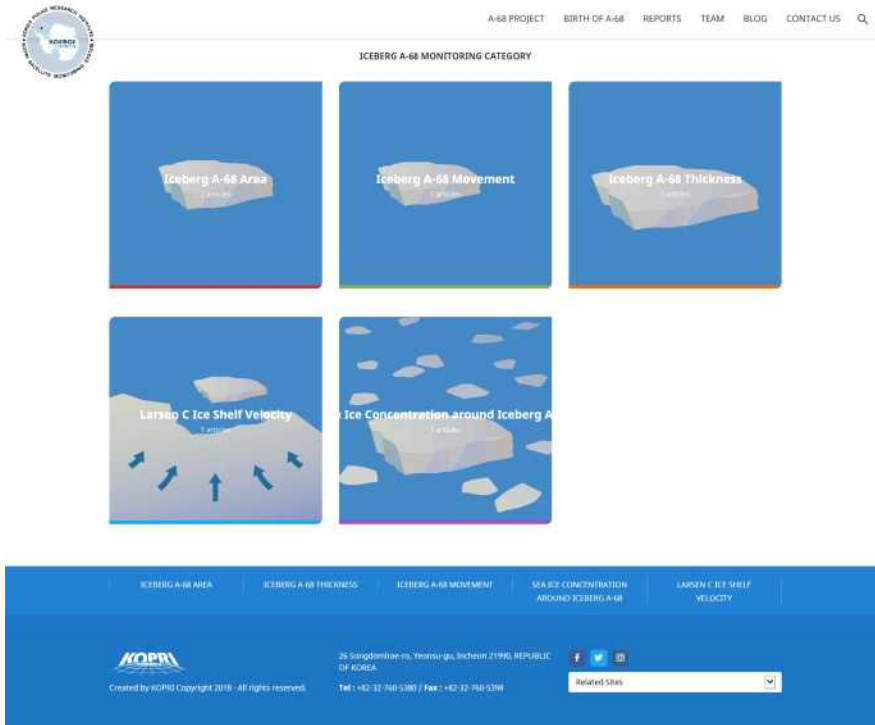


그림 76. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 메인화면 모니터링 정보 영역

2. 빙산 A-68 모니터링 연구 소개 페이지 구성

아래온호의 남극 연구향해 당시 헬리콥터 운항을 통해 취득된 남극 빙봉 영상을 Youtube 에 업로드하여 A-68 빙산 모니터링에 대한 내용을 보다 시각적으로 구성하였다. 촬영된 동 영상에는 KOPRI 로고를 삽입하여 대외적 홍보 가치를 높이고자 하였다.

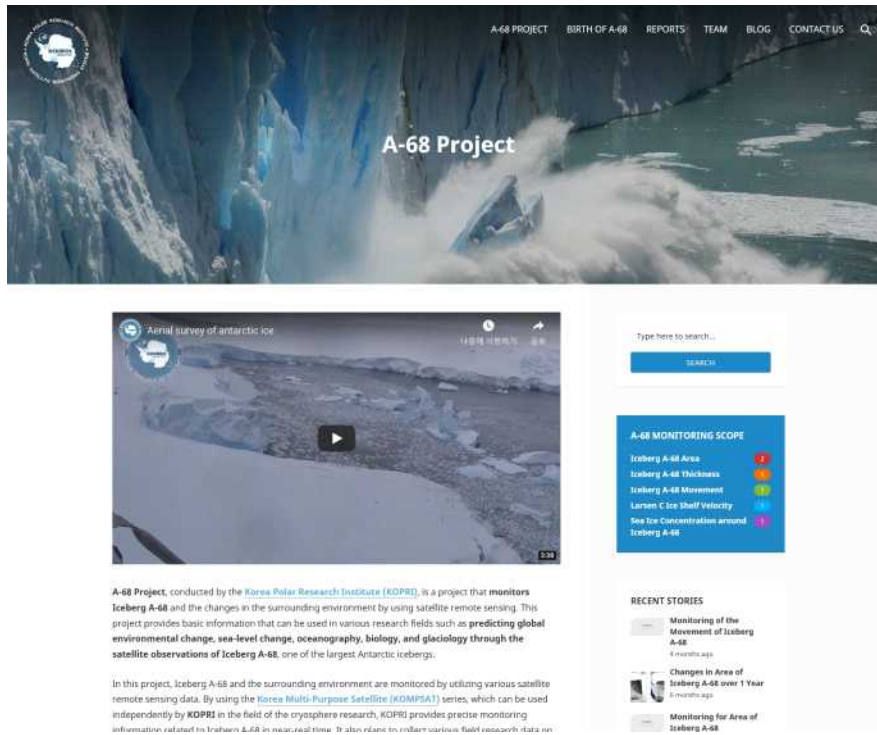


그림 77. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 모니터링 연구 소개 페이지

화면의 우측 사이드 바는 A-68 빙산 모니터링 정보 홈페이지 내의 자료를 검색할 수 있는 기능과 빙산 모니터링 각 항목별 정보 카테고리 바로 이동할 수 있는 기능을 포함하도록 하였다. 또한 가장 최근에 등록된 기사 정보를 볼 수 있도록 구성하였다. 홈페이지 화면 우측 사이드 바는 모든 페이지에서 동일하게 나타나도록 하였다.

3. 빙산 A-68 발생 소개 페이지 구성

이 페이지에서는 Larsen C 빙붕의 붕괴 과정과 A-68 빙산이 발생한 배경을 위성영상과 함께 설명하였다.

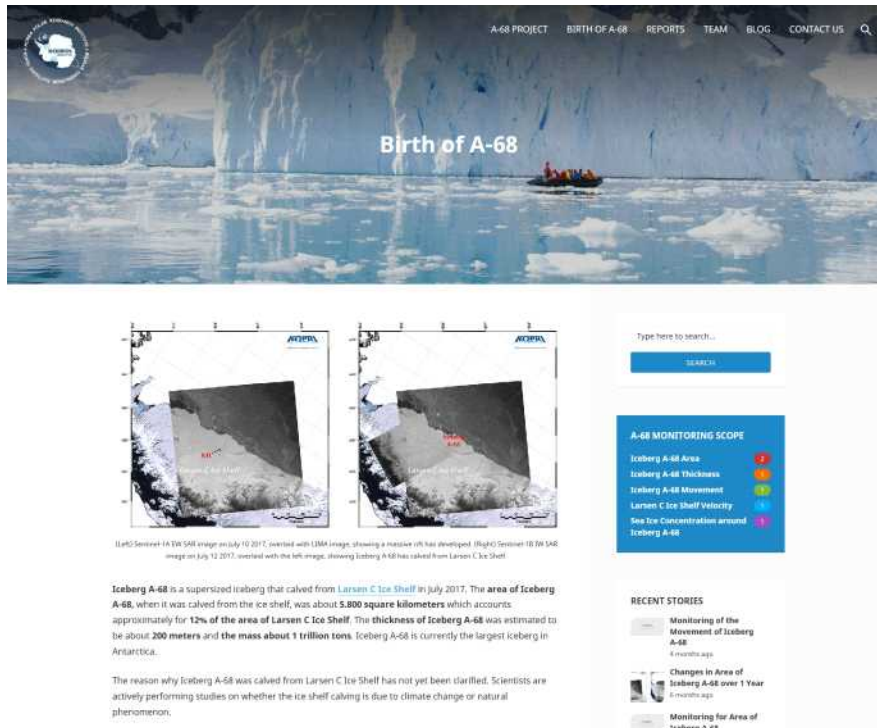


그림 78. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 발생 소개 페이지

4. 빙산 위성 모니터링 정보 리포트 페이지 구성

A-68 빙산 모니터링 정보 리포트는 블로그 형식의 구성으로서 빙산의 면적, 두께, 이동, 빙산 주변 해빙농도, Larsen C 빙붕 흐름속도 관련 기사를 나열하고, 제목 상단에 개별 카테고리 항목을 배치하여 항목별 정보 검색이 용이하도록 구성하였다. 빙산 정보 관련 기사에 이미지가 포함될 경우 해당 이미지를 기사의 대표 이미지로 목록에 나타나게 하였으며, 이미지가 없을 경우에는 KOPRI 로고가 자동으로 대표 이미지로 나타나도록 구성하였다.

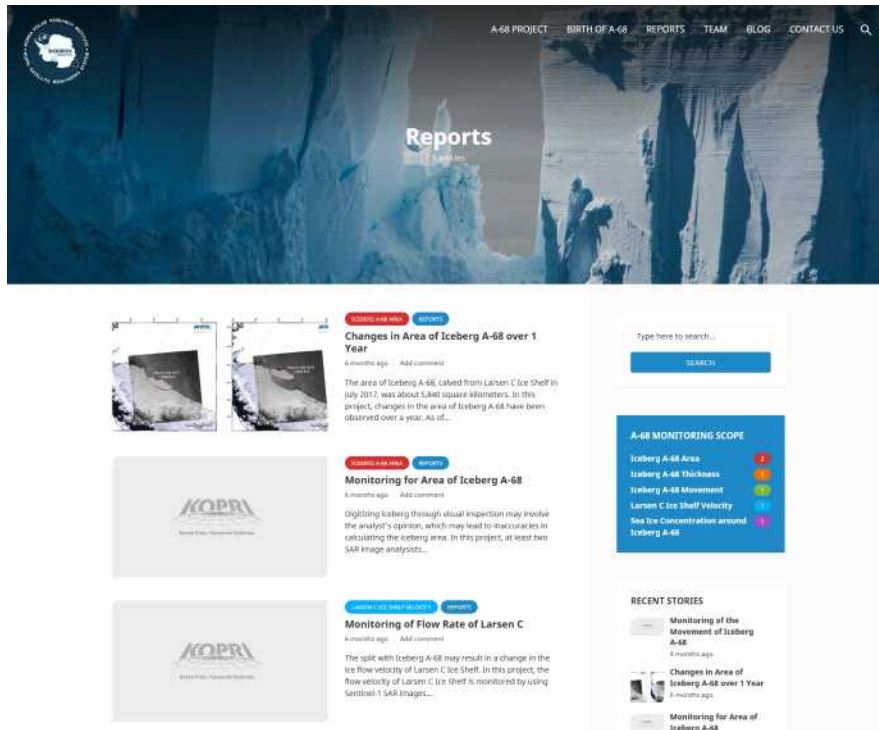


그림 79. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 리포트 페이지 구성

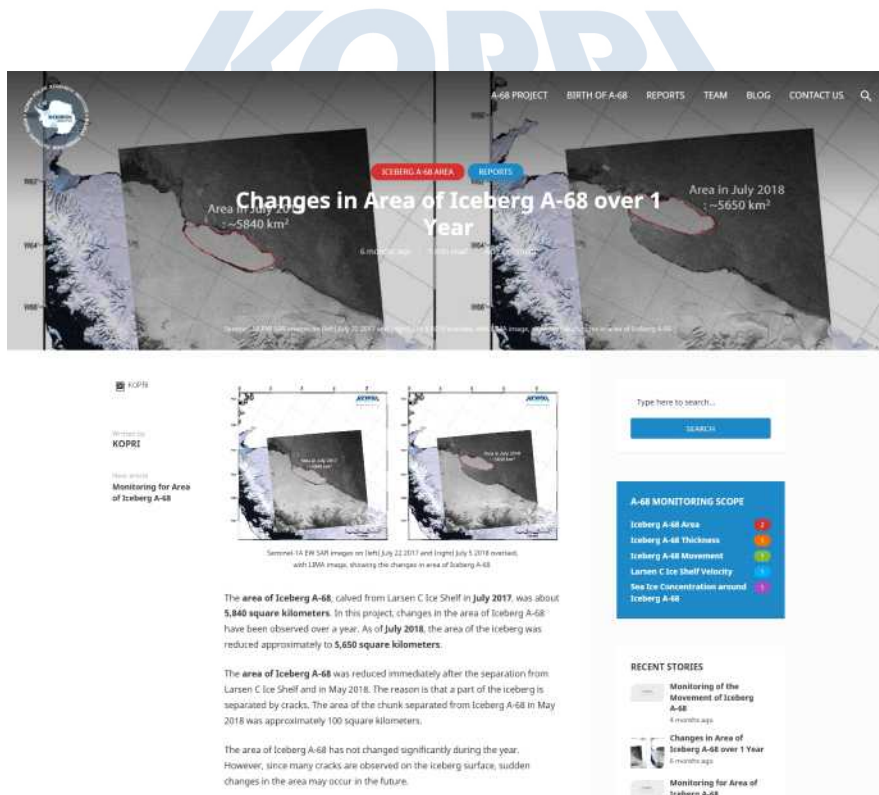


그림 80. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 리포트 목록

5. 빙산 A-68 면적 정보서비스 페이지 구성

A-68 빙산 면적 정보는 관리자가 특정 일자의 SAR 이미지와 면적의 값을 등록하게 되면 자동으로 이미지의 시계열 변화를 보여주고, 면적의 값은 전용 차트를 통해 나타나도록 구성하였다. 사용자는 모니터링 기간을 직접 설정할 수 있으며, 면적에 대한 위성 이미지와 차트는 사용자가 설정한 기간에 대해서만 표출된다.

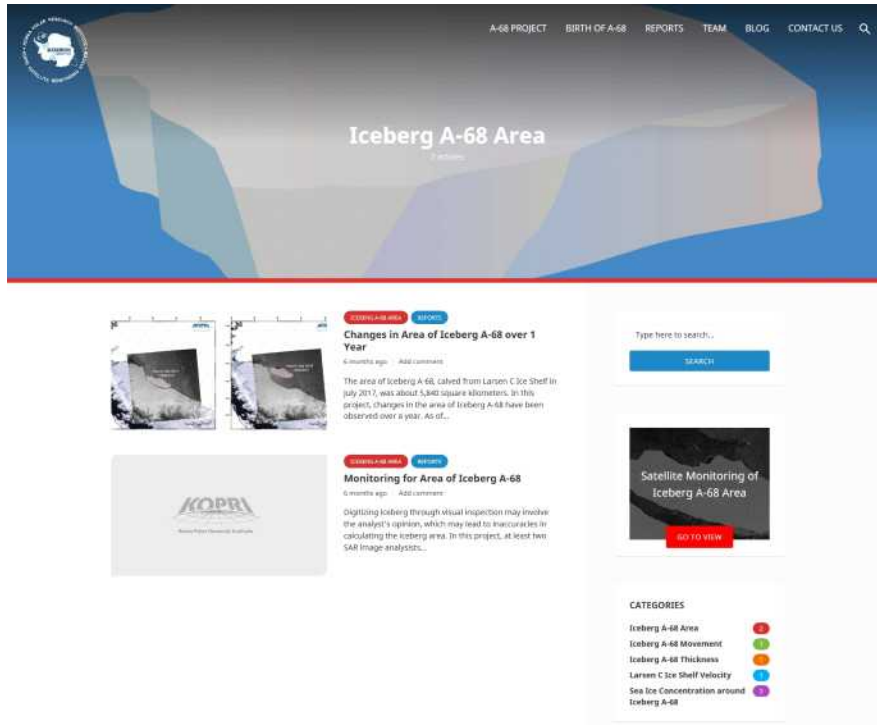


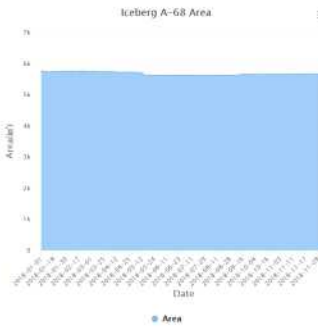
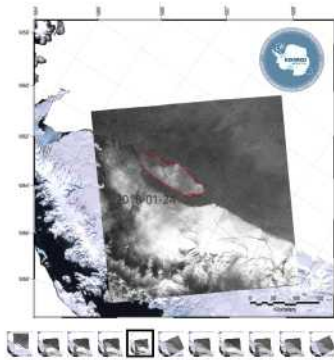
그림 81. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 면적 정보제공 페이지



Iceberg A-68 Area

2018-01-01 - 2018-12-31

SEARCH



ICEBERG A-68 AREA ICEBERG A-68 THICKNESS ICEBERG A-68 MOVEMENT SEA ICE CONCENTRATION AROUND ICEBERG A-68 LARSEN C ICE SHELF VELOCITY

KOPRI
35 Sangghomni-ro, Yongsu-gu, Incheon 21983, REPUBLIC OF KOREA
Created by KOPRI Copyright 2018 - All rights reserved. Tel : +82-32-760-5388 / Fax : +82-32-760-5398

Related Sites

그림 82. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 면적 위성정보 표출 화면

6. 빙산 A-68 이동 정보서비스 페이지 구성

A-68 빙산 이동 정보는 관리자가 특정 일자의 빙산 위치 이미지와 이동속도 값을 등록하면 자동으로 이미지의 시계열 변화를 보여주고, 이동속도 변화 값은 전용 차트를 통해 나타나도록 구성하였다. 사용자는 모니터링 기간을 직접 설정할 수 있으며, 빙산의 위치 및 이동에 대한 위성 이미지와 차트는 사용자가 설정한 기간에 대해서만 표출된다. 빙산의 이동은 빙산 중심부에서 관측된 값을 표출하도록 설계하였다.

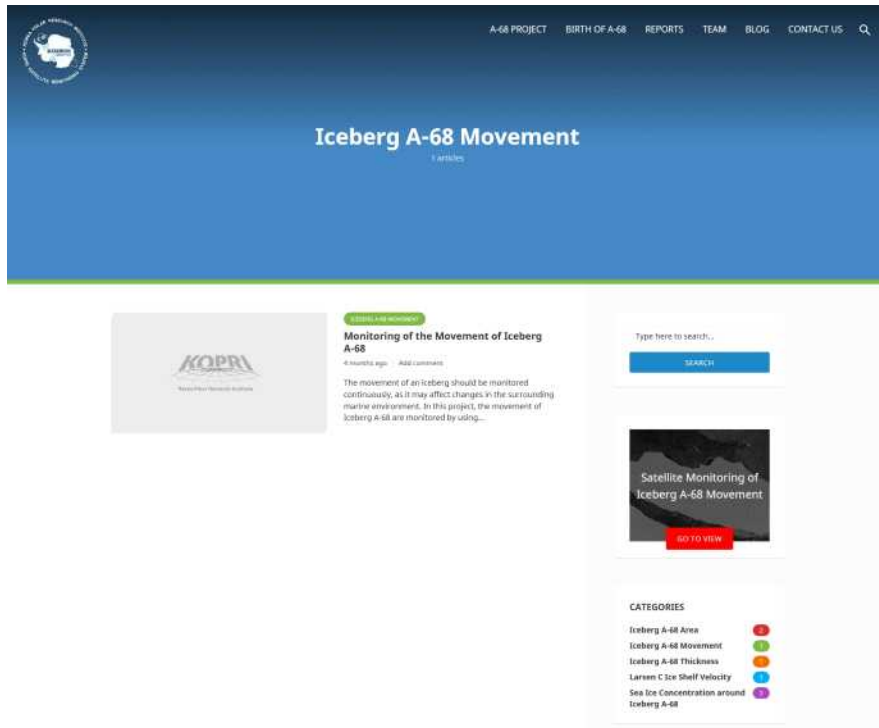


그림 83. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 이동 정보제공 페이지

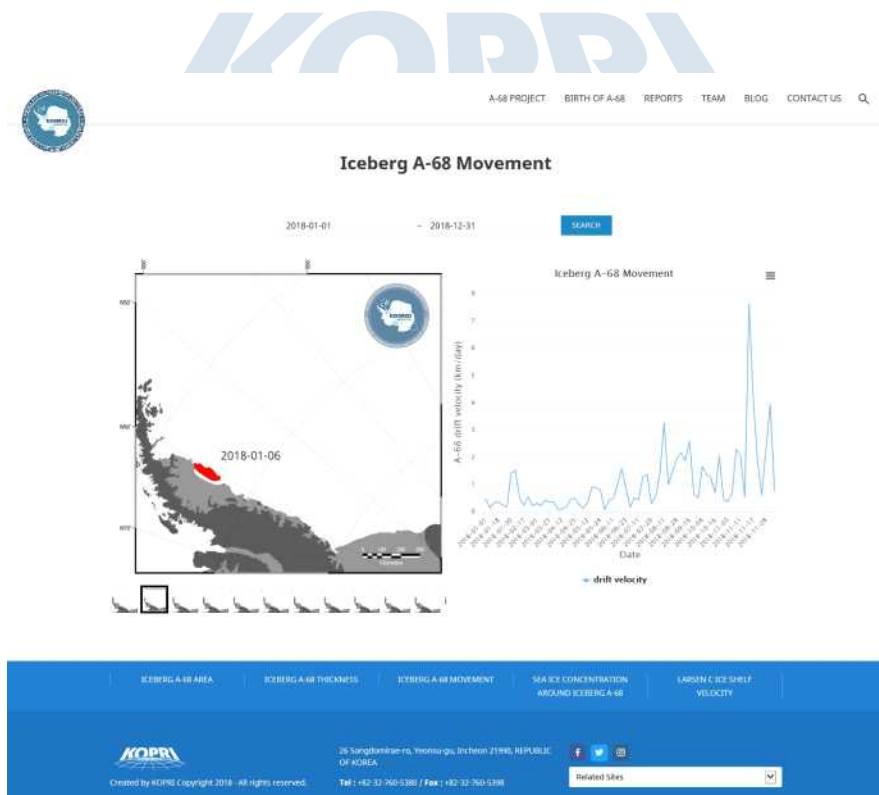


그림 84. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 이동 위성정보 및 분석결과 표출 화면

7. 빙산 A-68 두께 정보서비스 페이지 구성

A-68 빙산 두께 정보는 SAR 영상에서 빙산의 경계를 추출한 후, 빙산 경계 내에 포함된 CryoSat-2 관측 프로파일로부터 산출된 두께를 오버레이 한 이미지를 표현하도록 구성하였다. 관리자는 표현하고자 하는 두께 정보 이미지와 날짜를 등록하면 자동으로 이미지의 변화가 나타날 수 있도록 하였다. 사용자는 모니터링 기간을 직접 설정할 수 있으며, 빙산 두께에 대한 이미지는 사용자가 설정한 기간에 대해서만 표출된다.

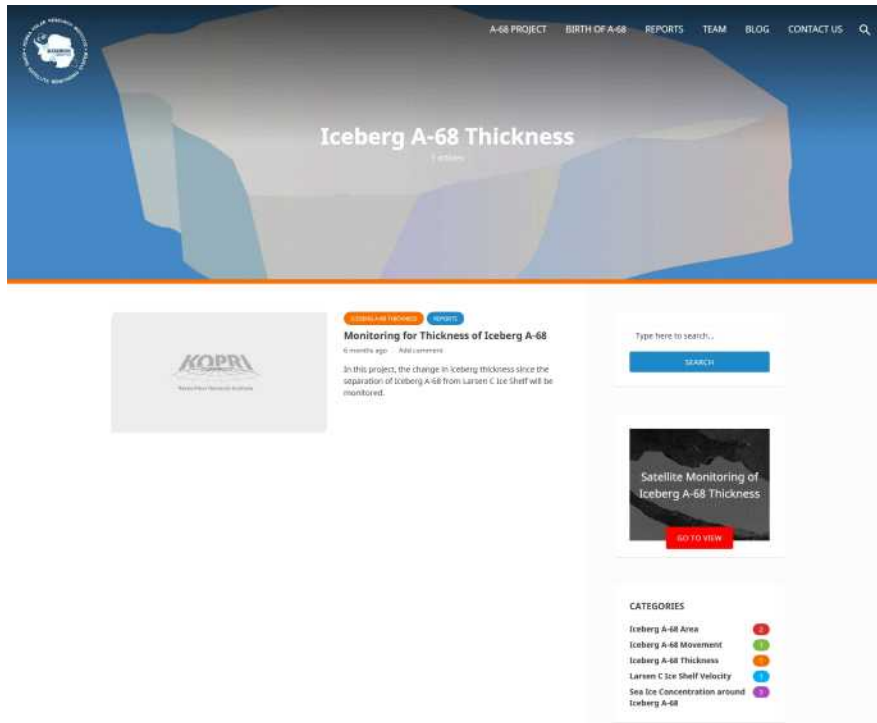
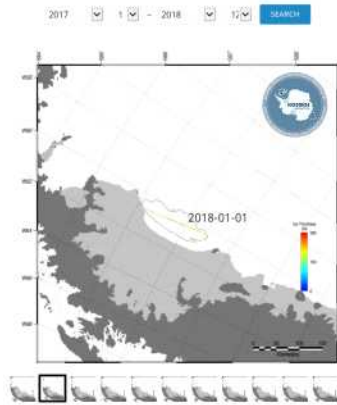


그림 85. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 두께 정보제공 페이지



Iceberg A-68 Thickness



The thickness of the iceberg is estimated from the CryoSat-2 observations. Changes in the thickness of the iceberg can be investigated by interpolating the spatiotemporally distributed observations of CryoSat-2 onto certain points. However, due to the drift of the iceberg, complex data processing is needed. Information on changes in the thickness of the iceberg will be provided later on.



그림 86. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 두께 위성정보 표출 화면

A-68 빙산 두께 모니터링 이미지 하단에는 CryoSat-2를 이용하여 정보를 생산하였음을 밝혔으며, 빙산의 지속적인 움직임으로 인해 특정 위치에서의 빙산 두께 변화 정보 제공이 어렵다는 내용을 표현하였다.

극지연구소

8. Larsen C 빙붕 흐름속도 정보서비스 페이지 구성

Sentinel-1 SAR 오프셋 추적기법으로 산출된 Larsen C 빙붕의 흐름방향에 대한 속도 이미지와 SAR 영상의 날짜를 등록하면 자동으로 이미지의 변화를 볼 수 있도록 구성하였다. 사용자는 모니터링 기간을 직접 설정할 수 있으며, 빙붕 흐름속도 이미지는 사용자가 설정한 기간에 대해서만 표출된다.

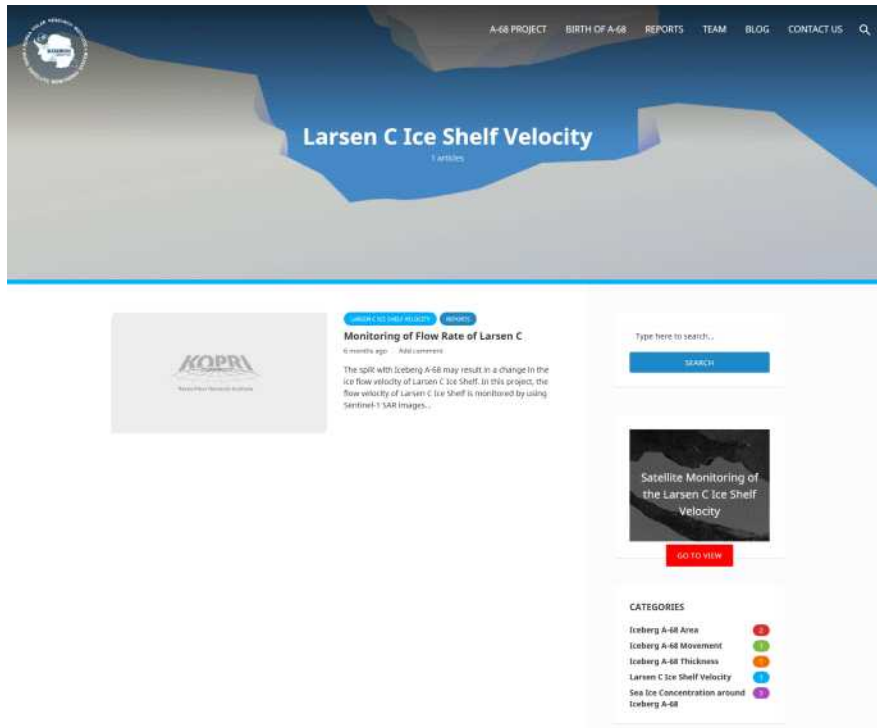


그림 87. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Larsen C 빙붕 흐름속도 정보제공 페이지

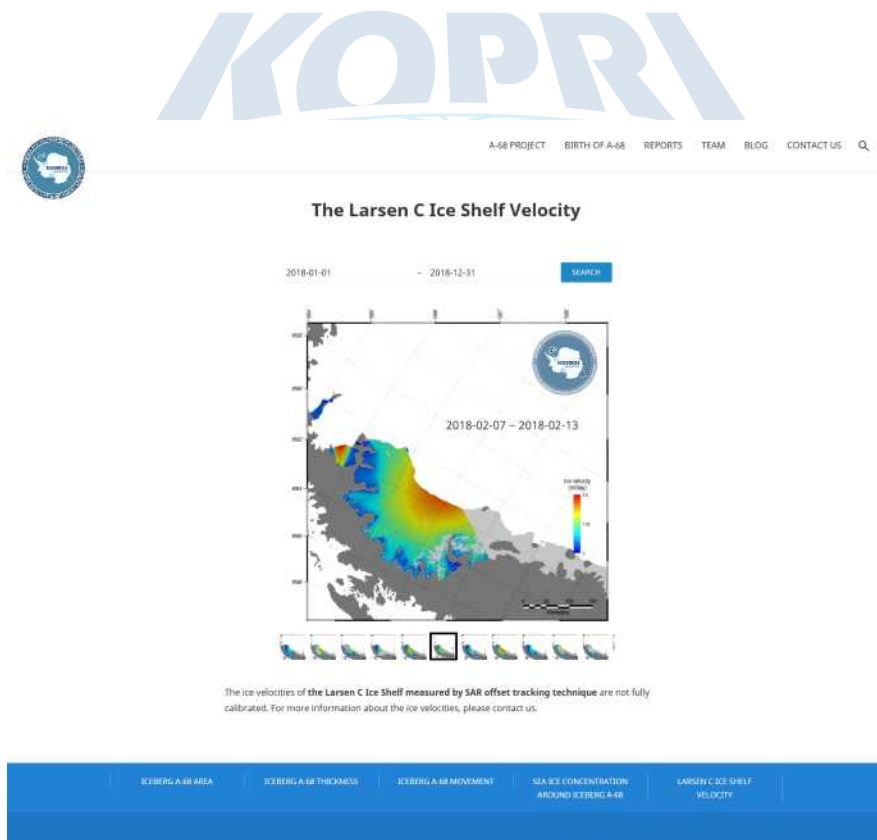


그림 88. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Larsen C 빙붕 흐름속도 위성정보 표출 화면

Larsen C 빙붕 흐름속도 모니터링 이미지 하단에는 SAR 영상의 오프셋 추적을 통해 정보를 생산하였음을 밝혔으며, 제공되는 정보의 완전한 검토정이 이루어지지 않았다는 내용을 표현하였다.

9. 빙산 A-68 주변 해빙농도 정보서비스 페이지 구성

관리자가 월평균 해빙농도 및 해빙농도의 이상치 이미지를 시간 정보와 함께 등록하면 자동으로 등록 이미지들의 시간적 변화가 표출되도록 구성하였다. 이미지 하단에는 빙산 주변 해역의 월평균 해빙농도 이상치와 전 남극에 대한 해빙농도 이상치에 대한 차트가 표출되도록 하였다. 사용자는 모니터링 기간을 직접 설정할 수 있으며, 해빙농도 정보는 사용자가 설정한 기간에 대해서만 표출된다.

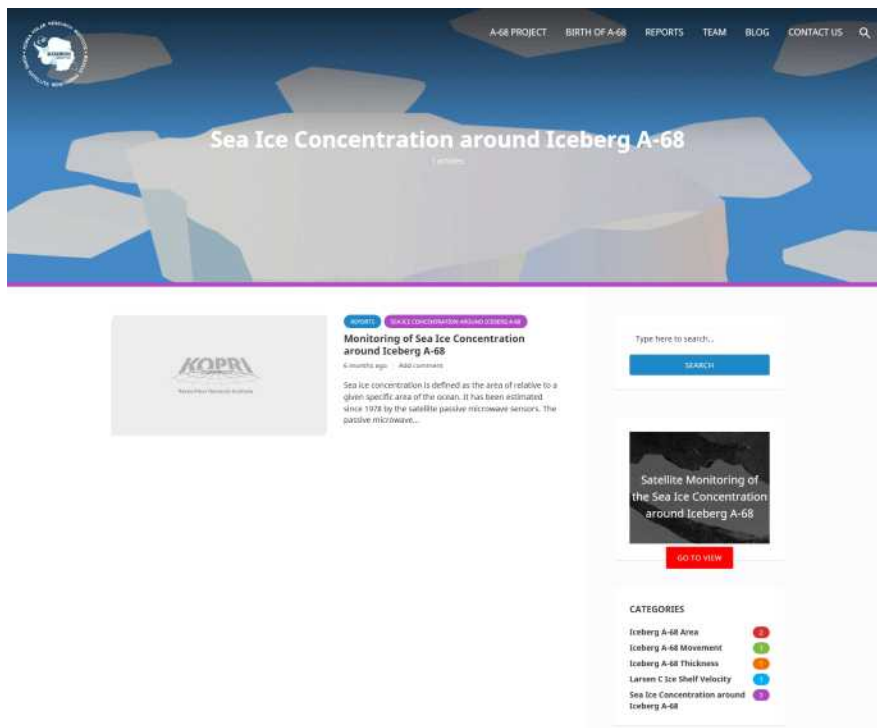


그림 89. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 정보제공 페이지



Sea Ice Concentration around Iceberg A-68

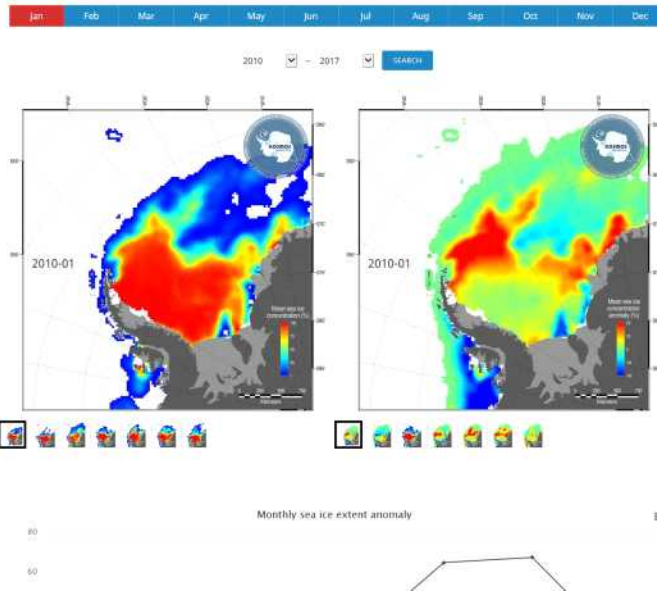


그림 90. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 위성정보 표출 화면



그림 91. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 빙산 주변 해빙농도 위성정보 분석결과 표출 화면

10. 연구팀 구성원 페이지 구성

연구팀 구성원은 관리자 모드에서 지속적으로 추가가 가능하도록 설계하였다. 이 페이지에서는 팀 구성원의 이미지를 클릭할 때 마다 해당 연구원 정보가 열람되도록 구성하였다. 구성원의 정보는 성명, 직급, 직무내용 등을 자유롭게 작성할 수 있도록 하였으며, 이메일과 전화번호 등 연락처를 별도로 입력하도록 구성하였다. 개별 SNS 계정이 있을 경우 등록하여 유사 관심 방문자들과 커뮤니케이션이 가능하도록 하였다.

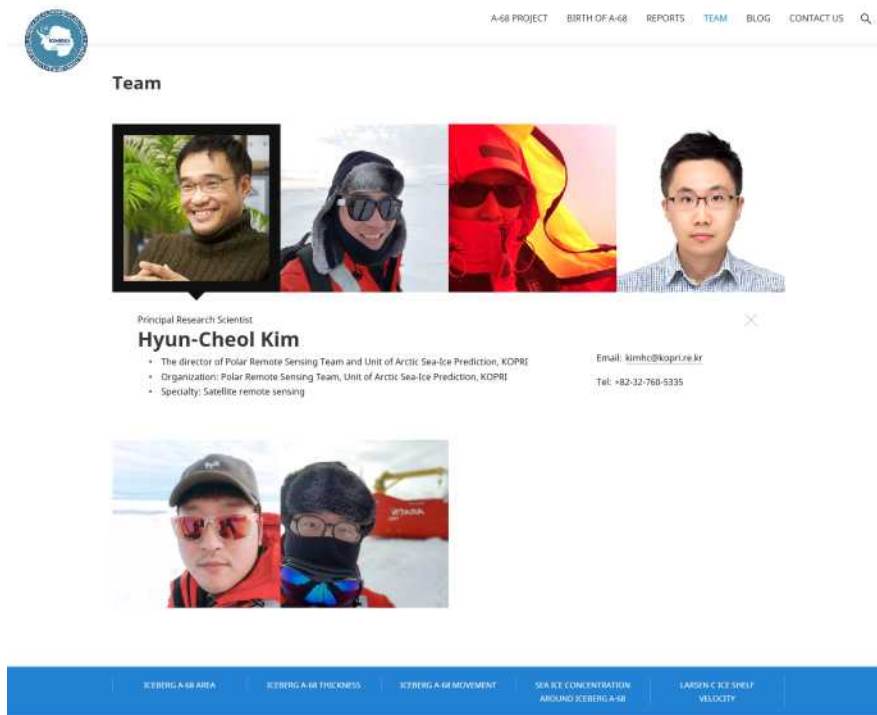


그림 92. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 연구팀 소개 페이지

11. 블로그 페이지 구성

블로그 페이지는 A-68 빙산 모니터링 정보 서비스와는 별개로 극지연구소에서 수행 중인 남극 연구활동 등 다양한 정보 제공을 위한 카테고리 구성하였다. 정보 구성은 동영상, 이미지 및 텍스트를 자유롭게 등록할 수 있도록 하였다. 현재 블로그 페이지에서는 아리랑 위성을 활용한 A-68 빙산 관측 가능성과 난센 빙봉의 붕괴로 발생한 C33 빙산 추적에 대한 연구활동에 대해 정보를 제공하고 있다.

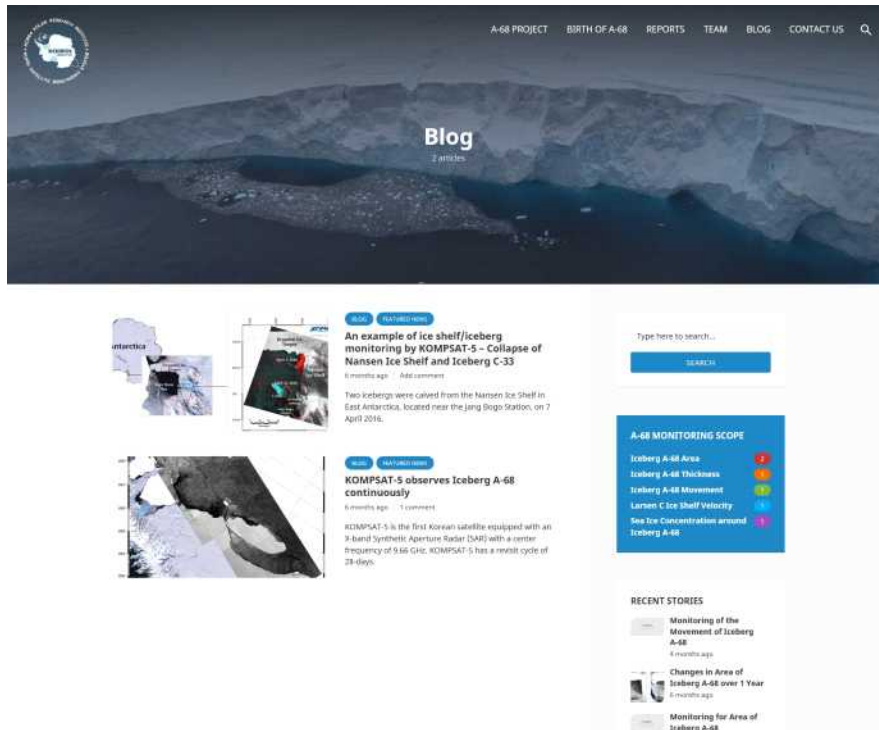


그림 93. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 블로그 목록 페이지

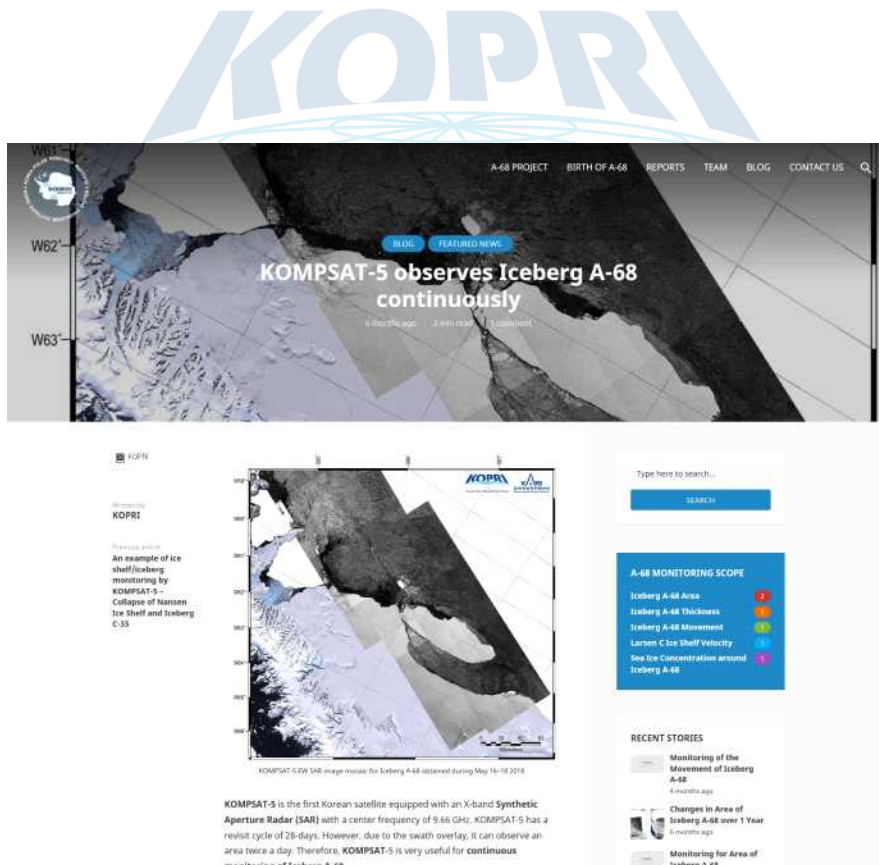


그림 94. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 블로그 세부 내용 페이지

12. Contact Us 페이지 구성

Contact Us 페이지는 다음과 같이 구성된다. 먼저 구글 지도 위에 극지연구소의 이미지와 위치 정보를 볼 수 있도록 구성하였다. 그리고 웹사이트 방문자가 문의가 필요한 경우, 이름, 이메일 및 문의 내용을 입력하고 전송 버튼을 누르면 지정된 담당자에게 문의 내용이 이메일로 자동 전송되도록 구성하였다.

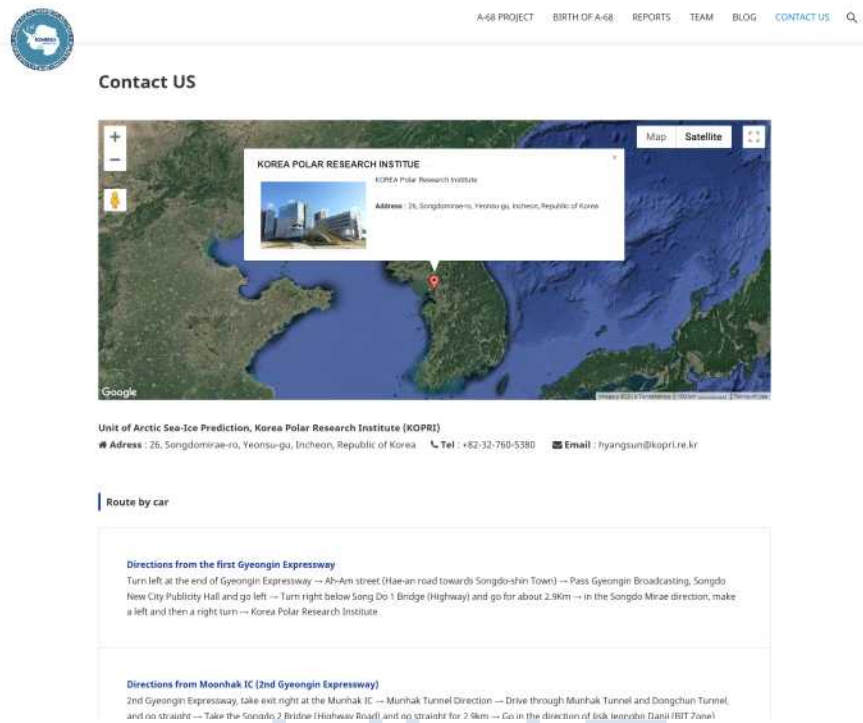


그림 95. 빙산 A-68 모니터링 정보서비스 홈페이지 Contact Us 페이지

제 5 절 빙산 상시 모니터링 시스템 구축 및 운영전략 설계

이 연구에서 수행된 인공위성 기반 빙산정보 산출기술 확보 및 A-68 빙산 모니터링 정보 서비스 결과를 바탕으로 위성탐사를 통한 대형 빙산 및 주변 환경 상시 모니터링 시스템 구축안 및 운영 전략을 설계하였다.



그림 96. 위성 관측 기반 남극 빙산 상시 모니터링 시스템 설계 모식도

극지연구소

- 상시 모니터링 위성자료 자동 수신
 - 남극 대형 빙산 및 주변 지역에 대해 지속적으로 촬영이 가능한 위성으로부터 대용량 자료 자동 수신 기술 요구
 - STAR 시스템을 활용한 아리랑 및 Sentinel-1 SAR 영상 자료 자동 수신 기술 기 확보
 - CryoSat-2 등 STAR 시스템이 수집하지 않는 위성자료에 대한 자동 수신 기술 구축
- 위성 모니터링 자료 자동처리 및 가시화
 - SAR 영상 기반 빙산 자동탐지 기술 및 가시화 알고리즘 개발 수행
 - SAR 영상 기반 빙산 이동정보 자동 산출 기술 및 가시화 알고리즘 개발 수행
 - SAR 오프셋 추적기법 자동 수행 기술 기 확보, 빙봉 흐름속도 자동 가시화 기술 개발 수행
 - 위성 레이더 고도계 기반 빙산 두께 자동 산출 기술 및 가시화 알고리즘 개발 수행

- 빙산 주변 해빙농도 시계열 통계 처리 기술 구현

○ 위성 기반 빙산 정보 산출물 체계화

- 빙산 모니터링 정보 산출물 대외 서비스를 위해 산출물 다운로드, 빙산 정보 시계열 분석 기능 탑재
- 학술연구를 위한 위성정보 DB 구축 및 제공 기능
- 남극을 대상으로 하는 연구 분야의 위성정보 서비스를 위한 위성탐사·빙권정보 센터 기능 강화

○ 위성 기반 빙산 정보 산출물 검보정 및 신뢰도 확보

- 빙산 모니터링 정보 생산에 활용된 위성자료보다 고해상도/고정밀의 위성영상 또는 현장 관측 자료를 활용한 검보정 주기적 수행
- 빙산 모니터링 정보 검보정 결과 공개를 통한 시스템 신뢰도 확보

이 연구에서는 빙산 상시 모니터링 시스템의 구축 및 운영을 통해 대중에 대한 홍보와 과학적 성과 창출 및 자료 제공에 대한 계획을 다음과 같이 수립하였다.

○ 빙산 모니터링 시스템 대중 홍보

- A-68 빙산 외 남극 대형 빙산 발생 및 진화과정을 모니터링 하여 신속한 언론 대응 및 홍보 수행
- 빙권 변화 관련 과학적 이슈에 대한 대국민 홍보 수행

○ 빙산을 활용한 과학적 성과 창출

- 빙산의 진화과정을 지속적으로 모니터링 함으로써 빙산의 변화가 주변 해양 환경에 미치는 영향에 대한 새로운 과학적 발견 가능
- 빙산의 발생으로 인한 빙붕의 안정성 변화 및 빙상의 감소에 대한 연구 수행
- 빙산 모니터링 시스템을 기반으로 빙산의 변화에 따른 극지 환경변화 및 빙권 변화 이슈에 대해 학술논문 출판

○ 빙산 모니터링 정보 제공

- 국내외 극지과학 연구자들에게 빙산 위성정보 및 분석결과 무상 제공 서비스 수행
- 극지연구소의 위성 모니터링 정보 독점권이 보장될 수 있는 자료 제공 체계 확립



제 6 절 주요 연구 변경 사항

이 연구의 주요 변경사항은 다음과 같다.

구분	당초계획	변경내용	변경사유
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장 관측자료 자동 수집 - 빙산에 ApRES 설치, 준실시간 빙산 두께 자료 획득 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장 관측 불가에 따른 빙산 두께 현장자료 미확보 ○ 인공위성 고도계 자료 분석을 통한 빙산두께 정보 확보로 현장자료 대체 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고농도 해빙과 악기상으로 인해 아라운호의 빙산 접근이 불가하여 부득이 현장관측 장비가 빙산에 설치되지 못함

○ 현장관측 수행 불가에 따른 연구내용 변경

- BAS(British Antarctic Survey) 협력을 통해 빙산의 두께를 mm 정밀도로 측정할 수 있는 ApRES (Autonomous phase-sensitive Radio Echo Sounder) 확보
- ApRES를 빙산에 설치, 위성자료 전송을 통한 준실시간 자료 확보 및 표출 연구 수행을 위해 2018년 4월 아라운호를 통해 A-68에 접근 시도
- 빙산 주변의 고농도 해빙과 악기상으로 인해 아라운호가 빙산에 접근할 수 없었으며, 이에 따라 부득이하게 ApRES 설치가 불가하여 빙산 두께 현장관측 자료 미확보 및 관련 연구 수행 불가
- 인공위성 고도계(CryoSat-2) 자료 구축 및 분석 기술을 확보하여 빙산 두께 추정 연구를 수행
- 인공위성 고도계 기반 빙산 두께 정보 확보를 통해 현장자료 구축 대체

○ 연구내용 변경에 따른 문제점

- 현장관측 장비를 설치할 수 없음에 따라 매우 정밀한 빙산 두께 정보를 준실시간으로 확보하는데 어려움이 발생
- 인공위성 고도계 관측 자료의 신뢰도 검증에 필수적인 현장관측 자료 미확보로 인해 위성정보 검보정 연구에 한계
- 인공위성 고도계 관측 자료의 주기적 구축 및 갱신, 위성자료 관측 특성을 고려한 검보정 알고리즘 개발로 문제점 해결 노력

제 4 장 기대성과 및 활용방안

- 기후변화 대응을 위한 남극 빙산 상시 감시체계 개발 당위성 확보
 - 연구사업 추진을 통한 남극 대형 빙산 상시 모니터링 시스템 구축 및 정보화의 필요성 제시
 - 기후변화 및 해수면 변동 예측 연구 분야에서 대한민국의 위상 제고에 기여하기 위한 필수요건인 빙산 상시 감시체계 개발, 운영의 당위성 확보
 - 빙산 상시 모니터링 시스템 구축을 위한 원격탐사 기술개발의 필요성과 위성관측 유용성에 대한 근거 제시

- 빙산 모니터링 시스템 개발 및 운용을 통한 관련 산업 확대
 - 위성기술 개발 수요 제공 및 위성정보 산업 확대에 기여

- 미래 지구환경 변화 예측에 필수적인 빙산 정보 확보의 당위성 제시
 - 제3차 남극연구활동진흥 기본계획 목표 달성에 기여할 수 있는 빙권 정보 제시
 - 기후변화 관련 국제협력의 주도권 확보 및 공동연구 선도
 - 빙산 감시 정보의 국제사회 기여를 통해 남극조약협약당사국으로서의 지위 유지

- 극지 유발 초대형 이벤트에 따른 경제적 손실 대응 방안 마련
 - 해저 파이프라인, 해양 계류장비 등 유형 자산에 관한 손실 예측 정보 제공
 - 연안지역 접안시설 피해 경감을 위한 선제적 대응 방안 제시 가능

- 기관 고유의 기후변화 관련 이슈 홍보 콘텐츠로 활용 가능
 - 빙산 A-68을 비롯한 남극 대형 빙권 변화 이벤트에 관하여 신속한 언론 대응 등 대국민 홍보서비스 강화

- 광역적 빙권 변화 감시체계 개발을 통한 종합적 빙권 정보화 연구 추진
 - 인공위성 기반의 종합적 빙권 정보화 연구개발 및 정보서비스 방향 설정에 활용

제 5 장 참고문헌

- 한국해양과학기술원 부설 극지연구소, 2018. 빙권 표면변위 관측을 위한 Sentinel-1 영상레이더 간섭기법과 오프셋 추적기법 연구
- Arrigo, K.R., van Dijken G.L., Ainley, D.G., Fahnestock, M.A., and Markus, T. (2002). Ecological impact of a large Antarctic iceberg, *Geophysical Research Letters*, 29(7), 1104.
- Benn, D.I. and Åström, J.A. (2018). Calving glaciers and ice shelves, *Advances in Physics: X*, 3(1), 1048 - 1076.
- Bindschadler, R., Vornberger, P., Fleming, A., Fox, A., Mullins, J., Binnie, D., Paulsen, S.J., Granneman, B., and Gorodetzky, D. (2008). The Landsat Image Mosaic of Antarctica, *Remote Sensing of Environment*, 112: 4214 - 4226.
- Cavalieri, D.J., Gloersen, P. and Campbell, W.J. (1984). Determination of sea ice parameters with Nimbus 7 SMMR, *Journal of Geophysical Research*, 89(D4), 5355-5369.
- Chuter, S.J., Bamber, J.L. (2015). Antarctic ice shelf thickness from CryoSat-2 radar altimetry, *Geophysical Research Letters*, 42, 10721-10729.
- Dinniman, M.S., Klinck, J.M., and Smith Jr. W.O. (2007). Influence of sea ice cover and icebergs on circulation and water mass formation in a numerical circulation model of the Ross Sea, Antarctica, *Journal of Geophysical Research*, 112, C11013.
- Griggs, J.A. and Bamber, J.L. (2009). Ice shelf thickness over Larsen C, Antarctica, derived from satellite altimetry, *Geophysical Research Letters*, 36, L19501.
- Han, H., Im, J., Kim, M., Sim, S., Kim, J., Kim, D., Kang, S. (2016). Retrieval of melt ponds on Arctic multiyear sea ice in summer from TerraSAR-X dual-polarization data using machine learning approaches: A case study in the Chukchi Sea with mid-incidence angle data, *Remote Sensing*, 8, 57.
- Han, H., Ji, Y., and Lee, H. (2013). Estimation of annual variation of ice extent and flow velocity of Campbell Glacier in East Antarctica using COSMO-SkyMed SAR images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1), 45 - 55.
- Han, H. and Lee, H., 2011. Microwave radiation characteristics of glacial ice in the AMSR-E NASA Team2 algorithm, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(5), 543 - 553.
- Han, H. and Lee, H., 2014. Tide deflection of Campbell Glacier Tongue, Antarctica, analyzed by double-differential SAR interferometry and finite element method. *Remote Sensing of Environment*, 141, 201 - 213.
- Han, H. and Lee, H., 2015. Tide-corrected flow velocity and mass balance of Campbell Glacier Tongue, East Antarctica, derived from interferometric SAR. *Remote Sensing of*

Environment, 160, 180 - 192.

- Han, H. and Lee, H., 2017. Surface strain rates and crevassing of Campbell Glacier Tongue in East Antarctica analysed by tide-corrected DInSAR. *Remote Sensing Letters*, 8(4), 330 - 339.
- Han, H. and Lee, H., 2018. Glacial and tidal strain of landfast sea ice in Terra Nova Bay, East Antarctica, observed by interferometric SAR techniques. *Remote Sensing of Environment*, 209, 41 - 51.
- Jacka, T.H. and Giles, A.B. (2007). Antarctic iceberg distribution and dissolution from ship-based observations, *Journal of Glaciology*, 53(182), 341 - 356.
- Kooyman, G.L., Ainley, D.G., Ballard, G., and Ponganis, P.J. (2007). Effects of giant icebergs on two emperor penguin colonies in the Ross Sea, Antarctica, *Antarctic Science*, 19(1), 31 - 38.
- Lasserre, F. (2015). Simulations of shipping along Arctic routes: comparison, analysis and economic perspectives, *Polar Record*, 51(258), 239 - 259.
- Lee, S., Kim, H., and Im, J. (2018). Arctic lead detection using a waveform mixture algorithm from CryoSat-2 data, *The Cryosphere*, 12, 1665 - 1679.
- Martin, S., Drucker, R.S., and Kwok, R. (2007). The areas and ice production of the western and central Ross Sea polynyas, 1992 - 2002, and their relation to the B-15 and C-19 iceberg events of 2000 and 2002, *Journal of Marine Systems*, 68, 201 - 214.
- Merino, N., Sommer, J.L., Durand, G., Jourdain, N.C., Madec, G., Mathiot, P., and Tournadre, J. (2016). Antarctic icebergs melt over the Southern Ocean: Climatology and impact on sea ice, *Ocean Modelling*, 104, 99 - 110.
- Schwarz, J.N. and Schodlok, M.P. (2009). Impact of drifting icebergs on surface phytoplankton biomass in the Southern Ocean: Ocean colour remote sensing and *in situ* iceberg tracking, *Deep-Sea Research I*, 56, 1727 - 1741.
- Scambos, T., Hara, T., Fahnestock, M., Painter, T., and Bohlander, J. (2007). MODIS-based Mosaic of Antarctica (MOA) data sets: Continent-wide surface morphology and snow grain size, *Remote Sensing of Environment*, 111(2), 242-257.
- Silva, T.A.M., Bigg, G.R., and Nicholls, K.W. (2006). Contribution of giant icebergs to the Southern Ocean freshwater flux, *Journal of Geophysical Research*, 111, C03004.
- Slater, T., Shepherd, A., McMillan, M., Muir, A., Gilbert, L., Hogg, A. E., Konrad, H., and Parrinello, T (2018). A new digital elevation model of Antarctica derived from CryoSat-2 altimetry, *The Cryosphere*, 12, 1551-1562.
- Strozzi, T., Luckman, A., Murray, T., Wegmüller, U., and Werner, C.L., 2002. Glacier motion estimation using SAR offset-tracking procedures. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(11), 2384 - 2391.

Tournadre, J. Girard-Ardhuin, F., and Legrésy, B. (2012). Antarctic icebergs distributions, 2002 - 2010, *Journal of Geophysical Research*, 117, C05004.

남극 빙산 추적 데이터베이스, <http://www.scp.byu.edu/data/iceberg>

독일항공우주센터, <https://www.dlr.de/dlr/en>

미국지질조사국, <https://www.usgs.org>

미국항공우주국, <https://www.nasa.gov>

유럽우주국, <https://www.esa.int>

이탈리아우주국, <https://www.asi.it/en>

한국항공우주연구원, <https://www.kari.re.kr>

Project MIDAS, <http://www.projectmidas.org>

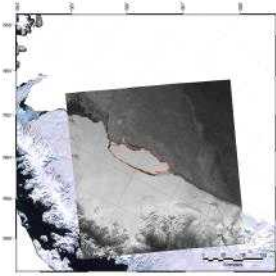


부 록: 빙산 A-68 위성 모니터링 정보

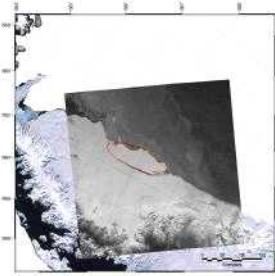
1. 빙산 A-68 면적 및 이동 위성 모니터링 정보
2. 빙산 A-68 두께 위성 모니터링 정보
3. 빙산 A-68 주변 해빙농도 위성 모니터링 정보
4. Larsen C 빙붕 흐름속도 위성 모니터링 정보



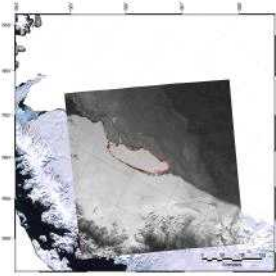
1. 빙산 A-68 면적 및 이동 위성 모니터링 정보



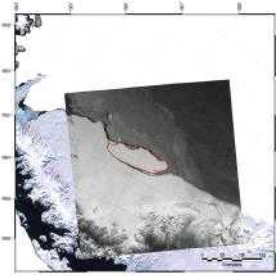
2017.07.22



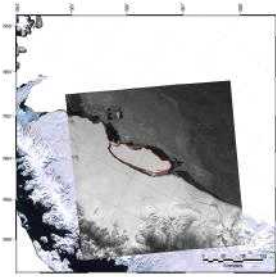
2017.08.03



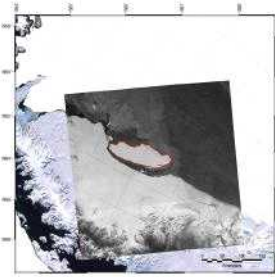
2017.08.15



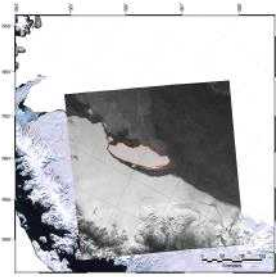
2017.08.27



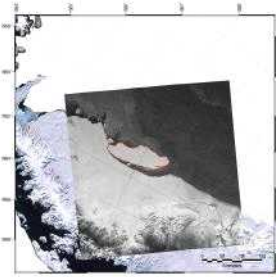
2017.09.08



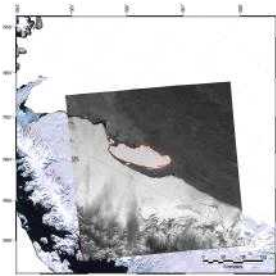
2017.10.02



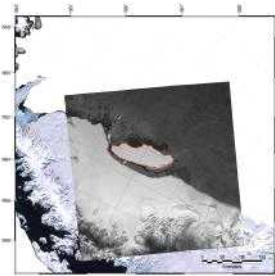
2017.10.14



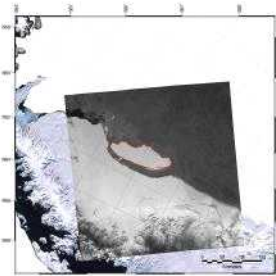
2017.10.26



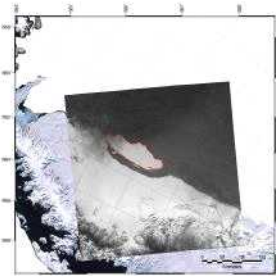
2017.11.07



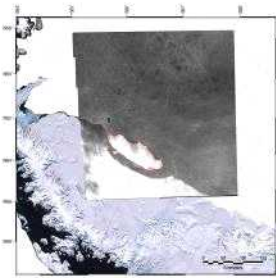
2017.11.19



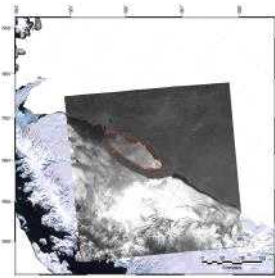
2017.12.01



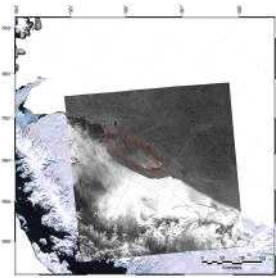
2017.12.25



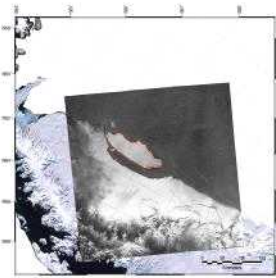
2018.01.01



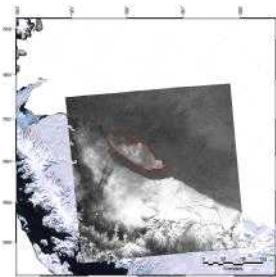
2018.01.06



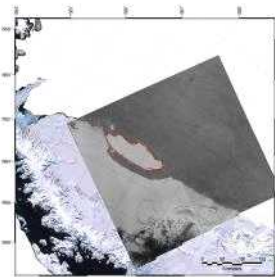
2018.01.12



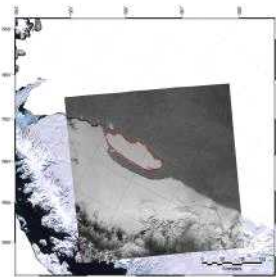
2018.01.18



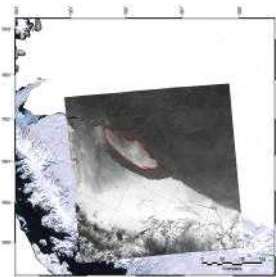
2018.01.24



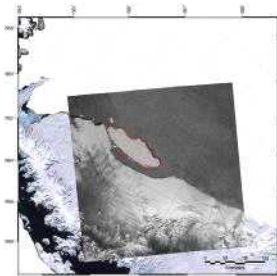
2018.01.28



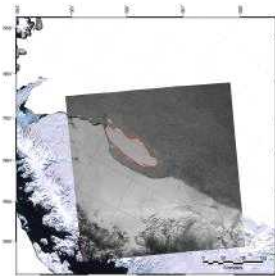
2018.01.30



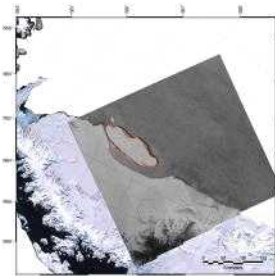
2018.02.05



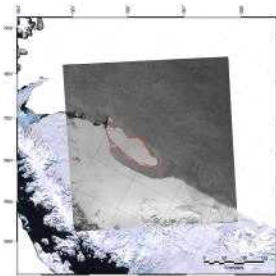
2018.02.11



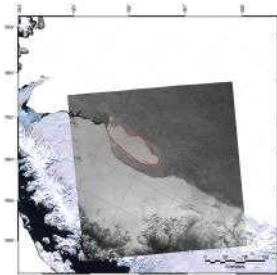
2018.02.17



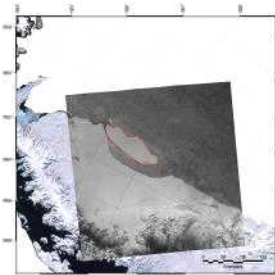
2018.02.21



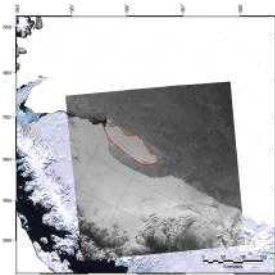
2018.02.24



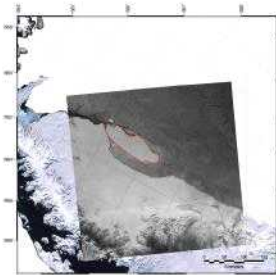
2018.03.01



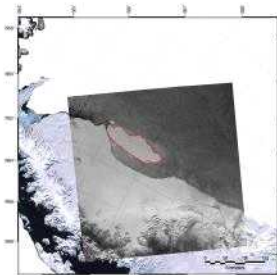
2018.03.13



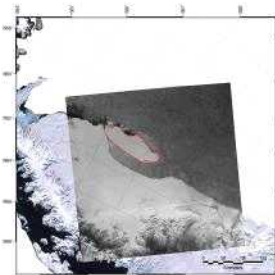
2018.03.19



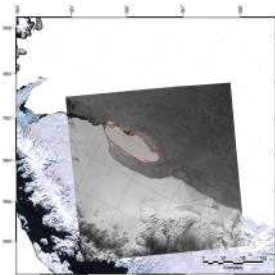
2018.03.25



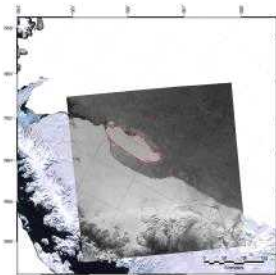
2018.03.31



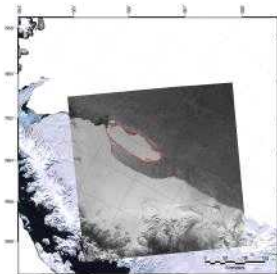
2018.04.06



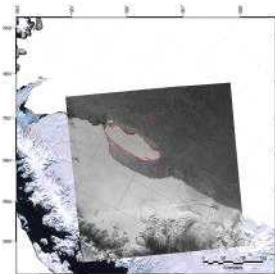
2018.04.12



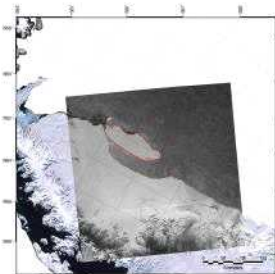
2018.04.18



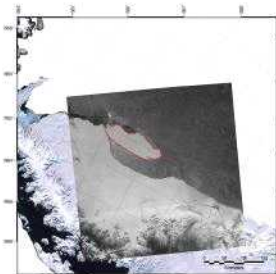
2018.04.24



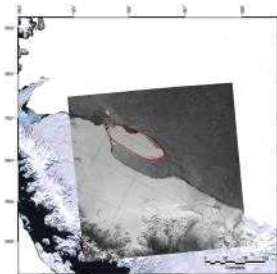
2018.04.30



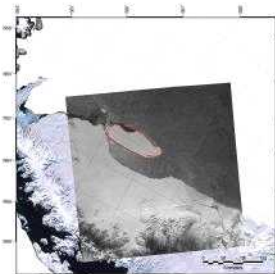
2018.05.06



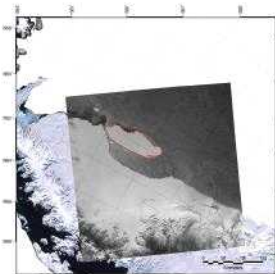
2018.05.12



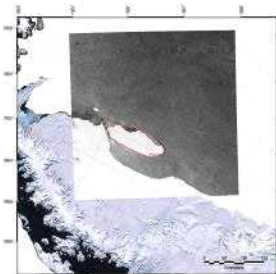
2018.05.18



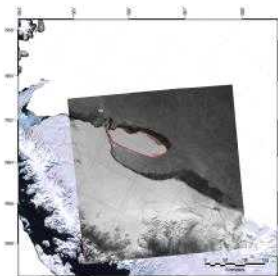
2018.05.24



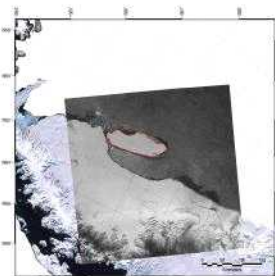
2018.05.30



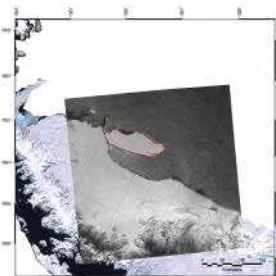
2018.06.06



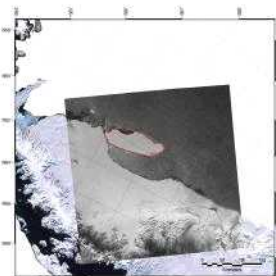
2018.06.11



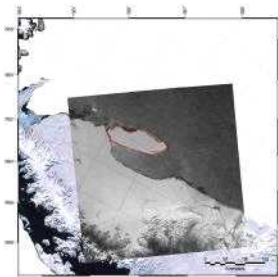
2018.06.17



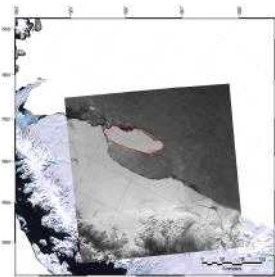
2018.06.23



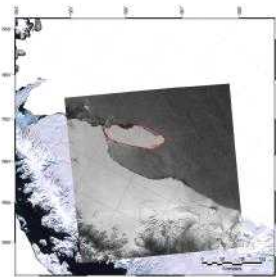
2018.06.29



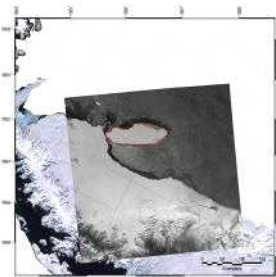
2018.07.05



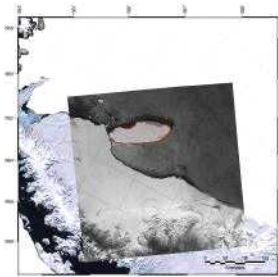
2018.07.11



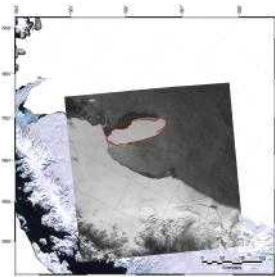
2018.07.17



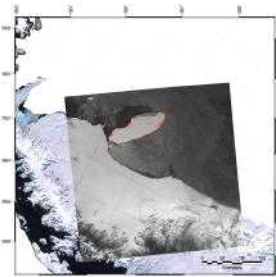
2018.07.23



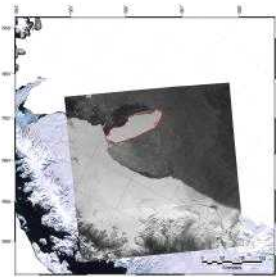
2018.07.29



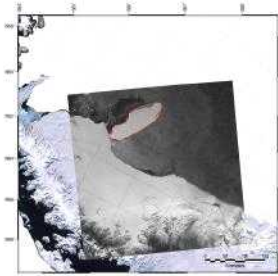
2018.08.04



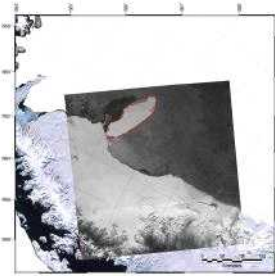
2018.08.10



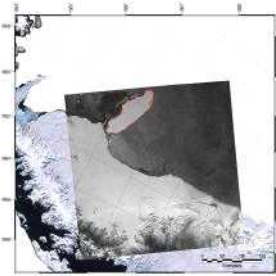
2018.08.16



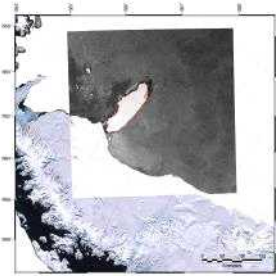
2018.08.22



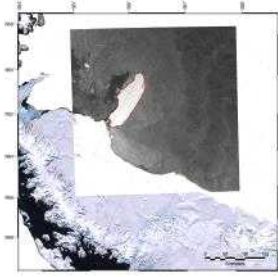
2018.08.28



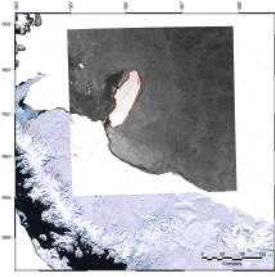
2018.09.03



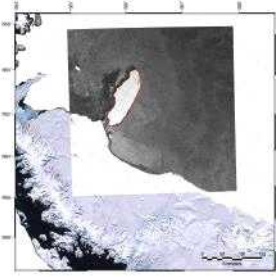
2018.09.10



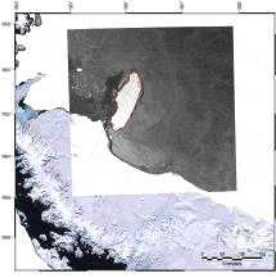
2018.09.16



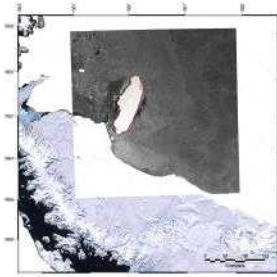
2018.09.22



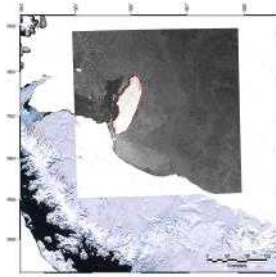
2018.09.28



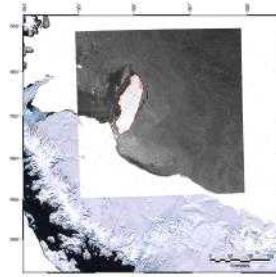
2018.10.04



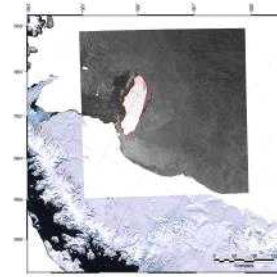
2018.10.10



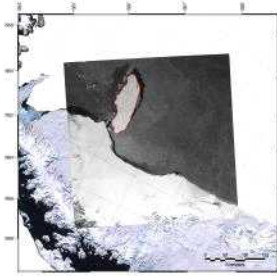
2018.10.16



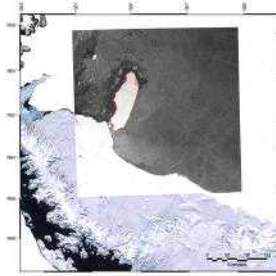
2018.10.22



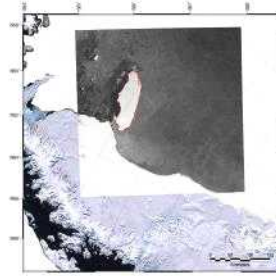
2018.10.28



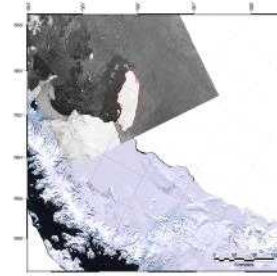
2018.11.03



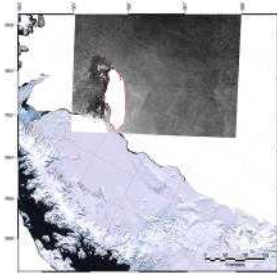
2018.11.09



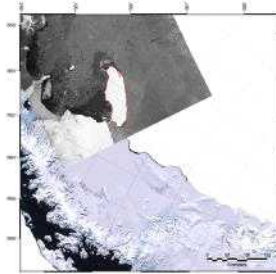
2018.11.15



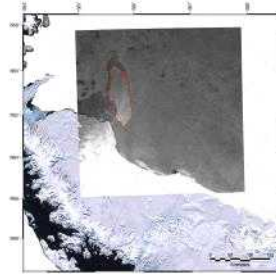
2018.11.17



2018.11.23



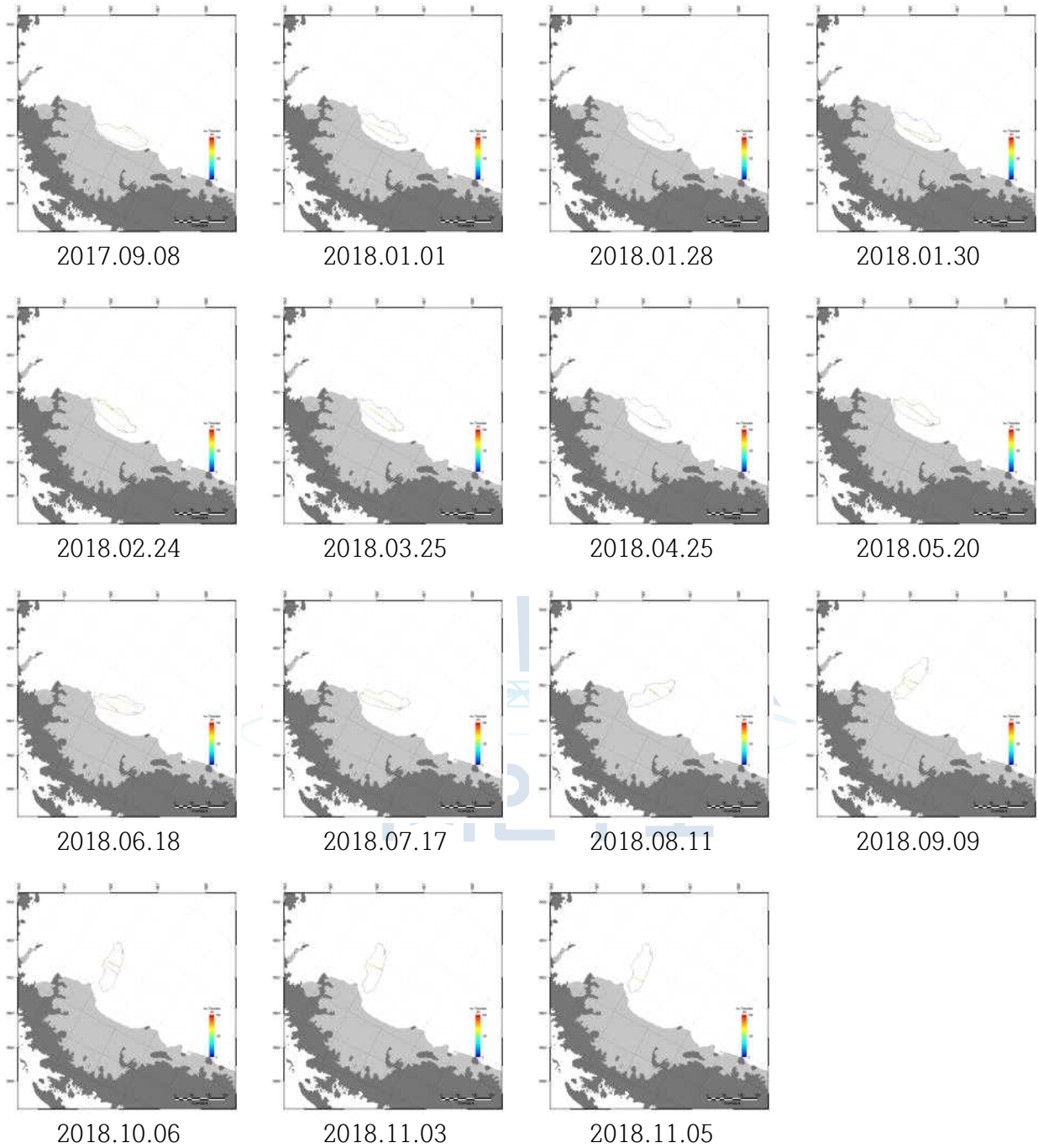
2018.11.29



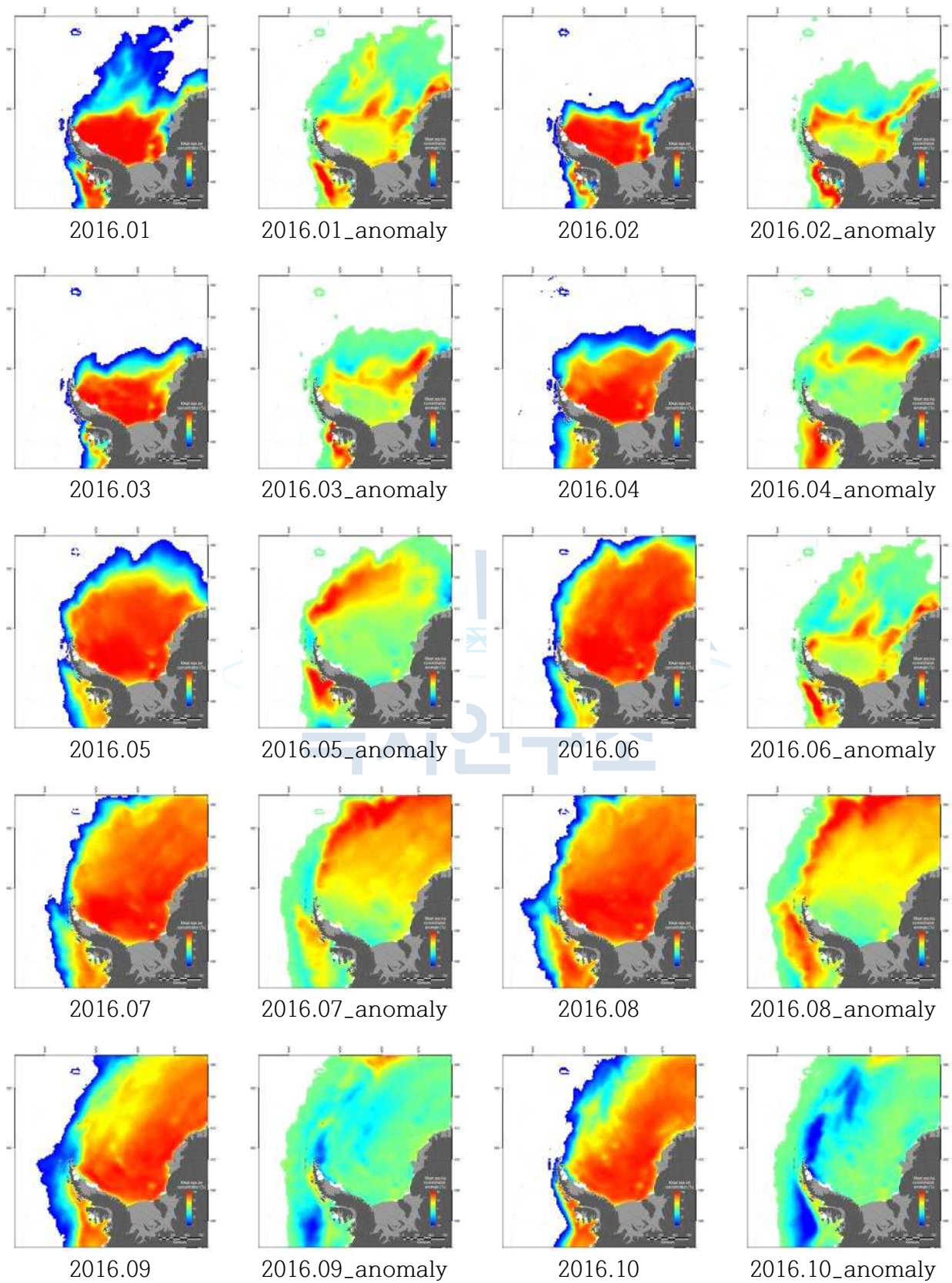
2018.12.03

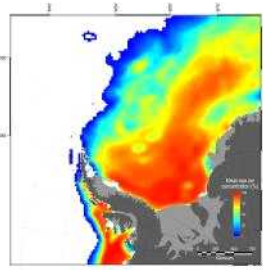
극지연구소

2. 빙산 A-68 두께 위성 모니터링 정보

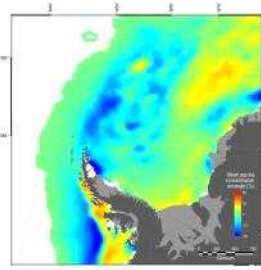


3. 빙산 A-68 주변 해빙농도 위성 모니터링 정보

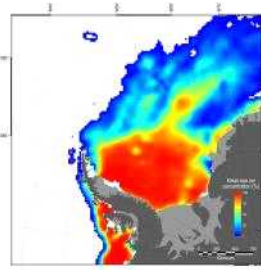




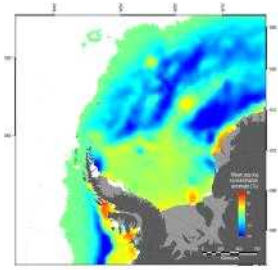
2016.11



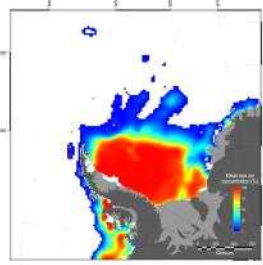
2016.11_anomaly



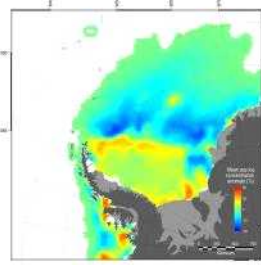
2016.12



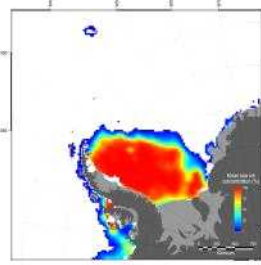
2016.12_anomaly



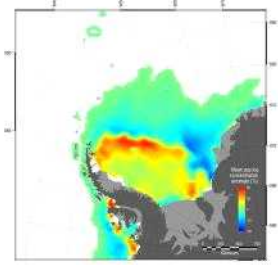
2017.01



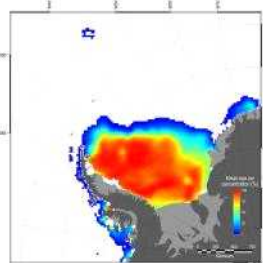
2017.01_anomaly



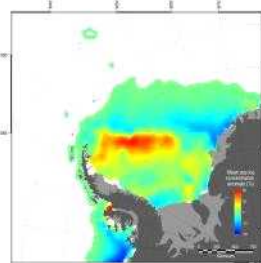
2017.02



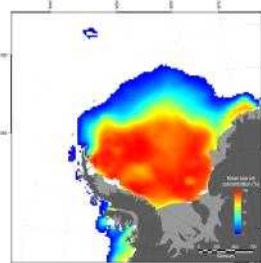
2017.02_anomaly



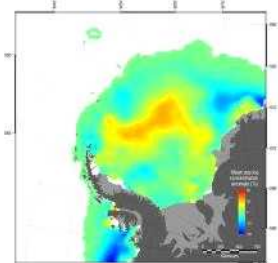
2017.03



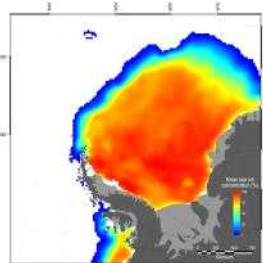
2017.03_anomaly



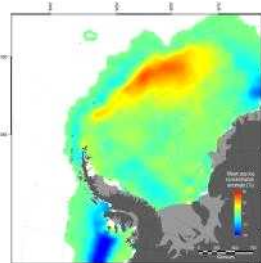
2017.04



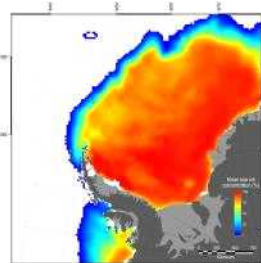
2017.04_anomaly



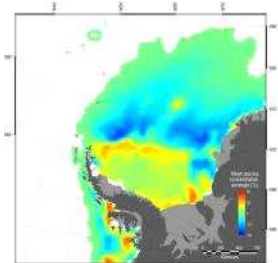
2017.05



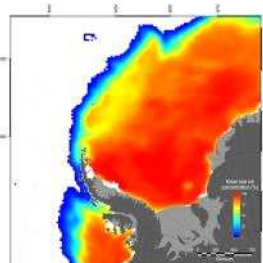
2017.05_anomaly



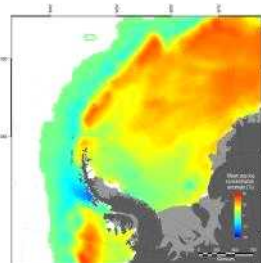
2017.06



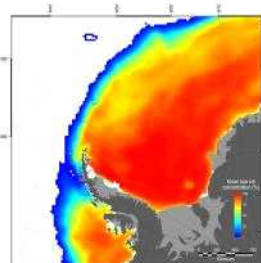
2017.06_anomaly



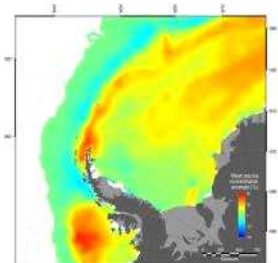
2017.07



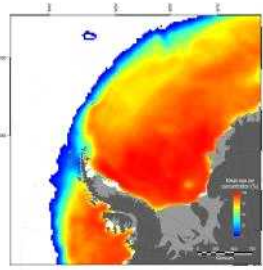
2017.07_anomaly



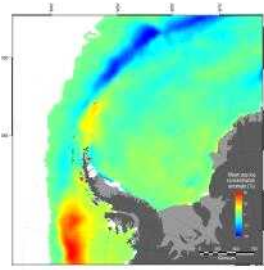
2017.08



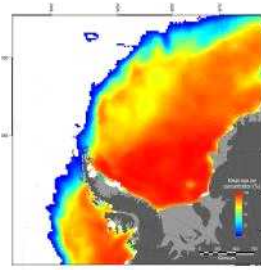
2017.08_anomaly



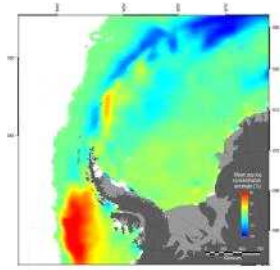
2017.09



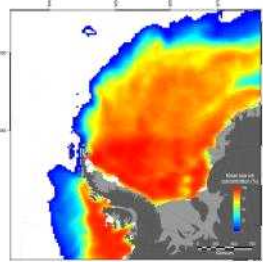
2017.09_anomaly



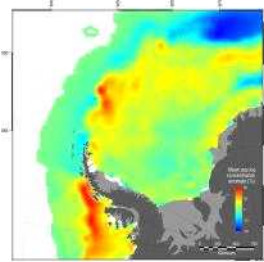
2017.10



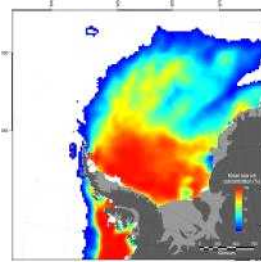
2017.10_anomaly



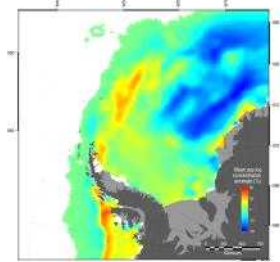
2017.11



2017.11_anomaly



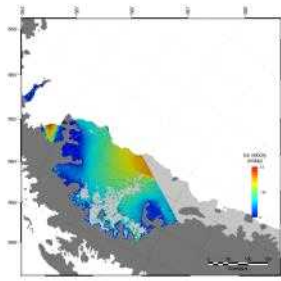
2017.12



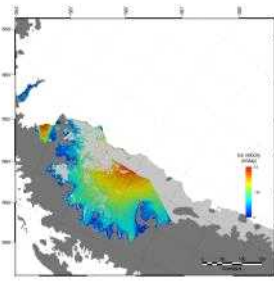
2017.12_anomaly



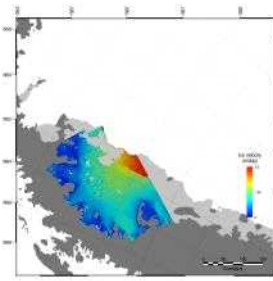
4. Larsen C 빙붕 흐름속도 위성 모니터링 정보



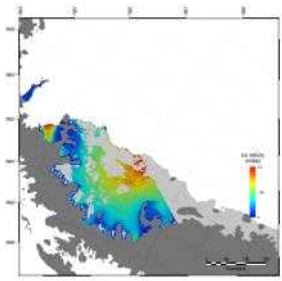
2017.01.01-2017.01.07



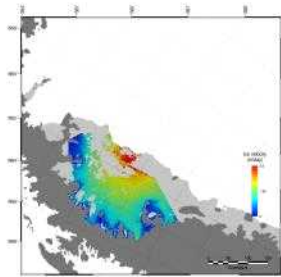
2017.01.07-2017.01.13



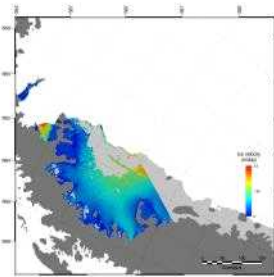
2017.01.13-2017.01.19



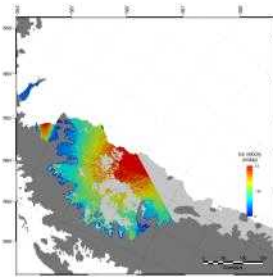
2017.01.19-2017.01.25



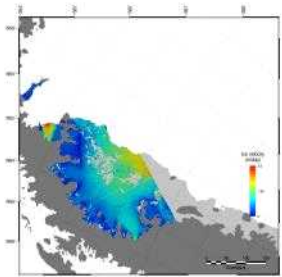
2017.01.25-2017.01.31



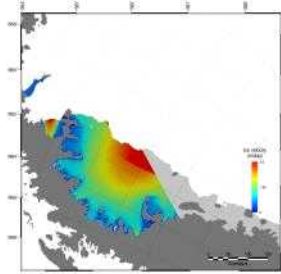
2017.01.31-2017.02.06



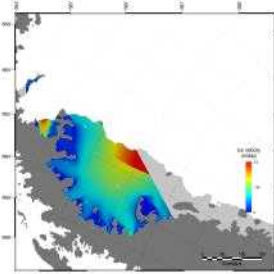
2017.02.06-2017.02.12



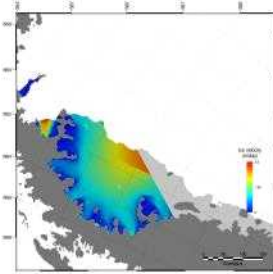
2017.02.12-2017.02.18



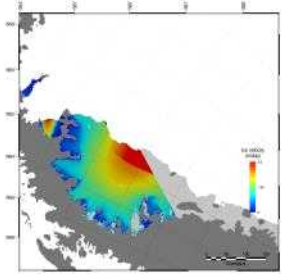
2017.02.18-2017.02.24



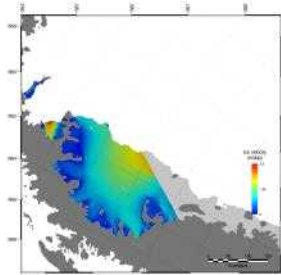
2017.02.24-2017.03.02



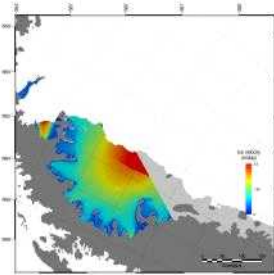
2017.03.02-2017.03.08



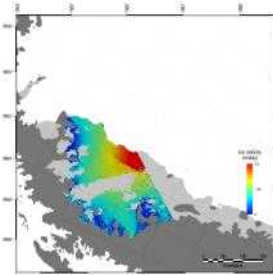
2017.03.08-2017.03.14



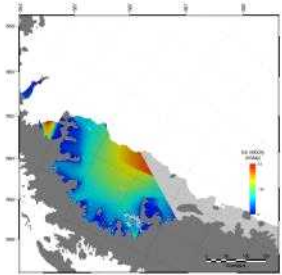
2017.03.14-2017.03.20



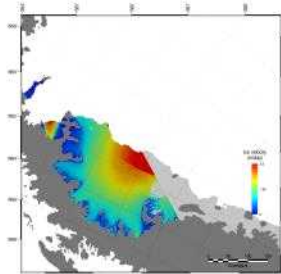
2017.03.20-2017.03.26



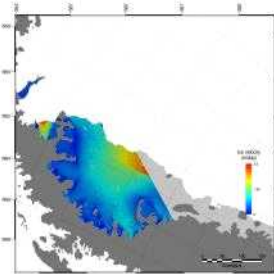
2017.03.26-2017.04.01



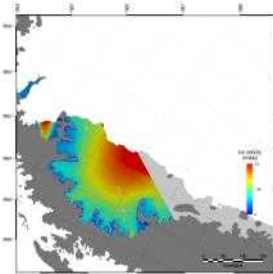
2017.04.01-2017.04.07



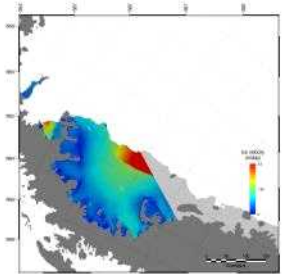
2017.04.07-2017.04.13



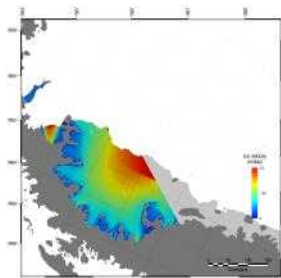
2017.04.13-2017.04.19



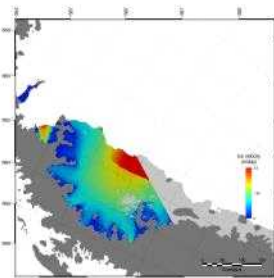
2017.04.19-2017.04.25



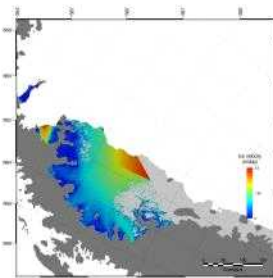
2017.04.25-2017.05.01



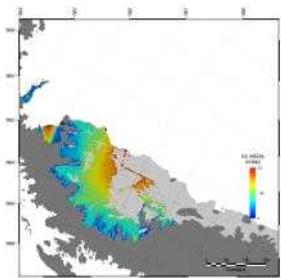
2017.05.01-2017.05.07



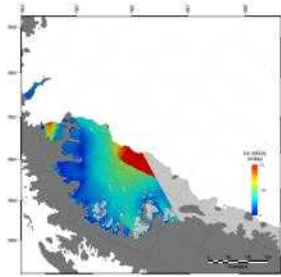
2017.05.07-2017.05.13



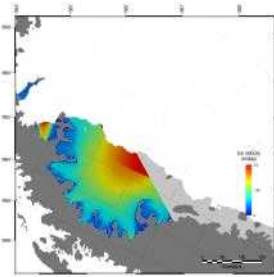
2017.05.13-2017.05.19



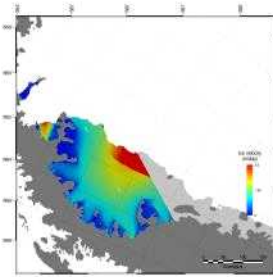
2017.05.19-2017.05.25



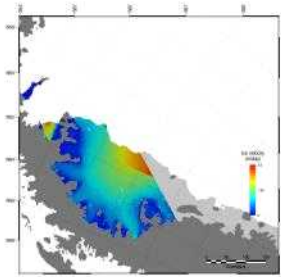
2017.05.25-2017.05.31



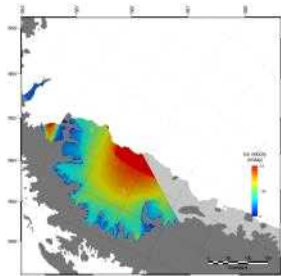
2017.05.31-2017.06.06



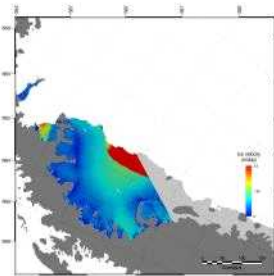
2017.06.06-2017.06.12



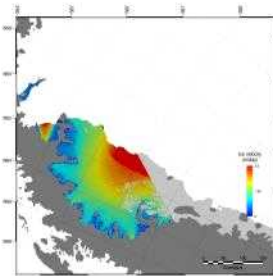
2017.06.12-2017.06.18



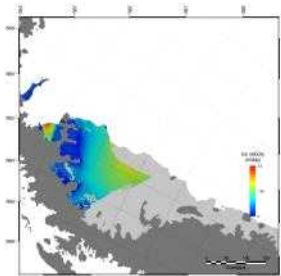
2017.06.18-2017.06.24



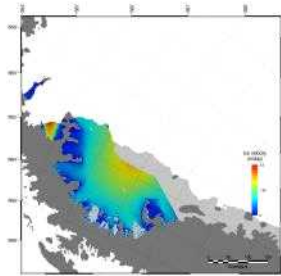
2017.06.24-2017.06.30



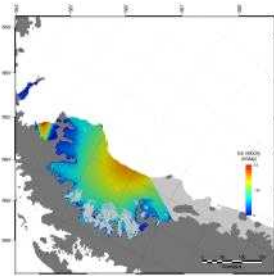
2017.06.30-2017.07.06



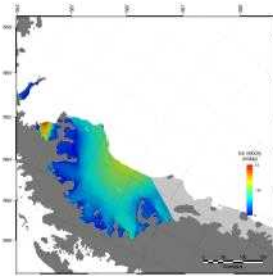
2017.07.06-2017.07.12



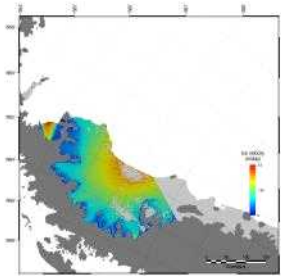
2017.07.12-2017.07.18



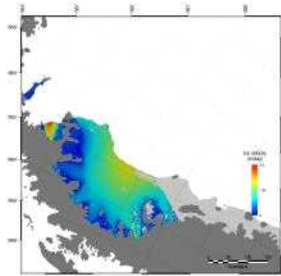
2017.07.18-2017.07.24



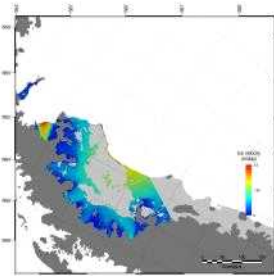
2017.07.24-2017.07.30



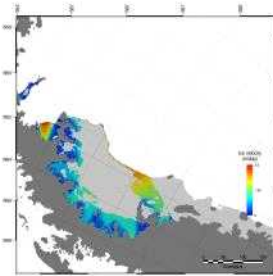
2017.07.30-2017.08.05



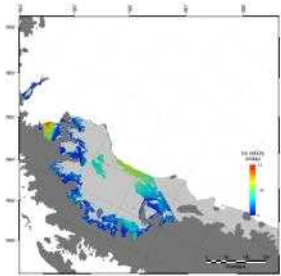
2017.08.05-2017.08.11



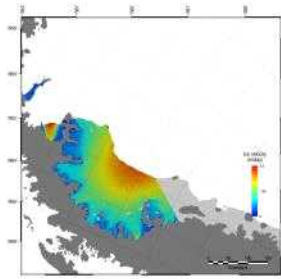
2017.08.11-2017.08.17



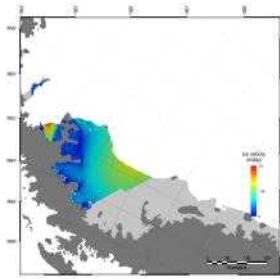
2017.08.17-2017.08.23



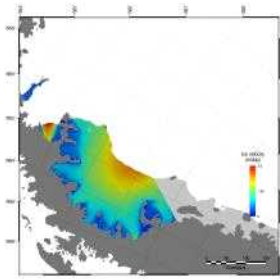
2017.08.23-2017.08.29



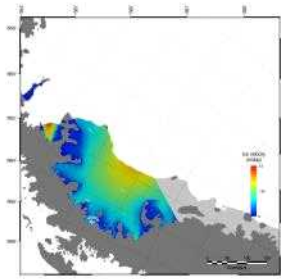
2017.08.29-2017.09.04



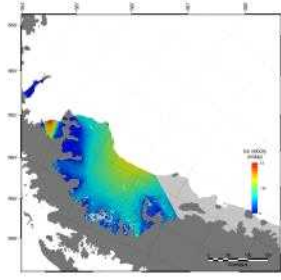
2017.09.04-2017.09.10



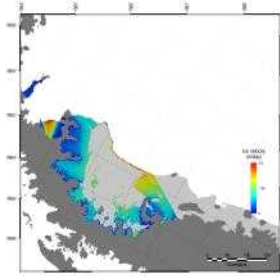
2017.09.10-2017.09.16



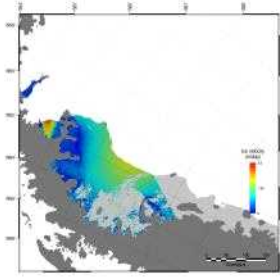
2017.09.16-2017.09.22



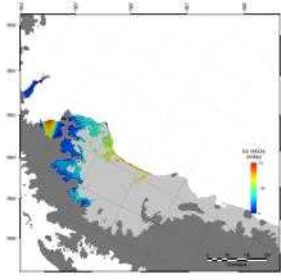
2017.09.22-2017.09.28



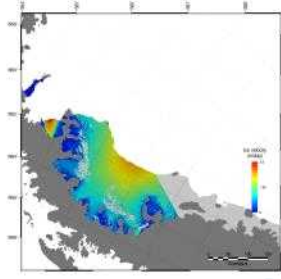
2017.09.28-2017.10.04



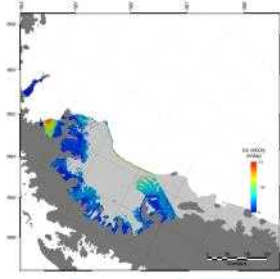
2017.10.04-2017.10.10



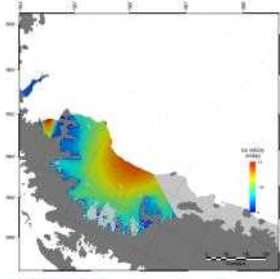
2017.10.10-2017.10.16



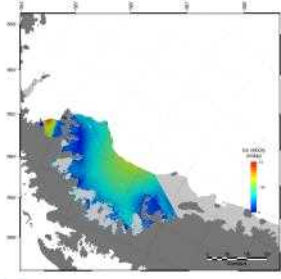
2017.10.16-2017.10.22



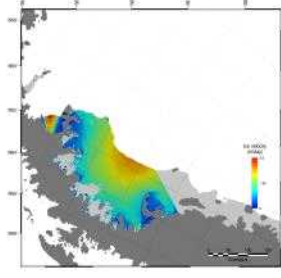
2017.10.22-2017.10.28



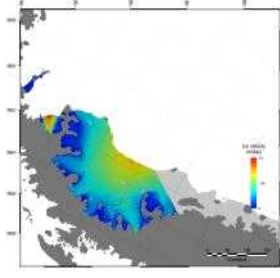
2017.10.28-2017.11.03



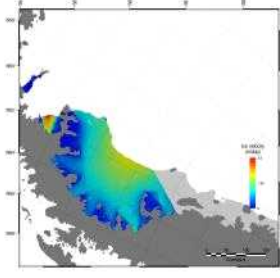
2017.11.03-2017.11.09



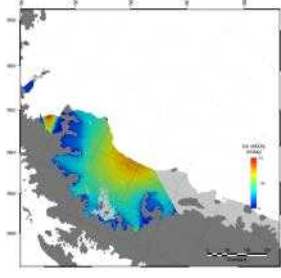
2017.11.09-2017.11.15



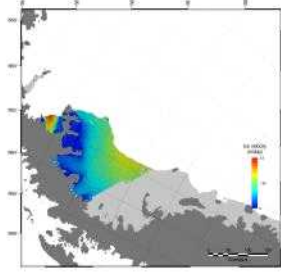
2017.11.15-2017.11.21



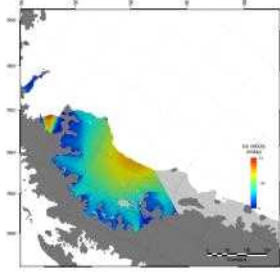
2017.11.21-2017.11.27



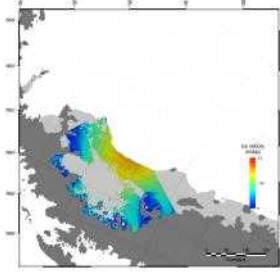
2017.11.27-2017.12.03



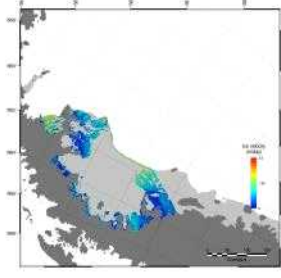
2017.12.03-2017.12.09



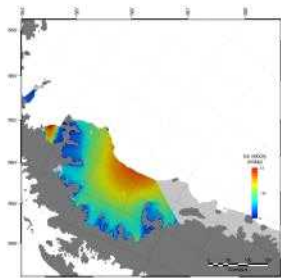
2017.12.09-2017.12.15



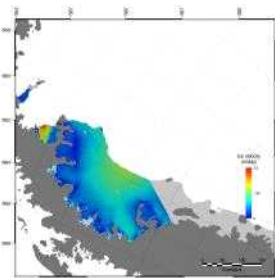
2017.12.15-2017.12.21



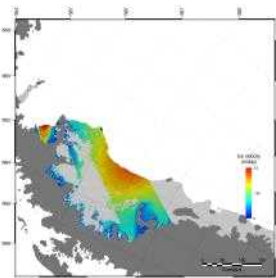
2017.12.21-2017.12.27



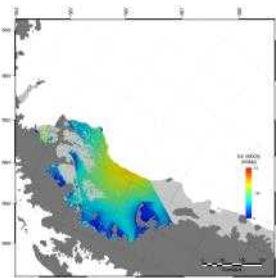
2017.12.27-2018.01.02



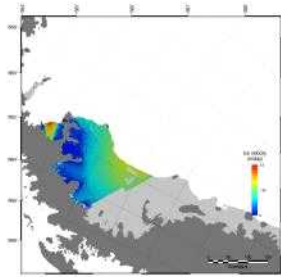
2018.01.02-2018.01.08



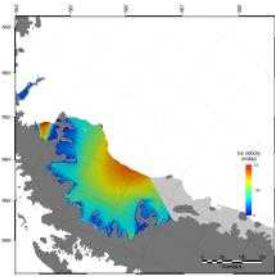
2018.01.08-2018.01.14



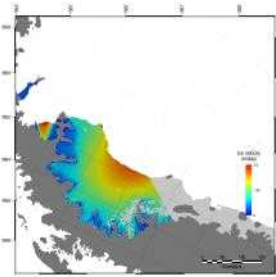
2018.01.14-2018.01.20



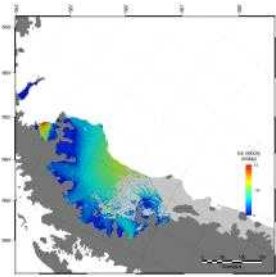
2018.01.20-2018.01.26



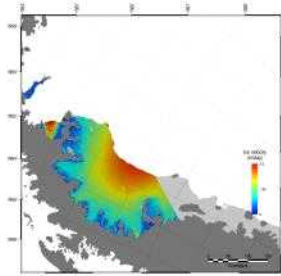
2018.01.26-2018.02.07



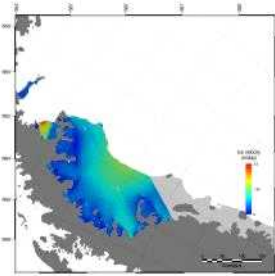
2018.02.07-2018.02.19



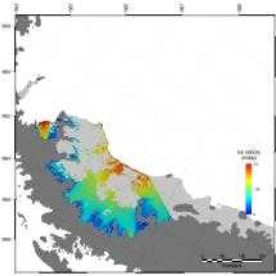
2018.02.19-2018.02.25



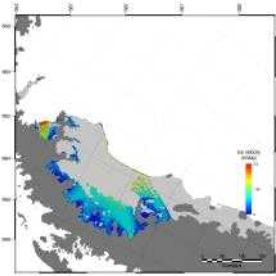
2018.02.25-2018.03.03



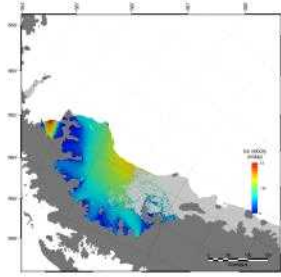
2018.03.03-2018.03.09



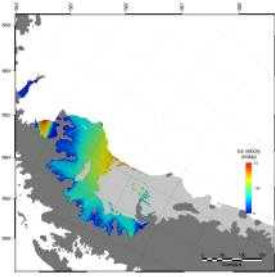
2018.03.09-2018.03.15



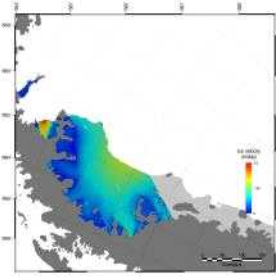
2018.03.15-2018.03.21



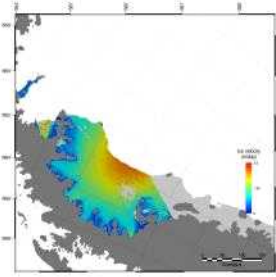
2018.03.21-2018.03.27



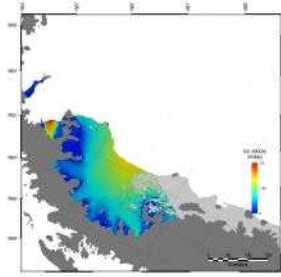
2018.03.27-2018.04.02



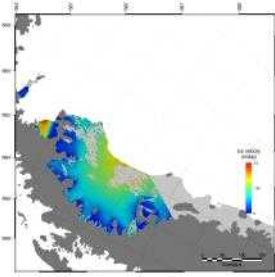
2018.04.02-2018.04.08



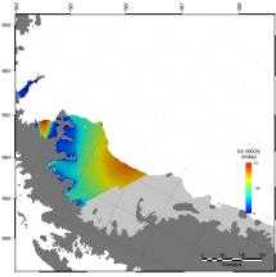
2018.04.08-2018.04.14



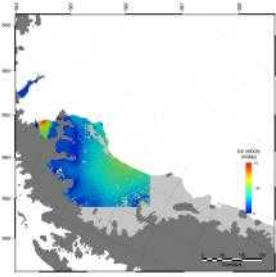
2018.04.14-2018.04.20



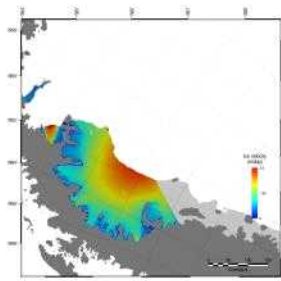
2018.04.20-2018.04.26



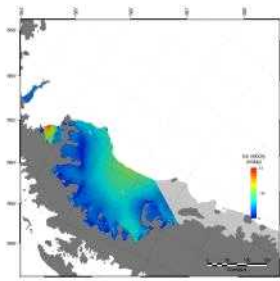
2018.04.26-2018.05.02



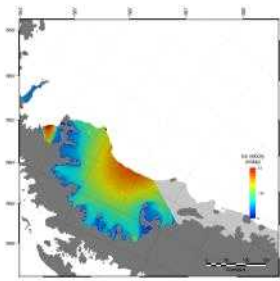
2018.05.02-2018.05.08



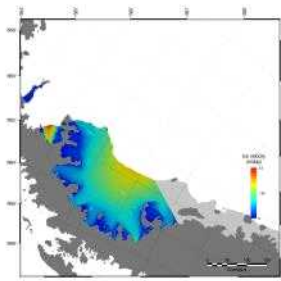
2018.05.08-2018.05.14



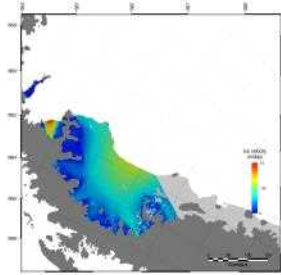
2018.05.14-2018.05.20



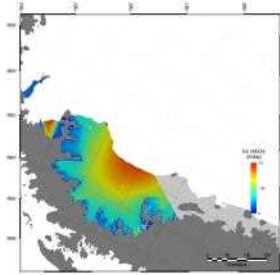
2018.05.20-2018.05.26



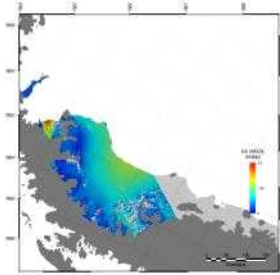
2018.05.26-2018.06.01



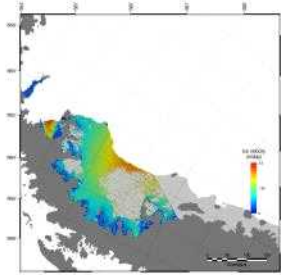
2018.06.01-2018.06.07



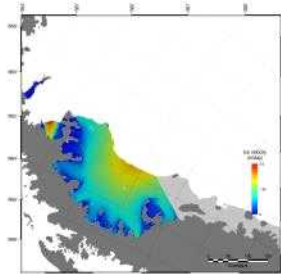
2018.06.07-2018.06.13



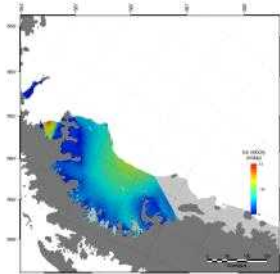
2018.06.13-2018.06.19



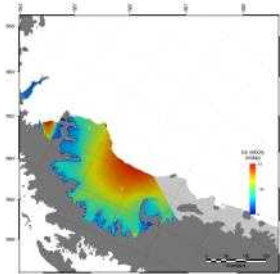
2018.06.19-2018.06.25



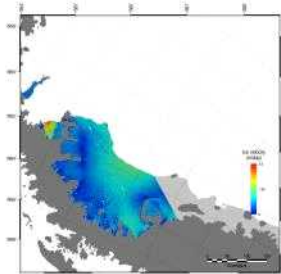
2018.06.25-2018.07.01



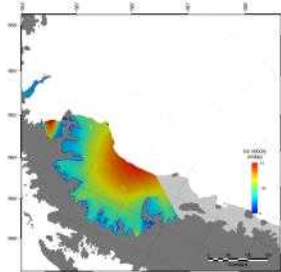
2018.07.01-2018.07.07



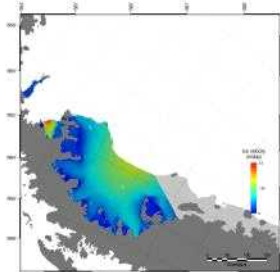
2018.07.07-2018.07.13



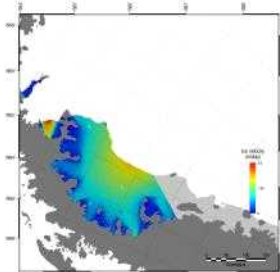
2018.07.13-2018.07.19



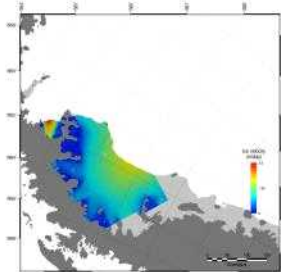
2018.07.19-2018.07.25



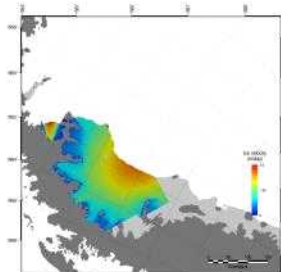
2018.07.25-2018.07.31



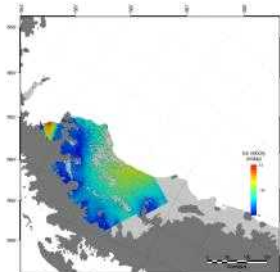
2018.07.31-2018.08.12



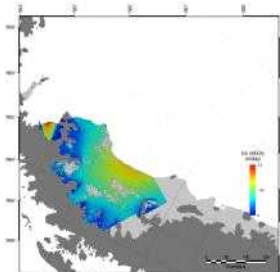
2018.08.12-2018.08.18



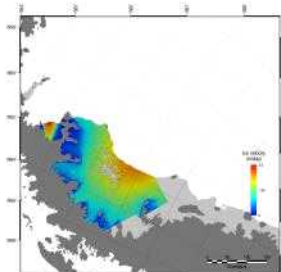
2018.08.18-2018.08.24



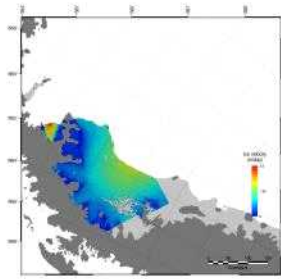
2018.08.24-2018.08.30



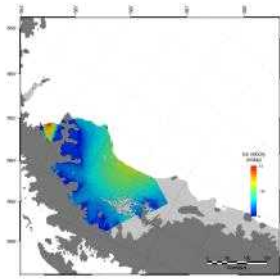
2018.08.30-2018.09.05



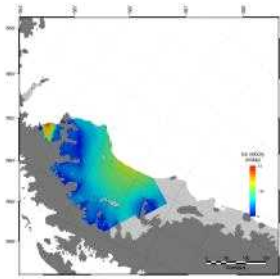
2018.09.05-2018.09.11



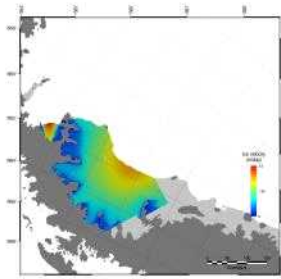
2018.09.11-2018.09.17



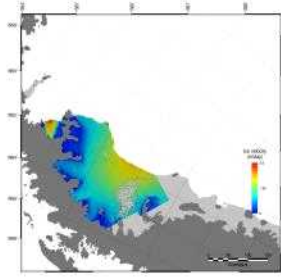
2018.09.17-2018.09.23



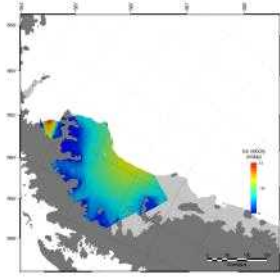
2018.09.23-2018.09.29



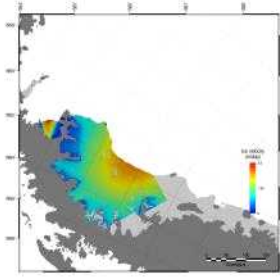
2018.09.29-2018.10.05



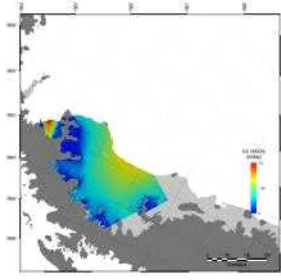
2018.10.05-2018.10.11



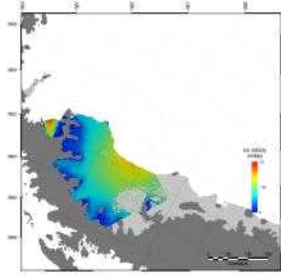
2018.10.11-2018.10.17



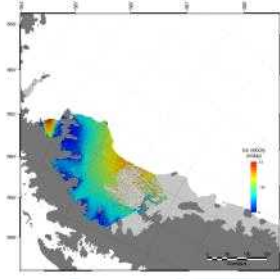
2018.10.17-2018.10.23



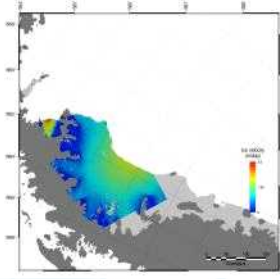
2018.10.23-2018.10.29



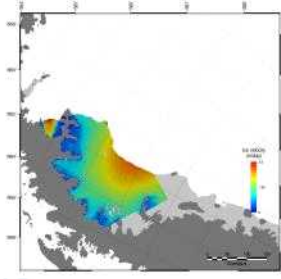
2018.10.29-2018.11.04



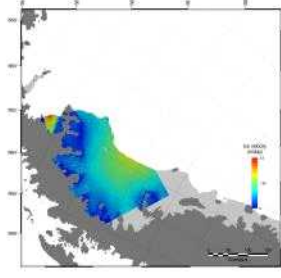
2018.11.04-2018.11.10



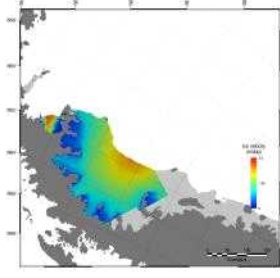
2018.11.10-2018.11.16



2018.11.16-2018.11.22



2018.11.22-2018.11.28



2018.11.28-2018.12.04

연구·정책지원사업 최종 결과보고서 평가의견 반영사항

창의연구사업 구분	연구정책·지원과제		
과제명	기후변화 이슈 대응 강화를 위한 A-68빙산 상시 모니터링 시스템 기반 구축 연구(계정번호:PE18250)	연구기간	2018.3.1.~2018.12.31.
연구책임자	한향선 선임연구원	연구비(직접비)	100백만원
과제개요, 연구성과 및 최종 결과보고서 평가의견 반영 사항			
<p>(1) 과제목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기후변화 관련 이슈에 선제적 대응과 홍보서비스 강화를 위한 A-68 빙산 및 주변 환경 상시 모니터링 및 정보서비스 체계 기반 구축 <p>(2) 최종성과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 빙산 상시 모니터링을 위한 위성자료 구축 및 위성정보 처리기술 확보 ○ A-68 빙산 위성 모니터링 정보서비스 플랫폼 구축 ○ 인공위성 관측 기반 남극 빙권 상시 모니터링 시스템 구축안 설계 <p>(3) 성과의 향후 연구소 활용방안 또는 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기관 고유의 기후변화 관련 빙권 변화 이슈 홍보 콘텐츠 개발 ○ 남극 대형 빙권 이벤트에 관한 신속한 언론 대응 및 대국민 홍보기능 강화 ○ 미래 지구환경 변화 예측에 필수적인 빙산 정보를 확보함으로써 기후변화 관련 국제협력 주도권 확보 및 국제공동연구 선도 <p>(4) 최종 결과보고서에 평가의견 반영 사항</p>			
평가의견	반영사항	비고	
○ 향후 활용가능성에 대한 상세한 명시 필요	○ 빙산 모니터링 시스템의 다양한 활용방안에 대해 기술하였음	연구보고서 p.95 참조	
○ 주요 연구내용 변경 사항을 보고서 내에 구체적 기술 필요	○ 주요 연구 변경 사항에 대해 구체적으로 기술하였음	연구보고서 p.94 참조	
○ 현장 관측장비 미설치와 같은 주요 연구 변경 사항 제시 및 변경 사항이 연구에 미치는 영향과 문제점 설명	○ 현장관측 미수행에 관련된 연구내용 변경 사항과 그에 따른 연구 수행의 문제점을 기술하였음	연구보고서 p.94 참조	
○ 대중에 대한 홍보와 더불어 빙산을 활용한 과학적 성과 창출 및 자료 제공 계획에 대한 기술 필요	○ 빙산 모니터링 시스템의 대중홍보, 빙산 모니터링을 통한 과학적 성과 창출 및 위성정보 제공에 대한 내용을 기술하였음	연구보고서 p.92 참조	
○ 현재 구축된 시스템의 장기 운영 방안 기술	○ 빙산 상시 모니터링 시스템의 확장 구축안과 운영전략에 대해 기술하였음	연구보고서 p.91 참조	

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.