

COSMO-SkyMed SAR 간섭영상을 이용한 동남극 테라노바 만의 정착빙 분석

Analysis of land-fast sea ice in Terra Nova Bay, East Antarctica, from COSMO-SkyMed Interferometric SAR images

김연춘, 한향선, 지영훈, 이훈열*

Yeonchun Kim, Hyangsun Han, Younghun Ji, and Hoonyol Lee*

강원대학교 지구물리학과

요약 : 남극 장보고 과학기지에 인접한 테라노바 만에는 연중 9-10개월 동안 해빙이 형성되어 있으며, 그 중 대부분은 육지와 대륙붕에 접합되어 있는 정착빙이다. 이 연구에서는 2010년 12월부터 2012년 1월까지 테라노바 만이 촬영된 총 63장의 COSMO-SkyMed SAR 영상으로부터 1-9일 사이의 시간적 기선거리를 가지는 39쌍의 간섭도를 생성하였다. 정착빙 표면에서는 최대 9일의 시간적 기선거리를 가지는 간섭영상에서도 변위에 의한 간섭띠가 관찰되었다. 그러나 유빙의 경우 시간적 기선거리가 클수록 간섭띠가 잘 관찰되지 않았으며, 정착빙 및 바다와 구분되는 후방산란 강도를 나타냈다. SAR amplitude 및 간섭영상으로부터 정착빙과 유빙, 바다를 구분하였으며, 각각의 해빙 유형에 따른 1년 동안의 면적 변화를 분석하였다. 정착빙의 면적은 1월에 최소였으며, 7월에 최대로 나타났다. 그러나 1월부터 7월 사이에 정착빙의 면적이 감소하는 시기가 관찰되었는데, 이는 바람, 해류, 조위와 같은 외부의 영향인자에 의해 정착빙의 가장자리가 붕괴되었기 때문으로 판단되었다.

1. 서론

계절에 따라 분포 면적이 변화하는 해빙(sea ice)은 북극권의 대부분과 남극대륙의 둘레에 위치하고 있으며, 전 지구적인 기후 및 환경 변화를 관찰하는데 일차적인 요소로 작용하고 있다. 이러한 해빙은 인간의 접근이 제한적이고 넓은 범위에 걸쳐 분포하기 때문에, 인공위성 원격탐사가 유용하게 사용되고 있다(Han and Lee, 2007). 인공위성 synthetic aperture

radar (SAR)는 고해상도의 영상을 제공할 뿐만 아니라, 태양고도와 기상조건에 영향을 받지 않기 때문에, 극빙의 변화 관측에 유용하게 활용되고 있다. 특히 레이더 간섭기법 (SAR Interferometry; InSAR)은 지표면의 미세한 변화를 관찰할 수 있어 정착빙의 변화를 관측하고, 해빙의 유형을 분류하는데 적합하게 사용될 수 있다(Han and Lee, 2011).

우리나라의 장보고 과학기지가 건설된

* 교신저자: 이훈열 (hoonyol@kangwon.ac.kr)

테라노바 만(Terra Nova Bay)에는 연중 대부분의 시기에 해빙이 형성되어 있으며, 그 중 대부분은 해안과 대륙붕에 고착된 정착빙이다. 이러한 정착빙은 쇄빙선의 접근에 방해가 될 뿐만 아니라, 해양 생태계에도 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 테라노바 만의 정착빙에 대한 시간적인 변화를 연구하는 것은 매우 중요하다.

이 연구에서는 2010년 12월부터 2012년 1월까지 테라노바 만이 촬영된 시계열적 COSMO-SkyMed SAR 영상을 이용하여 다양한 시간적 기선거리(temporal baseline)를 가지는 간섭도를 생성하였다. 간섭도의 간섭띠(fringe)와 SAR 영상의 후방산란 정보를 바탕으로 정착빙(Land-Fast Ice, LFI) 및 유빙(Drift Ice, DI)과 바다를 분류하였으며, 약 1년 동안 정착빙의 면적 변화를 분석하였다.

2. 연구지역 및 자료

연구지역은 동남극 장보고 과학기지에 인접한 테라노바 만의 정착빙 분포 지역이다. Fig. 1은 2011년 11월 11일의

COSMO-SkyMed SAR 영상이다. 테라노바 만은 연중 9-10개월 동안 대략 2.5 m 두께의 해빙이 해수면을 덮고 있다(Glasby, 1989; Lazzara *et al.*, 2007). 이러한 해빙의 대부분은 정착빙이다.

이 연구에서는 테라노바 만 주변 지역이 촬영된 총 63개의 COSMO-SkyMed SAR 영상을 이용하였다. SAR 영상은 2010년 12월 1일부터 2012년 1월 21일까지 descending 궤도에서 stripmap 모드, VV 편파, 40°의 입사각으로 획득되었으며, 40 km의 관측폭과 3 m의 공간해상도를 가진다.

3. 연구방법

장보고 과학기지 주변 정착빙의 형성 및 소멸 시기를 분석하기 위해서는 먼저 정착빙, 유빙, 바다를 구분할 필요가 있다. 대부분의 정착빙은 눈으로 덮여있고 표면이 부드러워 SAR 영상에서 바다와 구분이 어렵다. 또한 SAR 영상의 후방산란만으로는 정착빙과 유빙의 분류에는 한계가 있다. 그러나 간섭도에서 해빙과 바다는

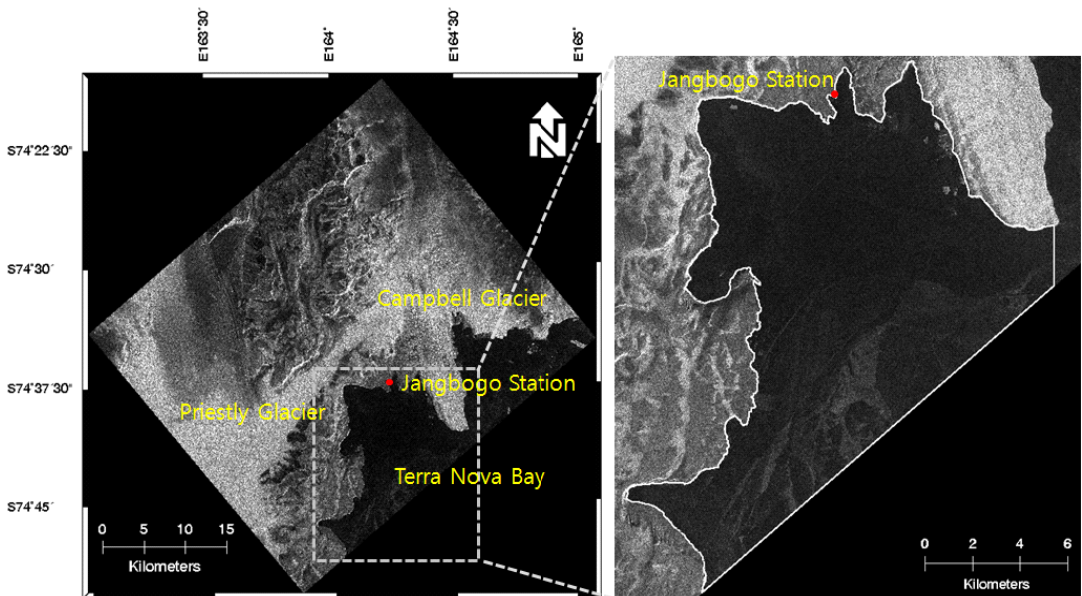


Fig. 1. COSMO-SkyMed SAR image over Terra Nova Bay obtained on 11 September 2011.

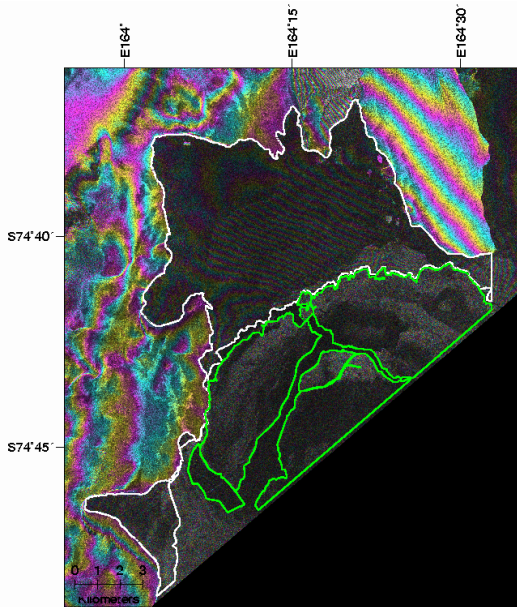


Fig. 2. Classification of land-fast sea ice (white polygon) and drift ice (green polygons) from an interferogram.

서로 다른 긴밀도를 보이며, 정착빙과 유빙의 변위특성도 다르게 나타난다. 따라서 레이다 간섭기법을 통해 해빙의 유형과 바다를 효과적으로 구분할 수 있다.

이 연구에서는 총 63개의 SAR 영상으

로부터 1-9일의 시간적 기선거리를 가지는 39쌍의 간섭도를 생성하였다. 생성된 간섭도로부터 간섭띠의 공간적 패턴을 분석하여 정착빙과 유빙, 바다를 구분하였다. 이때, SAR amplitude 영상을 함께 이용하여 정착빙과 유빙 구분의 정확도를 높였다.

39쌍의 간섭영상을 이용하여 분류된 정착빙과 유빙의 면적을 추출하였고, 시간에 따라 증가 또는 감소하는 정착빙의 면적 변화를 분석하였다.

4. 연구결과 및 토의

Fig. 2는 2011년 6월 3일과 4일의 SAR 영상으로부터 생성된 간섭도로, 해빙으로 덮이지 않은 바다는 1일의 시간적 기선거리에서도 시간적 위상오차로 인해 간섭띠가 관찰되지 않았다. 반면에 정착빙(흰색 영역)과 유빙(녹색 영역)은 서로 다른 변위특성을 나타내, 간섭띠의 패턴이 구분되는 것을 볼 수 있다. 정착빙 표면에서는 9일의 시간적 기선거리를 가지는 간섭영상에서도 변위에 의한 간섭띠가 관찰되었다. 반면에 유빙의 경우 시간적 기선거리가

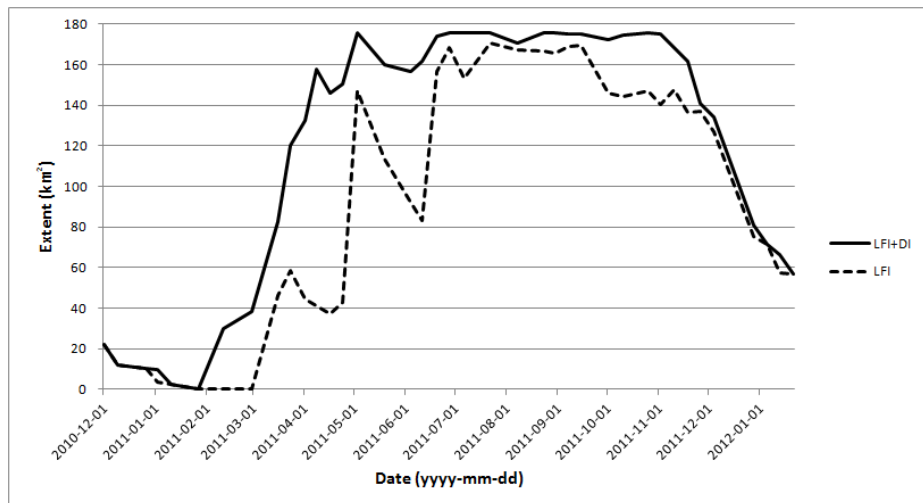


Fig. 3. Extent variation of the land-fast sea ice (LFI) (dotted line) and that of the sum of the LFI and drift ice (DI) (solid line).

클수록 간섭띠가 잘 관찰되지 않는 특성을 나타냈다. 이와 같은 두 해빙 유형의 변위 특성을 통해 정착빙과 유빙을 간섭도로부터 효과적으로 구분할 수 있었다.

Fig. 3에서 실선은 정착빙과 유빙이 모두 포함된 해빙의 면적 변화이며, 점선은 정착빙만의 면적 변화를 나타낸다. 2011년 테라노바 만 주변 정착빙의 소멸 시기는 1월-2월 사이이며, 정착빙의 면적은 1월부터 7월까지 전체적으로 증가하는 양상을 나타냈다. 정착빙의 면적은 7-10월에 최대(약 170 km²)로 나타났다.

4월과 6월에 정착빙의 면적이 일시적으로 감소하는 것이 관찰되었다. 그러나 7월부터 10월 사이에는 일시적인 면적의 감소가 관찰되지 않았다. 이는 정착빙의 두께가 상대적으로 얇은 1월-6월에는 해류, 바람, 조위에 의한 영향으로 정착빙의 가장자리가 붕괴될 수 있는 반면, 얼음이 두꺼운 7-10월 사이에는 붕괴가 쉽게 일어나지 않을 것으로 판단되었다.

5. 결론

이 연구에서는 2010년 12월부터 2012년 1월까지 남극 장보고 과학기지에 인접한 테라노바 만이 촬영된 총 63장의 COSMO-SkyMed SAR 영상을 이용하여, 1-9일의 시간적 기선거리를 가지는 간섭도를 생성하였다. 이로부터 정착빙과 유빙, 바다를 구분하였고, 정착빙에 대한 약 1년간의 면적 변화를 분석하였다. 정착빙은 7-10월에 최대 면적을 나타냈으며, 1-2월에 소멸하였다. 정착빙이 최대 면적을 나타내기 이전에는 일시적인 면적의 감소가 관찰되었는데, 이는 해류, 바람, 조위에 의해 얼음의 붕괴가 발생했기 때문으로 판단되었다. 반면 정착빙이 최대 면적을 보이는 7월부터 10월 사이에는 얼음의 두께가 두껍기 때문에 붕괴가 발생하지 않

았고, 이에 따라 일시적 면적의 감소가 관찰되지 않은 것으로 판단되었다. 향후 연구에서는 정착빙의 붕괴 및 변위에 바람, 해류, 조위가 미치는 영향이 정밀하게 분석되어야 할 것으로 사료된다.

사사

이 논문은 한국연구재단의 이공분야 기초연구사업(NRF - 2013R1A1A2008062)과 거대과학연구개발사업(NRF - 2013M1A3A3A02041853)의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Glasby, G.P., 1990. Antarctic Sector of the Pacific, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Han, H. and H. Lee, 2007. Comparative study of KOMPSAT - 1 EOC images and SSM/I NASA Team sea ice concentration of the Arctic, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(6):507 - 520 (In Korean with English abstract).
- Han, H. and H. Lee, 2011. Analysis of surface displacement of glaciers and sea ice around Canisteo Peninsula, West Antarctica, by using 4 - pass DInSAR technique, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(5):535 - 542 (In Korean with English abstract).
- Lazzara, L., I. Nardello, C. Ermanni, O. Mangoni, and V. Saggiomo, 2007. Light environment and seasonal dynamics of microalgae in the annual sea ice at Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica, *Antarctic Science*, 19(1):83-92.