

Kompsat-1 EOC 영상을 이용한 남극의 SSM/I와 AMSR-E 해빙 면적비 비교 분석

한향선, 이훈열

강원대학교 지구물리학과

imakdong@kangwon.ac.kr, hoonyol@kangwon.ac.kr

Comparative Analysis of SSM/I and AMSR-E Sea Ice Concentration using Kompsat-1 EOC Images of the Antarctic

Hyangsun Han and Hoonyol Lee

Department of Geophysics, Kangwon National University

Abstract: 2005년 남극의 해빙을 촬영한 Kompsat-1 EOC 영상을 이용하여 SSM/I와 AMSR-E 해빙 면적비를 비교, 분석하였다. EOC 영상은 남극의 봄철에 해당하는 9-11 월 사이에 남극 대륙의 가장자리를 가로지르는 11개 궤도로부터 총 676개 영상이 획득되었으며, 이 중 대기 및 광량 조건이 양호한 68개의 영상을 선별하였다. EOC 영상에 감독분류 방법을 적용하여 표면 유형을 White ice(W), Grey ice(G), Dark-grey ice(D), Ocean(O)로 분류하였고 해빙 면적비를 산출하였으며, 이를 NASA Team Algorithm (NT)으로 계산된 SSM/I 해빙 면적비, NASA Team2 Algorithm(NT2)으로 계산된 AMSR-E 해빙 면적비와 비교하였다. 남극의 봄철에 SSM/I 해빙 면적비는 EOC W+G 면적비와 잘 일치하였고, AMSR-E 해빙 면적비는 EOC W+G+D 면적비와 좋은 상관성을 나타내었다. 따라서 이 시기의 남극 SSM/I NT 해빙 면적비는 W와 G만을 반영하며, AMSR-E NT2 해빙 면적비는 D도 포함하는 것을 알 수 있었다. 또한 AMSR-E가 SSM/I보다 높은 해빙 면적비를 나타내는 것을 확인하였으며, 두 수동 마이크로파 해빙 면적비의 차이는 EOC D 면적비와 높은 상관성을 보였다. 이로부터 EOC 영상에서 분류된 D와 NT2에서 고려되는 Ice type C가 서로 유사한 해빙 유형임을 추정할 수 있었다.

1. 서론

북극과 남극의 환경은 전 지구적인 기후 및 환경 변화에 매우 민감하게 반응한다. 특히 해빙은 최근 급격한 감소 양상을 나타내고 있으며, 이는 지구온난화의 진행

정도를 관찰하는데 중요한 지표가 되고 있다(Barry *et al.*, 1993, Gloersen *et al.*, 1999, Piwowar *et al.*, 1998). 수동 마이크로파(Passive Microwave, PM) 센서는 광학 센서에 비해 광량 및 대기 조건에 영향을 적게 받기 때문에 극빙 연구

에 매우 유용하게 사용된다. 1970년대부터 ESMR과 SMMR 등의 PM 센서가 극빙 관찰에 이용되었으며, 현재 SSM/I와 AMSR-E가 각각 1987년과 2002년부터 매일 북극과 남극의 해빙 면적비(sea ice concentration)를 알려주고 있다. 이러한 PM 센서는 공간해상도가 취약함(수십 km)에도 불구하고 극지 표면의 전체적이고 연속적인 자료를 제공해주기 때문에 널리 사용되고 있다(Cavalieri et al., 1999).

그 동안 SSM/I와 AMSR-E 해빙 면적비의 검증과 평가, 보정을 위해 많은 연구들이 이루어졌으며, 대부분 SAR 영상 또는 Landsat TM/ETM+, NOAA AVHRR, 그리고 Terra/Aqua MODIS 등의 중저해상도 광학영상이 사용되었다(Belchansky and Douglas, 2002, Cavalieri et al., 2006, Worby and Comiso, 2004). 그러나 고해상도의 광학영상을 이용한 보다 정밀한 해빙 연구는 광량 및 운량과 같은 관측 조건의 부적합과 고비용 등의 문제로 인하여 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 중저해상도 광학영상의 한계를 극복하고 해빙의 유형에 따른 보다 정밀한 PM 해빙 면적비의 분석을 위하여 고해상도의 Kompsat-1 EOC 영상으로부터 다양한 해빙 유형을 분류하여 면적비를 산출하였으며, 이를 SSM/I와 AMSR-E 해빙 면적비와 비교, 분석하였다.

2. Kompsat-1 EOC 자료

Kompsat-1 EOC는 남에서 북으로 올라가며(ascending) 18.7 km의 폭으로 한 궤도를 2분 동안(800 km) 촬영하며, 공간해상도 6.6 m의 팬크로매틱 영상을 제공한다. 남극의 EOC 영상은 2005년 9-11

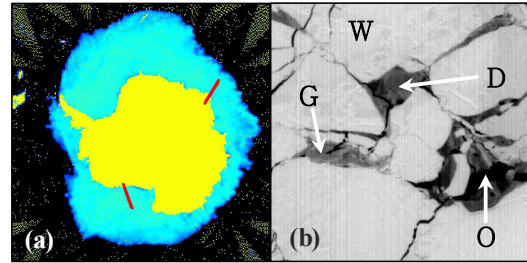


Figure 1. (a) Kompsat-1 EOC orbits overlay with SSM/I sea ice concentration image (7600 km×8300 km), (b) The sea ice types classified from EOC images (2.2 km×2.2 km).

월 사이에 남극 대륙의 가장자리를 지나 는 11개 궤도(총 676 영상)에서 획득되었으며, 대기 및 광량 조건이 양호한 4개 궤도(Fig. 1a)의 68개 영상이 연구에 사용되었다(Table 1).

남극의 9-11월은 해빙의 분포가 절정을 이루었다가 서서히 감소하기 시작하는 봄철에 해당한다. 대부분의 해빙 표면에는 눈이 쌓여 있었고 폭이 좁은 크랙(crack)과 리드(lead)가 많이 관찰되었으며, 그 사이를 fast ice로 추정되는 해빙과 open water가 채우고 있는 것이 확인되었다.

EOC 영상의 기하보정은 궤도정보를 통해 이루어지는데, 연구에서는 약 5 km의 오차가 확인되었다. 최대한 정확한 기하보정을 하기 위하여 EOC와 촬영 시각과 지역이 인접한 Terra/Aqua MODIS 영상을 사용하였다.

해빙의 유형은 연령과 형태, 두께에 따라 Multi-year ice, First-year ice,

Table 1. List of Kompsat-1 EOC images

Date	Obtained Scenes	Usable Scenes
2005/09/25	60	14
2005/10/05	61	40
2005/10/08	61	5
2005/11/04	63	9
Total	245	68

Young ice, 그리고 New ice로 분류된다 (WMO, 1970). EOC 영상에서는 팬크로매틱 영상에 나타나는 grey-level의 특성에 따라 감독분류 방법을 적용하여 White ice(W), Grey ice(G), Dark-grey ice(D), 그리고 Ocean(O)으로 표면 유형을 분류하였다(Fig. 1b). W는 북극의 Multi-year ice와 First-year ice(남극에서 ice type A와 B)를 포괄한다고 할 수 있으며, G는 Young ice, D는 New ice와 유사한 해빙 유형이라고 할 수 있다.

3. 수동 마이크로파 자료

SSM/I는 19.35, 37.0, 85.0GHz 수직/수평 편광과 22.235GHz 수직 편광 채널로 이루어지며, NASA Team Algorithm (NT)과 Bootstrap Algorithm을 통하여 25 km 공간해상도의 해빙 면적비가 계산된다. 본 연구에서는 NT로 계산된 SSM/I 일평균 해빙 면적비를 사용하였다.

AMSR-E는 모든 주파수(6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 89.0GHz)에서 수직/수평 편광 채널을 가진다. 해빙 면적비의 계산을 위해 NASA Team2 Algorithm (NT2)을 사용하고 있으며, 12.5 km 공간해상도로 해빙 면적비를 제공한다. 연구에는 NT2로 계산된 AMSR-E 일평균 해빙 면적비를 사용하였다.

NT는 Multi-year ice와 First-year ice(남극의 경우 Ice type A와 B)를 반영하며(Comiso et al., 1997), NT2는 89.0GHz 수직/수평 편광 채널을 사용함으로써 새로운 해빙 유형인 Ice type C를 감지한다(Markus and Cavalieri, 2000).

PM 자료로부터 EOC 영상의 촬영 일자와 위치에 해당하는 해빙 면적비를 추출하였다. 또한 인접 날짜 및 pixel을 포함하는 cubic pixel로부터 해빙 면적비의 표

준편차를 구하였는데, 이는 해빙의 시공간적 불안정성을 나타내는 지표로 사용될 수 있다(Han and Lee, 2006).

4. EOC와 수동 마이크로파 해빙 면적비의 비교

Fig. 2a, b, 그리고 c는 SSM/I와 EOC 해빙 면적비의 상관도이며, d, e, 그리고 f는 AMSR-E와 EOC 해빙 면적비를 비교한 것으로, 남극의 북철에 PM 해빙 면적비는 대부분 70% 이상의 높은 값을 나타내었다. 각각의 데이터 포인트에 표시된 세로막대는 PM 해빙 면적비 cubic pixel의 표준편차이다. 이 값이 $\pm 2.5\%$ 이하인 데이터는 검정색으로 나타내었으며, 해빙의 시공간적 변화가 작은 것이라 판단하였다. $\pm 2.5\%$ 를 초과한 경우에는 흰색으로 나타내었고 해빙이 시공간적으로 불안정한 것으로 간주하였다.

EOC W+G+D 면적비는 SSM/I 해빙 면적비보다 대체로 작게 나타났으며, 0.717의 상관계수를 보였다(Fig. 2a). 이 시기의 해빙이 시공간적으로 안정적이고 open water가 크게 드러나지 않았다는 것을 고려해볼 때, EOC W+G+D와 SSM/I 해빙 면적비의 차이는 매우 컸다. 이는 G와 D가 SSM/I 해빙 면적비에 반영되지 않기 때문인 것으로 생각되었다. 따라서 NT가 반영하는 Ice type A, B와 W가 서로 유사하다고 판단하여 SSM/I와 EOC W 면적비를 비교하였다(Fig. 2b). 그러나 대부분의 SSM/I 해빙 면적비는 EOC W 면적비보다 큰 값을 취했으며, 상관계수는 0.638로 좋아지지 않았다.

D만을 제외한 EOC W+G 면적비를 SSM/I 해빙 면적비와 비교한 결과(Fig. 2c), 0.830의 상관계수로 가장 잘 일치하였다. 따라서 NT로 계산된 SSM/I 해빙

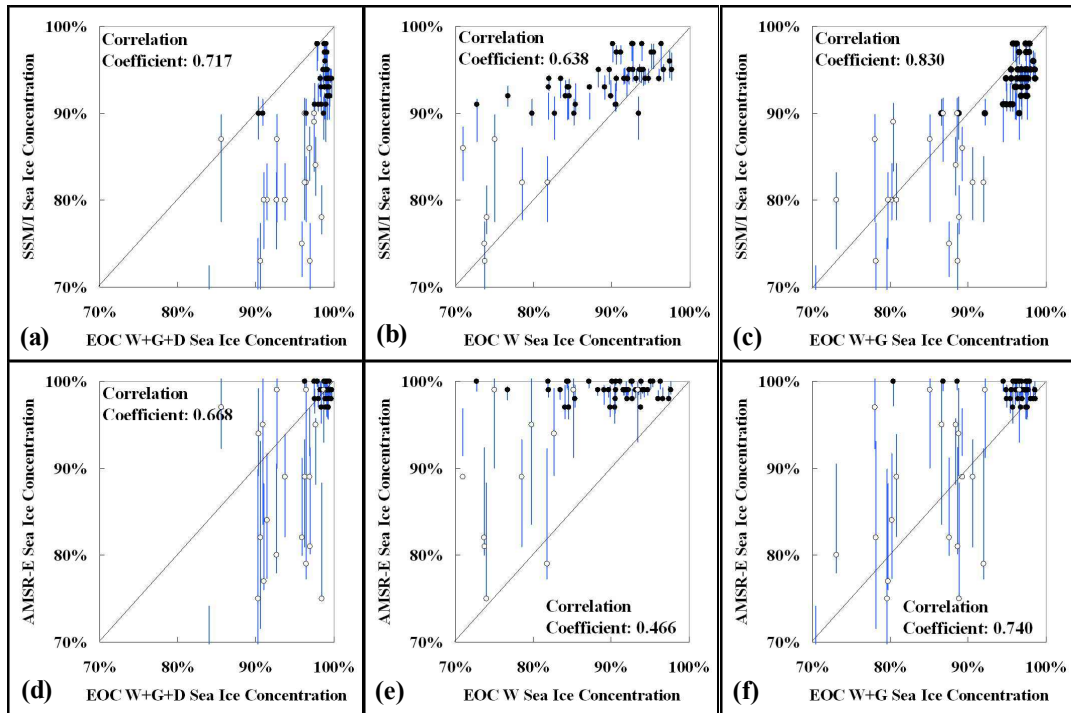


Figure 2. (a)~(c) show the relationship between EOC and SSM/I sea ice concentration calculated from NASA Team Algorithm. (d)~(f) indicate the relationship between EOC and AMSR-E sea ice concentration calculated from NASA Team2 Algorithm. EOC sea ice concentration includes W+G+D in (a) and (d), only W in (b) and (e), and W+G excluding D in (c) and (f).

면적비는 W와 G를 반영하며, D는 포함하지 않음을 알 수 있었다.

NT2로 계산된 AMSR-E 해빙 면적비는 EOC W+G+D 면적비는 0.668의 상관계수를 가졌으며(Fig. 2d), EOC W 면적비와의 비교에서는 0.466의 상관계수를 보였다(Fig. 2e). AMSR-E와 EOC W+G 면적비를 비교했을 경우(Fig. 2f), 0.740의 비교적 좋은 상관계수를 보였다.

그러나 PM cubic pixel의 표준편차가 $\pm 2.5\%$ 이하인 데이터만을 고려했을 때, AMSR-E 해빙 면적비는 EOC W+G+D 면적비와 더 좋은 상관성을 보였다. 이에 따라 NT2로부터 계산된 AMSR-E 해빙 면적비는 W와 G 뿐만 아니라, D까지도 포함함을 추정할 수 있었다.

5. 수동 마이크로파 해빙 면적비 차이의 원인 분석

Fig. 3a는 EOC 영상에 상응하는 SSM/I와 AMSR-E 해빙 면적비를 비교한 상관도이다. PM cubic pixel의 표준편차가 $\pm 2.5\%$ 이하인 데이터는 검정색으로 나타내었으며, $\pm 2.5\%$ 를 초과한 경우 흰색으로 표시하였다. AMSR-E 해빙 면적비가 대부분 SSM/I보다 높았으며, 이는 NT2가 NT에서 고려하는 해빙 유형 외에 Ice type C를 추가로 반영하기 때문인 것으로 생각되었다.

AMSR-E와 SSM/I 해빙 면적비의 차이를 EOC의 G, D, G+D 면적비와 각각 비교하였다. 그 결과, AMSR-E와 SSM/I 해

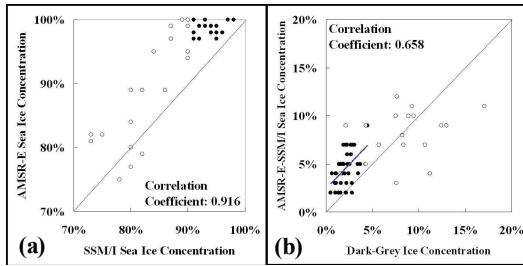


Figure 3. (a) The relationship between SSM/I and AMSR-E sea ice concentration, (b) The relationship between EOC D and AMSR-E sea ice concentration.

빙 면적비의 차이는 EOC D 면적비와 가장 높은 상관성을 나타냈다(Fig. 3b).

Fig. 4는 D를 많이 포함하는 EOC 영상(a)과 적게 포함하는 EOC 영상(b)의 예를 나타낸 것이다. Fig. 4a 영상은 2005년 9월 25일에 촬영되었으며, W는 51.8%, G는 29.0%, D는 13.0%이다. 이 영상에 대응하는 AMSR-E와 SSM/I 해빙 면적비는 각각 89%와 80%이며, 그 차이는 9%에 달한다. 2005년 10월 5일에 촬영된 Fig. 4b 영상은 97.4%의 W, 1.0%의 G, 그리고 단 0.5%의 D로 구성되어 있다. 이 영상에 상응하는 AMSR-E와 SSM/I 해빙 면적비는 각각 98%와 96%로써, 그 차이는 2%에 불과하다. Fig. 4의 예시뿐만 아니라 대부분의 EOC 영상에서 D가 많이 분포할수록 AMSR-E와 SSM/I 해빙 면적비의 사이의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있었다.

위의 결과를 바탕으로 D가 NT2에서 고려되는 Ice type C와 유사하다고 가정할 수 있었다. Ice type C는 균질하지 않고 복잡한 산란을 일으키는 표면을 가지며, 실제보다 해빙 면적비가 작게 계산되는 해빙 유형이다(Comiso *et al.*, 2003). 외형적인 물리적 특성은 얇은 해빙과 비교적 유사하다고 할 수 있으며, 몇몇 연구에서는 Ice type C대신 얇은 해빙으로 정의

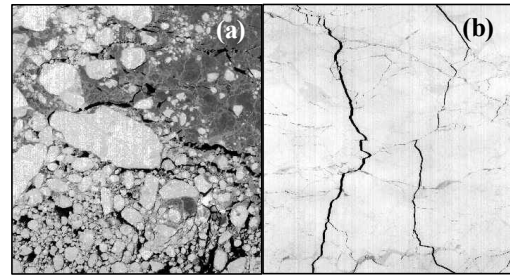


Figure 4. (a) shows large portion of dark-grey ice(13.0%). AMSR-E and SSM/I sea ice concentration corresponding to (a) are 89% and 80%. (b) includes little dark-grey ice(0.5%). AMSR-E and SSM/I sea ice concentration corresponding to (b) are 98% and 96%.

하기도 한다(Heinrichs *et al.*, 2006). EOC 영상의 D는 두께가 매우 얇고 수분과 얼음 결정이 혼합된 표면을 가지는 것으로 보이며, 이에 따라 D가 Ice type C와 유사한 해빙 유형이라고 추정할 수 있었다.

6. 결론

NASA Team Algorithm(NT)로 계산된 SSM/I 해빙 면적비와 NASA Team2 Algorithm(NT2)로 계산된 AMSR-E 해빙 면적비의 정밀한 분석을 위하여 고해상도의 Kompsat-1 EOC 영상으로부터 White ice(W), Grey ice(G), Dark-grey ice(G)로 해빙 유형을 분류하여 면적비를 산출하였고, 이를 SSM/I, AMSR-E 해빙 면적비와 각각 비교하였다.

남극의 봄철에 SSM/I 해빙 면적비는 EOC W+G 면적비와 잘 일치하였고, AMSR-E 해빙 면적비는 EOC W+G+D 면적비와 좋은 상관성을 보였다. 이에 따라 NT로 계산된 SSM/I 해빙 면적비는 W와 G만을 반영하며, NT2로 계산된 AMSR-E 해빙 면적비는 D도 포함하는 것을 알 수 있었다.

AMSR-E와 SSM/I 해빙 면적비의 차이는 D가 많이 분포할수록 증가하였으며, 이로부터 D와 Ice type C가 유사한 해빙 유형일 것이라고 추정하였다.

본 연구를 통하여 SSM/I와 AMSR-E가 반영하는 해빙 유형을 확인하였고, 수동 마이크로파 해빙 면적비의 차이를 일으키는 원인을 추정할 수 있었다. 보다 정밀하게 수동 마이크로파 해빙 면적비를 평가하기 위해서는 고해상도의 광학 센서 및 SAR 센서의 동시 관측이 필요하며, 같은 시기에 현장 관측이 필수적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Barry, R. G., M. C. Serreze, J. A. Maslanik, and R. H. Preller, 1993. The Arctic sea ice-climate system: observations and modeling, *Reviews of Geophysics*, 31(4), 397-442.
- Belchansky, G. I., and D. C. Douglas, 2002. Seasonal comparison of sea ice concentration estimates derived from SSM/I, OKEAN, and RADARSAT data, *Remote Sensing of Environment*, 81(1), 67-81.
- Cavalieri, D. J., C. L. Parkinson, P. Gloersen, J. C. Comiso, and H. J. Zwally, 1999. Deriving long-term time series of sea ice cover from satellite passive-microwave multisensor data set, *Journal of Geophysical Research*, 104(C7), 15,803-15,814.
- Cavalieri, D. J., T. Markus, D. K. Hall, A. J. Gasiewski, M. Klein, and A. Ivanoff, 2006. Assessment of Aqua AMSR-E arctic sea ice concentration using Landsat-7 and airborne microwave imagery, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44(11), 3057-3069.
- Comiso, J. C., D. J. Cavalieri, C. L. Parkinson, and P. Gloersen, 1997. Passive microwave algorithms for sea ice concentration: a comparison of two techniques, *Remote Sensing of Environment*, 60(3), 357-384.
- Comiso, J. C., D. J. Cavalieri, and T. Markus, 2003. Sea ice concentration, ice temperature, and snow depth using AMSR-E data, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41(2), 243-252.
- Gloersen, P., C. L. Parkinson, D. J. Cavalieri, J. C. Comiso, and H. J. Zwally, 1999. Spatial distribution of trends and seasonality in the hemispheric sea ice covers: 1978-1996, *Journal of Geophysical Research*, 104(C9), 20,827-20,836.
- Han, H., and H. Lee, 2006. Comparison of SSM/I sea ice concentration with Kompsat-1 EOC images of the Arctic and Antarctic, *IGARSS06*, Denver, Colorado, USA, 31 July-4 August.
- Heinrichs, J. F., D. J. Cavalieri, and T. Markus, 2006. Assessment of the AMSR-E sea ice concentration product at the ice edge using RADARSAT-1 and MODIS imagery, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 44(11), 3070-3080.
- Markus, T., and D. J. Cavalieri, 2000. An enhancement of the NASA team algorithm, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 38(3), 1387-1398.
- Piwowar, J. M., D. R. Peddle, and E. F. Ledrew, 1998. Temporal mixture analysis of Arctic sea ice imagery: a new approach for monitoring environmental change, *Remote Sensing of Environment*, 63(3), 195-207.
- Worby, A. P., and J. C. Comiso, 2004. Studies of the Antarctic sea ice edge and ice extent from satellite and ship observations, *Remote Sensing of Environment*, 92(1), 98-111.
- World Meteorological Organization, 1970. *WMO-sea ice nomenclature*, 1970 ed., WMO series no. 259, Secretariat of the WMO, Geneva.