Korean Journal of Remote Sensing, Vol.34, No.6-2, 2018, pp.1273~1282
http://dx.doi.org/10.7780/kjrs.2018.34.6.2.11

ISSN 1225-6161 (Print)
ISSN 2287-9307 (Online)

Article

북극해 해빙 탐지를 위한 Sentinel-1 HV자료의 방사보정 연구

김윤지[1] · 김덕진[2]† · 권의진[3] · 김현철[4]

A Study on the Radiometric Correction of Sentinel-1 HV Data for Arctic Sea Ice Detection

Yunjee Kim[1] · Duk-jin Kim[2]† · Ui-Jin Kwon[3] · Hyun-Cheol Kim[4]

Abstract: Recently, active research on the Arctic Ocean has been conducted due to the influence of global warming and new Arctic ship route. Although previous studies already calculated quantitative extent of sea ice using passive microwave radiometers, melting at the edge of sea ice and surface roughness were hardly considered due to low spatial resolution. Since Sentienl-1A/B data in Extended Wide (EW) mode are being distributed as free of charge and bulk data for Arctic sea can be generated during a short period, the entire Arctic sea ice data can be covered in high spatial resolution by mosaicking bulk data. However, Sentinel-1A/B data in EW mode, especially in HV polarization, needs significant radiometric correction for further classification. Thus, in this study, we developed algorithms that can correct thermal noise and scalloping effects, and confirmed that Arctic sea ice and open-water were well classified using the corrected dual-polarization SAR data.

Key Words: Sentinel-1, sea ice, thermal noise, scalloping effect, classification

요약: 최근 북극항로와 온난화 등의 영향으로 인해 북극해에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 기존에 수동 마이크로파 복사계를 이용하여 북극해 해빙의 정량적 면적을 산출하는 연구는 진행되어 왔으나, 보다 고해상도로 해빙의 가장자리에서 발생하는 융해 및 표면 거칠기 변화에 대한 연구는 잘 이루어지지 않았다. 또한, 최근 Sentinel1-A/B자료가 무료로 배포되고, 특히 북극해 영역에 대한 수많은 자료들이 짧은 기간 동안 생산 및 제공되고 있기에, 이러한 대용량 자료들을 모자익(mosaic)하여 북극해 전체에 대한 고해상도 해빙정보 이용이 가능하게 되었다. 그러나 Sentienl-1A/B의 광역관측(Extended Wide, EW)모드 자료를 효과적으로 사용하기 위해서는 보다 정확한 방사보정이 수행되어야 한다. 이를 위해 이중편파 Sentinel-1A/B 자료에 나타나는 thermal noise와 scalloping 효과를 자동적으로 보정할 수 있는 방사보정 기법을 개발하였으며, 나아가 방사보정 된 이중편파 SAR자료를 이용할 경우 해빙과 open-water를 보다 더 잘 구분할 수 있음을 확인하였다.

Received November 18, 2018; Revised November 11, 2018; Accepted November 19, 2018; Published online December 26, 2018

[1] 한국과학기술기획평가원 사업조정전략센터 연구원 (Researcher, Strategy Center for R&D Coordination, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning)
[2] 서울대학교 지구환경과학부 정교수 (Professor, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University)
[3] 서울대학교 지구환경과학부 학부생 (Undergraduate Student, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University)
[4] 극지연구소 북극 해빙예측 사업단 책임연구원 (Principal Researcher, Unit of Arctic Sea-Ice Prediction, Korea Polar Research Institute)

† Corresponding Author: Duk-jin Kim (djkim@snu.ac.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

해빙(sea ice)은 바닷물로부터 형성된 얼음으로, 주로 북극과 남극에 분포하고 있으며 계절에 따라 생성되고 사라지는 등의 면적변화가 일어난다. 바다로만 구성되어 있는 북극해는 남극해와는 달리 항로 이용이 용이하며, 최근 연구보고에 따르면 온난화의 영향으로 연중 해빙의 면적이 급격히 감소하는 추세로 그 속도가 빨라지고 있다(Stroeve *et al.*, 2012). 또한 북극해의 해빙 면적은 전 지구적인 기후변화와 매우 밀접한 관련을 갖고 있다(Stammerjohn *et al.*, 2012; Vihma, 2014). 북극해 해빙 면적의 감소로 인한 연평균 기온의 상승은 엘니뇨, 해수면 상승 등의 이상 현상을 야기할 수 있다. 그러나 북극 해빙 면적의 감소로 인해 새로운 북극항로가 개척됨에 따라 지속적인 해빙 모니터링의 중요도가 점차 높아지고 있다. 다양한 인공위성 중 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar; SAR)는 다른 센서에 비해 대기의 영향을 적게 받으며, 주야에 관계없이 자료 획득이 가능하다. 또한, 편파 자료 이용이 가능하여 편파 자료의 다양한 연산을 통해 지표면에 대한 정보 추출이 가능하다.

최근 유럽우주국(European Space Agency; ESA)에서 Sentinel-1A와 Sentinel-1B를 발사하여 운영하고 있으며, 전 세계에서 획득된 자료를 온라인을 통해 무료로 제공해 주고 있다. 각각의 위성은 12일 주기로 동일 궤도상에 180도의 위상 차이로 돌고 있어 실지적인 자료의 획득 주기는 6일마다 가능하다. 북극해와 같은 고위도의 경우 경도 간 간격이 좁아 극궤도 위성은 짧은 기간 동안 북극해 전체를 뒤덮을 수 있기에 Sentinel-1A와 B를 이용할 경우 6일 이내에 북극해 전 영역에 대한 자료 획득이 가능하다. 특히, Sentinel-1의 Extended Wide(EW) 모드의 경우 관측폭이 약 400 km에 달해 3일 이내의 자료만으로도 북극해를 80% 이상 차지할 수 있는 것으로 파악이 되었다. 이러한 Sentinel-1 EW모드 자료는 단일 편파 또는 이중편파로 자료 획득이 가능하다.

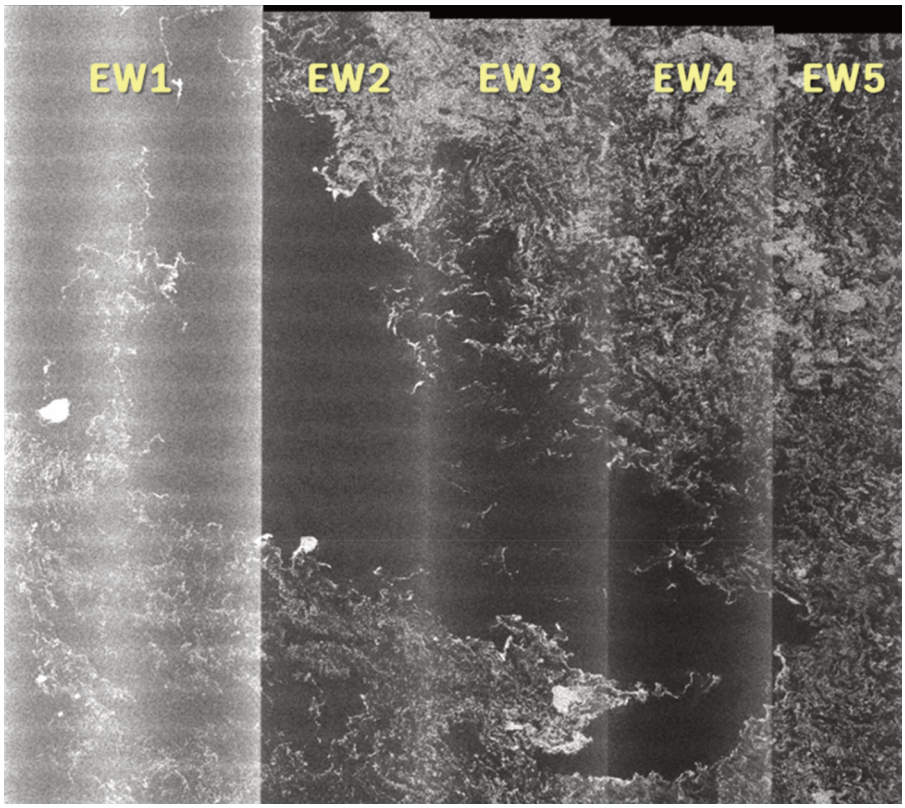

Fig. 1. Sentinel-1 EW mode (HV polarization) data. This figure shows thermal noise effect (5 different brightness from left to right) and scalloping effect (periodic brighter and darker stripes from top to bottom). It also shows Extended Wide (EW) modes from 1 to 5.

일반적으로 해빙의 경우 바닷물에 비해 상대적으로 낮은 유전율로 인해 전자기파의 투과가 일어나고 해빙 내의 공기 방울로 인해 체적산란이 주로 발생한다(Onstott and Shuchman, NOAA online website). 따라서 크로스-편파(cross-polarization) 자료에서 보다 더 해빙에 대한 특징을 잘 살필 수도 있다. 하지만 Sentinel-1 HV 편파의 경우 thermal noise 및 scalloping 효과로 인해 심각하게 자료의 손상이 발생하고 있다(Fig. 1). 이러한 자료의 손상이 보정 된다면 보다 수월하게 해빙분류 작업이 가능하여 자동화된 해빙분류기법의 개발이 가능할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 Sentinel-1A와 B의 HV편파 영상에 남아있는 thermal noise 및 scalloping 효과를 제거(본 연구에서는 이것을 방사보정으로 정의한다)하는 방법에 대해 연구하고, 이를 통해 해빙 분류의 정확도가 어느 정도 향상될 수 있는지를 살펴 보고자 한다.

2. 연구 자료

본 연구에서는 북극해에 존재하는 해빙을 탐지하기 위해 최근에 무료로 배포되고 있는 SAR자료인 Sentinel-1 자료를 이용하였다. 북극해를 촬영한 Sentinel-1자료의 경우 대부분 EW모드로 촬영이 되기 때문에, 본 연구에서도 EW모드 자료에 집중하여 연구를 진행하며, 특히 해빙과 open-water의 구분에 보다 더 유용할 수 있는 HV 편파 자료를 함께 이용할 수 있는 이중편파 EW모드 자료를 사용하였다. 해빙분류의 정확도 평가를 위해 해빙이 존재할 것으로 예상되는 2015년 9월 17일에 촬영된 북위 약 80° 부근의 Fram Strait 지역 자료와 2015년 12월 16일에 촬영된 북위 약 76° 부근의 Greenland 지역의 Sentinel-1 자료를 사용하였다. 또한, HV편파에 포함되어 있는 thermal noise 및 scalloping 효과에 대한 정량적 분석을 위해 후방산란되어 들어오는 신호가 거의 없을 것이라고 볼 수 있는 조용한 바다(calm sea)에 해당하는 13개의 Sentinel-1 자료를 선정하여 본 연구에 활용하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 Sntinel-1 SAR자료들의 리스트를 보여주고 있다.

3. 연구 방법

1) HV 편파자료의 thermal noise 보정

대부분의 SAR 위성 영상에는 노이즈가 포함되어 있어 이를 보정해 주어야 유의미한 신호를 얻을 수 있다. Sentinel-1 EW모드의 경우 5개의 sub swath가 합쳐져 만들어졌고 각 sub swath 마다 특징이 다른 안테나 패턴을 지니고 있다. 따라서 합쳐질 때 각 sub swath에 해당하는

Table 1. Sentinel-1 EW mode SAR data used in this study

Satellite	Product type, mode	Pass direction	Polarization	Date Time (UTC)	etc.
Sentinel-1A	GRDM, EW	ascending	HH+HV	2015.09.17. 07:53:02	Fram Strait
Sentinel-1A	GRDM, EW	ascending	HH+HV	2015.12.16. 07:04:47	Greenland
Sentinel-1A	GRDM, EW	descending	HH+HV	2015.04.01. 08:56:53	calm sea
Sentinel-1A	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.03.25. 18:16:32	calm sea
Sentinel-1A	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.03.30. 18:24:47	calm sea
Sentinel-1A	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.04.30. 18:16:34	calm sea
Sentinel-1A	GRDM, EW	ascending	HH+HV	2017.06.03. 19:54:06	calm sea
Sentinel-1A	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.06.05. 08:24:41	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2016.10.24. 08:40:46	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2016.11.05. 08:40:46	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	ascending	HH+HV	2016.11.05. 19:53:24	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.02.09. 18:32:23	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.04.29. 18:23:59	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.05.06. 18:15:50	calm sea
Sentinel-1B	GRDM, EW	descending	HH+HV	2017.06.07. 08:57:15	calm sea

안테나 패턴을 보정한 후 합쳐야만 경계 없이 자연스럽게 합쳐질 수 있다. Sentinel-1 EW모드 자료는 이러한 보정을 수행한 후 사용자들에게 제공된다. 하지만 지상으로부터 되돌아오는 신호의 세기가 Noise Equivalent Sigma Zero(NESZ)보다 약할 경우 신호가 노이즈에 묻히게 된다. 이런 경우 안테나 패턴 보정을 하게 되면 오히려 역으로 보정해 준 양 만큼의 인위적인 신호가 영상에 나타날 수 있다. 따라서 Sentinel-1의 NESZ(약 -22dB)보다 작은 후방산란계수를 보이는 호수 또는 calm sea와 같은 지역의 영상은 이러한 효과 확인이 쉽기 때문에 해당 지역의 영상들을 이용하여 thermal noise를 보정할 수 있다. Fig. 2는 calm sea와 해당 영상의 thermal noise를 range 방향으로 나타낸 그림으로, calm sea의 신호와 thermal noise신호가 매우 유사한 패턴을 보임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 12장의 calm sea 영상을 사용하여 해당 영상들에 노이즈만 있다고 가정한 후, Sentinel-1자료의 xml파일에 포함되어 있는 Noise Look-Up Table(LUT) 정보를 이용하여 thermal noise를 보정해 주었다.

Noise LUT 정보는 모든 픽셀마다 제공되지 않기 때문에 본 연구에서는 먼저 1) 주어진 noise LUT 정보를 기반으로 interpolation하여 영상크기와 동일한 노이즈 평면을 구한 후 2) 해당 노이즈 평면을 swath Bounds 정보를 이용하여 5개의sub swath로 구분한 후, sub swath 별로 노이즈를 보정해 주었다. Thermal noise 효과가 보정된 결과는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$DN_{cor} = DN^2 - \eta_i' \quad (1)$$

여기서, DN_{cor}은 thermal noise를 제거한 후의 DN값,

Table 2. The coefficients which are necessary to subtract thermal noise from the image. a value in EW1 means difference between average of noise LUT in EW1 and noise LUT in EW2

	a	b
EW1	-0.00254 × *A + 2.847	-400
EW2	1.00	-200
EW3	1.04	0
EW4	1.00	0
EW5	1.00	-200

*A = average of noise LUT in EW1 – average of noise LUT in EW2

DN^2은 영상의 DN을 제곱한 값, 그리고 η_i'은 i번째 픽셀에서의 noise LUT값으로 다음의 식으로 계산된다.

$$\eta_i' = a \cdot \eta + b \quad (2)$$

이때, η는 noise LUT 값이고 a, b는 sub swath에 따라 다른 값을 갖는다(Table 2). 특히 EW1과 EW2는 다른 sub swath들에 비해 노이즈 세기 차이가 크고, 그 차이가 영상마다 다르기 때문에 다른 sub swath와는 달리 EW1의 a는 12개 영상의 평균적인 EW1과 EW2의 노이즈 차이로부터 도출된 관계식을 통해 계산했다.

2) HV 편파자료의 Scalloping 효과 보정

Sentinel-1은 Terrain Observation with Progressive Scans SAR(TOPSAR)모드의 위성으로, 안테나 빔(antenna beam)의 조향(steering)으로 인해 azimuth 방향으로 scalloping 효과가 나타나는 특징이 있다. Scalloping 효과는 ScanSAR 모드의 특성 중 하나로, TOPSAR 모드는 이러한 ScanSAR 모드의 단점을 보완하기 위해 고안되었

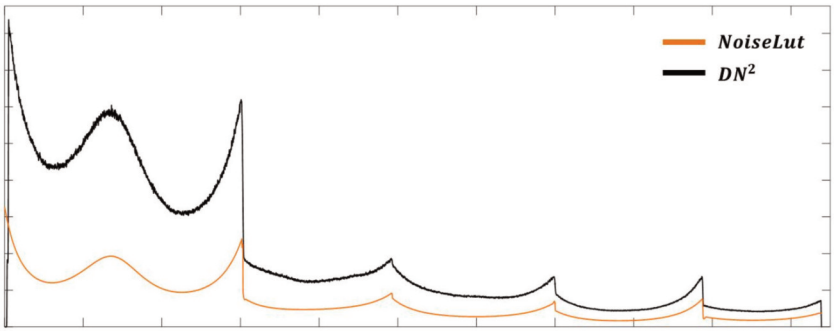

Fig. 2. The graph showing profile of thermal noise (orange line) and signal (DN2) at calm sea (black line) in range direction (DN=Digital Number).

지만 영상자료에 여전히 그 효과가 나타난다. 이는 doppler-centroid 기반 안테나 패턴(antenna pattern)과 안테나 조향각도(antenna steering angle)를 이용하여 보정할 수 있다.

Scalloping 효과 보정은 ESA에서 제공하는 De-scalloping function을 사용하였다(Eq. 3).

$$G(\psi) = sinc^2\left(\frac{L_{el}}{\lambda}\sin(\psi)\right) \quad (3)$$

여기서, λ는 레이더 파장, ψ는 조향각도(steering angle), L_{el}은 안테나 요소 길이(antenna element length)로 조향각도와 안테나 요소 길이는 각각 Eq. (4)와 Eq. (5)에 의해 정의된다(MDA, 2014).

$$\psi(\eta_i) = sinc^2\frac{\lambda}{2\cdot V_s}k_t\eta_i \quad (4)$$

여기서, V_s는 위성 속도 (m/s), k_t는 azimuth frequency rate, 그리고 η_i는 zero doppler time 이다. 조향각도는 10^{-9} 초 단위로 변화하는 zero doppler time에 따라 민감하게 변화하며, 이 각도에 의해 안테나 패턴 크기가 결정된다.

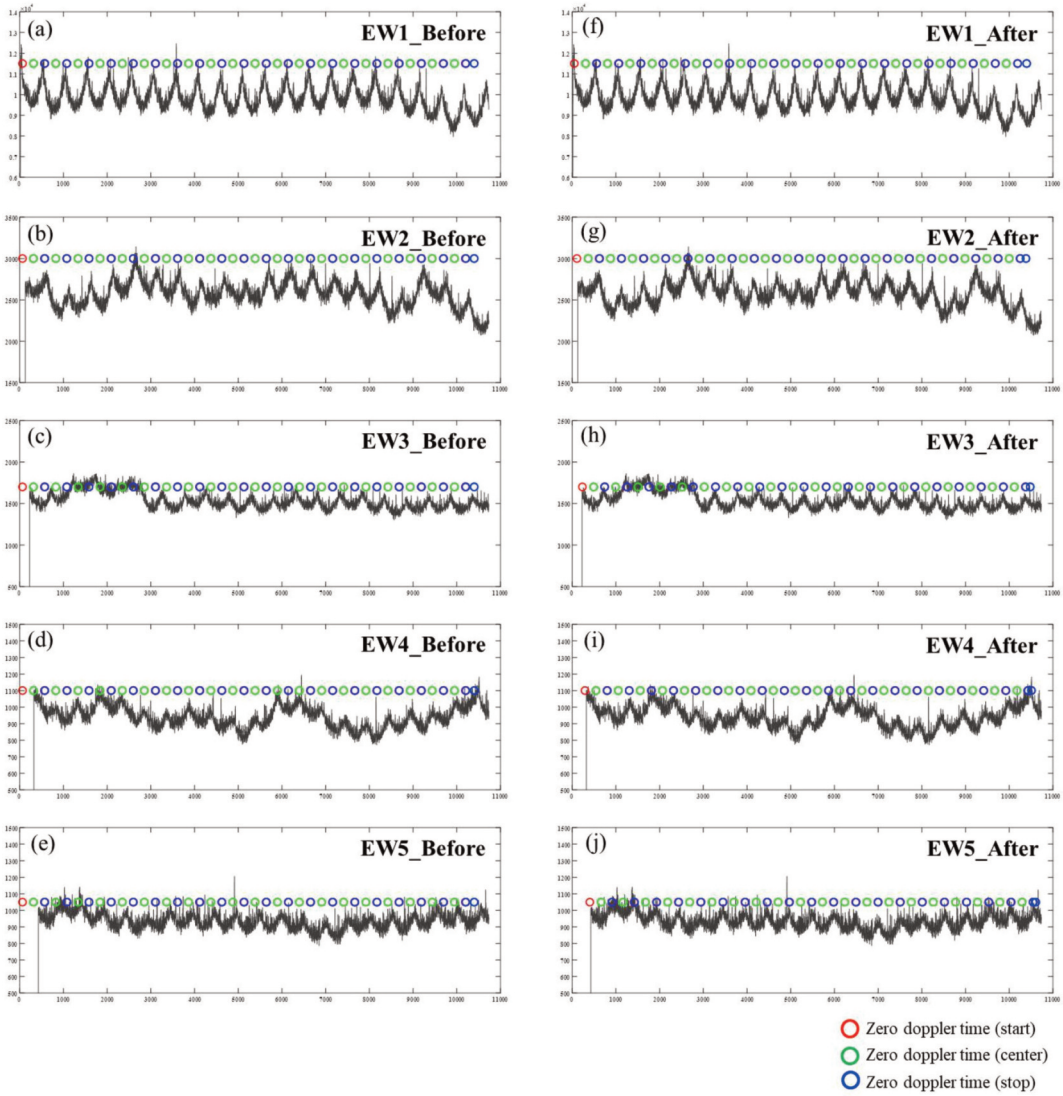

Fig. 3. The graph showing both before and after correction of zero doppler time in azimuth direction at each sub swath : (a)~(e) Zero doppler time of before correction and each sub swath signal in azimuth direction (f)~ (j) Zero doppler time of after correction and each sub swath signal in azimuth direction.

이 때, 동일 azimuth time이라도 range방향으로의 시간지연이 나타나기 때문에, range 방향에 따라 zero doppler time이 다르게 나타난다. 본 연구에서는 range방향으로의 시간지연을 보정하기 위해 영상당 제공되는 general product information 중 doppler slant range time, zero doppler minus acquisition time, internal time day, 그리고 slant time을 이용하였다. Range 방향으로의 시간지연을 보정해 주지 않으면, far range쪽으로 갈수록 시간 오차가 많이 발생하는 것이 확인되었다(Fig. 3).

한편, de-scalloping function(식 3)을 계산하기 위해 필요한 안테나 요소 길이(L_{el})는 다음 식을 통해 계산된다.

$$L_{el} = \frac{L}{N_{az}} \tag{5}$$

여기서 L은 안테나 길이(m), N_{az}은 안테나 열(column)의 개수로 Sentienl-1의 값은 14이다.

3) Maximum Likelihood(ML)을 통한 해빙과 open-water의 분류

본 연구에서는 해빙과 open-water를 구분하기 위해 대표적인 감독분류 중 하나인 Maximum Likelihood(ML)를 사용하였다. ML 분류방법은 Bayes 이론을 기반으로 하는 방법으로, 특정 클래스에 포함될 가능성에 따라 클래스가 할당되는 방법으로 높은 정확도를 보이는 분류방법이다(Otukei and Blaschke, 2010, Sisodia *et al.*, 2014). 본 연구에서는 클래스를 2개(해빙과, open-water)로 설정하였고, 입력 자료로 HH편파자료와 HV편파 자료를 사용하였다.

4. 연구 결과

본 연구에서는 해빙이 많은 영상과 해빙이 적은 영상들에 대해 각각 방사보정 전과 후의 분류 정확도를 평가하기 위해 네 개의 트레이닝 세트(training set; TR)를 구성하였고, 모두 ML 알고리즘을 적용하여 해빙과 open-water의 분류를 실시하였다. 각 트레이닝 세트는 HH와 HV 두 개의 변수를 가지며 구체적인 정보는 Table 3과 같다.

Fig. 4는 본 연구에 사용된 Sentinel-1자료들 중 해빙분류를 수행하기 위해 사용된 자료의 획득지역을 나타내고 있다. Fig. 5는 2015년 9월 17일에 촬영된 북위 약 80° 부근의 Fram Strait 지역의 영상으로 TR1과 TR2를 바탕으로 분류를 수행한 결과를 나타내고 있다. 녹았던 해빙의 면적이 증가하기 시작하는 9월에 촬영된 영상으로서 영상 내에 전반적으로 해빙이 많이 분포하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 6은 영상 내에 해빙이 적게 분포하는 영상으로, 해당영상의 촬영일자는 2015년 12월 16일이며 위치는 북위 약 76° 부근의 Fram Strait 아래에 위치한 해역이다.

Table 3. Description of training set used for ML classification

	Date	Description
TR1	2015.09.17	HH, HV images before radiometric correction
TR2	2015.09.17	HH, HV images after radiometric correction
TR3	2015.12.16	HH, HV images before radiometric correction
TR4	2015.12.16	HH, HV images after radiometric correction

보정하지 않은 HH영상의 경우 near range쪽인 EW1이 밝게 나타나고 far range쪽으로 갈수록 어둡게 나타난다(Fig. 5(a), Fig. 6(a)). HV영상도 far range쪽으로 갈수록 영상이 어둡게 나타나기는 하지만 EW2~EW5사이의 노이즈 세기 차이에 비해 EW1과 EW2 사이의 차이가 매우 크기 때문에 EW1에서의 노이즈가 다른 sub swath에 비해 두드러지게 나타난다(Fig. 5(b), Fig. 6(b)).

ML 분류결과, 방사보정하지 않은 영상들을 사용한 경우에 노이즈 세기가 센 near range쪽에서 다수의 open-water 픽셀이 해빙으로 오분류 됨을 확인하였다(Fig. 7(a),

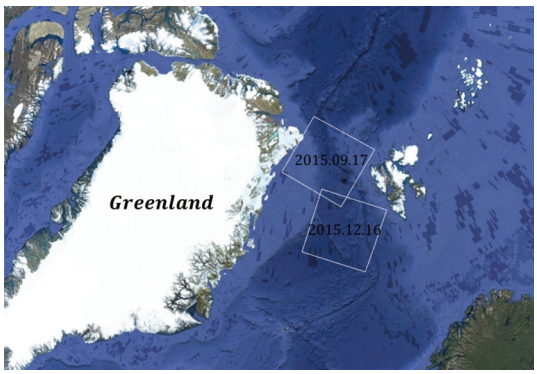

Fig. 4. Sentinel-1 data coverage used in this study.

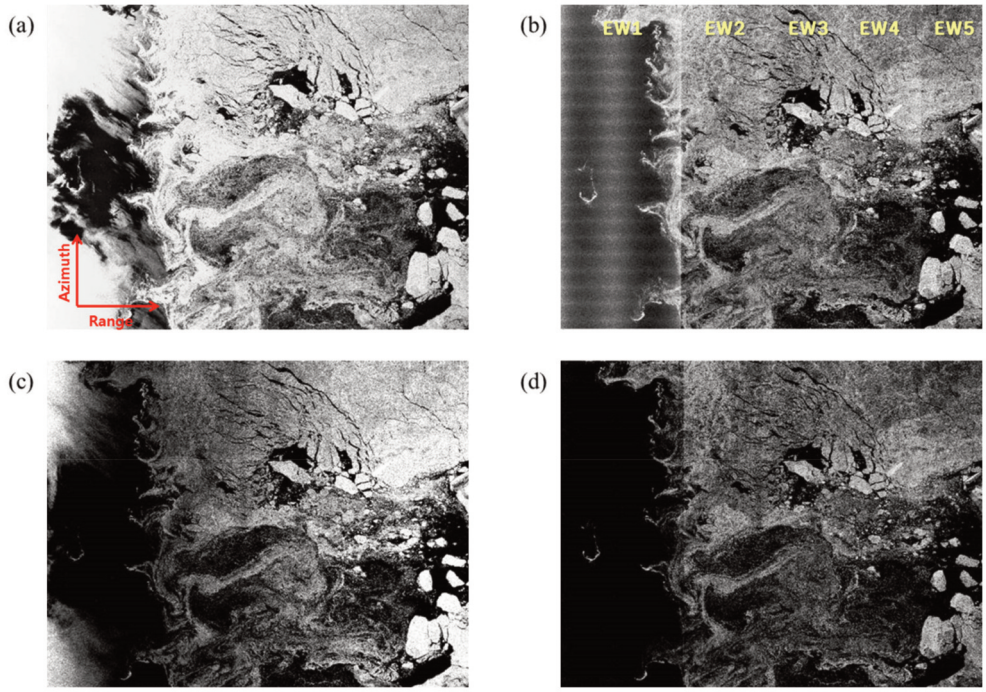

Fig. 5. Sea ice images which were acquired at September 17,2015. (a) HH image before radiometric correction (b) HV image before radiometric correction (c) HH image after radiometric correction (d) HV image after radiometric correction.

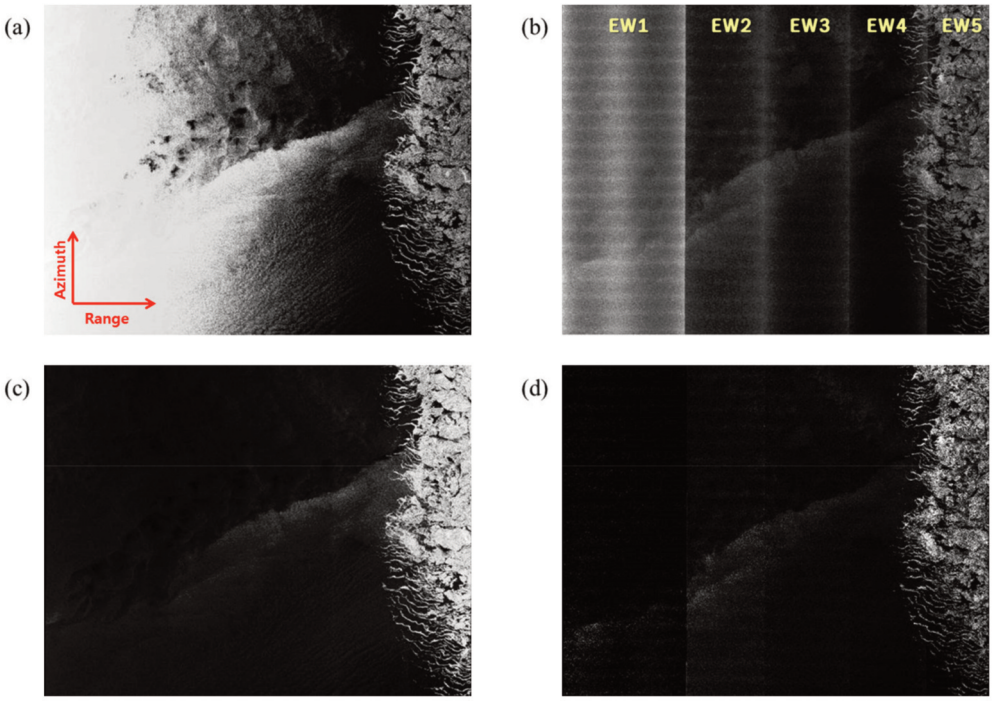

Fig. 6. Sea ice images which were acquired at December 16,2015. (a) HH image before radiometric correction (b) HV image before radiometric correction (c) HH image after radiometric correction (d) HV image after radiometric correction.

8(a)). 이는 후방산란계수가 작은 open-water가 해빙보다 노이즈에 민감하여 open-water에서 보정되지 않은 노이즈가 해빙신호로 오분류 되었기 때문이다. 또한 HV영상에서 sub swath의 경계가 뚜렷하게 나타나는 12월 16일에 촬영된 영상의 경우(Fig. 6(b)) 영상내에 해빙이 많은 9월 17일 영상(Fig. 5)과는 달리 sub swath 경계면에서도 많은 오분류가 발생하였다(Fig. 8(a)).

각 트레이닝 세트를 사용한 ML 분류의 정확도를 비교해 보면 다음과 같다(Table 4, 5). 정확한 분류 정확도 비교를위해서는 분류결과와 현장관측자료를 비교해야 한다. 그러나 해당 시기의 현장관측자료의 제약으로 인해 분류에 사용된 ROI를 검증자료로 사용하여 정확도를 비교하였다.

TR2의 경우 TR1의 분류결과에 비해 open-water 정확도는 약 11%, 해빙 정확도는 약 3%, 그리고 전체정확도는 약 7% 증가하였다. TR1의 분류결과에서는 open-water보다 해빙의 정확도가 높게 나온 반면 TR2의 분류결과에서는 해빙의 정확도가 open-water보다 높았다. TR1과 TR2에 사용된 영상은 영상내 해빙의 비율이 매우 높은 영상으로 대부분의 open-water는 주로 EW1에서 나타나고 있다. 해빙과 open-water를 분류할 때 EW1과 EW2의 신호 세기차이가 크기 때문에 경계면에서 오분류가 발생할 가능성이 높은데, TR1과 TR2에 사용된 영상은 EW1에는 거의 open-water가, 그리고 EW2에는 해빙이 주로 분포하고 있기 때문에 EW1과 EW2의 경계에서 많은 오탐지가 발생한 것으로 생각된다. 또한 TR1의 분류결과에서는 open-water 분류 정확도보다 해빙 분류 정확도가 더 높게 나타났는데, TR2의 분류결과

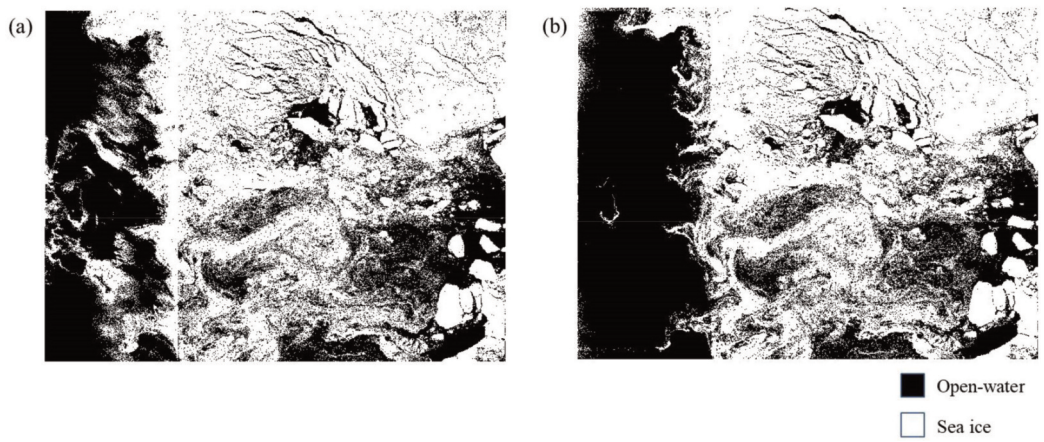

Fig. 7. ML classification result of (a) TR1 (b) TR2.

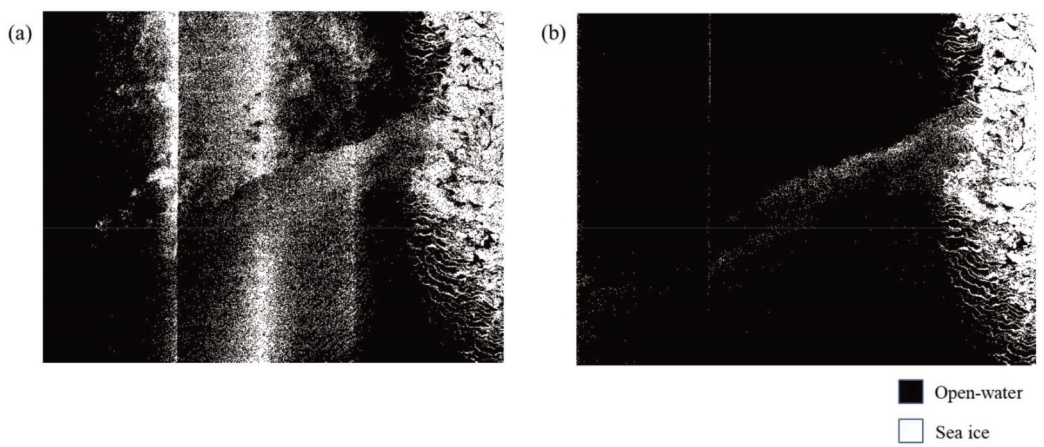

Fig. 8. ML classification result of (a) TR3 (b) TR4.

Table 4. Accuracy comparison between classificaion result and ROI. The left table is for TR1 and the right table is for TR2

TR1 (%)		ROI			TR2 (%)		ROI		
		Open-water	Sea ice	Total			Open-water	Sea ice	Total
Result	Open-water	84.82	14.60	49.28	Result	Open-water	95.69	11.46	53.06
	Sea ice	15.18	85.40	50.72		Sea ice	4.31	88.54	46.94
Total		100.00	100.00	100.00	Total		100.00	100.00	100.00
Total accuracy		85.1138			Total accuracy		92.0745		

Table 5. Accuracy comparison between classificaion result and ROI. The left table is for TR3 and the right table is for TR4

TR3 (%)		ROI			TR4 (%)		ROI		
		Open-water	Sea ice	Total			Open-water	Sea ice	Total
Result	Open-water	81.47	6.02	45.56	Result	Open-water	97.48	0.59	51.37
	Sea ice	18.53	93.98	54.44		Sea ice	2.52	99.41	48.63
Total		100.00	100.00	100.00	Total		100.00	100.00	100.00
Total accuracy					Total accuracy				

에서는 open-water의 정확도가 더 높게 나타났다. 이러한 이유는 영상내의 open-water가 대부분 노이즈가 가장 높게 나타나는 EW1에 위치해 있기 때문이다. 상대적으로 노이즈가 높은 EW1에 있는 open-water가 방사보정을 통해 노이즈가 보정되면서 제대로 분류되었기 때문에 TR1에서 open-water와 비슷한 정확도를 보였던 해빙에 비해 TR2에서 정확도가 향상된 것으로 생각된다.

TR1, 2의 분류결과와는 반대로 영상내의 open-water 비율이 매우 높은 TR4의 분류 결과는 TR3에 비해 open-water 정확도는 약 16%, 해빙 정확도는 약 5%, 그리고 전체정확도는 약 11% 증가하였다. TR4의 입력자료는 EW5를 제외한 영상의 대부분이 open-water만 촬영된 영상이기 때문에 TR1과 TR2에 비해 전체정확도가 더욱 향상된 것으로 판단된다. TR3보다 TR4의 분류결과에서 해빙의 정확도가 약 16% 정도 높게 나타났지만 TR3의 분류결과에서 open-water가 높은비율로 오분류 되었기 때문에 TR1, 2의 분류결과와는 달리 TR4의 분류결과에서는 TR3의 결과와 같이 해빙의 정확도가 open-water의 분류정확도 보다 높았다.

5. 결 론

본 연구에서는 Sentinel-1A, B자료를 이용하여 북극해의 해빙을 탐지 또는 분류하고자 할 때 HV편파 영상에 존재하는 thermal noise와 scalloping 효과를 보정하기 위한 방안을 연구하였다. 그 효과를 평가하기 위해 보정 전, 후의 각 영상들에 대해 Maximum Likelihood(ML) 분류기법을 적용하여 해빙과 open-water의 구분 정도를 측정하였다. 두 시기의 영상을 통해 보정 전, 후의 분류정확도를 비교하였는데, 보정전의 영상들에서는 두 시기 모두 전체 정확도가 90%에 미치지 못한 반면, 보정후의 영상들로부터는 두 시기 모두 전체정확도가 90%가 넘게 나타났다. 또한 영상내의 해빙 비율이 높을 경우보다 open-water 비율이 높을 경우 노이즈가 분류결과에 더 큰 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 상대적으로 노이즈가 후방산란계수가 더 작은 open-water에서 더 두드러지게 포함되기 때문인 것으로 판단된다. 특히 방사보정 유무가 분류결과에 끼치는 영향은 HH영상보다 HV 영상이 더 크다는 것을 확인하였는데, 각 sub swath별 노이즈의 보정도 중요하지만 경계에서의 불연속이 나타나지 않도록 완벽한 연결성을 확보하는 것이 더 중요한 요인임을 확인할 수 있었다.

추후 보다 많은 calm sea자료 확보와 해빙 영상에서의 노이즈 분석을 통해 보다 정확한 방사보정 알고리즘 구축을 통해 해빙분류 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 보다 정확한 thermal noise 보정이나 scalloping 효과 보정과 같은 방사보정 알고리즘의 구현은 향후 개발될 준 실시간 북극해 빙권 변화 모니터링 시스템에 필요한 대용량 자료처리에 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 극지연구소의 “북극 해빙 위성 관측을 위한 분석 기술 개발사업(PE18120)”의 지원을 받았으며 이에 감사 드립니다.

References

MDA, 2014. *Sentinel-1 Level 1 Detailed Algorithm Definition, Technical Report S1-TN-MDA-52-7445*, European Space Agency, Paris, France.

Onstott, R. G. and R. A. Shuchman, 2004. *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual: Chapter 3 SAR Measurements of Sea Ice*, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, DC, USA, pp. 81-116.

Otukei, J. R. and T. Blaschke, 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12: S27-S31.

Sisodia, P. S., T. Vivekanand, and K. Anil, 2014. Analysis of supervised maximum likelihood classification for remote sensing image, *Proc. of International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)*, Jaipur, India, May 9-11, pp. 1-4

Stammerjohn, S., R. Massom, D. Rind, and D. Martinson, 2012. Regions of rapid sea ice change: An inter-hemispheric seasonal comparison, *Geophysical Research Letters*, 39(6).

Stroeve, J. C., V. Kattsov, A. Barrett, M. Serreze, T. Pavlova, M. Holland, and W. N. Meier, 2012. Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations, *Geophysical Research Letters*, 39(16).

Vihma, T., 2014. Effects of Arctic sea ice decline on weather and climate: a review, *Surveys in Geophysics*, 35(5): 1175-1214.