

SAR(합성개구레이더)에 의한 파랑 방향스펙트럼 추정에 관한

연구

A study on Wave Spectra Measurement by SAR (Synthetic Aperture Radar) Images

양찬수

Chansu Yang

선임연구원, 한국해양연구원 해양위성연구단, yangcs@kordi.re.kr

요약

파랑은 선박의 안전운항에 있어서 중요한 요소이다. 지금까지의 파랑관측은 부이와 같은 현장관측에 주로 의존하고 있으나, 근년 위성에 의한 리모트센싱의 기술이 발달함에 따라, 파랑계측에 분야에도 시도되고 있다. 하지만 국내에서는 SAR(합성개구레이더)의 처리 경험 자체가 부족하여 본격적인 연구개발이 시작되지 않고 있다. 본 연구에서는 SAR를 이용한 파랑계측을 하기 위한 초기단계로, 1) SAR화상에서 파랑의 영상화 메커니즘, 2) 파랑 스펙트럼 추정 기법의 소개를 하고자 한다.

1. 연구배경 및 목적

인공 위성에 탑재된 합성개구레이더(SAR)에 의하여, 바다 표면을 관측하여, 표면에서 일어나고 있는 다양한 물리 현상을 관측할 수 있다. 예를 들면, 파랑, 프론트, 내부파, 해상풍(풍향·풍속) 등의 물리 현상을 관측할 수 있다. 특히, 파랑은 SAR에 의한 관측이 가능하며, 지금까지 SAR에 의한 광역 파랑 관측에 대한 기대가 컸다.

1978년 처음으로 SAR를 이용해 해양표면파를 영상화할 수 있다는 생각을 하게 되었다 (Alpers et al. 1981, Vesecky and

Stewart 1982). 궁극적으로 파랑관측부이 혹은 고도계 데이터 보다 더 완벽한 파장에 관한 정보를 제공해 줄 것으로 기대되었으나, 유의파고를 관측하는 레이더 고도계가 거의 준 실시간 서비스가 가능한 것에 비하면 많은 연구가 이루어지지 않았다. SAR에 의한 파고의 이미징의 이론은 여전히 개발 중이라고 할 수 있다. 결국, SAR에 의하여 영상화된 파랑에 관해서는, 그 영상화 메커니즘이 충분히 해명되고 있지 않기 때문에 SAR 영상에서 유의한 2차원 파랑 스펙트럼 특성을 추출하는 것은 간단하지 않다 (Kerbaol 1998).

합성 개구 처리에 수반한 비선형 효과에 의하여 파랑과 SAR 화상의 관계는 상당히 복잡하다. 또한, SAR 화상으로부터 파랑의 방향 스펙트럼 (파고·주기·파향의 정보를 포함한 파랑의 물리량) 을 추정하기 위해서는, 비선형영역 문제를 풀지 않으면 안 되고, SAR에 의한 광역 파랑 관측을 곤란하게 하고 있다.

지금까지, SAR 화상을 스펙트럼 해석하는 것에 의하여 얻어지는 2차원 파수 스펙트럼과 파랑의 방향 스펙트럼의 관계에 관해서는 다양한 연구가 이루어져왔고, 양자를 관계 짓는 공식화가 이루어져 왔다. 예를 들면, Monaldo(1986)는 SAR 화상의 변조효과가 각각 선형의 관계에 있다고 하여 양자에 대한 선형모델을 제안하였고, Hasselmann & Hasselmann(1991)은 SAR 화상 변조효과의 비선형성에 착안하여, 준선형 모델을 제안하였다. 근래 이러한 관계식을 이용하여 SAR 화상으로부터 파랑의 방향 스펙트럼을 역 추정하는 방법에 관한 연구가 유럽을 중심으로 번창하게 행해지고 있다.

하지만 국내에서는 SAR(합성개구레이더)의 처리 경험 자체가 부족하여 본격적인 연구개발이 시작되지 않고 있다. 본 연구에서는 SAR를 이용한 파랑계측을 하기 위한 초기단계로, 1) SAR화상에서 파랑의 영상화 메커니즘, 2) 파랑 스펙트럼 추정 기법의 소개를 하고자 한다.

2. SAR에 의한 파랑 영상화 메커니즘

이하의 식은, Hasselmann & Hasselmann(1991)에 의해 공식화된 파랑의 방향 스펙트럼과 SAR의 2차원 파수

스펙트럼과의 관계식을 나타낸다.

$$S_{SAR}(k) = \exp\left[-\left(\frac{R}{V}\right)^2 \frac{k_x^2}{(2\pi)^2} \int_0^L |T_n(k)|^2 S_w(k) dk\right] \times \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=2n-1}^{2n} \left(k_x \frac{R}{V}\right)^m P_{nm}^S(k) \quad (1)$$

여기에서, $k=(k_x, k_y)$ 는 SAR의 파수 스펙트럼, $k=|k|$ 는 파수, k_x 는 애지머스 방향의 파수, k_y 는 레인지 방향의 파수, R 은 인공 위성과 관측 지점과의 거리, V 는 인공 위성의 이동 속도, $S_{SAR}(k)$ 는 SAR 화상의 2차원 파수 스펙트럼, $S_w(k)$ 는 파랑의 2차원 파수 스펙트럼, $T_n(k)$ 는 레인지 방향의 속도변조함수, n 은 비선형성의 차수를 나타내는 지표, m 은 속도 변형의 오더를 나타내는 지표, P_{nm}^S 는 실개구 레이더 화상의 자기상관함수와, 실개구레이더의 화상과 궤도속도와의 상호상관함수를 곱한 함수를 각각 나타내고 있다.

식(1)을 선형모델(Monaldo 1986)로 나타내면 다음과 같다.

$$S_f(k_x, k_y) = |H|^2 |B|^2 |M|^2 S_w(k_x, k_y) \quad (2)$$

여기서, $S_f(k_x, k_y)$ 는 SAR에 의한 파수 스펙트럼, H 는 마이크로파의 입사각, 안테나 이득 등의 SAR 시스템에 관한 파라미터와 관련된 함수, B 는 해양파랑과 독립된 동요함수, M 은 변조전달함수이다.

(1) 경사변조(Tilt modulation): 파장이 긴 중력파의 경우 local incidence angle의 변화를 야기한다. 즉, 입사각의 국소적 변동에 동반하는 변조가 경사변조이다.

$$M_{\text{tilt}}(k) = \frac{4k_r \cot\theta}{1 + \sin^2\theta} i \quad (3)$$

(2) 유체역학변조(Hydrodynamic modulation): 표면 중력파가 존재할 경우 골과 마루에 해당하는 부분에서는 레이더 신호와 공명이 일어나는 표면 장력파의 모양을 변화시킨다.

$$M_{\text{hydro}}(k) = 4.5 \frac{k_r^2}{k} \quad (4)$$

(3) 속도 변칭(Velocity bunching) : 이동 물체가 도플러 효과에 영향을 미치게 되어 발생.

$$M_{\text{vb}}(k) = -k_a w \frac{R}{V} \left(\cos\theta - i \frac{k_r}{k} \sin\theta \right) \quad (5)$$

3. 현장 조사: SAR와 파고계 관측

RADARSAT/SAR FINE MODE로 2005년 3월 18일 오후 6시 41분경 제주도 서귀도 서방에 대한 촬영을 실시하였다 (상세한 위치는 Fig.5). 이때 Buoy에서 관측된 파랑자료를 이용하여 비교를 수행할 예정이다

5. 결론 및 계획

파랑은 선박의 안전운항에 있어서 중요한 요소이다. 지금까지의 파랑관측은 부이와 같은 현장관측에 주로 의존하고 있으나, 근년 위성에 의한 리모트센싱의 기술이 발달함에 따라, 파랑계측에 분야에도 시도되고 있다. 하지만 국내에서는

SAR(합성개구레이더)의 처리 경험 자체가 부족하여 본격적인 연구개발이 시작되지 않고 있다. 본 연구에서는 SAR를 이용한 파랑계측을 하기 위한 초기단계로, 1) SAR 화상에서 파랑의 영상화 메커니즘, 2) 파랑 스펙트럼 추정 기법의 소개하였다.

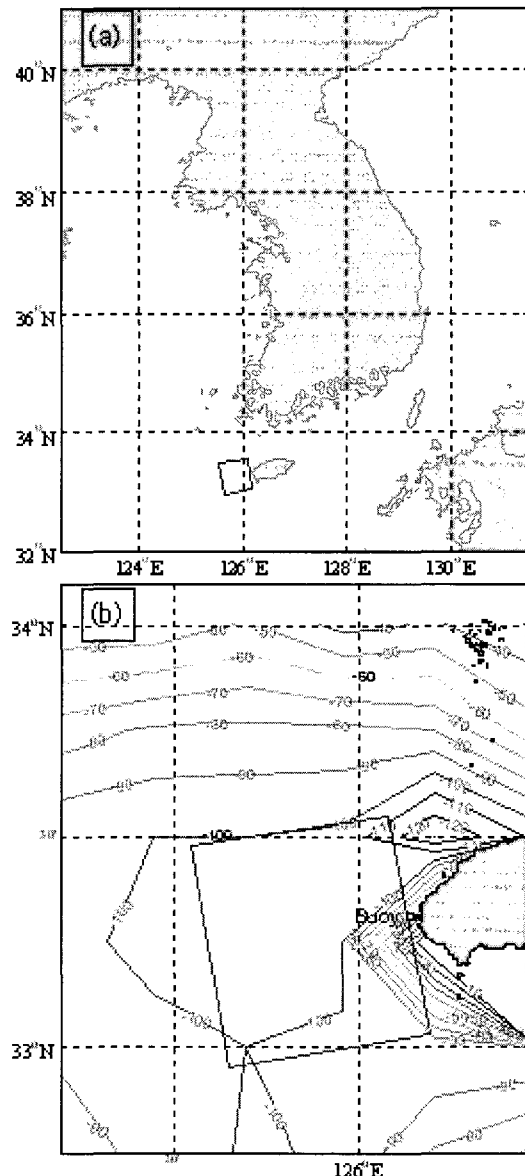


Fig. 1 RADARSAT SAR 촬영지역(그림 내 사각형)과 현장관측 위치(Buoy): 2005년 3월 18일 오후 6시 41분경

향후, 대부분 적용되고 있는 기법에서 발생하고 있는 180도 모호성의 해결방안을 포함한 스펙트럼 해석이 필요하다.

Seasat synthetic aperture radar, *Journal of Geophysical Research*, 87 (C5), 3397-3430, 1982.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업 "하구역 관리 및 기능회복 기술 개발" 과 공공기술연구회의 협동연구사업 "해양분야 위성활용 연구"의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- Alpers, W.R., D.B. Ross, and C.L. Ruffenach, On the detectability of ocean surface waves by real and synthetic aperture radar, *Journal of Geophysical Research*, 86 (C7), 6481-6498, 1981.
- Curlander, J.C and R.N. McDough, "Synthetic Aperture RADAR Systems and Signal Processing", p.647, John Wiley & Sons, 1991.
- Hasselmann, K. and S. Hasselmann, On the nonlinear mapping of an ocean wave spectra into a synthetic aperture radar image spectrum and its inversion, *J. Geophys. Res.*, Vol.96, No.C6, pp.10713-10799, 1991.
- Kerbaol, V., B. Chapron, and P.W. Vachon, Analysis of ERS-1/2 synthetic aperture radar wave mode images, *Journal of Geophysical Research*, 103 (C4), 7833-7846, 1998.
- Monaldo, F.M. and Lyzenga, D.R., On the estimation of wave slope- and height-variance spectra from SAR imagery, *IEEE Trans. GE*, 24(4), pp.286-296, 1986.
- Vesecky, J.F. and R.H. Stewart. The observation of ocean surface phenomena using images from the