

ERS SAR자료를 이용한 한국 동해 연안수의 특성 조사

ERS SAR observations of the Korean coastal waters

윤홍주 · 조한근 · 강홍순

Hong-Joo YOON, Han-Keun CHO, Heung-Soon KANG

부경대학교 위성정보학과

Department of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

yoohj@pknu.ac.kr

요 약

한국 동해 연안의 위성 SAR 영상으로부터 몇가지 흥미로운 현상을 분석하였다. SAR 영상은 위치와 크기에 맞고 해상풍 상태가 $10-12ms^{-1}$ 이하로 원만할 때 와동류, 전선, 내부파 등의 다른 해양 현상들을 분석할 수 있다. 추후의 연구는 이를 정량적으로 분석하는 것이다. 실측 자료와 맞물리는 SAR 영상은 가시, 적외 복사계 혹은 고도계와 같은 다른 원격탐사 센서의 운용에 지장을 주는 구름이 연구해역에 나타날 때, 혹은 육지 오염이 있을 때 등에도 해양, 기상학적 현상에 대한 새롭고 가치있는 정보를 제공할 수 있다.

I. 서론

동해의 순환은 쓰시마 해협을 통한 쓰시마 난류의 지류의 유입에 의한 계절 변동과 이 지류를 따라 발생하는 중규모 와동류 형성과 같은 현상의 영향을 받아 뚜렷한 시·공간 변화를 나타낸다. 열적대조 현상은 따뜻하고 차가운 해류, 와동류, 용승과 연관한다. 울릉도로부터 단지 20 ~ 50km 밖의 연안의 좁은 해역에서 1000 ~ 2000m에서 50m의 가파른 경사면이 형성되어있고, 그 해역의 만입된 연안선 또한 복잡한 해수 운동을 형성하는데 영향을 미친다. 수중의 기복이 있는 해류와 섬의 상호작용이 전선, 소용돌이, 와동류를 형성한다. 비록 동해의 주 순환 요소가 명확히 알려져 있다 하더라도 쓰시마난류와 동한난류와 같은 주 해류에 대한 상세한 설명은 여전히 연구되어야 한다. 쓰시마 난류와 동한난류는 끊임없이 변화하기 때

문에 이 해류들의 평균수지(Flux)를 추정하기 위하여 계속적으로 측정해야만 한다.

가시·적외 위성 센서들은 해양 변화를 감시하기에 적합하지만 구름에 영향을 받아 해수면의 정기적 관측이 어렵다. 마이크로웨이브는 구름을 통과할 수 있다. 하지만 마이크로웨이브 복사계의 해상도와 정확도는 100km 이하의 변화를 감시하기에는 불충분하다. 25년간의 위성레이더 해양영상 분석 경험은 소규모의 해양 현상의 변화를 감지하는 능력을 보여주었다. SAR는 해양에서의 준중규모, 소규모의 변화를 분석하는 가장 효과적인 방법이다.

SAR 영상의 후방산란계수 패턴은 다양한 대기와 해양 현상에 기인하는 소규모 해면 파의 진동에 의해 만들어진다. 이러한 해양 현상에는 열 신호 즉 전선, 해류, 용승, 와동류 등이 포함되고 나선 와동류, 선박 흔적(ship wake), 내부파 등은 포함되지 않는다. 해양 운동에 의한 레이

다 신호가 해수면 변화 혹은 강우에 의한 후방 변화에 대응하여 관측되어질 때 해석에 어려움이 발생한다.

본 연구의 주 목적은 한국동해연안에 서의 SAR영상과 그 이외의 자료간의 연계분석의 이해를 증대시키면서 해양 현상을 상세히 분석하는 것이다.

II. 자료 및 방법

한국 동해연안의 대부분의 영상은 수직극성(vertical polarization)인 C-band SAR와 ERS-1/2로부터 취득되어졌다. 영상의 크기는 약 100 x 100km이고 공간해상력은 25 x 25km이다. 1991년에 2003년까지 900개 이상의 영상을 사용하였다. Wide swath의 Envisat ASAR 영상의 크기는 400 x 400 km 이고 해상력은 150 x 150 이다. 2002년 9월부터 2003년 9월간의 수평극성(Horizontal polarization)의 ASAR 영상 25장을 사용하였다. 모든 영상은 유럽우주국과 지상국의 웹 사이트에서 다운받았다. 공간해상도와 복사해상력을 줄인 quick look 영상을 제공한다. 총 26장의 ERS-1/2 정밀고해상도영상은 quick look 영상을 검색하여 해양 현상을 잘 표출하는 영상을 선택한 것이다(Fig. 1).

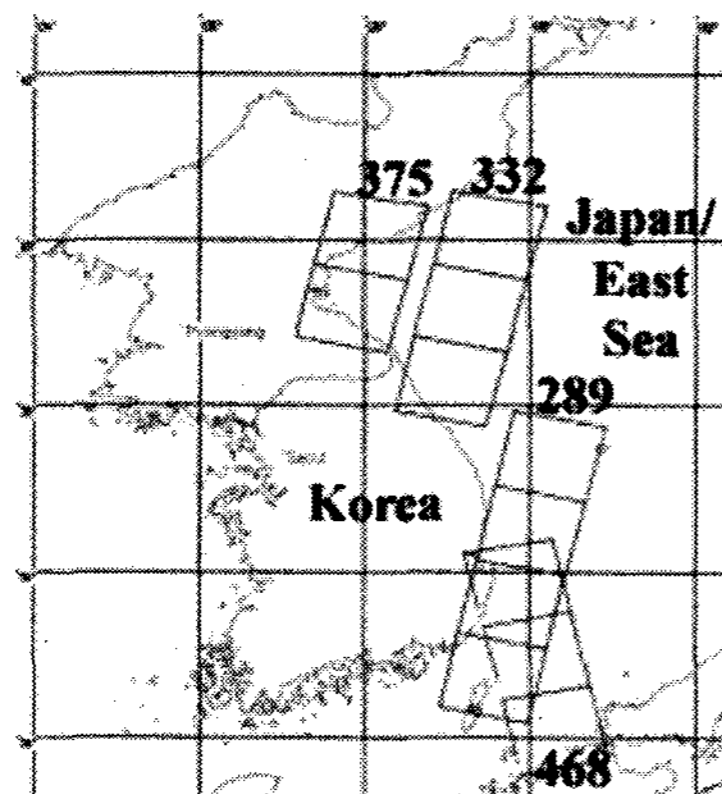


Fig. 1. The rectangles indicate the area covered by the ERS-1/2 SAR images taken on various tracks.

III. 결과 및 고찰

한국동해연안의 해양운동의 시각적 판별은 SAR 신호의 수많은 평가를 참고하였다(Alpers, 1995; URL, 2002; Da Silva *et al.*, 1998; Johannessen *et al.*, 1996; Nilsson, 1995). 대부분의 전선, 와동류, 나선 와동류, 내부파, ship wakes는 주로 음영의 대조를 보이며 좁은 곡선과 직선의 띠를 통하여 판별할 수 있다. AVHRR 영상은 SAR신호의 해석을 입증, 보완하는데 사용되었다. SAR 영상과 고도계 자료의 시공간 커버리지와 해상력이 달라 두 영상 간의 직접적인 비교는 어렵다. 최소 10일간의 시간 간격을 가지는 몇 가지 트랙으로부터 고도계 해수면높이 자료를 이용하여 몇 십 킬로미터 규모의 해양 현상을 분석하기 위한 지형류 속도 편차 영상을 추출하는 것은 가능하다. 그러므로 고도계 영상은 SAR 영상에서 관측한 많은 단기간의 중규모 현상을 관측하지는 못한다. SAR 영상과 해석 영상의 연계분석은 SAR 영상에서 발견한 주 후방산란현상을 제어하는 물리적, 생물적 현상을 식별하는데 도움이 되었다. 표면기상지도는 SAR 탐지 기간동안에 관측된 해상풍과 해수의 상태에 관한 자료를 제공했다.

1. 동한난류와 와동류

쓰시마난류의 지류 중 하나인 동한난류는 한국의 동해 연안을 따라 북쪽으로 흐른다. 동한난류는 북위 38~40도에서 나뉘는데 북한한류와 만나는 곳에서 북동쪽으로 흘러 아극전선대를 형성한다. NOAA AVHRR 적외 영상은 해류, 중규모 와동류, 유선(streamers) 등의 현상을 표출하였다. Fig. 2의 ERS-2 SAR 영상의 두 조각(fragment)은 동한난류 전선과 다른 해양현상을 명백하게 보여줬다. 전선의 정규화된 Radar Cross Section의 Section (AA)의 값은 약 3.5-4.0 dB이고 해류 이동역(current shift zone)의 넓이는 약

0.5km이다(Fig. 2a). 1996년 9월 2일 ERS-2 SAR 영상(track 289)의 풍속은 해양 현상의 추출에 적합한 2~5 m/s 였다. 영상의 위 중앙 부분의 약 1.5-2.5 km 넓이의 양의 대조 곡선은 동한난류전선과 흡사하다(Fig. 3a). 이것은 해류의 이동에 의한 것으로 보인다. 9월1일 23:08분과 9월 2일 04:37분의 AVHRR 영상(Fig. 3b)은 전선의 온도 대조를 보이지 않았다. 약 북위 39-40, 동경 129-130의 동한만의 시계반대방향 와동류는 대부분의 시간동안 나타났다.

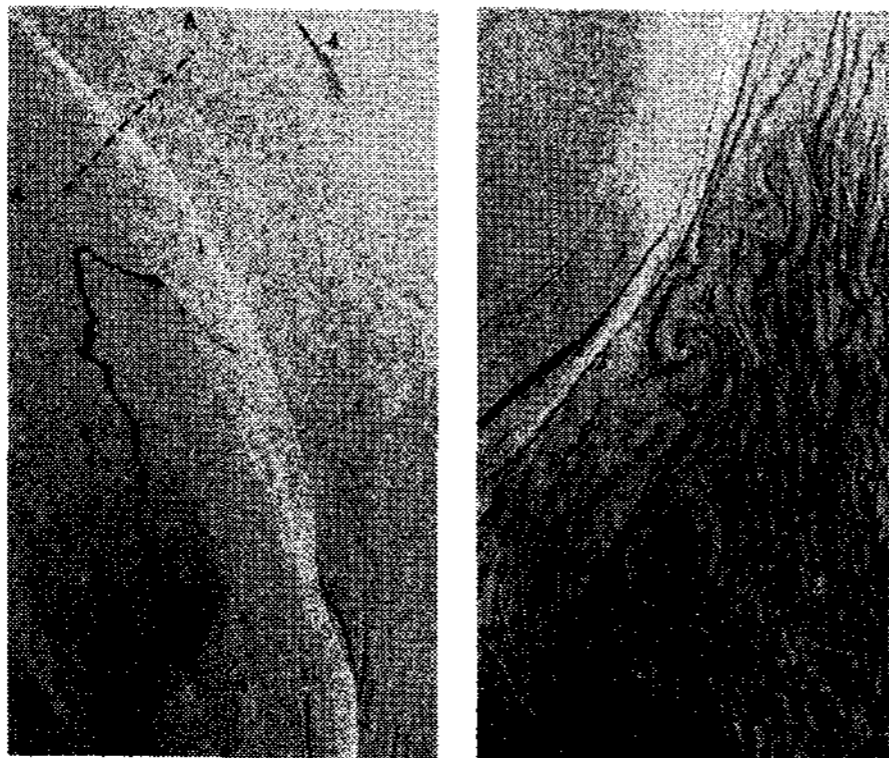


Fig. 2. Fragments of ERS-2 SAR image (25x 40 km) for 27 September 1999 at 02:02 UTC, track 289 showing the EKWC front (1), spiral eddies (2), ships (bright dots), ship wakes (3), filamentary slicks and oil slicks (4).

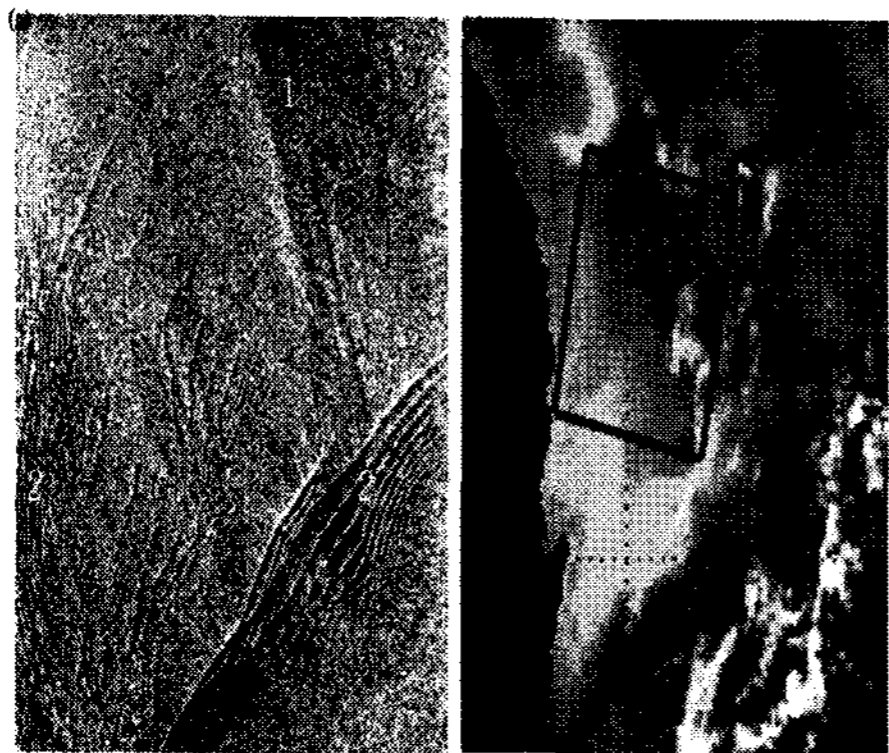


Fig. 3. (a) ERS-2 SAR image (track 289) at 02:02 UTC showing the imprints of the EKWC front (1) and the IWs (2) and (b) AVHRR-derived SST at 04:37 UTC for 2 September 1996.



Fig. 4. ERS-2 SAR image for 25 September 1997 at 02:06 UTC, track 332 showing the synoptic warm eddy (1) and spiral eddy (2) to the south of it (a); AVHRR-derived SST for 23 September 1997 at 21:53 UTC (b) and surface currents retrieved from TOPEX/Poseidon data (c).

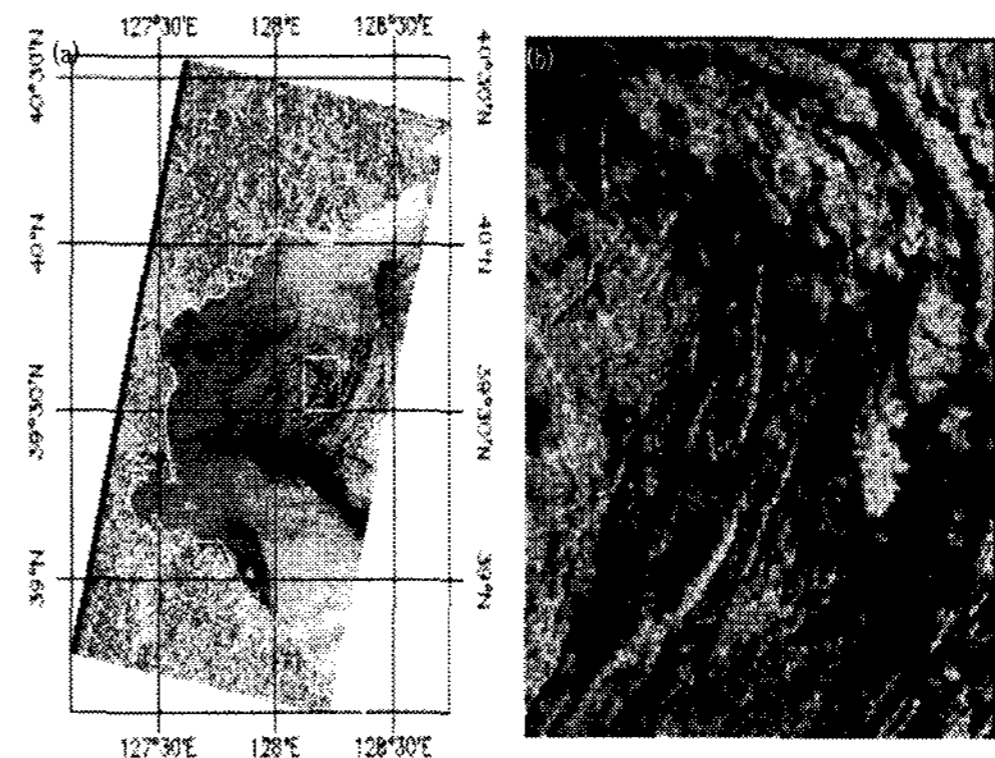


Fig.5. ERS-2 SAR image for 18 August 2002 at 02:11 UTC, track 375 showing (a) an eddy in the EKB visible due to natural filamentary slicks and (b) expressions of intensive fishery in the area marked by a white rectangle in (a). Ships (bright dots) and ship wakes behind them are well defined.

온도 대비가 겨울보다 적은 9월 말에 Fig. 4a는 와동류를 보여준다. T/P 자료는 이 해역의 시계반대방향 순환을 확실히 보여준다(Fig. 4c). 동한만의 해양 현상은 수문학 자료 취득이 어려워 세부적으로 조사되지 못하였다. SAR 영상은 이 해역의 해양 물리 현상의 중요한 정보를 제공

하였다. Fig. 5는 동한만의 서쪽 부분에 충분한 섬유(모양의) slick을 보여준다. 이 형태는 시계반대방향 순환을 나타내고 관측되어진 와동류 중심부를 통해 수렴이 일어남을 보여준다. 동한만의 어두운 해역의 클로로필 a는 주변의 밝은 영상에 대조적으로 어두운 부분이 나타남으로써 소규모 해수면 거칠기를 드러내기에 충분하였다(Fig. 6). 동한만과 아극전선대의 와동류 또한 2003년 9월 13일 과 4월 7일과 11일에 취득된 Envisat ASAR 영상을 통해 관측되어졌다.

2. 내부파

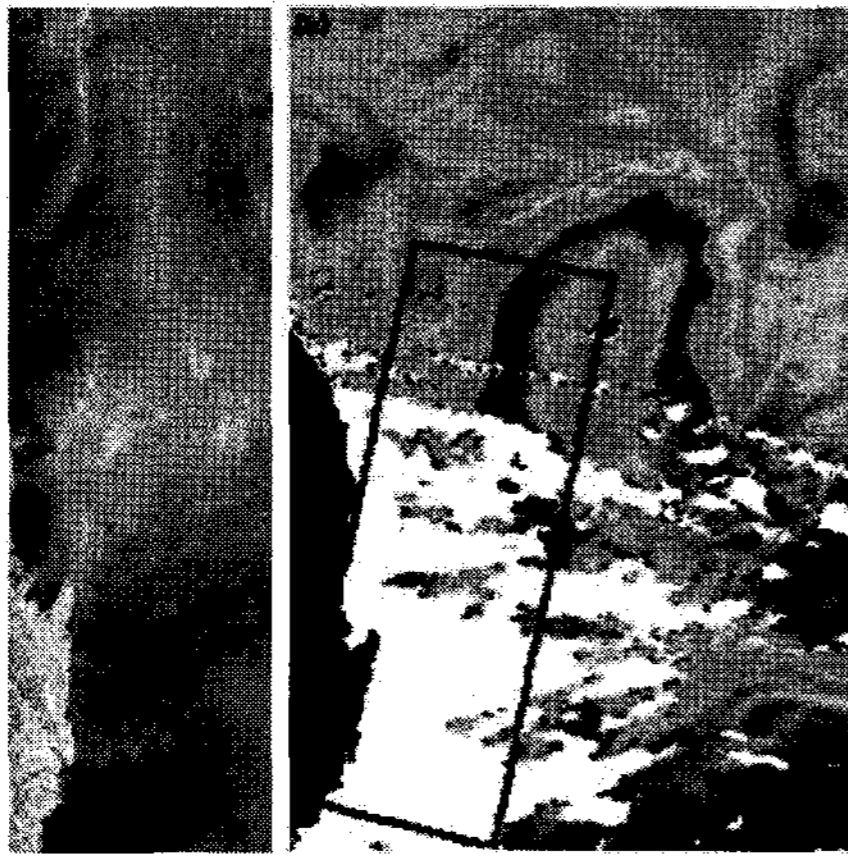


Fig. 6. (a) ERS-2 SAR image, track 289 at 02:02 UTC and (b) SeaWiFS-derived chl-*a* content at 04:08 UTC on 29 May 2000 showing a cyclonic eddy east off Busan and correlation between reduced surface roughness and increased chl-*a*.

한국 동해 연안에서 몇몇의 내부파를 직접적으로 관측할 수 있었다. ERS SAR 영상의 분석에 따르면 두드러진 내부파는 복잡한 해저지형과 높은 조석현상이 복합적으로 기인해 한국 동해 연안에서 관측되어진다. Fig. 3a는 몇몇의 내부파를 보여주는 SAR 영상의 많은 예 중 하나이다. 이 내부파들은 최소 세가지 다른 방향으로 확장하는 것으로 보인다. 이들 중 몇몇은 대략적으로 한국 연안에 덜 평행하고 해저지형에 평행한 방향이었다. 직선이 아

닌 두 내부파는 북서방향으로 확장하였다. 이들 사이의 거리가 (약4~0.5km) 점진적으로 줄어들면서 약 10 rank-ordered solitons을 포함하고 있다. 몇몇의 내부파들이 서로 다른 방향으로 확장하면서 상호작용하는 것 또한 흥미로운 현상이다. 내부파가 나타난 영상 또한 2003년 9월 13일 Envisat ASAR 영상이었다.

IV. 결론

이 논문은 한국 동해 연안의 위성 SAR 영상으로부터 몇가지 흥미로운 현상을 분석하였다. SAR 영상은 위치와 크기에 맞고 해상풍 상태가 10-12ms⁻¹ 이하로 원만할 때 와동류, 전선, 내부파 등의 다른 해양 현상들을 분석할 수 있다. 추후의 연구는 이를 정량적으로 분석하는 것이다. 실측 자료와 맞물리는 SAR 영상은 가시, 적외 복사계 혹은 고도계와 같은 다른 원격탐사 센서의 운용에 지장을 주는 구름이 연구해역에 나타날 때, 혹은 육지 오염이 있을 때 등에도 해양, 기상학적 현상에 대한 새롭고 가치있는 정보를 제공할 수 있다. SAR 영상과 고도계 영상간의 초기 비교는 정성적으로 비슷한 결과를 나타내었다.

가시 (SeaWiFS), 적외 (AVHRR)와 SAR 위성자료의 사용은 SAR 영상에서 관측된 주 후방산란 현상을 제어하는 물리, 생물적 현상을 분석하는데 도움이 되었다. 해류전선, 와동류 형성, 내부파 등을 포함하는 해양 현상뿐만 아니라 원 영상은 높은 생물 생산량과 관련이 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 해양환경연구본부 독도연구사업단의 2006년 독도연구사업의 지원과 2단계 BK21 사업의 일부지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Alpers, W., 1995. Measurement of mesoscale oceanic and atmospheric phenomena by ERS-1 SAR. *Radio Sci. Bull.*, 275: 14-22.
- Alpers, W., L. Mitnik, L. Hock and K.S. Chen, 2002. The Tropical and Subtropical ocean viewed by ERS-SAR.
- Da Silva, J.C.B., S.A. Ermakov, I.S. Robinson, D.R.G. Jeans and S.V. Kijashko, 1998. Role of surface films in ERS SAR signatures of internal waves on the shelf. I. Short-period internal waves, *J. Geophys. Res.*, 103(C4): 8009-8031.
- Johannessen J.A., R.A. Shuchman, G. Digranes, D.R. Lyzenga, C. Wackerman, O.M. Johannessen and P.W. Vachon, 1996. Coastal ocean fronts and eddies imaged with ERS-1 synthetic aperture radar, *J. Geophys. Res.*, 101(C3): 6651-6668.
- Nilsson C.S. and P.C. Tildesley, 1995. Imaging of oceanic features by ERS 1 synthetic aperture radar, *J. Geophys. Res.*, 100(C1): 953-967.