Korean Journal of Remote Sensing, Vol.26, No.2, 2010, pp.109~114

2000년 7월 한국 동남연안 SAR 영상의 낮은 후방산란 해역에 대한 고찰

김태림*† · 박종집* · 김상우**

*군산대학교 해양과학대학, **국립수산과학원 아열대수산연구센터

Study of Low Back-scattering Area on the SAR Image of Waters off the Southeast Coast of Korea

Taerim Kim*†, Jong-Jip Park*, and Sang-Woo Kim**

*College of Ocean Science & Technology, Kunsan University

**Subtropical Fisheries Research Center, National Fisheries Research & Development Institute

Abstract : This paper studies the origin of low back-scattering area appeared on the SAR image taken on the coastal waters off the southeast coast of Korea on July 5, 2000. Cold waters were frequently observed during summer on this coastal waters, and quasi-simultaneously taken AVHRR and SeaWiFS images also showed cold surface waters and high concentration of chlorophyll-*a*, respectively. By synergetic analysis of multi-sensor satellite images, it is strongly suggested that the cold and nutrient rich upwelling waters caused the high phytoplankton density and high biological activities in the water producing natural films for low back-scattering.

Key Words : upwelling, SAR, SeaWiFS, AVHRR, phytoplankton, natural films, multi-sensor.

요약 : 2000년 7월 5일 한국 동남연안을 촬영한 SAR 영상에서 해안을 따라 나타난 낮은 후방산란 해역의 원인을 고찰 하였다. 이 해역은 여름철에 자주 표층 냉수가 관측되는 해역으로 인접한 시기의 SST 영상과 SeaWiFS 영상에서도 거의 동일한 해역에서 각각 낮은 표층 수온과 높은 농도의 엽록소 a의 분포를 보였다. 복수의 위성 센서 영상을 공동으로 활용한 결과 영양염이 풍부한 저층 냉수가 표층으로 용승 하여 식물플랑크톤을 비롯한 생물 활동을 증가시켰을 가능성을 보여주고 있으며, 높은 밀도의 생물 활동으로 인한 물질들이 생성한 표층 유막으로 인하여 SAR 영상에서 낮은 후방산란을 나타내는 것으로 판단된다.

1. 서 론

해양 현상은 광범위한 해역에 걸쳐서 다양하게 나타나며 육상과 달리 유동적이다. 현장 관측의 경우 장비와 시간의 제한으로 넓은 영역을 동시에 관측하는 것이 불가능하며, 일반적으로 소수의 국부 현장 관측 자료를 전체 해역을 대표하는 정보로 활용한다. 또한 선상 관측은 전체 해역을 이동하면서 관측이 이루어지므로 상당한 시간이 소요되고, 관측이 이루어지는 시간동안에는 해양이 정상상태에 있다는 것을 전제로 한다.

접수일(2010년 3월 29일), 수정일(1차 : 2010년 4월 18일), 게재확정일(2010년 4월 23일).

† 교신저자: 김태림(trkim@kunsan.ac.kr)

위성 해양 관측은 비록 표층 정보에 국한되지만 넓은 해역을 동시에 관측할 수 있다는 장점이 있다. 위성에서 관측된 자료는 다양한 해양의 물리 · 생물학적인 현상을 규명하는 도구로서 활용되고 있으며, 수치 모델의 초기 혹은 외부 경계 값으로 사용하거나 자료 동화 기술에 적용함으로서 수치모델의 정확도를 향상 시키는데도 기여하고 있다. 또한 기술의 발달과 함께 해양의 여러 현상에 대한 이해의 진전으로 표층 정보만으로 많은 현상의 해석이 가능해졌다. 그러나 아직도 다양한 해양 현상에 대한 정확한 이해와 정량적인 분석을 위해서는 위성관측만으로는 어렵기 때문에 현장 관측과 같은 보조 자료가 필요하다.

최근 위성센서의 발달과 동시에 위성 수의 증가로 관측 비용의 감소와 함께 공간적, 주기적, 주파수별 해상도도 점차 향상되고 있지만, 각 위성 센서에 따른 관측의 한계로 인하여 활용에 대한 제약이 따르기도 한다. 즉 수동센서인 NOAA 위성의 Advanced Very-High Resolution Radiometer (AVHRR)나 NASA/Orbview-2 위성의 Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS)는 각각 해양의 표층수온과 식물 플랑크톤 색소농도(chlorophyll-*a*)에 대한 직관적인 해석이 가능하고 매일 같은 해역에 대한 관측이 가능할 정도로 반복주기가 짧다. 그러나 이들 센서는 구름 등과 같은 기상조건에 따라 제약을 받으며 공간 해상도도 일반적으로 약 1 km 정도로 낮은 편이다. 반면에 능동센서인 Synthetic Aperture Radar (SAR)는 12.5 m 정도의 높은 공간 해상도를 가지며, 구름 등의 기상 상태에 관계없이 관측이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이 센서는 같은 장소를 반복 관측할 수 있는 궤도 주기가 30일 이상으로 길며, 해양 표면 거칠기의 변화를 관측하는 것이므로 현상에 따라서는 해석이 용이하지 않다.

해양은 현상에 따라서 그 양상이 여러 형태로 해양 표면에 나타나는 경우가 많다. 이러한 현상은 동일한 해역에서 그 현상의 특성에 따라 위성의 각기 다른 센서에 의해 관측된다. 이렇게 복수의 센서에 관측된 정보를 분석함으로서 현상에 대한 정밀한 분석은 물론 향후 각 센서의 관측 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 각 센서간의 장점을 극대화 할 수 있을 뿐만 아니라 각각의 단점을 최소화 할 수 있다. 특히 연안 용승이나 해양 전선 등이 형성되는 해역은 해양의 표면온도 및 해색의 변화 그리고 표면의 거칠기 특성 등이 동시에 위성 센서에 관측되는 경우가 많으므로 이들 3 개의 센서를 공동 활용하면 현장 관측이 수반되지 않더라도 현상에 대한 보다 정확한 이해가 가능하다. 특히 이러한 센서들의 상호 보완 효과를 이용하면 구름 등에 의한 기상의 영향으로 해양 관측이 용이하지 않을 때는 수동센서 대신 능동센서를 활용할 수도 있다.

Clemento-Colon(2005)은 미국 노스캐롤라이나 주의 델라웨어 만에서 RADARSAT-1 SAR영상과 AVHRR에서 관측한 해수 표면 온도 분포를 비교함으로서 주변 해역에 비하여 찬물이 분포하는 용승 해역에서 SAR 영상이 검게 나타나는 것을 확인하였으며 이의 원인과 발생 조건에 대하여 연구하였다. 또한 미국 주변해역에서 발생하는 용승 해역에 대하여 복수의 위성 센서를 활용한 연구를 수행하였다. Bentz et al.(2004)도 브라질의 동남쪽 해역에서의 용승 해역에 대하여 SAR, 해색 그리고 해수 표면 온도 센서 관측을 통하여 동일한 해역이 각각의 센서에 다른 특성으로 관측됨을 보임으로서 용승 현상에 대한 확인은 물론 복수 위성센서를 활용한 그 시너지 효과를 논하였다

본 연구에서는 2000년 7월 5일 한국의 동남 연안을 관측한 SAR 영상의 해안을 따라서 낮은 후방산란으로 인하여 검게 나타나는 해역에 대한 원인을 복수의 위성센서를 활용한 시너지 효과를 사용하여 고찰하고 분석하였다.

2. 한국 동남해역에 대한 SAR 영상 관측

2000년 7월 5일 한국의 동남 해역을 관측한 RADARSAT SAR 영상에 의하면(Fig. 1) 부산에서 부터 울산의 인근 해역에 이르기까지 해안을 따라서 주변 해역에 비해 낮은 후방 산란으로 인하여 검게 나타나는 해역이 존재하며 그 폭이 점차 넓어지면서 남서-북동 방향으로 확산되어가는 양상을 보여 주고 있고 울산 외해역에서는 해안과 떨어진 해역에서도 검게 나타나는 해역이 연장되어 분포하는 것을 볼 수 있다.

해양을 관측한 SAR 영상에서 낮은 후방 산란으로 인하여 주변 해역에 비해 검게 나타나는 이유로는 낮은 해상풍 해역이나 해양 전선, 강우, 광물질 등 여러가지가

Fig. 1. Distribution of back-scattering intensity from RADARSAT SAR image on 5 July 2000.

있을 수 있으며 그 원인의 구분이 용이하지 않은 복잡한 경우가 발생하기도 한다(Clemento-Colon and Yan, 1999). 가장 대표적인 것으로 유류 오염 사고 등으로 인하여 해수 표면에 유출된 기름이 얇은 필름 형태로 존재하는 경우가 있으며 섬이나 인근 육지의 산 등으로 인하여 바람이 차단되었을 경우에도 바람이 부는 방향에 대하여 섬이나 산의 후면에서 상대적으로 바람의 강도가 약해져 주변 해역에 비하여 낮은 후방 산란 강도를 보이기도 한다. 또한 해양에서 생물활동의 증가는 이 생물들이 배출하는 분비물의 증가를 의미하며 이러한 물질들은 해수 표면에 얇은 유막을 형성하게 되고 레이다의 후방산란을 약화시켜 SAR 영상에서 검게 관측 된다. 따라서 기상 조건과 광량에 관계없이 높은 공간 해상도를 가지고 관측할 수 있는 장점에도 불구하고 SAR 영상 단독만으로는 낮은 후방 산란 해역에 대한 정확한 원인을 분석하기 어려우며 현장 관측 자료와 비교 검토를 하거나 혹은 다른 위성 센서 자료를 공동으로 활용하여야 한다. 또한 해양 물리 및 생물 현상에 대한 이해와 함께 동일한 해역에서 과거에 관측되고 연구되었던 현상들에 대한 정보도 필요하다.

우리나라 동남해역의 연안에서 여름철에 자주 관측되는 현상 중에 냉수대를 들 수 있다. 즉 여름철에 우리나라 동남연안을 따라서 자주 찬 해수가 나타나는 것으로 보고되고 있으며 이 냉수의 근원과 원인을 밝히기 위하여 많은 연구가 수행되어 오고 있다(An, 1974; Lee, 1978; 김과 김, 1983; 이, 1983; 승, 1984; 변, 1989). 특히 최근에 이 등(1998)과 서 등(2001)은 NOAA 위성의 AVHRR 센서가 관측한 해수 표면 온도와 바람과의 상관관계 등을 분석하여 냉수대에 대한 연구를 하였다. 또한 이 등(2004)은 냉수대가 잘 출현하는 울산-감포 연안 해역에서의 냉수대와 동물 플랑크톤 분포의 관계를 분석한 결과 용승 현상과 같은 영양염의 공급이 동물 플랑크톤의 분포에 큰 영향을 준다고 지적하였다. 따라서 기존의 우리나라 동남해역에서의 연구 결과를 종합해 보면 아직 냉수대에 대한 명확한 원인은 밝혀지지 않았으나 바람과 상관관계가 큰 것으로 보이며 이로 인하여 생물 활동이 증가하는 것으로 보인다. 그리고 이러한 현상은 SAR 위성 외에도 수온관측이 가능한 AVHRR 영상과 식물 플랑크톤 관측이 가능한 SeaWiFS 영상에도 관측될 가능성이 크다.

3. 수온 및 식물 플랑크톤에 대한 위성 관측

한국 동남해역 연안의 SAR 영상에서 낮은 후방 산란 해역이 관측된 시기와 인접한 시기의 AVHRR 영상과 SeaWiFS 영상을 수집 분석하였다. Fig. 2는 2000년 7월 8일 관측된 NOAA위성의 AVHRR이 관측한 해수 표면 수온 분포이다. 이전의 연구에서 여러 번 관측된 바 있는 연안 냉수가 감포 남쪽 연안에서 뚜렷이 관측되며 주변 해역에 비하여 5℃ 정도 낮은 것으로 나타난다. 또한 비슷한 수온의 표층수가 해안선을 따라 좁게 부산까지 연장되어 있는 것을 볼 수 있으며 감포 위쪽으로도 정도의 차이는 있지만 여러 곳에서 냉수가 관측되고 있다. 이 시기에 더 많은 표층 수온 관측 영상을 수집 분석하여야 하나 구름의 양 등으로 인하여 동일한 시간의 영상은 사용할 수가 없었다. 이러한 해양 냉수대는 저층에서 용승 했을 가능성이 크며 많은 영양염을 함유하고 있다. 따라서 광량에 비하여 영양염이 부족한 여름철 표층의 생물 활동에 큰 영향을 주게 된다. Fig. 3은 대기권 밖의 평균 태양 복사 조도가 대기의 영향 없이 직접 해수면에 수직으로 입사되었다고 가정할 때 수직으로 되돌아 나오는 복사 휘도 값(nLw: normalize water-

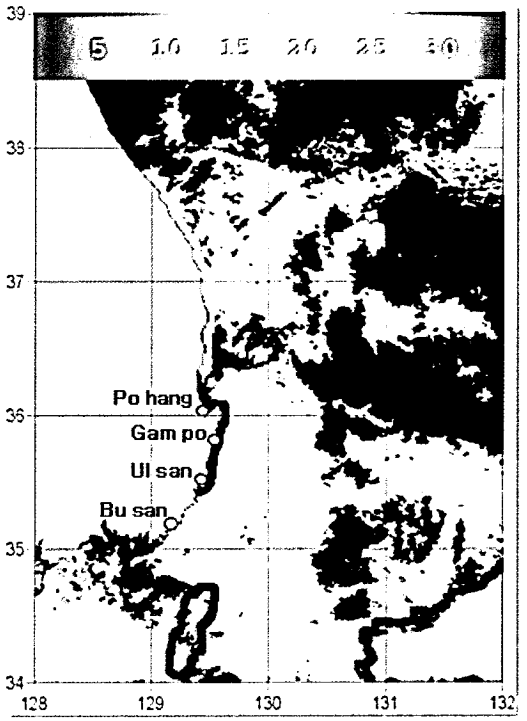

Fig. 2. Distribution of sea surface temperature derived from NOAA AVHRR on 8 July 2000.

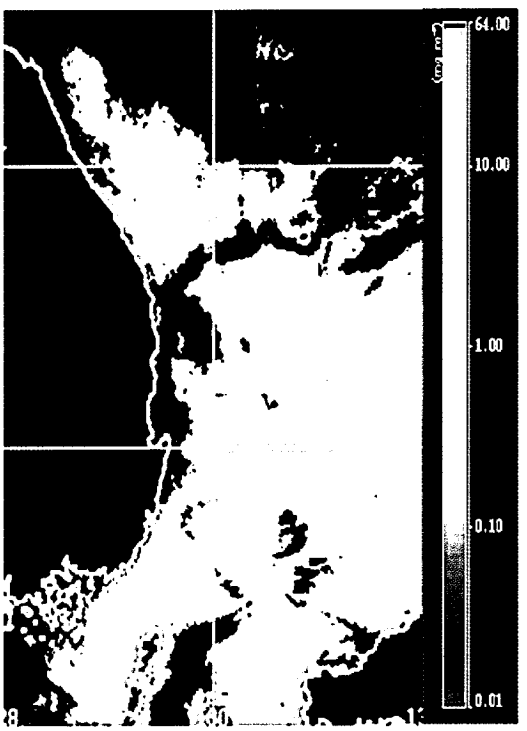

Fig. 3. Distribution of chlorophyll-a derived from SeaWiFS images on 6 July 2000.

leaving radiance)의 분포인 nLw 443 nm과 nLw 555 nm 파장대의 복사휘도 값 영상을 이용하여 엽록소 a의 분포를 나타낸 것이다. 비록 감포 해역 북쪽 연안을 따라서는 구름으로 인하여 엽록소 a의 분포를 확인할 수 없지만 감포 남쪽 연안 냉수가 관측되는 동일한 해역에서 주변 해역에 비하여 뚜렷이 높은 농도의 엽록소 a가 분포하는 것을 볼 수 있다. 또한 표층 냉수의 경우 좁은 해안을 따라서 남쪽과 감포 북쪽의 연안에 대부분 분포하는 것으로 나타나나 높은 농도의 엽록소 a는 감포 연안 쪽에 집중적으로 분포하며 남서-북동 방향으로 확산되어가는 양상을 보여 주고 있다.

4. 복수 위성 센서를 활용한 용승 현상 관측 및 해석

시기적으로 인접한 기간 동안에 한국 동남해역을 관측한 SAR, AVHRR 그리고 SeaWiFS 영상은 모두 동남 해안을 따라서 주변 해역에 비하여 낮은 후방산란 해역, 냉수 해역 그리고 높은 농도의 식물 플랑크톤 해역을 포함하고 있으며 이들은 모두 이 해역에서 자주 관측되어 온 용승에 의한 냉수의 출현과 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 이 3가지 센서에서 관측된 현상의 공간적인 관련성을 알아보기 위하여 각각을 기하 보정한 후 함께 도시하였다(Fig. 4). 각각의 영상에 점선으로 나타

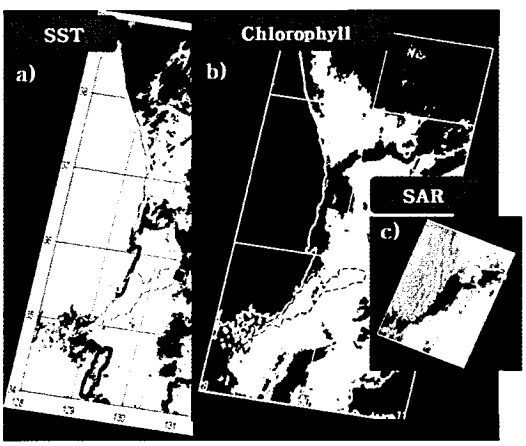

Fig. 4. Comparison of a) low sea surface temperature in AVHRR image and b) high cholorophyll-a regions in SeaWiFS image with c) low back scattering region in SAR image.

낸 해역은 SAR 영상에서 검게 나타난 해역의 경계 부분을 나타낸 것이다. 주변해역에 비하여 낮은 표층 수온 분포와 높은 엽록소 a 밀도 분포를 나타내는 해역이 모두 점선 해역에 포함되는 것을 알 수 있으며 모두 남서-북동쪽으로 연장되어 확산되어 가는 형태를 보이고 있다. 그리고 3가지 센서 관측 영상에서 나타난 특성 해역이 정확하게 동일하지는 않지만 나타난 분포 양상을 고려하여 볼 때 동일한 발생 기작과 원인으로 나타난 것으로 사료되며 이렇게 표층 냉수와 높은 식물 플랑크톤 농도 그리고 낮은 후방산란을 연결시킬 수 있는 물리 생물학적인 해양 현상으로 가장 가능성이 높은 것은 용승 현상이다.

해양에서의 용승 현상은 해안을 따라서 바람이 불 때 지구 자전 효과 등에 의하여 발생하는 에크만 수송에 기인한다. 즉 북반구에서는 바람 방향에 대하여 오른쪽으로 남반구에서는 왼쪽으로 표층에서의 에크만 수송이 발생하는데 이를 보충하기 위한 표층의 흐름이 연안의 육지지형으로 불가능할 때 이를 보충하기 위하여 저층의 해수가 용승하게 되는 것이다.

용승 현상은 성층화된 여름철에 광량이 도달하는 혼합층에서 식물 플랑크톤의 영양염 공급에 중요한 역할을 하며 이와 함께 동물 플랑크톤과 이를 먹이로 하는 어류에게도 영향을 미친다. 구름이 없는 상태에서 이러한 용승해역에 대한 일상적인 관측은 AVHRR과 같은 수동 열감지 센서로 해수표면의 수온을 관측하거나 SeaWiFS, Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) 그리고 Medium Resolution Imaging Spectrometer(MERIS)와 같이 위성에서 감지가 가능한 엽록소 a 혹은 형광 물질 등이 나타난 해색을 관측함으로서 이루어진다. 또한 최근에는 이러한 해역에서 증가한 생물들이 분비하는 물질들이 표층에 얇은 유막을 형성해 후방 산란을 약화시킴으로서 SAR영상에서 검은 부분으로 관측되기도 한다. Fig. 5는 본 연구 해역에서와 같이 북반구의 동쪽 연안에서 남풍계열의 바람이 불 경우에 발생하는 용승 현상과 3가지 위성센서를 활용한 관측에 대한 개요를 모식도로 나타낸 것이다. 즉 그림과 같이 북반구의 경우 좌측에 육지가 위치하고 해안선을 따라서 남쪽에서 바람이 불 경우 영양염이 풍부한 저층의 찬 해수가 용승하게 되어 AVHRR 센서에 의하여 주변 해역에 비해 차가운 해수표면이 관측되고, 영양염 공급으로 인한 식물 플랑크톤의 증가는 SeaWiFS의 해색 센서에 관측된다. 또한 생물활동의 증가와 이들이 분비하는 물질들이 표층에 얇은 유막을 형성하므로 SAR 영상에 관측되는 것이다.

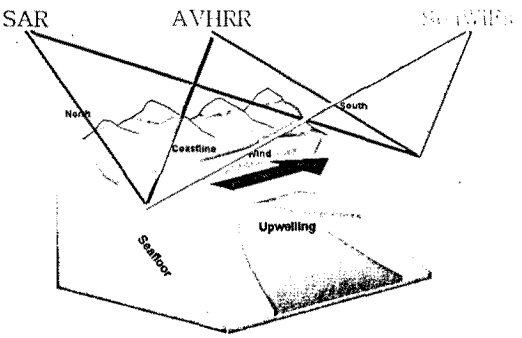

Fig. 5. A schematic of the multi-sensor detection of the upwelling phenomena on the coastal waters.

5. 토의 및 제언

우리나라의 동남해역의 SAR 영상에서 주변해역에 비하여 검게 나타나는 해역의 원인에 대하여 SAR 영상 단독만으로는 정확히 판단할 수 없었으나 표층수온 센서와 해색 센서를 공동 활용함으로서 그 원인인 용승 현상에 대한 보다 정확한 해석이 가능하였다. 그러나 3개의 센서를 공동으로 사용하여 관측할 경우에도 다음과 같은 사항에 주의하여 해석이 이루어져야 한다(Cemente-Colon P., 2005).

1) 용승 초기에는 수온과 해색 분포를 발생시키는 엽록소 a가 물리적으로 상호 작용을 하지만 현상이 진전됨에 따라 서로 다르게 발전되어 가면서 SAR와 SST 그리고 SAR와 엽록소 a의 분포가 일치하지 않은 경우도 많이 발생하게 된다.

2) SAR의 자연막은 생물활동 뿐만 아니라 관측이 이루어진 시점에서의 바람 상태에도 영향을 많이 받기 때문에 엽록소 a가 많이 관측된다고 해서 항상 SAR에서 검게 나타나는 것은 아니다.

3) 해색 센서인 경우 해양에서, 특히 연안에서 생물의 활동 상태를 나타내는 특성이 연중 나타날 수 있으며 반드시 용승 현상과 관련되어 나타나는 것은 아니다.

우리나라는 향후 정지궤도 해양위성(GOCI)과 곧 이

어 X-SAR 센서를 탑재한 아리랑 5호의 발사가 이루어질 것이며 이를 통하여 우리나라 주변 해역의 용승 현상에 대한 보다 정밀한 관측과 분석이 가능할 것이다. 특히 수동센서인 해색 센서와 능동센서인 SAR센서를 공동 활용함으로서 시너지 효과를 거둘 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 한국 해양 연구원의 "정지 궤도 해색 위성(GOCI) 활용 연구 지원 사업"의 연구 지원에 의한 것입니다. 논문 발간은 군산대학교 해양개발연구소에서 일부 지원받았습니다.

참고문헌

김철호, 김구, 1983. 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원, 한국해양학회지, 18(1): 73-83.

변상경, 1989. 한국 남동해안부근의 해표면 냉수: 바람의 영향, 한국해양학회지, 24(3): 121-131.

서영상, 장이현, 황재동, 2001. 하계 동해연안역에서 발생하는 냉수역의 시공간적 변동 특성, 한국수산학회지, 34(5): 435-444.

승영호, 1984. 한국동안 연안선 형태가 용승에 미치는 영향에 관한 수치실험, 한국해양학회지, 19(1): 24-30.

이동규, 권재일, 한상복, 1998. 감포-울기 연안해역에서 발생하는 냉수대 현상과 해상풍과의 관계, 한국수산학회지, 31(3): 359-371.

이재철, 1983. 하계 한국 남동해안에서 용승과 관련된 바람, 해수면 및 표층수온의 변화, 한국해양학회지, 18(2): 149-160.

이창래, 박철, 문창호, 2004. 울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포, 바다, 9(2): 51-63.

An, H. S., 1974. On the cold mass around the southeast coast of Korean Peninsula, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 9: 10-18.

Bentz, C. M., J. A. Lorenzzetti, and M. Kampel, 2004. Multi-sensor synergistic analysis of mesoscale oceanic features: Campos Basin, south-eastern Brazil, *Int. J. Remote Sensing*, 25(21): 4835-4841.

Clemente-Colon, P. and X.-H. Yan, 1999. Observation of east upwelling conditions in synthetic aperture radar imagery, *IEEE Trans. Geoscience and Rem. Sens.*, 37(5): 2239-2248.

Cemente-Colon P., 2005. Upwelling, Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual, Jackson C. R. and J. R. Apel, Commerce Dept., NOAA, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, Office of Research and Applications, 474p, 221-244.

Lee, K. B., 1978. Study on the coastal cold water near Ulsan, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 13: 5-13.