

인공위성자료를 이용한 황해의 해황 변동: 2004년 이상 수온 상승을 중심으로

양찬수* · 문정언* · 안유환*

*한국해양연구원 해양위성연구단

Oceanographic Variability in Yellow Sea using Satellite Data: from the Viewpoint of Abnormal Rise in Seawater Temperature in 2004

Chan-Su Yang* · Jeong-Eon Moon* · Yu-Hwan Ahn*

*Ocean Satellite Research Group, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, 425-600, Korea

요 약 : 황해와 동중국해의 해황 변동에 관한 연구는 현장관측을 중심으로 체계적으로 많이 수행되어 왔지만, 인공위성자료를 이용한 황해와 동중국해의 해황 변동 연구는 미비한 실정이다. 이것은 인공위성자료를 통해 얻을 수 있는 관측항목이 표층수온자료에 국한되어 있었기 때문이다. 그러나 SeaWiFS 해색위성과 같은 인공위성자료들을 이용하여 부유물 농도, 엽록소 농도 등이 원활하게 생산되고 있으며 최근 연구결과에 의해 염분과 유황성분 등도 추정 및 추출이 가능케 되었으므로 이들 인공위성자료를 이용한 황해와 동중국해의 해황 변동에 관한 연구를 수행하게 되었다. 특히 2004년도는 계절변동에 있어서 이상기후의 해라고 점철되고 있다. 2004년 봄철의 폭설과 일시적인 고온현상, 여름철에는 10년만의 무더위, 겨울철에는 36년만에 가장 포근한 날씨가 지속되었다. 이러한 이상기후의 발생은 해양과 대기의 상호작용에 의해서 기인했을 것이라고 생각되어 한반도 주변 해역에서 황해와 동중국해의 해황변동이 연안해역의 해황변동과 어떠한 연관성이 존재하고, 이러한 요인들은 2004년도에 발생한 이상기후와 어떤 상관관계를 갖는지 연구하기 위한 기초연구를 진행하였다. 2003년 12월 - 2004년 2월과 2004년 12월 - 2005년 2월에 동일한 시기에 관측된 NOAA 표층수온 분포 영상자료들을 황해와 동중국해 해역을 중심으로 월별로 비교해보면 2003년 12월 - 2004년 1월에 관측된 표층수온 분포값보다 2004년 12월 - 2005년 1월에 관측된 표층수온 분포값이 상대적으로 높은 분포 특성을 나타내고 있었다. 이와 같은 현상은 국립수산과학원의 2004년 10월과 12월의 정선관측자료에서도 나타나고 있었다. 그러나 이와는 반대로 2004년 2월에 관측된 표층수온 분포값보다 2005년 2월에 관측된 표층수온 분포값이 상대적으로 낮은 분포 특성을 나타내고 있었다. 따라서 인공위성자료를 이용한 황해의 2004년 해황 분석 결과는 이상수온 상승의 원인이 쿠로시오 해류의 변동과 관련성이 높다고 판단되며 이에 대한 지속적인 연구가 현재 진행중에 있다.

핵심용어 : 인공위성자료, SST, 황해, 동중국해, 해황, SeaWiFS, 이상기후, 쿠로시오 해류

1. 서 론

황해는 한반도와 중국대륙으로 둘러싸인 반폐쇄적인 해역으로 수심은 20 - 80m 정도, 최대수심은 103m, 평균수심은 44m로 이루어져 있어서 대륙붕이 잘 발달되어 있다. 해역의 대부분이 육지로 둘러싸여 있어서 하천 혹은 강하구를 통해 육상기원쇄설물들의 유입이 매우 활발하며, 연안해역은 조수간만의 차가 심하여 조석 및 조류의 영향으로 해저에 침전되어 있던 부유물의 재부유를 유발, 연중 탁한 해수를 유지하게 하는 요인이 된다. 황해남부해역은 동중국해와 인접하고 있어서 유일하게 외해의 해수유입이 이루어지는 관문이다. 동중국해는 중국대륙 동쪽과 제주도 남쪽 해상 전해역을 일컫는 해역으로 대륙붕과 대륙사면이 잘 발달된 해역으로 쿠로시오의 지류인 대마난류와

제주난류, 간헐적으로 발생하는 황해난류와 양자강 연안수, 중국대륙연안수 등 해수유동이 매우 복잡한 해역이다. 특히 황해의 유일한 해수유입의 관문인 황해남부해역과 인접한 동중국해 북부해역은 제주난류수의 영향으로 겨울철에는 열염전선을 형성하고 그 열염전선이 약해지는 일부 해역에서 간헐적으로 황해난류가 발생, 난류수가 황해로 유입되고 있다(이홍재 등, 2005). 또한 여름철에는 양자강 연안수가 유입되어 황해와 동중국해 인접해역을 저염분화시키며 제주해협을 지나 한반도 동해로 유입되기도 한다.

이와 같이 황해와 동중국해는 서로 상호연관되어 매우 복잡한 해황 변동을 나타내고 있으며, 이에 대한 연구가 현장관측을 중심으로 체계적으로 많이 수행되어져 왔다(이홍재 등, 1998; 이홍재 등, 1999; 이홍재 등, 2000; 이홍재 등 2005). 그러나 인공위성자료를 이용한 황해와 동중국해의 해황 변동에 관한 연구들은 거의 전무한 실정이다. 이것은 현재까지 인공위성자료에서 얻을 수 있는 항목들이 표층수온자료에 국한되어 있었기

*대표저자 : 양찬수, yangcs@kordi.re.kr, 031)400-7678

**문정언, jemoon@kordi.re.kr, 031)400-6139

**안유환, yhahn@kordi.re.kr, 031)400-6129

때문이라고 생각된다. 하지만 해석위성자료가 생산되면서 여러 가지 항목들을 얻을 수 있게 되었다(부유물 농도와 엽록소 농도 산출, 부유물 농도를 이용한 유황성분 추출, 해수 광 특성을 이용한 염분 추정 기법 등).

또한, 해양과 대기는 상호연관되어 기후변화를 주도하고 있는데, 특히 2004년도 한반도의 사계절은 이상기후의 해라고 할 수 있다. 2004년 봄에는 폭설과 일시적인 고온현상, 여름에는 10년만의 무더위, 겨울에는 36년만에 가장 포근한 날씨가 기록되었던 한해였다. 이와 같은 이상기후는 여러 가지 요인에 의해서 나타나겠지만 그 중에서 한반도 주변 해역의 해황 변동과 밀접한 관련이 있었을 것이라고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 NOAA위성의 표층수온자료와 SeaWiFS 해석위성의 부유물 농도와 엽록소 농도 영상자료, 부유물 농도를 이용한 유황성분 추출자료와 해수 광 특성을 이용한 염분 추정 기법을 통한 염분자료 등을 이용하여 황해와 동중국해의 해황 변동에 대하여 연구하고자 한다. 또한 국립수산과학원의 정선관측자료들 중에서 황해와 동중국해의 수온과 염분 현장관측자료 등을 이용하여 현재까지 인공위성자료에서 얻을 수 없는 수직적인 해수 특성을 분석하고자 한다. 이러한 연구들이 차후 진행될 2004년에 나타난 이상기후와 해황변동과의 연관성 연구 및 이러한 해황변동이 연안해역에 미치는 영향 등을 연구하는데 기초 자료로 활용될 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 NOAA 표층수온(Sea Surface Temperature, SST) 자료

한국해양연구원(KORDI)에서 수신하고 있는 NOAA SST 자료는 매일 한반도 주변 해역의 표층수온자료로서, 2003년 12월부터 2005년 2월까지 수신한 자료를 이용하였다. 현재 한국해양연구원에서 NOAA SST 자료를 산출하기 위해 사용된 알고리즘은 NOAA 위성의 밴드 4번과 5번을 사용한 Multi Channel Sea Surface Temperature (MCSST; McClain *et al.*, 1985)와 밴드 3번과 4번을 사용하여 밤시간(night time)에만 사용 가능한 Bernstein(1982) 방법을 사용하고 있다. MCSST 알고리즘은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SST &= c + aT_4 + bT_5 \\ T_i &= a_o + a_i t_i \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, T_i 는 해수의 절대온도, t_i 는 band i 의 Luminance에 의한 이론적인 온도, a_o 는 대기의 효과에 의한 수정 항, a_i 는 회귀 상수, T_4 와 T_5 는 밴드 4와 5에서의 brightness temperature이며 a, b, c 는 통계적으로 얻어지는 상수이다.

2.2 SeaWiFS 부유물(Total Suspended Solid Particle) 농도 자료

한국해양연구원(KORDI)에서 수신하고 있는 SeaWiFS 자료는 1998년부터 현재까지 매일 한반도 주변 해역에 대한 해석자료로서, 2003년 12월부터 2005년 2월까지 수신한 자료를 이용

하여 부유물 농도를 산출하였다. 현재 한국해양연구원에서 부유물 농도를 산출하기 위해 사용된 알고리즘은 SeaWiFS 해석위성의 밴드 5번을 사용한 Ahn's 부유물 농도 산출 알고리즘(Ahn *et al.*, 2001)을 사용하고 있다. 그 식은 다음과 같다.

$$SS = 3.25L_{w,N}(555)^{0.92} \quad (2)$$

여기서, $L_{w,N}(555)$ 는 SeaWiFS 해석위성의 밴드 5번에 대한 중심밴드 555nm에 대한 규격화된 해수수출광량(normalized water leaving radiance)으로서, 대기가 없고 태양광이 수직으로 해수표면에 비취질 때 해수표면 바로 위에서 측정된 해수수괴로부터 방출된 광량이다.

2.3 SeaWiFS 염분(Salinity) 추정 자료

한국해양연구원(KORDI)에서 수신하고 있는 SeaWiFS 자료들 중에서 2003년 12월부터 2005년 2월까지 수신한 자료를 이용하여 염분 추정 자료를 산출하였다. 사용된 알고리즘은 다음과 같다(문정언 등, 2006).

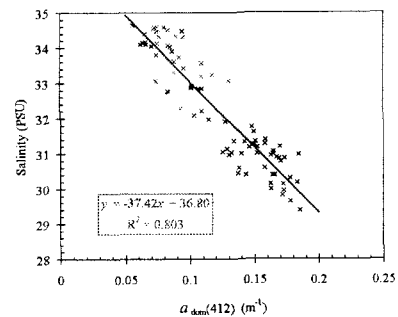


Fig. 1 Correlation between salinity and absorption of DOM (dissolved organic matter) at 412nm using in-situ data.

$$Salinity(PSU) = -37.42a_{dom}(412) + 36.80 \quad (3)$$

여기서, $a_{dom}(412)$ 는 SeaWiFS 해석위성에서 밴드 1번의 중심밴드인 412nm에 대한 용존유기물(Dissolved Organic Matter, DOM)의 흡광계수이다.

2.4 국립수산과학원의 정선관측자료들 중에서 황해-동중국해 수온과 염분 현장관측자료

국립수산과학원(NFRDI)에서 매년 한반도 주변 해역에 대한 정기적인 정선관측을 수행하고 있는데, 그 중에서 황해와 동중국해 북부해역에 해당하는 307 - 314 관측라인에 대한 2004년도 수온과 염분자료를 인터넷을 통해 자료를 내려받아서 수평 및 수직분포도를 작성하였다.

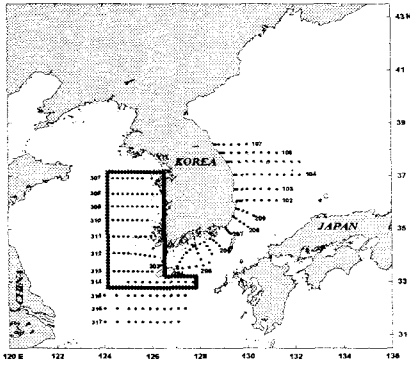


Fig. 2 The map of *in situ* observation stations by NFRDI(National Fisheries Research and Development Institute). Data in the red box are used here.

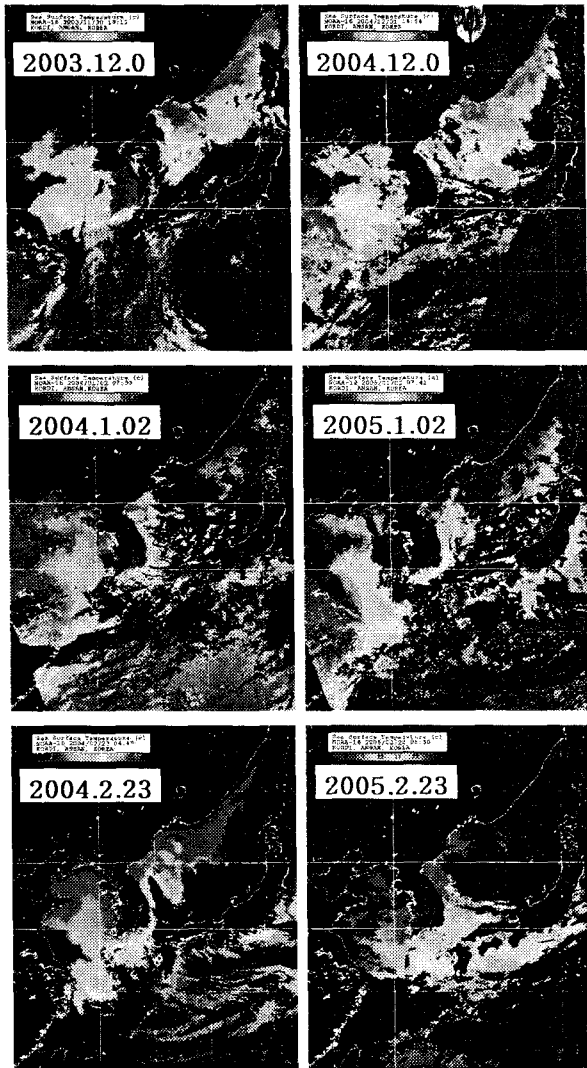


Fig. 3 SST images of NOAA for the season winter of 2003 and 2004.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 2003년 겨울철과 2004년 겨울철에 관측된 NOAA SST 영상자료들이다. 이러한 영상자료들을 황해와 동중국해역을 중심으로 표층수온의 분포 특성을 겨울철동안 월별로 비교해보면 다음과 같다. 2003년 12월 1일과 2004년 12월 2일 관측된 NOAA SST 자료를 비교해보면, 일반적으로 한반도 겨울철에는 강한 북서계절풍의 영향으로 중국대륙연안수가 황해남부해역을 가로질러 동중국해로 확장되는 현상이 주로 관측되지만 본 영상자료들은 초겨울에 관측된 자료들이므로 북서계절풍의 영향력이 아직까지는 미약하다고 생각된다. 또한 수온 분포특성을 살펴보면 2003년 12월 영상자료보다 2004년 12월 영상자료에서 표층수온값이 상대적으로 높게 나타나고 있었다. 이와 같은 현상은, 2004년 10월과 12월의 정선관측자료에서도 확인된다. 10월부터 전체적으로 쿠로시오계의 영향이 나타나며, 12월에는 그 영향이 뚜렷해져 제주도 서쪽에서 북쪽으로 이어지는 흐름이 관찰되었다. 이와 같은 패턴에 따라, 덕적도와 칠팔도에서의 수온이 12월말로 이어짐에 따라 2005년에 비해 아주 높아지고 경향을 보였다(Fig. 4 - 7).

2004년 1월 2일과 2005년 1월 2일 NOAA위성으로 관측된 표층수온 영상자료를 비교해보면, 겨울철 전형적인 특징인 강한 북서계절풍의 영향으로 중국대륙연안수의 동중국해로 확장되는 형태를 잘 나타내주고 있었으며, 표층수온 분포 특성에서는 2004년 1월보다 2005년 1월 영상자료에 나타난 표층수온값이 상대적으로 높게 나타나고 있었다. 2004년 2월 23일과 2005년 2월 23일 NOAA위성으로 관측된 표층수온 영상자료들에서는 위의 비교된 두 쌍의 인공위성 영상자료들과 표층수온 분포특성에서 다른 경향을 나타내고 있었다. 위의 두 쌍의 영상자료들에서는 2003년 12월-2004년 1월 겨울철 표층수온 관측자료보다 2004년 12월 - 2005년 1월 겨울철 표층수온 관측자료에서 상대적으로 높은 수온분포값을 나타내고 있었지만, 이와 반대로 2004년 2월보다 2005년 2월에 관측된 표층수온 분포값이 상대적으로 낮게 나타나고 있었다.

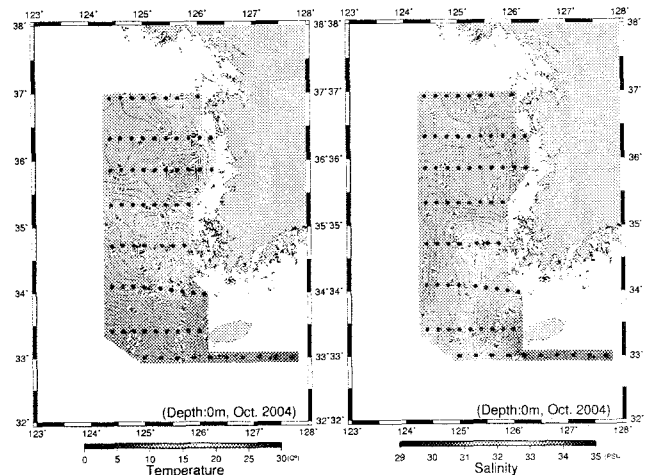


Fig. 4 *In-situ* temperature(left) and salinity(right) distributions at the depth 0m in Oct. 2004.

4. 결론

2004년 해황의 월변동 특성을 조사한 결과, 이상 수온 상승의 원인이 쿠로시오의 변동에 있을 수 있다는 사실을 발견하였다. 2004년 연안 수온에 있어서도 2005년보다 높았음을 확인하였다. 하지만, 전 기간에 걸쳐 발생한 것이라기 보다는 10월에서 12월 사이에 주로 그 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서 2004년의 이상 수온상승은, 대기와 해양의 영향을 동시에 받은 것이라고 판단되며 이에 대한 지속적이고 심도있는 연구가 현재 진행 중에 있다.

후기

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업 “하구역의 관리 및 기능회복 기술 개발”의 일환으로 수행되었다.

참고 문헌

- [1] 이홍재 (1998), 동중국해 중·서부해역의 해양순환 연구, 한국해양연구소 보고서, BSPE 97603-00-1042-1.
- [2] 이홍재 (1999), 동중국해 중·서부해역의 해양순환 연구, 한국해양연구소 보고서, BSPE 98708-00-1141-1.
- [3] 이홍재 (2000), 동중국해 중·서부해역의 해양순환 연구, 한국해양연구소 보고서, BSPE 99754-00-1244-1.
- [4] 이홍재 (2005), 황해의 해양변동 예보 기반기술 개발, 한국해양연구원 보고서, BSPE 90600-1726-1.
- [5] McClain, E. P., W. G., Pichel, and C. C. Walton, (1985). Comparative performance AVHRR based multi-channel sea surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, No. C11, 587-601.
- [6] Bernstein, R. L. (1982). Sea surface temperature estimation using the NOAA-6 satellite advanced very high-resolution radiometer. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, No. C12, 9455-9465.
- [7] Ahn, Y.H., J.E. Moon and S. Gallegos (2001). Development of Suspended Particulate Matter algorithms for ocean color remote sensing. *Journal of the KSRS*, Vol. 17, No. 4, 285-295.
- [8] 문정언, 유주형, 안유환, 양찬수, 최중기 (1985). 해수 광특성을 이용한 엽분 추정 기법에 관한 연구. 2006년 한국해양학회 춘계학술대회, 부산 벡스코, 2006. 5. 15 - 16.

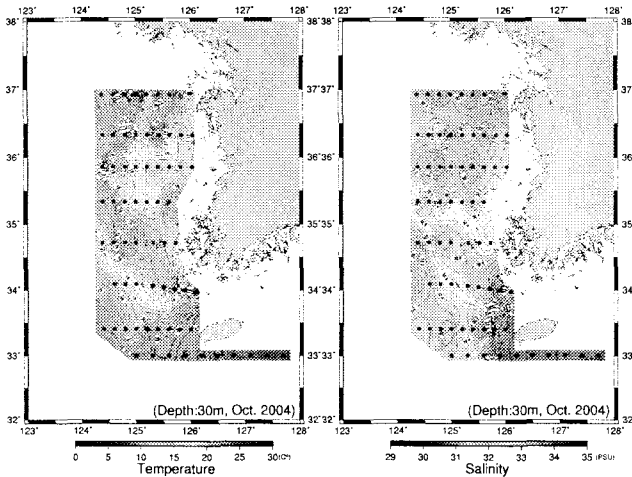


Fig. 5 Same as for Figure 4 but for the depth 30m.

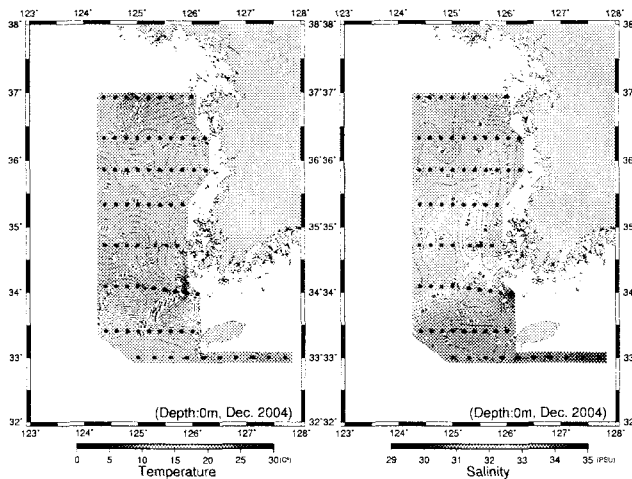


Fig. 6 Same as for Figure 4 but in Dec. 2004.

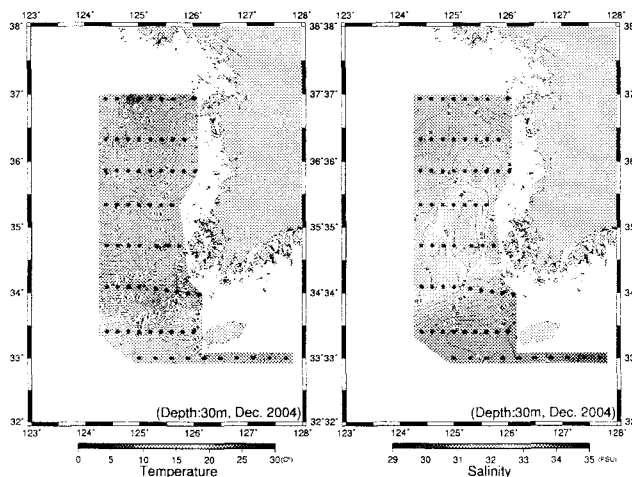


Fig. 7 Same as for Figure 4 but for the depth 30m in Dec. 2004.