

위성영상에서 관측한 태풍 NABI 통과시의 한국 동해 수온의 단기변동

김상우 · 고우진 · 야마다게이코 · 장이현 · 서영상

*국립수산과학원 해양연구팀

Sort-term variation of sea surface temperature caused by typhoon NABI in the East Sea derived from satellite data

Sang-Woo Kim·Woo-Jin Go·Keiko Yamada·Lee-Hyun Jang·Young-Sang Suh

*Ocean Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-092, Korea

1. 서 론

태풍은 매년 적도해양에서 발생하여 북상하면서 북태평양 서부지역에 집중 호우와 폭풍을 동반하여 재산과 인명에 많은 피해를 준다. 태풍과 같은 악기상 상태에서는 해양관측 자료 수집이 쉽지 않아 아직까지도 연안 정점의 해수면 자료를 제외하고는 그 자료가 매우 부족한 실정이다. 태풍 통과 전후에 해양 표면온도가 가강하는 해수면 냉각현상(sea surface cooling, SSC)에 대해서는 주로 대서양과 태평양을 중심으로 많은 이론 및 수치실험 연구를 통해 광범위하게 연구되어 왔다(Fedorov et al., 1979; Stramma et al., 1986; Taira et al., 1993; Sakaida et al., 1998; Senjyu et al., 1999). 한반도 주변 해역에서는 Hong and Sohn(2004)은 수치모델을 이용하여 태풍 통과시의 SSC 발생에 대해, Nam et al. (2004)은 동해 실시간 해양관측 부이자료와 모델을 이용하여 태풍 매미에 대한 연안해양의 반응에 관해 보고한 바 있다. Lee and Niiler(2003)와 Suh et al.(2003)은 해양관측자료와 위성자료를 이용하여 태풍통과 전후의 해황분석과 관련된 SSC를 논의한 바 있다. 현재 연구된 결과는 거의 태풍이 통과하기 이전과 통과 이후의 연구에 초점이 맞추어져 있으며, 태풍 통과 당시의 수온관측에 대한 연구결과는 거의 없다.

위성원격탐사는 광범위한 해역을 동시에 관측하기에 탁월하지만, 태풍 통과 당시의 해양표면수온 관측은 구름에 의한 영향 때문에 NOAA 위성과 같은 수동형 위성으로는 관측이 불가능하다. Suh et al.(2002; 2003)은 태풍통과의 영향으로

한국 근해역의 표층수에서 저수온 현상이 잘 나타난 NOAA AVHRR 위성자료를 선택적으로 선별하여 이상 저수온의 변동을 분석하였지만 NOAA 적외선 영상의 경우 태풍통과 전과 후의 변화를 일부 볼 수 있었지만 태풍 통과 당시의 해양 상태를 관측할 수 없었다. 태풍 등과 같은 기상이 나쁜 상황에서 해양표면수온 관측은 마이크로파 위성영상을 이용하는 것이 가장 좋으나, 해양표면수온 관측을 위한 마이크로파 위성영상은 그 해상도가 낮고 수온알고리즘의 정밀도가 대체로 낮다. 최근 광역해역에서 고분해능 적외선 영상과 마이크로파 영상 자료를 합성하여 구름의 영향을 제거한 깨끗한 새로운 해양표면수온 자료 생산을 위한 시도로 태풍과 같은 악기상 상태에도 해양표면수온의 관측이 가능하게 되었다(Guan and Kawamura, 2003; Hosoda and Kawamura, 2004).

본 연구에서는 전통적인 해양관측에 대한 방법으로 조사가 거의 되지 않았던 태풍통과 당시 및 태풍통과 전후에 대한 광역의 해양표면수온을 조사하기 위하여 열적외선 영상과 마이크로파 영상을 합성하여 생산된 위성관측 해양표면수온에 의한 태풍 NABI 통과 직전과 통과 당시 및 통과 이후의 동해안 해양표면수온의 단기변동을 살펴보았다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 한국 동해안을 통과한 태풍 NABI 통과 직전부터 통과 후 수일간의 해양표면수온 분포를 살펴보기 위하여 2005년 9월 1-30일 사이의 위성자료를 Fig. 1과 같

은 동경 127-134° E 와 북위 34-42° N 영역에서 시공간적으로 조사하였다.

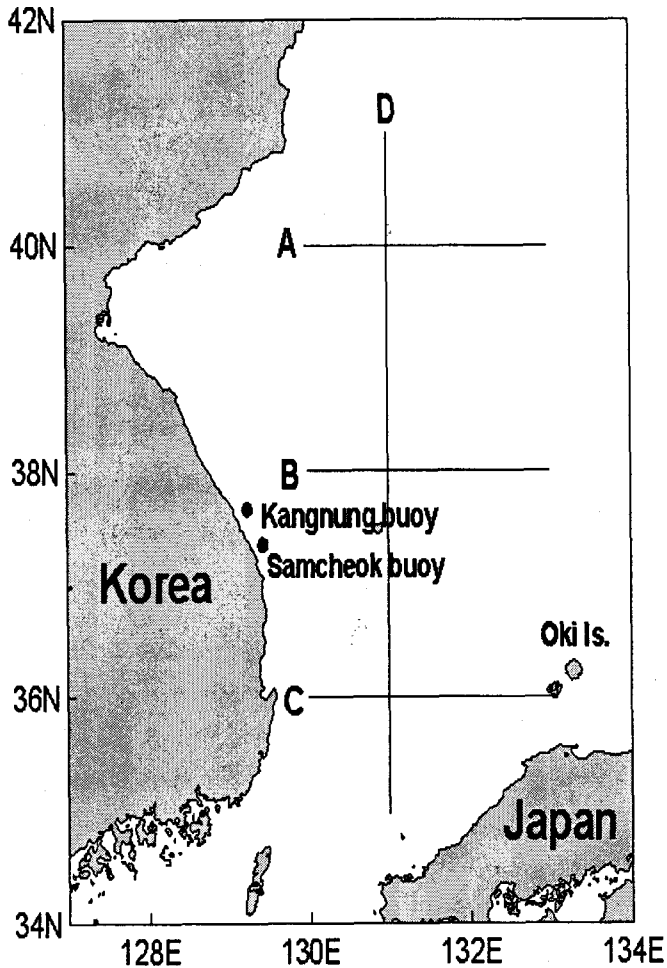


Fig. 1. Study area. Locations of mooring buoys in Kangnung and Samcheok.

위성관측 표면수온 자료는 일본 동북대학교에서 개발한 열적외선 NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)과 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 및 개량형고성능 마이크로파 복사계 (AMSR-E, Advanced Microwave Scanning Radiometer)의 위성관측 자료를 합성하여 생산된 위성관측 해양표면수온 (New Generation Sea Surface Temperature, NGSST) 자료를 이용하였다(Guan and Kawamura, 2003; Hosoda and Kawamura, 2004).

NGSST 자료는 해상도가 25km x 25km인 마이크로파 AMSE-R의 자료와 해상도가 약 1km x 1km인 MODIS와 NOAA 열적외선 자료로부터 새로운 알고리즘을 개발하여 해상도를 약 5.5km로 향상시킨 것으로 구름이 있는 상태에서도 해양표면의 수온 정보를 추출할 수 있는 장점이 있다. 이들 자료의 합성 과정 전에 위성관측 SST의 품질 관리를 위하여 구름에 의해 대부분 영향을 받은 0.01도 격자 간격의

이상치는 10일 동안 합성된 구름 없는 AMSR-E 영상과의 비교를 통해 제거하였다. AMSR-E 관측이 유효하지 못한 곳인 연안역의 열적외선 관측 자료는 공간적으로 보간된 연안역의 SST와 전날의 합성된 SST를 이용하여 작성하였다.

태풍 진로에 따른 바람의 세기를 파악하기 위하여 Remote Sensing System (<http://www.ssmi.com>)에서 제공한 QuikScat 위성자료를 이용하여 태풍이 동해를 통과하기 이전의 9월 1일과 태풍이 동해 중심부를 통과하여 동해를 벗어나기까지인 9월 5일, 7일, 10일의 해상풍과 표면수온의 공간적 분포에 대하여 살펴보았다. 그리고 동서 및 남북 표면수온의 시계열 분포를 보기위하여 북위 36° N, 38° N 및 40° N에서 동경 130-133° E와 동경 131° E에서 북위 35-41° N의 수온을 조사하였다 (Fig. 1).

또한, 국립수산과학원 동해수산연구소에서 강릉과 삼척 부근의 연안에 계류시킨 부이로부터 표층부근 2m와 15m, 30m 수심에서 관측한 수온 자료를 이용하여 태풍 통과에 따른 수온의 연직분포도 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

태풍 NABI 진로에 따른 바람의 방향과 세기를 보기 위하여 태풍이 동해를 통과하기 전인 9월 1일과 동해 남부 및 중심부에 위치한 9월 5일과 7일 및 동해상을 완전히 빠져나간 9월 10일의 QuikScat 위성영상을 Fig. 2에 나타내었다.

태풍이 동해상에 근접하기 이전인 9월 1일의 경우 동해의 바람 방향은 거의 남풍계열이고, 바람의 세기도 동해 전역에서 평균 5 m/sec 이하로 약하게 나타났다. 태풍이 일본 큐슈 남단에 위치하기 시작한 9월 5일부터 바람 방향은 거의 동풍이고, 바람의 세기도 북위 38도 주변의 극전선을 중심으로 한 동해 북부해역은 5 m/sec 이하인 반면에 남부해역에서는 10-20 m/sec로 강하게 나타나기 시작했다. 태풍의 중심이 동해 서부해역인 일본 연근해에 위치한 7일의 경우, 동해의 서부해역에서는 거의 북풍이고, 동부해역인 일본의 북해도 주변은 동풍, 일본 연안부근은 남풍계열을 나타내었다. 이때 바람의 세기는 동해 서부해역인 한국연근해 부근이 13 m/sec 이하이고, 일본 연근해인 동부해역은 15 m/sec에서 최대 30 m/sec 부근까지 강하게 나타났다. 태풍이 완전히 북태평양으로 빠져나간 10일에는 극전선 남부해역에서 3 m/sec 이하의 동풍, 그 북부해역에서는 4 m/sec 이상의 남풍 및 남서풍을 나타내었다.

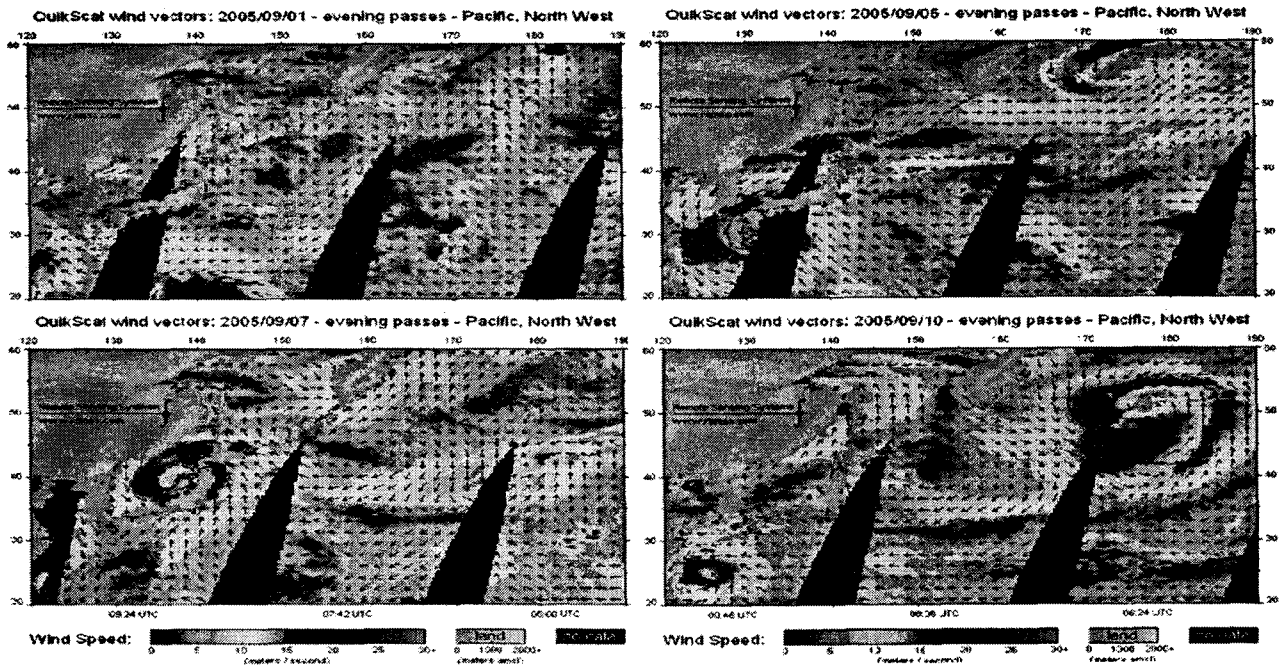


Fig. 2. Typhoon NABI pass over the East Sea derived from QuikScat imagery.

태풍 이동과 관계한 9월 1일, 5일, 7일 및 10일의 해양표면수온의 공간적 분포를 Fig. 3에 나타내었다. 태풍 통과 직전인 9월 1일의 수온의 분포범위는 22-28℃이고, 동경 132° E 동부의 북위 39-41° N 부근에 수온의 남북 경사가 다른 해역에 비해 상대적으로 강하게 형성되어 있다. 태풍 중심이 일본 큐슈 남단에 위치한 9월 5일의 경우, 태풍이 동해에 근접하기 직전인 9월 1일에 비해 동해 전해역의 공간적인 수온분포가 1-2℃ 정도 낮게 나타났다. 동해의 일본 혼슈 서부해역에 태풍의 중심이 위치한 9월 7일의 수온의 공간적 분포는 한국 동해 연안의 수온이 3℃ 이상 낮게 나타났다. 특히 이 시기에 한국 동해 외해역의 수온의 공간적 분포는 동해 중부해역에서 남쪽으로 혀모양의 에크만 수송에 의한 이류와 표층과 하부층의 혼합에 의한 표면수온의 하강이 뚜렷하고 대한해협 북부해역에 강한 수온구배가 형성되었다.

태풍이 완전히 동해상을 벗어난 9월 10일에 대한 수온의 공간분포는 대한해협 북부해역에서 형성된 강한 수온구배는 사라졌지만, 수온은 여전히 낮은 분포를 보이고 있다. 이것은 Hong (2003)과 Hong and Sohn (2004)이 태풍통과 후 관성진동이 탁월하다고 제시한 바와 같이, 태풍은 동해상을 벗어났지만 관성진동에 의한 표층과 하부층의 수온의 혼합이 계속 이루어지고 있음을 시사하고 있다.

태풍 통과 전, 태풍이 동해상 중심에 있을 때와 태풍 통과 후의 수온의 공간적인 분포 차이를 보기위하여 태풍이 동해

중심부에 위치한 9월 7일의 영상에서 태풍 통과 직전인 9월 1일의 수온차와 태풍이 완전히 동해상을 벗어난 9월 10일에서 9월 7일의 수온차 및 9월 10일에서 9월 1일의 수온차를 Fig. 4에 나타내었다.

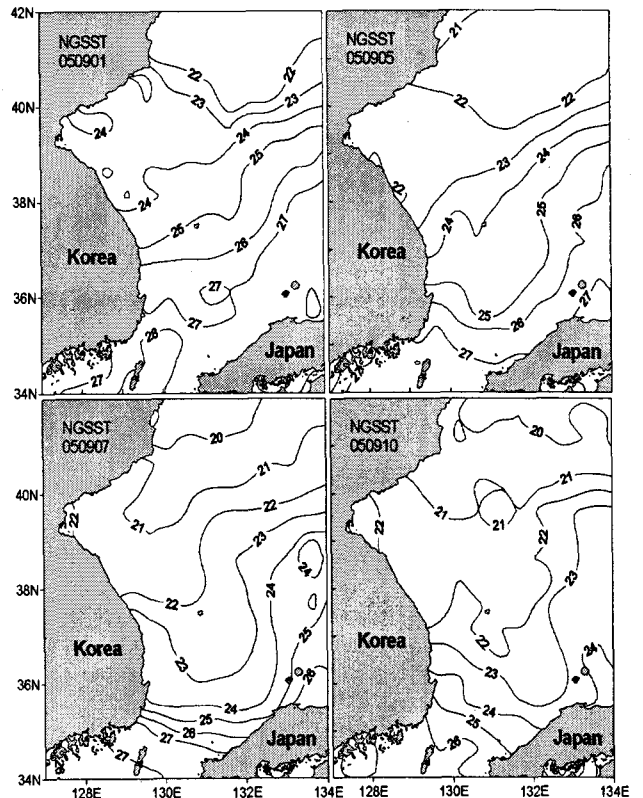


Fig. 3. Horizontal distribution of sea surface temperature before and after Typhoon NABI derived from NGSST imagery.

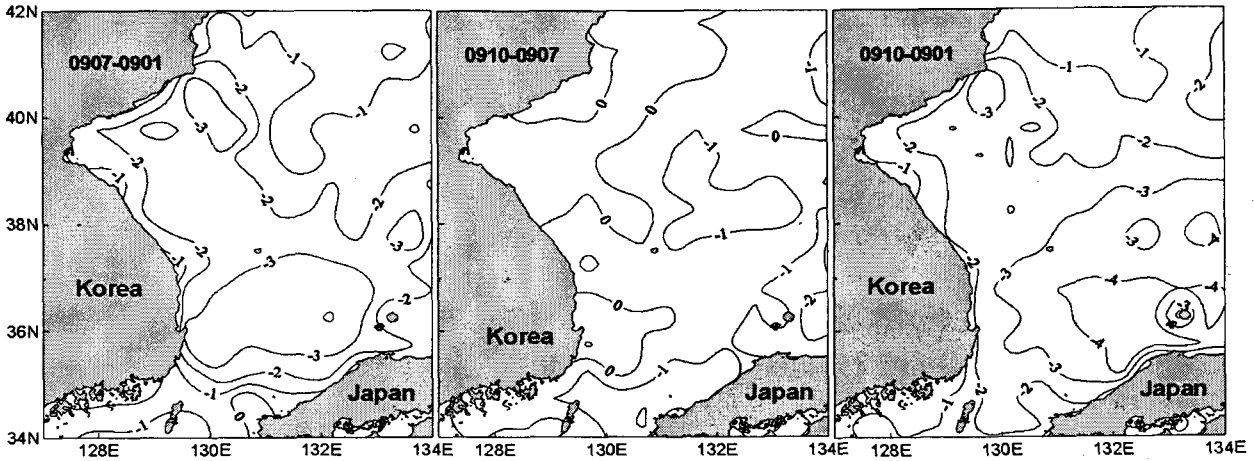


Fig. 4. Difference of SST caused by Typhoon NABI.

9월 7일에서 9월 1일의 수온차에 대한 공간적 분포는 동해 남부해역에서 3°C 이상 가장 낮았고, 그 외에서는 1-3°C 정도로 태풍 통과이전보다 낮게 나타났다. 9월 10일에서 9월 7일의 수온차에 대한 공간적 분포는 대한해협 서부해역과 일본 연안쪽에서 1-2°C로 수온이 낮았지만, 한반도 주변에서 거의 수온의 변화가 나타나지 않았다. 태풍통과 후인 9월 10일에서 태풍 통과 전인 9월 1일의 수온차는 동해 전해역이 1-4°C이고, 일본 오키섬 부근 해역에서 4°C 로 가장 낮았다.

쪽 방향으로의 바람 성분이 크게 작용하였고, 그 결과 Ekman 수송에 의한 침강으로 표층수와 그 하부층수와 혼합에 의해 SST 하강 현상이 나타난 것으로 생각된다. 북위 36° N, 38° N 및 40° N에서 동경 130-133° E 선상의 9월 1-30일까지 동서 수온의 시계열 분포를 보면, 시간에 따른 변동은 다소 나타나지만 동서간의 수온 차이는 그다지 크게 나타나지 않았다.

Fig. 4. Difference of SST caused by Typhoon NABI.

동서 및 남북 표면수온의 시계열 분포를 보기위하여 북위 36° N, 38° N 및 40° N에서 동경 130-133° E 선과 동경 131° E에서 35-41° N 선의 수온을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 먼저 9월 1-30일까지 131° E에서 35-41° N 선의 남북 수온의 시계열 분포를 보기 위하여 동해 북부해역의 23°C, 남부해역의 25°C를 대표수온으로 하여 시공간적인 분포를 살펴보았다. 태풍이 동해상에 통과하기 전인 9월 1일에 동해 중부해역에 존재한 25°C 수온은 38° N 부근에서 태풍이 동해 중심에 위치한 7일에 35-35.5° N 주변에 위치하여 9월 20일까지 계속 지속되다가 21일 이후 24°C 수온이 나타나는 것을 알 수 있다. 동해상에 통과하기 전인 9월 1일에 동해 북부해역의 약 39.5° N에 존재한 23°C 수온이 9월 5일에는 38.5° N에 위치하였으나, 태풍이 동해 중심에 위치한 7일에 약 36° N 부근의 남부에 위치하여 11일까지 그 위치에 유지하다가 9월 12-20일 사이에는 불규칙하게 그 위치가 변화고 있지만, 21일부터 가을철 냉각시기에 들어가 거의 36° N 이남에 위치하여 그 상태를 유지하고 있다. 이와 같이 급격한 수온의 위치변화는 태풍의 이동에 따른 태풍의 왼쪽 방향에 위치한 한국 동해 연안에 평행한 남

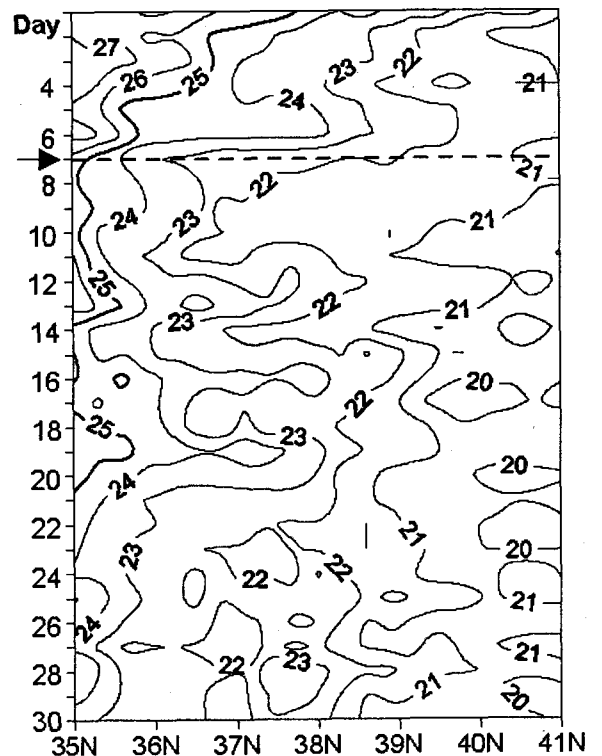


Fig. 5. Daily SST variation at 131° E in longitude derived from NGSST imagery during 1-30 days September 2005.

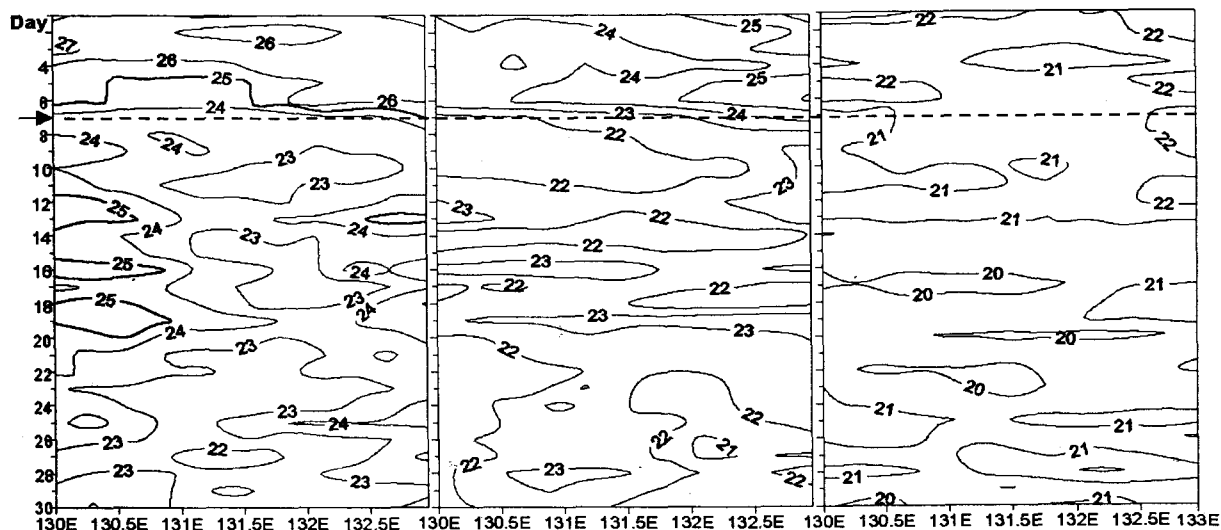


Fig. 6. Daily SST variation at 36° N, 38° N and 40° N in latitude derived from NGSST imagery during 1-30 days September 2005.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원(첨단위성 해양정보활용시스템 운영, RP-2006-)의 연구비 지원 및 한국해양연구원 위탁과제 어장지수 정보 추정기술(II) 과제에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1]Fedorov, K.N., A.A. Varfolomeev, A.I. Ginzburg, A.G. Zatsepin, A.Y. Krasnopevtsev and A.E. Skylarov, 1979, thermal reaction of the ocean on the passage of the Hurricane Ella. Okeanologiya, 19, 992-1001.
- [2]Guan, K and H. Kawamura, 2003, SST availabilities of satellite infrared and microwave measurements. J. Oceanogr., 59, 201-209.
- [3]Hong, C.H. and I.K. Sohn, 2004, Sea Surface cooling in the East Sea with the passage of typhoons, J. Kor. Fish. Soc., 37, 137-147.
- [4]Hong, C.H. 2003, A three-dimensional numerical study of coastal upwelling in the northern Japanese coastal region with the passage of typhoon Oliwa, J. Kor. Fish. Soc., 36, 723-734.
- [5]Hosoda, K and H. Kawamura, 2004, Examination of the merged sea surface temperature using wavelet analysis. J. Oceanogr., 60, 843-852.
- [6]Nam S., J.Y. Yun and K. Kim, 2004, Observations on the coastal ocean response to typhoon Maemi at the East Sea real-time ocean buoy. J. Kor. Oceanogr., 38, 111-118.
- [7]Lee D.K. and P. Niiler, 2003, Ocean response to typhoon Rusa in the south sea of Korea and in the East China Sea. J. Kor. Oceanogr., 38, 60-67.
- [8]Stramma, L., P. Cornillon and J.F. Price, 1986, Satellite observations of sea surface cooling by hurricanes, J. Geophys. Res., 91, 5031-5035.
- [9]Sakaida F., H. Kawamura and Y. Toba, 1998, seasurface cooling caused by typhoons in the Tohoku area in August 1989. J. Geophys. Res. 103 (C1), 1053-1065.
- [10] Senjyu T. and T. Watanabe, 1999, A sudden temperature decrease along the Sanin coast induced by a typhoon. Umi to Sora, 75, 1-8.
- [11]Suh Y. S., J.Y. Gu, J.D. Hwang, N.K. Lee and B.K. Kim, 2003, Abnormal oceanic conditions caused by typhoons around the Korean peninsula. J. Kor. Fish. Soc., 36, 417-429.
- [12]Suh Y. S., D.S. Kim, B.K. Kim, D.I. Lee, Y.S. Kim and I.K. Kim, 2002, Temporal and spatial variation of SST related to the path of typhoons around the Korean Waters in summer. J. Environ. Sci., 11, 627-636.