

## 태풍에 의해 발생하는 한국근해 해황이상변동

서영상\* · 구지영 · 황재동 · 이나경 · 김복기 · 장이현 · 강용균<sup>1</sup> · 이동인<sup>2</sup>  
국립수산과학원 해양연구과, <sup>1</sup>부경대학교 해양학과, <sup>2</sup>부경대학교 환경대기과학과

## Abnormal Oceanic Conditions Caused by Typhoons Around the Korean Peninsula

Young-Sang SUH\*, Ji-Young GU, Jae-Dong HWANG, Na-Kyung LEE, Bok-Kee KIM  
Lee-Hyun JANG, Yong-Q. KANG<sup>1</sup> and Dong-In LEE<sup>2</sup>

Oceanography Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

<sup>1</sup>Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental and Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abnormal oceanic conditions associated with the passage of typhoons are examined using hydrographic and satellite data 1990-2002. During the passage period of typhoons in the Korean waters, an abrupt decrease of sea surface temperature (SST) in range of 5 to 8°C was observed. The areas of SST decrease were an order of 100-200 km, and the low SST lasted about 15-25 days after passage of typhoon. After passage of typhoon, the water temperatures in the surface mixed layer of 30 m show negative anomalies for quite a long period. In addition, stratification parameters were substantially decreased and chlorophyll a density was rapidly increased.

Key words: Typhoon, Sea surface cooling, The Korean waters, Satellite remote sensing, Abnormal oceanic conditions, Stratification parameter

### 서론

적도해역에서 상승된 해수온도는 열대성 저기압의 발달에 주요 원인으로 작용하며, 저기압에서 발달된 태풍은 상대적으로 해수면 온도가 높은 25-30°C 수온 분포 해역에서 세력이 커진다 (Eagleman, 1985; Emanuel, 1987; Emanuel, 1988; Evans, 1993; Miller, 1985; ). 반면, 태풍 통과시 인근해 수온은 하강하였다 (Kim 1995; Senju and Watanabe, 1999). Suh et al. (2002b)은 한반도 주변을 통과하는 태풍 경로에 따라 한국 연근해역의 수온이 다르게 변동할 수 있음을 밝혔다. 동해연안의 경우 태풍이 동해 우측 원거리를 통과하는 간접 영향으로 수온이 상승하나, 태풍이 동해연안 근거리 통과 및 서해 통과시는 수온이 급 하강 할 수 있음과 태풍 통과시 수온의 변동 정도를 위성관측 및 현장관측으로 정량화 하였다. Cornillon et al. (1987)은 허리케인 GLORIA가 1985년 북대서양을 횡단할 때 NOAA-9호의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 자료로부터 추정된 SST (Sea Surface Temperature) 영상을 이용하여 Gulf Stream의 북쪽경사 해역에서 표면해수의 온도가 최대 5°C 이상 냉각됨을 보였다. 태평양 북부해역에서는 오야시오 환류와 쿠로시오 난류가 만나 수온이 공간적으로 큰 계절변동을 하는 성층구조를 가지고 있어, 대기의 교란에 의해 표면 해수의 냉각이 발견되는 곳이 일본의 Tohoku 해역이라는 연구결과가 있었다 (Cornillon et al, 1987; Kawai, 1972). 최근 Sakaida (1998)는 잘 보정된 NOAA/AVHRR 자료를 이용해서 태풍 T8914 및

T8915가 일본의 Tohoku 해역을 통과할 때 9°C 이상의 표면해수 냉각 현상을 보고하였다. 한편, Simpson and Hunter (1974)는 Irish Sea에서 조류에 의한 연직 혼합을 연구하였고, Loder and Greenberg (1986)는 이 결과에 바람에 의한 영향까지 고려하여 Gulf of Maine 해역에서 바람에 의한 연직 혼합에 관해 연구하였다.

본 연구의 목적은 한국근해에서 태풍에 의하여 발생하는 해황의 시·공간적 변동 양상을 수온, 염분, 클로로필 a, 위성추정 탁도 등 다양한 해양요소로 조사 연구 및 정량화 하는 것이다. 이러한 구체적 연구로 첫째, 태풍이 직접 통과한 한국 근해역의 수온 변동이 시·공간적으로 어느 정도 지속되며 계절변화를 배제한 이상 수온 발생의 원인이 될 수 있는지를 분석하였다. 둘째, 한국 근해역으로 태풍이 통과하지 않았던 해의 하계에 수평수온 및 연직수온 분포 특성도 살펴보았다. 셋째, 태풍통과 유무에 따른 염분, 클로로필 a, 해저수심과 관련된 탁수 (turbid water)의 수평공간 변동 특성도 조사 연구 하였다. 넷째, 한국 근해에서 태풍 통과시 해양의 물리적 연직 변화 중, 해수의 연직혼합에 따른 성층계수 (stratification parameter)의 이상변동을 정량화 하였다.

### 자료 및 방법

1990년 이후 한국 근해역에서 이상해황 발생과 관련된 태풍 정보는 기상청 정보 (<http://www.kma.go.kr/index.html>)와 태풍 연구센터 정보 (<http://www.typhoon.or.kr/~jecu7/frame2.html>)를 이용하여 정리하였으며 (Table 1), 해당 태풍 경로 또한

\*Corresponding author: yssuh@nfrdi.re.kr

Table 1. The minimum pressure and maximum wind velocity of the typhoons that approached the Korean peninsula.

Year	Typhoon	Minimum pressure (hPa)	Maximum wind velocity (knot)	Day
1994	DOUG	980	55	9-2 Aug.
1994	ELLIE	985	50	13-16 Aug.
1999	ANN	990	45	18-20 Sep.
2000	PRAPIROON	985	50	31 Aug.-2 Sep.
2001	PABUK	965	65	19-21 Aug.
2001	NARI	960	75	12-16 Sep.
2002	RUSA	990	36	30 Aug.-1 Sep.

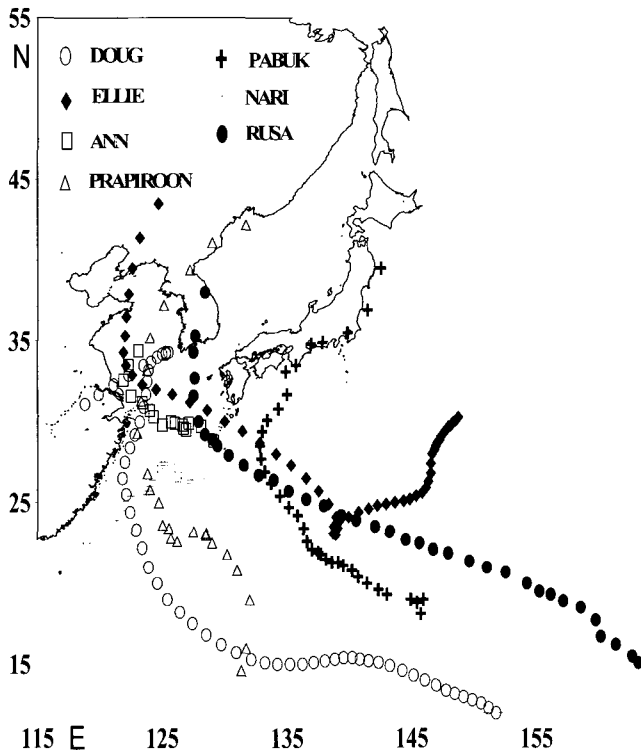


Fig. 1. Paths of typhoons related to the abnormal oceanic variation in the Korean waters.

도식화하였다 (Fig. 1). 해양 관측 자료는 국립수산과학원의 정선 해양관측점에서 관측된 해수온도와 염분 자료를 이용하였다 (Fig. 2). 한국 연근해역 정선 해양관측 (Fig. 2(a))은 1961년부터 2003년 현재까지 짝수달 (2, 4, 6, 8, 10, 12월)에 정규 수행되고 있으며, 동중국해 해양관측 (Fig. 2(b))은 1995년부터 2003년 현재까지 2, 5, 8, 11월에 정규 수행되고 있다. 태풍관련 한국근해 해양변동을 효과적으로 연구하기 위해 미국 해양대기청의 수온관측위성 NOAA 및 해수색 관측위성 SeaWiFS와 MODIS 자료를 분석 이용하였다.

NOAA 위성 자료를 이용한 표면수온의 시공간 변동 규모 분석

최근 13개년 (1990-2002) 동안 NOAA/AVHRR 위성 자료로 추정된 위성 표면 수온 자료 중 태풍통과 (Table 2)의 영향으로

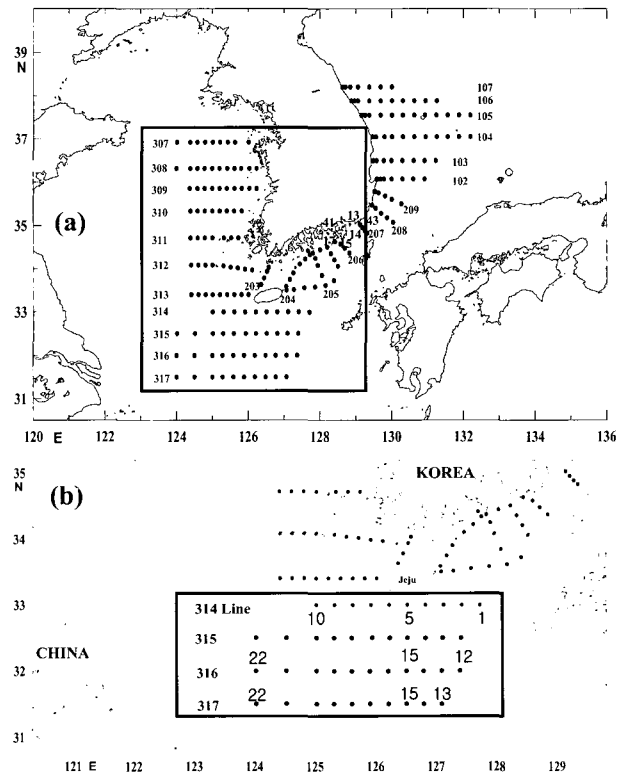


Fig. 2. Map showing the serial oceanographic observing stations for the cruises of National Fisheries Research and Development Institute. (a) The observing stations in the southeastern parts of the Yellow Sea and the northern parts of the East China Sea in August, 1994, 1999, 2001 and 2002. (b) The observing stations in the East China in which sea surface cooling occurred due to the typhoons for 1999-2002.

한국 근해역의 표층수에서 저수온 현상이 잘 나타난 위성 자료를 선별하여 (1994년 8월 및 1999, 2000, 2002년 9월 자료) 이상 저수온 수괴의 수평적 시공간 변동 규모를 분석하였다 (NFRDI, 1991-1998; NFRDI, 1999-2003). 위성자료를 이용한 수온 추정은 진보적인 방법으로 알려진 McClain et al. (1985)의 다중분석기법 (Multi Channel SST)을 사용하였으며 구체적인 분석 방법은 Suh et al. (2000)의 기법을 사용하였다.

SeaWiFS 위성 자료를 이용한 클로로필 a의 시공간 변동규모 분석

Table 2. Information of the typhoon track related to the cold pool in the Korean waters

Year	Typhoon	Time (UTC)	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Pressure (hPa)	Wind speed (kt)
1994	DOUG	18:00 9. Aug.	31.9	123.6	985	50
		00:00 10. Aug.	32.8	123.8	985	45
		06:00 10. Aug.	33.4	124.0	985	45
		12:00 10. Aug.	33.7	124.5	985	45
		18:00 10. Aug.	33.9	125.0	985	45
		00:00 11. Aug.	34.0	125.4	990	40
		06:00 11. Aug.	34.0	125.7	990	40
		12:00 11. Aug.	33.9	125.4	992	40
		18:00 11. Aug.	34.0	125.0	992	40
		00:00 12. Aug.	33.9	124.4	994	35
		06:00 12. Aug.	33.5	123.3	994	35
		12:00 12. Aug.	32.9	122.1	996	.
	18:00 12. Aug.	32.3	121.0	998	.	
	ELLIE	18:00 13. Aug.	31.7	125.9	970	65
		00:00 14. Aug.	32.2	124.7	970	65
		06:00 14. Aug.	32.5	123.6	975	60
		12:00 14. Aug.	32.7	122.7	980	55
		18:00 14. Aug.	33.1	122.0	985	50
00:00 15. Aug.		34.0	121.9	985	50	
1999	ANN	06:00 15. Aug.	35.1	121.8	985	50
		18:00 18. Aug.	31.8	122.7	992	40
		00:00 19. Aug.	32.5	122.0	996	35
		06:00 19. Aug.	33.5	122.3	996	35
2000	PRAPIROON	12:00 19. Aug.	34.5	122.9	998	35
		00:00 1. Sept.	41.5	129.2	985	50
2002	RUSA	06:00 1. Sept.	42.2	131.1	990	45
		00:00 1. Sept.	38.0	128.4	980	50

2002년 SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of view Sensor) 위성 자료로 추정된 위성 클로로필  $a$  농도 분포 자료 중 한국 근해역의 표층에서 태풍 통과 전후로 클로로필  $a$  농도 변화가 잘 나타난 위성 영상을 선별하여 (2002년 8, 9월 자료) 클로로필  $a$  농도의 분포 변동을 분석하였다. SeaWiFS 위성자료를 이용한 클로로필  $a$  추정 분석 기법은 최근 NASA에서 개발한 ocean color 2 알고리즘(O'Reilly et al., 1998)을 사용하였다. 도출된 클로로필  $a$  값들은 한국 근해역에서 클로로필  $a$  추정 시 적합한 경험식을 기반으로 한 Suh et al. (2002c)의 추정 기법의 결과와 비교 검정 후 나타내었다.

#### MODIS 위성 자료를 이용한 turbid water의 수평공간 변동규모 분석

한국 서해안의 진도 연안과 중국의 양자강 연안역의 수심은 30 m보다 얕아서 해상풍이 강할 때는 Ekman depth가 해저 바닥까지 내려가는 경우가 발생할 수 있을 것으로 추정된다. 이로 인해 해저바닥의 퇴적물이 재부상하여 탁한 해수색을 띠는 분포 양상을 국내에서는 최초로 MODIS 위성 자료를 이용하여 분석한 연구사례가 있다 (Suh et al., 2002a). 태풍 통과 시 태풍이 강한 바람으로 작용할 때 해저 등수심과 관련된 해수 탁도의 수평 분포 변화 양상을 R.G.B 위성영상의 합성값으로 도식화하기 위해 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)의 채널 1 (0.620-0.670  $\mu\text{m}$ ), 4

(0.545-0.565  $\mu\text{m}$ ), 3 (0.459-0.478  $\mu\text{m}$ ) 자료를 이용하여 분석하였다 (SeaSpace, 2001).

#### 현장 조사선 관측 자료를 이용한 이상해황 변동규모 분석

국립수산과학원 정선해양관측 수온 자료를 이용하여 태풍이 한국 근해를 직접 통과하거나 간접적으로 통과할 때 해양의 수평 및 연직 구조에 영향을 미치는 정도를 조사하였다. 2001년 하계에는 태풍이 한국 연근해역을 직접 통과하지 않았던 해이다. 그러나 일본 대륙의 동편으로 북상하였던 PABUK이 통과하기 직전 8월 17일까지 관측된 해역 (314-315 Line)과 태풍이 일본열도를 따라 통과하며 한국근해에 간접 영향을 미친 8월 22일 직후, 해양조사선으로 8월 23-24일 관측한 해역 (316-317 Line)에서 수온, 염분의 수평 및 연직 분포 양상을 상호 비교하였다. 2002년 7월 태풍 NAKRI, FUNGSHEN, FUNGWANG이 통과 전 (6월)과 통과 후 (8월)에 현장 관측된 수온, 염분의 분포 양상도 분석하였다. 또한, 태풍의 영향을 받지 않은 6월과 태풍의 영향을 직·간접적으로 받은 8월 해황 특성을 살펴보고 10월의 해황이 8월의 태풍으로 인한 이상해황의 영향을 지속적으로 받는지를 관측수온 양상으로 살펴보았다 (NFRDI, 1991-2003).

태풍 통과 시 연직 혼합 정도를 정량화하기 위하여 8월

해양조사시간을 기준으로 하계 (7월 및 8월)에 태풍이 통과한 해 (1994, 1999, 2002)와 통과하지 않은 해 (2001)에 대해 남해 및 서해남부 해역의 현장 관측자료를 이용하여 태풍통과에 따른 이상 위치에너지 (potential energy anomaly)값을 계산하고 그 분포 양상을 살펴보았다. 관측점의 이상 위치에너지는 아래와 같은 Simpson et al. (1977)의 식에 의해 성층계수(stratification parameter:  $J/m^3$ ) V로 나타내었다.

$$V = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 (\rho - \bar{\rho}) g z dz, \quad \bar{\rho} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho dz$$

여기서 h는 수심 (m),  $\rho$ 는 밀도 ( $kg/m^3$ ),  $\bar{\rho}$ 는 연직 평균밀도, g는 중력가속도 ( $m/s^2$ ) 그리고 z는 연직 좌표로서 양 (+)의 방향을 연직 상방으로 하였다.

### 결과 및 고찰

#### 태풍관련 위성영상 표면수온의 시·공간적 변동 규모 정량화

태풍통과시 형성된 해수표면수온의 냉각 (sea surface cooling)의 시공간적 변동규모를 효과적으로 살펴보고자 NOAA/AVHRR 수온분포 영상을 이용하여 1994년부터 2002년 사이에 태풍 통과 후 나타나는 sea surface cooling의 위치를 Fig. 3에 도식화하였다. 또한, 태풍 통과 기간 중 태풍의 영향을 받지 않은 정상상태 해역의 수온을 평균하고 이를 기준하여, 태풍의 직접 통과 영향으로 인해 sea surface cooling이 발생한 해의 수온 하강 정도를 상대 비교함으로써 정량화 하였다 (Table 3).

1994년 8월 9-16일 태풍 DOUG와 태풍 ELLIE가 통과한 황해 남서부 해역에서 발생한 저수온 수괴의 중심 표면수온은, 주변 해역의 표면수온 (8월 13일 23°C, 8월 20일 28-29°C)에 비해 5-6°C 정도 낮았다 (Fig. 4). sea surface cooling 수괴의 수평공간 규모는 160 km였고, 8월 20일까지도 그 공간 규모가 뚜렷이 유지되었다.

1999년 9월 15-19일, 태풍 ANN이 통과한 동중국해 북부(제주도 남서쪽)해역에 나타난 sea surface cooling의 최저중심 표면수온은 17.5°C로 주변해역 수온 23.0°C에 비해 5°C 이상 낮았다 (Fig. 5). sea surface cooling의 수평 공간규모는 약 100 km였고, 9월 27일까지 50 km 규모로 유지되었다.

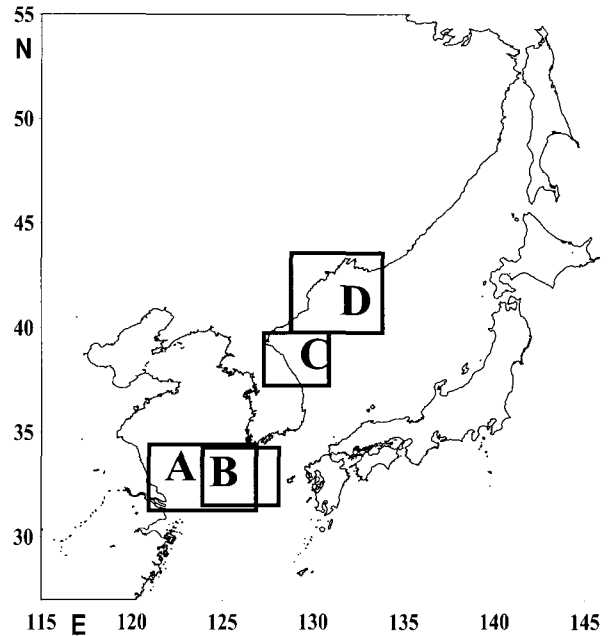


Fig. 3. Map showing the focused areas of the cold water appearance in the estimated SST imageries derived from NOAA satellites. A=1994 (DOUG, ELLIE), B=1999 (ANN), C=2000 (PRAPIROON), D=2002 (RUSA).

2000년 9월 1일 태풍 PRAPIROON이 통과한 러시아의 블라디보스톡 연안역에 태풍통과 18일 후인 9월 19일에도 유지되었던 저수온 수괴는 수평 공간규모가 200 km, 표면수온은 12°C로서, 주변해역 표면수온 20°C에 비해 8°C 정도 낮게 나타났다 (Fig. 6). 태풍통과 26일 후인 9월 27일에도 여전히 저수온 수괴가 잔존했다.

2002년 9월 1일 태풍 RUSA가 강원도 북부해역을 거쳐 연해주 연안을 따라 블라디보스톡 쪽으로 북상하였다 (Fig. 7). 이후 동해 속초 연안에서부터 블라디보스톡 연안까지 나타난 저수온 수괴의 표면수온은 17.7°C로 주변해역 표면수온 23°C에 비해 5°C 이상 낮은 저수온 분포가 나타났다. 2002년 9월 23일까지 저수온 분포의 영역은 축소되어 남북방향 100 km, 동서방향 50 km 규모의 저수온 수괴로 잔존하였다. 1961년 이후 홀수달에 정선 해양관측을 수행하지 않았으므로 국립수

Table 3. Areas of the latitude and longitude range which were effected and uneffected by typhoons in the Korean waters

Year	Typhoon	Date	Normal condition		Effected by typhoon	
			Range of Lat. (N)	Range of Lon. (E)	Range of Lat. (N)	Range of Lon. (E)
1994	DOUG, ELLIE	13. Aug.	34.79°-36.06°	121.97°-124.96°	31.99°-35.22°	120.85°-126.03°
		20. Aug.	35.06°-36.10°	123.01°-125.53°	31.99°-35.22°	120.86°-126.03°
1999	ANN	26. Sep.	33.06°-34.00°	125.32°-126.83°	31.59°-34.24°	122.61°-126.54°
		27. Sep.	33.12°-34.01°	125.35°-126.80°	31.57°-34.24°	122.62°-126.54°
2000	PRAPIROON	19. Sep.	40.67°-42.13°	133.86°-135.05°	40.56°-43.25°	129.58°-133.73°
		27. Sep.	40.64°-42.05°	133.96°-135.01°	40.07°-43.10°	128.96°-133.96°
2002	RUSA	2. Sep.	38.11°-40.02°	129.93°-130.98°	37.47°-40.46°	127.55°-130.63°
		7. Sep.	38.65°-39.68°	129.93°-130.97°	37.80°-40.45°	127.58°-130.62°

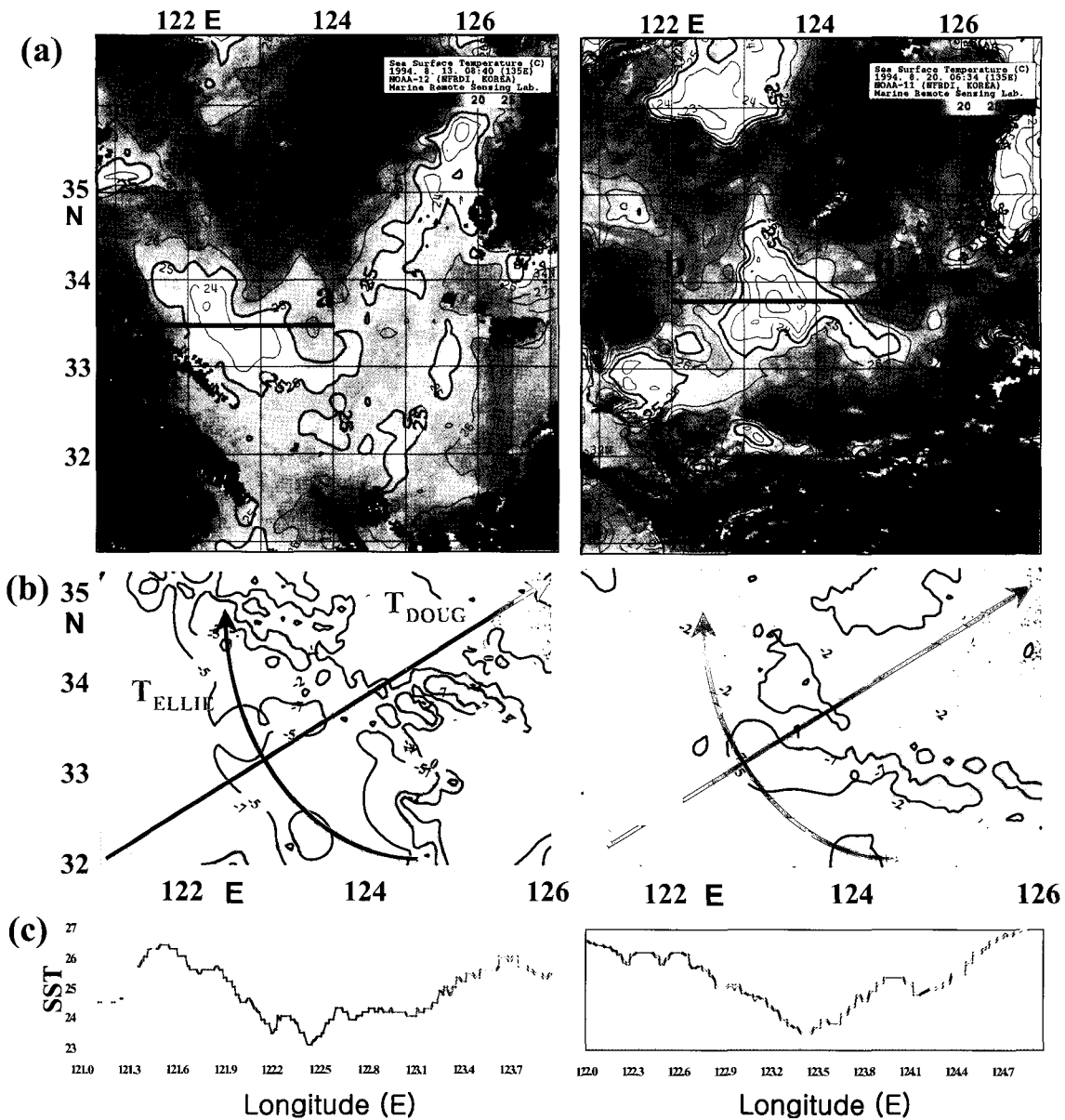


Fig. 4. (a) SST distributions derived from NOAA-11, 12 IR imageries related to the typhoon DOUG, ELLIE on 13th and 20th August, 1994 in the Yellow Sea.  
 (b) Horizontal distribution of SST anomalies in the period after the passage of the typhoons.  
 (c) MCSST profile on the a-a' and b-b' (a).

산진홍원 한국해양편람 (NFRDA, 1964) 자료에 수록된 9월의 현장관측 평균수온분포도 (Fig. 8)를 참고하였다. 9월의 한국 연근해 평균 (북한해역 16개년 (1929-1944) 및 황해남부 20개년 (1931-1941, 1952-1960) 수온분포값은 동해 20-24°C, 남해 24-26°C, 서해 22-26°C로 본 연구에서 태풍에 영향을 받은 해역의 수온분포 값보다 상당히 높은 수온분포를 보였다.

한편, Stramma and Cornillon (1986)이 1981-1984년 동안 태풍과 관련하여 sea surface cooling 현상을 위성으로 관측하였는데, 태풍 진행 방향의 오른쪽으로 최대 70 km 해역에서 해수

표면냉각이 크게 발생하였고, 최대 3.5°C의 수온하강과 16일 정도 지속되었음을 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 태풍 통과와 관련된 해수표면냉각 발생 현상과 유사하게 나타났다. 그러나 한국 근해역에서의 태풍관련 해수표면냉각의 시·공간적 변동 규모는 100-200 km, 5°C-8°C 하강, 15-25일간 지속되는 것으로 나타나 상대적으로 큰 변동을 보였다. 이러한 변동 규모의 차이는 태풍의 크기뿐만 아니라, 하계 표층수 아래 어느 정도의 저층 냉수가 존재하는가에 따라 달라질 수 있을 것으로 생각된다.

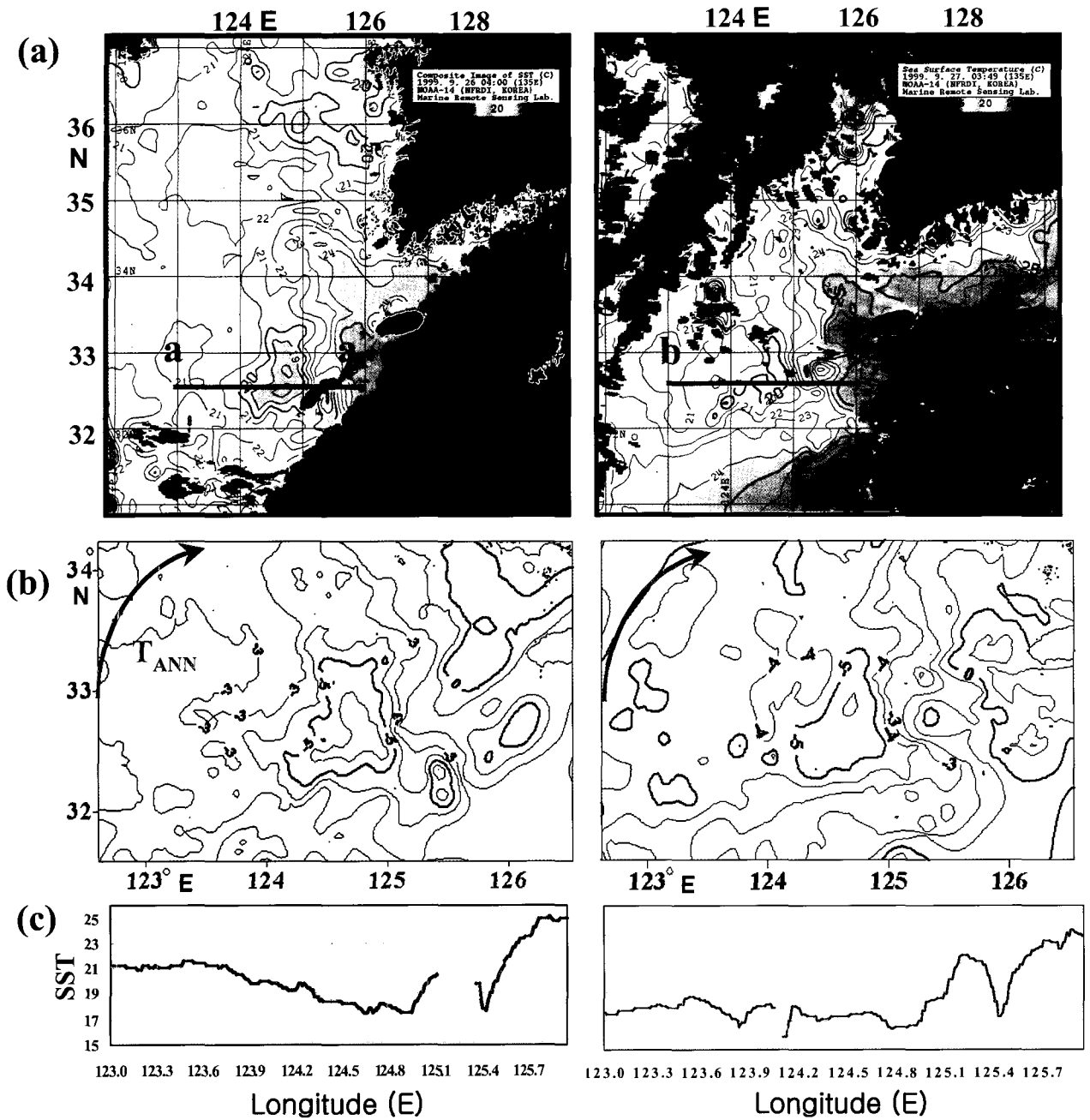


Fig. 5. (a) SST distributions derived from NOAA-14 IR imageries related to the after typhoon ANN on 26th and 27th September, 1999 in the Yellow Sea. (b) Horizontal distribution of SST anomalies in the period after the passage of the typhoon in the southeastern part of the Yellow Sea. (c) MCSST profile on the a-a' and b-b' (a).

태풍관련 위성추정 클로로필 *a*, turbid water의 수평공간 변동규모 정량화

태풍 RUSA 통과전인 2002년 8월 26일 동해 연근해역의 클로로필 *a* 농도는 0.42-2.15 mg/m<sup>3</sup> (Fig. 9a)였으나, 2002년 8월 30일-9월 1일 태풍 통과 후 1.83-10.00 mg/m<sup>3</sup>로 고농도 분포를 보였으며, 고농도 클로로필 *a*의 수평공간규모도 또한

확대되었다 (Fig. 8b). 하계 해양표층의 영양염 분포 상태가 저농도 혹은 고갈 상태를 보이는 것이 정상이나, 태풍이 통과한 동해의 경우 태풍으로 인해 표층 아래의 해수가 표층으로 pumping 되거나 해수의 성층이 붕괴되면서 영양염이 풍부한 저층해수가 표층수와 혼합되어 광조건이 좋은 해표면에서 식물플랑크톤의 대량 번식이 2일 정도의 기간내에 발생

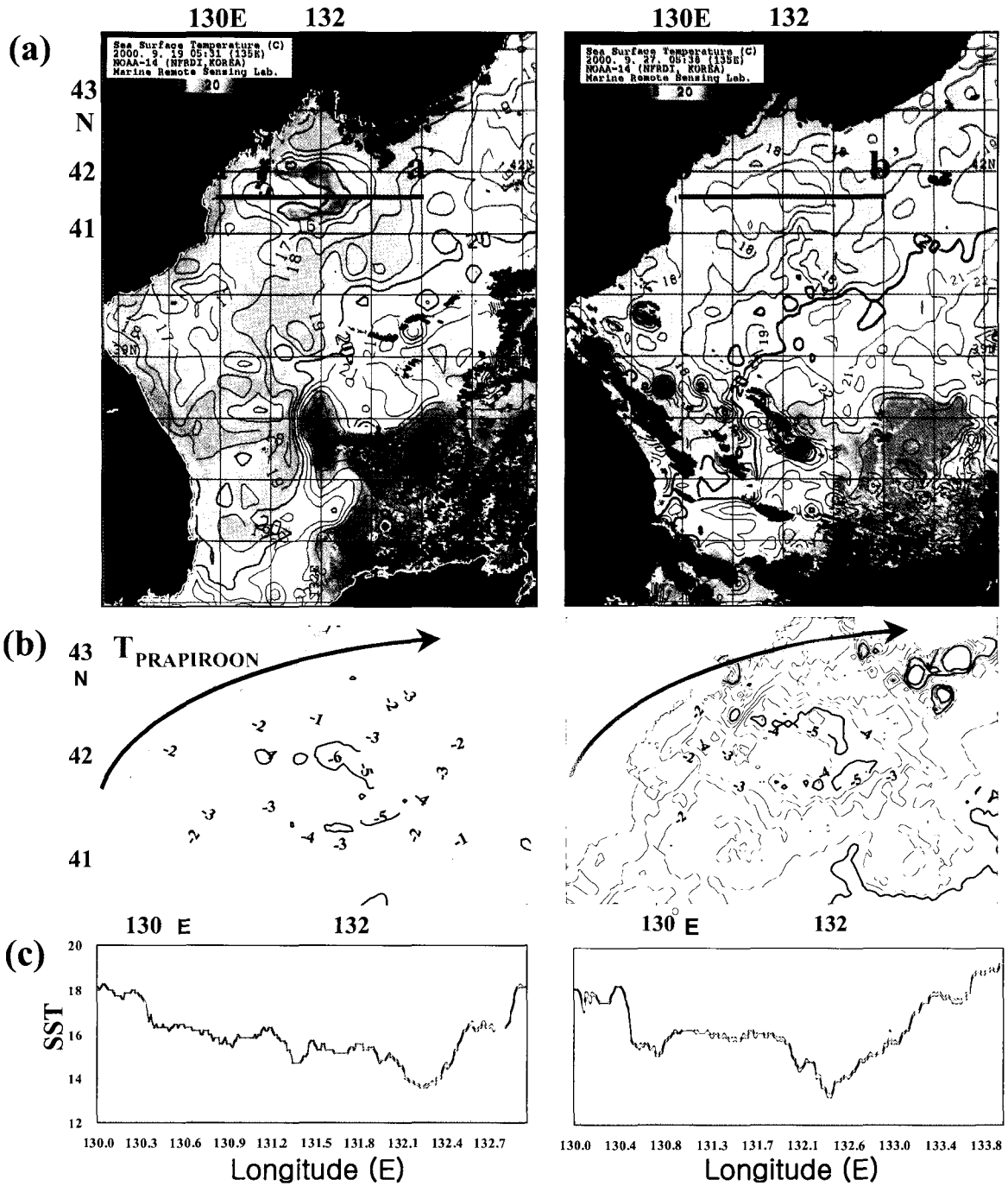


Fig. 6. (a) SST distributions derived from NOAA-14 IR imageries related to the typhoon PRAPIROON on 19th and 27th September, 2000 in the East Sea (Japan Sea).  
 (b) Horizontal distribution of SST anomalies in the period after the passage of the typhoon in the northwestern part of the East Sea (Japan Sea).  
 (c) MCSST profile on the a-a' and b-b' (a).

것으로 추정된다 (Abbott and Barksdale, 1991; Jewell, 1994).

2001년 9월 16일 태풍 NARI가 동중국해 서부연근해역에서 비교적 장기간 (9.12-16) 지속할 때 탁수의 표층 수평공간 분포가 해저 등수심 약 30m 분포와 일치하는 양상을 보였다 (Fig.

10). 이는 Suh et al. (2002)이 최초 분석한 2001년 하계 탁수의 수평공간 분포가 해저 등수심 평균 10m, 최대 20m 분포 규모에서 제한됨을 훨씬 초과한 결과이며, 하계 동중국해 연안 탁수의 추정 평균 수평면적 71,000 km<sup>2</sup> 보다 약 1.5배 (104,000

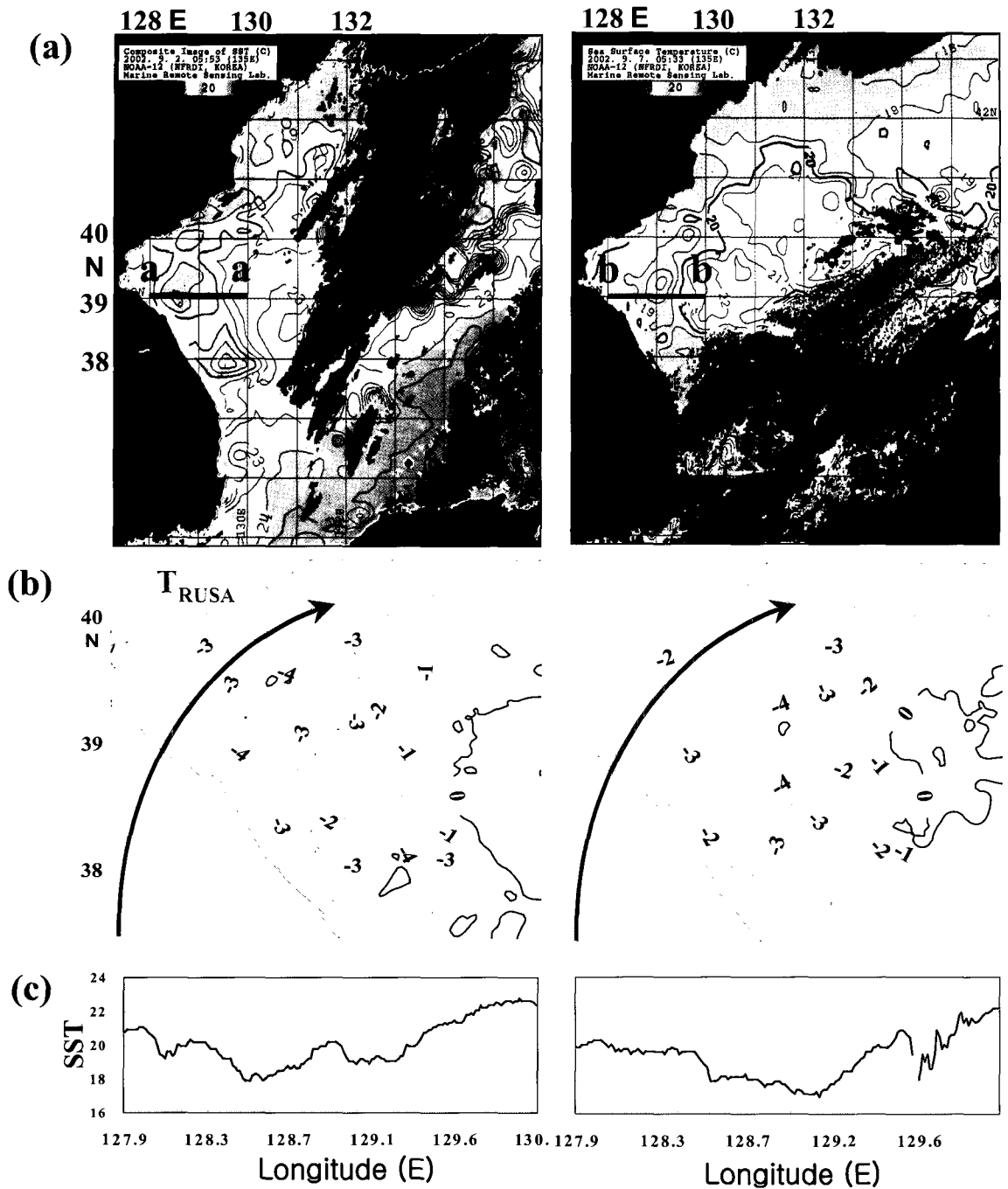


Fig. 7. (a) SST distributions derived from NOAA-12 IR imageries related to the typhoon RUSA on 2nd and 7th September, 2002 in the East Sea(Japan Sea).  
 (b) Horizontal distribution of SST anomalies in the period after the passage of the typhoon in the northwestern part of the East Sea (Japan Sea).  
 (c) MCSST profile on the a-a' and b-b' (a).

km<sup>2</sup>) 큰 분포를 보였다.

태풍 관련 현장 관측 이상해황 변동 특성

1999년 9월 15-19일 태풍 ANN 통과 후 AVHRR 위성 영상에 나타난 sea surface cooling은 9월말에도 계속 존재하여 (Fig.

5), 10월 해양 관측 결과에서도 태풍 ANN이 해상에 끼친 영향 범위를 파악할 수 있었다. 제주도 남부 해역(314 Line) 관측 결과, sea surface cooling 북쪽 가장자리의 수온은 18.5°C로 여전히 주변 정상 수온보다 5°C 정도 낮은 수온 분포를 나타내



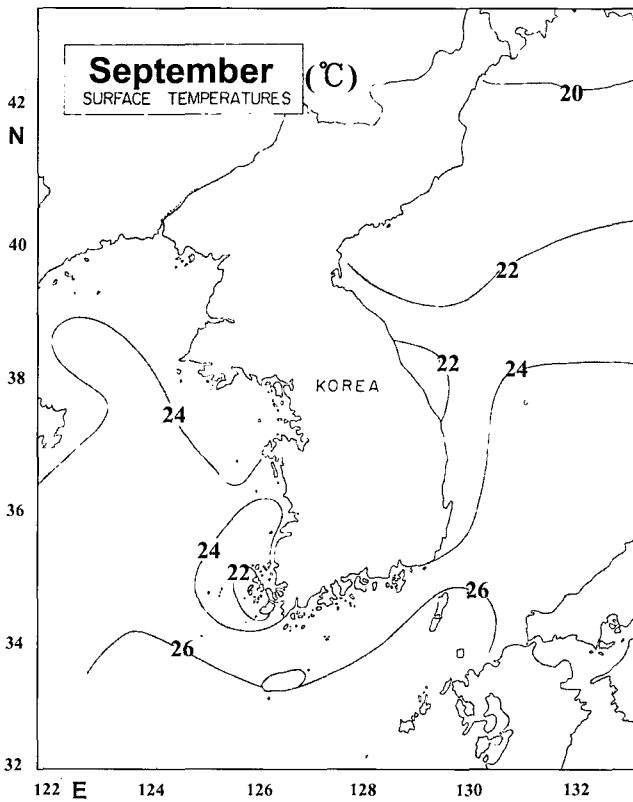


Fig. 8. Mean sea surface temperature (°C) in the Korean waters in September (northern part of the East Sea: 1929-1944, southern part of the Yellow Sea: 1931-1941, 1952-1960).

었다. 태풍의 영향을 연직 수심 30 m 정도까지 존재하였다. 이 해역은 평년에 비해 3-4°C 낮은 저수온 분포를 보였다. 태풍이 통과하지 않았던 2001년 제주도 남부해역(314 Line)의 표층은 8월부터 10월까지 약 1-3°C의 고수온을, 저층에서는 1-2°C의 저수온 해황을 지속적으로 나타내었다 (Fig. 11)

2001년 8월 19-21일 일본 큐슈 동편 해역으로 통과한 태풍 PABUK의 태풍통과 직전의 동중국해 북부해역 (314, 315, 316 Line)에서 8월 5-17일 관측 및 태풍 통과 직후인 8월 22-23일 관측된 해역 (317 Line)의 해양 환경은 매우 상이한 해황 특성을 나타내었다 (Figs. 12, 13). 태풍의 간접영향권에도 속하지 않았던 인접 해역 (314, 315, 316 Line)의 수온은 평년에 비해 1-2°C 고수온 현상을, 염분의 경우 양자강 유출담수의 영향을 받을 것으로 추정되는 해수표면에서 1-2 psu 낮은 저염분 현상을 나타내었다. 그러나, 태풍의 간접적 영향권에 포함되었던 시기의 해역 (317 Line)에서 표면 수온은 평년에 비해 0.5-1°C 저수온 값을 나타내었으며, 염분은 0.5-3.5 psu 높은 고염분 현상을 보였다.

태풍 통과 후인 1994년과 2002년 8월의 동중국해 북부에서 수괴의 안정도를 나타내는 해수의 성층계수는 각각 400-795 J/m<sup>3</sup>, 400-700 J/m<sup>3</sup> 이었고, 태풍 통과기간 중 1999년의 성층계수는 400-610 J/m<sup>3</sup> 이었다. 이와 같이 근해에서 성층계수가

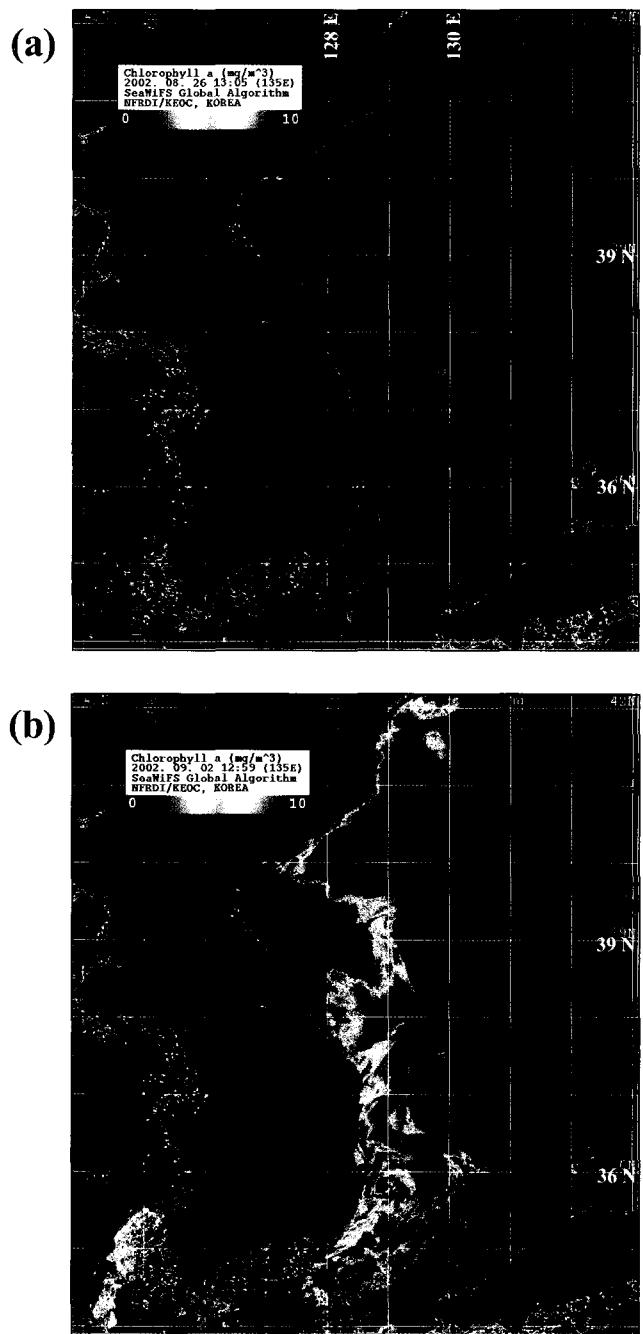


Fig. 9. Distribution of chlorophyll a imageries of SeaWiFS satellite in the East Sea (Japan Sea). (a) The imagery before the passage of the typhoon, RUSA on 26th August, 2002. (b) The imagery after the passage of the typhoon on 2nd September, 2002.

비교적 낮게 나타난 것은 동중국해에서 태풍으로 인해 연직 혼합이 발생한 것을 의미한다. 태풍이 통과하지 않았던 2001년도의 동중국해에서 해수의 성층계수는 각각 600-890 J/m<sup>3</sup>으로 비교적 높게 나타났다. 한편, 한국 서해 및 남해 인접 연안은

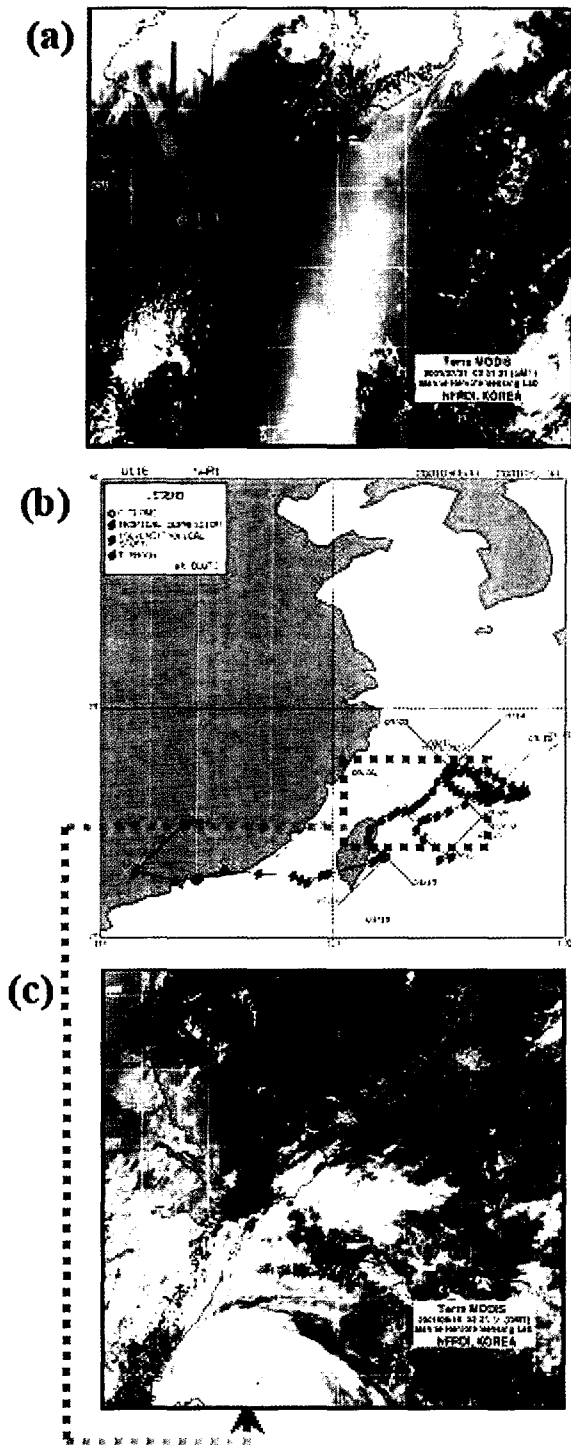


Fig. 10. (a) Normal distribution of the suspended sediments around the waters of the Yangtze river in July, 2001. (b) Path of the typhoon, NARI in September, 2001. (c) Extended distribution of the suspended sediments related to the approaching typhoon, NARI around the waters of the Yangtze river in September, 2001.

조류에 의한 연직혼합이 항시 발생함으로 성층계수 값이

100-200 J/m<sup>3</sup>으로 낮았기 때문에, 태풍에 의한 연직 혼합이 발생되어도 성층계수 값이 크게 변하지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 14).

하계 태풍의 영향은 한국 근해에서 대규모 해양환경변동을 가져왔는데, 이는 Su et al. (2001)이 연구한 것과 같이, 태풍 통과 시 직접적으로 해수를 pumping 작용한 것과 태풍으로 인한 강한 바람의 작용, 태풍발달과 관련된 증발 잠열에 의한 영향으로 기인된 것으로 생각된다. 한국근해에서 태풍통과 후 형성되는 대규모의 표층 저수온 수괴 (sea surface cooling water mass)의 발생은 해양에 대한 태풍의 강력한 pumping 작용에 의한 직접 영향의 결과로 추정되며, 하계 해양 생태계 변동에 2차적인 영향을 크게 미칠 것으로 추정된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원 주요과제 「첨단위성해양정보 활용시스템운영」 및 한국항공우주연구원 지원과제 「위성자료의 해양수산 활용연구」의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- Abbott, M.R. and B. Barksdale. 1991. Phytoplankton pigment patterns and wind forcing off central California. *J. Geophys. Res.*, 96, 649-667.
- Cornillon, P., L. Stramma and J.F. Price. 1987. Satellite measurements of sea surface cooling during hurricane Gloria. *Nature*, 326, 373-375.
- Eagelman, J.R. 1985. Hurricanes and tropical cyclones. *Meteorology*, 177-198.
- Emanuel, K.A. 1987. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483-485.
- Emanuel, K.A. 1988. The maximum intensity of hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 45, 1143-1155.
- Evans, J.L. 1993. Sensitivity of tropical cyclone intensity to sea surface temperature. *J. Climate*, 6, 1133-1140.
- Jewell, P.W. 1994. Mass balance models of Ekman transport and nutrient fluxes in coastal upwelling zones. *Glob. Biogeochem. Cycles*, 8(2), 165-177.
- Kawai, H. 1972. Hydrography of the Kuroshio Extension, in *Kuroshio: Its Physical Aspects*, ed. by H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, pp. 235-352.
- Kim, B.K. 1995. Vertical variation of sea surface temperature caused by typhoon on south coastal waters in summer season. Abstract of the 1995 Spring Meeting of the Korean Society of Oceanography, 19 pp. (in Korean)
- Loder, J.W. and D.A. Greenberg. 1986. Predicted positions of tidal fronts in the Gulf of Maine region. *Continental Shelf Res.*, 6, 397-414.

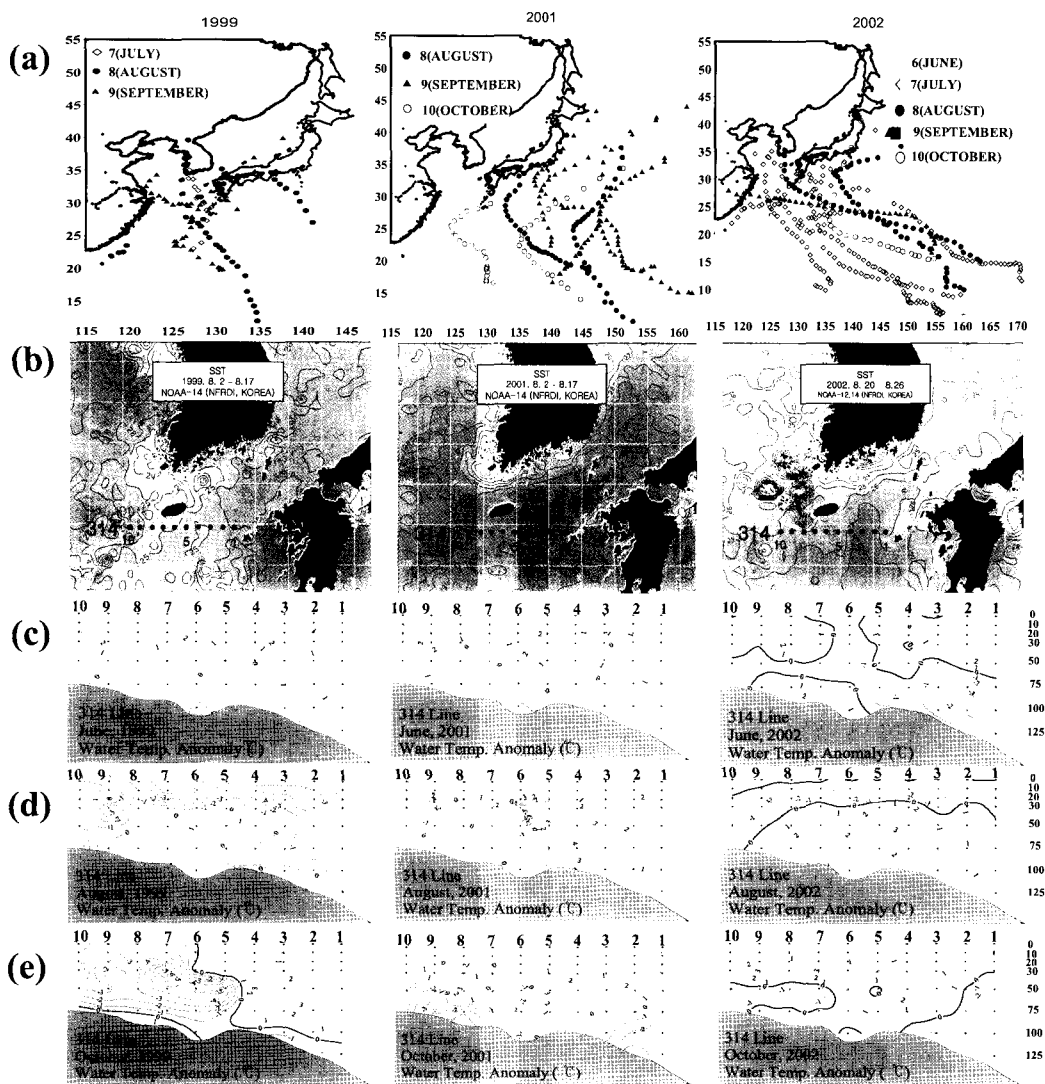


Fig 11. Temporal and spatial variation of water temperature related to the passing of typhoons during summer season, 1999-2002. (a) Path of the typhoon in 1999, 2001 and 2002. (b) Estimated SST imagery using NOAA satellite in August, 1999, 2001 and 2002. Vertical distribution of anomalies(°C) in 314 line in June (c), August (d) and October (e).

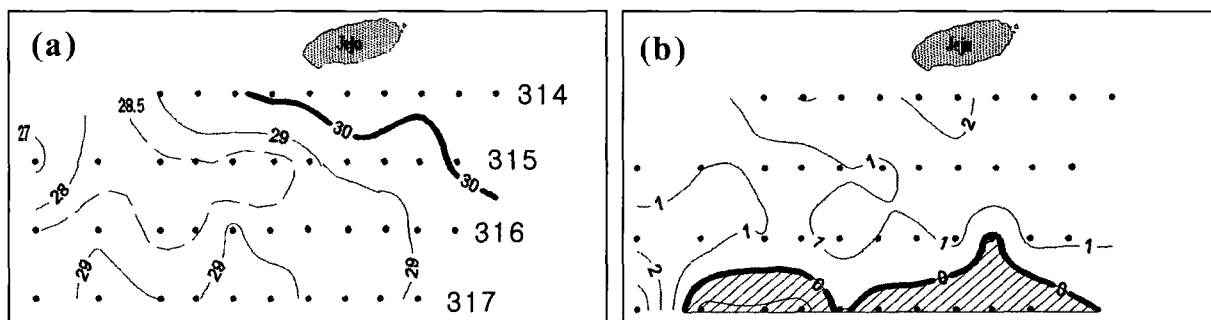


Fig. 12. Horizontal distributions of (a) surface temperature (°C) and (b) the anomalies at the survey lines (314-317) in the northern part of the China Sea in August 2001. SST at the survey lines (314-316) were measured in the period before the passage of PABUK. SST at the survey line (317) was measured in the period after the passage of the typhoon. Shaded area: negative anomaly of sea surface temperature.

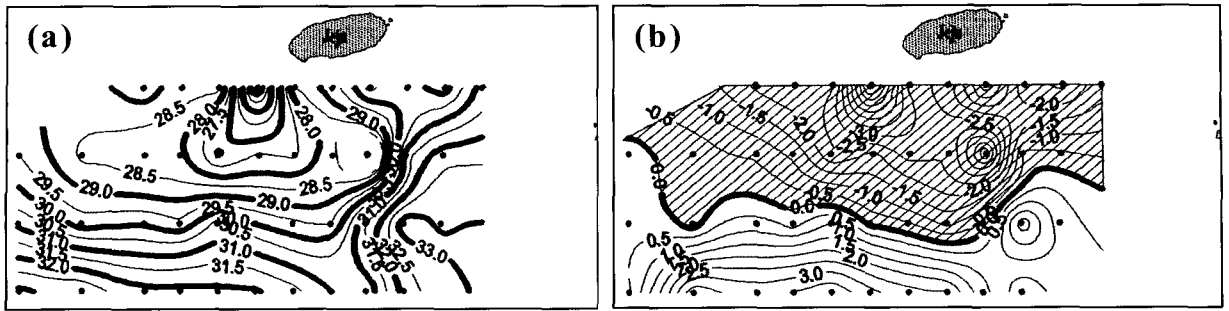


Fig. 13. Horizontal distributions of (a) surface salinity (psu) and (b) the anomalies at the survey lines (314-317) in the northern part of the China Sea in August 2001. SST at the survey lines (314-316) were measured in the period before the passage of PABUK. Sea surface salinity at the survey line (317) was measured in the period after the passage of the typhoon. Shaded area: negative anomaly of sea surface salinity.

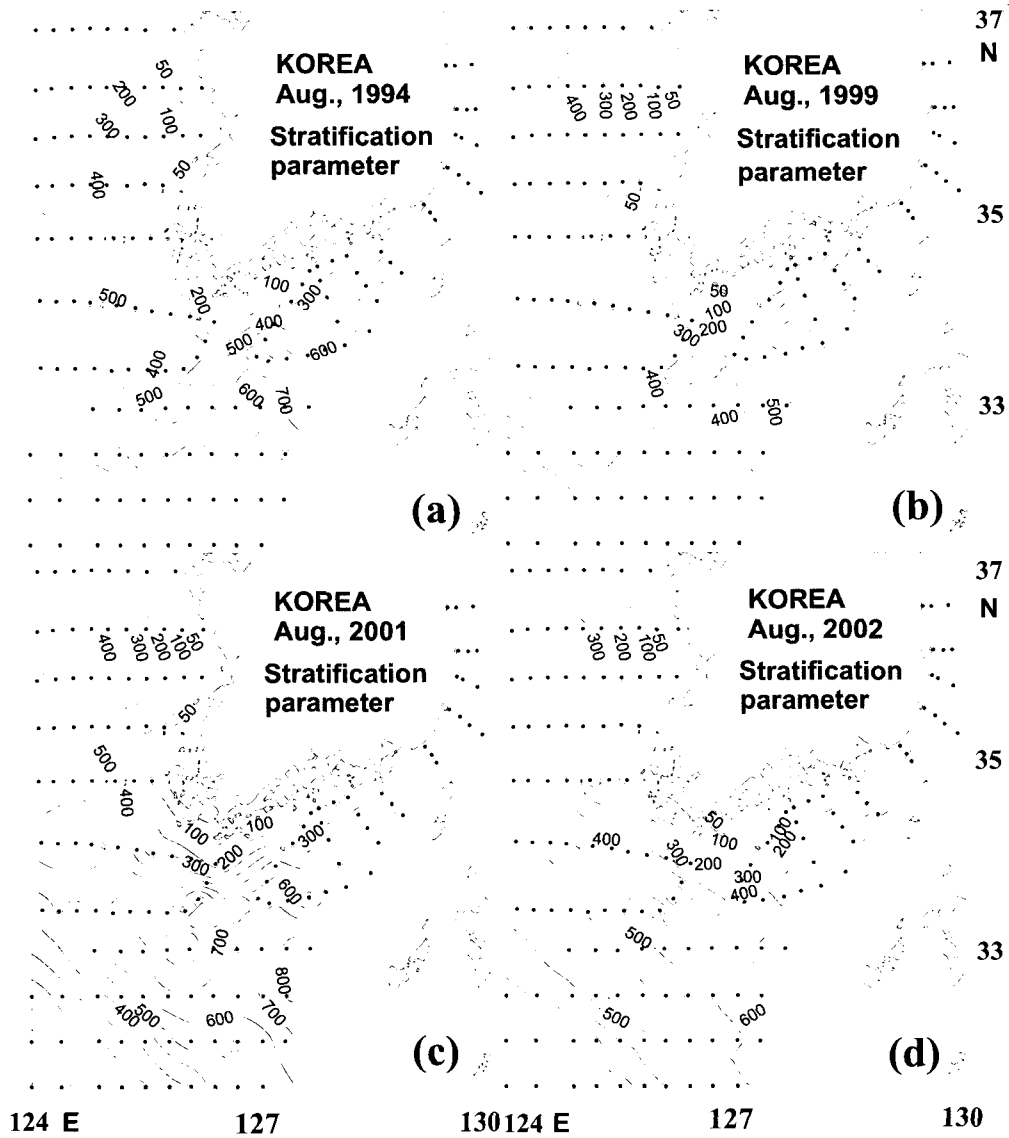


Fig. 14. Horizontal distribution of the stratification parameter ( $J/m^3$ ) in the southeastern part of the Yellow Sea and the northern part of the East China Sea in August 1994 (a), 1999 (b), 2001 (c) and 2002 (d).

- McClain, E.P., W.G. Pichel and C.C. Walton. 1985. Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 90, 587-601.
- Miller, B.I. 1985. On the maximum intensity of hurricanes. *J. Meteor.*, 15, 184-195.
- NFRDA (National Fisheries Research and Development Agency). 1964. Mean monthly charts of temperatures, Oceanographic handbook of the neighbouring Seas of Korea. 161-184.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1991-1998. SST charts on Korean waters in 1990-1997. (in Korean)
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1991-2003. Annual report of oceanographic observations for 1990-2002. (in Korean)
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1999-2003. Oceanographic in formation of the Korean waters in 1998-2002. (in Korean)
- O'Reilly, J.E., S. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Garver, M. Kahru and C.R. McClain. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *J. Geophys. Res.*, 103, 24937-24953.
- Sakaida, F., H. Kawamura and Y. Toba. 1998. Sea surface cooling caused by typhoons in the Tohoku Area in August 1989, *J. Geophys. Res.*, 103, C1, 1053-1065.
- SeaSpace. 2001. *Terascan X-B and Software Training MODIS and OCM*. SeaSpace Corporation, 60 pp.
- Simpson, J.H., D.G. Hughes and N.C.G. Morris. 1977. The relation of seasonal stratification to tidal mixing on the continental shelf. In: *A voyage of discovery. Supplement to Deep Sea Research*, 327-340.
- Simpson, J.H. and J.R. Nunter. 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, London, 250, 404-406.
- Suh, Y.S., J.H. Kim and H.G. Kim. 2000. Relationship between sea surface temperature derived from NOAA satellites and *Cochlodinium polykrikoides* red tide occurrence in Korean coastal waters. *J. Environ. Sci.*, 9, 215-221. (in Korean)
- Suh, Y.S., B.K. Kim, N.K. Lee, L.H. Jang, J.D. Hwang, Y.H. Lee and H.J. Oh. 2002a. Variation monitoring of turbid water using MODIS ocean color satellite data in east china sea. Abstract of the 2002 autumn meeting of the Kor. Fish. Soc. (in Korean)
- Suh, Y.S., D.S. Kim, B.K. Kim, D.I. Lee, Y.S. Kim and I.K. Kim. 2002b. Temporal and spatial variation of SST related to the path of typhoons around the Korean waters in summer. *J. Environ. Sci.*, 11, 627-636. (in Korean)
- Suh, Y.S., L.H. Jang, N.K. Lee and B.K. Kim. 2002c. Development of the regional algorithms to quantify chlorophyll *a* and suspended solid in the Korean waters using ocean color. *J. Kor. Fish. Soc.*, 35, 207-215. (in Korean)
- Su, J., L. Li, X. Bao and G. Gao. 2001. Numerical experiment of SST response to typhoon process in Yellow Sea and Bohai Sea. *J. Ocean University of Qingdao*, 31, 165-172.
- Senjyu, T. and T. Watanabe. 1999. A Sudden Temperature Decrease along the San'in Coast Induced by a Typhoon. *The Marine meteorological Society*, 75(1), 1-8.

---

2003년 3월 10일 접수

2003년 8월 23일 수리