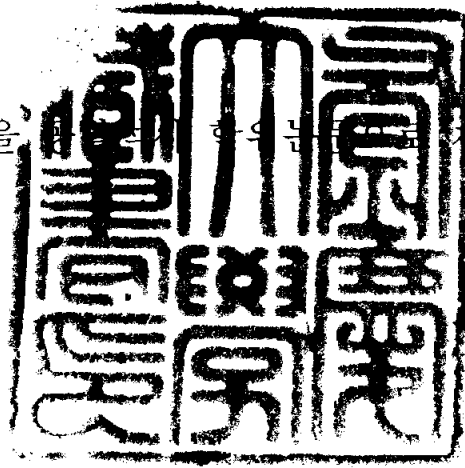


공학석사 학위논문

위성원격탐사에 의한 동중국해
재부상 부유사의 계절 및 수평적
분포 특성에 관한 연구

지도교수 김 영 섭

이 논문을 지도교수 김 영 섭에게 제출함



2004 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경공학연합동과정

이 나 경

이나경의 공학석사 학위논문을 인준함

2004 년 6 월 24 일

주 심 공학박사 윤 홍 주



위 원 이학박사 김 영 섭



위 원 이학박사 서 영 상



목 차

<i>List of Figures</i>	i
<i>List of Table</i>	iii
Abstract	iv
I. 서론	1
II. 자료 및 방법	3
III. 결과	5
IV. 고찰	27
V. 요약	28
VI. 감사의 글	29
VII. 참고문헌	31

List of figures

- Fig. 1. Distribution of total suspended sediment in the southern Yellow Sea in spring(mg/m^3) (Cai et al., 2001). (a) The surface layer, (b) The sub surface layer, (c) The midteram layer, (d) The sub bottom layer and (e) The bottom layer.
- Fig. 2a. Bathymetry map of the study area in the East China Sea.
- Fig. 2b. Station map of the National Fisheries Research and Development Institute research cruise.
- Fig. 3a. Vertical distribution of total suspended sediment(mg/m^3), temperature($^{\circ}\text{C}$) and salinity in the East China Sea(316 line) in August, 2001.
- Fig. 3b. Same as figure 3a, except for February, 2002.
- Fig. 4. Horizontal distribution of sea surface temperature derived from NOAA/AVHRR data in (a) August, 2001 and (b) February, 2002.
- Fig. 5a. Relationship between wind from QuikSCAT and turbid water from MODIS RGB in summer season in 2001.
- Fig. 5b. Relationship between wind from QuikSCAT and turbid water from MODIS RGB in winter season in 2002.
- Fig. 6. (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 (Suh et al., 2003).

- Fig. 7. MODIS RGB digital number derived from the reflected radiances in between clear water and turbid water off the Yangtze river in China
- (a) MODIS RGB imagery and iso-depth line in February 19, 2002
 - (b) Sample line (A-A') for MODIS RGB digital number
 - (c) Distributions of MODIS RGB digital number in sample line A-A'.

- Fig. 8. Relationship between horizontal sea surface areas of turbid water and sea bottom depth(SBD) off the Yangtze river in China in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002. Area(km²) means Horizontal sea surface areas of turbid water detected by MODIS satellite.

- Fig. 9. Relationship between areas of turbid water in the southwestern coast of Korea and tide variation at the Tachuksando in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002.

- Fig. 10. Relationship between areas of turbid water off the Yangtze river in China and tide variation at the Taehuksando in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002.

Fig. 11. Relationship between the measured field suspended sediment and the bands ratio ($nLw490/nLw555$) of SeaWiFS in the South Sea and West Sea of Korean waters.

Fig. 12. Distribution of the estimated surface total suspended sediment (TSS) using the formula from the relationships between *in situ* TSS and SeaWiFS band ratio ($nLw490/nLw555$) around the East China Sea in (a) Aug., 2001 and (b) Feb., 2002.

List of table

Table 1. Digital numbers of gradients from the reflected radiances between clear water and turbid water using MODIS red, green and blue band data off the Yangtze river in China

**Study on Characteristics of Seasonal and Horizontal
Distrubution for Resuspended Sediments in the East China Sea
by Satellite Remote Sensing**

Na-Kyung Lee

**Interdisciplinary Program of Earth Environmental Engineering Graduate
School, Pukyong National University**

Abstract

The spatiotemporal distribution of resuspended sediment on the shelf of the southern Yellow Sea and the northern East China Sea was studied. The sea surface reflectance imageries obtained by remote sensing using satellite at channels of red(620-670nm), green (545-565nm) and blue(459-479nm) from Terra MODIS were used to explain the front of the high concentration suspended sediment (SS) on the shelf in the East China Sea. The horizontal distribution of the SS was depended on the wind force, tidal current and stratification of water. The horizontal distribution areas of the SS in winter season during January-April, 2002 were three times wider than those in summer season during June-September, 2001.

I. 서론

동중국해는 북서태평양의 연해로 북으로는 우리나라 진도와 제주도 그리고 양자강 하구를 잇는 선에 의해 황해와 구별되고 남으로는 타이완과 난세이 제도 그리고 규슈를 연결하는 선으로 구별되는 곳으로 해양어족 자원의 보고이며, 한국, 중국, 일본 등 연안 국가가 많은 혜택을 받고 있는 해역이다. 이와 같은 동중국해는 중국대륙의 연안수와 쿠로시오가 만나는 곳으로, 그 경계역에서 해황 변동이 심한 것으로 알려져 있다(Chikuni, 1985). 특히, 해양 광학적인 측면에서 동중국해수는 매우 복잡한 광특성을 지니고 있다. 동중국해 해역은 중국대륙 연안측에서는 408×106 ton/year의 부유물질을 포함한 담수가 900×109 m³/year로 유입되어 탁한 해수(Case II)의 특성을 띠고, 일본 연근해역에서는 Kuroshio 본류에 속하는 맑은 해수(Case I)의 특성을 보인다. 그리고 동중국해의 중심 해역인 제주도 연근해역에서는 맑은 해수와 탁한 해수가 합쳐진 혼합수 특성을 나타내고 있다(Ahn과 Moon, 1998; Hung 등, 1999; Ahn, 2000; Chen 등, 2001; Suh 등, 2001).

특히, 중국 연안에 가까운 해역은 수심이 얕고 점착성이 없는 실트와 작은 모래가 우세하게 분포하는 해역이다(Liu 등, 1998; Kazuaki 등, 2002; Liu 1997). 이러한 특성을 가진 해역은 바람의 크기·방향과 조석의 대소조에 영향을 받아 바닥의 침전물이 재부유 되고 있다(Powell 등, 1989; Sanford, 1994; Schoellhamer, 1995; Jing과 Ridd, 1996; Schoellhamer, 1996; Ruhl 등, 2001; Cai 등, 2001).

수온과 염분의 분포가 어족 자원의 서식 분포 상태에 주된 영향을

끼칠 것으로 생각되나, 해수의 탁한 정도 또한 기초먹이생물 생산량 분포 상황에 영향을 미쳐 어족 자원에 직간접적으로 미칠 것으로 사료된다. 부유물질은 육지기원이거나 해저바닥으로부터 재부상하여 생긴 것이기 때문에, 투명도의 변화는 해수의 연직혼합 및 유동상태 등 해황을 판단하는데 유용한 지표가 된다(Choi와 Kwon, 1998). 이러한 해수의 투명도와 부유성 고형물질 분포에 대해 최근 미국의 NOAA, SeaWiFS 및 한국의 OSMI 위성자료를 이용한 정량화 연구가 진행되고 있다(Suh 등, 2001; Suh 등, 2002a; Suh 등, 2002b).

본 연구에서는 최근 해양, 대기, 육지환경을 동시에 관측할 수 있는 미국 첨단관측 위성 Terra/MODIS (moderate resolution imaging spectroradiometer) 자료와 현장 관측자료를 이용하여 동중국해에서 탁한 해수(turbid water)의 수평 분포에 대한 동·하계 변동 규모를 정량화 하였다. 또한 NOAA 위성 관측 수평 수온분포를 통하여 동중국해에서 동계와 하계의 계절에 따른 수괴의 분포양상이 달라져, 탁한 해수의 분포양상과 관련성을 가지고 변동하는 것도 보고자 하였다.

II. 자료 및 방법

최근 Froidefon 등(2002)은 ocean color를 spectroradiometer (SE 590)를 이용하여 파장대(412~865nm) 별로 해수의 특성을 규정하였다. 이러한 연구결과를 근거로 국립수산물과학원에서 2001년 6월부터 직접 수신한 MODIS 위성의 36개 채널 자료 중, 공간해상도가 250m인 채널 1(620~670nm)과 공간해상도 500m인 채널4(545~565nm) 및 채널 3(459~479nm)을 합성한 RGB(red_채널 1, green_채널 4, blue_채널 3) 디지털 영상자료를 이용하여 동중국해에서 탁한 해수의 수평 분포 면적의 계절 변동을 정량화 하였다.

최근 MODIS 위성 수신 자료 중 하계를 대표하는 2001년 6, 7, 8, 9 월 자료와 동계를 대표하는 2002년 1, 2, 3, 4월 위성 RGB 영상 자료를 분석하였다.

동중국해 북부해역은 하계 양자강으로부터 탁한 담수가 유입되지만 탁수가 동중국해 연근해역에 시공간적으로 미치는 영향이 일시적이고 소규모 적이다(Cai 등, 2001). 따라서 시공간적으로 중규모로 항시 존재하는 동중국해 연안 근해역 탁수, 즉 수위가 얕은 해저수심으로 인해 바닥의 물질을 재부상하여 발생하게 되는 탁수의 수평 공간 변동을 보고자 하였다. 또한 위성 RGB 영상 자료에 의한 탁수의 수평 범위 추정 해역을 검증하고자 동중국해 북부해역에서 관측된 부유성 고형물질의 수평, 연직 분포 자료를 이용하여 비교 검토하였다. 동계 및 하계의 위성 RGB 영상 자료에서 중국 연안측에서 발생하는 탁한 해수의 변동 규모를 규명하기 위한 위성자료 처리 프로그램은 Terascan package를 이용하였다

(SeaSpace, 2001). 이 처리 프로그램을 이용하여 탁수의 수평 면적과 해저 바닥의 수심분포와의 관계도 살펴보았다.

재부상물질(부유성 고형물질) 분포와 등수심 분포간의 관계성에 직접 간접적으로 영향을 미치는 조류와 해상풍, 해수의 연직 성층의 강약 상태를 고려하였다. 조류의 경우 대소조로 구분하기 위해 국립해양조사원의 조석 자료를 이용하였다. 해상풍은 미국 위성 QuikSCAT 자료를 이용하였다 (<http://orbit212.web.noaa.gov/quikscat/>). 해수의 연직 성층의 강세를 보고자 국립수산물과학원 해양연구과에서 계절별로 관측한 동중국해 북부해역의 수온, 염분 자료를 이용하였다(NFRDI, 2002; 2003). 또한 동계와 하계의 난류 및 한류의 강세변동에 따른 수평적 수괴분포를 파악하고자 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 위성의 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 자료를 MCSST (Multi Channel Sea Surface Temperature) 방식으로 분석하였다(Suh 등, 2000)

재부상 부유물질의 농도를 추정하기 위해서 Orbview 2/SeaWiFS (Sea Viewing Wide Field of view Sensor) 자료를 이용하였다. SeaWiFS 는 412, 443, 490, 510, 555, 670, 765, 865nm 의 총 8개의 밴드를 가지고 있다. 그 중 여기서는 탁도와 관계있는 490nm와 555nm의 밴드비를 사용했다.

III. 결과

Cai 등(2001)은 황해 남부 해역에서 준계 총부유물질(TSS, total suspended sediment, mg/m^3)을 현장관측하여 수심별 분포 양상을 도식화하였다. TSS은 표층(the surface layer, 0~1m)에서 $1.0\sim15.0\text{mg}/\text{m}^3$ 정도, 아표층(the sub surface layer, 5~10m)에서 $1.5\sim25.0\text{mg}/\text{m}^3$, 중층(the midterm layer, 10~20m)에서 $1.5\sim100.0\text{mg}/\text{m}^3$, 아저층(the sub bottom layer, 30~50m)에서 $2.0\sim150.0\text{mg}/\text{m}^3$, 그리고 저층(the bottom layer, 해저에서 3~5 m 떨어진 층)에서 $5.0\sim150.0\text{mg}/\text{m}^3$ 정도로 각각 나타났다(Fig. 1). 전수심층을 통하여 TSS 농도가 최대로($15.0\sim150.0\text{mg}/\text{m}^3$) 나타난 곳은 북위 34° 동경 121° 를 중심으로 반경 50km 해역이었으며 수심이 10m 이천이었다. 북위 34° 의 중국 동쪽 연안에서 양자강과 제주도간 중간해역 즉, 중국 연안의 남동쪽 외해역으로 TSS의 농도가 높게 분포함이 아표층에서 저층까지 수층별로 나타났다. 이러한 TSS의 농도는 양자강과 황하강에서 유출된 것은 아주 일부에 불과하고 해저바닥으로부터 재부상되는 것으로 나타났다(Cai 등, 2001).

국립수산과학원에서는 수심이 10~100m로 비교적 복잡하게 분포하는 동중국해 북부해역을 2, 5, 8, 11월에 정기적으로 3개의 관측라인(315~317)에서 32개의 관측점을 해양관측하고 있다(Fig. 2b). 본 연구에서는 2001년 8월 및 2002년 2월 316 라인에서 관측한 총부유고형물질(TSS, mg/m^3)과 수온 및 염분의 연직분포를 통하여 해수 성층이 형성되는 하계와 성층이 붕괴되어 표층과 저층이 잘 혼합되어지는 동계에 TSS의 분포 양상을 비교하였다. 하계에는 수온 및 염분약층이 수심 2

0~30m에서 수온 20~25℃ 및 염분 31~32psu를 중심으로 강한 성층을 형성하고 있어 TSS 농도가 수심별로 즉, 연직적으로 나르게 나타났으나, 동계에는 표층과 저층의 농도가 비슷하게 나타났고 중국 연안측인 전해로 갈수록 TSS 농도가 높게 나타났다. 또한 동계의 경우 수온이 연직적으로는 충분히 혼합되어 같은 온도대를 지나 수평적으로 난류와 한류가 만나 경계를 이루는 곳에서는 TSS 분포 양상이 수평적으로 나르게 나타났다(Fig. 3과 Fig. 4).

재부상물질의 수평분포 변동의 계절변화와 해상풍의 관계를 보고자 하계와 동계의 MODIS 위성의 RGB 자료를 영상화하였으며, QuikSCAT 위성 자료로부터 해상풍의 풍향풍속을 표현하였다(Fig. 5). 하계 위성자료는 2001년 6월 15일, 7월 21일, 8월 20일, 9월 7일 자료를 선별하였으며(Fig. 5a) 동계 위성자료는 2002년 1월 6일, 2월 19일, 3월 9일, 4월 1일 자료를 선별하여 분석하였다(Fig. 5b). 풍속은 파란색(5~15Knote), 연두색(15~20Knote), 노란색(20~25Knote), 빨간색(25~30Knote) 계통으로 갈수록 강해짐을 나타낸다. 하계 해상풍속은 동계에 비해 대부분 상대적으로 약했다. 동계 2002년 2월 19일의 경우 북서풍이 제주도~양자강 이남에서 15~35Knote로 강하게 불 때 제주도 남동쪽으로는 Lee(1983)가 조사한 것처럼 칼만볼텍스가 생기고 중국 동해 연안에서는 재부상 부유물질의 수평공간분포가 커지는 것으로 나타났다(Fig. 5b). 하계의 경우(2001년 9월 7일)도 태풍(NARI)의 간접 영향으로 드물게 재부상물질이 수평공간적으로 커지는 것을 볼 수 있었다(Fig. 6).

재부상 물질의 시공간 변동을 정량화하고자 MODIS 위성의 red, green, blue 밴드별 자료를 이용하여 재부상 물질 농도가 큰 해역(Case

II water)과 수심이 깊어 맑은 물로 되어 있는 해역(Case I water)이 전선을 이루는 곳을 디지털화하여 밴드별 radiance의 구배가 급격하게 나타나는 디지털(DN)값을 기준하여(red, 306; green, 418; blue, 469) 동계 및 하계의 재부유 물질 즉, 탁수의 수평 경계역을 정하고 계절에 따른 수평 공간 변동량을 정량화하였다(Table 1 and Fig. 7).

중국 연안측과 같이 수심이 얇은 동중국해역에서 발생하는 탁수의 수평 공간 분포 영역은 크게 하계와 동계로 나누어 볼 때, 하계(6월초~9월초)의 경우 탁수의 수평공간이 최소로 제한된 시기는 6월 중순~7월 중순으로 공간규모는 수평적으로 $50,000\text{km}^2$ 이하였고, 수심 10m 등심선의 수평분포와 일치하였다. 비교적 약한 풍속과 강한 수온약층의 형성 등으로 탁수의 하계 수평면적은 평균 $71,000\text{km}^2$, 수심 20m 등심선의 수평분포와 일치하는 것으로 나타났다(Fig. 8a).

반면, 동계(1월초~4월초)의 경우 탁수의 수평면적은 평균 $232,100\text{km}^2$ 으로 수심 50m 등심선의 수평분포와 일치하는 공간분포를 보였다(Fig. 8b). 즉, 하계보다 동계의 탁수분포 공간규모가 3배 크게 나타난 것은 최근 연구결과, 해상풍이 만드는 파가 천해에서 퇴적물을 재부상 시키는 것(Jing와 Ridd, 1996; Sanford, 1994)과 같이 동계에 발생하는 강한 북서계절풍과 연직성층(수온약층) 현상의 붕괴로 해수의 연직 혼합율이 증가할 수 있는 요인때문으로 추정된다. 천해에서 강한 조류(tidal current)의 영향은 해수의 연직적인 난류(turbulence)를 유발하여 해저바닥의 퇴적물을 재부상 시킬 수 있다(Choi와 Kwon, 1998; Liu 등, 1998).

이러한 조류와 탁수의 수평면적 분포간의 관계성을 보고자 한반도

남서해역의 대흑산도에서 관측된 조차(tide height) 즉, 최고수위와 최저수위의 차 값과 위성자료로 추정된 탁도의 수평분포를 비교하였다(Fig. 9). 하계의 조차의 변동은 탁도의 수평분포 변동간에 관계성이 낮게 나타났다(Fig. 9a), 동계에는 비교적 관계성이 높게 나타났다(Fig. 9b).

중국 양자강 연근해역에서의 조고변동과 탁도의 수평분포 변동간의 관계성을 보았다(Fig. 10). 조차자료는 현장자료를 구할 수 없어 같은 시기의 대흑산도 자료를 대치 사용하였다. 한국 남서측 대흑산도 연안과 중국 양자강 연근해역 연안의 조석환경 즉 조급, 사리 등 조석상태가 같음으로(Choi 등, 2003; Lee 등, 2002), 양측의 조차가 같은 시기에 비슷함을 가정하여 대흑산도의 조차자료를 양자강 연근해측에 적용하였다. 한반도 남서해역에서와 같이 하계에는 조고변동과 탁도의 수평분포는 그 상관성이 낮게 나타났으나(Fig. 10a), 동계에는 비교적 관계성이 높게 나타났다(Fig. 10b).

재부상 부유물질의 농도를 추정하기 위해 현장자료와 위성의 밴드 비값으로 그 관계식을 도출하였다(Fig. 11). 도출된 식으로 위성 추정 SS 수평 농도 분포도를 그렸다. 이렇게 나온 2001년 8월과 2002년 2월의 위성 추정 SS 수평분포도를 비교한 결과, 겨울철의 SS 농도가 여름철의 SS 농도보다 2배정도 높게 나타났다(Fig. 12).

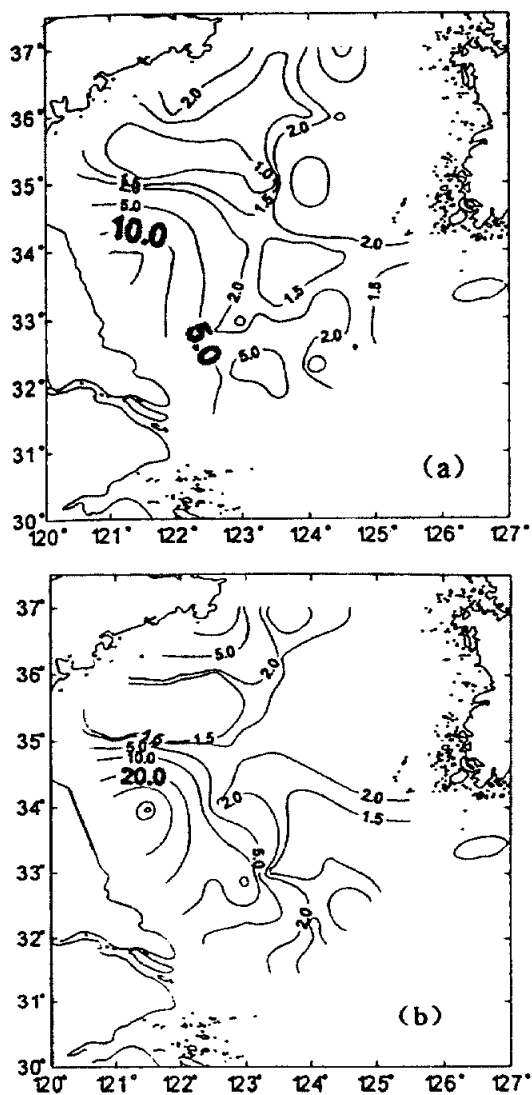


Fig. 1. Distribution of total suspended sediment in the southern Yellow Sea in spring(mg/m^3) (Cai et al., 2001). (a) The surface layer, (b) The sub-surface layer, (c) The midteram layer, (d) The sub-bottom layer and (e) The bottom layer.

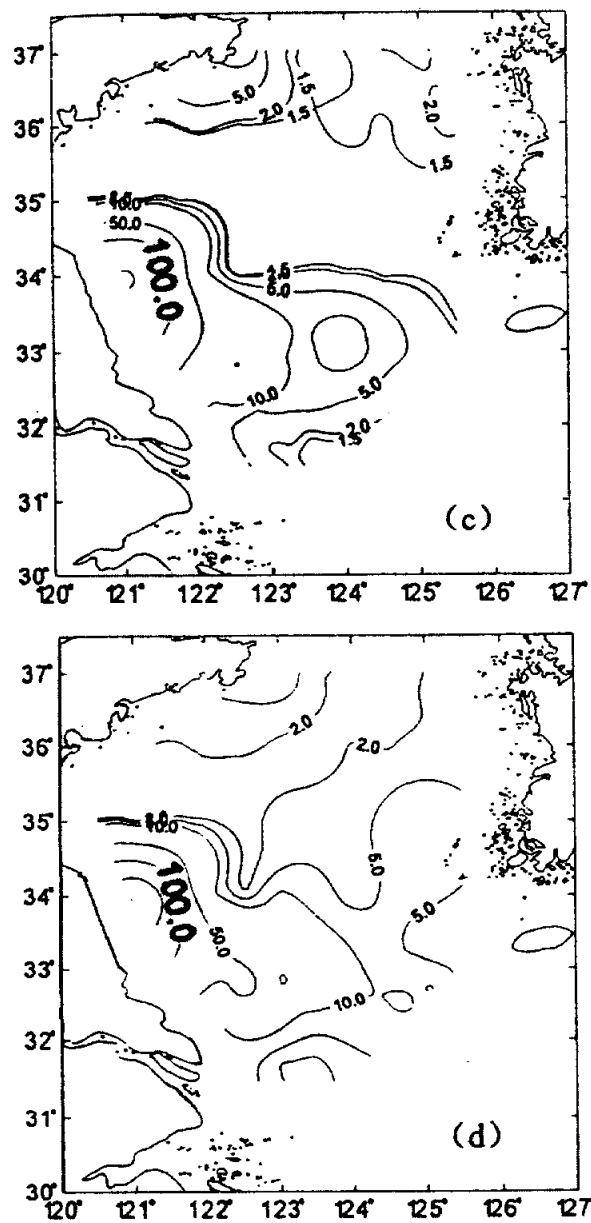


Fig. 1. Continued.

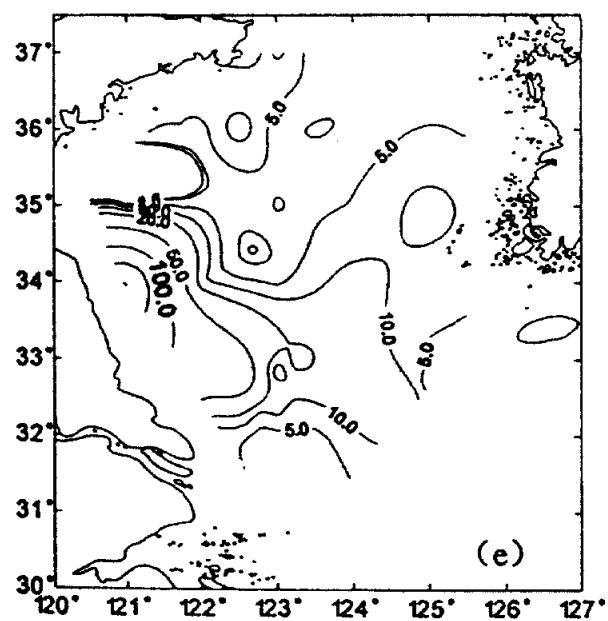


Fig. 1. Continued.

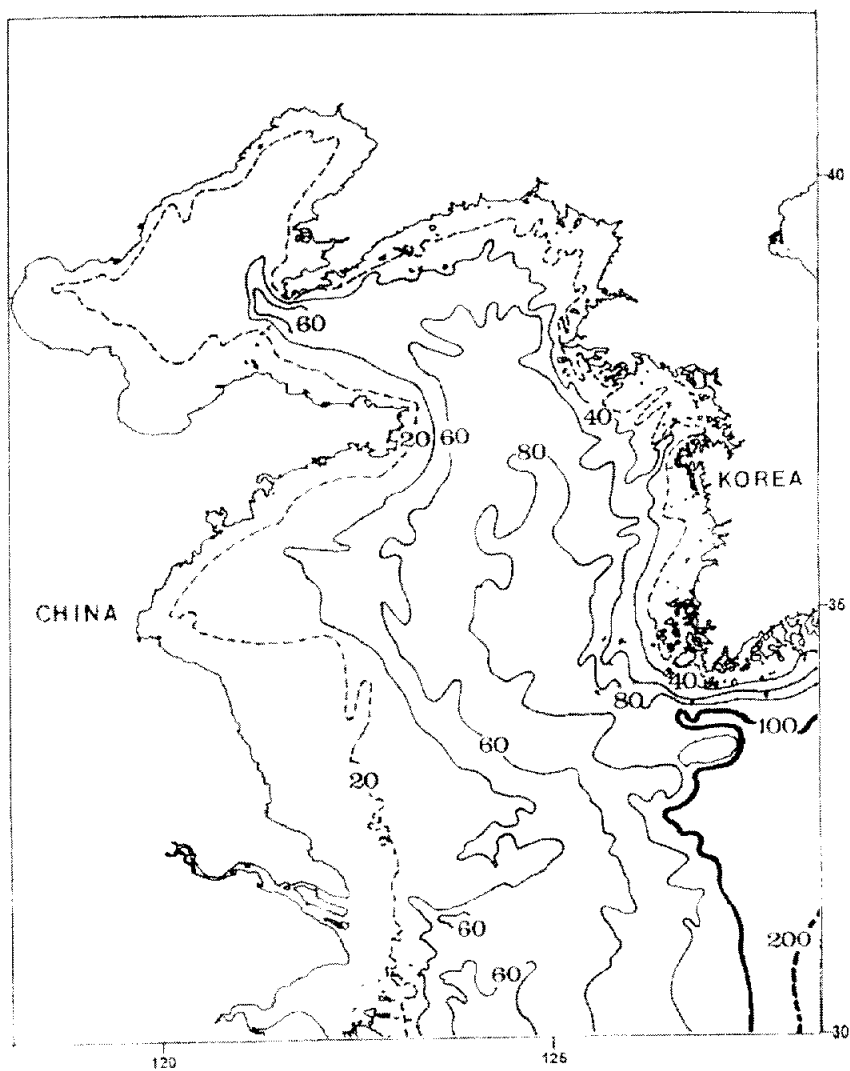


Fig. 2a. Bathymetry map of the study area in the East China Sea.

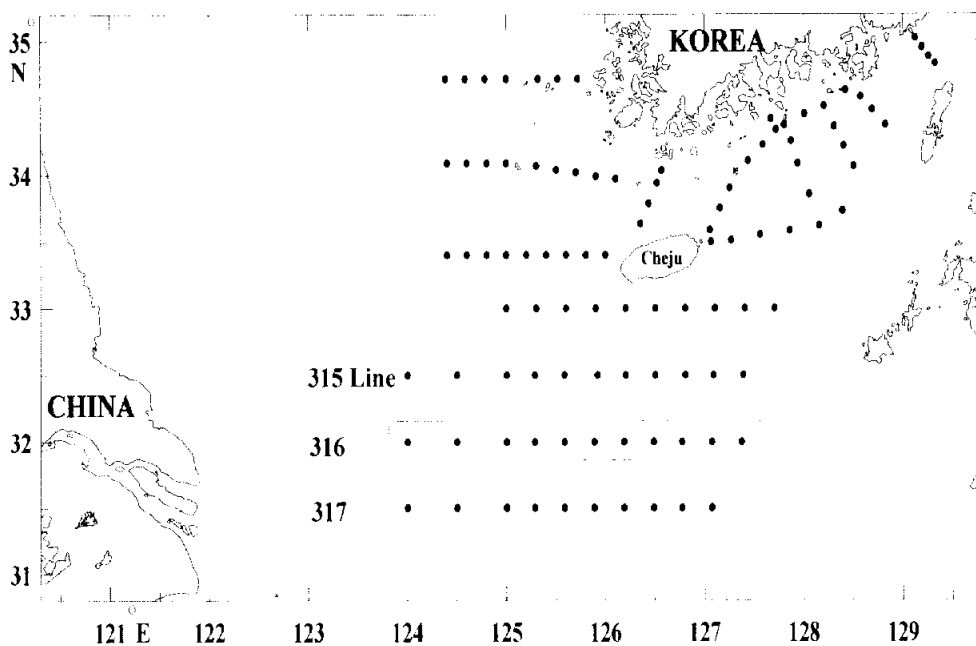


Fig. 2b. Station map of the National Fisheries Research and Development Institute research cruise.

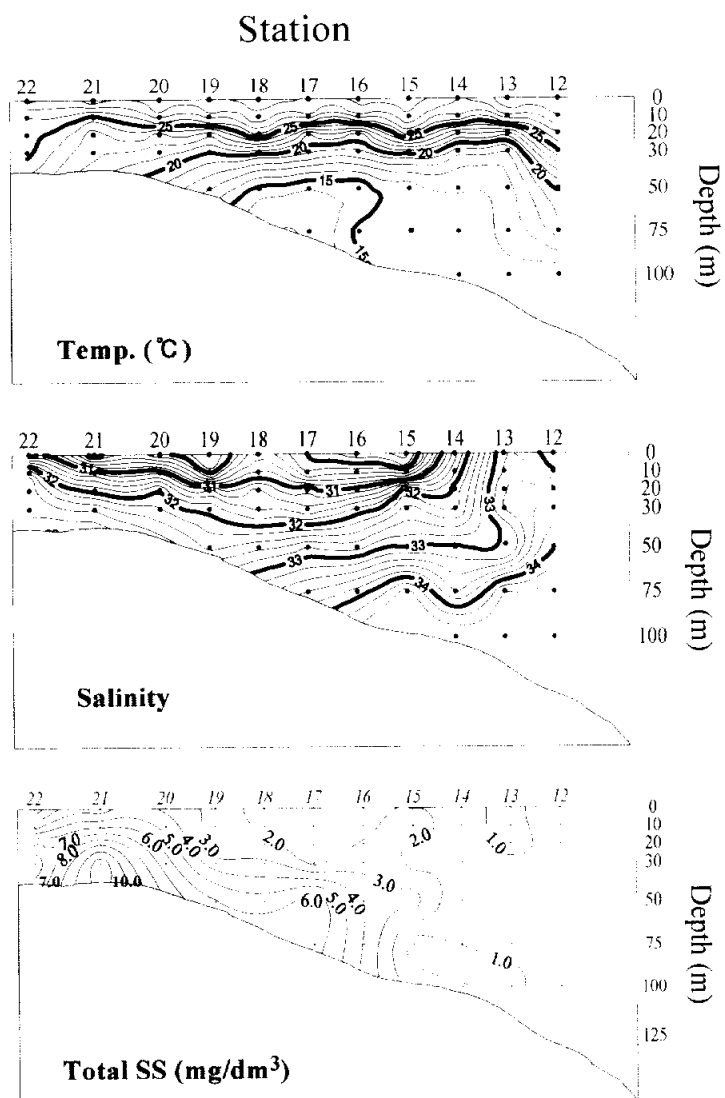


Fig. 3a. Vertical distribution of total suspended sediment(mg/m^3), temperature($^{\circ}\text{C}$) and salinity in the East China Sea(316 line) in August, 2001.

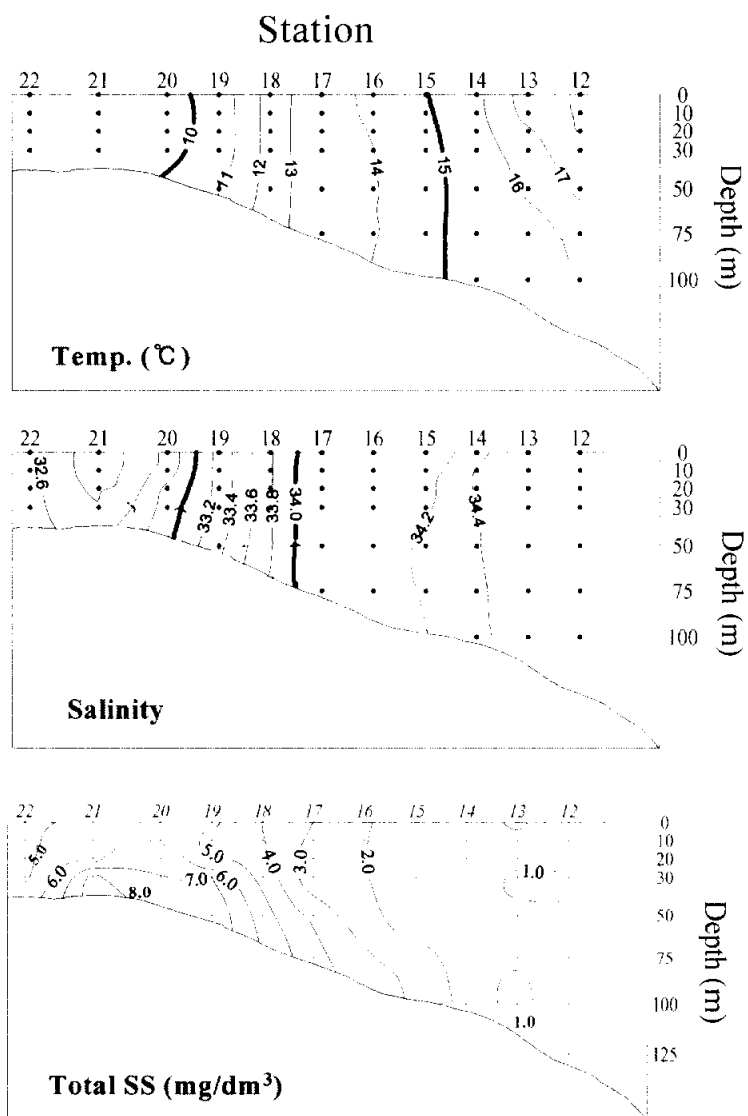


Fig. 3b. Same as figure 3a, except for February, 2002.

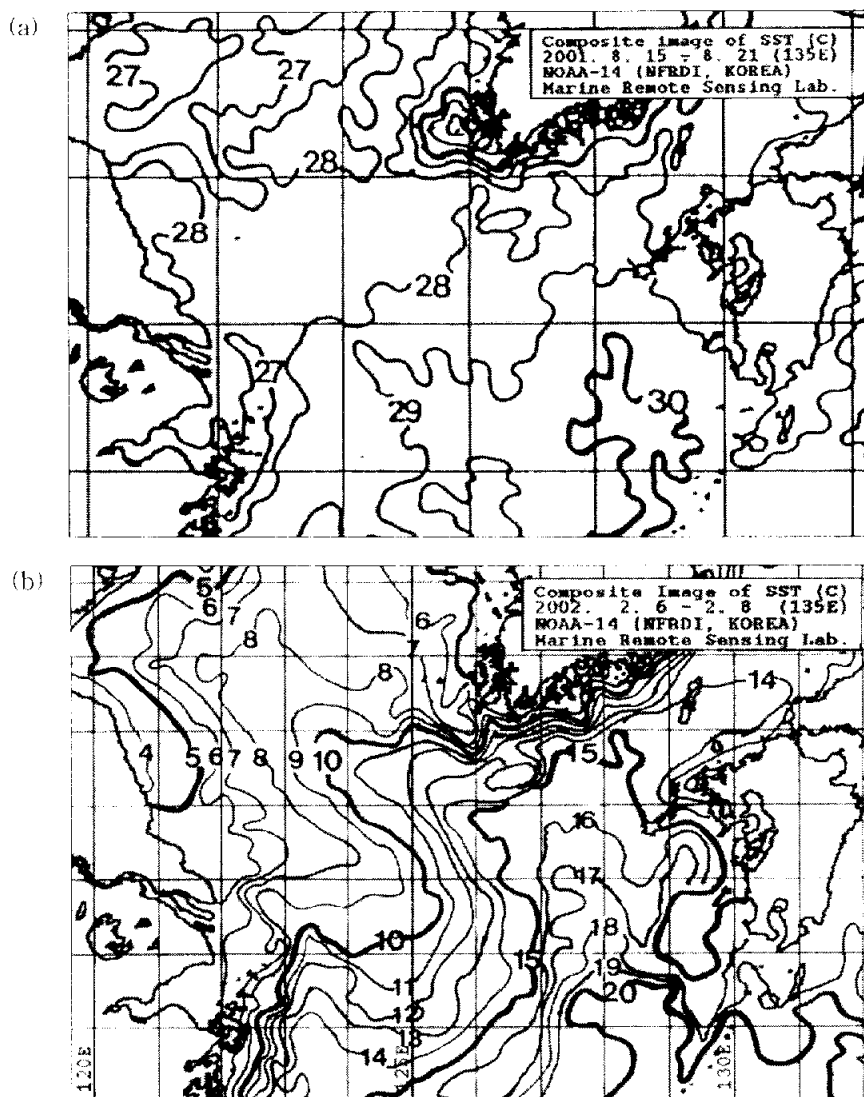


Fig. 4. Horizontal distribution of sea surface temperature derived from NOAA/AVHRR data in (a) August, 2001 and (b) February, 2002.

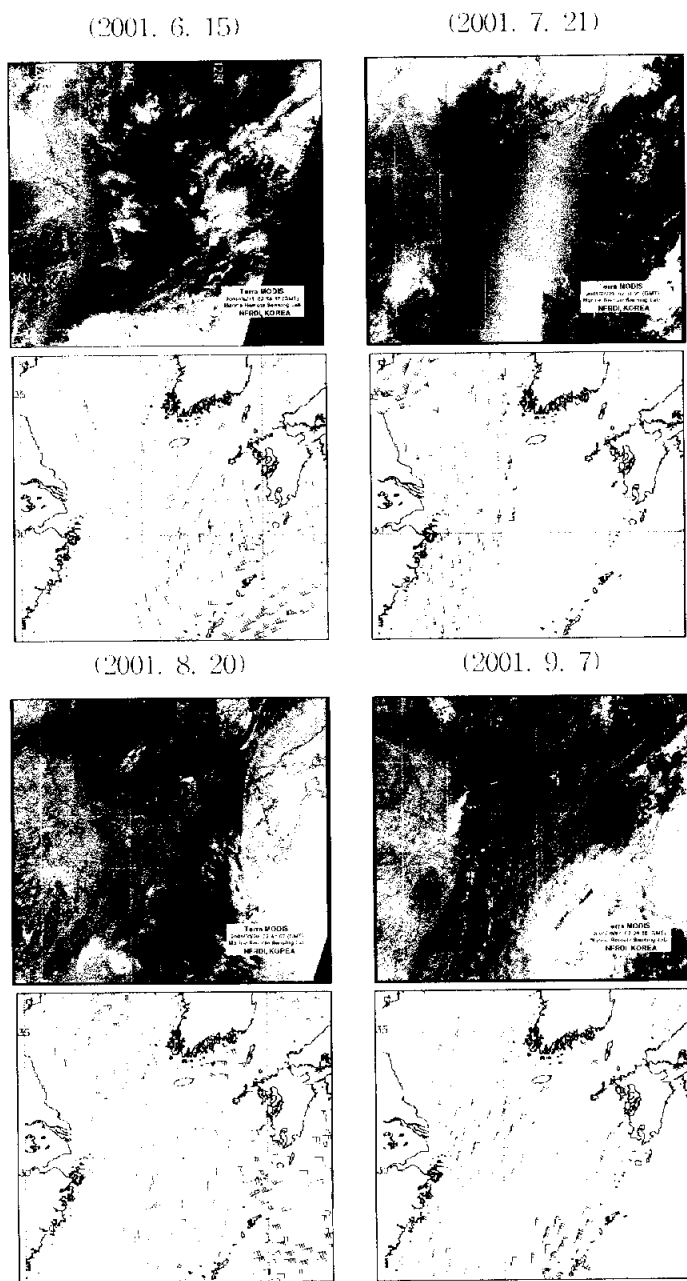


Fig. 5a. Relationship between wind from QuikSCAT and turbid water from MODIS RGB in summer season in 2001.

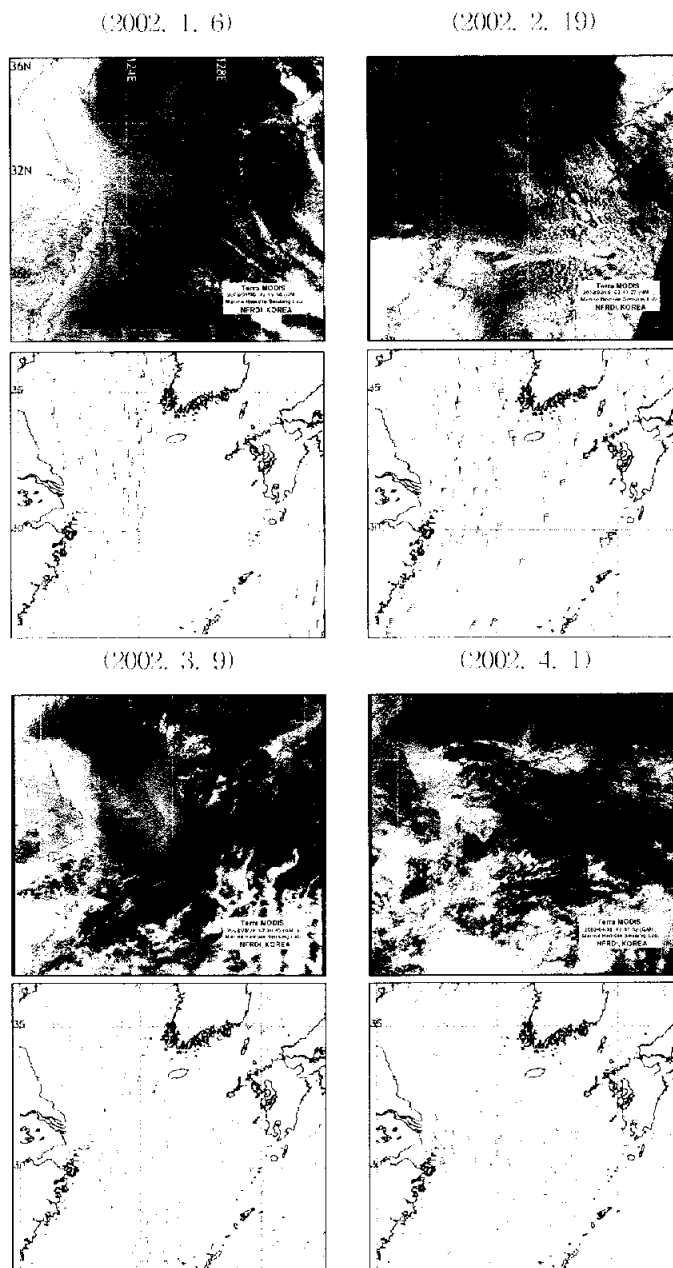


Fig. 5b. Relationship between wind from QuikSCAT and turbid water from MODIS RGB in winter season in 2002.

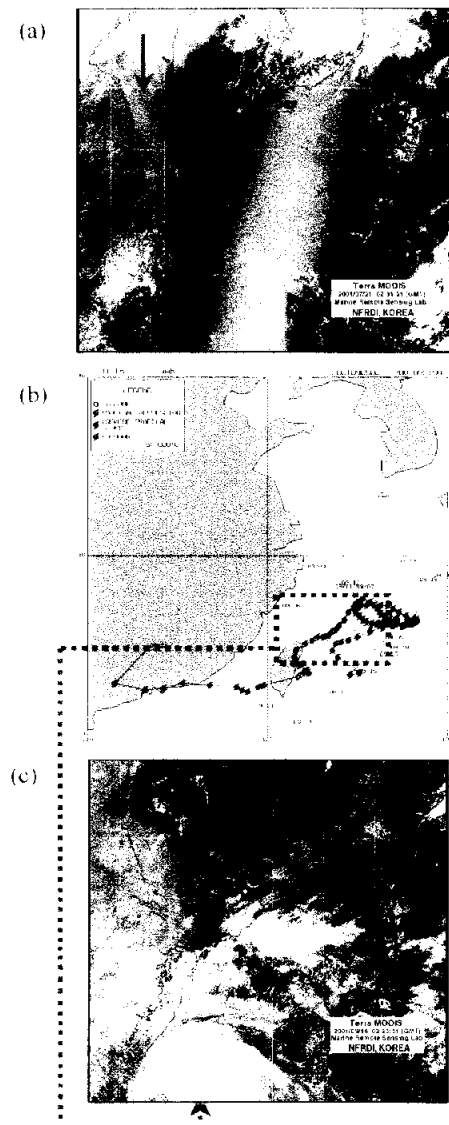


Fig. 6. (a) Normal distribution of the suspended sediments around the waters of the Yangtze river in July, 2001 (b) Path of the typhoon, NARI in September, 2001 (c) Extended distribution of the suspended sediments related to the approaching typhoon, NARI around the waters of the Yangtze river in September, 2001 (Suh et al., 2003).

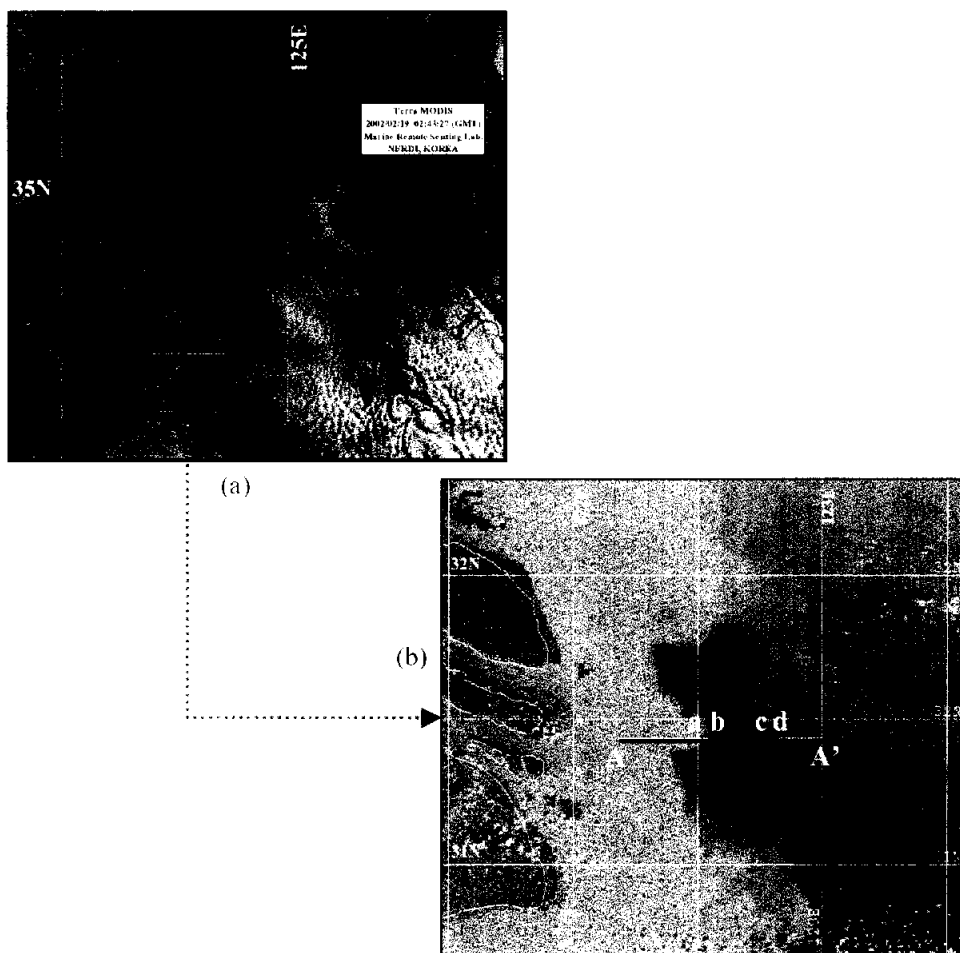


Fig. 7. MODIS RGB digital number derived from the reflected radiances in between clear water and turbid water off the Yangtze river in China

(a) MODIS RGB imagery and iso-depth line in February 19, 2002

(b) Sample line (A-A') for MODIS RGB digital number

(c) Distributions of MODIS RGB digital number in sample line A-A'.

(c)

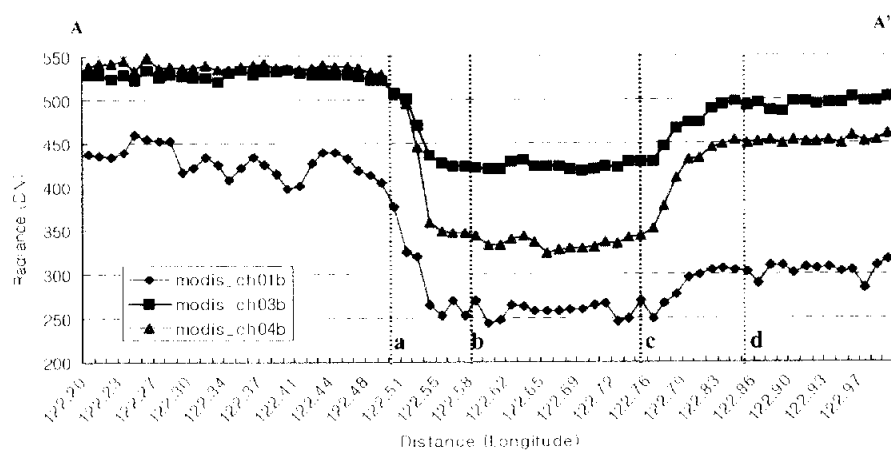
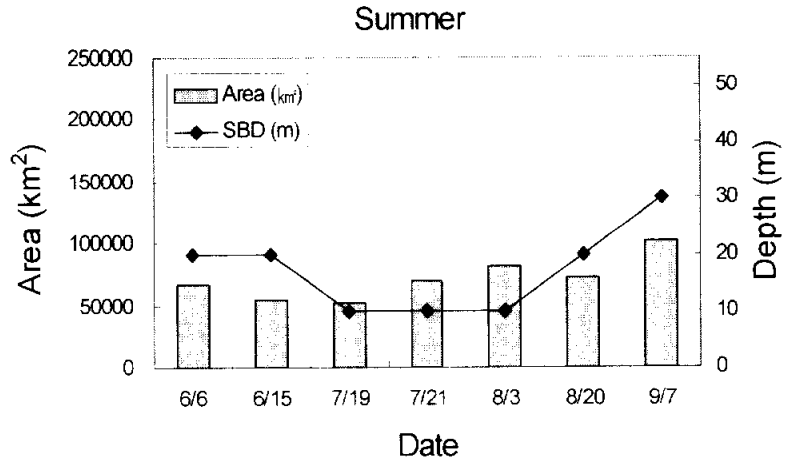


Fig. 7. Continued.

(a)



(b)

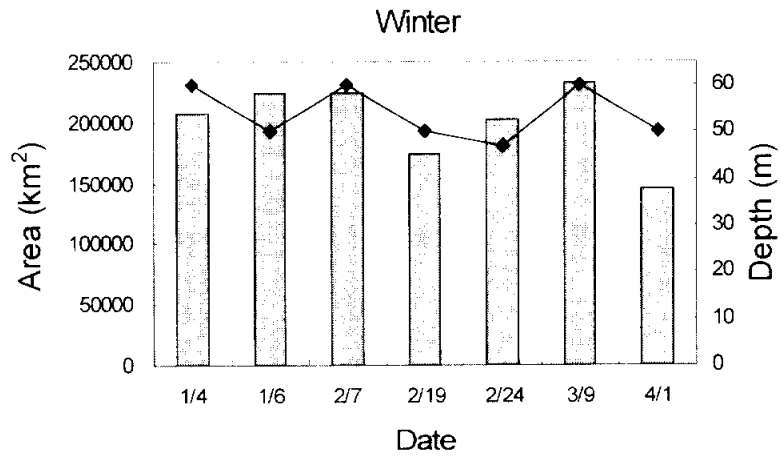


Fig. 8. Relationship between horizontal sea surface areas of turbid water and sea bottom depth(SBD) off the Yangtze river in China in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002. Area(km^2) means Horizontal sea surface areas of turbid water detected by MODIS satellite.

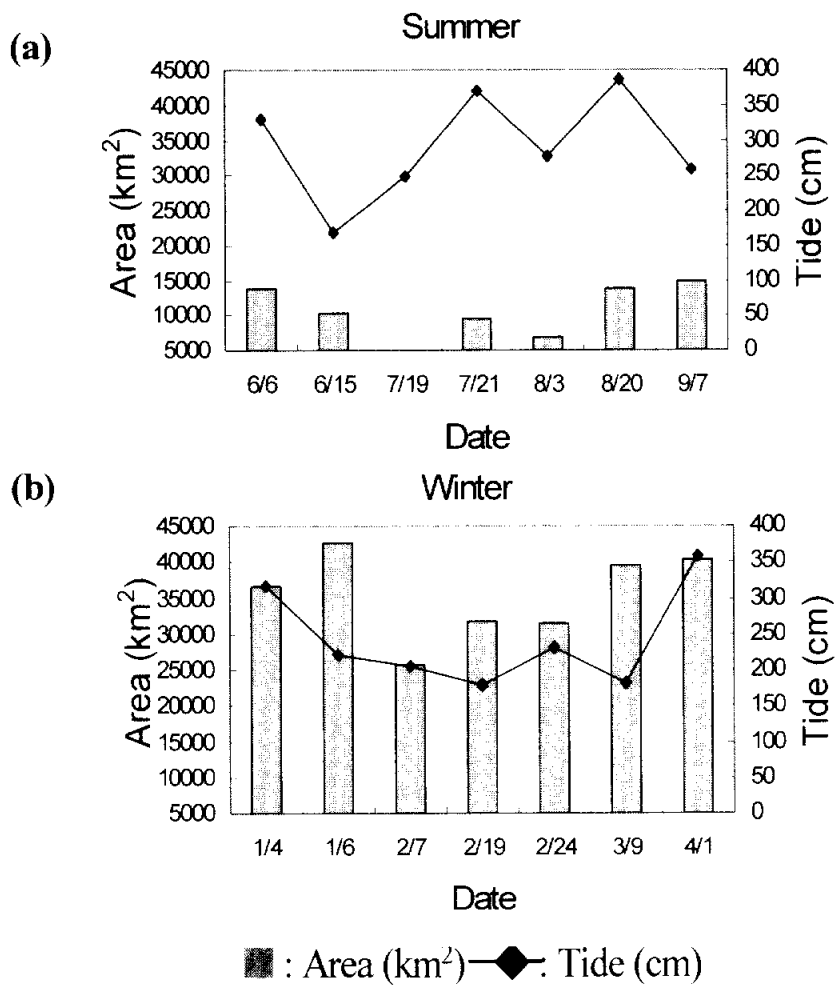


Fig. 9. Relationship between areas of turbid water in the southwestern coast of Korea and tide variation at the Taehuksando in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002.

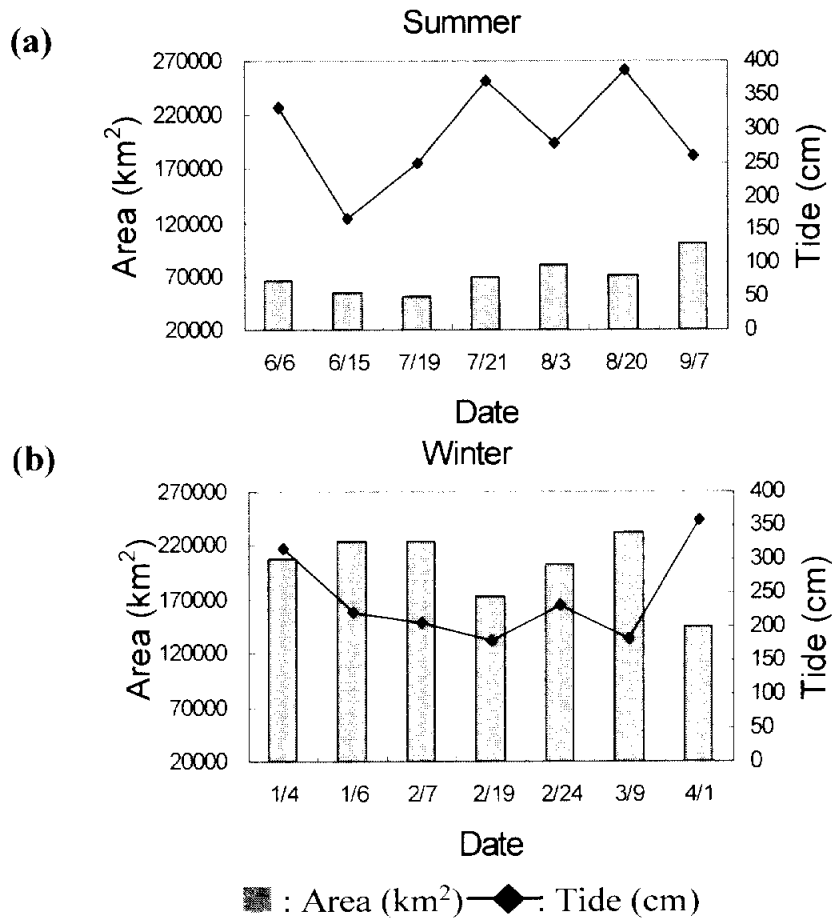


Fig. 10. Relationship between areas of turbid water off the Yangtze river in China and tide variation at the Tachuksando in (a) summer, 2001 and (b) winter, 2002.

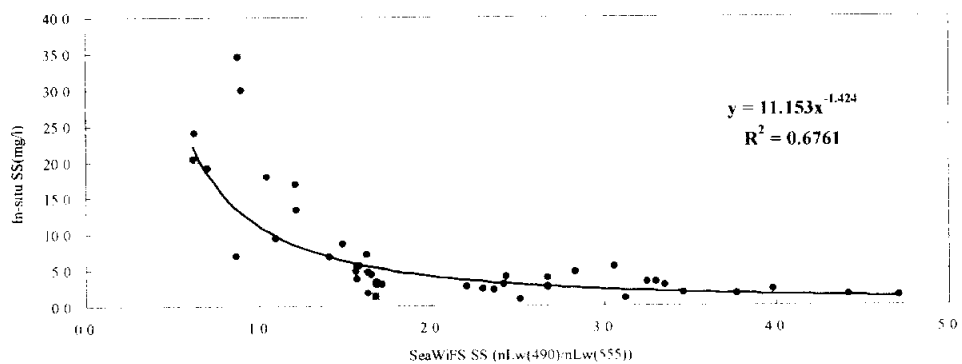


Fig. 11. Relationship between the measured field suspended sediment and the bands ratio (nLw490/nLw555) of SeaWiFS in the South Sea and West Sea of Korean waters.

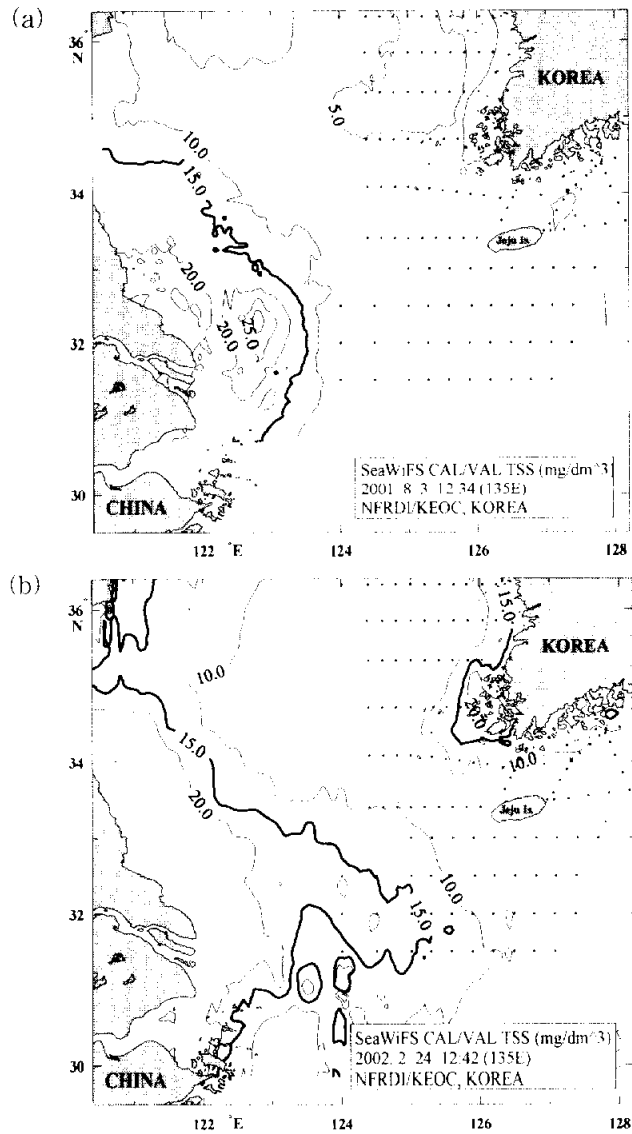


Fig. 12. Distribution of the estimated surface total suspended sediment (TSS) using the formula from the relationships between *in situ* TSS and SeaWiFS band ratio ($nLw490/nLw555$) around the East China Sea in (a) Aug., 2001 and (b) Feb., 2002.

IV. 고 찰

Terra/MODIS 위성자료와 현장관측자료를 이용하여 동중국해 북부 해역에서 탁한 해수의 수평분포에 대한 하계 및 동계의 대규모 공간 변동을 연구한 결과, 수심이 낮은 중국 연안측에 퇴적되었다가 재발생되는 탁수의 수평공간 분포영역은 동계가 하계보다 약 3배 넓고, 그 농도는 동계가 하계보다 2배 높게 나타났다. 또한, 탁수의 수평면적 변동이 동계의 경우 50m, 하계의 경우 10~20m 로 등수심 분포와 일치함을 보였는데 이는 동계의 경우, 해수가 연직적으로 잘 혼합되어 있어 강한 바람의 영향이 50m 수심까지 미치는 것으로 추정되며 하계의 경우는 해수가 강한 성층을 이루고 있으며, 상대적으로 동계에 비해 약한 바람이 불기 때문에 수심 10~20m 정도에 영향을 미치는 결과로 사료된다. 해양조사선 관측으로 중규모 이상의 표층해역에 대한 재부상 부유물질의 분포양상을 정량화하는 것이 최근까지 어려웠으나 본 연구 결과를 기반으로 위성 원격 탐사기법을 활용하면 변동분포 양상을 용이하게 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 본 연구의 결과가 동중국해 북부해역에서 해수광 특성, 기초생산량의 변동, 적조발생 및 춘계 대기황사 발생과의 구별, 어류 분포특성 등에 관련되어 기초과학자료로 활용되기를 기대한다.

V. 요약

본 연구에서는 최근 해양, 대기, 육지환경을 동시에 관측할 수 있는 미국 첨단관측 위성 Terra/MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 자료와 동중국해 북부해역에의 현장 관측치를 이용하여 동중국해에서 탁한 해수의 수평 분포에 대한 동·하계 변동 규모를 정량화하고자 하였다. 국립수산물과학원에서 2001년 6월부터 실시간 직접 수신한 MODIS 위성의 36개 채널 자료 중, 공간해상도가 250m인 채널 1(620~670nm) 및 공간해상도 500m인 채널 4(545~565nm)와 채널 3(459~479nm)을 합성한 RGB(red, green, blue) 디지털 영상자료를 이용하였다. 중국 연안측과 같이 수심이 얇은 동중국해역에서 발생하는 탁수의 수평 공간 분포 영역은 동계의 경우 강한 풍속과 수온약층의 소멸현상 등으로 수평면적이 평균 232,000km²였다. 하계의 경우 비교적 약한 풍속과 강한 수온약층의 존재 등으로 수평면적이 평균 71,000km²로 나타나, 동계 탁수의 수평적 분포 면적이 하계보다 약 3배 커지는 것으로 나타났다. 탁수의 수평면적 변동은 하계의 경우 10~20m 등수심선과, 동계의 경우 50m 등수심과 대략적으로 일치하는 분포를 보였다. 동계는 50m 이천까지의 수심에서 재부상한 부유물질이 해수 표층에서 바람 또는 인류에 의해 외해역으로 수평확산되는 경우에는 탁수가 단지 표층수에 국한되어 분포하는 것으로 추정되었다.

VI. 감사의 글

모자람이 많은 저를 받아주시고, 가르침을 잘 따르지 못했지만 언제나 더 큰 가르침으로 이끌어 주신 김영섭교수님께 정말 감사드립니다. 또한 바쁘신 중에도 보다 나은 논문이 될 수 있도록 지도를 해주신 윤홍주교수님께도 이 지면을 빌려 감사드립니다. 그리고 마냥 놀기 좋아하는 저에게 학문의 기쁨을 알려주셨으며, 더 나은 학문을 위해 꾸중과 격려를 서슴치 않으셨던 서영상연구관님께도 감사를 드립니다.

저에게 하나라도 더 가르치시고자 노력하셨던 최철웅교수님과 보다 좋은 논문이 될 수 있도록 조언을 주셨던 옥곤교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

항상 미소와 따뜻한 말씀을 해주셨던 국립수산과학원 해양연구팀 정희동팀장님, 김학균박사님, 성기탁연구관님, 고우진박사님, 정규귀박사님, 윤원득박사님, 양준용박사님, 김상우박사님, 정미연님께 감사를 드리며 논문이 진행되는 동안 맘을 많이 써주신 장이현박사님과 지친 일과 중에 웃음을 주었던 최진연, 김향임, 김종주, 김용문, 서종완과 마치 친동생 아끼듯이 챙겨주신 호선이 언니에게도 감사를 드립니다. 그리고 부족한 후배를 항상 걱정해주셨던 최우정연구관님과 이용화연구관님, 조언을 구할 때마다 도움을 주셨던 문대연연구관님께도 감사의 마음을 드립니다.

후배라는 이유로 귀찮은 일을 싫은 내색 없이 도와준 고마운 후배 정혜미를 비롯한 위성환경학 실험실원에게 감사를 표하며 바쁘다는 핑계로 연락도 제대로 못한 저를 따뜻하게 대해준 나의 친구들 주미, 유나, 은련, 수점, 수경에게 깊은 감사를 전합니다.

항상 걱정만 끼치는 저에게 누구도 줄 수 없는 큰사랑으로 올바른
길로 인도해주시고 피곤한 몸과 마음을 세상 어디보다도 편하게 쉴 수
있도록 보살피 주신 부모님과 할머니, 그리고 동생 지현이와 동규에게
감사의 마음을 전하며 이 작은 결실을 바칩니다.

사랑합니다. 어머니, 아버지!

VII. 참고문헌

- Ahn, Y.H. 2000. Development of remote sensing reflectance and water leaving radiance models for ocean color remote sensing technique. J. Korean Society of Remote Sensing 16(3):243-260(in Korean).
- Ahn, Y.H. and J.E. Moon. 1998. Specific absorption coefficients for the chlorophyll and suspended sediment in the Yellow and Mediterranean Sea. J. Korean Society of Remote Sensing 14(4):353-365.
- Cai, D., X. Shi, W. Zhou, W. Liu, S. Zhang, Y. Cao and Y. Han. 2001. Sources and transportation of total suspended matter and sediment in the southern Yellow Sea. Proceedings of 2nd China-Korea Symposium on Sedimentary Dynamics and Palaeoenvironmental Changes in the Yellow Sea, pp.9-20.
- Chen, Z., L. Yu and A. Gupta. 2001. The Yangtze River: an introduction. Editorial, Geomorphology 41:73-75.
- Chikuni, S. 1985. The fish resources of the northwest Pacific. FAO Fisheries Technical Paper 266:6-7.
- Choi, B.H., H.M. Eum and S.B. Woo. 2003. A synchronously coupled tide-wave surge model of the Yellow Sea. Coastal Engineering 47:381-398.

- Choi, Y.K. and J.N. Kwon. 1998. Seasonal variation of transparency in the southeastern Yellow Sea. *Journal of Korean Fisheries Society* 31(3):323-329.
- Froidefond, J.M., L. Gardel, D. Guiral, M. Parra and J.F. TERNON. 2002. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. *Remote Sensing of Environment* 80:225-232.
- Hung, J.J., C.S. Lin, G.W. Hung and Y.C. Chung. 1999. Lateral transport of lithogenic particles from the continental margin of the southern East China Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49:483-499.
- Jing, L. and P.V. Ridd, 1996. Wave-current bottom shear stresses and sediment resuspension in Cleveland Bay, Australia. *Coastal Engineering* 29:169-186.
- Kazuaki, H., Y. Saito, Q. Zhao and P. Wang. 2002. Architecture and evolution of the tide-dominated Changjiang(Yangtze) River delta, China. *Sedimentary Geology* 146:249-264.
- Lee, H.H. 1983. A study on the Karman vortex street among the wake of Jeju Island. *Korean Journal of the Atmospheric Sciences* 19(2):2001-2019(in Korean).
- Lee, H.J., K.T. Jung, J.K. So and J.Y. Chung. 2002. A three dimensional mixed finite difference Galerkin function model for the oceanic circulation in the Yellow Sea and the East China

- Sea in the presence of M2 tide. *Continental Shelf Research* 22:67-91.
- Liu, Z., D. Xia, S. Berne, K. Wang, T. Marsset, Y. Tang and J.F. Bourillet. 1998. Tidal deposition systems of China's continental shelf, with special reference of the eastern Bohai Sea. *Marine Geology* 145:225-253.
- Liu, Z. 1997. Yangtze Shoal-a modern tidal sand sheet in the northwestern part of the East China Sea. *Marine Geology* 137:321-330.
- NFRDI. 2002. Annual report of oceanographic observations for 2001. Vol.50(in Korean).
- NFRDI. 2003. Annual report of oceanographic observations for 2002. Vol.51(in Korean).
- Powell, T.M., J.E. Cloern and L.M. Huzzey. 1989. Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay(U.S.A.): Horizontal distributions of salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 28:583-597.
- Ruhl, C.A., D.H., Schoellhamer, R.P. Stumpf and C.L. Lindsay. 2001. Combined use of remote sensing and continuous monitoring to analyse the variability of suspended sediment concentrations in San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 53:801-812.

- Sanford, L.P. 1994. Wave-forced resuspension of upper Chesapeake Bay muds. *Estuaries* 17:148-165.
- Schoellhamer, D.H. 1995. Sediment resuspension mechanism in Old Tampa Bay, Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40:603-620.
- Schoellhamer, D.H. 1996. Factors affecting suspended solids concentration in South San Francisco Bay, California. *Journal of Geophysical Research* 101(C5):12087-12095.
- SeaSpace, 2001. Terascan X-Band Software Training(MODIS and OCM). SeaSpace Corporation. 60pp.
- Suh, Y.S., B.G. Mitchell, L.H. Jang, S.G. Lee and S.J. Yoo. 2001. Calibration and validation of ocean color satellite imagery. *J. of the Korean Environmental Sciences Society* 10(6):431-436(in Korean).
- 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. *Journal of the Environmental Sciences* 9(3):215-221(in Korean).
- Suh, Y.S., J.Y. Gu, J.D. Hwang, N.K. Lee, B.K. Kim, L.H. Jang, Y.Q. Kang, D.I. Lee. 2003. Abnormal-oceanic conditions around the Korean peninsula caused by typhoons. *J. Korean Fisheries Science and Technology* 36(4):417-429(in Korean).

- Suh, Y.S., N.K. Lee, L.H. Jang, J.D. Hwang, S.J. Yoo and H.S. Lim, 2002a. Characteristic response of the OSMI bands to estimate chlorophyll a. J. Korean Society of Remote Sensing 18(4):187-199(in Korean).
- Suh, Y.S., L.H. Jang, B.G. Mitchell, M. Kahru, K. Prasad and H.Y. Shin. 2002b. Study on the Korean waters using the CAL/VAL of the OSMI level 2 data. J. Korean Society of Remote Sensing 18(3):127-139.