

碩士學位論文

위성자료를 이용한 제주도 서부 해역의
표층수온, chlorophyll 농도, 탁도
분포특성 연구



濟州大學校 大學院
海洋學科

文 晶 彥

2001年 12月

위성자료를 이용한 제주도 서부 해역의 표층수온, chlorophyll 농도, 탁도 분포특성 연구

指導教授 方益燦

文晶彦

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

2001年 12月



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

文晶彦의 理學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 垞 佰 (인)

委 員 安 由 煥 (인)

委 員 方 益 燦 (인)

濟州大學校 大學院

2001年 12月

Satellite studies of the distribution of sea surface
temperature, chlorophyll concentration and turbidity in
the Western sea off Cheju Island

Jeong-Eon Moon
(Supervised by professor Ig-Chan Pang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Science.

December 2001

 This thesis has been examined and approved.
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Joon-Baek Lee

Professor, Department of Oceanography
Cheju National University

Yu-Hwan Ahn

Principal Research Scientist Ph.D.
Korea Ocean Research and Development Institute

Ig-Chan Pang

Professor, Department of Oceanography
Cheju National University

December 2001

Department of Oceanography
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of figures	i
List of tables	iii
Abstract	iv
I. 서 론	1
II. 본 연구에 사용된 자료	4
1. SeaWiFS data	4
(1) 위성의 궤도정보 및 센서의 주요제원	4
(2) 자료의 수신 및 형태	5
(3) 연구에 사용된 자료의 형태	10
2. AVHRR data	13
(1) 위성의 궤도정보 및 센서의 주요제원	13
(2) 자료의 수신 및 형태	14
(3) 연구에 사용된 자료의 형태	15
3. Wind data	16
4. 위성영상 분석 해석	17
III. 분석방법	18
1. SeaWiFS data	18
(1) Atmospheric correction	18
(2) Chlorophyll algorithm	26
(3) Turbidity algorithm	27
2. AVHRR data	28

(1) MCSST algorithm	28
IV. 결 과	31
1. 표층수온(SST, Sea Surface Temperature)	31
(1) 1998년	31
(2) 1999년	34
(3) 2000년	36
2. 부유물 농도(turbidity)	39
(1) 1998년	39
(2) 1999년	47
(3) 2000년	51
3. Chlorophyll 농도	57
(1) 1998년	57
(2) 1999년	60
(3) 2000년	62
V. 토의 및 결론	65
◆ 참고문헌	67
◆ 요 약	72
◆ 감사의 글	74



List of figures

Fig. 1. Orientation of the orbital plane of a sun-synchronous satellite with respect to the sun and the stars; view is from above the earth's north pole P_N (Maul, 1985).	4
Fig. 2. The OrbView-2(formerly "SeaStar") satellite with its solar panels deployed.	6
Fig. 3. Schematic of the SeaWiFS scanner assembly which scans from west of east.	6
Fig. 4. The area institute for analysis of satellite images	17
Fig. 5. In this figure, several different light pathways in the atmosphere are illustrated:	19
Fig. 6. solar zenith angle(θ_0).	20
Fig. 7. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by NOAA Satellite.	32
Fig. 8. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 1999 by NOAA Satellite.	35
Fig. 9. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 2000 by NOAA Satellite.	37
Fig. 10. Topography of the western sea of Cheju Island.	40
Fig. 11. Distributions of the mixing parameter, $\log H/U_s^3$, around Cheju Island(from Kim and Lee, 1982).	42
Fig. 12. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.	43
Fig. 13. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 1998 by Korea	

Meteorological Administration.	45
Fig. 14. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 1999 by SeaWiFS Satellite.	48
Fig. 15. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 1999 by Korea Meteorological Administration.	49
Fig. 16. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 2000 by SeaWiFS Satellite.	53
Fig. 17. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 2000 by Korea Meteorological Administration.	55
Fig. 18. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.	58
Fig. 19. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.	61
Fig. 20. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.	63

List of tables

Table 1. Nominal orbit parameters for the OrbView-2 satellite & Nominal operating and radiometric parameters for SeaWiFS.	7
Table 2. The suffix describes the actual data type.	11
Table 3. Nominal orbit parameters for the NOAA-12 and NOAA-14 satellite.	13
Table 4. Nominal operating and radiometric parameters for AVHRR.	14
Table 5. NOAA SST algorithm formula for TeraScan Software.	29
Table 6. Constant values for NOAA SST algorithm formula.	29



Abstract

Satellite studies of the distribution of sea surface temperature, chlorophyll concentration and turbidity in the Western sea off Cheju Island

Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) infrared data and visible Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) data from 1998-2000 were used to analyze the distribution of Sea Surface Temperature (SST), chlorophyll concentration, and turbidity in areas off Cheju Islands where coastal upwelling and tidal mixing are reported to occur (Pang and Kim, 1993; Kang *et al.*, 1996; Kim and Lee, 1982).

SST is calculated with NOAA's Multi Channel Sea Surface Temperature (MCSST) algorithm. Chlorophyll concentration is computed using the NASA operational algorithm. Turbidity data is assessed with an algorithm introduced by Ahn *et al.* in 2001. Besides the satellite imagery, wind data collected 80m above the ground at a meteorological station located in the Gosan area of Cheju Island is analyzed.

The results of this investigation indicate that from December to April, the SST temperatures are homogeneous in the western coastal sea area of Cheju Island and in offshore waters. From May-November colder temperatures are observed in coastal areas than in offshore areas.

Turbidity and chlorophyll concentration are higher in the offshore areas in comparison to the coastal areas off Cheju Island from January to

March. The pattern reverses from April to December and the colder waters are observed in the coastal areas. The colder temperature and increased turbidity observed during this time maybe the result of coastal upwelling induced by stronger northerly winds and/or local tidal mixing. Continental shelf coastal water from the Chinese coast, displaced to the Korean coast by wind and circulation patterns, may also play an important role in the turbidity patterns observed during this time.



I. 서론

인공위성을 이용한 해양관측(위성해양원격탐사)은 선박이나 부이를 이용하는 관측에 비하여 넓은 해역을 단시간에 관측할 수 있는 동시성과 접근하기 어려운 해역에 대한 지속적인 관측이 용이한 장점을 지니고 있다. 이러한 해양원격탐사에는 사용하는 밴드에 따라 가시영역을 이용하는 해색 원격탐사(Ocean Color Remote Sensing)와 적외선 영역을 이용하는 적외선 원격탐사(Infrared Radiation Remote Sensing), 마이크로웨이브를 이용한 마이크로웨이브 원격탐사(Microwave Remote Sensing)등으로 구분할 수 있다.

특히, 해색 원격탐사와 적외선 원격탐사는 해양환경을 모니터링하고 연구하는데 있어서 주로 많이 사용되는 원격탐사방법들이다. 해색 원격탐사는 인공위성을 통해서 해양에 조사된 가시광(visible light)이 수피에 의해서 반사되어 나오는 광을 이용하여 해수를 분석하는 기술로서, 가시영역을 이용하기 때문에 해수 색깔의 변화와 밀접한 관련이 있다. 주로 사용하는 밴드는 blue(412 - 444 nm), green(510 - 555 nm), yellow(650 - 670 nm), red(765 nm) 밴드이다. 대표적인 센서로는 1997년 8월 미국 OrbView-2 위성의 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor)와 1999년 12월 우리나라 KOMPSAT(Korea Multi-Purpose Satellite) 위성의 OSMI(Ocean Scanning Multi-spectral Imager) 등이 있다. 주로 생산해 내는 자료들은 chlorophyll 농도, 부유물 농도(turbidity), 해수중 용해유기물(Dissolved Organic matter, DOM) 등이 있으나 DOM의 경우, 아직 분석기법이 개발되지 않고 있다. 그 외 해수의 광학적 특성을 분석할 수 있다.

적외선 원격탐사는 해수 표면에서 방사되어 나오는 원 적외선을 이용하여 해수표면의 온도를 분석하는 기술이다. 주로 사용하는 파장대는 3 - 12 μ m의 적외선 영역 밴드이며, NOAA 위성 시리즈의 AVHRR(Advanced Very-High Resolution Radiometer) 센서가 대표적인 적외선 센서이다. 주로 생산해 내

는 자료는 해양의 표층수온(Sea Surface Temperature, SST) 등이 있다.

이와 같이, 위성해양원격탐사를 통해서 얻은 위성영상자료들을 이용하여 우리나라 주변 해역의 해양학적 특성을 연구한 논문들이 몇 편 있지만(Suh *et al.*, 1996; 박경애, 1996; 손승현, 1998; 서영상, 2001), 대부분 동해 및 황해에 국한되어 있다. 특히 제주도 주변 해역에 대한 위성자료를 이용한 해양학적 특성들을 연구한 논문은 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 첨단해양관측기술인 위성원격탐사기술을 이용하여 제주도 주변 해역의 해양학적 특성을 연구해 보고자 한다.

제주도 주변 해역들 중에서 서부 해역은 대마난류에서 분기하여 황해로 유입되는 황해난류수와 황해중부에서 생성되어 남하하는 황해저층냉수의 길목일 뿐만 아니라, 여름철 양자강연안수의 영향을 받는 해역으로서 해양학적으로 매우 중요한 해역이다(현경훈, 1996; 이흥재 등, 1998; 조철호 등, 1998; 한국해양연구소 등, 1998; 이흥재 등, 1999; Lie *et al.*, 2000). 또한 제주도 서부 연안해역에서는 연안 용승(upwelling)과 조석혼합(tidal mixing) 등이 발생하는 해역으로 알려져 있다. Kim and Lee(1982)는 제주도 서부 해역을 통과하는 해류가 제주도를 오른쪽에 끼고 시계방향으로 선회함으로서 제주도 서부 연안해역에서 조석혼합 및 연안용승이 발생한다고 하였다. 방과 김(1993)은 바람 및 물리학적 인자를 이용하여 연구한 결과, 제주도 서부 연안해역의 용승은 해류가 등수심선을 따라 흐르면서 발생하는 상층용승과 하층침강으로 이루어진 용승형태이며 겨울철과 여름철에 뚜렷하지 않지만 연중 용승이 발생한다고 하였다. 강 등(1996)은 물리화학적 인자를 이용하여 연구한 결과, 제주도 서부 해역의 연안용승이 6월 - 11월 동안에 뚜렷하게 발생한다고 하였으며, 이때 상층은 용승, 하층은 침강의 형태를 이루는 상하분산형용승형태라고 하였다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 연구결과를 토대로 제주도 주변 해역들 중에서 서부해역에 대한 위성자료들(표층수온, chlorophyll 농도, 부유물 농도)의

분포도를 월별로 분석하여 연안용승과 조석혼합 현상이 발생함을 위성영상자료로 규명하고, 제주도 서부 연안해역과 그 바깥해역과의 상대적인 해양환경 분포특성을 분석·연구하였다.



II. 본 연구에 사용된 자료

1. SeaWiFS data

(1) 위성의 궤도정보 및 센서의 주요제원

OrbView-2 위성의 궤도 형태는 태양동기형(sun synchronous) 즉, 위성의 궤도면이 태양에 대하여 언제나 같은 면이 유지되도록 위성이 지구주위를 도는 궤도 형태이다(Fig. 1).

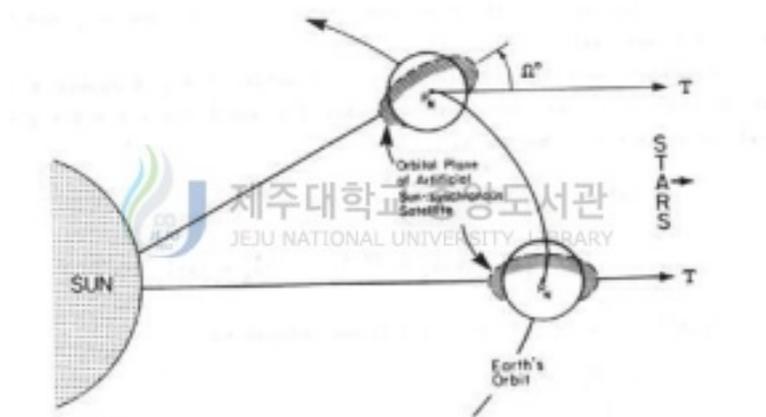


Fig. 1. Orientation of the orbital plane of a sun-synchronous satellite with respect to the sun and the stars; view is from above the earth's north pole P_N (Maul, 1985).

특징으로는 위성이 적도를 통과하는 지점에서의 시각이 그때의 지역시각을 기준으로 항상 같고, 위성궤도의 기울기가 약 90° 정도일 경우에는 극을 포함하여 지구 전체를 관측할 수 있는 위성이 된다. 위성이 궤도를 따라 남반구에서 북반구를 통과하면서 적도면과 만나는 점을 ascending node라 하며, 그 반대인 점을 descending node라고 한다. OrbView-2 위성의 ascending node는 자정 ± 20 분, descending node는 정오 ± 20 분이다. 지구 표면에서 위성까

지의 수직거리를 고도, 위성의 궤도면과 지구 적도면이 이루는 각을 궤도 기울기, 위성이 지구를 한바퀴 도는데 걸리는 시간을 주기라 하며, OrbView-2 위성의 고도, 기울기, 주기는 각각 705 km, 98.217°, 98.9분이다(Table 1).

SeaWiFS는 OrbView-2 위성에 탑재된 단일 해석 분광 센서 (spectroradiometer)로 지구 해수표면의 90 % 정도를 매일 두 번씩 관측하고 있으며(Fig. 2, 3), 가시광 영역의 특정 파장대를 사용하여 해수로부터 반사되어 나오는 radiance를 측정하는 광학기기를 의미한다. SeaWiFS의 band는 6 개의 visible band와 2개의 NIR(near infrared) band를 가지고 있으며, visible band인 경우 band width가 20 nm, 각 band의 중심파장은 412, 443, 490, 510, 555, 670 nm이고, NIR band는 40 nm의 band width를 갖고 있으며, 각 band의 중심파장은 765, 865 nm이다. SeaWiFS에서 해수 표면의 chlorophyll 농도를 분석하기 위해서는 2, 3, 4, 5번 band, 해수 부유물 농도를 분석하기 위해서는 5번 band(Ahn *et al.*, 2001), 대기 보정을 위해서는 6, 7, 8번 band를 주로 이용한다(Table 1).

(2) 자료의 수신 및 형태

SeaWiFS의 여러 band들을 통해 관측된 ocean color data들은 지상에 설치된 위성 수신소 즉, NASA의 GSFC와 세계 각지에 설치된 HRPT 수신소에서 자료를 수신한 다음, SeaDAS 및 Terascan Software를 사용하여 수신한 자료를 처리하게 된다. GSFC(Goddard Space Flight Center)는 NASA의 위성자료 수신 및 처리를 담당하는 곳이다. HRPT(High Resolution Picture Transmission)는 지역별 고해상도 위성수신소를 의미한다. 한국해양연구원 역시 한반도 주변해역에 대한 SeaWiFS의 실시간 자료를 수신하고 자료처리를 한 다음, NASA의 GSFC로 처리한 자료를 보내주는 전 세계에 많은 HRPT Station 중 하나의 수신소이다. 각 지역에 설치된 HRPT 수신소는 각

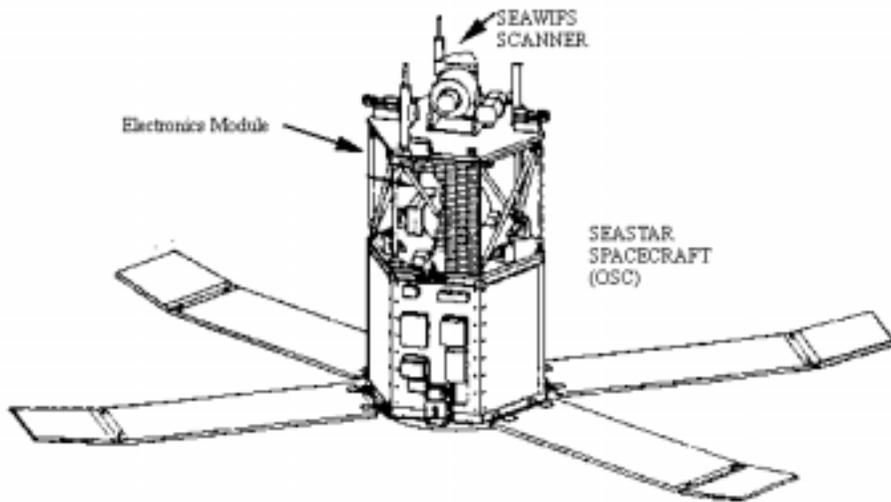


Fig. 2. The OrbView-2(formerly "SeaStar") satellite with its solar panels deployed.

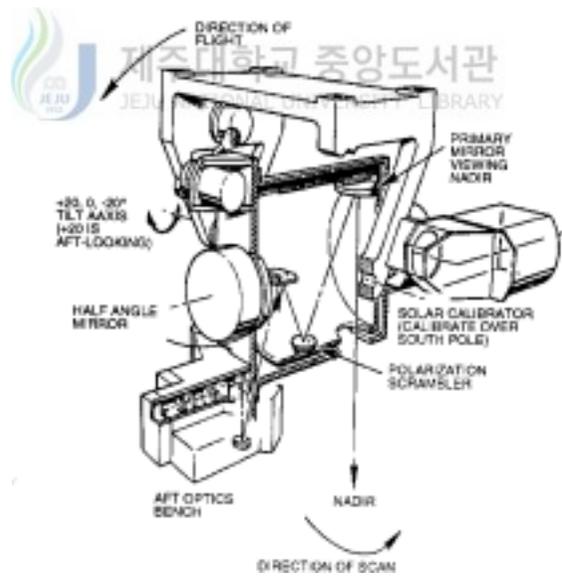


Fig. 3. Schematic of the SeaWiFS scanner assembly which scans from west of east.

Normal orbit parameters for the OrbView-2 satellite			
Orbit Type		Sun Synchronous	
Equator Crossing		Noon \pm 20 minutes, descending node	
Altitude		705 km	
Inclination		98.217°	
Period		98.9 minutes	
Normal operating parameters for SeaWiFS			
Scan Width		58.3°(LAC), 45.0°(GAC)	
Scan Coverage		2,800 km(LAC), 1,500 km(GAC)	
Pixels per Scan Line		1,285(LAC), 248(GAC)	
Spatial Resolution		1.1 km(LAC), 4.5 km(GAC)	
Scan Rate		6 scan lines/sec	
Scan Direction		West to East	
Tilt Capability		-20°, 0°, +20°	
Revisit Time		1 day	
Real-Time Data Rate		665 kbps	
Digitization (per pixel)		10 bits	
Normal radiometric parameters for SeaWiFS			
Band	Wavelength range (nm)	Center wavelength (nm)	Primary Use
1	402 ~ 422	412 (violet)	Gelbstoffe
2	433 ~ 453	443 (blue)	Chlorophyll absorption
3	480 ~ 500	490 (blue-green)	Pigment absorption(Case - II), K(490)
4	500 ~ 520	510 (blue-green)	Chlorophyll absorption
5	545 ~ 565	555 (green)	Pigments, Optical properties, Sediments
6	660 ~ 680	670 (red)	Atmospheric correction (CZCS heritage)
7	745 ~ 785	765 (near IR)	Atmospheric correction, Aerosol radiance
8	845 ~ 885	865 (near IR)	Atmospheric correction, Aerosol radiance

Table 1. Nominal orbit parameters for the OrbView-2 satellite & Nominal operating and radiometric parameters for SeaWiFS. LAC stands for Local Area Coverage and GAC stands for Global Area Coverage. Bands 1-6 have 20 nm bandwidth and bands 7 & 8 have 40 nm bandwidth. Gelbstoffe(German for "yellow substance") describes amorphous, high molecular weight organic matter with a somewhat polymeric nature. It absorbs strongly in the blue region of the spectrum. Case-I and Case-II refer to different water types defined by optical characteristics. Case-I water is clear, open-ocean water, and Case-II is generally coastal, higher productivity, turbid water. K(490) is the diffuse attenuation coefficient at 490 nm, a measure of optical clarity.

각 고유의 code name을 가지고 있어서 NASA에서는 그 code name를 가지고 자료를 구분, 사용자가 원하는 지역에 대한 자료를 이용하는데 불편함이 없도록 SeaWiFS 웹사이트(<http://seawifs.gsfc.nasa.gov>)를 통해서 자료를 제공하고 있다. 국내에 설치된 HRPT 수신소는 경기도 안산에 위치한 한국해양연구원으로써, 그 code name은 'HKOR'이다. 여기서, 'H'는 HRPT 수신소를 의미하는 것이고, 'KOR'는 한국해양연구원을 가리킨다.

SeaWiFS 자료는 해상도 및 관측범위에 따라서 LAC(Local Area Coverage)와 GAC(Global Area Coverage) 두 가지 형태가 있다. LAC 자료는 공간 해상도가 1.1 km로써, 특정 지역(예를 들어, 한반도 주변 해역)의 고 해상도 자료이고, GAC는 약 4 km의 공간 해상도를 갖고 있으며, 주로 넓은 지역 즉, 전 세계 해양을 분석하고자 할 때 이용된다.

SeaWiFS 자료를 일반적인 원격탐사 정의에 의해서 구분하면, Level-0(L0), Level-1A(L1A), Level-2(L2), Level-3(L3) 자료로 나누어질 수 있다. Level-0 자료는 Data Capture Facility(DCF)에서 개발한 10-bit Frame Formatter(FF) file 형태의 자료형식으로써, SeaWiFS가 수신한 지구 표면의 단순 digital 값들을 저장한 파일이다. 지상수신소에서 수신한 맨 처음 자료가 여기에 해당된다. Level-1A 자료는 Level-0로부터 광신호의 크기인 radiance로 변환된 자료이고, Level-0에서 전환된 HDF file format이다. 이 자료에는 Level-0에 포함되었던 모든 자료정보와 함께 위치정보, radiance 교정을 위한 calibration과 지형보정 계수 등을 추가로 포함하고 있다. HDF(Hierarchical Data Format)란 미국 일리노이즈대학의 NCSA(National Center for Supercomputing Applications)에서 여러 종류의 자료군들을 익히 잘 알려져 있는 data format형태로 전환하는데 소요되는 시간을 줄이고 보다 많은 시간을 그 자료의 분석에 이용할 수 있도록 하기 위해서 개발한 multi-object file format으로써, 다양한 형태의 scientific data들(예를 들어, 위성영상자료, 위치자료, 등)을 물리적으로 하나의 파일로 저장한다. Level-2

자료는 sensor calibration, 대기 보정, 및 다양한 bio-optical algorithm들을 Level-1A 자료에 적용하여 얻은 분석된 자료의 결과로써, 역시 마찬가지로 HDF file 형식을 취하고 있다. 이 자료에는 chlorophyll 농도, 부유물 농도 등의 해양학적 자료와 각 band별 광학적 자료들, 예를 들어, normalized water leaving radiance(L_{wN}), water leaving radiance(L_w) 등이 포함되어 있다. Level-3 자료는 일, 주, 월, 년 단위로 grid cell들을 통계적으로 모아서 9 km × 9 km grid square(binned product) 또는 0.09°× 0.09°square(standard mapped image product)로 이루어진 global gridded data이다. binned product는 HDF file이고, standard mapped image(SMI) product는 하나의 global image이다.

일반적으로 SeaWiFS file name은 다음과 같은 형식을 갖는다.

Syyyyydddhmmss.<suffix>

S는 SeaWiFS를 나타내고, yyyy는 그리니치 표준시에 의거한 년도를 나타내며, ddd는 그 년도에 대한 일수, 즉 Julian calendar이고, hmmmss는 시, 분, 초로써 첫 번째 scan line이 시작한 시간을 나타낸다. suffix에는 그 자료의 유형을 나타내는 단어들(Table 2). 예를 들어, 우리나라에서는 한국해양연구원에서 SeaWiFS 수신을 허가받았기 때문에 고유의 코드명 “HKOR”이 부여되어있다. 그러면 한국해양연구원에서 2000년 5월 2일날 수신한 Level-1A 자료에 대한 파일명은 다음과 같다.

S2000123041435.L1A_HKOR

(3) 연구에 사용된 자료의 형태

본 연구에 사용된 SeaWiFS 자료는 1998년 1월부터 2000년 12월까지 한국 해양연구원에서 수신한 자료들 중에서 연구해역인 제주도 서부 연안해역 및 바깥해역이 구름이 없고 아주 맑은 기상상태였을 때의 자료들을 선택하였는데, 이것은 연구해역에 구름 및 에어로졸에 의해서 대기상태가 나쁠 경우, 이들의 영향에 의해서 관측해역의 radiance 값들을 정확히 측정할 수 없기 때문에 해양환경을 정확하게 분석할 수 없게 된다. 따라서 대기상태가 매우 양호한 Level-0 자료를 매월 최소 한 개씩 선정토록 하였으며, 총 57개의 SeaWiFS Level-2 자료로 분석하여 본 연구에 이용하였다. 그 중에서 1998년 1월, 3월, 6월, 9월, 10월, 1999년 7월, 8월, 10월, 그리고 2000년 1월은 위의 조건에 부합하지 못하였기 때문에 제외하였다.



Data type	Suffix	Description
Level 1A data (L1A)	L1A_GAC	Level 1A GAC data
	L1A_LAC	Level 1A LAC data
	L1A_SOL	Solar calibration data
	L1A_LUN	Lunar calibration data
	L1A_TDI	Time delay and integration(TDI) check
	L1A_IGC	Intergain calibration chak
	L1A_BRS	Level 1A browse data
	L1A_Hxxx	HRPT data, where xxx is a three-letter code for a particular HRPT sation. HKOR is for Korea Ocean Research and Development Institute(KORDI).
Level 2 data (L2)	L2_GAC	Level 2 GAC data
	L2_BRS	Level 2 browse data
	L2_Hxxx	HRPT data, where xxx is a three-letter code for a particular HRPT sation. HKOR is for Korea Ocean Research and Development Institute(KORDI).
Level 3 data, binned product (L3b)	L3b_DAY.main	Binned product main file for day
	L3b_DAY.xff	Binned product subordinate file for day, where ff is one of 12 geophysical parameters. x00 is nLw_412.
	L3b_8D.main	Binned product main file for 8-day
	L3b_8D.xff	Binned product subordinate file for 8-day, where ff is one of 12 geophysical parameters. x00 is nLw_412.
	L3b_MO.main	Binned product main file for month
	L3b_MO.xff	Binned product subordinate file for month, where ff is one of 12 geophysical parameters. x00 is nLw_412.
	L3b_YR.main	Binned product main file for year
	L3b_YR.xff	Binned product subordinate file for year, where ff is one of 12 geophysical parameters. x00 is nLw_412.

Table 2. The suffix describes the actual data type.

Data type	Suffix	Description
Level 3 data, standard mapped image product (L3m)	L3m_DAY_CHLO	Daily chlorophyll-a
	L3m_DAY_CPIG	Daily CZCS-like pigment
	L3m_DAY_L555	Daily normalized water leaving radiance at 555 nm
	L3m_DAY_T865	Daily Aerosol optical thickness(tau) at 865 nm
	L3m_DAY_K490	Daily K(490)
	L3m_8D_CHLO	8-day chlorophyll-a
	L3m_8D_CPIG	8-day CZCS-like pigment
	L3m_8D_L555	8-day normalized water leaving radiance at 555 nm
	L3m_8D_T865	8-day Aerosol optical thickness(tau) at 865 nm
	L3m_8D_K490	8-day K(490)
	L3m_MO_CHLO	Monthly chlorophyll-a
	L3m_MO_CPIG	Monthly CZCS-like pigment
	L3m_MO_L555	Monthly normalized water leaving radiance at 555 nm
	L3m_MO_T865	Monthly Aerosol optical thickness(tau) at 865 nm
	L3m_MO_K490	Monthly K(490)
	L3m_YR_CHLO	Annual chlorophyll-a
	L3m_YR_CPIG	Annual CZCS-like pigment
	L3m_YR_L555	Annual normalized water leaving radiance at 555 nm
	L3m_YR_T865	Annual Aerosol optical thickness(tau) at 865 nm
L3m_YR_K490	Annual K(490)	
Level 3 browse product (L3_BRS)	L3_BRS_DAY	Daily browse product
	L3_BRS_8D	8-day browse product
	L3_BRS_MO	Monthly browse product
	L3_BRS_YR	Annual browse product

Table 2. (continue).

2. AVHRR data

(1) 위성의 궤도정보 및 센서의 주요제원

NOAA 시리즈 위성은 극궤도의 기상위성으로 약 850km 상공에서 남북방향으로 지구를 회전하며 관측하고 있다. 관측 범위는 동서 약 3,000km, 남북 5,000km 정도이다. 위성주기는 NOAA-12가 101.35분, NOAA-14가 102.12분이고, 궤도 기울기는 NOAA-12가 98.7°, NOAA-14가 98.86°이다(Table 3).

NOAA-12		NOAA-14	
길이	3.71m	길이	4.18m
직경	1.88m	직경	1.88m
무게	1,871kg(발사시) 735kg(궤도진입 후)	무게	1,712kg(발사시) 1,030kg(궤도진입 후)
Solar array	2.37×4.91m	Solar array	11.6m ²
계획 수명	2년 이상	계획 수명	2년 이상
Launch vehicle	ATLAS-E	Launch vehicle	ATLAS-E
Launch date	1991년 5월 14일	Launch date	1994년 12월 30일
Launch site	Vandenberg AFB, CA	Launch site	Vandenberg AFB, CA
주기	101.35분	주기	102.12분
궤도 기울기	98.7°	궤도 기울기	98.86°

Table 3. Nominal orbit parameters for the NOAA-12 and NOAA-14 satellite.

NOAA 시리즈 위성에 탑재된 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서의 주 밴드인 3개의 IR 밴드는 해수 표면의 온도(SST), 구름의 온도를 측정하는데 사용된다. AVHRR은 기상학의 multispectral 연구, 해양학, 수문학을 위해서 개발되었으며, 다섯 개의 spectral 밴드에서 반사되거나 방출된 radiance를 측정한다. NOAA-7, 9, 11, 14는 5-channel AVHRR을 탑재해 이전의 4-channel보다 더 좋은 관측값을 제공하게 되었다. 이 센서는 cross-track scanning 시스템을 가지며 IR 탐지기를 위해 일정한 운영상

의 온도를 유지하고 있으며, 0.5%의 albedo에서 3:1의 signal-to-ratio를 제공한다. 각 채널별 기능은 Table 4와 같다.

Platform	Channel position(μm)				
	1	2	3	4	5
NOAA-7,9,11,12,14,15	0.55-0.68	0.725-1.10	3.55-3.93	10.3-11.3	11.5-12.5
NOAA-6,8,10	0.55-0.68	0.725-1.10	3.55-3.93	10.3-11.3	
공간해상도	1,000m	1,000m	1,000m	1,000m	1,000m
이용분야	낮시간의 구름/표면과 식생	해수표면, Ice, Snow melt, 식생	해수표면 온도, 밤시간의 구름	해수표면 온도, 밤과 낮의 구름	해수표면 온도, 밤과 낮의 구름

Table 4. Nominal operating and radiometric parameters for AVHRR.



(2) 자료의 수신 및 형태

NOAA 위성이 지구 표면을 관측한 자료를 지상의 수신소로 전송하면, 수신소에서는 TeraScan 소프트웨어를 이용하여 대기보정, 지형보정, 위치보정 등의 보정(calibration)작업을 한 후, MCSST 알고리즘을 이용하여 해수 표층 수온 분포도를 생산해낸다. “TeraScan”이란 지구관측 인공위성 수신 시스템의 설치 및 이용자 소프트웨어를 개발하여 공급하는 미국의 SeaSpace 사에서 개발한 운용 소프트웨어를 말한다. 국내 대부분의 위성수신 시스템(한국해양연구원, 기상청, 서울대학교, 국립수산진흥원, 제주대학교 등)은 이 회사에서 공급된 제품을 사용하고 있다.

NOAA 위성으로부터의 자료수신은 하루에 두 번 이루어진다. 특히 NOAA-12, 14가 우리나라 상공을 통과하는 시간은 NOAA-12인 경우 오전 9시와 오후 9시, NOAA-14는 오전 3시와 오후 3시경이다.

자료의 형태는 SeaWiFS와 마찬가지로 Level-0, Level-1A, Level-2로 나눌

수 있다. Level-0은 위성에서 지구표면을 관측한 디지털 값이며, 지상수신소에 전송되는 자료가 여기에 해당된다. Level-1A는 Level-0 자료에 대기보정, 지형보정, 위치보정 등의 각종 보정(calibration)작업이 이루어진 후, band별로 산출되는 radiance 값들이다. Level-2는 Level-1A에서 각종 알고리즘, 특히 MCSST 알고리즘을 이용하여 산출된 해수표면 온도의 분포 자료들이다. 이들 자료들은 모두 TeraScan 소프트웨어에서 모두 처리되고 있으며, 한국해양연구원 홈페이지(<http://www.kordi.re.kr>)에서 영상화하여 자료를 제공하고 있다.

(3) 연구에 사용된 자료의 형태

본 연구에 사용된 NOAA SST 자료는 한국해양연구원에서 수신한 1998년 1월부터 2000년 12월까지의 자료들 중에서 SeaWiFS 자료 선별할 때와 마찬가지로 대기 상태가 가장 양호한 시기의 자료를 선택했으며, 본 연구에 사용된 SeaWiFS 자료와 동일한 시기의 NOAA SST 자료들을 선택하였다.

3. Wind data

제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포와 높은 부유물 농도 분포를 나타낼 때, 바람의 풍속, 풍향을 분석·연구하여 상호 연관성을 알아보려고 하였다. 특히 연안용승은 바람과 밀접한 관련이 있기 때문에 위성영상자료와의 비교·분석에 필요한 자료라고 생각한다.

본 연구에 사용된 바람자료는 제주도 북제주군 고산지역에 위치한 제주지방기상청 소속 제주고층레이더에서 관측한 지상에서 약 80m의 바람 자료이다. 기간은 1998년 1월부터 2000년 12월까지이며, 매일 매시간 관측된 자료이다.



4. 위성영상 분석 해역

본 연구해역은 지리적으로 한반도 남쪽에 위치한 제주도의 서부 해역으로서, 북위 $33^{\circ}00' - 33^{\circ}45'$, 동경 $125^{\circ}15' - 126^{\circ}30'$ 에 해당하는 구역이다 (Fig. 4). 위성영상 자료들에 대한 분석 해역을 위의 설정범위에 맞추었으며, 제주도 서부 연안해역과 바깥해역과의 해양환경적 요소들을 비교·분석하기에는 적절한 설정이라고 생각된다.

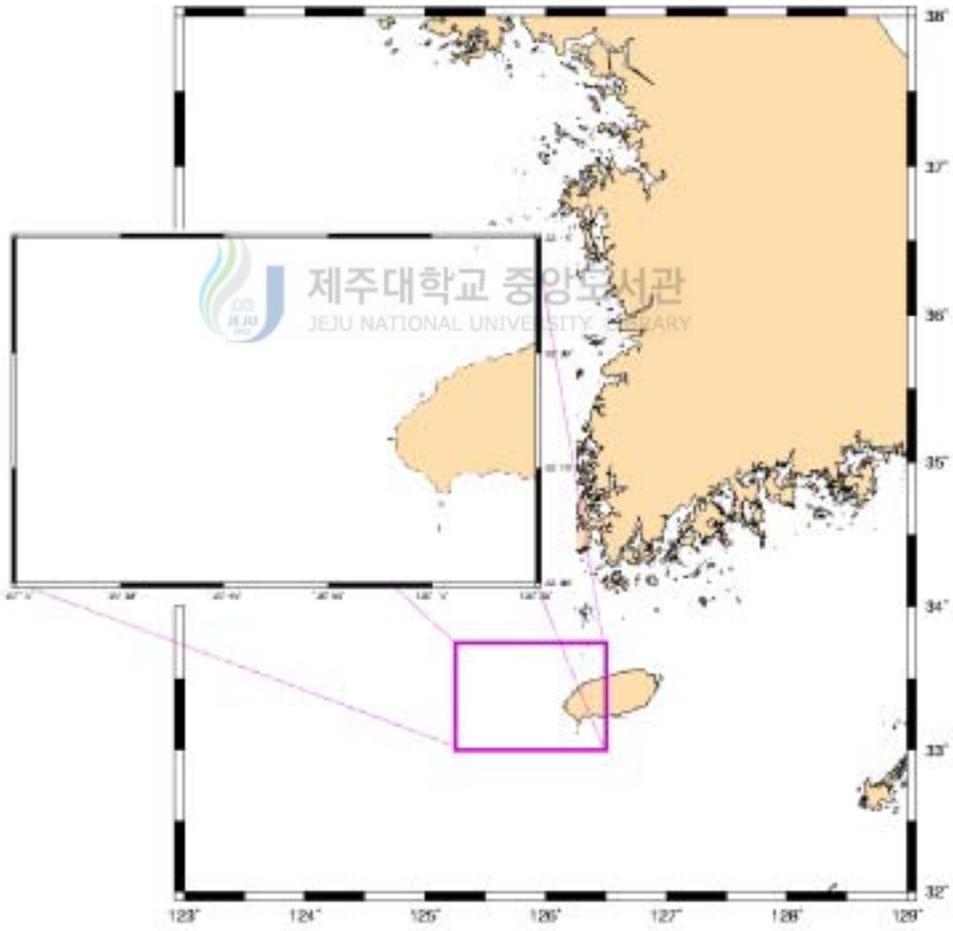


Fig. 4. The area institute for analysis of satellite images.

III. 분석방법

1. SeaWiFS data

(1) Atmospheric correction

해수의 구성성분에 대한 정보를 포함하고 있는 해석 즉, 해수를 벗어나오는 radiance는 해양 - 대기 system에서 반사되어 나오는 총 radiance의 10 %미만정도이다(Gordon and Morel, 1983). 그 외 나머지는 대기와 해수표면으로부터의 산란에 의해서 발생된 radiance들이다(Fig. 5). 따라서 해수에서 방출되는 radiance를 정확하게 산출하기 위해서는 total radiance(해수 및 대기의 각기 다른 기원에 의해 생성되는 radiance들의 총 합)에서 대기와 해수표면으로부터의 산란·반사효과를 제거해 주어야한다. 이와 같은 과정을 대기보정(atmospheric correction)이라고 하며, 위성에서 관측한 총 radiance로부터(normalized)water-leaving radiance를 얻는 과정을 일컫는 말이기도 하다(Gordon, 1997).

대기보정에 사용되는 밴드는 그 중심밴드가 700 nm 이상, 즉 근적외선(NIR, near infrared) 영역에 해당되는 파장을 사용한다. 왜냐하면 NIR 쪽으로 갈수록 물의 흡광도가 가장 강해지기 때문에, 이들 밴드에서 방출되는 해양의 radiance는 탁한 연안역의 해수를 제외하고는 실질적으로 없다(Gordon, 1997). 그래서 이들 밴드에서 측정된 radiance는 대기 및 해수표면에 의해서 생긴 solar irradiance의 산란(scattering)과 반사로부터 기인한 것이다. 따라서 일반적으로 이 NIR 밴드에서 산출된 대기의 radiance 값을 이용하여 가시광선 영역으로 외삽법(extrapolating)을 시행함으로써, 대기보정이 이루어진다.

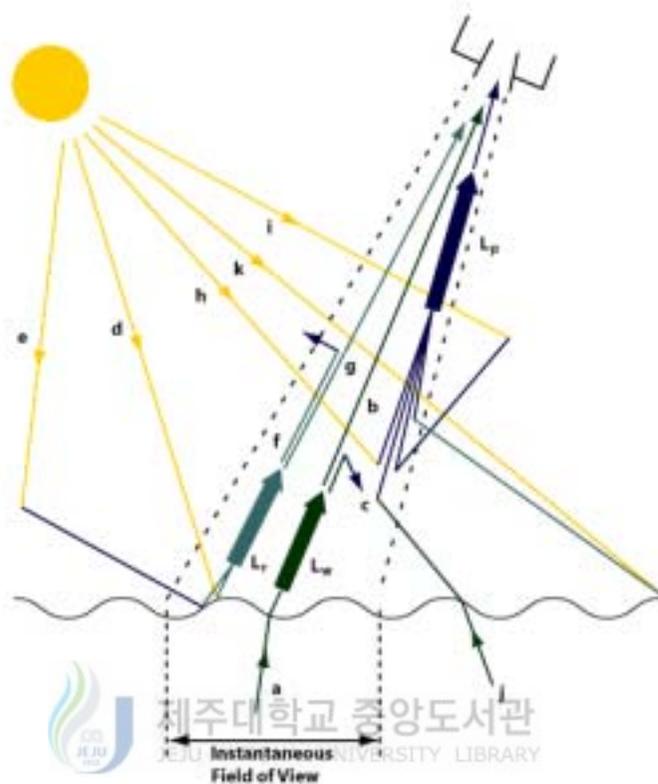


Fig. 5. In this figure, several different light pathways in the atmosphere are illustrated:

a) The light path of the water-leaving radiance. b) Shows the attenuation of the water-leaving radiance. c) Scattering of the water-leaving radiance out of the sensor's FOV. d) Sun glint (reflection from the water surface). e) Sky glint(scattered light reflecting from the surface). f) Scattering of reflected light out of the sensor's FOV. g) Reflected light is also attenuated towards the sensor. h) Scattered light from the sun which is directed toward the sensor. i) Light which has already been scattered by the atmosphere which is then scattered toward the sensor. j)Water-leaving radiance originating out of the sensor FOV, but scattered toward the sensor. k) Surface reflection out of the sensor FOV which is then scattered toward the sensor. L_w Total water-leaving radiance. L_r Radiance above the sea surface due to all surface reflection effects within the IFOV. L_p Atmospheric path radiance. (This figure is adapted from Robinson, I. S., 1983: Satellite observations of ocean colour, *Philo. Trans. Royal Soc. of London, Series A*, Volume 309, 338-347.)

L_{wN} (normalized water-leaving radiance)는 대기가 없다고 가정하면, θ_0 각을 이루며 해수표면을 향해 들어오는 태양광에 대한 해양에서 방출되는 radiance로써, 다음과 같이 정의된다(Gordon and Clark, 1981).

$$L_w(\lambda) = L_{wN}(\lambda) \cos \theta_0 \exp\left[-\left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{oz}(\lambda)\right)\left(\frac{1}{\cos \theta_0}\right)\right] \quad (1)$$

$$L_{wN}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{T_0 \cos \theta_0} \quad (1-a)$$

$$T_0 = \exp\left[-\left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{oz}(\lambda)\right)\left(\frac{1}{\cos \theta_0}\right)\right] \quad (1-b)$$

여기서, $L_w(\lambda)$ 는 파장 λ 에서 해수에 의해 방출되는 radiance이고, $\tau_r(\lambda)$ 와 $\tau_{oz}(\lambda)$ 는 각각 대기분자와 오존의 흡광과 산란에 대한 대기의 optical thickness(광학적 두께)들이고, θ_0 는 solar zenith angle 즉, 관측하고자 하는 해수표면의 한 지점에서 태양까지 연결한 직선과 그 지점에서의 수직선분 사이의 각이다(Fig. 6).

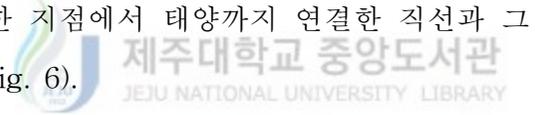


Fig. 6. solar zenith angle(θ_0).

이와 같은 정의는 $L_w(\lambda)$ 에서 solar zenith angle에 의한 직접적인 태양광의 산란과 대기의 광효과(대기분자 및 에어로졸에 의한 산란)를 되도록 많이 제거하려는 노력에서 비롯되었다. 이 L_{wN} 은 SeaWiFS의 해양과 관련된 산출물(예를 들어, chlorophyll 농도)을 얻기 위한 모든 algorithm들에서 대부분 사용된다.

그러면, radiance로부터 얻은 reflectance(R)는 다음과 같이 정의된다.

$$R = \frac{\pi L}{F_0 \cos \theta_0} \quad (2)$$

여기서, L 는 센서가 주시하고 있는 방향에서 올라오는 radiance이고, F_0 는 지구 대기권 밖에서 측정된 solar irradiance이고, θ_0 는 solar zenith angle이다. 식 (1)에서 양변에 $\frac{\pi}{F_0 \cos \theta_0}$ 을 곱하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\pi L_w(\lambda)}{F_0 \cos \theta_0} &= \frac{\pi L_{wN}(\lambda)}{F_0 \cos \theta_0} \cos \theta_0 \exp \left[- \left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{oz}(\lambda) \right) \left(\frac{1}{\cos \theta_0} \right) \right] \\ &= \frac{\pi L_{wN}(\lambda)}{F_0} \exp \left[- \left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{oz}(\lambda) \right) \left(\frac{1}{\cos \theta_0} \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

위의 식 (3)은 reflectance 정의에 의해서 다음과 같이 전환된다.

$$\begin{aligned} R_w(\lambda) &= R_{wN}(\lambda) \exp \left[- \left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{oz}(\lambda) \right) \left(\frac{1}{\cos \theta_0} \right) \right] \\ &\equiv R_{wN}(\lambda) t(\theta_0, \lambda) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $R_{wN}(\lambda)$ 는 파장 λ 에 따른 normalized reflectance이고, $t(\theta_0, \lambda)$ 는 대기의 확산 투과도(diffuse transmittance)에 대한 근사값이다.

그러면, 위성의 센서에 도달하는 가시광선 영역의 빛들은 Fig. 5와 같이 여러 경로를 갖는다. 따라서 다음과 같이 파장 λ 에 따른 total radiance $L_t(\lambda)$ 을 얻을 수 있다.

$$L_t(\lambda) = L_r(\lambda) + L_a(\lambda) + L_{ra}(\lambda) + T_g(\lambda) L_g(\lambda) + T_v(\lambda) L_w(\lambda) \quad (5)$$

여기서, L_r 는 에어로졸에 앞서 대기 분자(N_2 , O_2 등)에 의해서 생성되는 multiple scattering(다중산란)이며, Rayleigh scattering(분자산란)이라 부른다. L_a 는 대기중 에어로졸의 multiple scattering에 의해서 생성되는 radiance이고, L_{ra} 는 대기분자의 산란과 에어로졸의 산란사이의 상호작용 즉, 먼저 대기분자에 의해 산란된 후 다시 에어로졸에 의해 산란되거나, 반대로 에어로졸에 의해 먼저 산란된 다음 대기분자에 의해 산란되는 작용에 의한 radiance이고, L_g 는 해수표면으로부터 직접적인 태양광(sunlight)의 반사에 의해서 생긴(Sun glint) radiance이고, L_w 는 water-leaving radiance(해수 밑에서 올라오는 radiance가 해수표면을 지나 위로 솟아나오는 radiance)이다. T_g 는 대기에서의 direct transmittance(직접 투과도)로써, 강한 풍속일 때를 제외하고는 sun glitter가 상당히 강한 지향성을 가지기 때문에 direct transmittance의 적용이 적절하다. 그 식은 다음과 같다.

$$T_g = \exp\left[-\frac{\tau_r(\lambda) + \tau_{oz}(\lambda) + \tau_a(\lambda)}{\cos \theta_v}\right] \quad (6)$$

여기서, θ_v 는 올라가는 방향의 radiance가 대기권 위의 표면과 이루는 각이고, τ_r , τ_{oz} , τ_a 는 각각 대기분자, 오존, 에어로졸의 광학적 두께(optical thickness)들이다. T_v 는 대기에서의 diffuse transmittance(확산 투과도)로써, 각각의 주시하고 있는 방향 (θ_v , ϕ_v) 에서 water-leaving radiance가 대기권 위를 향해서 투과되어지는 것이라고 정의할 수 있다 (Gordon, 1997). 즉,

$$T_v \equiv t(\theta_v, \phi_v) = \frac{R_w(\theta_v, \phi_v)_{TOA}}{R_w(\theta_v, \phi_v)} \quad (7)$$

여기서, θ_v , ϕ_v 는 각각 방향 v 에 대한 solar zenith angle과 방위각이고,

$R_w(\theta_v, \phi_v)$ 는 방향 (θ_v, ϕ_v) 에 대한 water-leaving reflectance이고, $R_w(\theta_v, \phi_v)_{TOA}$ 는 대기권 위에서 방향 (θ_v, ϕ_v) 에 대한 water-leaving reflectance이다. 따라서, diffuse transmittance는 대기, 파장, viewing geometry의 광학적 성질들, 뿐만 아니라 water-leaving radiance에 대한 각도들(solar zenith angle과 방위각)의 분포도와도 관련이 있다. 그러나 T_v 을 계산하기 위해서는 water-leaving radiance가 (θ, ϕ) 의 독립변수이어야 한다. 즉, solar zenith angle과 방위각에 대해서 water-leaving radiance는 거의 일정한(near-uniform) 각도 분포도를 나타내야 한다. 이러한 가정에 의해서 Gordon *et al.*(1983)에서는 파장 λ 에 따른 diffuse transmittance $T_v(\lambda)$ 을 다음과 같이 정의했다.

$$T_v(\lambda) = \exp\left[-\left(\frac{\tau_r(\lambda)}{2} + \tau_{Oz}(\lambda)\right)\left(\frac{1}{\cos \theta_v}\right)\right] t_a(\theta_v, \lambda) \quad (8)$$

여기서,

$$t_a(\theta_v, \lambda) = \exp\left[-\frac{\{1 - \omega_a(\lambda) F_a(\mu_v, \lambda)\} \tau_a(\lambda)}{\mu_v}\right] \quad (9)$$

그리고 $\mu_v = \cos \theta_v$, $F_a(\mu_v, \lambda)$ 는 에어로졸이 산란할 때 그 위상 함수(phase function)이다.

그러면, 식 (5)을 단위가 없는 reflectance로 표현하는 것이 여러 가지 면에서 편리하고, 또한 앞으로 water leaving radiance 대신 reflectance를 이용하여 해석(ocean color)을 보정(calibration)할 것이므로 전환하면 다음과 같다.

$$R_t(\lambda) = R_r(\lambda) + R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda) + T_g(\lambda) R_g(\lambda) + T_v(\lambda) R_w(\lambda) \quad (10)$$

여기서, R_r 는 대기분자의 multiple scattering에 의한 결과로 얻은 reflectance이고, R_a 는 에어로졸의 multiple scattering에 의한 결과로 얻은 reflectance이고, R_{ra} 는 대기분자의 산란과 에어로졸 산란사이의 상호작용

으로부터 얻은 reflectance이고, R_g 는 해수표면에서 sun glint의 결과로 얻은 reflectance이고, R_w 는 water-leaving reflectance이다.

따라서, 정확한 해석을 얻기 위해서는 식 (10)에서 $R_r(\lambda) + R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)$ 을 정확하게 계산하여야 한다. 이때 에어로졸의 농도나 광학적 성질을 알고 있다면 이 값을 구할 수 있다.

SeaWiFS 대기보정 algorithm은 다중 산란 효과를 고려하고 있다. 다중 산란 효과가 고려될 때, 대기보정은 2개의 근적외선 band에서 미지수인 $R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)$ 값을 계산하여야 하는데, 이것은 두 band에서 $R_w=0$ 을 이용하여 구할 수 있고, Wang(1991)은 $R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)$ 과 단산란에서의 $R_a(\lambda)$ 사이의 관계가 거의 선형임을 보였다. 따라서 구해진 단산란에서의 $R_a(\lambda)$ 는 에어로졸 다중 산란효과에 대한 정보를 제공할 수 있다.

또한 SeaWiFS 대기보정 algorithm은 에어로졸 효과에 대한 보정을 위해 에어로졸 모델을 사용하고 있다. Gordon *et al.*(1994)은 에어로졸 유형을 대류권(Tropospheric) 에어로졸 모델, 해양성(Maritime) 에어로졸 모델(Shettle and Fenn, 1979), 해안형(Coastal) 에어로졸 모델들이 상대습도 50%, 70%, 90%와 99%에 따라 변하는 총 12가지로 구분하여 사용하였다. SeaWiFS 대기보정 algorithm에서는 해안형 모델 상대습도 50%, 대류권 모델 상대습도 70%를 각각 oceanic 모델 상대습도 90%, 99%로 대체하여 사용하고 있다. Oceanic 에어로졸은 대양에서 발견할 수 있는 해염 입자로 구성되어 있으며, 이 모델은 근적외선 밴드보다 가시영역에서 에어로졸 기여도가 작게 나타난다. SeaWiFS 대기보정 algorithm을 도식적으로 다음과 같이 표현할 수 있다 (Gordon *et al.*, 1994).

$$\epsilon(765, 865) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \epsilon_i(765, 865)$$

$$T_v R_w(\lambda) = R_t(\lambda) - R_r(\lambda) - [R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)]$$

$$R_t(765) - R_r(765), R_t(865) - R_r(865) \xrightarrow{N \text{ Models}} \epsilon(765, 865) \rightarrow 2\text{개의 모델을 선택}$$

$$\epsilon(765, 865) \xrightarrow{2 \text{ Models}} \epsilon(\lambda, 865)$$

$$R_{as}(865) \xrightarrow{\epsilon(\lambda, 865)} R_{as}(\lambda)$$

$$R_{as}(\lambda) \xrightarrow{2 \text{ Models}} R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)$$

여기서 N은 사용된 에어로졸 모델의 수이고, NASA 표준 대기보정 알고리즘에서는 12개의 모델이 사용되었다. 그리고 $\epsilon(\lambda, \lambda_0)$ 에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\epsilon(\lambda, \lambda_0) \equiv \frac{R_a(\lambda)}{R_a(\lambda_0)} \quad (11)$$

이 알고리즘은 우선 근적외선 영역 765, 865nm에서의 R_w 는 0이라 가정하고, 에어로졸의 단산란(R_{as})을 이용하여 12개의 모델에 대해 $\epsilon(765, 865)$ 을 구하여 이 평균값에 가장 근접한 값을 가지는 2개의 에어로졸 모델을 선택한다. 이러한 방법은 765와 865nm에서 주어진 에어로졸 모델에 대하여 다중 산란 효과가 거의 비슷하고, Rayleigh 산란의 효과가 매우 약하므로 R_{ra} 가 매우 작게 되어 $\epsilon(765, 865)$ 는 에어로졸 모델에 관계없이 구하고자 하는 올바른 값에 가깝게 된다(Gordon *et al.*, 1994). 이렇게 구한 2개의 모델 사이의 내분 비율을 구하여 다른 파장에 대한 $\epsilon(\lambda, 865)$ 을 구해낸다. $\epsilon(\lambda, 865)$ 의 정의로부터 $R_{as}(\lambda)$ 을 구하고, $R_{as}(\lambda)$ 와 $R_a(\lambda) + R_{ra}(\lambda)$ 의 선형적인 관계로부터 에어로졸의 다중 산란 효과를 구한 후, 해석을 구하게 된다(Wang, 1991; Gordon, 1997).

(2) Chlorophyll algorithm

SeaDAS(SeaWiFS Data Analysis System)란 NASA에서 SeaWiFS 자료를 분석하기 위해 개발된 종합적인 영상분석 패키지로써, 인터넷 사이트 주소 “<http://seadas.gsfc.nasa.gov>”에서 무료로 다운받을 수 있으며, 본 연구에 사용된 SeaDAS는 Version 4.0p3 이다. SeaDAS에는 SeaWiFS 자료를 분석하는데 필요한 각종 알고리즘들이 포함되어 있는데, 그 중에서 본 연구에 사용된 “ OC2 ”라 불리는 chlorophyll algorithm를 살펴보면 다음과 같다 (McClain, 1997).

$$Chla(mg / m^3) = 10^{(0.3410 - 3.0010 \times x + 2.8110 \times x^2 - 2.0410 \times x^3)} - 0.0400 \quad (12)$$

$$x = \log_{10} \left(\frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right)$$

일반적으로 chlorophyll absorption peak는 443 nm에서 나타나기 때문에, 443 nm band를 사용한 algorithm들이 490 nm band를 사용한 OC2 algorithm 보다 정확한 값을 산출할 수 있다. 그러나 400 nm 부근에서는 Dissolved Organic Matter(DOM)에 의한 강한 광흡수 작용을 하기 때문에 443 nm band의 radiance 값이 쉽게 영향을 받을 수 있다. 그리고 chlorophyll 농도가 높을 경우, 너무나 미약한 L_w 로 오차를 유발할 수 있기 때문이다. 따라서 DOM의 영향을 가장 최소화하면서 어느 정도 강한 신호의 세기를 갖고 chlorophyll 농도 오차를 줄일 수 있는 가장 적절한 band가 490 nm band이다. 또한 chlorophyll 농도는 부유물 농도의 영향을 가장 많이 받기 때문에, 그 효과를 고려해주어야 한다. 부유물 농도는 555 nm band에서 강한 반사도를 보여준다. 해석 반사도 모델에 의하면, 443 nm와 555 nm에서의 2 band ratio algorithm과 490 nm와 555 nm에서의 2 band ratio algorithm에 대한 chlorophyll 농도와의 상관도에서 490 nm와 555 nm에서의 2 band ratio algorithm이 우수하게 나타났다(안유환 등, 1999).

(3) Turbidity algorithm

본 연구에 사용된 turbidity algorithm은 Ahn *et al.*(2001)에 의해 개발된 algorithm으로 band 2개의 비로 구하는 기존 algorithm(Clark *et al.*, 1981)과는 달리 band 1개를 이용하였다. 이것은 2 band ratio algorithm보다 1 band algorithm이 부유물질과의 상관도가 높기 때문이다. 따라서 chlorophyll과 DOM의 영향을 가급적이면 받지 않는 band를 활용한 turbidity algorithm이 가장 이상적인 algorithm이다. 그러면 555 nm band는 chlorophyll의 비 흡광대이므로 사용하기에 적절한 band가 된다. 그러나 670 nm band는 chlorophyll의 제 2차 흡광대인 660 - 690 nm에 포함되기 때문에 555 nm band보다는 정확성이 떨어진다. 이론적인 측면에서는 765 nm band가 가장 이상적일 것이다. 그러나 765 nm band는 근적외선 영역이기 때문에, 물의 흡광도가 크게 증가하여 위성에서 감지되는 신호의 크기가 상당히 작다. 이런 효과 때문에 대기 보정을 위해서 이 765 nm band가 주로 사용된다.

본 연구에서 사용된 turbidity algorithm은 다음과 같다(Ahn *et al.*, 2001).

$$SS(g/m^3) = 3.18 L_{wN}(555)^{0.95} \quad (13)$$

여기서, $L_{wN}(555)$ 의 단위는 “ $mW/cm^2/\mu m/sr$ ”이다.

그러므로, SeaWiFS Level-2 자료에서 555 nm band에 해당되는 Normalized water leaving radiance, $L_{wN}(555)$ 값을 산출하여 위의 algorithm에 대입한 후, 제주도 서부 해역의 부유물 농도 분포도를 얻었다.

2. AVHRR data

(1) MCSST algorithm

현재 한국해양연구원에서 수신하고 있는 NOAA 위성의 표층 수온 자료 (SST)는 NOAA 위성의 channel 4, 5를 사용한 Multi Channel Sea Surface Temperature (MCSST; McClain et al., 1985)와 channel 3, 4를 사용하여 night time에만 사용 가능한 Bernstein(1982) 방법을 사용하고 있다. MCSST algorithm은 다음과 같다.

$$SST = c + a T_4 + b T_5 \quad (14)$$

여기서, T_4 와 T_5 는 channel 4와 5에서의 brightness temperature이며 a,b,c는 통계적으로 얻어지는 상수이다.

Table 5, 6은 한국해양연구원의 NOAA SST를 위한 TeraScan 소프트웨어에서 사용하고 있는 상기 상수의 값을 나타낸 것이다. 그러나 정규적으로 사용하고 있는 알고리즘은 NOAA-12, 14를 이용하여 낮·밤의 구분없이 사용할 수 있는 MCSST 방법을 사용하고 있다.

① Split window(MCSST):	$SST=A \times T4+B \times (T4-T5)+C \times (T4-T5) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$
② Dual windows(DW):	$SST=A \times T4+B \times (T3-T4)+C \times (T3-T4) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$
③ Triple window(TW):	$SST=A \times T4+B \times (T3-T5)+C \times (T3-T5) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$
④ Nonlinear split window(NLMC):	$SST=A \times T4+B \times MC \times (T4-T5)+C \times (T4-T5) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$
⑤ Nonlinear dual window(NLDW):	$SST=A \times T4+B \times BZ \times (T3-T4)+C \times (T3-T4) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$
⑥ Nonlinear triple window(NLTW):	$SST=A \times T4+B \times TW \times (T3-T5)+C \times (T3-T5) \times (SEC(sza)-1)+D \times (SEC(sza)-1)+E$

Table 5. NOAA SST algorithm formula for TeraScan Software.

Method	Satellite	Time	A	B	C	D	E(K)	E(C)
MCSST	NOAA-15	D	0.959456	2.663579	0.570613	0.0	12.12	1.045
MCSST	NOAA-15	N	0.993892	2.752346	0.662999	0.0	1.753	0.084
MCSST	NOAA-14	D	1.017342	2.139588	0.779706	0.0	-5.280	-0.543
MCSST	NOAA-14	N	1.029088	2.275385	0.752567	0.0	-9.090	-0.145
MCSST	NOAA-12	D	1.013674	2.443474	0.314312	0.0	-4.647	-0.912
MCSST	NOAA-12	N	1.013674	2.443474	0.314312	0.0	-4.647	-0.912
MCSST	NOAA-11	D	1.01345	2.659762	0.526548	0.0	-4.592	-0.918
MCSST	NOAA-11	N	1.052	2.397089	0.959766	0.0	-15.52	-1.316
MCSST	NOAA-9	D	0.9994	2.7057	-0.27	0.73	0.1177	-0.046
MCSST	NOAA-9	N	0.9994	2.7057	-0.27	0.73	0.1177	-0.046
MCSST	NOAA-7	D	1.0346	2.5779	0.0	0.0	-10.05	-0.60
MCSST	NOAA-7	N	1.0346	2.5779	0.0	0.0	-10.05	-0.60
MCSST	NOAA-10	D	1.1	0.0	0.0	0.0	-27.316	0.0
MCSST	NOAA-10	N	1.1	0.0	0.0	0.0	-27.316	0.0
DW	NOAA-15	N	1.041037	1.587581	0.0	1.677	-10.36	0.847
DW	NOAA-14	N	1.008751	1.409936	0.0	1.976	-0.764	1.626
DW	NOAA-12	D	1.017736	0.426593	1.800916	0.0	-3.114	1.731
DW	NOAA-12	N	1.017736	0.426593	1.800916	0.0	-3.114	1.731
DW	NOAA-11	D	1.03432	1.347423	0.953042	0.0	-7.64	1.73
DW	NOAA-11	N	1.03432	1.347423	0.953042	0.0	-7.64	1.73
DW	NOAA-9	D	1.014	0.5118	0.958	1.55	-2.224	1.60
DW	NOAA-9	N	1.014	0.5118	0.958	1.55	-2.224	1.60

Table 6. Constant values for NOAA SST algorithm formula.

Method	Satellite	Time	A	B	C	D	E(K)	E(C)
TW	NOAA-15	N	1.015354	1.063572	0.0	1.295	-3.605	0.588
TW	NOAA-14	N	1.010037	0.920822	0.0	1.760	-2.214	0.528
TW	NOAA-12	N	1.000281	0.911173	0.0	1.710028	-271.971	1.255
TW	NOAA-11	N	1.036027	0.892857	0.520056	0.0	-9.224	0.617
NLMC	NOAA-15	N	0.953493	0.087762	0.740922	0.0	-258.802	1.64460
NLMC	NOAA-15	D	0.890887	0.088730	0.557058	0.0	-240.244	3.10170
NLTW	NOAA-15	N	0.998871	0.034564	0.0	1.399856	-271.449	1.39260
NLDW	NOAA-15	N	1.035572	0.053349	0.0	1.628825	-281.647	1.21949
NLMC	NOAA-14	N	0.933109	0.078095	0.738128	0.0	-253.428	1.45072
NLMC	NOAA-14	D	0.939813	0.076066	0.801458	0.0	-255.165	1.54492
NLTW	NOAA-14	N	0.980064	0.031889	0.0	1.817861	-266.186	1.51848
NLDW	NOAA-14	N	1.019182	0.050086	0.0	2.039266	-276.813	1.57656
NLMC	NOAA-12	N	0.888706	0.081646	0.576136	0.0	-240.229	2.52104
NLMC	NOAA-12	D	0.876992	0.083132	0.349877	0.0	-236.677	2.87336
NLTW	NOAA-12	N	0.963368	0.033139	0.0	1.731971	-260.854	2.28997
NLDW	NOAA-12	N	1.021468	0.050549	0.0	2.201377	-276.900	2.11398

Table 6. (continue)



IV. 결 과

1. 표층수온(SST, Sea Surface Temperature)

(1) 1998년

1998년 제주도 서부 해역에서 NOAA 위성을 통해 관측된 SST의 분포 특성을 분석하면 다음과 같다(Fig 7). 2월과 4월에 관측된 SST 자료들은 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포특성을 잘 나타내고 있었다.

그러나, 5월에 관측된 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2°C 정도 낮게 나타내고 있었다. 분포양상은 연안에서 바깥을 향하여 부채꼴 형태로 넓게 퍼져나가는 양상을 이루고 있었다. 7월과 8월에 관측된 SST 자료들에서는 여름철이라는 계절적인 영향 때문에 대체적으로 제주도 서부 해역의 표층수온이 고온이지만, 제주도 서부 연안해역과 바깥해역과의 수온차가 약 1.5°C 정도이다. 분포양상은 5월의 분포양상과 유사한 형태이나 그 분포범위가 좁게 나타나고 있었다. 11월의 SST 자료를 분석해보면, 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 1.5 °C 정도 낮게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 남북으로 길게 퍼져있는 형태를 나타내고 있었다. 이와 같이 5월 - 11월에 관측된 SST 자료에서 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포 특성을 나타내고 있었다. 이것은 연안에서 저층의 저온 해수가 표층으로 공급되어 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포 특성을 형성하게 만드는 연안용승(coastal upwelling) 또는 연안에서 조석의 영향에 의해 저층의 저온 해수와 표층 해수와의 강한 혼합이 이루어져 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포 특성을 형성하게 하는 조석혼합(tidal mixing)에 의한 것이라고 생

각한다. 이것은 기존의 연구결과(방과 김, 1993; 강 등, 1996; Kim and Lee, 1982)와 잘 일치하고 있다.

12월의 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 대체적으로 균질한 수온 분포특성을 나타내고 있었는데, 계절이 겨울철인데 비해 수온이 높다는 것은 대마난류에서 분지하여 제주도를 오른쪽에 끼고 시계방향으로 돌아나가는 제주난류의 영향을 받은 것이라고 생각한다(Lie *et al.*, 1998).

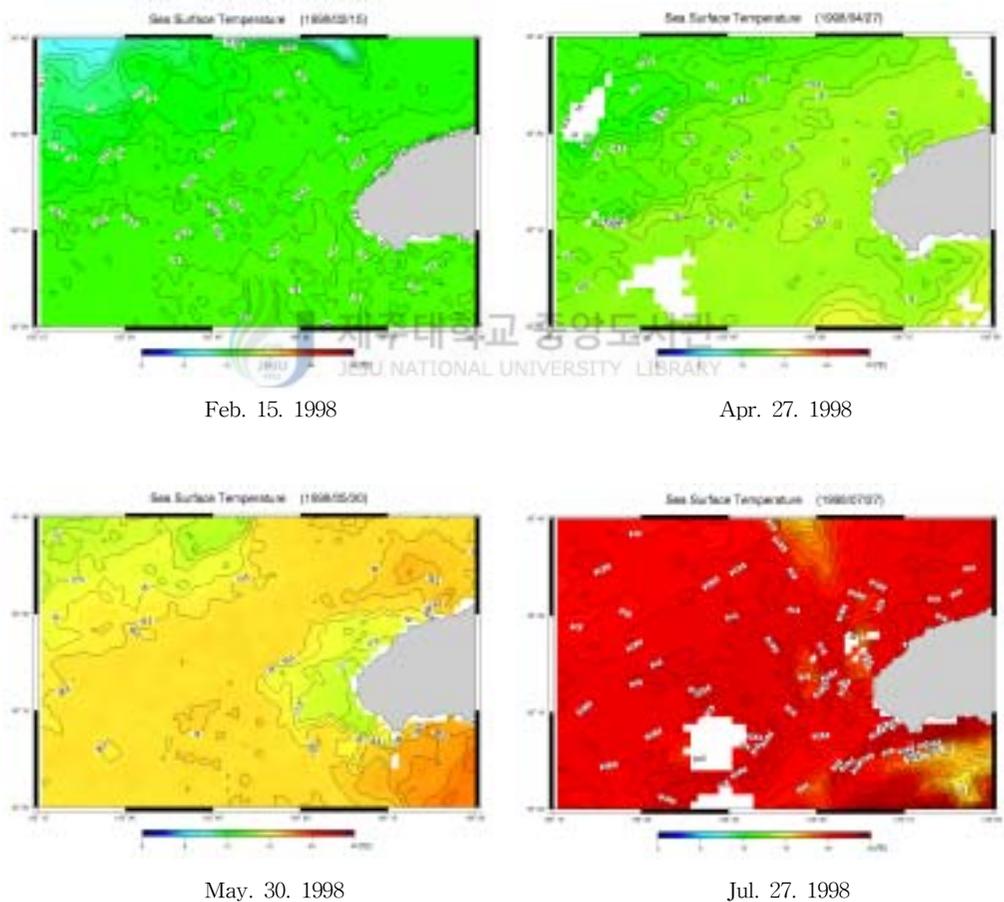
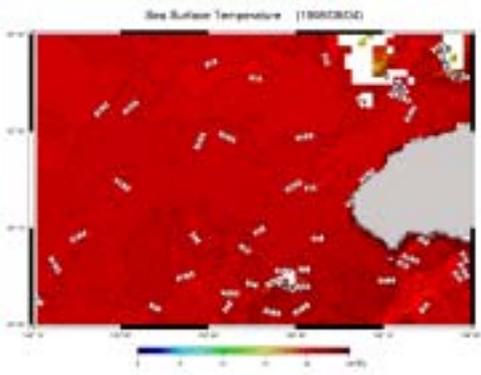
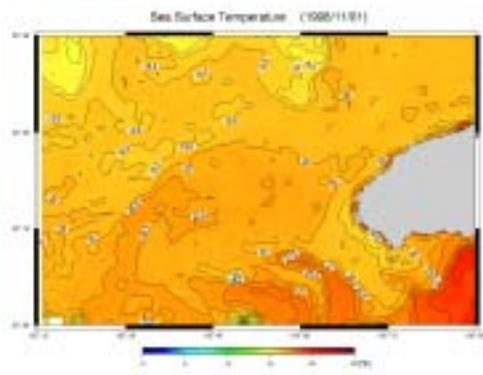


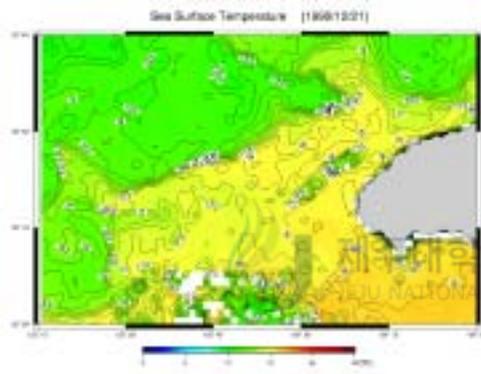
Fig. 7. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by NOAA Satellite.



Aug. 04. 1998



Nov. 01. 1998



Dec. 21. 1998

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 7. (continue).

(2) 1999년

1999년 제주도 서부 해역에서 NOAA 위성을 통해 관측된 SST 자료들을 분석해보면(Fig. 8), 1월 - 4월까지 관측된 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포특성을 나타내고 있었다.

그러나, 5월에 관측된 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 약 3°C 정도 낮게 나타났고, 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 퍼져나가는 분포양상을 띠고 있었다. 6월에서는 제주도 서부 연안 해역이 바깥역보다 약 2.5°C 정도 낮게 나타났고, 제주도 남서 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 퍼져나가는 분포양상을 나타내고 있었다. 이와 같이 5월과 6월의 SST 분포 특성은 1998년의 경우와 마찬가지로 연안용승 또는 조석혼합에 의해서 형성된 수온분포 특성이라고 생각된다.



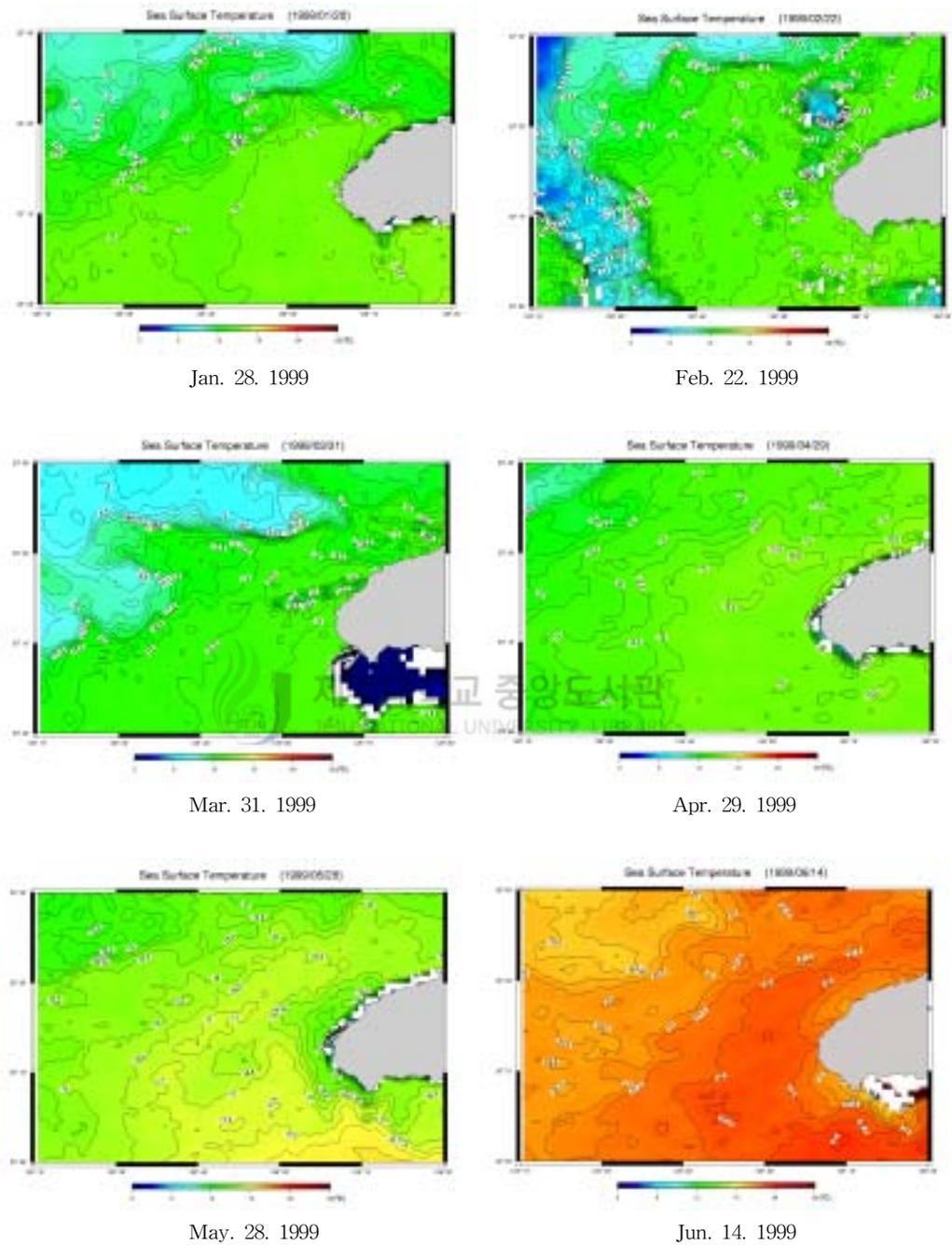


Fig. 8. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 1999 by NOAA Satellite.

(3) 2000년

2000년 제주도 서부 해역에서 NOAA 위성을 통해 관측된 SST 자료들을 분석해보면(Fig. 9), 2월, 3월, 4월에 관측된 SST 자료들에서는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포를 나타내고 있었다.

그러나, 5월에 관측된 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2°C 정도 낮게 나타났다. 분포양상은 고산 앞 연안해역에서 남동방향의 바깥쪽으로 분포하고 있었다. 6월 SST 자료에서는 5월과 마찬가지로 연안해역이 바깥쪽보다 상대적으로 약 2°C 정도 낮은 값을 나타내었다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 길게 분포하면서 남서방향의 바깥쪽으로 돌출된 형태를 이루고 있었다. 8월 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2.5°C 정도 낮은 수온 분포특성을 나타내었고, 제주도 서부 연안선을 따라 부채꼴 모양으로, 남서 방향의 바깥쪽으로 넓게 분포하고 있다. 9월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥쪽보다 상대적으로 약 2°C 정도 낮게 나타났고, 제주도 서부 연안선을 따라 바깥쪽으로 퍼져나가는 분포양상을 나타내고 있었다. 11월 자료에서는 제주도 남서 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 3.5 °C 정도 낮은 수온 분포특성을 나타내었다. 분포양상은 제주도 남서 연안에서 바깥쪽으로 돌출된 분포양상을 하고 있었다. 따라서 5월 - 11월 동안에 관측된 SST 분포특성은 1998년, 1999년과 마찬가지로 연안용승 혹은 조석혼합에 의해 형성되었을 것이라고 생각한다.

12월에 관측된 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포특성을 나타내고 있었고, 1998년 12월의 SST 자료와 마찬가지로 제주난류의 영향을 받아 고온의 해수가 제주도 서부 해역에 분포하고 있다고 생각한다.

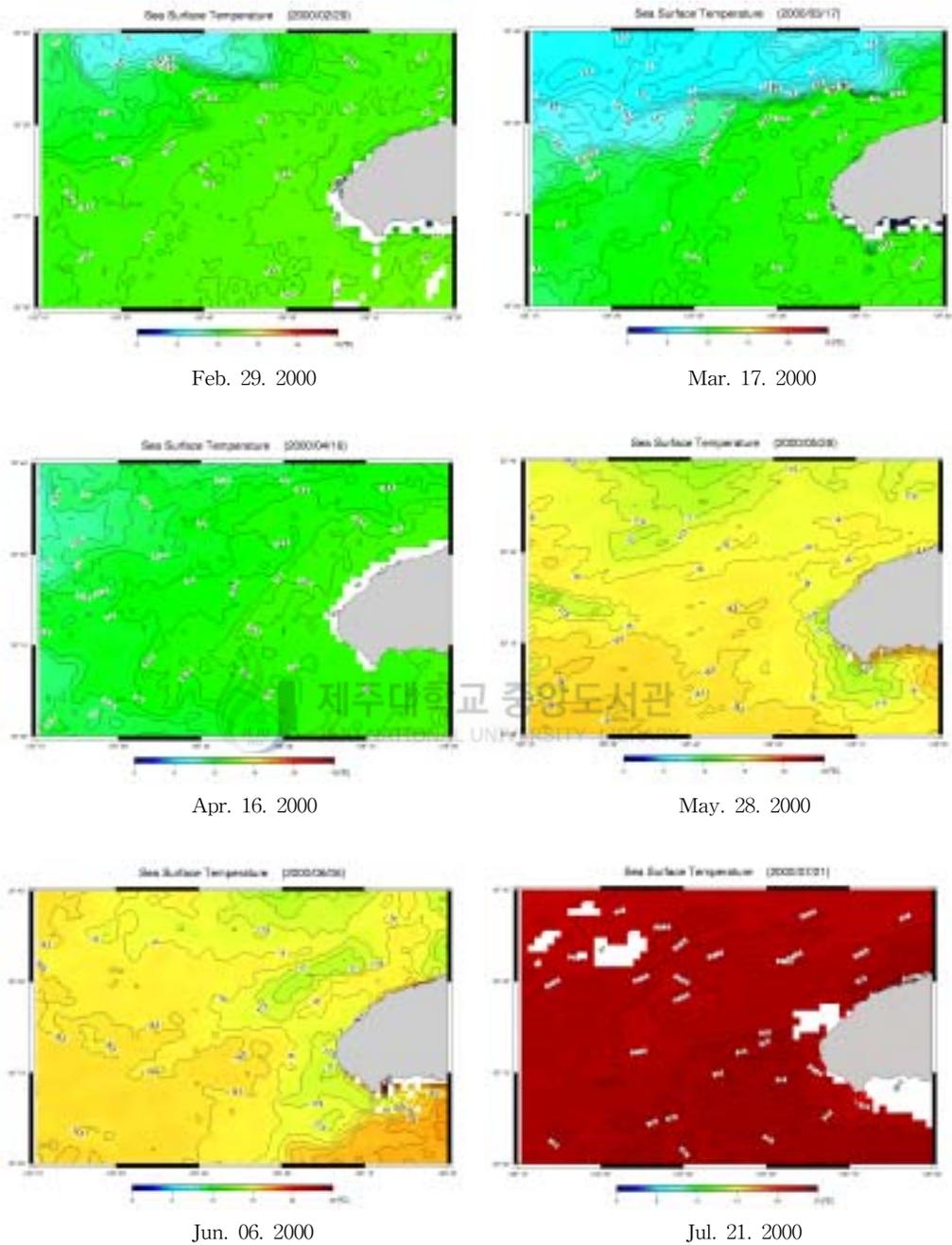
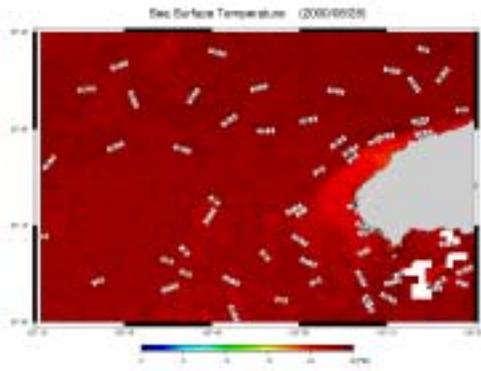
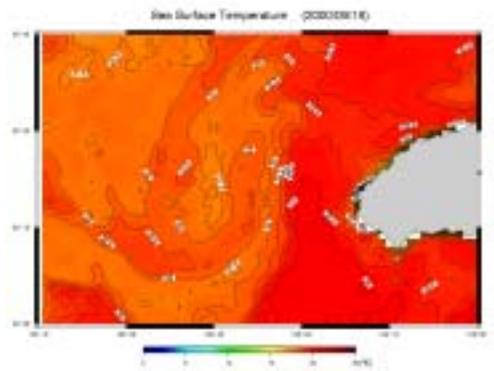


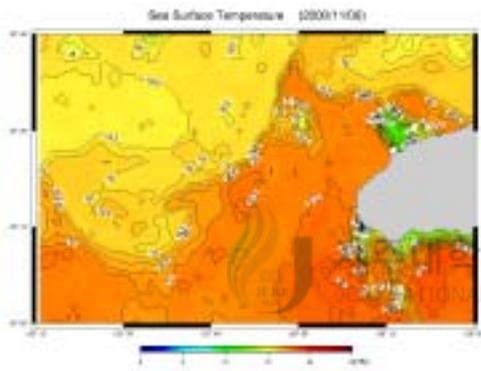
Fig. 9. Sea Surface Temperature(SST) distributions in the western sea area of Cheju Island in 2000 by NOAA Satellite.



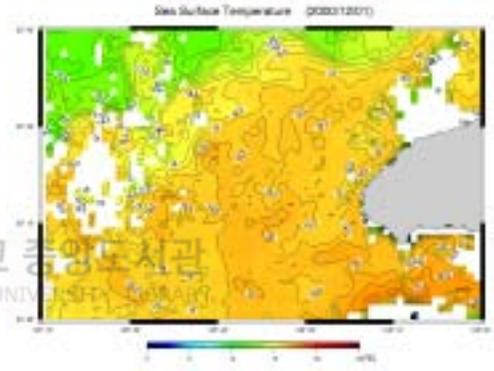
Aug. 28. 2000



Sep. 19. 2000



Nov. 06. 2000



Dec. 01. 2000

Fig. 9. (continue).

2. 부유물 농도(Turbidity)

(1) 1998년

제주도 서부 해역에서 SeaWiFS를 이용하여 관측된 1998년 부유물 농도의 분포특성을 살펴보면(Fig. 12) 다음과 같다. 2월에는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 부유물 농도 분포특성을 나타내고 있었다. 이것은 중국대륙 연안에 기인한 대륙붕 연안수가 바람의 영향을 받아 고농도의 부유물을 함유한 채 제주도 서부 해역까지 확장하여 제주도 서부 연안해역의 바깥쪽에 고농도의 부유물 농도 분포를 형성한 것이라고 생각한다.

그러나, 4월에 관측된 부유물 농도 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 13배정도 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안해역에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 넓게 퍼져나가는 양상을 하고 있었다. 5월 부유물 농도 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 9배정도 높게 나타났다. 분포양상은 4월의 분포양상과 유사한 형태로 분포하고 있었으나, 그 규모가 조금 축소된 형태로 나타났다. 7월 부유물 농도 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥쪽보다 상대적으로 약 5.5배정도 높게 나타났다. 분포양상은 4월, 5월에 비해 그 분포 규모가 더욱 축소되었다. 또한 7월 부유물 농도 분포 자료에서 그림의 왼쪽 하단에 고농도의 부유물 농도 분포가 나타나는데, 이것은 양자강 연안수가 제주도 서부 해역까지 확장되고 있었다는 것을 나타내고 있다고 생각된다. 8월 부유물 농도 분포자료에서는 제주도 서부 해역 전체가 대체적으로 고농도의 부유물 농도 분포특성을 나타내고 있었는데, 이것은 7월에 나타났었던 양자강 연안수가 8월에 이르러 그 세력을 확장한 모습을 나타낸 것이라고 생각한다. 11월 부유물 농도 분포자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 약 2.5배정도 높게 나타났다. 분포양상은 4월, 5월, 7월에 비해 그 분포규모가 더더욱 축소되었다. 12월 부유물 농도 분포자료를 분석해보면, 제주도 서부 연안해역이 바

갈쪽보다 상대적으로 최고 15배정도 높게 나타났다. 분포양상은 4월의 부유물 농도 분포양상보다 그 분포규모가 더 크게 나타났다.

4월에서 12월까지 제주도 서부 연안해역에서 상대적인 고농도의 부유물 농도 분포특성이 나타나는 것은 제주도 서부 지역이 남부, 북부, 동부지역에 비해 하천이 발달되어 있지 않고, 인구밀집지역과 산업시설이 거의 없는 지역임을 감안하면 저층에서 공급되었을 것이라고 생각한다. 또한 제주도 서부 해역의 해저 퇴적물은 대부분 니질형 퇴적물로서 평균조성이 모래 4 - 5 %, 실트 30 - 43 %, 점토 51 - 66 %로 이루어졌으며, 비교적 점토 함량이 많은 것이 특징이다(고유봉 외 공저, 1998). 그리고 수심이 바깥해역에서 연안쪽으로 갈수록 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다(Fig. 10). 따라서 제주도 서부 연안해역의 상대적인 고농도의 부유물 농도 분포특성은 연안용승 또는 조석 혼합에 의해 생겨났을 것이라고 생각한다. 이것은 기존의 연구결과와 잘 일치하고 있다(강 등, 1996).

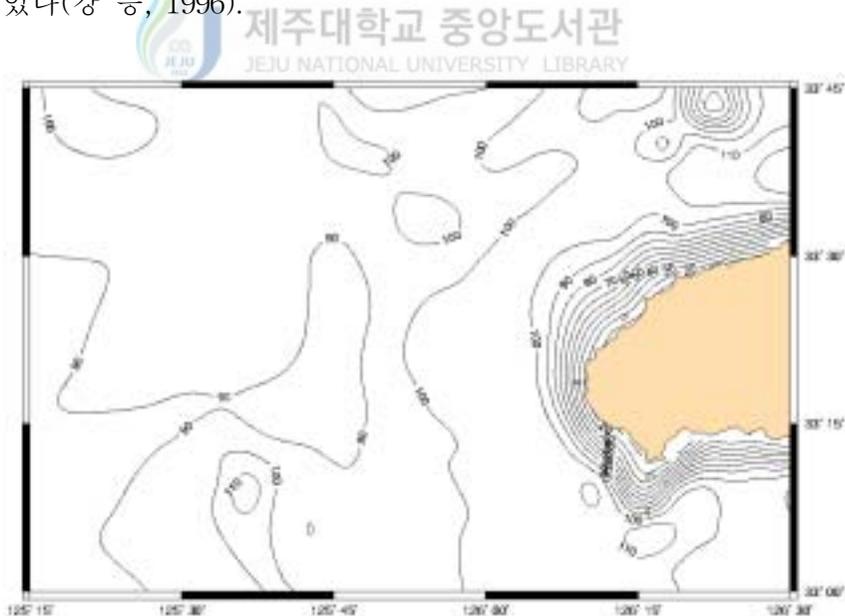


Fig. 10. Topography of the western sea of Cheju Island.

동일한 시기의 바람형태를 살펴보면(Fig. 13), SST와 부유물 농도가 관측된 4월 27일 이전인 4월 24일 - 25일 이틀에 걸쳐서 북풍계열의 바람이 강하게 불었었음을 알 수 있다. 또한 SST, 부유물 농도가 관측된 5월 30일을 전후로 하여 북풍계열의 바람이 강하게 불었었으며, 7월도 역시 SST, 부유물 농도가 관측된 7월 27일을 전후로 하여 북풍계열의 바람이 강하게 불었다. 11월과 12월에도 마찬가지로 SST, 부유물 농도 관측날짜인 11월 1일과 12월 21일에 북풍계열의 바람이 강하게 불었었음을 알 수 있다. 이와 같이 4월에서 12월까지 제주도 서부 연안해역에서 고농도의 부유물 농도가 나타났었던 시기에는 북풍계열의 바람이 강하게 불었었으며, 이것에 의해 용승이 발생하여 연안해역에 고농도의 부유물 농도 분포특성을 나타나게 한 것이라고 생각된다.

또한, 1998년 4월과 12월의 SST 자료에서는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온분포를 나타냈었는데, 동일한 시기의 부유물 농도분포에서는 연안해역이 고농도의 부유물 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 4월과 12월에 제주도 서부 연안해역에서도 용승이 발생했는데 수직적으로 균질하기 때문에 바깥해역보다 낮은 수온분포를 나타내지 못한 것이라고 생각한다.

조석혼합과 관련해서는 제주도 서부 연안해역에서 바깥해역보다 상대적으로 고농도의 부유물 농도 분포를 나타나게 한 요인중의 하나가 될 수 있다. Fig. 11은 제주도 서남 연안해역의 조석 성층계수값을 나타낸 그림이다. 조류가 강한 천해역에서는 해저마찰에 의해 조류의 운동에너지가 위치에너지로 전환되는 수직혼합이 나타나고, 조석혼합역인 연안과 성층해역인 외해 사이에는 조석전선이 형성된다. 성층역과 혼합역을 예측하기 위한 성층계수는 $\log H/Us^3$ (H: 수심, Us: 대조기 조류의 진폭, Simpson and Hunter, 1974)이다. Fig. 11에서 제주도 남부해역은 2.0이상이나 서안에서는 1.5미만의 값을 나타내고 있어, 이 해역에서 조석전선이 생길 수 있다는 것을 보여준다.

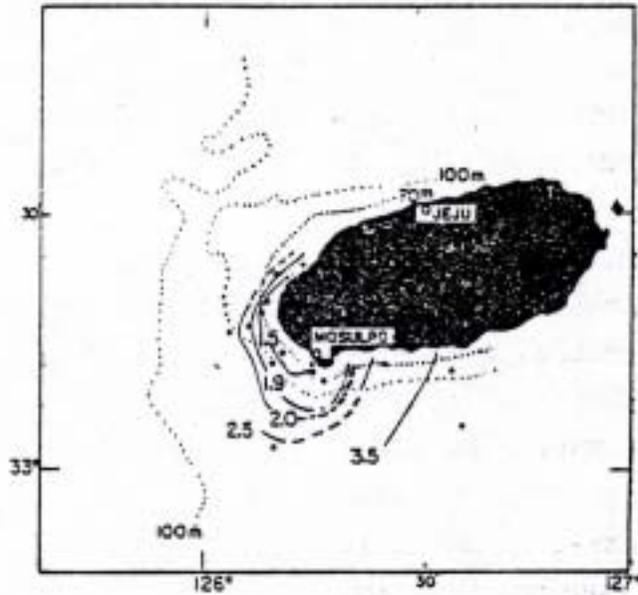
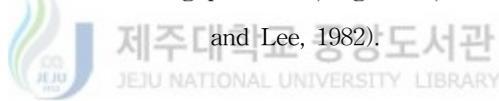


Fig. 11. Distributions of the mixing parameter, $\log H/U_s^3$, around Cheju Island (from Kim and Lee, 1982).



따라서, 제주도 서부 연안해역에서 상대적으로 고농도의 부유물 농도 분포가 나타나는 것은 바람에 의한 연안용승과 조석혼합의 복합적인 영향을 받아서 발생한 것이라고 생각한다.

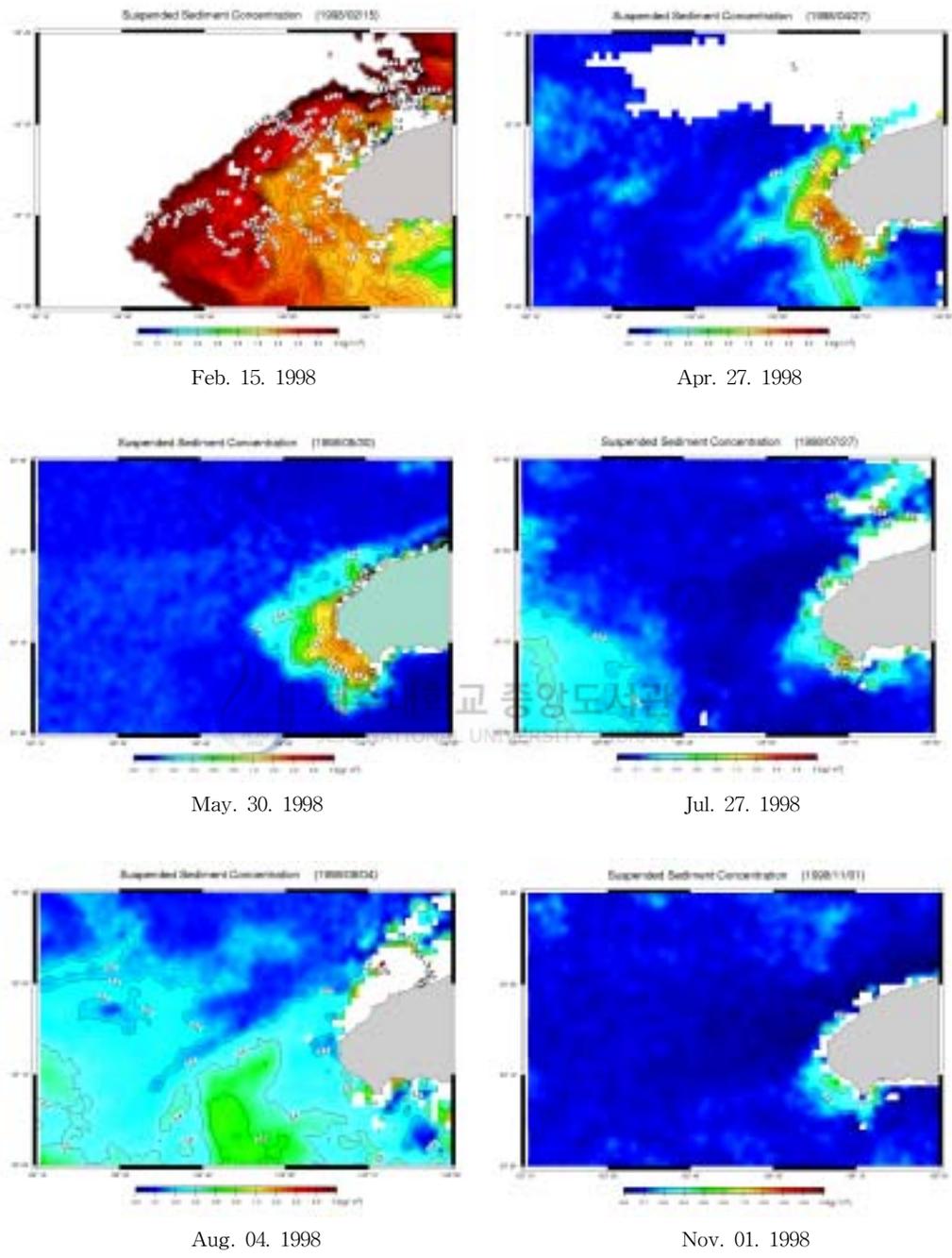
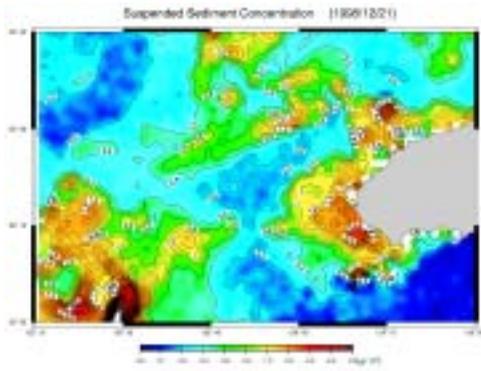


Fig. 12. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.



Dec. 21. 1998

Fig. 12. (continue).

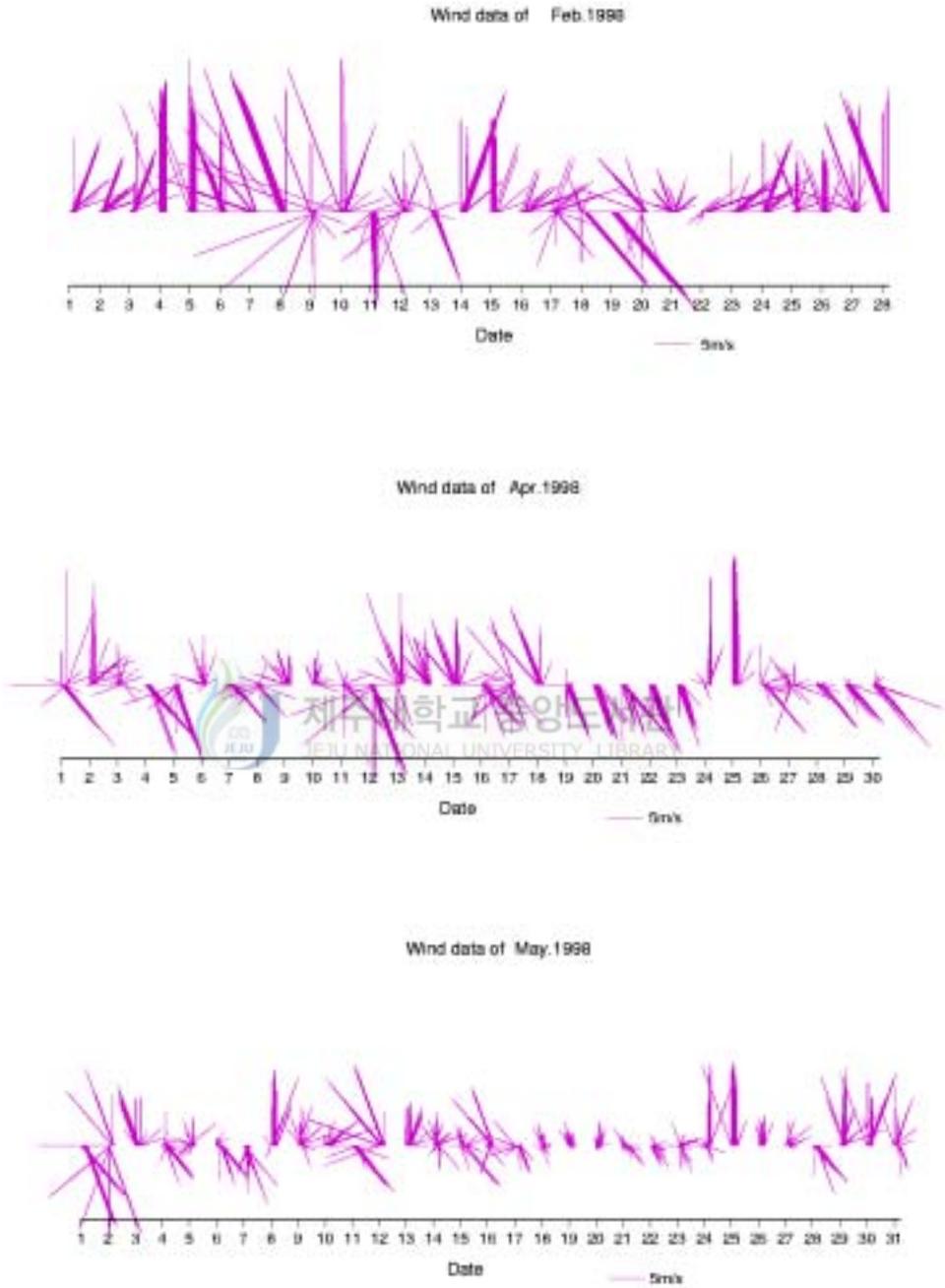
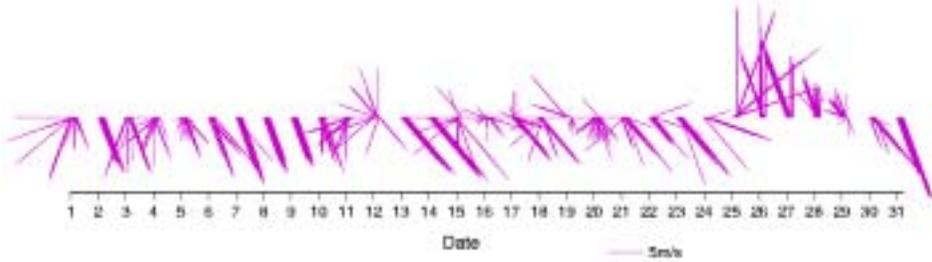
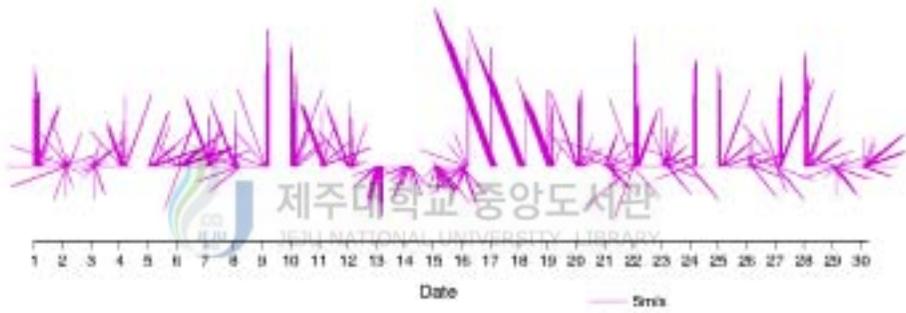


Fig. 13. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 1998 by Korea Meteorological Administration.

Wind data of Jul. 1998



Wind data of Nov. 1998



Wind data of Dec. 1998

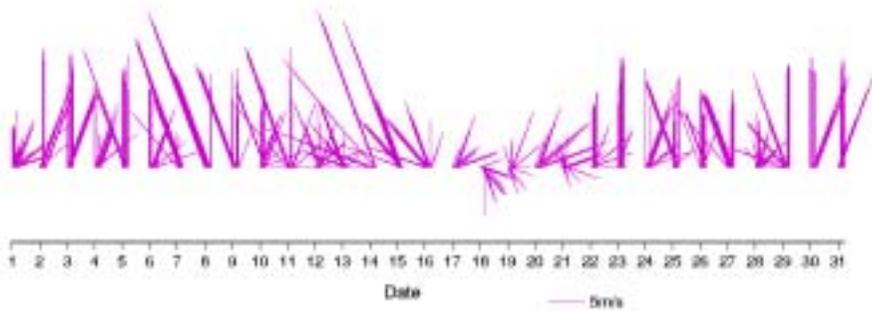


Fig. 13. (continue).

(2) 1999년

1999년 제주도 서부 해역의 부유물 농도 분포특성을 살펴보면(Fig. 14), 1월, 2월, 3월에는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 부유물 농도 분포를 나타냈다. 이것은 1998년 2월의 부유물 농도 분포특성과 마찬가지로 바람의 영향에 의해서 고농도의 부유물 농도를 함유한 중국 대륙 연안수가 제주도 서부 해역 부근까지 확장하였을 것이라고 생각한다.

4월, 5월, 6월에는 1월, 2월, 3월과는 반대로 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 고농도의 부유물 농도 분포를 나타내었다. 4월에는 약 2배정도, 5월에는 약 4배정도, 6월에는 약 3배정도 연안해역이 바깥쪽보다 상대적으로 부유물 농도가 높았다. 분포양상은 4월에는 제주도 서부 연안에서 남서방향의 바깥쪽으로 돌출되어 퍼져나가는 형상을 이루고 있었고, 5월에는 제주도 남서 연안선에서 바깥쪽으로 부채꼴형태로 넓게 퍼져 있었으며, 6월에는 제주도 서부 연안에서 부채꼴 모양으로 북서방향의 바깥쪽으로 넓게 분포하고 있었다. 이것은 1998년의 부유물 농도 분포특성과 마찬가지로 연안용승과 조석혼합의 영향을 받은 것으로 생각된다.

동일한 시기의 바람형태로 1998년과 마찬가지로 제주도 서부 연안해역에서 상대적인 고농도의 부유물 농도가 나타났었을 때, 북풍계열의 바람이 강하게 불었었음을 알 수 있었다(Fig. 15).

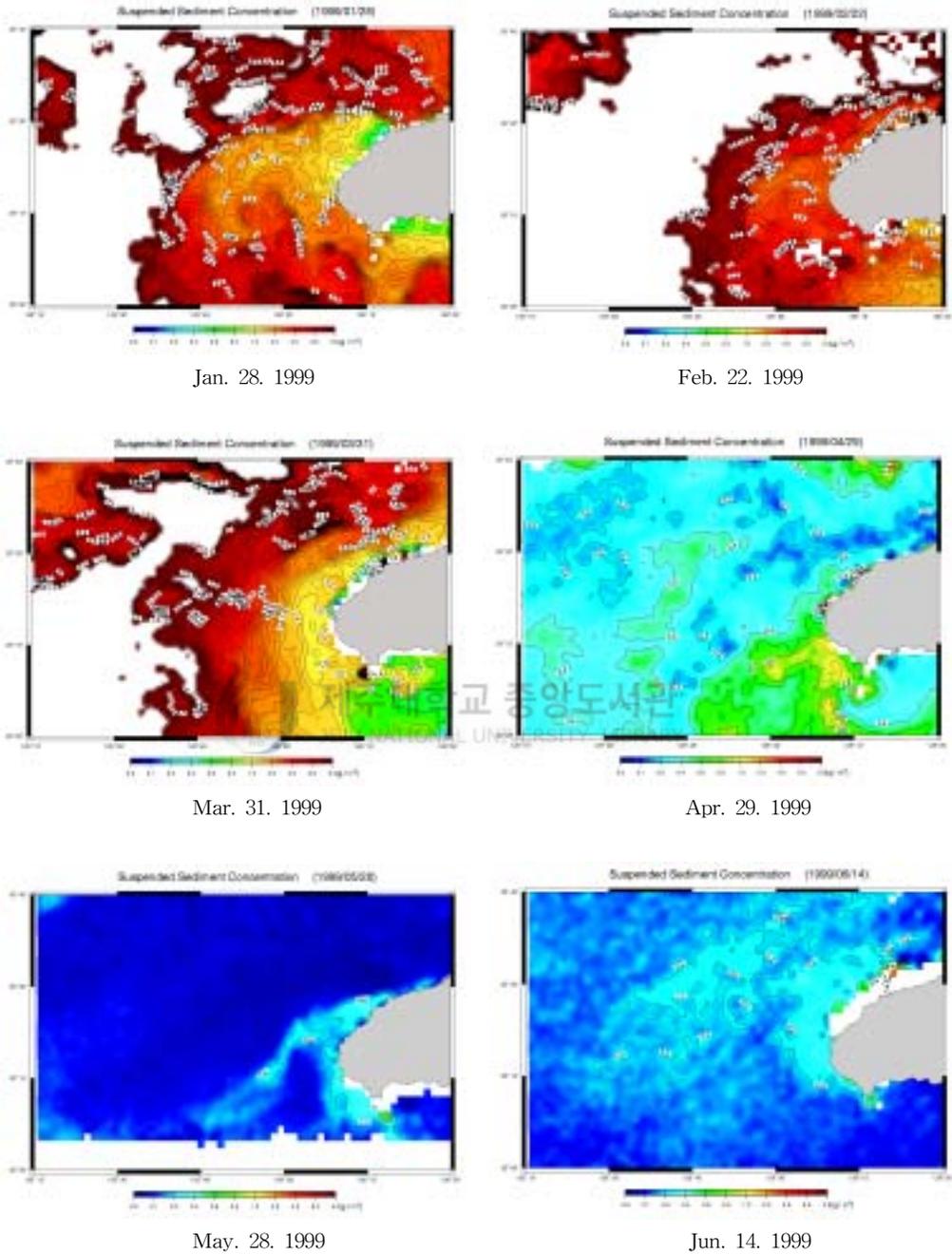


Fig. 14. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 1999 by SeaWiFS Satellite.

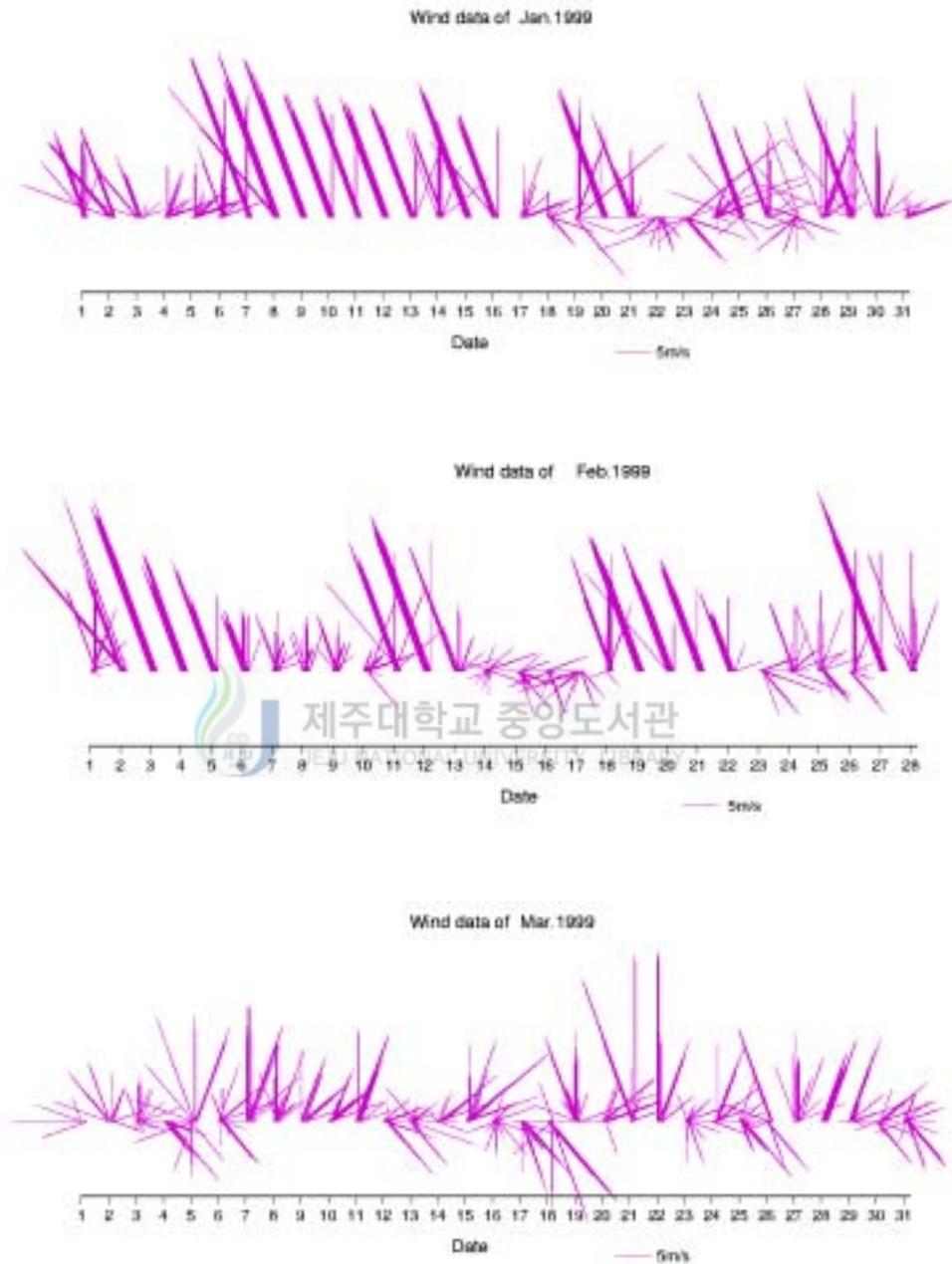
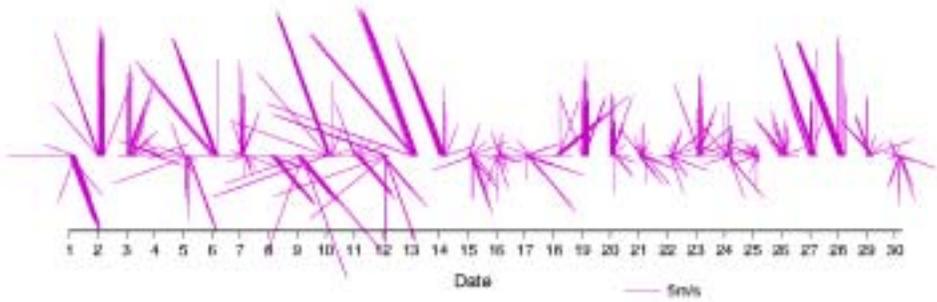
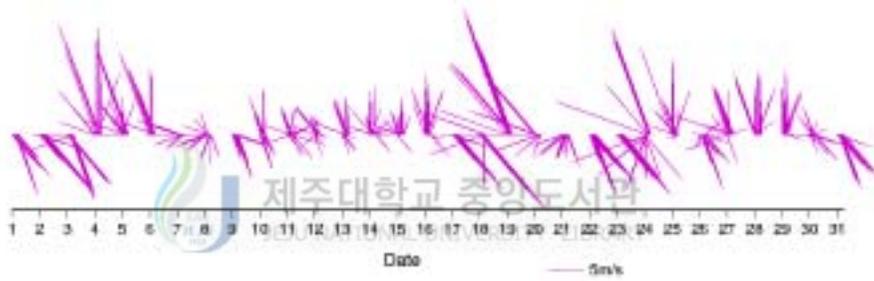


Fig. 15. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 1999 by Korea Meteorological Administration.

Wind data of Apr. 1999



Wind data of May 1999



Wind data of Jun. 1999

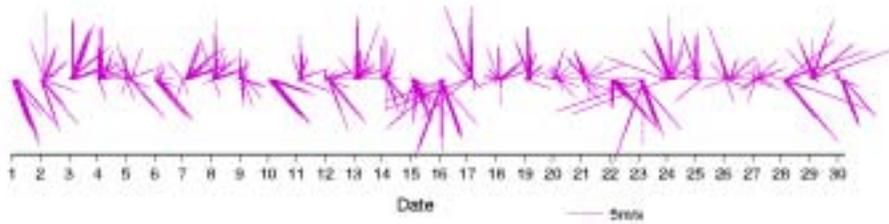


Fig. 15. (continue).

(3) 2000년

2000년 제주도 서부 해역의 부유물 분포도를 분석해보면(Fig. 16), 2월과 3월에는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 부유물 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 1998년, 1999년과 마찬가지로 고농도의 부유물 농도를 함유한 중국 대륙 연안수의 영향을 받았을 것이라고 생각한다.

4월에 관측된 부유물 농도 자료에서는 별 다른 분포특성이 나타나 있지 않았다. 5월에 관측된 부유물 농도 분포에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 4배정도의 높은 부유물 농도를 나타냈다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 바깥쪽으로 퍼져나가는 형태를 하고 있었다. 6월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 6배정도로 고농도의 부유물 농도 분포를 나타냈으며, 제주도 남서 연안해역을 중심으로 부채꼴 모양으로 바깥쪽을 향하여 넓게 분포하고 있었다. 7월 자료에서는 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 4.5배정도 부유물 농도가 높게 나타나고 있었고, 제주도 남서 연안에서 부채꼴 형태로 바깥쪽으로 퍼져나가는 모양을 하고 있었다. 8월 자료에서는 1998년 8월과 마찬가지로 양자강 연안수의 영향에 의해 제주도 서부 해역에 고농도의 부유물 농도 분포가 나타나고 있으며, 이 영향으로 연안해역에서는 상대적인 고농도의 부유물 농도가 잘 구분이 되지 않았다. 9월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 3배정도의 고농도 부유물 농도 분포를 나타냈다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 바깥쪽으로 퍼져나가는 형태를 하고 있었다. 11월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2배정도 높은 부유물 농도 분포를 나타내고 있었다. 분포양상은 제주도 서부 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 분포하고 있었다. 12월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥쪽보다 상대적으로 3배정도로 부유물 농도가 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 바깥쪽으로 퍼져나가는 형태를 하고 있었다.

따라서, 5월에서 12월까지 제주도 서부 연안해역에서 상대적인 고농도의 부유물 농도 분포가 나타나는 것은 역시 1998년, 1999년과 마찬가지로 연안용승과 조석혼합에 의한 것이라고 생각한다.

동일한 시기의 바람형태를 살펴보았을 때, 1998년, 1999년과 마찬가지로 제주도 서부 연안해역에서 상대적인 고농도의 부유물 농도가 발생했었을 때 북풍계열의 바람이 강하게 불었었던 것을 알 수 있다(Fig. 17).



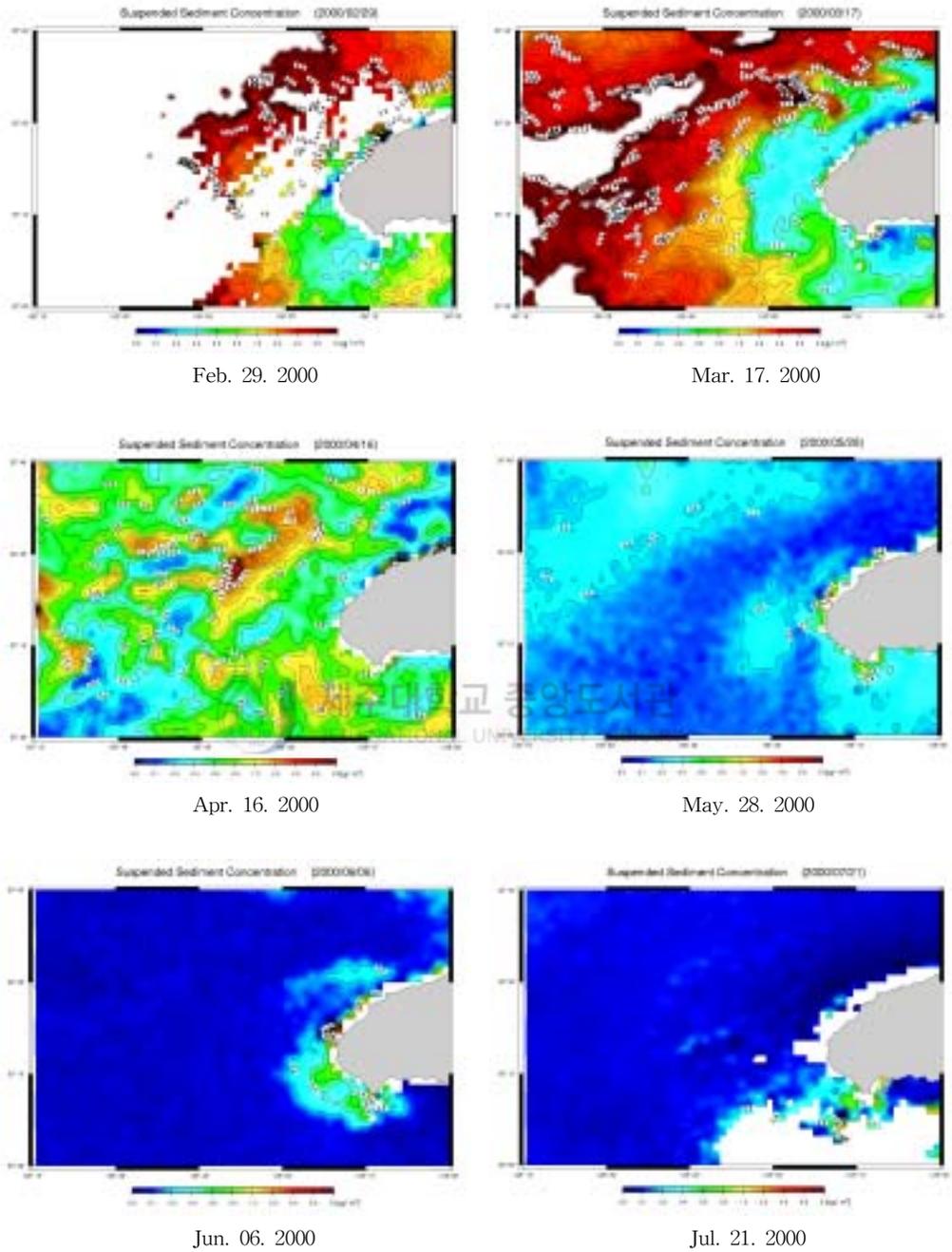
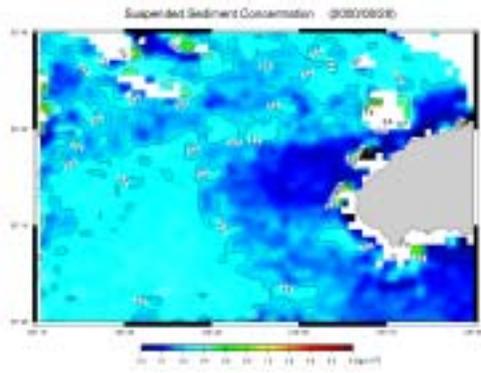
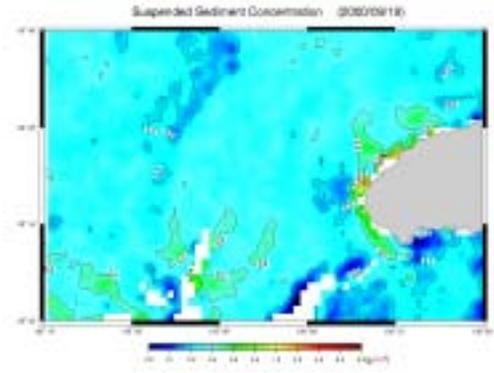


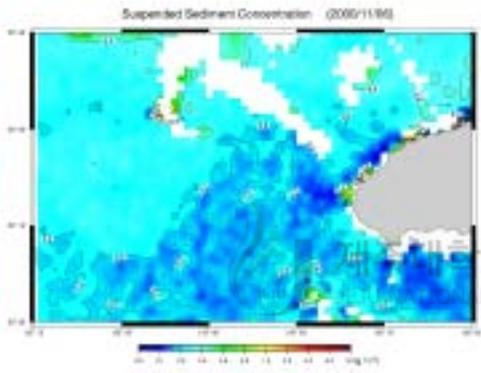
Fig. 16. Turbidity distributions in the western sea area of Cheju Island in 2000 by SeaWiFS Satellite.



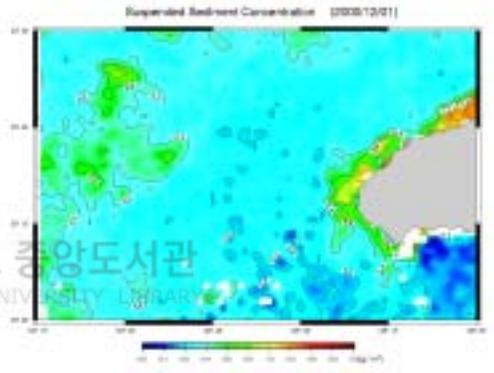
Aug. 28. 2000



Sep. 19. 2000



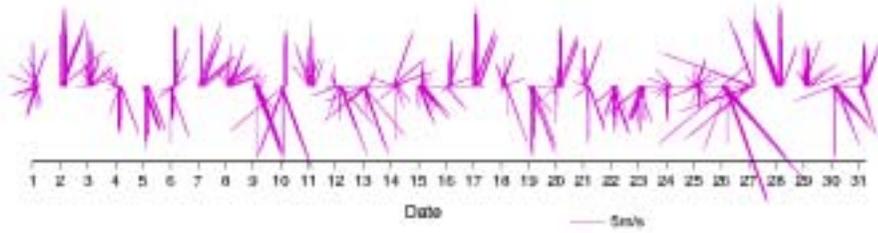
Nov. 06. 2000



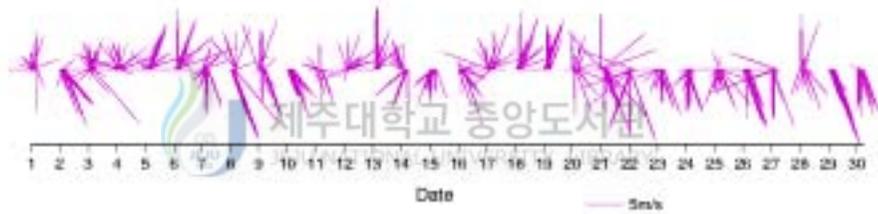
Dec. 01. 2000

Fig. 16. (continue).

Wind data of May 2000



Wind data of Jun.2000



Wind data of Jul.2000

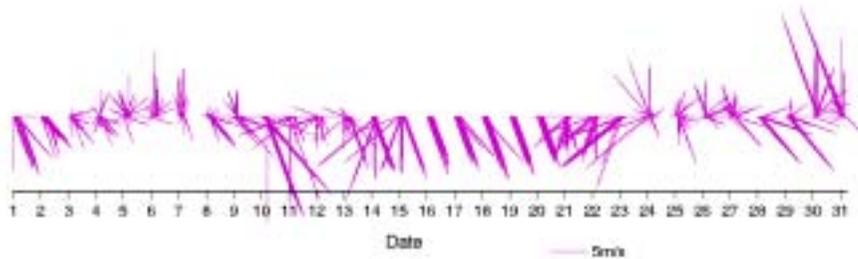


Fig. 17. Wind data in Gosan area of Cheju Island in 2000 by Korea Meteorological Administration.

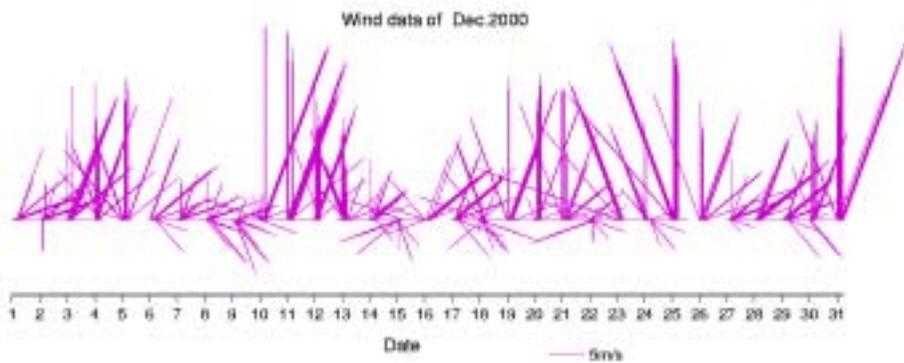
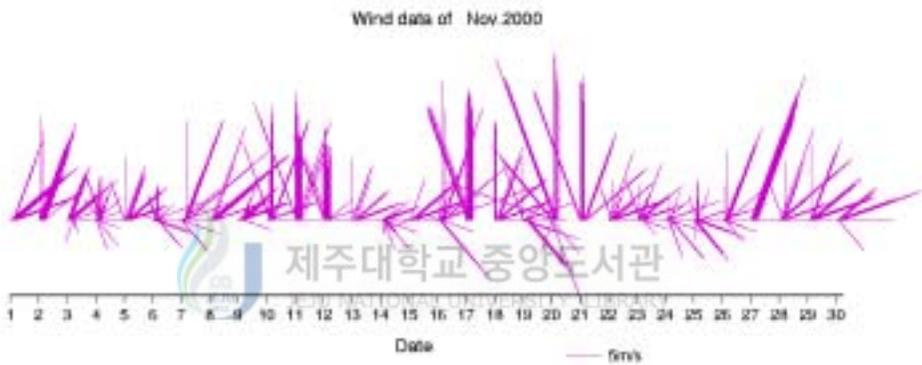
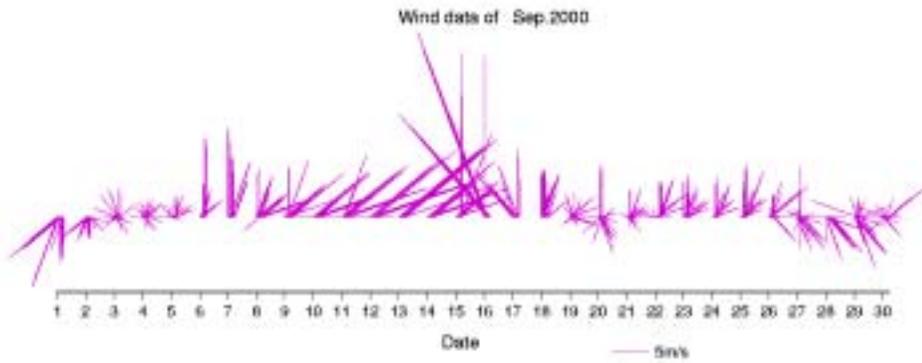


Fig. 17. (continue).

3. Chlorophyll 농도

(1) 1998년

Fig. 18은 SeaWiFS에 의해 관측된 1998년 제주도 서부 해역의 월별 chlorophyll 분포도를 나타낸 것이다. 2월에는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 중국 대륙에서 기인한 대륙붕 연안수가 바람에 의해 고농도의 chlorophyll 농도를 유지한 채 제주도 서부 해역까지 영향을 미친 것이라고 생각한다.

4월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 3배 정도 chlorophyll 농도가 높았다. 분포양상은 제주도 서부 연안해역에서 남서 방향의 바깥쪽으로 퍼져나가는 형태를 나타내고 있었다. 5월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 9배 정도 chlorophyll 농도가 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안해역에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태의 분포를 나타내고 있었다. 7월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 3배 정도 높은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 분포양상은 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 폭넓게 분포하고 있었다. 11월의 chlorophyll 분포자료를 분석하면, 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 4배 정도의 높은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 분포양상은 제주도 남서 연안해역에서 바깥쪽으로 돌출된 형태를 하고 있었다. 12월 자료에서는 chlorophyll 농도가 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2배 정도의 차이가 나고 있었다. 분포양상은 제주도 서부 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 분포하고 있었다. 이것은 연안 용승 및 조석혼합에 의해 저층의 영양염류들이 표층으로 공급되어 식물성 플랑크톤이 다량으로 증식되었기 때문이라고 생각된다. 이러한 분석결과는 강 등(1996)의 연구결과와 잘 일치하고 있다.

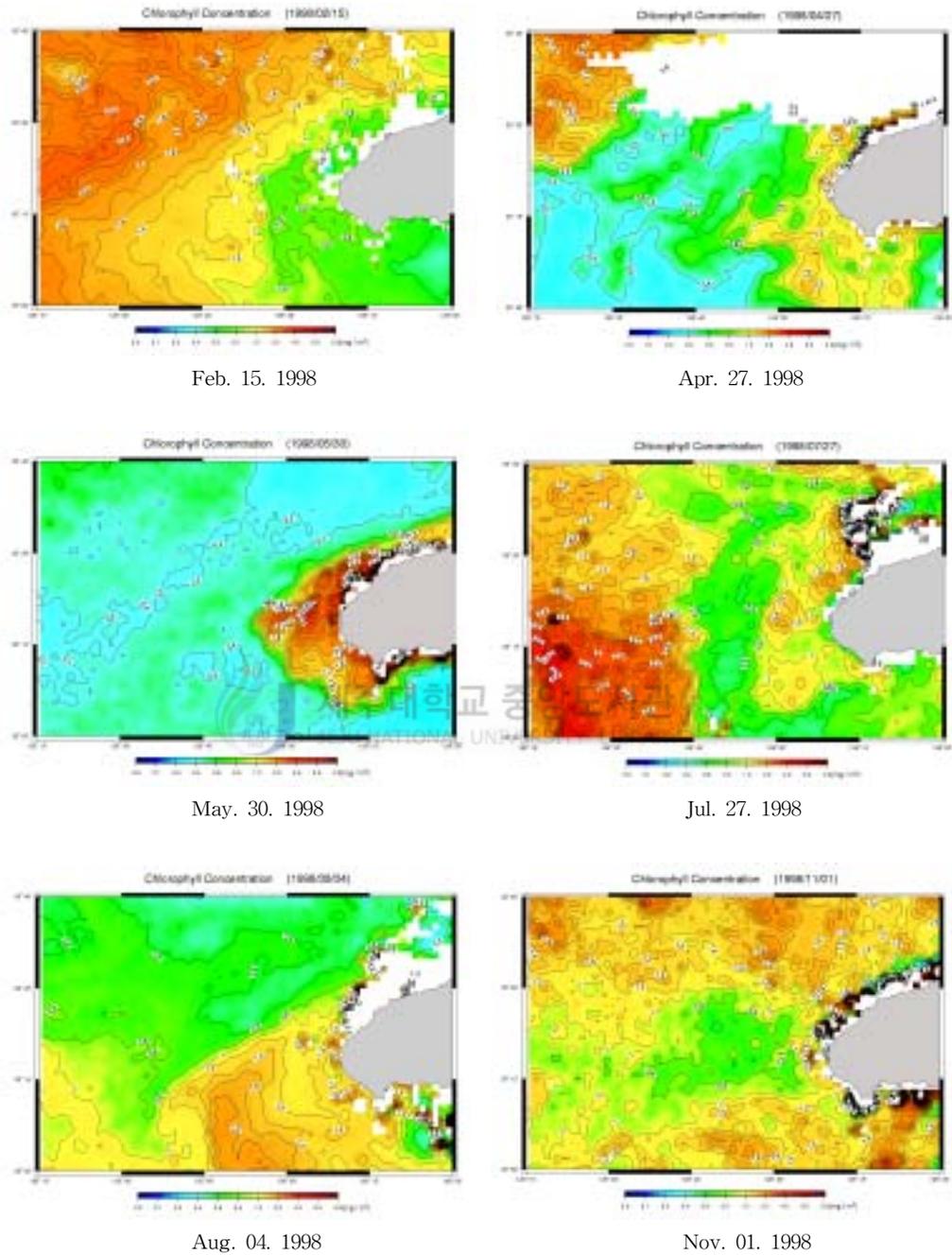
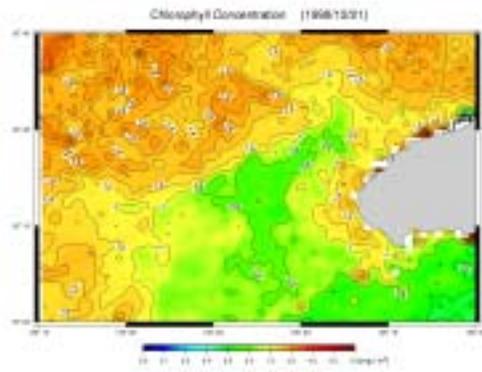


Fig. 18. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 1998 by SeaWiFS Satellite.



Dec. 21, 1998

Fig. 18. (continue).

(2) 1999년

1999년 제주도 서부 해역에서의 chlorophyll 분포특성을 살펴보면 다음과 같다(Fig. 19). 1월에서 4월까지의 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 1998년과 마찬가지로 중국 대륙 연안수의 영향을 받았을 것이라고 생각된다.

5월 자료에서는 약 8배정도로 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 고농도의 chlorophyll 분포를 나타내고 있었으며, 제주도 서부 연안에서 북서방향의 바깥쪽으로 갈고리 형태의 분포양상을 보여주고 있었다. 6월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2.5배정도 chlorophyll 농도가 높았다. 분포양상은 제주도 서부 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 퍼져나가는 형태를 나타내고 있었다. 이것은 1998년과 마찬가지로 연안용승과 조석혼합에 의한 저층에서 표층으로 영양염류가 원활히 공급되어 식물성플랑크톤이 증식되었기 때문이라고 생각한다.



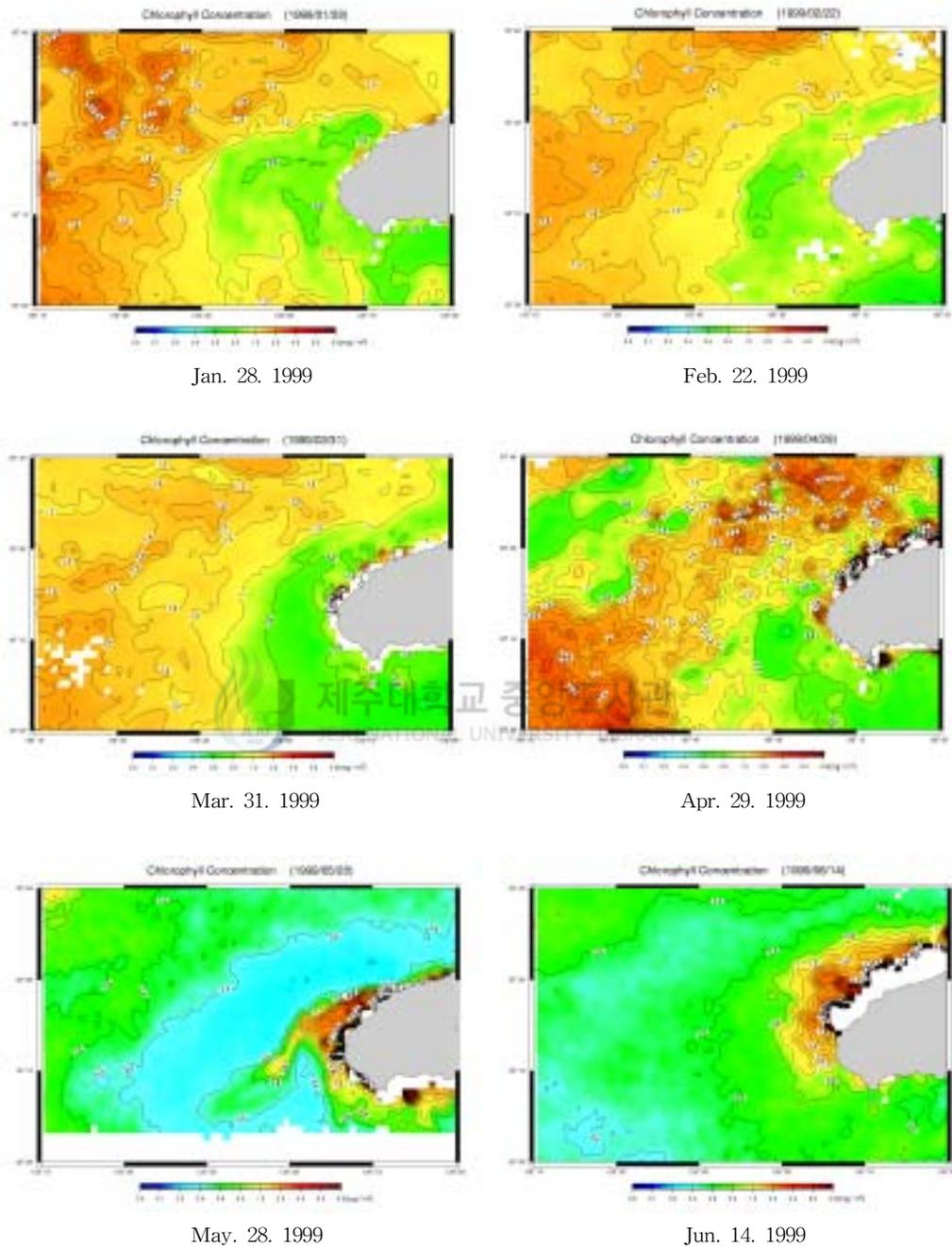


Fig. 19. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 1999 by SeaWiFS Satellite.

(3) 2000년

2000년 제주도 서부 해역에서의 chlorophyll 농도 분포를 분석하면(Fig. 20), 2월, 3월에는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 1998년, 1999년과 마찬가지로 중국 대륙붕 연안수의 영향을 받은 것이라고 생각한다.

4월 chlorophyll 농도 분포자료에서는 별 다른 분포특성이 나타나 있지 않았고, 5월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2배정도 chlorophyll 농도가 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안에서 남서방향의 바깥쪽으로 넓게 부채꼴 형태로 분포하고 있었다. 6월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 3배정도 chlorophyll 농도가 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서부 연안선을 따라 부채꼴 모양으로 북동에서 남서방향으로 퍼져나가는 양상이 나타났다. 7월 자료에서는 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 약 2배정도 chlorophyll 농도가 높게 나타났다. 분포양상은 제주도 서남 연안에서 바깥쪽으로 부채꼴 형태로 분포하고 있었다. 이것은 1998년, 1999년과 마찬가지로 연안용승과 조석혼합에 의한 저층에서 표층으로 영양염류가 공급되어 식물성플랑크톤의 증식을 유발시켰을 것이라고 생각된다.

8월과 9월 자료에서는 특징적인 분포양상이 나타나지 않았고, 11월과 12월에는 제주도 서부 연안해역보다 바깥해역이 상대적으로 chlorophyll 농도가 높게 나타나고 있었다. 이것은 2000년 2월, 3월에서와 같이 중국 대륙붕 연안수의 영향을 받았을 것이라고 생각한다.

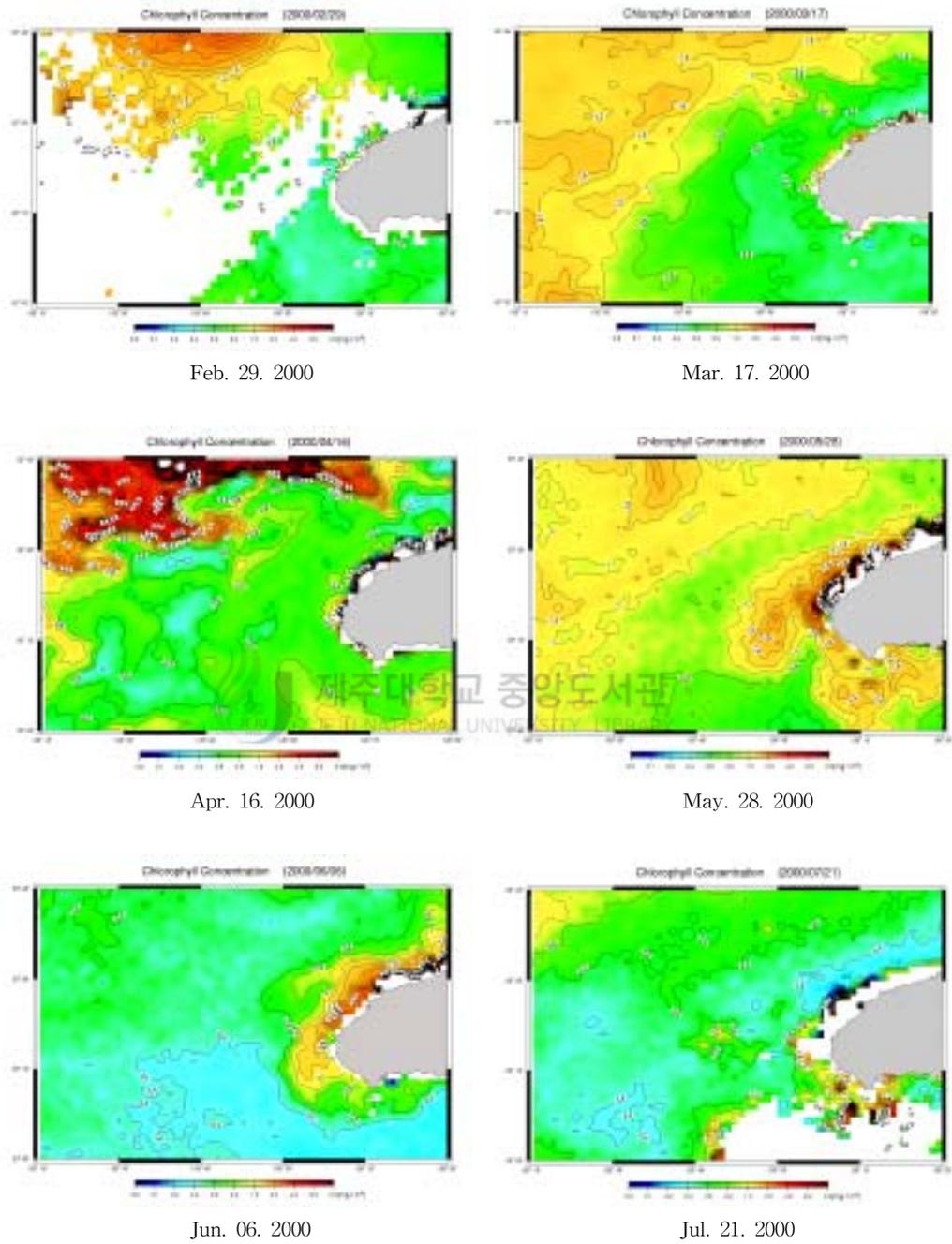
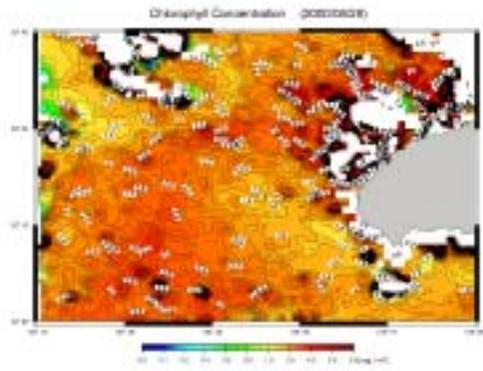
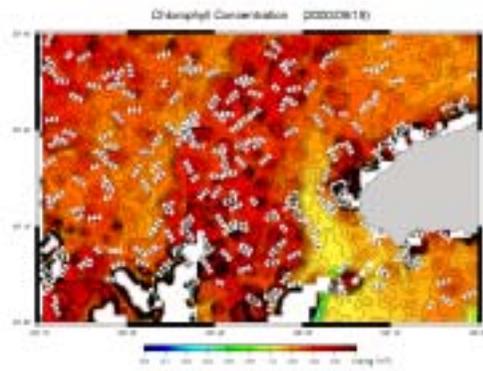


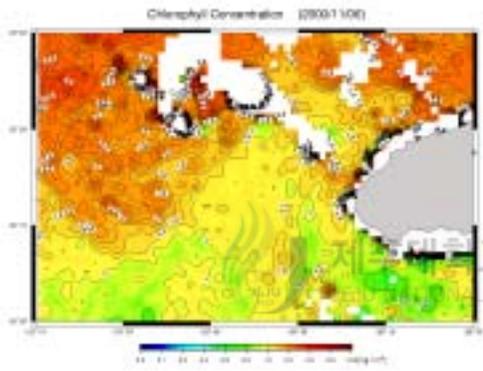
Fig. 20. Chlorophyll concentration distributions in the western sea area of Cheju Island in 2000 by SeaWiFS Satellite.



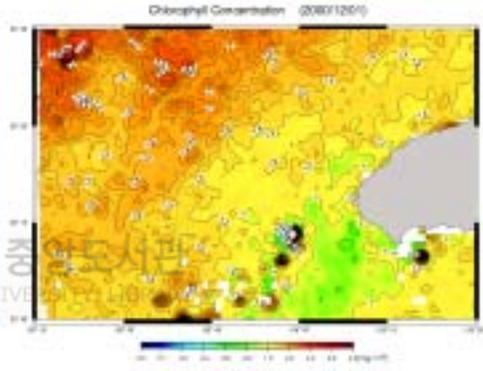
Aug. 28. 2000



Sep. 19. 2000



Nov. 06. 2000



Dec. 01. 2000

Fig. 20. (continue).

V. 토의 및 결론

1998년부터 2000년까지 NOAA 위성의 AVHRR과 SeaWiFS에 의해서 관측된 제주도 서부 해역에 대한 해양환경적 요소들 중에서 먼저, SST 분포특성은 다음과 같다. 5월에서 11월까지의 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포를 나타내고 있었다. 이것은 제주도 서부 연안해역에서 발생하는 용승과 조석혼합에 의한 것이라고 생각한다. 방과 김(1993), 강 등(1996), Kim and Lee(1982) 등의 연구결과와 잘 일치하고 있다. 12월에서 4월까지의 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포를 나타내고 있었다.

부유물 농도 분포특성은 1월에서 3월까지의 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 부유물 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 중국 대륙붕 연안수가 바람의 영향을 받아 고농도의 부유물 농도를 유지한 채 제주도 서부 해역까지 그 세력을 확장한 것이라고 생각된다. 4월에서 12월까지의 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 높은 부유물 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 제주도 서부 지역이 남부, 북부, 동부에 비해서 하천이 발달되어 있지 않고, 산업시설과 인구밀집지역도 거의 없기 때문에 육지로부터의 공급이 전무한 지역이다. 따라서 제주도 서부 연안해역에서 발생하는 용승과 조석혼합에 의한 것이라고 생각하며, 기존의 연구결과(강 등, 1996)와 잘 일치하고 있다. 동일한 시기의 바람형태를 확인해보면, 연안해역에서 상대적인 고농도의 부유물 농도가 발생했을 때에는 대부분 북풍계열의 바람이 강하게 불었다. 이러한 바람은 연안용승을 유발하게 하는 요인이 된다. 또한 Kim and Lee(1982)의 연구결과에서 조석혼합이 발생할 요인도 다분히 존재하기 때문에 제주도 서부 연안해역에서 발생하는 바깥해역보다 상대적인 고농도의 부유물 농도 분포는 연안용승과 조석혼합의 복합적인 영향을 받아서 발생했을 것이라고 생각한다. 그리고 7월, 8월에는 양자강 연안

수의 영향이 제주도 서부 해역까지 미치고 있었음을 분석결과로 알 수 있었다.

SST 자료들 중에서 4월과 12월에는 제주도 서부 연안해역과 바깥해역이 거의 균질한 수온 분포를 나타내고 있었지만, 동일한 시기의 부유물 농도 분포에서는 연안용승과 조석혼합의 영향에 의해 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 높은 부유물 농도 분포를 나타내고 있었던 것을 알 수 있었다. 이것은 이 시기의 연안해수의 수직구조는 균질한 상태였을 것이라고 생각할 수 있다.

chlorophyll 농도 분포특성은 1월에서 3월까지의 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 chlorophyll 농도 분포를 나타내고 있었다. 이것은 중국 대륙붕 연안수가 바람에 의해 고농도의 chlorophyll 농도를 유지한 채 제주도 서부 해역까지 확장했었다고 생각한다. 4월에서 12월까지의 대체적으로 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 높은 chlorophyll 농도를 나타내고 있었다. 이것은 연안용승과 조석혼합에 의해 저층에서 표층으로 영양염류가 원활하게 공급되어 식물성플랑크톤의 증식을 유발했을 것이라고 생각한다.

따라서, 4월-12월 동안에는 연안 용승이나 조석혼합 등에 의해 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온과 높은 chlorophyll과 부유물 농도를 갖는데 비해, 1월-3월 동안에는 중국대륙 연안에서 기인한 대륙붕 연안수가 바람에 의해 높은 부유물 농도와 chlorophyll 농도를 유지하기 때문에 제주도 서부 연안해역보다 바깥해역이 상대적으로 높은 값을 갖는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Ahn, Y. H., H. J. Lie and J. E. Moon, 1999. Variations of water turbidity in Korean waters. *International Symposium on Progress in Coastal Engineering and Oceanography, September 9-11, 1999, Seoul, Korea.*
- Ahn, Y. H., S. Gallegos and J. E. Moon, 2001. Development of Suspended Particulate Matter Algorithm for Ocean Color Remote Sensing. *in the process of write for Korean Journal of Remote Sensing.*
- 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.*
- Clark, D. K., 1981. Phytoplankton algorithms for the Nimbus-7 CZCS. in "Oceanography from Space", edited by J. R. F. Gower, Plenum Press, NewYork, 227-238.
- Gordon, H. R. and D. K. Clark, 1981. Clear water radiances for atmospheric correction of coastal zone color scanner imagery. *App. Opt., 20, 4175-4180.*
- Gordon, H. R. and A. Y. Morel, 1983. *Remote assessment of ocean colour for interpretation od satellite visible imagery. A review.* New York: Springer.
- Gordon, H. R., D. K. Clark, J. W. Brown, O. B. Brown, R. H. Evans and W. W. Broenkow, 1983. Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: Comparison between ship determinations and Coastal Zone Color Scanner estimates. *App. Opt., 22, 20-36.*

- Gordon, H. R. and M. Wang, 1994. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: A preliminary algorithm. *App. Opt.*, 33, 443-452.
- Gordon, H. R., 1997. Atmospheric correction of ocean color imagery in the Earth Observing System era. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. D14, 17081-17106.
- Kirk, J. T. O., 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems - 2nd ed. Cambridge University Press.
- Kim, K. and S. H. Lee, 1982. Vertically homogeneous water along the west coast of Jeju Island. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 17(2), 59-68.
- Lie, H. J., C. H. Cho, J. H. Lee, P. Niiler and J. H. Hu, 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. *Journal of Geophysical Research*, (in press).
- Lie, H. J., C. H. Cho, J. H. Lee, S. Lee and Y. Tang, 2000. Seasonal variation of the Cheju Warm Current in the Northern East China Sea. *Journal of Oceanography*, Vol. 56, 197-211.
- Maul, G. A., 1985. Introduction to satellite oceanography. Martinus Nijhoff Publishers.
- 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.
- McClain, C. R., 1997. SeaWiFS Bio-optical Algorithm Mini-workshop (SeaBAM) Overview. *SeaWiFS Bio-optical Algorithm Mini-workshop, January 21-24, 1997, UC/Santa Barbara*.
- O'Reilly, J. E., S. Maritorena, B. G. Mitchell, D. A. Siegel, K. L. Carder, S.

- A. Garver, M. Kahru and C. McClain, 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, No. C11, 24937-24953.
- Robinson, I. S., 1983. Satellite observations of ocean colour. *Philos. Trans. Royal Soc. of London, Series A, Volume 309*, 338-347.
- Simpson, J. H. and J. R. Hunter, 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250, 404-496.
- Suh, Y. S., B. G. Mitchell and K. S. Lim, 1999. A recurring eddy off the Korean Northeast Coast captured on satellite ocean color and sea surface temperature imagery. *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, Vol. 15, No. 2, 175-181.
- Wang, M., 1991. Atmospheric correction of the second generation ocean color sensors. Ph.D. dissertation (University of Miami, Coral Gables, Fla).
- An Overview of SeaWiFS and the SeaStar Spacecraft. <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/SEASTAR/SPACECRAFT.html>
- Data Set Readme for the Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor(SeaWiFS). http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/OCDST/seawifs_readme.html
- Goddard DAAC's HDF Information Page. http://daac.gsfc.nasa.gov/REFERENCE_DOCS/HDF/gdaac_hdf.html
- Patt, F. S., 1993. Frame Formatter (Level 0) Output File Format Version 1.1. http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/SOFTWARE/seawifs_l0_format.html
- SeaDAS Frequently Asked Questions(FAQ). http://seadas.gsfc.nasa.gov/doc/sds_faq.html

SeaWiFS Product Information. <http://daac.gsfc.nasa.gov/>

[CAMPAIGN_DOCS/BRS_SRVR/seawifsbrs_info.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/BRS_SRVR/seawifsbrs_info.html)

Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor(SeaWiFS) Level 1A and Level 2

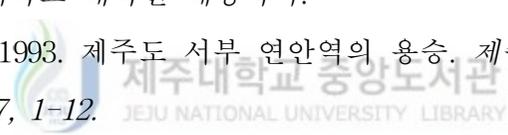
HDF Dataset Guide Document Version 1.1, March 1998. [http://daac.](http://daac.gsfc.nasa.gov/DATASET_DOCS/SeaWiFS_L1L2A_Guide.html)

[gsfc.nasa.gov/DATASET_DOCS/SeaWiFS_L1L2A_Guide.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/DATASET_DOCS/SeaWiFS_L1L2A_Guide.html)

강태연, 최영찬, 고유봉, 1996. 제주도 주변 용승역의 생물생태학적 기초연구 (I) - 제주도 남서부 연안해역의 해수화학적 특성과 용승현상. *한국수산학회지*, 29(5), 603-613.

고유봉 외 공저, 1998. 제주의 바다. 사단법인 제주도수산해양개발협의회.

박경애, 1996. NOAA/AVHRR자료와 TOPEX 고도계 자료를 이용한 동해의 해수 표면온도와 해수면 이상치의 시·공간적 변동성. *이학박사학위논문*, 서울대학교 대학원 해양학과.

방익찬, 김태희, 1993. 제주도 서부 연안역의 용승. *제주대학교 해양연구소 연구보고*, 17, 1-12. 

서영상, 2001. 위성원격탐사에 의한 한반도 근해의 해양학적 특성. *이학박사학위논문*, 부경대학교 대학원 해양학과.

손승현, 1998. The chlorophyll pigment distribution in the East/Japan Sea observed by Coastal Zone Color Scanner(CZCS). *이학석사학위논문*, 부산대학교 대학원 해양과학과.

안유환 등, 1999. 해양종합관측위성의 사전 조사 연구. 한국해양연구소 보고서, BSPE 97672-00-1146-1.

안유환 등, 1999. 위성에 의한 적조 및 해수 탁도 원격탐사 기술개발. 한국해양연구소 보고서, BSPE 98721-00-1224-01.

이흥재 등, 1998. 동중국해 중·서부해역의 해양순환 연구(1차년도). 한국해양연구소 보고서, BSPE 97603-00-1042-1.

이흥재 등. (1999). 동중국해 중·서부해역의 해양순환 연구(2차년도). 한국해

- 양연구소 보고서, BSPE 98708-00-1141-1.
- 조철호 등, 1998. 제주도 서안에서 황해난류의 구조 특성. 한국해양연구소 보고서, BSPE 97614-00-1076-1.
- 한국해양연구소, 1998. 황해의 해수순화 및 물질플럭스 연구: 황해 해수특성 조사. 과학기술부 연구보고서, 97-LO-01-03-A-02(BSPN 97357-02-1101-1).
- 한국해양연구소, 1999. OSMI (LRC) 보정/검증 및 해양응용을 위한 연구. 과학기술부 연구보고서, BSPN 98370-00-1226-3.
- 현경훈, 1996. 남·서해의 계절 순환과 여름철 난류수의 서해 유입. *이학석사 학위논문, 제주대학교 대학원 해양학과.*



요 약

위성자료를 이용한 제주도 서부 해역의 표층수온, chlorophyll 농도, 탁도 분포특성 연구

1998년부터 2000년까지 3년 동안의 인공위성 자료를 사용하여, 연안용승(방과 김, 1993; 강 등, 1996)이나 조석혼합(tidal mixing, Kim and Lee, 1982) 등이 발생하는 해역으로 알려져 온 제주도 서부해역의 chlorophyll 농도, 부유물 농도, 표층수온(SST, Sea Surface Temperature)의 분포특성을 분석하였다. chlorophyll 농도와 부유물 농도 자료는 SeaWiFS(Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) 자료를 사용하였고, chlorophyll 농도인 경우에는 NASA 표준 알고리즘, 부유물 농도는 Ahn *et al.*(2001)의 알고리즘을 이용하였다. SST는 NOAA 자료를 사용하였고, 알고리즘은 Multi Channel Sea Surface Temperature (MCSST)를 사용하였다. 바람자료는 제주도 고산지역에 위치한 제주지방기상청 산하 제주고층레이더에서 관측한 자료를 이용하였고, 지상에서 약 80m 높이에서 관측된 바람자료이다.

제주도 서부 연안해역과 그 바깥 해역을 비교했을 때, SST는 12월-4월에 대체적으로 균질하였으며, 5월-11월 동안에는 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온 분포를 나타냈다. 부유물 농도와 chlorophyll 농도는 1월-3월 동안에 연안해역보다 바깥해역이 상대적으로 높았으며, 4월-12월 동안에는 그 반대였다. 바람은 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 표층수온이 낮고, 부유물 농도가 높았을 때, 북풍계열의 바람이 강하게 발생했었다.

따라서, 4월-12월 동안에는 연안 용승이나 조석혼합 등에 의해 제주도 서부 연안해역이 바깥해역보다 상대적으로 낮은 수온과 높은 chlorophyll 농도와

부유물 농도를 갖는데 비해, 1월-3월 동안에는 중국대륙 연안에서 기인한 대륙붕 연안수가 바람에 의해 높은 부유물 농도와 chlorophyll 농도를 유지하기 때문에 연안해역보다 바깥해역이 상대적으로 높은 값을 갖는 것으로 생각된다.



감사의 글

제가 여기까지 올 수 있도록 여러 방면에서 지도해주신 제주대학교 방익찬 교수님과 한국해양연구원 안유환 박사님께 진심으로 감사드립니다. 또한 학부과정에서 석사과정에 이르기까지 여러 가지 해양학적 지식들을 습득할 수 있도록 가르쳐주신 제주대학교 고유봉 교수님, 윤정수 교수님, 최영찬 교수님, 이준백 교수님, 윤석훈 교수님께 진심으로 감사드립니다. 제주대학교 물리해양학연구실에서 같이 동고동락한 현경훈 선배님, 오경희, 강재훈, 홍창수, 문재인 선배님, 김태희 선배님과 기상청의 이찬구 선생님과 유종인 선생님께 감사드립니다. 그리고 지금은 부산대학교 박사과정에 다니고 있는 강동우 형님과 현 제주대학교 해양학과 조교인 고윤영 선배님께 감사드립니다.

1998년 5월부터 한국해양연구원에서 근무하면서 저의 연구분야에 관심과 격려를 해주신 장경일 박사님을 비롯한 예전의 물리연구단 소속 박사님들과 기술원님들, 그리고 김창희, 김평중, 정병철, 김운배, 봉선화, 임은표, 김병남에게 감사드립니다.

논문을 집필하기 시작하면서 연구원에서 늦은 시간까지 있을 때 저를 집까지 태워주시고, 사소한 일까지 상담에 응해주신 박성혜 박사님께 진심으로 감사드립니다. 또한 논문과 관련해서 여러 가지 조언을 해주신 이석 박사님과 조철호 박사님, 그리고 저를 아는 모든 분들께 감사드립니다.

끝으로 저를 낳아 지금까지 키워주신 부모님과 동생들에게 이 논문을 바칩니다.