

定量化된 衛星資料를 이용한 海水 水質研究(Ⅲ)

Study on Seawater Quality by Quantification of Satellite Data(Ⅲ)

1994. 9.

研 究 機 關
韓 國 海 洋 研 究 所

科 學 技 術 處

提 出 文

科學技術處 長官 貴下

本 報告書를 “定量化된 衛星資料를 이용한 海水水質 연구” 과제의 제3차년도 최종보고서로 제출합니다.

1994. 9.

주관연구기관명 : 한국해양연구소

연구책임자 : 유 홍 룡

연 구 원 : 원 증 선

신 동 혁

추 용 식

천 종 화

신 경 순

연 구 조 원 : 장 석

윤 증 수

김 광 산

김 성 애

要 約 文

I. 題 目

정량화된 위성자료를 이용한 해수수질연구 (III)

II. 研究開發의 目的 및 重要性

위성에 의해 얻어지는 영상자료는 단순한 수치로 구성되어 있어 정성적인 분석을 매우 용이한 반면 해양학적 요소에 단위를 가지는 값으로의 변환은 현장에서 직접 수행한 관측자료를 토대로 이루어 져야함.

- 미국의 경우 LANDSAT, SEASAT, NOAA, NIMBUS-7등 극궤도 자원탐사 및 기상 위성을 쏘아 올려 해양관측에 이용해 왔으며 Columbus, Discovery, Explorer등 Space Shuttle을 발사하여 얻어진 방대한 양의 위성영상자료를 정량화 하여 해양, 환경, 수산, 연안공학등에 이용하고 있음.
- France에서는 기존 SPOT위성에 차세대로 SPOT-2 및 3의 발사가 계획되어 있으며 미국 유럽 등과 공동개발하여 ERS, POSEIDON(TOPEX)등을 발사할 계획임. 이들로부터 생산되는 막대한 양의 자료중 대부분이 해양, 수산 및 연안환경 연구에 실제로 사용되고 있음.
- 일본의 경우 자체개발하여 이미 쏘아 올린 MOS-1 이외에 MOS-2, JERS-1, ADEOS등 다수의 자체 또는 미국 등과 공동개발하여 궤도에 올릴 예정이며 위성자료를 연안환경 모니터링, 해양예보등에 응용하고 있음.

- 중국, 태국등 위성을 아직 발사하지 못했으나 LANDSAT 및 SPOT 위성영상자료를 직접 수신하는 국가들은 국가적 원격탐사 전문기관들을 중심으로 하여 활발한 응용연구가 진행되고 있으며 Bangladesh 같은 국가에서도 연안환경, 홍수 모니터링등 실제활용 중임.
- 현재 기상연구소, 수산진흥원, 진해기계창, 서울대 해양연구소, 전파연구소, 해양경찰대, 수로국, 해양연구소등에서 원격탐사의 해양 및 수산 분야 응용 및 기술개발중임.
- 지금까지는 위 기관들은 주로 Single channel을 이용한 해수탁도연구등에 국한되었거나 연안해역 연구를 위해서는 비교적 해상도가 떨어지는 NOAA자료를 이용한 연구들임.
- 따라서 Chromaticity에 의한 위성자료 분석은 아직 많이 뒤떨어져 있으며 한반도 주변 환경에 맞는 위성자료 응용기술 개발 시급함
- Radiometer에 의한 자료와 현장자료 접목을 통한 정량적 수치도출이 필요불가결하며 국내기술 향상을 통한 원격해양탐사기술 기초마련이 시급함

본 연구의 최종목표는 탁도 및 해수표면온도 분석과 색도 분석기술을 개발하고 위성자료의 정량화 모델을 구축하는데 필요한 현장측정법의 실제적 응용을 통하여 한반도 주변 해역에 대한 수온, 탁도, 색도등 해수 수질 상황도 작성의 토대를 마련하는데 있음.

연구사업 3개년 계획중 최종 년도에 해당하는 본 사업은 1차년도 및 2차년도에 이어 해수의 색도 분석에 필요한 기본 기술을 확립하고 일차적으로 이를 적용하여 보았음

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구사업은 기초 연구단계로서 원격탐사자료와 해양환경 및 제반요소간의 관계파악을 위한 토대를 주로 마련하였으며 그 주요 내용은 다음과 같음.

- LANDSAT-TM 영상자료처리
- 시험적용지역에 대한 현장확인 조사
- 온도 및 색도 분석을 통한 정량화 모델
- 영상도면(Image-map) 작성 기법 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 결과

본 연구는 위성에 의한 관측자료가 가지는 특성파악 및 위성자료와 해양환경의 제반요소들과의 관계파악을 위한 기초 마련을 위한 연구를 주로 수행한 1, 2차년도 결과와 현장조사에 의한 Chromaticity 연구, 이의 위성자료와의 관계파악 및 Electrostatic Color Plotter에 의한 영상도면 작성기법에 대한 연구를 종합하였음.

열 적외선 자료의 해수온도의 분석결과 고리원자력 발전소 부근의 온배수 분포양상이 파악된 바 있으며 색도 분석결과 비록 더욱 자세한 연구가 필요하지만 해수의 색상에 따른 분리가 가능한 것으로 나타났음.

2. 건의

- . LANDSAT, SPOT등 지구 관측위성자료의 지상수신소 국내 설치 시급함
- . LANDSAT 및 SPOT 위성자료는 일본 등 외국에서 구입하여야 함에도 불구하고 출연연구기관 관세감면대상에서 제외되어 있어 연구에 애로가 많으므로 연

- 구목적의 자료 구입에 대한 관세의 감면 조치 필요
- . 위성을 이용한 혼탁해수, 적조 온배수 오염 등에 대한 해양환경 감시체제의 구축 및 응용
 - . 연안 개발에 따른 환경영향평가의 기본자료 활용
 - . 내수면의 상류상수원 수질 모니터링에 응용
 - . 정량화된 자료의 해양화학, 물리, 생물 등의 타분야에의 활용

SUMMARY

I. Title of the Study

Study on Seawater Quality by Quantification of Satellite data(III)

II. Purpose and Significance of the Study

Remotely sensed informations by satellite are usually composed of digital data which can be easily classified by computer processing. However, the conversion of these data into values of oceanographic parameters should be done on the basis of "in-situ" measured data.

The purposes of the study are :

- to develop analysis technique of sea surface temperature, turbidity, and chromaticity from remotely sensed data
- to establish quantification models
- to apply them in some test areas for mapping of environmental pollutions.

During this 3 year research project, the field data were collected and analysed and basic researches were carried out for the further development.

III. Scope of the Study

In order to provide the base of proper application of remotely sensed data, the following items were studied:

- Sea surface water temperature
- Chromaticity of seawater
- Water turbidity
- Algorithms for quantification of remotely sensed data
- Image-map processing

IV. Results and Suggestions

1. Results

During the implementation of the research, the optical characteristics of remotely sensed data and their relation to the oceanographic factors of seawater were studied.

The distribution pattern could be identified by the analysis of sea surface water temperature near Kori nuclear powerplant. The color of seawater were analyzed with in-situ data and remotely sensed data and water turbidity could be estimated from satellite data in spite of the necessity of further detailed study in the future.

2. Suggestion

- Construction of the receiving station of the data from the Earth observing satellites
- Development and utilization of ocean environmental mapping system for the ocean pollutions such as turbidities, red tides, cooling water discharges ...etc.
- Data Base for the evaluation of the environmental impact of coastal developments
- Water quality estimation of the reservoirs of urban water supply
- Application of quantified satellite data on chemical oceanography, physical oceanography, biological oceanography ...etc.

목 차

제 출 문

요 약 문

SUMMARY

그림목차

표 목 차

CONTENTS

목 차

제 1 장 서 론 -----	21
제 2 장 재료 및 방법 -----	25
제 1 절 재료 및 사용기기 -----	27
1. 위성자료 -----	27
2. 영상자료 분석기기 -----	30
3. 현장측정기기 -----	33
가. 조사선 -----	33
나. 현장측정기기 -----	33
제 2 절 연구방법 -----	37
1. 현장조사 -----	37
가. 해수표면온도 -----	37
1) 현장 해수표면 온도 측정 -----	37
2) 선위측정 -----	38
나. 해수 색상 및 탁도 -----	40

1) 해수 색상 측정 -----	40
2) 해수 탁도 측정 -----	43
3) 선위 측정 -----	43
2. 자료분석 -----	47
가. 해수표면온도 분석 -----	47
나. 해수색상분석 -----	47
 제 3 장 연구 결과 -----	 49
 제 1 절 열 적외선 자료에 의한 해수 온도 분석 -----	 51
1. 현장자료 분석 -----	51
가. 현장 Data Quality 검증 -----	51
나. 현장조사 결과 -----	52
2. 위성자료로 부터 해수 표면온도 산출 -----	69
3. 적용연구: 위성영상에 나타난 온배수 영향 범위 -----	69
가. 온배수 분포 -----	73
나. 온배수 확산 범위 종합 분석 -----	92
 제 2 절 해수 색상 분석연구 -----	 95
1. 색상 특성 파악 -----	95
가. 인천 부근 수직하에서 Upwelling Irradiance -----	96
나. Back Scattering Albedo -----	103
다. 색상 정량화 -----	109
2. Chromaticity 분석 -----	114
3. 대비에 의한 해수 색상 정량화 -----	121
 제 3 절 해수 탁도에 대한 위성자료 정량화 -----	 128
제 4 절 영상자료 및 영상도면 (Image-map) 작성 -----	132

1. 영상처리 -----	132
2. 영상도면 (Image-map) 작성기법 개발 -----	132
제 4 장 결론 및 토의 -----	135
제 1 절 결론 -----	137
제 2 절 문제점 및 해결방안 -----	138
1. 동시 관측의 애로 -----	138
2. 해수 광학적 특성 측정의 시간 소요 -----	139
3. 실시간 또는 준 실시간 조사 불가능 -----	139
4. 위성자료 구입시 관세 감면 필요 -----	140
제 3 절 향후 연구 방향제시 -----	140
참고문헌 -----	141

별 첨 : 대형 Image-map(한정본에 한함)

CONTENTS

SUMMARY

List of Figures

List of Tables

Chapter I. Introduction -----	21
Chapter II. Methods and Material -----	25
Section 1. Data and Instruments -----	27
1. Satellite data -----	27
2. Instruments for image data analysis -----	30
3. Instruments for in-situ measurement -----	33
a. Research vessels -----	33
b. In-situ instruments -----	33
Section 2. Methods -----	37
1. Field Survey -----	37
a. study sea surface temperature -----	37
1) measurement of sea surface water temperature -----	37
2) positioning of vessel -----	38
b. seawater chromaticity and turbidity -----	40
1) measurement of seawater chromaticity -----	40
2) measurement of seawater turbidity -----	43
3) positioning of vessel -----	43
2. Data analysis -----	47
a. sea surface water temperature -----	47
b. seawater chromaticity -----	47

Chapter III. Results -----	49
Section 1. Seawater temperature estimation using thermal band ---	51
1. Analysis of field data -----	51
a. Verification of of field data -----	51
b. Results of field data -----	52
2. Estimation of seasurface temperature by remotely sensed data -----	69
3. Test : Distribution of thermal waste water observed on image data -----	69
a. Distribution -----	73
b. Analysis of extension of warm water area -----	92
Section 2. Chromaticity of Seawater -----	95
1. Color spectral property of seawater -----	95
a. Upwelling spectral irradiance just under the sea surface measured at Inchon Bay -----	96
b. Back Scattering Albedo -----	103
c. Quantification of color property -----	109
2. Chromaticity analysis -----	114
3. Quantification by correlation -----	121
Section 3. Quantification of seawater turbidity from satellite data -----	128
Section 4. Image processing and Image-map cartography -----	132
1. Image processing -----	132
2. Image-map cartography -----	132
Chapter III. Conclusions and Discussions -----	135
Section 1. Conclusions -----	137

Section 2. Problems and Solutions -----	138
1. Problems in real-time observation -----	138
2. Observation duration of optical properties of seawater -----	139
3. Difficulties in real-time or near real-time acquisition -	139
4. Need for free tax purchase of satellite data -----	140
Section 3. Suggestions of future researches -----	140
References -----	141

Attached : big format Image-map (only for limited copies)

List of Figures

Fig. 2-1. Configuration of system FPS 522EA used in the study -----	31
Fig. 2-2. Configuration of computer network of KORDI -----	32
Fig. 2-3. Overall IVAS block diagram -----	34
Fig. 2-4. Block diagram of 68000 subsystem -----	34
Fig. 2-5. Main unit of thermosalinograph in on-board operation -----	39
Fig. 2-6. In-situ measuring of SST using Minolta SPOT DP-210 infrared thermometer -----	39
Fig. 2-7. Remote of Decca Trisponder set near the survey area -----	41
Fig. 2-8. Monitoring of survey vessel's position on the CRT of a personal computer -----	41
Fig. 2-9. Sensor part of the underwater spectrometer in the subsurface upwelling irradiance measurement -----	42
Fig. 2-10. Data logging system (white box) connected with the GPS unit (black box on the data logger) and the PC-486 Notebook. Trimble NP 420 GPS is on the right side of the PC -----	44
Fig. 2-11. Track chart of the survey on 24 June 1994 obtained from GPS data -----	45
Fig. 2-12. Track chart of the survey on 12 September 1994 obtained from GPS data -----	46
Fig. 3-1. Relationship between the measurements by thermal infrared thermometer and those by bar thermometer on 30 March 1991 -----	53
Fig. 3-2. Relationship between the measurements by thermal infrared thermometer and those by bar thermosalinograph on the 1st May 1991 -----	54

Fig. 3-3. Relationship between the measurements by thermosalinograph and those by bar thermometer on the 1st May 1991 -----	55
Fig. 3-4. Track chart of the seasurface temperature measurement on 30 March 1990 -----	56
Fig. 3-5. Distribution of seasurface temperature based on the measurement by thermal infrared thermometer -----	57
Fig. 3-6. Track chart of the seasurface temperature measurement on the 1st May 1990 -----	58
Fig. 3-7. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on the 1st May 1991 -----	59
Fig. 3-8. Track chart of the seasurface temperature measurements on 8 October 1991 -----	61
Fig. 3-9. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 8 October 1991 -----	62
Fig. 3-10. Track chart of the seasurface temperature based on the measurement on 24 October 1991 -----	63
Fig. 3-11. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 24 October 1991 -----	64
Fig. 3-12. Track chart of the seasurface temperature measurement on 25 November 1991 -----	65
Fig. 3-13. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 25 November 1991 -----	66
Fig. 3-14. Track chart of the seasurface temperature measurements on 28 January 1992 -----	67
Fig. 3-15. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 28 January 1991 -----	68
Fig. 3-16. Track chart of the seasurface temperature measurements on 13 February 1992 -----	70
Fig. 3-17. Distribution of seasurface temperature based on the measurements on 13 February 1992 -----	71

Fig. 3-18. Example of regression fit between field measured seasurface temperature and Landsat TM band-6 (thermal IR):	
case of the image of 25 November 1991 -----	72
Fig. 3-19. Landsat TM image of 5 November 1984 -----	74
Fig. 3-20. Distribution of seasurface temperature on	
5 November 1984 -----	75
Fig. 3-21. Landsat image of 6 January 1990 -----	76
Fig. 3-22. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 6 January 1990 -----	78
Fig. 3-23. Landsat image of 22 November 1990 -----	79
Fig. 3-24. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 22 November 1990 -----	80
Fig. 3-25. Landsat image of 9 January 1991 -----	81
Fig. 3-26. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 9 January 1991 -----	83
Fig. 3-27. Landsat image of 26 February 1991 -----	84
Fig. 3-28. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 26 February 1991 -----	85
Fig. 3-29. Landsat image of 25 November 1991 -----	86
Fig. 3-30. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 25 November 1991 -----	88
Fig. 3-31. Landsat image of 28 January 1992 -----	89
Fig. 3-32. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 28 January 1992 -----	90
Fig. 3-33. Landsat image of 17 April 1992 -----	91
Fig. 3-34. Distribution of seasurface temperature based on	
the measurements on 17 April 1992 -----	93
Fig. 3-35. Overlapped iso-therms of " $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ " extracted	
from each image -----	94

Fig. 3-36. Field measuring stations in Incheon Bay on 12 September 1994 -----	97
Fig. 3-37. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-1 -----	98
Fig. 3-38. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-2 -----	99
Fig. 3-39. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-3 -----	100
Fig. 3-40. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-4 -----	101
Fig. 3-41. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at surface at station 9-5 -----	102
Fig. 3-42. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface near Dotsom Island in Jinhae Bay measured on 18 June 1992 -----	104
Fig. 3-43. Example of the spectral upwelling irradiance just above the seasurface (30 cm): case of the measurement of 12 September 1994 in Incheon Bay -----	106
Fig. 3-44. Downwelling irradiances measured on the deck of the survey vessel (about 1.5m above the water surface) in Incheon Bay on 12 September 1994 -----	107
Fig. 3-45. Spectral backscattering albedo measured on 12 September 1994 in Incheon Bay -----	108
Fig. 3-46. Field measuring stations in Incheon Bay on 24 June 1994 -----	110
Fig. 3-47. Downwelling irradiances measured on the deck of the survey vessel (about 1.5m above the water surface) in Incheon Bay on 24 June 1994 -----	111
Fig. 3-48. Spectral backscattering albedo measured on 24 June 1994 in Incheon Bay -----	112

Fig. 3-49. Tides in Incheon Bay on 24 June and on 12 September 1994 -----	113
Fig. 3-50. Trigonal diagram showing the color component distribution of the field data of 12 September 1994 -----	115
Fig. 3-51. Enlarged part of the trigonal diagram of the Fig.3-50 --	116
Fig. 3-52. Trigonal diagram showing the color component distribution of the image data of 12 September 1994 -----	118
Fig. 3-53. Enlarged part of the trigonal diagram of the Fig.3-52 --	119
Fig. 3-54. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 1) -----	122
Fig. 3-55. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 2) -----	123
Fig. 3-56. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 3) -----	124
Fig. 3-57. Trigonal diagram showing the color component distribution of the image data of 22 September 1992 -----	127
Fig. 3-58. Relationship between field measured turbidity and the digital number of TM band-2 -----	129
Fig. 3-59. Relationship between the digital number of TM band-2 and the upwelling irradiance in the correspondent spectral range -----	130
Fig. 3-60. Relationship between the suspended sediment contents and the upwelling irradiance in the spectral range identical with that of TM band-2 -----	131
Fig. 3-61. Flow chart showing Image-map drawing process -----	133
Fig. 3-62. Image-map covering Incheon Bay area of 12 September 1994 (small format) -----	134

List of Tables

Table 2-1. Studied Landsat image data -----	27
Table 2-2. Instruments used for the image data analysis -----	28
Table 2-3. Dates of in-situ measurement of sea surface temperature for Kori area -----	37
Table 2-4. In-situ measurements of the optical properties of seawater -----	38

제 1 장 서 론



제 1 장 서 론

인공위성을 이용한 원격탐사는 우주궤도상에 올려진 인공위성으로부터 주로 가시광선, 적외선 및 레이더파를 매체로 하여 지상을 관측하는 일련의 기술을 통틀어 말한다.

선진국에서는 이미 오래 전부터 일기예보, 자원탐사, 국토개발, 농산물의 수확량 예측 및 해양학 분야에 활용되고 있다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 좁은 국토면적과 불충분한 식량 및 광물자원등으로 인한 어려움을 겪고 있으며, 이후 인구의 증가, 육상자원의 고갈 등으로 인해 야기되는 난국을 효과적으로 타개하기 위해서는 간척지 개발에 의한 국토확장, 해양에너지 및 수산자원의 확보, 수산양식장, 해양시설물 보호를 위한 오염방지에 대한 대책수립이 절실히 요구되고 있다.

육상 환경과는 달리 광범위하면서도 변화가 심한 해양에서는 현장조사에 필요한 막대한 인력 및 장비, 소요경비 등으로 인하여 그 조사가 쉽지 않다. 위성에 의한 해양관측은 종래의 해양조사 방법에 의한 자료와 비교하여 볼 때 다음과 같은 장점을 가지고 있어 그 활용가치는 실로 지대하다.

- 광범위한 해역에 대한 동시관측의 가능
- 위성의 궤도 특성을 이용한 동일지역의 반복관측 가능
- 관측경비의 저렴
- 현장관측이 어려운 곳 또는 정치적, 군사적 분쟁지역에 대한 조사 가능
- 수치적 자료의 전산처리에 의한 각종 정보추출 용이

반면에 구름에 덮인 지역의 관측곤란, 정밀도의 부족, 표면에 한정된 탐사 등의 몇 가지 한계점을 갖고 있으나 최근 들어 활발해진 Radar 및 Microwave파등을 이용한 전천후 탐사 시스템의 개발에 의해 점차 그 단점들이 보완되고 있다. 다만 공간적 정밀도에 관한 한 기술적인 문제라기 보다는 정치 및 군사정책상의 문

제이기 때문에 과학이용위성의 정밀도를 한없이 보완할 수는 없으나 해안환경 및 해안지형 조사에는 현재 이용 가능한 미국의 LANDSAT, 프랑스의 SPOT, 일본의 MOS-1 위성 등에 의하여 얻어지는 자료의 정밀도 정도라면 우선 만족할 만한 것으로 여겨진다.

위성자료를 분석하기 위한 연구 및 최근의 해양학 연구에 거의 필수적인 원격탐사 기술의 해양분야에 대한 응용은 국내의 경우 몇몇 연구기관과 대학에서 수행되고 있으나 아직도 초기단계에 불과하며 근래 정부의 각 부처를 비롯한 관계기관에서 위성영상자료를 이용을 모색하고 있어 환경오염측정, 농작물의 수확량 예측, 수자원 분포조사 등의 업무 수행에 위성영상자료를 분석하여 활용할 수 있는 기술개발이 절실하게 요구되고 있는 실정이다.

더욱이 최근 들어 더욱 가중되고 있는 해양오염에 의한 해수 수질의 악화는 이미 우리 나라 여러 내만 해역의 수산자원을 고갈시키는 주요 원인으로 되어 왔다. 본 연구는 해수의 색도(chromaticity) 분석을 통하여 탁도 및 적조의 정량화를 시도하는 한편 계절, 환경변화등에 따른 상황도 작성 기법개발을 목표로 하고 있다.

제 3차년도인 금년에는 인천만을 대상으로 색도 특성파악을 통한 색도의 정량화를 통해 chromaticity chart상에 객관적 위상(location)을 구하였으며 해수탁도 정량화가 수행되었다.

3년에 걸친 본 연구사업을 통하여 해수표면온도의 정량화가 고리 원자력발전소 온배수를 모델로 하여 수행되었으며, 인천 부근 및 진해만 해역에서 해수 색도 특성파악을 위한 현장조사를 토대로 해수 색상분석 및 해수 탁도 산출을 위한 토대를 마련하였다. 한편 대형도면 작성기법이 개발되어 영상자료의 도면화의 기틀을 구축하였다.

제 2 장 재 료 및 방 법

제 2 장 재 료 및 방 법

제 1 절 재 료 및 사 용 기 기

1. 위성자료

본 연구에는 총 12개의 Lnadsat 위성 Thematic Mapper(TM) Subscene 자료가 사용되었다 (Table 2-1). 영상자료는 일본의 RESTEC(Remote Sensing Technology Center of Japan)으로 부터 CCT (Computer Compatible Tape)형태로 구입하였으며 본 연구를 위해서는 기존 s/w의 활용을 위해 BSQ (Band Sequenced) 데이터를 선정하여 사용하였다.

Table 2-1. Studied Landsat image data

Data	Time	Path/Ra	Sen sor	Wind	Tide		Area
					Range	Moment	
1985. 5. 16	10:32	114-35A	TM	Weak	Neap	mid-flood	Jinhae
1992. 4. 17	10:30	114-35D	TM	Weak SW	Spring	mid-ebb	Kori
1992. 1. 28	10:31	114-35D	TM	Weak W	Neap	mid-flood	"
1991. 11. 25	10:30	114-35D	TM	Weak NW	Spring	early-ebb	"
1991. 2. 26	10:33	114-35D	TM	Weak WNW	Medium	late-ebb	"
1991. 1. 9	10:33	114-35D	TM	Weak NNW	Neap	mid-flood	"
1990. 11. 22	10:32	114-35D	TM	Weak NNW	Medium	mid-flood	"
1990. 1. 6	10:32	114-35D	TM	StrongNNW	Medium	mid-flood	"
1984. 11. 5	10:32	114-35D	TM	Weak SE	Neap	late-ebb	"
1984. 11. 21	10:33	114-36A	TM	Weak	Spring	mid-ebb	"
1994. 9. 12	10:33	116-34D	TM	Weak	Medium	high water	Inchon
1992. 9. 22	10:30	116-34D	TM	Weak	Neap	mid-flood	"

Table 2-2. Instruments used for the image data analysis.

Instrument	Description
FPS 522EA	<ul style="list-style-type: none"> • CPU (Central Processing Unit) <ul style="list-style-type: none"> - Performance : 20 MFLOPS (LINPACK 100X100, All Fortran, Full Precision : 64 Bits) - Main Memory : 128 MB - CPU수 : 2 Vector, 2 Scalar - Word Size : 64 Bit - Parallel and Vector Processing
STC 4280	<ul style="list-style-type: none"> • Rack-Mount Cartridge Tape Unit <ul style="list-style-type: none"> - Auto-Loading Feature - Storage Capacity = 200 MB/EA - Density = 37000 BPI - Transfer Rate = 2 MB/Sec. - Speed = 50 IPS - Cartridge Slots/Unit = 10
EXABYTE EXB-8200	<ul style="list-style-type: none"> • High Capacity Backup Cartridge Tape Unit (Low Speed) <ul style="list-style-type: none"> - Storage Capacity = 2.3GB/EA - Transfer Rate = 200 KB/Sec.
HP 2000	<ul style="list-style-type: none"> • High Speed Laser Printer
VERSATEC CE3436E	<ul style="list-style-type: none"> • Electrostatic Color Plotter(36") <ul style="list-style-type: none"> - Multi-Pass Writing Technology - Default Colors : 2048 - Resolution : 400 DPI - Plotting Speed = 0.8 Inch/Sec.

Table 2-2. Continued

Instrument	Description
<p>VERSATEC 8264HR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Electrostatic Color Plotter(24") <ul style="list-style-type: none"> - Resolution : 400 DPI - Plotting Speed = 1.0 Inch/Sec. - Speed = 20 Pages/Min.
<p>SUN 4/330 -GX</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Graphic Workstation <ul style="list-style-type: none"> - Based on the SPARC Technology - Operating System : UNIX - Language : FORTRAN, PASCAL, C - CPU Performance = 16 MIPS - Main Memory : 8 MB - Hard Disk : 650 MB - 19" Color Monitor - Graphic Accelerator - 1/4" Cartridge
<p>Tektronix RGB II</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Color Image Copier <ul style="list-style-type: none"> - Thermal Wax Transfer Technology - Gray Scale Printing Feature - Color = 256 - Resolution = 300 DPI - Paper Size : A, A4
<p>CALCOMP 95480</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Digitizer <ul style="list-style-type: none"> - Accuracy : ± 0.125 mm - Digitization Mode : Point, Stream, Switch Stream - Active Area = 36" X 48"

Table 2-2. Continued

Instrument	Description
Local Area Network	<ul style="list-style-type: none"> • LAN (Ethernet, TCP/IP) <ul style="list-style-type: none"> - Ethernet Cable (Thick Type) - Repeater (Thick to Thick) - Transceiver & Transceiver Cable with Connector - 4 Port Terminal Server - 8 Port Terminal Server - 16 Port Terminal Server - LAN Loader - Network Management System - Ethernet Terminator

2. 영상자료 분석기기

위성영상자료의 분석을 위해서는 Table 2-2가 보여주는 바와 같이 FPS 522EA, SUN 4/330-GX 등 전산계통 기기가 사용되었다.

Fig. 2-1은 mini super computer급 main frame인 FPS 522EA의 시스템 구성도이다. FPS 522EA에는 Disk unit 와 Tape deck 이외에 Fuji 3480 Tape unit, Exabyte Tape unit 및 Laser printer가 주변기기로 설치되어있다.

그리고 Fig. 2-2는 Table 2-2에 소개된 기기 들의 시스템 구성도를 보여주고 있는데 이들은 모두 Ethernet Thick cable back bone(TCP/IP)에 의해 연결되어 있다. 영상자료의 분석작업은 주로 SUN4/330 GX (8MB/654MB) work station에서 수행되며 C.C.T.(Computer Compatible Tape)에 수록된 자료는 FPS 522EA에 부착되어 있는 Tape unit에 의해 읽혀진 후 간단한 Preprocessing을 거쳐 Ethernet을

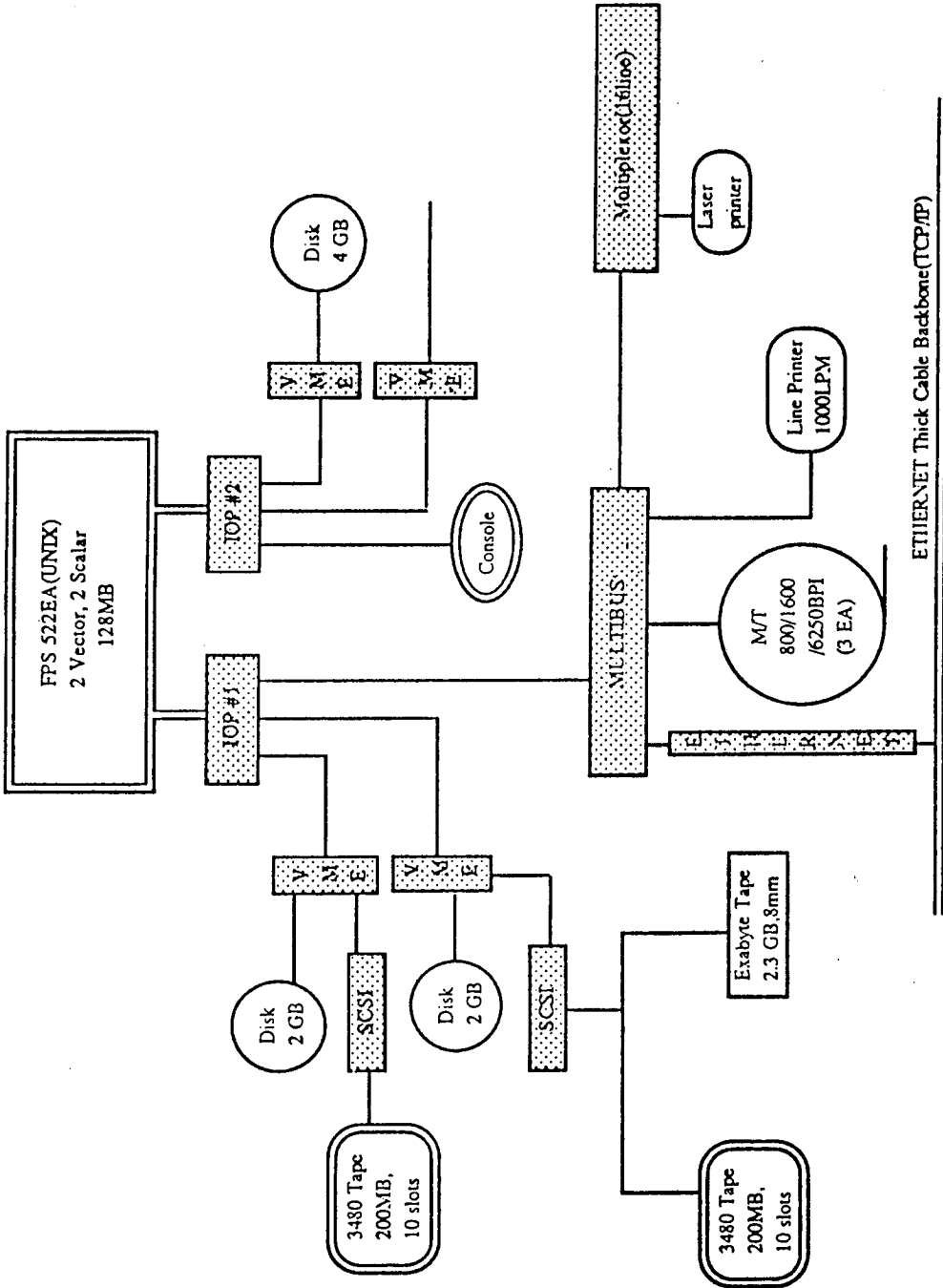


Fig. 2-1. Configuration of system FPS 522EA used in the study.

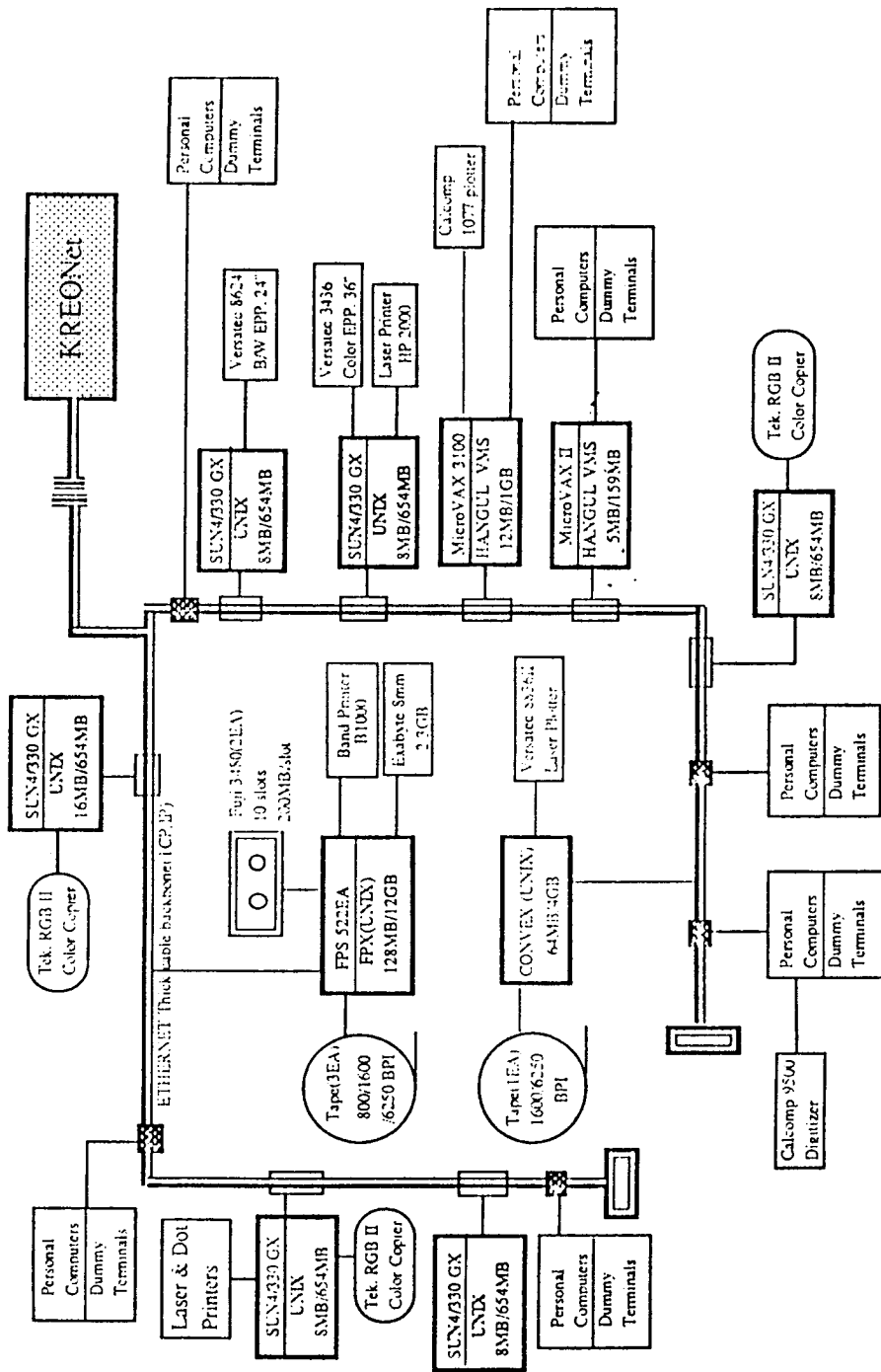


Fig. 2-2. Configuration of computer network of KORDI.

통하여 SUN4/330GX work station으로 옮겨져서 분석된다.

소프트웨어로는 International Imaging Systems(I²S)에서 개발한 System 600이 사용되었으며 그 결과가 IVAS Display Processor에 의해 Color Monitor에 영상화되었다. 이들은 모두 SUN4 work station에 port되어있다.

IVAS Display Processor는 86000 processor subsystem, 각 부분의 memory, video pipe line 및 수개의 I/O port로 구성되어 있다. 그림 2-3은 IVAS hardware의 구성도를 보여주고 있다.

그림에서 68000 processor subsystem은 68000 microprocessor, 68450 DMA controller, interrupt vector generator, RAM, EPROM 등으로 구성되어 있으며 (Fig. 2-4) 68000 microprocessor 는 10Mhz의 속도로 작동한다. Image memory는 1K X 1K X 24-bits의 크기로서 1K X 1K X 8-bit 크기의 영상 3개 또는 1K X 1K X 12-bit 영상 2개를 수록할 수 있다.

Graphic memory는 1K X 1K X 4-bit의 크기이며 Cursor memory는 128 X 128 X 1-bit크기로서 각각의 문자는 8 pixel로 되어있다.

3. 현장측정기기

가. 조사선

진해 및 고리원전 부근 현장 측정을 위해서는 주로 한국해양연구소가 보유하고 있는 30ton급 조사선 올림픽5호가 사용되었으며 그 이외에도 한국해양연구소 보유 80ton급 조사선 반월호 및 현지 어민들이 보유하고 있는 어선들을 사용하였다. 인천 부근해역에서는 영종도 선적인 3ton급 어선이 주로 사용되었다.

나. 현장측정기기

현장에서는 해수의 색상측정, 온도 및 투명도가 측정되었으며 위성자료와 비교하기 위해서는 측정위치를 정확하게 알아야 하므로 선위측정장치도 함

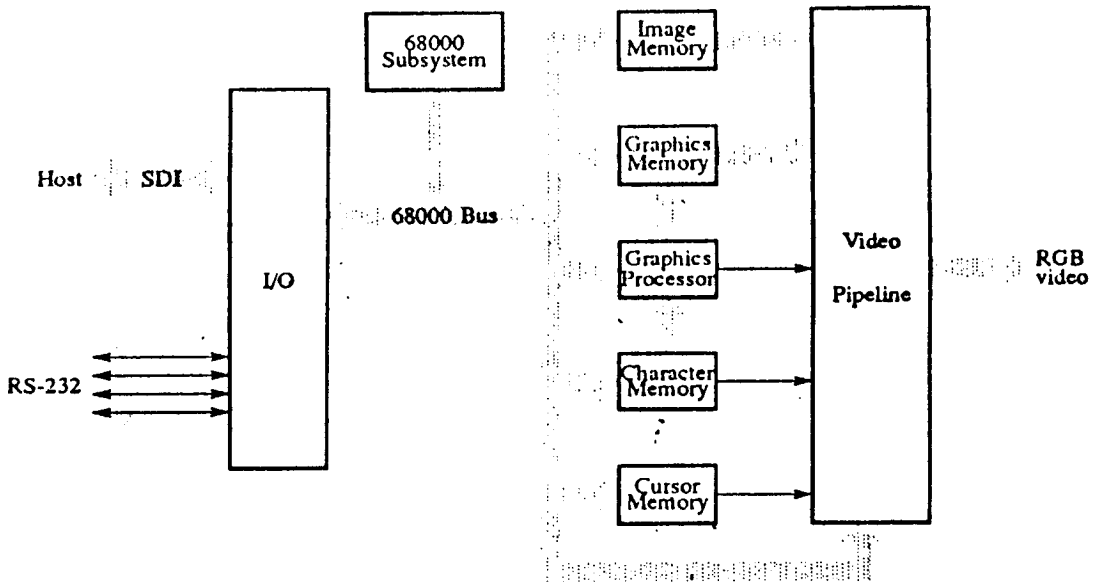


Fig. 2-3. Overall IVAS block diagram.

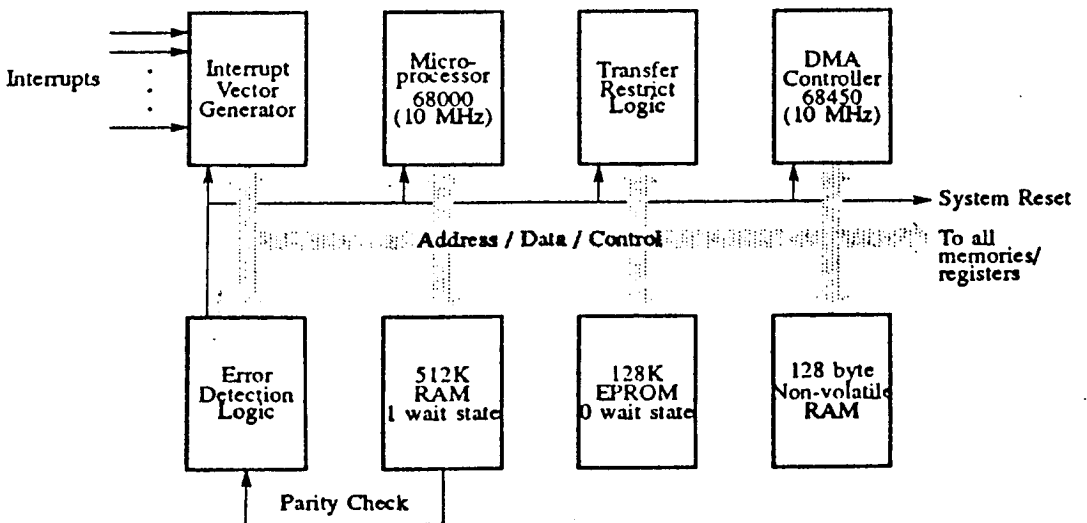


Fig. 2-4. Block diagram of 68000 subsystem.

계 사용하였다. 현장 측정기기 및 선위 측정 기기는 다음과 같다.

1) 해수온도측정

◦ Thermosalinograph

측정방식 : 열센서 예인 방식

눈금정밀도 : 0.1℃

측정범위 : -2℃ - 36℃

기록지 전진속도 : 1 cm/h - 60 cm/min

◦ 적외선 온도 측정기

품명 : minolta SPOT DP-210

측정방식 : 적외선 측정방식

정밀도 : 0.01℃

측정범위 : -50℃ - 210℃

2) 해수색상 및 투명도 측정

◦ Underwater Spectro-radiometer

방식 : Upwelling 및 downwelling irradiance 측정방식

Spectrum 범위 : 300 - 850 nm

Scan 시간 : 약 20초

◦ Transmissometer

방식 : CTD 부착 측정방식, 또는 해수 pumping 방식

Spectrum : 660 nm

Sensor/source 간격 : 5cm

3) Data Logger

방 식 : PC 연결 방식

Logging rate: 1 Sec

Logging 자료 항목: 시간, 해수온도, 탁도, 선위등

4) 선위 측정기기

◦ Decca Trisponder 선위측정장치

방 식 : 전자파 측거 방식

정밀도 : $\pm 3m$

작동온도 : $0^{\circ} - 50^{\circ}$

전원 : 24 DCV

◦ Motorola GPS 선위측정장치

방 식 : 위성에 의한 위치측정 방식

정밀도 : $\pm 10m$

특성 : data logger 부착전용

◦ Trimble Acutis-6 GPS 선위측정 장치

방 식 : color monitor 방식

정밀도 : $\pm 15m$

제 2 절 연구방법

1. 현장조사

가. 해수표면온도

1) 현장 해수표면 온도 측정

해수면 온도는 고리 원자력발전소 주변에서 9차에 걸쳐 측정하였다 (Table 2-3). 표에 표시된 날자는 인공위성의 통과 날자이며 현장조사를 위하여는 현장에서 일반적으로 2박 3일이 소요되었다.

Table 2-3. Dates of in-situ measurement of SST at Kori.

Area	Date	Vessel	Remarks
Kori	1991. 3. 30	Olympic-V	cloudy
	5. 1	Panwol	"
	10. 8	Olympic-V	"
	10. 24	Olympic-V	"
	11. 25	Olympic-V	fine
	1992. 1. 12	-	rainy
	1. 28	fishing boat	fine
	2. 13	fishing boat	cloudy
	3. 16	fishing boat	rainy

Table 2-4. Dates of in-situ measurement of SST

Area	Date	Vessel	Remarks
Jinhae	1992. 6. 18	Olympic-V	cloudy
Inchon	1994. 6. 24	fishing boat	cloudy
"	9. 12	fishing boat	fine

현장에서의 해수 표면온도 측정은 선박측면에서 Thermosalinograph의 온도센서를 수표면에 끌리도록 하여 자기기록지상에 온도가 profile 형태로 수록되도록 하여 수행하였다. 이 때 자기기록계의 기록지 전진속도는 4 cm/min로 조정하였으며 선위측정자료와의 대비를 위해 매분마다 시간표식을 하였다 (Fig.2-5).

한편 열 적외선 방법에 의해 얻어지는 위성자료의 보정 및 Thermosalinograph 측정자료의 검증을 위해 minolta SPOT 적외선 온도측정기(Fig.2-6)와 봉상온도계가 병행해서 사용되었다.

현장조사는 가능한 한 LANDSAT 위성의 통과 시각에 맞추어 수행되었다. 이 때 얻어진 현장자료는 구름으로 인하여 비록 위성자료를 얻지 못할 경우에도 온배수 확산분석의 기본 자료로 활용되었다.

2) 선위측정

현장측정자료와 인공위성자료의 대비를 통한 보정을 위해서는 선위의 정밀한 측정이 요구된다. 본 연구에서는 원전 부근 해수온도 측정을 위해서는 Decca



Fig. 2-5. Main unit of thermosalinograph in on-board operation.



Fig. 2-6. In-situ measuring of SST using Minolta SPOT DP-210 infrared thermometer.

Trisponder 위치측정기를 사용하였는데 본체인 DDMU(Digital Distance Master Unit)를 조사선에 Master 안테나와 함께 설치하였으며 육상해안 2개소에 Remote 안테나를 설치하였다(Fig.2-7). 각 기기는 12 V 자동차 배터리를 2 개씩 직렬로 연결하여 작동시켰으며 선위를 선상에서 Real Time으로 모니터 하기 위해서는 IBM 286 pc를 활용하였다(Fig.2-8). 항적도는 IBM 386 PC에 의해 작성되었으며 항적도를 기초로 하여 해수표면 온도 분포등이 만들어졌다.

나. 해수 색상 및 탁도

1) 해수 색상 측정

1992년 6월 18일 진해만의 5개의 정점 및 1994년 6월 24일과 9월 12일에 인천만내 각각 3개 및 5개의 정점에서 해수색상을 측정하였다(Table 2-4).

각 정점에서는 Li-Co UW 1800 수중분광측정기 (Underwater Spectrometer)를 써서 광학적 특성 특성을 측정하였고(Fig.2-9) 향후 연구를 위해 CTD를 이용한 해양광학적 특성측정과 엽록소 시료도 채취하였다.

수중분광측정은 표층 수심 1m, 2m 및 3m 의 downwelling irradiance와 수심 1m 에서의 upwelling irradiance를 측정하였다. UW1800은 scanning radiometer로 한번의 scan에 약 20초가 소요되어 scan 도중에 조도 변화가 바뀔 수 있으므로 두 가지의 방법을 썼다. 선상에 quantum-meter LI1000을 logging mode에서 작동 시켜 1분 단위로 PAR을 integration하였다. 또한 downwelling irradiance는 한 측정 수심에서 3번, upwelling irradiance는 5번의 측정을 하여 scan 중의 광도의 안정성을 확인하였다.

인천만에서의 해수 색상 측정도 각 정점에서 해수면 30cm 상공, 해수면 직하, 해수면에서 50cm 및 1m 깊이에서 upwelling irradiance를 측정하였고 조사선의 갑판상(수면 약 1.5m)에서 downwelling irradiance를 측정하였다. 본 연구에서 사용된 underwater spectrometer는 가시광선 파장대인 350nm에서 800nm를 최소

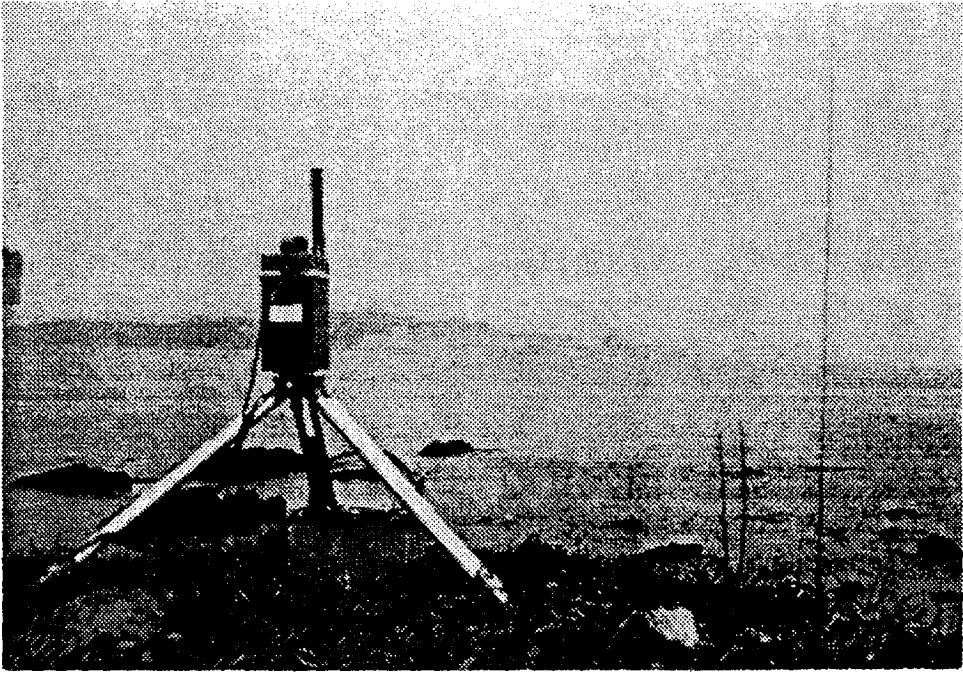


Fig. 2-7. Remote of Decca Trisponder set near the survey area.

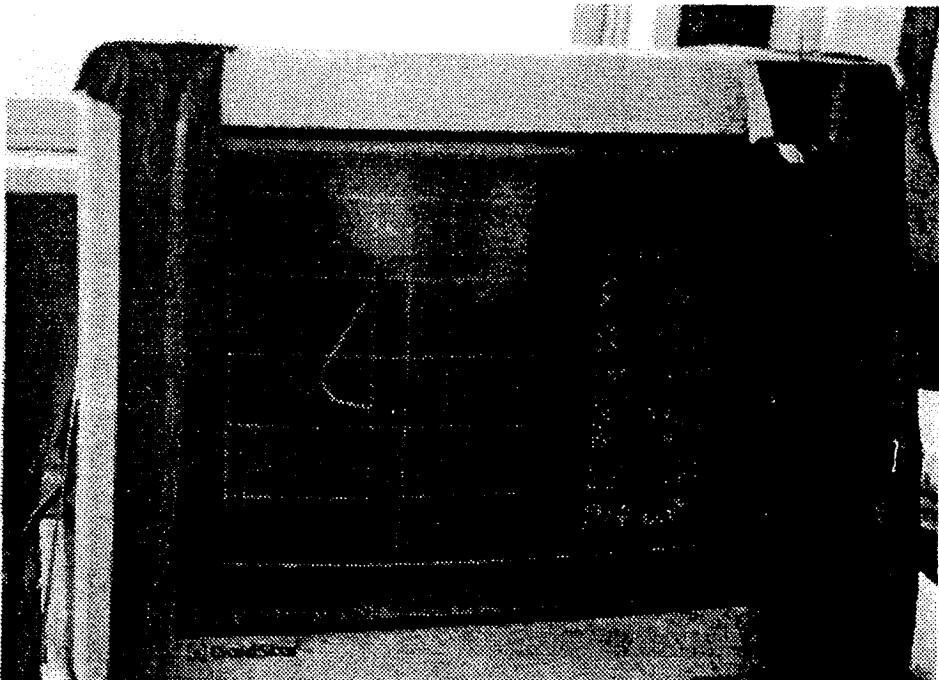


Fig. 2-8. Monitoring of survey vessel's position on the CRT of a personal computer.

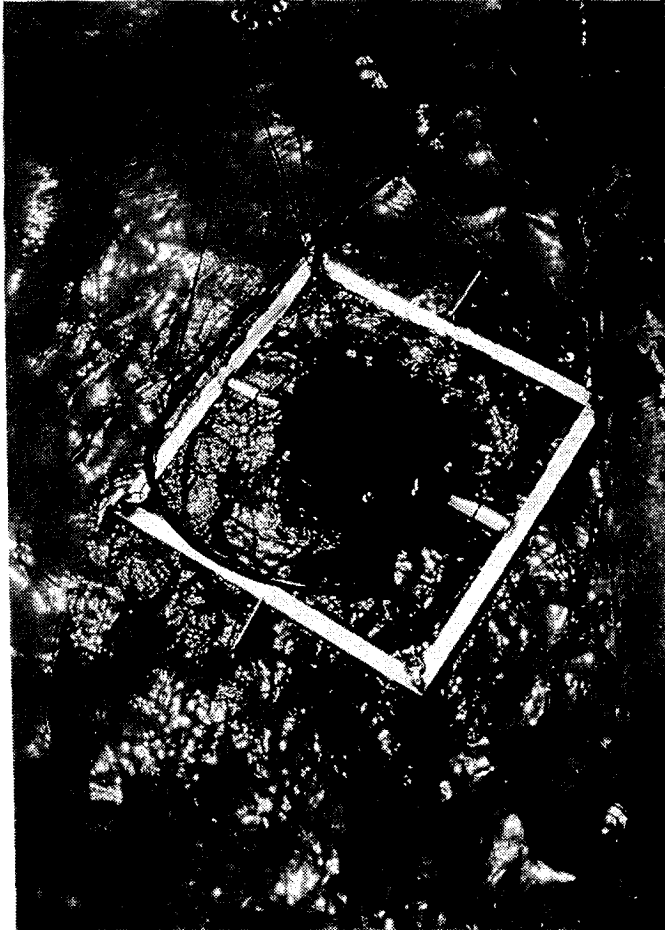


Fig. 2-9. Sensor part of the underwater spectrometer in the subsurface upwelling irradiance measurement.

5nm 간격으로 측정하도록 조정하였다.

2) 해수 탁도 측정

해수 탁도는 1994년 9월 12일 인천만 현장측정시에 transmissometer에 의해서 조사선이 항해하는 동안 연속적으로 측정되었으며 이때 해수는 pump를 이용하여 선상으로 끌어 올려져 transmissometer가 장착되어 있는 용기내로 순환 하도록 하여 연속적으로 탁도를 측정이 가능 하게 하였으며 이때 얻어진 측정치는 data logger로 보내어 졌다. Data logger는 Motorola GPS unit, Transmissometer 및 notebook PC-480에 연결되어 탁도자료와 위치자료 및 시간자료를 logging함과 함께 Notebook PC를 통해 통제되고 monitoring되도록 설계되었다(Fig.2-10).

한편 각 정점에서 해수를 채취하여 filtering한 후 무게를 측정하는 방법으로도 해수 탁도가 측정되었다. 아깝게도 transmissometer에 의해 측정된 값은 data logger의 작동상 문제가 야기되어 연구에 실제적으로 사용되지는 못하였으며 대신 filtering에 의해 얻어진 해수탁도 자료가 연구에 사용되었다.

3) 선위측정

진해만에서의 선위측정은 Trimble NP420 Acutis-6 Plotter GPS를 사용하였으며, 인천만에서는 선상에서 그 위치를 monitor에 직접 표시해 주는 plotter GPS Trimble 시스템과 data logger에 의해 직접 기록이 되는 두개의 GPS 시스템을 운용하였다. 선상에서 data logger를 이용해 GPS에 의해 측정된 선박의 위치를 매 2초 간격으로 기록하였으며, 이는 다시 탐사정점이 아닌곳의 항적 계산에서는 매 5분 간격으로 사용하였다. Fig.2-10과 Fig.2-11은 이와같은 방법으로 GPS로 부터 각각 1994년 6월 24일과 1994년 9월 12일 인천만 내에서 얻어진 항적을 도식화한 예이다.

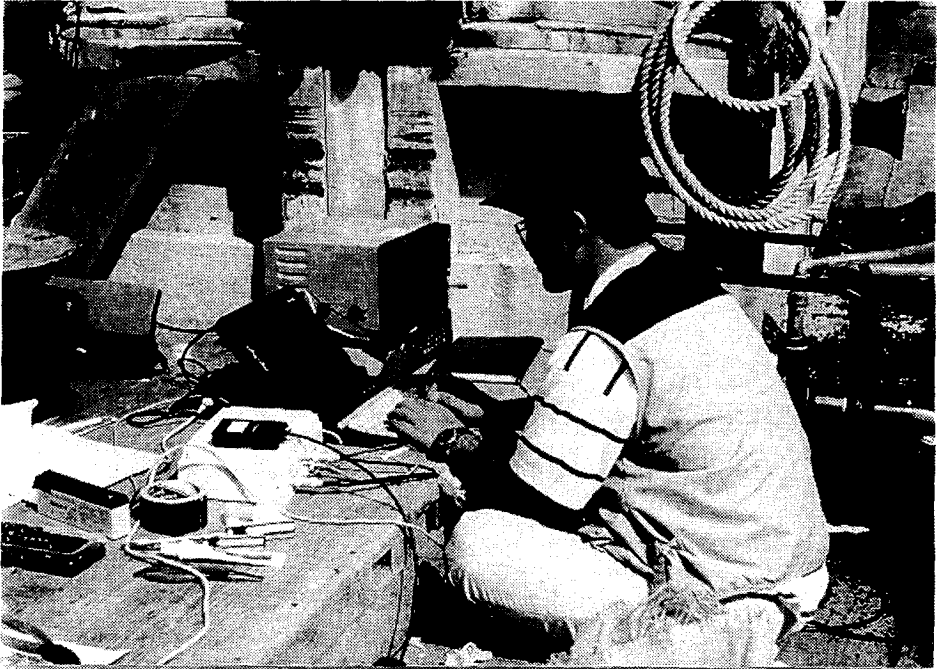


Fig. 2-10. Data logging system (white box) connected with the GPS unit (black box on the data logger) and the PC-486 Notebook. Trimble NP 420 GPS is on the right side of the PC.

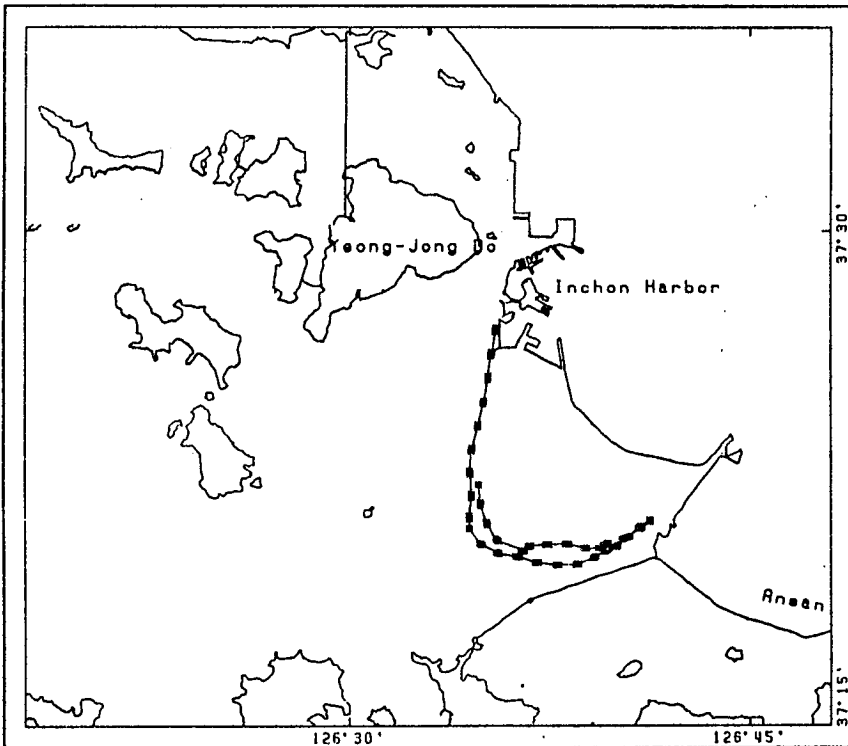


Fig. 2-11. Track chart of the survey on 24 June 1994 obtained from GPS data.

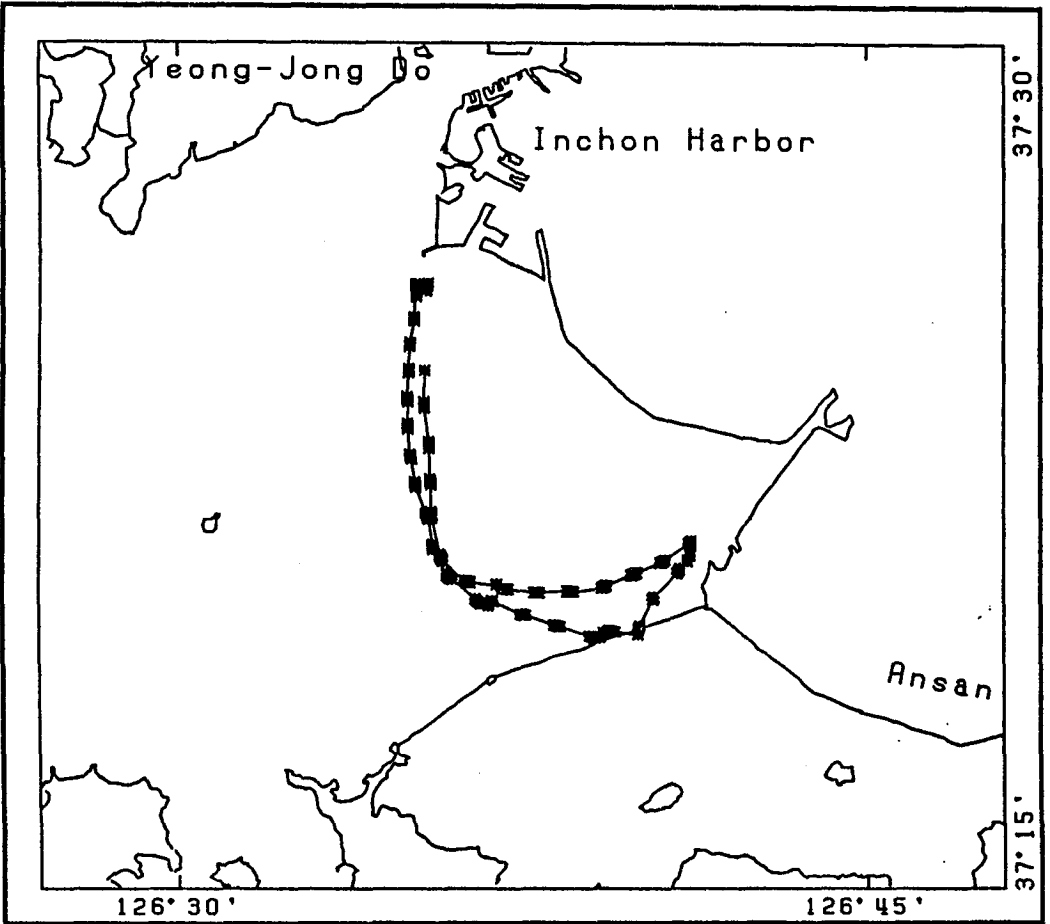


Fig. 2-12. Track chart of the survey on 12 September 1994 obtained from GPS data.

2. 자료분석

가. 해수표면온도 분석

인공위성 영상의 수치자료(digital data)로 부터 온도 값을 구하는 방법은 계산에 의한 방법(Anding and Kauth 1970, McClain 1980, McClain 1981)등이 있으나 본 조사에서는 현장에서 위성통과와 동시에 측정된 실측자료와 영상수치자료중 열 적외선 영역인 band-6 자료와의 대비를 통한(Albuisson, 1979) Least square 방법을 사용하여 온도 값을 얻었다(Yoo, 1982). 이때 동시 현장자료가 없는 위성자료에 대해서는 유사한 시기에 얻어진 자료를 가름하여 사용하였다.

현장측정자료는 위성의 TM 센서와 같은 분광대의 자료를 평균하여 대표 값으로 삼았으며 위성자료와 마찬가지로 삼각 diagram상에 표정 하였다.

위성자료의 수치적 처리는 FPS minisuper 컴퓨터에 의해 전처리과정을 거친 후 SUN 4/330으로 옮겨져 최종적인 OUTPUT이 화면에 나타내어졌다. 이 때 통상적으로 가시광선 자료인 TM band-1, band-2 및 band-6이 multispectral 방법 (해양연구소, 1987)으로 처리되었다.

나. 해수색상분석

위성에 의해 얻어진 영상자료로부터 해수색상특성을 파악하기 위해서는 가시광선을 대표하는 TM자료의 3개의 band 자료로부터 각 분광대의 Chromaticity coefficient (Munday and Alfoldi, 1979)를 구한 후 삼각 diagram 상에 표정(plotting)하는 방법을 사용하였다.

TM자료는 우선 지형보정을 실시하여 UTM좌표계로 변환을 실시한다. 이때

정확한 위치보정이 필요시 되며 이를 위해 1:50000 지형도를 이용하여 최소 20개 이상의 정확한 GCP(Ground Control Point)를 선정하여 실시한다. TM자료가 UTM 좌표로 위치보정을 한 후 선상에서 GPS로 측정된 각 정점의 위치를 계산하여 이에 해당하는 TM자료의 픽셀의 좌표를 구하여 이 픽셀을 중심으로 3X3 윈도우를 이용하여 평균값을 구하였다. 이와 같이 평균값을 구하는 이유는 noise에 의해 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해서이다. 이와 같이 구한 정점위치에 해당되는 픽셀의 평균값을 각 밴드에 대해 구하여 해수색상분석시 사용하였다.

제 3 장 연구결과

제 3 장 연구 결과

본 연구는 위성에 의한 관측자료가 가지는 특성파악 및 위성자료와 해양환경의 제반요소들과의 관계파악에 대한 기초연구를 주로 수행하였으며 여기서는 1차년도 및 2차년도에 이어 현장조사에 의한 Chromaticity 연구, 이의 위성자료와의 관계파악 및 Electrostatic Color Plotter에 의한 영상도면 작성기법등 주요 연구 결과를 종합하였다.

제 1 절 열 적외선 자료에 의한 해수온도 분석

1. 현장자료분석

가. 현장 Data Quality 검증

위성에서 해수표면 온도를 측정하는 방법은 열 적외선에 의한 방법이므로 현장에서 같은 방법으로 측정한 실측 자료를 대비하여야 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 본 사업에 이용된 Minolta SPOT DP-210 열 적외선 온도계는 처음 사용되는 것이기 때문에 그 특성을 검증할 필요가 있다.

Fig. 3-1은 1991년 3월 30일의 열 적외선 온도계 측정치와 봉상 온도계 측정치를 대비한 것이며 두 측정치는 매우 좋은 상관 계수를 보여주나 조사 해역에서 일반적으로 나타나는 12°C~18°C 대역에서 상호 약 2°C의 차이를 가지는 것으로 나타났다.

Fig.3-2는 1991년 5월 1일의 열 적외선 온도계 측정치와 봉상 온도계 측정치와 Thermosalinograph 측정치를 대비한 것이며 두 측정치는 비교적 양호한 상관 계수를 보여주나 12°C 부근에서 0.5°C 이상의 차이를 갖는 것으로 나타났다.

Fig.3-3은 1991년 5월 1일의 Thermosalinograph 측정치와 봉상 온도계 측정치를 대비한 것이며 두 측정치는 매우 좋은 상관 계수를 보여주는 한편 12°C~18°C 대역에서도 서로의 차이가 0.5°C 이하인 것으로 나타났다. 따라서 SPOT 열 적외선 온도계를 사용할 경우 충분한 자료의 축적이 이루어 질 때까지는 봉상 온도계 또는 Thermosalinograph 측정을 병행함이 바람직한 것으로 보인다.

나. 현장 조사결과

Fig.3-4는 1991년 3월 30일 오전 9시 부터 11시까지의 조사선 항적도를 보여주며 Fig.3-5는 열적외선 온도계로 측정한 결과를 보여준다. 그림에서 조사해역의 대부분이 11°C~12°C 를 보이며 고리원전 배수구 부근에서 13°C 이상의 수온을 보이는 것으로 나타났다. 온배수의 영향 범위는 13°C 또는 12°C 등온도선으로 정의할 수 있다.

이렇게 볼 때 온배수 영향 범위는 배수구 남쪽으로 약 1.5Km 동쪽으로 약 2.5Km까지 미치는 것으로 나타났다.

Fig.3-6은 1991년 5월 1일 오전 9시 10분부터 11시 05분까지의 조사선 항적도를 보여주며 Fig.3-7은 Thermosalinograph를 사용하여 얻어진 수온분포도이다. 그림에서 온배수역 이외의 대부분이 13°C~13.5°C의 분포를 보이며 13.5°C 부터 배

Data from "Kori SP-Bar (3/30)"

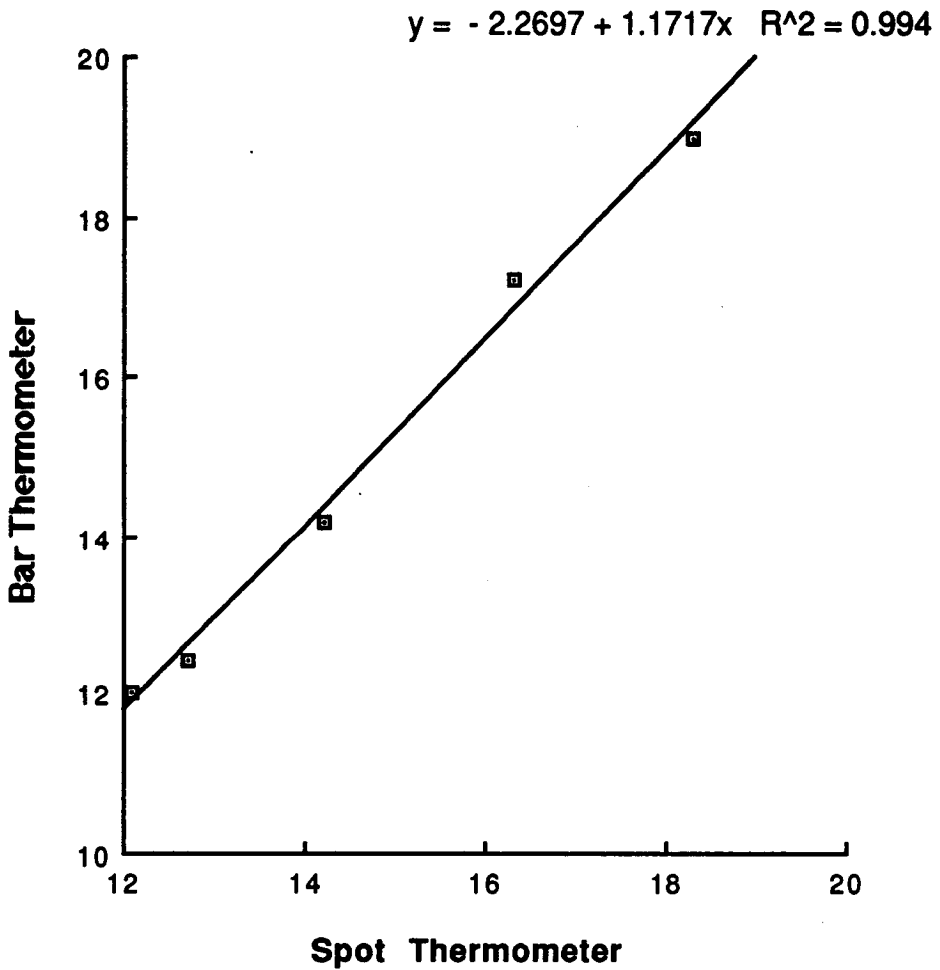


Fig. 3-1. Relationship between the measurements by thermal infrared thermometer and those by bar thermometer on 30 March 1991.

Data from "Kori SP-TH Data (91 5/1)"

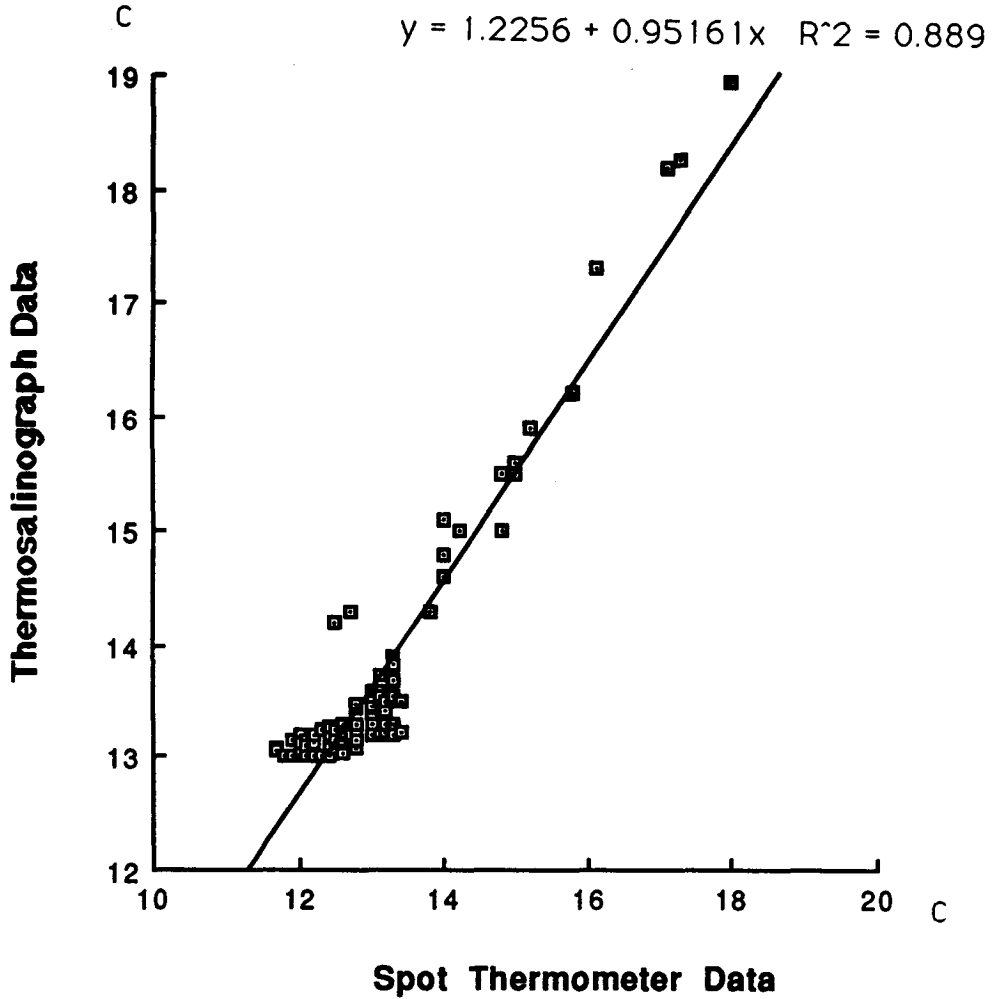


Fig. 3-2. Relationship between the measurements by thermal infrared thermometer and those by bar thermosalinograph on the 1st May 1991.

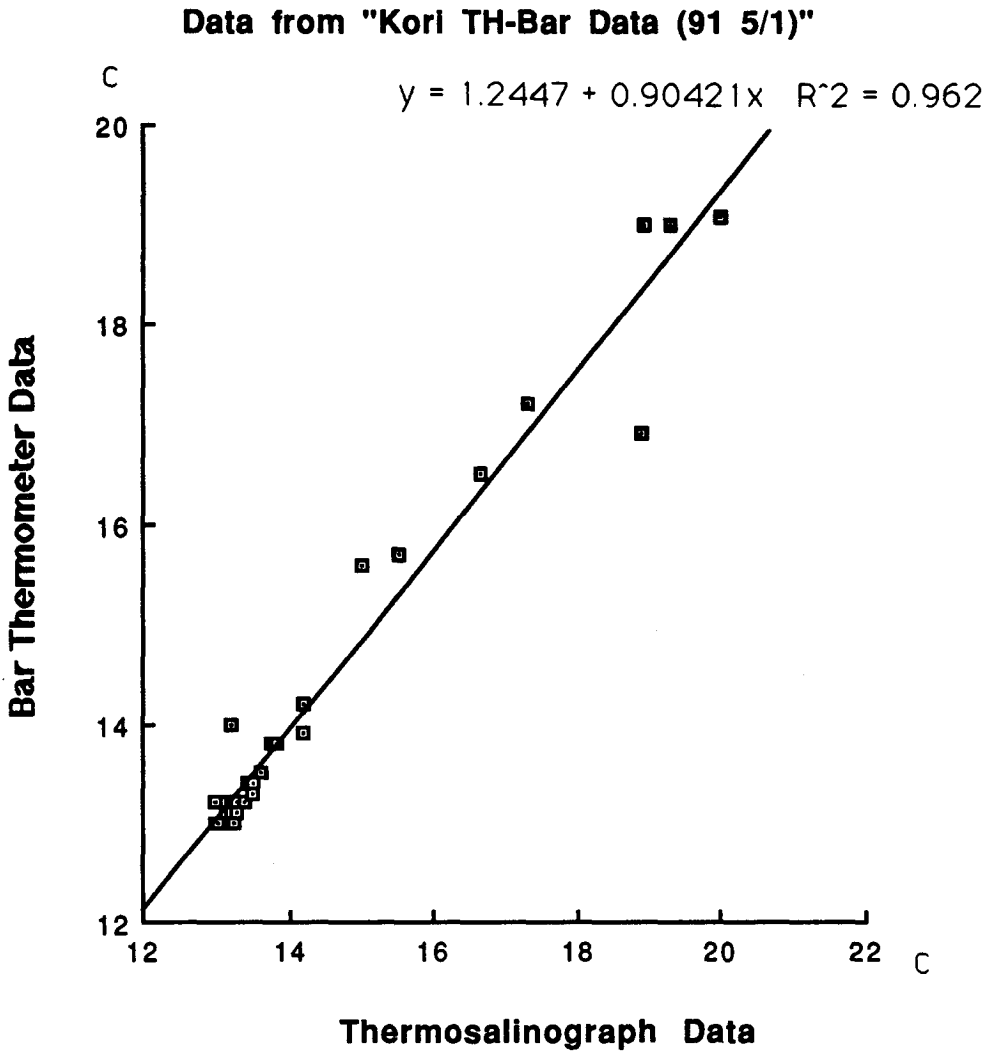


Fig. 3-3. Relationship between the measurements by thermosalinograph and those by bar thermometer on the 1st May 1991.

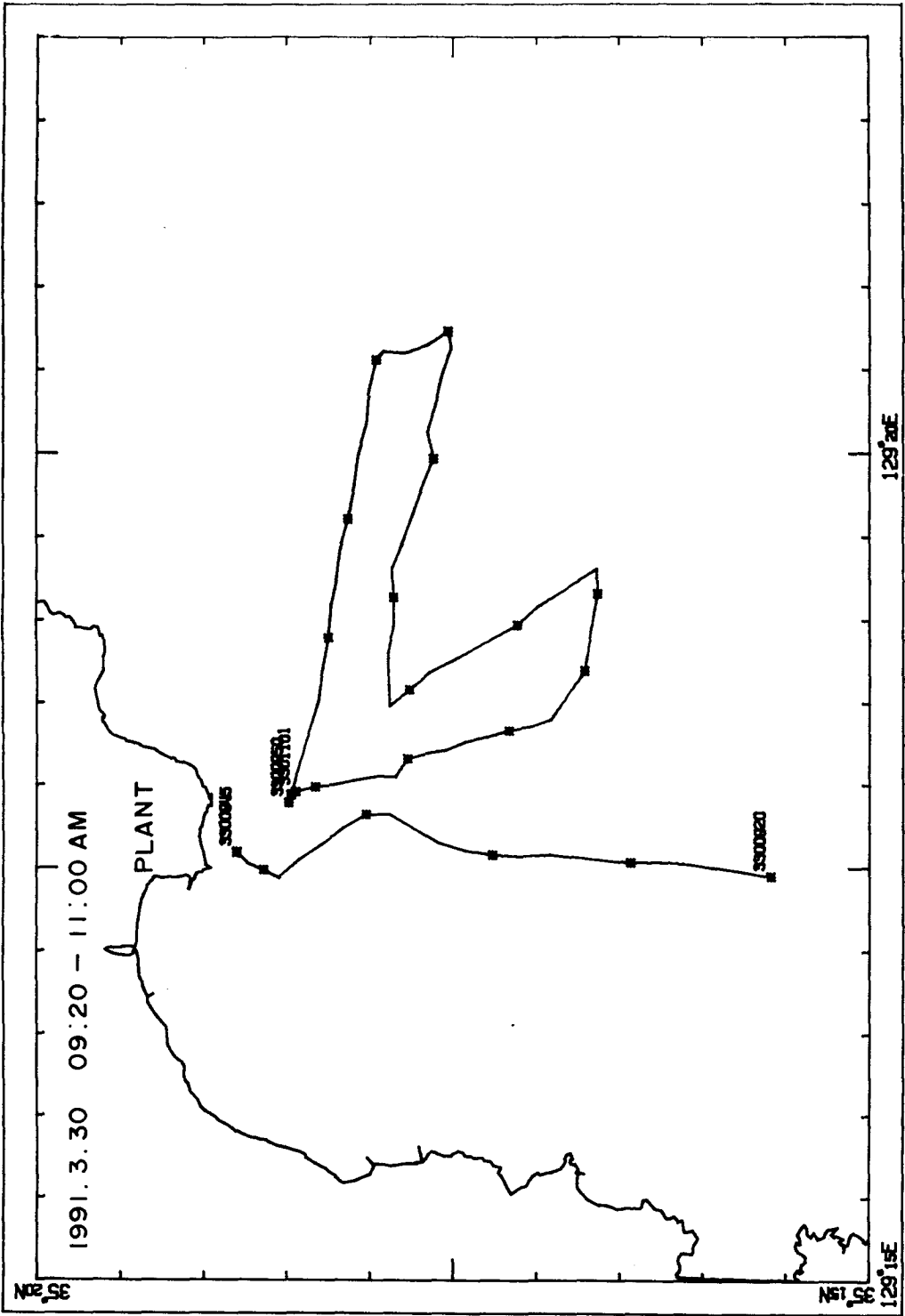


Fig. 3-4. Track chart of the seasurface temperature measurement on 30 March 1990.

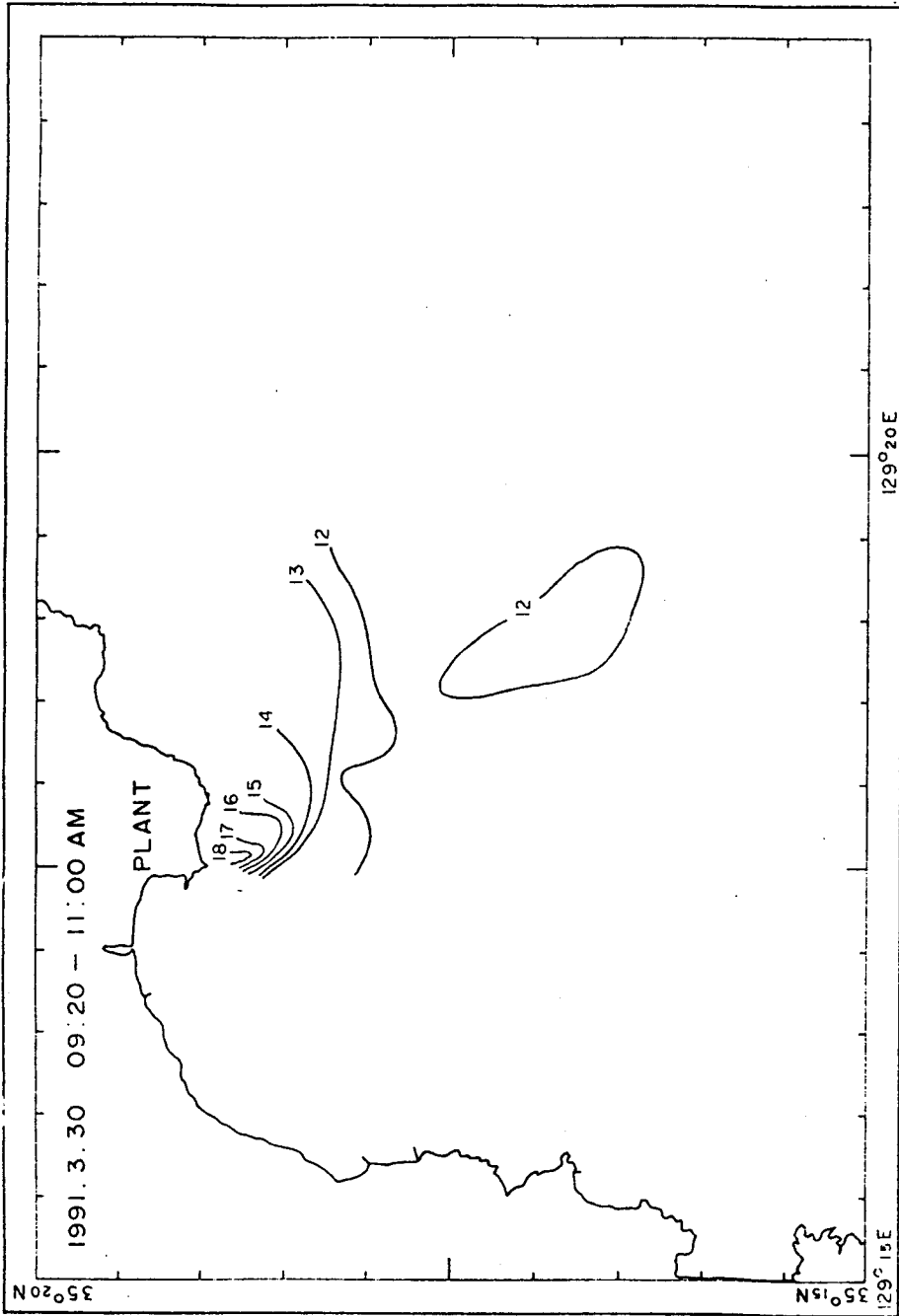


Fig. 3-5. Distribution of seasurface temperature based on the measurement by thermal infrared thermometer.

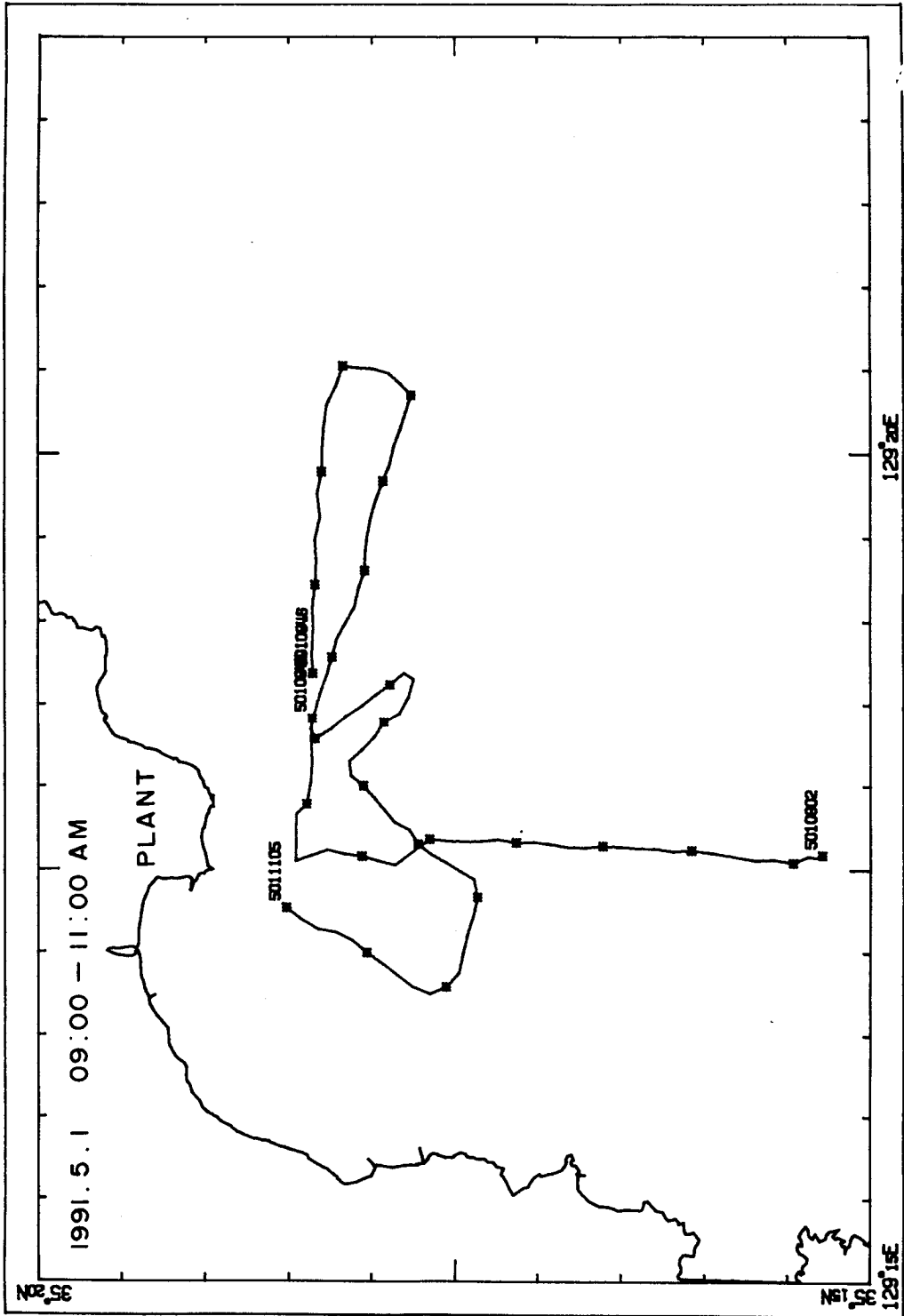


Fig. 3-6. Track chart of the seasurface temperature measurement on the 1st May 1990.

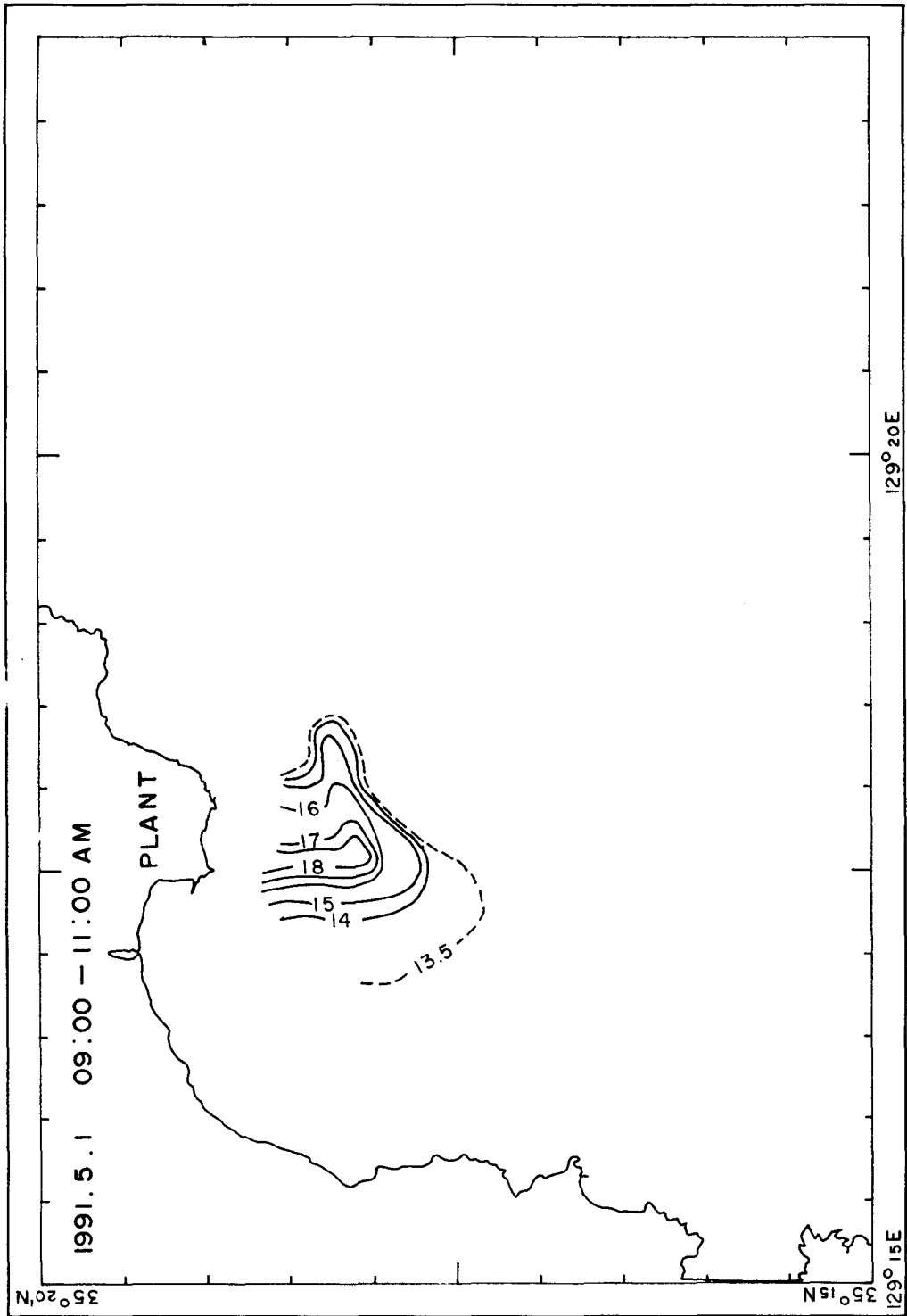


Fig. 3-7. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on the 1st May 1991.

수구 쪽으로 갈수록 매우 급격한 수온상승을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 13.5°C 등온도선 부근을 온배수영향 범위라고 볼 때 배수구에서 남서쪽으로 약 2.5Km, 폭 약 1.5Km로서 길쭉한 형태로 영향수역이 형성된 것으로 나타났다.

Fig. 3-8은 1991년 10월 8일 오전 8시 35분부터 오후 1시 11분까지 수행한 현장측정 조사선 항적도(track chart)이며 Fig. 3-9는 항적도를 따라 해수표면온도를 plot한 도면이다. 그림에서 볼 때 온배수의 영향을 받지 않은 해역의 표면온도는 22.0~22.6°C 이며 배수구에서 남쪽 약 1.5Km 떨어진 곳에서 온도의 낙차가 큰 것으로 나타났다.

Fig. 3-10은 1991년 10월 24일 오전 9시 30분부터 11시까지 수행한 현장측정조사선 항적도이며 Fig. 3-11은 이에 따라 얻어진 해수표면 온도분포도이다.

그림은 현장에서 조사당시 온배수영향 범위의 경계를 따라 선박이 지그재그를 그리며 측정을 시도해 본 결과이다. 따라서 당시의 온배수 영향은 조사항적이 있는 해역 내에 국한하여 미치는 것으로 보인다.

Fig. 3-12는 1991년 11월 25일 오전 9시 51분부터 11시 47분까지 수행한 현장측정 조사선 항적도이며 그림 3-13은 이에 따라 얻어진 해수표면 온도분포도이다.

여기서도 10월 24일의 경우와 마찬가지로 온배수 영향범위는 항적이 있는 해역 내에 국한되어 있는 것으로 보여진다.

Fig. 3-14는 1992년 1월 28일 오전 9시 49분부터 11시 44분까지 수행한 현장측정 조사선 항적도이며 Fig. 3-15는 이에 따라 얻어진 해수표면 온도분포도이다.

그림에서 온배수 영향범위는 약 13.5°C 이상 되는 부분으로 추정되며 매우 위축된 해역에 국한된 것으로 나타났다.

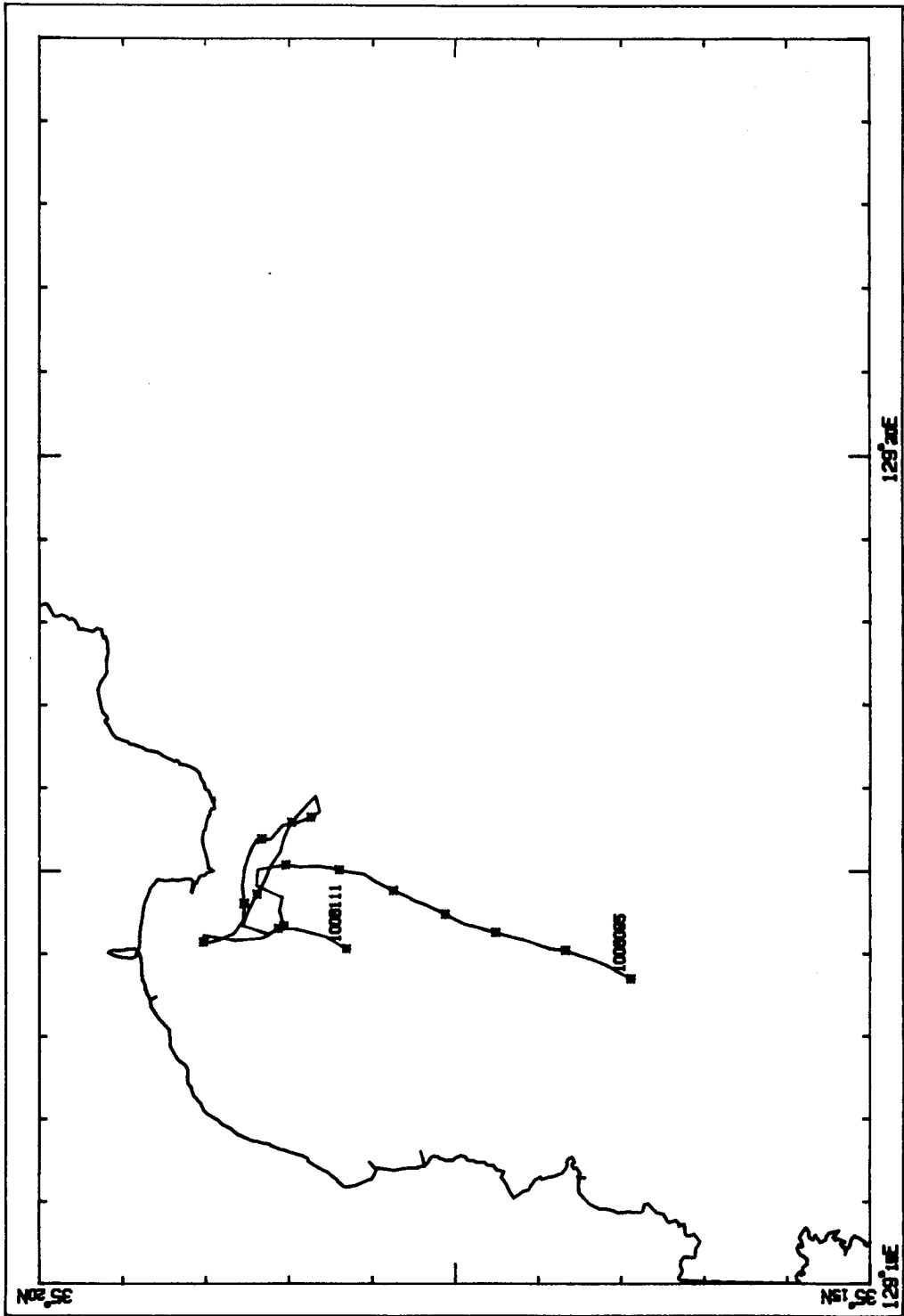


Fig. 3-8. Track chart of the seasurface temperature measurements on 8 October 1991.

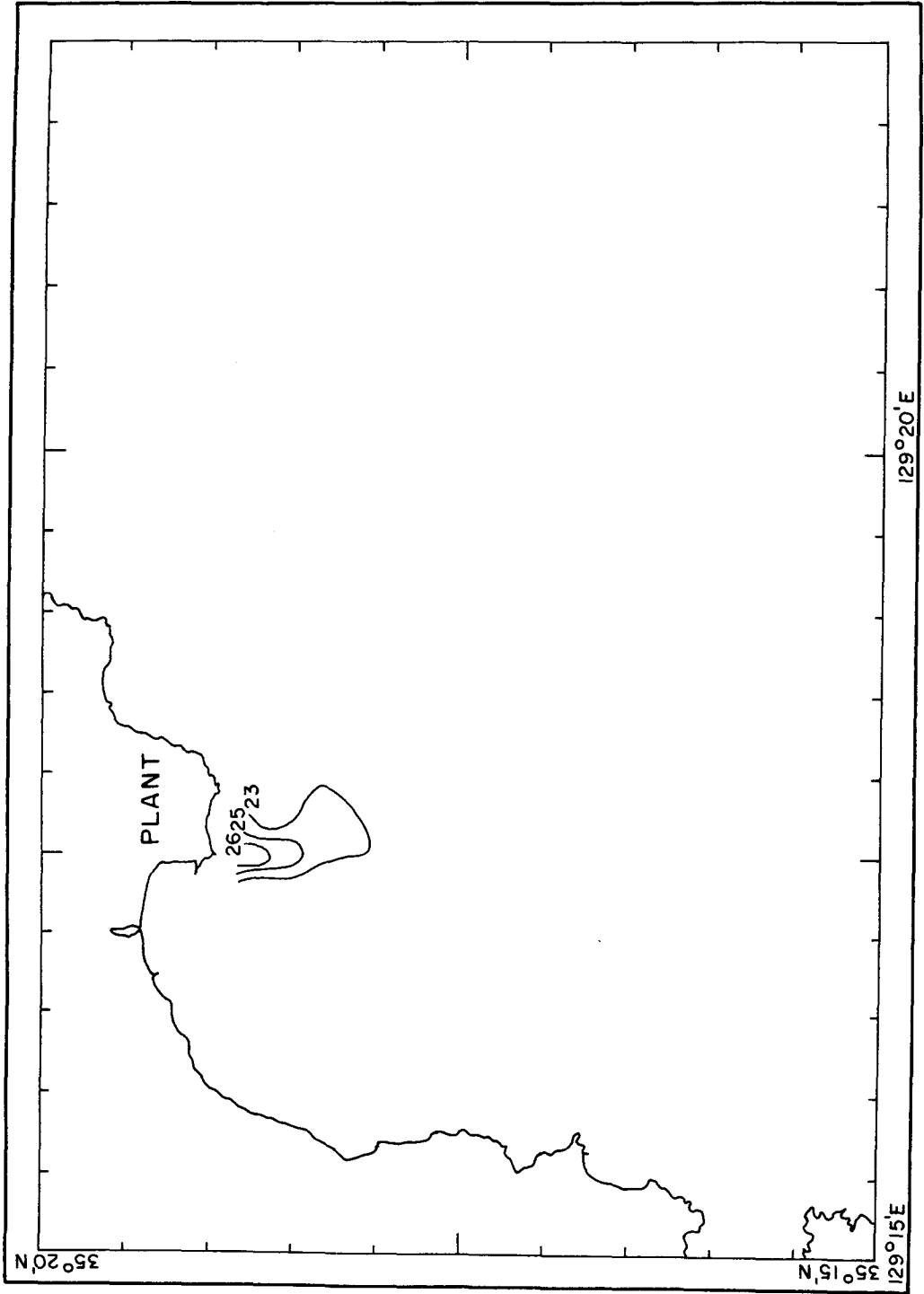


Fig. 3-9. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 8 October 1991.

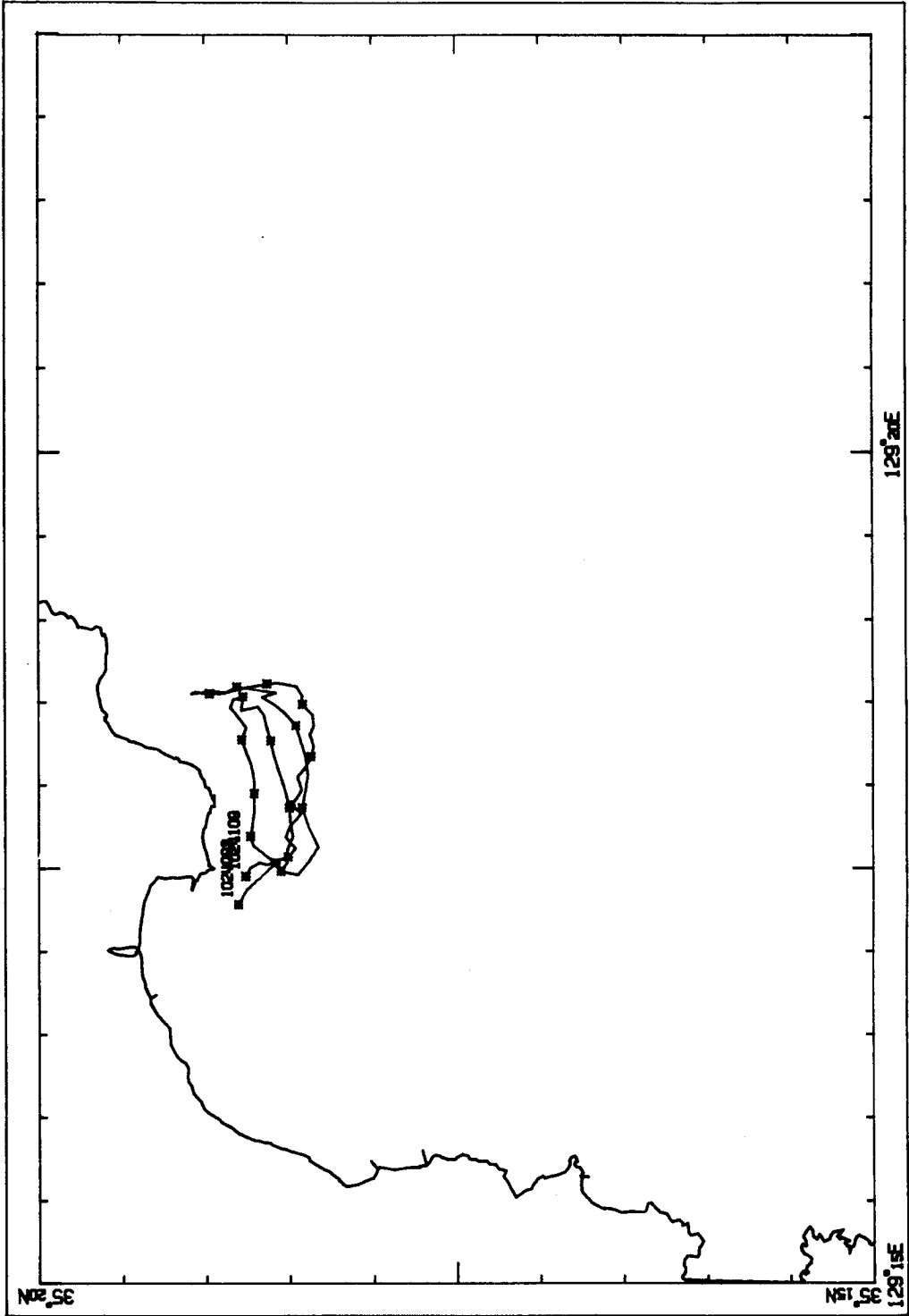


Fig. 3-10. Track chart of the seasurface temperature based on the measurement on 24 October 1991.

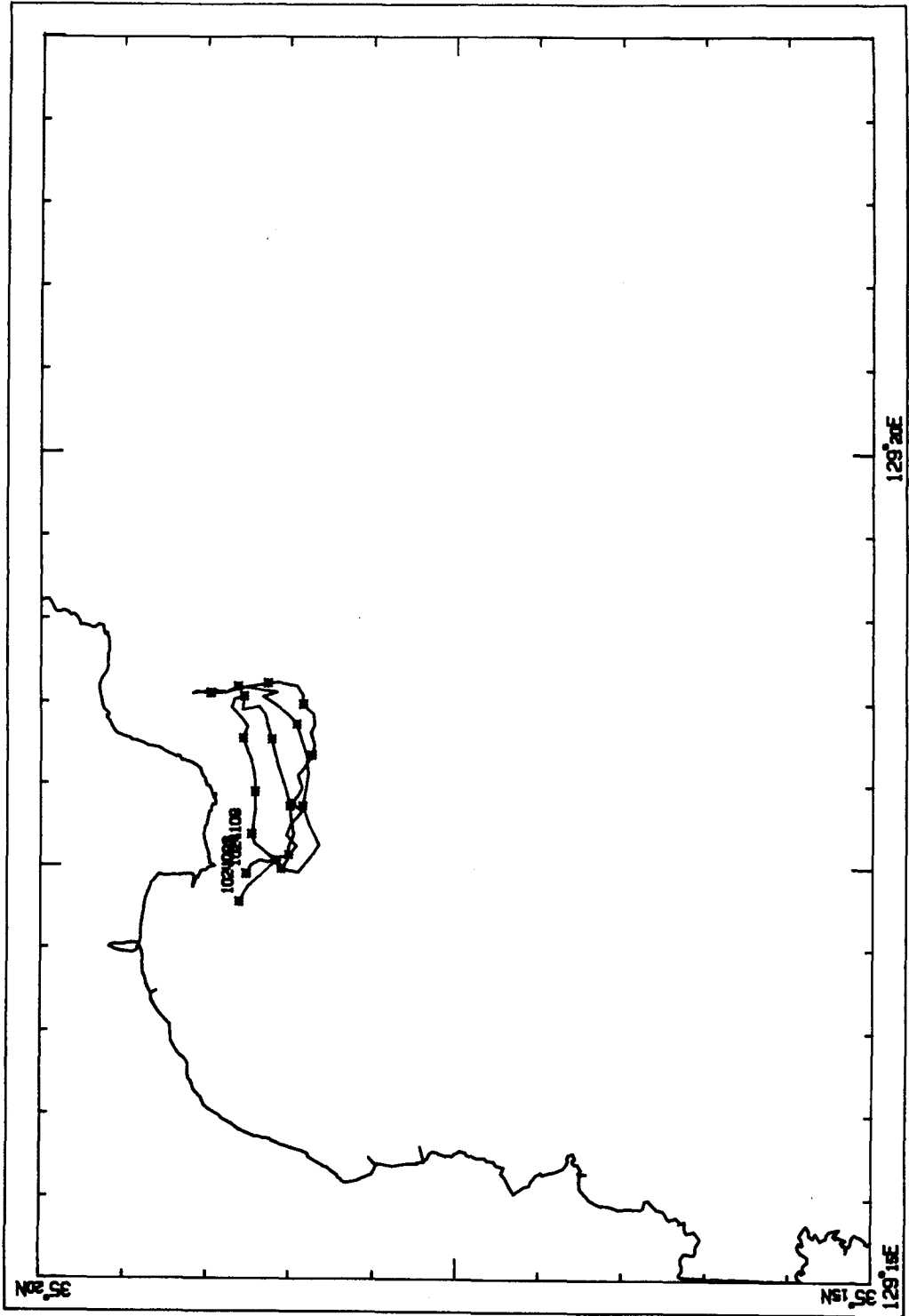


Fig. 3-11. Distribution of seasurface temperature based on the measurement on 24 October 1991.

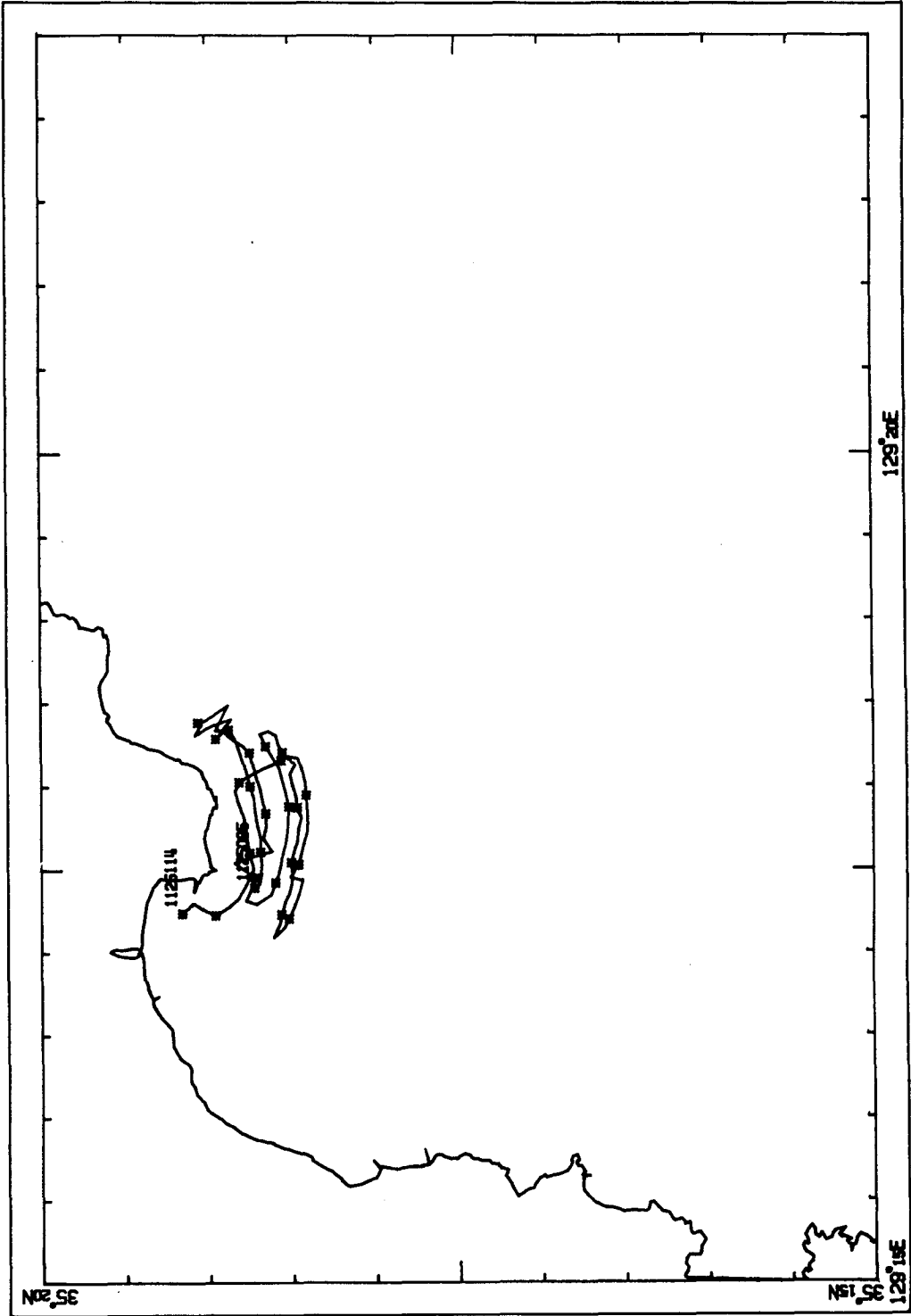


Fig. 3-12. Track chart of the seasurface temperature measurement on 25 November 1991.

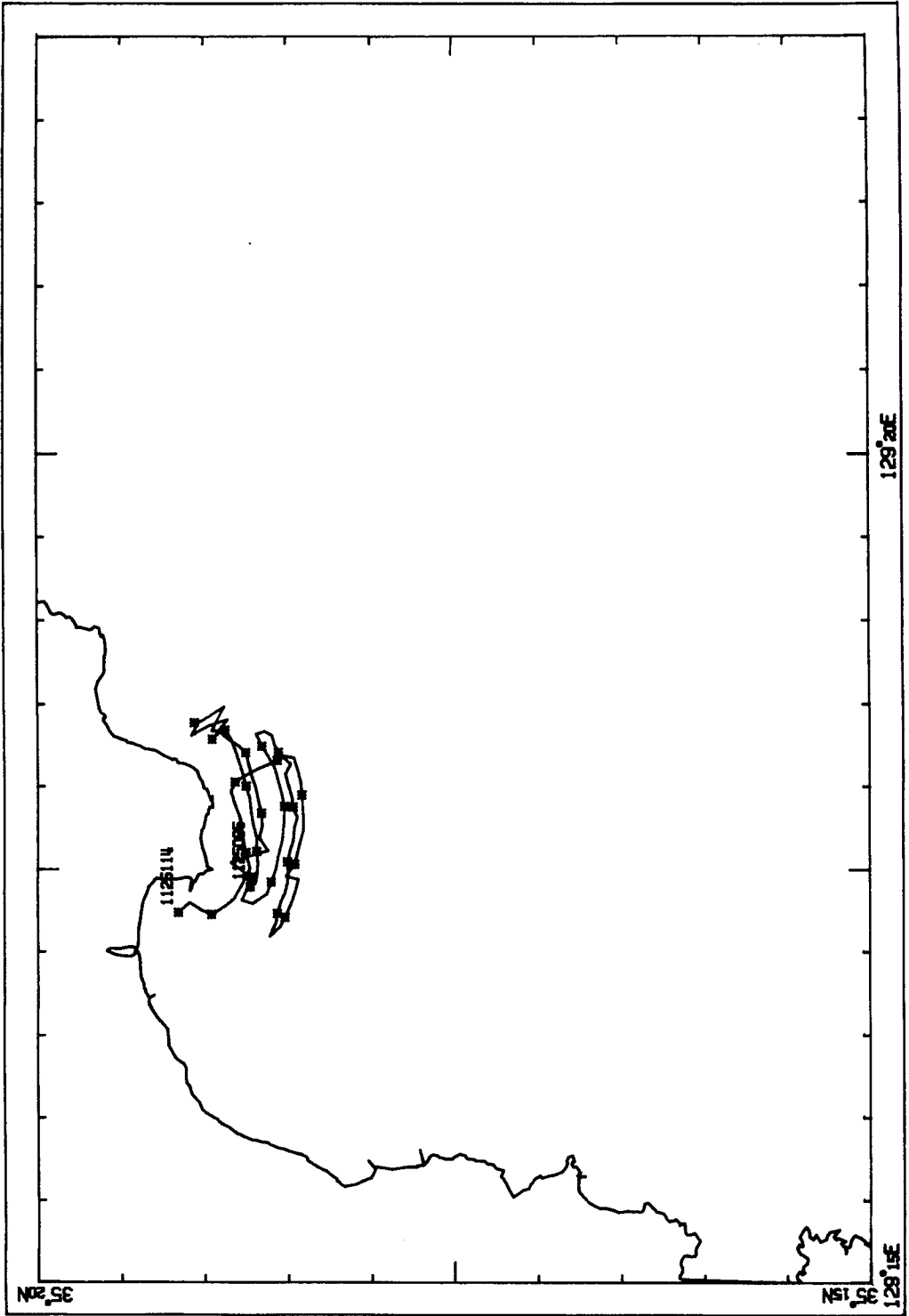


Fig. 3-13. Distribution of sea surface temperature based on the measurement on 25 November 1991.

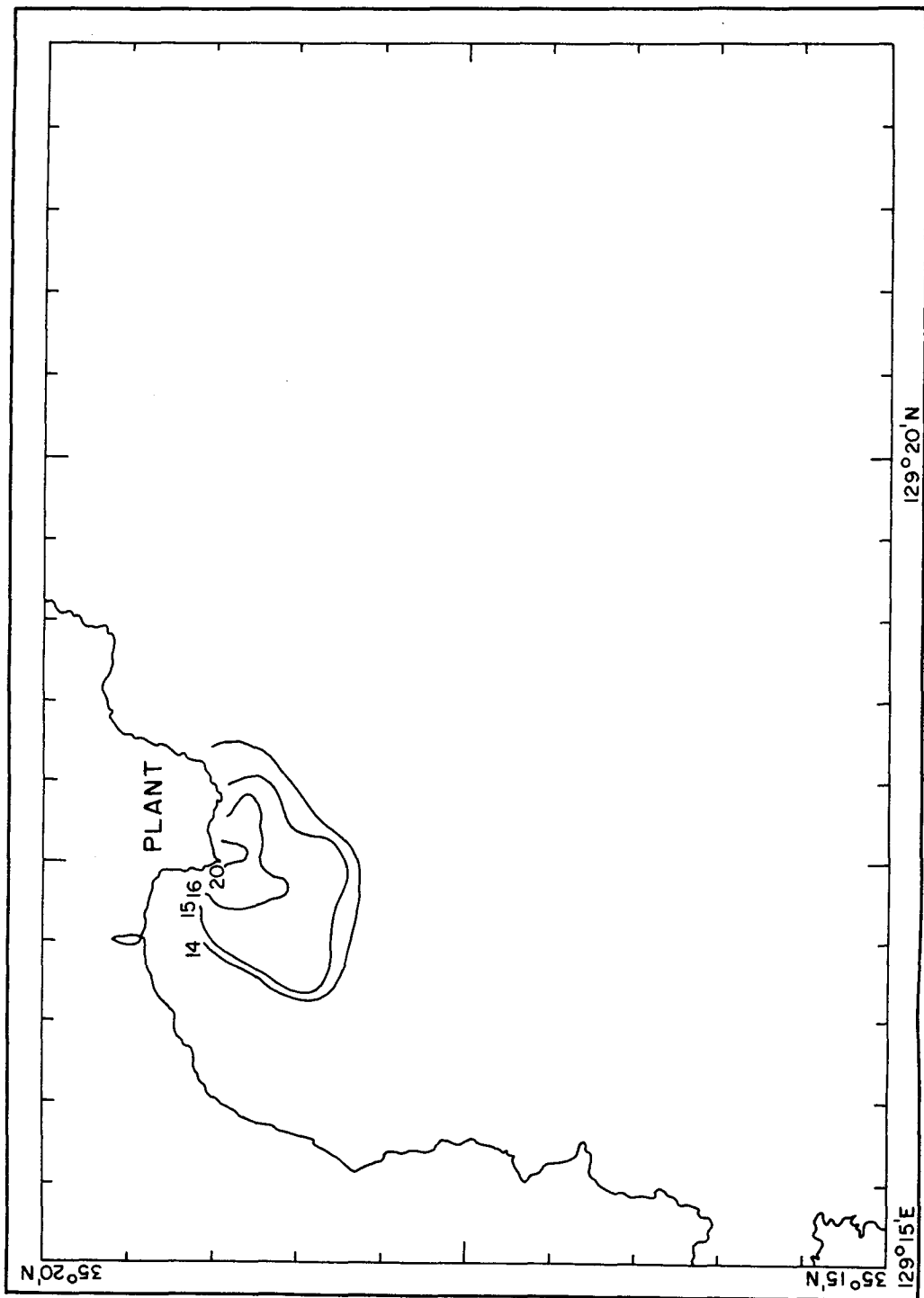


Fig. 3-15. Distribution of seafloor temperature based on the measurement on 28 January 1991.

Fig.3-16은 1992년 2월 13일 오전 9시 55분부터 12시 04분까지 수행한 현장측정 조사선 항적도이며 Fig.3-17은 이에 따라 얻어진 해수표면 온도분포도이다. 그림에서 온배수 영향범위는 13°C 이상 되는 부분으로 추정되며 외해 쪽으로 길게 확산되는 것으로 나타났다.

2. 위성자료로 부터 해수표면 온도 산출

인공위성 영상의 수치자료(digital number)로 부터 해수표면 온도를 구하는 방법을 Anding and Kauth(1970), Mc Clain (1980, 1981)등이 보고한 계산에 의한 방법이 있으나 현장자료가 풍부한 본 연구에서는 위성통과와 동시에 측정된 실측자료와 Landsat TM band-6 열적외선 자료와의 대비를 통해(Albuissou, 1979) 상관관계식을 구하여 해수표면 온도를 구하였다. 이때 위성통과와 동시에 측정된 현장자료가 없는 위성자료에 대해서는 유사한 시기 및 조건화에서 얻어진 자료를 가름하여 사용하였다.

Fig.3-18은 1991년 11월25일 획득된 Landsat TM band-6 와 현장실측자료의 상관관계를 예로 보여주고 있다. 그림에서 볼때 TM band-6의 한 단위는 약 0.5°C를 나타내며 상관계수는 0.9869로서 매우 양호하였다.

3. 적용연구 : 위성영상에 나타난 온배수 영향범위

당초 열 적외선 Channel인 Band 6을 주로 하여 육지/해수의 경계를 위해 Band 4를 보조 Channel로 사용할 계획이었으나 본 지역에서는 육지/해수의 경계가 불명

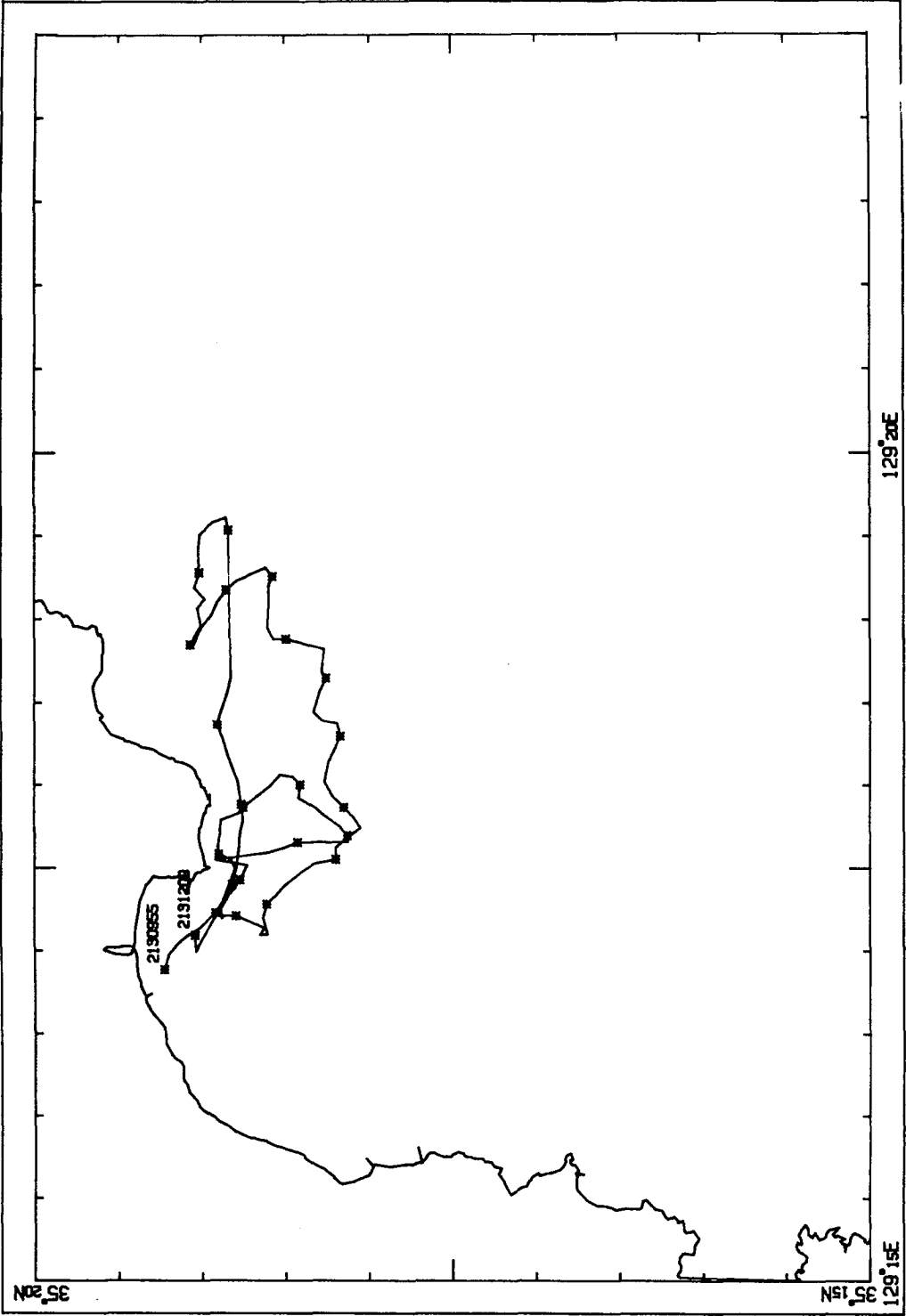


Fig. 3-16. Track chart of the seasurface temperature measurements on 13 February 1992.

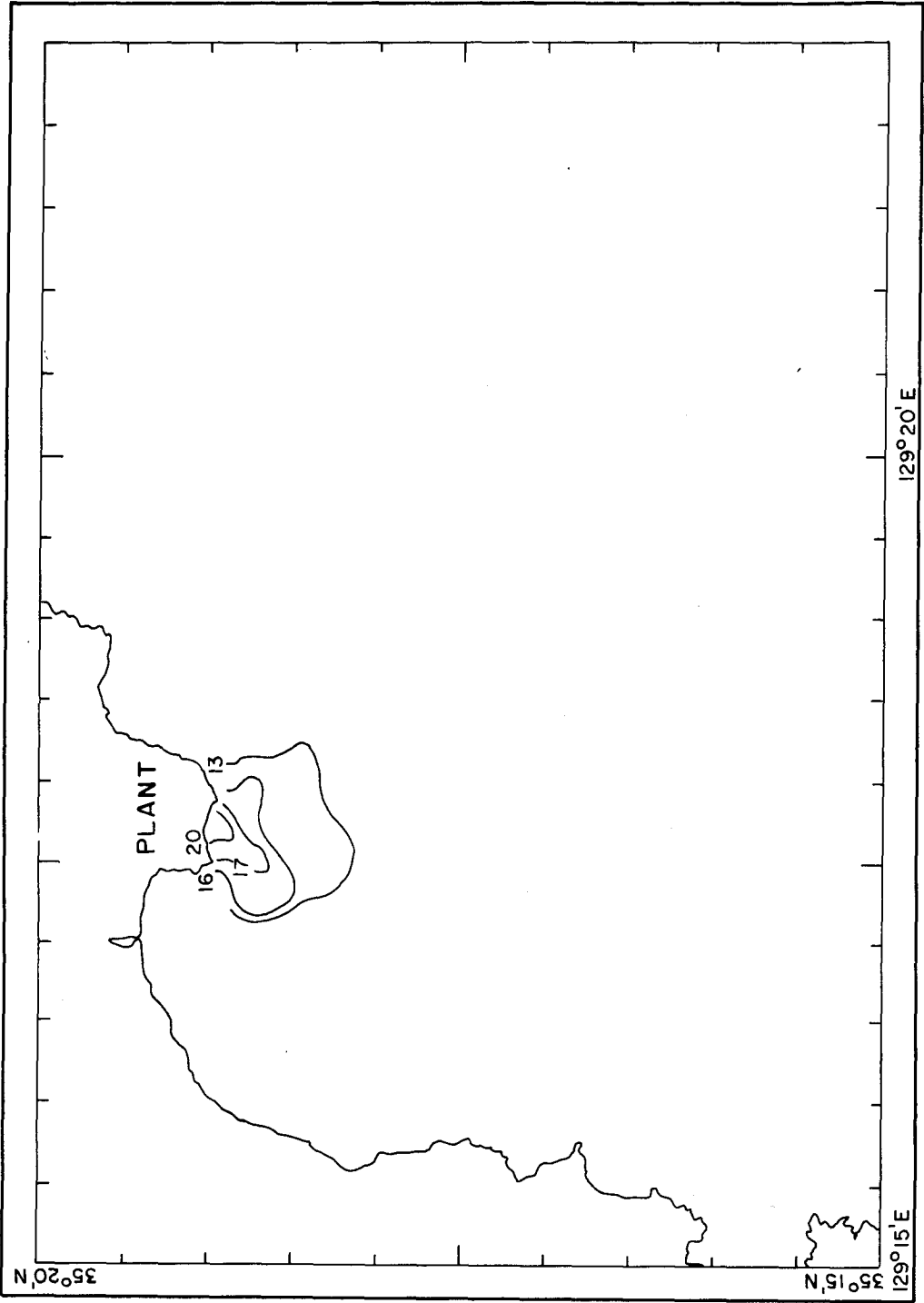


Fig. 3-17. Distribution of seafloor temperature based on the measurements on 13 February 1992.

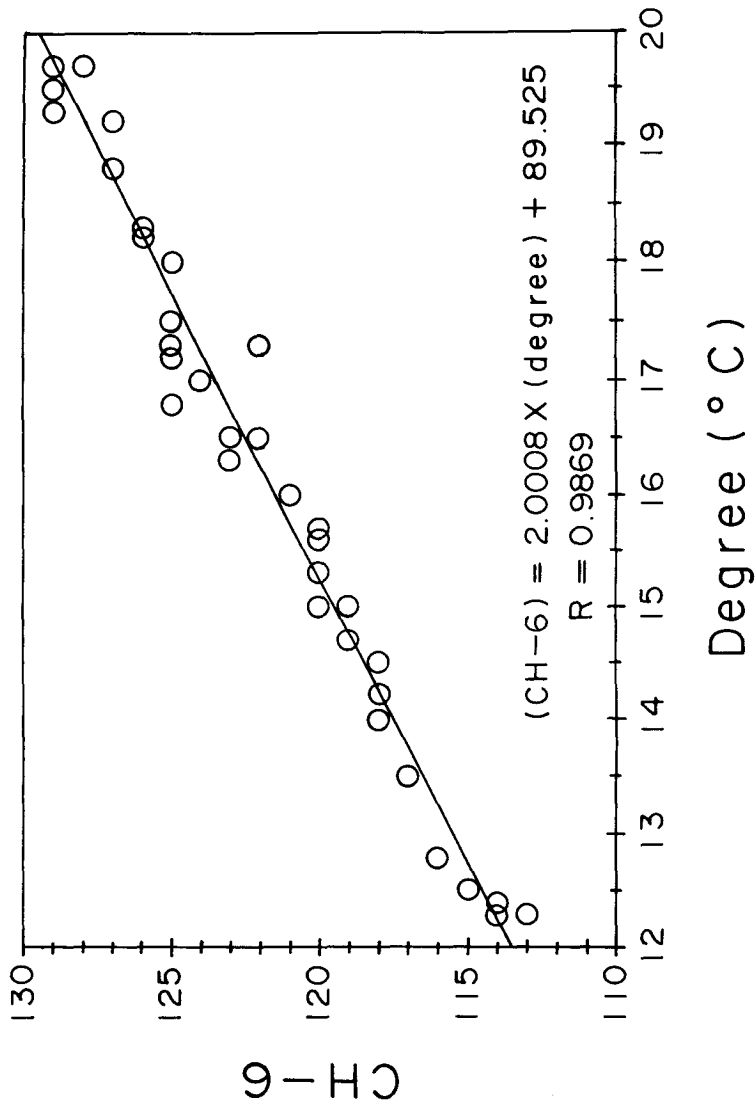


Fig. 3-18. Example of regression fit between field measured seafloor temperature and Landsat TM band-6 (thermal IR): case of the image of 25 November 1991.

확한 조건대의 발달이 미약하고 인근 하천 및 공업단지부터의 혼탁해수 확산상황도를 함께 참고하는 한편 양식장이 Band 1에 의해 용이하게 파악됨이 밝혀져 Band 1, 3 및 6의 Multispectral false color composite로 작성하였다.

가. 온배수 분포

1) 1984년 11월 5일의 온배수 분포

Fig. 3-19는 1984년 11월 5일 오전 10시 32분 저조 약 1시간 20분전에 획득된 영상자료이다. 그림에서 볼 때 발전소에서 배출된 온배수가 북동 방향으로 이동하는 상황이 쉽게 파악되고 있다.

Fig. 3-20은 1984년 11월 5일의 영상자료로부터 얻어진 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 받지 않은 부분의 수온은 14.5°C 를 약간 밑돌며 $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ 가 되는 16°C 이상의 수온을 보이는 부분은 취수구로부터 서북방향으로 약 2km 지점까지 미치는 것으로 나타났다.

2) 1990년 1월 6일의 온배수 분포

Fig. 3-21은 1990년 1월 6일 아침, 저조 후 2시간 경과(울산기준)된 때 획득된 TM영상 자료로서 적색-적백색으로 온배수 해역이 표현되었으며 폭 1-2km, 남동쪽으로 최대 2.5km 가량 부근까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 그림에서 연안쪽으로 회적색을 띠는 부분은 혼탁 해수이며 암청색의 장방형 반점들은 미역 양식장이다. 이날 제3호 발전기는 가동을 하지 않았으며 1월 2일부터 전날까지 평균 풍속 12m/sec 이상의 비교적 강한 북북서 풍이 불었다.



Fig. 3-19. Landsat TM image of 5 November 1984.

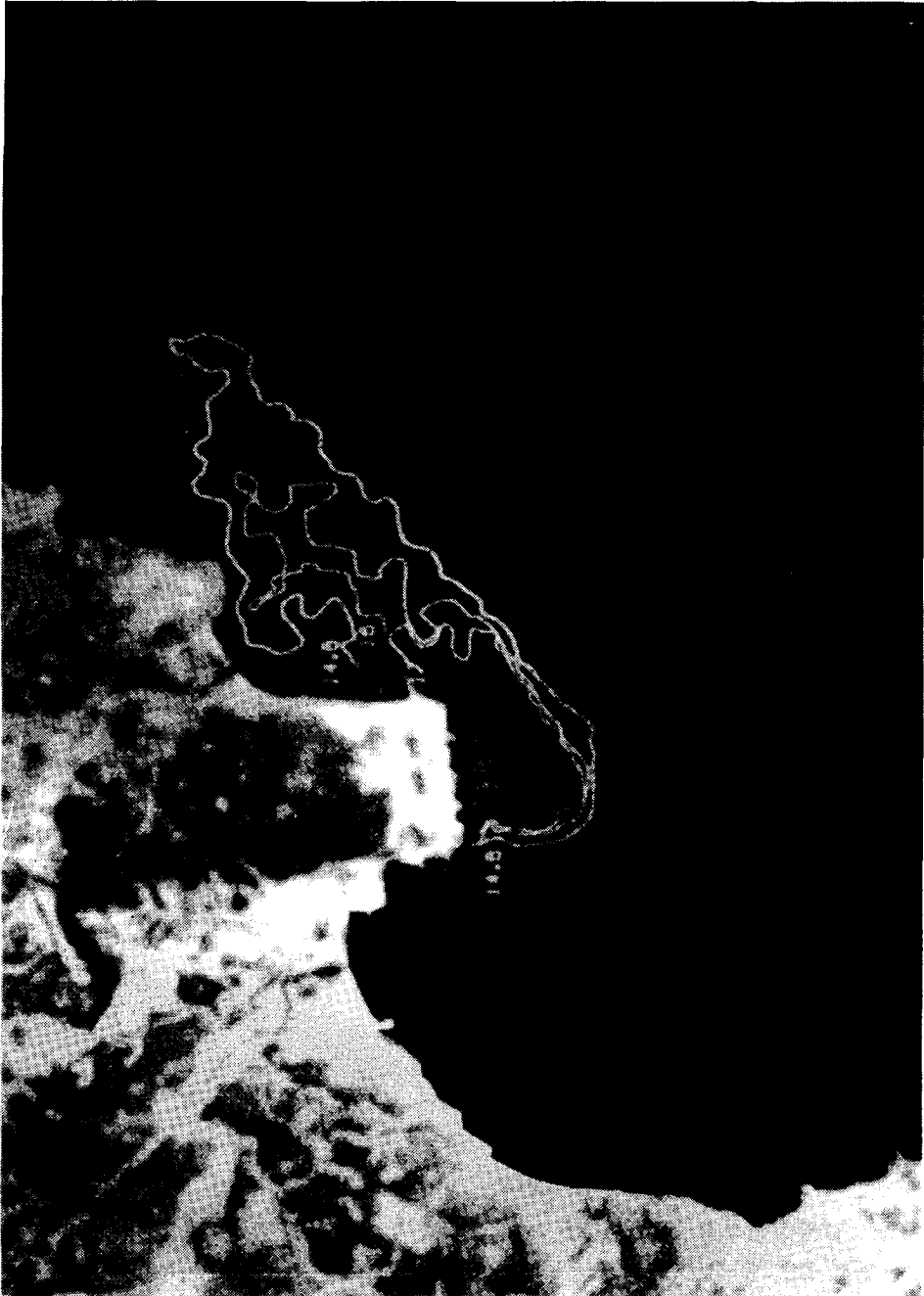


Fig. 3-20. Distribution of sea surface temperature on 5 November 1984.



Fig. 3-21. Landsat image of 6 January 1990.

Fig. 3-22는 1990년 1월 6일의 영상자료로부터 얻어진 온배수의 표층 수온 분포도이다. 온배수의 영향을 받지 않는 부분의 수온은 12.5°C 를 약간 밑돌며 $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ 가되는 14°C 이상의 수온을 보이는 범위는 배수구로부터 서남 방으로 약 2.5Km 지점까지 미치는 것으로 나타났다.

3) 1990년 11월 22일의 온배수 분포

Fig. 3-23은 1990년 11월 22일 아침, 고조 후 약 1시간 경과된 때 획득된 TM 영상자료로서 온배수는 밝은 적색으로 표시되었다. 이에 의하면 온배수의 영향범위는 사방 최대 1 Km 정도의 매우 좁은 해역에 한하는 것으로 나타났다. 이날 원전 제1호 발전기가 가동이 되지 않았으며 11월초부터 평균풍속 3m/sec 이하의 매우 약한 북북서 풍이 기록되었다.

Fig. 3-24는 1990년 11월 22일의 영상자료로부터 얻어진 온배수의 표층 수온분포도이다. 온배수의 영향을 받지 않는 부분의 수온은 14.5°C 를 약간 밑돌며 $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ 가되는 16°C 이상의 수온을 보이는 범위는 배수구로부터 남방으로 약 1.5Km 지점까지 미치는 것으로 나타났다.

4) 1991년 1월 9일의 온배수 분포

Fig. 3-25는 1991년 1월 9일 오전 10시 32분, 저조 후 약 2시간 40분 경과된 때 얻어진 TM 영상자료로서 온배수 부분은 밝은 적색, 연안의 혼탁해수는 청회색, 외해수는 어두운 적색으로 표시되었다. 그림에서 볼 때 배수구로부터 배출된 온배수는 남서방향으로 이동된 후 동쪽으로 확산되는 모습을 관찰할 수 있다. 이날 원전의 1호 및 2호 발전기는 가동되지 않았다.



Fig. 3-22. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 6 January 1990.

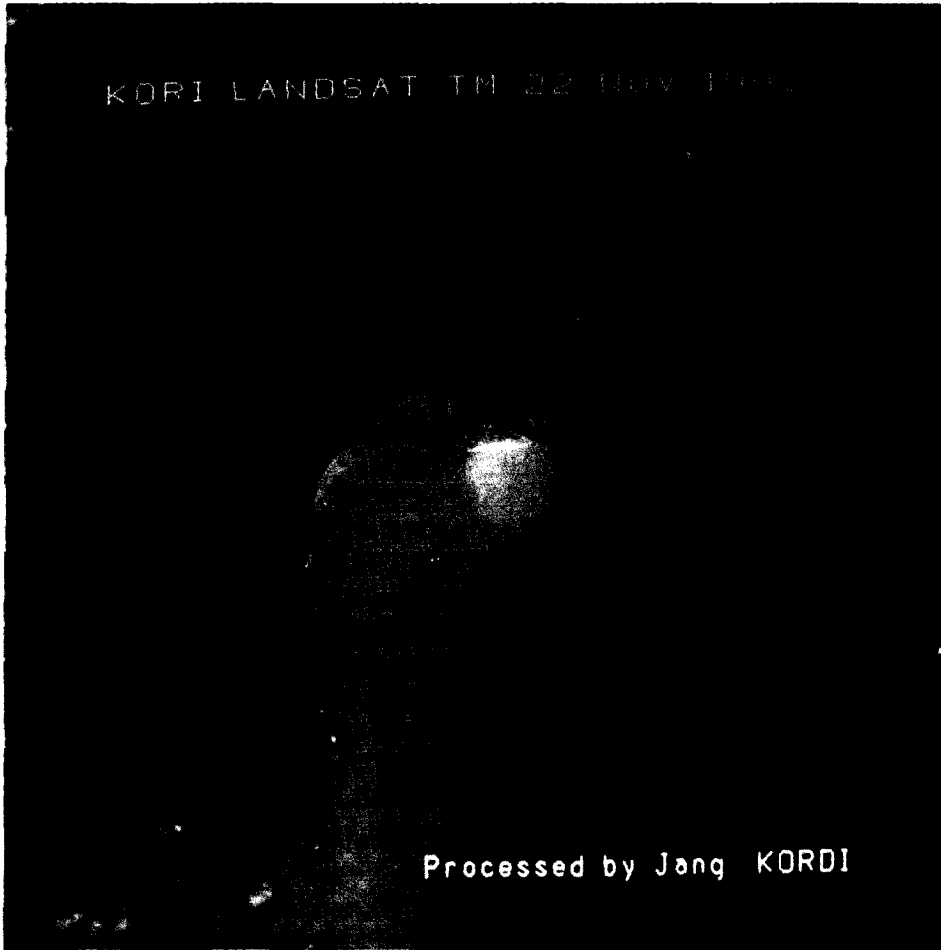


Fig. 3-23. Landsat image of 22 November 1990.



Fig. 3-24. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 22 November 1990.



Fig. 3-25. Landsat image of 9 January 1991.

Fig. 3-26은 영상자료로부터 얻어진 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 받지 않은 수온은 12.5°C 를 약간 밑돌며 $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ 가되는 14°C 이상의 수온을 봉리는 범위는 배수구로부터 남남서방향으로 약 1.5km 지점까지 미치는 것으로 나타났다.

5) 1991년 2월 26일 온배수 분포

Fig. 3-27은 1991년 2월 26일 오전 10시 33분, 고조 후 4시간 15분 정도 경과된 때 획득된 TM 영상자료이다. 적색으로 표시된 부분이 온배수이며 연안 가까운 바다에 검게 장방향의 반점들이 표시된 부분을 미역 양식장을 나타내고 있다. 그림에서 볼 때, 배수구로부터 배출된 온배수가 동북 방향으로 약 3.5km에 이르기까지 길게 뻗어나가는 현상이 잘 관찰된다.

Fig. 3-28은 영상자료로부터 얻어진 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 받지 않은 부분의 수온은 12.5°C 가량 되며 $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ 가되는 14°C 등온선은 발전소의 동측 취수구로부터 동북방으로 약 2km지점까지 미치는 것으로 나타났다. 본 영상에서는 미역양식장의 형태 및 위치가 잘 나타나므로 온배수가 일부 양식장을 유입되는 현상이 관찰된다.

6) 1991년 11월25일의 온배수 분포

Fig. 3-29는 1991년 11월25일 오전 10시 30분, 고조 후 약 1시간 경과된 때 획득된 TM영상이다. 온배수는 밝은 적색으로 연안의 혼탁해수는 청회색, 외해수는 어두운 적색으로 표시되었다. 그림에서 볼 때 배수구를 통해 배출된 온배수가 남쪽으로



Fig. 3-26. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 9 January 1991.

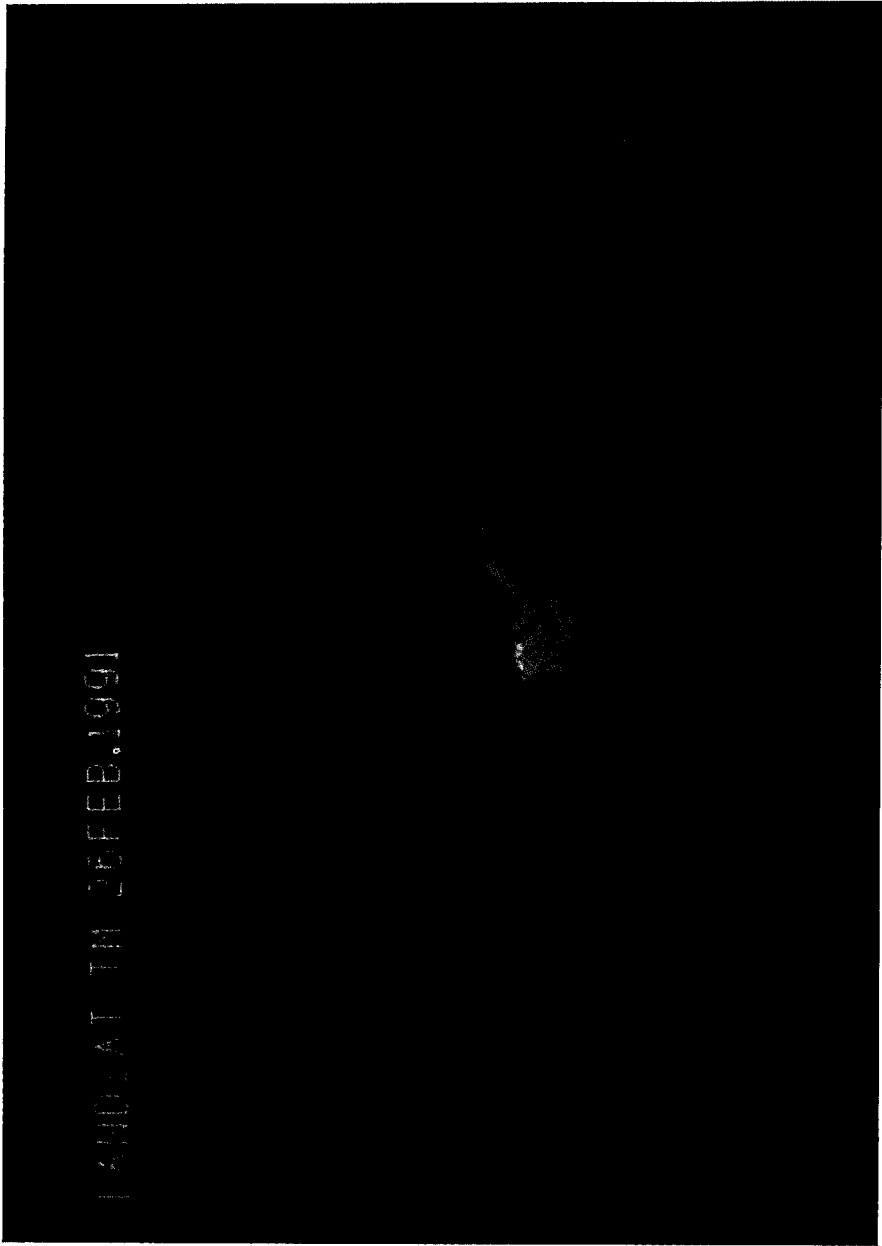


Fig. 3-27. Landsat image of 26 February 1991.

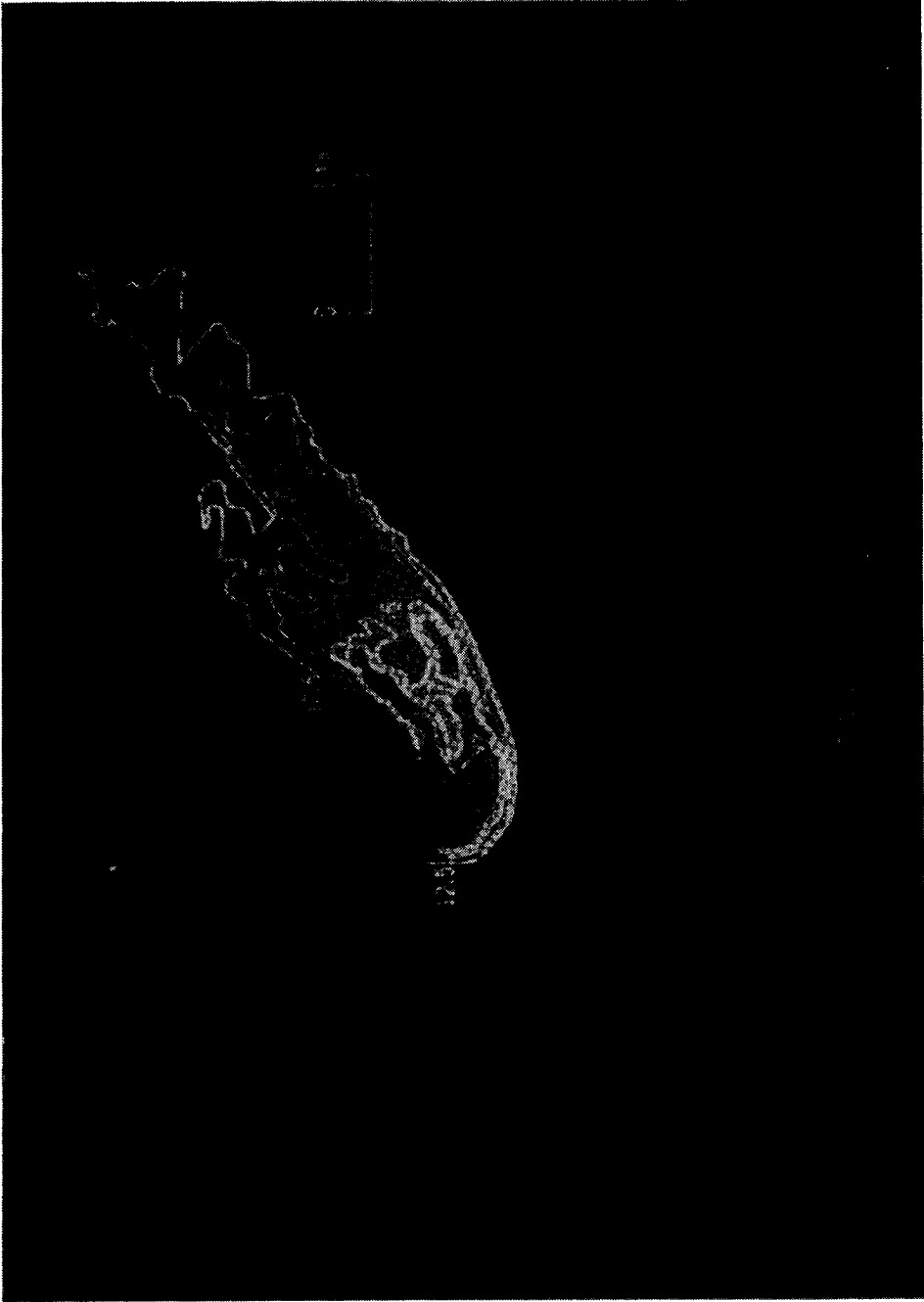


Fig. 3-28. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 26 February 1991.

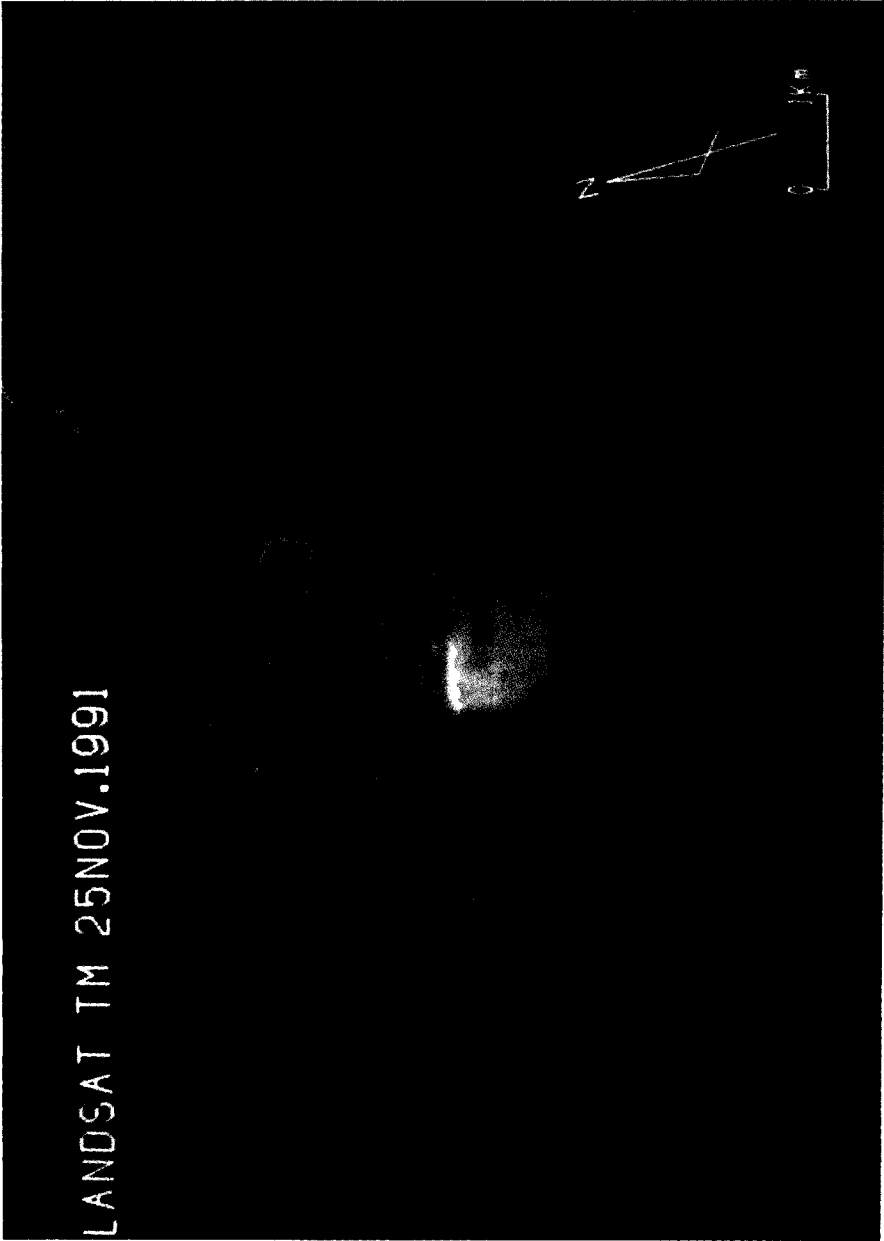


Fig. 3-29. Landsat image of 25 November 1991.

로 이동하면서 동쪽을 확산되는 양상이 잘 관찰되고 있다.

Fig. 3-30은 영상자료로 부터 얻어진 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 거의 받지 않는 부분의 수온은 약 14.5℃이며, $\Delta T = 1.5^\circ\text{C}$ 가 되는 16℃이상의 수온을 보이는 범위는 배수구로부터 남동방향을 1.5km까지 미치는 것으로 나타났다.

7) 1992년 1월 28일의 온배수 분포

Fig. 3-31은 1992년 1월28일 오전 10시 31분, 저조 후 약2시간 30분 경과된 때에 획득된 TM영상이다. 온배수는 밝은 적색으로, 외해수는 짙은 적색으로 표시되었으며 연안 부근의 혼탁해수는 청회색으로, 그림은 청색으로 표시되었다. 미역양식장은 적색-암적색으로 표시되었다. 그림에서 볼 때 배수구로부터 배출된 온배수는 약간 해안쪽으로 치우쳐서 이동되나 그리 넓게 확산되지는 않는 모습을 관찰할 수 있다. 이날 원전의 1호 및 2호 발전기는 가동되지 않았다.

Fig. 3-32는 위성영상으로 부터 추출한 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 거의 받지 않는 부분의 수온은 약 12.5℃이며 $TM = 1.5^\circ\text{C}$ 가되는 14℃이상의 수온을 보이는 범위는 배수구로부터 1km남짓한 곳까지 밖에 미치지 않아 확산이 거의 되지 않고 온배수가 한정된 장소에 머물러 있는 듯한 양상이 특징적이다.

8) 1992년 4월 17일의 온배수 분포

Fig. 3-33은 1992년 4월17일 오전 10시 30분, 고조 후 약 2시간 30분이 경과된 때에 획득된 TM영상이다. 온배수는 밝은 적색, 연안혼탁수는 밝은 청색, 외해수는 암청색으로 표시되었다. 그림에서 볼 때 배수구를 통해 배출된 온배수는 곧장 북동

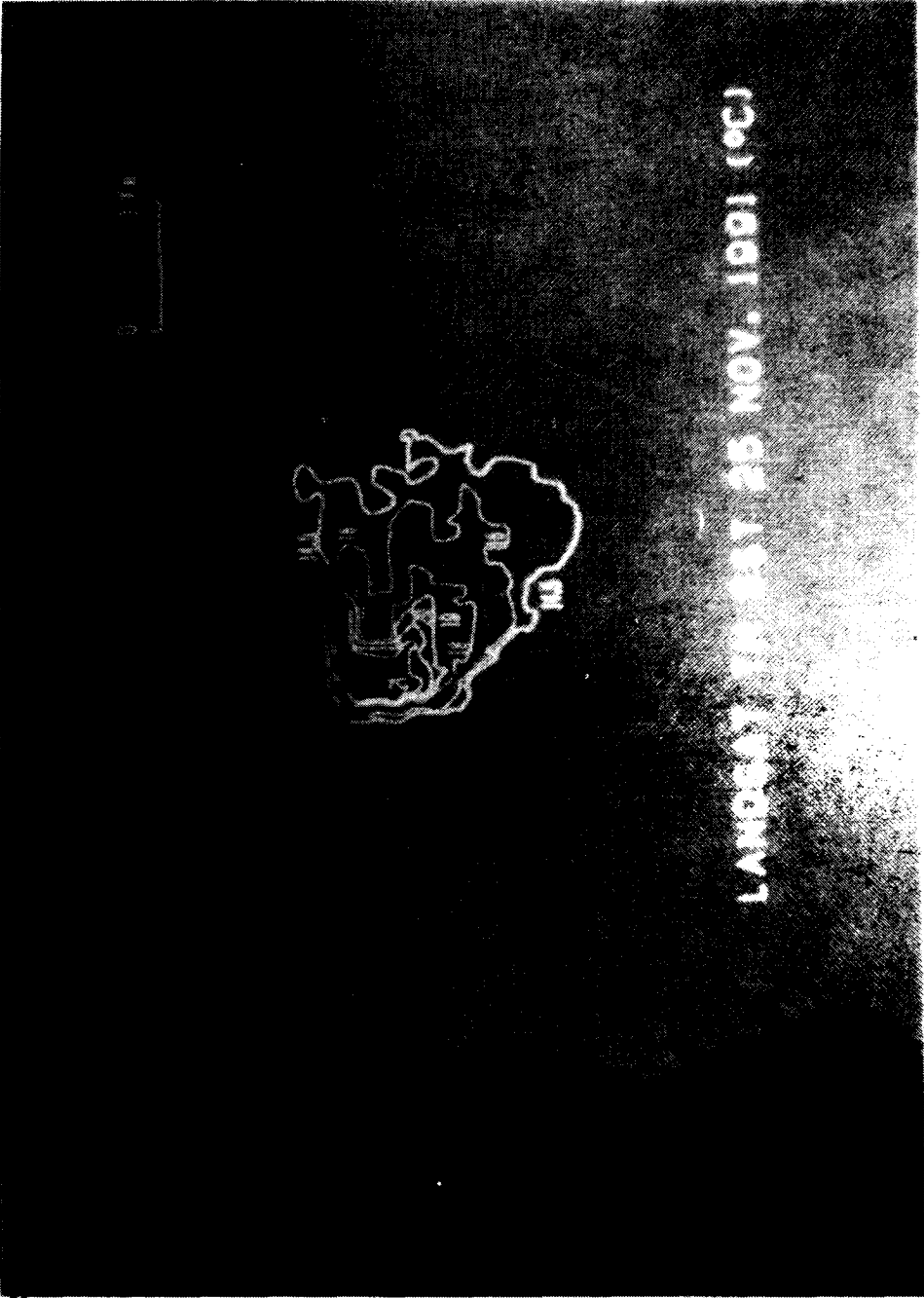


Fig. 3-30. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 25 November 1991.

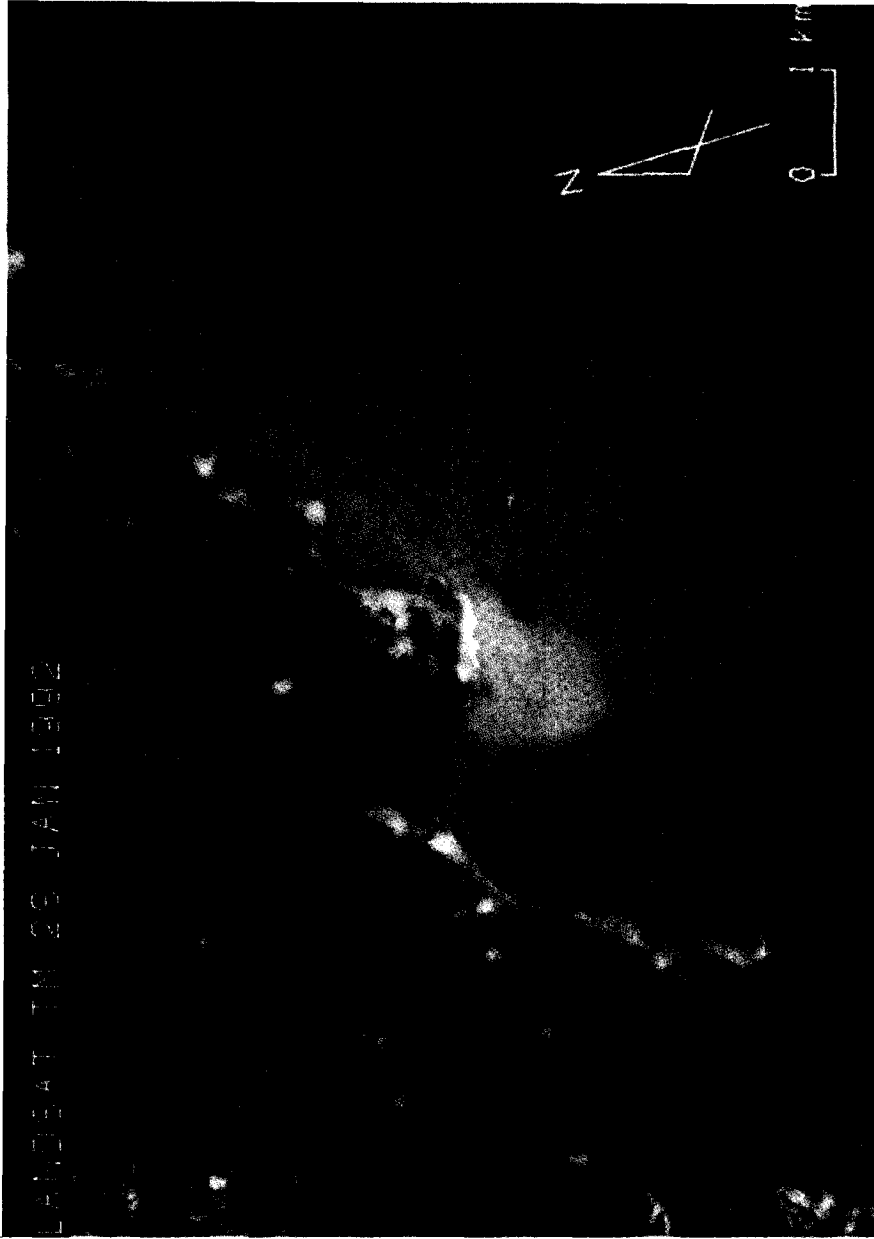


Fig. 3-31. Landsat image of 28 January 1992.



Fig. 3-32. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 28 January 1992.



Fig. 3-33. Landsat image of 17 April 1992.

쪽으로 이동되며 비교적 낮은 수온 부분은 넓게 확산되는 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 3-34는 위성영상자료로 부터 얻어진 온배수의 표층수온 분포도이다. 온배수의 영향을 거의 받지 않은 부분의 수온은 약 12℃이며 $\Delta T = 1.5^\circ\text{C}$ 가 되는 13.5℃ 이상의 수온을 보이는 범위는 발전소 동측취수구로 부터 동북쪽으로 불과 1km 가량까지밖에 미치지 않는 것으로 나타났다.

나. 온배수 확산 범위 종합 분석

1) 온배수의 일반적 분포 형태

조사연구에 사용된 각 영상자료상에 나타난 온배수의 분포 상황을 종합해 볼 때 아래와 같이 크게 3가지 유형의 분포 형태로 나누어 볼 수 있다.

- 배수구로 부터 동남향으로 넓은 반원형 분포
(예 : 1990년 1월 6일 분포)
- 배수구 남쪽 또는 동남쪽으로 좁은 범위로 국한된 분포
(예 : 1991년 11월 25일 분포)
- 동북쪽으로 길게 뻗은 분포
(예 : 1991년 2월 26일 분포)

2) 온배수의 확산 범위

Fig. 3-35는 각 위성영상으로 부터 얻어진 등온도선 중 $T = 1.5$ 에 해당하는 것들 만 종합하여 본 것이다. 1990년 1월 6일 현재 양식장의 분포를 참고적으로 그림에 장방형 적색반점으로 나타내었으며 확산범위와의 상호관계를 알아보는데 용이



Fig. 3-34. Distribution of sea surface temperature based on the measurements on 17 April 1992.



Fig. 3-35. Overlapped iso-therms of " $\Delta T = 1.5^{\circ}\text{C}$ " extracted from each image.

하도록 하였다. 그림에서 볼 때 각 등온도선이 펼쳐져 있는 형태는 원전의 배수구를 중심으로 남서-동북의 방향성을 가지고 있는 것으로 나타났으며 남서쪽으로는 배수구로부터 약 2.5Km, 동북쪽으로 부분이 약 1Km로서 동북쪽으로 확산 할 때 보다 남서쪽으로 확산할 때 더 넓은 확산 폭을 가지는 것으로 나타났다.

제 2 절 해수색상 분석연구

1. 색상도 특성 파악

LANDSAT, SPOT, JERS 등의 위성에 탑재되어 있는 센서는 가시광선 부분으로부터 근적외선대에 이르기까지 넓은 스펙트럼대의 광선을 감지할 수 있어 비록 센서가 감지하는 분광대가 비교적 넓어 정밀하지는 않으나 이들을 이용하여 색도의 특성을 파악함은 위성자료의 여러 분광대의 종합적인 성격을 알아내는데 매우 유리하다

태양광선이 해수로부터 반사되어 위성에 감지된 자료로부터 색상 (Chromaticity) 분석을 통하여 수괴(Water mass)의 수질(Water quality)을 분석하려는 시도가 여러 학자들에 의하여 이루어진 바 있다(Munday and Alföldi, 1979 ; Hardy and Jefferies, 1981).

수괴의 표면 하에서 반사되어 올라오는 Spectrum (Volume Reflectance Spectrum)은 수괴의 구성성분, 유기물질, 무기물질, 부유 또는 용해되어 있는 물질과 관련된 흡수(Absorption) 산란(Scattering)현상의 직접적인 영향을 받으며

이러한 Subsurface irradiance spectrum의 Chromatic property는 위성자료로부터 추출해서 색상특성을 파악하는 한편 현장에서 직접 측정된 subsurface irradiance 와의 대비를 통해 상관관계를 얻었다.

가. 인천 부근해역 수면직하에서의 Upwelling irradiance

위성에서의 탐지기에 들어오는 파장 λ 에서의 광선에너지를 L_λ 라고 할 때, L_λ 은 다음 식과 같은 의미를 가진다.

$$L_\lambda = (E_\lambda/\pi) \cdot Rd_\lambda \cdot \tau_\lambda + L_{s\lambda} \cdot \tau_\lambda + L_{a\lambda}$$

E_λ = 수면에서의 광선 에너지

Rd_λ = back scattering albedo

τ_λ = 공기중의 투과율

$L_{s\lambda}$ = 수면에 의해 돌아오는 광선에너지

$L_{a\lambda}$ = 공기중 분산에 의해 탐지기에 들어오는 광선에너지

따라서 수면 직하의 Upwelling irradiance는 위 식에서 $(E_\lambda/\pi) \cdot Rd_\lambda$ 에 해당된다고 볼 수 있다.

1994년 9월 12일 인천 부근 해역의 정점1에서 정점5까지(Fig. 3-36) LANDSAT 위성통과와 동시에 UW-1800 underwater spectrometer에 의해 측정된 수면직하의 파장별 Upwelling irradiance를 Fig. 3-37부터 Fig. 3-41까지 도시하였다.

그림에서 볼 때 각 정점간의 우세파장 (Dominant wavelength) 차이는 별로 없는 것으로 나타났으며, 일반적으로 550-600nm 파장대에서 peak를 보여주는

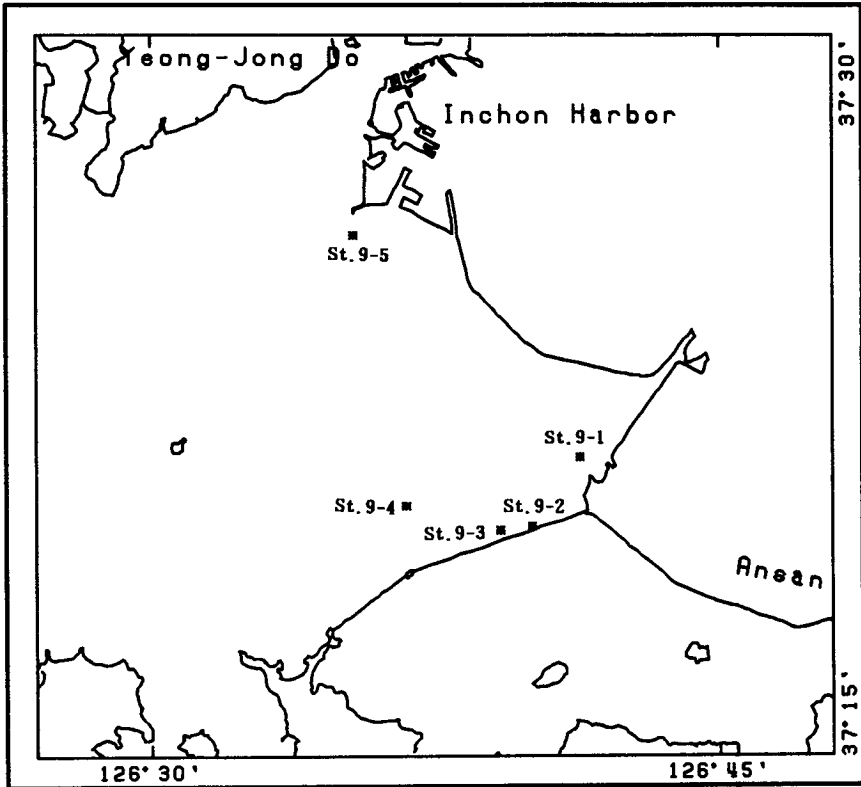


Fig. 3-36. Field measuring stations in Incheon Bay on 12 September 1994.

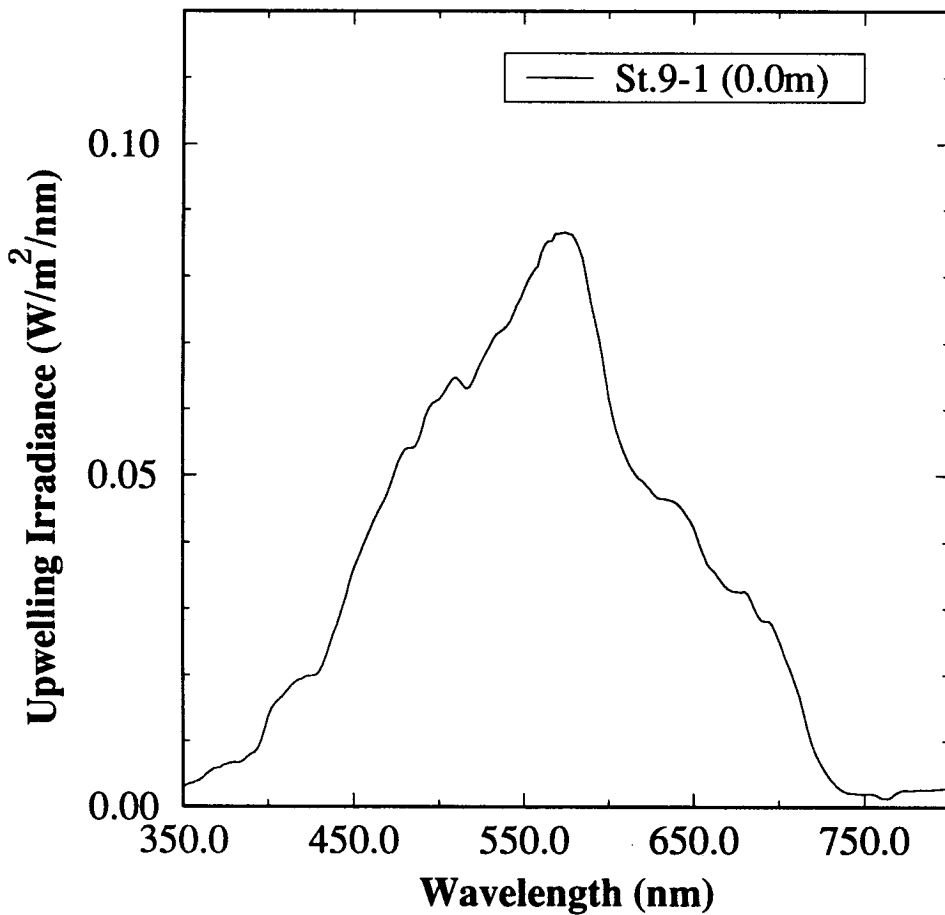


Fig. 3-37. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-1.

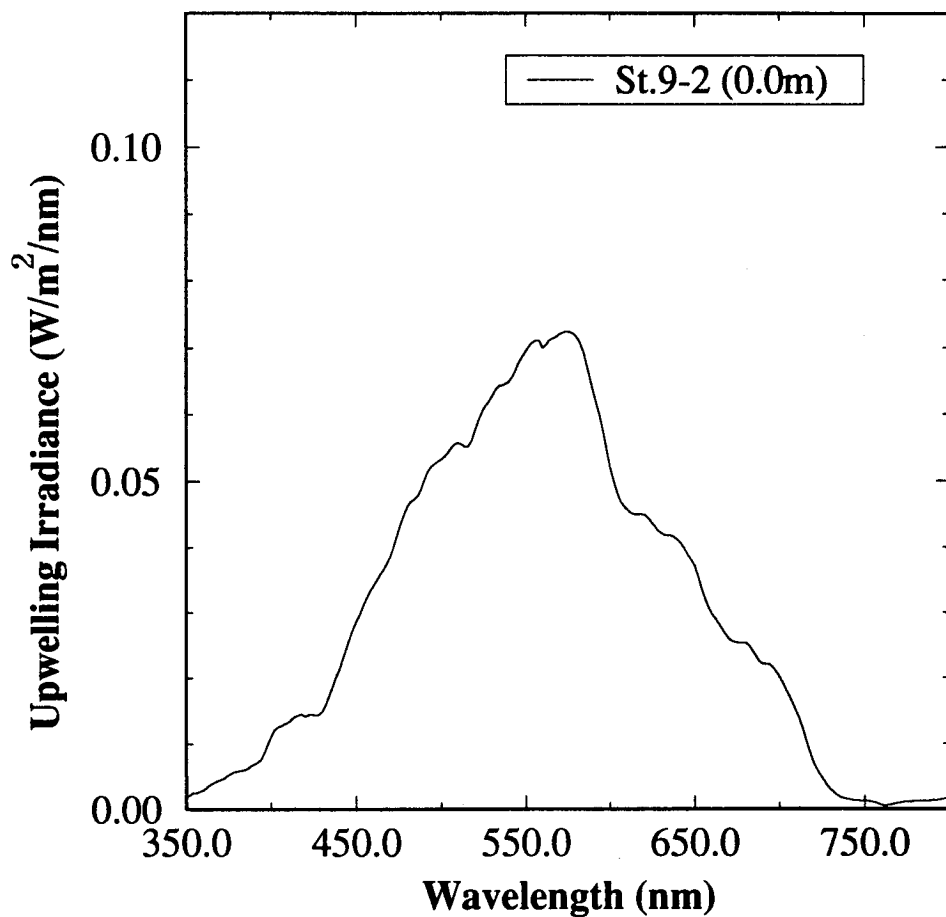


Fig. 3-38. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-2.

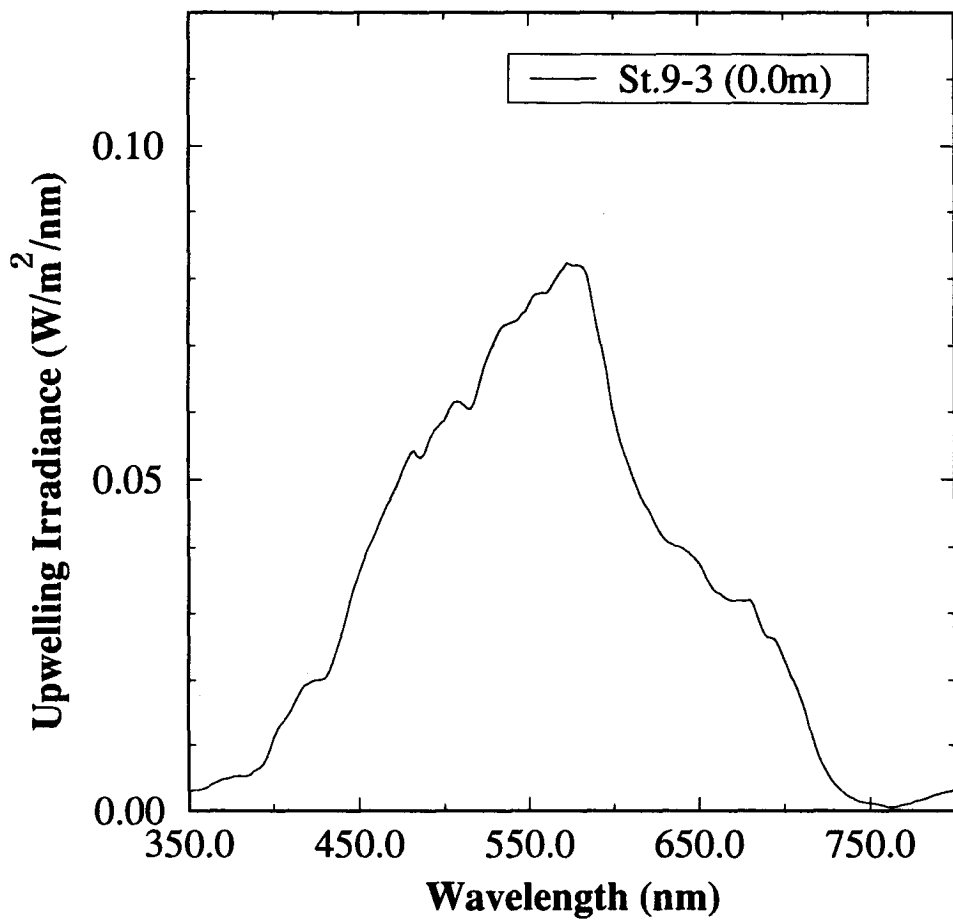


Fig. 3-39. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-3.

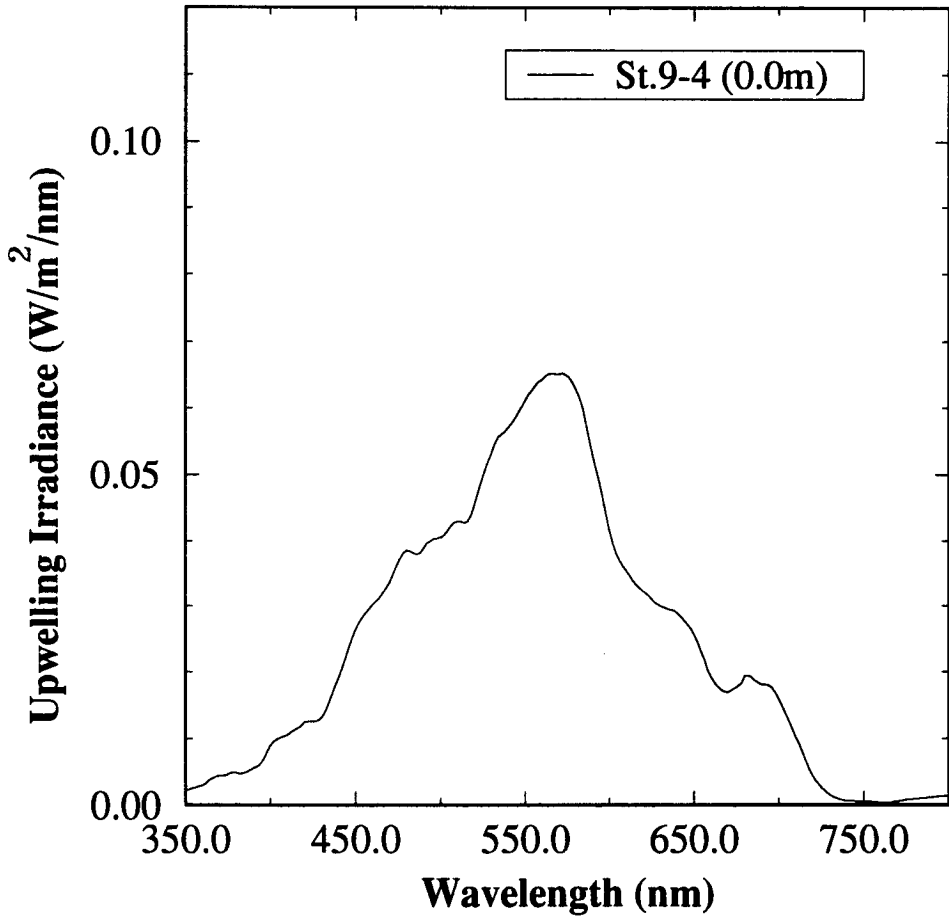


Fig. 3-40. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at station 9-4.

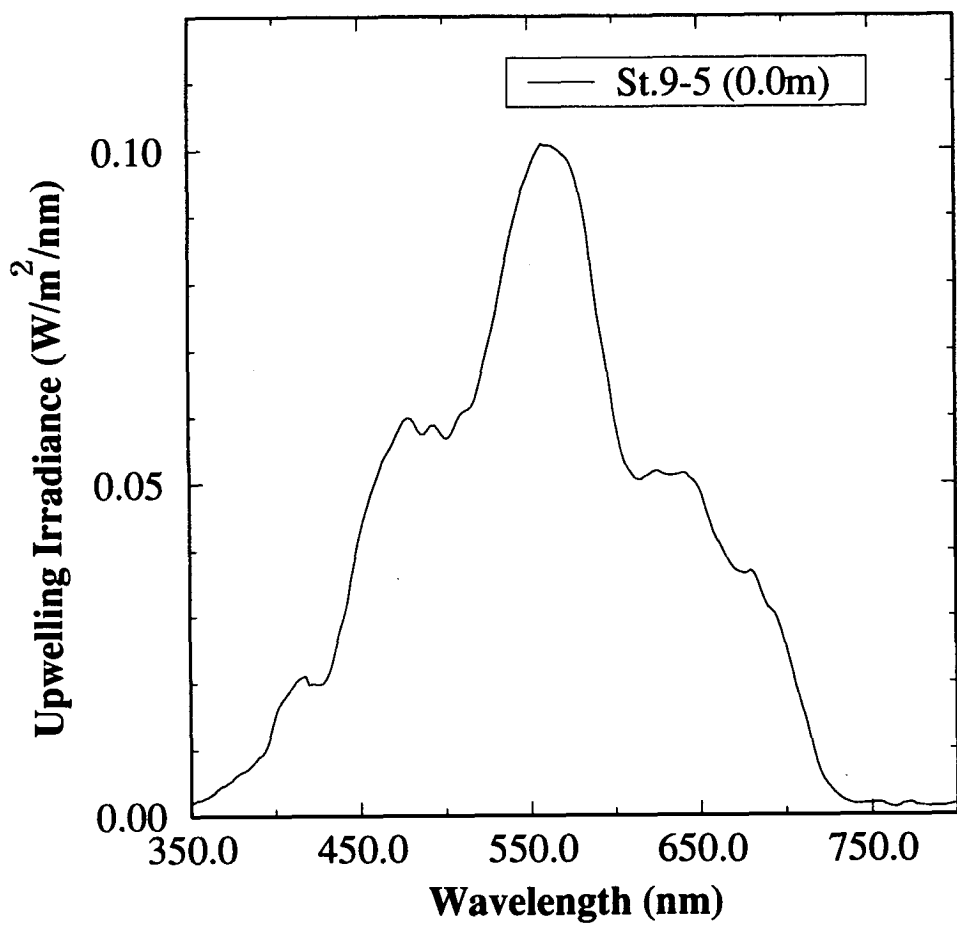


Fig. 3-41. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface at surface at station 9-5.

한편 500nm 부근, 600-650nm, 및 650-700nm 파장대에서 미세한 peak를 보여주고 있다. 그러나 파장별 Intensity는 다소 차이를 보여 조간대 천해부에 가까운 St.9-1 및 St.9-5에서는 높은 Upwelling irradiance를, 수심이 다소 깊어지는 St.9-2 및 St.9-4로 갈수록 낮은 Upwelling irradiance가 측정되었다. 다만 St.9-3의 경우 수심이 다소 깊은 장소에 위치하면서도 비교적 높은 Upwelling irradiance를 보여준다. 이는 이 부분의 탁도가 높음으로 인한 것으로 생각된다.

인천 부근 해역에서 측정된 Spectral Upwelling irradiance의 양상은 진해만에서의 경우 (유등, 1993)와 매우 큰 차이를 보이고 있다. Fig. 3-42은 마산 내만돌섬 부근에서 측정된 Spectral Upwelling irradiance이다. 이를 인천만의 것과 비교해 볼 때 우성 진해만의 경우 700nm 파장 부근에서 매우 높은 peak를 보여주면서 500nm-600nm사이의 peak와 함께 전체적으로 bi-modal한 형태를 보여주는 반면 인천만의 것은 일반적으로 uni-modal한 형태를 보여주고 있다. 두 양상간의 차이가 나는 이유에 대해서는 앞으로 이를 위한 연구가 따로 수행되어야 하겠으나 대략적으로 생각해 볼 때 이는 마산만에 상시적으로 출현하고 있는 적조와 관련이 있을 것으로 여겨진다. 실제적으로 마산만에서의 현장 측정 당시 적조현상이 육안으로 뚜렷이 관찰될 정도로 해수색깔이 붉은 색을 띠었으나 인천만 현장조사 시에는 육안으로는 적조현상이라 할 만한 것이 관찰되지 않았다.

나. Back Scattering Albedo

원칙적으로 해수의 Albedo는 수면으로 downwelling된 에너지에 대한 수면으로부터 upwelling되는 에너지의 비율로서 아래 식과 같이 표시 될수 있다.

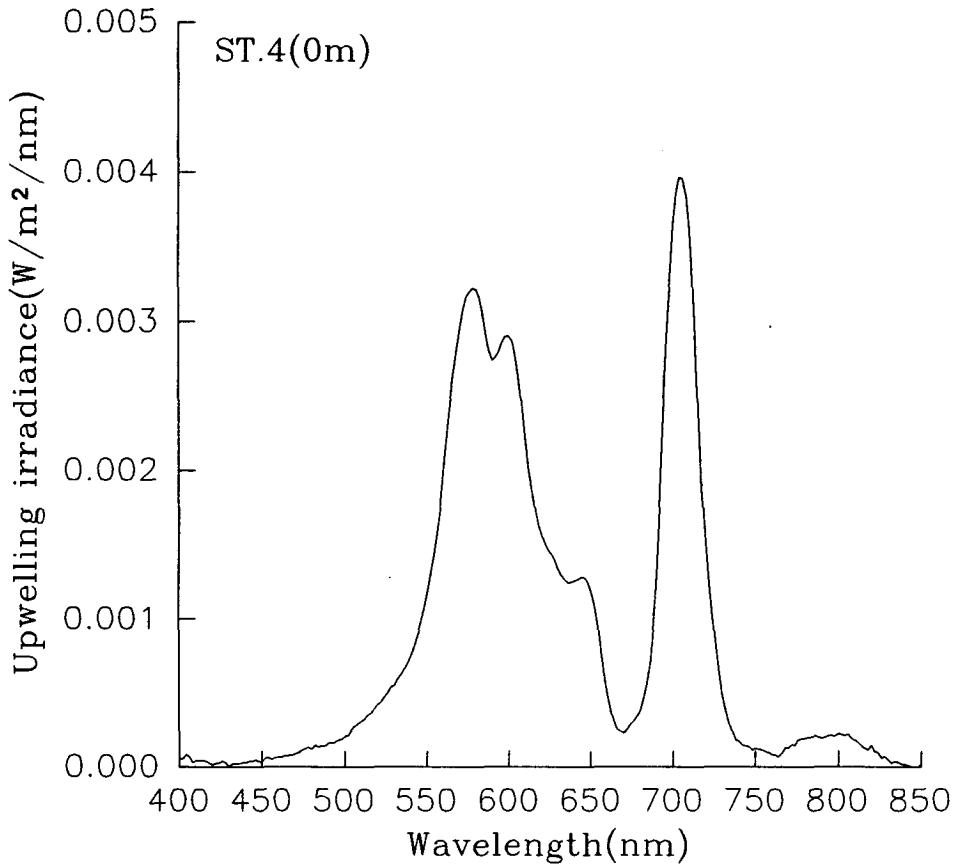


Fig. 3-42. Spectral upwelling irradiance just under the sea-surface near Dotsom Island in Jinhae Bay measured on 18 June 1992

$$Ab = E_{au} / E_{ad}$$

$$Ab = \text{Albedo}$$

$$E_{au} = \text{수면직상의 Upwelling irradiance}$$

$$E_{ad} = \text{수면직상의 Downwelling irradiance}$$

본 연구를 위하여 인천만 및 진해만에서 수면 직상(수면으로부터 30 cm)의 Upwelling irradiance를 측정하였다. 그러나 수면의 파동으로 인한 반사광이 센서에 noise로 작용하여 좋은 결과를 기대하기 어려웠다 (Fig. 3-43). 따라서 비록 이상적이지는 않으나 본 연구에서는 수면직상의 Upwelling irradiance 대신에 수면 직하의 Upwelling irradiance를 사용하여 Back Scattering Albedo를 구하여 보았다. 여기서 수면 직상의 Downwelling irradiance는 조사선의 측면에서는 선체 그림자등 영향을 없애기 위하여 1m 정도의 높이인 조사선 갑판에서 측정하였다(Fig. 3-44).

Fig. 3-45는 인천만 해역에서 1994년 9월 12일에 측정된 자료를 토대로 구하여진 Spectral back scattering albedo를 보여준다. 그림에서 볼 때 각 정점의 Back scattering albedo의 파장별 Graphic pattern은 대체적으로 수면 직하에서의 Upwelling irradiance와 비슷한 것으로 나타났다. 다만 St.9-1의 530nm 부근 및 600 nm 부근에서 이상 peak 현상이 나타나는데 이는 조사선 갑판 상에서 Downwelling irradiance를 측정할 때 생긴 noise로 인한 것으로 보여진다. 각 정점별로 Back scattering albedo의 크기를 비교해 볼 때 다른 정점들에 비해 조간대에 가까운 천해부에 위치한 St.9-1 및 인천남항 부근의 back scattering albedo는 550-570nm 파장 대에서 약 0.75로 가장 높은 peak를 보인 반면 St.9-2 및 St.9-3는 동일 파장 대에서 약 0.6을 보이고 있다. 가장 깊은 곳에 위치한 St.9-4에서의 Back scattering albedo는 570nm 부근의 파

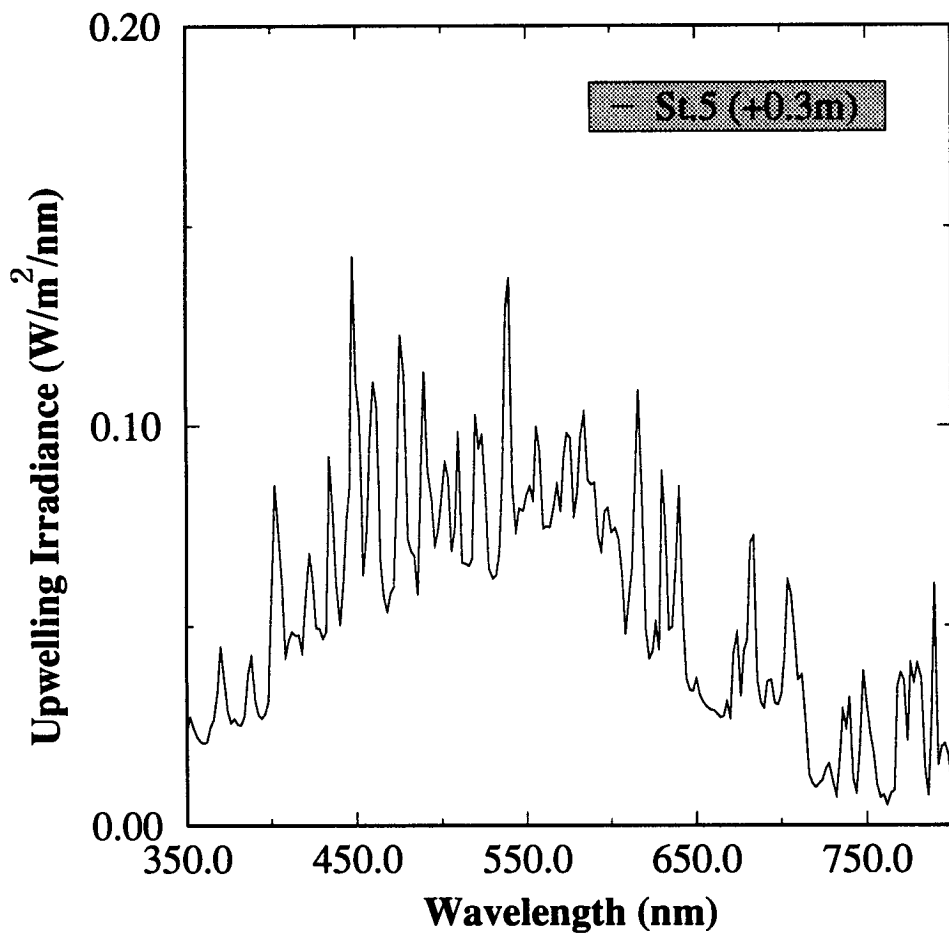


Fig. 3-43. Example of the spectral upwelling irradiance just above the seafloor (30 cm): case of the measurement of 12 September 1994 in Incheon Bay.

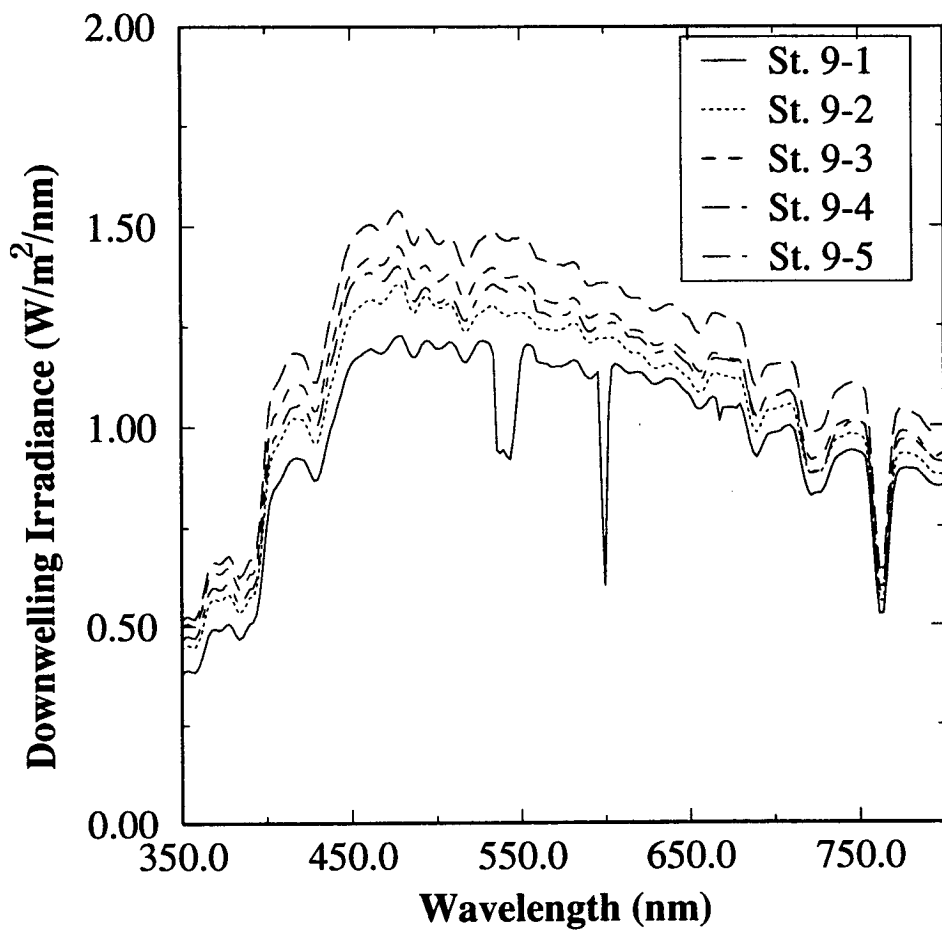


Fig. 3-44. Downwelling irradiances measured on the deck of the survey vessel (about 1.5m above the water surface) in Inchon Bay on 12 September 1994.

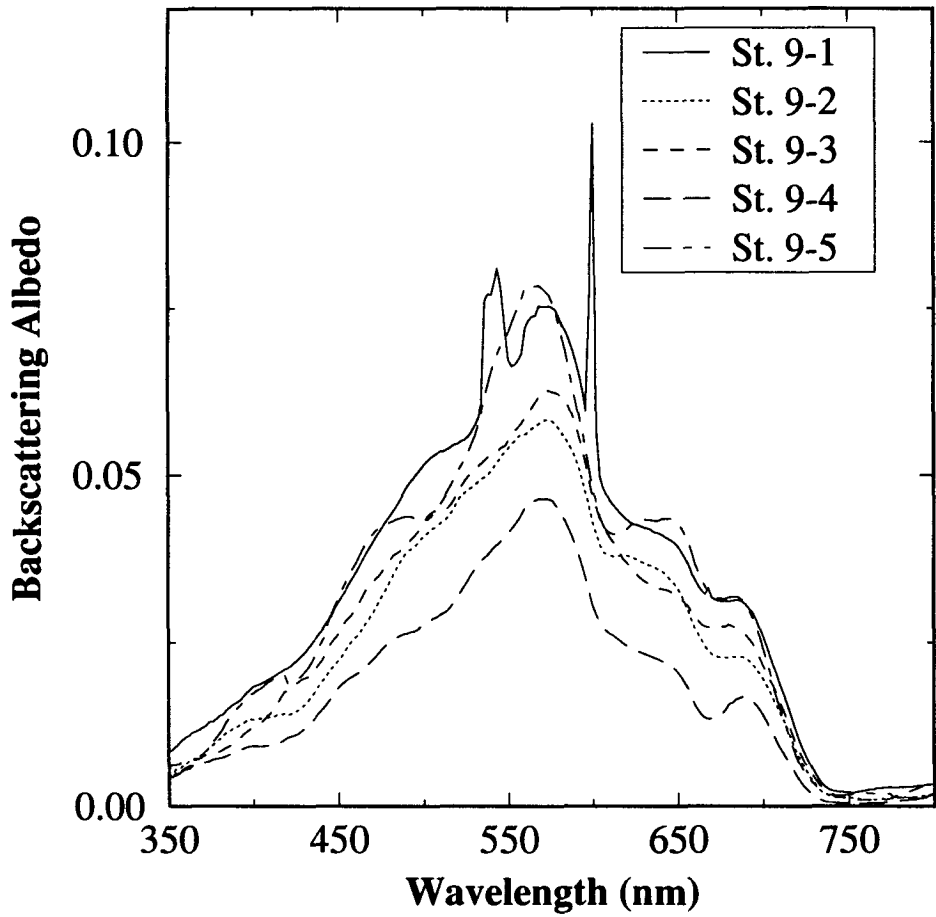


Fig. 3-45. Spectral backscattering albedo measured on 12 September 1994 in Incheon Bay.

장대에서 0.4 가량의 peak를 보여주고 있어 일반적으로 부유퇴적물 양이 많은 천해부로 부터 바깥쪽으로 갈수록 Back scattering albedo가 감소함을 보여주고 있다.

다. 색상의 정량화

한편 구름인하여 비록 동시에 관측된 위상자료는 없으나 1994년 6월 24일 인천만에서 측정(Fig. 3-46)한 upwelling 및 downwelling(Fig. 3-47)자료를 토대로 하여 Back scattering albedo를 추출해 보았다(Fig. 3-48). 9월 12일의 경우와 마찬가지로 대부분 수면 직하에서의 Upwelling irradiance와 유사한 양상을 보여주고 있다. 이 경우 세개의 정점이 서로 근접해 있는 관계로 각 정점간의 차이가 크게 나타나지 않으나 조간대 천해부쪽에 위치한 St.6-3이 가장 높은 Back scattering albedo를 나타냈으며 상대적으로 수심이 깊은 수로 내에 위치한 St.6-2에서의 값이 일반적으로 가장 낮은 값을 보여준다. 수로에서 시화방조제 쪽으로 약간 벗어난 위치에 있는 St.6-2에서의 값은 570nm 이상의 파장 대에서는 St.6-3보다 높은 값을, 그 이하의 파장 대에서는 St.6-3보다 낮은 값을 보여주는 것이 특징적이다.

1994년 6월 24일과 9월 12일의 Back scattering albedo를 서로 비교해 볼 때 전체적인 graphic pattern은 유사한 것으로 나타나나 6월 24일의 경우가 일반적으로 더 높은 값을 보여주고 있다. 이는 대조기의 간조후기에 해당하는 6월 24일의 경우가 소조기의 만조 부근에 해당하는 9월 12일의 경우(Fig. 3-49)에 비해 수심이 얇은 동시에 조류에 의한 재부유에 따른 탁도의 증가로 인하여 것으로 사료된다.

한편 인천만과 진해만의 Back scattering albedo (Fig. 3-45 및 Fig. 3-48

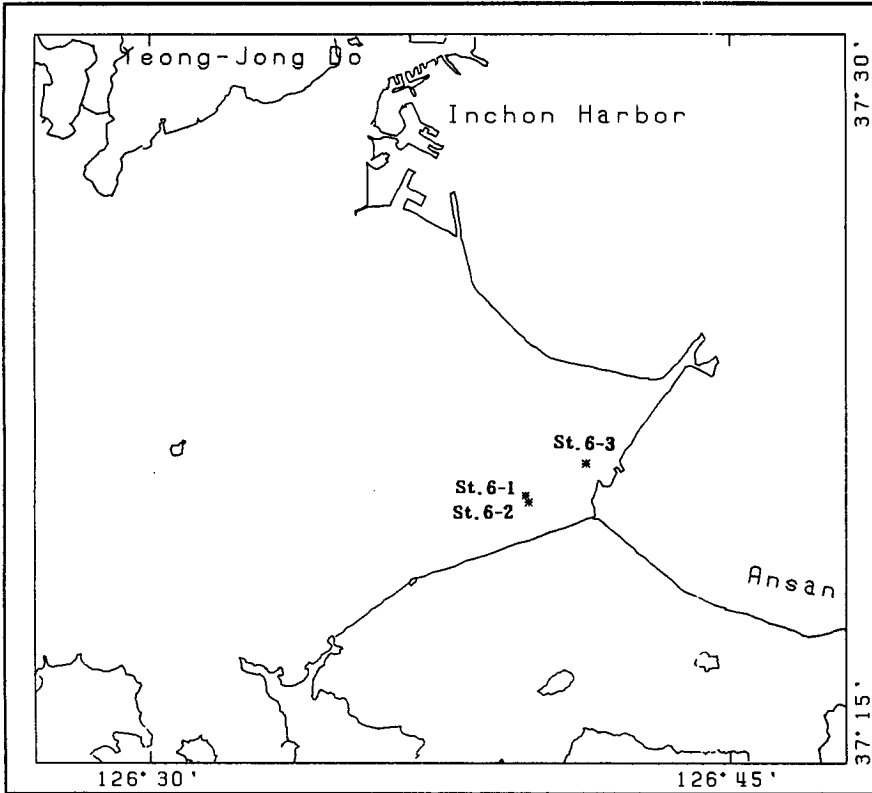


Fig. 3-46. Field measuring stations in Incheon Bay on 24 June 1994.

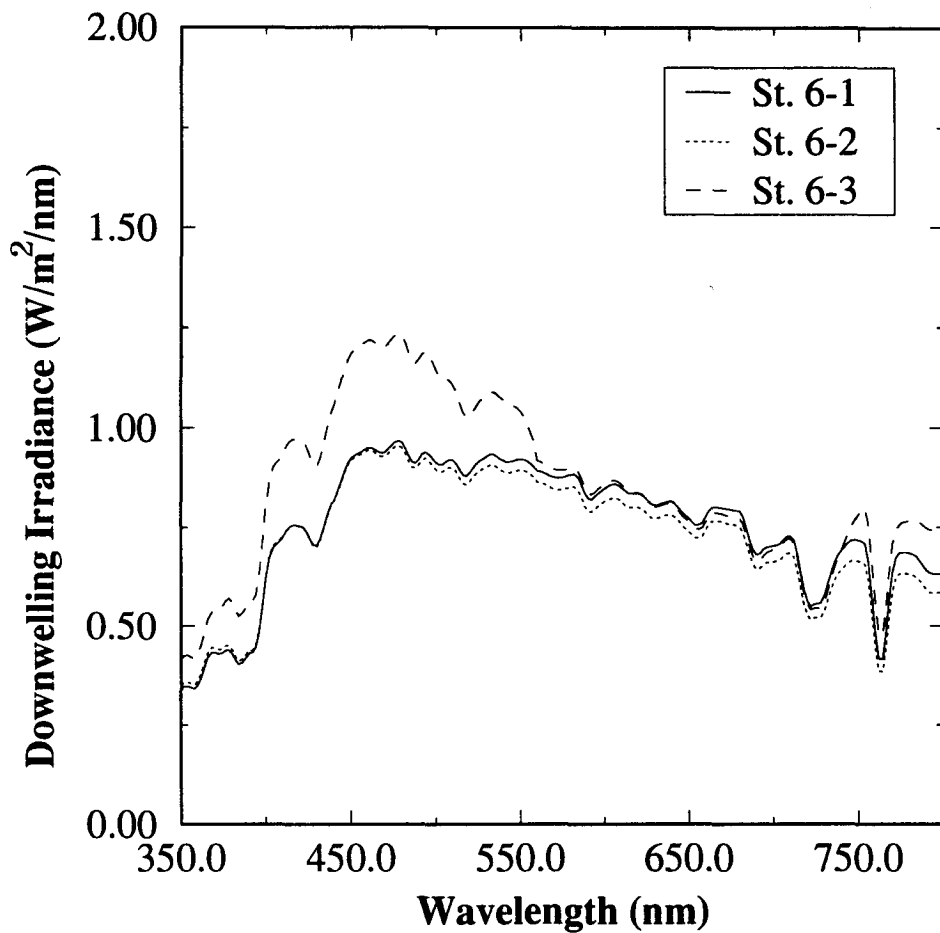


Fig. 3-47. Downwelling irradiances measured on the deck of the survey vessel (about 1.5m above the water surface) in Inchon Bay on 24 June 1994.

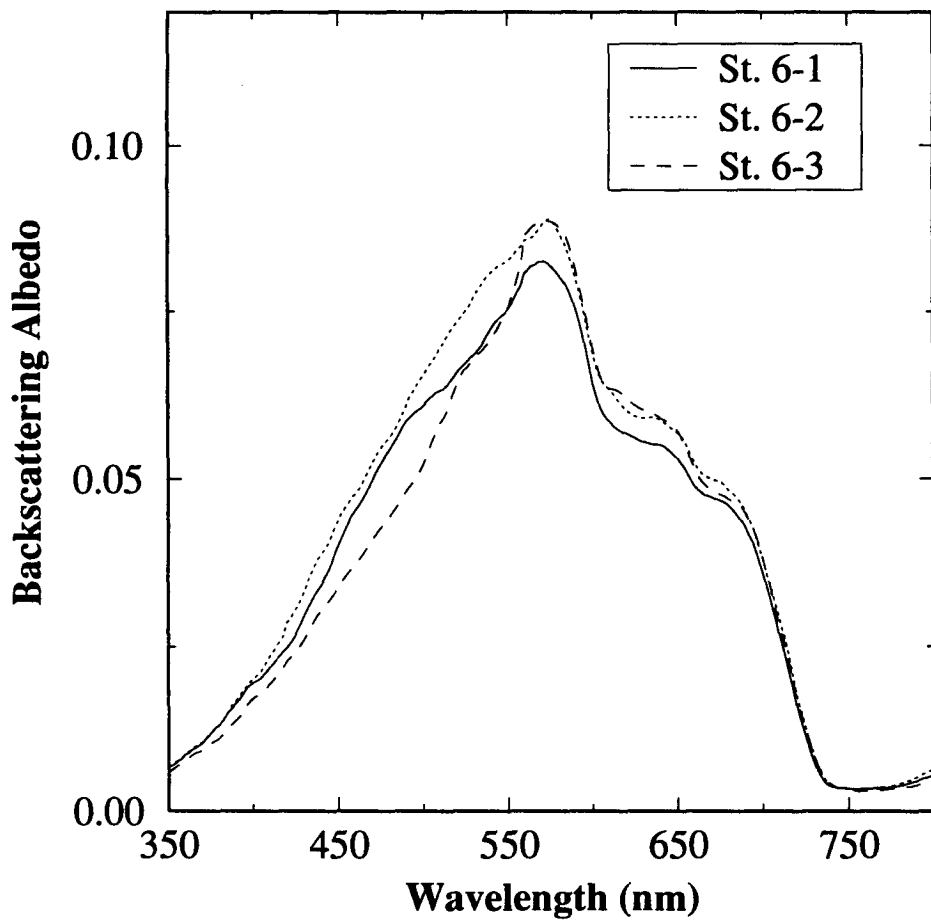


Fig. 3-48. Spectral backscattering albedo measured on 24 June 1994 in Inchon Bay.

Tide (Inchon)

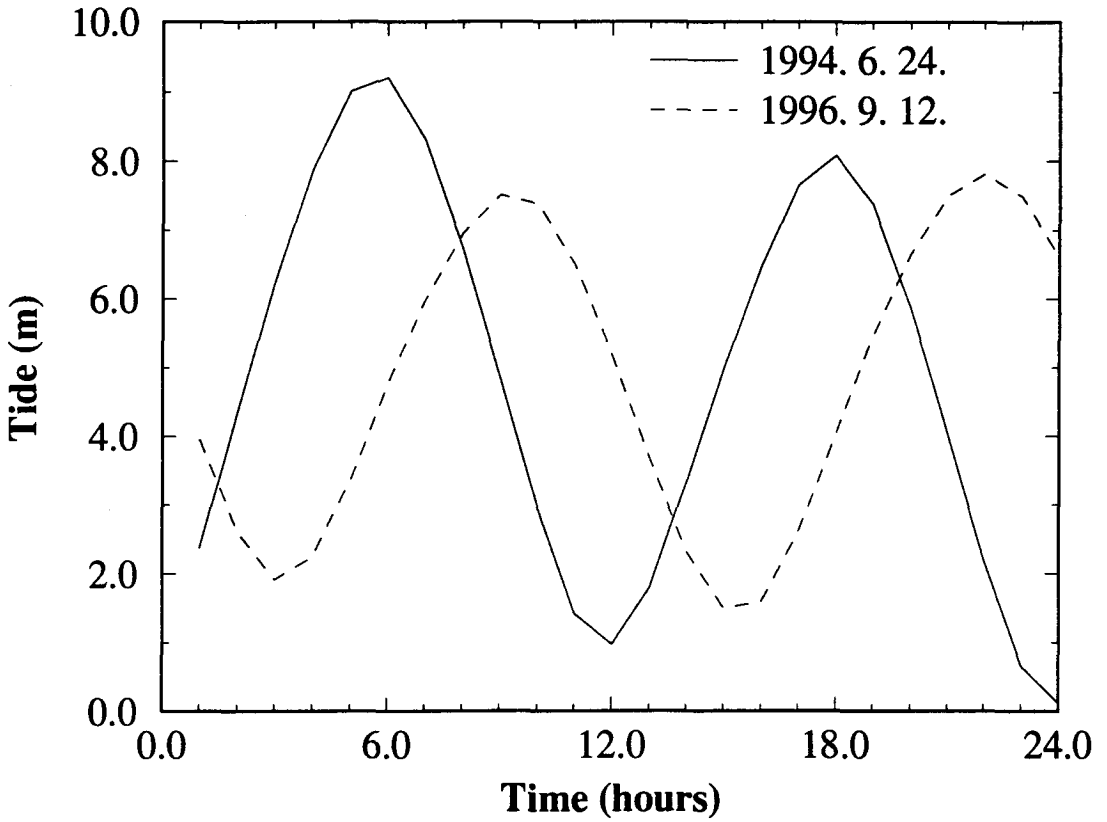


Fig. 3-49. Tides in Inchon Bay on 24 June and on 12 September 1994.

참조)를 서로 비교해 볼 때 그 형태에 있어서 매우 큰 차이가 있음을 보여준다. 인천만의 경우 일반적으로 Uni-modal한 Graphic pattern을 보여주는 반면 진해만의 경우 Upwelling irradiance와 마찬가지로 bi-modal 형태를 보여준다. 이로 미루어 볼 때 위성자료로부터 해수표면의 색상도를 분석하기 위해서는 대상지역에 따라 지역적인 특성에 부합하는 모델을 구축함이 바람직할 것으로 생각된다.

2. Chromaticity 분석

가시광선을 대표하는 3개의 분광대 자료로부터 색상을 정량화 하기 위해서 우선 LANDSAT TM의 각 spectral band에 해당하는 각 분광대의 Chromaticity coefficient를 구하였으며, 이를 Chromaticity Chart 상에 표정(Plotting) 함으로서 그 위성(location)를 객관화하였다.

3개 분광대는 국제적으로 공인된 표준 (C.I.E., 1957)에 맞도록 설정함이 바람직하나 본 연구에서는 연구목적에 맞도록 LANDSAT TM band-1 ($\lambda = 0.45-52$), band-2 ($\lambda = 0.52-60$) 및 band-3 ($\lambda = 0.63-69$)에 맞는 분광대를 사용하였다.

위성에 의해서 얻어진 자료는 대기의 영향에 의하여 잡음(Noise)이 포함되어 있으므로 영상자료로부터 각 자료에 대한 Noise를 제거하고 부유물질에 대한 정보와 기타 해양학적 요소에 대한 정보를 파악하기 위하여 Band Ratio Method 나 Chromaticity Analysis와 같은 여러 방법을 이용하는데 본 연구에서는 Total radiance normalization (Chromaticity Analysis)과 같은 Preprocessing transform을 통하여 Noise 를 다소 제거하였다.

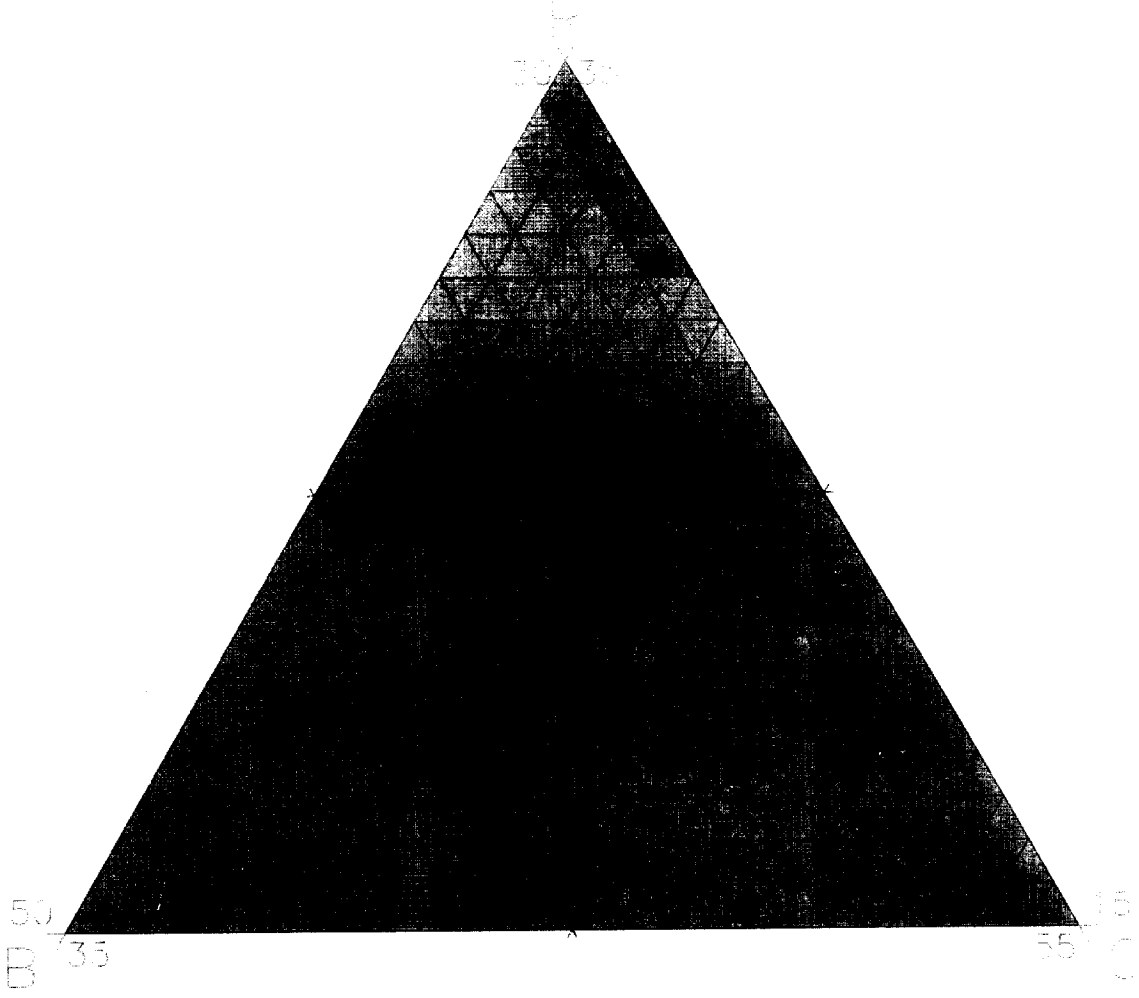


Fig. 3-50. Trigonal diagram showing the color component distribution of the field data of 12 September 1994.

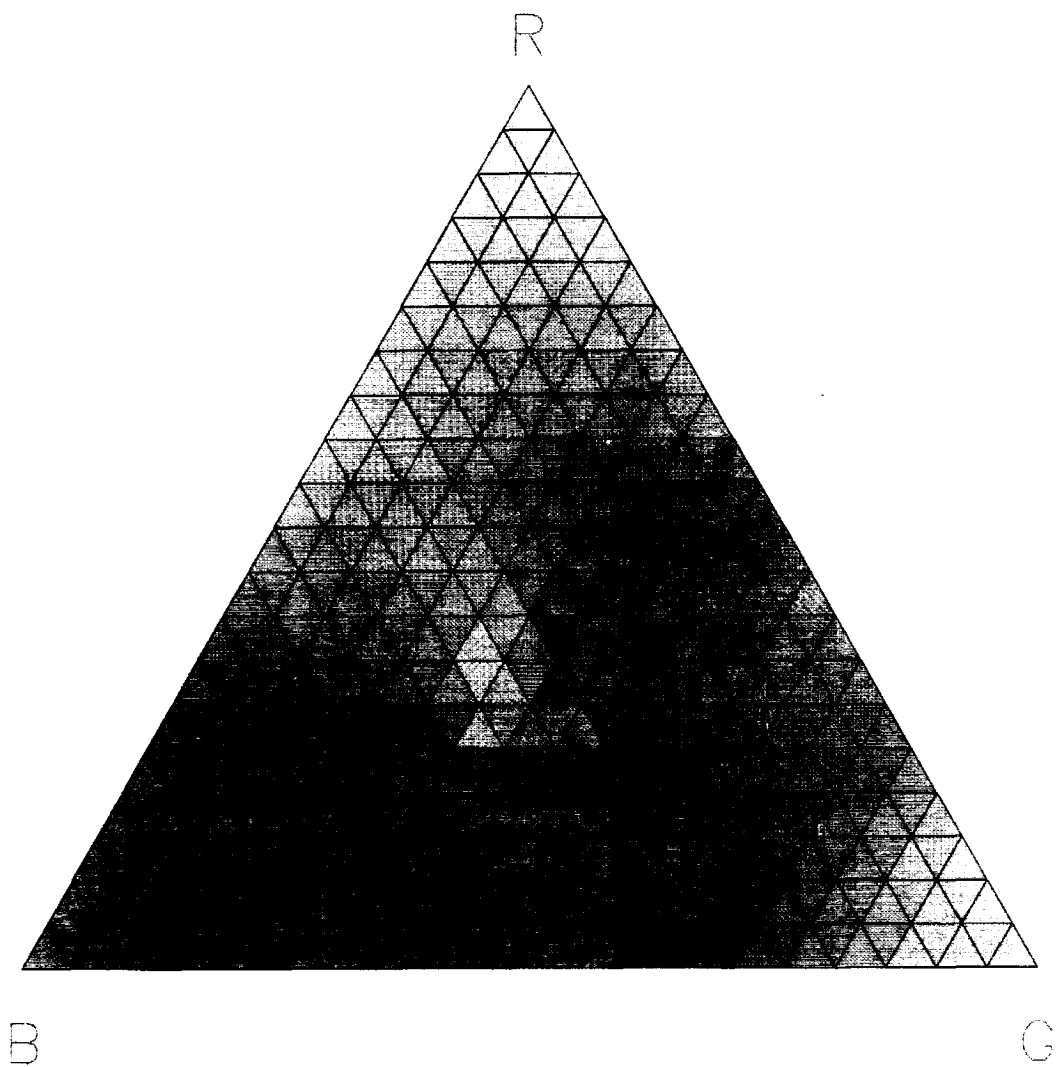


Fig. 3-51. Enlarged part of the trigonal diagram of the Fig.3-50.

Chromaticity Analysis는 아래와 같은 식에 의하여 시도되었다.

$$\chi_i = N_i / \sum N_i$$

i = Spectral band number

χ_i = Chromaticity Coefficient

N_i = Spectral band radiance

Fig. 3-50은 1994년 9월 12일 Landsat-5호 위성의 통과와 동시에 인천만 해역에서 측정된 해수 표면직하의 Upwelling irradiance로 부터 Landsat TM의 Spectral band-1, band-2 및 band-3에 해당하는 파장대에서 얻은 값을 각각 평균하여 삼각 chromaticity chart에 표정시킨 것이다. 여기서 B,G,R은 Landsat TM band-1, band-2 및 band-3를 각각 지칭한다. Fig. 3-51은 Fig. 3-50에서

band-1 (B): 30 - 50 %

band-2 (G): 35 - 55 %

band-3 (R): 15 - 35 %

범위 되는 부분을 따로 확대하여 표정한 것이다. 그림에서 볼 때 대부분의 정점 측정치가

band-1 (B): 30 - 33 %

band-2 (G): 40 - 42 %

band-3 (R): 23 - 25 %

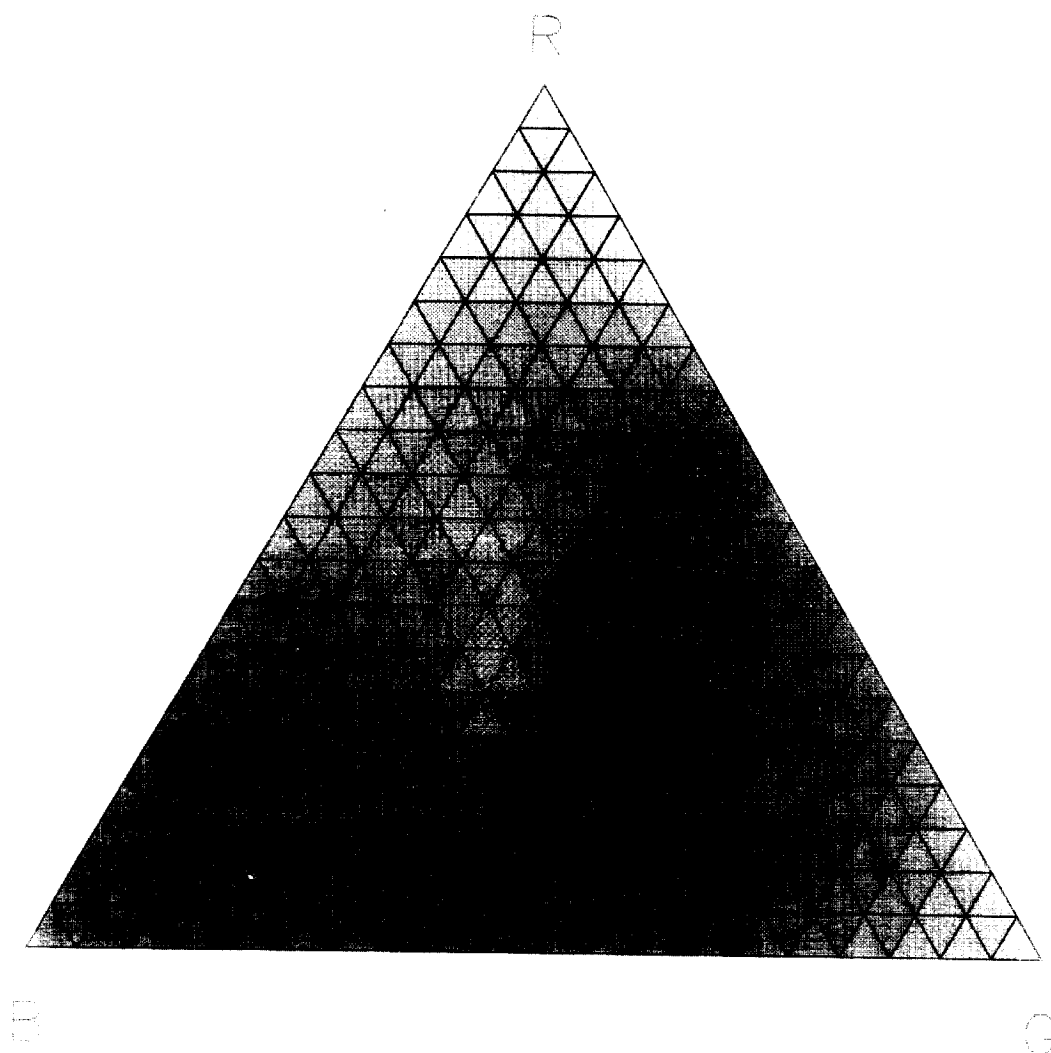


Fig. 3-52. Trigonal diagram showing the color component distribution of the image data of 12 September 1994.

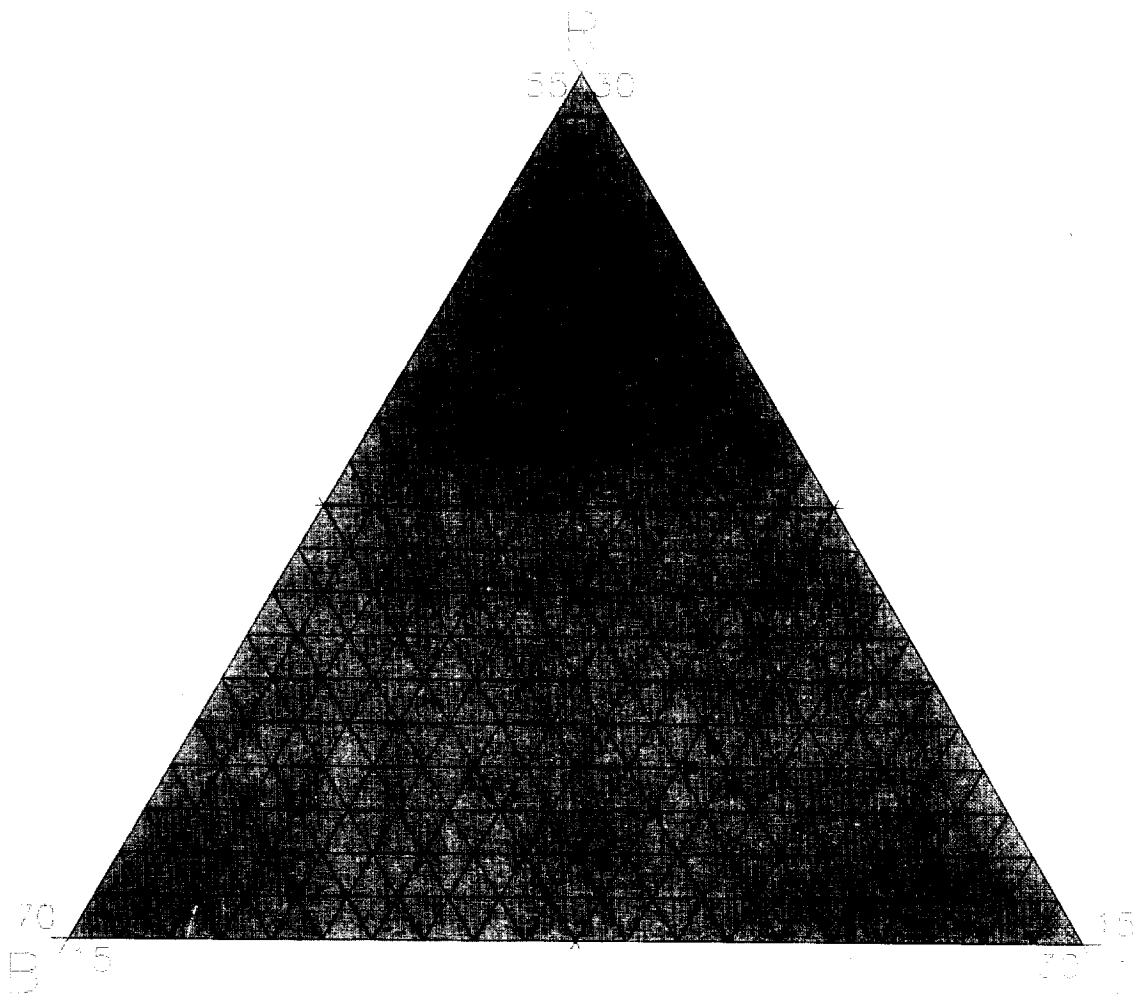


Fig. 3-53. Enlarged part of the trigonal diagram of the Fig.3-52.

범위에 분포되어 있는 것으로 나타났다. 다만 St.9-5는 다른 정점들 보다 G 쪽으로 치우쳐 있는데 이 정점은 인천 남향쪽에 위치하여 다른 정점들과 관측 시각이 차이가 있으므로 인한 것으로 여겨진다.

Fig. 3-52은 1994년 9월 12일 오전 10시33분에 획득된 Landsat TM 자료에서 현장측정 각 정점부분을 resampling하여 band-1, band-2, 및 band-3 값을 chromaticity coefficient를 구한 후 Amos and Alföldi(1979)의 삼각 chromaticity triangle에 표정한 것이다. 이때 resampling은 현장측정에 소요되는 시간중 조사선에 다소 표류한다는 점을 고려하여 정점에 해당하는 pixel을 중심으로 3X3개의 pixel값을 평균하여 사용하였다. Fig. 3-53은 Fig. 3-52에서

band-1 (B): 55 - 70 %
 band-2 (G): 15 - 30 %
 band-3 (R): 15 - 30 %

범위 되는 부분을 따로 확대하여 표정한 것이다. 그림에서 볼 때 모든 점에서의 수치가

band-1 (B): 58 - 63 %
 band-2 (G): 22 - 28 %
 band-3 (R): 16 - 19 %

범위에 분포되는 것으로 나타났다.

현장관측에 의한 chromaticity (Fig. 3-50 참조)와 위성자료에 의한

chromaticity (Fig. 3-52 참조)를 서로 비교해 볼 때 현장자료 중 군집에서 벗어난 St.9-5 자료를 제외하고는 두경우 모두 위치는 서로 차이가 나지만 대개 B-G 선을 따라 약간 기울어진 형태를 보이며 분포하는 것으로 나타났다. 두 경우간의 위치가 차이는 것은 위성에서 관측할 경우 현장에서 관측할 경우와 달리 공기 중에서의 감쇠현상이 추가됨으로 인한 것으로 보이며, 분포형태에 있어서 다소 차이가 나는 것 같은 이유와 함께 현장자료는 정점간의 관측시간이 약간씩 달라지는데 기인하는 것으로 생각된다.

3. 대비에 의한 해수 색상 정량화

위성자료로 부터 얻어진 자료로부터 해수의 특성과 관계되는 요소의 값을 얻기 위해서는 여러 가지 방법이 보고된 바 있다.

(Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer (1979), Amos, C.L. and T.T. Alfoldi (1979), Bukata, R.P., J.E. Bruton and J.H. Jerome (1983), Lindell, T., B. Karlsson, M. Rodsengren and T. Alfoldi (1986), Gillespie, A.R., A.B. Kahel and R.E. Walker (1987))

본 연구에서는 우선 Amos and Alfoldi (1979)의 방법에 의해 1994년 9월 12일 인천만에서 얻어진 현장 자료 및 위성자료에 대해 삼각 Chromaticity diagram에 대한 Regression fit를 행하여 상관관계를 구하여 보았다. 이때 분포형태를 고려하여 1차식에 맞추었다.

Fig. 3-54, Fig. 3-55 및 Fig. 3-56는 LANDSAT TM band-1, band-2, 및 band-3와 이에 대응하는 현장자료와의 상관관계를 각각 보여주고 있으며 얻어진 각 band별 상관관계식은 다음과 같다.

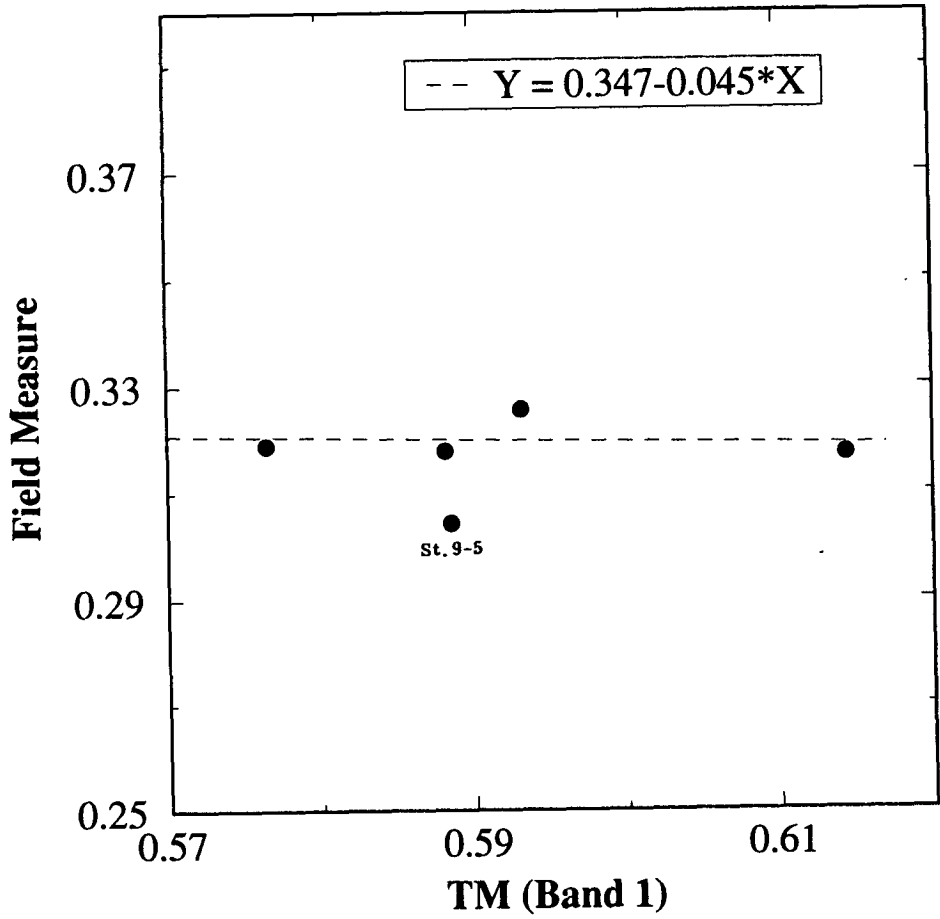


Fig. 3-54. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 1).

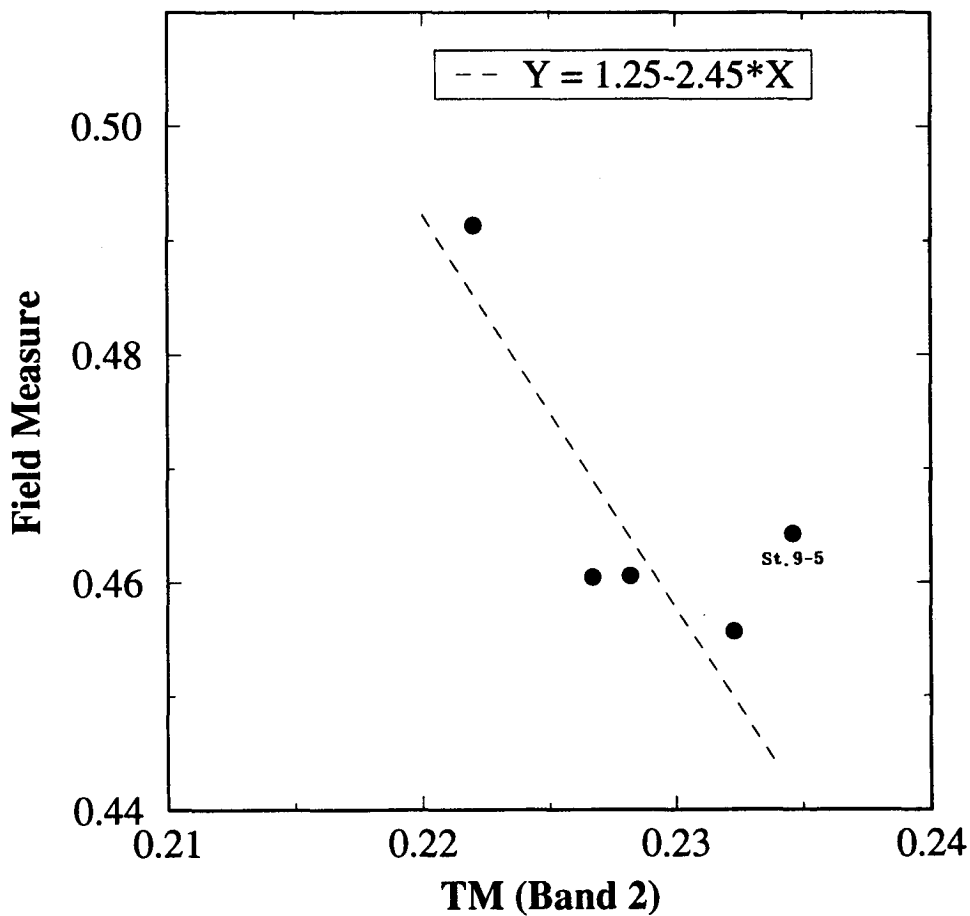


Fig. 3-55. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 2).

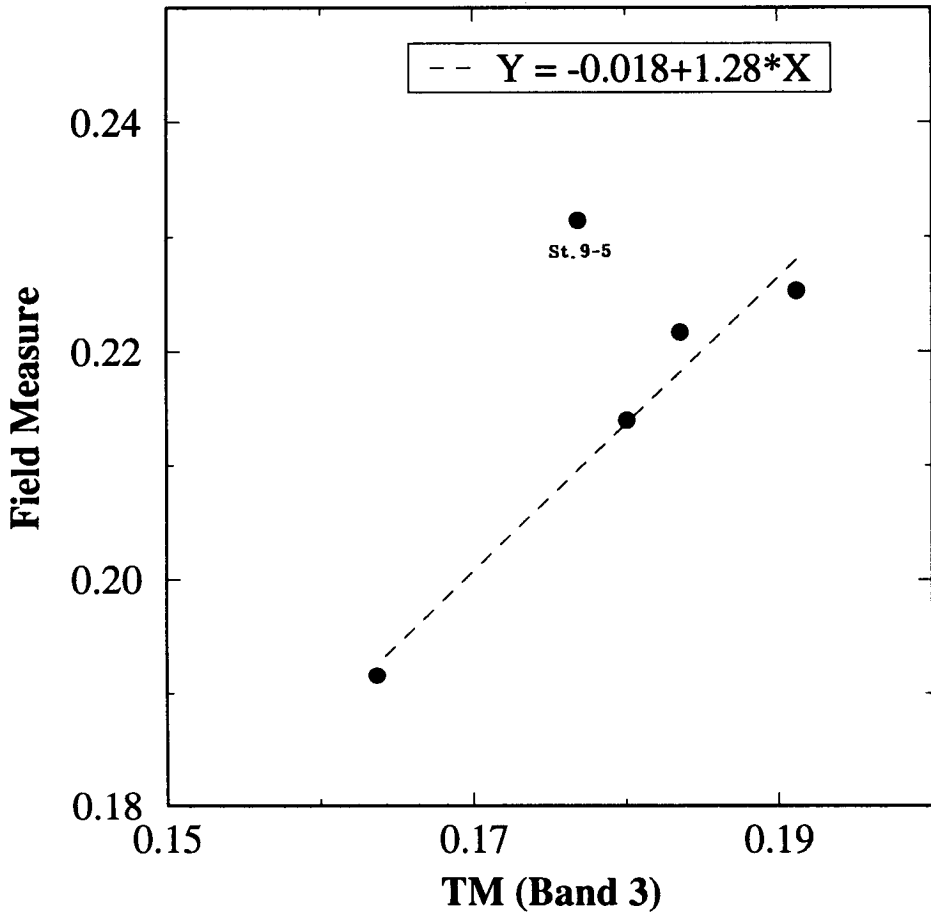


Fig. 3-56. Relationship between spectral color components of image data and field data (band 3).

$$[I_1] = 0.347 - 0.045 [C_1]$$

$$[I_2] = 1.250 + 2.450 [C_2]$$

$$[I_3] = - 0.018 + 1.280 [C_3]$$

I_i = 현장측정자료 spectral band i 번째에서의
색상분광

C_i = 위성자료 spectral band i 번째에서의
색상분광

상관관계를 구하는 과정 중 현장 관측시간의 차이가 많이 나는 St.9-5는 군집범위에서 다소 벗어나므로 계산에서 제외시켰다. 각 band의 상관관계에 대한 상관계수는 band-1, band-2 및 band-3의 순서대로 각 0.185, 0.89, 및 0.98로서 band-1의 경우를 제외하고는 비교적 양호한 것으로 나타났다. band-1에서의 상관계수가 낮은 이유는 현재로서는 정확히 알 수 없으나 청색계통을 짧은 파장대에서 수증과 공기 중에서 산란이 많이 일어나는 것과 관계 있는 것으로 보인다.

인천만에서의 현장측정 Chromaticity와 위성자료로 얻은 Chromaticity의 상관관계식은 진해만의 경우(유외, 1993)와 상당한 차이가 있는 것으로 나타났는데 이는 우선 인천만과 진해만의 해수특성의 차이와 특히 유외(1993)에서 산출한 상관관계식은 위성자료 획득시와 다른 날 측정된 현장자료와의 사이에서 산출된 결과이기 때문인 것으로 풀이된다. 한편 현장측정자료와 위성자료와의 삼각 diagram상의 위치 차이는 주로 측정당시의 공기중의 광선 투과율 및 센서의 감응의 조정상태에 따라 그 정도가 다르게 나타난다 (Yoo, 1982). 따라서 향후 더욱 많은 현장 검증자료 확보를 통해 각 지역별, 해수특성별 모델의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 다만 같은 해역을 비슷한 시기에 통과한 두개의 위성자료는 통과시각에 먼지가 없는 쾌청한 날씨 하에서 확보된 것이라

는 전제하에 서로 유사한 chromaticity 분포를 보일 것으로 생각된다. 실제적으로 1994년 9월 12일 의 경우 (Fig. 3-52 참조)보다 2년전의 유사한 계절 및 기상상태 하에서 촬영된 1992년 9월 22일의 LANDSAT TM 영상자료로 부터 얻어진 chromaticity 특성 (Fig. 3-57)을 비교해 볼 때 삼각 diagram상의 위치나 분포형태가 거의 동일함을 알 수 있다. 따라서 이러한 경우 1994년 9월 12일의 정량화 결과를 1992년 9월 22일 영상에 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 다만 사전에 영상자료와 영상자료와의 상관관계등 좀더 자세한 분석이 선행되어야 할 것이다.

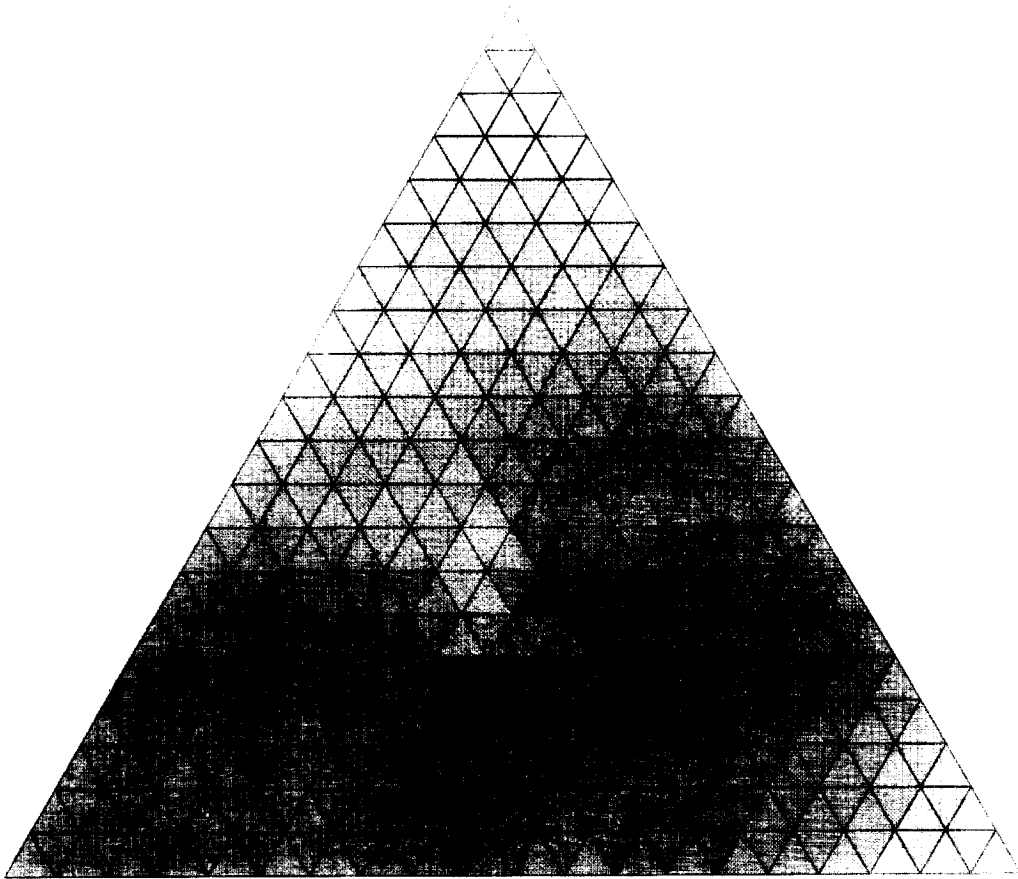


Fig. 3-57. Trigonal diagram showing the color component distribution of the image data of 22 September 1992.

제 3 절 해수탁도에 대한 위성자료 정량화

1994년 9월 12일의 현장측정시 해수의 upwelling irradiance 측정과 함께 해수를 채취하여 해수중의 부유물질 양을 측정한 후 위성자료와의 대비를 통해 상관관계를 추출하였다. 원래 현장측정에는 transmissometer를 사용하여 조사선이 항해하는 동안 연속적으로 탁도를 측정하였으나 Data logger의 작동에 문제가 발생하여 좋은 자료를 얻지 못하였기 때문에 많은 자료간의 대비를 통한 정량화는 여의치 못하였고 filtering에 의해 측정된 탁도자료가 사용되었다. 따라서 해수의 광학적 특성측정과 어울려 얻어진 현장 측정치는 숫자적 제한성을 가진다.

Fig. 3-58은 현장에서 측정한 부유물질의 농도(mg/l)와 부유물질에 민감한 LANDSAT TM band-2와의 상관관계를 나타내고 있다. LANDSAT 위성의 통과 시간이 매우 짧기 때문에 비록 통과 전후 20여분 사이에 많은 측정을 하지는 못하여 상관계수가 그리 좋지는 못한 결과를 얻었으나 차후 transmissometer를 이용한 연속측정이 가능할 경우 매 수초마다의 자료가 획득될 것이므로 보다 정밀한 상관관계를 추출해 낼 수 있을 것으로 사료된다.

얻어진 상관관계식은 다음과 같다.

$$[S] = -44.77 + 2.24x[B2]$$

[S]: Suspended sediment content

[B2]: Digital number of TM band-2

위성자료와 부유물질 측정자료 간의 관계와 아울러 참고적으로 위성자료와 Upwelling irradiance간의 관계(Fig. 3-59)를, Upwelling irradiance자료와 부유물질 측정자료 간의 상관관계 (Fig. 3-60)을 구하여 보았다. 이때 upwelling irradiance의 값은 측정 주파수 대역 중 TM band-2에 해당하는 부분의 irradiance를 평균하여 사용하였다.

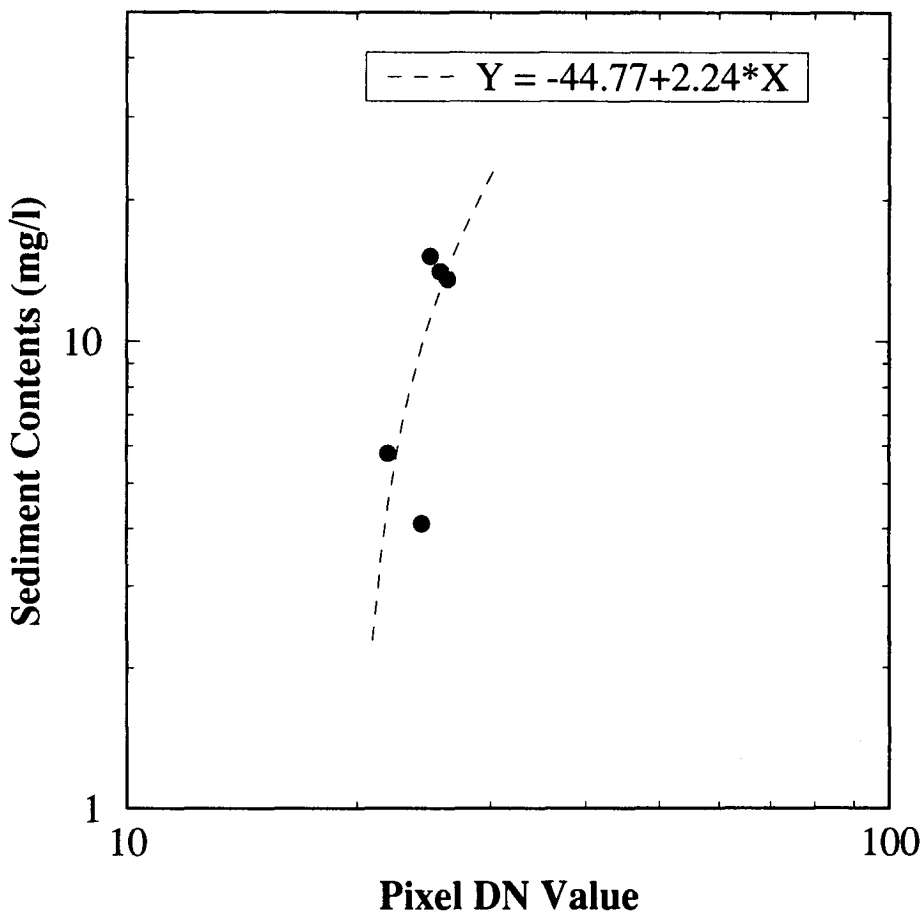


Fig. 3-58. Relationship between field measured turbidity and the digital number of TM band-2.

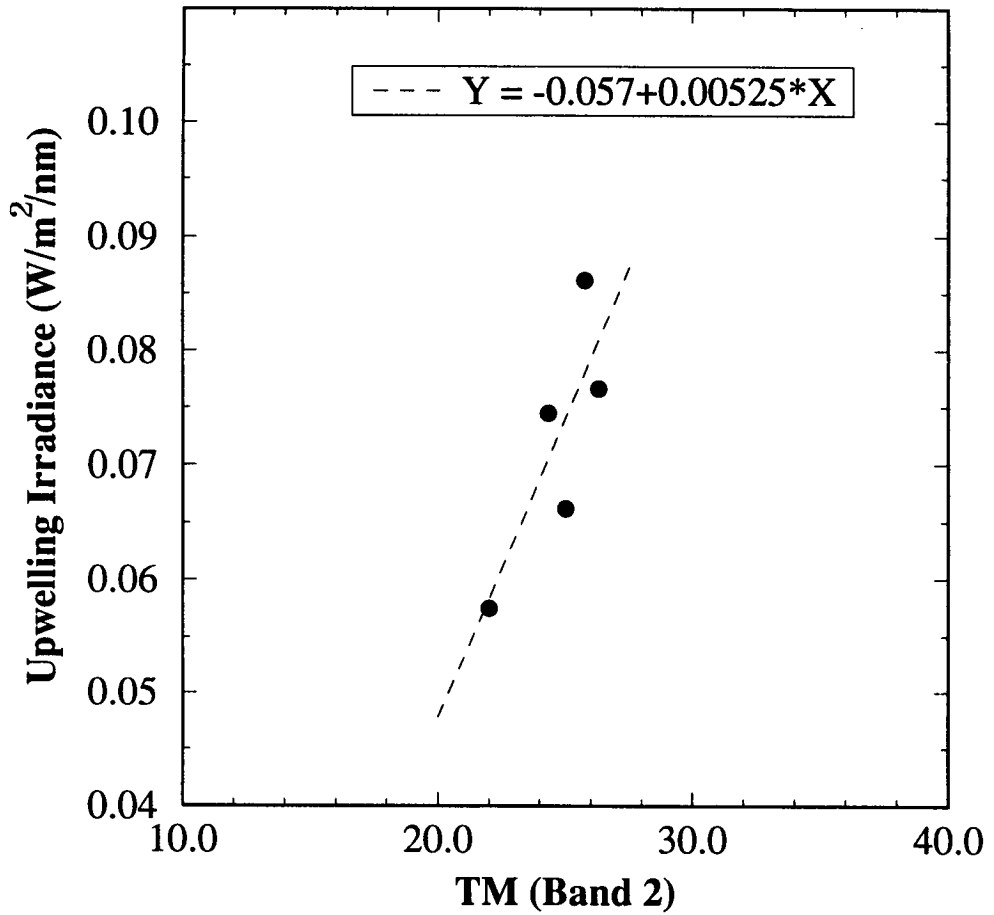


Fig. 3-59. Relationship between the digital number of TM band-2 and the upwelling irradiance in the correspondent spectral range.

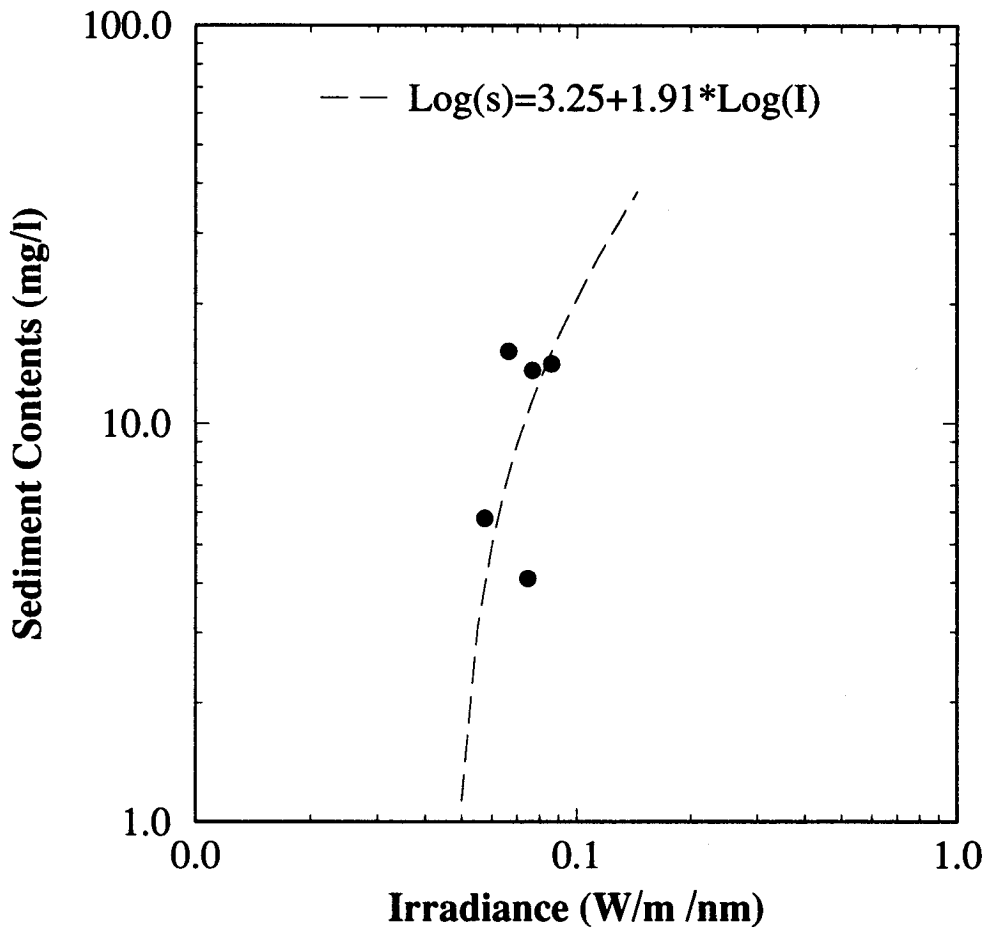


Fig. 3-60. Relationship between the suspended sediment contents and the upwelling irradiance in the spectral range identical with that of TM band-2.

제 4 절 영상자료 및 영상도면(Image-map) 작성

1. 영상처리

위성자료를 도면으로 출력하기 위해서는 우선 적절한 영상처리 과정이 필요하다. 현장측정 자료의 시험적인 대비를 위해 1994년 9월 12일 획득된 LANDSAT TM 자료가 사용되었으며 대형도면으로는 저체적으로 고화질 자료인 1994년 2월 2일 진해-부산 부근 해역을 망라하는 TM자료가 사용되었다.

영상처리는 SUN4/330 workstation에 의해 수행되었으며 TM 자료에서 3개의 band를 선정하여 false color composite 작성하는 기법을 주로 사용하였다. False color composite의 색상강조를 위해서는 System-600의 기능중의 하나인 Pieceswise Output Function Memory(OFM)을 활용하였는데 이 기능은 각 band의 입력자료와 출력자료의 상관 diagram상에서 diagram 자체의 형태를 cursor를 이용하여 interactive하게 변형시켜 줌으로서 화면상에서 육안으로 직접 확인하면서 작업을 가능하게 한다. 이때 동시적으로 출력 LUT(Look-Up Table)이 만들어지는데 바로 이 LUT가 영상도면 작성에 주로 사용된다.

2. 영상도면 (Image-map) 작성기법 개발

영상도면은 SUN4/330 workstation에 의해 얻어진 color component look-up table를 이용하여 작성된 후 정전기 color plotter에 의해 출력되도록 만들었다. Fig.3-61은 영상도면 작성과정을 나타낸 순서도이다. Fig.3-62은 작성된 1994년 9월 12일 인천만 연구해역의 Image-map이며 보고서 뒷표지 안쪽에 첨부된 대형 color image-map은 거제도 서부 가조도 부근으로 부터 부산 수영만에 이르는 해역의 연안지형, 탁도분포 및 수산양식장 현황을 보여주고 있다.

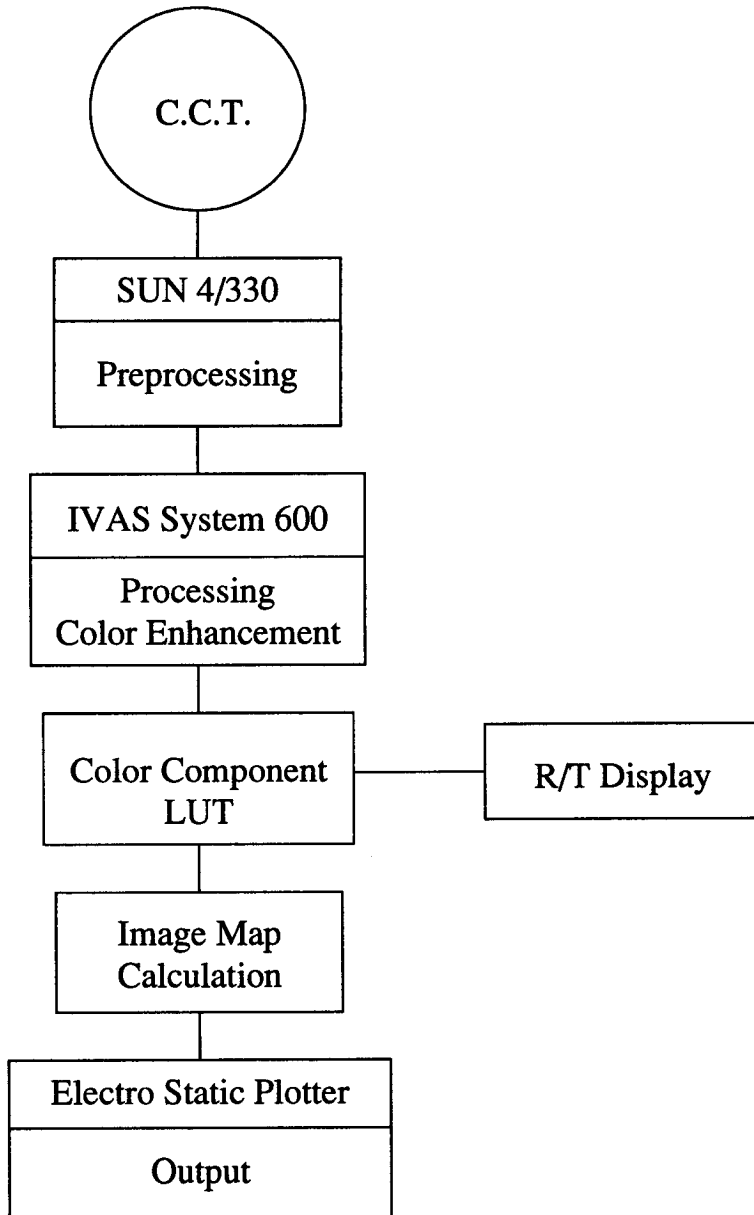
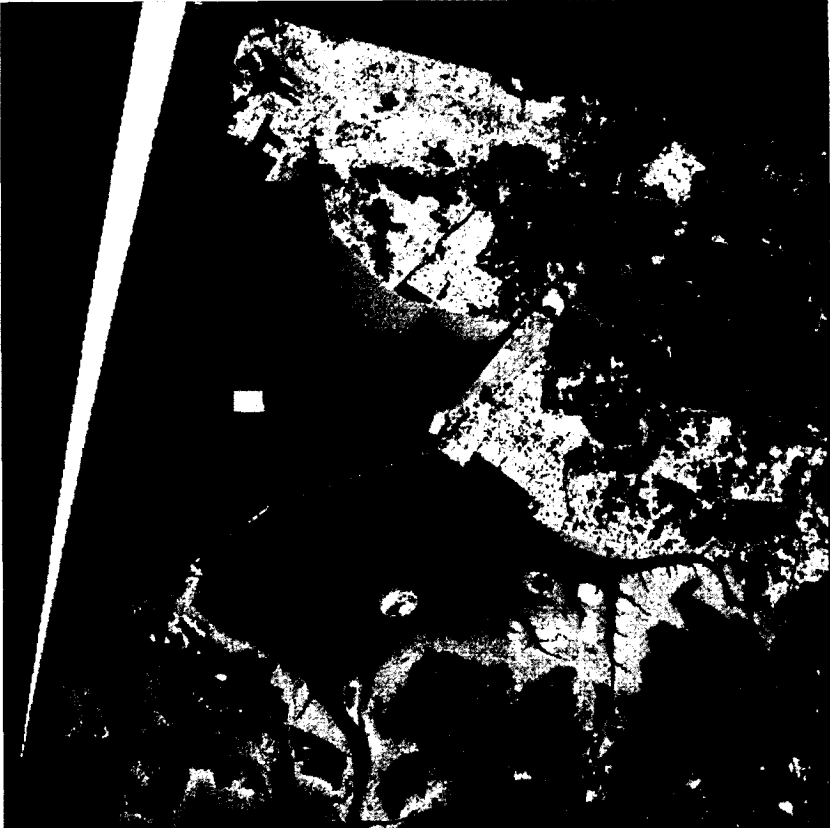


Fig. 3-61. Flow chart showing Image-map drawing process.



Landsat TM, 1994.9.12.
This image covers the Kyunggi-Bay area.



Fig. 3-62. Image-map covering Inchon Bay area of of 12 September 1994 (small format).

제 4 장 결론 및 토의

제 4 장 결론 및 토의

제 1 절 결론

위성자료로 부터 해수 수질파악에 필요한 정보를 얻기 위해서는 환산을 통한 정량화가 필수적이다.

본 연구를 통해서 다음과 같은 사항에 대한 분석연구가 수행되었다.

- 해수 표면온도
- 해수 색상
- 해수 표면 탁도

위 연구를 위해서는 영상자료와 연고자 하는 정보 값의 상관관계를 추출하는 과정도 중요하지만 무엇보다도 이를 위한 현장확인 자료의 확보가 중요하다. 따라서 본 연구수행을 위해서는 각종 현장 확인조사 방법이 제시되고 활용되었다.

위성자료의 응용을 위한 현장측정은 위성자료가 획득되는 과정의 특성에 부합하도록 수행되어야 한다. 이러한 특성중 가장 중요한 것은 위성이 연구지역을 통과하는 시간적 한계성이다. 즉 단 수분이내에 위성은 이미 신속히 연구지역의 탐사를 마치는 반면 현장에서의 이동 및 조사에 소요되는 시간은 이보다 훨씬 더디기 때문에 짧은 시간에 많은 장소에서 더욱 다량의 자료를 얻을수록 더욱 좋은 정량화의 결과를 가져올 수 있다. 또한 물리적인 접촉을 통하지 않고 측정하는 방법도 위성 원격탐사의 한 특징이다. 이러한 점에 유의하여 본 연구에서는 조사선의 항해중 연속적인 측정을 수행하는데 역점을 두었으며 아울러 정확한 선위측정을 통하여 정확도 향상을 시도하였다.

연구사업 수행을 위해 새롭게 시도된 현장측정 방법은 다음과 같다.

- 감응속도가 빠른 센서를 수표면에 예인하면서 해수온도를 기록지에 연속적으로 profiling 시도 (thremo-salinograph)
- 표면 해수를 연속적으로 pumping하여 transmissometer를 이용하여 해수 탁도 연속적 측정
- 열 적외선 온도계에 의한 표면온도 측정 (SPOT thermometer)
- 광학적인 해수 특성측정 (underwater spectrometer)
- GPS 및 Decca Transponder 시스템을 이용한 정밀 선위측정
- PC 및 data logger를 이용한 실시간 data logging

위 방법중 Thermo-salino meter를 이용하여 연속적으로 해수 표면온도를 측정하는 방법은 매우 좋은 결과를 얻게 하였으며 비록 Data logger의 작동중 문제 발생으로 인하여 양질의 자료를 생산하지는 못하였으나 pumping에 의한 해수 탁도 연속측정은 향후 더욱 발전시켜야 할 과제중 하나이다.

제 2 절 문제점 및 해결방안

1. 동시 관측의 애로

위성자료의 정량화를 위해서는 우선 현장 확인자료의 다량확보가 관건이다. 본 연구기간중 위성통과와 동시에 현장 확인관측에 성공한 경우는 단 1회뿐이었다. 여러 가지 사유에 기인하겠으나 다음과 같은 몇 가지를 주요 원인으로 들 수 있다.

- 구름낀 날씨

- 휴일에는 지상 수신중지 (특히 일본 지상수신소 경우)
- ERS, J-ERS 자료 우선 수신으로 인한 Landsat 위성자료 미수신
- 지상 수신은 되었으나 자료 불량

위 원인 중 구름낀 날씨로 인한 문제는 J-ERS등 이미 운용되는 위성들과 가시광선 센서를 탑재한 위성이 향후 다수 궤도에 진입하면 여러 위성자료를 다원화하여 사용함과 함께 우리 나라에 지구관측 위성수신소가 설치되어야 그 애로가 경감될 것으로 생각된다.

2. 해수 광학적 특성 측정의 시간소요

본 연구기간중 사용된 UW 1800 underwater spectrometer는 고가의 첨단 기기이기는 하나 기계적으로 분광과장대를 scanning하기 때문에 한 번 측정하는데 수십초씩 소요된다. 한 정점에서 downwelling irradiance, 수면직하 및 직상의 upwelling irradiance 및 필요시 각 수층에서의 측정도 여러번 반복해서 행해야 하므로 정점당 소요되는 시간은 더욱 길어져 결국 위성통과 전후 약 20-30분 동안에 측정할 수 있는 정점의 수효는 한계가 있게 된다. 본 연구에 사용된 자료의 수가 충분치 못한 것도 이러한 사유에서였다. 이를 극복하기 위해서는 기계식이 아닌 전자식 scanning 방법을 응용하는 Underwater spectrometer의 도입이 필수적이다. 그럴 경우 물결의 변화로 인한 noise의 제거 효과도 함께 얻을 수 있게 된다.

3. 실시간 또는 준 실시간 조사 불가능

위성에 의한 원격탐사의 장점중 하나는 실시간 (real-time) 또는 준 실시간 (near real-time) 효과이다. 그러나 본 연구 사업중 필요한 위성자료를 확보 (주로 일본으로부터)하는데 약 1개월이 소요되었다. 이럴 경우 결과의 신속한 활용이 효과적이지 못하게 되는 결과를 초래하게 된다. 이를 극복하기 위해서는 국내에 지구관측위성 지상수신소의 필요성이 매우 시급하고도 절실한

형편이다.

4. 위성자료 구입시 관세감면 필요

현재 외국에서 구입하여야 하는 지구탐사 위성의 수치자료는 C.C.T. (Computer Compatible Tape) 또는 CD-ROM에 수록되어 공급되는 바 이들은 모두 음반으로 분류되어 소정의 관세를 지불해야 하는 한편 이용자에게 도착하는 시간이 지연된다. 관세감면 조치가 시급히 요청된다.

제 3 절 향후 연구방향 제시

본 연구사업을 통해서 일단 위성자료의 정량화를 위한 기초자료가 마련된 것으로 여겨진다. 다만 앞서의 애로점 등으로 인하여 그 결과가 직접 활용되기까지는 더 연구가 수행되어야 할 필요가 있다.

향후의 연구방향은 아래와 같이 제시된다.

- 더욱 많은 현장 실측자료를 이용한 위성자료 실용화
- 온도, 탁도 뿐 아니라, 환경오염과 관련된 분야의 위성자료 응용연구
- 위성자료의 정밀 검증을 위한 현장 확인조사 방법 개선
- 이를 위해서는 위성원격탐사의 해양분야 응용이 세계적으로 보편화 되는 이때에 국가적 차원에서의 특별한 관심과 지속적인 지원이 절실히 요구된다.

참고 문헌

- Albuisson M., 1979, Study on the color and the temperature of seawater by remote-sensing, Rept., CTAMN, ENS des Mines, Sophia-Antipolis, 20/R/02, pp.53 (in French).
- Amos, C.L. and Alfoldi, T.T., 1979, The determination of suspended sediment concentration in a macrotidal system using LANDSAT data, Jour. of Sediment. Petrol., vol. 49, no.1, pp.159-174.
- Anding D., and R. Kauth, 1970, Estimation of Seasurface Temperature from space, Remote Sens. Environment., p.217-220.
- Bukata, R.P., Bruton, J.E. and Jerome, J.H., 1983, Use of chromaticity in remote measurement of water quality, Remote Sens. Environ., vol.13, no.2, pp. 161-177.
- Carpenter, D.J. and Carpenter, S.M., 1983, Modelling inland water quality using LANDSAT data, Remote Sens. Environ., vol.13, no.4, pp.345-352.
- Commission International de l'Eclairage (C.I.E.), 1957, Vocabulaire international de l'Eclairage. C.I.E., Paris, 2nd ed., 136 pp.
- Gillespie, A.R., Kahle, A.B. and Walker, R.E., 1987, Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques, Remote Sens. Environ., vol.22, no.3, pp.343-365.

- Hardy, N.E. and Jefferies, W.C., 1981, Chromaticity analysis of color aerial photography and its application to detection of water quality changes in acid-stressed lakes, *Can. J. Remote Sens.*, vol.7, pp.4-23.
- Holyer, R.J., 1978, Toward universal multispectral suspended sediment algorithms, *Remote Sens. Environ.*, vol.7, no.4, pp.323-338.
- Lathrop, R.G., Jr. and Lillesand, T.M., 1987, Calibration of Thematic Mapper thermal data for water surface temperature mapping, *Remote Sens. Environ.*, vol.22, no.2, pp.297-307.
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1979, *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons, 612p.
- Lindell, T., Karlsson, B., Rosengren, M. and Alfoldi, T., 1986, A further development of the chromaticity technique for satellite mapping of suspended sediment load, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol.52, no.9, pp.1521-1529.
- McClain E.P., 1980, Results of Global Test of a Two-Window Method for satellite -Derived Seasurface Temperature. *Proceed of a Workshop on application of Existing Satellite Data to Study of Ocean.*
- McClain E.P., 1981, Multiple Atmospheric-Window Techniques for Satellite Seasurface Temperature. In: *Oceanography from space*, edit by J.F.R. Gower, Plenum, New York, p.73-85
- McConaghy, D.C., 1980, *Measuring sea surface temperature from satellite:*

- A ground truth approach, *Remote Sens. Environ.*, vol.10, no.4, pp.307-310.
- Munday, J.C., Jr. and Alfoldi, T.T., 1979, LANDSAT test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement, *Remote Sens. Environ.*, vol.8, no.2, pp.169-183.
- Munday, J.C., Jr., Alfoldi, T.T. and Amos, C.L., 1979, Bay of Fundy verification of a system for multirate LANDSAT measurement of suspended sediment, *Satellite Hydrology*, pp.622-640.
- Shingh, S.M., 1988, Brightness temperature algorithms for LANDSAT Thematic Mapper data, *Remote Sens. Environ.*, vol.24, no.3, pp.509-512.
- Sidran, M., 1980, Infrared sensing of sea surface temperature from space, *Remote Sens. Environ.*, vol.10, no.2, pp.101-114.
- Whitlock, C.H., Kuo, C.Y. and LeCROY, S.R., 1982, Criteria for the use of regression analysis for remote sensing of sediment and pollutants, *Remote Sens.*, vol.12, no.2, pp.151-168.
- Yoo, H.-R., 1982, Study on the turbidity and the temperature of surface seawater from satellite images, Ph.D. Thesis, Univ. Bordeaux I.
- 유홍룡, 정대교, 신동혁 등, 1992, 정량화된 위성자료를 이용한 해수 수질 연구 (I), 연구보고서, 한국해양연구소, 과학기술처, BSPG00161-504-5, pp.88.

유홍룡, 원중선, 신동혁 등, 1992, 정량화된 위성자료를 이용한 해수 수질 연구 (II), 연구보고서, 한국해양연구소, 과학기술처, BSPN00204-635-5, pp.104.

해양연구소, 1987, Landsat 위성 Thematic Mapper의 자료에 의한 조간대 지형 및 해수탁도 조사연구(II), 원격탐사자료응용연구(II), 연구보고서, 해양연구소, 과학기술처, BSPG00068-166-5, pp.74.