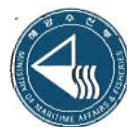


# 부유토사 발생량 평가 및 오탁방지막 효율에 관한 연구용역(III)

2002. 12

연구기관 / 한국해양연구원



**해양수산부**

MINISTRY OF MARITIME AFFAIRS & FISHERIES

# 부유토사 발생량 평가 및 오탁방지막 효율에 관한 연구용역(Ⅲ)

2002. 12

연구기관 / 한국해양연구원



**해양수산부**  
MINISTRY OF MARITIME AFFAIRS & FISHERIES



# 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 '부유토사 발생량 평가 및 오탁방지막 효율에 관한 연구  
용역' 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002. 12.

주관연구기관명 : 한국해양연구원  
주관연구책임자 : 송 원 오  
연구원(부유토사발생량·오탁방지막 분야)

염기대·채장원·안희도

정원무·오영민·진재울

박진순·김성은·이영렬

백원대·김윤철·김미경

위탁연구기관명 : 한국환경정책·평가연구원

위탁연구책임자 : 맹 준 호

연구원(수치모형실험분야)

강시환·오병철·이종찬

강인남·김상익·김선정

위탁연구기관명 : 한 남 대 학 교

위탁연구책임자 : 정 태 성





## 요 약 문

### I. 제 목 부유토사 발생량 평가 및 오탉방지막 효율에 관한 연구용역(III)

### II. 연구개발의 필요성 및 목적

준설 등 항만공사에서 발생하는 부유토사는 다양한 형태로 해양생태계에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 사전환경영향평가 단계에서 정성적 혹은 정량적 방법으로 그 영향범위를 예측하고, 간과할 수 없는 악영향이 예측될 경우에는 그 대책을 수립하여야 한다. 이와 같은 악영향 예측과 대책안 수립에 신뢰성을 도모하기 위한 전제조건은 기본 입력자료인 부유토사 발생량의 신뢰성을 확보하는 것이다. 부유토사 발생량은 일차적으로 공중, 투입 혹은 준설퇴적물의 특성, 그리고 주변 수리환경의 영향을 받으며, 비록 계량화할 수는 없지만 작업자의 숙련도에 따른 변동도 무시할 수 없다.

이와 같이 부유토사 발생량에 미치는 요인이 다양하고 그 거동에는 국지적 영향이 매우 크지만 국내에서는 현재까지 독자적인 기준 없이 연안환경이 판이한 일본의 20년전 자료를 원용하였다. 따라서 연안환경을 효율적으로 관리하면서 임해산업인프라를 지속적으로 확보하기 위해서는 국내에서 많이 사용하는 공중에 집중하여 국내 연안환경이 충분히 반영된 신뢰성 높은 부유토사 발생량 지침 수립이 절실하다.

신뢰성 있는 부유토사 발생량 정보를 확보하였다더라도 확산범위·정도의 예측 수단으로 이용하는 수치모형의 적용타당성 및 정확도가 산정되는 영향범위·정도의 신뢰성과 수립되는 대책안에 영향을 미친다. 수치모형실험시 또 하나 중요한 사항은 비록 정확도가 높더라도 계산시간이 과다하면 시공현장을 효율적으로 관리할 수 없다. 따라서 시공중 발생한 부유토적물의 거동을 신뢰성과 신속성을 함께 갖춘 예측시스템의 구축이 필요하다.

또한 국내에서는 연안공사시 발생하는 부유토사의 확산 저감방안으로 오탉방

지막 설치를 거의 의무화하고 있다. 이에 따라 해상조건으로 판단할 때 오탉확산 저감효율이 의심스러운 해역까지 오탉방지막을 설치하고, 관리부실로 말미암아 방지막 자체가 환경폐기물화 되는 경우도 있지만 이에 대한 체계적 연구가 없었다. 따라서, 오탉방지막 설치실태에 대한 현장조사를 통해 현재의 오탉방지막 설치의 문제점을 분석하고 이를 토대로 효율적인 오탉방지막 설치 방안 모색이 필요하다.

이상과 같은 필요성을 배경으로 본 사업은, 1) 첨단 관측장비를 이용한 현장관측자료를 이용하여 국내 연안환경이 충분히 반영된 신뢰성 있는 공중별 오탉발생량 지침 수립, 2) 오탉방지막의 설치·관리실태 파악 및 효율 관측으로 오탉방지막 설치 개선방안을 제시, 3) 부유토사 이송·확산 거동을 신속하게 예측할 수 있는 운용시스템(operation system) 수립을 그 목적으로 한다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 핵심 내용은 공중별 부유토사 발생량 산정이다. 전술한 바와 같이 항만공사에 따른 부유토사 발생량에 영향을 미치는 인자는 다양하고 국지적 영향이 크므로 산정의 신뢰성을 높이기 위해서는 정밀한 현장관측이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 최근 미국, 영국 등 해양선진국에서 부유토사 거동 관측에 효율적으로 사용하고 있는 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 비롯한 첨단 장비를 활용하였다. 한편 모든 공중의 연안공사를 대상으로 하기에는 관측방법 및 기간 측면에서 무리가 따르므로 발생량이 가장 높은 개발 및 유지준설작업에 초점을 맞춘다.

오탉방지막의 경우, 우선 국내 공사현장에서의 설치방식, 관리실태 파악과 아울러 주요 공사지점에서 방지막 전후의 부유퇴적물 농도를 관측하여 그 저감효율을 파악한다. 이와 같은 과정으로 파악된 설치·운용 실태 및 효율과 일본의 사례를 비교·검토하여 향후 국내의 오탉방지막 효율을 제고할 수 있는 방안을 제시한다.

수치모형의 경우, 우선 부유토사의 원역 거동을 신속하게 예측할 수 있는 운용 시스템을 구축함과 아울러 근역 거동 예측을 위해 미국 EPA가 운용중인 모형인 D-CORMIX를 공사현장에 적용하여 그 이용 가능성을 검토한다.

## IV. 연구개발결과

### 1. 부유토사 발생율

부유토사 플룸이 통과하는 단면에서의 유속과 부유퇴적물 농도 연직분포를 RDI 社의 광대역 ADCP와 YSI 社의 다기능수질측정기 6600UPG 등으로 구성되는 모니터링 시스템을 이용하여 관측하였으며, 이로부터 부유토사 이동속(SS flux)을 구하여 준설선 종류 및 규모별 부유토사 발생율을 산정하였다.

Cutter Suction Dredger (CSD, pump 工率 4,000~20,000HP)의 경우, 농도 증분은 3~55 mg/l, 단위시간당 발생율은 0.3~3.1 kg/s, 단위준설당 발생율은 2.4~13.5 kg/m<sup>3</sup> 정도로서 펌프 공율보다는 주위 유속의 영향이 크다.

기계식 개방형 그랩(용량 8m<sup>3</sup> 및 13m<sup>3</sup>) 준설의 경우 CSD보다 발생율이 높았으며, 농도 증분과 단위시간당 및 단위준설당 발생율 범위가 각각 5~67 mg/l, 0.15~6.9 kg/s, 그리고 2.7~189 kg/m<sup>3</sup>이다. 그랩 준설시 특별히 주목해야 할 사항은 해저면 쇄암 후 준설시의 발생율이 96~189 kg/m<sup>3</sup>로 높다는 것이다. 쇄암 후 준설시 부유토사 발생율에 관해서는 현재까지 보고된 바 없어 향후 유용한 자료가 될 것이다. 유속과 해저퇴적물 조성이 발생율에 미치는 영향도 매우 커서 목포(그랩용량 13m<sup>3</sup>)에서의 발생율 99 kg/m<sup>3</sup>는 평균 62 cm/s인 강한 유속 때문이며, 평균유속이 약 12 cm/s로 크지 않음에도 발생율이 81 kg/m<sup>3</sup>로 높았던 광양(그랩용량 8m<sup>3</sup>)의 경우는 해저퇴적물 중 세립질 함유비가 높기(입경 74 $\mu$ m 이하 80%, 5 $\mu$ m 이하 40%) 때문이다.

한편 유속이 너무 작아 플릭스법을 사용할 경우 오류를 범할 수 있는 속초항의 그랩 준설과 군산외항의 CSD의 경우는 농도 증분만을 제시하였으며, 각각의 증분은 37 mg/l과 6 mg/l, 10~35 mg/l이다.

한편 부산북항 TSHD(Trailing Suction Hopper Dredger)의 경우는 준설선 스크류가 발생시킨 기포로 인한 ADCP 자료의 오염으로 인해 OBS로 관측한 표층농도 최대증분(150mg/l)만을 제시하였다.

## 2. 오탉방지막 효율

오탉방지막이 설치된 국내 10개 현장과 일본의 2개 현장을 방문하여 설치 및 유지관리 실태를 파악·비교하였으며, 문헌조사를 통하여 오탉방지막의 성능을 발휘할 수 있는 한계유속과 파고에 관한 국외 성과를 검토하였다. 아울러 부산신항과 인천남항에서의 현장관측을 통하여 부유토사의 농도와 이동량 측면에서의 고정식 수하형 오탉방지막 효율을 산정하였다.

국내의 오탉방지막 유지관리 실태는 만족스럽지 않으며, 대부분이 설치가 불필요하거나 높은 효율을 기대할 수 없는 곳이었다. 일본의 경우와 비교하면 국내 오탉방지막 설치 및 유지관리 실태는 비효율적이며 형식적이었다.

부산신항과 인천남항에서의 그랩 준설시 현장관측결과, 방지막의 부유토사 이동량 저감효율은 20~30% 정도에 불과하며, 부산신항의 경우 방지막 외측으로 약 30m 떨어진 3개 정점 수심평균농도의 평균치가 내측 3개 정점보다 160% 높다. 이와 같이 낮은 효율과 방지막 배후 농도가 높은 이유는 방지막 하단과 해저면 사이에서 유속이 강화되는 venturi tube 효과와 방지막 배후에서의 활발한 연직혼합 때문이다. 따라서 평균유속 20~30 cm/s인 해역에서 오탉방지막의 부유토사 이동량 저감효율 기대치가 20~30% 이상인 경우는 수하식 오탉방지막 설치가 바람직하지 않다.

부산신항에서 악기상으로 준설을 중지한 기간에도 방지막 전후 약 30m 지점에서 준설 플룸 수준의 농도가 관측되었으며, 이는 파고 약 0.4m로 추산되는 파랑의 영향 때문으로 판단된다. 이와 함께 흐름과 파랑에 의해 해저면에 가해지는 전단응력을 비교한 결과, 파고 1m 정도이면 오탉방지막의 효율을 기대하기 어려울 것으로 판단된다.

이상의 문헌 및 현장조사결과를 바탕으로 향후 오탉방지막의 불필요한 설치를 지양하고 효율을 제고할 수 있도록, 설치에 필요한 수리기준, 방지막의 형식 및 평면배치에 관한 지침을 제안하였으나, 미진한 부분을 보완하고 누락된 부분에 관한 추가조사를 실시하는 등 지속적인 보완이 필요하다.

### 3. 수치모형실험

군산 해역을 대상으로 해수유동 및 부유토사 이송·확산을 비전문가도 신속하게 예측할 수 있는 운용시스템(KUSSMOS)을 수립하였다. 부유토사 거동 예측치를 관측치와 비교하여 적용성을 확보하였으나 모형의 신뢰성을 높이기 위해서는 발생 부유토사의 침강속도 등에 관한 신뢰성 있는 현장관측치가 필요하므로 추후 보완이 필요하다. 한편, 아산항과 군산항에 대한 근역확산 예측모형인 D-CORMIX를 적용 결과를 관측치와 비교하여 그 적용성을 확인하였다.

## V. 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

- 계획한 연구개발 목표를 달성하였음.
- 본 연구결과를 환경영향평가 대행기관과 평가서 검토기관에 배포하여 활용할 경우 환경영향평가의 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것임.
- 군산 해역에 시험적으로 구축한 부유토사 이송·확산 예측시스템은 향후 다양한 연안공사시 효율적인 연안환경관리에 이용될 수 있음.

## VI. 연구개발결과의 활용계획

- 본 연구보고서를 환경부, 한국환경정책·평가연구원, 환경영향평가기관, 항만공사 관련 용역업체 등에 배포함과 아울러 연안수질 관리기관과의 긴밀한 협의를 통하여 연구결과가 환경영향평가 및 협의시 그리고 피해영향산정시 등에 적극 활용되도록 할 계획임.
- 항만건설공사의 계획 수립단계와 건설공사 시행에 있어 경제성과 친환경성이 함께 고려된 최적방안 마련에 필요한 정책적 판단 근거자료 획득을 위해 개발된 모형을 활용할 수 있음.



# SUMMARY

## I. Title Studies on the Estimation of Turbidity Generated by Dredging and Performance of Silt Screens (III)

## II. Necessity and Objectives

Sediment plumes generated by various harbor construction works and dredging operations can cause detrimental impact on coastal environment in various manners. Qualitative and/or quantitative predictions of the plume behavior and its possible impact, and subsequent establishment of the measure should be, therefore, carried out in the step of environmental impact assessments (EIA). The reliability of the prediction and the efficiency of a countermeasure, of course, primarily depend on how accurately the amount of sediment source is defined in prediction models. It is well known that the amount of suspended sediment (SS) released to the ambient water during the construction and dredging is determined by the work details, the property of sediment such as sediment type and bulk density of the bottom sediment to be dredged or dumped, and hydrodynamic conditions including current speed and wave characteristics. Of course, the operator's skill is an additional factor influencing the amount.

For an EIA in Korea, the behavior of SS plume arising from the works has been predicted based on the turbidity generation units (TGU) data informally published in Japan 20 years ago, although the sediment loss rate is strongly dependent on various local parameters. For eco-friendly sustainable and continuous development of Korean coastal area, therefore, establishment of a guidance based on reliable evaluation of turbidity generation rate in the course of various harbor



construction and dredging operations especially focused on the techniques frequently used, is urgently demanded.

Even when a reliable data of the sediment loss rate is somewhat secured, predicted behavior of the SS plume also has large span of uncertainties according to the performance of the applied numerical model. That is, the models should be relevant in views of the time- and length-scale as well as associated processes to be simulated. There may be, however, such cases that a prompt assessment is more required at the expense of accuracy to monitor the SS plume in realtime and respond properly at the site.

As a unique measure against sediment plume, installation of silt screens have been under an obligation in most of coastal construction works in Korea even in sea regimes where the efficiency of reducing plume spreading is strongly suspicious judging from the coastal hydrodynamic conditions, which requires additional but unnecessary construction costs. The worst situation is that silt screens themselves have occasionally become environmental waste due to poor management. Hence, it is also a urgent task to develop a guidance to solve the problems related to the screens and for optimal use of silt screens.

With the background described above, this study aims at 1) developing a guidance for the assessment of sediment loss caused by harbor construction works through intensive field measurements, 2) providing desirable directions for optimal use of silt screens in both cost and performance effective ways through the survey of their installations and managements as well as field measurements of their efficiency, finally 3) developing an operational modeling system for quick prediction of the behavior of sediment plume generated by coastal works.

### **III. Contents and Scope**

In order to successfully meet the primary objective of evaluating turbidity generated by coastal works, on which various local parameters influence, intensive

and relevant field measurement with accurate instruments is essential. Recently, ADCPs (Acoustic Doppler Current Profilers) have been effectively applied to monitor the vertical profile of suspended sediment concentration. In this study, a vessel-mounted ADCP system was, therefore, adopted. Many field campaigns have been conducted at several harbor construction and maintenance sites with special focus on capital and maintenance dredging operations in which the SS loss rates are much higher than those of other construction works.

For the second objective related to silt screens, actual states of domestic installation and management have been surveyed as well as field measurement of their performance and efficiency. The information obtained by domestic survey has been analysed and compared with foreign guidances and recommendations. Some desirable guidances and directions for optimal use of silt screens have been subsequently proposed.

For quasi realtime management of water quality in Kunsan coastal water by quick simulation of far-field depth-averaged tidal flow and the behavior of sediment plume, an operation system incorporated with FEM and particle tracking technique has been constructed. Additionally, the well-known scale model of D-CORMIX developed by the US EPA and Cornell University, has been applied to the plumes near Asan and Kunsan Ports in order to test its applicability.

## **IV. Results**

### **1. Evaluation of Turbidity Generated by Dredging Operations**

By measuring the vertical profiles of the current velocity and direction, SS concentration (SSC) with a vessel-mounted ADCP monitoring system along the cross-section of the SS plumes generated by the operation of Cutter suction dredgers (CSDs) and grab dredgers, the SSC increases, rate of sediment release into the water column per unit time (kg/s) and unit dredged volume (kg/m<sup>3</sup>) have been evaluated.

In the case of CSD ranging 4,000 to 20,000HP, the SSC increase is about 3 to 55 mg/l, and the rates of release per unit time and volume are about 0.3 to 3.1 kg/s and 2.4 to 13.5 kg/m<sup>3</sup>, respectively. It has been indicated that the rates are dependent on rather current speed and bottom sediment type than the dredger's power.

As reported in previous studies, the SS losses resulted from the operation of mechanical open grab (8m<sup>3</sup> and 13m<sup>3</sup>) dredgers are much higher than the CSD. That is, the increase of SSC ranges 5 to 67 mg/l, the ranges of the rates of SS release per unit time and volume are 0.15 to 6.9 kg/s and 3 to 189 kg/m<sup>3</sup>, respectively. A noteworthy and significant result of this study on the grab dredgers is that the SS loss generated after crushing the seabed sedimentary rock is very high, reaching up to about 200 kg/m<sup>3</sup>, which has not been reported. Both current speed and sediment type, of course, have large effect on the loss rate. The averaged rate of 99 kg/m<sup>3</sup> caused by the grab(13m<sup>3</sup>) dredger in Mokpo should be responsible for the high current speed of about 62 cm/s, 81 kg/m<sup>3</sup> by 8m<sup>3</sup>-grab in Gwangyang for the high fraction of fine sediment.

Additionally, it is thought to be better to provide only SSC increase where the SS flux method may yield serious error due to very low current speed and direction fluctuation. These are grab dredging in Sokcho harbor and CSD in Gunsan Outer Port, and their increases are 37 mg/l and 6 mg/l, respectively.

The loss by a Trailing suction hopper dredger in Busan North Port is also provided only in terms of the maximum increase of surface SSC of about 150 mg/l obtained with an OBS because the ADCP data were contaminated by the bubbles generated by the dredger.

## 2. Performance of Silt Screens

The actual state of maintenance of silt screens has been surveyed by visiting 10 domestic and two Japanese sites under construction of various types of development.

Guidances, literatures and study results concerned with the critical current speed and wave height for desirable performance of silt screen have been reviewed. The efficiency of silt screen in terms of reducing the total amount of SS bypassing the screen have been measured in Incheon South Port and Busan New Port.

Comparing with Japanese state, domestic maintenance of the silt screen has been proved to be poor state which should be improved as soon as possible. Actually, discussing on the management state is meaningless because the silt screens had been installed where installation itself seems to be needless or their good performance could not be expected.

Relatively intensive field measurements with various instruments including the RDI's broad band ADCP of 1.2MHz and an instrumented tripod, YSI multi-parameter monitor, have shown that the efficiency of the fixed hanging type of silt screens (curtain depth of 3m) is only 20~30 % against the plumes generated by grab dredging in Busan and Incheon. Especially in Busan where the average water depth of the screen section was about 6m, the SSC at 30 m downstream of the screen was 160 % of that at the upstream of the same distance. It is believed that the primary reasons responsible for the low efficiency and higher SSC at the downstream are the venturi tube effect of the screen as well as strong ambient current of which the maximum at both areas are about 40 cm/s. That is, the SS in the plumes could not settle down in the vicinity of the screen due to strong current and active vertical mixing at the downstream. Thus, it may be concluded that the silt screen of fixed hanging type is not recommendable if the expected efficiency is beyond 20~30% in the coastal waters where the average current speed is beyond 20~30 cm/s.

Even for the suspending period of dredging in Busan, the SSC of the same range of the plumes were measured by the YSI6600s moored at the curtain depth at 30m up- and downstream, which is thought as being caused by wave-induced (height of about 0.4m) re-suspension of the bed. By judging this measurements, and comparing the current- and wave-induced bed shear stresses with existing formulae,

it may be concluded that wave height of 1m is sufficient for critical value required for the performance of silt screens.

In order to prevent unnecessary installation in the future and improve the reducing efficiency of silt screen, a short guidance is proposed on the basis of the above results obtained through the actual inspections, literature survey and field measurements. However, it should be periodically supplemented and updated.

### **3. Numerical Modeling of Sediment Plumes**

A user-friendly operation system, KUSSMOS, which may be regarded as a quasi expert system, has been developed for quick prediction of the far-field behavior of sediment plumes in the coastal area of Kunsan Port. An application with field data has shown its relatively good performance, however, more reliable input of settling velocities of mud flocs is needed to improve its reliability. D-CORMIX has been applied to simulate the near-field behaviors of sediment plumes in Asan and Kunsan Ports. Although hydrodynamic and geographical conditions should be simplified in the model, it has been found to be of use for rough estimation of plume's behavior.

## **V. Accomplishments**

- The objectives of the study have been fully accomplished.
- The results will upgrade the EIA reports for various coastal construction works.
- The SS plume prediction system also could be applied in other coastal areas for the effective managements of coastal environments.

## **VI. Practical Applications of the Results**

- The results of this study will be a draft guidance various coastal construction

works through deep discussion with governmental regulators as well as distribution of the report to the Ministry of Environment, the Korea Environment Institute, and EIA consultants etc.

- The operation system KUSSMOS could be used for environmental aspects in the design of a new harbor as well as establishing the construction and maintenance schedules of harbors.



# 목 차

제1장 서론 .....	1
제2장 국내외 기술개발 현황 .....	11
제1절 서론 .....	13
제2절 부유토사 발생 및 발생량 관측 .....	14
1. 주요 준설선별 부유토사 발생과정 및 발생량 저감방안 .....	14
가. Cutter Suction Dredger .....	14
나. Grab Dredger .....	16
다. Trailing Suction Hopper Dredger .....	18
2. 부유토사 발생량 평가에 관한 기존 연구 .....	20
가. 부유토사발생원단위 .....	21
나. S-factor .....	26
다. 부유토사 이동속 .....	27
라. 시간당 발생율 .....	29
마. 부유퇴적물 농도 증분 .....	31
3. ADCP를 이용한 SS Flux 관측 .....	32
제3절 오탉방지막 기술 현황 .....	36
1. 오탉방지막의 종류 .....	37
가. 固定式 垂下型 (Fixed Hanging Type) .....	37
나. 固定式 自立型 (Fixed Standing Type) .....	39
다. 浮沈式 垂下型 (Sinkable Hanging Type) .....	39
라. Frame 型 .....	40
마. 조합설치 .....	40
바. 汚濁防止送泥船(Anti-Pollution Soil Transporter) .....	42
2. 오탉방지막 효율기준 검토 .....	43
제4절 부유토사 이송·확산 수치모델링 검토 .....	45



제3장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	47
제1절 부유토사 발생을 .....	49
1. 서론 .....	49
2. 현장관측 및 자료분석 방법 .....	50
가. 관측위치 .....	50
나. 관측방법 .....	53
다. 분석방법 .....	57
3. 준설토 입경분포 특성 .....	64
4. 공종별 플룸 특성 및 부유토사 발생을 .....	67
가. CSD .....	68
나. Grab .....	71
다. TSHD .....	75
라. 사석투하 .....	77
5. 결론 및 토의 .....	78
가. 발생을 산정치 종합분석 .....	78
나. 기존 자료와의 비교 .....	80
다. 결론 및 제언 .....	81
제2절 오탉방지막 현황·효율조사 및 설치 지침(案) .....	82
1. 서론 .....	82
2. 오탉방지막 설치·관리실태 .....	82
가. 국내 .....	82
나. 일본 .....	93
다. 수리·지형·공종에 따른 국외 오탉방지막 설치지침 .....	96
3. 오탉방지막 효율 현장관측 .....	97
가. 부산신항-I .....	97
나. 부산신항-II .....	99
다. 인천남항 .....	128
라. 종합분석 .....	140
4. 오탉방지막 설치 및 유지관리 지침(案) .....	149

가. 설치 수리조건 .....	149
나. 오탉방지막 형식 및 평면배치 .....	150
다. 유지관리 .....	151
라. 기타 .....	151
제3절 부유토사 이송·확산 예측 시스템 개발 .....	152
1. 서론 .....	152
2. KUSSMOS .....	153
가. 기본방정식 및 수치기법 .....	153
나. 수치모형 검증 및 적용 .....	160
다. KUSSMOS GUI 구축 .....	181
라. 결론 및 제언 .....	192
3. D-CORMIX .....	193
가. 모형개요 .....	193
나. 현장적용 .....	196
제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도 .....	207
제5장 연구개발결과의 활용계획 .....	213
참고문헌 .....	217
부록 1. 부유토사 발생량현장관측결과 .....	229
부록 2. 인천남항 오탉방지막 효율 현장관측결과 .....	315
부록 3. 오탉방지막 설계 및 시공요령 .....	351
부록 4. 오탉방지막 제작사 질의·응답 .....	439
부록 5. Frame 型 오탉방지막 설계도 .....	457



## 그림 목 차

그림 1.1.1	해양생태계에 미치는 준설 영향 개념도 (IADC/CEDA, 2000) .....	3
그림 1.1.2	Øresund Link 준설에 의한 부유토사 발생량 실시간 감시 및 조기경보체계 (Jansen, 2001) .....	5
그림 1.1.3	Øresund 해협 준설에 따른 해양환경훼손 방지를 위한 피드백 모니터링 체계 계통도 (Jensen, 2001) .....	8
그림 2.2.1	CSD의 주요 구성부 (Bray <i>et al.</i> , 1997) .....	14
그림 2.2.2	20,000 마력급 CSD <i>Castor</i> (좌, Jansen, 2001) 및 7,200 마력급 CSD 옥포號의 cutterhead(우) .....	15
그림 2.2.3	Auger dredger <i>HAM 291</i> (좌)의 swing 모식도(우) ( <a href="http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg360.htm">http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg360.htm</a> ) .....	16
그림 2.2.4	그랩 준설선 주요 구성부(위, Bray <i>et al.</i> , 1997) 및 수면 및 토운선으로 이동시 현탁물 발생 전경(아래) .....	17
그림 2.2.5	TSHD의 주요 구성부와 펌프가 장착된 흡입파이프 (Bray <i>et al.</i> , 1997) .....	18
그림 2.2.6	입경별 부유한계유속 (운수성, 1982) .....	22
그림 2.2.7	CSD 준설시 부유토사발생량 관측정점 (Nakai, 1978) .....	23
그림 2.2.8	CDS <i>Castor</i> 號 준설시 SS flux 관측 (Dynesen, 2001) .....	28
그림 2.2.9	모래 채취 및 인도 ( <a href="http://www.herik.nl/pic4_uk.htm">http://www.herik.nl/pic4_uk.htm</a> ) .....	31
그림 2.2.10	PLUMES 개념도 (Kraus and Thevenot, 1992) .....	33
그림 2.2.11	DRL-Sediview로 구한 단면 농도 (DRL Software Ltd, 2002b) .....	34
그림 2.2.12	ADCP의 유효측정범위 (DRL Software Ltd, 2002b) .....	35
그림 2.3.1	Penny's 灣 매립공사 (Tam, 2001) .....	36
그림 2.3.2	수하형 오탉방지막 모식도 .....	38
그림 2.3.3	RO-BOOM 오탉방지막의 연안매립수역 통선문으로의 응용예 (Jessen, 2002) .....	38
그림 2.3.4	자립형 오탉방지막 실물 및 설치모식도 ( <a href="http://www.taiyokogyo.co.jp">http://www.taiyokogyo.co.jp</a> ) .....	39
그림 2.3.5	부침식 오탉방지막 모식도 ( <a href="http://www.taiyokogyo.co.jp">http://www.taiyokogyo.co.jp</a> ) .....	39
그림 2.3.6	Frame型 오탉방지막(좌: <a href="http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg259.htm">http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg259.htm</a> , 우: <a href="http://www.taiyokogyo.co.jp">http://www.taiyokogyo.co.jp</a> ) .....	40

그림 2.3.7	동경만 묘박지 조성을 위한 내만 준설토 투기장의 오탉방지막 설치도면 .....	41
그림 2.3.8	汚濁防止送泥船 (㈱ダイゴー土木 leaflet) .....	42
그림 2.3.9	APST 내에 투기된 토사의 단계별 거동 (㈱ダイゴー土木 leaflet) .....	43
그림 2.3.10	오탉방지막 내외측 농도비교 (좌: 해양공사오탉방지협회, 1999; 우: <a href="http://www.taiyokogyo.co.jp">http://www.taiyokogyo.co.jp</a> ) .....	44
그림 3.1.1	군산항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도 .....	51
그림 3.1.2	목포항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도 .....	51
그림 3.1.3	광양항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도 .....	52
그림 3.1.4	부산항 부유토사 발생을 현장관측 위치도 .....	52
그림 3.1.5	속초항 부유토사 발생을 현장관측 위치도 .....	53
그림 3.1.6	VM ADCP 시스템 모식도 .....	54
그림 3.1.7	VM ADCP 시스템 구성 장비 : (a) ADCP, (b) 측심기, (c) 자료 저장용 컴퓨터, (d) 수질측정기와 채수기, (e) DGPS 수신기 .....	54
그림 3.1.8	ADCP bottom track 기법과 DGPS에 의한 항적 차이 예 (KG2) .....	55
그림 3.1.9	CSD 작업시 VM ADCP 이동관측경로 예 .....	56
그림 3.1.10	그랩 준설선 작업시 VM ADCP 이동관측경로 예 .....	56
그림 3.1.11	TSHD 작업시 VM ADCP 이동관측경로 .....	57
그림 3.1.12	부유토사 발생을 관측자료 분석 흐름도 .....	58
그림 3.1.13	YSI6600 탁도와 부유퇴적물 농도와의 상관관계 예 (좌:SG, 우:KG1) .....	59
그림 3.1.14	DRL-Sediview의 ADCP 반사음향강도(RSSI) 검보정 과정 (Land and Jones, 2001) .....	60
그림 3.1.15	DRL-Sediview를 이용한 RSSI 현장검보정 예 (좌:SG, 우:KG1) .....	61
그림 3.1.16	VM ADCP 모니터링 결과의 1차 처리 예 (KG2) .....	62
그림 3.1.17	RSSI 검보정 후의 단면농도 예 (KG2) .....	63
그림 3.1.18	발생을 관측단면(a)의 좌표변환(b) 예 (GC1) .....	64
그림 3.1.19	준설토 입경의 누적확률분포 .....	65
그림 3.1.20	GG2 그랩 준설시의 쇄암봉(좌) 및 쇄암후 준설암편(우) .....	67
그림 3.1.21	20,000 마력 CSD 작업시 준설 플룸 형상 (GC3) .....	69
그림 3.1.22	군산외항에서의 4,000마력 CSD 작업시 수심평균 유속·유향·농도 .....	70

그림 3.1.23	그랩 준설선(13m <sup>3</sup> ) 작업시의 준설 플룸 형상 (MG1) .....	72
그림 3.1.24	유속과 RSUV의 상관관계 (MG1) .....	73
그림 3.1.25	속초항에서의 8m <sup>3</sup> 그랩 준설선 작업시 수심평균 유속·유향·농도 .....	74
그림 3.1.26	부산항에서의 TSHD 작업시 ADCP 반사음향강도 .....	76
그림 3.1.27	부산항에서의 TSHD 작업시 수심평균 유속·유향·농도 .....	76
그림 3.1.28	기초사석(0.03m <sup>3</sup> 이하) 투하시 발생 플룸 형상 (KR) .....	78
그림 3.2.1	오탁방지막 유지관리실태 조사지점 .....	83
그림 3.2.2	생물부착으로 인한 방지막 부력체 잠김 (인천) .....	84
그림 3.2.3	평택(아산)-2 지역 오탁방지막의 간조시 상태 .....	85
그림 3.2.4	광양 지역 오탁방지막 .....	86
그림 3.2.5	부산-1 지역 오탁방지막의 부착생물 (좌: 2개월, 우: 1년) .....	87
그림 3.2.6	부산-2 지역 이중오탁방지막 .....	88
그림 3.2.7	부산-2 지역 오탁방지막의 훼손된 막체 및 부착생물 .....	88
그림 3.2.8	부산-3 지역 두겹오탁방지막 .....	89
그림 3.2.9	울산-1 지역 오탁방지막 .....	90
그림 3.2.10	울산-2 지역 오탁방지막의 훼손 상태 .....	90
그림 3.2.11	울진 지역 오탁방지막 .....	91
그림 3.2.12	오사카港 2중오탁방지막 설치 단면도 .....	94
그림 3.2.13	오사카港 인공섬 조성을 위한 매립수역에 설치된 수하형 오탁방지막 .....	94
그림 3.2.14	오탁방지송니선(Anti-Pollution Soil Transporter) 작업 전경 .....	95
그림 3.2.15	그랩 준설시의 frame형 방지막 (東京灣 항로준설) .....	95
그림 3.2.16	부산신항 SCP 공사시 탁도플룸 및 표층농도 관측점 (부산항건설사무소, 2001) .....	98
그림 3.2.17	부산신항-II 지역의 준설 및 현장관측 위치도 .....	100
그림 3.2.18	AURY 계류 모식도 및 계류 전경 .....	101
그림 3.2.19	YSI6600 탁도계 현장검보정 결과(부산신항-II) .....	102
그림 3.2.20	오탁방지막 전후 저면상 3m에서의 AURY 관측결과 .....	104
그림 3.2.21	정점 S에서의 SPHINX 관측결과 .....	107
그림 3.2.22	오탁방지막 주변 흐름 모식도 .....	107
그림 3.2.23	Venturi tube 효과를 보여주는 정점 A1, A2, S에서의 유속 시계열 .....	108
그림 3.2.24	부산신항-II 오탁방지막 효율 관측기간 중의 파랑특성 (한국해양연구원, 2001) .....	110

그림 3.2.25	정점 S와 DW(한국해양연구원, 2001)에서의 파고 상관관계 .....	111
그림 3.2.26	Wave skirt 길이에 따른 파랑에너지 감쇠 (Bruun, 1989) .....	111
그림 3.2.27	오탁방지막 전후 정점에서의 SSC 연직분포 (부산신항-II) .....	116
그림 3.2.28	AURY 관측치에 따른 남북방향 SS flux (陽:北, 陰:南) .....	118
그림 3.2.29	인천남항 준설 및 현장관측 위치도 .....	128
그림 3.2.30	DRL Sediview를 이용한 ADCP 현장검보정 결과(인천남항) .....	129
그림 3.2.31	ADCP의 오탁방지막 순환관측치로 구한 수심평균 유속·유향· 부유토사 농도와 해저지형 .....	130
그림 3.2.32	그림 3.2.31의 구간 확대 예 .....	131
그림 3.2.33	준설시 오탁방지막 전후 단면에서의 부유퇴적물 농도 및 동서방향 유속성분 분포도 (아래: 내측, 위: 외측) .....	132
그림 3.2.34	준설 종료후 오탁방지막 전후 단면에서의 부유퇴적물 농도 및 동서방향 유속성분 분포도 (아래: 내측, 위: 외측) .....	132
그림 3.2.35	YSI6600 탁도계 현장검보정 결과(인천남항) .....	133
그림 3.2.36	오탁방지막 전후 정점의 부유퇴적물 농도 연직분포(인천남항) .....	134
그림 3.2.37	오탁방지막 전후의 단면평균농도·유속 및 단면이동속 .....	139
그림 3.2.38	유속에 따른 오탁방지막 효율 개념도 .....	141
그림 3.2.39	집중호우로 형성된 강릉 남대천 하구 전면 해역의 부유퇴적물 플룸 (한국해양연구원, 2000b) .....	147
그림 3.2.40	집중호우 6개월 후의 해저퇴적물 평균입경 공간분포 (한국해양연구원, 2000b) .....	147
그림 3.3.1	군산 해역 조류·부유사 확산모의를 위한 유한요소격자망 .....	161
그림 3.3.2	군산 해역 수심도 및 조류 관측 위치도 .....	161
그림 3.3.3	모형 계산조위와 예측조위의 비교(군산 내항) .....	162
그림 3.3.4	모형 계산조위와 예측조위의 비교(군산 외항) .....	162
그림 3.3.5	조류 검증결과(PC-1) .....	163
그림 3.3.6	조류 검증결과(PC-3) .....	163
그림 3.3.7	조류 검증결과(PC-4) .....	163
그림 3.3.8	대조기 저조시 유속분포도 .....	164
그림 3.3.9	대조기 창조시 유속분포도 .....	165
그림 3.3.10	대조기 고조시 유속분포도 .....	165
그림 3.3.11	대조기 낙조시 유속분포도 .....	166
그림 3.3.12	소조기 저조시 유속분포도 .....	166
그림 3.3.13	소조기 창조시 유속분포도 .....	167
그림 3.3.14	소조기 고조시 유속분포도 .....	167

그림 3.3.15	소조기 낙조시 유속분포도 .....	168
그림 3.3.16	난수발생법에 대한 모형 민감도 분석 .....	170
그림 3.3.17	방출 입자수에 대한 모형 민감도 분석 .....	171
그림 3.3.18	격자간격에 대한 모형 민감도 분석 .....	172
그림 3.3.19	계산시간 간격에 대한 모형 민감도 분석 .....	173
그림 3.3.20	1차원 이송·확산 문제에 대한 검증 .....	173
그림 3.3.21	이송이 지배적인 2차원 문제에 대한 검증 .....	174
그림 3.3.22	확산이 지배적인 2차원 문제에 대한 검증 .....	174
그림 3.3.23	해송 13호 준설시 계산된 부유사 농도의 평면분포 .....	177
그림 3.3.24	단면 A에서의 농도변화 비교 .....	177
그림 3.3.25	준설지점에서의 대조기 조위 및 유속 .....	178
그림 3.3.26	대조기 부유사 농도분포 (7월 8일 11시, 저조) .....	179
그림 3.3.27	대조기 부유사 농도분포 (7월 8일 17시, 고조) .....	179
그림 3.3.28	대조기 퇴적입자 분포 (7월 9일 0시) .....	179
그림 3.3.29	준설지점에서의 소조기 조위 및 유속 .....	180
그림 3.3.30	소조기 부유사 농도분포 (7월 15일 17시, 저조) .....	180
그림 3.3.31	소조기 부유사 농도분포 (7월 15일 11시, 고조) .....	181
그림 3.3.32	소조기 퇴적입자 분포 (7월 16일 0시) .....	181
그림 3.3.33	KUSSMOS 운영흐름도 .....	182
그림 3.3.34	프로그램 설치 시작 .....	185
그림 3.3.35	프로그램 설치 상대 .....	185
그림 3.3.36	프로그램 설치 완료 .....	185
그림 3.3.37	KUSSMOS의 스플래쉬 화면 .....	186
그림 3.3.38	KUSSMOS의 주화면 .....	186
그림 3.3.39	KUSSMOS의 주메뉴 1 .....	187
그림 3.3.40	KUSSMOS의 주메뉴 2 .....	187
그림 3.3.41	KUSSMOS의 주메뉴 3 .....	187
그림 3.3.42	KUSSMOS의 주메뉴 4 .....	187
그림 3.3.43	KUSSMOS의 보조메뉴 1 .....	188
그림 3.3.44	KUSSMOS의 보조메뉴 2 .....	188
그림 3.3.45	KUSSMOS의 보조메뉴 3 .....	189
그림 3.3.46	KUSSMOS의 보조메뉴 4 .....	189
그림 3.3.47	KUSSMOS의 보조메뉴 5 .....	190



그림 3.3.48	유속분포 가시화 예 .....	190
그림 3.3.49	부유사 농도분포 가시화 예 .....	191
그림 3.3.50	유속분포 확대가시화 예 .....	191
그림 3.3.51	부유사 농도분포 확대가시화 예 .....	192
그림 3.3.52	D-CORMIX 모형의 부유토사 방류조건 (Doneker and Jirka, 1997) .....	193
그림 3.3.53	D-CORMIX 적용해역에 대한 수리역학적 가정 및 조건 (Doneker and Jirka, 1997) .....	194
그림 3.3.54	주변수 수리역학 조건에 따른 부력제트 혼합유체 형성 (Doneker and Jirka, 1997) .....	194
그림 3.3.55	수면에 수직으로 방류한 경우의 유체역학적 부력제트흐름 분류 ( <a href="http://www.cormix.info/dcormixmodel.php">http://www.cormix.info/dcormixmodel.php</a> ) .....	195
그림 3.3.56	D-CORMIX 모의흐름도 .....	196
그림 3.3.57	준설 작업시 부유토사 플룸의 거동 (좌: CSD, 우: Grab) .....	197
그림 3.3.58	아산항 주변 해저지형 및 CSD 준설지점 .....	197
그림 3.3.59	아산항 준설공사시 수심별 부유토사 농도분포 .....	198
그림 3.3.60	아산항 준설공사시 수심 6m에서의 부유토사 플룸의 거동 .....	199
그림 3.3.61	부유토사 플룸의 연직 두께 .....	201
그림 3.3.62	해저면에서 부유토사 플룸의 수평 농도분포 .....	201
그림 3.3.63	아산항 준설현장의 관측치와 모의 결과의 비교 (그림 3.3.60의 참조선 A를 따른 농도 변화) .....	201
그림 3.3.64	관측번호 1에 대한 모의결과와 관측결과의 단면농도분포비교 (상 : 모의결과, 하 : 관측결과) .....	204
그림 3.3.65	관측번호 2에 대한 모의결과와 관측결과의 단면농도분포비교 (상 : 모의결과, 하 : 관측결과) .....	204
그림 3.3.66	관측치와 모형모의결과의 거리별 부유사의 농도 비교 .....	205
그림 3.3.67	거리별 부유입자별 농도 계산치 .....	205
그림 A1.1	ADCP 이동관측 경로도 (GC3) .....	231
그림 A1.2	ADCP 이동관측 경로도 (KC1) .....	232
그림 A1.3	ADCP 이동관측 경로도 (GC1) .....	233
그림 A1.4	ADCP 이동관측 경로도 (GC2) .....	234
그림 A1.5	ADCP 이동관측 경로도 (GC4) .....	235
그림 A1.6	ADCP 이동관측 경로도 (KC2) .....	236
그림 A1.7	ADCP 이동관측 경로도 (GG1) .....	237

그림 A1.8	ADCP 이동관측 경로도 (KG2) .....	238
그림 A1.9	ADCP 이동관측 경로도 (MG1) .....	239
그림 A1.10	ADCP 이동관측 경로도 (MG2) .....	240
그림 A1.11	ADCP 이동관측 경로도 (SG) .....	241
그림 A1.12	ADCP 이동관측 경로도 (GG2) .....	242
그림 A1.13	ADCP 이동관측 경로도 (GG3) .....	243
그림 A1.14	ADCP 이동관측 경로도 (KG1) .....	244
그림 A1.15	ADCP 이동관측 경로도 (KG3) .....	245
그림 A1.16	ADCP 이동관측 경로도 (BT) .....	246
그림 A1.17	ADCP 이동관측 경로도 (KR) .....	247
그림 A1.18	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GC3, CSD 20,000HP) .....	248
그림 A1.19	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (KC1, CSD 20,000HP) .....	252
그림 A1.20	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GC1, CSD 12,000HP) .....	256
그림 A1.21	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GC2, CSD 7,200HP) .....	258
그림 A1.22	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GC4, CSD 4,400HP) .....	265
그림 A1.23	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GG1, Grab 13m <sup>3</sup> ) .....	267
그림 A1.24	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (KG2, Grab 13m <sup>3</sup> ) .....	273
그림 A1.25	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (MG1, Grab 13m <sup>3</sup> ) .....	276
그림 A1.26	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (MG2, Grab 13m <sup>3</sup> ) .....	281
그림 A1.27	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GG2, Grab 8m <sup>3</sup> ) .....	284
그림 A1.28	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (GG3, Grab 8m <sup>3</sup> ) .....	297
그림 A1.29	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (KG1, Grab 8m <sup>3</sup> ) .....	300
그림 A1.30	준설시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (KG3, Grab 8m <sup>3</sup> ) .....	307
그림 A1.31	사석투하시 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (KR, 기초사석 0.03m <sup>3</sup> 이하) .....	310
그림 A2.1	Grab 준설시 오탉방지막 전후 부유퇴적물 및 유속 단면분포 (인천남항, 아래:방지막 전면, 위:후면) .....	317



## 표 목 차

표 1.1.1	해양생물·여가활동 보호를 위한 Hyannis 港의 준설제한 및 허용기간(Reine <i>et al.</i> , 1998) .....	4
표 2.2.1	CSD 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법 .....	15
표 2.2.2	그랩 준설선 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법 .....	17
표 2.2.3	TSHD 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법 .....	19
표 2.2.4	준설에 의한 부유토사발생원단위 (Nakai, 1978; 운수성, 1982) .....	24
표 2.2.5	세립 퇴적물의 개별 및 응집체 침강속도 (Mehta <i>et al.</i> , 1989) .....	25
표 2.2.6	니질 퇴적층에서 S-factor 법에 의한 부유토사 발생을 (Kirby and Land, 1991) .....	27
표 2.2.7	20,000 마력 CSD 작업시 유실율 (Lorenz, 1999) .....	29
표 2.2.8	Dipper/Backhoe 준설선 작업시 유실율 (Lorenz, 1999) .....	29
표 2.2.9	준설선별 부유토사 농도증분과 단위시간당 발생을 (John <i>et al.</i> , 2000) .....	30
표 2.2.10	PLUMES에 관한 USACE WES의 연구보고서 .....	34
표 3.1.1	부유토사 발생을 현장관측 일람표 .....	50
표 3.1.2	준설토 입경의 통계특성 .....	65
표 3.1.3	20,000 마력 CSD 작업시 부유토사 발생을 (GC3) .....	69
표 3.1.4	군산외항에서 4,000마력 CSD 작업에 따른 수심평균농도 증분 .....	70
표 3.1.5	13m <sup>3</sup> 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생을 (MG1) .....	72
표 3.1.6	쇄암후 8m <sup>3</sup> 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생을 (GG2) .....	73
표 3.1.7	속초항에서 13m <sup>3</sup> 그랩 작업에 따른 수심평균농도 증분 .....	75
표 3.1.8	기초사석(0.03m <sup>3</sup> 이하) 투하시 부유토사 발생을 (KR) .....	77
표 3.1.9	준설 작업에 의한 부유토사 발생을 .....	79
표 3.2.1	부산-2 해역에 설치된 오탃방지막의 위치와 설치길이 .....	88
표 3.2.2	수리·지형·공중에 따른 오탃방지막 설치시 유의사항 .....	96
표 3.2.3	비행선 촬영시 표층부유사 관측위치 및 농도 (부산항건설사무소, 2001) .....	98
표 3.2.4	오탃방지막 효율 관측기간의 준설일지 (2001년 7월) .....	100
표 3.2.5	부산신항-II 지역의 정점별 관측장비 및 관측기간 .....	101
표 3.2.6	부산신항-II 지역의 해저퇴적물 통계특성 .....	102

표 3.2.7	흐름전단응력과 주기별 파랑전단응력 비교 .....	113
표 3.2.8	미준설시 정점 A1에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량 .....	119
표 3.2.9	미준설시 정점 A2에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량 .....	121
표 3.2.10	준설시 정점 A1에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량 .....	123
표 3.2.11	준설시 정점 A2에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량 .....	124
표 3.2.12	오탁방지막 전후 단면의 수심평균농도 (부산신항-II) .....	127
표 3.2.13	인천남항 준설작업 및 현장관측 시간 .....	129
표 3.2.14	준설여부에 따른 부유퇴적물의 오탁방지막 전후단면 통과량 .....	139
표 3.2.15	준설시 오탁방지막 전후 정점의 수심평균농도 (인천남항) .....	140
표 3.2.16	미준설시 오탁방지막 전후 정점의 수심평균농도 (인천남항) .....	140
표 3.2.17	고정식 수하형 오탁방지막 효율 .....	141
표 3.2.18	고정식 수하형 오탁방지막의 일본 표준규격 (海上工事汚濁防止協會, 1999) .....	143
표 3.2.19	비점성퇴적물 입경별 이동한계 전단응력 .....	145
표 3.2.20	일정 유속·파랑조건하의 수심별 해저면 전단응력 .....	146
표 3.3.1	난수발생법에 대한 모형 민감도 분석 .....	169
표 3.3.2	정점별 표층 부유퇴적물 농도 및 중앙입경 .....	175
표 3.3.3	D-CORMIX에서 사용되는 부력제트의 길이축척 .....	195
표 3.3.4	퇴적물 입도분포 및 입경별 침강속도 .....	200
표 3.3.5	해송 13호 작업시 관측자료 .....	202
표 3.3.6	준설선 인근 정점의 부유퇴적물 입도분포(%) .....	202

제1장  
서 론

본 연구와 관련하여 연안개발로 야기될 수 있는 부유퇴적물 농도 증가로 인한 악영향으로부터 연안환경을 보호하려는 구체적인 예로서 미국과 일본, 그리고 덴마크-스웨덴의 사례를 들 수 있다.

먼저 미국은 1972년 제정된 '연방수질오염규제법'을 개정한 1977년의 '청정수질법(Clean Water Act)'을 근간으로 연방 환경보호청(EPA)과 육군공병단(USACE)에 의해 준설 등이 연안생태계에 미칠 수 있는 악영향을 최대한 방지하고 있다. 즉, 관련 기관이 해양환경·생물자원 보호 등을 이유로 준설 등의 연안개발을 특정시기에만 수행하도록 요구할 경우, 미국내 준설을 담당하는 USACE는 이를 검토하여 시공시기를 제한한다. 이와 같이 환경보호를 목적으로 시공시기를 제한하는 것을 'Environmental Windows'라 하며(이하 EW) 미국의 개발준설과 유지준설의 약 80%가 이 규제를 받는다. 표 1.1.1은 준설시기를 제한하는 EW의 한 예이다.

일본의 경우는 미국과 같이 강력한 규제법은 없지만 개발주체가 시민단체와의 협의를 통하여 연안환경보호에 적극적이다. 예를 들어 항만 확충과 친수공간 창출을 위해 조성한 고베(神戸)의 수마(須磨) 인공해빈의 경우, 미국의 EW와 같이 해빈 전면의 김 양식장에 피해를 주는 시기에는 시공을 중단한 관계로 총 15년의 시공기간이 소요되었다.

덴마크의 Copenhagen과 스웨덴 Malmö 사이의 Øresund 해협을 매립과 해저터널, 인공섬과 교량으로 연결하는 총연장 16km의 Øresund Link 건설(1995-2000)에

표 1.1.1 해양생물·여가활동 보호를 위한 Hyannis 港의 준설제한 및 허용기간 (Reine *et al.*, 1998).

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>○ Restriction</b>												
- Sea Turtles												
- Anadromous Fish												
- Winter Flounder												
- Shellfish Spawning												
- Shorebird Mating & Nesting												
- Bathing & Boating Season												
<b>○ Construction Windows</b>												

총 7.5백만 m<sup>3</sup>의 준설이 시행되었다. 해협은 부유퇴적물 농도가 1-3ppm인 청정해역으로 수심 8m까지 海藻類가 서식하며 인근 섬은 람사협약에서 지정한 鳥類보호구역인 관계로 준설시 발생하는 부유퇴적물 유출 한계를 총 준설량의 5%로 제한하였다. 한편 계절별 주간 및 일 한계유실량을 시공전에 설정하여 24시간 모니터링을 실시하였으며, 한계치를 초과할 경우 시공을 일시 중지하는 '조기경보체계'를 운영하였다(그림 1.1.2). 비록 총준설량 대비 유실 허용치를 설정하기 위해서는 대상해역 오염 지시종(indicator species)의 탁도 내성에 관한 충분한 사전조사가 있어야 하고, 24시간 조기경보체계 구축·운영에는 적지 않은 경비가 소요되지만 EW보다 진보된 'sustainable development'라 할 수 있을 것이다.

국내에서도 일정 면적 이상을 개발할 경우, 사전환경영향평가 수행이 법규화되어 있으며, 비록 정량화 과정에 어려움은 있으나 연안환경변화가 크게 심각하지 않을 것으로 예상되는 대부분의 사업은 그 시행을 허가하고 있으며, 예상되는 변화에 따른 지역 주민과의 마찰은 어업피해액 보상으로 해결하고 있는 실정이다. 이러한

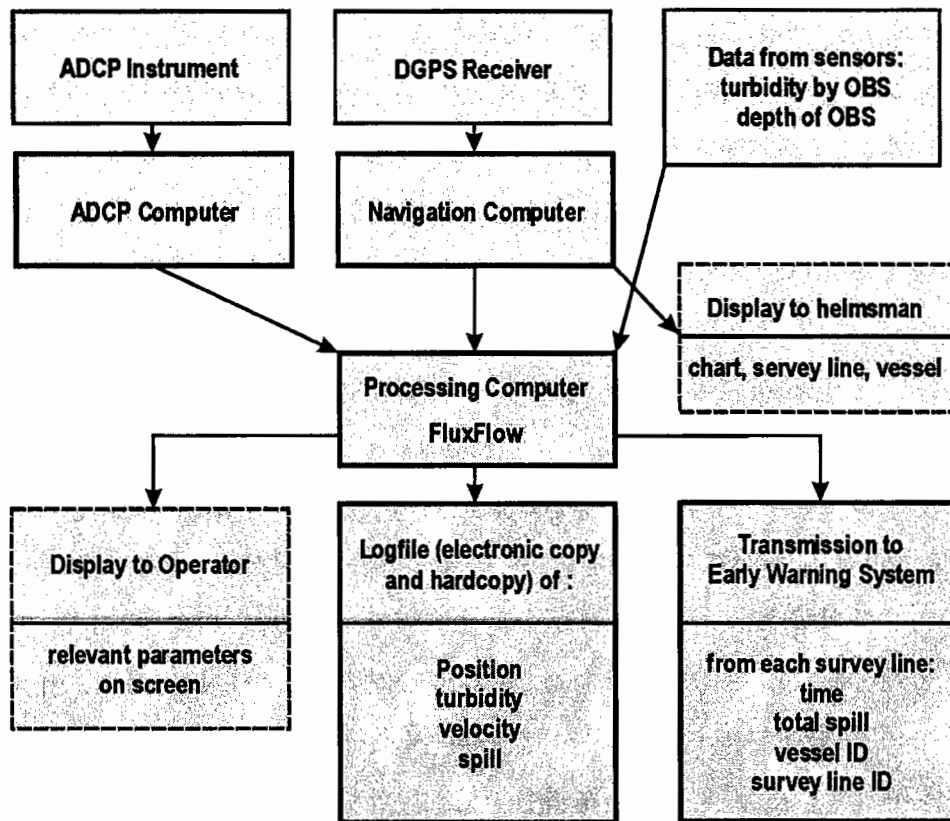


그림 1.1.2 Øresund Link 준설에 의한 부유토사 발생량 실시간 감시 및 조기경보체계 (Jansen, 2001).



연안환경변화 및 피해범위는 수리·퇴적환경 변화에 대한 수치모형실험을 토대로 산정되며, 특히 시공중의 부유퇴적물 농도 증가 정도 및 범위를 결정적인 판단기준으로 삼는다. 따라서, 신뢰성 있는 예측을 위해서는 수치모형실험시의 가장 중요한 입력자료인 공사 종류에 따른 부유토사의 발생량에 관한 신뢰성 있는 정보를 확보하는 것이 필수적이다.

준설, 호안 축조를 위한 사석 투하 등에 의한 부유퇴적물 발생량은 크게 세 가지, 즉 공사종류와 투입장비, 입경분포와 압밀 등 취급토사의 특성, 그리고 유속과 파랑 등 주위수의 물리특성으로 결정되며, 아울러 장비운전자의 숙련도가 중요한 요인으로 작용하기도 한다. 이와 같이 다양한 인위적, 자연적 요인의 영향 뿐 아니라 부유퇴적물 거동에 관한 물리적 규명도 아직 불완전하므로 연안공사에 따른 부유토사 발생량에 관한 범용적인 지침을 수립하는 것은 사실상 불가능하여, John *et al.*(2000)은 “현단계에서 준설에 의해 발생한 부유토사 거동을 수치모형으로 실험하는 과정에서의 가장 중요한 문제점은 비록 그 동안의 많은 현장관측에도 불구하고 준설시의 퇴적물 유실률을 아직 정확히 파악하고 있지 못함에 있다”고 지적하였다.

국제적으로 범용적인 지침이 수립되지 않은 현단계에서는 국지적 관측성과를 이용할 수밖에 없다. 특히 관련 국내 연구가 전무하였던 우리로서는 대부분의 환경영향평가 혹은 피해영향조사 수행시의 수치모형실험 입력자료로서 기관 내부에서의 참조·이용을 목적으로 일본의 旧 운수성 제4항만건설국에서 비공식으로 발간한 부유토사 발생량 관련 지침서를 원용해왔다. 그러나, 일본의 연안환경은 우리 나라와 판이할 뿐 아니라 지침서가 제시하는 부유토사 발생량이 일관성이 있는 것도 아니며, 20여년 전의 조사결과이므로 그 이후 대형화되거나 개량된 시공장비는 포함되어 있지 않다.

국토가 협소하여 지속적인 경제발전을 위해 필요한 산업 및 물류인프라 용지를 향후에도 어느 정도 ‘환경이 감당할 수 있는 범위 내에서의 지속적인 연안개발’을 통하여 확보하여야 하는 우리로서는 개발이 미칠 수 있는 악영향 유무 및 정도를 신뢰성 있게 예측할 수 있는 기술과 정보를 충분히 확보하여야 하며, 이를 위해서 우리 나라의 연안환경과 연안공사시 빈번히 사용하는 공법 및 장비가 충분히 반영된 부유토사 발생량 산정지침의 수립이 시급한 실정이다.

한편 국내에서는 전술한 미국의 EW나 Øresund Link의 탁도감시 및 조기경보 체계와 같이 연안생태계를 보다 적극적으로 보존하려는 시도가 없었으며, 단지 연

안공사시의 부유퇴적물 증가로 인해 발생할 수 있는 환경 악영향을 저감시키는 유일한 방안으로서 거의 모든 공사에 오탉방지막 설치를 의무화하고 있는 실정이다. 그러나 주변 유속이 약 0.4m/s 이상인 해역에서는 오탉방지막의 효과가 없을 뿐 아니라(Furudoi, 2000; MMS, 1996), 전층 방지막이 아닐 경우에는 유속 강화로 인한 침식으로 부유퇴적물 농도가 증가할 수도 있으며, 유속이 약하다더라도 파랑에너지가 크면 그 효율은 거의 기대할 수 없다. 그럼에도 불구하고 우리 나라는 시공해역에서의 오탉방지막 효율에 관한 현장검증 없이, 경우에 따라서는 부유토사 확산 저감 효율이 의심스러운 해역에 2중 오탉방지막을 설치하여 시공효율을 저하시키고 있을 뿐 아니라 심지어는 설치 후의 관리소홀로 말미암아 오탉방지막 자체가 환경쓰레기화 되는 경우도 있다. 따라서 우리 나라 연안환경을 고려하여 수리환경에 따른 오탉방지막 설치여부와 설치시의 효율제고방안 등에 관한 종합적인 검토가 필요하다.

준설 등의 연안공사로 유발되는 퇴적물의 해수로의 유출은 피할 수 없다. 만일 특정 해역의 특정 공사에 따른 부유토사 발생량에 관한 신뢰성 있는 정보를 확보할 수 있다면 신뢰성 있는 환경영향평가를 위한 일차적인 필요조건은 충족된 것이며, 다음 단계는 대상해역의 수리조건과 발생된 퇴적물 플룸의 거동, 그리고 그 영향이 미치는 시간 및 공간규모를 고려하여 최적의 수치모형을 선정 후 발생된 부유토사의 환경영향 유무와 정도를 예측하는 것이다.

그러나 퇴적물 이동 및 생태모형에는 아직 규명되지 않은 불확실성이 많이 포함되어 있으므로 연안환경을 보다 효율적으로 관리하기 위해서는 공사 개시 후에 주요 환경지표종에 대한 현장관측과 수치모형 세련화를 지속적으로 실시하여 환경영향 유무 및 정도를 지속적으로 점검할 필요가 있다. 이러한 일련의 과정을 보다 엄격하게, 즉 시공 중의 악영향이 사전평가보다 클 경우 당초의 시공 계획을 전면 재평가하는 체계를 구축한 좋은 예가 Øresund Link 시공시 운영한 Feedback Monitoring (이하 FM, 미국에서는 'adaptive management'라 칭함)이다 (그림 1.1.3).

Øresund Link의 FM과 같이 엄격하게 시행되지는 않지만 우리 나라의 경우도 이와 유사하게, 시공자가 시공 중의 환경변화를 모니터링하는 '사후환경영향조사'을 의무적으로 시행하고 있다. 그러나 환경변화 추이를 면밀하게 파악하기에는 시간 및 공간적으로 관측간격이 너무 크며 시공중의 문제 발생시 그 영향을 신속하게 예측할 수 시스템이 대부분의 '사후환경영향조사'에 포함되어 있지 않다.

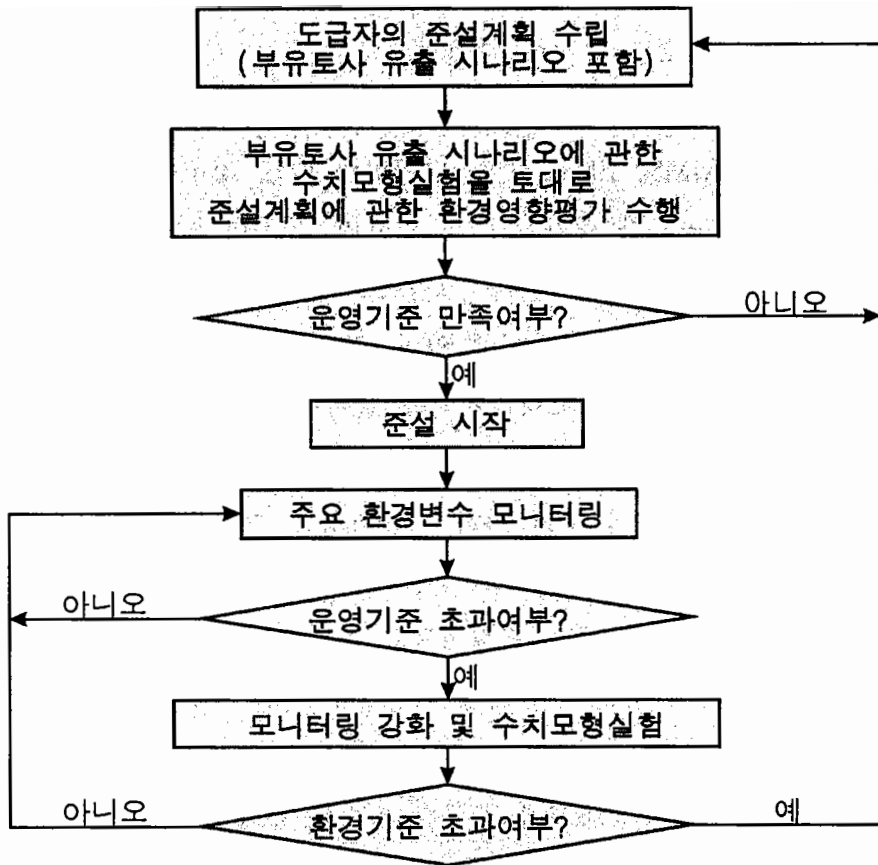


그림 1.1.3 Øresund 해협 준설에 따른 해양환경훼손 방지를 위한 피드백 모니터링 체계 계통도 (Jensen, 2001).

따라서 연안개발에 따른 환경변화를 사전에 신뢰성 있게 예측함은 물론 시공상황을 반영한 시공중 환경변화 추이를 신속하게 예측하여 문제 발생시 그 악영향을 신속하게 대처하여야 한다. 또한 발생할 수 있는 연안환경피해를 최소화함과 아울러 환경피해에 따른 공사중지 등에 의해 시공효율이 저하되는 것을 방지하기 위해서는 공사 해석의 다양한 변수에 관한 신속한 예측시스템을 구축하는 것이 필요하다.

이상과 같은 필요성을 배경으로 시작된 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 1) 첨단 관측장비를 이용한 현장관측자료를 이용하여 국내 연안환경이 충분히 반영된 연안 공사 종류별 오탁발생량에 관한 신뢰성 있는 지침을 수립하고,
- 2) 오탁방지막 설치·관리실태를 파악하고 효율을 관측하여 효율적인 오탁방지막 설치방안을 검토함과 아울러
- 3) 부유토사 이송·확산 거동을 신속하게 예측할 수 있는 운용시스템을 수립함.

본 연구의 핵심 내용은 공중별 부유토사 발생량 산정이다. 전술한 바와 같이 항만공사에 따른 부유토사 발생량에 영향을 미치는 인자는 다양하고 국지적 영향이 크므로 산정의 신뢰성을 높이기 위해서는 정밀한 현장관측이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 최근 미국, 영국 등 해양선진국에서 부유토사 거동 관측에 효율적으로 사용하고 있는 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 비롯한 첨단 장비를 이용하여 주요 공사 지점에서 관측하였다. 한편 연안공사 모든 공종을 대상으로 하기에는 관측방법, 기간 측면에서 무리가 따르므로 부유토사 발생량이 가장 높은 준설에 초점을 맞추었다.

오탁방지막의 경우, 우선 국내 공사현장의 설치방식, 관리실태를 파악함과 아울러 주요 공사지점에서 방지막 전후의 부유퇴적물 농도를 관측하여 그 저감효율을 파악하였다. 이와 같은 과정으로 파악된 설치·운영 실태 및 효율과 다양한 방식의 오탁방지막을 설치·운영하고 있는 일본의 사례를 비교·검토하여 향후 국내의 오탁방지막 설치효율을 제고할 수 있는 방안을 제시하였다.

수치모형의 경우, 우선 부유토사의 원역 거동을 신속하게 예측할 수 있는 운영 시스템을 구축함과 아울러 근역 거동 예측을 위해 US EPA가 주도하여 개발한 모형인 D-CORMIX를 공사현장에 적용하여 그 이용 가능성을 검토하였다.

본 보고서의 구성은 제1장의 서론에 이어 제2장 국내외 기술개발동향, 제3장 연구개발 수행내용 및 결과, 제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도 그리고 제5장의 연구개발결과 활용계획 순이며, 주요 현장관측결과와 일본에서 수집한 오탁방지막 설계 관련 자료를 부록에 제시하였다.



제2장  
국내외 기술개발 현황



## 제2장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 서 론

전술한 바와 같이 국내에서 본 연구 이전에 연안공사 중의 부유토사 발생량 평가에 관련된 연구는 없었다. 따라서 연구 수행 과정에서 발생할 수 있는 시행착오를 최대한 줄이기 위해서는 해양선진국에서 기 수행된 관련 연구성과를 파악하여 연구방향을 설정하는 것이 중요하다. 아울러 본 연구의 주요 결과는 현장관측 성과를 토대로 도출되므로 연구결과의 신뢰도는 최적의 관측장비 및 관측방법 선정여부에 크게 좌우된다.

따라서 본 장에서는 본 연구의 목적과 관련한 최근까지의 국외 연구성과 및 기술현황을 소개한다. 먼저, 2절에서 항만공사에서 부유토사를 가장 많이 발생시키는 공종인 개발 및 유지준설을 위해 국내에서 가장 많이 사용되는 cutter suction 준설선(이하 CSD), grab 준설선, 그리고 trailing suction hopper 준설선(이하 TSHD) 작업시의 부유토사 발생과정과 이의 저감방안, 그리고 부유토사 발생량에 관한 국외 연구성과를 검토한다. TSHD의 경우, 아직 사용 빈도가 낮으나 준설토를 이용한 연안매립이 갯벌훼손 등을 이유로 환경문제로 대두됨에 따라 향후 그 이용도가 높아질 것으로 예상된다. 발생량 검토와 함께 신속하고 신뢰성 있는 부유토사 거동 파악 및 발생량 산정을 위해 최근 많이 응용되고 있는 ADCP를 이용한 부유퇴적물 관측기법을 소개한다. 다음으로 제3절에서는 부유토사 확산저감 및 운영효율 제고를 위한 오탃방지막의 설치요령을 일본의 예를 중심으로 검토하였으며, 특별히 오탃방지막의 설치여부를 결정짓는 주위수 한계유속에 관한 기존의 성과를 수집·정리하였다. 마지막 제4절에서는 미국 육군공병단 Waterways Experiment Station(이하 WES) Environmental Laboratory(이하 EL)에서 준설 관련 연구 프로그램을 통하여 얻은 연구성과를 중심으로 준설 및 준설토 투기시 부유퇴적물 플룸(plume)의 거동 예측에 이용되는 수치모형을 사용 목적별로 소개한다.



## 제2절 부유토사 발생 및 발생량 관측

### 1. 주요 준설선별 부유토사 발생과정 및 발생량 저감방안

개발·유지준설과 골재채취를 위해 사용하는 준설선은 크게 grab, backhoe 및 dipper 준설선과 같은 기계식과 CSD 및 TSHD와 같은 흡입식(보통 hydraulic 형이라 칭함)으로 대별된다. 현재 사용되고 있는 대표적인 준설선의 장단점은 1차년도 보고서에 수록하였으므로 본 절에서는 국내에서 가장 빈번히 이용하고 있는 CSD와 grab 준설선, 그리고 향후 사용빈도가 높아질 것으로 예상되는 TSHD 작업시 퇴적물이 수중으로 유출되는 과정과 이를 저감시킬 수 있는 방안(John *et al.*, 2000)에 대해 살펴본다.

#### 가. Cutter Suction Dredger

그림 2.2.1에 그 특성을 개략적으로 제시한 CSD는 흡입파이프 선단에 장착된 강력한 분쇄기(cutter)로 해저면을 절개·분쇄하여 원심펌프로 빨아올리며, 이 준설토는 일반적으로 CSD에 연결된 파이프라인을 통해 투기장으로 보내지며 경우에 따라서는 토운선으로 처리된다. CSD는 준설 해저면의 상태가 암반을 포함하여 작업범위가 넓으나 양묘선(揚錨船)을 포함하는 선단 구성 등 부대비가 많이 들고 배서관 이용시 준설토 운반거리가 제한된다.

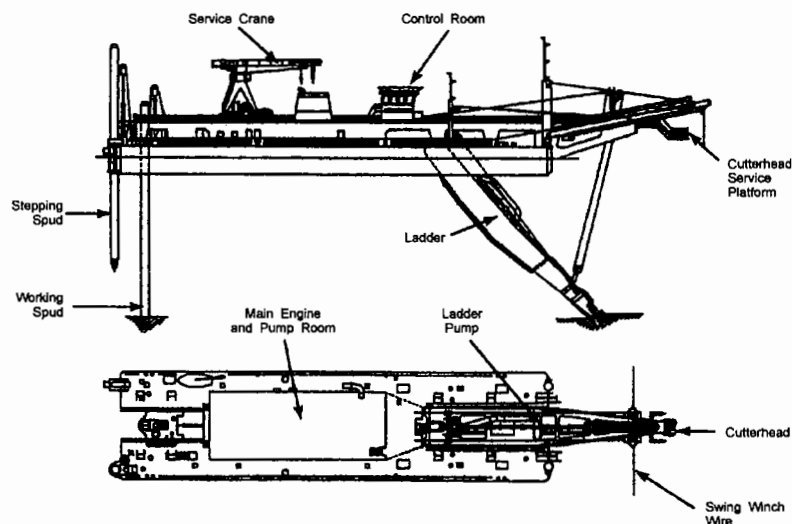


그림 2.2.1 CSD의 주요 구성부 (Bray *et al.*, 1997).

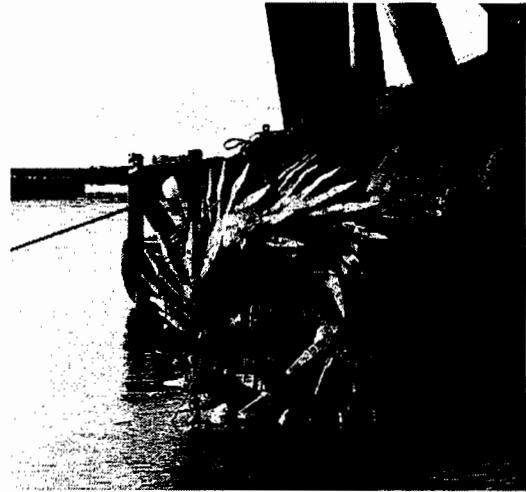


그림 2.2.2 20,000 마력급 CSD Castor(좌, Jansen, 2001) 및 7,200 마력급 CSD 옥포號의 cutterhead(우).

CSD가 부유토사를 발생시키는 원인과 발생량을 저감시킬 수 있는 방법은 표 2.2.1과 같다(John *et al.*, 2000; MMS, 1996).

표 2.2.1 CSD 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법.

발 생 원 인	저 감 방 법
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분쇄기 회전에 의해 발생하는 원심력에 의해 퇴적물이 펌프 흡입거리 밖으로 이동하고, 난류와 재부유 증가</li> <li>• 굴착에 의한 부유퇴적물 발생율이 펌프의 흡입율을 초과할 때</li> <li>• 퇴적층내 가스 교란에 의한 재부유 증가</li> <li>• 때로는 준설토의 토운선 적재시 토운선 밖으로 월류</li> <li>• swing wire 지지대의 이동</li> <li>• 배사관 누출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분쇄기 회전속도·swing 속도·흡입율을 부유토사 발생량 저감 측면에서 최적화</li> <li>• 분쇄된 퇴적물이 펌프 흡입가능거리 이상으로 분산되지 않도록 분쇄기 주변에 덮개 설치</li> <li>• 분쇄된 퇴적물이 흡입구 방향으로 이동하도록 분쇄기의 최적설계화</li> <li>• 퇴적층이 두꺼울 경우 분쇄기가 퇴적층에 묻히면 흡입율보다 굴착율이 높아지므로 수회에 걸쳐 준설하여 분쇄기가 묻히지 않도록 함.</li> </ul>

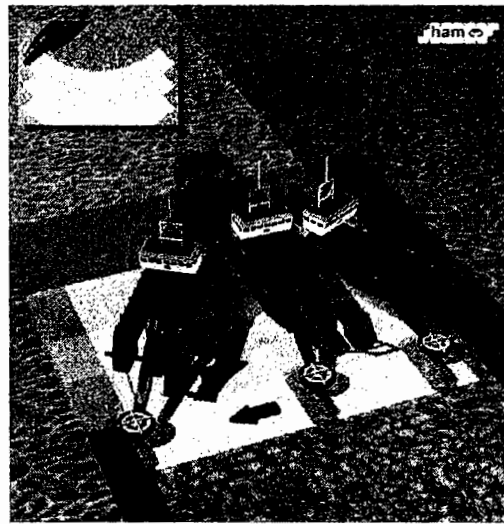
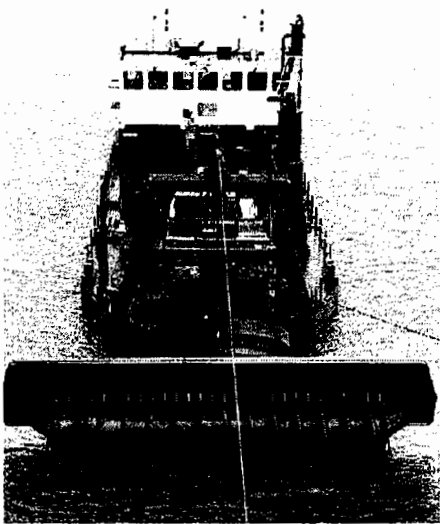


그림 2.2.3 Auger dredger HAM 291(좌)의 swing 모식도(우)  
 (<http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg360.htm>).

최근 준설토의 수중 유출을 저감하는 여러 종류의 준설선이 개발되고 있으며, 이러한 준설선을 environmental dredger(이하 ED)라 한다. 흡입형의 대표적 ED는 분쇄기가 나사형인 auger dredger(그림 2.2.3)로서 오염된 해저면 준설 등 준설토의 수중 유출을 최대한 억제해야 할 경우에 사용한다. 나사형 분쇄기의 길이는 2-14m 정도이며, 분쇄된 퇴적물은 분쇄기 중앙부로 모여 선상 흡입된다. 그러나 준설 두께가 수 cm에서 1m 정도로 국한된다.

#### 나. Grab Dredger

그림 2.2.4는 가장 대표적인 기계식 그랩 준설선의 주요 구성부와 작업시 표층에서 현탁물 발생 전경이다. 준설토의 수중 유출을 억제하기 위해 다양한 형태를 갖는 그랩의 체적은 약 1-20m<sup>3</sup> 정도이다. 또한 수심, 해저면 상태, 운전자의 숙련도 등에 따라 차이가 있지만 그랩작업 cycle 시간은 1분 미만에서 2분 정도이다.

크레인이 폰툰선 상에 있고 준설토를 별도의 토운선에 실어 운반하는 것이 일반적이지만, 크레인이 장착되고 호퍼(일반적으로 1,500m<sup>3</sup> 이하의 소형)가 내장된 grab hopper dredger도 있다. 폰툰형 그랩 준설선은, 비록 작업효율이 다른 준설선에 비해 낮으나 船渠나 안벽 등 접근이 어려운 해역의 준설에 적합하다.

크레인을 이용하여 그랩을 내리고 올리는 과정 중의 부유토사 발생원인과 그 저감방법은 표 2.2.2와 같다.

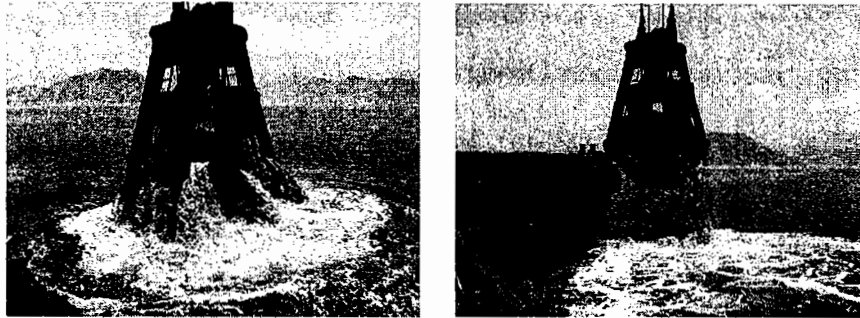
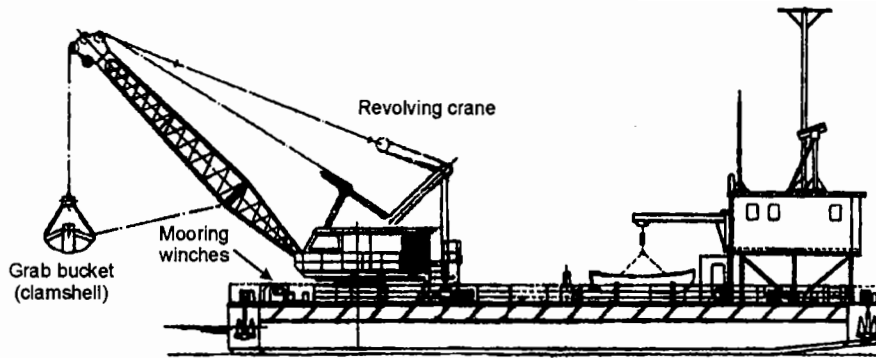


그림 2.2.4 그랩 준설선 주요 구성부(위, Bray *et al.*, 1997) 및 수면 및 토운선으로 이동시 현탁물 발생 전경(아래).

표 2.2.2 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법.

발생원인	저감방법
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그랩이 해저면에 가하는 충격</li> <li>• 그랩을 닫을 때와 해저면으로부터의 초기 이격시의 저면교란</li> <li>• 그랩 상승 동안의 유출</li> <li>• 상승 동안의 그랩 겉표면 씻김</li> <li>• 수면 밖으로 노출된 후부터 토운선으로 이동하는 동안의 유출</li> <li>• 하강시의 그랩 씻김</li> <li>• 재부유를 증가시킬 수 있는 퇴적층 내의 가스 교란</li> <li>• 토운선으로부터의 유출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 防水 그랩 사용</li> <li>• 油壓(Hydraulic) 그랩 사용</li> <li>• 오탉방지막 설치</li> <li>• 수면 밖으로 노출된 후부터 토운선까지 이동시간 단축</li> <li>• 준설 후 저면 고르기 작업을 위해 그랩을 저면에서 끄는 정지작업 제한</li> </ul>

방수 그랩 상부에는 고무 혹은 철재 경첩판이 부착되어 그랩을 올릴 때 물/세질퇴적물 혼합체가 수중으로 유출되는 것을 크게 저감시킬 수 있다. 또한 유압 그랩은 그 개폐를 선상에서 제어하므로 암석이나 기타 장애물에 의해 그랩이 완전히 닫히지 않은 채 올려져 많은 퇴적물이 유출되는 것을 방지할 수 있다. 오타방지막의 효율은 주변 유속과 설치방법에 따라 크게 좌우되며 경우에 따라 준설지점에서부터 특정거리에서의 부유토사 농도를 50% 이상 저감시킬 수 있다(Kirby and Land, 1991).

#### 다. Trailing Suction Hopper Dredger

아직은 국내의 개발·유지준설시 투입빈도가 CSD에 미치지 못하지만 연안매립지를 확보하기가 점차 어려워지는 현실에 비추어 향후 이용도가 높아질 것으로 예상된다. TSHD(그림 2.2.5)는 암반을 제외한 모든 입자의 준설에 이용되지만, 제한된 영역에서 사용하기에는 적합하지 않다. 호퍼의 크기는 750m<sup>3</sup>에서 33,000m<sup>3</sup>까지 다양하지만 일반적으로 3,000m<sup>3</sup> 이하이다. 항해하면서 흡입파이프를 통하여 퇴적물을 빨아올려 준설선 내 호퍼에 담은 TSHD 흡입파이프 선단의 예인두부(draghead)는 흡입되는 물/퇴적물 혼합체(slurry)의 농도가 최대가 되도록 설계되며, 빨아올려진 혼합체의 일부는 호퍼 내에서 침강되는 반면 나머지 세립질은 상부의 물과 함께 餘水路(spillway)를 통해 유출된다.

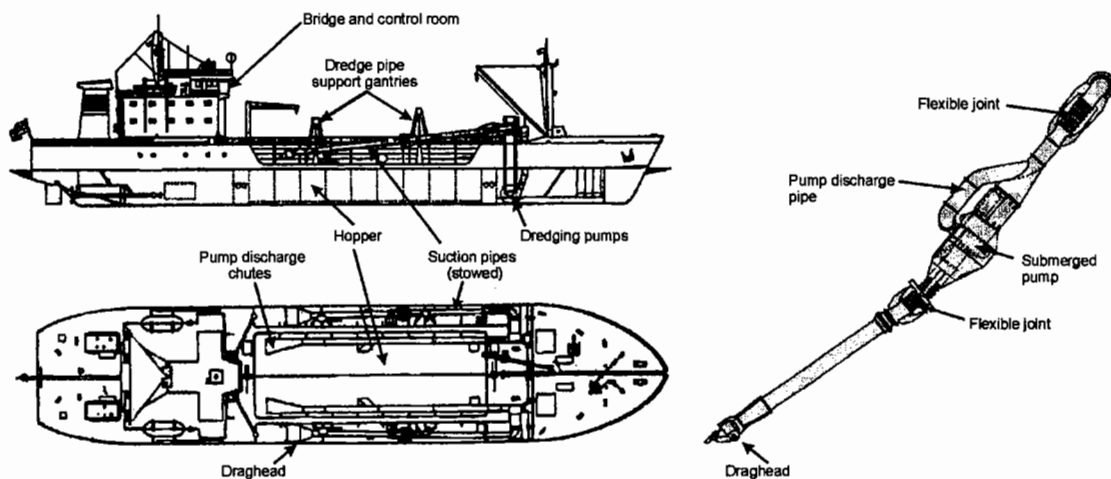


그림 2.2.5 TSHD의 주요 구성부와 펌프가 장착된 흡입파이프(Bray et al., 1997).

이와 같은 overflow는 호퍼를 주로 사질로 채우고 실트를 함유한 물을 제거하기 위한 것이다(보통 30분 이하). Mud 지역에서는 이러한 유출시간을 연장하는 것이 거의 소용이 없으며, 이는 호퍼로 빨아들이는 퇴적물의 밀도가 배출수의 밀도와 거의 같아지는 시점이 빠르기 때문이다. 때로 환경에 미치는 악영향 때문에 mud 지역, 특히 퇴적물이 오염된 지역에서의 유출은 제한된다. 일부 최신의 TSHD에는 빨아올리는 혼합체의 밀도를 감지하여 미리 입력된 값 이하일 경우에는 혼합체의 경로를 변경하여 준설선 밖으로 배출하는 'Light Material Over Board (LMOB)' system을 갖추고 있다. 이 시스템은 사질이나 니질만을 준설할 경우에는 사용하지 않고, 사니질 혼합퇴적상에서의 준설시 호퍼 내의 물에 대한 퇴적물의 비를 최대화하는 데 유용하다.

TSHD의 작업시 퇴적물이 수중으로 유출되는 원인과 그 유출량을 저감할 수 있는 방법은 표 2.2.3과 같다.

표 2.2.3 TSHD 작업시 부유토사 발생원인 및 발생량 저감방법.

발생원인	저감방법
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 예인두부(draghead)에 의한 해저면 교란</li> <li>• 여수로를 통해 배출되는 물/퇴적물 혼합체</li> <li>• 골재 채취시 선별된(screened) 잔여퇴적물 배출</li> <li>• LMOB에 의한 배출</li> <li>• 준설선 스크류로 형성되는 난류에 의한 해저면 침식</li> <li>• 퇴적층 내의 가스 교란에 의한 재부유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 예인속도, 흡입파이프 두부 위치, 펌프를 통한 배출을 부유토사 발생 저감측면에서 최적화</li> <li>• 흡입 流線이 굴착점과 접하게 하면 흡입 뿐 아니라 흐름에 의해 침식이 증가하므로 흡입되는 물/퇴적물 혼합체 중의 물의 비율을 낮출 수 있음.</li> <li>• 호퍼 내의 상등수를 다시 흡입파이프 두부로 방출하여 침식율을 높임. 이를 'return flow method'라 함 (van Doon, 1988).</li> <li>• 방출시키는 물/퇴적물 혼합체에는 상당 체적의 기포가 함유되어 있어 퇴적물이 쉽게 침강하지 않으므로 방출 전에 기포를 제거함.</li> </ul>

## 2. 부유토사 발생량 평가에 관한 기존 연구

준설, 매립 등 다양한 연안개발 공종에 대한 부유토사 발생량의 정량적 정보를 얻기 위해서는 현장관측이 필수적이다. 그러나 발생된 고농도 퇴적물 플룸의 거동과 고농도에서 저농도로의 전이특성에 관한 이해가 아직 부족하고, 발생량에 미치는 국지적 인자가 다양하여 범용적 지침 수립에 어려움이 따른다.

본 소절에서는 준설에 의한 부유토사 발생량 평가 방법과 각 방법에 따른 기존의 관측결과를 살펴본다. 그러나 예시된 각 관측결과는 비교할 수 없는 서로 다른 접근방법에 따른 것이고 준설선으로부터 관측점까지의 거리도 서로 다르며, 그리고 발생량과 관련한 중요한 정보의 누락으로 참조시 각별한 주의가 요망된다.

먼저 준설작업 동안에 수중으로 유실된 퇴적물은 다음 다섯 가지 방법으로 나뉜다.

- ① 퇴적물 농도 증분 (mg/l)
- ② 단위시간당 발생율 (kg/s)
- ③ 준설량 대비 유실율 (%)
- ④ Turbidity Generation Unit (TGU, kg/m<sup>3</sup>)
- ⑤ S-factor (kg/m<sup>3</sup>)

위 방법 중 TGU까지는 상위 과정을 전제로 한다. 즉, TGU를 구하기 위해서는 유실율과 총준설량을, 유실율을 구하기 위해서는 시간당 발생량과 총준설량을 알아야 하며, 시간당 발생량을 구하기 위해서는 농도 증분과 유속을 관측하여야 한다. TGU 및 S-factor 법의 최종계산치는 단위준설체적당 부유토사 발생량(kg/m<sup>3</sup>)으로서 같으나 접근방법이 전혀 다르며, 그 값의 의미도 다름을 주의하여야 한다. TGU를 제외한 4개 방법은 전적으로 관측치에만 의존하지만 TGU 법에는 관측과 함께 가정을 포함한 이론식이 포함되어 있다. 일본에서는 TGU를 ‘汚濁發生原單位’라 칭하지만 본 연구에서는 ‘浮遊土砂發生原單位’라 부르기로 한다. 한편 유실율을 구하기 위해서는 준설지점으로부터 일정 거리 떨어진 기준 단면을 따라 준설에 의해 발생한 부유퇴적물의 이동속(flux)을 측정하여야 하므로 흔히 이를 ‘sediment flux method’라 부른다 (John *et al.*, 2000).

## 가. 부유토사발생원단위

TGU는 일본 旧운수성 제4항만건설국 해역정비과(이하 운수성)가 1973-1976년 동안 수행한 준설·매립에 의한 부유토사 발생량 조사에서 정의된 개념 (Nakai, 1978; 운수성, 1982)이다. 그 동안 다양한 연안공사에 의해 발생한 부유토사 영향범위를 예측하는 국내 수치모형실험에서 TGU 법이 가장 널리 이용되었으나 TGU의 개념을 충분히 이해하지 못한 채 사용함으로써 발생량을 과대 혹은 과소 입력하는 경우도 있었으므로, 올바른 TGU 이용과 TGU의 문제점을 파악하기 위해 그 배경 이론을 살펴볼 필요가 있다.

특정 준설선을 이용한 특정 해역에서의 특정 시간 동안의 총준설량을  $W_d(\text{kg})$ , 같은 시간 동안 준설작업에 의해 수중으로 유출된 부유토사량을  $W_o(\text{kg})$ 라 하면 두 값을 다음 선형식으로 나타낼 수 있다.

$$W_o = \lambda_o W_d \quad (2.2.1)$$

여기서  $\lambda_o$ 는 준설선 종류와 유속, 해저면 상태(압밀과 입경분포 등)와 준설선 운전자의 숙련도와 파랑 등에 따라 변하는 유실계수(<1.0)이다.

단위준설량당 부유토사 발생량,  $T_o(\text{kg}/\text{m}^3)$ 를 구하기 위해 (2.2.1)의 양변을 총준설체적으로 나누면 다음과 같고

$$T_o = \lambda_o \gamma \quad (2.2.2)$$

여기서  $\gamma$ 는 퇴적층의 비중이다.

Nakai는 “표준조건하에서 단위량 준설시 발생하는 부유토사 발생량”으로 정의한 TGU 개념을 도입하였으며, 그 표준조건으로 “입경  $74\mu\text{m}$  이하의 입자들만이 재부유할 수 있는 한계유속”으로 설정하였다. 따라서 식 (2.2.2)를 이러한 표준조건으로 환산하면 다음과 같으며

$$T_{74} = \frac{R_{74}}{R_o} T_o = \frac{R_{74}}{R_o} \lambda_o \gamma \quad (2.2.3)$$

여기서  $T_{74}(\text{kg}/\text{m}^3)$ 가 단위량 준설시 발생하는 부유토사 발생량의 표준치, 즉 TGU이고,  $R_{74}$ 는 해저퇴적물 중 입경  $74\mu\text{m}$  이하 입자들의 무게비이고,  $R_o$ 는 현지 대표 유속  $V_c$ 로 부유 가능한 최대입경  $d_o$  이하 입자들의 무게비이다. 한편 입경별 부유



한계유속은 74 $\mu$ m를 기준으로 두 식으로 나뉜 그림 2.2.6으로 구한다.

따라서 특정 해역에서의 특정 준설선 작업시의 TGU를 안다면 해저퇴적물 입경분포가 유사하지만 유속이 다른 해역에서의 동일 준설선 작업시의 단위체적 준설 당 발생량  $T_0$ 를 식 (2.2.3)으로 구할 수 있다.

그러나 식 (2.2.1)의  $W_0$ 는 준설점에서의 발생량이며, 이를 정확히 관측한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 준설에 의해 발생한 부유토사 플룸이 통과하는, 준설점으로부터 일정 거리 떨어진 단면상에서의 관측치를 이용할 수밖에 없다.

즉, 준설점으로부터 일정 거리( $x=L$ ) 떨어진 단면을 통과하는 준설로 인해 발생한 부유토사의 移動束(flux, kg/s),  $\Delta S_L$ 은 다음과 같으며,

$$\Delta S_L = \int_0^B \int_0^H (c_{LT} - c_{LB}) \cdot u_L dz dy = \int_0^B \int_0^H c_{LP} \cdot u_L dz dy \quad (2.2.4)$$

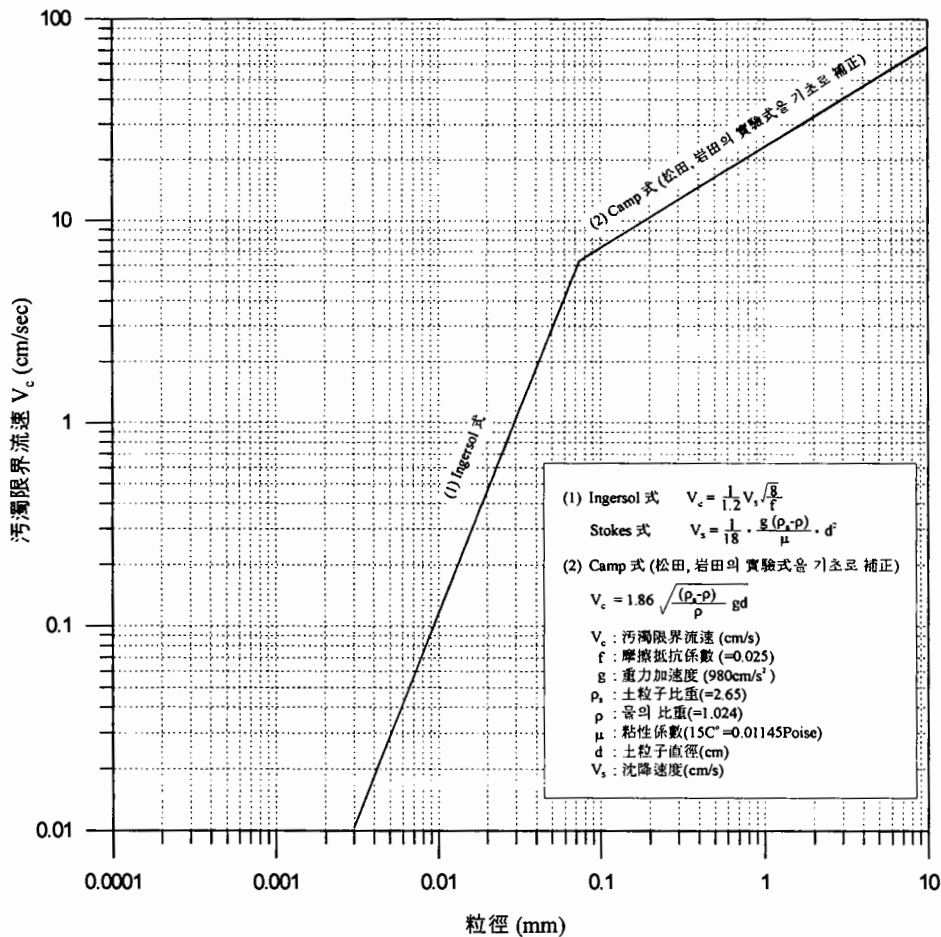


그림 2.2.6 입경별 부유한계유속 (운수성, 1982).

여기서,  $B$ 는 단면폭,  $H$ 는 수심,  $C_{LT}$ 는 배경농도와 플룸농도의 합,  $C_{LB}$ 와  $C_{LP}$ 는 각각 배경농도와 플룸농도,  $u_L$ 는 유속, 그리고  $y$ 와  $z$ 는 각각 플룸 진행방향의 법선방향 좌표와 연직좌표이다. 배경농도를 설정하기 위해서는 플룸을 포함하는 단면폭  $B$ 를 충분히 넓게 설정할 필요가 있다.

식 (2.2.4)를 다음과 같이 단면평균 플룸농도  $C_{LP}$ 와 단면평균유속  $U_L$  및 단면 평균수심  $H_L$ 로 나타내면 다음과 같고

$$\Delta S_L = B H_L U_L C_{LP} \quad (2.2.5)$$

이를 체적준설율,  $Q_o(m^3/s)$ 로 나누면 발생점으로부터 거리  $L$ 만큼 떨어진 곳에서의 단위체적 준설당 발생량  $T_L$ 을 구할 수 있다. 즉,

$$T_L = \frac{\Delta S_L}{Q_o} = \frac{B H_L U_L C_{LP}}{Q_o} \quad (2.2.6)$$

Nakai는 그림 2.2.7에 나타낸 방식으로 관측하여 얻은 식 (2.2.6)의  $T_L$ 을 식 (2.2.3)의  $T_o$ 로 가정하여  $T_{74}$ 를 산정하였으며, 준설선 및 해저퇴적물 입경분포별 TGU를 표 2.2.4와 같이 제시하였다.

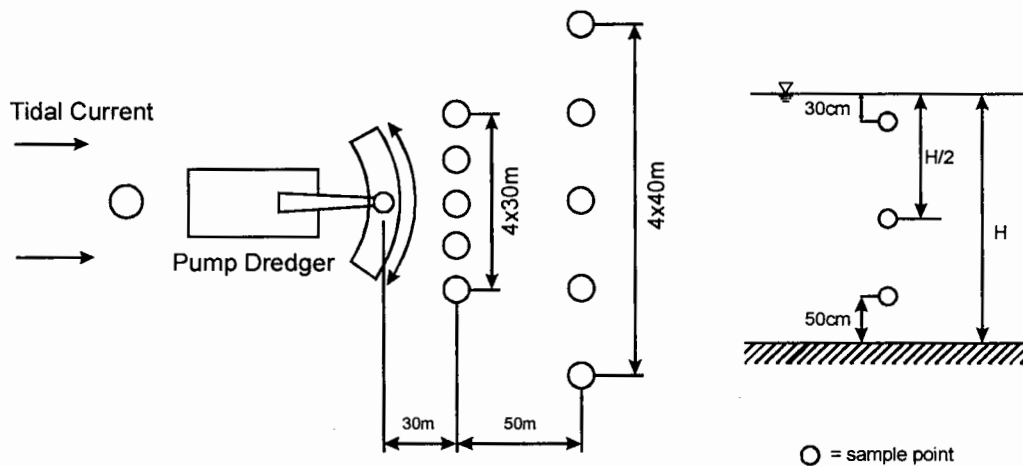


그림 2.2.7 CSD 준설시 부유토사발생량 관측정점 (Nakai, 1978).

표 2.2.4 준설에 의한 부유토사발생원단위 (Nakai, 1978; 운수성, 1982).

준설선 종 류	준설선 규 모	해저퇴적물 입경특성			TGU (kg/m <sup>3</sup> )
		d<74 $\mu$ m (%)	d<5 $\mu$ m (%)	Sediment Type	
CSD	4,000 HP	99.0	40.0	Silty clay	5.3
		98.5	36.0	Silty clay	22.5
		99.0	47.5	Clay	36.4
		31.8	11.4	Sandy loam	1.4
		69.2	35.4	Clay	45.2
		74.5	50.5	Sandy loam	12.1
	2,500 HP	94.4	34.5	Silty clay	9.9
	2,000 HP	3.0	3.0	Sand	0.2
		2.5	1.5	Sand	0.3
8.0		2.0	Sand	0.1	
TSHD	2,400 HP×2	92.0	20.7	Silty clay	7.1
		88.1	19.4	Silty loam	12.1
	1,800 HP	83.2	33.4	Silt	25.2
Grab	8m <sup>3</sup>	58.0	34.6	Silty loam	89.0* 9.9*
	4m <sup>3</sup>	54.8	41.2	Clay	84.2
	3m <sup>3</sup>	45.0	3.5	Silty loam	15.8
		62.0	5.5	Silty loam	11.9
		87.5	6.0	Silty loam	17.1
Bucket	0.2m <sup>3</sup>	10.4	1.5	Sand	17.6
		27.7	12.5	Sandy loam	55.8

注\*) 동일 토질에 대하여 측정된 것이지만 발생원단위를 산출하기 위해 大潮時와 小潮時의 자료를 사용하였음.

유도과정에 무리한 가정이 포함되지 않은 듯한 TGU에는 유속과 해저퇴적물 정보를 포함하고 있으므로 준설조건이 유사한 경우의 부유토사 확산 예측에 매우 유용한 자료임은 사실이다. 즉, 새로운 준설작업에서의 준설선과 해저퇴적물 특성이 표 2.2.4의 특정 경우와 유사하면, 현지 유속과 해저퇴적물 분포 및 그림 2.2.6으로 구한  $R_0$ 를 표 2.2.4에서 얻는  $R_{74}$ 와  $T_{74}$ 와 함께 식 (2.2.3)에 대입함으로써 현지 조건에 맞는 단위체적 준설당 부유토사 발생량  $T_0$ 를 구할 수 있으며, 이를 단위시간당 준설체적(m<sup>3</sup>/s)으로 나누면 단위시간당 부유토사 발생량(kg/s)을 얻고, 여기에 수치 모형 계산시간 간격  $\Delta t$ 를 곱한 계산 step 당 발생량(kg/step)이 모형의 source 입

력자료인 것이다.

그러나 접근방법이 일견 논리적이지만 표 2.2.4에 제시된 TGU의 변동폭이 크다. 즉, 4,000 마력 CSD의 경우 해저퇴적물 입도조성이 유사함에도 TGU가 5.3 kg/m<sup>3</sup>에서 36.4 kg/m<sup>3</sup>까지 약 7배의 차이를 보인다. 이러한 차이는 8m<sup>3</sup> 그랩 준설의 경우에 더욱 크다(Nakai의 논문에는 9.9 kg/m<sup>3</sup>가 포함되지 않았음). 특히 이 경우는 동일 지점, 동일 준설선에 대한 관측치임에도 조시에 따라 TGU가 약 10배의 차이를 보인다는 것에 주목하여야 한다. 즉, TGU는 기준 유속에 대한 발생량이며, 유속이 기준 유속보다 강한 때와 약한 때 모두에서의  $T_0$ 는 TGU를 기준으로 구하여야 하는 것임에도 潮時에 따라 TGU 자체가 변한다는 것은 TGU의 한계를 보이는 것이다.

이와 같은 차이, 즉 해저면 조건이 유사하고 동일 준설선을 이용하는 경우에도 TGU가 큰 차이를 보인다는 것은 TGU 산정 과정에서 준설선의 작업상황 정보와 해저면 압밀 정보가 포함되지 않았기 때문이다. 같은 CSD일지라도 분쇄기(cutter-head)의 회전 및 swing 속도, 분쇄기가 퇴적층에 파묻힌 정도에 따라, 그랩의 경우는 해저면을 가하는 충격정도, 그랩을 끌어올리는 속도, 그리고 수면상에서의 지체 시간 등에 의해 발생량이 큰 차이를 보일 수 있는 것이다.

퇴적물 거동과 관련한 TGU의 배경이론 중의 한 가지 오류는 세립 퇴적물의 부유가능 한계유속(이하 한계유속)이다. 그림 2.2.6에 제시한 바와 같이 74 $\mu$ m 이하 입자의 한계유속은 Ingersol 식으로 결정되며, 그 식에는 Stokes의 개별입자 침강속도식이 포함되어 있다. 그러나 세립 퇴적물은 수중에서 개별입자로 거동하지 않고 크고 작은 응집체를 형성하므로 표 2.2.5 제시한 바와 같이 개별입자의 침강속도를 적용하는 것은 무리이다.

표 2.2.5 세립 퇴적물의 개별 및 응집체 침강속도 (Mehta *et al.*, 1989).

개별입자 직경 ( $\mu$ m)	Stokes 침강속도 (mm/s)	응집체 직경 ( $\mu$ m)	응집체 침강속도(mm/s)	응집체침강속도/ Stokes 침강속도
$2 \times 10^1$	$2.4 \times 10^{-1}$	$8.8 \times 10^1$	$2.7 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^0$
$2 \times 10^0$	$2.4 \times 10^{-3}$	$5.6 \times 10^1$	$1.7 \times 10^{-1}$	$7.1 \times 10^1$
$2 \times 10^{-1}$	$2.4 \times 10^{-5}$	$3.4 \times 10^1$	$1.1 \times 10^{-1}$	$4.6 \times 10^3$

더구나 정지상태가 아닌 경우에는 세립 퇴적물이 대략 0.04-0.15N/m<sup>2</sup> 정도의 값(Mehta, 1986)을 갖는 퇴적한계 전단응력 이하에서 침강하기 시작하며, 이를 수심 10m에서의 유속으로 환산하면 약 15-30cm/s 정도이다. 그러나 그림 2.2.6에 따르면 유속이 약 7cm/s이면 부유상태인 74 $\mu$ m 이하의 입자들 모두가 침강하지 않으며, 이는 세립 퇴적물에 관한 기존 연구결과와 상치된다.

그 동안 국내에서 TGU를 많이 이용한 것은 TGU 이외의 평가방법이 소개되지 않았으며, 무엇보다 이에 관련한 국내 연구가 없었기 때문이다. 그러나 TGU에는 준설선 작업상황 등 중요한 인자들이 포함되어 있지 않아 그 값의 변동폭이 크고, 니질 퇴적물의 경우에는 접근방법이 기존 연구성과에 부합하지도 않으므로 향후의 이용시에 그 적용한계를 유념해야 할 것이다.

#### 나. S-factor

S-factor 법은 Blokland(1988)가 처음으로 제시한 방법으로 정상조건으로 준설(steady state dredging)할 동안에 발생하는 부유퇴적물 플룸의 전체 농도를 관측하고 부유퇴적물의 침강속도를 관측 또는 추정하여 단위체적 준설당 부유토사 발생을 인 S-factor (kg/m<sup>3</sup>)를 구한다. 따라서 이 방법을 적용하기 위한 전제조건은 정상조건, 즉 주위수 유속, 준설률 및 플룸 형태가 일정 시간 동안 일정하게 유지되어야 하며 아울러 신뢰성 있는 침강속도를 적용해야 하는 것이다.

Kirby and Land(1991)는 이 방법을 사용하여 니질 퇴적층에서의 다양한 준설선에 의해 발생하는 S-factor를 구하였으며(표 2.2.6), 이들의 결과는 다른 방법을 사용한 기존의 결과에 대체적으로 부합된다(John *et al.*, 2000).

표 2.2.6에 의하면 기계식 준설선(grab, bucket, backhoe)에 의한 발생율이 흡입형 준설선(TSHD, CSD)에 의한 발생율보다 월등하게 높다.

그러나 S-factor는 定常浚渫을 가정하므로 준설율(production rate, m<sup>3</sup>/s)과는 상관없는 “평균유실율” 개념이다. 따라서 준설률 증가에 의한 농도의 증가를 설명할 수 없다. 실제로 TSHD의 경우, 농도가 크게 증가하지만 표 2.2.6와 같이 총유실율은 기계식 준설선(grab, bucket, backhoe)보다 낮다.

네덜란드의 준설, 해안 및 제방보호 관련 업종에 관련된 300개 이상의 업체로 구성된 협회인 VBKO의 연구에 따르면 S-factor와 같이 定常條件으로 접근하는 방법은 플룸 전체의 농도를 정확하게 측정하기가 어렵고 침강속도 역시 현재까지도

표 2.2.6 니질 퇴적층에서 S-factor 법에 의한 부유토사 발생율 (Kirby and Land, 1991).

준 설 선	S-factor (kg/m <sup>3</sup> )
TSHD (overflow 없음)	7
TSHD (overflow나 LMOB 없음)	3-4
CSD	≈6
CSD (분쇄기 rotation/swing 속도 감소)	≈3
Dustspan	≈4
Auger*	5
Auger* (전진속도 감소)	3
Grab (개방형, 오탁방지막 미설치)	12-25**
Grab (밀폐형, 오탁방지막 미설치)	11-20**
Grab (밀폐형, 오탁방지막 설치)	2-5**
Backhoe (오탁방지막 미설치)	12-25**
Backhoe (오탁방지막 설치)	5-10**
Bucket ladder	15-30**

\* Environmental dredger로 설계된 auger 준설선이 아님

\*\* Grab과 bucket의 크기가 작을수록 농도가 높음

충분히 파악하고 못하고 있는 불확실한 현상이므로 비현실적인 방법이라 결론지었다(John *et al.*, 2000). 특히 우리 나라 서남해안의 경우처럼 조류가 우세한 해역에서 정상조건을 가정하는 것은 더욱더 비현실적이다.

#### 다. 부유토사 이동속

‘Sediment flux method (이하 移動束法)’은 유실량을 “준설선 작업구역을 벗어난 퇴적물의 양”으로 정의하며, 준설로 발생된 부유토사가 형성하는 플룸이 통과하는 작업구역 경계면을 따른 유속과 농도의 관측으로 구한다.

이 방법은 준설에 대한 환경영향평가 측면에서 보다 타당한 방법이지만 준설선과 관측점 사이에서 발생하는 모든 현상을 무시한다. VBKO는 플룸을 가로지르는 농도와 유속을 동시에 측정한다면, 준설과 관련된 현상에 관한 수치치모형실험을

위한 자료 확보 측면에서 이동속법이 향후 가장 적합한 방법이라고 제안하였다 (John *et al.*, 2000).

한편, 1장에서 언급한 바와 같이 Øresund Link 건설시 준설에 의해 발생하는 부유퇴적물 유출 한계를 총 준설량의 5%로 제한하였으며, 작업구역 한계를 준설지점으로부터 200m로 정의하였다. 이러한 제약에 따라 준설지점으로부터 200m 떨어진 단면을 통과하는 부유퇴적물 플룸의 이동속을 24시간 관측하였다(그림 2.2.8). 유속은 조사선에 장착된 ADCP를 이용하여 관측하였다. 초기에는 부유퇴적물 농도 관측에도 ADCP를 이용하려 하였으나 대상 해역의 배경농도가 낮아 사업발주기관이 설정한 관측오차 25%를 초과하여 4대의 OBS로 대체하였으며, 관측치와 식 (2.2.5), 그리고 준설량 자료로 총준설량에 대한 부유토사 발생량, 즉 유실율을 구하였다.

해저면이 주로 석회암(limestone)과 clay, silt, sand 및 암석의 혼합체인 clay till로 구성되어 있는 대상해역의 준설은 *Castor* 號(20,000 마력급 CSD)와 *Chicago* 號(bucket 용량 20m<sup>3</sup>인 dipper 준설선), 그리고 소형 backhoe 준설선으로 이루어졌으며, Lorenz(1999)가 보고한 흡입식과 기계식 준설에 의한 유실율은 표 2.2.7 및 2.2.8과 같다.

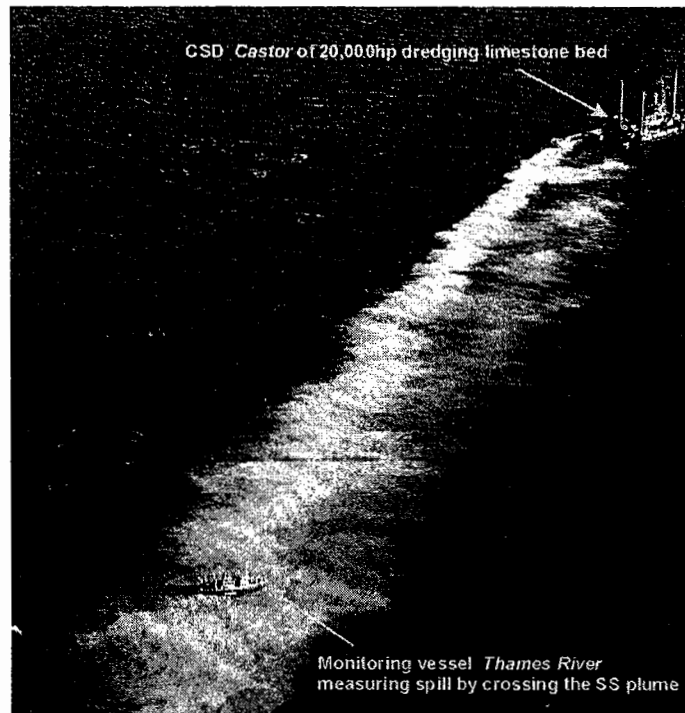


그림 2.2.8 CDS *Castor* 號 준설시 SS flux 관측 (Dyenesen, 2001).

표 2.2.7 20,000 마력 CSD 작업시 유실율 (Lorenz, 1999).

유 속 (m/s)	해저면	유실율 (%)
> 0.5	석회암	6-8
> 0.5	clay till	3-5
< 0.5	석회암	3-6
< 0.5	clay till	2-4

표 2.2.8 Dipper/Backhoe 준설선 작업시 유실율 (Lorenz, 1999).

위 치	해저면	유실율 (%)
넓은 개방 해역	clay till	1-4
좁은 수로	clay till	2-5
교각 기초공	clay till	4-6

한편 dipper 준설선 *Chicago* 號의 경우, 총작업일수 319일에 걸친 총설계준설량이 2,512,366 ton, 관측된 유실량은 73,161 ton으로서 평균유실율이 2.9%이며, 영역에 따른 유실율 범위는 1.8-5.7%이다(Gillespie, 2001).

#### 라. 시간당 발생율

준설에 의한 부유토사 발생량 평가단위 가운데 수치모형의 source 항으로 이용되는 것이 시간당 발생율(kg/s)이다. 엄밀하게 말하면 이 발생율은 준설지점에서의 발생율을 의미하나 준설지점에서의 정확한 관측은 사실상 어렵다. 따라서 단면관측으로 구할 경우 이는 SS 이동속과 같은 단위이며, TGU를 구하는 과정에 포함된다.

John *et al.*(2000)은 그 동안 조사된 시간당 발생율을 후술할 준설에 따른 농도 증분치와 함께 표 2.2.9와 같이 정리하였다. 표에서와 같이 여러 준설선 가운데 TSHD 작업시의 시간당 발생율이 월등히 크다. 특히 홍콩의 경우가 가장 높은데 이는 모래 채취 및 인도작업(그림 2.2.9)에 해당하며 그 과정에서 많은 양의 물/퇴적물 혼합체의 유출(overflowing)이 있었기 때문이다.



표 2.2.9 준설선별 부유토사 농도증분과 단위시간당 발생을 (John *et al.*, 2000).

준 설 선	준설장소 혹은 자료출처	농도증분 (mg/l)	초당 발생율 (kg/s)
TSHD	Owers bank, UK	29-209 (silt) 611-2,117 (sand)	
	Great Yarmouth, UK		20
	Hastings, UK		14
	Hong Kong		280
	Rotterdam, the Netherlands	150-450	
	Delfzijl	10-20	
	Grays Harbor	최대 700	
	Mare Island	최대 1,100	
	Richmond Harbor	20-200	
	Alameda Naval Air Station	40-190	
CSD	Land in Mott McDonald, 1991		1.33
	Hong Kong		0.9-1.6
	Calumet Harbor	2-5	
	James River	42-86	
	Ketelmeer	7 (수심평균)	
Grab	Merwdehaven	35	
	Hollandsche IJssel	2-100	
	Zierikzee	90-105	
	Black Rock	720-1,100	1.68
	Duwamish Waterway	70-160	
	Calumet River	30-130	0.24
	Alameda Naval Air Station	29-214	
	Ketelmeer	최대 5 (수심평균)	
Bucket ladder	Barnard, 1978	평균 100, 최대 500+	
	Noordzeekanaal, Rotterdam	10	
	SATURN		4
	Aalschover		0.33
	Ketelmeer	30 (수심평균)	
Scoop	Standaert <i>et al.</i> , 1993	2-5	

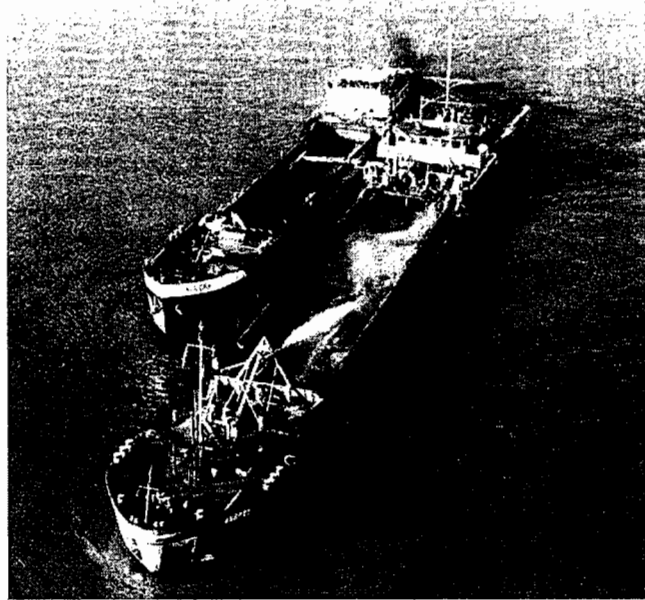


그림 2.2.9 모래 채취 및 인도 ([http://www.herik.nl/pic4\\_uk.htm](http://www.herik.nl/pic4_uk.htm)).

TSHD 작업에 대한 환경영향평가를 위해 기존의 시간당 발생율 자료를 수치모형 입력자료로 사용할 때는 주의가 필요하다. 즉, 다른 준설선과는 달리 TSHD는 선상의 배수로를 통하여 유출되는 농도와 배출량을 측정된 후 일정한 준설률을 가정하여 퇴적물의 총유출량과 시간당 발생량을 구할 수 있다. 그러나 배수로를 통해 배출된 고농도의 혼합체는 주위수보다 밀도가 높으므로 해저면으로 바로 침강한다. 따라서 적용하는 수치모형이 이러한 'dynamic plume'의 거동을 재현하지 못하면 실제보다 확산범위를 넓게 예측할 가능성이 높다.

#### 마. 부유퇴적물 농도 증분

Bray *et al.*(1997)은 준설선 주변에서의 부유퇴적물 농도 증분을 측정하는 것이 준설에 따른 퇴적물 유출 산정방법의 하나라고 언급하였다. 그러나 농도 증가는 국지적 영향을 크게 받으며, 준설선, 작업조건, 수리조건 및 해저면 조건에 따라 비교할 수 있는 근거 자료가 되지 못한다.

John *et al.*(2000)은 그 동안 관측된 준설선별 주변 농도 증가를 앞서의 표 2.2.9에 정리하였다. 표에 따르면 같은 종류의 준설선일지라도 농도 증분치의 변동 폭이 매우 크다. 비록 표 2.2.9의 값을 이용하는 데는 상당한 주의가 필요하지만 전

체적으로 볼 때 TSHD 작업시의 농도 증분이 가장 높고, 그 다음으로 grab과 bucket이 같은 order이며, CSD가 가장 낮다.

### 3. ADCP를 이용한 SS Flux 관측

유속의 연직분포 파악을 위해 1970년대 중반 처음으로 상용화된(Rowe and Young, 1979) ADCP의 반사음향강도를 이용하여 부유퇴적물 농도의 연직분포를 파악하려는 연구가 그 동안 활발히 진행되었다(Hay, 1983; Lohmann and Huhta, 1994; Byrne and Patino, 2001 등). 특히 ADCP는 빠르게 변하는 SS 플룸 거동 파악에 유용하여 Land and Bray(1998)는 준설선에서의 농도증가도 거리가 멀어짐에 따라 급격하게 감소함을 관측하였다.

RDI 社가, 유속을 측정할 수 있는 거의 모든 밴드의 신호를 이용하고 부유퇴적물 농도에 보다 민감하게 반응하는 광대역(broad band, 이하 BB) ADCP를 1991년에 출시한 후 농도 관측을 위한 응용연구에 많은 발전이 있었지만 ADCP의 반사음향강도를 이용하여 퇴적물 농도를 구하는 과정이 그리 간단하지는 않다. 이는 광후산란 탁도계와는 달리 반사음향강도에 영향을 미치는 인자가 다양하여 검보정 과정이 복잡하기 때문이다.

반사음향을 이용한 농도계산시 후산란을 포함한 음향에너지가 Rayleigh 산란을 따른다고 가정하며, 이 때의 음향방정식은 다음과 같다(Clay and Medwin, 1977; Ogushwitz, 1994; Tubman, 1995).

$$S_V = 10 \log (C_V k^4 d^3) + 10 \log (k_l) + 20.0 \quad (2.2.7)$$

여기서  $S_V$ 는 Rayleigh의 산란 이론에서의 체적후산란강도(volume backscattering strength),  $C_V$ 는 수중 입자의 체적농도,  $d$ 는 수중 입자의 직경, 그리고  $k$ 와  $k_l$ 은 각각 음향에너지의 波數와 상수이다.

$S_V$ 는 입경에 따라 변하므로 각각의 입경에 대해 계산하여야 하며, 특히 입경의 세제품이 포함되어 있으므로 입경분포의 약간의 차이에 따라 입자 체적농도 계산결과가 크게 변할 수 있다.

한편 체적후산란강도  $S_V$ 는 다음과 같이 송수파기(transducer)에서 측정되는 반사음향강도(echo intensity)  $EI$ (dB)로 나타낼 수 있으며(Puckette, 1998),

$$EI = SL + S_V - RV - AL \quad (2.2.8)$$

여기서,  $SL$ 은 송수신기에서의 송신음향강도(dB),  $RV$ 는 음파가 진행하는 체적 (ensonified or illuminated volume), 즉 beam이 퍼져나가는 형태와 관련되는 손실음향으로 송수파기 검보정을 통해 알 수 있는 값이다.  $AL$ 은 손실음향으로서 수온, 염분, 밀도, 음속 등의 측정된 환경인자를 이용하여 계산할 수 있다. 또한  $AL$ 은 부유 퇴적물 입경과 농도에 의한 손실을 일정분 포함한다. 따라서, 이론상으로는 입경분포와 농도를 제외한 식 (2.2.7)과 (2.2.8)의 모든 항을 결정할 수 있으므로, 현장관측으로 입경분포를 정확히 반영하면 농도를 구할 수 있다.

USACE WES는 부유퇴적물 농도를 보다 정확히 측정하기 위해 기존 4개 송수파기 중앙에 탁도 관측만을 위한 1개의 송수파기를 추가한 BBADCP를 이용하는 PLUMES(PLUme MEasurement System)을 구축(그림 2.2.10)하여 일련의 연구(표 2.2.10)를 수행하였다. 그림과 같이 음파를 直下方으로 송신하는 다섯 번째 beam을 추가하면 관측 체적을 쉽게 구할 수 있으며, beam의 형상을 단순화시킬 수 있다.

한편, 영국의 DRL Software 社도 Proudman Oceanographic Laboratory의 음향 연구진과 함께 부유퇴적물 농도와 RDI ADCP 반사음향세기의 검보정식에 관한 연구를 10여년 동안 수행하였으며, 그 결과를 'DRL-Sediview'란 software로 상용화

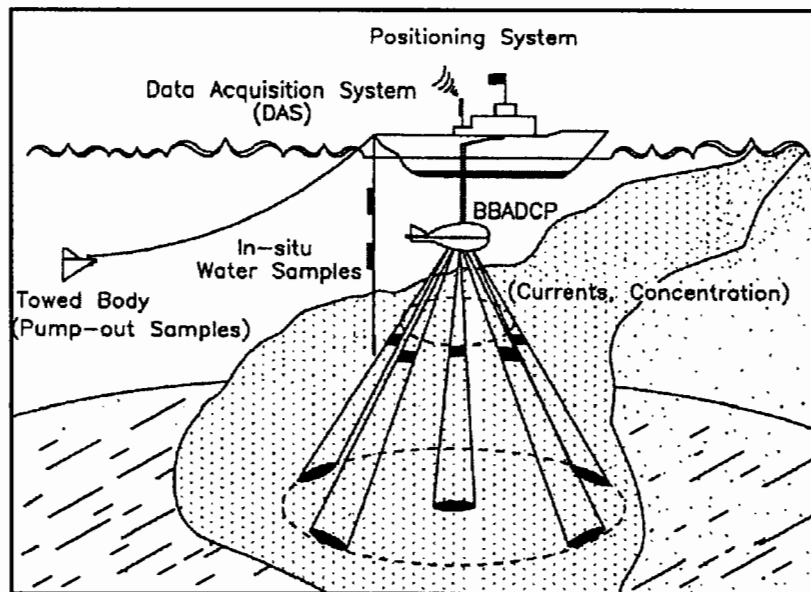


그림 2.2.10 PLUMES 개념도 (Kraus and Thevenot, 1992).

표 2.2.10 PLUMES에 관한 USACE WES의 연구보고서.

단보/보고서 번호(연도)	저 자	제 목
DRP-1-06 (1992)	Kraus, N.C. Thevenot, M.M.	The PLUme MEasurement System (PLUMES): First Announcement
DRP-1-16 (1994a)	Tubman, M.W.	The PLUme MEasurement System (PLUMES): A Commercially Available System
DRP-1-18 (1994b)	Tubman, M.W.	The PLUme MEasurement System (PLUMES): Operational and Data Processing Procedures for Deep-Water Monitoring
DRP-94-3 (1994)	Lohrmann, A. Huhta, C.	Plume Measurement System (PLUMES) Calibration Experiment
DRP-95-1 (1995)	Tubman, M.W.	Plume Measurement System (PLUMES) Technical Manual and Data Analysis Project

하였다(그림 2.2.11). DRL-Sediview가 PLUMES와 다른 점은, 농도에 종속적인 음향손실항과 관련된 오차를 줄이기 위해 음향방정식을 반복계산법으로 푸는 것이며, 이는 대상 해역의 농도가 높을 경우에 매우 유리하다.

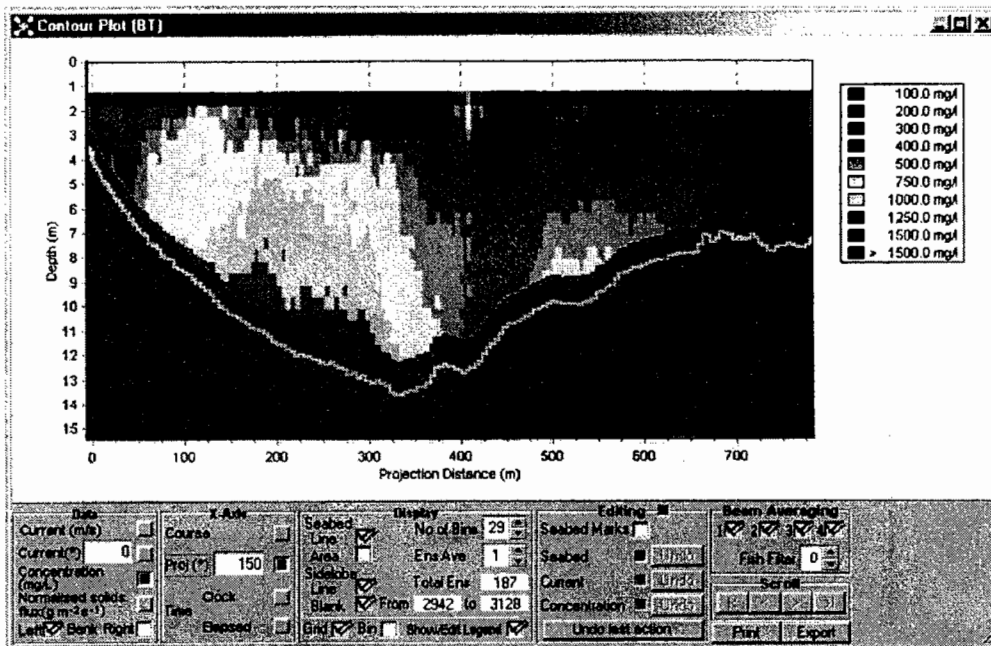


그림 2.2.11 DRL-Sediview로 구한 단면농도(DRL Software Ltd, 2002b).

그러나, PLUMES나 DRL-Sediview를 이용하여 좋은 관측결과를 얻기 위해서는 검보정에 필요한 자료를 가능한 한 많이 확보하여야 한다. 특히 대조차 하구역의 경우에는 수온, 염분, 그리고 채수를 통하여 부유퇴적물의 층별 농도와 입경분포에 관한 정보를 충분히 관측하여야 한다. 전술한 바와 같이 Øresund Link 건설시 플룸 모니터링 초기에는 ADCP를 이용하려 했으나 이를 포기하고 OBS로 대체한 것은 충분한 ADCP 검증자료를 확보하지 못했기 때문이다.

한편 ADCP를 이용한 이동관측시에는 ADCP의 특성상 그림 2.2.12와 같이 표층 약 1-1.5m와 해저면상 일정 높이(수심의 약 6-15%)까지에는 유용한 자료가 없다. 따라서 이 구간을 보완하는 관측이 수행되지 않으면 각각의 인접층 자료를 사용하거나 인접한 cell의 농도 경사로 외삽할 수도 있다. 그러나 준설의 경우에는 발생점이 해저면이며, 특히 흡입식 준설의 경우에는 저면 농도가 중요하므로 SPHINX(한국해양연구원, 2000a)과 같이 해저면 근방에서 농도와 유속을 관측할 수 있는 장비를 설치·관측하여 보완자료로 이용하는 것이 필요하다 (John *et al.*, 2000).

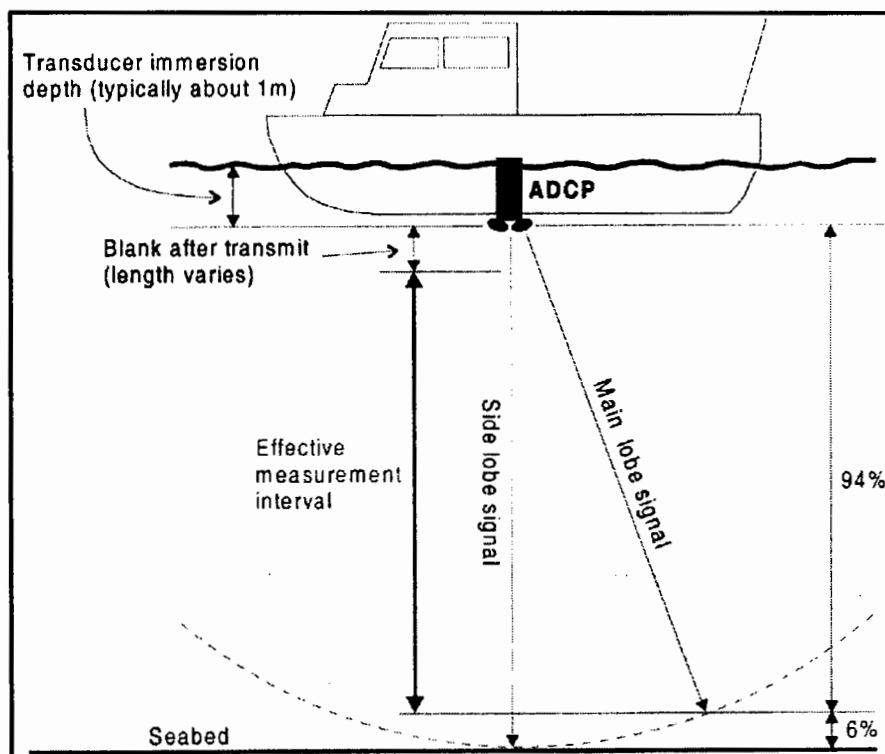


그림 2.2.12 ADCP의 유효측정범위 (DRL Software Ltd, 2002b).

### 제3절 오탉방지막 기술 현황

다양한 공중에 의해 발생하는 부유토사가 연안생태환경에 미치는 악영향의 정도와 범위는, 적절한 조건이 주어지면 오탉방지막으로 어느 정도 저감할 수 있다. 여기서 적절한 조건이란 공중, 투입장비, 해저면 및 지형특성, 그리고 수리특성 측면에서 오탉방지막의 기능(부록 3, A3.6절 참조)이 충분히 발휘될 수 있는 조건을 의미하며, 그 가운데 파랑과 유속 등의 수리조건이 가장 중요하다.

국내의 오탉방지막 설치·운영 실태는 1장에서 간략히 언급한 바와 같이 문제점이 많다. 즉, 해당 해역의 수리조건을 감안하여 부유토사 확산저감효과에 대한 사전 평가가 거의 없었으며, 설치후 그 효율을 지속적으로 모니터링한 바도 없다.

이에 반해, 디즈니랜드를 비롯한 국제테마공원을 조성하기 위하여 2005년 완공을 목표로 대규모 매립공사(Penny's Bay)를 실시하고 있는 홍콩에서는 현장예비시험(silt curtain pilot test)을 통해 그 효율을 현장에서 검증한 후 두 단면에 각각 연장 1km의 오탉방지막을 설치하였으며, 이에 그치지 않고 탁도를 실시간으로 관측하여 홍콩 환경국에 송신하는 무인 모니터링 시스템 2기를 가동하고 있다(Mouchel Asia Limited, 2002).

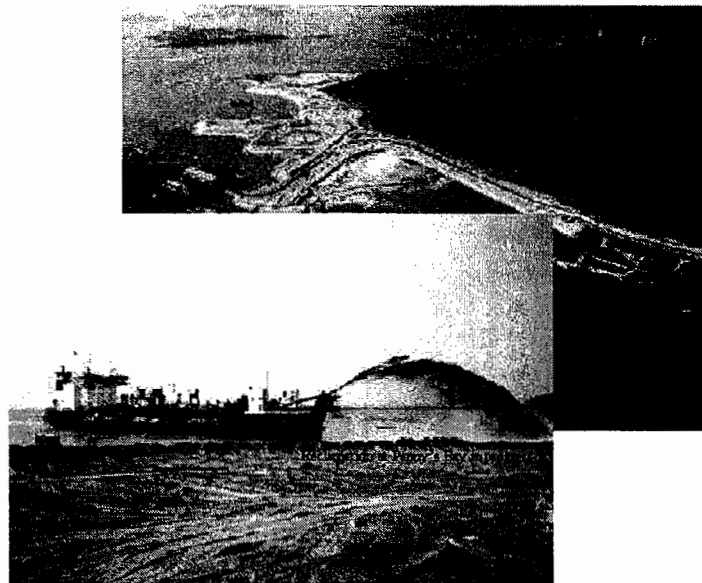


그림 2.3.1 Penny's 灣 매립공사 (Tam, 2001).

한편 미국은 1장에서 논한 바와 같이 개발·유지준설사업의 80%가 EW에 의해 시공기간의 제약을 받으므로, 경우에 따라 여수토에서와 같이 국부적으로 방지막을 사용하기도 하지만, 일반적으로 개발·유지준설시에 오탉방지막의 설치를 고려하지 않는다. 그러나 底面 汚泥層을 준설할 경우에는 방지막을 설치하는 경우가 많다. 예를 들어 EPA Montana 지부는 Milltown 저수지 오니 준설이 Clark Fork 江의 수질에 미치는 영향 예측을 공병단 연구개발센터(USAERDC)에 의뢰하였으며, 이에 Schroeder(2001)는 준설기간 7월-11월 사이에 유속이 30cm/s 이상인 날은 4일에 불과하며 45cm/s 이상의 유속은 발생하지 않을 것으로 예측하고, 이에 따라 오탉방지막의 효율은 높을 것이나 방지막 이동시에는 저면 교란으로 인해 탁도가 높아질 수 있음을 EPA에 통보하였다.

일본은 1960년대 고도 성장기에 많은 항만공사를 수행하면서 다양한 형태의 오탉방지막을 개발하였으며 현재에도 지속적인 연구를 수행하고 있으나 오탉방지막 설치에 관한 강제 규정이 있는 것은 아니며, 제조사별로 현장 조건에 맞는 오탉방지막을 권장하고 있다. 최근 일본의 해양개발공사안전공해대책본부(1989)에서 전국에 산재한 방지막 제조회사에 질의하여 제조와 설치에 따른 애로사항을 수집하여 지침을 작성하였지만 이것도 단지 의견수렴에 불과하며, 일반적으로 공사현장에 따라 합리적인 판단으로 설치 여부와 형태를 결정한다(부록 4 참조).

본 절에서는 국내외에서 부유토사 확산저감을 목적으로 설치되고 있는 다양한 형태의 오탉방지막을 간략히 소개(오탉방지막 설계 및 시공요령은 부록 3 참조)한 후 오탉방지막 효율에 관한 개념을 살펴본다.

## 1. 오탉방지막의 종류

### 가. 固定式 垂下型 (Fixed Hanging Type)

가장 일반적이고 범용적인 오탉방지막(그림 2.3.2)으로서 지역에 따라 막체폭 (curtain depth)의 차이는 있으나 국내에 설치된 모든 방지막이 이 형식이다. 막체는 내구성이 뛰어난 합성섬유로, 막체를 띄우는 부력체(float)는 발포 폴리스틸렌이나 합성수지로 만든다.



막체폭은 파랑에너지가 큰 해역에서는 10m 이내, 작은 해역에서는 20m까지도 사용하며 span의 길이는 보통 20m이다. 계류시 일반적으로 콘크리트 블럭을 이용하지만 국내에서는 닻가지를 이용하기도 한다.

덴마크의 RO-CLEAN DESMI A/S社は 해상 유출유 확산 防材(boom)를 응용하여 설치와 회수가 용이한 오타방지막, RO-BOOM을 제작하여 연안매립지에 응용하였다(Christensen and Kock, 1997). RO-BOOM에는 폭 125cm의 air chamber가 있으며, 각 chamber에 채워지는 500리터의 압축공기가 일반적인 수하형 방지막의 부력체 역할을 한다. 그림 2.3.2는 Øresund Link 사업의 일부로 수행된 연안매립시 RO-BOOM 방지막을 매립수역의 통선문으로 사용한 예이다.

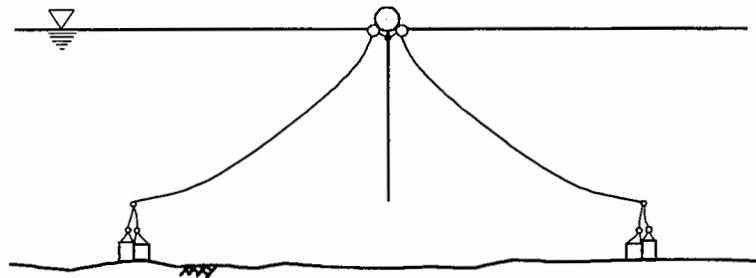


그림 2.3.2 수하형 오타방지막 모식도.

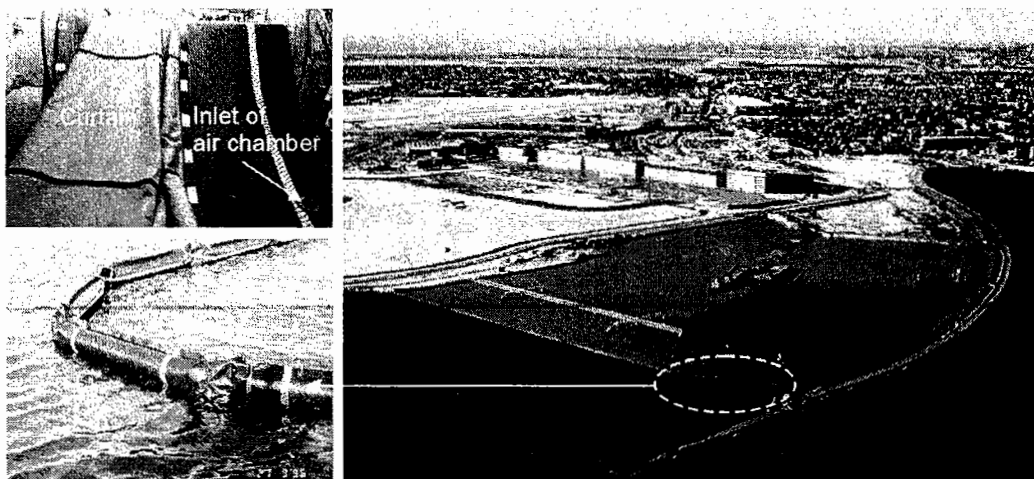


그림 2.3.3 RO-BOOM 오타방지막의 연안매립수역 통선문으로의 응용예 (Jessen, 2002).

#### 나. 固定式 自立型 (Fixed Standing Type)

자립형 오탁방지막(그림 2.3.4)은 준설이나 투기에 의한 해저면 근방에서의 부유토사 이동을 억제하기 위해 사용하며, 해저면에서의 방지막 고정을 위해서는 보통 H-beam을 사용한다.

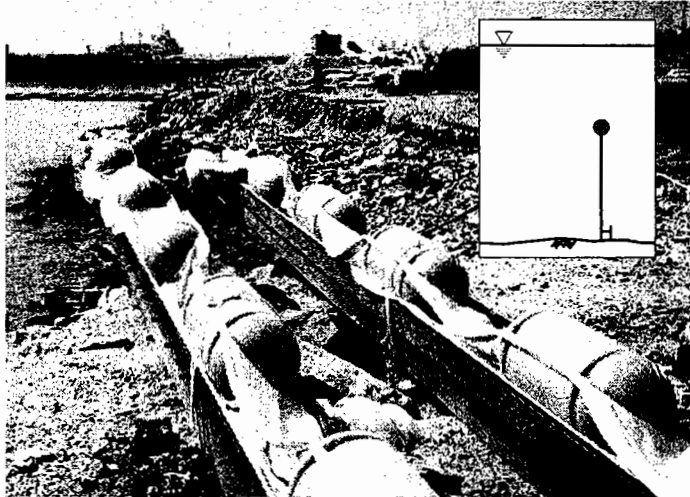


그림 2.3.4 자립형 오탁방지막 실물 및 설치모식도  
(<http://www.taiyokogyo.co.jp>).

#### 다. 浮沈式 垂下型 (Sinkable Hanging Type)

선박 출입을 가능하게 하고 설치 구역 내의 퇴적물 유실을 최소화시킬 필요가 있는 매립이나 인공섬 건설시 유용하며, 재질이 합성수지인 부력체에 공기를 채울 수 있는 점을 제외하면 수하형과 같다.

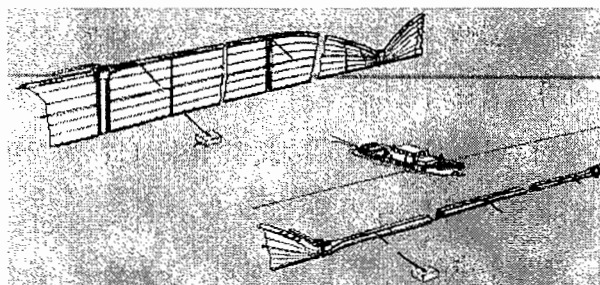


그림 2.3.5 부침식 오탁방지막 모식도  
(<http://www.taiyokogyo.co.jp>).

## 라. Frame型

국부적으로 부유토사 발생량이 큰 그랩 준설선 작업시의 확산을 최대한 저감하기 위한 것이다. 보통은 파이프가 사용되는 부체와 방지막, 하부의 밸러스트로 구성되며, 필요한 경우에는 중간에 밸러스트를 추가하기도 한다. 막체폭은 수심에 따라 조절할 수 있으나 보통은 작업 편의를 위해 15m 이하로 한다.

그림 2.3.6은 네덜란드와 일본에서 그랩 준설선의 적용예이다. 특히 네덜란드의 경우, 기계식 그랩에 비해 부유토사 발생량이 적은 방수·유압식 그랩을 사용함에도 frame 型 방지막을 설치하였다.

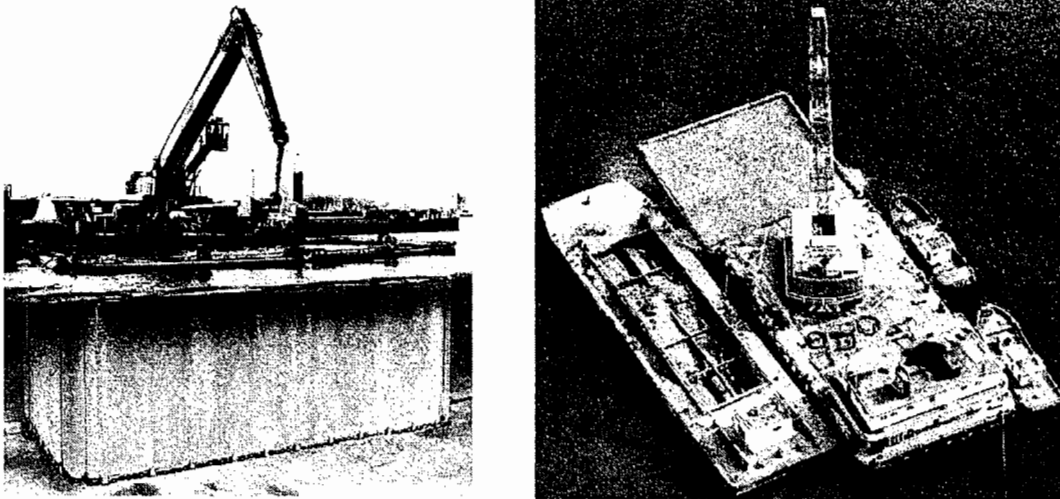


그림 2.3.6 Frame型 오탉방지막(좌:<http://www.hamdredging.com/hamgrfx/big/hambg259.htm>, 우: <http://www.taiyokogyo.co.jp>).

## 마. 조합설치

그림 2.3.7은 동경만에 묘박지를 조성할 목적으로 내만 준설토를 투기할 때 설치한 2중 오탉방지막이다. 별도의 토운선의 출입통로가 있지만 부침식 오탉방지막을 설치하여 높은 파랑이 내습했을 때 부체를 침수시켜 방지막 훼손을 방지하며, 주 흐름 하류측에 자립식 방지막을 추가로 설치하였다.

부침식 수하형의 막체폭 8m는 국내 통상의 경우보다 깊으며, 부침식 수하형 하단과 고정식 자립형 상단 사이의 2m 깊이의 중첩층을 주목할 필요가 있다.

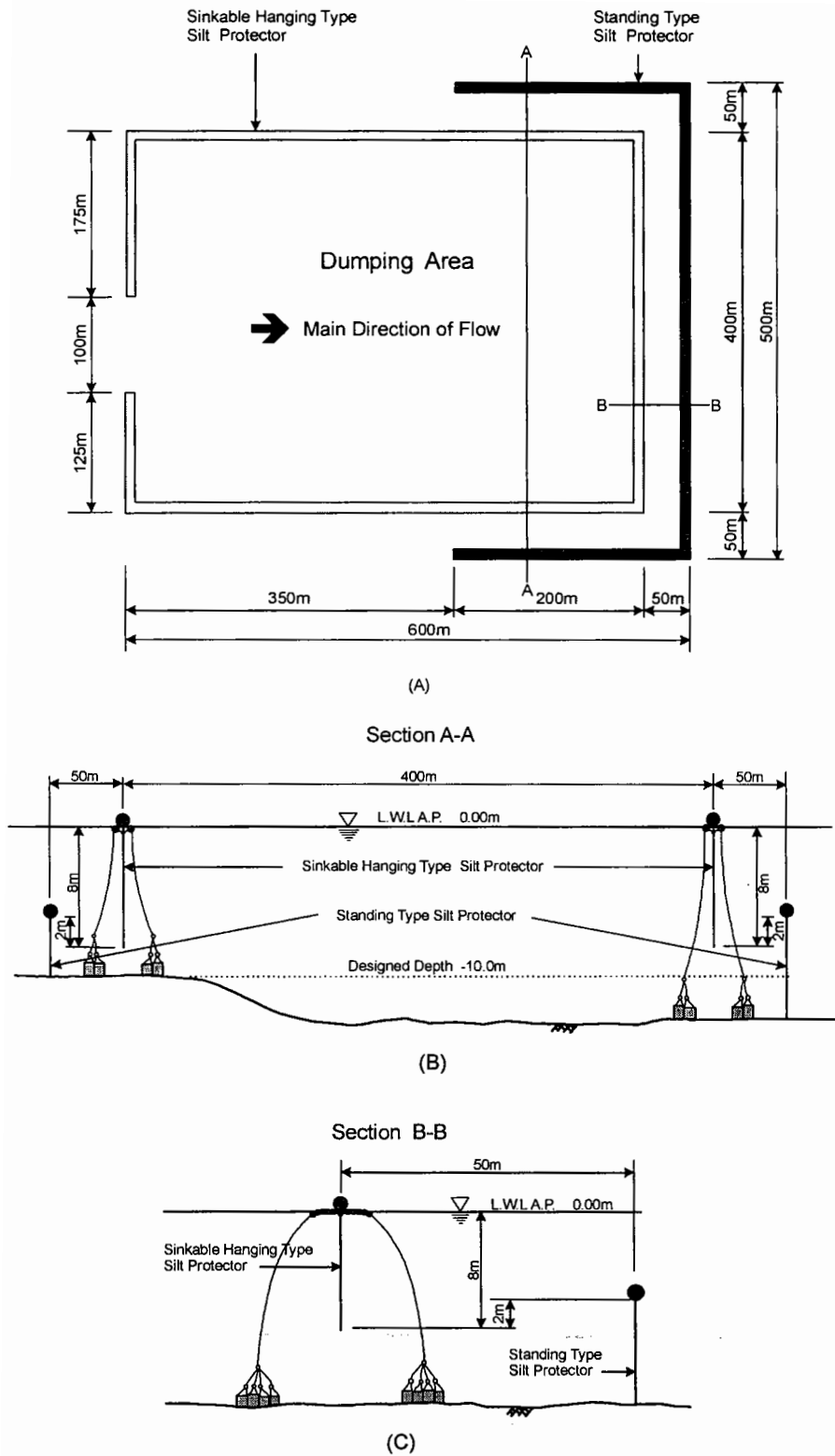


그림 2.3.7 동경만 묘박지 조성을 위한 내만 준설토 투기장의 오탁방지막 설치도면.

## 바. 汚濁防止送泥船 (Anti-Pollution Soil Transporter)

연안매립시 山土, 건축·토목폐기물, 준설토 등 다양한 매립재를 이용한다. 해상 준설토를 이용할 경우, 가용한 준설토구역이 인근에 있으면 CSD를 이용할 수 있지만 준설토구역이 먼 경우에는 토운선으로 운반된 준설토를 매립수역 전면에 투하시킨 후 펌프선을 이용하여 이를 매립수역으로 보낸다. 이 과정에서의 부유토사 확산은 오탁방지막을 설치하여 저감시킬 수 있을 것이다.

汚濁防止送泥船(이하 APST)은 이와 같이 원거리로부터의 준설토를 이용하는 매립공사시 부유토사 확산을 최대한 억제하기 위해 최근 일본에서 건조된 6,000마력급 펌프船이다(그림 2.3.8, 全長×全幅×全深=143.4m×32.2m×19.5m).

APST와 관련한 작업순서 및 관련 현상은 그림 2.3.9와 같다. 먼저 底開土運船(용량 약 1,000m<sup>3</sup>)이 예인된 후 출입문을 닫는다. 준설토를 투기하면 토사와 해수의 비중차에 의해 APST 내부 수역에 수위차가 발생하며, 이 수위차를 보상하기 위해 금속재질인 船底部 막체와 해저면 사이로 유입된 약 700m<sup>3</sup>의 해수가 상향 흐름을 형성하여 토사덩어리의 낙하속도가 저감되며 이에 따라 토사덩어리 상부에서의 부유토사 발생도 억제되고, 일부 발생된 부유토사의 APST 외부 유출도 선저부 금속막체에 의해 차단된다. 이와 같이 부유토사 발생이 최대한 억제되면서 APST 내에 투기된 토사는 펌프 송니관을 통해 매립지로 운반된다.

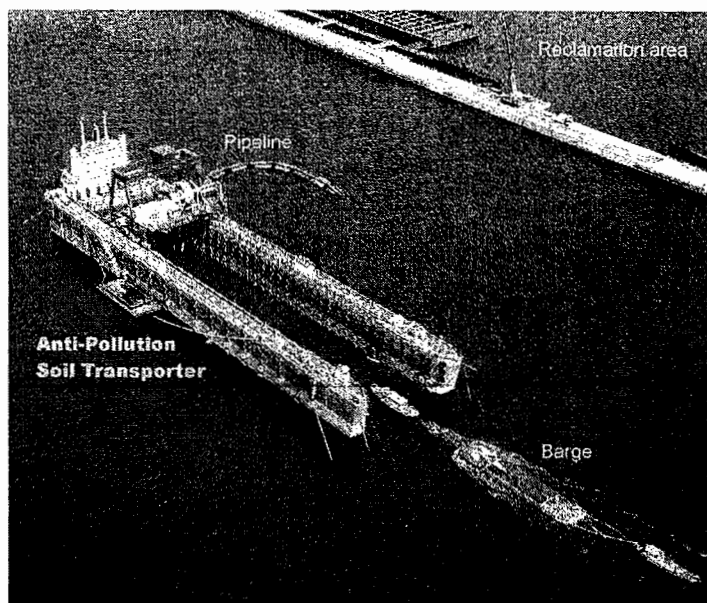


그림 2.3.8 汚濁防止送泥船 (株ダイゴー土木 leaflet).

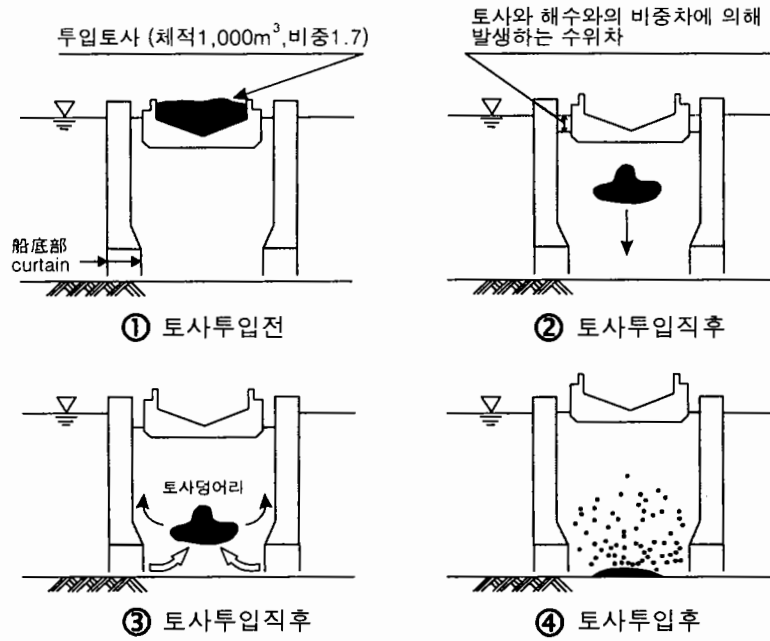


그림 2.3.9 APST 내에 투기된 토사의 단계별 거동 (株ダイゴ-土木 leaflet).

## 2. 오탉방지막 효율기준 검토

비록 현단계에서 범용적인 지침 수립은 어렵지만 국지적이거나 일정 수준의 정량적 신뢰성이 있는 부유토사 발생을 자료 확보가 중요하다. 그 이유는, 공사가 연안생태계에 미치는 피해 정도와 범위를 정량적으로 예측하기 위해서는 수치모형실험을 수행하여야 하며, 그 입력자료인 발생율이 실험결과에 지대한 영향을 미치기 때문이다.

수역 특성과 예정된 공종으로 미루어 오탉방지막 설치로 부유토사 확산범위가 저감될 것으로 기대되면, 방지막 미설치 및 설치에 대한 확산범위를 예측하여야 하며, 이를 위해서는 발생율과 아울러 오탉방지막 효율에 관한 정보가 추가적으로 필요하다.

대부분의 환경영향평가지 부유토사의 영향범위와 정도 예측을 위해 3차원 혹은 2차원 원역모형을 이용하며, 오탉방지막 효율은 발생율의 저감정도, 즉 계산 step 당 발생량(kg/step)의 일정 비율을 감하여 입력함으로써 모형에 반영된다. 그러나 불행히도 수치모형실험에서 필요한 발생율 저감측면에서의 오탉방지막 효율에 관한

그 동안의 연구성과는 거의 없으며, 이는 다음과 같은 조사 절차상의 문제 때문으로 판단된다.

오타방지막의 효율을 결정하기 위해서는 같은 단면상에서의 2단계 관측이 필요하다. 移動束法(flux method)의 경우, 우선 전술한 바와 같은 방법으로 발생원으로부터 일정 거리 떨어진 단면에서 방지막이 설치되었을 경우와 설치되지 않았을 경우의 발생율을 관측·비교하여 오타방지막의 효율을 산정하여야 한다. 물론 이러한 2단계 관측은 관련 수리조건과 해저면 조건, 그리고 기타 작업조건이 같아야 한다는 어려움은 있다. 그러나 그 동안의 조사 성과가 적은 이유는 관측을 위해 방지막을 설치·철거해야 한다는 절차상의 번거로움과 경비 때문일 것이다.

이와 같이 실제적으로 필요한 오타방지막 효율에 관한 자료 부족으로 인해 오타방지막 전후의 농도 비교만으로 방지막 효율을 논하는 오류를 범하기도 한다. 그 대표적인 예가 그림 2.3.10이다. 특히 오타방지막 제작업체인 일본의 (株)太陽工業은 그림 2.3.10의 방지막으로부터 10m 떨어진 표층 농도가 78.6% [=100×(70-15)/70] 감소되었다고 제시하였으나, 이는 단지 방지막 내외측 농도의 비교일 뿐이다. 즉, 내측 70mg/l는 방지막으로 인한 이류·확산 차단으로 증가된 농도이므로 78.6%를 방지막의 효율로 주장하는 것은 명백한 오류이다. 만일 거리 10m인 표층에서의 방지막 효율을 논하고자 한다면 방지막 제거 후의 농도를 고려해야 할 것이다. 그러나 이것도 농도 측면에서의 저감효율일 뿐이며, 수치실험시 입력자료로 적용하기 위해서는 적용영역의 유속이 방지막 효율 관측영역의 유속과 유사해야 한다.

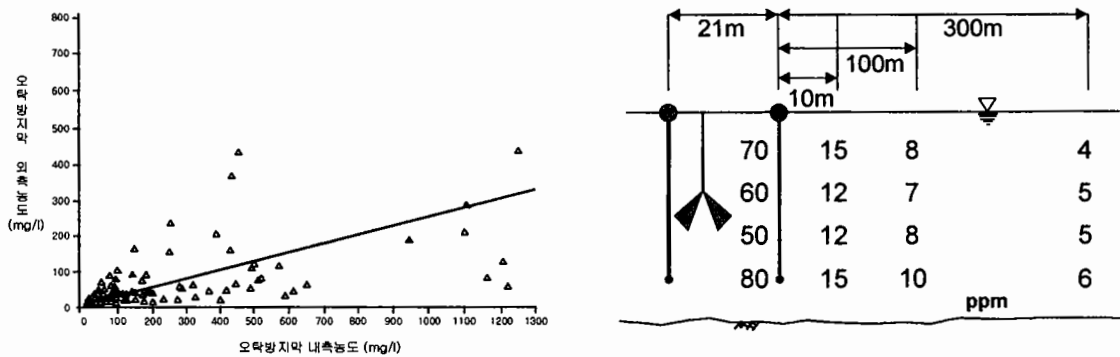


그림 2.3.10 오타방지막 내외측 농도비교 (좌: 해양공사오타방지협회, 1999; 우: <http://www.taiyokogyo.co.jp>).

수치모형실험을 위해서는 유속이 포함된 발생을 측면에서의 저감효율이 필요하며, 더 나아가 발생을 저감효율과 유속 및 막체폭과의 관계를 안다면 관련현상 측면에서 보다 타당한 입력자료일 것이다. 예를 들어 표 2.2.6에 제시한 Kirby and Land(1991)의 조사에서 밀폐형 grab과 backhoe의 경우 오탉방지막을 설치하면 발생량이 각각 75%와 60%의 발생을 저감효과가 있지만, 유속과 막체폭 등 방지막 특성 등에 관한 정보가 없으므로 이를 원용할 경우에는 각별한 주의가 필요하다.

#### 제4절 부유토사 이송·확산 수치모델링 검토

항만공사중 발생하는 부유토사와 관련된 수치모형은 크게 1) 준설작업별 플룸으로의 퇴적물 공급량을 산정하는 'dredging process modelling', 2) 고농도의 물/퇴적물 혼합체의 거동을 다루는 'dynamic plume modelling', 3) dynamic plume과 같은 거동을 보이지 않으나 여전히 고농도인 fluid mud에 관한 'mud flow modelling', 4) 그리고 일반적인 퇴적물 이동을 다루는 'passive plume modelling'으로 나뉜다. 그러나 앞선 3개 모형은 아직 개발·시험단계에 있거나 현장자료를 이용한 충분한 검증과정을 거치지 않아 아직은 실용적이지 못하다.

이와 같은 수치모형과 함께 간략한 해석모형이 있으며, 이러한 해석해 모형을 이용하면 대략적인 플룸거동을 빠르게 파악할 수 있다. Bohlen(1978)은 버킷 준설작업으로 인한 탁도플룸(turbidity plume)에 대하여 중심선 농도를 준설위치로부터 거리의 지수함수로서 나타내는 간략화된 해석 모형을 제안하였으며, 이 모형은 평균 흐름 방향의 확산만을 고려하여 준설지점에서 멀리 이송된 플룸에 대해서는 제한적이다. Cundy and Bohlen(1980)은 동일한 형태의 준설로 인한 플룸에 대한 수치 모형을 연구한 바 있다. Kuo *et al.*(1985)은 흡입준설(hydraulic dredging)에 의해 발생한 탁도플룸에 대한 해석해를 이용한 수학적 모형을 구성하였으며, Kuo and Hayes (1991)는 버킷준설에 의한 탁도플룸에 관한 해석해를 사용하여, 수학적 모형을 개발하여, 이를 적용한 바 있다.

최근 USACE는 준설시 부유토사 이동경로 파악을 위해 SSFATE(Suspended Sediment FATE/ Johnson, *et al.*, 2000; Anderson, 2001)을 개발한 바 있으며, 이 모형에서는 주변해수의 흐름에 따른 이송·확산 과정을 입자추적방법으로 모의하였



다. 그 외에도 LTFATE (Long-Term Fate of Dredge Material, Sheffner, *et al.*, 1995), 점착성 미세입자 퇴적물의 수송에 관한 MDFATE(Moritz, *et al.*, 1995) 등이 있다.

준설토의 해양투기처리, 연안투기장 처리, 준설작업중의 유실 및 운반과정에서의 주변해역으로 배출시에 적용하기 위해 개발된 모형은 DROPMIX (Dredging Operation Mixing Zone)로서 EPA의 CORMIX(Doneker, *et al.*, 1990)을 토대로 Chase(1994)가 개발한 것이다. 그리고 EPA 주관으로 항만공사시 준설토사의 부유토사에 대한 규제를 위해 'Regulatory Mixing Zone' 내에서의 수질관리 및 규제설정을 목적으로 CORMIX에 근간을 둔 D-CORMIX (Dredge-CORMIX/ Doneker and Jirka, 1997)을 개발하였으며, 최근에는 항만 준설공사에도 활용되고 있다.

국내에서는 그 동안 항만 건설 및 수로 준설작업 과정에서 발생하는 부유오탁물에 대한 환경규제 및 관리지침 제정이 미진하였기 때문에 이 문제에 대해 기술개발을 위한 구체적인 사전 연구가 시도된 바 없었다. 그러나 연안해역, 특히 퇴적물의 퇴적과 침식이 문제가 되고 있고, 항만이나 강하구 주변해역에서의 퇴적물 이동에 관한 연구는 특정 관심해역을 대상으로 다양한 모델을 사용하여 수리실험연구를 한 바 있다. 관련 연구 사례를 개괄적으로 정리하면, 윤(1982)은 부산항에 대한 부유사 확산 모의를, 강 등(1987)은 낙동강 하구역을 대상으로 부유사를 포함한 퇴적물 수송 모델을 적용한 바 있다. 그리고 김 등(1993)도 부산 수영강에서 유입되는 부유토사의 확산을 연구하였으며, 서(1996)는 입자추적(Eulerian-Lagrangian) 모형을 군산 해역에 대해 적용한 바 있으며, 이 모형을 사용하여 방파제 공사시 부유퇴적물 이송·확산에 대해 모의하였다(군산대학교, 2001). Kang *et al.*(2001a)도 입자추적모형으로 아산만 준설공사시 발생된 부유오탁물의 원역수송현상을 모의한 바 있다. 그리고 Kang *et al.*(2001b), Kim *et al.*(2001)은 근역에서의 부유폴름에 대한 거동해석 모형과 원역의 입자추적 모형을 연계 결합한 Hybrid 모형을 개발한 바 있다. 윤 등(2000)은 개수로에서 소류사의 영향을 고려한 부유입자 유동을 수치실험적 방법으로 연구한 바 있으며, 정(2001)은 현장 침식을 측정자료를 활용하여 2차원 퇴적물 수송모형을 비교 검증하였다. 국내에서는 특정해역을 대상으로 조류, 해류에 의한 원역으로의 이송·확산에 대한 수치모형실험에 치중하였으며, 고농도의 부유토사가 발생한 준설현장의 인근 1 km미만 거리인 근역에서 부유토사 폴름의 거동 해석에 대한 연구는 아직도 미진하다.

제3장  
연구개발 수행내용 및 결과



## 제3장 연구개발 수행내용 및 결과

### 제1절 부유토사 발생율

#### 1. 서론

연안공사시의 부유토사 발생 정도는 2장에서 언급한 바와 같이 크게 세 가지, 즉 부유퇴적물 농도 증분(mg/l), 단위시간당 부유퇴적물 발생율(kg/s, 이하 RSUT), 그리고 RSUT를 단위시간당 준설체적( $m^3/s$ , 이하 RVUT)으로 나눈 단위준설체적당 부유퇴적물 발생율( $kg/m^3$ , 이하 RSUV)로 나타낼 수 있다. 한편 준설토의 겉보기 밀도(bulk density)를 알면 RSUV를 유실율(%)로 나타낼 수 있으며, 입경별 부유가능 유속을 도입하여 관측치로부터 구한 RSUV를  $74\mu m$  이하 입자에 대한 RSUV로 표준화한 것이 일본의 TGU이다(TGU의 문제점은 2장 참조).

사실 발생율이란 발생원에서의 발생율, 즉 준설의 경우는 준설 지점에서의 발생율이다. 그러나 발생원에 근접하는 것은 현실적으로 거의 불가능하기 때문에 현장관측을 발생원으로부터 일정 거리 떨어진 단면 혹은 원호상에서 수행할 수밖에 없다. 따라서 관측을 통해 구한 발생율은 엄밀한 의미에서 발생원으로부터의 거리를 포함하는 '기준발생율'이라 칭하는 것이 타당할 것이다. 이러한 기준발생율 개념은 부유토사 영향을 정성적 혹은 정량적으로 예측할 때 특히 중요하다.

한편, 부유토사 플룸은 농도의 수평·연직경사가 크므로 그 형태와 유속을 정확하게 파악하는 것이 발생율 산정에 결정적인 역할을 한다. 예를 들어 연직 3개 층 관측의 경우, 플룸 경계가 저면으로부터 어느 높이까지 도달하느냐에 따라 3개 층 관측으로부터 구한 移動束이 실제 이동속을 과대 혹은 과소평가할 가능성이 있다.

전술한 바와 같이 연안개발공사시의 부유토사 발생율은 공중, 수리, 해저퇴적물 및 작업자의 숙련도의 영향을 받으며, 이에 관한 연구가 국내에서 수행된 바 없어 환경영향평가 및 피해범위·정도 예측에 어려움이 있었다. 이에 본 연구에서 다른 공중에 비해 발생율이 높은 준설을 중점으로 첨단관측장비를 이용한 현장관측을 실시하여 해역 및 주요 준설선별 RSUV를 산정하였다(TGU 포함).

## 2. 현장관측 및 자료분석 방법

### 가. 관측위치

해역 특성, 준설선의 다양성, 해저퇴적물 등을 고려하여 총 6개 지역에서 17회의 현장관측을 실시하였으며, 위치별로 구분한 관측일람표를 표 3.1.1에 각 관측위치를 그림 3.1.1- 3.1.5에 제시하였다.

표 3.1.1 부유토사 발생을 현장관측 일람표.

위 치	색 인	준 설 선		관측기간
		종 류	용 량	
평택	PC*	CSD	12,000HP	'01. 1. 9-10
군 산	KG1	Grab	8m <sup>3</sup>	'01.11. 4- 5
	KR**			
	KC1	CSD	20,000HP	'02. 5.20-21
	KC2	CSD	4,000HP	'02. 8.17-24
	KG2	Grab	13m <sup>3</sup>	
	KG3	Grab	8m <sup>3</sup>	
목포	MG1	Grab	13m <sup>3</sup>	'02. 7.13-14
	MG2	Grab	13m <sup>3</sup>	
광 양	GC1	CSD	12,000HP	'01.11.15-21
	GC2	CSD	7,200HP	
	GG1	Grab	13m <sup>3</sup>	
	GG2	Grab	8m <sup>3</sup>	
	GC3	CSD	20,000HP	'02.11.17-21
	GC4	CSD	4,400HP	
	GG3	Grab	8m <sup>3</sup>	
부 산	BT	TSHD	2,880×2HP	'02. 7. 1- 2
속 초	SG	Grab	13m <sup>3</sup>	'01. 9.19-20

\* 분석에서 제외 (다음 소절 참조)

\*\* 군산내항 가호안 축조공사(제4공구) 기초사석(0.03m<sup>3</sup>이하) 투하

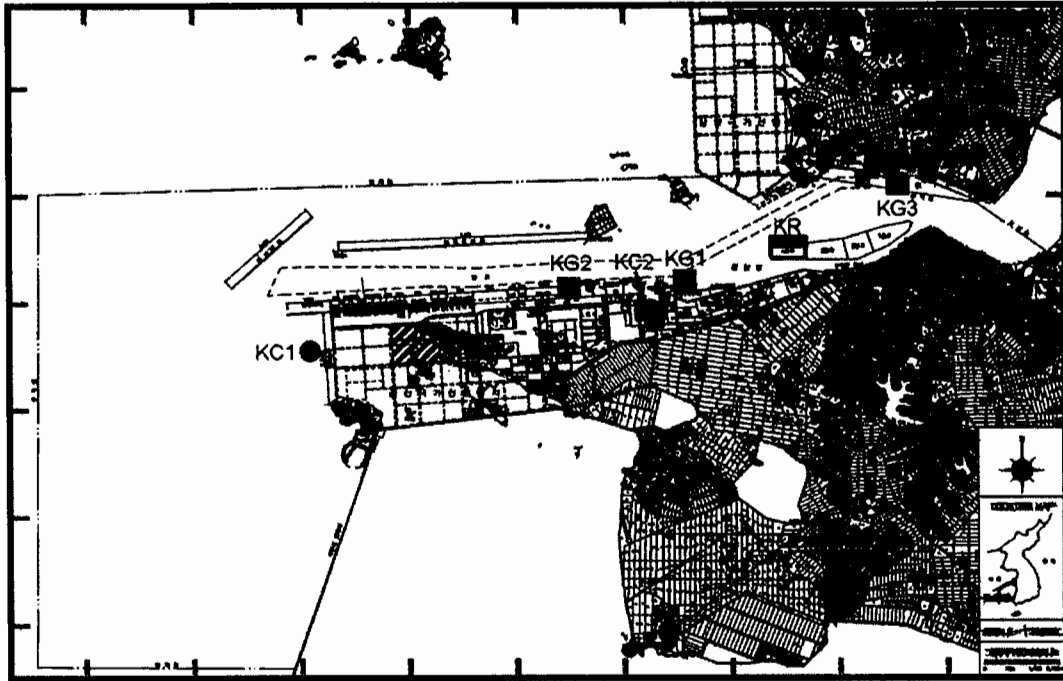


그림 3.1.1 군산항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도.

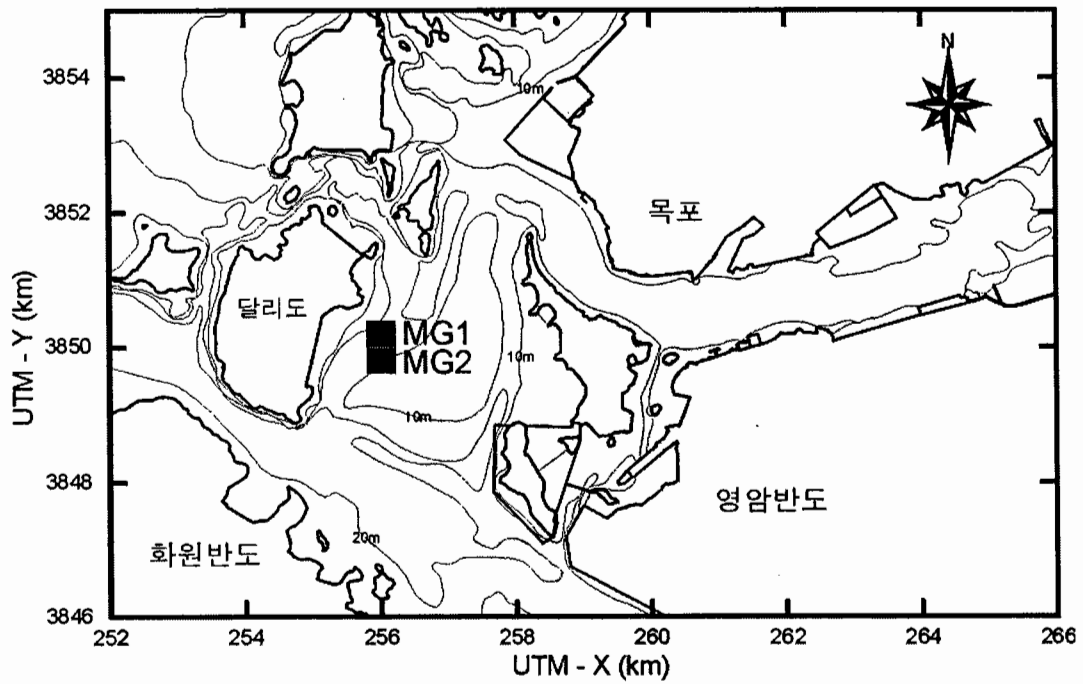


그림 3.1.2 목포항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도.

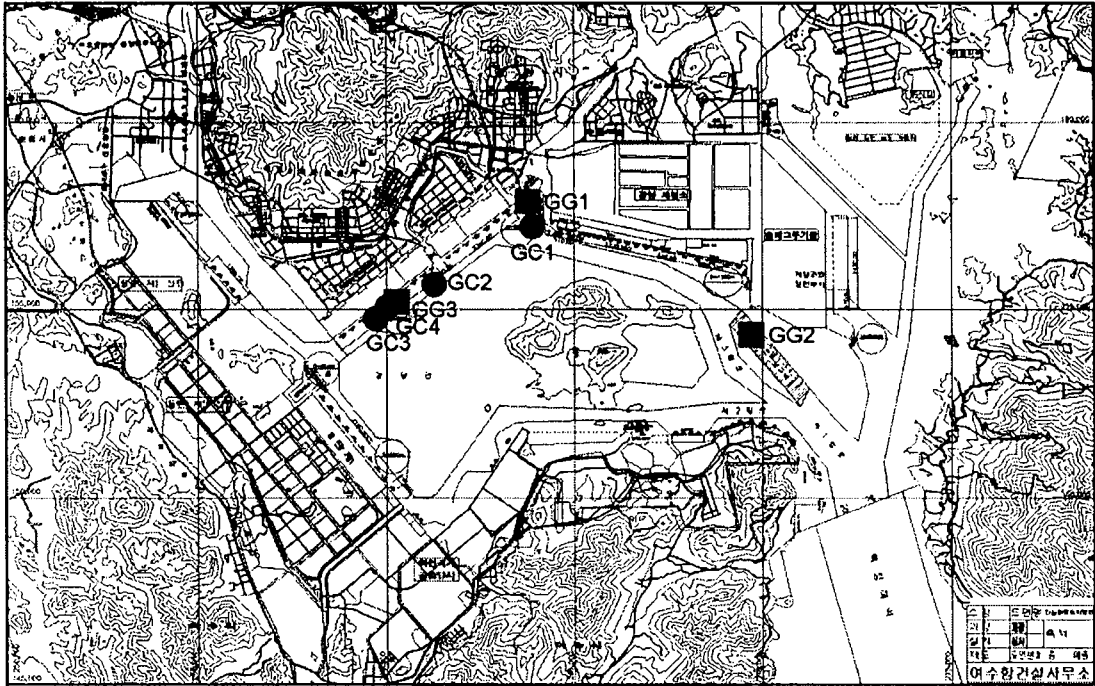


그림 3.1.3 광양항 주변 부유토사 발생을 현장관측 위치도.

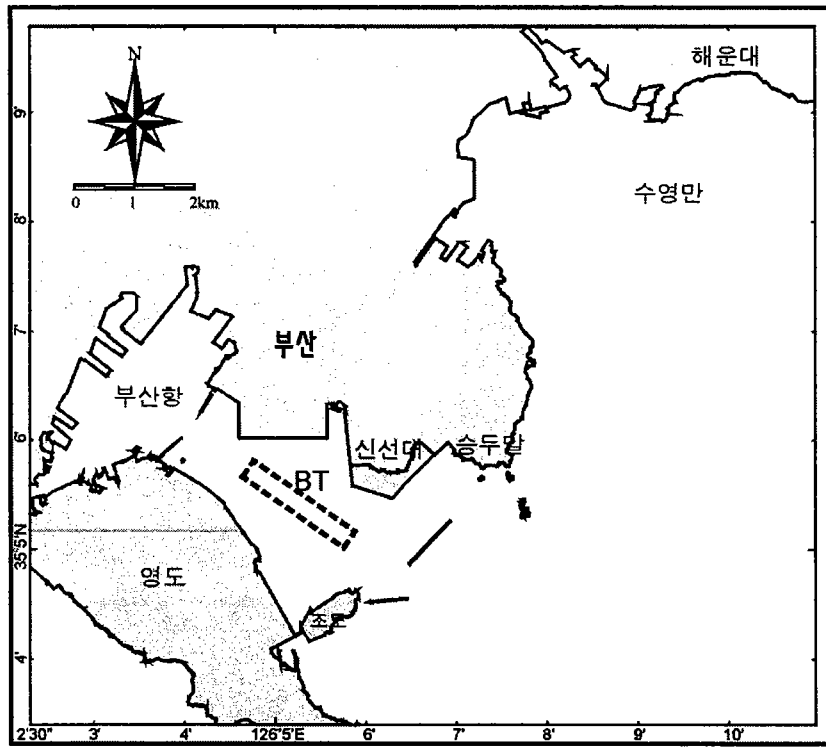


그림 3.1.4 부산항 부유토사 발생을 현장관측 위치도.



그림 3.15 속초항 부유토사 발생을 현장관측 위치도.

#### 나. 관측방법

부유토사 발생율의 신뢰도는 관측의 정확도에 좌우된다. 즉, 농도와 유속의 관측 정밀도에 따라 식 (2.2.4)로 구하는 발생원으로부터 일정 거리(L) 떨어진 단면을 통과하는 부유토사의 단위시간당 이동율(kg/s)의 신뢰도가 결정된다.

$$\Delta S_L = \int_0^B \int_0^H (c_{LT} - c_{LB}) \cdot u_L \, dz \, dy = \int_0^B \int_0^H c_{LP} \cdot u_L \, dz \, dy \quad (2.2.4)$$

부유토사 농도와 유속의 연직분포를 동시에 정확하게 관측하기 위하여 2장에서 소개한 ADCP를 채택하였으며, 본 사업에서 구축한 ‘Vessel-mounted ADCP Monitoring System (이하 VM ADCP 시스템)’의 모식도와 관련 장비를 그림 3.1.6 과 3.1.7에 제시하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 VM ADCP 시스템은 크게 네 부분으로 구성된다. 먼저 농도와 유속 연직분포를 측정하는 ADCP는 미국 RDI 社의 ‘WorkHorse Sentinel ADCP 1.2 MHz’로서 수면하 0.6m에 고정되어 상부 결측구간 이후인 수면



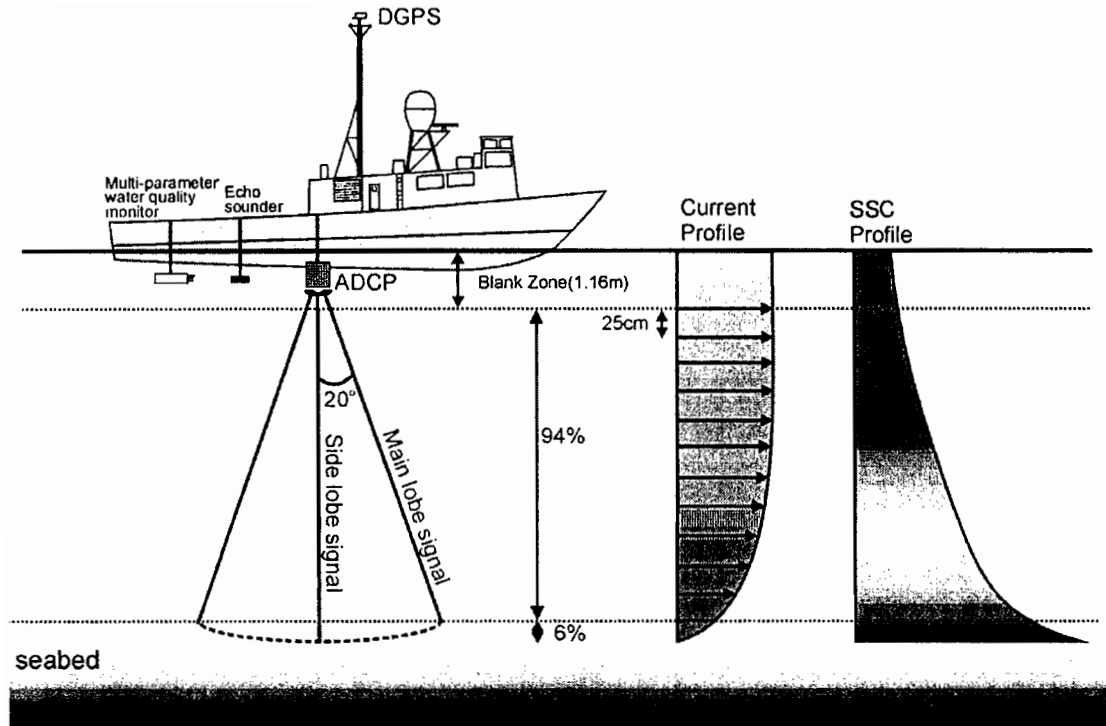


그림 3.1.6 VM ADCP 시스템 모식도.

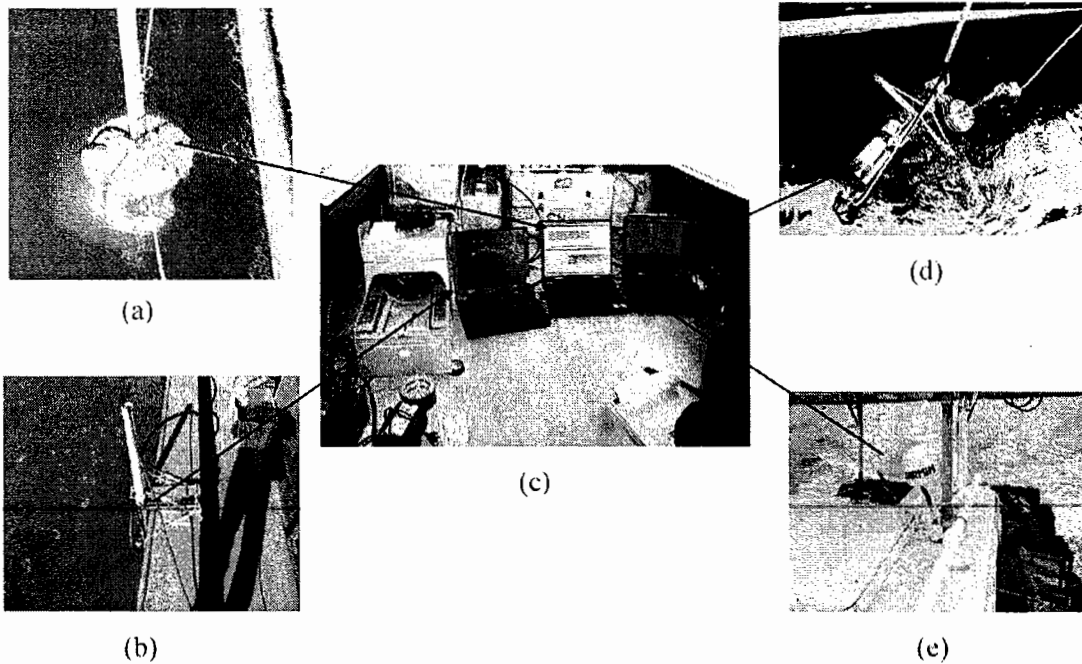


그림 3.1.7 VM ADCP 시스템 구성 장비 : (a) ADCP, (b) 측심기, (c) 자료 저장용 컴퓨터, (d) 수질측정기와 채수기, (e) DGPS 수신기.

하 1.16m부터 25cm 간격으로 유속·유향 및 반사음향강도를 측정한다. 관측시간 간격은 수심에 따라 차이가 있으나 대략 2-4秒이며, 觀測船의 항행속도를 약 2m/s로 유지하여 수평간격 4-8m의 자료를 획득하였다.

2장에서 언급한 바와 같이(그림 2.2.12, 그림 3.1.6 참조), ADCP 관측시 표층과 해저면 근방에 결측구간이 존재하므로 이의 처리가 필요하다. 본 시스템에서는 표층 결측구간의 농도 파악을 위해 미국 YSI 社의 다기능수질측정기 6600UPG를 수면하 0.6m에 고정하여 2초 간격으로 관측하였으며, 하부 결측구간은 상부층 자료를 참조하여 외삽하였다.

YSI6600의 또 다른 용도는 수온과 염분 관측이다. 수온과 염분은 유속 및 부유퇴적물 농도를 구하기 위한 ADCP 현장검보정 과정에 필요하므로 이동관측중 일정 정점에서 YSI6600을 이용하여 수온·염분과 함께 탁도의 연직분포를 관측하였으며 동시에 층별로 해수를 채취하여 YSI6600 및 ADCP 검보정에 이용하였다.

ADCP의 해저면 근방 결측구간으로 말미암아 정확한 수심 파악이 어려우므로 이의 보완을 위해 일본 Kaijo 社의 200kHz 음향측심기 PS-20R을 장착하여 1초 간격으로 관측하였다.

한편, ADCP 이동관측시 유속·유향을 정확히 관측하기 위해서는 觀測船의 이동속도와 방향을 정확하게 파악하여야 한다. 이를 위해 ADCP는 음향신호를 이용하여 bottom track, 즉 관측선의 항행궤적을 기록하며, 자료의 후처리 과정에서 관측 유속에서 조사선 유속을 보정하여 실제 유속을 구한다. 그러나 해저면에 海藻類가 서식하거나 이동하는 고농도 부유퇴적물 층이 존재하면 그림 3.1.8에 예시한 바와

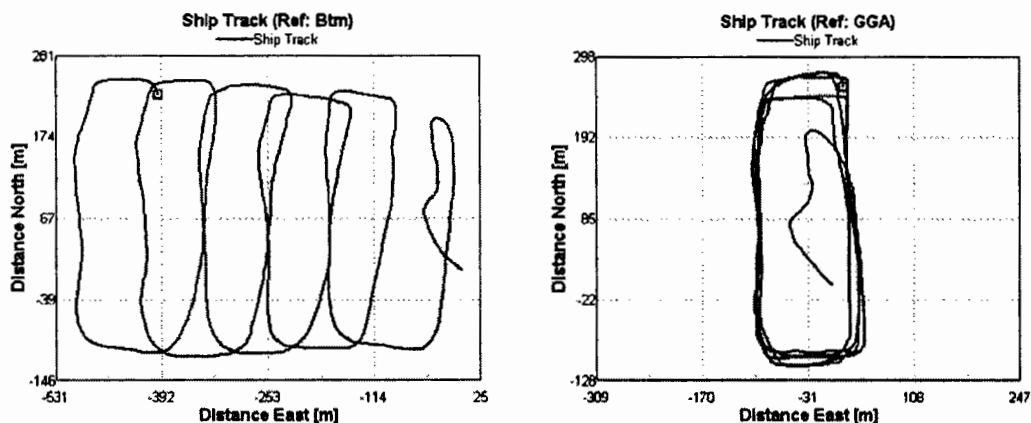


그림 3.1.8 ADCP bottom track 기법과 DGPS에 의한 항적 차이 예(KG2).

같이 항행계획에 오차가 발생할 수도 있으므로 이를 대비하여 정밀 GPS를 이용한 정확한 관측경로 파악이 필수적이다. 이를 위해 Garmin 社의 GPSIII를 ADCP 제어 컴퓨터에 연계하여 ADCP 관측과 동일한 시간간격으로 위치 정보를 수신하였다. DGPS 모드에서의 GPSIII 오차는 1-5m 정도이다.

VM ADCP 시스템을 이용한 부유토사 발생을 관측시 관측경로 설정에 주의하여야 한다. 즉, 공사로 인해 발생한 부유토사 플룸 일부가 결측되지 않도록 함과 아울러 배경농도를 파악할 수 있는 영역을 포함하도록 경로를 설정하여야 한다. CSD와 그랩 준설선 작업시의 관측경로 예를 그림 3.1.9와 3.1.10에, TSHD 작업시의 경로를 그림 3.1.11에 제시하였다.

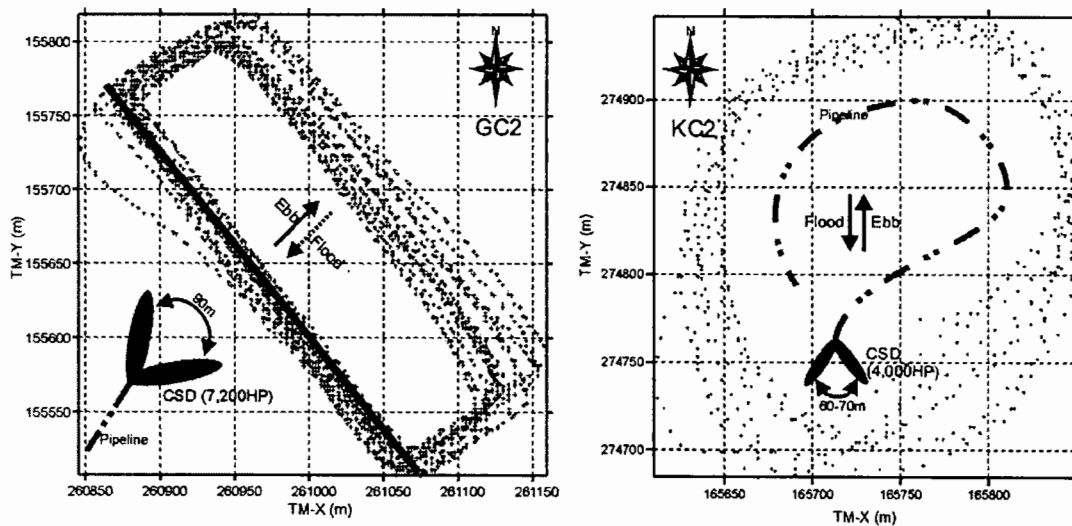


그림 3.1.9 CSD 작업시 VM ADCP 이동관측경로 예.

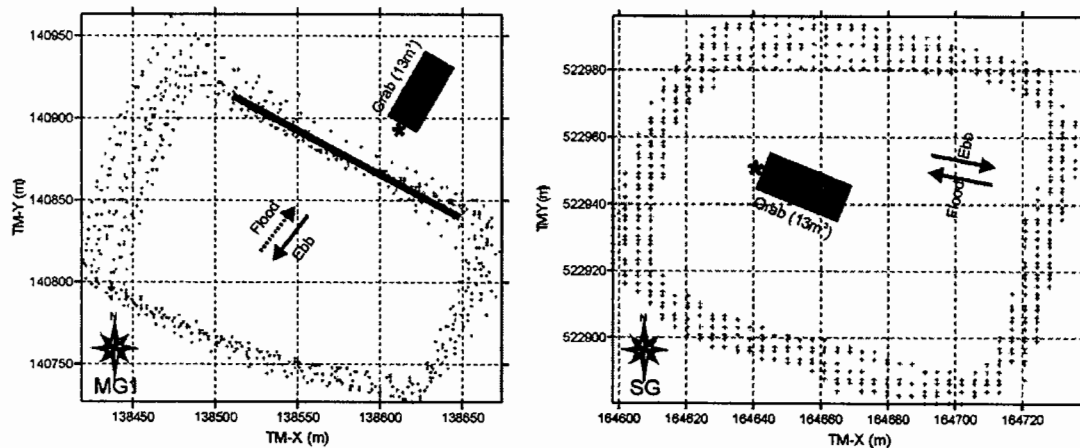


그림 3.1.10 그랩 준설선 작업시 VM ADCP 이동관측경로 예.

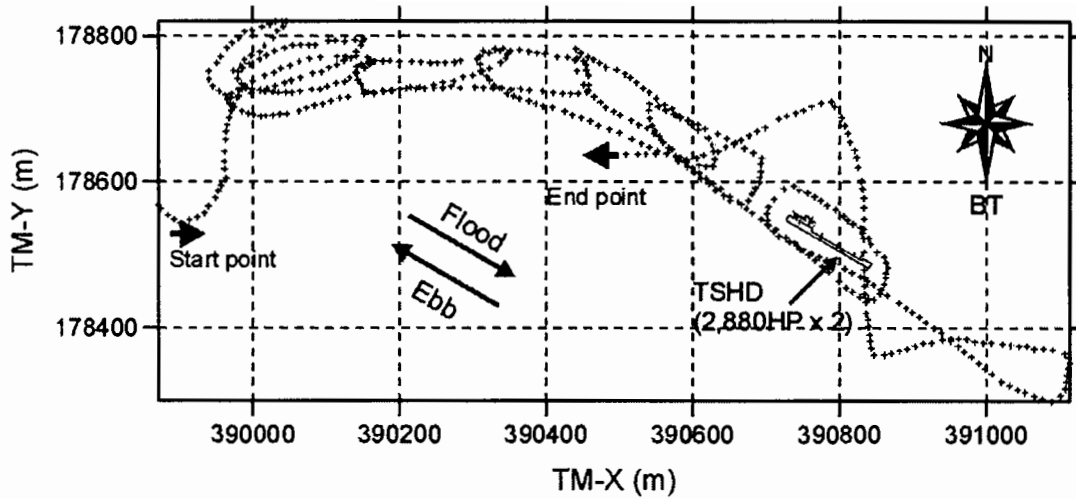


그림 3.1.11 TSHD 작업시 VM ADCP 이동관측경로.

광양의 GC2와 목포의 MG1과 같이 흐름 방향이 뚜렷한 경우에는 준설선으로부터 약 40m 떨어진 단면을 발생을 관측단면으로 설정하였으나 군산외항(KC2)과 속초항(SG)의 경우와 같이 유향이 뚜렷하지 않은 경우에는 준설선 중심의 원호상에서 관측하였다. 한편 부산항에서의 TSHD 작업시에는 준설선 주변을 순환·추적하면서 관측하였다.

한편 관측치로부터 구한 RSUV를  $74\mu\text{m}$  이하 입자에 대한 RSUV인 TGU로 표준화하기 위해서는 준설토의 입경분포가 필요하므로 각 준설 지점에서 해저퇴적물을 채취·분석하였다.

#### 다. 분석방법

VM ADCP 모니터링을 통하여 획득한 방대한 자료를 그림 3.1.12에 제시한 일련의 과정을 통하여 처리하여 최종적으로 부유토사 발생율을 산정한다.

자료 분석에서 가장 중요한 부분은 ADCP가 연직방향 25cm 간격으로 측정된 반사음향강도(EI: echo intensity, dB)를 SSC로 환산하는 것이다. 그러나 ADCP는 EI를 무차원의 RSSI(reflected signal strength indicators, 이를 단순히 counts라고도 함)로 저장하며, EI와 RSSI와의 관계는 송수파기마다 다르다. 본 연구에서는 DRL 社의 DRL-Sediview를 이용하여 RSSI를 SSC로 환산하지만 이 software에 의한 검보정 결과가 신뢰성을 확보하기 위해서는 ADCP 측정 층에서의 수온, 염분 및 SSC가 필요하다.

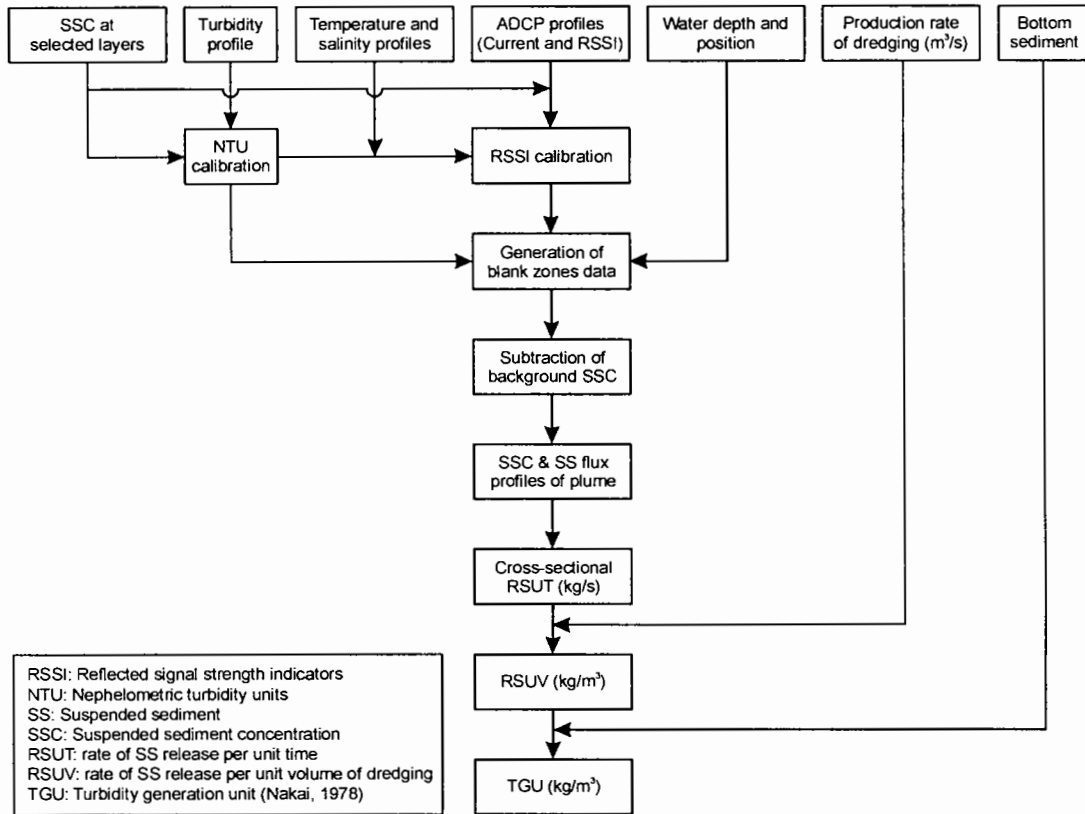


그림 3.1.12 부유토사 발생을 관측자료 분석 흐름도.

관측장비의 검보정으로 시작하는 일련의 자료처리과정은 1) NTU 현장검보정, 2) RSSI 현장검보정, 3) 발생을 산정으로 나눌 수 있으며 각각을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

### (1) NTU 현장검보정

RSSI 검보정을 위해서는 ADCP 관측 층과 동일한 층에서의 부유퇴적물 농도(SSC)가 필요하며, SSC 측정 층이 많을수록 검보정 신뢰도가 높아진다. 그러나 부유토사 플룸은 시공간적으로 빠르게 변하므로 ADCP 관측중 검보정을 위한 채수에 많은 시간을 할애할 수 없다. 따라서 관측경로상의 일정 정점을 선정하여 관측중 특정 시각에 YSI6600을 이용한 수온, 염분 및 탁도의 연속분포를 빠르게 파악함이 효과적이다. 그러나 YSI6600의 경우와 같이 광후산란 탁도 센서(OBS)는 같은 농도일지라도 미세입자인 경우에 높은 탁도(Nephelometric turbidity units, NTU)를

보이므로 NTU를 실제 농도로 변환하기 위한 채수가 필요하다. 이를 위해 YSI6600 profiling 시 연직 3개 층에서 해수를 채취하였으며, 채수된 해수는 실험실에서 pore size 0.47 $\mu$ m인 유리섬유여과지(Whatman 社 GF/C필터)로 여과후 무게를 달아 부유퇴적물 농도를 구하였다.

ADCP 관측중의 YSI6600 관측치와 부유퇴적물 농도간의 현장검보정 예를 그림 3.1.13에 제시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 속초와 군산 해역에서 그랩 준설선 작업시의 현장검보정 결과, 모두 0.98 이상의 높은 결정계수를 보였으며 그 밖의 관측에서도 유사한 결과를 얻었다.

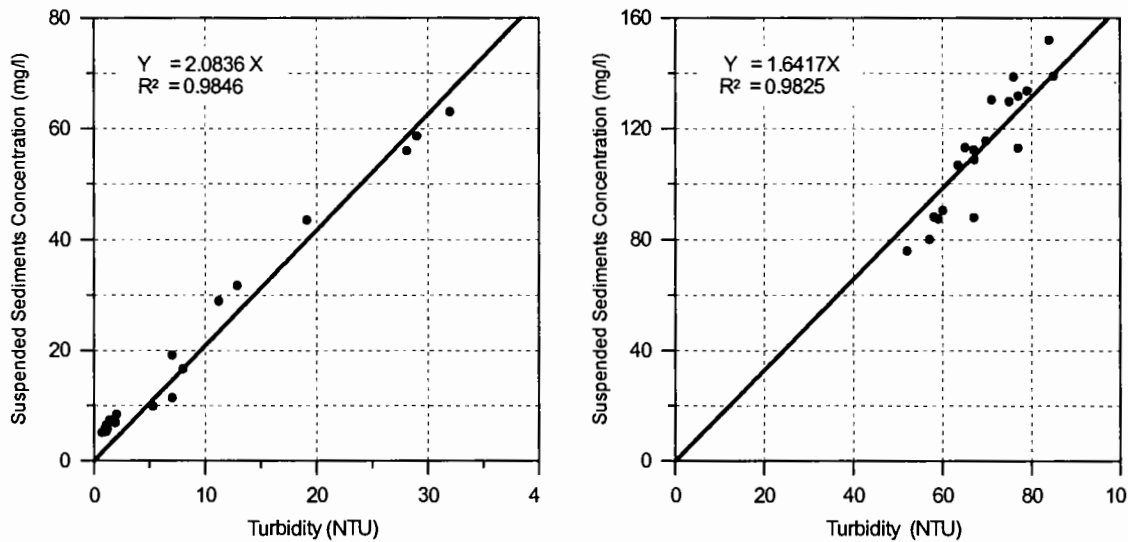


그림 3.1.13 YSI6600 탁도와 부유퇴적물 농도와의 상관관계 예 (좌:SG, 우:KG1).

## (2) RSSI 현장검보정

2장에서 언급한 바와 같이 이론적으로는 입경분포를 정확하게 파악하면 식 (2.2.7)과 식 (2.2.8)에 따라 부유퇴적물의 체적농도  $C_V$ 를 구할 수 있다.

$$S_V = 10 \log (C_V k^4 d^3) + 10 \log (k_f) + 20.0 \quad (2.2.7)$$

$$EI = SL + S_V - RV - AL \quad (2.2.8)$$

그러나 실제로는 1) RSSI와 EI 사이의 변환인수(conversion factor)가 회로 사시의 온도에 따라  $\pm 20\%$ 까지 변하여 EI에 10dB, 농도에는 1000%의 오차가 발생할 수 있으며, 2) RV와 관련하여 음파가 구면파 형태로 전파한다고 가정하지만 실제로

는 그렇지 않아 첫 번째 층의 농도가 100%까지 과소평가되고 이는 다시 그 하부층에 영향을 미치며, 3) AL과 관련하여 해수의 수중 음향에너지 흡수율은 송수파기 주파수, 수온 및 용존물질의 화학성분에 좌우됨에도 이를 전층에 일정하게 적용하면 100%의 오차를 보일 수 있고, 4) 역시 AL과 관련하여 부유퇴적물에 의한 음향에너지 흡수·산란은 농도, 입경분포, 입자의 압축성과 밀도, 수중 음속, 그리고 물의 점성계수와 밀도의 영향을 받음에도 이를 무시하면 수 백%의 오차를 보일 수 있음과 아울러 5) 부유퇴적물 입경분포의 시간변화를 무시하여도 결정적인 오차가 발생할 수 있다(DRL Software Ltd, 2002a).

이와 같이 ADCP RSSI를 SSC로 환산하는 것은 OBS의 경우와 같이 단순하지 않다. 이에 본 연구에서는 과거 10여년간 준설 플룸 관련 연구자와 음향전문가가 공동 연구(Land *et al.*, 1997; Land and Bray, 1998; Land and Jones, 2001)를 통하여 상용화한 DRL-Sediview를 이용하여 RSSI를 농도로 환산하였다. Sediview는 2장에서 언급한 바와 같이 반복계산을 통한 최적접합상관식을 도출하므로 검보정에 소요되는 시간을 크게 단축할 수 있다. Sediview의 RSSI 검보정 절차는 그림 3.1.14와 같으며 속초와 군산에서의 검보정 결과를 그림 3.1.15에 예시하였다.

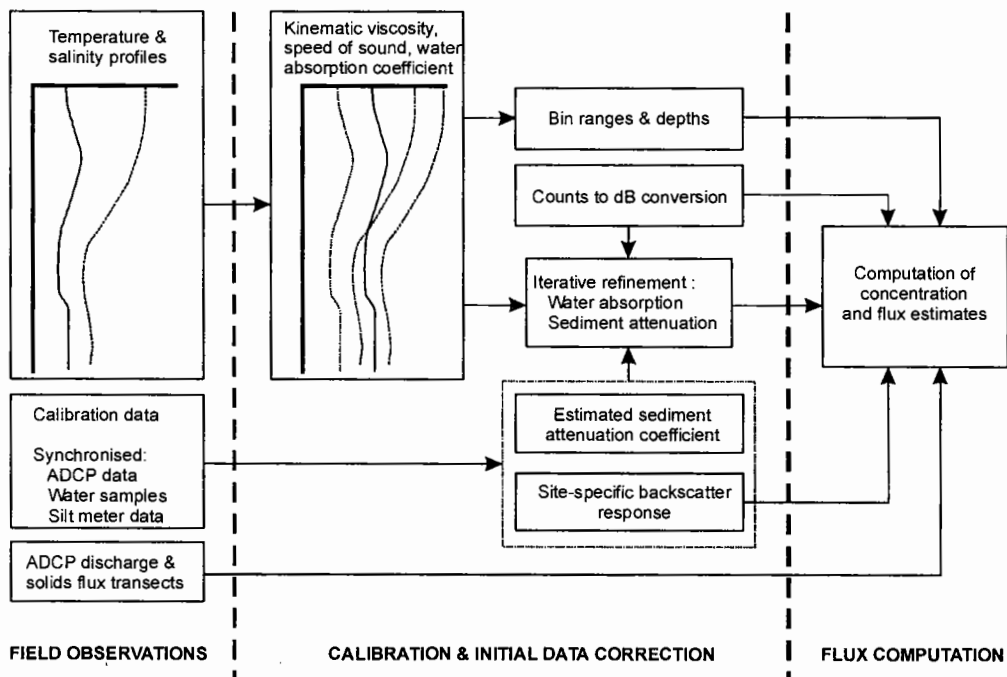


그림 3.1.14 DRL-Sediview의 ADCP 반사음향강도(RSSI) 검보정 과정 (Land and Jones, 2001).

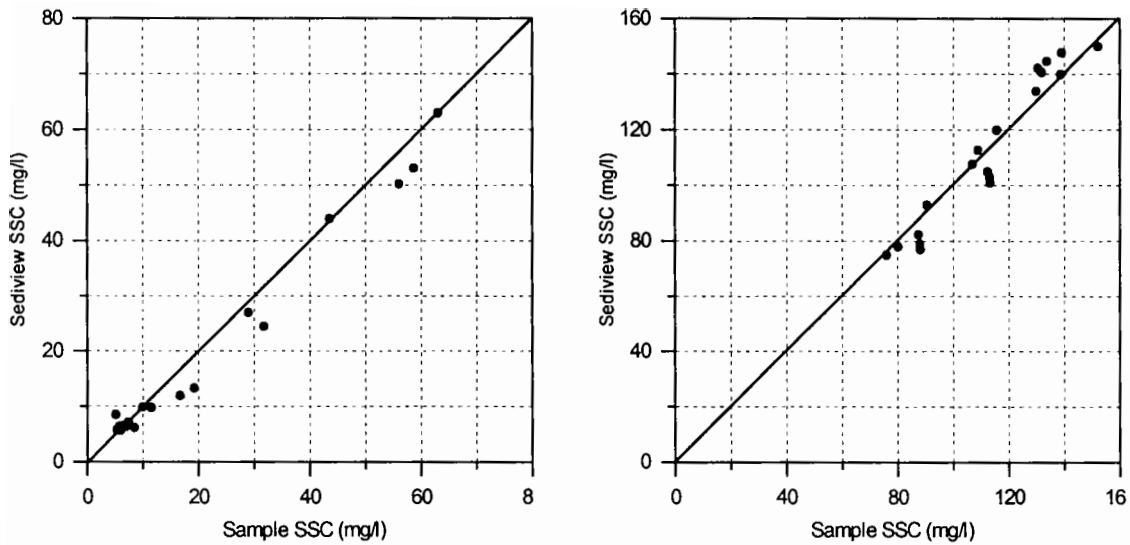


그림 3.1.15 DRL-Sediview를 이용한 RSSI 현장검보정 예 (좌: SG, 우: KG1).

### (3) 발생을 산정 과정

ADCP RSSI 검보정 완료후에는 YSI6600의 표층관측치와 외삽법으로 상하층의 ADCP 결측구역 농도를 할당한 후 발생원 40m 전면 관측경로상에서의 SSC 연직 분포를 구한다. 그림 3.1.16은 Sediview로 검보정하기 전단계인 RDI 社의 프로그램인 WinRiver로 처리한 군산외항 인근 KG2에서의 ADCP 관측결과이다. 관측된 수심분포에 따라 준설이 완료된 영역의 수심은 약 11m 정도인 반면 준설이 진행중인 곳은 약 6m 정도인 것을 알 수 있다. 유속의 경우, ㉞↔㉠ 경로상의 수로 중앙부에서 수심 약 6m까지 약 70cm/s 이상의 강한 유속을 보인 반면, ㉠↔㉞ 경로상의 제 5부두 안벽 쪽에서는 약 10cm/s 내외로 약하였다.

한편 준설 플룸 이동경로상의 두 지점 ㉠, ㉞에서의 EI가 높다. 특히 준설 지점에서 인접한 ㉠가 ㉞에 비해 플룸 폭은 좁은 반면 EI는 높은 값을 보이는 바, 이는 플룸이 하류로 이동하면서 희석되기 때문이다.

발생을 산정시 단면농도의 시각을 표준화하는 것이 필요하며 본 연구에서는 플룸 중심부를 지나는 시각을 대표시각으로 설정하였다. Sediview로 RSSI를 검보정하고 blank zone의 농도를 할당한 후의 단면농도 예를 그림 3.1.17에 제시하였다. 준설지점 약 40m 전면에 수평방향 폭 50-60m의 플룸이 뚜렷하게 형성되어 있으며, 배경농도는 20-60mg/l인 반면 플룸농도는 240mg/l까지 증가함을 알 수 있다.



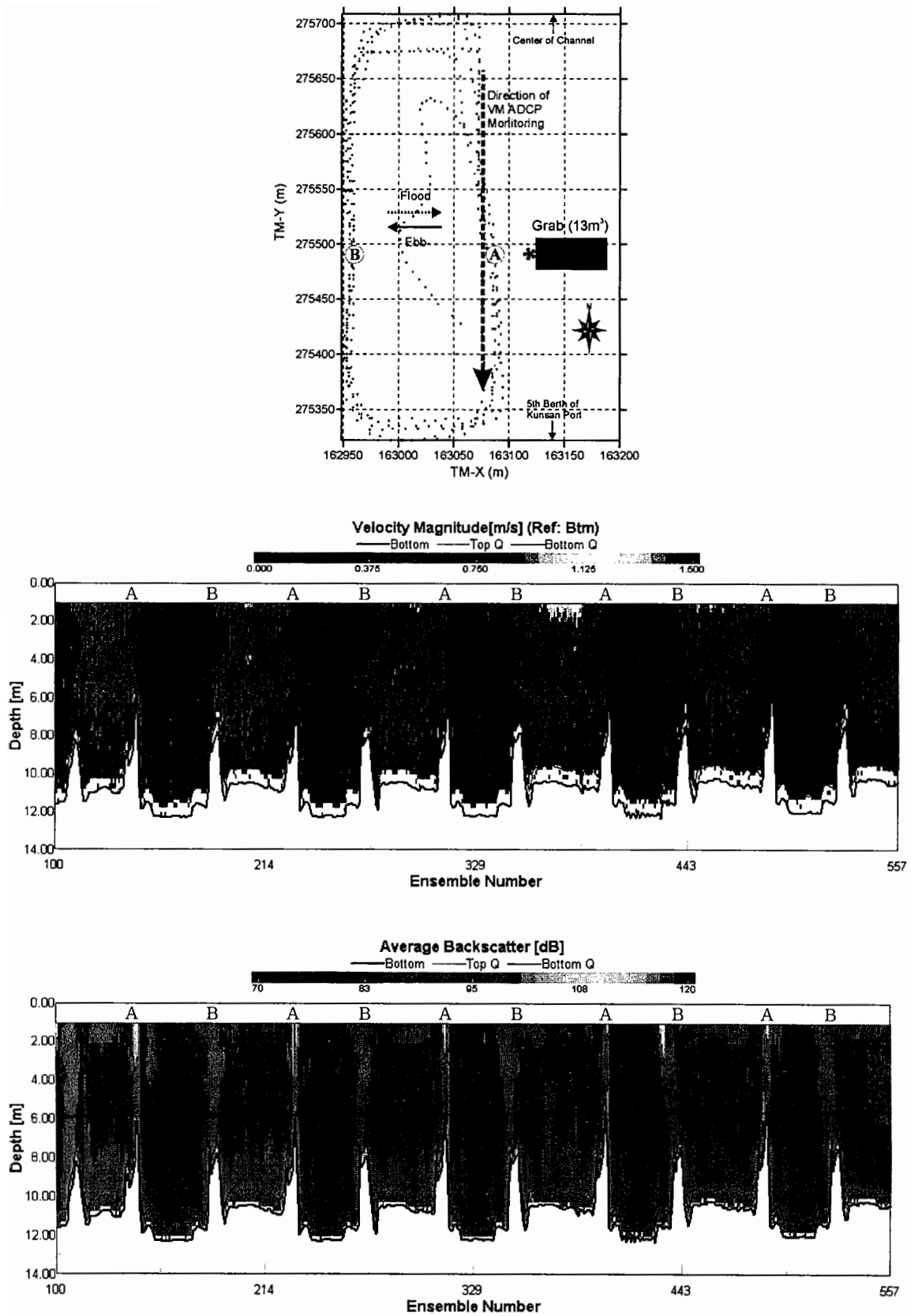


그림 3.1.16 VM ADCP 모니터링 결과의 1차 처리 예 (KG2).

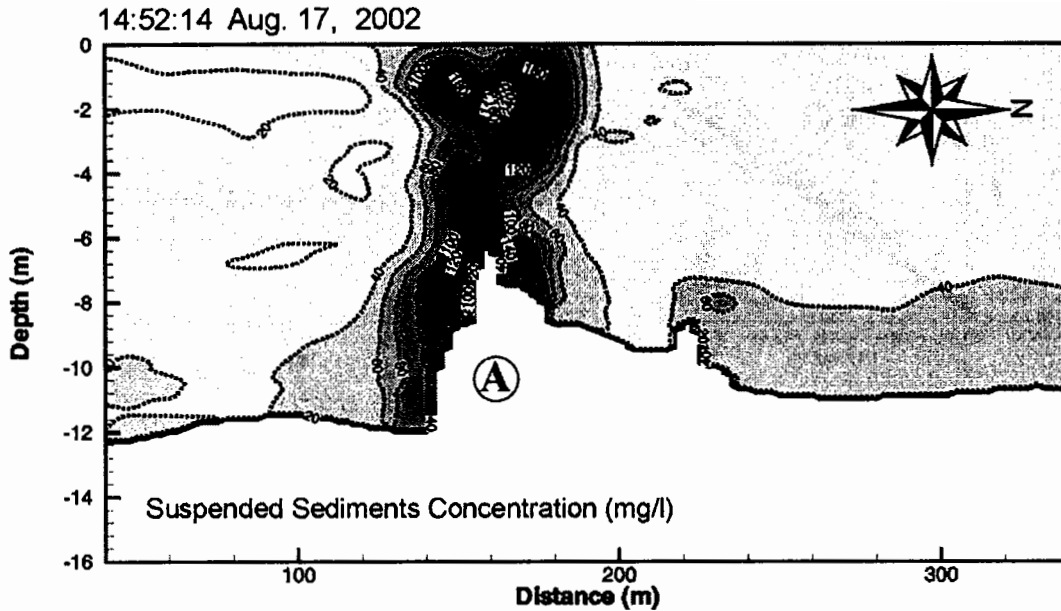


그림 3.1.17 RSSI 검보정 후의 단면농도 예 (KG2).

또한 그림 3.1.17은 배경농도 설정의 중요함을 나타낸다. 즉, 관측치로부터 준설 플룸의 경계농도를  $40\text{mg/l}$ 로 설정할 수 있으나, 이를 전체 단면에 걸친 배경농도로 설정하면 준설의 영향이 아니라 유속의 영향으로 판단되는  $40\text{mg/l}$  이상의 수로측 저층이 준설 영향으로 간주되어 발생율이 과대평가되는 결과를 초래한다. 따라서 각 단면결과에서 플룸 영향권 밖의 영역을 구분하는 것이 필요하다.

이상의 과정을 통하여 준설로 인한 단면상의 농도중분이 결정되면 해당 수심에서의 유속을 곱하고 영역에 관해 적분하여 준설로 발생한 부유토사의 RSUT ( $\text{kg/s}$ )가 구해지며, 관측시간 동안의 평균준설율, RVUT( $\text{m}^3/\text{s}$ )로 나누어 단위준설체 적당 발생율(RSUV,  $\text{kg}/\text{m}^3$ )을 구한다. RSUV를 구한 후에는 일본 자료와의 비교를 목적으로 준설토의 입경 누적분포와 2장에서 언급한 방법을 사용하여  $74\mu\text{m}$  이하 입경에 대한 RSUV인 TGU를 구한다. 이와 같은 과정은 매 관측단면에 대해 수행되며 해당 공사에 대한 최종 RSUV는 각 단면에 대한 RSUV의 평균치로 제시한다.

한편 계산과정의 편의를 위해 그림 3.1.18에 예시한 바와 같이 발생율 산정단면이 x-축이 되도록 좌표를 변환할 필요가 있으며, 관측단면을 조류에 법선방향으로 설정하고자 하였으나 경우에 따라 이를 벗어나는 경우가 있으므로 RSUT 산정시 단면에 법선방향 성분유속을 구하여 사용한다.

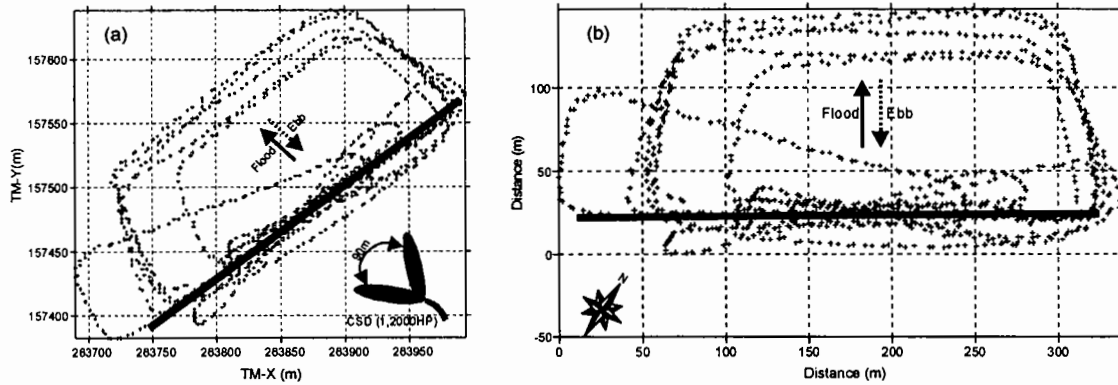


그림 3.1.18 발생을 관측단면(a)의 좌표변환(b) 예 (GC1).

이상의 관측방법과 분석방법 각각에서 핵심적인 역할을 하는 하드웨어와 소프트웨어는 미국 RDI 社의 1.2MHz BBADCP(모델명 WorkHorse Sentinel)와 영국 DRL 社의 DRL-Sediview이다. 본 연구 1차년도 평택(아산)항에서의 관측시에는 미국 Sontek 社의 3-beam narrow band ADP 500kHz를 이용하였다. 그러나 narrow band ADP는 BBADCP에 비해 RSSI의 농도 환산시 오차가 많으며, Sediview가 RDI 社의 자료형식만을 입력자료로 인식함에 따라 분석과정의 표준화를 도모한다는 측면에서 분석에서 제외하였다.

### 3. 준설토 입경분포 특성

준설토의 입경분포는 부유토사 발생을 정도 추정에 필요하며, 특히 TGU 산정에는 필수적이다. 각 준설 해역에서 소형 채니기를 이용하여 해저퇴적물을 채취하였으며, 채취가 불가능한 암반준설지역에서는 토운선에서 시료를 채취하였다. 채취된 시료중 62.5 $\mu\text{m}$  이상(4 $\phi$  이하)의 조립질은 1 $\phi$  간격의 건식체질(dry sieving)로, 그 이하의 세립질은 레이저 자동입도분석기(Mastersizer MAF 5000)를 이용하여 입경분포를 구하였다. 준설선의 종류와 용량별로 정리한 해저퇴적물 통계특성과 입경누적확률분포곡선을 각각 표 3.1.2와 그림 3.1.19에 제시하였다. 누적곡선에는 TGU 산정시 필요한 입경 74 $\mu\text{m}$ 까지의 누적확률을 표시하였다.

분석결과, CSD와 TSHD 작업 지점의 퇴적물은 KC1을 제외하면 대부분 점토(4 $\mu\text{m}$  이하) 함량이 20% 내외이며, 평균입경 10~30 $\mu\text{m}$ 로 세립질이 우세하다. 그러나, 군산 비응도 전면인 KC1은 대부분이 평균입경 100 $\mu\text{m}$ 인 사질로 구성되어 있다.

표 3.1.2 준설토 입경의 통계특성.

Location		Weight composition(%)				Sedi. type*	Mean (φ) (mm)		SD	Sk	Kt	Dredger capacity
No.	Id.	Gravel	Sand	Silt	Clay							
1	GC3	0.0	7.0	67.4	25.6	Z	6.9	0.01	1.9	-0.5	3.7	20,000hp
2	KC1	0.0	93.0	6.6	0.5	S	3.3	0.10	0.7	2.9	26.0	20,000hp
3	GC1	0.0	22.4	52.2	25.4	sZ	6.3	0.01	2.4	-0.3	2.3	12,000hp
4	GC2	0.1	38.7	41.7	19.5	(g)sM	5.2	0.03	2.8	0.0	1.9	7,200hp
5	GC4	5.3	23.9	53.8	17.0	gM	5.3	0.03	3.2	-0.8	2.9	4,400hp
6	KC2	0.1	8.2	69.6	22.1	(g)M	6.6	0.01	1.9	-0.2	3.2	4,000hp
7	GG1	0.7	30.0	48.7	16.0	gmS	1.4	0.39	3.3	0.9	2.9	13m <sup>3</sup>
8	KG2 <sup>#</sup>	28.2	56.7	13.4	1.7	gmS	1.0	0.51	2.8	0.9	3.2	
9	MG1	0.0	44.8	44.6	10.6	sZ	4.7	0.04	2.6	0.3	2.0	
10	MG2	0.9	71.7	21.2	6.2	(g)mS	2.5	0.17	2.9	1.0	2.8	
11	SG	0.2	71.3	25.0	3.5	(g)mS	3.9	0.07	1.7	1.5	5.9	8m <sup>3</sup>
12	GG2 <sup>#</sup>	0.5	25.6	61.2	10.2	gmS	1.0	0.49	2.9	0.9	3.7	
13	GG3	1.4	21.0	55.0	22.6	(g)sM	6.1	0.01	2.7	-0.9	3.4	
14	KG1 <sup>#</sup>	23.7	45.4	24.3	6.6	gmS	2.6	0.16	3.5	0.0	2.3	
15	KG3	0.0	48.0	42.4	9.6	sZ	5.0	0.03	2.0	0.8	2.7	2,880hp×2
16	BT	0.0	20.1	59.7	20.1	sZ	6.4	0.01	2.0	-0.2	2.5	

\* According to the classification of Folk and Ward(1957)

# Dredging after crushing of sedimentary bedrock

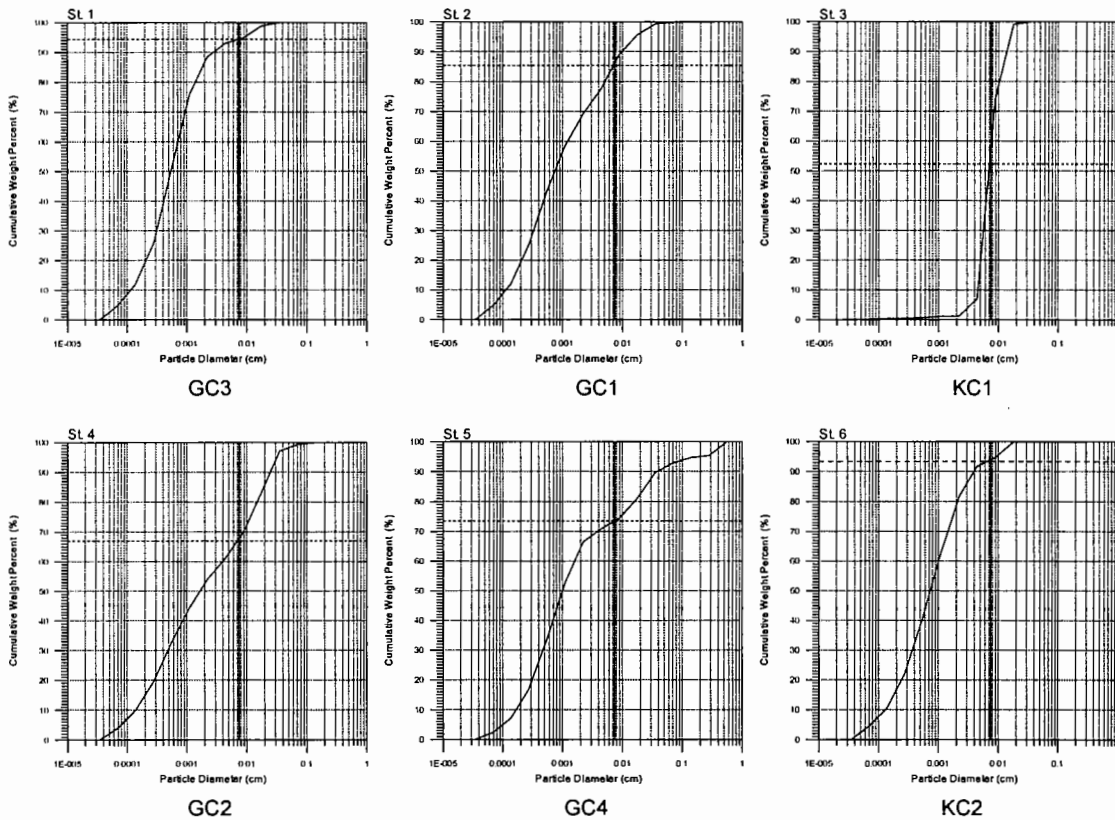
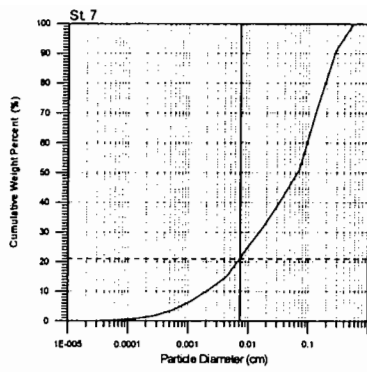
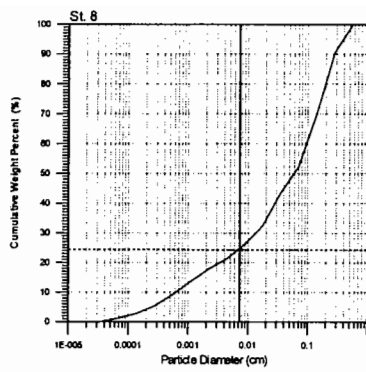


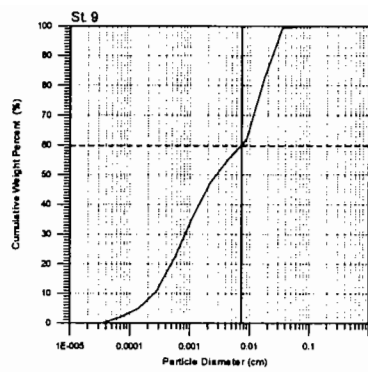
그림 3.1.19 준설토 입경의 누적확률분포.



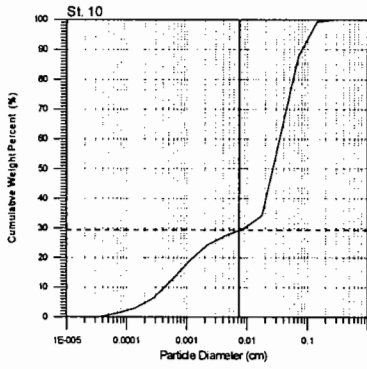
GG1



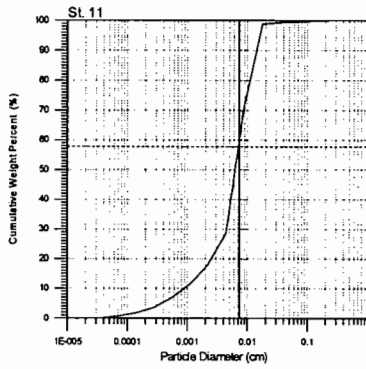
KG2



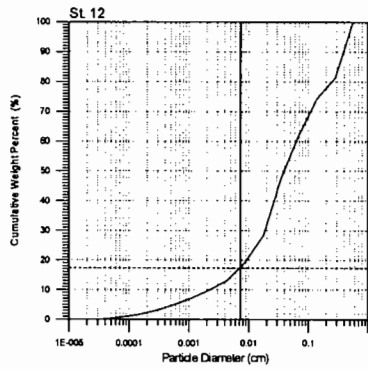
MG1



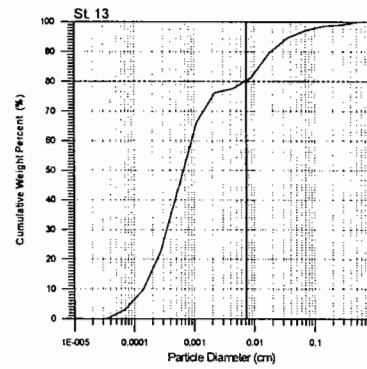
MG2



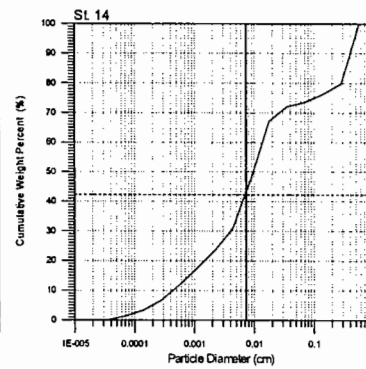
SG



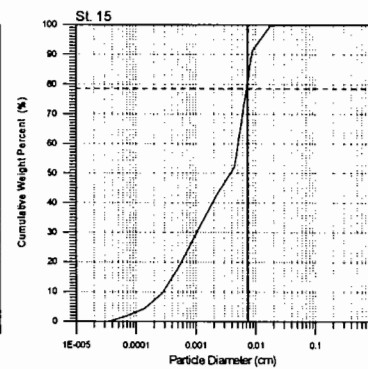
GG2



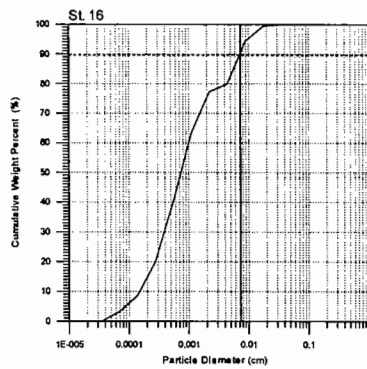
GG3



KG1



KG3



BT

그림 3.1.19 (계속).

그랩 준설 지점인 목포항 진입항로 유지준설 지점인 MG1과 MG2의 경우, 약 400m의 인접 위치임에도 불구하고 퇴적상이 다르며, 이는 MG1에 비해 M2가 수로 중앙부에 가깝기 때문으로 판단된다. 속초의 SG는 항내임에도 사질 함량이 71%로 높으며, 광양항 컨테이너부두 전면인 GG3와 장항 도선장 잔교부두 전면인 KG3는 평균입경이 각각 10 $\mu$ m, 30 $\mu$ m로 다른 그랩 준설 지점에 비하여 세립질로 구성되어 있다.

분석결과 참조시 특별히 유의해야 할 지점은 광양의 GG2와 군산의 KG1, KG2이다. 이 지점들에서는 그림 3.1.20에 나타낸 쇄암봉으로 해서 퇴적암을 분쇄한 후 준설하였다. 따라서 실제로 준설한 것은 토사만이 아니라 분쇄된 퇴적암 파편을 상당량 포함하고 있으므로 토운선 내의 일부 토사를 채취하여 분석한 표 3.1.2의 결과는 대표성이 없으며, 단지 통상적인 입도분석 실험이 가능한 입자들에 대한 참고자료일 뿐이다.



그림 3.1.20 GG2 그랩 준설시의 쇄암봉(좌) 및 쇄암후 준설암편(우).

#### 4. 공중별 플룸 특성 및 부유토사 발생을

전술한 방법에 따른 관측과 분석을 통하여 발생을 산정하였다. 각 관측시의 VM ADCP 관측경로를 부록의 그림 A1.1-A1.17에 제시하였으며, 각 지점에서의 단면농도와 유속분포를 그림 A1.18-A1.31에 제시하였다. CSD, 그랩 준설선 작업시와 사석투하시 발생한 대표적인 플룸 형상과 발생을 산정결과, 그리고 TSHD 작업시의 연직평균농도 변화를 살펴본다.

## 가. CSD

표 3.1.2에 제시한 바와 같이 광양항과 군산항 주변에서의 CSD 작업시 총 5회에 걸친 현장관측을 실시하였으며, 관측에 포함된 CSD의 원심펌프 용량 범위는 4,000-20,000마력이다. 군산 KC1의 경우, 펌프 용량은 20,000마력이나 관측 당시 펌프 1기의 고장으로 실제로는 12,000마력으로 작업하였다.

CSD에 의한 SS 플룸의 예시로서 20,000마력 CSD가 작업한 광양의 GC3에서 관측된 SS 플룸 형상을 그림 3.1.21에 제시하였다. 배경 농도는 20-40mg/l 정도인 반면 플룸 중심부 농도는 200mg/l까지 증가한다.

분쇄기(Cutter) 회전(swing) 폭이 약 120m임에 따라 SS 플룸 중심부가 수평적으로 일정하지 않음을 잘 나타내며, 발생원이 해저면이고 10cm/s 내외의 비교적 약한 유속임에도 플룸이 상층부까지 도달함을 알 수 있다.

매 관측단면에서 구한 단면평균유속과 플룸단면의 농도 증분 및 SS 발생율을 표 3.1.3에 제시하였다. 플룸단면이란 플룸만을 포함하는 단면은 아니며, 플룸의 영향권을 수평측을 기준으로 설정한 단면이다. 따라서 만일 A, B 두 플룸내의 농도 증분은 같더라도 A는 연직방향으로 서 있는 형태이고 B는 수평방향으로 누워 있는 형태라면 B의 플룸단면이 크게 설정되는 반면 농도 증분은 낮아진다. 그림 3.1.21은 플룸이 수직방향으로는 수면까지 수평방향으로는 단면 양단 근방까지 미쳐, 단면 전체가 플룸단면으로 설정된 경우이며, 이에 따라 플룸 코아의 농도는 200mg/l까지 증가하지만 플룸단면의 농도 증분은 최대 약 20mg/l에 정도에 불과한 것이다.

표에서 알 수 있듯이 RSUV의 변동폭이 1.58-10.35 kg/m<sup>3</sup>로 비교적 크지만 유속과의 상관도가 낮은 것으로 미루어, 그 차이는 분쇄기가 퇴적층에 묻히는 정도와 swing 속도 등에 의한 것으로 판단된다.

한편 74 $\mu$ m 이하 입자에 대한 RSUV인 TGU는 6.37 kg/m<sup>3</sup>으로서 RSUV의 평균치 6.6 kg/m<sup>3</sup>와 큰 차이가 없으며, 이는 준설토가 주로 74  $\mu$ m 이하 입자로 구성 되어 있기 때문이다.

그림 3.1.9에 제시한 바와 같이 군산외항내 안벽 근방에서 4,000마력 CSD 작업시(KC2) 준설토 주변을 순환하면서 관측한 결과를 그림 3.1.22에 제시하였다. 그림에서 유속·유향 및 부유토사 농도는 순환관측경로를 따른 수심평균치이다. 이 경우, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 항내 유속·유향의 변동폭이 크에 따라 觀測線을 통

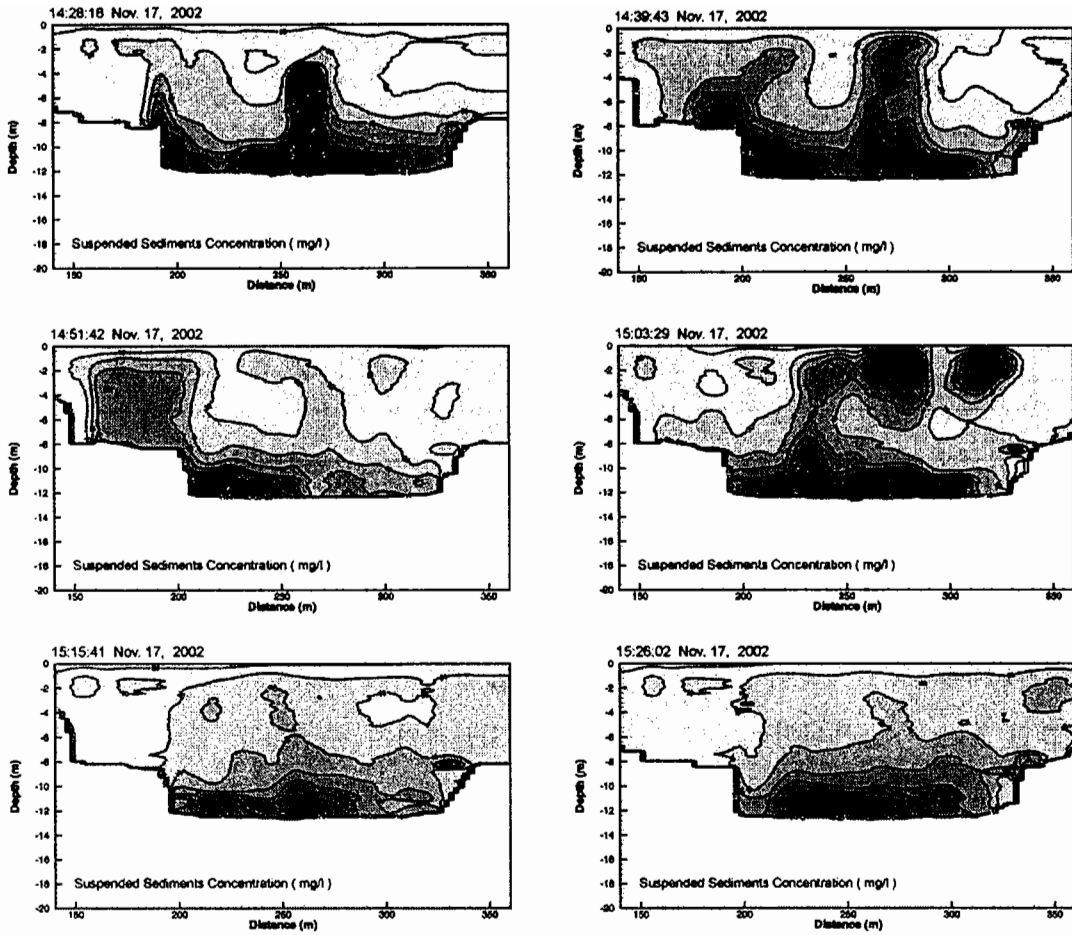


그림 3.1.21 20,000 마력 CSD 작업시 준설 플룸 형상 (GC3).

표 3.1.3 20,000 마력 CSD 작업시 부유토사 발생율 (GC3).

준설토 구성			관측 번호	유속 (cm/s)	농도증분 (mg/l)	준설율 (m <sup>3</sup> /h)	SS 발생율		TGU (kg/m <sup>3</sup> )
d < 74μm (%)	d < 5μm (%)	Sediment type					(kg/s)	(kg/m <sup>3</sup> )	
94.2	45.7	Silt	1	10.53	19.35	1007.06	2.11	7.54	7.17
			2	10.04	18.47	1007.06	2.90	10.35	9.86
			3	9.10	19.96	1007.06	2.87	10.25	9.87
			4	8.15	15.62	1007.06	2.00	7.16	7.00
			5	7.98	19.25	1007.06	2.47	8.85	8.67
			6	8.12	12.18	1007.06	0.44	1.58	1.55
			7	9.46	19.61	1007.06	0.90	3.20	3.07
			8	9.18	14.25	1007.06	1.09	3.89	3.74
평 균				9.07	17.34	1007.06	1.85	6.60	6.37



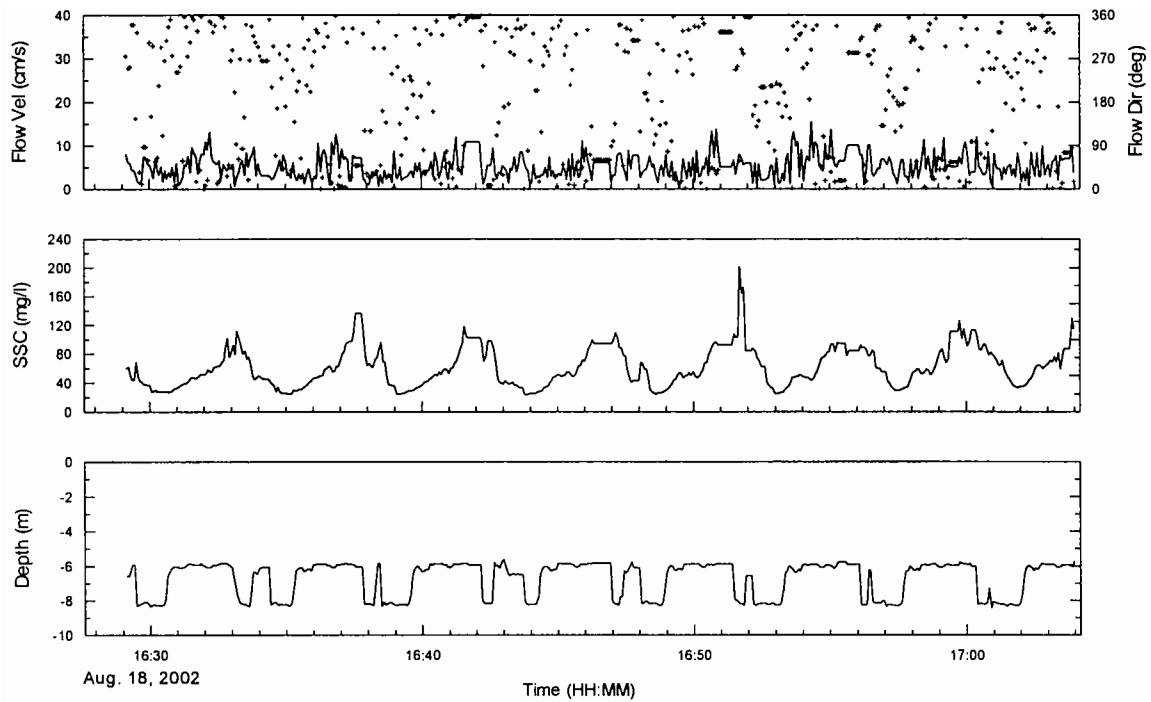


그림 3.1.22 군산외항에서의 4,000마력 CSD 작업시 수심평균 유속·유향·농도.

표 3.1.4 군산외항에서 4,000마력 CSD 작업에 따른 수심 평균농도 증분(mg/l).

순환번호	플룸농도	배경농도	농도증분
1	54.61	26.02	28.60
2	64.39	24.77	39.62
3	57.32	23.97	33.66
4	60.12	24.04	36.08
5	70.08	25.03	45.05
6	63.67	27.32	36.35
7	71.73	31.35	40.38
평균	63.17	26.07	37.11

과한 준설 부유토사가 유입·재유출되면서 발생율을 과대평가할 가능성이 있으므로 농도 증분만을 제시하는 것이 타당하다고 판단되었다.

SSC 시계열상에서의 골이 순환경로상에서 준설선으로부터 가장 멀리 떨어진 지점이므로 이를 배경농도, 농도가 상승·하강하는 골과 골 사이를 플룸 영향권으로 설정하여 순환경로상에서의 연직평균농도 증분을 구하여 표 3.1.4에 제시하였다. 그림에서는 수심평균농도가 준설선 근방에서 약 200 mg/l까지 높아지지만 수심평균농

도의 경로평균은 약 63 mg/l 정도이며, 배경농도 26 mg/l를 뺀 수심평균농도 증분은 약 37 mg/l이다.

#### 나. Grab

총 9회에 걸쳐 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생율을 관측하였으며, 모든 경우가 개방형 기계식 그랩(open mechanical grab)이었다. CSD와는 달리 그랩 준설의 경우는 발생원이 해저면만이 아니라 全水層에서 발생하며, 그랩이 수면 밖에서 토운선으로 이동되는 과정에서도 발생한다.

본 연구에서 실시한 17회의 현장관측 가운데 전 관측단면에서 50-70 cm/s의 강한 유속이 관측시간 동안 지속된 경우는 목포 MG1에서의 항로 유지준설이었으며, 관측된 플룸 형상을 그림 3.1.23에, 해당 발생율을 표 3.1.5에 제시하였다.

그림에 제시한 바와 같이 관측된 배경농도와 준설 플룸내 최고농도는 각각 약 30 mg/l 내외와 약 100 mg/l 정도이며, 플룸 단면내의 고농도 코어가 특정 층에 국한되지 않고 전층에서 발견된다.

RSUT와 RSUV가 각각 약 7 kg/s와 99 kg/m<sup>3</sup>으로 높은 이유는 표에서 알 수 있는 바와 같이 MG1에서의 평균유속이 62 cm/s로 높기 때문이며, RSUV에 대한 TGU의 비율은 74 μm 이하 입자가 차지하는 비율과 같다.

그림 3.1.24는 RSUV와 유속간의 상관관계이다. 단면평균유속의 변동폭이 약 25 cm/s로 작고 45 cm/s 이하는 관측되지 않았으며 결정계수가 0.55 정도로 높지는 않지만 유속에 따라 RSUV가 증가하는 양상이 뚜렷함을 알 수 있다.

그랩 준설시 부유토사 발생율과 관련하여 그 동안 보고되지 않았던 사항이 본 연구를 통하여 처음으로 관측된 것이 쇄암후 준설시의 발생율이다. 광양 GG2 지점에서 쇄암후 준설시 관측결과로부터 구한 발생율인 표 3.1.5에 따르면 최강 단면평균유속이 약 33 cm/s로서 MG1의 약 1/2에 불과함에도 평균 RSUV가 약 96 kg/m<sup>3</sup>으로 MG1과 유사하며, 특히 RSUV의 변동폭이 약 34 kg/m<sup>3</sup>에서 192 kg/m<sup>3</sup>로 매우 크다. 유속과 농도증분이 크지 않음에도 RSUV 평균치와 변동폭이 큰 이유는 일반준설에 비해 낮은 준설율과 암편으로 인하여 그랩 효율이 일정하지 않기 때문이다.

낮은 준설율은 크게 두 가지 이유 때문이다. 첫째, 암편 준설시는 일반준설에 비해 그랩 내의 공극율이 높으며 이에 따라 그랩 상승시에 토사유실율이 높으며,

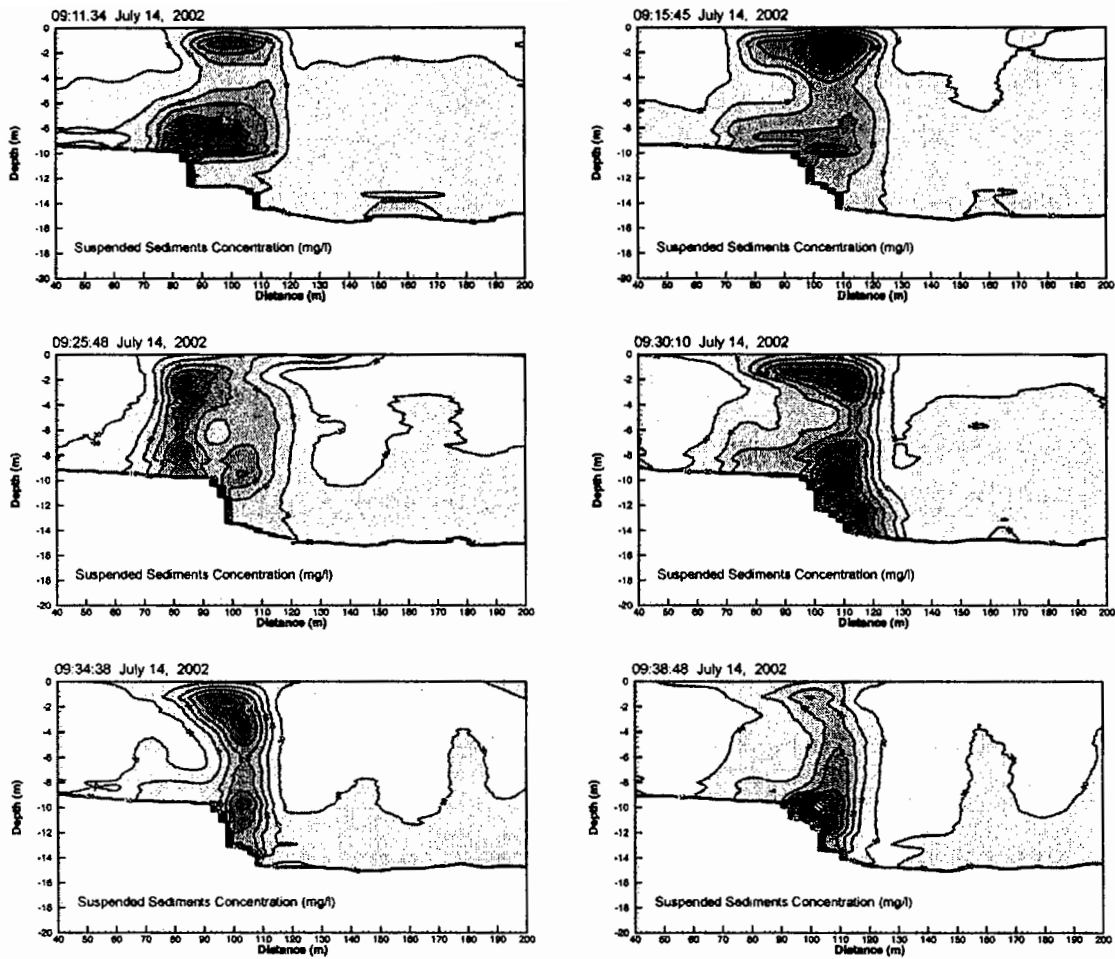


그림 3.1.23 그랩 준설선(13m<sup>3</sup>) 작업시의 준설 플룸 형상 (MG1).

표 3.1.5 13m<sup>3</sup> 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생율 (MG1).

준설토 구성			관측 번호	유속 (cm/s)	농도중분 (mg/l)	준설율 (m <sup>3</sup> /h)	SS 발생율		TGU (kg/m <sup>3</sup> )
d < 74 $\mu$ m (%)	d < 5 $\mu$ m (%)	Sediment type					(kg/s)	(kg/m <sup>3</sup> )	
59.7	19.8	sandy Silt	1	71.31	7.70	248.78	7.10	102.81	61.41
			2	71.70	8.59	248.78	11.06	159.98	95.55
			3	67.94	11.39	248.78	9.28	134.35	80.24
			4	63.50	11.77	248.78	10.52	152.24	90.93
			5	62.30	15.72	248.78	8.73	126.33	75.45
			6	62.85	11.69	248.78	5.82	84.25	50.32
			7	60.80	12.76	248.78	4.27	61.85	36.94
			8	45.07	8.57	248.78	3.06	44.23	26.42
			9	55.17	6.53	248.78	1.76	25.49	15.22
평균				62.29	10.52	248.78	6.85	99.06	59.16

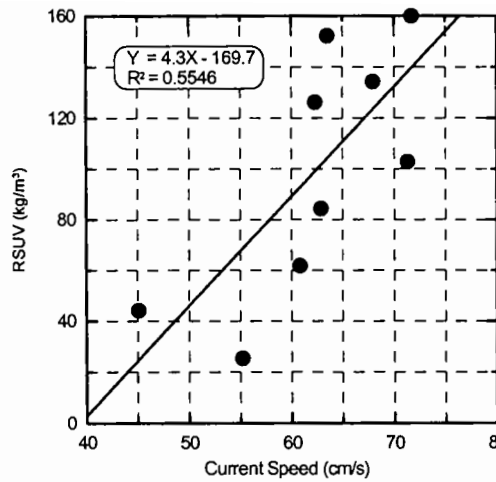


그림 3.1.24 유속과 RSUV의 상관관계 (MG1).

표 3.1.6 쇄암후 8m³ 그랩 준설선 작업시 부유토사 발생율 (GG2).

준설토 구성			관측 번호	유속 (cm/s)	농도증분 (mg/l)	준설율 (m³/h)	SS 발생율		TGU (kg/m³)
d < 74µm (%)	d < 5µm (%)	Sediment type					(kg/s)	(kg/m³)	
17.3	4.5	gmS*	1	14.02	6.64	77.78	0.73	33.59	12.12
			2	16.10	6.87	77.78	1.19	55.18	18.09
			3	16.45	9.06	77.78	1.92	88.68	28.60
			4	19.98	8.89	77.78	2.46	113.85	31.42
			5	17.80	11.27	77.78	2.26	104.54	31.63
			6	19.11	2.42	77.78	0.64	29.61	8.41
			7	20.59	6.42	77.78	1.98	91.52	24.94
			8	20.90	5.29	77.78	1.69	78.38	21.22
			9	21.71	4.53	77.78	1.21	56.03	14.91
			10	24.75	5.65	77.78	2.13	98.40	24.49
			11	25.67	9.08	77.78	2.57	118.95	28.99
			12	24.97	5.18	77.78	1.83	84.61	20.96
			13	29.11	5.84	77.78	1.89	87.70	20.23
			14	29.87	8.71	77.78	3.08	142.35	32.66
			15	30.08	5.32	77.78	2.01	92.92	21.29
			16	32.81	11.16	77.78	4.16	192.35	43.20
			17	32.67	5.28	77.78	2.09	96.95	21.79
			18	33.11	3.45	77.78	1.41	65.43	14.66
			19	32.87	8.65	77.78	2.84	131.34	29.48
			20	32.70	3.36	77.78	1.04	48.20	10.83
			21	31.28	7.71	77.78	3.25	150.21	34.11
			22	31.23	7.40	77.78	2.45	113.54	25.80
			23	23.64	4.47	77.78	1.26	58.12	14.83
			24	29.14	12.08	77.78	4.01	185.78	42.84
평 균				25.44	6.86	77.78	2.09	96.59	24.06

둘째는 기계식 그래프인 경우 압편에 의해 그래프가 완전히 닫히지 않은 상태로 올라오는 경우가 있으므로 단위시간당 준설율이 낮다.

한편 그래프로 포획한 압편 양이 만족스럽지 않을 경우에는 토운선 내 해수 체적이 커지므로 작업자가 그래프를 토운선으로 옮기지 않고 다시 내리는 경우가 많기 때문이다. 이와 같은 높은 RSUV는 역시 쇄암후 준설의 경우인 KG2와 KG1에서도 나타나 각각의 RSUV가 188.87 kg/m<sup>3</sup>과 108.23 kg/m<sup>3</sup>이었다.

표 3.1.6에 TGU를 제시하였으나 쇄암 준설 경우의 해저퇴적물 입경분포는 토운선에서 채취한 실험 가능한 퇴적물에 대한 값이므로 이용시 유의하여야 한다.

한편 전술한 군산외항에서와 같이 그림 3.1.10에 관측경로를 제시한 속초항(SG)의 경우도 그림 3.1.25에 나타낸 바와 같이 유향이 매우 불규칙하여 발생율을 산정하지 않고 농도증분만을 고려하였다. 군산외항의 경우는 순환관측경로상의 농도 최저지점 폭이 좁으나 속초의 경우는 배경농도 구간이 일정한 거리를 갖는다. 배경농도 구간을 제외한 농도 증가 영역만의 수심평균농도 증분을 구하여 표 3.1.7에 제시하였다. 순환경로상의 특정점에서 수심평균농도가 약 55 mg/l까지도 상승하지만 플룸영역의 농도 증분 평균치는 약 6mg/l 정도이다.

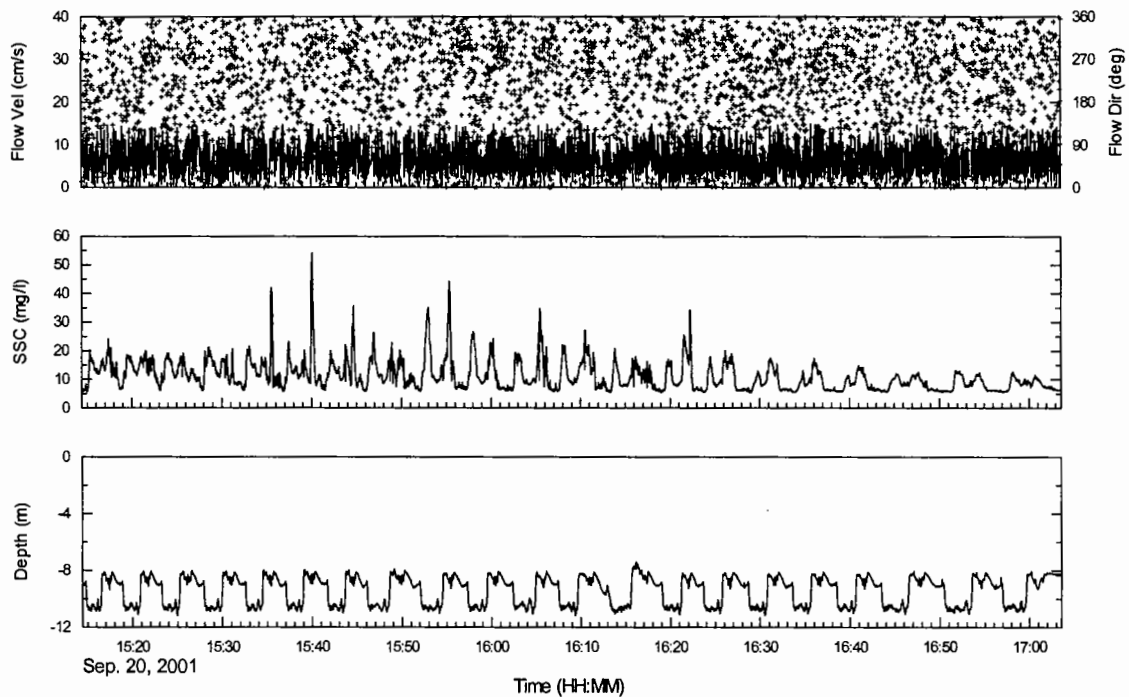


그림 3.1.25 속초항에서의 13m<sup>3</sup> 그래프 준설선 작업시 수심평균 유속·유향·농도.

표 3.1.7 속초항에서 13m<sup>3</sup> 그랩 작업에 따른 수심평균 농도 증분(mg/l).

순환번호	플룸농도	배경농도	농도증분
1	14.03	6.08	7.95
2	13.79	6.27	7.52
3	12.83	6.11	6.72
4	13.03	6.10	6.93
5	13.94	5.92	8.02
6	13.93	5.95	7.98
7	13.24	5.97	7.27
8	12.32	5.77	6.55
9	14.86	6.08	8.78
10	12.05	6.15	5.90
11	12.49	5.86	6.62
12	12.23	5.70	6.53
13	10.55	5.52	5.03
14	11.51	5.46	6.05
15	10.32	5.45	4.87
16	9.47	5.49	3.98
17	9.07	5.60	3.46
18	8.47	5.65	2.82
19	8.63	5.61	3.02
20	8.13	5.56	2.57
21	8.21	5.69	2.53
평균	11.58	5.81	5.77

#### 다. TSHD

국내에서 TSHD를 이용하는 경우는 많지 않아 이에 관한 조사는 부산북항의 항로 유지준설의 경우가 유일하다. 그림 3.1.11에 제시한 바와 같이 0.5 m/s의 속도로 항행하면서 준설하는 TSHD 좌우현으로부터 25m, 선미와의 거리 약 70m를 유지하면서 관측하였으나 그림 3.1.26에 제시한 바와 같이 overflow 없이 'return flow method (2장 참조)'를 사용하는 준설선임에도 표층에서 높은 반사음향강도가 관측되었다.

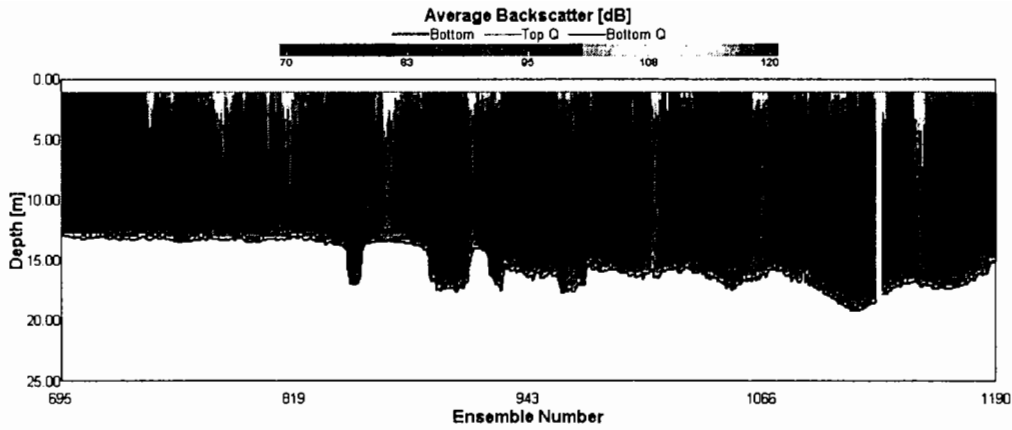


그림 3.1.26 부산항에서의 TSHD 작업시 ADCP 반사음향강도.

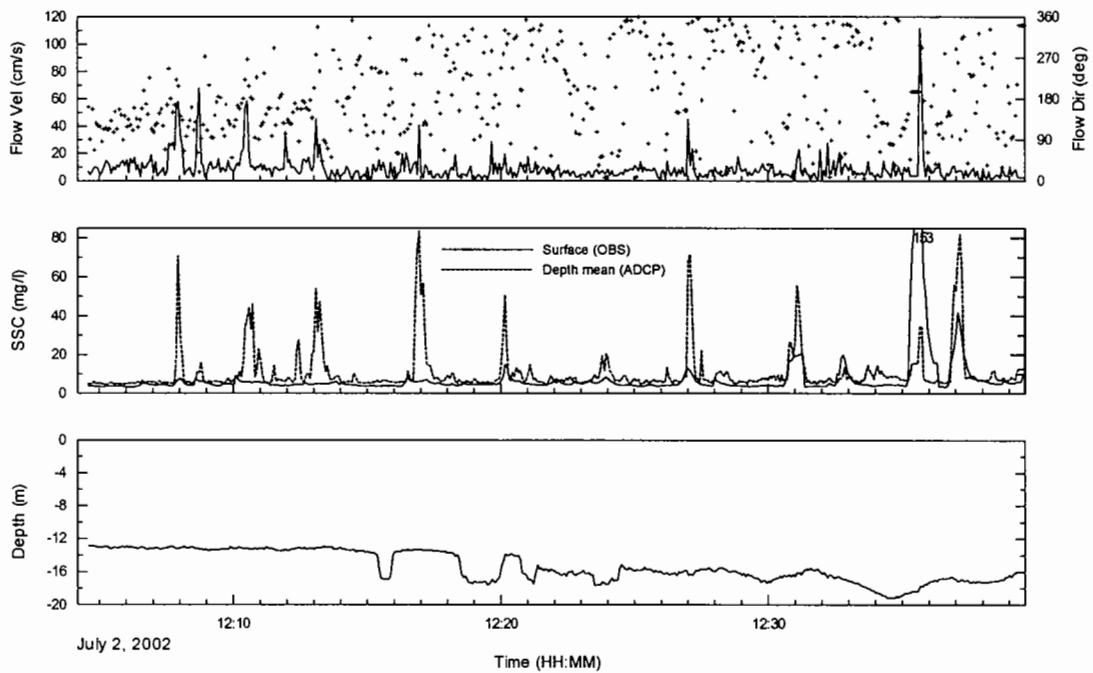


그림 3.1.27 부산항에서의 TSHD 작업시 수심평균 유속·유향·농도.

그림 3.1.27에 제시한 ADCP가 관측한 수심평균농도와 ADCP 관측과 함께 표층 0.6m에서 관측한 YSI6600의 농도에 따르면 ADCP가 관측한 수심평균농도가 높음에도 YSI OBS가 관측한 농도는 비록 peak가 있으나 관측 후반을 제외하면 무시할 정도이다. ADCP의 높은 수심평균농도는 그림 3.1.26에 나타난 표층의 EI 때문이므로, 이 높은 EI가 부유토사 때문이라면 표층의 OBS 농도는 ADCP 수심평균농도보다 높아야 함에도 반대 현상이 나타난 것은 표층 EI가 준설선에 스크류에 의해 발생한 기포에 영향을 받았기 때문이다.

따라서 부산의 경우는 ADCP 자료를 이용한 발생율 산정이 불가능할 뿐 아니라 수심평균농도 증분으로의 제시도 불가능하여 YSI6600으로 관측한 표층농도 증분만을 제시할 수밖에 없었다.

YSI6600 관측결과에 따르면 TSHD 작업시 표층농도 증분은 무시할 정도이다. 그러나 관측 후반에 약 150 mg/l의 급격한 농도 증가를 보이며, 이는 준설 종료후 흡입파이프를 접고 파이프내에 남아 있던 순환류를 배출시켜 형성된 플룸 때문이다. 이 과정도 준설 작업에 포함되므로 부산항 TSHD의 경우는 표층농도 최대증분 150 mg/l를 준설 영향의 정량적 자료로 삼았다.

#### 라. 사석투하

전술한 바와 같이 국내에서 처음 시도되는 본 연구에서는 SS 발생율이 높은 준설에 초점을 맞춘 관계로 타 공중에 관한 조사는 군산내항 가호안 축조공사(제4공구)시 굴삭기를 이용한 기초사석(0.03m<sup>3</sup> 이하) 투하가 유일하다.

그림 3.1.28로부터 배경농도가 30-60 mg/l 정도이나 사석투하로 인해 형성된 플룸 코어 중심부 농도가 약 300 mg/l까지 관측되었으며, 상층으로부터의 SS 공급 형태가 뚜렷하다. 고농도 코어가 수심 1-2m 정도인 것은 관측선이 투하 지점으로부터 약 40m 이격되어 있는 관계로 표층 고농도 층은 이동되면서 침강되었기 때문으로 판단된다.

표 3.1.8에 발생율 산정결과를 제시하였으며, 평균 RSUV는 약 7 kg/m<sup>3</sup>이다.

표 3.1.8 기초사석(0.03m<sup>3</sup> 이하) 투하시 부유토사 발생율 (KR).

관측번호	유속 (cm/s)	농도증분 (mg/l)	투하율 (m <sup>3</sup> /h)	SS 발생율	
				(kg/s)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	14.60	40.83	630.53	1.12	6.39
2	15.50	52.27	630.53	2.62	14.95
3	13.05	43.58	630.53	1.92	10.96
4	13.05	40.33	630.53	1.38	7.85
5	11.24	27.95	630.53	0.49	2.77
6	11.70	26.46	630.53	0.74	4.24
7	9.80	28.27	630.53	0.67	3.85
평균	12.71	37.10	630.53	1.28	7.29



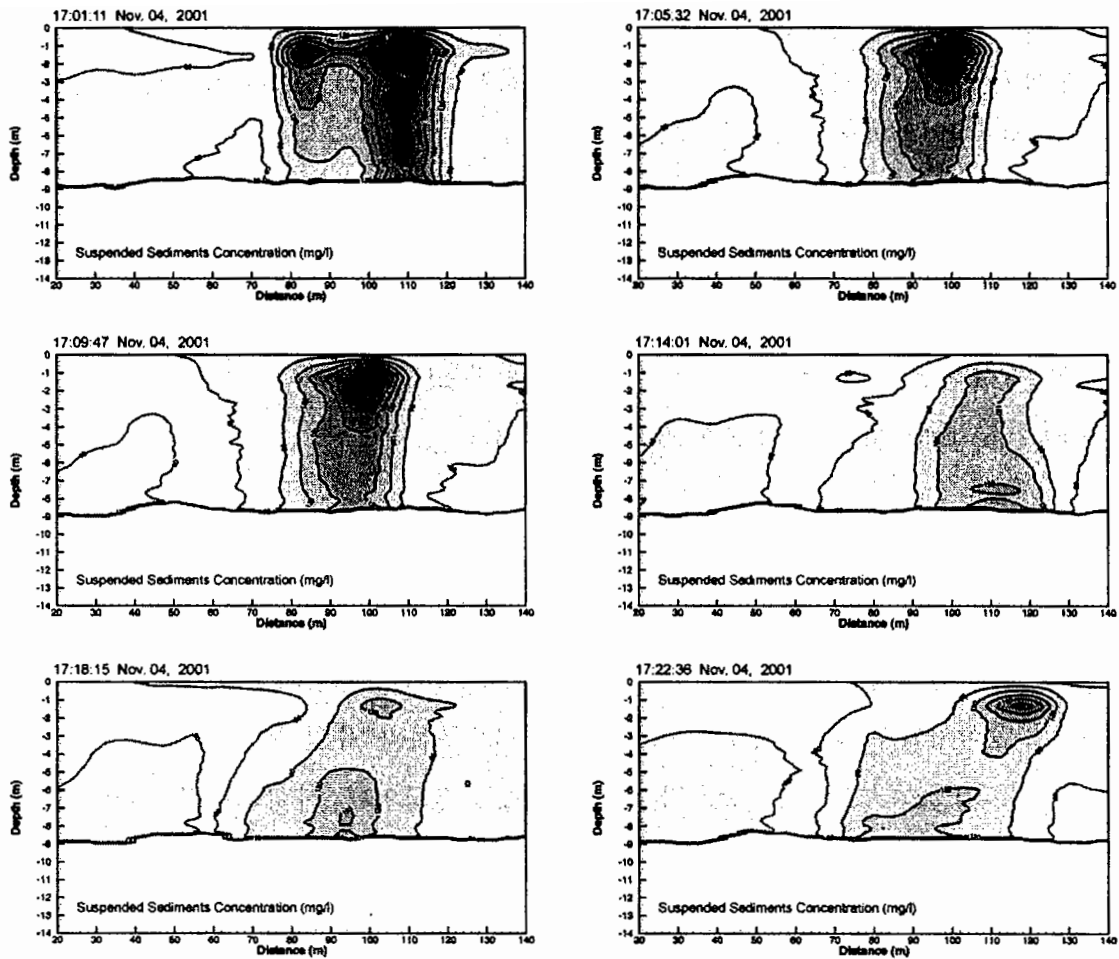


그림 3.1.28 기초사석(0.03m<sup>3</sup> 이하) 투하시 발생 플룸 형상 (KR).

## 5. 결론 및 토의

### 가. 발생을 산정치 종합분석

본 연구를 통하여 관측·산정된 준설 작업시의 단면평균유속, 플룸단면 농도 증분, 준설율과 발생량을 표 3.1.9에 종합하였다. 우선적으로 2장에서 소개한 기존의 연구 결과와 같이 CSD에 비해 그랩 준설선 작업시의 부유토사 발생량이 높음을 알 수 있으며, 각 발생율의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 CSD의 경우, 발생율이 유속과 해저퇴적물 입경분포의 영향을 크게 받을 수 있다. 즉, 유속이 약 18 cm/s인 GC4의 발생율이 13.5 kg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 반면, 입경분포에 약간의 차이를 보이거나 역시 세립질로 구성되어 있는 GC2과 GC3의 유속과 발생율은 GC4의 1/2이다. 그러나 KC1은 유속이 약 22.5 cm/s로 가

장 빠름에도 발생율은 4.27 kg/m<sup>3</sup>에 불과하며, 이는 준설토가 조립질(d>62.5μm 이 상인 입자가 93%, 표 3.1.2)이기 때문이다. 따라서 CSD 작업시 부유토사 발생율은 준설선 규모보다 유속과 해저퇴적물 입경의 영향을 지배적으로 받음을 알 수 있다.

쇄암후 준설을 제외한 그랩 준설선 작업시 발생율이 가장 큰 경우는 유속이 약 60 cm/s로 가장 빠른 MG1(13m<sup>3</sup>)의 99 kg/m<sup>3</sup>이며, 유속이 3.6 cm/s로 가장 낮은 GG1(13m<sup>3</sup>)은 발생율도 2.65 kg/m<sup>3</sup>로 가장 낮다. 한편 각각 6 및 5.5 cm/s의 유사한 유속을 보인 MG2(13m<sup>3</sup>)와 KG3(8m<sup>3</sup>)의 발생율이 6.5 kg/m<sup>3</sup>와 약 36 kg/m<sup>3</sup>로서 큰 차이를 보인 이유는 MG2의 조립질 함유비가 2배 이상 높기 때문으로 판단된다.

KG1, KG2 및 GG2는 쇄암후 준설 지역으로서 각각의 발생율은 약 110, 190, 97 kg/m<sup>3</sup>로 높으며, 특히 KG2에서 가장 높은 것은 전술한 이유로 인한 준설율이 가장 낮기 때문으로 판단된다.

표 3.1.9 준설 작업에 의한 부유토사 발생율.

준설선 종류 및 규모	위치	준설토 구성			유속 (cm/s)	농도 증분 (mg/l)	준설율 (m <sup>3</sup> /h)	SS 발생율		TGU (kg/m <sup>3</sup> )	
		d<74μm (%)	d<5μm (%)	Sed. type				(kg/s)	(kg/m <sup>3</sup> )		
CSD (hp)	20,000	GC3	94.2	45.7	Silt	9.07	17.34	1007.06	1.85	6.60	6.37
	20,000	KC1*	52.2	0.6	Sand	22.46	10.40	1997.71	2.37	4.27	2.23
	12,000	GC1	85.3	40.1	sandy Silt	9.18	14.56	1690.73	3.14	6.70	6.10
	7,200	GC2	67.0	30.0	(g)sM	5.06	2.82	463.85	0.30	2.36	2.39
	4,400	GC4	73.2	30.5	gM	17.78	8.99	400.00	1.50	13.50	10.86
	4,000	KC2	93.6	37.3	(g)M		37.00	412.90			
Grab (m <sup>3</sup> )	13	GG1	24.6	8.5	gmS	3.55	5.17	175.50	0.13	2.65	2.91
		KG2#	20.9	3.2	gmS	9.95	44.19	58.09	3.05	188.87	110.66
		MG1	59.7	19.8	sandy Silt	62.29	10.52	248.78	6.85	99.06	59.16
		MG2	29.1	11.0	(g)mS	5.94	12.33	255.00	0.46	6.50	6.54
		SG	57.3	6.2	(g)mS		5.77	200.00			
	8	GG2#	17.3	4.5	gmS	25.44	6.86	77.78	2.09	96.59	24.06
		GG3	80.0	40.1	(g)mS	11.55	17.04	133.33	3.01	81.35	70.82
		KG1#	42.3	10.7	gmS	13.26	39.07	81.82	2.46	108.23	64.11
	KG3	78.4	17.4	sandy Silt	5.48	66.95	150.06	1.49	35.75	36.98	
TSHD (hp)	2,880 ×2	BT <sup>+</sup>	89.6	36.3	sandy Clay		150.0 <sup>o</sup>	3000.00			

\* 펌프 1기 고장으로 관측 당시에는 12,000마력으로 작업

# 쇄암후 준설, + Overflow 없음 (return flow method)

= 표층농도 최대치

## 나. 기존 자료와의 비교

표 2.2.4에 제시한 일본 운수성의 지침에는 4,000마력 이상인 CSD에 관한 조사 결과가 없어 본 연구결과와 직접적인 비교가 어렵다. 하지만 4,000 마력 CSD가 74 $\mu$ m 이하 퇴적물이 74.5%인 지점에서 작업할 시의 운수성 TGU를, 4,400마력 CSD가 74 $\mu$ m 이하 73.2%인 지점에서 작업한 경우인 GC4와 비교할 수 있으며, 각각이 12.1 kg/m<sup>3</sup>와 10.9 kg/m<sup>3</sup>로서 유사한 값을 보였다. 또한 비록 준설선 규모에 대한 언급은 없지만 표 2.2.6의 Kirby and Land(1991)의 결과에서 CSD의 RSUV가 약 6kg/m<sup>3</sup>이며, 이는 본 연구에서의 RSUV 범위인 2.4-13.5 kg/m<sup>3</sup>에 포함된다.

그랩 준설선의 경우는 본 조사에서 4m<sup>3</sup> 이하에 대한 조사가 없었고, 운수성의 경우는 13m<sup>3</sup> 이상에 대한 결과가 없어 74 $\mu$ m 이하 퇴적물이 58.0%이고 5 $\mu$ m 이하 퇴적물이 34.6%이인 지점에서 작업한 8m<sup>3</sup>의 경우가 유일한 비교 대상이다. 비록 본 조사에서 운수성과 같은 해저퇴적물 구성을 갖는 지점은 없으나 세립 퇴적물이 발생율의 크기에 미치는 영향이 크므로 GG3를 비교할 수 있을 것이다. 이 두 지점을 비교하면 일본의 경우는 발생율을 조시별로 구분하여 대, 소조기 TGU가 각각 89.03 및 9.91 kg/m<sup>3</sup>이었으며, GG3는 81.3 kg/m<sup>3</sup>이다. 또한 Aburatani *et al.*(1993)이 운수성의 결과를 재정리한 바에 따르면 89.03 kg/m<sup>3</sup>이 발생할 당시의 유속은 7.5 cm/s이었으며 이는 GG3의 11.6 cm/s와 유사하다. 그러나 일본의 경우는 발생원으로부터 반경 500m 떨어진 원주상에서의 결과인 반면 GG3는 발생원으로부터 불과 40m 떨어진 단면에서의 관측치임을 감안하면 운수성의 발생율이 월등하게 높은 것이며, 이는 관측 오차에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 직선형 단면상이 아닌 원주상에서 관측했다는 것은 유향이 일정하지 않았기 때문일 것이며, 당시로서는 정점 관측만을 수행했으므로 관측정점 사이를 빠져나갔던 부유토사가 불규칙한 유향에 의해 원주내로 유입된 후 재유출되면서 관측되었을 가능성이 높다. 본 연구에서는 이와 같은 환경에서 발생율을 산정할 경우, 실제보다 발생율을 과대평가할 가능성이 있으므로 농도증분만을 제시하였다.

한편 Kirby and Land(1991)의 조사에서는 개방형 그랩 준설시의 발생율이 12-25 kg/m<sup>3</sup>이로서 쇄암후 준설을 뺀 본 연구의 약 3-100kg/m<sup>3</sup>보다 변동폭이 작으나 이는 고려한 유속 및 준설토 조건이 본 연구보다 제한적이기 때문으로 판단된다.

사석투하의 경우, 비록 본 조사에서는 투하되는 사석 크기가 0.03m<sup>3</sup>로 포괄적이거나 일본 운수성의 세 결과 6.92, 3.97, 6.22 kg/m<sup>3</sup>과 유사한 7.29 kg/m<sup>3</sup> 정도이다.

## 다. 결론 및 제언

이상과 같이 국내에서는 처음으로 준설을 중심으로 항만공사시 부유토사 발생을 산정하였다. 사실 당초에는 본 결과보다 많은 지점에서의 관측을 계획, 시도하였으나 준설선의 잦은 고장·작업정지·위치이동, 기상악화 및 조석변화 등의 현장여건으로 인하여 많은 플룸 관측자료를 확보하기가 어려웠다. 관측된 자료 가운데에서도 플룸이 단면폭을 초과하였거나, 기포 등의 영향으로 오염된 자료들을 제외함에 따라 당초 계획한 발생율을 만족스러운 정도로 제시하지는 못하였지만, 국내에서 처음 시도된 연구이고, 국내 최초로 ADCP를 이용한 부유퇴적물 농도를 본격적으로 관측하는 과정에서의 시행착오를 감안하고, 그 동안 국외에서도 보고되지 않았던 쇄압후 준설시의 발생율을 제시했다는 측면에서 만족할만한 연구성과라고 사료된다.

한편 그 동안 원용해왔던 일본의 부유토사발생원단위에 현상학적으로 심각한 오류가 있다는 것을 파악한 것도 성과라 할 수 있다. 2장에서 언급한 세립질의 부유가능유속의 문제점 뿐 아니라, TGU는 RSUV에 큰 기여를 하는  $5\mu\text{m}$  이하 입자 함유비를 효과적으로 고려할 수 있는 방안도 없다. 또한, 유속 증가가 발생율에 증가에 크게 기여함에도 TGU의  $74\mu\text{m}$  이하 입자 누적확률이 거의 100%에 이르고, TGU로부터 발생율을 구하여 적용할 지역의 입경분포가 TGU 산정 지역과 같으나 유속이 월등할 경우 이를 반영할 수 있는 방안이 없다.

따라서 TGU보다는 그림 3.1.24와 같이 특정 입경분포 및 공중에 대해 발생율과 유속과의 상관관계식을 도출하여 이용하는 것이 현실적이다. 그러나 상관관계식을 구하기 위해서는 많은 관측자료가 필요하며, 본 연구결과만으로는 부족하므로 나머지 공종을 포함하여 향후 지속적인 조사를 수행하는 것이 필요하다.

유속과 해저퇴적물 조건에 따른 각 공종의 발생율 산출 상관식을 제시하지는 못했으나 국내에서 많이 이용되는 준설선을 포함하였으며 쇄압후 준설시의 발생율을 제시하였으므로 향후 국내 환경영향평가 및 어업피해보상과 관련한 부유토사 확산범위·정도 예측사업에 본 결과가 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 제2절 오탁방지막 현황·효율 조사 및 설치 지침(案)

### 1. 서론

준설, 매립 등의 해상공사로 인해 해양환경에 영향을 미치는 주 요인은 공사중에 발생하는 부유토사이다. 이러한 부유토사는 주변 해역으로 확산되어 여러 가지로 해양생태계에 피해를 유발할 수 있으며(그림 1.1.1), 발생 가능한 피해의 범위와 정도는 부유토사 발생율과 해저퇴적물 입도분포 및 주변 유속에 따라 결정된다.

부유토사로 인한 환경피해를 저감시키기 위한 방법중의 하나가 오탁방지막(이하 방지막)의 설치이며, 특정한 공종의 경우 설치방법과 주변 수리조건에 따라 방지막의 부유토사 확산저감 효율이 높을 수 있다. 국내의 경우, 대부분의 연안개발 공사시 방지막 설치를 의무화하고 있다(예; 해양수산부, 1996). 그러나, 방지막 설치에 막대한 예산을 투입함에도 불구하고 대부분의 경우 설치효율에 대한 사전점검을 하지 않으며, 공종과 수리조건을 고려하지 않은 채 일률적으로 설치함으로써 그 효과가 의심스러운 경우가 많다. 이와 같이 국내의 방지막 설치방식이 비효율적임에도 그 동안 관련 연구가 수행된 바가 거의 없다.

이에 본 연구에서는 현장방문 및 조사를 통하여 국내의 방지막 설치·관리실태를 파악함과 아울러 국내 방지막 관련 문제점을 분석함으로써 효율적인 방지막의 설치·관리방안을 모색하였다. 아울러 관련 연구가 가장 활발하게 진행중인 일본의 '오탁방지막 설계 및 시공요령' 일부를 부록 3에 발췌·수록하였다.

### 2. 오탁방지막 설치·관리실태

#### 가. 국 내

방지막의 효율은 그 설치방식과 아울러 주변 수리조건에 영향을 지배적으로 받는다. 이에 따라 방지막이 설치된 공사현장 가운데 서해안 3곳, 남해안 4곳, 동해안 3곳, 총 10개 현장(그림 3.2.1)을 대상으로 방지막의 설치 및 유지관리 실태를 조사하였다.

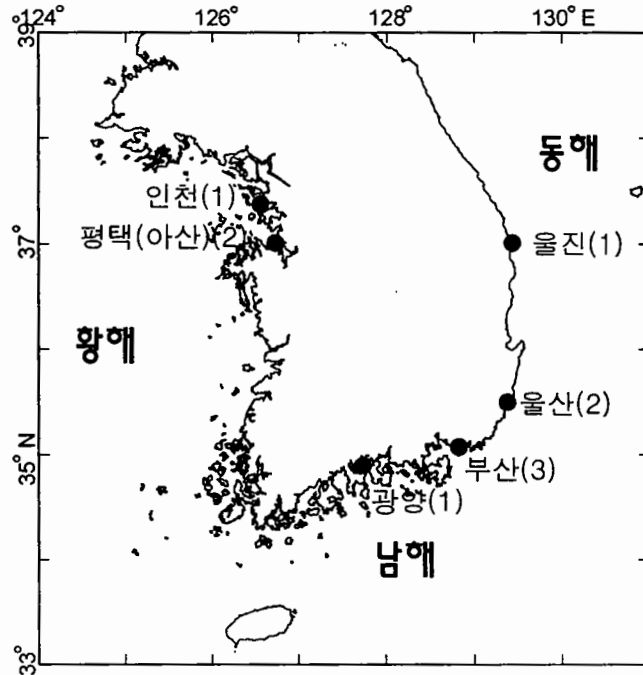


그림 3.2.1 오탁방지막 유지관리실태 조사지점.

(1) 서해안

(가) 인천

- 공사내용 : LNG 인수기지 남측 항로 준설 (6,000마력 CSD)
- 개요
  - 동서 방향 항로 남북측 두 단면에 각각 연장 11km의 방지막 설치.
  - 설치단면의 평균수심 약 10~12m, 막체폭 5m.
  - 외관상 부유토사 발생을 확인할 수 없음.
  - 설치 3개월 경과된 조사 시점에 일부 구간의 부력체(float)가 수면 아래로 잠김(그림 3.2.2). 원인은 막체에 부착된 생물의 하중 때문으로 이를 보수하고 있었음.
  - 매립지역 내측에 二重 방지막을 설치하였음.
- 현장근무자 의견
  - 본 현장의 경우 막체 부착생물이 가장 큰 문제점으로 방지막 설계시 이를 감안하여 부력체 크기를 설계하여야 함.
  - CSD 작업시 부유토사 발생이 거의 없어 방지막이 불필요함.
  - 방지막의 유지관리비 및 교체비용을 사업비에 포함시켜야 함.

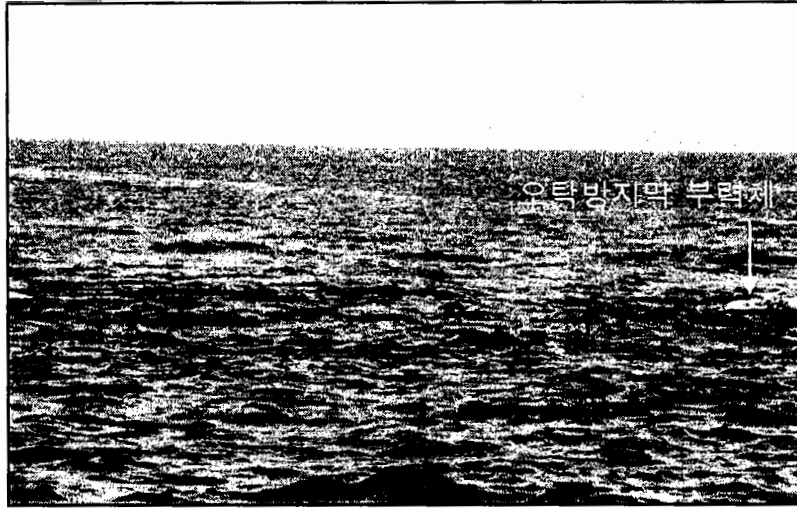


그림 3.2.2 생물부착으로 인한 방지막 부력체 잠김 (인천).

(나) 평택(아산)-1

- 공사내용 : 평택(아산)항 부근 호안공(케이슨 거치)
- 개 요
  - 조사 당시 케이슨 거치중이었으며, 방지막은 공사지역에서 약 150m 이격시켜 설치됨.
- 현장근무자 의견
  - 서해안은 부유퇴적물의 배경농도가 높아 방지막의 효과가 의문시 됨.
  - 만약 방지막을 설치한다면 그랩준설시만 설치하거나 주변에 양식장이 있을 경우에 한에서 설치하는 것이 바람직함.
  - 서해안의 경우 빠른 유속으로 인하여 방지막 유지관리가 어려워 부력체만 설치하고 막체는 말아 놓은 현장이 있음.

(다) 평택(아산)-2

- 공사내용 : 매립공(호안이 이미 조성되었음)
- 개 요
  - 호안이 조성되어 해상공사는 끝난 상태임.
  - 호안 둘레 약 400m 설치 (호안과 방지막간의 거리 약 30m).

- 마디형 부력체, 막체폭 2m.
- 설치한 지 1년 3개월 경과한 조사 당시 방지막 상태는 양호하였으나 간조시 막체가 조간대에 노출되어 있음(그림 3.2.3).



그림 3.2.3 평택(아산)-2 지역 오탁방지막의 간조시 상태.

- 현장근무자 의견
  - 방지막 설치효과를 알 수 없음.
  - 민원이 매우 많은 지역으로 방지막 유지관리를 철저히 하고 있었음.
  - 조사 당시 작업이 중단된 상태이며, 호안이 이미 조성되어 부유토사 발생 공종이 없어 방지막을 철거하여도 무방할 것으로 판단되었으나, 발주처에서 사업이 종료시까지 계속 설치를 원함.
  - 사업기간중 일부 파손된 곳을 교체하였음.

## (2) 남해안

### (가) 광양

- 공사내용 : 호안공
- 개요
  - 설치 1년 6개월이 경과한 조사 당시 90% 이상 훼손(그림 3.2.4).
  - 오탁방지막 총연장은 5,460m로 5년간 계속해서 설치하는 것으로 계획.



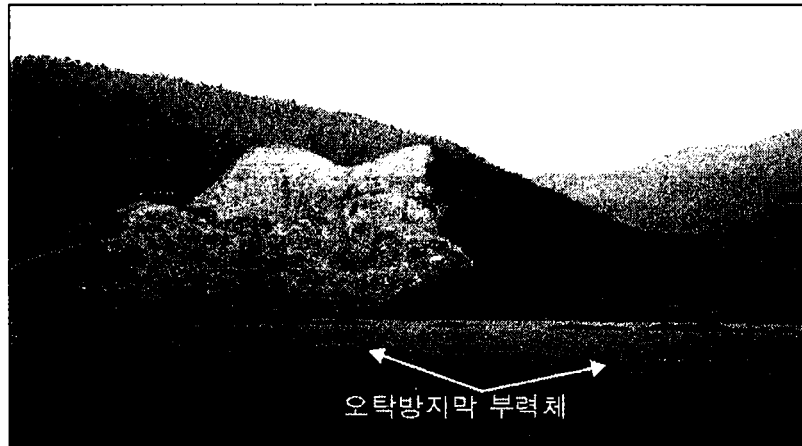


그림 3.2.4 광양 지역 오타방지막.

- 현장근무자 의견
  - 오타방지막의 유지관리가 매우 어려움 : 설치 후 1년 6개월이 경과하여 방지막이 훼손되었으나 유지관리비가 사업비에 포함되어 있지 않음.
  - 오타방지막의 효과를 알 수 없음.
  - 훼손 원인은 앵커블럭이 퇴적층으로 침하됨에 따른 계류라인 절단.

(나) 부산-1

- 공사내용 : 부산신항 사석투하 및 그랩 준설
- 개 요
  - 오래된 곳은 설치후 1년 이상 경과(조사당시 기준)되었으며, 훼손된 곳은 교체하였음(2개월 경과).
  - 유속이 약하고 파랑의 영향을 직접 받지 않아 다른 현장에 비해 방지막 상태 양호. 조류방향과 평행하게 설치되어 1년 이상되어도 다른 곳보다 오타방지막 상태가 양호하였음.
  - 수중촬영결과 막체는 훼손되지 않았으나 부착생물이 많음: 2개월 경과된 방지막(그림 3.2.5 좌측)보다 1년 이상된 방지막(그림 3.2.5 우측)에 훨씬 많은 부착생물이 있음. 그러나 2개월이 경과된 막체에서도 생물부착이 상당히 진행되고 있었음.

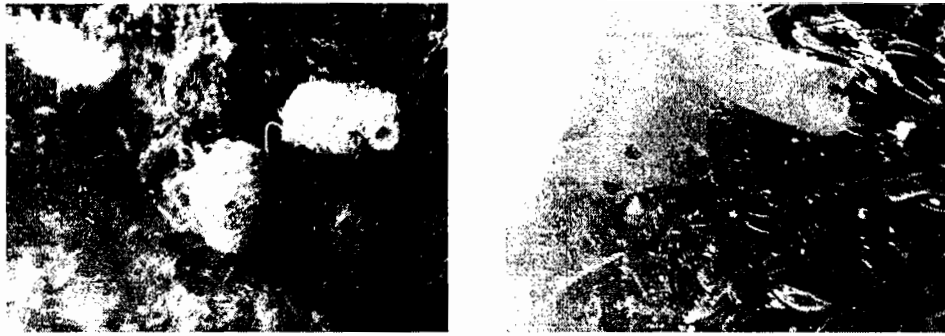


그림 3.2.5 부산-1 지역 오탉방지막의 부착생물 (좌: 2개월, 우: 1년).

- 현장근무자 의견
  - 본 해역은 파랑에 의한 훼손보다는 부착생물 문제가 심각함.
  - 주로 4-7월에 상당히 많이 부착하고 9월경부터 떨어져 나감.
  - 본 해역은 타 해역에 비해 유속이 약하고, 파랑의 영향을 크게 받지 않아 유지관리를 잘 하면 방지막 평균 수명이 약 1년 이상임. 그러나 교체하는 것이 저렴함.
  - 사업비에 방지막 유지관리비가 포함되지 않는 것이 문제점임.
  - 부력체의 내구성은 마디형(1m)보다는 일체형(20m span)이 양호함.
  - 실제로 다른 현장의 경우 방지막 유지관리가 어렵기 때문에 막체 없이 부력체(float)만 설치하는 곳이 많음.

(다) 부산-2

- 공사내용 : 부산항 사석투하
- 개 요
  - 그림 3.2.6과 같이 이중으로 설치하였으며 1년 경과하였음: 공사지점으로 부터 약 100m 이격시켜 설치하였으며, 방지막 사이의 거리는 약 30m
  - 방지막 총연장은 약 5,940m (표 3.2.1)
  - 일체형 부력체의 상태는 양호하나 촬영결과 막체 훼손이 심하며, 부력체 하부와 막체에 생물이 많이 부착됨(그림 3.2.7).

표 3.2.1 부산-2 해역에 설치된 오탃방지막의 위치와 설치길이.

구 분	오탃방지막 설치길이(m)		비 고
	1차(내측)	2차(외측)	
서방파제 외곽부	520	760	이중오탃방지막을 공사시행전 설치
동방파제 외곽부	920	980	
남방파제 외곽부	1,060	1,080	
여수토 외곽부	250	370	
합 계	2,750	3,190	

● 현장근무자 의견

- 공사 초기에는 유지관리를 했다고 하지만 조사 당시는 부력체만 관리함.
- 초기 준설시 방지막의 효과가 입증되었다고 하지만 조사 당시는 부유토사 발생 공종이 없어 효과 검정 못함. 따라서 준설공사시에만 설치하고, 부유토사 발생이 적은 공종의 경우는 설치하지 않는 것이 바람직함.

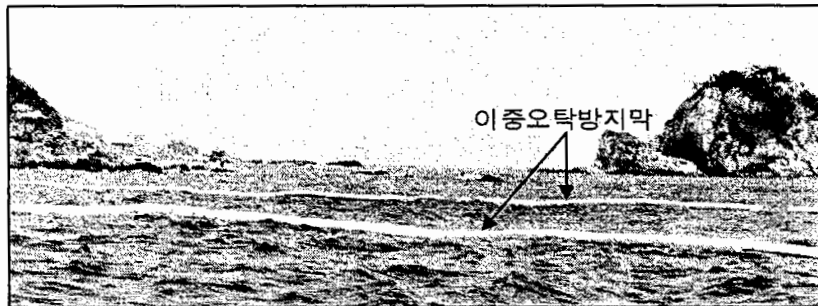


그림 3.2.6 부산-2 지역 이중오탃방지막.



그림 3.2.7 부산-2 지역 오탃방지막의 훼손된 막체 및 부착생물.

(라) 부산-3

- 공사내용 : 부산항 호안공
- 개 요
  - 조사 당시(2001년 12월초에 설치하여 약 5개월 경과) 외관상 부력체 상태는 양호하였으나(그림 3.2.8), 막체 상태는 확인하지 못하였음.
  - 2組의 방지막을 일정 간격을 유지하지 않고 서로 겹쳐서 설치하였음.
- 현장근무자 의견
  - 유지관리를 철저히 하고 있으며, 조사 당시까지 잘 유지되고 있음.

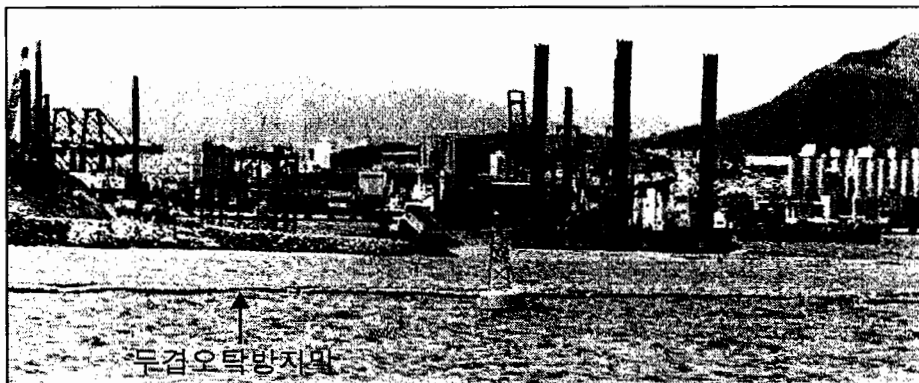


그림 3.2.8 부산-3 지역 두겹오탁방지막.

(3) 동해안

(가) 울산-1

- 공사내용 : 울산시 동구 전하동의 선회장 준설 및 블럭 거치
- 개 요
  - 당초 계획은 만 입구에 총 160m(막체폭 5m)로 설치하는 것이었으나, 선박 통행에 방해되어 안벽공사 측으로 이동하여 설치하였음(그림 3.2.9).
  - 공사시작 3개월 경과 시점에서 막체 일부가 찢겨짐.
- 현장근무자 의견
  - 해저면이 풍화암으로 구성되어 부유토사의 발생이 거의 없음.
  - 방지막의 설치 주목적은 부유토사 확산저감보다는 민원의 사전차단임.
  - 동해안에서는 방지막의 유지관리가 사실상 어려움.



그림 3.2.9 울산-1 지역 오탁방지막.

(나) 울산-2

- 공사내용 : 울산시 남구 용원동의 방파제 사석공사
- 개요
  - 수심 20m, 설치연장 260m, 막체폭 5m
  - 설치 2개월 경과한 시점에서 부력체 일부가 가라앉음(그림 3.2.10).

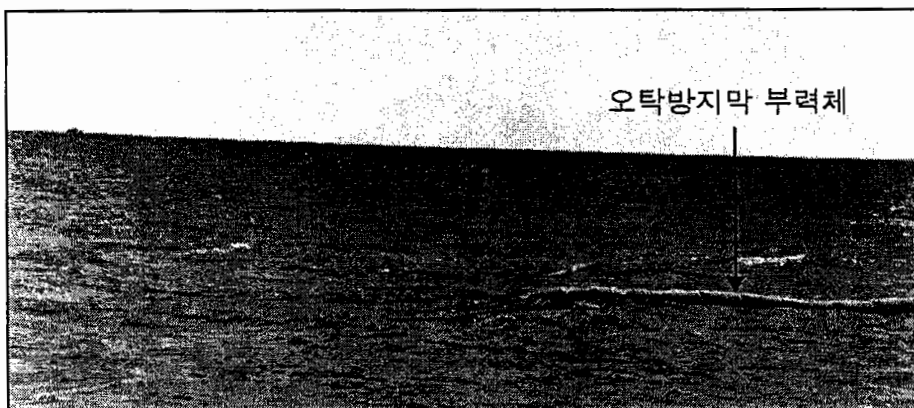


그림 3.2.10 울산-2 지역 오탁방지막의 훼손 상태.

- 현장근무자 의견
  - 방지막의 평균수명이 한 달 이하임.
  - 특히 폭풍주의보 후 50% 이상 유실됨.
  - 일반적으로 방지막의 설계수명은 12개월로 설계에 포함시키나 본 해역에서는 실제 평균수명이 1-2개월이기 때문에 정상적인 상태로 유지하기 위

해서는 많은 비용이 소요됨.

- 지반침하와 퇴적으로 인하여 앵커블록 회수율이 50% 이하임.

(다) 울진

- 공사내용 : 사석방파제 연장
- 개 요
  - 설치연장 160m, 막체폭 5m, 조사 당시 3개월 경과된 상태 (그림 3.2.11)
  - 공사편의를 위해 공사지점으로부터 약 300m 이격시켜 설치하였으나, 항행 어선과의 충돌로 인하여 훼손되었음.
  - 부착생물 없음.
  - 공사지점으로부터 오탁방지막까지의 거리가 너무 떨어진 것이 문제임.
- 현장근무자 의견
  - 사석투하에 의한 부유토사 발생이 거의 없음.
  - 동해안은 방지막의 유지관리가 어려우며, 실제로 방지막 효과가 없다고 판단됨.



그림 3.2.11 울진 지역 오탁방지막.

#### (4) 국내 오탉방지막 설치·관리상의 문제점

##### (가) 조사지점 공통문제

전체적으로 방지막의 설치효과가 의문스러우며, 그 원인은 부적절한 설치, 비용, 관리소홀 문제로 구분할 수 있다.

##### ① 부적절한 설치

대상사업의 종류, 부유토사 발생량, 수리 및 해저퇴적물 조건, 해역생태환경 등을 고려하여 방지막의 설치여부를 충분히 검토하지 않고 일률적인 방식으로 설치함에 따라 방지막의 부유토사 확산저감 효율이 의심스러운 한편 방지막이 쉽게 파손되는 등 유지관리가 어려운 경우가 많다.

##### ② 비용

방지막 설계내구연수를 12개월 또는 전체 사업기간(3~5년)으로 설정하여 소요 경비를 사업비에 포함시키나, 실제 내구연한은 이보다 훨씬 짧으며 유지관리비가 사업비에 포함되지 않는 경우가 많다.

##### ③ 관리소홀

대체로 방지막의 유지관리를 철저히 이행하지 않고 있다. 설계단계에서는 일일 점검으로 방지막의 손상여부와 부력체 및 기타 부속품 점검을, 월점검으로 막체의 공극 폐쇄정도 및 이물질 부착 여부를 점검하는 것으로 계획하지만, 실제로 이와 같은 점검을 실시하는 사업장은 그리 많지 않다.

##### (나) 해역별 문제

##### ① 서해안

- 빠른 유속으로 인해 배경 농도가 높고, 부력체 연결부위의 파손이 많다.
- 조간대에 설치할 경우, 조시에 따라 막체가 조간대에 노출되었다가 잠기는 현상이 반복되어 방지막이 훼손되기 쉽다.
- 부력체가 부착생물로 인해 증가된 막체 하중을 견디지 못하고 수면하로 잠기는 경우가 있다.

- 빠른 유속을 이유로 유지관리를 제대로 이행하지 않는 경우가 있다.
- 막체 없이 부력체만 설치하거나 막체를 맡아놓은 사업장이 있다.

## ② 남해안

- 서해안에 비해 유속이 작고 동해안에 비해 파고가 낮아 오탁방지막 상태가 비교적 양호하였다.
- 부력체가 부착생물로 인해 증가된 막체 하중을 견디지 못하고 수면하로 잠기는 경우가 있다.
- 유지관리가 제대로 이행될 경우 1년 이상 사용하는 것도 가능하다.

## ③ 동해안

- 높은 파고로 인해 부력체 연결부위가 끊기거나 막체가 쉽게 찢기는 등 다른 해역에 비해 방지막이 쉽게 훼손된다.
- 설치후 2~3개월 이내에 훼손되는 경우가 있다.

## 나. 일 본

### (가) 오사카港 매립

- 공사내용 : 인공섬 조성을 위한 매립
- 개 요
  - 대상해역 수심 13~14m, 설계파고 2.5m (주기 6초)
  - 매립지 둘레 약 7~8km에 걸쳐 2중으로 설치(그림 3.2.12)
    - 내측 : 고정식 자립형
    - 외측 : 고정식 수하형 또는 부침식 수하형(공사용 선박 통행구간)
  - 고정식 수하형 : 막체폭 4m, 앵커블럭 3.00m×3.00m×1.55m
  - 고정식 부침형 : 막체폭 4m, 앵커블럭 2.50m×2.50m×1.65m
  - 고정식 자립형 : 막체폭 8m, 일체형(20m/span)
  - 총설치비 : 약 200억원
    - 고정식 수하형 : 18만₩/m
    - 고정식 부침식 : 40만₩/m
    - 고정식 자립형 : 10만₩/m



- 설치비 : 6,000¥/m (앵커블럭비용 별도)

- 그림 3.2.13은 설치 후 1년 경과한 상태

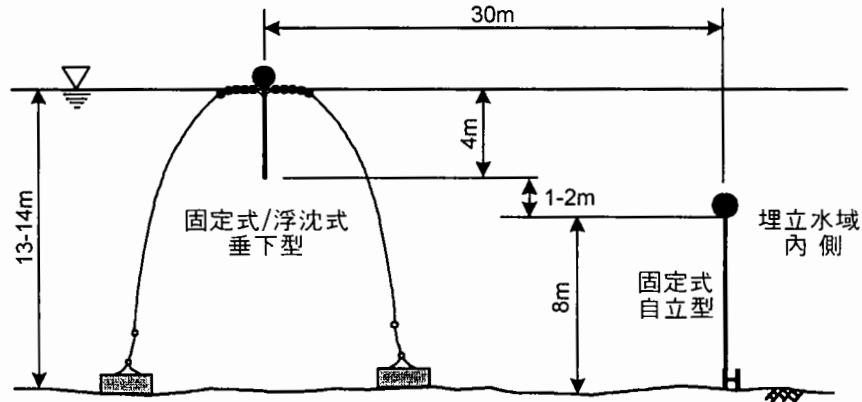


그림 3.2.12 오사카항 2중오탁방지막 설치 단면도.

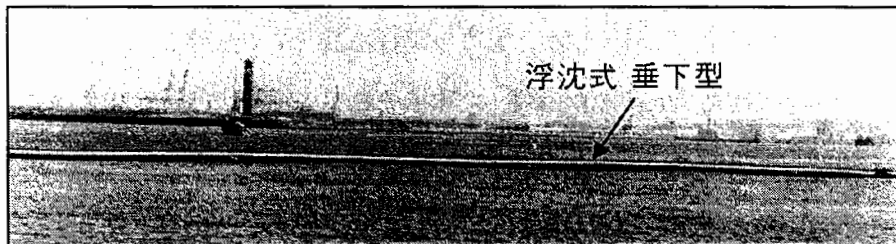
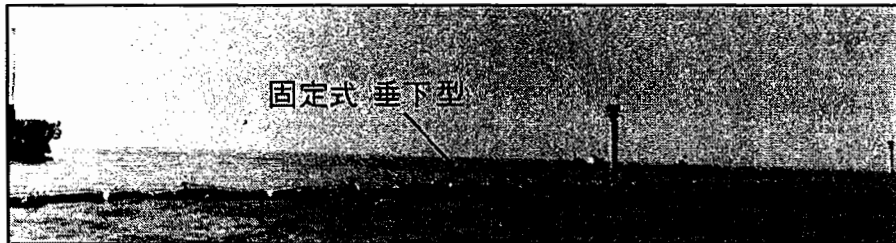


그림 3.2.13 오사카항 인공섬 조성을 위한 매립수역에 설치된 수하형 오탁방지막.

- 현장근무자 의견
  - 호안공사 기간(2~3년)만 방지막을 설치
  - 막체 부착생물 문제는 크지 않음.
  - 태풍 내습시 부침식 부력체의 공기를 방출시켜 막체를 침수시키고, 고정식

- 은 막체를 말아놓으며, 200~300m 간격으로 연결 부위를 풀어놓음.
- 앵커블럭은 공사 완료후 100% 수거함.
  - 일본의 경우 일반적으로
    - 파고 3.0m 이상인 해역에서는 방지막을 설치하지 않음
    - 방파제 공사시 및 CSD 준설시에는 방지막을 설치하지 않으며, 매립 및 그랩 준설시에만 설치함.
    - 방지막 유지관리는 해당 공사 시공자가 수행
  - 일본에서도 방지막 설치 지침서가 없으며, 국내와 마찬가지로 사업시행전 환경영향평가지 사업자가 방지막 설치·운영에 대한 계획을 수립하고 환경영향평가서에 반영하여 각 지방자치단체 및 환경부와 협의함.

(나) 토오쿄오灣 매립 및 준설

- 공사내용 : ‘新海面處分場(New Waste Disposal Area)’ 매립 및 항로준설
- 개 요
  - 1996년 착공한 처분장 면적은 480ha
  - 오타방지송니선 및 frame 형 방지막 사용으로 부유토사 발생 억제

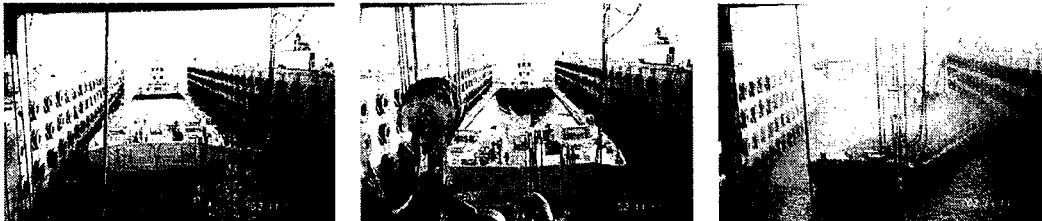


그림 3.2.14 오타방지송니선(Anti-Pollution Soil Transporter) 작업 전경.

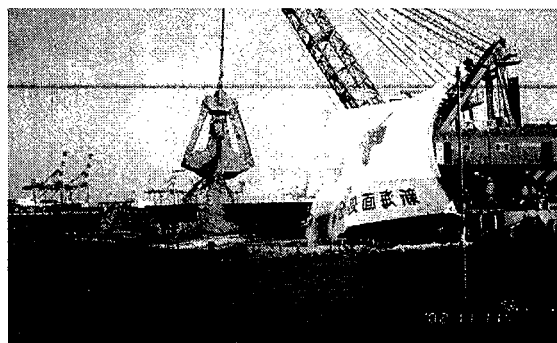


그림 3.2.15 그랩 준설시의 frame형 방지막 (東京灣 항로준설).

다. 수리·지형·공중에 따른 국외 오탉방지막 설치지침

방지막의 효율에 관한 과학적인 연구성과는 많지 않지만 그 동안 조사·경험을 바탕으로 국외에서 보고된 수리·지형·조건에 따른 방지막의 설치기준은 표 3.2.2와 같으며, 유속이 20~50cm/s 이상이고, 파고가 1~2m 이상인 해역에서는 방지막 설치를 권장하지 않음을 알 수 있다.

표 3.2.2 수리·지형·공중에 따른 오탉방지막 설치시 유의사항.

출 처	유 의 사 항
Elastec/ AmericanMarine Inc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유속이 50cm/s 이상이거나</li> <li>• 풍속이 강하고 파고가 높은 곳</li> <li>• 그리고 방지막을 자주 옮겨야 하는 TSHD 및 CSD 작업시에는 설치하지 않음</li> <li>• 유속이 약 6cm/s 이하인 곳에서의 효율은 80-90%</li> <li>• 유속이 50cm/s인 곳에서 막체폭 1.5m의 유효 막체폭은 0.9m</li> <li>• 방지막의 실질적인 성능한계유속은 45cm/s</li> </ul>
IHC Holland	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정지준설(grab, backhoe 등) 경우에만 사용하는 frame 형 방지막의 작업한계유속은 약 30cm/s</li> </ul>
海洋開發工事 安全公害對策本部 (1989) <sup>i)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다음 기준을 초과하면 부유토사 확산저감 효과를 기대하기 곤란               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 풍속 20m/s</li> <li>- 파고 2m</li> <li>- 유속 20~30cm/s</li> </ul> </li> </ul>
St. Lawrence Center (1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수심 6.5m 이상이거나</li> <li>• 유속 50cm/s 이상인 곳에서는 사용하지 말 것</li> </ul>
OMOE <sup>ii)</sup> (1994)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유속 50cm/s 이상이거나</li> <li>• 파고 1.0m 이상인 곳에서는 효과 없음</li> </ul>
MMS <sup>iii)</sup> (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유속이 50cm/s 이상인 곳에서는 사용하지 말 것</li> <li>• 항내, 하구역과 같이 정온해역에서만 사용할 것</li> <li>• 규모가 작은 준설일 경우에만 유용</li> <li>• 준설지점이 빠르게 이동하는 곳에서는 사용이 제한적</li> <li>• 방지막을 이동설치할 경우 부유토사 발생</li> </ul>

i) 방지막 관련 업체에 대한 설문조사결과

ii) Ontario Ministry of Environment

iii) Minerals Management Service, US Department of Interior

표 3.2.2 (계속).

출 처	유 의 사 항
Ooms (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부적절한 설계·설치는 해저면 침식을 발생시킬 수 있음</li> </ul>
Shaw <i>et al.</i> (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 순기능에 비해 역기능이 클 수도 있음</li> </ul>
IADC/CEDA <sup>iv)</sup> (1998, 1999)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medium silt ~ coarse sand에서 효과 있음</li> <li>• 정온해역에서 효과 있음</li> <li>• 설치시 다음 사항을 고려해야 함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수심</li> <li>- 해저지형</li> <li>- 퇴적물 입경분포</li> <li>- 퇴적물의 광물학적 조성</li> <li>- 수리조건</li> </ul> </li> </ul>
John <i>et al.</i> (2000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유속이 50cm/s 이상인 곳에서의 사용은 부적절</li> <li>• 정지준설(grab, backhoe 등)인 경우에만 효과 있음</li> <li>• 이동시 특별한 주의를 기울이지 않으면 악영향 발생</li> <li>• 항상 효과가 있는 것이 아니므로 설치 경비와 발생가능 문제를 면밀히 검토하여 더 나은 대책이 있는지를 파악할 것</li> </ul>
USACE <sup>v)</sup> <i>et al.</i> (2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유속이 0.5~1.0m/s 이하인 곳에서 사용할 것</li> </ul>

iv) International Association of Dredging Contractors/Central Dredging Association

v) US Army Corps of Engineers

### 3. 오탉방지막 효율 현장관측

#### 가. 부산신항-I

부산항건설사무소(2001)는 비행선에 캠코더를 장착하여 2000년 11월 30일 SCP (sand compaction pile) 船 주변의 표층 가시탁도를 촬영하였으며, 아울러 촬영시의 농도 파악을 위해 약 30분간에 걸쳐 16개 정점에서 표층 해수를 채취하였다 (그림 3.2.16, 표 3.2.3).

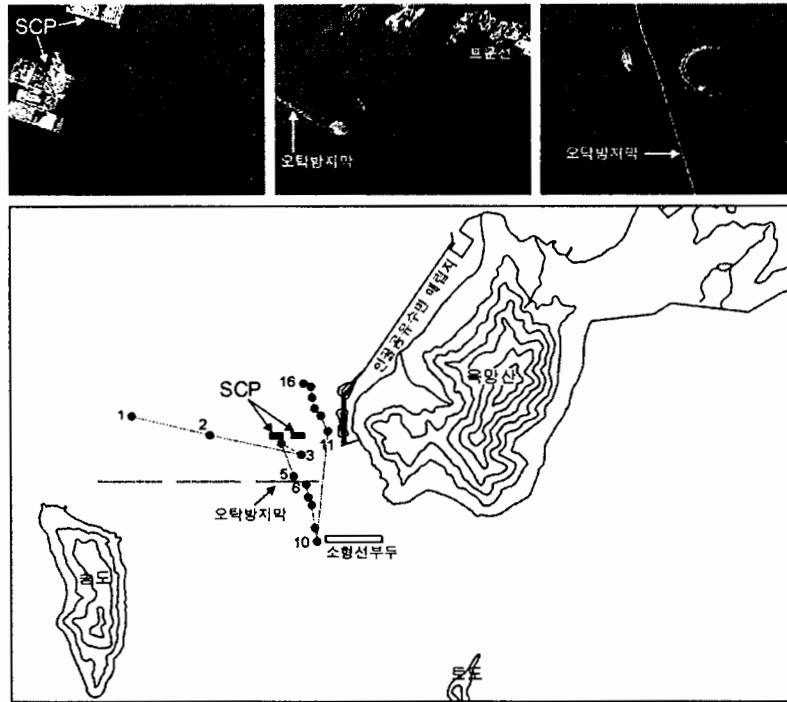


그림 3.2.16 부산신항 SCP 공사시 탁도플룸 및 표층농도 관측점 (부산항건설사무소, 2001).

표 3.2.3 비행선 촬영시 표층부유사 관측위치 및 농도 (부산항건설사무소, 2001).

정점	시간	위 치		농도 (mg/l)
		위도	경도	
1	14:15	35-04-525	128-46-074	6.90
2	14:20	35-04-483	128-46-281	6.48
3	14:25	35-04-440	128-46-526	32.65
4	14:27	35-04-465	128-46-471	11.00
5	14:30	35-04-393	128-46-504	12.07
6	14:32	35-04-375	128-46-537	9.53
7	14:33	35-04-347	128-46-542	10.24
8	14:34	35-04-330	128-46-551	8.62
9	14:35	35-04-281	128-46-560	9.00
10	14:36	35-04-251	128-46-565	8.60
11	14:41	35-04-492	128-46-594	7.25
12	14:42	35-04-526	128-46-576	3.81
13	14:43	35-04-542	128-46-560	5.69
14	14:44	35-04-566	128-46-553	5.48
15	14:45	35-04-590	128-46-550	4.47
16	14:46	35-04-597	128-46-530	10.19

먼저 그림 3.2.16에서 볼 수 있는 바와 같이 2척의 SCP 船 전면에 형성된 부유토사 플룸이 공사지점으로부터 약 280m 남측에 설치된 막체폭 3m인 수하형 방지막을 통과한다. 16개의 관측점 중에서 SCP 선에 가장 근접한 정점은 3번과 4번으로서 각각의 농도는 33 mg/l와 11 mg/l이다. 3번에 비해 4번 정점에서의 농도가 낮은 것은 관측점이 플룸으로부터 벗어났기 때문으로 판단된다. 정점 1, 2 및 12로부터 당시의 배경농도는 4-7 mg/l임을 알 수 있다.

방지막 내·외측에 가장 인접한 정점은 각각 5번과 6번이며, 내측인 5번에서의 농도는 12.07 mg/l, 외측인 6번 정점에서의 농도는 9.53 mg/l로서 방지막에 의해 표층부유토사 농도가 약 20% 저감된다.

비록 부산항건설사무소(2001)의 상기 관측은 공사진척율과 부유토사 확산 모니터링에 비행선 이용 여부를 시험하기 위한 것으로서, 방지막 효율에 관한 심도 있는 관측이 실시되지 않은 아쉬움이 있다. 그러나 그림과 관측치로 미루어 방지막이 충분한 역할을 하지 못함을 알 수 있다.

## 나. 부산신항-II

부산신항-I과 동일 지점에서 본 사업과 부산항건설사무소(2002) 공동으로 방지막 효율을 관측하였다. 해당 공종은 부산신항 준설토 매립지 호안축조용 사석투하 장비 진입을 위해 전술한 그림 3.2.16의 SCP 공사로 인해 융기한 웅천대교 구간을 준설하는 것이었다. 관측기간 동안의 준설 및 현장관측 위치도는 그림 3.2.17과 같으며, 각 준설선의 작업시간 및 작업량은 표 3.2.4와 같다.

관측기간 동안 준설선의 남북 및 동서방향 작업폭은 각각 약 110m (175970~176080)와 20m이며, 준설지점으로부터 220~330m 남쪽 수심 약 6m인 지점에 동서방향으로 막체폭 3m인 고정식 수하형 방지막이 설치되었다(그림 3.2.16, 3.2.17).

방지막 전후 9개 정점에서 파랑, 유황 및 부유퇴적물 농도를 관측하였다. 방지막으로부터 30m 떨어진 정점 A1과 A2의 저면상 3m에는 한국해양연구원(2000a)이 개발한 자동채수기(Auttle) 8대, 미국 YSI 社의 다기능수질측정기(YSI6600), 그리고 노르웨이 Aanderaa 社의 초음파 유속계 RCM9으로 구성되는 AURY(그림 3.2.18)를 계류하였으며, 7월 10일에는 YSI6600을 이용하여 오타방지막 전후의 6개 정점을 이동하면서 부유사 농도 연직분포를 관측하였다. 또한 A1에서 약 30m 북쪽의 정점 S에는 해저경계층 수리·퇴적현상 관측 시스템인 SPHINX (한국해양연구원, 2000a)

를 설치하여 파랑과 해저면 근방 3개 층에서 유속과 부유퇴적물 농도를 관측하였다. 각 정점에서의 관측기간은 표 3.2.5와 같다.

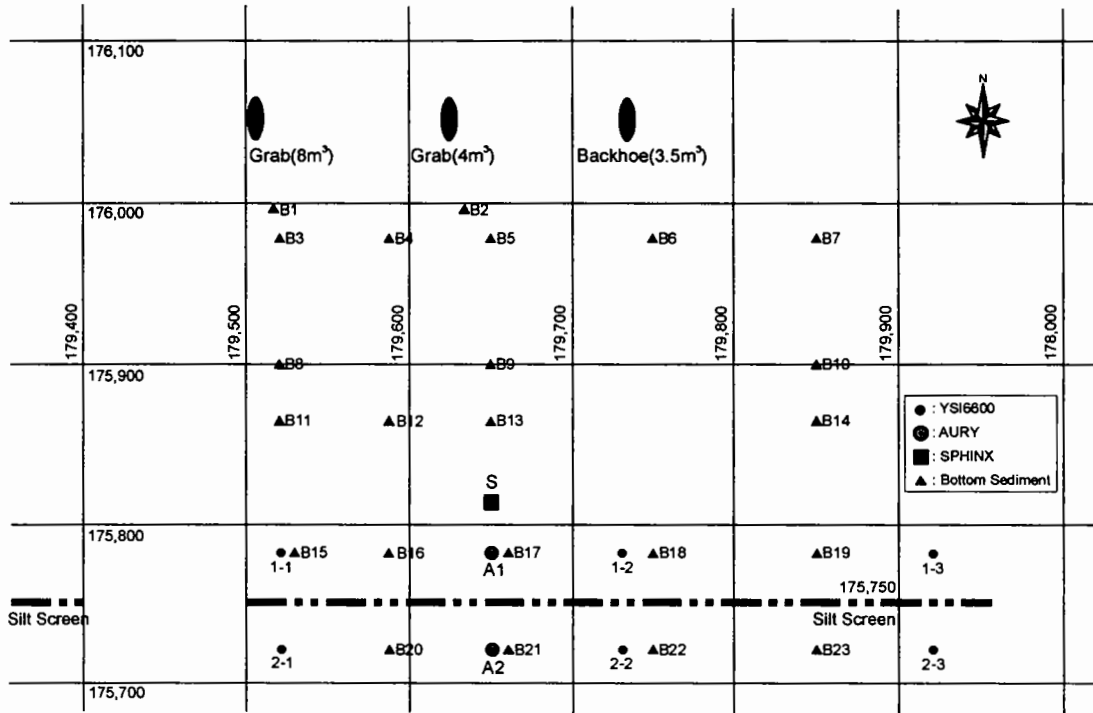


그림 3.2.17 부산신항-II 지역의 준설 및 현장관측 위치도.

표 3.2.4 오탉방지막 효율 관측기간의 준설일지 (2001년 7월).

일시	준설선	준설량 (m³)
5일 08:00 - 20:00	Backhoe (3.5m³)	1,000
6일 08:00 - 14:00	Backhoe (3.5m³)	500
8일 07:00 - 18:00	Backhoe (3.5m³)	500
07:00 - 18:00	Grab (4m³)	500
04:00 - 24:00	Grab (8m³)	2,000
9일 07:00 - 18:00	Backhoe (3.5m³)	500
07:00 - 18:00	Grab (4m³)	500
04:00 - 24:00	Grab (8m³)	2,000
10일 07:00 - 18:00	Backhoe (3.5m³)	500
07:00 - 18:00	Grab (4m³)	500
04:00 - 24:00	Grab (8m³)	1,500
11일 07:00 - 18:00	Backhoe (3.5m³)	500
07:00 - 18:00	Grab (4m³)	500
12일 07:00 - 18:00	Grab (4m³)	500

표 3.2.5 부산신항-II 지역의 정점별 관측장비 및 관측기간.

정 점	관측장비	관측기간
A1	AURY	7월 5일 ~ 8일
A2	AURY	7월 5일 ~ 11일
S	SPHINX	7월 7일 ~ 11일
1-1, 1-2, 1-3 2-1, 2-2, 2-3	YSI6600	7월 10일

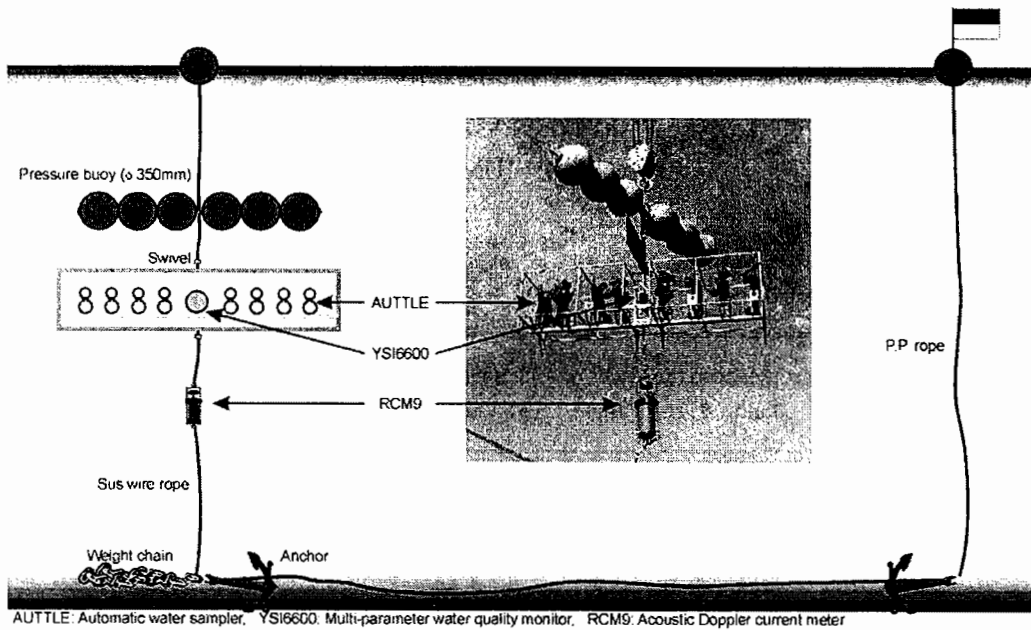


그림 3.2.18 AURY 계류 모식도 및 계류 전경.

다기능수질측정기 YSI6600의 탁도계인 OBS(Optical Backscattering Sensor)의 출력단위는 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)이며, 이를 실제 퇴적물 농도(mg/l)로 변환하기 위해서는 현장 검보정이 필요하다. YSI6600 관측과 동시에 채수한 해수를 이용한 현장 검보정 결과를 그림 3.2.19에 제시하였다.

한편 7월 10일에는 8m<sup>3</sup>와 4m<sup>3</sup> grab 준설지점인 B1과 B2를 비롯한 총 23개 정점의 해저 표층퇴적물을 채취하였으며 그 분석결과는 표 3.2.6과 같다.



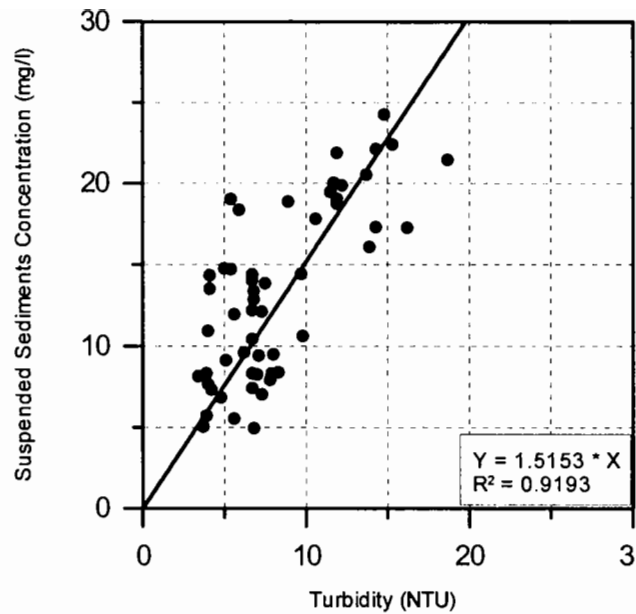


그림 3.2.19 YSI6600 탁도계 현장검보정 결과 (부산신항-II).

표 3.2.6 부산-2 지역의 해저퇴적물 통계특성.

St. B#	Weight Composition(%)				S. Mean		T. Mean		SD	SK	Kt
	Grav.	Sand	Silt	Clay	(φ)	(mm)	(φ)	(mm)			
1	1.3	23.1	53.9	21.6	1.8	0.30	5.7	0.02	2.8	-0.5	2.6
2	4.6	27.2	46.8	21.5	1.0	0.50	5.2	0.03	3.3	-0.4	2.2
3	1.0	31.7	50.8	16.5	-0.3	1.27	5.3	0.03	2.7	-0.1	2.5
4	18.7	41.4	29.5	10.4	-1.8	3.43	2.9	0.13	3.7	0.2	1.9
5	0.0	15.8	59.8	24.5	0.1	0.93	6.3	0.01	2.3	-0.3	2.8
6	0.1	41.8	46.9	11.2	0.3	0.79	4.8	0.04	2.3	0.6	3.1
7	4.9	24.3	52.6	18.3	-1.1	2.09	5.2	0.03	3.1	-0.5	2.8
8	0.2	15.3	62.7	21.7	0.4	0.75	6.4	0.01	2.1	-0.3	3.0
9	0.0	32.9	54.2	12.9	0.5	0.73	5.2	0.03	2.2	0.6	2.7
10	2.1	36.2	46.9	14.8	-1.1	2.17	4.7	0.04	3.1	-0.1	2.1
11	0.0	17.1	62.1	20.9	0.3	0.79	6.1	0.01	2.2	0.0	2.7
12	4.0	24.0	51.7	20.3	-1.3	2.46	5.4	0.02	3.1	-0.5	2.5
13	0.0	40.6	47.4	12.0	-0.1	1.08	4.8	0.04	2.5	0.2	2.7
14	0.7	29.8	55.2	14.2	0.1	0.95	5.2	0.03	2.4	0.2	2.9
15	0.0	19.7	60.2	20.1	0.6	0.68	6.0	0.02	2.2	0.2	2.4
16	0.0	23.3	57.9	18.8	0.2	0.88	5.8	0.02	2.4	-0.1	2.7
17	1.3	60.2	33.2	5.3	0.3	0.82	3.9	0.07	2.0	0.8	5.1
18	2.3	44.1	39.8	13.8	-1.2	2.25	4.3	0.05	3.2	0.1	1.9
19	4.6	59.8	26.5	9.1	-1.5	2.78	3.1	0.12	3.2	0.6	2.3
20	4.9	38.5	45.9	10.8	-0.1	1.04	4.5	0.04	2.7	-0.2	3.6
21	0.0	16.6	60.7	22.8	-0.4	1.30	6.1	0.01	2.5	-0.4	3.0
22	1.2	35.1	49.0	14.7	-0.1	1.08	5.0	0.03	2.6	0.1	2.7
23	0.0	12.4	63.9	23.7	0.3	0.81	6.4	0.01	2.1	-0.1	2.7

## (1) AURY 및 SPHINX 관측결과 분석

정점 A1과 A2에서의 AURY 관측결과를 그림 3.2.20에, 정점 S에서의 SPHINX 관측결과를 그림 3.2.21에 제시하였다. 정점 A1에서의 유향이 일정 시간 동안 약 360°와 180°에서 변하지 않아 기기 이상으로 생각할 수도 있으나 각각이 창조시와 낙조시에 발생하며, 유속에도 이상이 발견되지 않아 방지막에 근접 설치에 따른 현상으로 판단된다. 각 관측에서의 주요 특성은 유속이 방지막의 영향을 받고 부유 퇴적물 농도는 파랑과 준설에 의한 플룸의 영향을 지배적으로 받는다는 것이며, 이를 유황과 부유퇴적물 농도로 구분하여 살펴본다.

### (가) 유속변화 특성

먼저 그림 3.2.20의 AURY 결과에서 방지막의 영향이라고 판단되는 흐름 특성이 두 지점 모두에서 관측되었다. 먼저 북향 창조류의 경우, 정점 A1과 정점 A2에서의 최대유속은 각각 약 25 cm/s와 40 cm/s이고, 남향 낙조류의 정점 A1, A2에서의 최대유속은 각각 40cm/s와 25 cm/s 정도이다. 이와 같이 해당 지점이 하류측이 되는 조시의 최대유속이 상류측의 약 63%로 낮은 이유는 그림 3.2.22에 모식화한 오타방지막의 영향 때문으로 판단된다. 즉, 막체폭에 비례하여 감소한 막체 하단과 해저면 사이 단면에서는 venturi tube 효과로 인해 유속이 강화되지만, 이와 아울러 난류 발생과 증가되는 해저면과의 마찰로 인해 운동에너지가 일정 부분 소멸될 것이다. 또한 일정 유속 이상이면 막체 후면에 와류가 형성되면서 운동 에너지의 연직교환이 활발해지며, 결과적으로 방지막으로부터 일정 거리 떨어진 하류에서의 유체 운동에너지는 같은 거리의 상류 지점보다 감소한다.

타 사업의 현장관측을 위해 정점 A1의 AURY를 회수한 7월 8일 15시 이후부터는 두 지점의 유속을 비교할 수 없지만, 정점 A2의 창조시 유속이 낙조시보다 계속 월등히 높음을 알 수 있다.

정점 S의 저면상 25, 30, 50cm 높이의 유속도 조시에 따른 뚜렷한 차이를 보인다. 즉, 조차가 작아지는 관측 후반부에서는 비록 그 차이가 줄어들지만 정점 A1의 결과와는 반대로 최강낙조유속보다 최강창조유속이 월등하게 크다. 물론 7월 22시부터 시작한 낙조시 최강유속은 전후 최강창조유속과 유사하지만 같은 시기 A1의 유속이 높았음을 감안할 때 이 역시 venturi tube 효과에 기인한 것일 수 있다.

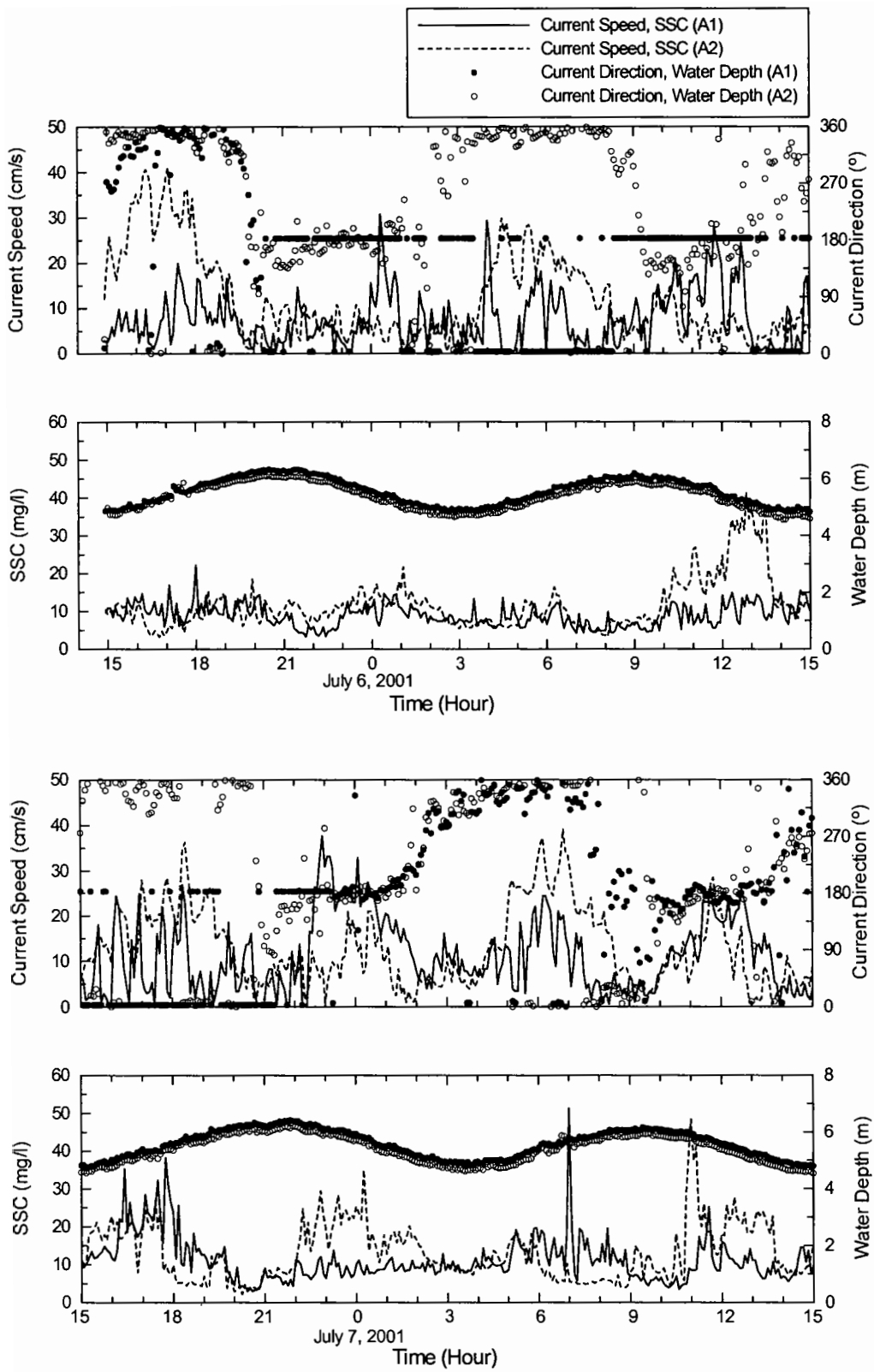


그림 3.2.20 오탁방지막 전후 저면상 3m에서의 AURY 관측결과.

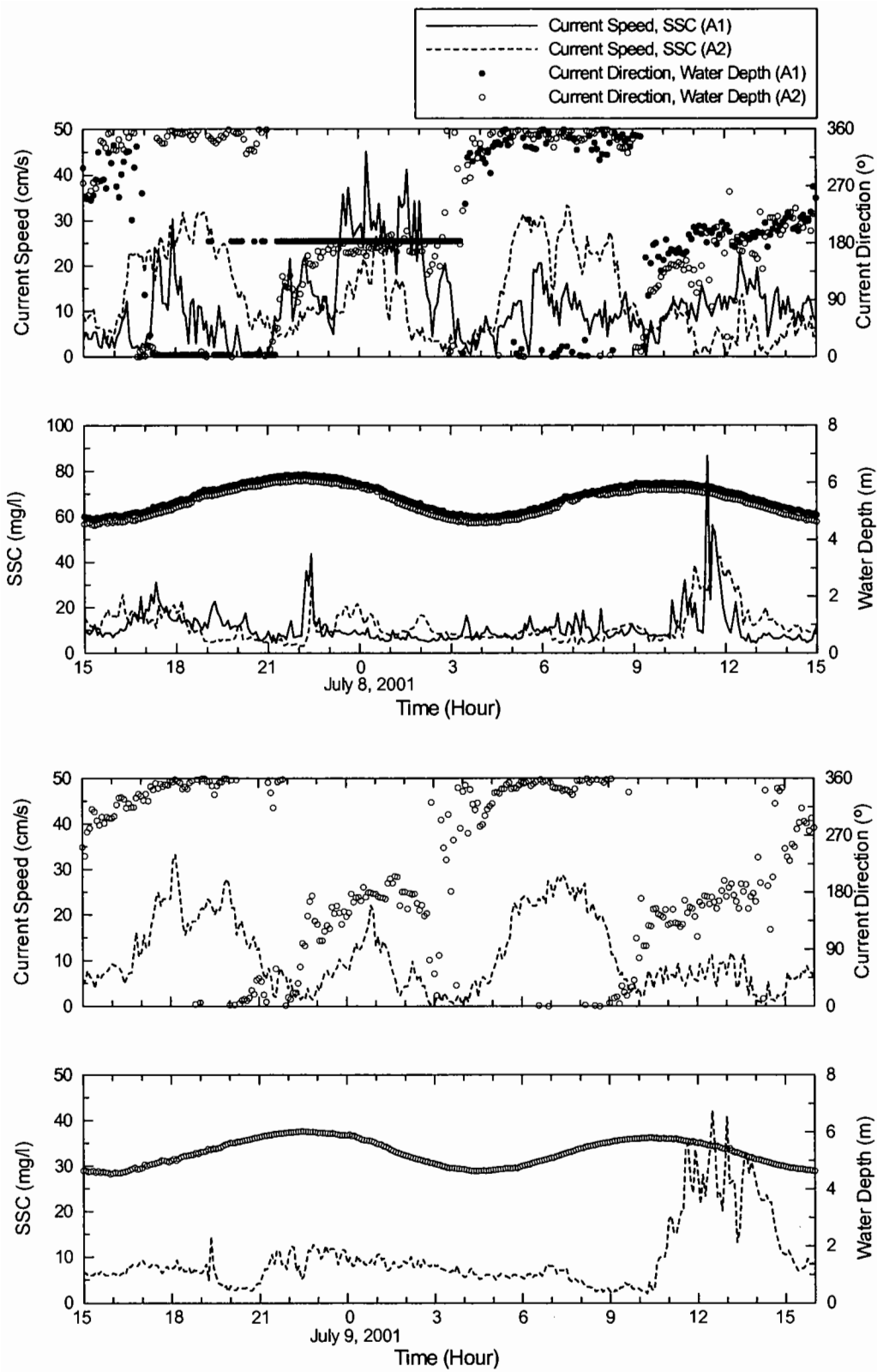


그림 3.2.20 (계속).

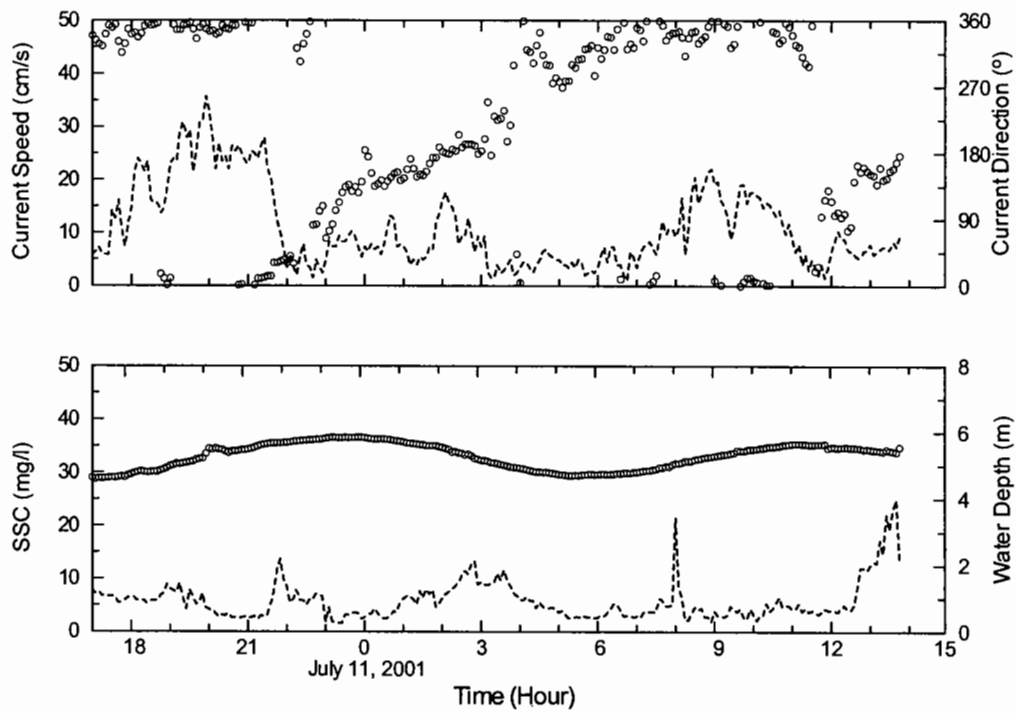
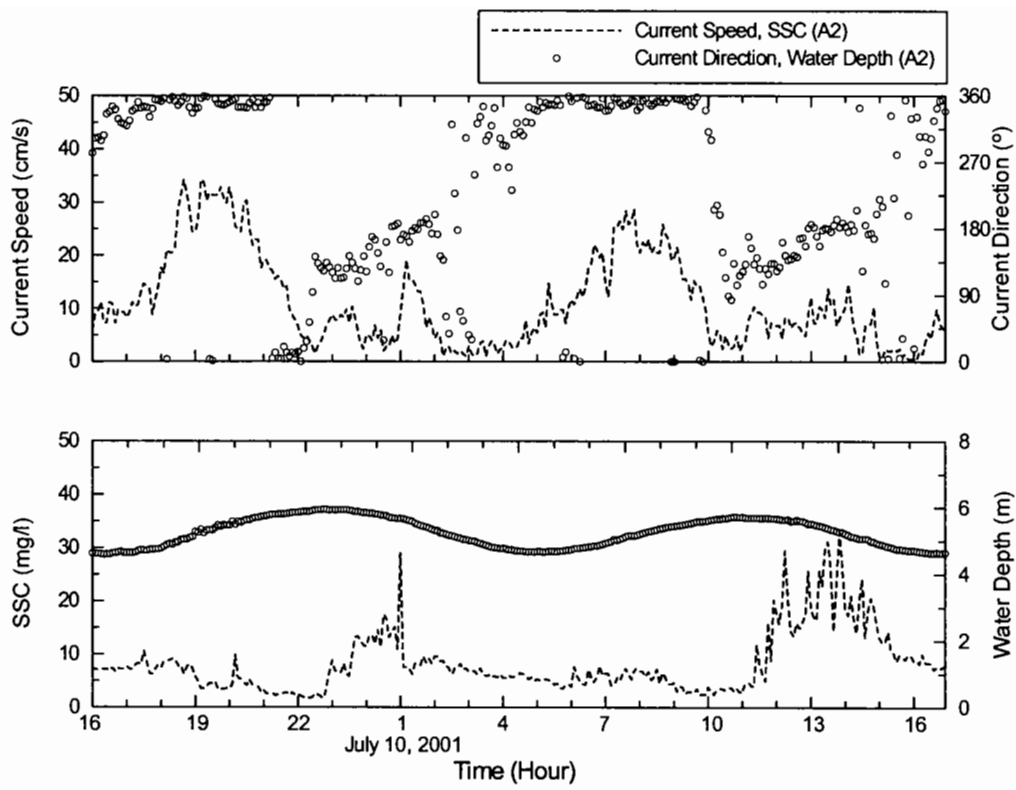


그림 3.2.20 (계속).

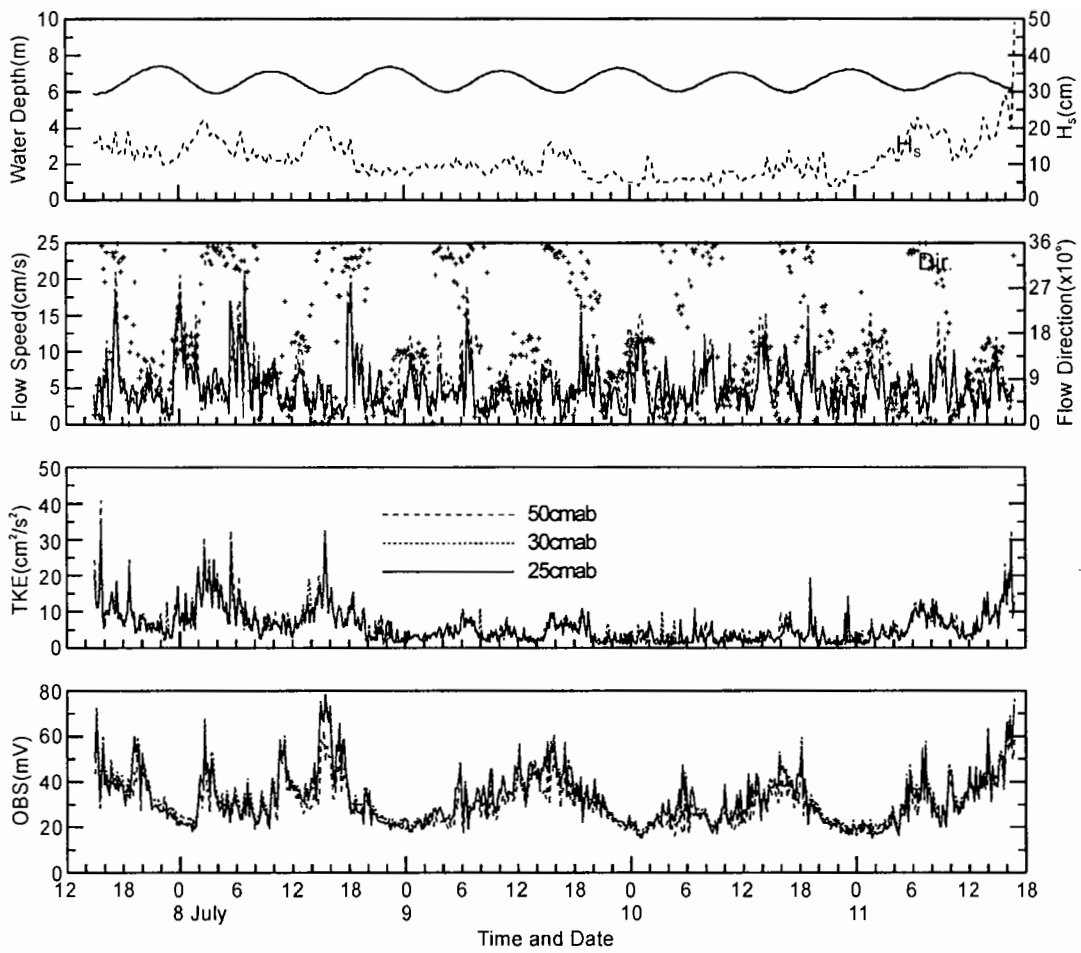


그림 3.2.21 정점 S에서의 SPHINX 관측결과.

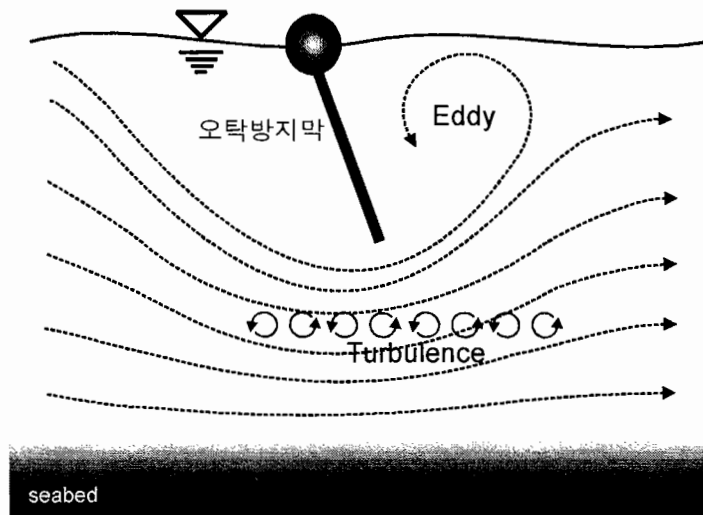


그림 3.2.22 오탁방지막 주변 흐름 모식도.

이와 같은 venturi tube 효과에 의한 방지막 전후의 유속변화 양상을 보다 면밀하게 파악하기 위해 관측이 정점 A1, A2, S 모두에서 수행된 7일 15시부터 8일 15시까지의 유속을 그림 3.2.23에 비교 도시하였다.

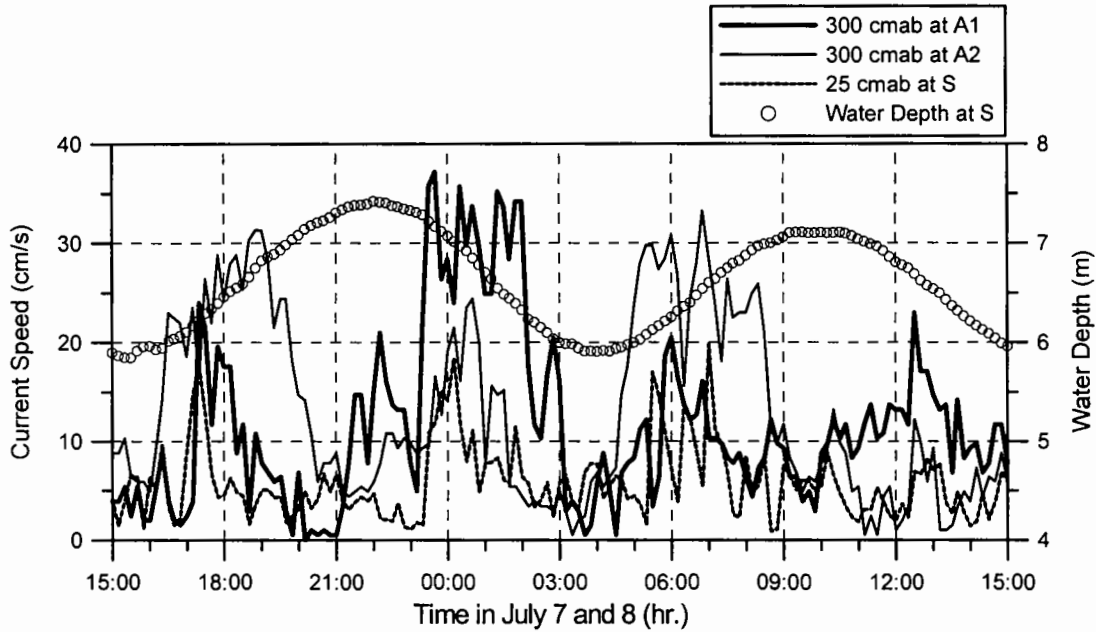


그림 3.2.23 Venturi tube 효과를 보여주는 정점 A1, A2, S에서의 유속 시계열.

전술한 바와 같이 정점 A1과 A2 저면상 3m에서는 해당 점이 조류의 상류 방향일 때의 유속이 하류 방향일 때보다 10-20cm/s 높다. 한편 정점 A1의 약 30m 북쪽인 정점 S의 저면상 25cm에서의 유속은 창조시에는 A1 유속과 비슷하지만 낙조시에는 A1보다 10-20cm/s 정도 낮다. 이와 같이 S와 A1에서의 유속 차이가 조시에 따라 변하는 것을 방지막의 venturi tube 효과로 해석할 수 있다. 즉, 방지막의 영향을 받지 않는 낙조시에는 저면상 3m인 중층 유속과 저면상 25cm인 하층 유속이 차이를 보이지만 두 지점이 조류의 하류에 놓일 때는 와류 등에 의한 연직혼합에 의해 두 층간의 유속 차이가 거의 없다.

방지막의 venturi tube 효과에 의한 막체 하부의 유속강화와 막체 후면의 연직혼합은 경우에 따라 부유퇴적물 확산 저감이라는 방지막 본래의 설치목적에 상치되는 결과를 야기할 수도 있을 것이다.

(나) 부유퇴적물 농도변화 특성

부유퇴적물 농도의 경우도 시간대별로 준설여부, 해상조건에 따른 몇 가지 특징적인 현상이 관측되었다.

① Period I (7월 5일 15시 ~ 7월 6일 09시)

먼저 관측 초기인 period I 동안의 두 지점 농도는 유속과 상관관계를 보이며 5-20 mg/l 범위에서 변동한다. 비록 backhoe 준설선이 5일과 6일에 각각 12시간과 8시간 동안 작업하였으나 period I 동안의 준설시간은 모두 창조시에 해당하므로 준설이 두 정점에 영향을 미치지 않았을 것으로 미루어 5-20 mg/l를 저면상 3m에서의 배경농도로 간주할 수 있으며, 이는 두 지점과 같은 영역에서 수행된 전술한 SCP 작업시의 표층 배경농도 4-7mg/l와 부합한다.

한편, venturi tube 효과에 의한, 즉 방지막 주변에서의 유속강화로 인한 해저 퇴적물의 재부유가 하류 농도를 증가시킬 수 있다. 사실 period I 동안, 특히 낙조시 하류 농도가 약 5-10 mg/l 정도 높지만 이와 같이 낮은 농도 차이가 방지막의 venturi tube 효과로 인한 결과라고 단정짓기는 어렵다. 하지만 이에 대한 정밀 조사가 수행되지 않았으므로 현 단계로서는 다음 세 가지 가능성을 모두 고려하는 것이 타당하다고 판단된다:

- ㉞ 비록 작은 농도이지만 venturi tube 효과에 기인한 것이며, 이는 준설지점으로부터 방지막쪽으로 퇴적물이 공급되는 낙조 준설시 커짐.
- ㉟ 방지막 주변에서 강화된 유속이 해저면에 가하는 전단응력이 해저면의 전단 강도보다 낮아 농도의 경우는 venturi tube 효과가 거의 무시할 수준임.
- ㊱ 본 지역에서 venturi tube 효과에 의해 발생가능한 침식과정은 본 관측 이전에 종료되었음.

② Period II (7월 6일 09시 ~ 7월 8일 04시)

Period II 동안에는 낙조시인 7월 6일 14시까지 backhoe 준설선만 작업했다. 이 기간 동안의 두드러진 특성은 하류 지점의 뚜렷한 농도 증가이다. 먼저 6일 15시까지의 경우, backhoe가 작업을 했음에도 낙조시 정점 A1의 농도는 5-15 mg/l에 불과한 반면, A2의 농도는 약 40 mg/l까지 점차적으로 증가한 후 저조 부근에서 약



10 mg/l로 급격히 낮아진다. 이러한 두 지점간의 농도 차이를 첫째로는 venturi tube 효과에 의한 해저면 침식으로, 둘째는 backhoe 작업으로 인한 플룸이 정점 1을 통과하지 않은 것으로 해석할 수도 있다. 그러나 period I에 따르면 방지막의 venturi tube 효과에 의한 하류 농도 증가도 5-10 mg/l 정도이며, 두 지점 사이의 거리로 미루어 backhoe에서 발생한 플룸이 A1에 전혀 영향을 주지 않을 수는 없을 것으로 판단되므로 두 가지 해석에 무리가 따른다.

이 기간 중에 더욱 두드러진 특징은 6일 14시 이후에는 준설작업이 없었음에도 평상시 보다 높은 농도가 최강 창낙조에 발생하며, 특히 두 지점간의 전반적인 농도 차이는 낙조시가 크다.

준설작업이 없었으며, 농도에 미치는 방지막의 venturi tube 효과도 의심스러운 상태에서의 이와 같은 농도변화의 원인은 파랑이라고 판단된다. 즉, 그림 3.2.24에 나타낸 한국해양연구원(2001)의 관측에 따르면, 방지막 남쪽 약 4km 지점에서의 유의파고가 7월 6일 오전부터 높아지기 시작하여 6일 12시경에 약 1.2m에 이르며, 18시경에 0.7m로 감소한 후 7일 04시까지 1.2m로 다시 높아진 후 낮아진다.

파고계(노르웨이 Nortek 社의 AWAC)가 장착된 SPHINX 관측이 7일 15시부터 시작하여 파고가 높을 때 정점 S와 한국해양연구원(2001)의 정점 DW에서의 파고를 비교할 수 없었으나 그림 3.2.25에 제시한 7월 9일 0시까지 두 지점간의 파고 상관관계에 따르면 정점 S의 파고는 DW의 약 34%이다. 따라서 정점 DW에서 유

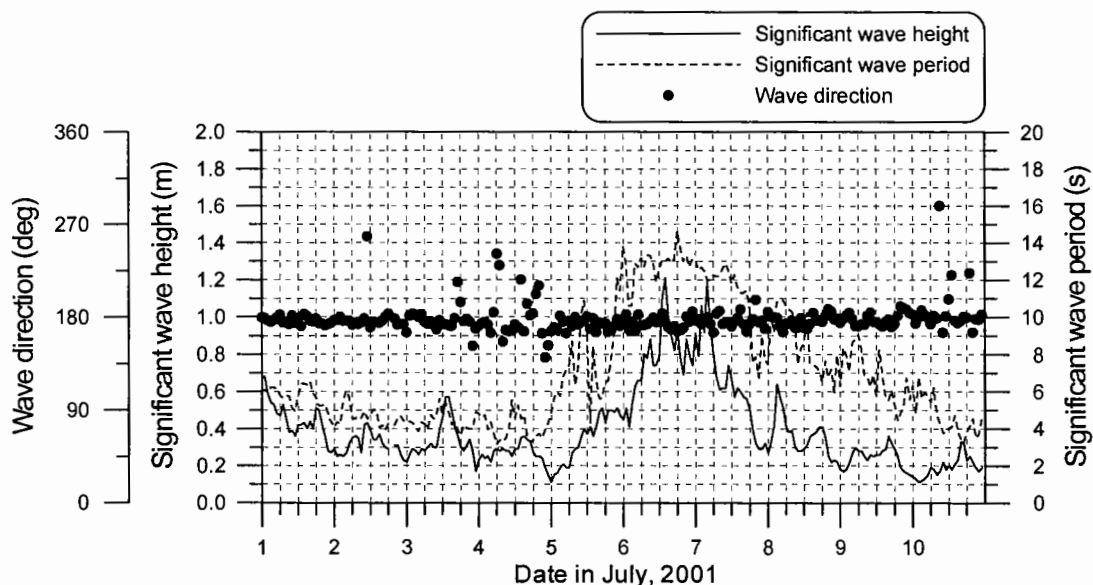


그림 3.2.24 부산신항-II 오락방지막 효율 관측기간 중의 파랑특성 (한국해양연구원, 2001).

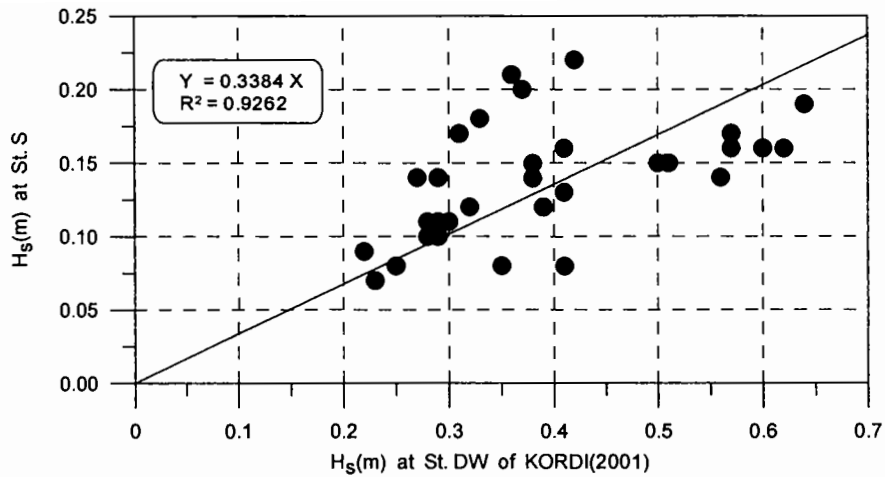


그림 3.2.25 정점 S와 DW(한국해양연구원, 2001)에서의 파고 상관관계.

의파고 1.2m인 파랑이 정북방향으로 약 4km 진입하여 방지막을 통과한 후 정점 S에 도달할 때는 유의파고가 약 40cm 정도로 감소한다.

그러나 정점 S는 방지막 내측이므로 방지막에 의해 파고가 감소된다면 정점 A2에서의 파고가 A1보다 클 것이고, 이 차이로 두 지점간의 농도 차이를 설명할 수 있을 것이다. 그러나 그림 3.2.26에 제시한 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 wave skirt의 길이가 수심의 1/2일지라도 파랑에너지( $P = \rho g H^2 c_g / 8$ ;  $c_g$ =group velocity)는 단지 약 15%만 감소하며, 이 경우 파고 감소율은 10%도 되지 않으므로 정점 A1과 A2의 파고는 거의 같을 것이다.

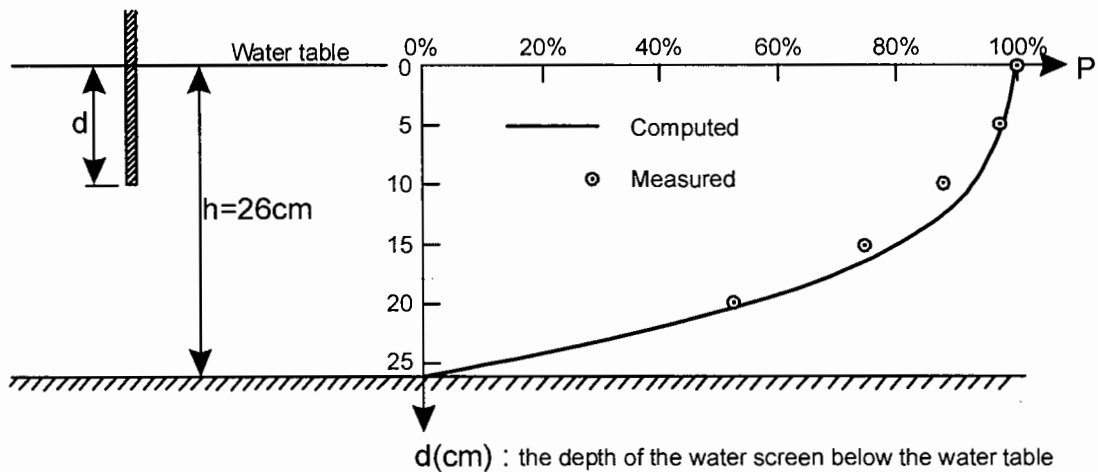


그림 3.2.26 Wave skirt 길이에 따른 파랑에너지 감쇠 (Bruun, 1989).

정점 A1과 A2에서의 파고가 거의 같음에도 창낙조에 따른 농도 차이가 발생하는 것은 두 지점 부근의 해저퇴적물 입도분포 차이 때문으로 판단된다. 즉, 표 3.2.6에 제시한 바와 같이 A1과 인접한 정점 B17의 사질입자 함유비는 60.2%, 그 북쪽 인접 정점인 B13은 40.6%인 반면 A2와 인접한 B21에서는 16.6%에 불과하며, 특히 B17의 clay 함유비가 5.3%에 불과한 반면 B21에서는 22.8%에 달한다. 따라서 같은 크기의 파고일지라도 해저면으로부터 3m까지 부유할 수 있는 세립퇴적물이 정점 A2에 훨씬 많다.

그러나 두 지점의 농도 차이를 파랑과 해저퇴적물 입도분포로 설명하기 위해서는 파랑에 의한 해저면 전단응력이 평상시 흐름에 의한 것보다 월등히 커야만 설득력이 있다. 이의 파악을 위해 흐름과 파랑에 의한 해저면 전단응력을 계산하였다.

먼저 흐름이 해저면에 가하는 전단응력,  $\tau_c$ 는 다음과 같으며(van Rijn, 1989)

$$\tau_c = \frac{1}{8} \rho f_c U^2 \quad (3.2.1)$$

여기서  $\rho$ 는 해수밀도,  $f_c$ 와  $U$ 는 각각 다음 식으로 계산되는 흐름에 의한 해저면 마찰계수와 수심평균유속이다.

$$f_c = 0.24 \log^{-2} \left( \frac{12h}{k_s} \right) \quad (3.2.2)$$

$$u(z) = \left\{ \frac{U}{z_o/h - 1 + \ln(h/z_o)} \right\} \ln \left( \frac{z}{z_o} \right) \quad (3.2.3)$$

여기서  $h$ 는 총수심,  $k_s$ 는 해저면 조도(roughness height,  $=30z_o$ ),  $z_o$ 는 zero-velocity level로서 Soulsby(1983)의 관련 결과 요약을 참조하여 砂泥質에 해당하는 0.05cm로 주었으며,  $u(z)$ 는 해저면으로부터 높이  $z$ 에서의 유속이다.

한편, 파랑경계층에서 수립자의 궤도유속에 의해 해저면에 가해지는 파랑주기 평균 전단응력,  $\tau_w$ 는 다음과 같으며

$$\tau_w = 0.25 \rho f_w u_w^2 \quad (3.2.4)$$

여기서  $f_w$ 와  $u_w$ 는 각각 파랑경계층 경계면에서 파랑에 의한 마찰계수와 수립자의 최대궤도유속이다.  $f_w$ 는 다음과 같은 Jonsson(1966)의 식으로 구하며,

$$f_w = \begin{cases} \exp\left[-6+5.2\left(\frac{\tilde{A}}{k_s}\right)^{-0.19}\right] & \text{for } \tilde{A}/k_s > 1.57 \\ 0.3 & \text{for } \tilde{A}/k_s \leq 1.57 \end{cases} \quad (3.2.5)$$

$u_w$ 와 경계면에서의 수립자 최대이동거리인  $\tilde{A}$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} u_w &= \omega \tilde{A} \\ \tilde{A} &= H/2 \sinh(kh) \\ \omega &= 2\pi/T \\ k &= 2\pi/L \\ L &= (gT^2/2\pi) \tanh(kh) \end{aligned} \quad (3.2.6)$$

여기서  $H$ 는 파고,  $\omega$ 와  $k$ 는 각속도와 파수이고,  $T$ 와  $L$ 은 파랑의 주기와 파장이며  $g$ 는 중력가속도이다. 파장,  $L$ 을 구하기 위한 식(3.2.6)의 마지막 식인 분산관계식은 Hunt(1979)의 근사식을 이용하여 구한다.

상기 식들을 이용하여 수심 6m에서 파고가 40cm이고 주기가 3초에서 12초까지 변할 때의  $\tau_w$ 와 저면상 3m에서의 유속이 20cm/s일 때의  $\tau_c$ 를 구하여 표 3.2.7에 제시하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이  $\tau_c$ 에 비해  $\tau_w$ 가 월등하게 높음을 알 수 있다. 같은 방법으로 두 정점에서 최강유속 40cm/s를 적용하면  $\tau_c$ 가 0.3379이고 이 역시  $\tau_w$ 의 약 1/2이다. 따라서 유의파고 40 cm인 파랑이 해당 영역 해저퇴적물을 평상시보다 많이 재부유·침식시킬 것임을 알 수 있다.

표 3.2.7 흐름전단응력과 주기별 파랑전단응력 비교.

h (m)	$u_3^*$ (ms <sup>-1</sup> )	H (m)	T (sec)	L (m)	$\kappa$ (m <sup>-1</sup> )	$\omega$ (s <sup>-1</sup> )	$\tilde{A}$ (m)	$u_w$	$f_w$	$\tau_c$ (Nm <sup>-2</sup> )	$\tau_w$ (Nm <sup>-2</sup> )	$\tau_{cw}$ (Nm <sup>-2</sup> )
6	0.2	0.4	3	13.89	0.45	2.09	0.03	0.06	0.26	0.0845	0.2096	0.2940
			4	23.10	0.27	1.57	0.08	0.13	0.11	0.0845	0.4505	0.5350
			5	32.17	0.20	1.26	0.14	0.17	0.08	0.0845	0.5734	0.6578
			6	40.85	0.15	1.05	0.19	0.20	0.06	0.0845	0.6172	0.7017
			7	49.25	0.13	0.90	0.24	0.21	0.05	0.0845	0.6255	0.7100
			8	57.47	0.11	0.79	0.28	0.22	0.05	0.0845	0.6185	0.7030
			9	65.57	0.10	0.70	0.33	0.23	0.04	0.0845	0.6051	0.6896
			10	73.59	0.09	0.63	0.37	0.23	0.04	0.0845	0.5893	0.6738
			11	81.54	0.08	0.57	0.42	0.24	0.04	0.0845	0.5729	0.6574
			12	89.44	0.07	0.52	0.46	0.24	0.04	0.0845	0.5569	0.6414

\* current velocity at 3m above the bed

이상으로 period II 동안의 부유퇴적물 농도변화 양상은 파랑과 해저퇴적물 입도분포로 설명할 수 있다. 즉, 관측기간 동안의 최대파고는 약 0.4m에 불과하나 주기가 12초에 달해 파랑에 의한 해저면 전단응력이 평상시 최강유속 때보다 월등히 커지며, 이에 따라 해저퇴적물의 침식이 발생하지만 그 정도는 해저퇴적물 조성에 따라 다르다. 이러한 현상으로 낙조시에는 상대적으로 세립한 A2의 농도가 높고, A1에서의 창조시 농도가 낙조시보다 높은 이유는 A2로부터의 부유퇴적물 공급 때문인 것으로 판단된다.

### ③ Period III (7월 8일 04시 ~ 7월 8일 15시)

파랑이 평상시 조건으로 회복된 후부터 본격적인 준설이 실시되었다. 표 3.2.4에 제시한 바와 같이 4m<sup>3</sup> grab과 3.5m<sup>3</sup> backhoe는 본 관측종료시까지 하루 11시간 작업하였으며, 8m<sup>3</sup> grab은 8일부터 10일까지 20시간 작업하였다. 이와 같이 해상상태와 작업조건이 유사함에도 period III을 8일 15시까지 설정한 이유는 그 이후는 두 정점 동시관측을 수행하지 못했기 때문이다.

Period III 동안에는 계속 준설하였으며, 특히 07시 이후에는 3척의 준설선이 모두 작업하였다. 10시 이후의 낙조시에 두 지점 모두에서 농도가 증가했으며, 특히 정점 A1에서는 80 mg/l까지 증가한다. 준설량과 해상상태, 조시로 미루어 이 농도 peak는 준설에 의한 부유퇴적물 플룸임이 확실하며, 사실 본 관측기간 동안 두 지점 모두에서 관측된 유일한 플룸이다.

이 기간 동안 정점 S의 해저면 3개 층에서의 OBS 전압도 창조시 감소하고 낙조시 증가하는 경향이 뚜렷하다. OBS 전압을 농도로 환산하기 위한 현장검보정 과정을 실시하지 않았으나 SPHINX에 장착된 미국 D&A 社의 OBS-3는 5 volts를 2000NTU에 보정되어 출시되므로 이 관계식과 그림 3.2.19의 YSI6600 검보정식을 이용하면 OBS 출력전압을 농도로 추산할 수 있다. 단, OBS 출력전압은 부유퇴적물의 입경에 따라 차이가 있으므로 YSI6600이 설치되어 있는 저면상 3m와 OBS가 장착된 해저면 부근 부유입자 입경 차이가 크면 오류를 범할 수도 있다.

5volts일 때 2000NTU인 선형식을 이용하면 SPHINX 관측치 중의 최대치인 약 80mV와 최저치인 약 20mV는 각각 32NTU와 8NTU에 해당하며, 이를 그림 3.2.19식에 적용하면 각각 약 50 mg/l와 12 mg/l이다. 전술한 바와 같이 이 해역의 표층과 저면상 3m에서의 배경농도가 각각 4-7 mg/l, 10-20 mg/l이므로 OBS의 최저농

도 12 mg/l는 타당한 값으로 판단된다.

#### ④ Period IV (7월 8일 15시 ~ 7월 11일 14시)

전술한 바와 같이 정점 2에서만 관측한 기간이다. 창조시 유속이 낙조시보다 월등히 큼을 알 수 있으며, 낙조시 뚜렷한 농도 증가는 플룸으로 믿어진다. 이 기간에서 주목할 사항은 플룸 농도와 지속시간은 작업강도와 시간을 정확하게 반영하고 있다는 것이다. 즉, 3척 모두 작업한 7월 9일과 10일 낮 시간의 플룸은 농도도 30-40mg/l로 높고 거의 6시간 계속 지속되는 반면, 8m<sup>3</sup> grab의 영향으로 형성되던 플룸이 9일 자정 무렵 작업종료 후 급격히 소멸함을 알 수 있다. 한편 창조와 8m<sup>3</sup> grab이 철수하여 준설작업이 없었던 새벽까지의 낙조로 부유토사 플룸의 영향을 받지 않았던 10일 18시부터 11일 12시경까지의 농도는 대상 해역의 배경농도 수준이며, 이는 SPHINX 관측결과에서도 같다. 12시부터 기기를 철수한 14시의 낙조 동안에는 4m<sup>3</sup> grab과 3.5m<sup>3</sup> backhoe의 영향으로 플룸이 다시 관측되기 시작하였다.

#### (2) 부유퇴적물 농도 연직분포 분석

3척의 준설선 모두가 작업한 7월 10일 낙조 동안에 그림 3.2.17에 나타낸 6개 정점에서 YSI6600을 이용하여 관측한 부유퇴적물 농도 연직분포를 그림 3.2.27에 제시하였다.

한 척의 조사선으로 실시한 이동관측이므로 방지막을 사이에 두고 서로 마주보는 정점 1-1과 2-1 및 1-3과 2-3의 관측시간차가 5-7분이고, 정점 1-2와 2-2의 경우는 14-17분이다. 따라서, 방지막 전후 농도 비교시간의 동시성에는 문제가 있지만, 그림 3.2.20에서 알 수 있는 바와 같이 3척의 준설선 작업으로 형성된 플룸이 정점 A2에서 지속되고 있으므로 방지막 전후 농도 비교에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

대부분의 농도분포 비교로부터 방지막 남측 정점의 농도가 북측 정점 농도보다 높음을 알 수 있다. 특히 방지막 남측의 경우, 표층부터 방지막 하단 수심 3m까지 일정한 농도를 보이다가 농도가 급격한 경사로 증가하거나, 표층부터 3m까지 일정한 경사로 증가하다가 이후 수심에서는 일정한 농도를 보이는 등 방지막 하단 수심을 기준으로 한 상하층의 농도분포 특성이 뚜렷하게 구분되는 경우가 많다.

방지막의 영향으로 판단되는 전형적인 연직분포는 각각 13시 29분과 13시 48분에 관측된 정점 1-2와 2-2에서의 관측치이다. 즉, 막체 하단에서 해저면 근방까지는 두 지점에서의 농도가 유사하게 15 mg/l로 거의 일정하지만, 표층부터 3m까지는 서로 반대의 농도경사를 보이며, 이러한 현상은 그림 3.2.22의 venturi tube 효과로 해석할 수 있다.

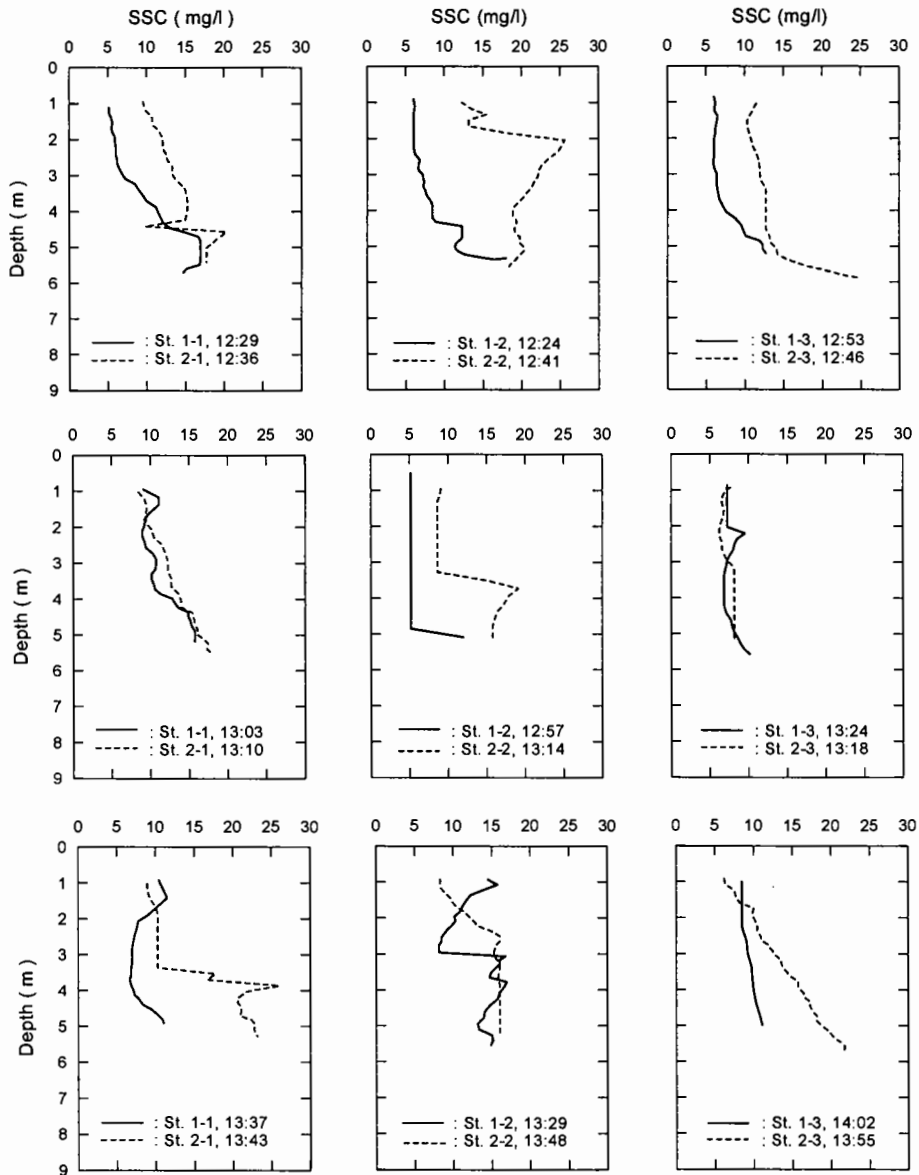


그림 3.2.27 오탉방지막 전후 정점에서의 SSC 연직분포 (부산신항-II).

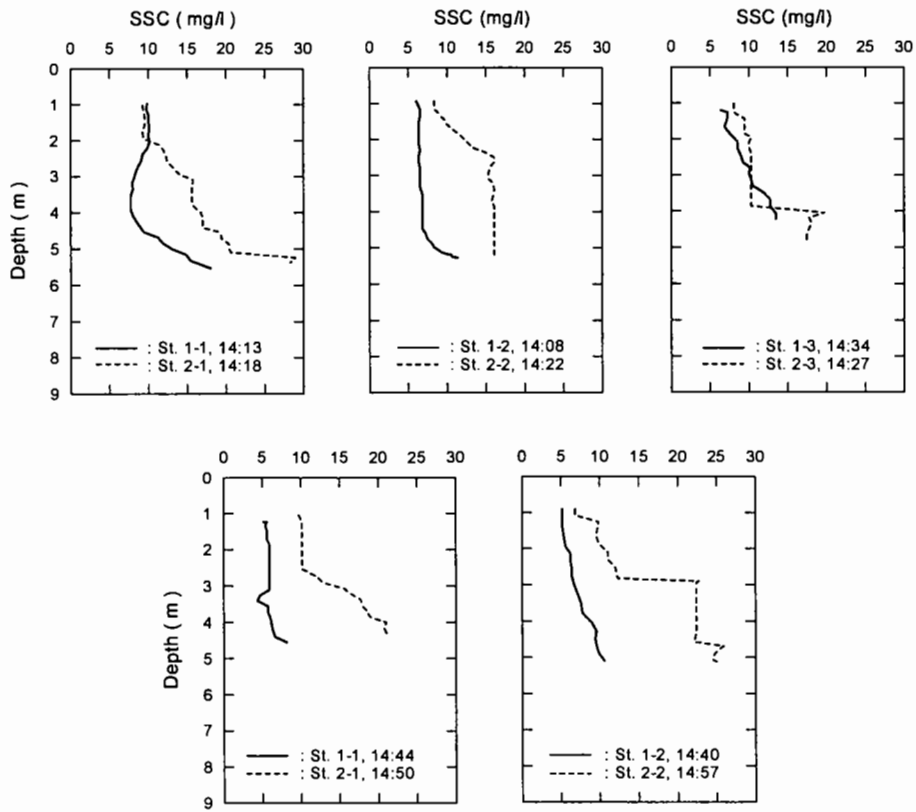


그림 3.2.27 (계속).

한편 방지막을 통과한 지점의 농도가 방지막 이전 정점의 농도보다 높은 관측 결과는 오락방지막 설치목적과는 완전히 상치되는 결과로서 해석에 주의를 요한다. 한 가지 가능한 해석은 준설지점과 오락방지막 사이의 거리와 방지막에 의한 venturi tube 효과이다. 즉, 비록 부유토사 발생율이 큰 grab 및 backhoe 준설이기는 하지만 발생한 부유퇴적물이 220-330m 떨어진 방지막까지 이류·확산되는 동안에 침강하며, 정점 A1과 방지막 사이에 퇴적된 입자와 기존의 해저면은 venturi tube 효과에 의해 재부유, 침식되어 정점 A2의 농도를 증가시킨다. 또 하나의 가능성으로 고려해야 할 사항은 낙조류의 유향이다. 그림 3.2.20에서 해당 시간의 유향에 따르면 낙조류가 일정한 변화율로 동향인 90°에서 남향인 180°로 전환됨을 알 수 있다. 따라서 발생원에서의 유향에 따라 플룸의 관측점 통과여부가 결정될 수 있으며, 경우에 따라서는 선택적 통과도 발생할 수 있을 것이다.



### (3) 오락방지막 효율 추정

사실 본 관측결과를 이용하여 2장에서 언급한 바와 같이 수치모형실험 입력자료로서 필요한 발생을 측면에서의 방지막 효율을 평가할 수는 없다. 그러나 방지막의 설치가 적절하며 바람직한 효과를 발휘하고 있는지는 충분히 검토할 수 있다.

AURY 관측결과를 이용하여 방지막 전후 약 30 m 떨어진 정점 A1과 A2의 저면상 3m에서의 단위면적당 正北 및 正南方向 부유퇴적물 플럭스( $\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )를 그림 3.2.28에 제시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 그림 3.2.20에서 두 지점간의 농도 차이가 큰 시기에 플럭스에는 큰 차이가 보이지 않으며 이는 방지막의 venturi tube 효과에 의한 두 지점간의 유속 차이 때문이다.

전술한 바와 같이 정점 A1에서의 관측은 8일 15시까지만 실시되었으며, 두 정점에서 동시에 준설에 의한 플룸이 관측된 것은 7월 8일 09:30~15:00이 유일하다. 한편 준설과 파랑의 영향이 없을 시의 두 지점간의 플럭스 비교기간은 관측 초기인 7월 5일 20:30부터 7월 6일 03:30분까지이다. 이 두 기간의 단위면적당 플럭스와 이동량을 표 3.2.8~3.2.11에 제시하였다.

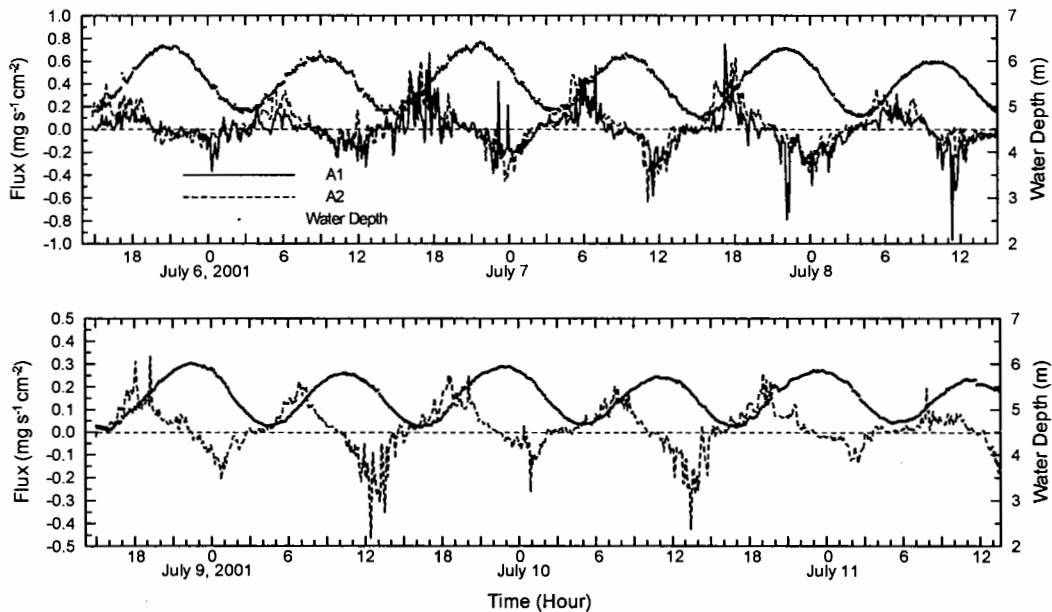


그림 3.2.28 AURY 관측치에 따른 남북방향 SS flux (陽:北, 陰:南).

표 3.2.8 미준설시 정점 A1에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량.

Date & Time	T. Dep (m)	S. Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )
07-05-01 20:30	6.34	3.34	1.50	3.0	1.49794	0.00742	0.01111	3.333
07-05-01 20:35	6.31	3.31	1.00	3.0	0.99863	0.00667	0.00666	1.998
07-05-01 20:40	6.31	3.31	4.40	3.0	4.39397	0.00621	0.02729	8.187
07-05-01 20:45	6.30	3.30	0.50	183.0	-0.49931	0.00758	-0.00378	-1.134
07-05-01 20:50	6.29	3.29	3.40	183.0	-3.39534	0.00667	-0.02265	-6.795
07-05-01 20:55	6.28	3.28	2.40	183.0	-2.39671	0.00758	-0.01817	-5.451
07-05-01 21:00	6.30	3.30	2.40	3.0	2.39671	0.00818	0.01961	5.883
07-05-01 21:05	6.26	3.26	2.90	183.0	-2.89603	0.00985	-0.02853	-8.559
07-05-01 21:10	6.27	3.27	7.30	183.0	-7.29000	0.00758	-0.05526	-16.578
07-05-01 21:15	6.27	3.27	1.50	183.0	-1.49794	0.00939	-0.01407	-4.221
07-05-01 21:20	6.33	3.33	6.80	183.0	-6.79068	0.00546	-0.03708	-11.124
07-05-01 21:25	6.33	3.33	7.80	183.0	-7.78931	0.00500	-0.03895	-11.685
07-05-01 21:30	6.33	3.33	14.70	183.0	-14.67985	0.00424	-0.06224	-18.672
07-05-01 21:35	6.31	3.31	10.30	183.0	-10.28588	0.00439	-0.04516	-13.548
07-05-01 21:40	6.30	3.30	8.30	183.0	-8.28862	0.00409	-0.03390	-10.170
07-05-01 21:45	6.27	3.27	9.30	183.0	-9.28725	0.00318	-0.02953	-8.859
07-05-01 21:50	6.20	3.20	2.90	183.0	-2.89603	0.00621	-0.01798	-5.394
07-05-01 21:55	6.18	3.18	3.90	3.0	3.89466	0.00515	0.02006	6.018
07-05-01 22:00	6.19	3.19	3.40	3.0	3.39534	0.00591	0.02007	6.021
07-05-01 22:05	6.19	3.19	4.40	183.0	-4.39397	0.00394	-0.01731	-5.193
07-05-01 22:10	6.16	3.16	6.40	183.0	-6.39123	0.00349	-0.02231	-6.693
07-05-01 22:15	6.15	3.15	4.90	183.0	-4.89328	0.00424	-0.02075	-6.225
07-05-01 22:20	6.14	3.14	7.80	183.0	-7.78931	0.00576	-0.04487	-13.461
07-05-01 22:25	6.11	3.11	7.80	183.0	-7.78931	0.00333	-0.02594	-7.782
07-05-01 22:30	6.14	3.14	6.80	183.0	-6.79068	0.00470	-0.03192	-9.576
07-05-01 22:35	6.08	3.08	5.90	183.0	-5.89191	0.00485	-0.02858	-8.574
07-05-01 22:40	6.04	3.04	6.40	183.0	-6.39123	0.00546	-0.03490	-10.470
07-05-01 22:45	6.04	3.04	0.00	3.0	0.00000	0.00485	0.00000	0.000
07-05-01 22:50	5.96	2.96	4.90	183.0	-4.89328	0.00561	-0.02745	-8.235
07-05-01 22:55	5.99	2.99	3.40	183.0	-3.39534	0.00894	-0.03035	-9.105
07-05-01 23:00	5.91	2.91	2.40	183.0	-2.39671	0.00803	-0.01925	-5.775
07-05-01 23:05	5.84	2.84	2.00	183.0	-1.99726	0.00985	-0.01967	-5.901
07-05-01 23:10	5.81	2.81	1.00	183.0	-0.99863	0.01258	-0.01256	-3.768
07-05-01 23:15	5.81	2.81	0.50	3.0	0.49931	0.00939	0.00469	1.407
07-05-01 23:20	5.78	2.78	0.00	183.0	0.00000	0.00985	0.00000	0.000
07-05-01 23:25	5.81	2.81	4.90	183.0	-4.89328	0.00970	-0.04746	-14.238
07-05-01 23:30	5.75	2.75	4.40	183.0	-4.39397	0.00955	-0.04196	-12.588
07-05-01 23:35	5.71	2.71	8.30	183.0	-8.28862	0.01046	-0.08670	-26.010
07-05-01 23:40	5.67	2.67	4.40	183.0	-4.39397	0.00924	-0.04060	-12.180
07-05-01 23:45	5.66	2.66	7.80	183.0	-7.78931	0.01197	-0.09324	-27.972
07-05-01 23:50	5.62	2.62	5.90	183.0	-5.89191	0.00909	-0.05356	-16.068
07-05-01 23:55	5.59	2.59	4.40	183.0	-4.39397	0.01106	-0.04860	-14.580

SM5M : SS Mass transported for 5 minutes per unit area

표 3.2.8 (계속).

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )	
07-06-01	0:00	5.58	2.58	15.60	183.0	-15.57862	0.01121	-0.17464	-52.392
07-06-01	0:05	5.55	2.55	11.70	183.0	-11.68396	0.01303	-0.15224	-45.672
07-06-01	0:10	5.50	2.50	10.30	183.0	-10.28588	0.00758	-0.07797	-23.391
07-06-01	0:15	5.46	2.46	14.20	183.0	-14.18054	0.00606	-0.08593	-25.779
07-06-01	0:20	5.43	2.43	30.80	183.0	-30.75779	0.00864	-0.26575	-79.725
07-06-01	0:25	5.39	2.39	24.90	183.0	-24.86588	0.01470	-0.36553	-109.659
07-06-01	0:30	5.47	2.47	18.10	183.0	-18.07520	0.01364	-0.24655	-73.965
07-06-01	0:35	5.45	2.45	14.20	183.0	-14.18054	0.01303	-0.18477	-55.431
07-06-01	0:40	5.40	2.40	10.30	183.0	-10.28588	0.01136	-0.11685	-35.055
07-06-01	0:45	5.43	2.43	15.60	183.0	-15.57862	0.01424	-0.22184	-66.552
07-06-01	0:50	5.33	2.33	18.10	183.0	-18.07520	0.01455	-0.26299	-78.897
07-06-01	0:55	5.27	2.27	14.70	183.0	-14.67985	0.01121	-0.16456	-49.368
07-06-01	1:00	5.18	2.18	3.90	183.0	-3.89466	0.01091	-0.04249	-12.747
07-06-01	1:05	5.21	2.21	0.00	3.0	0.00000	0.00985	0.00000	0.000
07-06-01	1:10	5.16	2.16	1.00	3.0	0.99863	0.00909	0.00908	2.724
07-06-01	1:15	5.16	2.16	2.00	183.0	-1.99726	0.00818	-0.01634	-4.902
07-06-01	1:20	5.17	2.17	7.30	3.0	7.29000	0.01197	0.08726	26.178
07-06-01	1:25	5.12	2.12	2.90	3.0	2.89603	0.01046	0.03029	9.087
07-06-01	1:30	5.13	2.13	4.40	183.0	-4.39397	0.01061	-0.04662	-13.986
07-06-01	1:35	5.14	2.14	3.40	183.0	-3.39534	0.01000	-0.03395	-10.185
07-06-01	1:40	5.09	2.09	13.70	183.0	-13.68122	0.00818	-0.11191	-33.573
07-06-01	1:45	5.05	2.05	10.30	183.0	-10.28588	0.00939	-0.09658	-28.974
07-06-01	1:50	5.05	2.05	8.80	183.0	-8.78794	0.00970	-0.08524	-25.572
07-06-01	1:55	5.01	2.01	1.00	3.0	0.99863	0.00682	0.00681	2.043
07-06-01	2:00	4.97	1.97	4.40	3.0	4.39397	0.00864	0.03796	11.388
07-06-01	2:05	5.00	2.00	9.80	3.0	9.78657	0.00773	0.07565	22.695
07-06-01	2:10	4.94	1.94	4.90	3.0	4.89328	0.00773	0.03783	11.349
07-06-01	2:15	5.04	2.04	6.40	3.0	6.39123	0.00727	0.04646	13.938
07-06-01	2:20	4.96	1.96	4.40	3.0	4.39397	0.00742	0.03260	9.780
07-06-01	2:25	4.93	1.93	4.40	183.0	-4.39397	0.00727	-0.03194	-9.582
07-06-01	2:30	4.95	1.95	10.30	183.0	-10.28588	0.00818	-0.08414	-25.242
07-06-01	2:35	4.89	1.89	3.90	183.0	-3.89466	0.00758	-0.02952	-8.856
07-06-01	2:40	4.89	1.89	11.70	183.0	-11.68396	0.00909	-0.10621	-31.863
07-06-01	2:45	4.95	1.95	7.80	183.0	-7.78931	0.00864	-0.06730	-20.190
07-06-01	2:50	4.86	1.86	2.00	183.0	-1.99726	0.00682	-0.01362	-4.086
07-06-01	2:55	4.92	1.92	1.50	3.0	1.49794	0.00682	0.01022	3.066
07-06-01	3:00	4.95	1.95	2.90	183.0	-2.89603	0.00788	-0.02282	-6.846
07-06-01	3:05	4.93	1.93	0.00	3.0	0.00000	0.00758	0.00000	0.000
07-06-01	3:10	4.91	1.91	6.40	183.0	-6.39123	0.00712	-0.04551	-13.653
07-06-01	3:15	4.95	1.95	2.00	183.0	-1.99726	0.00758	-0.01514	-4.542
07-06-01	3:20	4.90	1.90	8.80	183.0	-8.78794	0.00697	-0.06125	-18.375
07-06-01	3:25	4.93	1.93	5.90	183.0	-5.89191	0.00727	-0.04283	-12.849
07-06-01	3:30	4.88	1.88	3.40	183.0	-3.39534	0.01333	-0.04526	-13.578

Total Mass of SS transported northward per Unit Area = 145.09499 mg/cm<sup>2</sup>

Total Mass of SS transported southward per Unit Area = -1342.07080 mg/cm<sup>2</sup>

표 3.2.9 미준설시 정점 A2에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량.

Date & Time	T. Dep (m)	S. Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )
07-05-01 20:30	6.14	3.14	11.20	165.0	-10.81837	0.01091	-0.11803	-35.409
07-05-01 20:35	6.08	3.08	11.20	167.0	-10.91294	0.00985	-0.10749	-32.247
07-05-01 20:40	6.07	3.07	8.80	176.0	-8.77856	0.00818	-0.07181	-21.543
07-05-01 20:45	6.08	3.08	6.40	140.0	-4.90269	0.00788	-0.03863	-11.589
07-05-01 20:50	6.08	3.08	4.90	148.0	-4.15544	0.00955	-0.03968	-11.904
07-05-01 20:55	6.06	3.06	9.30	137.0	-6.80159	0.01030	-0.07006	-21.018
07-05-01 21:00	6.05	3.05	9.80	141.0	-7.61603	0.01061	-0.08081	-24.243
07-05-01 21:05	6.05	3.05	10.80	138.0	-8.02597	0.01182	-0.09487	-28.461
07-05-01 21:10	6.11	3.11	10.80	136.0	-7.76887	0.01288	-0.10006	-30.018
07-05-01 21:15	6.09	3.09	7.30	142.0	-5.75248	0.01121	-0.06449	-19.347
07-05-01 21:20	6.09	3.09	7.80	146.0	-6.46649	0.01243	-0.08038	-24.114
07-05-01 21:25	6.06	3.06	7.30	164.0	-7.01721	0.01212	-0.08505	-25.515
07-05-01 21:30	6.11	3.11	3.90	210.0	-3.37750	0.01136	-0.03837	-11.511
07-05-01 21:35	6.06	3.06	2.90	146.0	-2.40421	0.01015	-0.02440	-7.320
07-05-01 21:40	6.06	3.06	10.30	166.0	-9.99405	0.00924	-0.09234	-27.702
07-05-01 21:45	6.06	3.06	11.20	170.0	-11.02985	0.00727	-0.08019	-24.057
07-05-01 21:50	6.00	3.00	8.30	167.0	-8.08727	0.00636	-0.05144	-15.432
07-05-01 21:55	5.94	2.94	7.80	169.0	-7.65669	0.00864	-0.06615	-19.845
07-05-01 22:00	5.95	2.95	7.80	162.0	-7.41824	0.00864	-0.06409	-19.227
07-05-01 22:05	5.93	2.93	9.80	177.0	-9.78657	0.00758	-0.07418	-22.254
07-05-01 22:10	5.90	2.90	5.40	196.0	-5.19081	0.00697	-0.03618	-10.854
07-05-01 22:15	5.90	2.90	5.40	159.0	-5.04133	0.00955	-0.04814	-14.442
07-05-01 22:20	5.88	2.88	3.90	162.0	-3.70912	0.00955	-0.03542	-10.626
07-05-01 22:25	5.92	2.92	7.30	165.0	-7.05126	0.01000	-0.07051	-21.153
07-05-01 22:30	5.88	2.88	5.90	203.0	-5.43098	0.00833	-0.04524	-13.572
07-05-01 22:35	5.90	2.90	6.80	175.0	-6.77412	0.00985	-0.06673	-20.019
07-05-01 22:40	5.84	2.84	8.30	178.0	-8.29494	0.00955	-0.07922	-23.766
07-05-01 22:45	5.78	2.78	4.40	173.0	-4.36720	0.01152	-0.05031	-15.093
07-05-01 22:50	5.74	2.74	10.80	178.0	-10.79342	0.01091	-0.11776	-35.328
07-05-01 22:55	5.74	2.74	9.80	172.0	-9.70463	0.01076	-0.10442	-31.326
07-05-01 23:00	5.69	2.69	4.40	190.0	-4.33315	0.01212	-0.05252	-15.756
07-05-01 23:05	5.64	2.64	3.40	192.0	-3.32570	0.01061	-0.03529	-10.587
07-05-01 23:10	5.63	2.63	2.00	190.0	-1.96962	0.01121	-0.02208	-6.624
07-05-01 23:15	5.62	2.62	3.40	172.0	-3.36691	0.01076	-0.03623	-10.869
07-05-01 23:20	5.55	2.55	4.90	174.0	-4.87316	0.01379	-0.06720	-20.160
07-05-01 23:25	5.53	2.53	7.80	199.0	-7.37505	0.01197	-0.08828	-26.484
07-05-01 23:30	5.54	2.54	10.80	182.0	-10.79342	0.01182	-0.12758	-38.274
07-05-01 23:35	5.52	2.52	9.80	185.0	-9.76271	0.01637	-0.15982	-47.946
07-05-01 23:40	5.44	2.44	7.30	178.0	-7.29555	0.01652	-0.12052	-36.156
07-05-01 23:45	5.44	2.44	5.40	170.0	-5.31796	0.01455	-0.07738	-23.214
07-05-01 23:50	5.41	2.41	6.40	171.0	-6.32121	0.01046	-0.06612	-19.836
07-05-01 23:55	5.39	2.39	7.30	183.0	-7.29000	0.01323	-0.09645	-28.935

SM5M : SS Mass transported for 5 minutes per unit area

표 3.2.9 (계속).

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )	
07-06-01	0:00	5.33	2.33	6.40	185.0	-6.37565	0.01364	-0.08696	-26.088
07-06-01	0:05	5.30	2.30	3.90	158.0	-3.61602	0.01515	-0.05478	-16.434
07-06-01	0:10	5.26	2.26	6.40	162.0	-6.08676	0.01712	-0.10421	-31.263
07-06-01	0:15	5.27	2.27	8.30	164.0	-7.97847	0.01440	-0.11489	-34.467
07-06-01	0:20	5.19	2.19	5.40	175.0	-5.37945	0.01349	-0.07257	-21.771
07-06-01	0:25	5.19	2.19	2.90	143.0	-2.31604	0.01091	-0.02527	-7.581
07-06-01	0:30	5.18	2.18	2.40	150.0	-2.07846	0.01121	-0.02330	-6.990
07-06-01	0:35	5.26	2.26	2.40	205.0	-2.17514	0.01243	-0.02704	-8.112
07-06-01	0:40	5.19	2.19	5.90	207.0	-5.25694	0.01167	-0.06135	-18.405
07-06-01	0:45	5.21	2.21	5.90	205.0	-5.34722	0.01182	-0.06320	-18.960
07-06-01	0:50	5.09	2.09	7.30	195.0	-7.05126	0.01303	-0.09188	-27.564
07-06-01	0:55	5.06	2.06	6.40	192.0	-6.26014	0.01773	-0.11099	-33.297
07-06-01	1:00	4.99	1.99	3.90	213.0	-3.27082	0.01576	-0.05155	-15.465
07-06-01	1:05	4.99	1.99	2.90	199.0	-2.74200	0.02167	-0.05942	-17.826
07-06-01	1:10	4.90	1.90	1.50	244.0	-0.65756	0.01394	-0.00917	-2.751
07-06-01	1:15	4.92	1.92	1.00	3.0	0.99863	0.01318	0.01316	3.948
07-06-01	1:20	4.94	1.94	6.80	5.0	6.77412	0.01530	0.10364	31.092
07-06-01	1:25	4.91	1.91	3.90	14.0	3.78415	0.01409	0.05332	15.996
07-06-01	1:30	4.88	1.88	2.00	51.0	1.25864	0.01227	0.01544	4.632
07-06-01	1:35	4.90	1.90	3.40	154.0	-3.05590	0.01182	-0.03612	-10.836
07-06-01	1:40	4.84	1.84	4.90	201.0	-4.57454	0.01136	-0.05197	-15.591
07-06-01	1:45	4.87	1.87	5.90	175.0	-5.87755	0.01273	-0.07482	-22.446
07-06-01	1:50	4.88	1.88	6.40	140.0	-4.90269	0.01349	-0.06614	-19.842
07-06-01	1:55	4.85	1.85	3.40	104.0	-0.82254	0.01212	-0.00997	-2.991
07-06-01	2:00	4.73	1.73	2.00	13.0	1.94874	0.01121	0.02185	6.555
07-06-01	2:05	4.81	1.81	6.80	2.0	6.79586	0.01091	0.07414	22.242
07-06-01	2:10	4.74	1.74	4.40	328.0	3.73141	0.01046	0.03903	11.709
07-06-01	2:15	4.81	1.81	4.40	329.0	3.77154	0.01030	0.03885	11.655
07-06-01	2:20	4.71	1.71	6.80	313.0	4.63759	0.01106	0.05129	15.387
07-06-01	2:25	4.72	1.72	5.90	274.0	0.41156	0.00970	0.00399	1.197
07-06-01	2:30	4.72	1.72	6.80	258.0	-1.41380	0.00727	-0.01028	-3.084
07-06-01	2:35	4.70	1.70	0.50	352.0	0.49513	0.00864	0.00428	1.284
07-06-01	2:40	4.69	1.69	1.50	250.0	-0.51303	0.00621	-0.00319	-0.957
07-06-01	2:45	4.71	1.71	5.40	311.0	3.54272	0.00667	0.02363	7.089
07-06-01	2:50	4.65	1.65	5.40	6.0	5.37042	0.00652	0.03502	10.506
07-06-01	2:55	4.68	1.68	8.30	343.0	7.93733	0.00621	0.04929	14.787
07-06-01	3:00	4.73	1.73	6.40	341.0	6.05132	0.00530	0.03207	9.621
07-06-01	3:05	4.72	1.72	3.90	12.0	3.81478	0.00652	0.02487	7.461
07-06-01	3:10	4.72	1.72	2.00	323.0	1.59727	0.00682	0.01089	3.267
07-06-01	3:15	4.77	1.77	0.50	273.0	0.02617	0.00546	0.00014	0.042
07-06-01	3:20	4.73	1.73	3.40	336.0	3.10605	0.00561	0.01742	5.226
07-06-01	3:25	4.73	1.73	3.90	6.0	3.87864	0.00561	0.02176	6.528
07-06-01	3:30	4.79	1.79	7.80	334.0	7.01059	0.00682	0.04781	14.343
Total Mass of SS transported northward per Unit Area =						204.56700	mg/cm <sup>2</sup>		
Total Mass of SS transported southward per Unit Area =						-1276.49695	mg/cm <sup>2</sup>		

표 3.2.10 준설시 정점 A1에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량.

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )
07-08-01 9:30	5.96	2.96	3.90	97.0	-0.47529	0.00742	-0.00353	-1.059
07-08-01 9:35	5.94	2.94	7.80	148.0	-6.61478	0.00773	-0.05113	-15.339
07-08-01 9:40	5.96	2.96	4.90	177.0	-4.89328	0.00788	-0.03856	-11.568
07-08-01 9:45	5.99	2.99	2.90	180.0	-2.90000	0.00727	-0.02108	-6.324
07-08-01 9:50	5.95	2.95	2.90	158.0	-2.68883	0.00773	-0.02078	-6.234
07-08-01 9:55	5.99	2.99	8.30	136.0	-5.97052	0.00758	-0.04526	-13.578
07-08-01 10:00	5.99	2.99	8.80	153.0	-7.84086	0.00788	-0.06179	-18.537
07-08-01 10:05	5.96	2.96	8.30	185.0	-8.26842	0.00773	-0.06391	-19.173
07-08-01 10:10	5.97	2.97	9.80	163.0	-9.37179	0.00636	-0.05960	-17.880
07-08-01 10:15	5.96	2.96	11.20	170.0	-11.02985	0.02303	-0.25402	-76.206
07-08-01 10:20	5.98	2.98	12.20	168.0	-11.93340	0.01455	-0.17363	-52.089
07-08-01 10:25	5.97	2.97	11.20	164.0	-10.76613	0.01121	-0.12069	-36.207
07-08-01 10:30	5.97	2.97	10.30	171.0	-10.17319	0.01152	-0.11720	-35.160
07-08-01 10:35	5.96	2.96	12.70	164.0	-12.20802	0.02364	-0.28860	-86.580
07-08-01 10:40	5.98	2.98	11.70	162.0	-11.12736	0.03197	-0.35574	-106.722
07-08-01 10:45	5.95	2.95	11.70	166.0	-11.35246	0.01818	-0.20639	-61.917
07-08-01 10:50	5.94	2.94	8.30	193.0	-8.08727	0.02409	-0.19482	-58.446
07-08-01 10:55	5.94	2.94	11.70	186.0	-11.63591	0.01576	-0.18338	-55.014
07-08-01 11:00	5.92	2.92	9.30	205.0	-8.42866	0.02197	-0.18518	-55.554
07-08-01 11:05	5.91	2.91	7.80	197.0	-7.45918	0.00970	-0.07235	-21.705
07-08-01 11:10	5.88	2.88	11.70	207.0	-10.42478	0.00970	-0.10112	-30.336
07-08-01 11:15	5.88	2.88	15.60	194.0	-15.13661	0.00879	-0.13305	-39.915
07-08-01 11:20	5.88	2.88	13.70	205.0	-12.41642	0.03228	-0.40080	-120.240
07-08-01 11:25	5.86	2.86	11.20	181.0	-11.19829	0.08652	-0.96888	-290.664
07-08-01 11:30	5.85	2.85	10.30	199.0	-9.73884	0.02349	-0.22877	-68.631
07-08-01 11:35	5.84	2.84	8.80	196.0	-8.45910	0.05531	-0.46787	-140.361
07-08-01 11:40	5.80	2.80	10.80	203.0	-9.94145	0.05334	-0.53028	-159.084
07-08-01 11:45	5.78	2.78	12.70	178.0	-12.69226	0.04061	-0.51543	-154.629
07-08-01 11:50	5.76	2.76	13.70	193.0	-13.34887	0.03076	-0.41061	-123.183
07-08-01 11:55	5.73	2.73	10.30	213.0	-8.63831	0.02031	-0.17544	-52.632
07-08-01 12:00	5.69	2.69	13.20	202.0	-12.23883	0.01440	-0.17624	-52.872
07-08-01 12:05	5.67	2.67	10.30	208.0	-9.09436	0.01106	-0.10058	-30.174
07-08-01 12:10	5.66	2.66	13.20	198.0	-12.55395	0.00879	-0.11035	-33.105
07-08-01 12:15	5.65	2.65	12.70	176.0	-12.66906	0.01546	-0.19586	-58.758
07-08-01 12:20	5.62	2.62	11.70	174.0	-11.63591	0.02227	-0.25913	-77.739
07-08-01 12:25	5.62	2.62	15.20	185.0	-15.14216	0.01273	-0.19276	-57.828
07-08-01 12:30	5.60	2.60	23.00	181.0	-22.99650	0.00682	-0.15684	-47.052
07-08-01 12:35	5.57	2.57	19.10	193.0	-18.61047	0.00667	-0.12413	-37.239
07-08-01 12:40	5.53	2.53	17.10	191.0	-16.78583	0.00515	-0.08645	-25.935
07-08-01 12:45	5.48	2.48	13.70	188.0	-13.56667	0.00833	-0.11301	-33.903
07-08-01 12:50	5.46	2.46	17.10	186.0	-17.00632	0.00470	-0.07993	-23.979
07-08-01 12:55	5.46	2.46	15.60	196.0	-14.99568	0.00530	-0.07948	-23.844
07-08-01 13:00	5.41	2.41	14.70	189.0	-14.51902	0.00439	-0.06374	-19.122
07-08-01 13:05	5.41	2.41	19.60	198.0	-18.64071	0.00652	-0.12154	-36.462
07-08-01 13:10	5.38	2.38	13.20	196.0	-12.68865	0.00652	-0.08273	-24.819
07-08-01 13:15	5.36	2.36	12.70	196.0	-12.20802	0.00849	-0.10365	-31.095
07-08-01 13:20	5.32	2.32	13.70	212.0	-11.61826	0.00758	-0.08807	-26.421
07-08-01 13:25	5.28	2.28	4.40	174.0	-4.37590	0.00864	-0.03781	-11.343

SM5M : SS Mass transported for 5 minutes per unit area

표 3.2.10 (계속).

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )	
07-08-01 13:30	5.25	2.25	6.80	193.0	-6.62572	0.00727	-0.04817	-14.451	
07-08-01 13:35	5.24	2.24	10.80	202.0	-10.01359	0.00636	-0.06369	-19.107	
07-08-01 13:40	5.22	2.22	14.20	212.0	-12.04228	0.00636	-0.07659	-22.977	
07-08-01 13:45	5.19	2.19	15.20	199.0	-14.37188	0.00636	-0.09141	-27.423	
07-08-01 13:50	5.16	2.16	8.30	207.0	-7.39535	0.00697	-0.05155	-15.465	
07-08-01 13:55	5.14	2.14	12.20	213.0	-10.23178	0.00803	-0.08216	-24.648	
07-08-01 14:00	5.12	2.12	9.30	219.0	-7.22746	0.00682	-0.04929	-14.787	
07-08-01 14:05	5.10	2.10	13.20	228.0	-8.83253	0.00682	-0.06024	-18.072	
07-08-01 14:10	5.08	2.08	9.80	221.0	-7.39616	0.00576	-0.04260	-12.780	
07-08-01 14:15	5.04	2.04	10.30	202.0	-9.54999	0.00591	-0.05644	-16.932	
07-08-01 14:20	5.04	2.04	6.80	204.0	-6.21211	0.00652	-0.04050	-12.150	
07-08-01 14:25	5.04	2.04	9.80	199.0	-9.26608	0.00803	-0.07441	-22.323	
07-08-01 14:30	5.00	2.00	7.80	220.0	-5.97515	0.00561	-0.03352	-10.056	
07-08-01 14:35	4.94	1.94	11.70	224.0	-8.41628	0.00591	-0.04974	-14.922	
07-08-01 14:40	4.93	1.93	11.70	214.0	-9.69974	0.00455	-0.04413	-13.239	
07-08-01 14:45	4.94	1.94	13.20	218.0	-10.40174	0.00530	-0.05513	-16.539	
07-08-01 14:50	4.90	1.90	11.70	229.0	-7.67589	0.00576	-0.04421	-13.263	
07-08-01 14:55	4.89	1.89	8.80	269.0	-0.15358	0.00939	-0.00144	-0.432	
07-08-01 15:00	4.86	1.86	7.80	251.0	-2.53943	0.01182	-0.03002	-9.006	
Total Mass of SS transported northward per Unit Area =						0.00000 mg/cm <sup>2</sup>			
Total Mass of SS transported southward per Unit Area =						-2885.22900 mg/cm <sup>2</sup>			

표 3.2.11 준설시 정점 A2에서의 AURY 관측결과 및 퇴적물 이동량.

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )
07-08-01 9:30	5.73	2.73	4.90	96.0	-0.51219	0.00485	-0.00248	-0.744
07-08-01 9:35	5.73	2.73	4.90	105.0	-1.26821	0.00470	-0.00596	-1.788
07-08-01 9:40	5.74	2.74	6.40	103.0	-1.43969	0.00682	-0.00982	-2.946
07-08-01 9:45	5.74	2.74	6.40	108.0	-1.97771	0.00591	-0.01169	-3.507
07-08-01 9:50	5.74	2.74	5.90	112.0	-2.21018	0.00546	-0.01207	-3.621
07-08-01 9:55	5.75	2.75	8.80	126.0	-5.17251	0.00561	-0.02902	-8.706
07-08-01 10:00	5.75	2.75	7.80	133.0	-5.31959	0.00742	-0.03947	-11.841
07-08-01 10:05	5.75	2.75	9.30	139.0	-7.01880	0.00742	-0.05208	-15.624
07-08-01 10:10	5.74	2.74	9.30	140.0	-7.12421	0.00864	-0.06155	-18.465
07-08-01 10:15	5.73	2.73	9.80	146.0	-8.12457	0.00803	-0.06524	-19.572
07-08-01 10:20	5.73	2.73	13.20	145.0	-10.81281	0.00652	-0.07050	-21.150
07-08-01 10:25	5.72	2.72	8.30	143.0	-6.62868	0.01424	-0.09439	-28.317
07-08-01 10:30	5.75	2.75	9.80	149.0	-8.40024	0.01136	-0.09543	-28.629
07-08-01 10:35	5.75	2.75	9.30	146.0	-7.71005	0.00667	-0.05143	-15.429
07-08-01 10:40	5.72	2.72	8.80	137.0	-6.43591	0.01455	-0.09364	-28.092
07-08-01 10:45	5.73	2.73	9.80	152.0	-8.65289	0.01591	-0.13767	-41.301
07-08-01 10:50	5.72	2.72	4.90	140.0	-3.75362	0.02182	-0.08190	-24.570
07-08-01 10:55	5.70	2.70	6.40	114.0	-2.60312	0.02712	-0.07060	-21.180

SM5M : SS Mass transported for 5 minutes per unit area

표 3.2.11 (계속).

Date & Time	T.Dep (m)	S.Dep (m)	V (cm/s)	Dir. (°)	v (cm/s)	SSC (mg/cm <sup>3</sup> )	Flux (mg/cm <sup>2</sup> /s)	SM5M (mg/cm <sup>2</sup> )
07-08-01 11:00	5.69	2.69	5.40	137.0	-3.94931	0.03864	-0.15260	-45.780
07-08-01 11:05	5.67	2.67	1.00	101.0	-0.19081	0.03379	-0.00645	-1.935
07-08-01 11:10	5.67	2.67	0.50	116.0	-0.21919	0.02818	-0.00618	-1.854
07-08-01 11:15	5.64	2.64	1.00	144.0	-0.80902	0.02970	-0.02403	-7.209
07-08-01 11:20	5.64	2.64	2.40	206.0	-2.15711	0.02803	-0.06046	-18.138
07-08-01 11:25	5.64	2.64	1.50	196.0	-1.44189	0.02667	-0.03846	-11.538
07-08-01 11:30	5.62	2.62	0.50	121.0	-0.25752	0.03409	-0.00878	-2.634
07-08-01 11:35	5.60	2.60	2.40	79.0	0.45794	0.05622	0.02575	7.725
07-08-01 11:40	5.58	2.58	4.40	183.0	-4.39397	0.05182	-0.22770	-68.310
07-08-01 11:45	5.54	2.54	6.40	205.0	-5.80037	0.04167	-0.24170	-72.510
07-08-01 11:50	5.51	2.51	5.40	188.0	-5.34745	0.04243	-0.22689	-68.067
07-08-01 11:55	5.49	2.49	4.90	193.0	-4.77441	0.03546	-0.16930	-50.790
07-08-01 12:00	5.45	2.45	1.00	164.0	-0.96126	0.03319	-0.03190	-9.570
07-08-01 12:05	5.44	2.44	0.50	31.0	0.42858	0.03712	0.01591	4.773
07-08-01 12:10	5.44	2.44	2.00	261.0	-0.31287	0.03470	-0.01086	-3.258
07-08-01 12:15	5.41	2.41	4.40	181.0	-4.39933	0.02985	-0.13132	-39.396
07-08-01 12:20	5.40	2.40	3.40	88.0	0.11866	0.02667	0.00316	0.948
07-08-01 12:25	5.39	2.39	2.40	189.0	-2.37045	0.02909	-0.06896	-20.688
07-08-01 12:30	5.37	2.37	12.20	168.0	-11.93340	0.02440	-0.29118	-87.354
07-08-01 12:35	5.35	2.35	13.70	167.0	-13.34887	0.01212	-0.16179	-48.537
07-08-01 12:40	5.28	2.28	9.80	179.0	-9.79851	0.01682	-0.16481	-49.443
07-08-01 12:45	5.25	2.25	3.40	187.0	-3.37466	0.01864	-0.06290	-18.870
07-08-01 12:50	5.23	2.23	5.90	193.0	-5.74878	0.01273	-0.07318	-21.954
07-08-01 12:55	5.22	2.22	6.80	163.0	-6.50287	0.01212	-0.07881	-23.643
07-08-01 13:00	5.20	2.20	9.30	161.0	-8.79332	0.01258	-0.11062	-33.186
07-08-01 13:05	5.17	2.17	5.40	155.0	-4.89406	0.01379	-0.06749	-20.247
07-08-01 13:10	5.14	2.14	1.00	229.0	-0.65606	0.01530	-0.01004	-3.012
07-08-01 13:15	5.13	2.13	2.00	139.0	-1.50942	0.01788	-0.02699	-8.097
07-08-01 13:20	5.09	2.09	1.00	190.0	-0.98481	0.01985	-0.01955	-5.865
07-08-01 13:25	5.06	2.06	0.50	196.0	-0.48063	0.01440	-0.00692	-2.076
07-08-01 13:30	5.03	2.03	1.50	220.0	-1.14907	0.01455	-0.01672	-5.016
07-08-01 13:35	5.01	2.01	2.40	220.0	-1.83851	0.01500	-0.02758	-8.274
07-08-01 13:40	5.00	2.00	3.40	203.0	-3.12972	0.01243	-0.03890	-11.670
07-08-01 13:45	4.94	1.94	2.40	222.0	-1.78355	0.01258	-0.02244	-6.732
07-08-01 13:50	4.92	1.92	4.90	193.0	-4.77441	0.01227	-0.05858	-17.574
07-08-01 13:55	4.88	1.88	4.40	200.0	-4.13465	0.01015	-0.04197	-12.591
07-08-01 14:00	4.86	1.86	3.90	207.0	-3.47493	0.01000	-0.03475	-10.425
07-08-01 14:05	4.87	1.87	6.80	225.0	-4.80833	0.00939	-0.04515	-13.545
07-08-01 14:10	4.83	1.83	7.30	228.0	-4.88465	0.01046	-0.05109	-15.327
07-08-01 14:15	4.80	1.80	8.80	219.0	-6.83889	0.01212	-0.08289	-24.867
07-08-01 14:20	4.79	1.79	4.40	235.0	-2.52374	0.01152	-0.02907	-8.721
07-08-01 14:25	4.75	1.75	5.90	206.0	-5.30289	0.01227	-0.06507	-19.521
07-08-01 14:30	4.76	1.76	6.40	210.0	-5.54256	0.00924	-0.05121	-15.363
07-08-01 14:35	4.74	1.74	8.80	204.0	-8.03920	0.00970	-0.07798	-23.394
07-08-01 14:40	4.68	1.68	5.90	217.0	-4.71195	0.00970	-0.04571	-13.713
07-08-01 14:45	4.69	1.69	6.40	215.0	-5.24257	0.00909	-0.04765	-14.295
07-08-01 14:50	4.68	1.68	8.80	199.0	-8.32056	0.00924	-0.07688	-23.064
07-08-01 14:55	4.66	1.66	4.40	226.0	-3.05650	0.00864	-0.02641	-7.923
07-08-01 15:00	4.63	1.63	5.90	251.0	-1.92085	0.00864	-0.01660	-4.980
Total Mass of SS transported northward per Unit Area =						13.44600	mg/cm <sup>2</sup>	
Total Mass of SS transported southward per Unit Area =						-1296.43811	mg/cm <sup>2</sup>	



표에서와 같이 준설작업이 없었던 시기인 7월 5일 20:30~6일 03:30 동안 정점 A1, A2에서 남향 순이동량은 각각  $1.2 \text{ g/cm}^2$ 과  $1.1 \text{ mg/cm}^2$ 로서 거의 유사한 반면, 준설시기이며 두 지점에서 플룸이 관측된 7월 8일 09:30~15:30 동안에는 각각  $2.9 \text{ g/cm}^2$ 와  $1.3 \text{ g/cm}^2$ 로서 A2에서의 이동량이 A1의 약 45%이며, 이로부터 두 지점 사이에서의 침강을 무시한다면 저면상 3m에서의 방지막 효율은 55%라 할 수 있다. 그러나 이는 어디까지나 저면상 3m에서의 효율이며, A2에서의 이동량이 A1의 45%에 불과한 것은 막체의 venturi tube 효과 때문으로 인해 하류측 유속이 감소하기 때문이다.

그림 3.2.23에서 언급한 바와 같이 방지막의 venturi tube 효과에 따른 해저면 근방에서의 유속 변화는 저면상 3m와는 상이하다. 즉 방지막 상류측의 경우는 저면상 25cm에서의 유속이 저면상 3m 유속의 약 1/2인 반면, 하류측에서는 두 층의 유속이 같다. 만일 두 층의 농도가 같다고 가정하면 상류측 저면상 25cm에서의 이동량은 3m에서의 이동량의 1/2인 반면 하류측 두 층의 이동량은 같다. 따라서 이를 A1과 A2에 적용하면 준설시 A1 저면상 25cm에서의 이동량은 3m의 반인  $1.45 \text{ g/cm}^2$ 이고 두 층의 평균은  $2.18 \text{ g/cm}^2$ 이며, A2의 경우 두 층 모두  $1.3 \text{ g/cm}^2$ 로 같으므로 A2의 이동량이 A1의 약 60%이다.

그러나 이 수치는 저면상 25cm의 농도가 3m와 같다는 가정하에 구한 값이므로 만일 하류측의 농도경사가 상류측보다 크다면 방지막의 효율은 더욱 저하될 것이다. 예를 들어 A1의 저면상 25cm의 농도가 3m의 1.5배이고, A2는 2배라고 가정하면 A1과 A2의 두 층 평균이동량은 각각  $2.54 \text{ g/cm}^2$ 와  $1.95 \text{ g/cm}^2$ 로서 두 층 평균이동량 측면에서의 방지막 효율은 약 25%이다. 그림 3.2.27의 현장관측결과에 따르면 방지막 하류 단면의 저층 농도경사가 상류 단면보다 크므로 위와 같은 추정엔 큰 무리가 없을 것으로 판단되며, 이를 전층으로 확장하면 이동량 측면에서의 방지막 효율은 20-30% 정도일 것으로 판단된다.

방지막 전후 단면에서의 부유퇴적물 연직분포 관측치에 따른 농도 측면에서의 방지막 효율은 부정적이다. 표 3.2.12에 제시한 바와 같이 관측기간 동안 방지막 내측의 단면평균농도는  $8.87 \text{ mg/l}$ 인 반면 외측은  $14.24 \text{ mg/l}$ 로서 외측 농도가 내측의 160%이다. 따라서 단순히 농도만으로 방지막 효율을 평가한다면 본 해역의 오타방지막은 악영향을 미치고 있다.

표 3.2.12 오탁방지막 전후 단면의 수심평균농도 (부산신항-II).

정 점		시 간	수 심	자료수	시간별 수심평균 농도(mg/l)	정점 평균농도 (mg/l)	단면 평균농도 (mg/l)
오탁 방지막 내측	1-1	12:29	6.8	37	10.52	9.35	8.87
		13:03	6.2	30	11.81		
		13:37	5.9	23	8.28		
		14:13	6.5	29	10.31		
		14:44	5.5	27	5.83		
	1-2	12:24	6.5	37	9.18	8.67	
		12:57	6.5	26	6.38		
		13:29	6.4	35	12.97		
		14:08	6.2	33	7.6		
		14:40	6.0	20	7.2		
	1-3	12:53	6.2	28	7.65	8.59	
		13:24	6.5	30	7.66		
14:02		6.0	13	9.42			
14:34		5.4	19	9.62			
오탁 방지막 외측	2-1	12:36	6.3	24	13.54	14.93	14.24
		13:10	6.5	25	13.54		
		13:43	6.2	29	13.54		
		14:18	6.4	29	15.65		
		14:50	6.1	29	18.38		
	2-2	12:41	6.5	33	19.57	15.83	
		13:14	6.2	22	11.91		
		13:48	6.4	29	14.94		
		14:22	6.2	29	14.33		
		14:57	6.1	29	18.38		
	2-3	12:46	6.8	25	13.81	11.95	
		13:18	6.4	29	7.52		
		13:55	6.6	35	14.06		
14:27		5.7	27	12.39			

## 다. 인천남항

컨테이너 전용부두 건설을 위하여 인천남항 석탄부두 전면에서 기초준설(8m<sup>3</sup> grab)이 실시중이던 2002년 6월 15일에 방지막 효율을 관측하였다. 그림 3.2.29에 나타낸 바와 같이 준설선 동측 약 100m, 남측 약 70m 해상에 막체폭 3m인 수하형 방지막이 각각 남북 및 동서방향으로 설치되어 있으며, 관련 선박 통행 구간은 개방되어 있다.

2개 지점에서의 정점관측과 방지막 주위를 도는 순환관측을 실시하였으며, 준설 및 관측시간은 표 3.2.13과 같다. 사전조사를 통하여 파악한 플룸 주경로상의 방지막 10m 전후 2개 정점에서 YSI6600을 이용한 정점 동시관측을 실시하였으며, 1절에 서술한 ADCP 시스템을 이용한 시계방향 순환관측을 실시하였다. 순환관측시 방지막과 조사선 사이 거리는 약 20m이며, 그림에서 A와 B는 ADCP track 결과에서 위치를 구분하기 위한 색인이다.

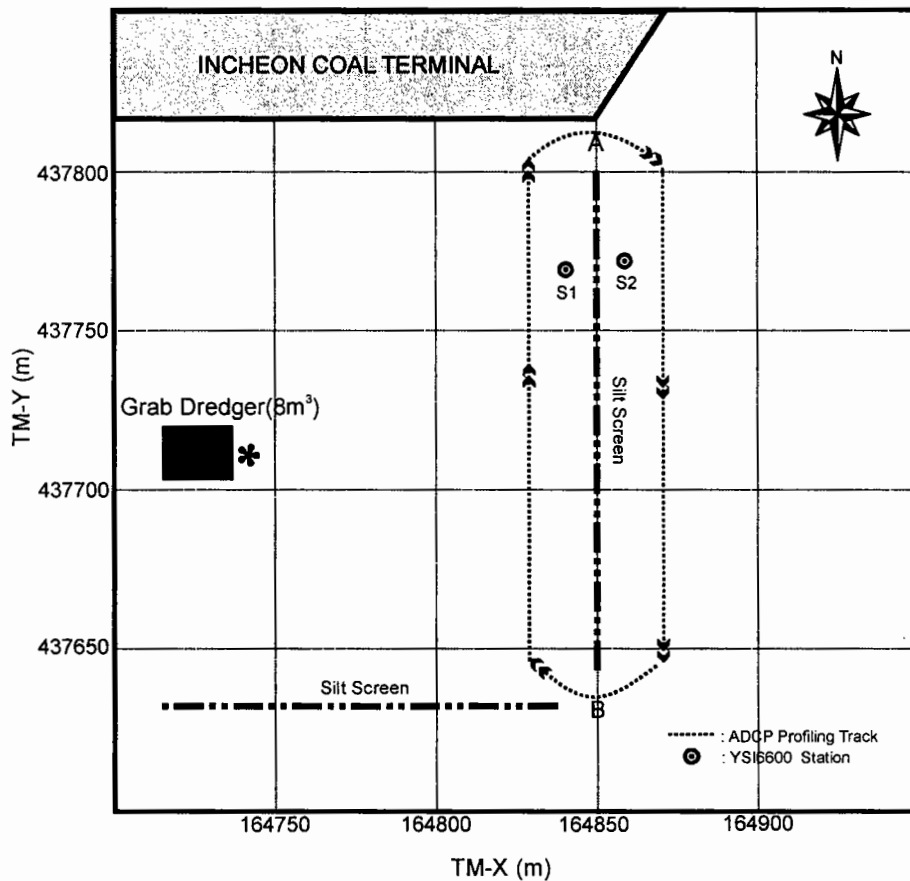


그림 3.2.29 인천남항 준설 및 현장관측 위치도.

표 3.2.13 인천남항 준설작업 및 현장관측 시간.

구 분	시 간
준설 (8m <sup>3</sup> grab)	~ 14:30
	15:36 ~ 16:13
	16:18 ~ 16:49
ADCP 순환관측	15:50 ~ 18:00
YSI6600 정점관측	13:40 ~ 17:30

(1) ADCP 관측결과 분석

1절에서 상술한 영국 DRL 社의 상용 프로그램 Sediview와 관측자료를 이용한 ADCP 현장검보정 결과를 그림 3.2.30에, ADCP 순환관측을 통해 구한 유속·유향, 부유퇴적물 농도의 수심평균치와 수심을 그림 3.2.31에 제시하였다. 관측 당일은 대조기로 인천 검조소의 저조위와 고조위는 각각 14시 16분의 177cm와 20시 21분의 731cm이었으며, 관측 중반이 최강창조에 해당한다.

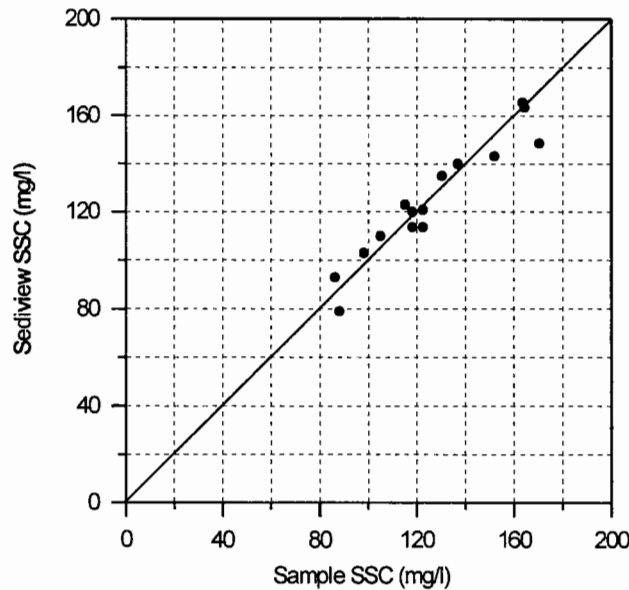


그림 3.2.30 DRL Sediview를 이용한 ADCP 현장검보정 결과(인천남항).

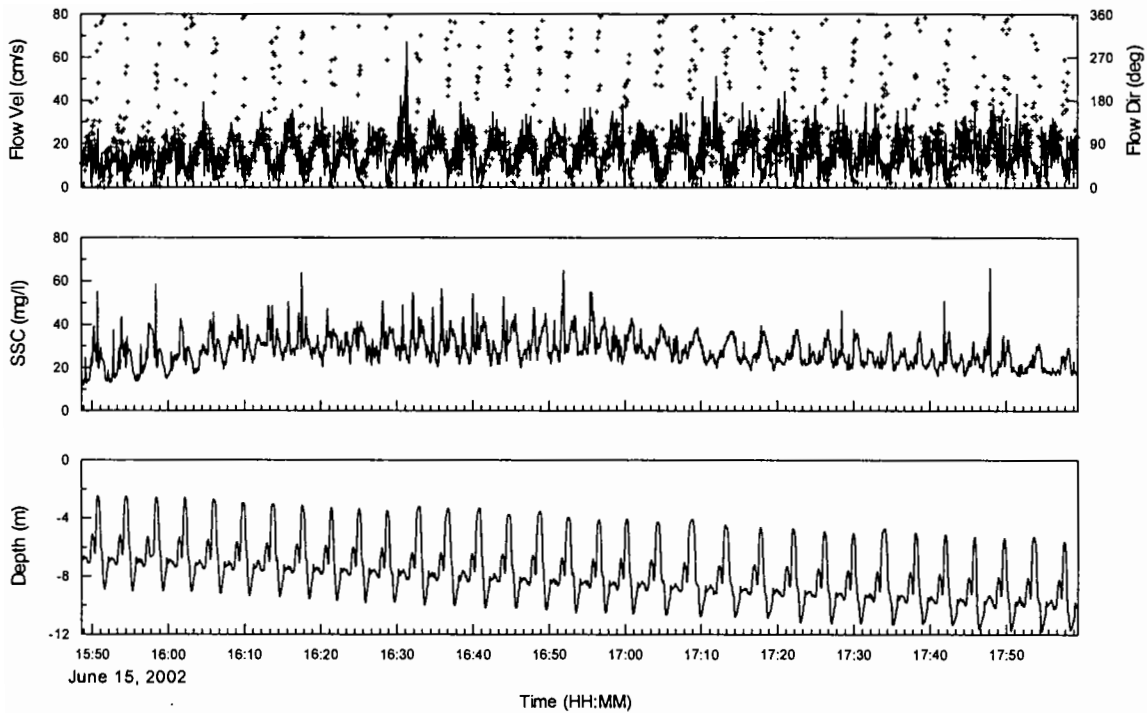


그림 3.2.31 ADCP의 오락방지막 순환관측치로 구한 수심평균 유속·유향·부유토사 농도와 해저지형.

그림 3.2.31에서 볼 수 있듯이 ADCP 1회 순환시간에는 약간의 차이가 있으나 창조 동안의 수심으로부터 관측이 설정 순환선을 계속 유지하면서 수행되었음을 알 수 있다. 수심평균유속은 약 60cm/s까지도 나타나지만 전반적으로 위치에 따라 5~30cm/s 정도이고, 주 유향은 동서방향이나 순환선 내의 특정 위치에서는 이를 벗어난다. 부유퇴적물의 수심평농도는 위치에 따라 10~60mg/l 정도이며, 준설 종료후에는 위치에 따른 농도변동폭이 감소한다.

유속·유향 및 부유퇴적물 농도의 위치별 차이를 보다 상세하게 파악하기 위하여 그림 3.2.31의 일정 구간을 확대 도시한 그림 3.2.32에서 볼 수 있는 바와 같이 ADCP 순환선의 最北인 그림 3.2.29의 A 지점에서 부근에서 유속이 가장 약하고 최남인 B 지점 부근에서 가장 강함을 알 수 있다. 특히 A 지점 주변의 유향이 동서방향을 크게 벗어나며, 이는 방지막에 의해 형성된 와류 때문으로 판단된다.

부유퇴적물 농도는 준설 여부를 구분하여 파악할 필요가 있다. 준설은 16시 49분에 종료하였으나 준설선과 관측선 사이의 거리로 인해 16시 57분까지 방지막 전후 단면에서 플룸이 관측되었다. 준설 플룸의 영향을 받을 때의 특징은 A 지점 전

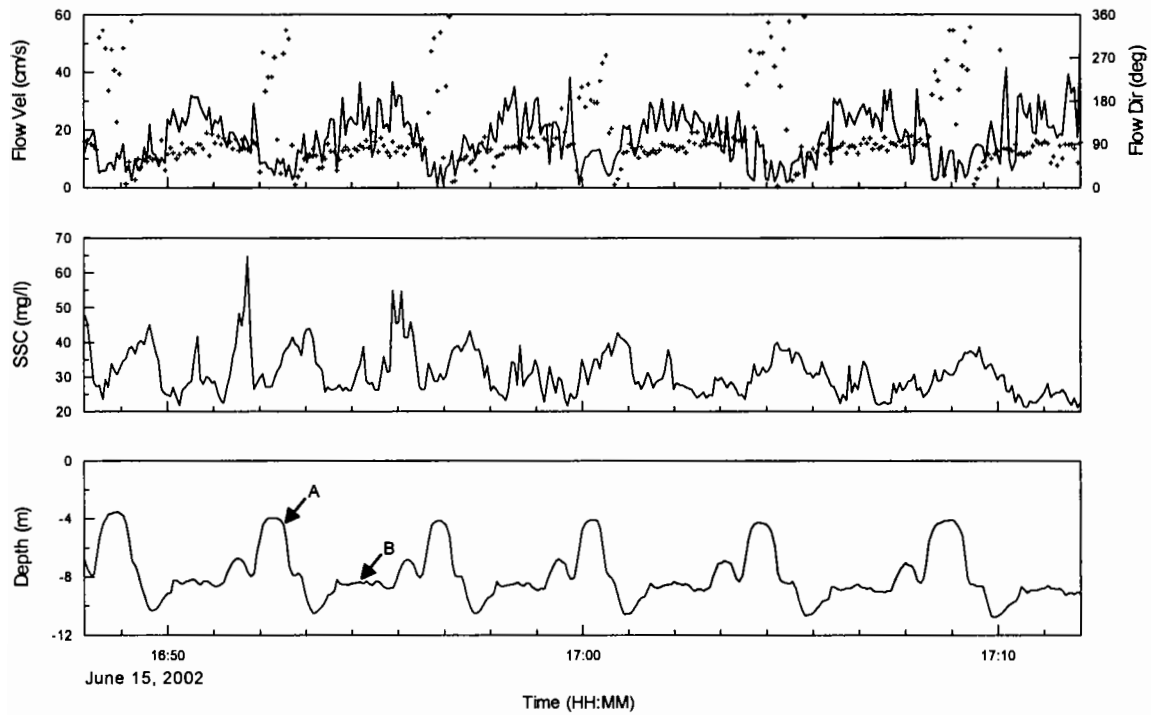


그림 3.2.32 그림 3.2.31의 구간 확대 예.

후와 방지막 이전 단면, 즉 BA-단면에서 농도 peak가 발생하는 것이다. 17시 이후는 준설에 의한 플룸의 완전히 소멸한 시기로서 유속과는 반대로 A 지점의 농도가 가장 낮다.

준설작업중과 종료후의 대표적인 ADCP 관측치를 각각 그림 3.2.33과 3.2.34에 제시하였다(전체 성과는 부록 2 참조). 그림에서 시간은 단면 중앙부 통과시간, 거리 축의 기준점은 북쪽으로 가장 많이 올라간 관측 track의 최북단이며, 거리는 각 관측점에서의 위치를 남북방향 축에 투영한 것이다. 두 그림으로부터 배경농도는 약 30-40mg/l이며, 방지막 전후의 플룸에서는 각각 80mg/l와 60mg/l로 높아진다.

부산신항-II의 경우에서와 같이 방지막 주변 유황이 방지막의 영향을 받을 것임을 예상할 수 있으며, 유속의 동서방향 성분을 도시한 두 그림에서 본 경우에 발생할 수 있는 방지막의 전형적인 두 가지 영향이 관측되었다. 그 첫째는 막체 하단 이하 수심에서의 유속과 유황이다. 먼저 그림 3.2.33의 경우, 방지막 후면인 AB-단면의 수심 5m 이하에서 서향 흐름이 관측되었으며, 이는 막체 후면에서 발생한 연직방향 와류 때문으로 판단된다. 한편 최강창조시기에 해당하는 그림 3.2.34의

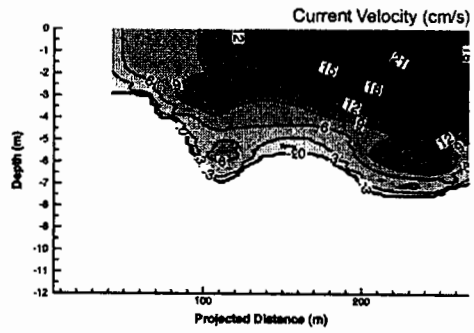
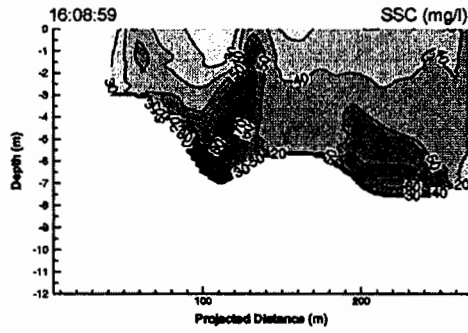
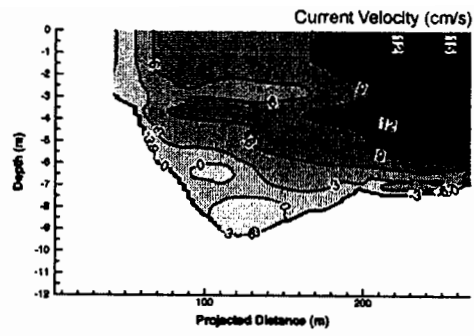
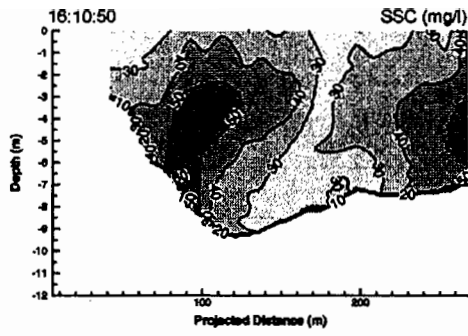


그림 3.2.33 준설시 오탉방지막 전후 단면에서의 부유퇴적물 농도 및 동서방향 유속성분 분포도 (아래: 내측, 위: 외측).

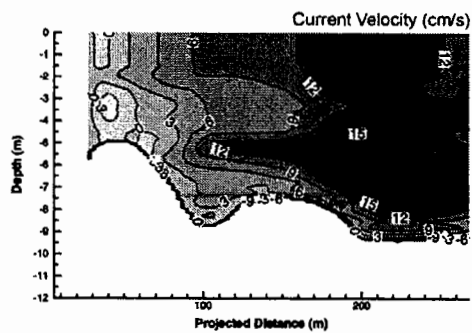
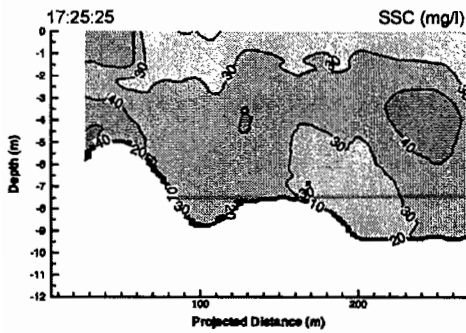
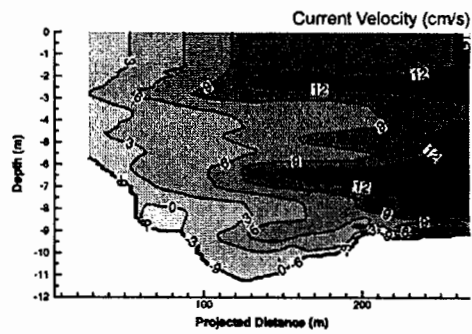
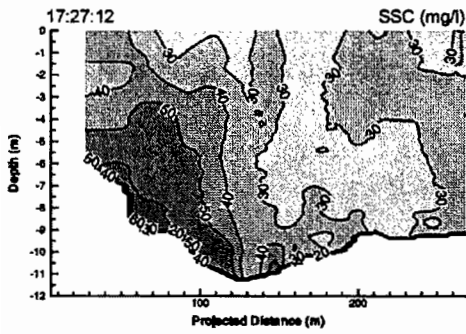


그림 3.2.34 준설 종료후 오탉방지막 전후 단면에서의 부유퇴적물 농도 및 동서방향 유속성분 분포도 (아래: 내측, 위: 외측).

경우, 방지막 전면인 BA-단면의 4-6m 수심에서의 유속이 그 상층 유속보다 빠르다. 이는 BA-단면까지 방지막의 venturi tube 영향이 미쳤음을 의미한다. 또한 BA-단면의 복단 부근에서 서향 유속이 나타나며 이는 방지막 복단 부근에서 발생한 수평 와류 때문인 것으로 판단된다.

## (2) 정점관측결과 분석

방지막 10m 전후인 정점 S1과 S2에서 다기능 수질측정기 YSI6600을 이용하여 10분 간격으로 농도의 연직분포를 동시 측정하였으며, 관측 중 채취한 해수를 이용한 YSI6600 OBS의 현장 검보정 결과를 그림 3.2.35에, 부유퇴적물 농도의 연직분포를 그림 3.2.36에 제시하였다.

관측결과에 따르면 부산신항-II와는 달리 오타방지막 내측 정점인 S1의 농도가 S2보다 대부분 높다. 이를 오타방지막 효율에 기인한 것으로 볼 수도 있으나 일차적인 원인은 부산신항-II의 경우와는 달리 방지막 외측 정점인 S2의 수심이 S1보다 약 3 m 깊기 때문으로 판단된다. 관측치를 潮時와 준설 여부에 따라 살펴보면 다음과 같다.

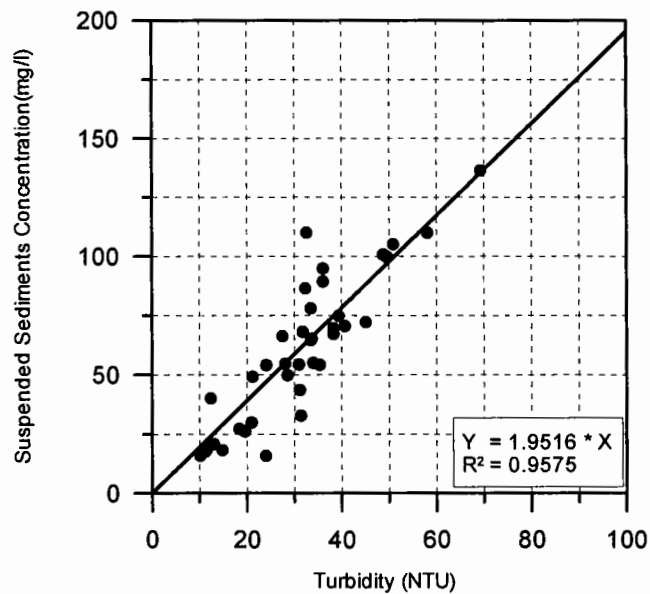


그림 3.2.35 YSI6600 탁도계 현장검보정 결과 (인천남항).



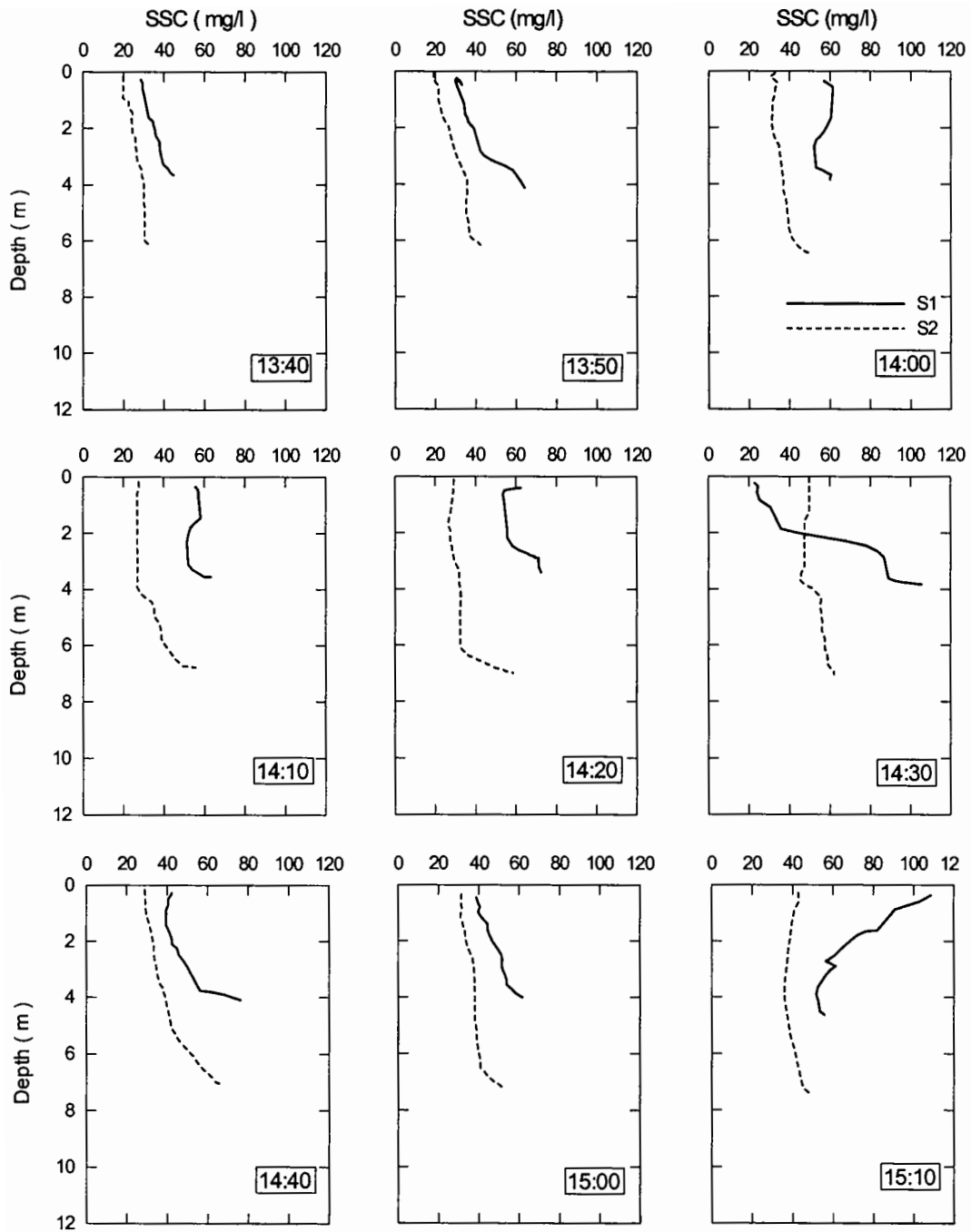


그림 3.2.36 오탁방지막 전후 정점의 부유퇴적물 농도 연직분포(인천남항).

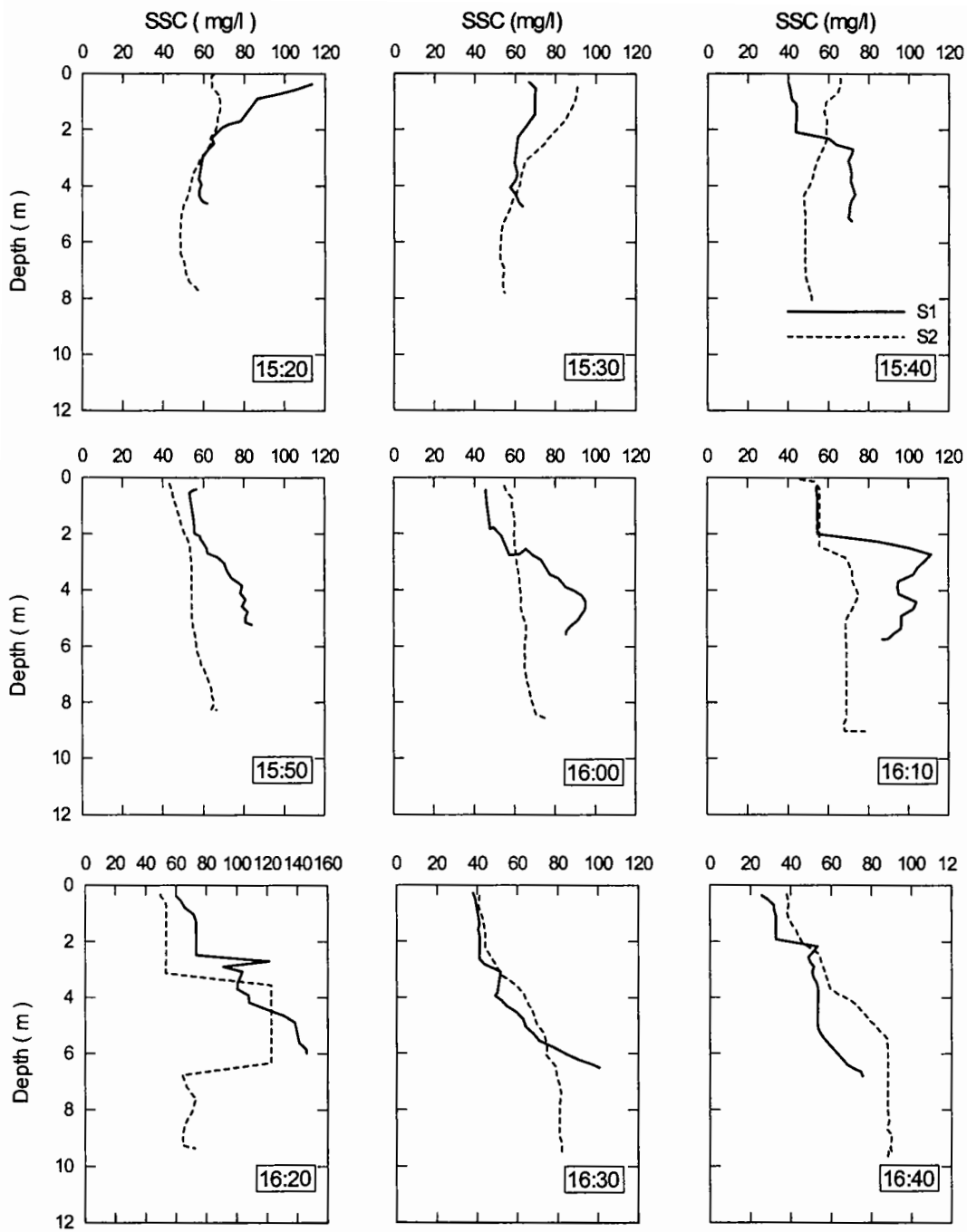


그림 3.2.36 (계속).

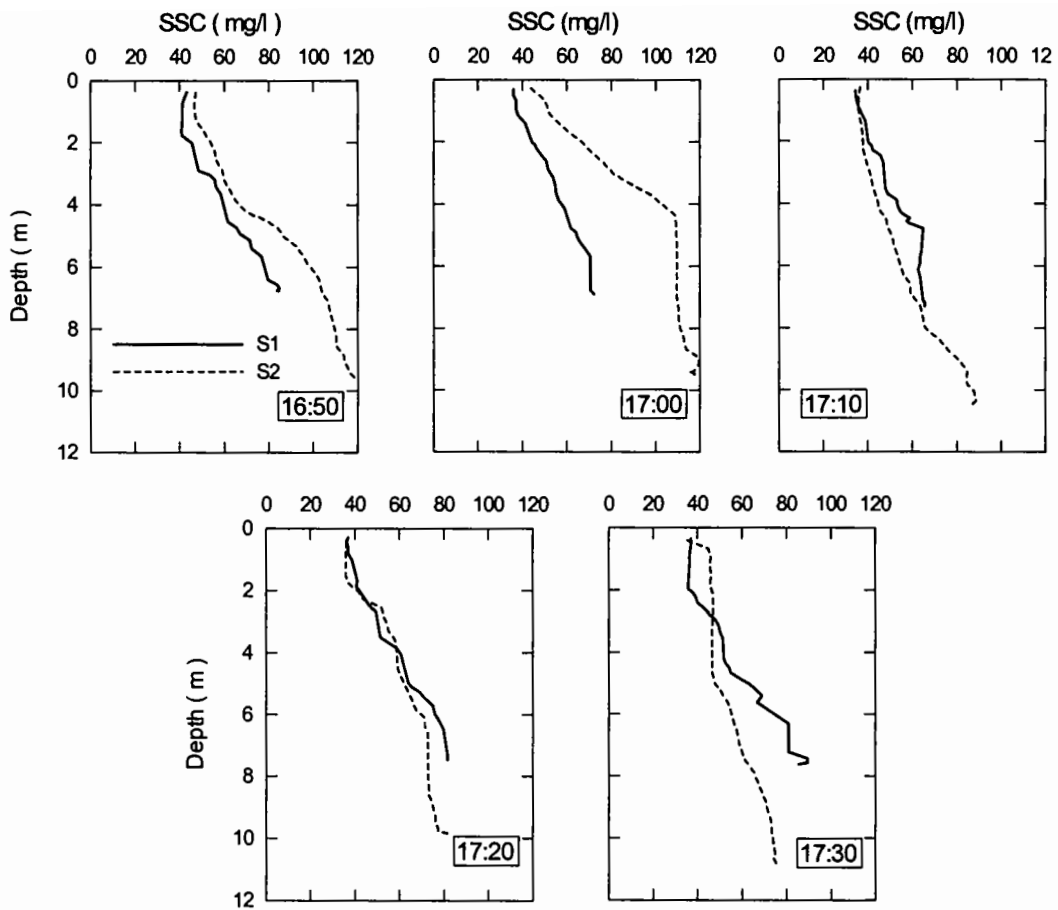


그림 3.2.36 (계속).

① 낙조 준설시간 (13:40~14:20)

두 정점이 준설의 영향을 받지 않는 낙조시의 관측결과이다(인천항의 저조시간은 14:16분). 6회의 관측에 플룸에 의한 것이라 믿어지는 연직분포가 관측되지 않아 관측치를 해당 조시의 배경농도로 간주할 수 있다. S1의 표층과 저층농도는 각각 약 30-60 mg/l와 40-70 mg/l이며, S2의 경우는 약 20-50 mg/l와 30-60 mg/l 정도이다.

② 준설 정지시간 (14:30~15:30)

역시 관측치를 배경농도로 간주할 수 있는 시간으로서 15시 10분부터의 3회 관

측치가 특징적이다. 즉, 15시 10분에 S2의 농도는 연직으로 약 40 mg/l로 일정하나 S1의 표층농도가 약 110 mg/l로 증가하였다. 저층농도는 이전의 배경농도와 유사하나 표층농도가 110-120 mg/l로 높은 현상이 15시 20분까지 지속되었으며, 이때의 S2는 연직으로 약 60 mg/l인 일정한 농도를 보인다. 15시 30분에는 S1 표층농도가 정상적인 값으로 판단되는 60 mg/l로 회복된 반면, S2의 표층농도는 약 90 mg/l로 증가하였다. 이러한 현상은 준설 이외의 영향에 의해 S1의 표층에 퇴적물이 공급되었으며, 흐름을 따라 S2 방향으로 전파되었음을 의미한다.

### ③ 창조 준설시간 (15:40~16:40)

농도 연직분포에서 준설 플룸의 영향이 뚜렷하게 관측되었다. 막체폭과 같은 S1의 3 m 수심 부근에서 농도가 급격히 증가한다. S2는 수심이 S1보다 3 m가 깊은 관계로 S1과 같이 농도의 계단형 증가가 현저하지는 않다. 플룸의 영향이 두 정점 모두에서 뚜렷하게 관측된 대표적인 시간은 16시 20분으로 S2에서도 S1과 같이 농도가 수심 약 3 m에서 급격히 증가한 후 S1 수심까지 일정 농도를 보인 후 다시 감소한다.

### ④ 준설 종료 후 (16:50~17:30)

준설 플룸의 형상은 사라졌으나 낙조시와 준설 중지시간 동안과 달리 S2의 농도가 S1과 유사하거나 오히려 높다. 이는 해당 시간이 최강창조 부근인 관계로 재부유가 활발하기 때문인 것으로 판단된다.

### (3) 오탁방지막 효율 추정

부산신항-II의 경우와 같이 본 관측도 준설이 지속되면서 방지막이 없을 경우와 있을 경우에 대해 수행한 관측이 아니므로 수치모형 입력조건, 즉 발생을 측면에서의 방지막 효율을 논할 수는 없다. 즉, 그림 3.2.33과 3.2.34에 제시한 바와 같이 방지막 내측인 BA-단면의 유속도 방지막의 영향을 받고 있으므로 방지막이 설치되지 않았을 경우를 대표하지 못한다. 따라서 본 관측결과도 방지막 전후에서의 농도 비교와 전후 단면을 통한 이동량 비교에 만족하여야 한다. 본 경우는 부산신항에서의 관측과는 달리 ADCP 순환관측을 실시하였으므로 방지막 전후 단면 전체를 통

한 이동량을 계산할 수 있다.

방지막 전후 단면을 통한 부유퇴적물 이동속(SS flux)과 이동량을 계산하기 전에 플룸 농도만으로 계산할지 아니면 배경농도를 포함한 전체 농도로 계산할지를 결정해야 한다. 사실 준설에 의해 증가한 부유퇴적물의 방지막 통과 정도를 파악하기 위함이므로 플룸 농도만을 고려하는 것이 타당하다. 그러나, 방지막 전면의 플룸이 방지막을 통과하면서 연직, 수평방향으로 회석되어 비록 배후 단면에 플룸 형상은 존재하나 그 경계면 설정이 어려울 경우가 있다. 또한, 배후 플룸 내외의 부유퇴적물에는 방지막의 venturi tube 효과에 의한 재부유량이 포함되어 있으므로 전면 플룸의 방지막 통과 정도를 파악하기는 사실상 불가능하다.

따라서 본 조사에서의 방지막 효율 개념을 준설 플룸의 통과 정도만이 아닌 방지막에 의한 재부유까지 포함하는 개념으로 설정하는 것이 타당하며, 이를 위해서는 전후 단면을 통한 이동량을 구하여 비교하여야 한다.

ADCP 순환관측을 통해 얻은 층별 부유퇴적물 농도와 유속으로부터 구한 시간별 단면평균농도와 단면평균유속, 그리고 부유퇴적물의 단면이동속을 그림 3.2.37에 제시하였다. 16시 13분부터 5분 동안의 작업중지 시간을 무시하면 준설 종료 5분 후인 16시 55분을 기준으로 부유퇴적물 단면평균농도와 단면이동속이 뚜렷하게 구분된다. 즉, 농도는 종료 후 방지막 배후 단면이 높으나 이동속은 방지막 전면이 준설작업 동안 계속 후면보다 높다가 종료 이후 두 단면의 이동속이 비슷해진다. 이는 단면이동속에 미치는 준설 플룸의 영향이 큼을 의미한다.

이동속으로 구한 준설 여부에 따른 오탉방지막 전후 단면을 통한 부유퇴적물의 총이동량을 표 3.2.14에 제시하였다. 방지막을 설치하지 않은 준설시의 두 단면 통과량은 알 수 없으나 본 관측을 통하여 구한 준설시 방지막 배후 단면을 통한 부유퇴적물 이동량은 방지막 전단면을 통한 통과량의 약 77%이며, 준설하지 않을 경우에는 약 97%이다. 따라서 이를 준설로 야기된 부유토사 이류·확산의 저감효율로 해석한다면 인천남항의 오탉방지막 효율은 약 23%이다.

정점 S1과 S2에서의 관측된 농도를 수심평균하고 준설 시간대별 구분하여 표 3.2.15와 3.2.16에 제시하였다. 이를 그림 3.2.37의 단면평균농도와 비교하면 그 변화양상이 유사함을 알 수 있다. 즉, 준설시기에는 단면평균치와 같이 방지막 전후 두 정점에서의 수심평균농도가 유사하며, 창조 초기의 미준설시에는 방지막 전면이 높으면 최강창조 부근에는 방지막 배후 정점의 농도가 상대적으로 높다.

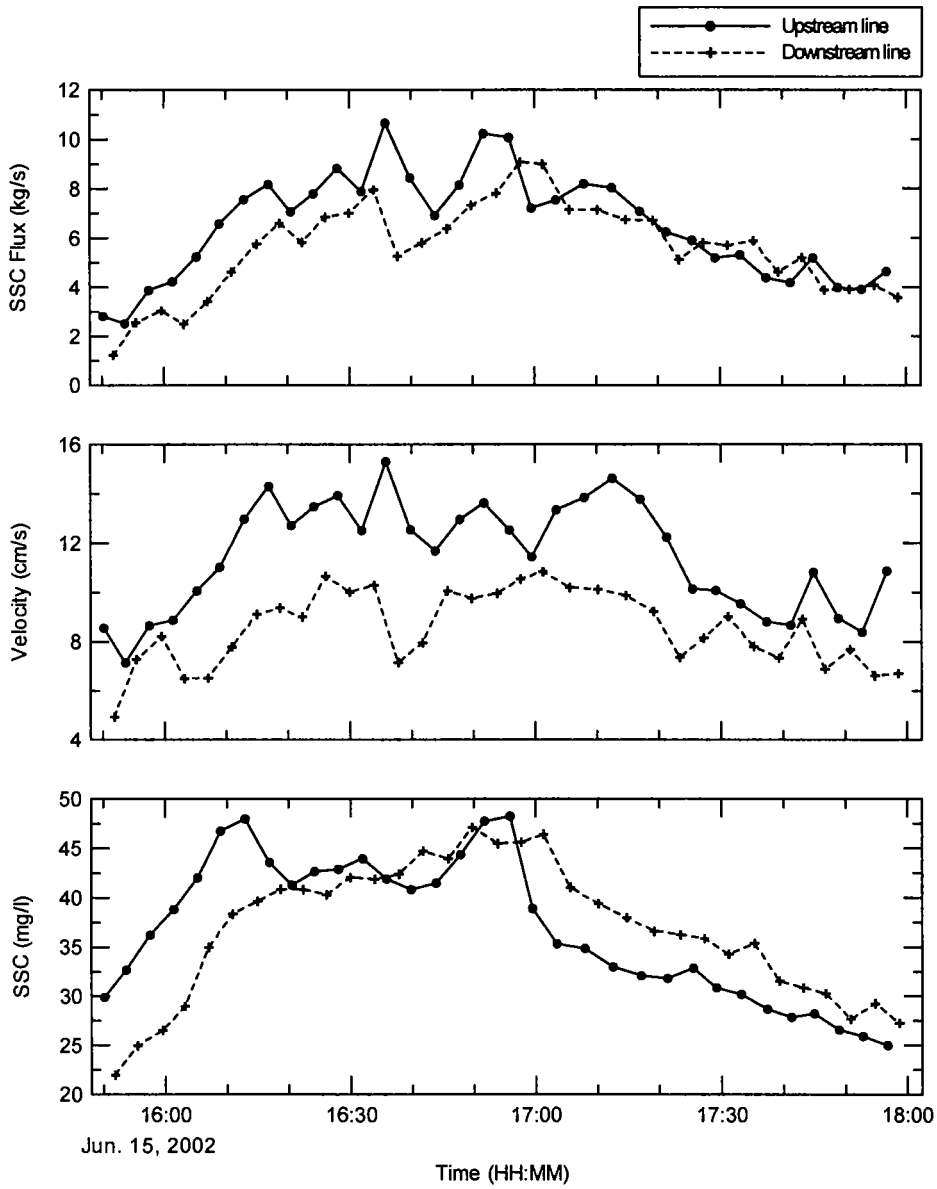


그림 3.2.37 오탉방지막 전후의 단면평균농도·유속 및 단면이동속.

표 3.2.14 준설여부에 따른 부유퇴적물의 오탉방지막 전후단면 통과량.

준설여부	지속시간 (hr)	단면통과량(kg)		$M_{AB}/M_{BA}$ (%)
		$M_{BA}^*$	$M_{AB}^*$	
준 설	1.095	27,319.35	20,972.57	76.8
미준설	1.020	22,715.69	22,121.67	97.4

\*  $M_{BA}$ : 방지막 전단면 통과량,  $M_{AB}$ : 방지막 후단면 통과량

표 3.2.15 준설시 오탉방지막 전후 정점의 수심평균농도 (인천남항).

시 간	정점 S1			정점 S2		
	수심(m)	자료수	농도(mg/l)	수심(m)	자료수	농도(mg/l)
15:40	5.2	25	59.06	8.1	27	53.54
15:50	5.2	22	68.27	8.2	26	55.86
16:00	5.5	26	71.66	8.6	26	63.29
16:10	5.8	26	82.72	9.0	33	66.26
16:20	5.9	24	101.00	9.4	30	76.48
16:30	6.5	26	56.96	9.5	29	68.73
16:40	6.8	29	48.74	9.7	31	70.79
평 균	69.77			64.99		

표 3.2.16 미준설시 오탉방지막 전후 정점의 수심평균농도 (인천남항).

시 간	정점 S1			정점 S2		
	수심(m)	자료수	농도(mg/l)	수심(m)	자료수	농도(mg/l)
14:40	4.0	20	48.61	7.0	26	41.41
15:00	4.0	21	48.62	7.2	23	37.25
평 균 <sup>1)</sup>	48.62			39.33		
16:50	6.7	24	61.84	9.7	35	87.55
17:00	6.9	29	55.61	9.5	35	94.56
17:10	7.3	28	52.69	10.5	38	59.20
17:20	7.5	26	57.62	10.0	41	62.10
17:30	7.6	23	57.97	10.8	31	56.25
평 균 <sup>2)</sup>	57.15			71.93		

1) 창조초기, 2) 최강창조 전후

#### 라. 종합분석

이상과 같이 현장관측치를 근거로, 부산신항과 인천남항에 설치된 막체폭 3m 인 고정식 수하형 방지막의 효율을 방지막 전후에서의 농도와 移動束(flux) 측면에서 살펴보았으며, 조사결과를 요약하면 표 3.2.17과 같다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 방지막 전후의 농도비로 효율을 나타내는 것은 부적절한 방법임을 알 수 있다. 한편, 부유퇴적물 이동량 측면에서의 방지막 효율

표 3.2.17 고정식 수하형 오탁방지막 효율.

위 치	공 종	수심* (m)	막체폭 (m)	최강유속 (cm/s)	수심평균 배경농도 (mg/l)	오탁방지막 효율(%)	
						농도	SS 이동량
부산신항	SCP	5~6	3	~40	5~10	20**	
	준 설 (grab, backhoe)					~60	20~30
인천남항	준 설 (grab)	5~9	3	~40	25~50	7	23

\* 潮差가 아닌 관측기간중 수심 변동치임.

\*\* 1회의 표층농도 비교만으로 구한 것임.

은 20~30%에 불과하며, 이와 같이 효율이 낮은 이유는 약 40cm/s 정도인 최강유속 때문인 것으로 판단된다.

방지막의 효율을 보다 일반적인 개념으로 정의하면, 방지막을 설치하기 전후에 항만공사로 인해 발생한 부유토사 도달거리와 양의 비율이라 할 수 있으며, 이의 개념도가 그림 3.2.38이다.

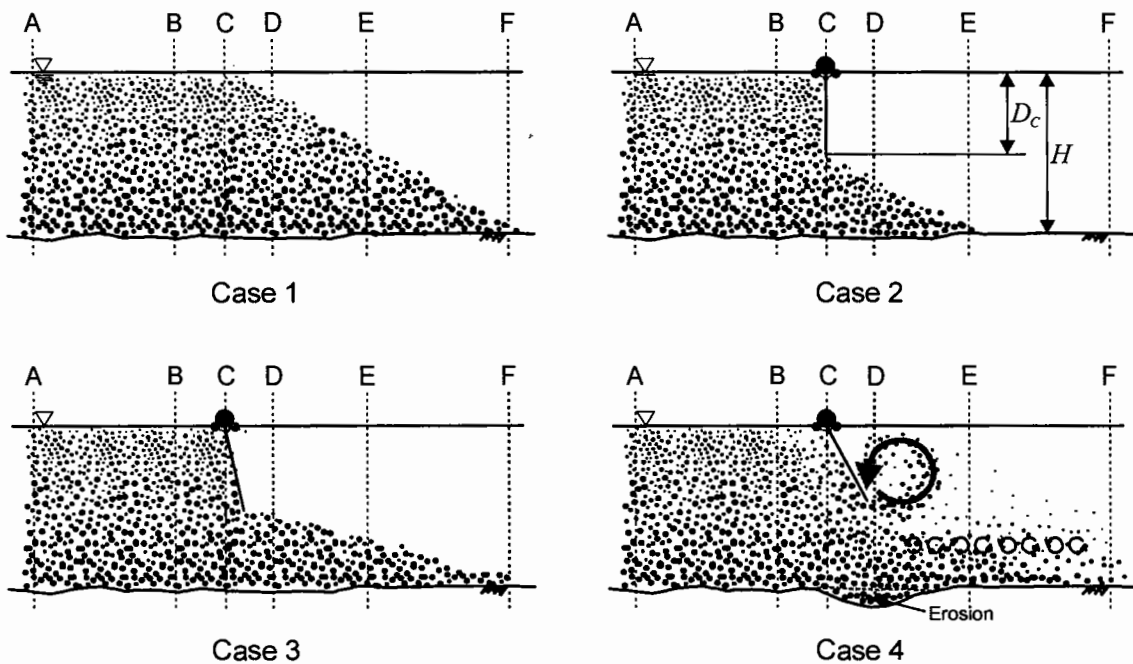


그림 3.2.38 유속에 따른 오탁방지막 효율 개념도.



방지막을 설치하지 않았을 경우에 부유토사가 본격적으로 침강·퇴적되기 시작하는 C 단면에 방지막을 설치함으로써 B, C 단면 사이에서 부유토사 응집이 활발해지고 침강이 촉진되어 방지막 배후로의 이동량과 도달거리가 감소한다면 가장 이상적일 것이다. 그러나 Case 2와 같은 이상적인 설치의 전제 조건은 유속이 약해야 한다는 것이다. 유속이 Case 2보다는 강하여 부유토사 도달거리는 Case 2보다 증가하지만 C 단면과 F 단면 사이의 부유토사 양은 감소하는 경우가 Case 3이며, 그 양의 비율로써 효율을 논할 수 있을 것이다.

그러나 주위 유속이 일정치를 초과하여 방지막의 venturi tube 효과가 현저해지면, 방지막 배후에서의 발생한 난류로 인해 부유토사의 침강이 억제되므로 이동거리가 증가하며, 막체 주변 해저면이 침식되어 이동량 자체도 증가할 수 있다. 만일 오염된 해저면이 침식된다면 상황은 최악이 될 것이다.

본 관측에서 획득한 유속·유향자료로 미루어 부산신항과 인천남항 준설시에 Case 4와 유사한 상황이 발생하여 비록 D 단면 이후의 상황은 알 수 없으나 B 단면 통과량의 70-80%가 D 단면을 통과하였다.

방지막 설치방식과 효율에 관한 본 결과를 국외 사례 및 지침과 비교·검토하는 것이 필요할 것이며, 이를 유속과 파랑조건, 그리고 방지막의 형식과 평면배치에 따른 효율로 나누어 검토하면 다음과 같다.

#### (1) 유속

표 3.2.2에 제시한 국외 지침에 따르면 대부분의 방지막 성능한계유속은 50 cm/s 이며, 이를 평균유속으로 해석하는 것이 타당할 것이다. 그러나 본 관측에 따르면 평균유속 약 20 cm/s일 때 부유토사 이동량 측면의 방지막 효율이 20~30%에 불과하므로, '유속이 20~30 cm/s를 초과하면 오탐방지막 효율을 기대하기 어렵다'는 일본의 海洋開發工事安全公害對策本部(1989)의 설문조사결과가 타당하다고 판단된다. 설문조사의 응답자가 방지막 제작업체 종사자들이라는 측면에서도 설득력이 있다.

일본의 결과가 정량화된 자료가 아니며 본 연구결과도 많은 현장관측을 근거로 한 것은 아니지만 평균유속이 20~30 cm/s를 넘는 해역에서의 공사이고, 20~30%의 효율이 방지막 효율기대치에 크게 부족한 수준이라면 고정식 수하형 방지막의 설치에 재고하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

아울러 연안환경 측면에서 중요한 해역이지만 유속이 20~30 cm/s를 초과하는 해역에서 예정된 공사라면 작업한계유속이 약 30cm/s인 frame 형 방지막을 작업가능 시기에 사용하는 등 보다 효율적인 저감 방안을 강구하는 것이 바람직할 것이다. 참고로 frame 형 방지막은 grab이나 backhoe와 같은 정지준설의 경우에만 사용 가능하다.

## (2) 파랑

기상 악화로 준설이 중지된 기간의 추정 파고 약 0.4m인 파랑에 의해 해저면이 교란되어 부유퇴적물 농도가 플룸 농도 수준으로 증가함이 부산신항에서 관측되었으나 파랑의 영향을 크게 받는 동해안에서의 방지막 효율은 관측하지 못하였다.

표 3.2.2의 국외 지침에서 방지막 설치와 관련한 파고 기준은 캐나다 온타리오주 환경부의 1m와 일본의 2m이다. 한편 부록 3에 수록한 일본 해상공사오탁방지협회의 방지막 설계·시공 요령에 따르면 국내 방지막의 대부분을 차지하는 고정식 수하형의 일본 표준규격은 다음과 같다.

표 3.2.18 고정식 수하형 오탁방지막의 일본 표준규격(海上工事汚濁防止協會, 1999).

등급	현장 조건	표 준 규 격			
		부력체 직경 (mm)	부력체 형식	막체 원단 인장강도 (kgf/3 cm)	Weight chain 중량 (kg/m)
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>지형적으로 차폐된 방파제 바깥 해역</li> <li>파고 1.5 m 이하</li> <li>유속 0.5 m/s 이하</li> </ul>	600	일체	800~500	10~20
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>방파제 내측의 넓은 해역 또는 지형적으로 차폐된 만내의 해역</li> <li>파고 1.0 m 이하</li> <li>유속 0.2 m/s 이하</li> </ul>	400	일체	500~300	5~10
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>방파제 내측 중간 규모 넓이의 해역</li> <li>파고 0.8 m 이하</li> <li>유속 0.1 m/s 이하</li> </ul>	300	일체	500~300	5 이상
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>호소처럼 잔잔하고 잘 차폐된 만내</li> <li>파고 0.5 m 이하</li> <li>유속 0.05 m/s 이하</li> </ul>	300	마디	300	3~5

주) ① 범용형은 고정식 수하형, span 길이 20 m. ② 내구년수 1년. ③ 계류장치는 포함하지 않는다. ④ 설치수심 20 m 미만. ⑤ 일체형은 부력체가 연결되고 마디형은 분리되어 연결된다. ⑥ A 등급 이상의 현장조건인 경우는 별도의 규격으로 한다.

일본의 파고 한계는 방지막 내구성 측면에서의 한계이며, 내구성만을 고려하면 표 3.2.18의 주)에서도 명시하였듯이 A 등급 이상인 방지막, 즉 1.5m 이상의 파고에서도 견딜 수 있는 방지막을 제작할 수는 있다. 그러나 방지막의 설치목적은 부유토사 확산 저감에 있으므로 해저퇴적물 재부유에 미치는 파랑의 영향에 대한 상세 검토가 필요하다.

사질입자의 이동에 필요한 임계전단응력  $\tau_{cr}$ 은 다음과 같다(van Rijn, 1989).

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} (\rho_s - \rho) g d_{50} \quad (3.2.7)$$

여기서  $\rho_s$ 와  $d_{50}$ 은 각각 입자의 밀도와 중앙입경이고,  $\theta_{cr}$ 은 다음과 같은 critical Shields parameter이며,

$$\theta_{cr} = \begin{cases} 0.24 D_*^{-1} & \text{for } 1 < D_* < 4, \\ 0.14 D_*^{-0.64} & \text{for } 4 < D_* \leq 10, \\ 0.04 D_*^{-0.1} & \text{for } 10 < D_* \leq 20, \\ 0.013 D_*^{0.29} & \text{for } 20 < D_* \leq 150, \\ 0.055 & \text{for } D_* > 150. \end{cases} \quad (3.2.8)$$

$D_*$ 는 입자크기에 관한 무차원 매개변수로서 다음과 같다.

$$D_* = \left\{ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right\}^{1/3} d_{50} \quad (3.2.9)$$

여기서,  $s(=\rho_s/\rho)$ 는 입자비중,  $\nu$ 는 해수의 동점성계수이다.

식 (3.2.7)을 이용하여 각 입경의 사질입자 이동에 필요한 임계전단응력을 구하여 표 3.2.19에 제시하였다. 한편, 식(3.2.1)과 (3.2.4)를 이용하여 유속과 파고 및 주기가 각각 0.4m, 1.0m, 6.5초일 때 수심에 따른 흐름전단응력  $\tau_c$ 와 파랑전단응력  $\tau_w$  및 그 합  $\tau_{cw}$ 을 구하여 표 3.2.20에 제시하였다.

표 3.2.20에 따르면 수심 2~13m의 수심 범위에서의 흐름에 의한 전단응력 범위는 0.48~0.30N/m<sup>2</sup>인 반면, 파랑에 의한 전단응력은 6.87~0.84N/m<sup>2</sup>로 월등히 크다. 이에 따라 각각에 의해 움직일 수 있는 사질입자의 입경한계도 큰 차이를 보여 표 3.2.19에 따르면 흐름의 경우가 약 0.6~1.0mm인 반면 파랑의 경우는 약 1.5mm 이상이다.

표 3.2.19 비점성퇴적물 입경별 이동한계 전단응력.

Size Class	$d_{50}$ (mm)	$\tau_{cr}$ (N/m <sup>2</sup> )
Very Fine Sand	0.0625	0.164346
	0.1250	0.164346
Fine Sand	0.1720	0.164346
	0.2000	0.166724
	0.2500	0.180670
Medium Sand	0.3000	0.192926
	0.3500	0.203935
	0.4000	0.213978
	0.4300	0.219622
	0.4500	0.226661
	0.5000	0.249206
Coarse Sand	0.5500	0.271527
	0.6000	0.293645
	0.6500	0.315579
	0.7000	0.337345
	0.7500	0.358956
	0.8000	0.380423
	0.8600	0.406008
	0.9000	0.450080
Very Coarse Sand	1.0000	0.515605
Very Fine Pebbles	2.0000	1.260798
	3.0000	2.127176
Fine Pebbles	4.0000	3.083006
	5.0000	4.111386
	6.0000	5.201541
	6.4500	5.710169

물론 파랑이 퇴적물의 純移動(net transport)에는 기여하지 못하지만 파고가 일정치 이상일 경우는 바람에 의한 풍성류가 존재하고 쇄파에 의한 해빈류가 발생함과 아울러 해역 고유의 흐름이 존재하므로 방지막에 의해 퇴적된 부유토사 대부분이 재부유되어 주변 해역으로 이동할 것으로 판단된다.

표 3.2.20 일정 유속·파랑조건하의 수심별 해저면 전단응력.

유속(m/s)	파고(m)	주기(s)	수심(m)	$\tau_c$ (N/m <sup>2</sup> )	$\tau_w$ (N/m <sup>2</sup> )	$\tau_{cw}$ (N/m <sup>2</sup> )
0.4	1.0	6.5	2	0.4792	6.8725	7.3517
			3	0.4306	4.7535	5.1841
			4	0.4005	3.6063	4.0067
			5	0.3792	2.8746	3.2538
			6	0.3631	2.3621	2.7252
			7	0.3502	1.9807	2.3309
			8	0.3396	1.6845	2.0241
			9	0.4407	1.4474	1.7780
			10	0.3230	1.2531	1.5761
			11	0.3162	1.0911	1.4073
			12	0.3102	0.9541	1.2644
			13	0.3049	0.8371	1.1420

파랑에 의한 해저퇴적물 재분포 예를 그림 3.2.39와 3.2.40에 제시하였다. 그림 3.2.39는 1998년 10월 2일 Landsat 위성사진으로서 집중호우로 인해 주위 하천에서 공급된 부유토사로 형성된 플룸이 해안으로부터 5km 이상 떨어진 수심 100m 이상 까지 전파함을 보인다. 위성사진은 확보하지 못하였으나 한국해양연구원(2000b)은 YSI6600을 계류하여 1999년 5월에 그림 3.2.39와 유사한 플룸에 의해 남대천 하구로부터 약 1km 떨어진 정점의 표층농도가 약 300 mg/l까지 증가함을 관측하였다. 이와 같은 탁도 플룸은 계절에 따라 주기적으로 형성되므로 파고가 높지 않다면 남대천 전면의 주변 해역, 특히 흐름이 약한 수심 5-10m 이하 천해역의 해저퇴적물은 세립화되었을 것이다. 그림 3.2.40은 주변 해저퇴적물 입경분포로서 수심 5-10m 이하의 입경이 상대적으로 조립함을 나타내며 이는 파랑에 의한 당연한 결과이다.

강릉 남대천 하구의 예는 해상상태가 정온한 시기에 방지막을 설치하여 일시적인 효과를 얻더라도 방지막 주변에 퇴적된 부유토사는 파랑에 의해 곧 재부유·이동될 것임을 암시한다. 따라서 개방된 파랑우세역에서의 항만 및 연안개발공사시 방지막을 설치하여 부유토사의 확산범위를 저감하려는 것은 무리한 기대라고 판단되며, 부산신항의 관측결과와 상기 계산결과로 미루어 방지막 효율 측면에서의 파고상한은 OMOE(1994)의 지침과 같이 1m이면 충분할 것으로 사료된다.

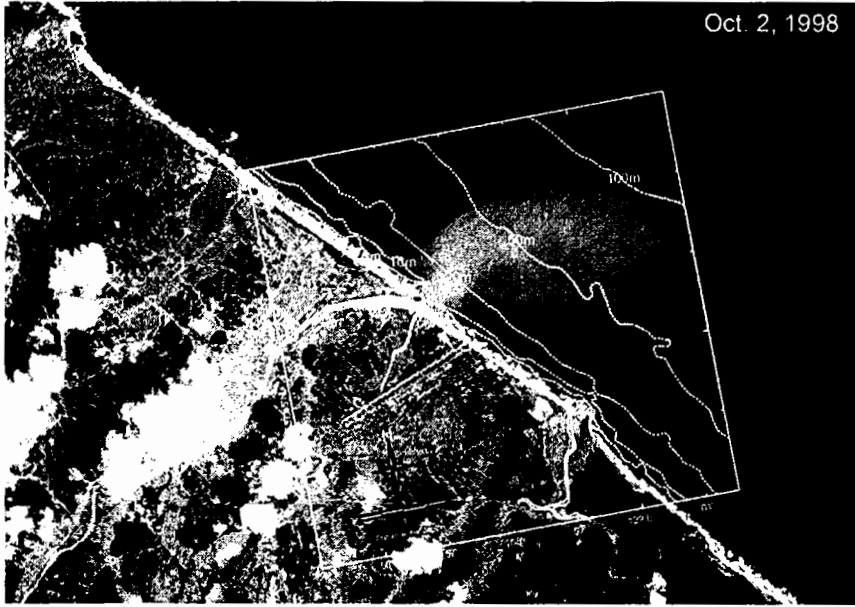


그림 3.2.39 집중호우로 형성된 강릉 남대천 하구 전면 해역의 부유퇴적물 플룸 (한국해양연구원, 2000b).

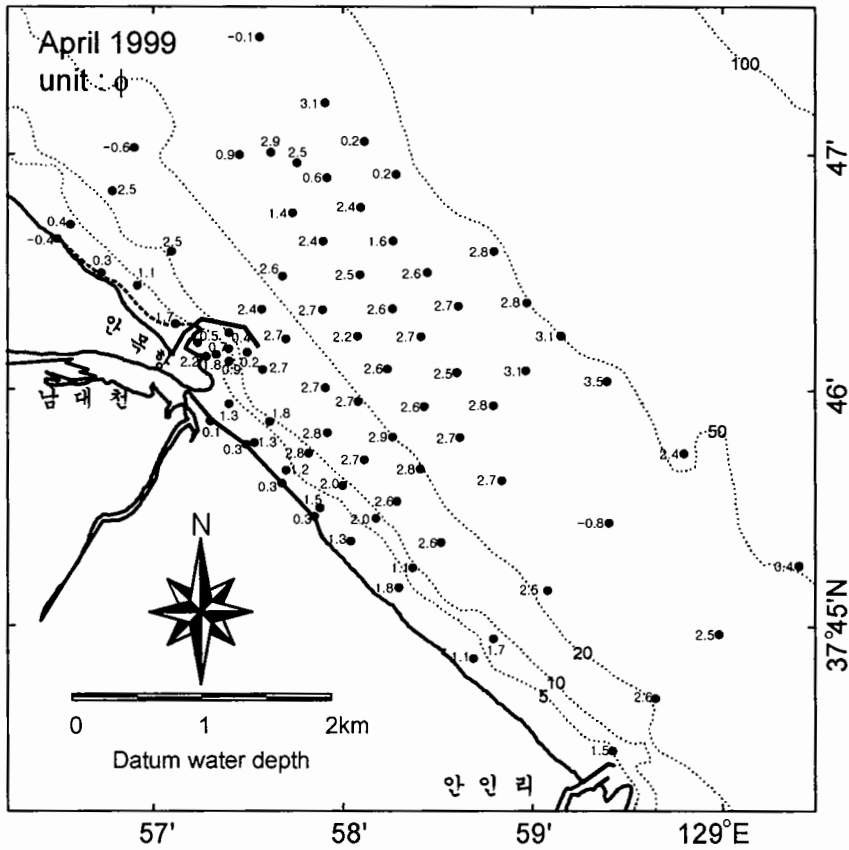


그림 3.2.40 집중호우 6개월 후의 해저퇴적물 평균입경 분포 (한국해양연구원, 2000b).

그러나 주변에 양식장과 산란장 등이 존재하면 부유퇴적물 농도에 대한 해역 민감도가 계절에 따라 다를 수 있다. 또한, 파랑은 흐름과는 달리 계절적인 변동이 크므로 악기상시 부유토사 재부유로 인해 궁극적으로는 방지막 효과가 없더라도 특정 시기의 부유퇴적물 농도 증가가 주변 연안생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있는 경우에는 이를 저감할 수 있는 방안을 강구하여야 할 것이다.

따라서 방지막 효과가 있는 기간과, 효과가 없음과 아울러 방지막 파손이 우려되는 기간이 포함되는 장기간에 걸친 공사가 부유토사 농도에 대한 계절적 민감도를 갖는 해역에서 수행될 경우에는 방지막 설치여부와 형식을 결정하는 기준이 필요하다.

현재 국내에서 주로 사용하고 있는 고정식 수하형으로는 방지막의 파손과 해역의 계절적 민감도를 동시에 만족시키기 어려우며, frame 썰이나 악기상시 부력체를 침하시키는 부침식이 효과적일 것으로 판단된다.

### (3) 오탉방지막 형식 및 배치

관련 연구가 가장 활발한 일본이 전술한 바와 같이 다양한 형식의 방지막을 사용하고 있는 것에 비해 국내는 공중에 상관없이 거의 대부분 고정식 수하형만 사용하고 있으며, 평면배치도 비효율적인 경우가 많다.

방지막 형식의 경우, 발생원이 全層인 grab이나 backhoe에 비해 CSD나 모래포설 없이 수행하는 경우가 있는 SCP와 같이 부유토사 발생원이 해저면임에도 수하형만을 설치하는 경우는 방지막 효과가 적다. 사실 유럽과 일본 등에서는 발생량이 상대적으로 적고 이동속도가 빠른 CSD의 경우는 방지막을 설치하지 않는다.

또한 수하형을 2중으로 설치하는 경우도 그 효율을 재고할 필요가 있다. 단일 방지막이 효과가 없어 2중으로 설치한다는 것은 막체에 도달한 대부분의 부유토사가 막체 하단과 해저면 사이를 통과한다는 것을 의미한다. 따라서 2번째 방지막은 저층 퇴적물의 이류·확산 저감에 초점을 맞추어야 하고 이를 위해서는 자립형 방지막이 효율적일 것이다.

대조차 해역, 즉 서해안 조간대에 오탉방지막을 설치하는 것도 재고되어야 한다. 대조차 해역이란 조차가 국내에서 많이 사용하는 막체폭 3m를 넘는 지역이며, 이러한 지역의 유속은 대부분 평균 20-30cm/s를 넘으므로 높은 효율을 기대하기는 어렵다고 판단된다.

매립지 여수토 외측에 설치된 방지막도 그 효과가 의심스럽다. 여수토를 통한 부유토사 유출을 억제하기 위해서는 부록 3에 수록한 설계·시공 요령(그림 A3.6.3, A3.6.4 참조)에서와 같이 流路延長 등을 유도하여 매립지 내에서의 침강을 촉진하는 방향으로 설치함이 바람직할 것이다.

또한 방지막 설치구간 내에 선박통행을 위한 개방구간이 너무 많은 것도 효율을 저하시키는 원인이다. 공사구간을 완전히 에워싸고 선박통행 구간에는 부침식 혹은 개폐식 방지막을 설치하는 것이 이상적이나 여의치 않다면 개방구간을 최소화하는 것이 필요하다.

#### 4. 오탉방지막 설치 및 유지관리 지침(案)

본 연구에 따르면 국내의 방지막 설치 및 유지관리 실태는 매우 비효율적이다. 방지막의 설치목적은 공사중 발생하는 부유토사의 해양생태계에 미치는 영향범위·정도의 저감이며, 이를 위해서는 대상해역 주요 생물이 견딜 수 있는 부유토적물 농도 범위를 파악함이 우선적으로 필요하다. 이에 대한 정량적 자료가 없는 실정에서 방지막 설치에 따른 생태 측면에서의 악영향 저감효율 계량화는 불가능하며, 효율이 의심스러운 실정에서 설치가 거의 의무적임에 따라 방지막 설치가 공사에 수반되는 요식행위로 인식되고 있음이 솔직한 국내 실태이다.

그러나 지역마다 다른 연안생태계 주요 구성 생물종의 생존에 결정적인 영향을 미칠 만한 수준의 부유토적물 농도가 어느 정도인가는 본 연구의 범위를 벗어나는 주제이며, 해양생물·생태학적인 정밀조사가 필요한 부분이다.

따라서 본 연구에서는 생태적 영향 유무와 정량적 정도 판단은 제외하고 단지 부유토적물 이동량 저감 측면에서의 효율만을 다루며, 국내외 설치·유지관리실태 조사와 효율 현장관측으로부터 얻은 현재까지의 자료에 근거하여 관련 지침을 다음과 같이 제안한다. 향후 본 지침의 주기적인 보완이 필요하다.

##### 가. 설치 수리조건

###### (1) 유속

- 평균유속이 20~30 cm/s인 해역에서의 고정식 수하식 오탉방지막의 부유토사 이동량 저감효율은 20~30%에 불과하므로 이를 상회하는 효율을 기대할



경우에는 현재와 같은 수준의 설치는 재고함이 바람직하다.

- 생태적으로 중요한 연안역이나 평균유속이 20~30 cm/s를 초과하는 경우,
  - 정지준설(Grab, Backhoe 등)에 한하여 작업가능유속이 발생하는 시간내에 frame 型 등의 제한적인 오탉방지막을 사용하거나,
  - 기대효율에 부합하는 2중 방지막 설치를 고려할 필요가 있다(수하형+자립형 등의 조합형, 막체폭과 방지막간 거리 등은 정밀검토 필요).
- 유속이 매우 작은 해역에서는 가능하면 저면 부근까지 설치한다.

## (2) 파랑

- 파고 1m 이상인 해역에서는 오탉방지막 효과가 적으므로 설치를 신중히 검토해야 한다.
- 동해안과 같이 악기상시 파고는 높으나 평균유속이 20~30 cm/s 이하인 해역이 생태적으로 부유토사에 민감할 경우,
  - 정온시기의 정지준설시 frame 型 등의 제한적인 방지막을 사용하거나
  - 부침식을 고려하는 것이 바람직하다.

## 나. 오탉방지막 형식 및 평면배치

- 2중 오탉방지막을 설치할 필요가 있을 때는 수하형과 자립식을 적절히 이격시켜 설치함이 바람직하며, 자립형의 막체폭과 수하형의 막체폭의 합이 최소한 수심과 같거나 큰 것이 효율 제고에 도움이 된다.
- 선박통행 구간은 부침식이나 개폐식으로 설치하는 것이 바람직하나 여의치 않을 경우에는 개방구간을 최소화한다.
- 오탉방지막을 매립지 내에 설치하여 유로연장 등에 의한 퇴적축진을 도모하는 것이 바람직하다.
- 작업에 지장을 주지 않는 한도내에서 가능하면 작업지역과 가까운 거리에 설치하여 부유토사의 확산을 효율적으로 저감시킴과 아울러 선박에 의한 훼손을 방지하도록 한다.
- 막체폭은 대상해역의 수심, 유속 및 해저면 조건 등을 고려하여 결정하되, 방지막이 훼손되지 않고 해저면의 재부유·침식이 발생하지 범위에서 가능한 해

저면 근방까지 설치한다.

- 펌프 및 호퍼준설선 작업시에는 방지막을 설치할 필요가 없으나 생태적으로 민감한 해역의 경우는 작업시기를 조절하거나 민감해역에 한하여 제한적으로 설치함이 바람직하다.
- 공사시 저감효과를 검증하여 필요시 위치와 방법 등을 재조정한다.

#### 다. 유지관리

- 사업시행전 계획한 바와 같이 오탉방지막 정기점검을 철저히 시행하여야 하며, 이를 위해 표준보수점검표를 기록함이 바람직하다(표준보수점검 요령은 예는 부록 3의 표 A3.5.1~A3.5.3 참조).
- 공사종료시까지의 유지관리 및 필요한 경우의 교체 경비를 관련 공사 설계단계에서 현실적으로 반영해야 한다.

#### 라. 기 타

- 항만 등 연안개발 공사시 어느 정도의 부유토사 발생은 피할 수 없으며, 이의 이류·확산을 오탉방지막으로 저감시킬 수 있는 정도는 지극히 제한적이다. 따라서 유속이 빠르거나 파고가 높은 해역의 경우는 지역주민과의 협의 단계에서 불필요한 오탉방지막을 설치하지 않고 환경피해를 저감할 수 있는 방안을 강구하는 것이 바람직하다.

예 ① 부유토사에 민감한 수역이 낙조시 공사지점 하류측에 있으면 창조시에만 시공함.

② 유속 변동범위가 큰 해역에서는 최강창낙조 시기에 공사를 중지함.

- 환경적으로 민감한 해역이나 주변에 양식장 또는 주요 수산생물의 산란장 혹은 성육장이 존재하여 이중오탉방지막 설치 등 특별한 대책이 필요한 경우에는 방지막 형식 선정과 배치도 결정단계에서 지역주민을 참여시켜 가능한 한 설치효율을 극대화한다.
- 사전환경영향평가 단계의 수치모형실험시 특별한 근거 없이 방지막 효율을 높게(예, 50% 이상) 설정하는 것은 재고되어야 한다.

### 제3절 부유퇴사 이송·확산 예측 시스템 개발

#### 1. 서론

환경보존에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라 준설 등의 항만 공사에서 발생하는 부유퇴적물이 연안생태계에 미칠 수 있는 악영향의 범위·정도를 신뢰성 있게 예측하고, 효과적인 대처방안을 도출하는 것이 점차 중요해지고 있다.

이러한 예측을 위해 일반적으로 수치모형실험을 수행한다. 그러나 전술한 바와 같이 퇴적물의 거동, 특히 점착성 미세퇴적물의 응집, 침강속도, 압밀, 침식, 그리고 죽뵐(fluid mud) 거동에 관한 과학적 이해가 아직 충분하지 않기 때문에 이들이 변수로 포함되어 있는 퇴적물이동 수치모형의 오차범위가 해수유동 및 파랑변형 수치모형에 비해 크다. 따라서 상용화된 퇴적물이동 수치모형이라도 충분한 현장관측을 통한 관련 변수의 검증이 선행되지 않으면 그 적용결과를 신뢰할 수 없다.

비록 적용 수치모형이 충분한 현장검증을 거쳤더라도 시공시에 발생한 악영향의 정도·범위가 사전환경영향평가의 예측치보다 클 수도 있으며, 이러한 경우가 생태적 가치가 높은 곳에서 발생한다면 모형의 재검증·재예측을 통하여 대책안을 가능한 한 신속하게 마련하여야 한다. 그러나 이러한 신속한 대응도 부유퇴적물 농도 등의 환경인자를 시공중 실시간으로 모니터링할 경우에만 가능한 것이며, 현재 국내에서 의무적으로 시행되고 있는 사후환경영향평가에서의 분기별 관측만으로는 어렵다. 이러한 체계의 성공적인 사례, 즉 연안공사와 관련하여 진정한 의미에서의 '환경이 감당할 수 있는 범위내에서의 지속 가능한 개발'의 한 방법을 제시한 예가 전술한 Øresund 해협 준설시의 '피드백 모니터링 시스템'이다(그림 1.1.3).

피드백 모니터링 시스템은 환경인자 모니터링과 수치모형실험을 근간으로 구성된다. 그러나 수치실험을 전문가만이 수행할 수 있고 실험준비시간이 많이 소요된다면 실시간 모니터링의 가치가 퇴색될 것이고 효율적인 대응방안을 신속하게 도출하는데 한계가 따른다. 따라서 전문가 시스템(expert system)에 준하는 신속한 예측 시스템을 구축하여 실시간 모니터링과 연계하는 것이 필요하다.

경제 규모에 부응하는 환경선진국으로의 도약이 당면과제인 우리 나라에도 머지 않아 연안공사시 피드백 모니터링 시스템이 도입될 것으로 예상된다. 이에 따라 본 연구에서는 향후의 피드백 시스템의 기틀을 마련하고 공사중의 부유퇴적물 발생

으로 인해 발생할 수 있는 돌발적 사태를 항만관리자가 효과적으로 대처할 수 있도록 하기 위하여 군산 해역을 선정하여 부유퇴적물의 원역 이송·확산 예측에 관한 전문가 시스템, KUSSMOS(KUSan SS MOdeling System)를 구축하였다.

KUSSMOS는 부유토사의 실시간 이동 상황을 항만공사 관련자가 쉽게 파악할 수 있도록 GUI(Graphic User Interface) 상에서 운영되는 시스템으로서 공사시작시간, 위치, 기간, 부유토사 발생량을 Window상에서 입력하면, 부유사 이동범위 및 농도를 바로 계산하여 그 결과를 동영상을 포함한 그래픽으로 제공한다.

이에 덧붙여 비교적 단순한 지형 및 수리조건하에서 준설이 근역에 미치는 영향을 신속하게 파악할 목적으로 미국 Cornell 대학과 EPA가 개발한 길이축적모형 D-CORMIX를 아산항과 군산항의 준설상황에 대해 적용하여 국내 이용가능성을 살펴보았다.

## 2. KUSSMOS

### 가. 기본방정식 및 수치기법

#### (1) 해수유동

KUSSMOS는 2차원 해수유동 예측모형과 부유사확산 예측모형으로 구성되며, 해수유동모형의 경우 천수방정식의 수치해를 유한요소법으로 구한다. 장파에 의한 해수유동을 나타내는 수심적분된 평면2차원 천수방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (3.3.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Uq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Uq_y) = & -gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + fq_y \\ & - \frac{gq_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{C^2 H^2} + \frac{\partial F_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yx}}{\partial y} \end{aligned} \quad (3.3.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Vq_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Vq_y) = & -gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - fq_x \\ & - \frac{gq_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{C^2 H^2} + \frac{\partial F_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} \end{aligned} \quad (3.3.3)$$

여기서,  $t$ =시간,  $x, y$ =직교좌표,  $\eta$ =평균해면( $h$ )으로부터의 해수면변위,  $H$ =총수심 ( $=h+\eta$ ),  $q_x, q_y$ = $x, y$ -방향 단위폭당 유량,  $U, V$ = $x, y$ -방향 수심평균유속,  $f$ =코리올리상수,  $g$ =중력가속도,  $C$ =Chezy의 마찰계수( $=H^{1/6}/n$ ),  $n$ =Manning의 조도계수,  $F_{xx} = E_{xx}(\partial q_x/\partial x)$ ,  $F_{xy} = F_{yx} = E_{xy}(\partial q_x/\partial y + \partial q_y/\partial x)$ ,  $F_{yy} = E_{yy}(\partial q_y/\partial y)$ ,  $E_{xx}$ ,  $E_{yy}$ ,  $E_{xy}$ =운동량 확산계수이다.

식 (3.3.1)~(3.3.3)을 Galerkin 방법에 의해 유한요소화하여 계산하였으며, 격자 형태로는 삼각형 격자를, 보간함수는 lumped 형태를, 계산방법으로는 양해법을 사용하였다. 유한요소화 과정은 다음과 같다.

미지수  $\eta, q_x, q_y$ 는 다음과 같이 선형 보간함수에 의하여 표현하였다.

$$\eta = \langle N_i \ N_j \ N_k \rangle \begin{bmatrix} \eta_i \\ \eta_j \\ \eta_k \end{bmatrix} = \langle N \rangle (\eta) \quad (3.3.4)$$

$$q_x = \langle N_i \ N_j \ N_k \rangle \begin{bmatrix} q_{xi} \\ q_{xj} \\ q_{xk} \end{bmatrix} = \langle N \rangle (q_x) \quad (3.3.5)$$

$$q_y = \langle N_i \ N_j \ N_k \rangle \begin{bmatrix} q_{yi} \\ q_{yj} \\ q_{yk} \end{bmatrix} = \langle N \rangle (q_y) \quad (3.3.6)$$

여기서,  $N$ 은 보간함수 또는 가중함수로 절점의 공간좌표에 의하여 다음과 같이 정의된다.

$$N_i(x, y) = \frac{(a_i + b_i x + c_i y)}{2\Delta} \quad (3.3.7)$$

여기서,

$$\begin{bmatrix} a_i = x_j y_k - x_k y_j \\ b_i = y_i - y_k \\ c_i = x_k - x_j \end{bmatrix} \text{ Permutations on } i, j, k$$

$$\Delta = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{bmatrix} (= \text{Element area})$$

식 (3.3.4)~(3.3.7)과 Galerkin 방법(Chung, 1978)을 사용하여 식 (3.3.1)~(3.3.3)

을 유한요소화하면 다음과 같다.

$$\sum_{e=1}^n \int_{\Delta} \langle N \rangle^T [\langle N \rangle \dot{\eta} + \langle N_x \rangle (q_x) + \langle N_y \rangle (q_y)]_e dA = 0 \quad (3.3.8)$$

$$\begin{aligned} \sum_{e=1}^n \int_{\Delta} (\langle N \rangle^T [\langle N \rangle (q_x) + \langle N_x \rangle (\frac{-qx^2}{H}) + \langle N_y \rangle (\frac{qxqy}{H}) \\ + g \langle N \rangle H \langle N_x \rangle \eta - f \langle N \rangle q_y + g \langle N \rangle \\ + \frac{q_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{C^2 H^2}] + \langle N_x \rangle^T F_{xx} + \langle N_y \rangle^T F_{yy})_e dA = 0 \end{aligned} \quad (3.3.9)$$

$$\begin{aligned} \sum_{e=1}^n \int_{\Delta} (\langle N \rangle^T [\langle N \rangle (q_y) + \langle N_x \rangle (\frac{qxqy}{H}) + \langle N_y \rangle (\frac{qy^2}{H}) \\ + g \langle N \rangle H \langle N_y \rangle \eta + f \langle N \rangle q_x + g \langle N \rangle \\ + \frac{q_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2}}{C^2 H^2}] + \langle N_x \rangle^T F_{xy} + \langle N_y \rangle^T F_{yx})_e dA = 0 \end{aligned} \quad (3.3.10)$$

Lumped된 형태의 보간함수의 적분은 다음과 같다.

$$\int_{\Delta} \langle N \rangle^T dA = \frac{A}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3.3.11)$$

$$\int_{\Delta} \langle N \rangle^T \langle N \rangle dA = \frac{A}{12} \begin{pmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \cong \frac{A}{3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.3.12)$$

식 (3.3.8)~(3.3.10)을 행렬식 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$[M] \{ \dot{\eta} \} = \{ F_{\eta} \} \quad (3.3.13)$$

$$[M] \{ \dot{q}_x \} = \{ F_x \} \quad (3.3.14)$$

$$[M] \{ \dot{q}_y \} = \{ F_y \} \quad (3.3.15)$$

식 (3.3.13)~(3.3.15)는 다음의 시간적분식에 의하여 연속적으로 계산한다.

$$[M] \{ \dot{\eta} \} = \{ F_{\eta}(q_n, \eta_{n-1/2}) \} \quad (3.3.16)$$

$$\{ \eta \}_{n+1/2} = \{ \eta \}_{n-1/2} + \Delta t \{ \dot{\eta} \} \quad (3.3.17)$$

$$[M_q]\{\dot{q}\} = \{F_q(q_n, \eta_{n+1/2})\} \quad (3.3.18)$$

$$\{q\}_{n+1} = \{q\}_n + \Delta t \{\dot{q}\} \quad (3.3.19)$$

수치계산시 초기조건은 모든 계산영역에서의 유속이 0이며, 육지경계조건으로  
는 경계에서 유속의 수직성분이 0이 되도록 하였다. 군산 해역에 널리 존재하는 조  
간대 처리는 정 등(1992)을 참고하였다.

외해 개방경계조건으로는 경계면상 각 격자점에서 주요 4개 분조들의 조화상수  
를 이용하여 다음 식으로 주었다.

$$\eta(x, y, t) = \sum_{i=0}^4 f_i A_i(x, y) \cos[w_i t - (V_{0i} + U_i) - g_i] \quad (3.3.20)$$

여기서,  $A_i(x, y) = i$  분조의 진폭,  $w_i = i$  분조의 각속도,  $f_i =$ 진폭과 위상의 18년  
변화를 고려한 진폭 보정계수,  $V_{0i} =$ Greenwich 자오선에서  $t = 0$  시각  $i$ 분조의 위  
상,  $U_i =$ 경년변화를 고려한 위상 보정계수,  $g_i =$ 동경  $135^\circ$ 를 기준으로 한  $i$  분조  
의 위상이다.

식 (3.3.20)에서 보정계수는 Easton(1977)을 참고하였다. 모형에서는 계산을 원  
하는 날짜를 입력하면 모형의 개방경계에 있는 격자점에 대해 식 (3.3.20)을 이용한  
조위예측이 가능하도록 최와 이(1986), 군산지방해양수산청(2001) 등을 참고하여 4  
개 분조의 조화상수를 미리 입력자료로 준비하여, 매 계산시각마다 개방경계에서  
조위예측이 가능하도록 하였다.

## (2) 부유토사 이송·확산 모형

KUSSMOS는, 이송·확산 차분과정에서 발생하는 수치분산을 저감하여 확산을 비  
교적 정확히 모의할 수 있고, 결과 가시화가 용이하여 부유토적물 또는 오염물질  
확산문제 해석에 널리 사용되고 있는 입자추적법(particle tracking method)을 사용  
한다.

李 等(1995)은 2차원 입자추적모형을 개발하고 해석해와 비교·검증하였고, 徐  
(1996)는 Lagrangian 방법인 입자추적모형과 Eulerian 방법인 유한요소법을 결합  
한 Eulerian-Lagrangian모형을 수립하여 부유사 확산을 모의하고 고농도 모의시에

는 Lagrangian 방법이, 저농도 모의시는 Eulerian 방법이 효율적임을 언급하였다. 조 등(1997)은 입자추적모형을 사용하여 1차원 염분확산을 모의하였고, 김 등(2000), Kim *et al.*(2001)은 3차원 입자추적모형을 사용하여 방류관을 통해 하수종말처리장 으로부터 연안으로 방류되는 입자성 오염물질 확산을 예측하였다. Hathhorn(1997)은 난수발생함수(random number generation funtion)로 비정규분포를 가정한 1차원 확산모형의 효율성을 입증하였으며, Dearnaley *et al.*(1999)은 준설플룸 거동 예측시 의 플룸모형과 입자추적모형을 비교·검토하였다. 한편, Smith and Scott(1997)는 입자추적법이 조석환경하에서의 확산현상을 모의하는데 유용함을 밝히고, 방류위치, 방류시기, 방류속도의 적절한 선택이 환경영향을 저감하는 데 중요함을 언급하였다.

KUSSMOS의 수심적분된 2차원 부유토사 이송·확산방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial Hc}{\partial t} + \frac{\partial UHc}{\partial x} + \frac{\partial VHc}{\partial y} = & \frac{\partial}{\partial x} \left( HD_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left( HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( HD_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3.3.21)$$

여기서,  $c$ 는 농도이고  $D_{xx}$ ,  $D_{xy}$ ,  $D_{yy}$ 는 분자·난류확산과 수심평균효과를 포함하는 분산계수(dispersion coefficient)이다. 위 식의 양변에 다음 식 (3.3.22)와 같은 항을 양변에 더하여 정리하면

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial(D_{xx}H)}{\partial x} c \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial(D_{xy}H)}{\partial y} c \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\partial(D_{xy}H)}{\partial x} c \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\partial(D_{yy}H)}{\partial y} c \right\} \quad (3.4.22)$$

좌변의 두 번째 항은 다음과 같고

$$\frac{\partial UHc}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial(D_{xx}H)}{\partial x} c \right\} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( U + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \right) Hc \right\} \quad (3.3.23)$$

같은 방법으로 좌변을 모두 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(UHc)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left( U + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \right) Hc \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left( V + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{D_{yy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \right) Hc \right\} \end{aligned} \quad (3.3.24)$$

또한 식 (3.3.21)의 우변에 대해 정리하면 첫 번째 항은 다음과 같이 되고



$$\frac{\partial}{\partial x} \left( HD_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial(D_{xx}H)}{\partial x} c \right\} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial(HD_{xx}c)}{\partial x} \right\} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D_{xx}Hc) \quad (3.3.25)$$

같은 방법으로 우변을 모두 정리하면,

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (D_{xx}Hc) + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (D_{xy}Hc) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (D_{yy}Hc) \quad (3.3.26)$$

식 (3.3.25)와 (3.3.26)을 사용해서 식 (3.3.24)를 정리하고 source항을 고려하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U' C) + \frac{\partial}{\partial y} (V' C) &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D_{xx} C) + 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (D_{xy} C) \\ &+ \frac{\partial^2}{\partial y^2} (D_{yy} C) + Q_s + Q_{sb} \end{aligned} \quad (3.3.27)$$

$$U' = U + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \quad (3.3.28)$$

$$V' = V + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{yy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \quad (3.3.29)$$

여기서,  $Q_s$ 는 공사시 단위시간당 부유사 발생량이며,  $Q_{sb}$ 는  $E - D$ ,  $E$ 와  $D$ 는 각각 침식량과 퇴적량이다.

$\vec{X} = \vec{X}(t)$ 에 있는 부유입자는 확정론적인 부분인 이송과정과 불규칙하게 움직이는 확산과정에 따라  $\Delta t$ 시간 후의 위치  $\vec{X}(t + \Delta t)$ 는 다음과 같다.

$$\vec{X}(t + \Delta t) = \vec{X}(t) + \vec{V}' \Delta t + \vec{x}'_i \quad (3.3.30)$$

$\vec{x}'_i$ 는 분산에 의한 이동으로  $i$  방향 성분은 다음과 같다.

$$x'_i = U'_i \Delta t = \sqrt{2D_i/\Delta t} \cdot RAN \cdot \Delta t \quad (3.3.31)$$

여기서,  $U'_i$ 은  $i$  방향 분산속도,  $D_i$ 는  $i$  방향 분산계수,  $RAN$ 은 평균치 0, 분산 1인 정규분포를 만족하는 -1과 1사이에서 변하는 난수이다.

Elder(1959)에 의하면 종방향 확산계수  $D_L$ 은 다음과 같다.

$$D_L = 5.93 H U_* \quad (3.3.32)$$

여기서,  $U_*$ 는 마찰속도로 다음과 같다.

$$U_* = \frac{\sqrt{g}}{C} \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3.3.33)$$

횡방향 확산계수는 다음과 같다.

$$D_T = \alpha H U_* \quad (3.3.34)$$

$\alpha$ 는 장소에 따라 다르며 하구에서 염도실험 결과에 의하면 0.4~1.6이다(Fischer *et al.*, 1979).

유속의 종방향 및 횡방향 분산속도는 다음과 같으며

$$u'_L = \sqrt{2D_L/\Delta t} \cdot RAN \quad (3.3.35)$$

$$u'_T = \sqrt{2D_T/\Delta t} \cdot RAN \quad (3.3.36)$$

분산속도의  $x$ ,  $y$  방향 성분은 다음과 같다.

$$u' = u'_L \cos \theta - u'_T \sin \theta \quad (3.3.37)$$

$$v' = u'_L \sin \theta + u'_T \cos \theta \quad (3.3.38)$$

여기서,  $\theta = \tan^{-1}(v/u)$  이다.

식 (3.3.37)과 (3.3.38)을 이용해서 구한 분산속도와 식 (3.3.28)과 (3.3.29)를 이용해서 구한 이송속도를 이용해서 새로운 위치를 식 (3.3.30)으로부터 계산한다.

이송속도를 구하기 위해서는 현재 위치에서의 유속, 수심이 필요하다. 해수유동 모형에서 계산된 결과는 삼각형 유한요소의 꼭지점에서 존재하므로 이를 다음과 같이 보간하여 입자의 현재 위치에서 값  $Z$ 를 다음과 같이 계산하였다.

$$Z = \sum_{i=1}^3 \frac{Z_i}{r_i^\beta} \bigg/ \sum_{i=1}^3 \frac{1}{r_i^\beta} \quad (3.3.39)$$

$$r_i = \sqrt{d_i^2 + \delta^2} \quad (3.3.40)$$

여기서,  $Z_i$ =삼각형격자의 절점  $i$ 에서 값,  $r_i$ =현재 위치와 유한요소내 삼각형 절점사이의 유효거리,  $d_i$ =현재 위치와 유한요소내 삼각형 절점사이의 거리,  $\beta$ =가중치,  $\delta$ =평활치(smoothing parameter)이다.

침강속도  $w_s$ 는 다음 식을 사용해서 구하였다(Cheng, 1997).

$$w_s = \frac{\nu}{d} [\sqrt{25 + 1.2d_*^2} - 5]^{1.5} \quad (3.3.41)$$

여기서,  $\nu$ =물의 동점성계수,  $d$ =입경,  $d_*$ =입자변수( $= d[(s-1)g/\nu^2]^{1/3}$ ),  $s$ =퇴적물의 비중이다.

## 나. 수치모형 검증 및 적용

### (1) 해수유동

그림 3.3.1과 같이 위도 35°53'36"N-36°27'N, 경도 126°28'24"E-126°45'37"E 영역에 대해 유한요소망을 구성하였으며, 수심 및 지형자료는 수치해도 No. 305를 사용하였다. 유한요소 격자의 크기는 150-700 m로 총격자수는 4,147개, 총요소수는 7,822개로 구성하였다. 계산시간 간격은 8초이며, 수치지도와 수심측량 성과로부터 재작성된 모델영역의 수심분포는 그림 3.3.2와 같다.

2001년 7월 3일에서 18일까지 개경계에서 조위를 주요 4개 분조( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )의 조화상수와 식 (3.3.20)을 사용하여 예측한 결과를 개방경계조건으로 활용하여 모의한 결과와 내항과 외항에서 관측한 조위를 조화분석하여 얻은 주요 4개 분조의 조화상수(군산지방해양수산청, 2001)를 이용하여 조위를 예측한 결과를 비교·검증하였다. 관측조위와 예측조위를 비교한 그림 3.3.3과 그림 3.3.4에 따르면 내항과 외항에서의 모의결과가 관측치와 잘 일치하여 KUSSMOS의 해수유동모형이 조위변화를 거의 정확하게 재현함을 확인할 수 있었다.

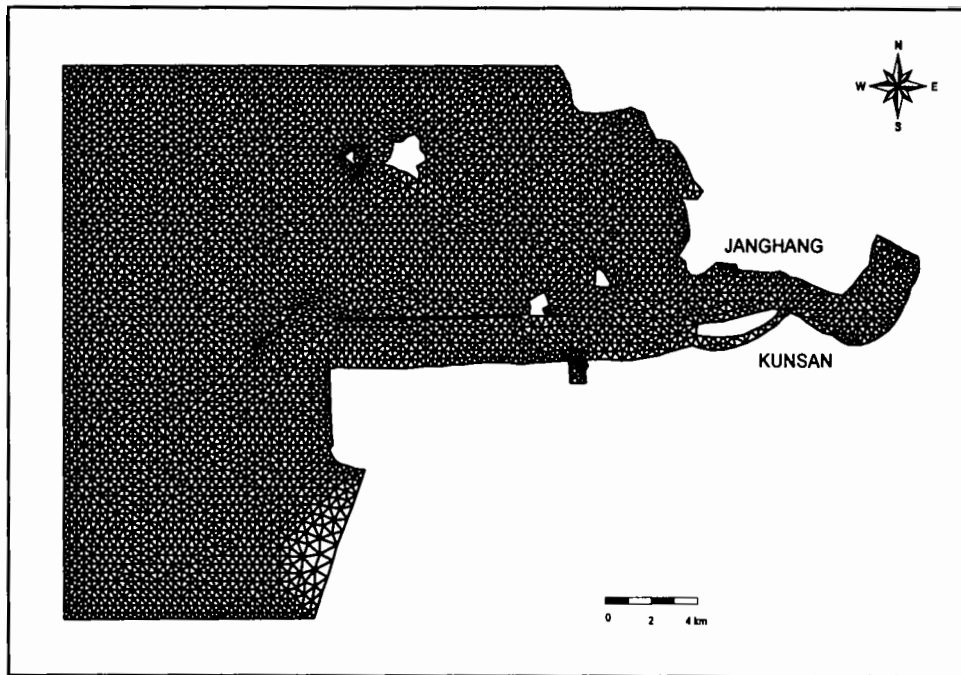


그림 3.3.1 군산 해역 조류·부유사 확산모의를 위한 유한요소격자망.

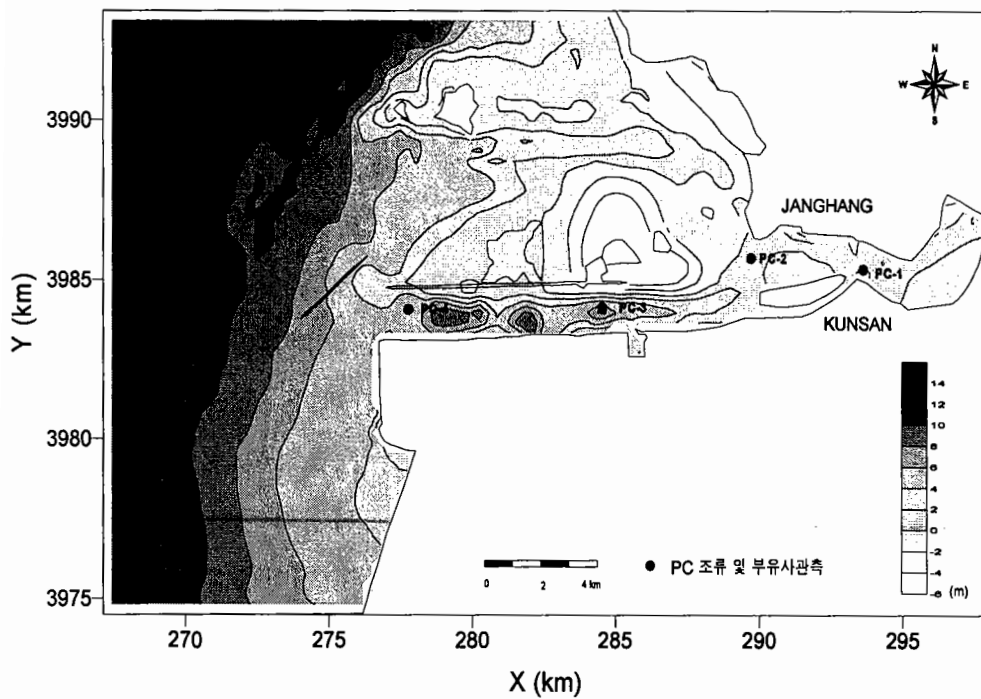


그림 3.3.2 군산 해역 수심도 및 조류 관측 위치도.

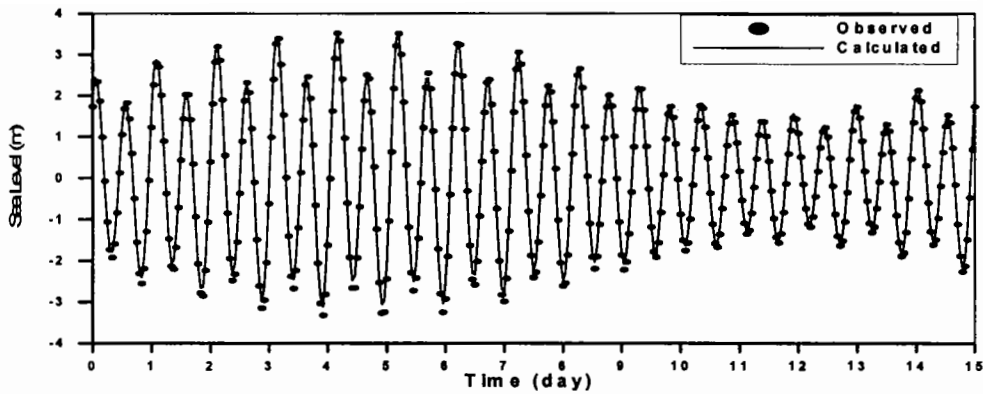


그림 3.3.3 모형 계산조위와 예측조위의 비교(군산 내항).

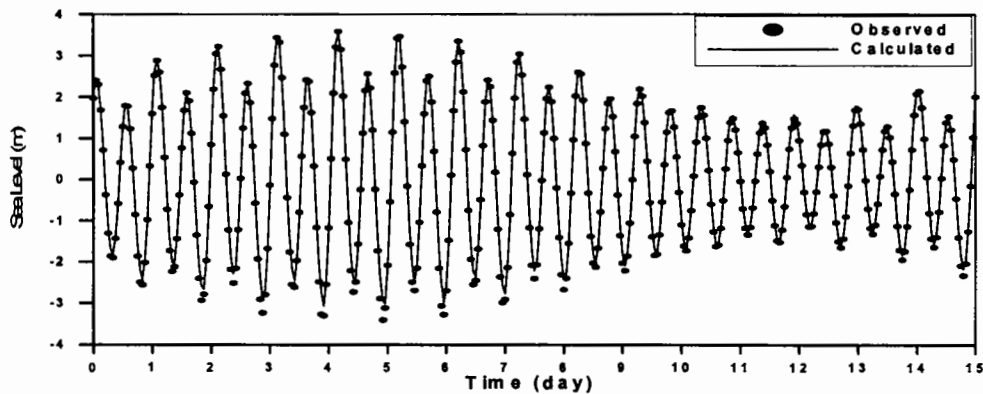


그림 3.3.4 모형 계산조위와 예측조위의 비교(군산 외항).

그림 3.3.2에 표기된 PC-1, PC-3, PC-4의 중층에서 2001년 7월에 관측된 15일 간의 유속 시계열(군산지방해양수산청, 2001)과 본 모형의 예측치와의 비교를 그림 3.3.5~3.3.7에 제시하였다. 그림에서 +와 -는 각각 창조류와 낙조류를 의미한다. 내항 부근인 PC-1의 경우, 낙조시 관측된 일부 큰 유속이 모의결과에는 재현되지 않았다. 이는 PC-1 부근 수심이 전반적으로 얕고 조간대가 분포하고 있어 약간의 위치 차이에도 큰 유속변화를 보일 수 있으므로 관측중 조류에 따라 계류된 기기위치가 이동했을 가능성과 모형의 격자망이 조밀하지 못하거나 수심자료의 오차에 인한 것으로 추정된다. 그러나 다른 지점에서도 그 기간의 계산유속이 관측유속보다 낮은 결과를 보이는 것으로 미루어 금강으로부터 유입되는 담수의 영향, 바람, 지형적 요인 등이 복합되어 나타난 것으로 보인다. 예측 정확도 개선을 위해 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다. PC-3과 PC-4에서 결과는 약간의 유속크기 차이를 제외하고는 전반적으로 관측유속과 일치하는 양호한 계산결과를 보였다.

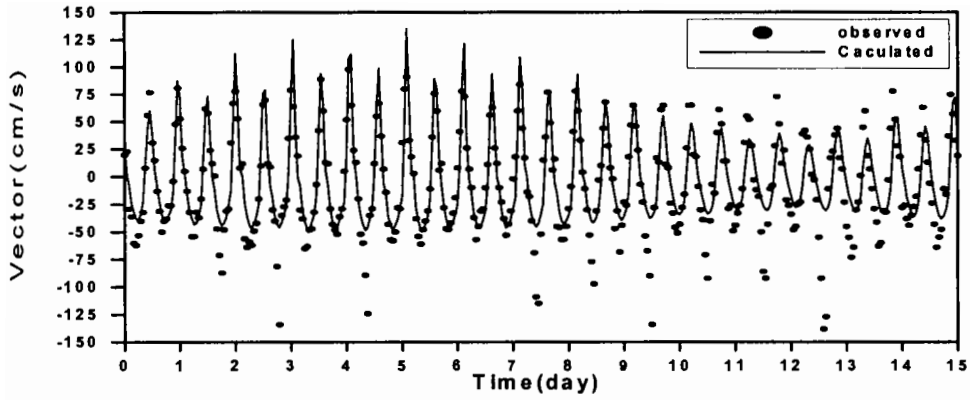


그림 3.3.5 조류 검증결과(PC-1).

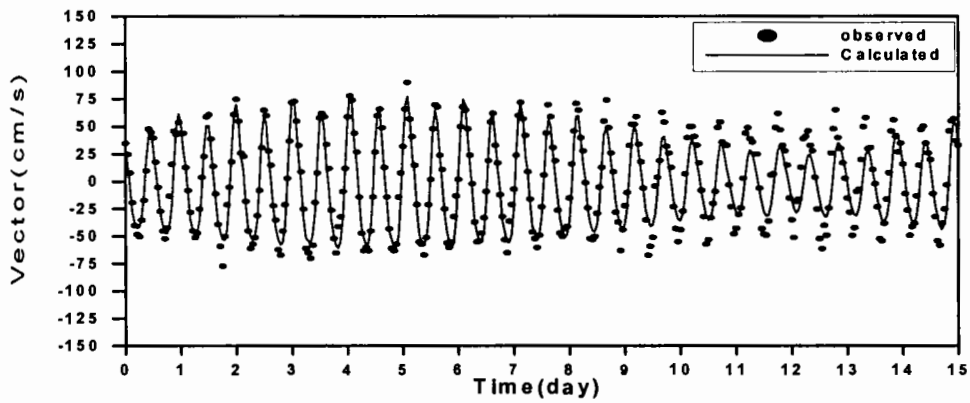


그림 3.3.6 조류 검증결과(PC-3).

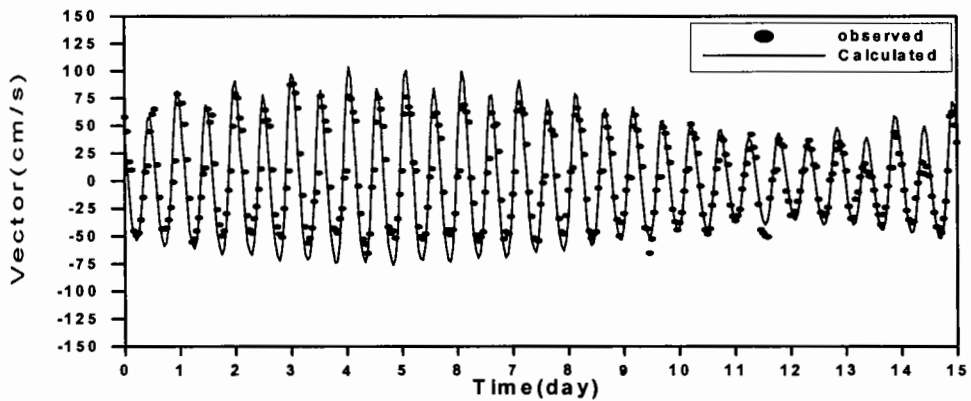


그림 3.3.7 조류 검증결과(PC-4).

검증기간에 대한 모형계산치 중 대조기 조류분포를 그림 3.3.8~3.3.11에, 소조기 조류분포는 그림 3.3.12~3.3.15에 제시하였다. 대조기에는 전반적으로 유향이 창조시에는 수로를 따라 西에서 東으로, 낙조시는 東에서 西로 흐르는 모습을 보였다. 창조시 대부분의 외해수가 북도류제와 외항 사이에 위치한 수로를 통해 빠르게 유입되었으며, 일부는 모델영역 중앙부 간사지 우측에 위치한 개야수로를 통해 유입하였다. 유속 크기는 내항쪽으로 갈수록 금강하구언에 의한 조류소통 차단으로 인하여 점차 감소하였다. 낙조시는 창조시와 방향이 반대되는 모습을 보였다. 소조기 흐름패턴은 대조기에 비해 유속 크기가 작은 것을 제외하고는 대조기와 거의 동일하다.

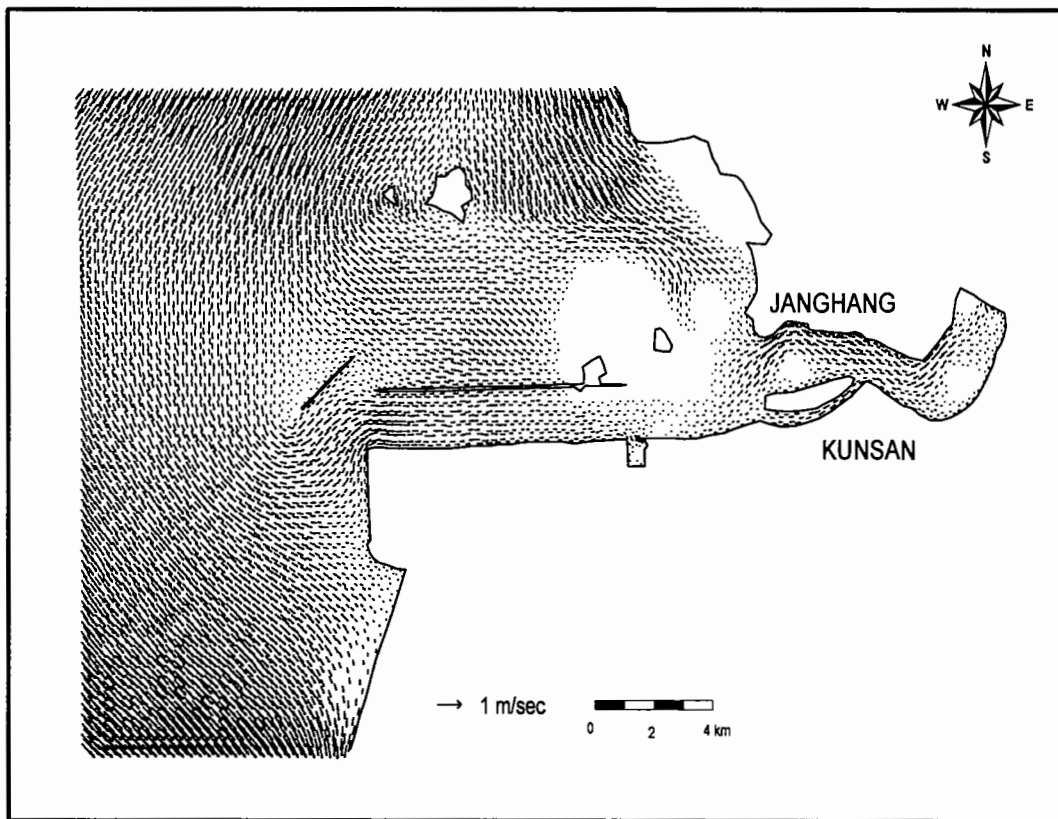


그림 3.3.8 대조기 저조시 유속분포도.

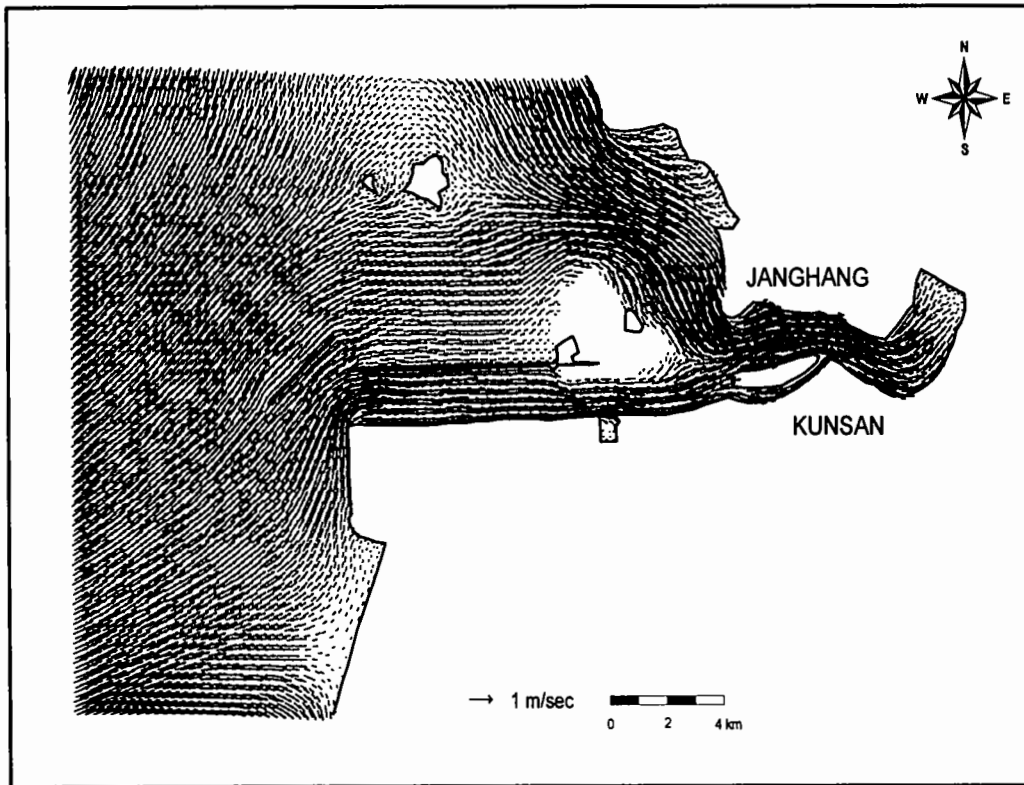


그림 3.3.9 대조기 창조시 유속분포도.

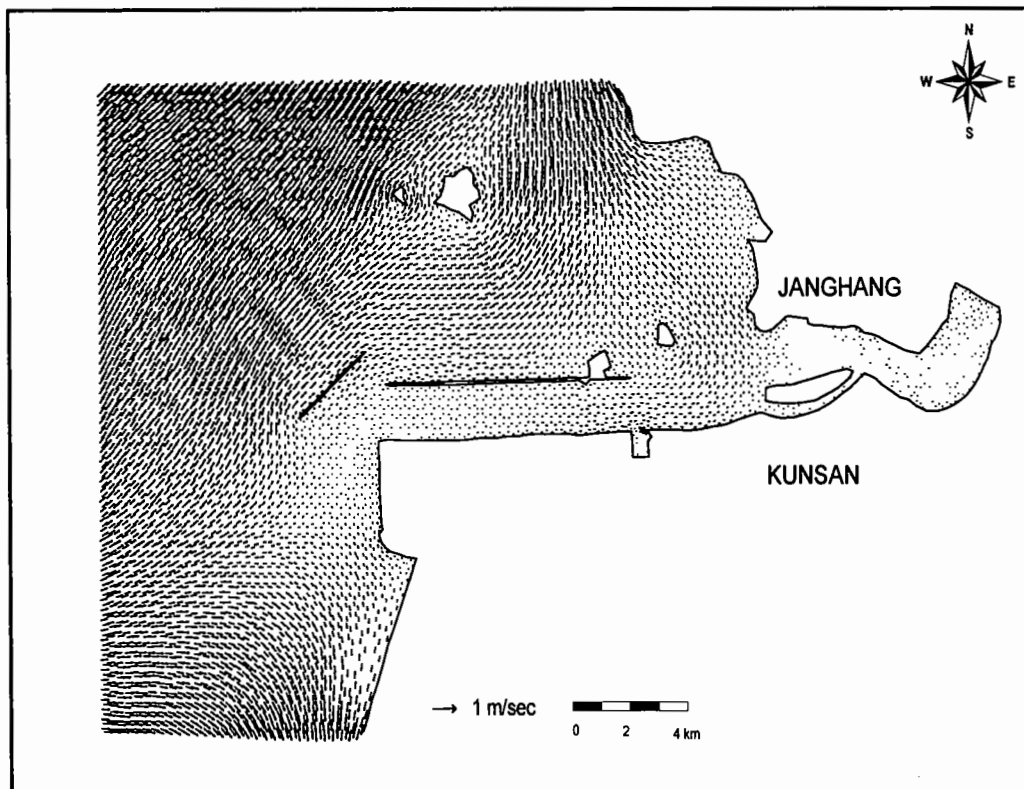


그림 3.3.10 대조기 고조시 유속분포도.



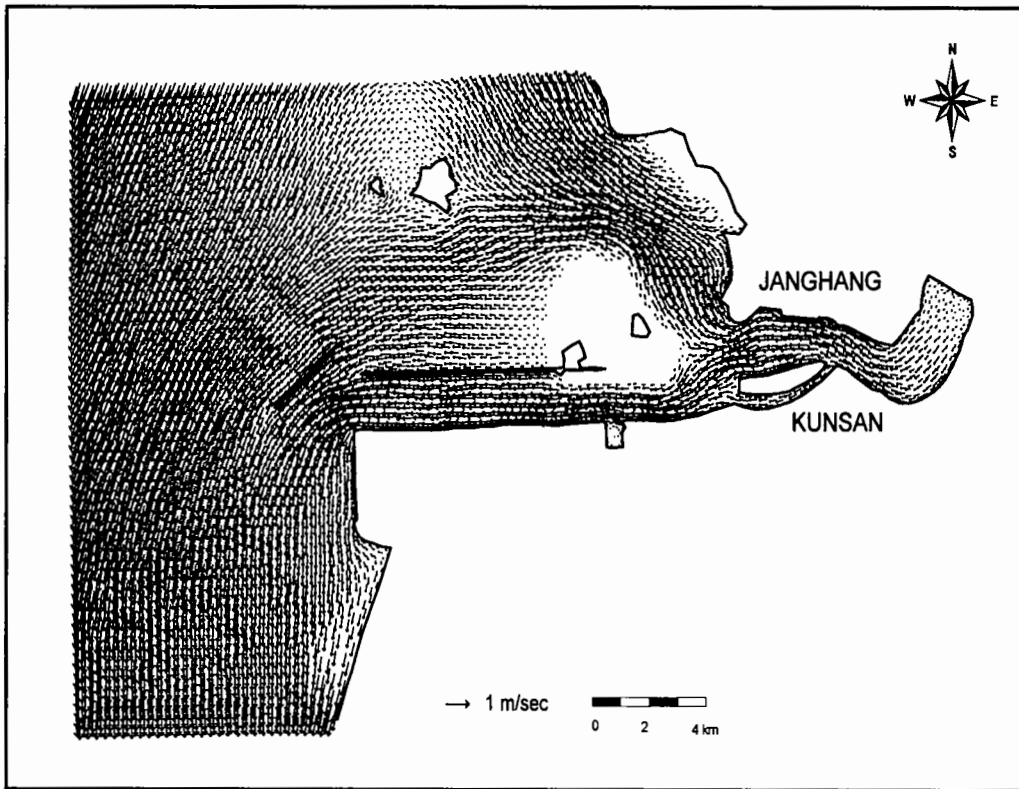


그림 3.3.11 대조기 낙조시 유속분포도.

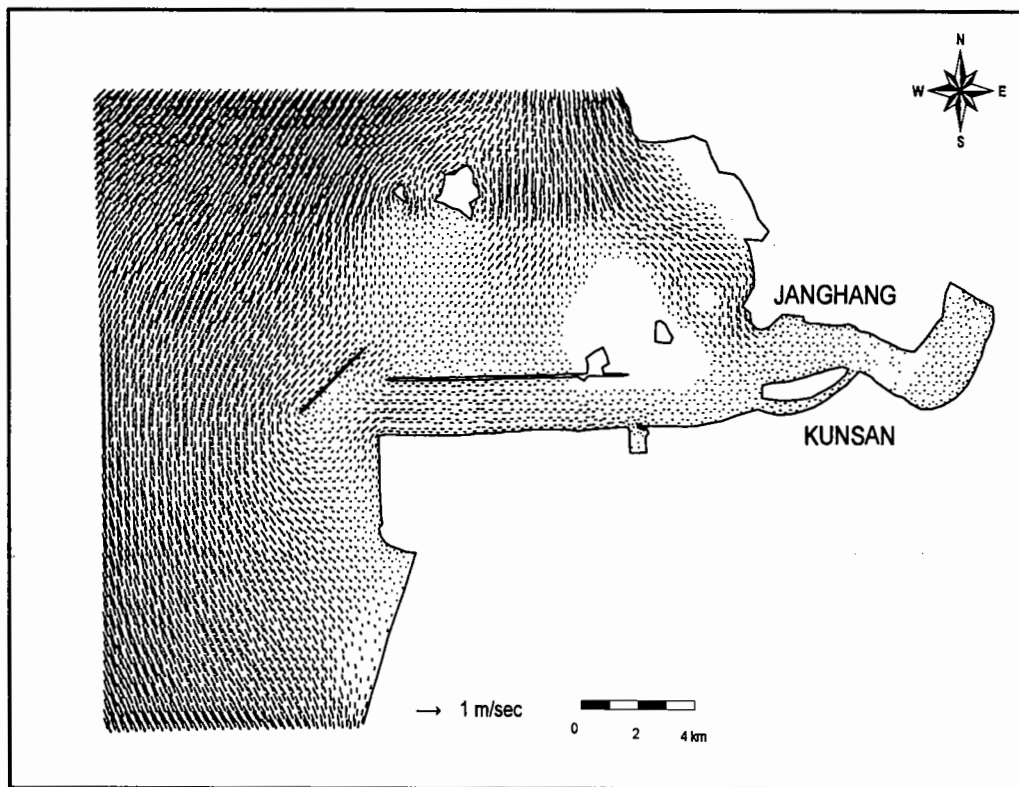


그림 3.3.12 소조기 저조시 유속분포도.

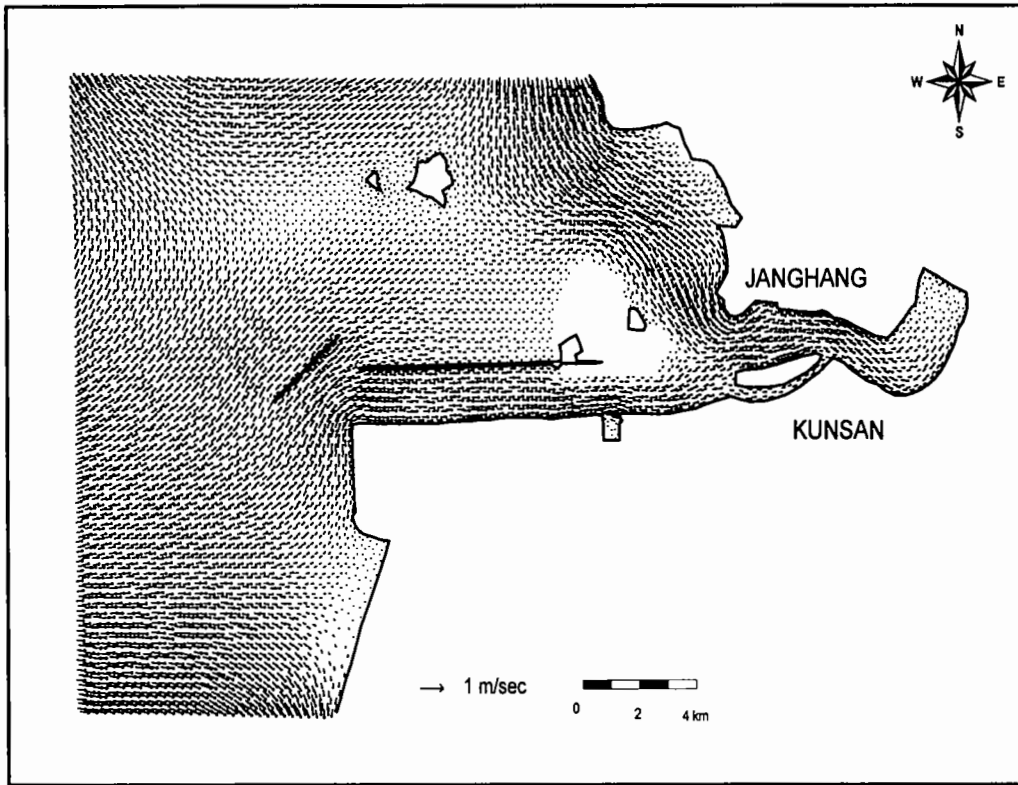


그림 3.3.13 소조기 창주시 유속분포도.

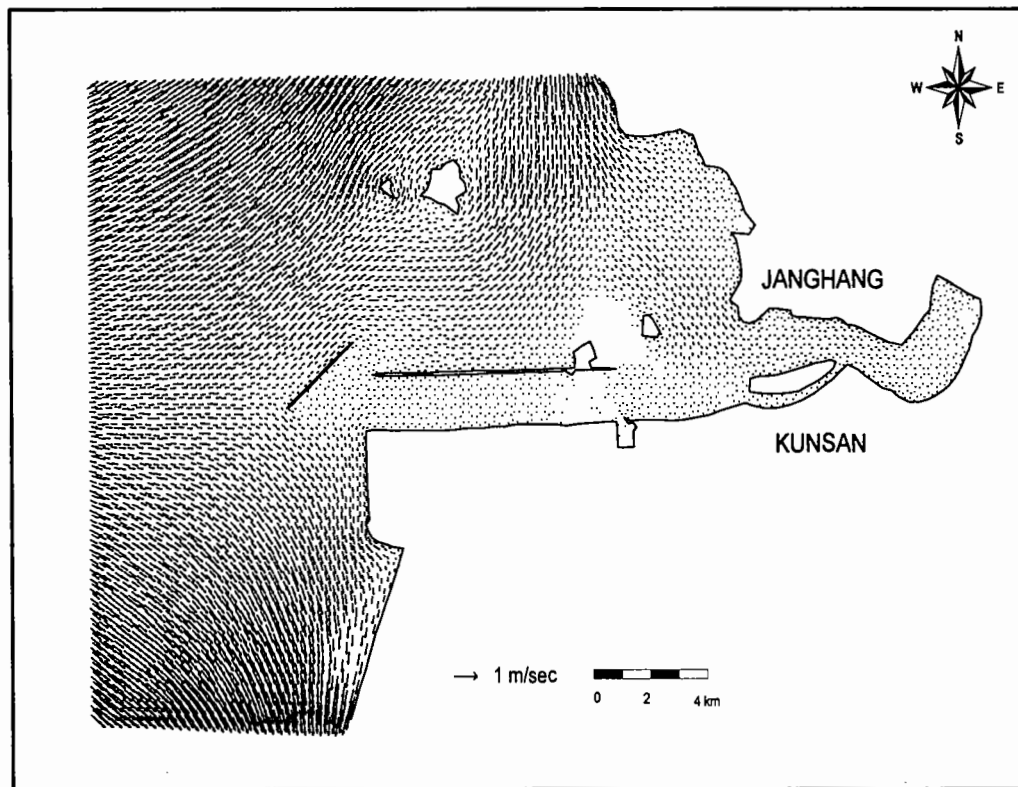


그림 3.3.14 소조기 고조시 유속분포도.

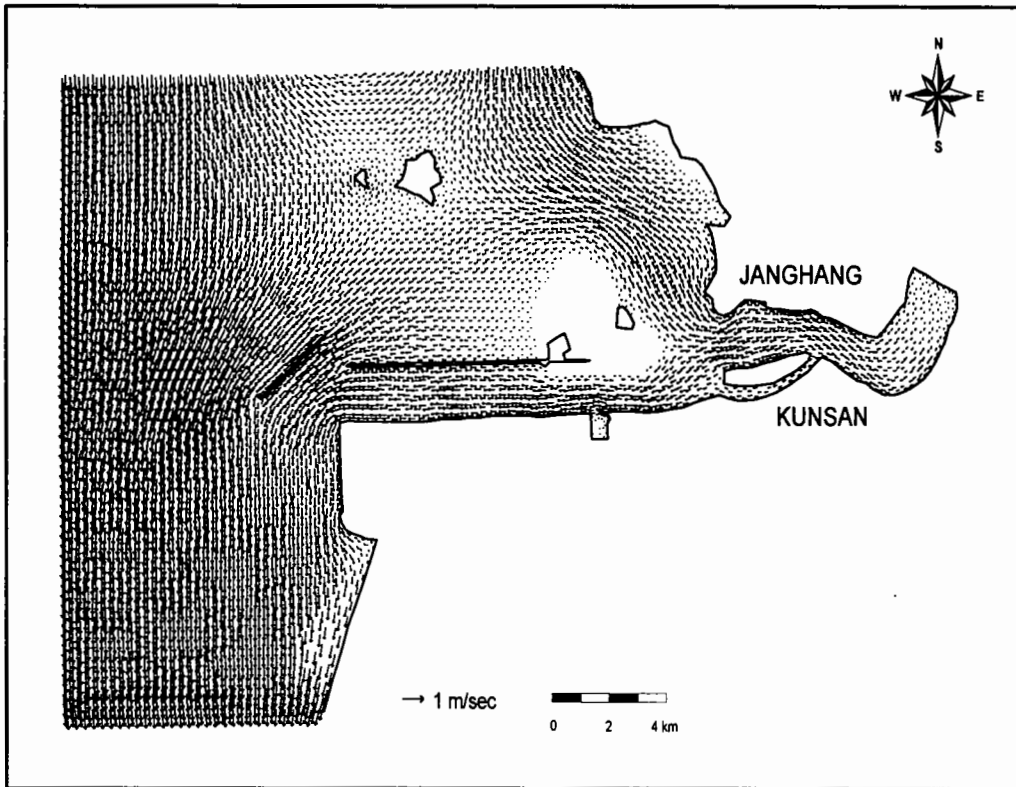


그림 3.3.15 소조기 낙조시 유속분포도.

## (2) 부유토사 이송·확산 모형

먼저 입자추적모형의 정확성을 평가하기 위하여 해석해와 본 모형결과를 비교하였다. 연직방향으로 일정한 농도를 갖는 선오염원이 순간적으로 유입된 경우에 대한 2차원 이송-확산방정식의 해석해는 다음과 같다(Fischer *et al.*, 1979).

$$C(x, y, t) = \frac{M}{4\pi Dt} \exp\left[-\frac{(x_0 - Ut)^2 + (y_0 - Vt)^2}{4Dt}\right] \quad (3.3.42)$$

여기서,  $M$ 은 초기유입된 질량,  $D$ 는 확산계수,  $x_0$ 와  $y_0$ 는 초기 위치이다.

한편,  $0 < t < \infty$ 일 때  $C(0, t) = C_0$ 이고,  $0 < x < \infty$ 일 때  $C(x, 0) = 0$ 인 경계조건을 갖는, 즉 연속방류시의 1차원 이송·확산방정식의 해석해는 다음과 같다.

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[ \operatorname{erfc}\left(\frac{x - Ut}{\sqrt{4Dt}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x + Ut}{\sqrt{4Dt}}\right) \exp\left(\frac{Ux}{D}\right) \right] \quad (3.3.43)$$

본 연구에서는 확산의 공간특성을 보다 잘 검토할 수 있는 식 (3.3.42) 조건에 대해 모형수립시 난수발생법에 따른 계산결과의 민감도를 검토하였다. 검토대상은 Numerical Recipes(Press *et al.*, 1986)에 수록되어 있는 방법들 중 비교적 사용이 간편한 세 가지(RAN1, RAN2, RAN3)이다. 표 3.3.1은 유속, 확산계수, 시간을 변경 하면서 난수발생법에 따른 계산오차를 비교한 것이다.

계산시 초기 방출입자는 10,000개이며, 단순확산인 경우(CASE-1), 이송·확산 문제중 확산이 지배적인 경우(CASE-2), 이송이 지배적인 경우(CASE-3)에 대해 검토하였다. 모든 경우에 대하여 RAN1은 타 방법에 비하여 좋지 못한 결과를 보인 반면 RAN2와 RAN3는 비교적 양호한 결과를 나타냈다. 이에 따라 본 연구에서는 다른 방법에 비하여 비교적 양호하고 가장 오차가 클 경우에도 다른 방법의 결과와 차이가 거의 없는 결과를 보인 RAN3을 사용하기로 하였다. 그림 3.3.16은 단순확산 문제인 CASE-1에 대한 모의결과이다. RAN1 방법을 제외하고는 대체로 해석해와 일치하는 양호한 결과를 보였다.

표 3.3.1 난수발생법에 대한 모형 민감도 분석.

Input Parameter		Time	$C_{max}$	$\sum  C_{calculated} - C_{analytic} $		
				RAN1	RAN2	RAN3
CASE-1	U=0.0 m/sec D=1.0 m <sup>2</sup> /sec	1 hr	1.88	0.71	0.60	0.72
		3 hr	1.09	1.11	0.91	0.95
		6 hr	0.77	1.15	1.32	0.92
CASE-2	U=0.1 m/sec D=0.5 m <sup>2</sup> /sec	1 hr	2.62	0.70	0.49	0.58
		3 hr	1.53	0.86	0.79	0.73
		6 hr	1.08	1.27	0.92	0.96
CASE-3	U=1.0 m/sec D=0.5 m <sup>2</sup> /sec	6 min	6.67	2.17	1.84	1.79
		12 min	5.62	1.18	0.95	1.03
		24 min	4.12	0.58	0.54	0.48

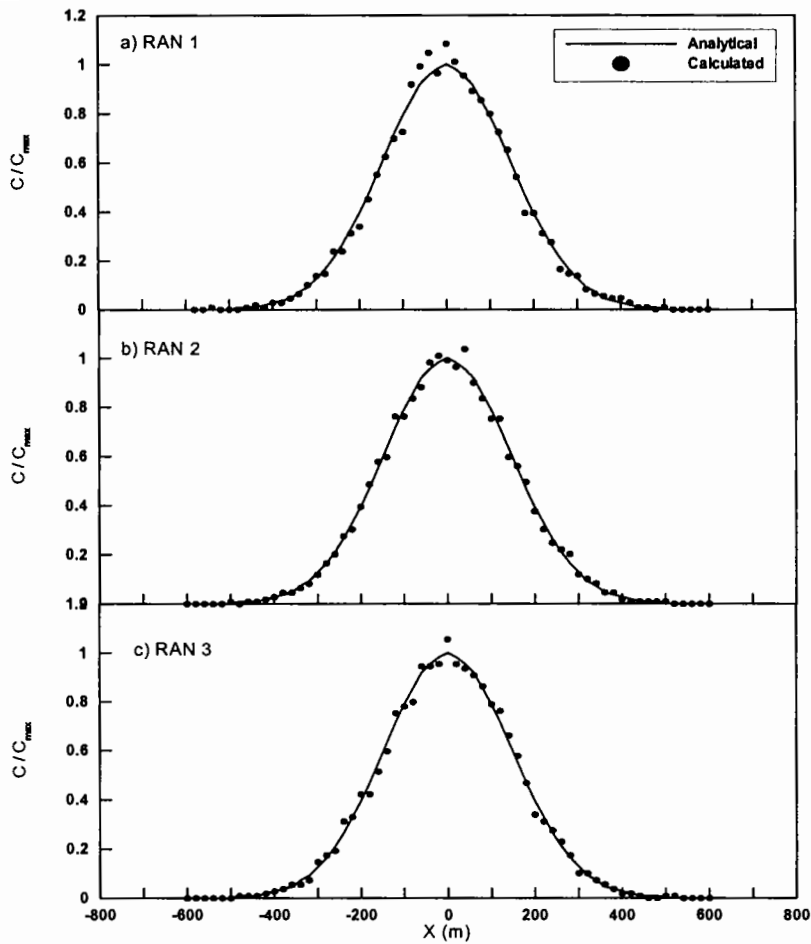


그림 3.3.16 난수발생법에 대한 모형 민감도 분석.

CASE-1에 대해 방류입자 數에 따른 민감도를 분석하고 해석해와 비교한 결과(그림 3.3.17), 입자수가 적은 경우에는 경향은 일치하나 변동이 큰 불안정한 결과를 보였으며, 입자수가 많아짐에 따라 계산농도가 해석해와 거의 일치하는 경향을 보였다. 즉 입자수가 너무 적은 경우에는 안정된 결과를 얻을 수 없음을 확인할 수 있었다. 격자크기에 따른 민감도를 분석한 결과(그림 3.3.18), 격자간격이 작은 경우에는 모의된 입자가 각 격자에 위치하는 개수가 적어 오차가 크게 나타났으며, 격자간격이 큰 경우에는 각 격자에 많은 입자가 위치하여 농도를 정확히 계산할 수 있어 오차가 작게 나타났다. 작은 크기의 격자를 사용하는 경우는 확산범위내에 많은 수의 입자가 위치하도록 하여야 양호한 결과를 얻을 수 있음을 의미한다. 계산 시간간격은 모의결과에 거의 영향을 미치지 않았다(그림 3.3.19). 그러나 유속이 시·공간적으로 변화하는 경우에는 영향을 줄 것이다.

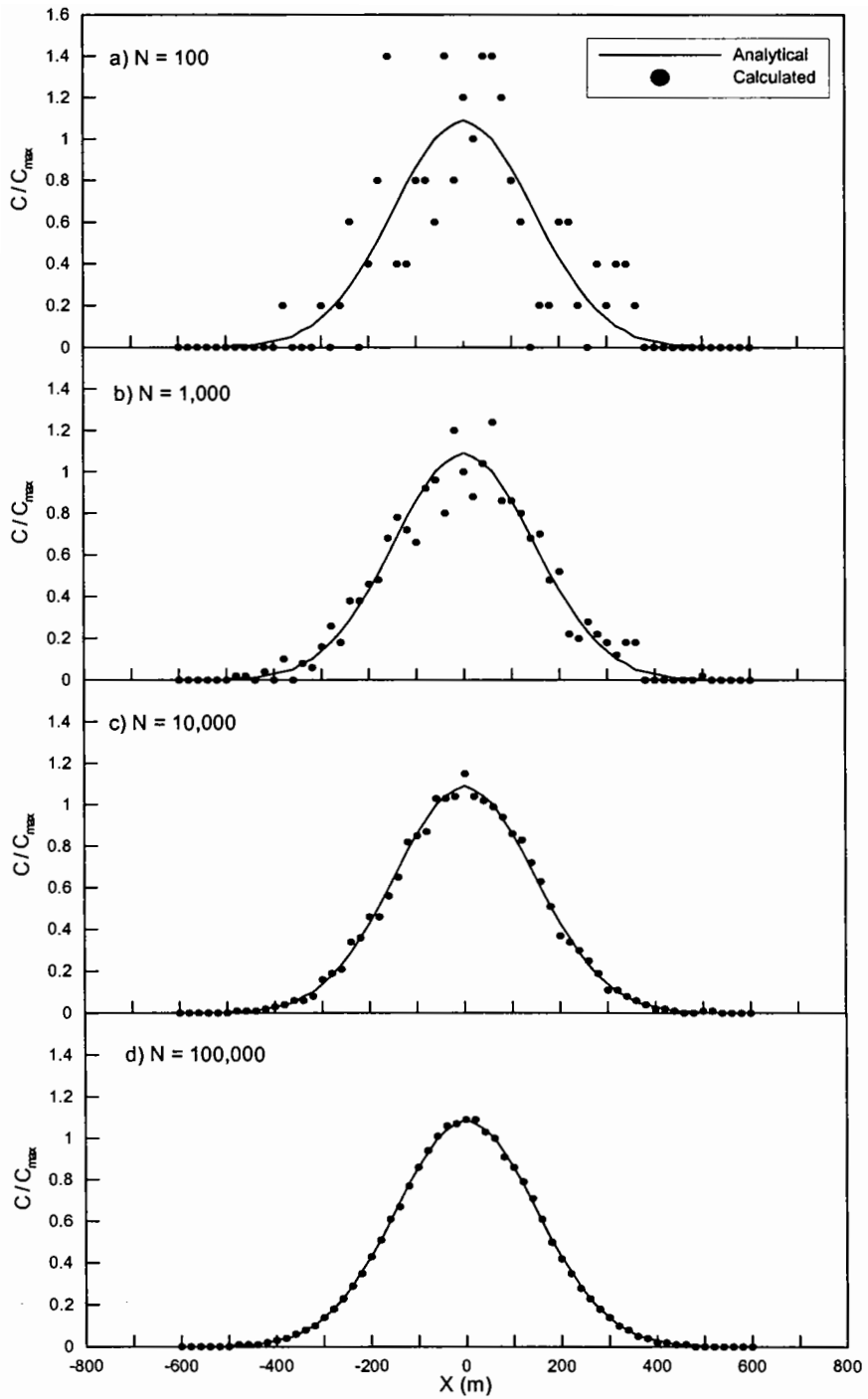


그림 3.3.17 방출 입자수에 대한 모형 민감도 분석.

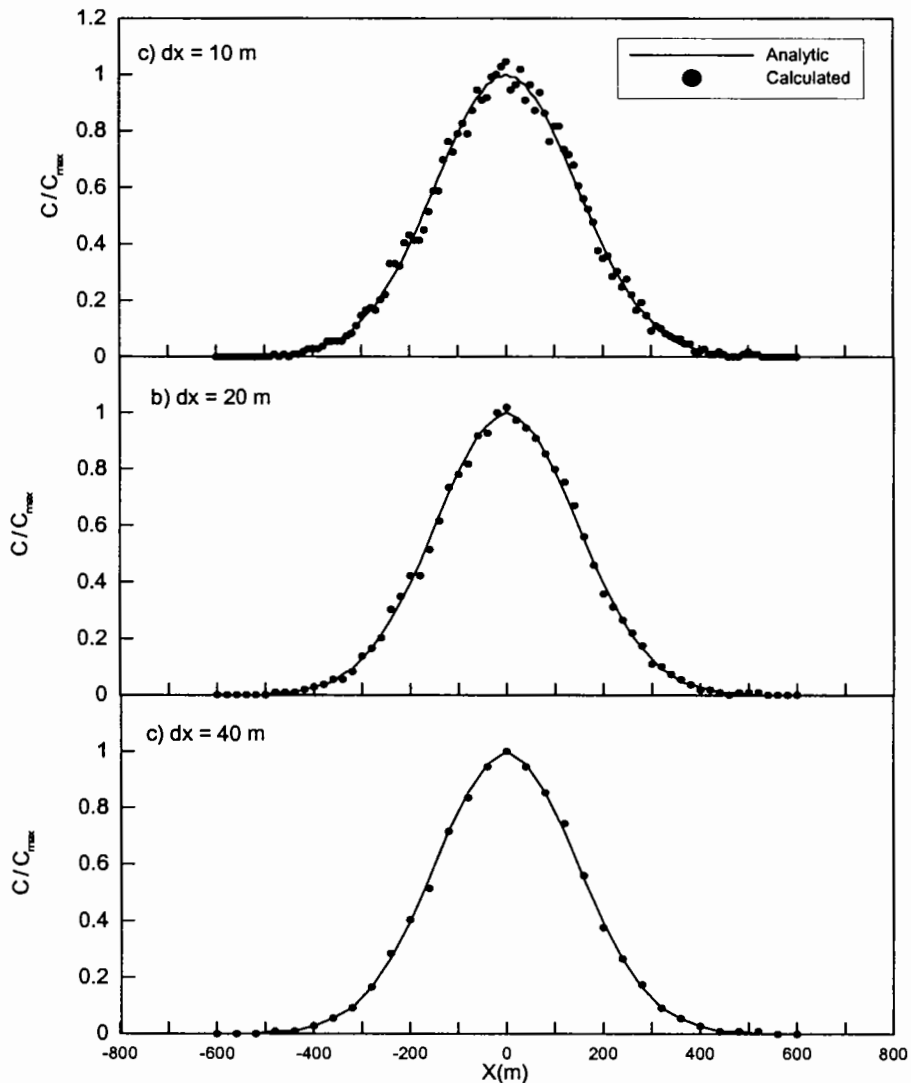


그림 3.3.18 격자간격에 대한 모형 민감도 분석.

이송과 확산이 공존하는 경우에 대해서 계산결과와 해석해를 비교한 결과가 그림 3.3.20이다. 유속이 0.1 m/sec로 이송이 확산에 비해 느린 CASE-2의 경우(그림 3.3.20의 위)와 유속이 1.0 m/sec로 이송이 지배적인 경우인 CASE-3(그림 3.3.20의 아래) 모두 해석해와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다.

2차원 이송·확산 문제에 적용한 결과는 다음과 같다. 두 경우 모두 유속은 0.1 m/sec이며, 확산계수가 1.0 m<sup>2</sup>/s인 경우(그림 3.3.21)와 확산계수가 5.0 m<sup>2</sup>/s인 경우(그림 3.3.22) 모두가 해석해와 일치하는 양호한 계산결과를 보였다. 모의시 방출입 자수는 10,000개, 격자간격은 200 m이다.

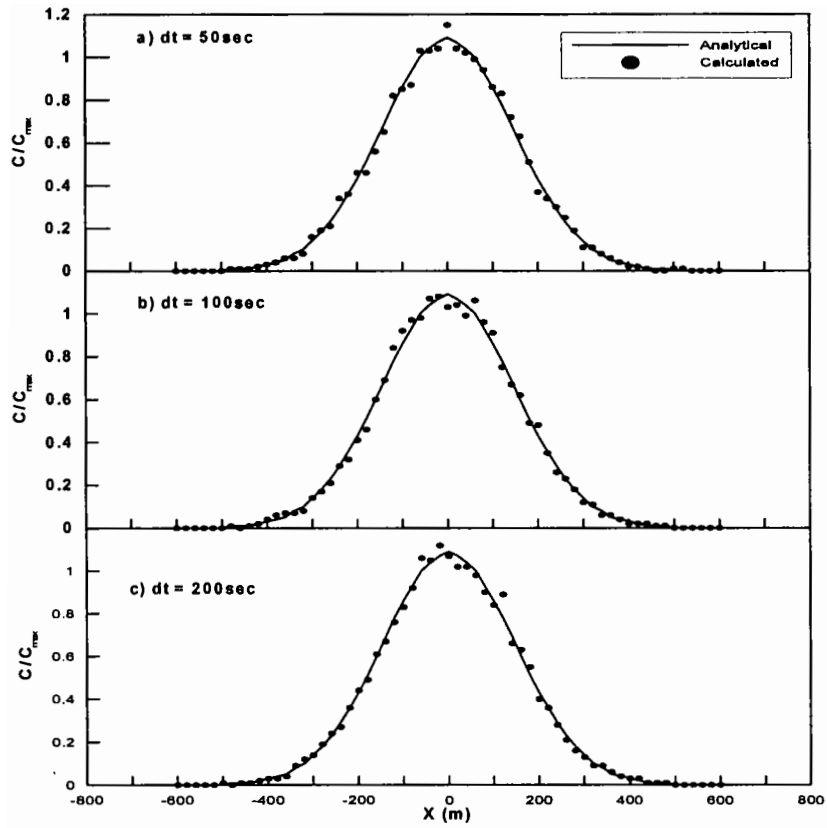


그림 3.3.19 계산시간 간격에 대한 모형 민감도 분석.

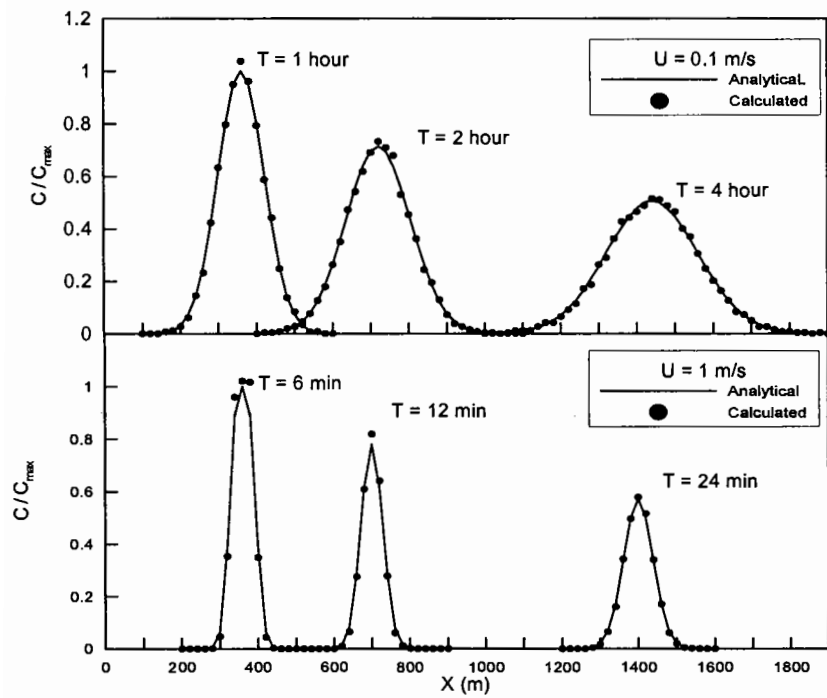


그림 3.3.20 1차원 이송·확산 문제에 대한 검증.



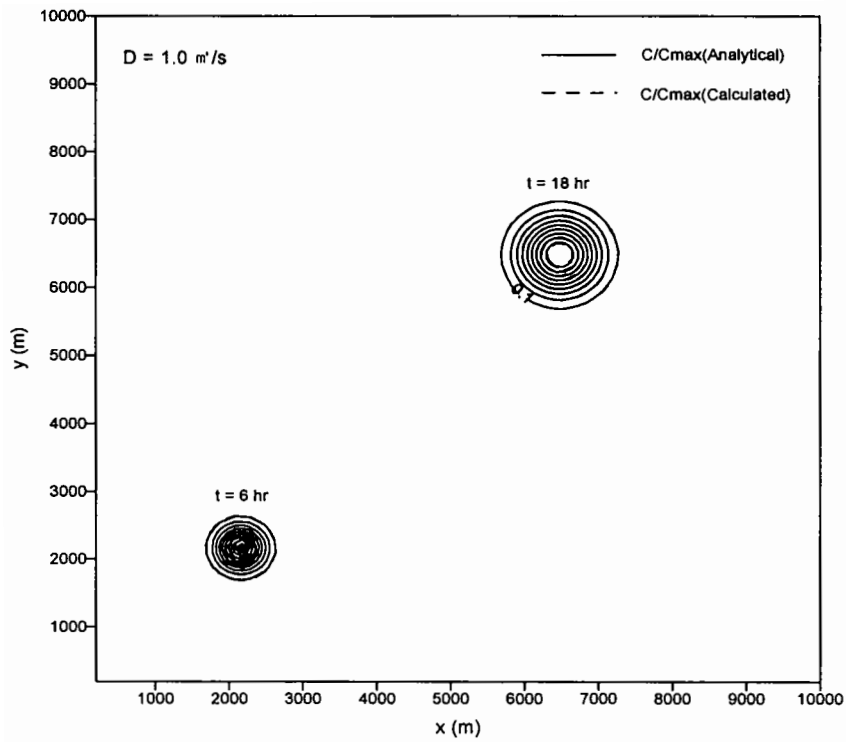


그림 3.3.21 이송이 지배적인 2차원 문제에 대한 검증.

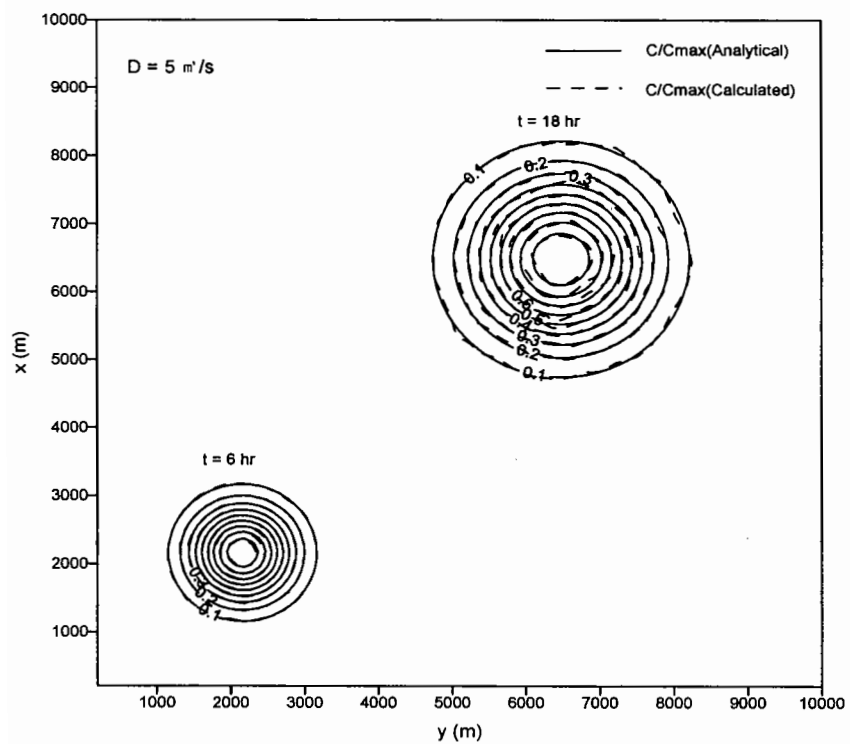


그림 3.3.22 확산이 지배적인 2차원 문제에 대한 검증.

해석해와의 비교·검증을 통하여 안정성을 확보한 이송·확산모형을 군산에서 그랩 준설(해승 13호, 그랩 13m<sup>3</sup>)이 실시된 2002년 8월 17일 15시 상황에 대해 적용하였다. 관측된 부유토사 평균발생율은 3.05 kg/s이었다. 부유토사의 침강속도는 준설작업중이던 2002년 8월 21일 현장에서 채취한 부유퇴적물의 입도분석 결과(표 3.3.2)로부터 얻은 중앙입경 40 $\mu$ m에 대한 침강속도 0.096 cm/s를 사용하였다. 단지 입자가 침강속도에 따라 지속적으로 침강한다고 가정하였으므로 재부유에 관한 영향은 추후 보완이 필요한 부분이다.

표 3.3.2 정점별 표층 부유퇴적물 농도 및 중앙입경.

정점	관 측 지 점	SSC (mg/l)	d <sub>50</sub> ( $\mu$ m)	비고
1	35°58.469' N, 126°35.954' E	6.4	24.3	창조시
2	35°58.544' N, 126°35.979' E	10.7	73.2	
3	35°58.641' N, 126°35.986' E	9.7	80.7	
4	35°58.684' N, 126°36.042' E	6.8	19.3	
5	35°58.617' N, 126°36.136' E	7.7	41.7	
6	35°58.522' N, 126°36.146' E	11.3	61.4	
7	35°58.566' N, 126°36.277' E	6.3	28.4	
8	35°58.647' N, 126°36.323' E	9.0	63.0	
9	35°58.752' N, 126°36.357' E	6.0	33.4	
10	35°58.709' N, 126°36.544' E	5.1	25.5	
11	35°58.798' N, 126°36.545' E	11.2	56.5	
12	35°58.827' N, 126°36.637' E	3.3	20.2	
13	35°58.779' N, 126°36.751' E	7.4	9.9	
14	35°58.660' N, 126°36.812' E	6.3	56.3	
15	35°58.634' N, 126°36.958' E	7.0	40.2	
16	35°58.696' N, 126°37.023' E	6.2	14.4	
17	35°58.806' N, 126°37.057' E	5.5	27.1	

표 3.3.2 (계속).

정점	관 측 지 점	SSC (mg/l)	d <sub>50</sub> (μm)	비고
18	35°58.503' N, 126°35.880' E	19.3	22.8	낙조시
19	35°58.570' N, 126°35.912' E	7.8	41.3	
20	35°58.688' N, 126°35.981' E	7.9	86.5	
21	35°58.802' N, 126°36.013' E	13.3	33.7	
22	35°58.771' N, 126°35.848' E	10.6	43.0	
23	35°58.670' N, 126°35.785' E	2.2	20.8	
24	35°58.570' N, 126°35.705' E	5.8	20.0	
25	35°58.530' N, 126°35.526' E	7.0	70.2	
26	35°58.716' N, 126°35.531' E	2.4	28.2	
27	35°58.784' N, 126°35.410' E	6.8	47.7	
28	35°58.779' N, 126°35.374' E	2.3	25.7	
29	35°58.668' N, 126°35.291' E	7.6	82.9	
30	35°58.534' N, 126°35.335' E	7.3	24.5	
31	35°58.473' N, 126°35.187' E	6.9	40.4	
32	35°58.520' N, 126°35.097' E	5.2	11.9	
33	35°58.655' N, 126°34.973' E	5.3	38.6	
34	35°58.678' N, 126°34.862' E	6.4	49.1	
35	35°58.590' N, 126°34.882' E	8.4	60.4	
36	35°58.488' N, 126°35.003' E	7.5	12.8	

입자분포로부터 농도계산 방법은 다음과 같다. 계산시간간격이  $\Delta t(\text{sec})$ , 부유사 발생율이  $W(\text{g/sec})$ , 방출입자수가  $\Delta t$ 당  $m$ 개라면, 입자 한 개의 무게는  $(W\Delta t/m)\text{g}$ 이다. 그리고 격자 면적이  $A(\text{m}^2)$ , 수심이  $H(\text{m})$ 이며 유한요소내  $n$ 개의 입자가 위치했다면, 격자에서 SS 농도는  $(nW\Delta t)/(mAH)$ 이다. 농도계산을 위해  $200\text{m}\times 200\text{m}$ 로 분할한 격자마다 입자수를 농도로 환산하였다.

그림 3.3.23은 관측시와 동일한 시각에 대해 본 모형에 의해 계산된 부유사 농도분포이다. 계산결과가 제시된 시각은 낙조가 거의 끝날 무렵으로 서쪽으로 향하는 약  $30\text{ cm/s}$ 의 낙조류에 의해 공사지점(source)으로부터 서쪽으로 약  $1\text{ km}$ 까지  $2\text{ mg/l}$  등농도선이 확장하는 모습을 보이고 있다. 그림 3.3.24는 준설선에서 서쪽으로

로 약 150m 떨어진 그림 3.3.23의 A단면에 대한 계산된 부유사 농도 변화를 관측자료와 함께 도시한 결과이다. 관측자료는 계산결과와 마찬가지로 수심평균된 농도이다. 흐름방향에 직각방향으로 계산된 농도변화를 보면, 확산중심축을 중심으로 하여 양방향으로 급격히 감소하는 정규분포와 유사한 모습을 보이고 있다. 관측결과와 경우도 변동성은 있으나 계산된 농도와 마찬가지로 중심축으로부터 급격히 감소하는 정규분포와 유사한 모습을 보이고 있다. 관측농도와 계산농도와 비교해 보면, 준설공사로 인하여 발생된 부유사의 횡방향 확산 폭이 거의 일치하고 있다. 비교시 준설공사 이전 상태인 배경농도로 22 mg/l를 사용하였다.

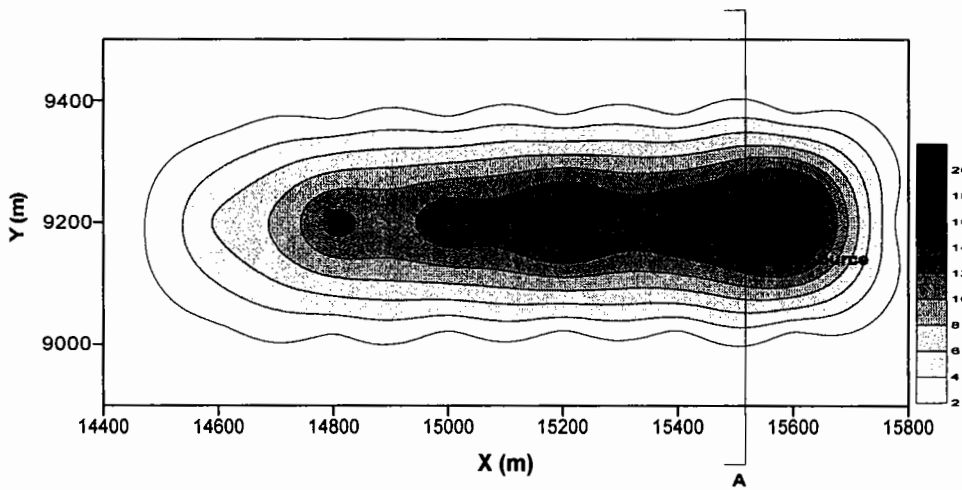


그림 3.3.23 해승 13호 준설시 계산된 부유사 농도의 평면분포.

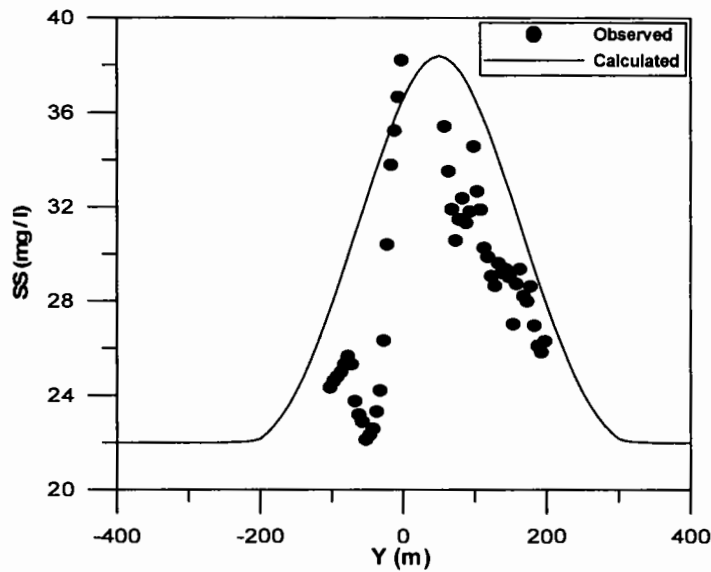


그림 3.3.24 단면 A에서의 농도변화 비교.

장시간에 걸친 준설의 영향을 검토하기 위하여 해석해와 현장관측치와의 비교·검증을 거친 본 이송·확산모형을 가정된 작업조건에 대해 적용하였다. 작업시간은 12시간이며, 해수유동모형 검증시 계산된 2001년 7월의 조류계산결과를 활용하기 위하여 대조기인 7월 8일과 소조기인 7월 15일 각각에 대해 오전 8시에 준설을 시작한다고 가정하였다.

먼저 대조기 준설지점(방출지점)에서의 조위와 유속변화는 그림 3.3.25와 같다. 그림의 A와 C 시각에 대해 농도분포를, E 시각에 대해 방출입자에 의한 퇴적분포를 검토하였다. 대조기 입자추적 및 농도분포는 그림 3.3.26과 그림 3.3.27에, 그리고 바닥에 퇴적된 입자분포는 그림 3.3.28과 같다. 대조기 모의결과를 보면, 저조시인 11시경에는 낙조류의 영향으로 서쪽으로 약 2 km까지 확산하는 모습을 보이며, 고조시인 17시에는 창조류의 영향으로 동쪽으로 약 1.3 km까지 확산하는 모습을 보였다. 그림에서는 SS농도를 2 mg/l 간격의 등농도선으로 나타내었다. 계산종료시점인 7월 9일 0시에 퇴적된 퇴적물 입자의 분포를 보면, 외해 방향으로 조류에 따라 불연속적으로 퇴적하는 모습을, 내해 방향으로는 연속적으로 부유사 확산 영역과 거의 동일한 거리까지 이동하여 퇴적하였다.

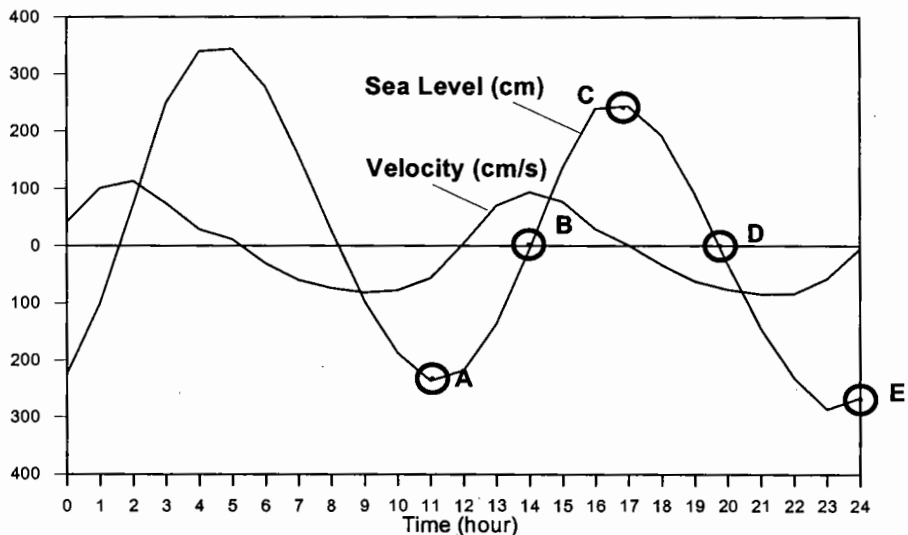


그림 3.3.25 준설지점에서의 대조기 조위 및 유속.

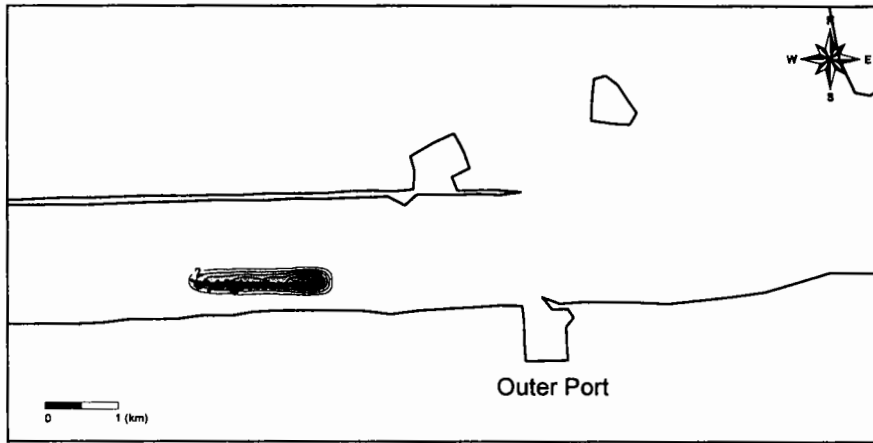


그림 3.3.26 대조기 부유사 농도분포 (7월 8일 11시, 저조).

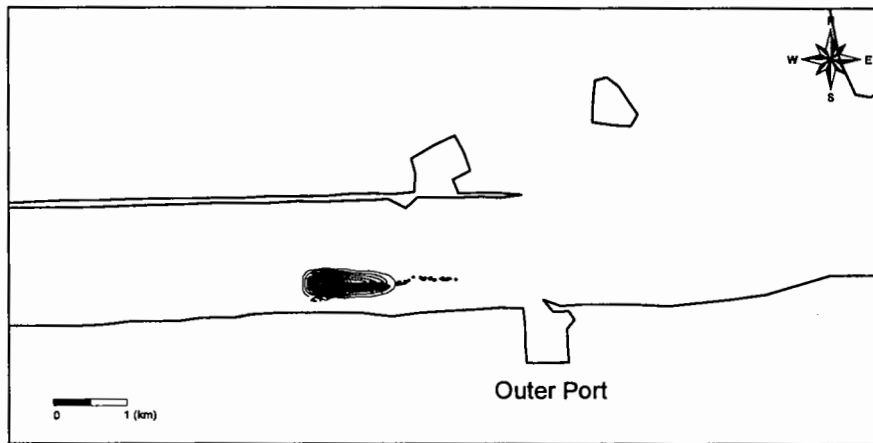


그림 3.3.27 대조기 부유사 농도분포 (7월 8일 17시, 고조).

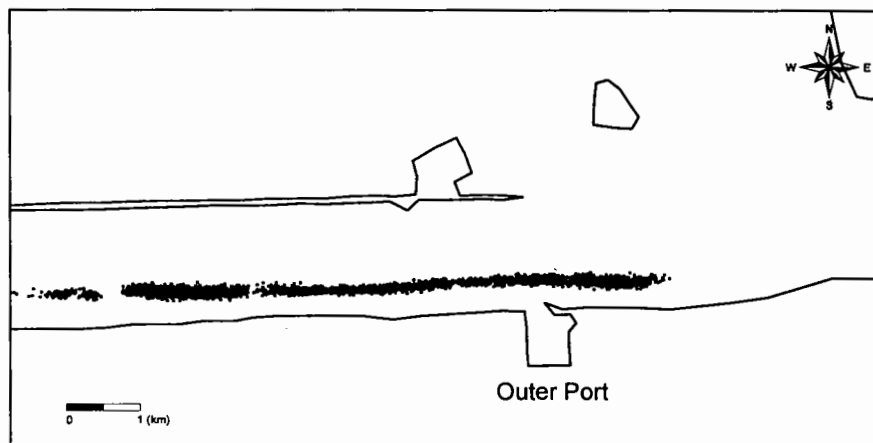


그림 3.3.28 대조기 퇴적입자 분포 (7월 9일 0시).

소조기(7월 15일) 준설점에서의 조위와 유속변화를 그림 3.3.29에, 입자 및 농도 분포를 그림 3.3.30과 그림 3.3.31에 제시하였다. 소조기의 경우, 저조시인 17시에는 낙조류의 영향으로 서쪽으로 약 1.4 km까지 확산하는 모습을 보이며, 고조시인 11시경에는 창조류의 영향으로 동쪽으로 약 0.75km 까지 확산하는 모습을 보였다. 대조기와 분포양상은 거의 동일하나 조류의 약화로 확산 거리가 다소 감소하였다. 퇴적된 퇴적물 입자의 분포양상(그림 3.3.32)도 대조기와 형태는 비슷하나 이동거리가 짧게 나타났다.

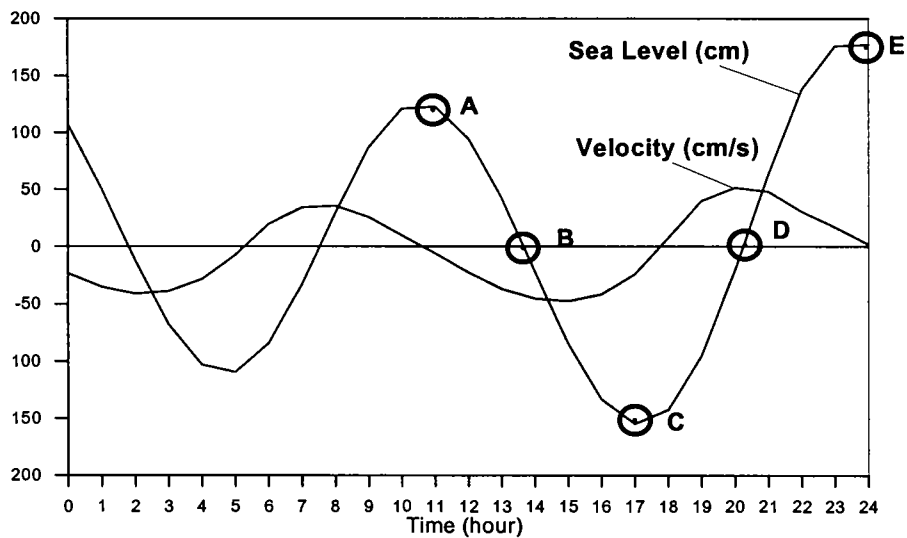


그림 3.3.29 준설지점에서의 소조기 조위 및 유속.

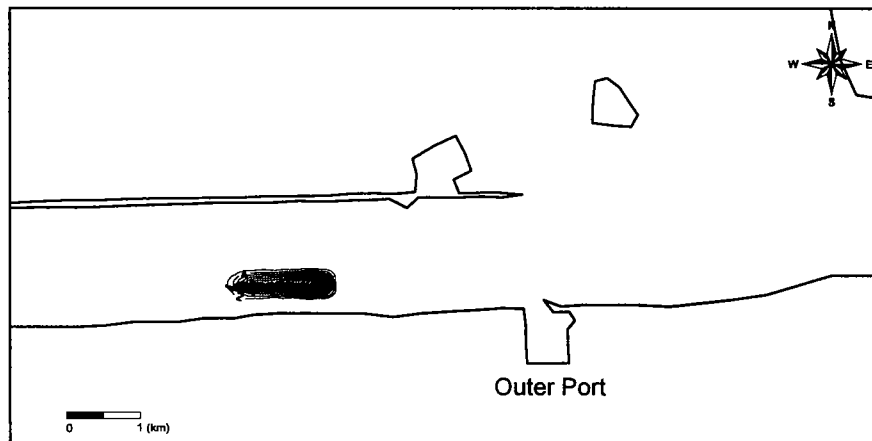


그림 3.3.30 소조기 부유사 농도분포 (7월 15일 17시, 저조).

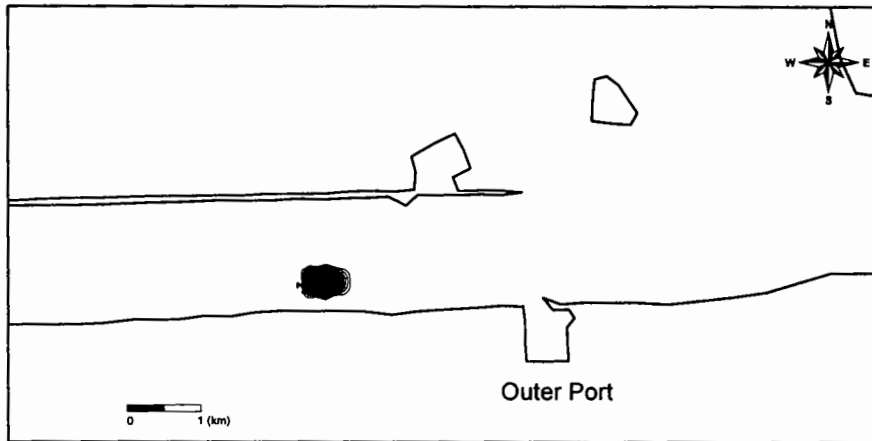


그림 3.3.31 소조기 부유사 농도분포 (7월 15일 11시, 고조).

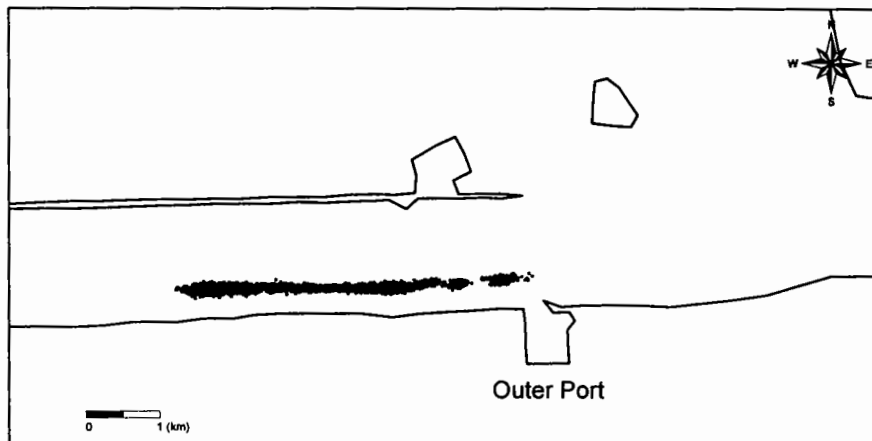


그림 3.3.32 소조기 퇴적입자 분포 (7월 16일 0시).

#### 다. KUSSMOS GUI 구축

##### (1) 시스템 운영순서

이상과 같은 수심평균 평면2차원 유한요소 해수유동모형과 분산과정 처리에 입자추적기법을 이용하는 부유퇴적물 이송·확산 모형으로 구성되는 KUSSMOS는 전문 바와 같이 전문가 시스템이다. KUSSMOS에 원하는 계산 날짜가 입력되면 해수유동모형을 이용하여 그 날의 조위, 조류를 모형의 각 격자점에서 계산하고 400초마다 모의결과를 하드디스크에 저장한다. 부유퇴적물 이송·확산모형에서는 400초 간격으로 40개 입자를 공사지점에 새로이 부여하고, 기존에 방출된 입자와 함께



입자의 새로운 위치를 계산한다. 계산결과인 입자의 현재위치와 각 삼각형 유한요소 절점에서 값으로 환산된 농도는 매 20분 간격으로 하드디스크에 저장된다. 시스템의 흐름도는 그림 3.3.33에 제시하였으며, 시스템 운영순서는 다음과 같다.

- ① 공사위치, 공사시작시간, 공사기간, 부유토사 발생량 입력
- ② 조위 및 조류 분포 계산
- ③ 부유입자 위치 계산
- ④ 유한요소 내부의 입자수를 구하여 절점에서 농도로 환산
- ⑤ 결과를 가시화한

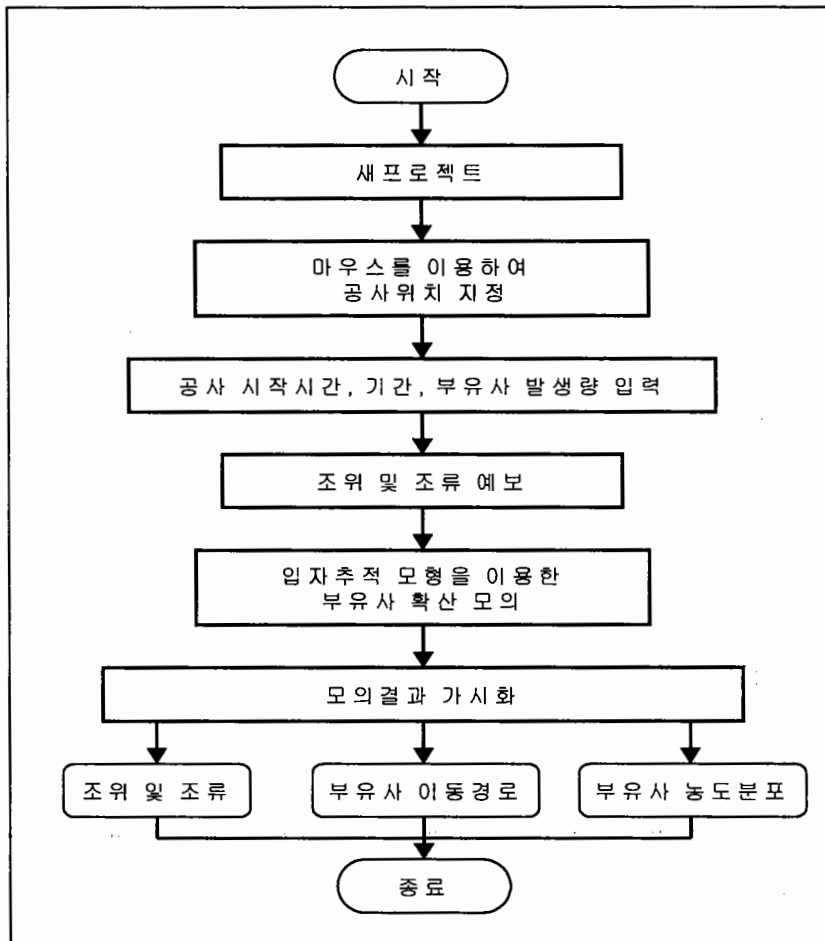


그림 3.3.33 KUSSMOS 운영흐름도.

## (2) 시스템 개발도구

KUSSMOS는 구동·제어를 위해 필요한 자료의 입력, 해수유동 및 부유토사 모형 실행, 모의결과 가시화 부분으로 구성되어 있다. 본 시스템은 Visual C++ 6.0과 OpenGL 라이브러리를 사용하였다.

마이크로소프트사의 Visual C++은 기존의 DOS 하에서는 구현하기 어려웠던 GUI를 보다 쉽게 구현할 수 있도록 MFC(Microsoft Foundation Class)와 연계하여 Windows 운영체제에서 구동되는 응용 프로그램을 개발하기 위한 도구이다. MFC는 윈도우 프로그램을 작성하는데 필요한 방대한 라이브러리로서 마이크로소프트사에서 개발하여 Visual C++에 내장시켜 놓은 것이다.

Visual C++ MFC 라이브러리를 사용하여 윈도우 애플리케이션을 작성할 때는 모든 윈도우 어플리케이션에 공통적인 골격을 이루는 코드를 작성하지 않아도 된다. Visual C++ MFC 라이브러리는 이러한 애플리케이션 프레임워크(framework)를 지원하고 있기 때문이다. 프로그램 개발자는 MFC 라이브러리가 제공하는 기능에 애플리케이션에 필요한 고유의 코드를 추가함으로써 하나의 완성된 애플리케이션을 생성할 수 있게 된다. Visual C++ 개발환경은 개발자 스튜디오를 중심으로 App Wizard, Class Wizard, C++ 컴파일러 시스템, 디버거 등 개발 도구들이 유기적으로 결합되어 Visual C++ MFC 애플리케이션을 효율적으로 작성할 수 있도록 한다(전병선, 1999).

OpenGL은 그래픽 하드웨어에 대한 소프트웨어 인터페이스로 정의된다. OpenGL은 서술적(descriptive)이기 보다는 절차적(procedural)인 그래픽 언어이다. 화면을 만들어 내는 과정을 상세히 써 내려가는 것이 아니라, 프로그래머가 원하는 모양이나 효과를 내기 위해 필요한 단계만을 포함한다. 이러한 단계들은 약 120개의 명령어와 함수로 구성되어 있다. 이들은 3차원 상에서 점, 선, 다각형과 같은 그래픽 기본 요소를 그리는데 사용된다. 그 외에, OpenGL은 lighting과 shading, texture mapping, 애니메이션 등 여러 가지 특별한 효과들을 지원한다(Fosner, 1997). OpenGL은 윈도우 관리, 사용자 상호작용, 파일 입출력 등을 위한 함수를 포함하지 않는다. 그러한 기능의 함수들은 각 호스트 환경(MS Windows와 같은)에서 자체적으로 제공하고 있으며, 이 함수들을 사용하면서 OpenGL 프로그래밍을 하는데 역시 아무 지장이 없다. PC에서 OpenGL이 가능해짐에 따라 수많은 엔지니어링 모델링이나, 가시화 응용프로그램이 Windows

운영체제에서 OpenGL 라이브러리를 사용하여 개발되어왔다(신현주, 1999).

### (3) 프로그램 구성 및 특징


본 프로그램은 크게 세 부분으로 나누어 개발되었다. 그 첫 번째는 모의시스템에서 필요로 하는 입력자료를 읽는 부분, 두 번째는 읽은 자료를 이용하여 모델링을 수행하는 부분, 세 번째는 모의결과를 화면에 묘사하는 부분이다.

프로그램은 먼저 지형자료와 배경구성을 위한 지도의 비트맵 이미지를 입력받아 주메뉴를 구성하며, 구성된 주메뉴에서 모의에 필요한 자료인 유한요소삼각형 격자망 자료, 육지경계면 위치자료, 해수유동 모의를 위한 개방경계에서의 주요 4개 분조 조화상수 등을 읽어 메모리에 저장한다. 다음으로 모의하고자 하는 날짜를 달력으로부터 선택하고 조류계산결과가 없으면 계산을 수행하고, 계산결과가 있으면 모의에 필요한 공사시작 시간, 공사기간을 입력한다. 공사위치를 선택하면, 모의시스템이 시작되어 부유퇴적물 이송·확산을 계산한다. 수분(PC의 성능에 따라 다름)을 기다리면 모의가 종료된다. 종료된 후에는 그 날에 대해서 계산된 조류분포, 조위분포, 모의에 사용된 부유 입자의 분포양상, 부유사 농도분포를 시간변화에 따라 연속적으로 관찰할 수 있다. 필요시 특정지역에 대해 확대해서 자세히 모의결과를 관찰할 수 있다.

KUSSMOS를 운영하기 위해 필요한 컴퓨터 요구사항은 다음과 같다.

- 운영환경 : Windows 98/2000/XP
- 하드디스크 : 1 G 이상
- 메모리 : 256 M (권장사항)
- OpenGL 지원 그래픽 카드 필수

### (4) KUSSMOS 사용법

본 프로그램의  를 더블 클릭하여 그림 3.3.34~3.3.36과 같은 과정으로 프로그램을 설치한다.

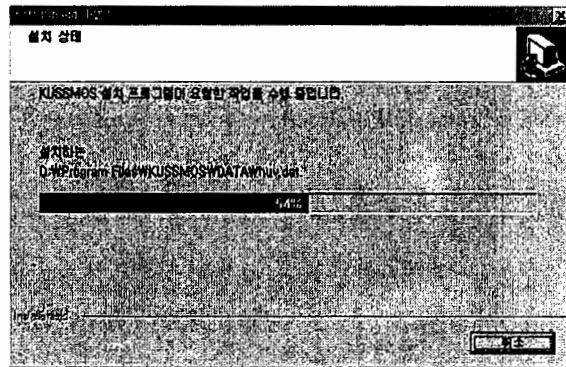
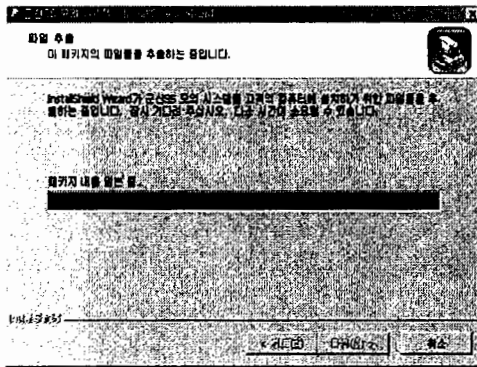



그림 3.3.34 프로그램 설치 시작.      그림 3.3.35 프로그램 설치 상태.

설치가 완료되면  을 더블 클릭하여 프로그램을 실행한다.

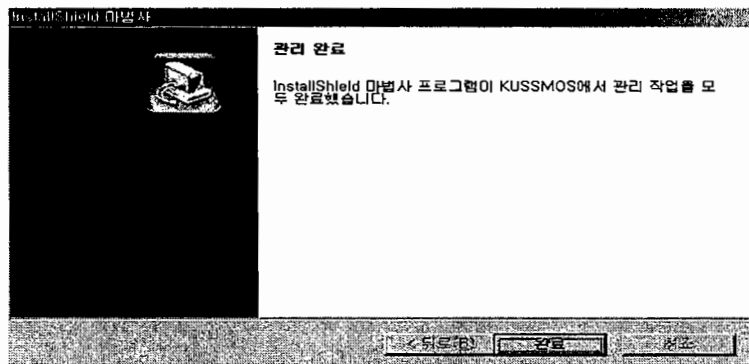


그림 3.3.36 프로그램 설치 완료.

프로그램을 실행시키면 먼저 본 프로그램의 간단한 정보를 나타내는 그림 스플래쉬(splash) 화면이 나타난다. 그림 3.3.37과 같은 스플래쉬 화면이 나타난다. 스플래쉬 화면이 보이는 동안 프로그램은 내부적으로 지형자료와 모형에 필요한 자료들을 입력받아 메모리에 저장하게 되고, 동시에 지도의 비트맵 파일을 입력받아 화면상에 표시하게 된다. 이 작업이 끝나면 스플래쉬 화면은 자동으로 사라지게 된다. 스플래쉬 화면이 사라지면 그림 3.3.38과 같은 프로그램의 주화면이 나타난다. 주화면에는 프로그램 실행에 필요한 기능을 나타내는 주메뉴, 아이콘으로 구성된 보조메뉴, 지도의 비트맵 이미지, 유속분포도가 함께 나타난다.



그림 3.3.37 KUSSMOS의 스플래쉬 화면.

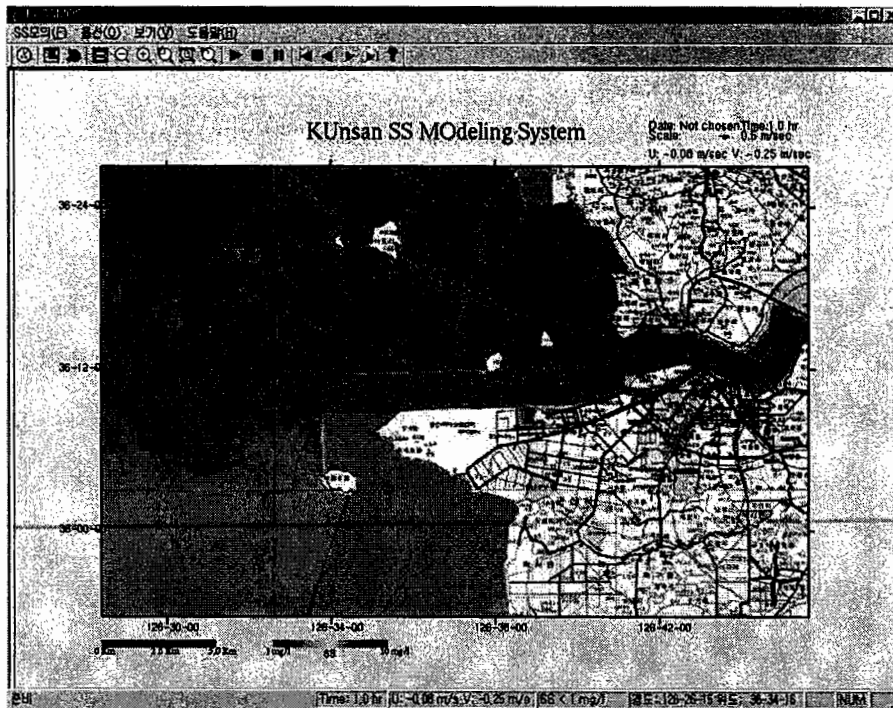


그림 3.3.38 KUSSMOS의 주화면.

본 프로그램은 주메뉴, 지형도와 모의결과 표시부, 보조메뉴 등으로 구성되어 있다. 그림 3.3.39~3.3.42와 같은 주메뉴에는 프로젝트의 실행과 관련된 정보를 입력할 수 있도록 하였다.

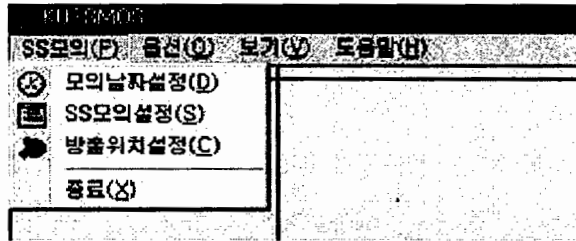


그림 3.3.39 KUSSMOS의 주메뉴 1.

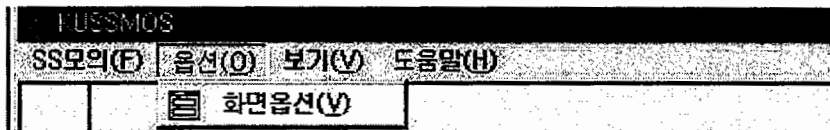


그림 3.3.40 KUSSMOS의 주메뉴 2.

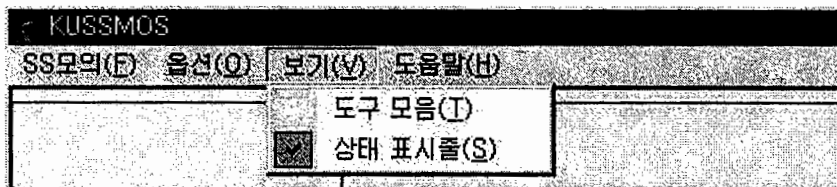


그림 3.3.41 KUSSMOS의 주메뉴 3.

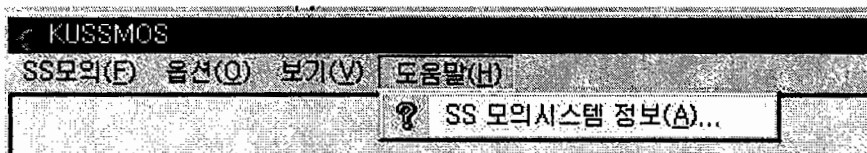


그림 3.3.42 KUSSMOS의 주메뉴 4.

보조메뉴는 아이콘으로 구성되어 모형의 실행에 필요한 내용을 쉽게 알 수 있도록 하였다. 맨 왼쪽에 있는 시계는 모의 날짜를 선택하기 위한 것으로 아이콘을 마우스로 클릭하면, 시계가 화면의 중앙부에 나타나 쉽게 모의날짜를 입력할 수 있도록 하였다. 그림 3.3.43과 같이 왼쪽부터 차례로 ‘선택’, ‘확대’, ‘축소’,

‘영역 확대’, ‘이동’, ‘초기화’ 단추를 위치시켰으며, 경위도 좌표를 나타나게 해 실제 지도상에서의 위치를 파악할 수 있도록 하였다. ‘선택’ 단추로 임의단면을 선택할 수 있으며, ‘확대’, ‘축소’, ‘영역 확대’ 단추로 화면의 스케일을 조정하고 ‘이동’ 단추로 임의지점으로의 이동이 가능하게 하였다. ‘초기화’ 단추는 화면의 스케일과 위치를 처음 상태로 돌려놓는 역할을 한다. 그림 3.3.44~3.3.47은 보조 메뉴 아이콘 클릭시 뜨는 창을 나타낸다.

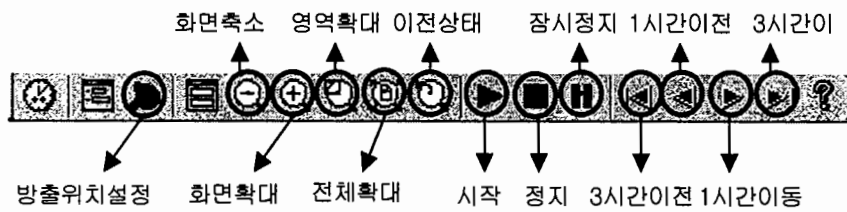


그림 3.3.43 KUSSMOS 보조메뉴 1.

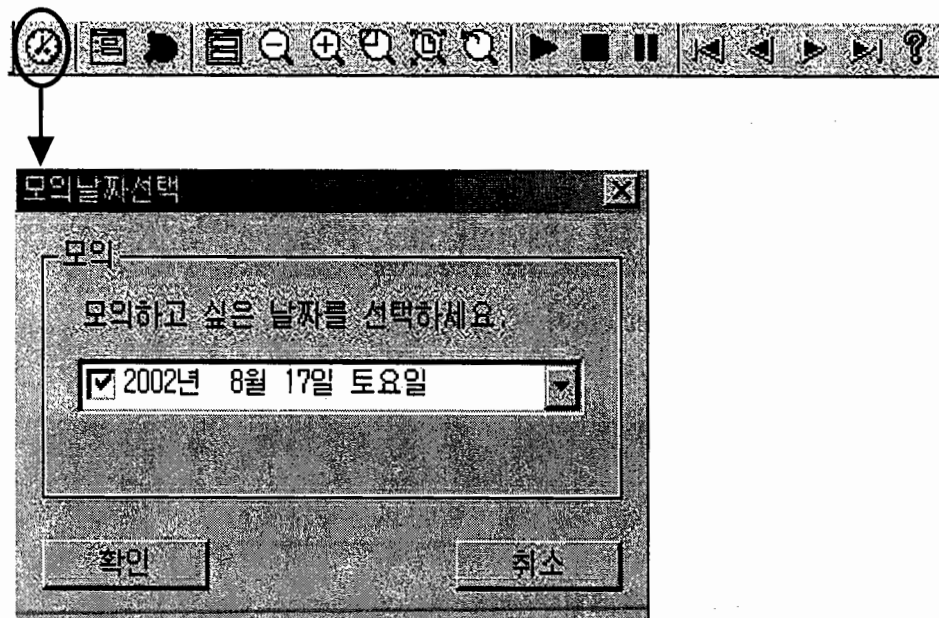


그림 3.3.44 KUSSMOS 보조메뉴 2.



그림 3.3.45 KUSSMOS 보조메뉴 3.

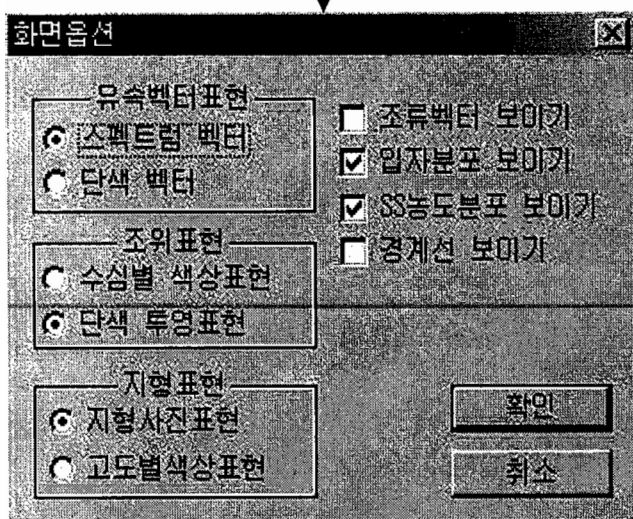


그림 3.3.46 KUSSMOS 보조메뉴 4.





그림 3.3.47 KUSSMOS 보조메뉴 5.

지형도와 함께 나타나는 모의결과 표시부에서는 주메뉴 또는 보조메뉴에서 지정한 결과에 따라 유속분포, 부유사 농도분포가 화면에 나타난다. 그림 3.3.48은 유속분포가 선택된 예, 그림 3.3.49는 부유사 농도분포가 선택된 예이며, 보조메뉴에서 줌을 선택함에 따라 보고자 하는 지역을 확대할 수 있다(그림 3.3.50, 3.3.51).



그림 3.3.48 유속분포 가시화 예.



그림 3.3.49 부유사 농도분포 가시화 예.



그림 3.3.50 유속분포 확대가시화 예.

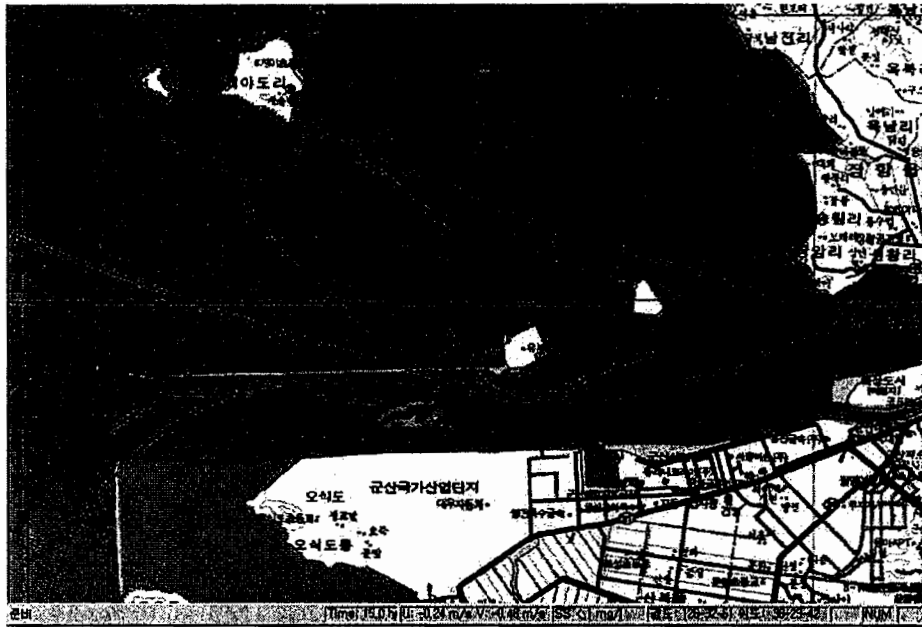


그림 3.3.51 부유사 농도분포 확대가시화 예.

이상과 방법과 같이 보조메뉴에서 play버튼을 선택하면 조위, 유속분포, 입자이동, 부유사 확산과정을 모의된 1일간의 결과를 동영상으로 볼 수 있다. 동영상 자료는 필요시 정지, 계속할 수 있으며 확대한 화면에 대해서도 가능하다.

#### 라. 결론 및 제언

항만확장 및 신설을 비롯한 다양한 연안개발사업으로 인해 발생한 부유토사의 거동을 실시간으로 예측할 수 있는 시스템을 군산 해역을 대상으로 수립하였다. 수립된 시스템, KUSSMOS를 활용하여 계산된 조류는 비교적 관측치와 잘 일치하였다. 부유토사 확산 모의를 위해 수립된 입자추적모형의 계산치를 1, 2차원 이송·확산 문제의 해석해 및 현장 관측치와 비교한 결과, 계산결과가 해석해 및 현장 조사 결과와 비교적 잘 일치하였다. 그러나, 모의시 격자간격과 총 입자수의 선정에 주의하여야 함을 확인할 수 있었다. 유속 계산의 정확도를 높이기 위해 현재 4개 분조만을 고려한 것을 추가적으로 보다 많은 조석 분조를 고려할 필요가 있으며, 바람과 담수 유입의 영향도 추가적으로 고려해야 할 것이다. 또한, 각종 공사에 적합한 부유사 발생량 산정식의 개발, 퇴적물의 침식, 퇴적, 침강 등에 대한 정량적 평가, 모형 검증을 위한 부유사 농도분포 관측 등이 실시되어야 할 것이다.

### 3. D-CORMIX

#### 가. 모형개요

D-CORMIX(Dredge-CORMIX)는 준설 등에서 발생하는 고농도 플룸의 거동 모의를 위해 기존 CORMIX에 입자의 침강을 추가·확장한 모형이다(Doneker and Jirka, 1997). 연속적인 준설토 방류로 인한 음부력(negative buoyancy)을 지닌 부유 퇴적물 거동 재현이 근역과 원역에서 가능한 모형이며 CORMIX와 같은 user-interface를 사용한다. 근역에서의 흐름 구조를 파악을 위해서는 CORMIX1(Doneker and Jirka, 1990)과 CORMIX3(Jones *et al.*, 1997)의 분류 알고리즘을 사용한다. 각 상황에 따라 분류된 흐름 양상에는 적절한 제트적분 혹은 길이축척 모형이 적용되며, 방류제트와 플룸의 경계 상호작용을 고려한다. 준설토 방류조건은 그림 3.3.52와 같으며, 준설토사는 5개 종류의 퇴적물 입자크기, 즉 large chunky solids, sand, coarse silt, fine silt, and clay로 분류하여 Stokes의 침강속도를 적용한다.

주변 수괴는 그림 3.3.53에서와 같이 2개의 서로 다른 해역조건, 즉 주변 유속 ( $u_a$ ), 바닥경사( $S$ ), Darcy 마찰계수( $f$ )를 사용할 수 있다. 외해 경사면( $S_2$ )은 평평하거나 경사지게 줄 수 있으나 해면인접 경사면( $S_1$ )은 반드시 경사조건으로 주어야 한다. 투기해역의 주변수 성층화 조건은 그림 3.3.53과 같이 상이한 수심에서 3개의 다른 해수밀도를 고려할 수 있다.

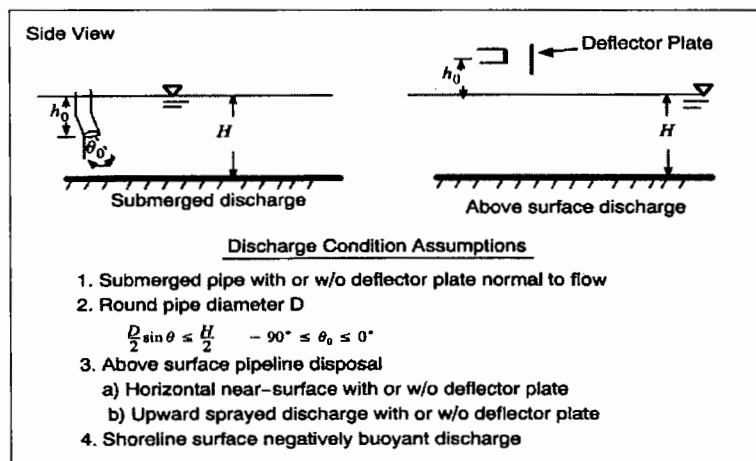


그림 3.3.52 D-CORMIX 모형의 부유토사 방류조건 (Doneker and Jirka, 1997).

D-CORMIX는 CORMIX와 같이 부력제트 유체의 길이축척 이론을 근간으로 Jet-Plume의 유체역학적 분류 알고리즘(그림 3.3.54)을 사용하며, CORMIX1에서는 해저면에서 부력을 가지는 제트의 흐름을 고려하는 것에 비해 D-CORMIX는 수표

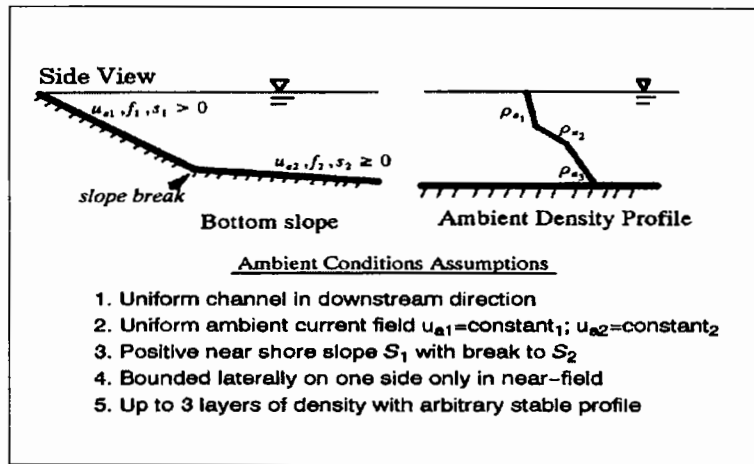


그림 3.3.53 D-CORMIX 적용해역에 대한 수리역학적 가정 및 조건(Doneker and Jirka, 1997).

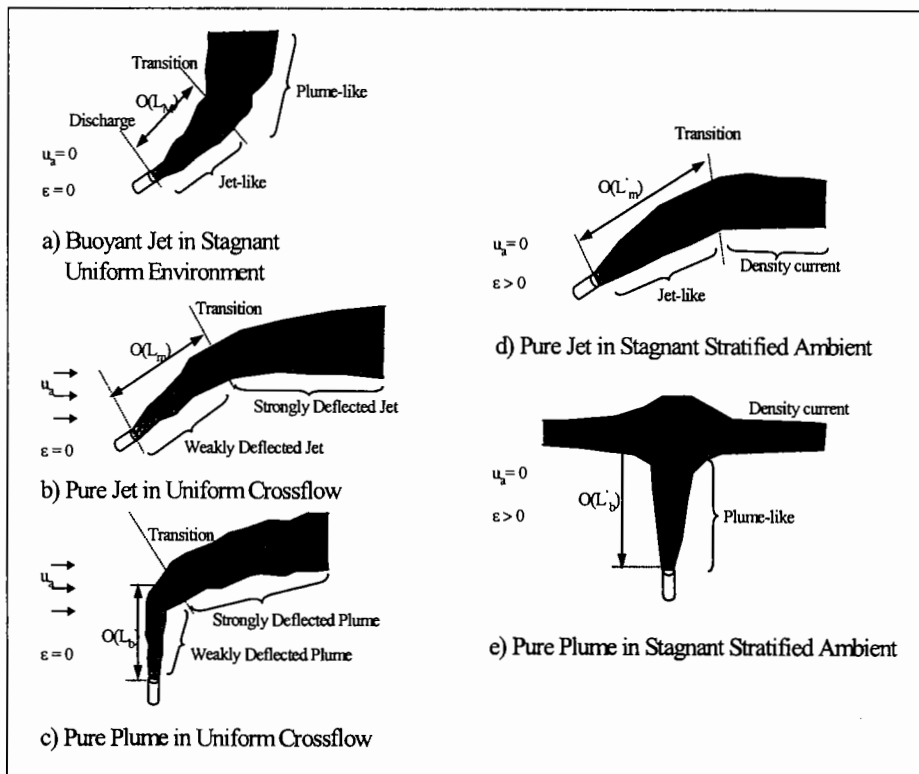


그림 3.3.54 주변수 수리역학 조건에 따른 부력제트 혼합유체 형성 (Doneker and Jirka, 1997).

면에서 음의 부력제트를 갖는 제트-플룸 거동으로 해석하게 된다. 길이축척의 정의는 표 3.3.3과 같다(Jirka and Doneker, 1991). 그러므로 D-CORMIX에 의해 모의된 플룸 거동은 CORMIX1의 'mirror image'로 변형시켜 나타난다. 즉, 해저면을 수표면으로 바꾸어서 플룸이 해저면으로 가라앉는 양상을 모의하게 되며, D-CORMIX 모형에서는 해저면에 접촉하는 퇴적양상을 모든 흐름양상에 대해서도 모의가 가능하다. 그림 3.3.55에서는 이 모형에서 사용하고 있는 부력제트 흐름에 대한 알고리즘의 한 예로서 수표면에서 수직하 방향으로 토사가 방류될 경우에 'mirror image'로 변형시킨 형태를 보여주고 있다.

표 3.3.3 D-CORMIX에서 사용되는 부력제트의 길이축척.

특성 길이	축 척
$L_Q = Q_0/M_0^{1/2}$	Discharge(geometric) length scale
$L_M = M_0^{3/4}/J_0^{1/2}$	Jet/plume transition length scale
$L_m = M_0^{1/2}/u_a$	Jet/crossflow length scale
$L_b = J_0/u_a^3$	Plume/crossflow length scale
$L'_m = M_0^{1/4}/\epsilon^{1/4}$	Jet/stratification transition length scale
$L'_b = J_0^{1/4}/\epsilon^{3/8}$	Plume/stratification transition length scale

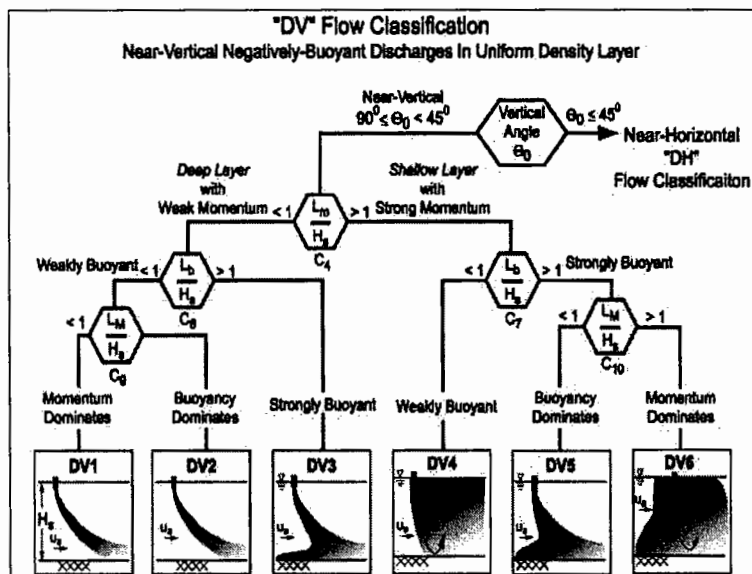


그림 3.3.55 수면에 수직으로 방류한 경우의 유체역학적 부력제트흐름 분류 (<http://www.cormix.info/dcormixmodel.php>).

D-CORMIX의 실행 흐름도는 그림 3.3.56과 같다.

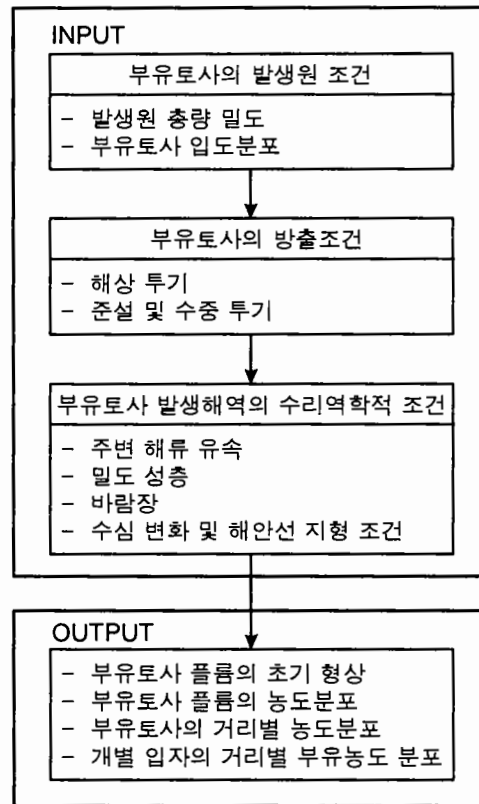


그림 3.3.56 D-CORMIX 모의흐름도.

#### 나. 현장적용

D-CORMIX를 국내 CSD 및 그랩 준설선 작업현장에 적용하였다. CSD와 그랩 준설선 작업시의 부유토사 발생원인은 각각 표 2.2.1과 표 2.2.2에 제시하였으며, 그림 3.3.57은 이를 모식화한 것이다.

D-CORMIX 적용시에는 일정량의 부유토사가 해당지점에서 방류되는 것으로 이상화시켜야 하며, 이러한 이상화 과정시 우선적으로 고려되어야 할 사항은 초기 부유토사의 발생량과 방류형태이다. 실제 해역에서의 조건은 방류의 형태가 아니므로 본 실험에서는 방류모멘텀을 최대한 줄이고 주변 유속이나 확산계수, 입자의 음부력에 의한 부유토사의 플룸의 형태를 재현하기 위하여 방류유속은 주변유속과 같이 두었으며, 방류관경은 모형에서 제한하는 범위의 최대값을 사용하였다.

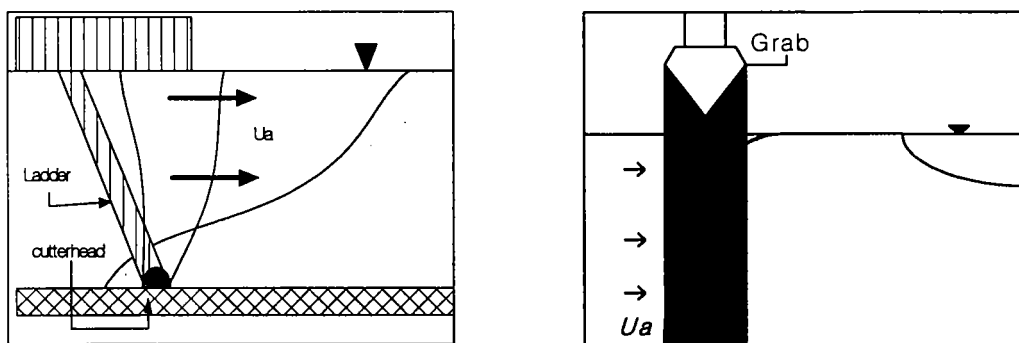


그림 3.3.57 준설 작업시 부유토사 플룸의 거동 (좌: CSD, 우: Grab).

(1) 아산항

아산항에서의 12,000 마력 CSD 작업시에 대해 D-CORMIX를 적용하였다. 아산항 주변 수심과 준설지점을 그림 3.3.58에, 공사중(2001년 1월 10일 16시)에 관측된 부유토사 농도의 수심별 공간분포를 그림 3.3.59에 제시하였다.

그림 3.3.59의 굵은선 사각형 구역은 준설지역으로 동시관측자료가 없어 주위 값으로 보간된 것이기 때문에 농도가 실제보다 낮게 그려졌다. 그러나 다른 시각에 준설선 직하 3 m에서 관측했던 자료를 보면 창조시 최고 250 mg/l의 농도를 보이므로 대략 200 mg/l 내외의 값을 가질 것으로 추측된다.

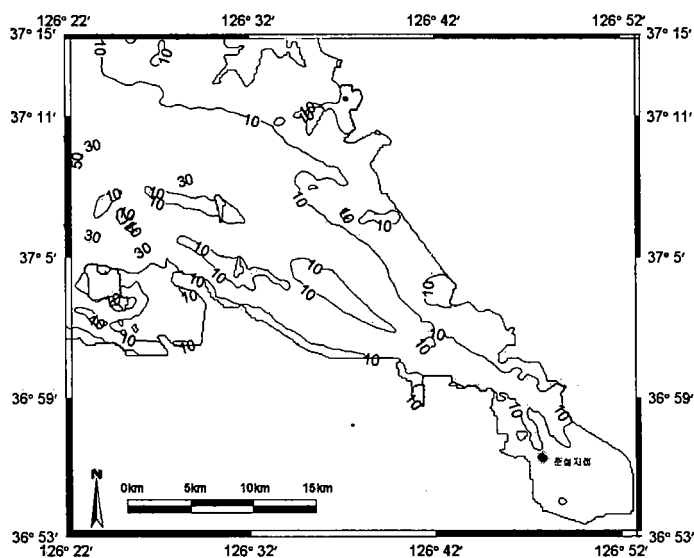


그림 3.3.58 아산항 주변 해저지형 및 CSD 준설지점.



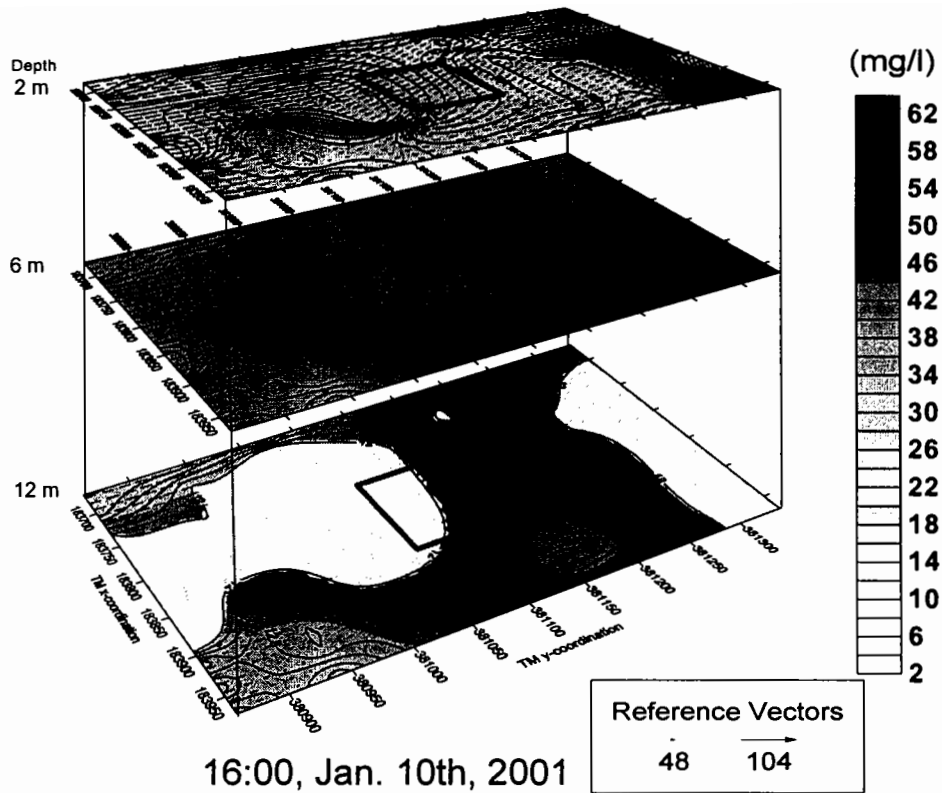


그림 3.3.59 아산항 준설공사시 수심별 부유토사 농도분포.

준설선의 swing과 불규칙한 준설강도의 변화로 인해 불연속적인 형태를 갖는 부유토사는 조류를 따라 이동하며 확산된 후 좀더 연속적인 플룸의 형태로 정착된다. 관측지에서 부유토사의 플룸을 분석하는 데에는 두 가지 어려움이 있다. 첫째는 배경농도의 산정이다. 특히 주변에 조간대가 산재해 있고 강한 조류가 있는 지형에서는 배경농도의 영향이 크다. 그림 3.3.59에 따르면 상류측에 저수심대가 존재하고 유속이 커서 그 바로 아래쪽으로 배경농도가 크게 나타나며, 여기서 발생하는 부유물이 준설구역 하류까지 미친다.

둘째는 지형의 영향으로서 준설구역에서 하류 쪽으로 해저면이 높아지면서 밀도류의 흐름이 단순하지 않은 양상을 보인다. D-CORMIX는 이러한 지형을 모사할 수 없다. 그림 3.3.59에 따르면 지형에 의존하는 저층 밀도류에 의한 부유물질의 이송과 상층 조류에 의한 이송·확산이 농도분포에 복합적으로 영향을 주고 있음을 볼 수 있다. 균등수심이나 흐름방향으로 깊어지는 경사로 해저면을 단순화하는 가정은 양의 부력을 갖는 방류수의 모의에서는 플룸이 바다에서 수표면으로 즉, 보다 넓고

균일한 특성을 갖는 쪽으로 이동되기 때문에 어느 정도 유효한 것이지만, 저면으로 향하거나 저면 부근에서 이동하는 경우를 모의하는데는 많은 제약이 따른다.

전술한 이유로 인해 D-CORMIX 적용에 몇 가지 가정이 도입되었다. 우선 배경농도 산정은 대략적인 것으로 수심에 따른 변화가 고려되지 않고 시공간적으로 평균된 값이 사용되었다. 플룸 중심을 따른 농도 변화는 그림 3.3.60의 선 A를 따른 값을 사용하였다.

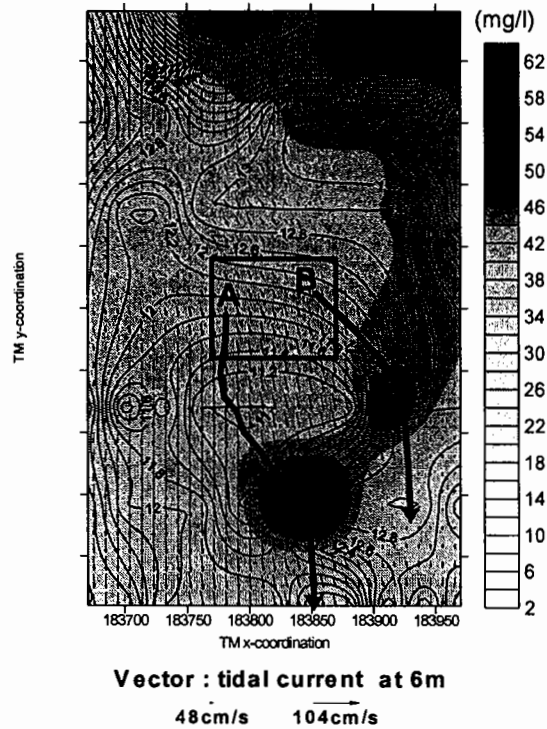


그림 3.3.60 아산항 준설공사시 수심 6m에서의 부유토사 플룸의 거동.

입력 변수들의 값은 작업당시의 조건을 참고로 하여 결정하되 주요 변수의 값을 변화시키면서 테스트하여 결과에 미치는 영향을 살펴보았다. Darcy-Weisbach 저면마찰계수는 0.03으로, 풍속이 입자 거동에 미치는 영향은 작다고 가정하여 모형 내의 추천 값인 2m/s로 통일하였고, 준설지역에서의 수심이 평균 10m 내외인 것을 감안하여 해저면경사는 연안 가까이(거리 17.33m까지)는 30°, 그 보다 멀리는 0°로 하였으며, 연안으로부터 거리 1,500m인 지점에서 준설이 이루어지는 것으로 하였고, 창조시 유향의 오른쪽에 해안선이 있는 상황을 모의하였다. 충분히 해안선에서 멀리 떨어져 있기 때문에 부유토사가 해안선에 부딪치는 일은 없으므로 방향성은 문제가 되지 않는다. 주변수 밀도는 비성층으로 평균해수밀도인 1,025kg/m<sup>3</sup>으로 하였

다. 입경별 부유사를 혼합한 실험시의 입력조건인 입도분포는 현장자료로부터 구한 값을 이용하였으며, D-CORMIX가 제안하는 각 입자별 침강속도와 함께 표 3.3.4에 나타내었다.

준설선에서의 관측자료를 토대로 주변 유속은 1.0m/s로 하였고, 방류유속은 방류모멘텀을 줄이기 위하여 주변 유속과 같게, 방류방향 역시 주변 흐름과 같게 주었다. 초기 준설지점의 농도는 관측된 부유사 농도자료를 근거로 200mg/l로 하였다.

모의결과를 그림 3.3.61에 제시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 준설지점에서 약 11m 이후에는 플룸의 연직 두께가 약 1미터 정도로 바닥에 낮게 깔려 이동되는 것을 알 수 있다. 그림 3.3.62은 해저면(수심10m)에서의 플룸의 형상과 농도분포이다.

그림 3.3.63은 3.3.60의 참조선 A에 따른 수심 6미터에서의 농도 변화를 나타낸다. 모의에서는 배경농도를 고려치 않았으므로 현장 관측치에서 구한 배경농도 35 m/l를 더하여 도시한 것이다. 그림 3.3.63의 관측치는 거리 177m에서 약 50 mg/l 정도의 농도를 보이는데, 이러한 농도상승의 원인을 그림 3.3.60에서 살펴 볼 수 있다. 선 A와 B에서 농도가 상승하는 곳은 수심이 급하게 깊어지며 유속이 급감하는 지역이다. 따라서, 유속감소와 지형변화가 주변 부유토사 농도에 영향을 준 것으로 판단된다. D-CORMIX 모형에서는 국부적인 저유속 지역을 모의할 수 없으며, 이 점은 관측치와 차이를 보이는 주요한 요인중 하나이다.

표 3.3.4 퇴적물 입도분포 및 입경별 침강속도.

구 분	입경 ( $\mu\text{m}$ )	침강속도* (mm/s)	구성비 (%)
Chunks**	N/A	N/A	0
Sand	> 62	320	30
Coarse silt	16-62	6.28	30
Fine silt	3.3-16	0.394	30
Clay	< 3.3	0.0134	10

\* Doneker and Jirka(1997)

\*\* large non-suspended solids and stones

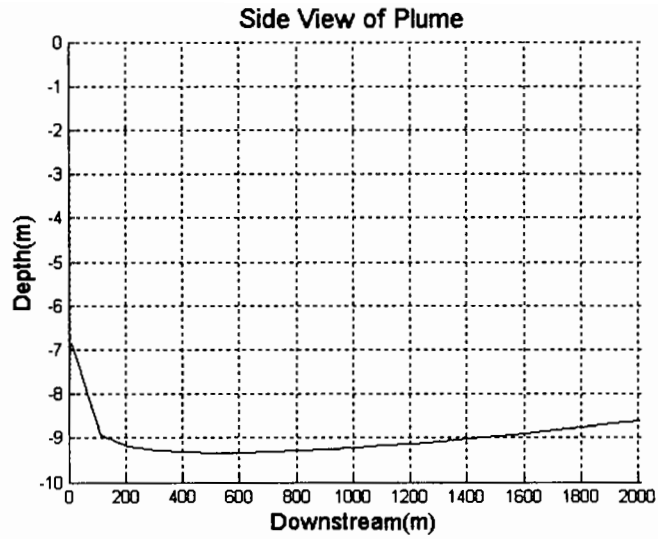


그림 3.3.61 부유토사 플룸의 연직 두께.

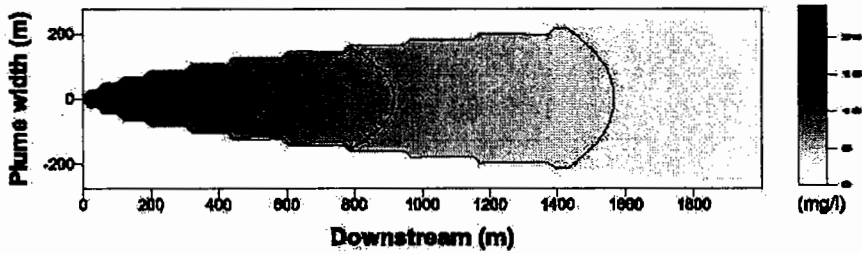


그림 3.3.62 해저면에서 부유토사 플룸의 수평 농도분포.

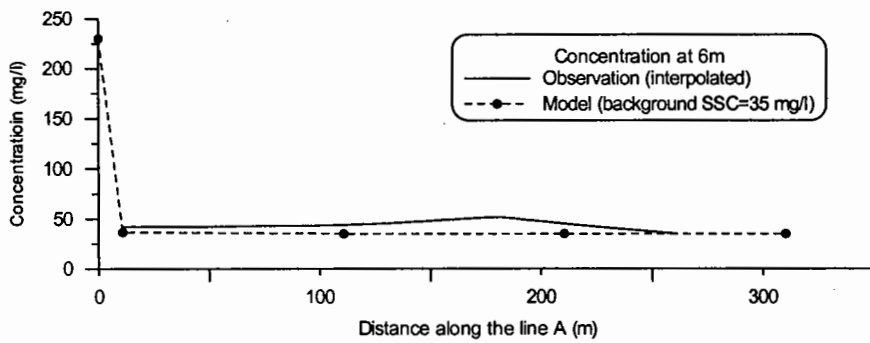


그림 3.3.63 아산항 준설현장의 관측치와 모의 결과의 비교 (그림 3.3.60의 참조선 A를 따른 농도 변화).

(2) 군산항

D-CORMIX를 2002년 8월 17일 군산외항 인근에서 13m<sup>3</sup> 그랩 준설선 ‘해승 13호’ 작업시에 대해 적용하였으며, 부유토사 발생을 산정을 위한 단면관측자료를 입력·검증자료로 이용하였다. 관측시각이 낙조 말기임에 따라 유속은 약 3~15cm/s로 작았으며, 발생원으로부터 30m 떨어진 단면에서 관측된 부유토사 발생율은 3~5 kg/s이다.

준설선에서 각각 30m, 150m 떨어진 단면 1과 단면 2에서의 관측시각별 부유토사 발생율과 플룸평균유속, 단면최고농도를 표 3.3.5에 제시하였다. 부유토사 입경분포는 위치에 따라 차이가 있으므로 표 3.3.2에 제시한 관측치 가운데 준설선 인근 6개 정점의 자료를 사용하였다(표 3.3.6).

표 3.3.5 해승 13호 작업시 관측자료.

관측번호	관측단면	관측시각* (h:m:s)	발생율 (kg/s)	평균유속 (cm/s)	최고농도 (mg/l)
1	1	14:52:14	5.54	14.61	333
	2	14:54:56	3.06	16.09	105
2	1	15:10:34	0.51	3.35	200
	2	15:13:21	0.30	7.29	73

\* 관측선의 플룸중심 통과시각

표 3.3.6 준설선 인근 정점의 부유퇴적물 입도분포(%).

입경구분 \ 정점*	1	2	3	18	19	20
sand (>64 μm)	8.77	49.52	39.38	2.27	18.8	50.70
coarse silt (16~64 μm)	63.85	36.60	46.48	63.22	61.62	36.77
fine silt (3.3~16 μm)	24.92	11.55	12.17	31.22	16.80	10.17
clay (<3.3 μm)	2.45	2.32	1.97	3.24	2.77	2.35

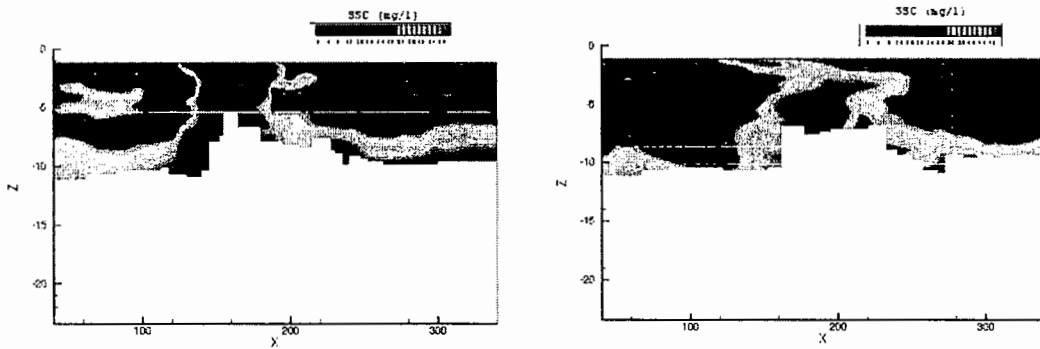
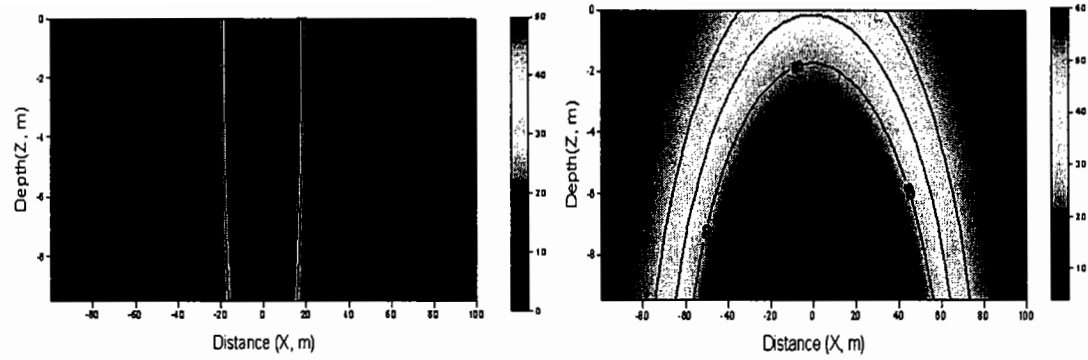
\* 위경도는 표 3.4.2 참조

입력유속과 발생율은 단면 1에서의 값을 사용하였으며, 부유토사 입경은 준설선에서 가장 가까운 정점(18번 정점)의 입도분포를 사용하는 경우와 6개 정점 평균치를 이용하는 두 가지 case로 나누어 실행하였다.

한편 일정수심 10m인 지형에 대한 모의를 위하여 해안선 근처에서의 경사를 모형입력최대치인 30°로, 이후의 경사는 0°로 하여 해안선에서 떨어진 영역의 수심이 10m를 유지하도록 하였다. 마찰계수와 풍속은 각각 모형에서의 추천 값인 0.03, 2 m/sec로 하였다. 육지경계에서의 간섭을 없애기 위하여 육지경계로부터 충분히 먼 거리로 하였다(발생원으로부터 1,500m 지점).

각 case별 모의결과 중에서 관측번호 1과 관측번호 2에 대한 모의결과와 관측치를 각각 그림 3.3.64와 그림 3.3.65에 제시하였다. D-CORMIX에서는 정상상태이고 일정한 유향을 가정하므로 횡방향 유속은 고려하지 못한다. 그림 3.3.64의 결과는 관측치와 비슷한 경향을 보이지만 그림 3.3.65에 제시된 관측치는 비교적 횡방향 유속의 영향을 많이 받은 것으로 볼 수 있다. D-CORMIX는 연속방류를 가정하는 반면 그림 준설작업시 발생하는 부유토사 거동은 불연속적이기 때문에 그림 3.3.65에서 준설선 인접지점의 플룸의 형태가 전 수심방향에 걸쳐 분포하지 않고 해저면에서의 농도가 상대적으로 높음을 알 수 있다. 거리에 따른 부유토사의 최고 농도를 그림 3.3.66에 제시하였다.

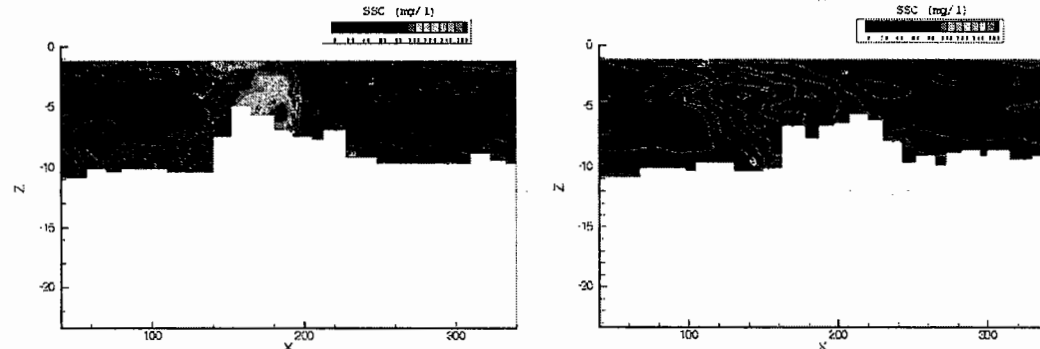
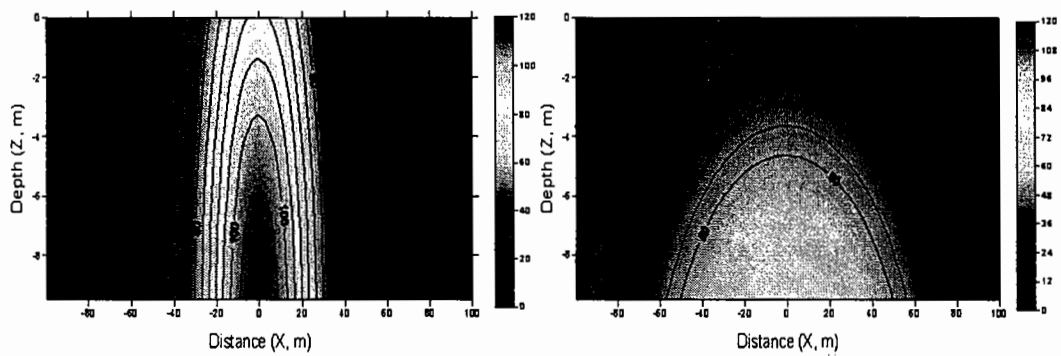
D-CORMIX의 실행결과와 관측치가 비교적 잘 일치되고 있으나, 발생원으로부터 150m 떨어진 지점에서는 모의농도가 관측치보다 약간 높게 나타난다. 이는 모형에서의 제한점으로 인하여 횡방향 해류와 유속의 세기와 방향이 시각별로 변하는 것을 고려하지 못하는데 그 영향이 있다고 할 수 있다. 이외에 초기입력자료를 구성함에 있어 초기 발생량의 정확한 입력이 요구되는데 앞서 언급한 바와 같이 준설현장의 토질 상태, 유속의 변화, 준설작업강도 등 여러 가지 요인으로 인해 정확히 파악되기는 어렵다. 하지만 발생원으로부터 150m 지점에서의 부유농도가 대략 초기의 30%정도에 이르는 것을 볼 때, 일반적인 이송·확산 모형에서 초기발생농도를 입력하는 것보다는 근역모형의 결과로 산정된 부유물질농도를 사용하는 것이 보다 타당하다고 할 수 있다. 그림 3.3.67은 준설지점으로부터 거리에 따른 부유퇴적물 입자별 농도변화에 대한 D-CORMIX 모의결과이다.



a. 준설지점에서의 플룸의 형태

b. 150m지점의 플룸의 형태

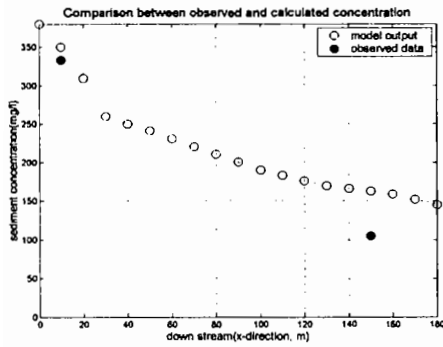
그림 3.3.64 관측번호 1에 대한 모의결과와 관측결과의 단면농도분포비교 (상 : 모의결과, 하 : 관측결과).



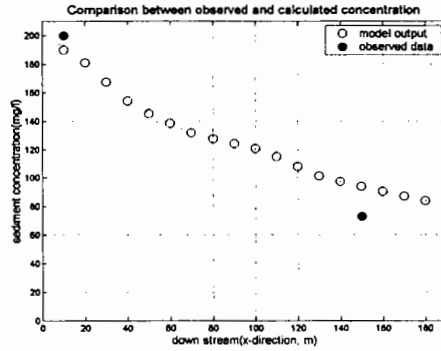
a. 준설지점에서의 플룸의 형태

b. 150m지점의 플룸의 형태

그림 3.3.65 관측번호 2에 대한 모의결과와 관측결과의 단면농도분포비교 (상 : 모의결과, 하 : 관측결과).

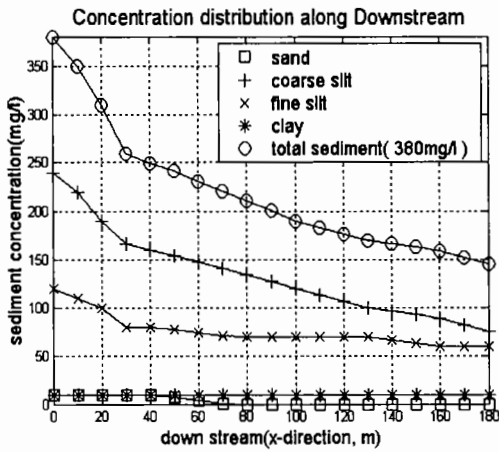


a. 관측번호 1의 경우

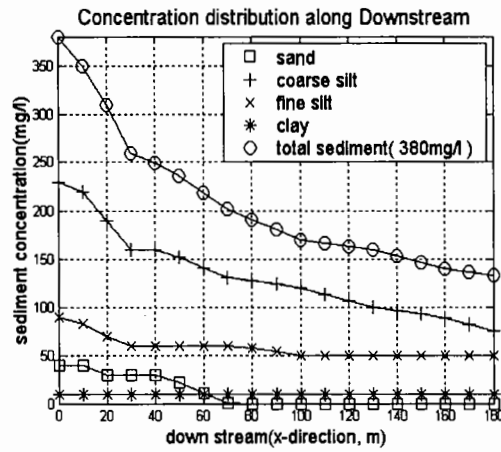


b. 관측번호 2의 경우

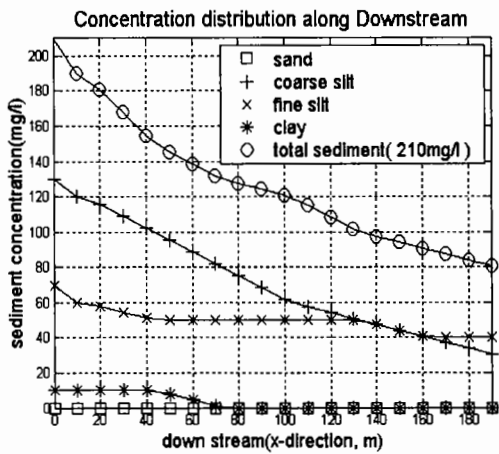
그림 3.3.66 관측치와 모형모의결과의 거리별 부유사의 농도 비교.



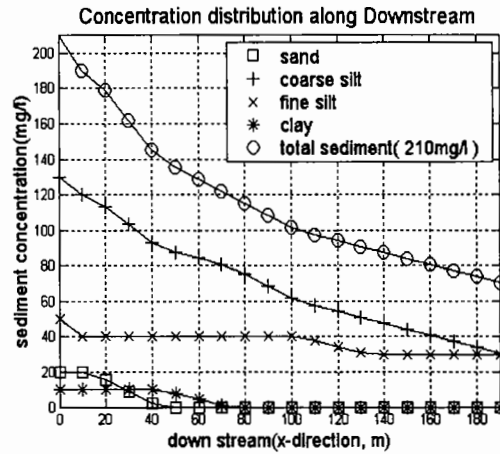
a. 관측번호 1-case 1



b. 관측번호 1-case 2



c. 관측번호 2-case 1



d. 관측번호 2-case 2

그림 3.3.67 거리별 부유입자별 농도 계산치.





제4장  
연구개발목표 달성도 및  
대외기여도



## 제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

다양한 연안공사가 주변 해역 생태계에 악영향을 미치는 대표적인 원인은 준설 작업 등에 의해 발생하는 부유토사이다. 따라서 그 악영향을 예측하고 최소화할 수 있는 방안을 도출하기 위해서는 工種, 水理 및 해저퇴적물 조건에 따른 부유토사 발생율에 관한 신뢰성 있는 정보의 확보가 필수적이다. 아울러 EW와 공사중 실시간 탁도감시체계를 시행·운영한 경험이 없는 국내 대부분의 공사현장에서는 부유토사 확산범위 저감방안으로 오타방지막을 설치하고 있으나, 그 효율이 지극히 의심스러운 실정이다. 즉, 환경영향평가지 부유토사로 인한 피해를 저감할 수 있는 방안을 도출하기 위한 기초자료가 국내에는 없다.

이에 본 연구는 1) 부유토사 발생율 산정, 2) 오타방지막 설치효율 제고방안 도출, 3) 관련 수치모형 수립을 목표로 3개년 동안 수행되었으며, 각 분야별 목표를 만족할 만한 수준으로 달성하였다. 각 분야별 성과와 기대되는 대외기여도를 요약하면 다음과 같다.

### ■ 연구개발목표 달성 내용

#### 1) 부유토사 발생율

- 최신의 첨단장비를 이용한 심도 있는 현장관측을 통하여 다양한 수리환경과 해저퇴적물 조성, 그리고 준설선 종류와 용량별로 부유토사 발생율을 산정·제시하였다.
- 국내에서는 주로 20년 전의 일본의 자료를 원용하였으며, 4,000 마력의 CSD에 대한 발생율 적용에 애로가 있었으나 본 연구를 통하여 4,400 마력, 7,200 마력, 그리고 12,000 마력과 20,000 마력 CSD에 대한 발생율을 추가로 제시하였다.
- 그 동안 개발준설시 해저면 쇄암 후, 그랩 준설로 발생하는 부유토사의 발생율에 관한 조사 성과는 국외에서도 찾아보기 힘들었으나 본 연구에서 포함되었으며, 일반적인 그랩 준설에 비해 발생율이 높다는 사실도 밝혔다.

- 국내에서는 처음으로 ADCP를 이용하여 부유퇴적물 농도 연직분포를 신뢰성 있게 관측하는 등 관련 분야 현장관측기술을 획기적으로 제고하였다.
- 일본의 '오탁발생원단위'의 배경논리에는 큰 문제가 없고, 수치모형 입력자료로서도 유용하지만 세립퇴적물의 침강속도식과 부유가능 임계유속에 문제가 있어 적용시 유의하여야 함을 밝혔다.

## 2) 오탁방지막 효율 제고 방안

- 국내에 설치된 대부분의 오탁방지막이 그 효과를 기대하기 어려운 곳에 설치되어 있으며, 유지관리 소홀로 효과가 의심스럽다.
- 국내외 현장 방문조사, 문헌조사, 현장관측을 통해 확보한 자료를 바탕으로 오탁방지막 설치를 위한 水理基準, 방지막의 형식 및 평면배치, 유지관리 등에 대한 지침(案)을 제안하였다.
- 일본 '해상공사오탁방지협회'의 기술위원회가 발간한 '오탁방지막 설계 및 시공요령'의 주요 부분을 발췌하여 부록에 수록하여 국내 관련 업체들의 설계·시공 참고자료로 활용되게 하였다.

## 3) 부유토사 이송·확산 실시간 예측 시스템 수립

- 부유토사 비전문가라도 쉽게 이용할 수 있는 GUI를 채택한 예측시스템 KUSSMOS를 군산항에 수립하여 그 신뢰도를 검증하였다.
- 지형과 수리조건 단순화가 가능한 해역에서 이용할 수 있는 D-CORMIX의 적용성을 검토하였다.

## ■ 대외기여도

### 1) 부유토사 발생을

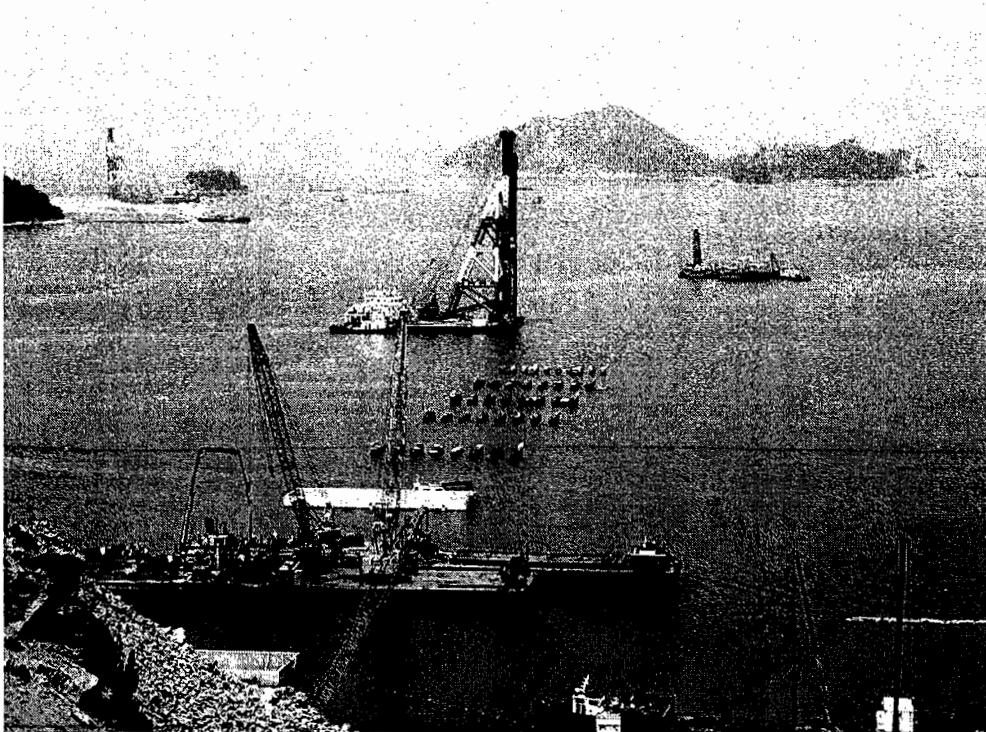
- 국내 연안공사에서 사용하는 준설선(CSD, grab)을 대상으로 현장 수리·퇴적환경이 반영된 최초의 연구성과이므로 향후 환경영향평가와 어업피해범위 산정 등에 필수적인 기본입력자료로 활용될 것이며,
- 부유토사 확산 예측의 신뢰도가 제고될 것이다.
- 본 연구에서 충분한 현장조사를 수행할 수 없었던 TSHD, dipper, bucket型 준설선 등에 대해서는 문헌조사를 통하여 보고서에 수록한 국외 연구성과를 원용할 수 있을 것이다.

## 2) 오탉방지막 효율 제고

- 국내 최초로 水理條件 측면에서의 설치 지침(案)으로 오탉방지막의 효율 제고가 기대되며,
- 방지막 설치가 요망되는 환경민감해역에서 본 지침과 일본의 설치 요령을 참조함으로써 부유토사 저감효율을 높일 수 있을 것이다.

## 3) 부유토사 이송·확산 실시간 예측 시스템

- 사전환경영향평가 이후 본격적인 시공중의 부유토사 확산양상의 신속한 예측으로 현장상황 변화에 시의적절하게 대응할 수 있으며, 후속 설계변경과 연안환경관리 효율이 제고될 것이다.



- 부산신항 웅천대교 건설구간 (2001년)
- 3장 2절의 '오탉방지막 효율 현장관측' 참조



제5장  
연구개발결과의 활용계획





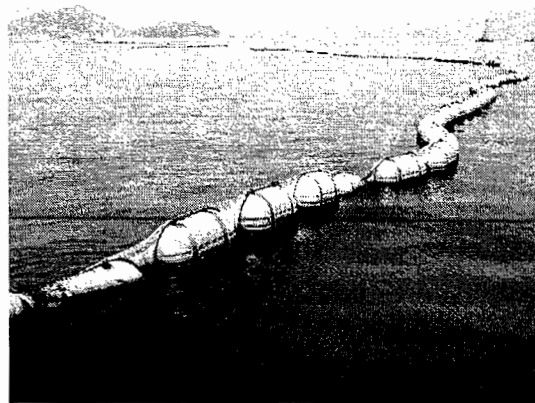
## 제5장 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통하여 제시된 부유토사 발생율과 오탁방지막 설치 지침(案) 중의 水理條件 측면의 설치여부 기준은 국내에서 처음 제시되는 결과이며, 관련 기관들이 그 시급성을 충분히 인식하고 있으므로 향후 널리 활용될 것으로 기대된다.

본 연구성과의 조속한 파급과 적극적인 활용을 도모하기 위해 환경영향평가와 평가서 검토를 담당하는 환경부와 한국환경정책·평가원, 환경영향평가를 대행하는 대학 및 관련 업체, 지방자치단체 등에 본 보고서를 배포하고, 관련 학회 학술대회 및 학술지에 발표할 계획이다.

그러나 호안 및 방파제 축조를 위한 사석 투하, 토사 직투 등과 향후 그 이용도가 높아질 것으로 예상되는 TSHD에 관한 발생율 조사가 미흡하며, 국내에는 자립식, 조합식 이중오탁방지막이 설치된 사례가 없어 조사하지 못했으므로, 향후 이에 대한 후속조사 등을 통하여 지침을 지속적으로 보완할 필요가 있다.

부유토사 확산·이송 실시간 예측시스템은 일부 해양선진국에서 채택하고 있는 'feedback monitoring system' 구축에 필수적인 요소이며, 향후 국내에도 도입될 것으로 예상된다. 따라서, 이를 보다 세련화하여 각 지방해양수산청과 환경관리청에 적극적으로 보급할 예정이다.



고정식 수하형 오탁방지막(부산신항)



## 참 고 문 헌



## 참 고 문 헌

- 강시환·유승협·오병철·박광순. 2000. 마산·창원 하수종말처리장의 해양방류 처리수에 대한 처리수에 대한 초기·근역 회석연구(Ⅱ). 한국해양환경공학회지, 3(1): 35-44.
- 강시환·김영도·이호진·김상익·한성대. 2001. 해양수리특성의 변화를 고려한 연속적 근역혼합거동. 한국해양환경공학회지, 4(4): 12-20.
- 군산대학교 환경건설연구소. 2001. 군·장항만 일대 해역 공사별 오락방지막 설치여부 검토 보고서.
- 군산지방해양수산청. 2001. 금강하구 수리현상 변화조사.
- 김영도·강시환·서일원·오병철. 2000. 3차원 입자추적 모형에 의한 수중방류 하수의 이송·확산 예측. 대한토목학회논문집, 20(6-B): 843-852.
- 김영도·서일원·강시환·오병철. 2000. 3차원 원역모형의 부력 경계조건에 의한 선형 플룸의 근역거동 해석. 2000년도 학술발표회 논문집(Ⅲ), 대한토목학회, pp. 333-336.
- 김용성. 1999. Visual C++ 6.0 완벽 가이드. (주)영진출판사.
- 김차겸·이종섭. 1993. 3차원 점성토 수송 모델의 개발과 수영만의 부유물질 확산. 대한토목학회논문집, 13(1): 179-192.
- 부산항건설사무소. 2001. 부산신항 해양수리현상 및 사후환경영향조사 연구개발 용역 (2차).
- 부산항건설사무소. 2002. 부산신항 해양수리현상 및 사후환경영향조사 연구개발 용역 (3차).
- 서승원. 1996. Eulerian-Lagrangian 농도 및 입자 결합모형에 의한 연안의 부유사 확산해석. 한국해안·해양공학회지, 8(2): 185-192.
- 신현주. 1999. OpenGL SUPERBIBLE. 도서출판 에프·원.
- 윤준용·강승규·강시환. 2000. 개수로에서 소류사의 영향을 고려한 부유입자 유동에 관한 수치적 연구. 한국수자원학회 논문집, 33(4): 461-469.
- 윤태훈. 1982. 유한요소법에 의한 항만에서의 토사이동 추정모형. 대한토목학회논문집, 2(2): 19-28.

- 이상엽. 1999. Visual C++ Programming Bible Ver. 6.x. (주)영진출판사.
- 이종섭·김호진. 1995. Random Walk 모형에 의한 확산해의 민감도 분석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 15(5): 1267-1277.
- 인천항건설사무소. 1993. 아산신항만 수리현장조사.
- 인천항건설사무소. 1996. 아산항 II 단계 개발사업 실시설계용역 수치모형실험.
- 전병선. 1999. Microsoft Visual C++ 6.0 MFC Programming. 삼양출판사.
- 정태성·김창식. 1992. 이동경계를 고려한 유한요소 해수유동모형. 한국해안·해양공학회지, 4(3): 146-155.
- 정태성. 1998. 물의 순환에 관한 3차원 유한요소모형. 한국해안·해양공학회지, 10(1): 27-36.
- 정태성. 2001. 침식률 측정자료를 이용한 2차원 퇴적물 수송모형의 개발. 한국수자원학회논문집, 34(6): 687-699.
- 정태성·고태진. 2001. 홍수 범람의 동적 가시화 프로그램 개발. 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), pp. 1050-1055.
- 정태성·김성곤·강시환. 2002. GUI를 이용한 3차원 유동 모델링 시스템의 개발 및 적용. 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 175-181.
- 정태성·김태식·강시환. 2002. 부유사 확산예측시스템의 개발. 한국해양환경공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 71-76
- 조재현·박재용. 1997. 추계 학술연구 발표회. 대한환경공학회. pp. 296-298.
- 최병호·이석우. 1986. 금강하구의 관측조석. 항만협회지(항만), pp. 24-38.
- 한국해양연구소. 1988. 연안환경 보전기술 개발연구. 과학기술처.
- 한국해양연구원. 2000a. 황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구. BSPE 00785-00-1312-2.
- 한국해양연구원. 2000b. 강릉수력발전소 가동으로 인한 해양영향조사. BSPI 99264-00-1337-3.
- 한국해양연구원. 2001. 부산신항 방파제 축조공사 파향·파고계 유지관리 용역 보고서. BSPI 329-00-1362-2.
- 해양수산부. 1996. 항만공사표준시방서.
- 運輸省第四港灣建設局海域整備課. 1982. しゅんせつ埋立による濁り等の影響の事前豫測マニュアル.

海洋開発工事安全公害対策本部, 1989. 汚濁水拡散防止膜の手引.

海洋工事汚濁防止協会. 1999. 汚濁防止膜の設置・施工要領.

Auratani, S., A. Murota and H. Iwata. 1993. Studies on numerical estimations of suspended solids load caused by dredging and reclamation works. *J. of Japanese Society of Civil Engineer*, 474:VI-20; 67-74 (in Japanese).

Anderson, E. 2001. SSFATE(Suspended Sediment FATE), a model of sediment movement from dredging operations. Inaugural International Conference on Port and Maritime R&D and Technology, Singapore, pp. 441-447.

Averett, D. E., and D.F. Hayes. 1997. Estimating contaminant losses during dredging. Proc. of the seventeenth United States-Japan experts meeting on management of bottom sediments containing toxic substances.

Blokland, T. 1988. Determination of dredging-induced turbidity. *Terra et Aqua*, IADC, 38: 3-12.

Bohlen, W.F. 1978. Factors governing the distribution of dredge-resuspended sediment. Proc. 16th Coastal Engrg. Conf., ASCE, pp. 2001-2019.

Bray, R.N., A.D. Bates and J.M. Land. 1997. *Dredging A Handbook for Engineers*. 2nd Ed., Arnold.

Bruun, P. 1989. *Port Engineering*. 4th ed. Gulf Publishing Company.

Bryne, J.B. and E. Patino. 2001. Feasibility of using acoustic and optical backscatter instrument for estimating total suspended solids concentrations in estuarine environment. Proc. 7th Fed. Interagency Sed. Conf., Reno, NV.

Chase, D. 1994. *DROPMIX User's Manual*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

Cheng, N.S. 1997. Simplified settling velocity formula for sediment particle. *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, 133(2): 149-152.

Clay, C.S. and H. Medwin. 1977. *Acoustical oceanography*. John Wiley and Sons, New York, 78-106.

Christodoulou, G. and F. Tzachou. 1994. Experiments on 3-D turbulent density currents. 4th Annual International Symposium on Stratified Flows, Vol. 3. June 29-July 2, Grenoble, France

Chung, T.J. 1978. *Finite element analysis in fluid dynamics*. McGraw-Hill Inc.

Clarke, D. and T. Miller-Way. 1992. An environmental assessment of the effects



- of open-water disposal of maintenance dredge material on benthic resources in Mobil Bay, Alabama. USACOE, Envr. Lab, WES, Vicksburg MS, Dredging Operations Technicla Support Program, Miscellaneous Paper D-92-1.
- Cundy, D.F. and W.F. Bohlen. 1980. A numerical simulation of the dispersion of sediments suspended by estuarine dredging operations. In: Estuarine and wetlands process, edited by Hamiltom and MacDonald, Marine Section II, Plenum Press, New York, N.Y.. 339-353.
- Dearnaley, M.P., J.R. Stevenson and J. Spearman. 1999. Environmental aspects of aggregate dredging. Report SR 548, HR Wallingford.
- Doneker, R.L. and G.H. Jirka. 1990. Expert system for hydrodynamic mixing zone analysis of conventional and toxic submerged single port discharges(CORMIX1). U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Athens, GA.
- Doneker, R.L. and G.H. Jirka. 1997. D-CORMIX continuous dredge disposal mixing zone water quality model laboratory and field data validation study. Oregon Graduate Institute, pp. 36.
- DRL Software Ltd. 2002a. Sediview version 3 available March! Sediviews Issue 2, February.
- DRL Software Ltd. 2002b. Software User Manual DRL-Sediview Version 3.
- Dynesen, C. 2001. Environmental management. In: Dredging and reclamation, edited by N.J. Gimsing and C. Iversen. The Øresund Technical Publications.
- Elastec/AmericanMarine Inc. Turbidity curtain. [www.turbiditycurtain.com](http://www.turbiditycurtain.com).
- Elder, J. 1959. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. J. of Fluid Mechanics, 5(4): 544-560.
- Fischer, H.B., J. Imberger, E.J. List, R.C.Y. Koh and N.H. Brooks. 1979. Mixing in inland and coastal water. Academic Press, New York.
- Folk, R.L. and W. Ward. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameter. J. of Sedimentary Petrology, 27:3-26.
- Fosner, R. 1997. OpenGL Programming for Windows 95 and Windows NT. Addison-Wesley Developers Press.
- Furudoi, T. 2000. Personal Communication.

- Gillespie, C. 2001. Mechanical engineering. In: Dredging and reclamation, edited by N. J. Gimsing and C. Iversen. The Øresund Technical Publications.
- Hathorn, W.E. 1997. Simplified approach to particle tracking methods for contaminant transport. *J. of Hydraulic Engineering, ASCE*, 123(12): 1157-1160.
- Hunt, J.N. 1979. Direct solution of wave dispersion equation. *J. Waterways, Port, Coastal Ocean Div., ASCE*, 105(WW4): 457-459.
- Hay, A.E. 1983. On the remote acoustic detection of suspended sediment at long wavelength. *J. Geophys. Res.*, 88(C12): 7525-7542.
- IADC/CEDA. 2000. Effects, ecology and economy. *Environmental Aspects of Dredging, Vol. 6.*
- IADC/CEDA. 1999. Reuse, Recycle or Relocate. *Environmental Aspects of Dredging, Vol. 5.*
- IADC/CEDA. 1998. Machine, Methods and Mitigation. *Environmental Aspects of Dredging, Vol. 4.*
- IHC Holland. [www.ihcholland.com/B\\_ihc\\_dredging/B08/b08.3\\_environmental](http://www.ihcholland.com/B_ihc_dredging/B08/b08.3_environmental).
- Jansen, E.F.P. 2001. Spill monitoring. In: Dredging and reclamation edited by N. J. Gimsing and C. Iversen. The Øresund Technical Publications.
- Jensen, A. 2001. Environmental investigation. In: Dredging and reclamation edited by N.J. Gimsing and C. Iversen. The Øresund Technical Publications.
- Jensen, H. 2002. Personal Communication.
- Jirka, G.H. and R.L. Doneker. 1991. Hydrodynamic classification of submerged single-port discharges. *J. Hydraulic Eng.*, 117(9): 1095-1112.
- John, S.A., S.L. Challinor, M. Simpson, T.N. Burt and J. Spearman. 2000. Scoping the assessment of sediment plumes from dredging. Construction and Industry Research and Information Association of the UK, Pub. No. CIRIA C547.
- Johnson, B.H., E. Anderson, T. Isaji and D.G. Clarke. 2000. Description of the SSFATE numerical modeling system. Doer Technical Notes Collection (TN DOER-E10), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Jonsson, I.G. 1966. Wave boundary layer and friction factors. *Proc. 10th Conf.*

Coastal Eng., : 127-148.

- Kang, S.W., C.K. Ziegler and W. Lick., 1987. A numerical analysis of sediment transport in an estuary., J. Korean Society of Oceanography, 22(1): 25-33.
- Kang, S.W., Y.D. Kim, J.C. Lee, B.C. Oh and K.S. Park. 2001. Transport of dredge-induced suspended sediments in Asan Bay. Proc. of Korea Society of Coastal and Ocean Engineers., Vol. 12, pp. 152-157
- Kang, S.W., Y.D. Kim, J.C. Lee, B.C. Oh. 2001a. Transport of suspended sediments due to dredging operation. Proc. Int'l Conf. on Port and Maritime R&D and Technology(ICPMRDT), Singapore, 1: 449-453.
- Kang, S.W., Y.D. Kim and S.H. You. 2001b. Ocean outfall modeling with the near and far hybrid scheme. Int'l Assoc. Hydraulic Eng.&Res.(IAHR), Proc. of the 29th IAHR Congress, Beijing, Proceedings of Theme B, pp. 23-28.
- Kang, S.W, B.C. Oh, T.S. Jung and Y.D. Kim, 2002. Influence on sediment transport due to port construction in Asan bay, Korea. PACON2002, pp. 133.
- Kim, Y.D., I.W. Seo, S.W. Kang and B.C. Oh. 2001. Modeling mixing of wastewater effluent discharged from ocean outfalls using a hybrid model. Coastal Engineering Journal, 43(4): 259-288.
- Kirby, R. and J.M. Land. 1991. The impact of dredging - A comparison of natural and man-made disturbance to cohesive sediment regimes. Proc. of CEDA Dredging Days, Amsterdam, the Netherlands.
- Kraus, N.C. and M.M. Thevenot. 1992. The plume measurement system (PLUMES): First announcement. Tech. Note, DRP-1-06, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Kuo, A.Y., C.S. Welch and R.J. Lukens. 1985. Dredging induced turbidity plume model. J. Waterway, Port, Coast. and Ocean Engrg., ASCE, 111(3): 476-494.
- Kuo, A.Y. and D.F. Hayes. 1991. Model for turbidity plume induced by bucket dredge. J. Water, Port, Coast., and Ocean Engrg., ASCE, 117(6): 610-623.
- Land, J.M., R. Kirby and J.B. Massey. 1997. Developments in the combined use of acoustic Doppler current profilers and profiling siltmeters for suspended solids monitoring. In: Cohesive Sediments. Proc. 4th Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport Conference, edited by N. Burt, R. Parker and J. Watts. John Wiley and Sons.

- Land J.M. and R.N. Bray. 1998. Acoustic measurement of suspended solids for monitoring of dredging and dredged material disposal. Proc. 15th World Dredging Congress, World Dredging Association, Las Vegas.
- Land, J.M and P.D. Jones. 2001. Acoustic measurement of sediment flux in rivers and near-shore waters. 7th Federal Interagency Sedimentation Conference.
- Lohrmann, A. and C. Huhta. 1994. Plume measurement system(PLUMES) calibration experiment. Tech. Rep., DRP-94-3, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Lorenz, R. 1999. Spill from dredging activities. Proc. resund Link Dredging and Reclamation Conference, pp 309-324.
- Mehta, A.J. 1986. Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries. In: Estuarine cohesive sediment dynamics, edited by A.J. Mehta, Springer-Verlag.
- Mehta, A.J., E.J. Hayter, W.R. Parker, R.B. Krone and A.M. Teeter. 1989. Cohesive sediment transport I: Process description. J. of Hydraulic Eng., ASCE, 115(8): 1076-1093.
- Minerals Management Service. 1996. Marine mining technologies and mitigation techniques. OCS Report MMS 96-0003.
- Moritz, H.R. and R.E. Randall. 1995. Simulating dredged-material placement at open-water disposal sites. J. Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div. ASCE, 121(1).
- Mouchel Asia Limited. 2002. Infrastructure for Penny's Bay development - Contract 1 Quarterly environmental monitoring and Audit(EM&A) report (No.2).
- Nakai, O. 1978. Turbidity generated by dredging projects. Proc. of the third United States-Japan experts meeting, EPA-600/3-78-084, 1-47.
- Ogushwitz, P.R. 1994. Measurement of acoustical scattering from plumes of sediment suspended in open waters. J. Marine Environmental Eng., 1:119-130.
- Ooms, K. 1997. Disposal and capping of contaminated sediments-the Hong Kong solution. Proc. of the CEDA Dredging Days, Amsterdam, The Netherlands.
- Ontario Ministry of Environment. 1994. Handbook for dredging and dredged

- material disposal in Ontario—Dredging transport and monitoring. Evaluating construction activities impacting on water resource, Part IIIB, Cette publication technique.
- Pennekamp, J.G.S., R.J.C. Epskamp, W.F. Rosenbrand, A. Mullie, G.L. Wessel, T. Arts and I.K. Deibel. 1996. Turbidity caused by dredging; viewed in perspective. *Terra et Aqua*, 64: 10-17.
- Press, W.H., B.P. Flannery, S.A. Teukolsky and W.T. Vetterling. 1986. *Numerical recipes*, Cambridge University Press.
- Puckette, P.T. 1998. Evaluation of dredged material plumes Physical monitoring techniques. Tech. Note, DOER-E5, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.
- Reine, K.J., D.D. Dickerson and D.G. Clarke. 1998. Environmental windows associated with dredging operation. Technical Notes, DOER-E2, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Rowe, F. and J. Young. 1979. An ocean current profiler using Doppler sonar. *Oceans '79 Proceeding*.
- Schroeder, P.R. 2001. Estimation of contaminant release from dredging of Clark Fork and Blackfoot River sediments in Milltown reservoir. memorandum for. Mr. Russ Florba, USEPA Region 8 Montana Office.
- Shaw, J. K., P.G.D. Whiteside and K.C. Ng. 1998. Contaminated mud in Hong Kong: A case study of contained seabed disposal. Proc. 15th World Dredging Congress, World Dredging Association, Las Vegas.
- Sheffner, N.W., M.M. Thevenot, J.R. Tallent and J.M. Mason. 1995. LTFATE: A model to investigate the long-term stability of dredged material disposal sites. Technical Report DRP-95-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Smith R. and C.F. Scott. 1997. Mixing in the tidal environment. *J. of hydraulic Eng.*, ASCE, 123(4): 332-340.
- Soulsby, R.L. 1983. The bottom boundary layer of shelf seas. In B. Johns ed., *Physical Oceanography of Coastal and Shelf Sea*, Elsevier Science Pub., Amsterdam, The Netherlands.
- St. Lawrence Center. 1993. *Selecting and operating dredging equipment: a guide sound environmental practices*. Prepared in collaboration with Public Works Canada and the Ministere de l'Environnement du Quebec, and written by

Les Consultants Jacques Berube Inc. Cat No. En 40-438/1993E.

Tam, W.K. 2001. An international theme park on Hong Kong. Virtual Global Super Project Conference, The World Development Federation.

Tubman, M.W. 1994a. The plume measurement system(PLUMES): A commercially available system. Tech. Note., DRP-1-16, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.

Tubman, M.W. 1994b. The plume measurement system(PLUMES): Deep-water monitoring. Tech. Note., DRP-1-18, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.

Tubman, M.W. 1995. Plume measurement system(PLUMES) technical manual and data analysis project. Tech. Rep., DRP-95-1, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg.

USACE, USEPA, BCDC and SFBRWQCB. 2001. Long-term management strategy for the placement of dredged material in the San Francisco Bay region. LTMS Committee.

van Rijn, L.C. 1989. Handbook of sediment transport by currents and waves. Delft Hydraulics, Report H 461, Delft, The Netherlands.



부록 1  
부유토사 발생량 현장관측결과





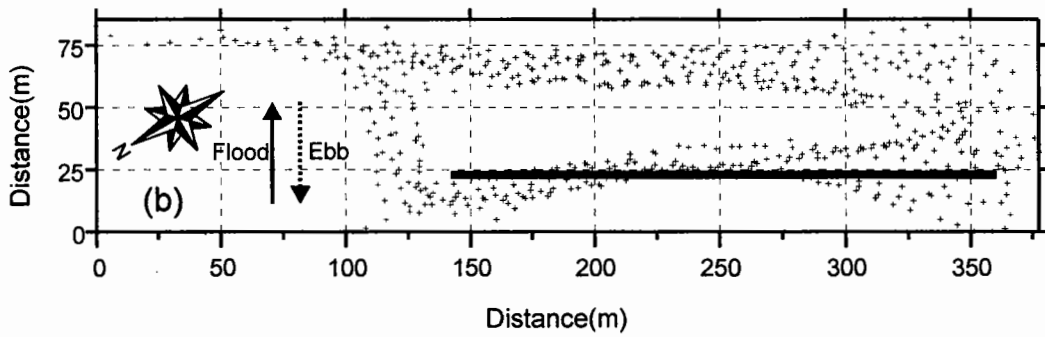
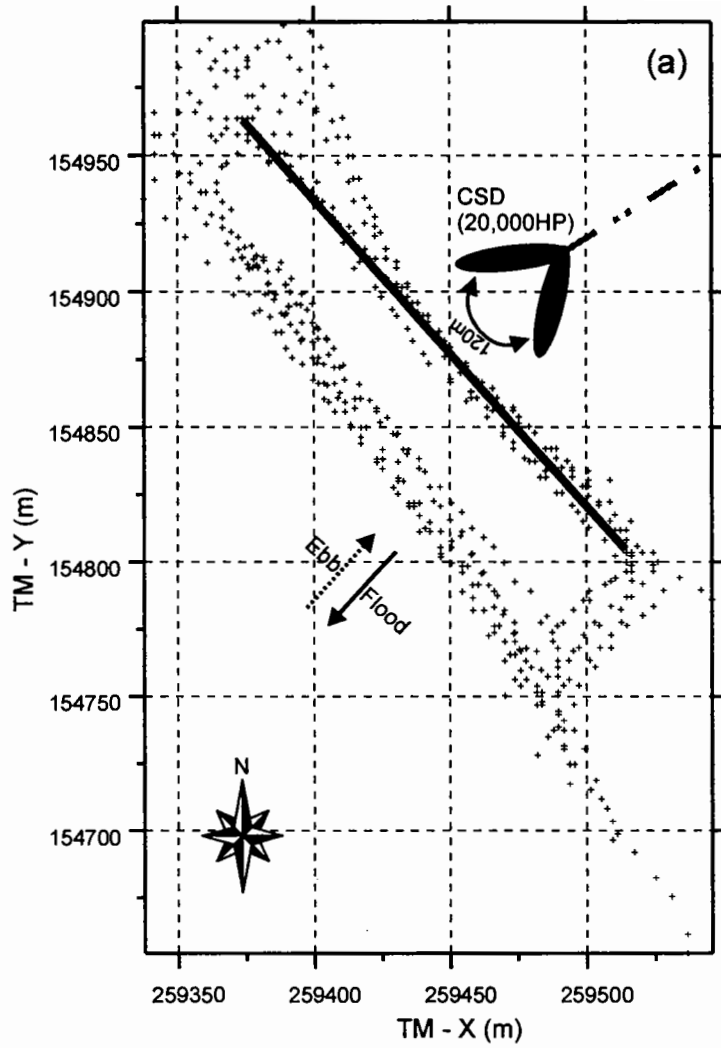


그림 A1.1 ADCP 이동관측 경로도 (GC3).

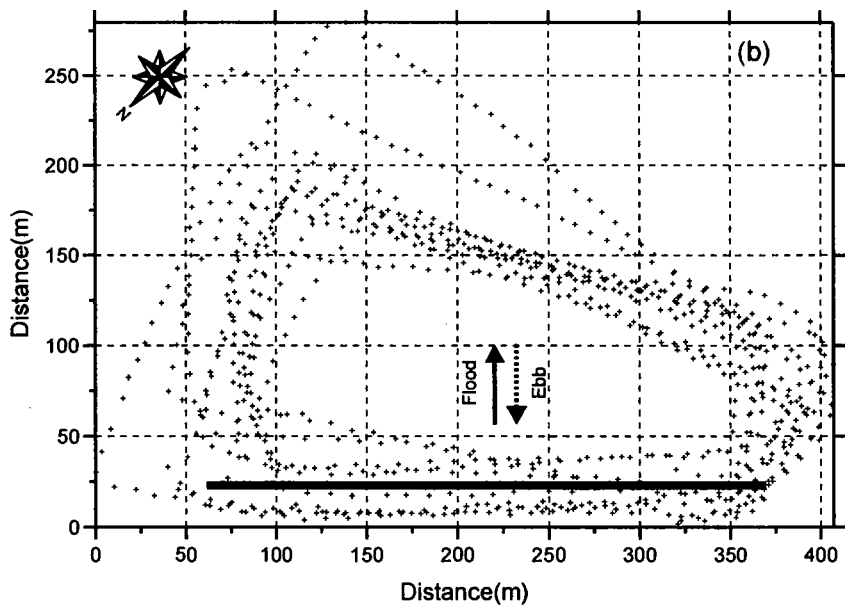
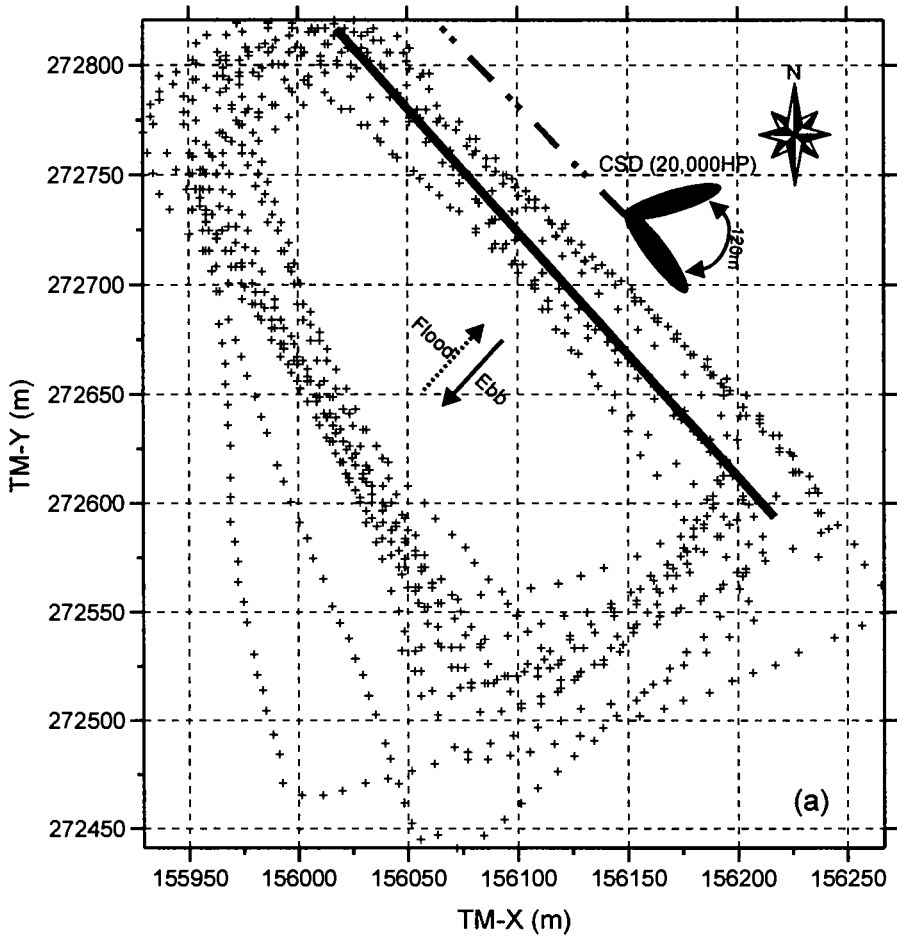


그림 A1.2 ADCP 이동관측 경로도 (KC1).

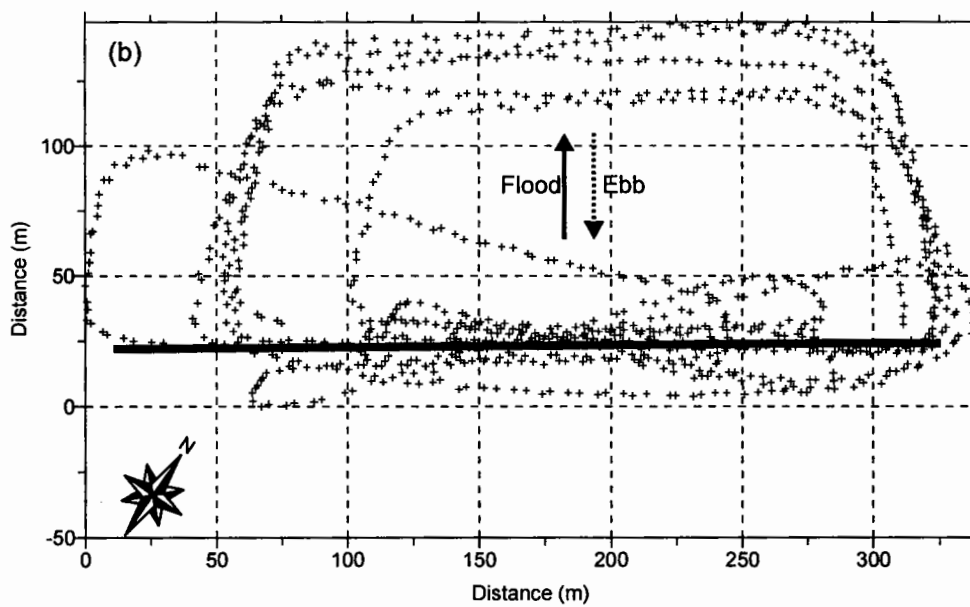
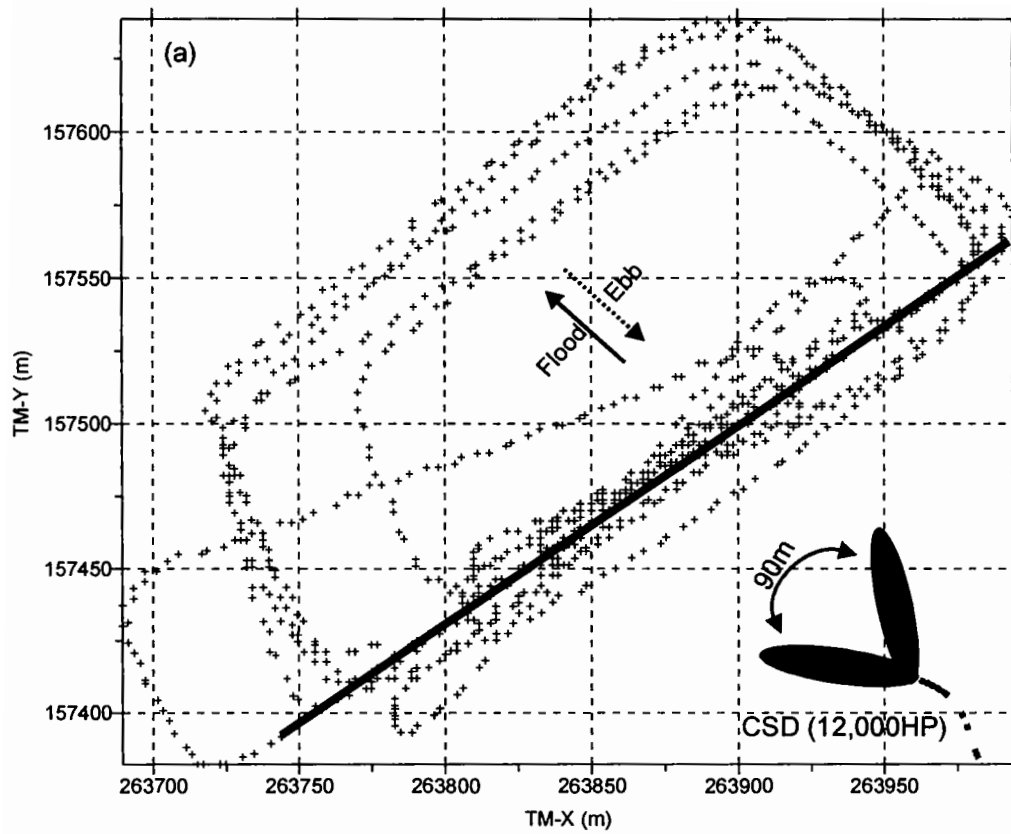


그림 A1.3 ADCP 이동관측 경로도 (GC1).

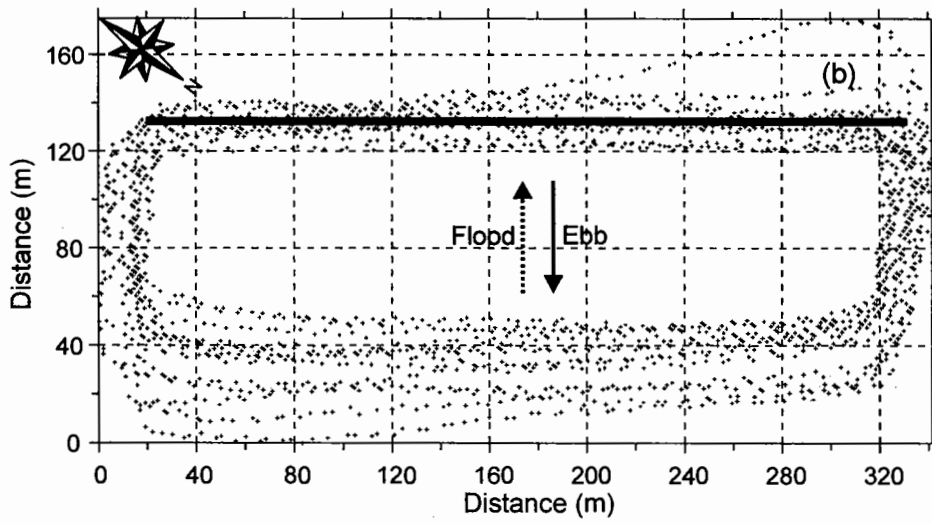
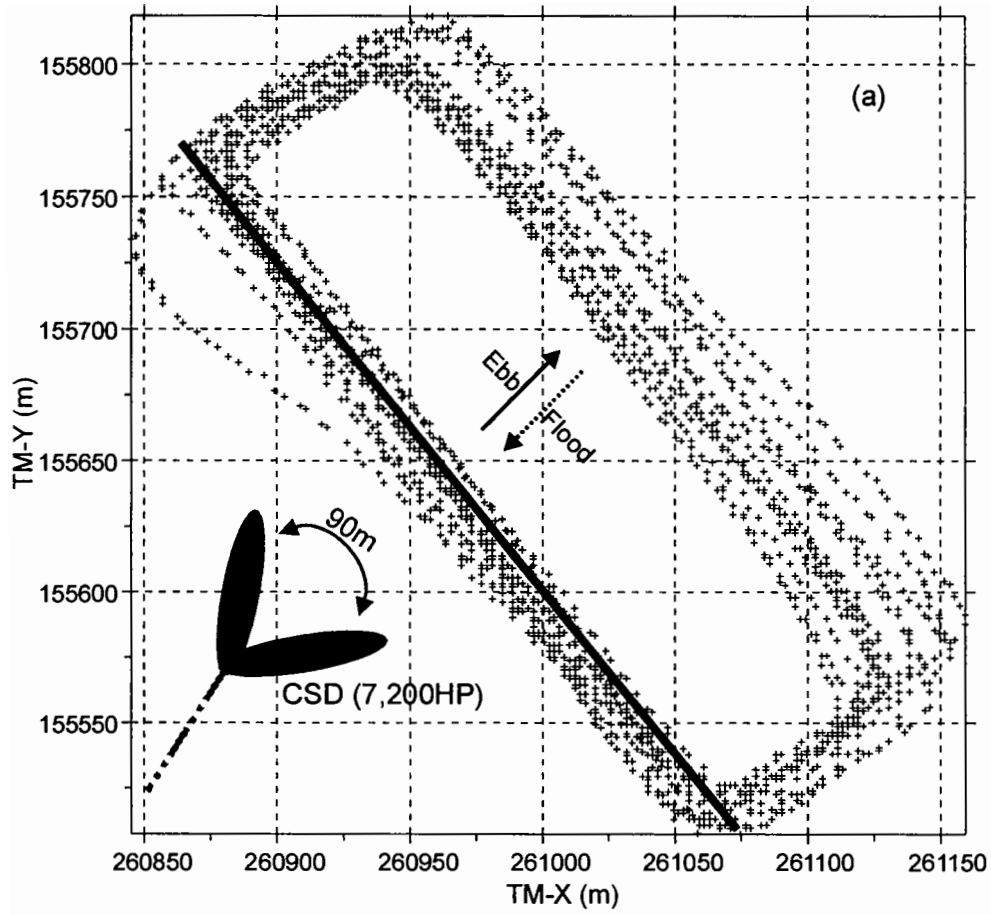


그림 A1.4 ADCP 이동관측 경로도 (GC2).

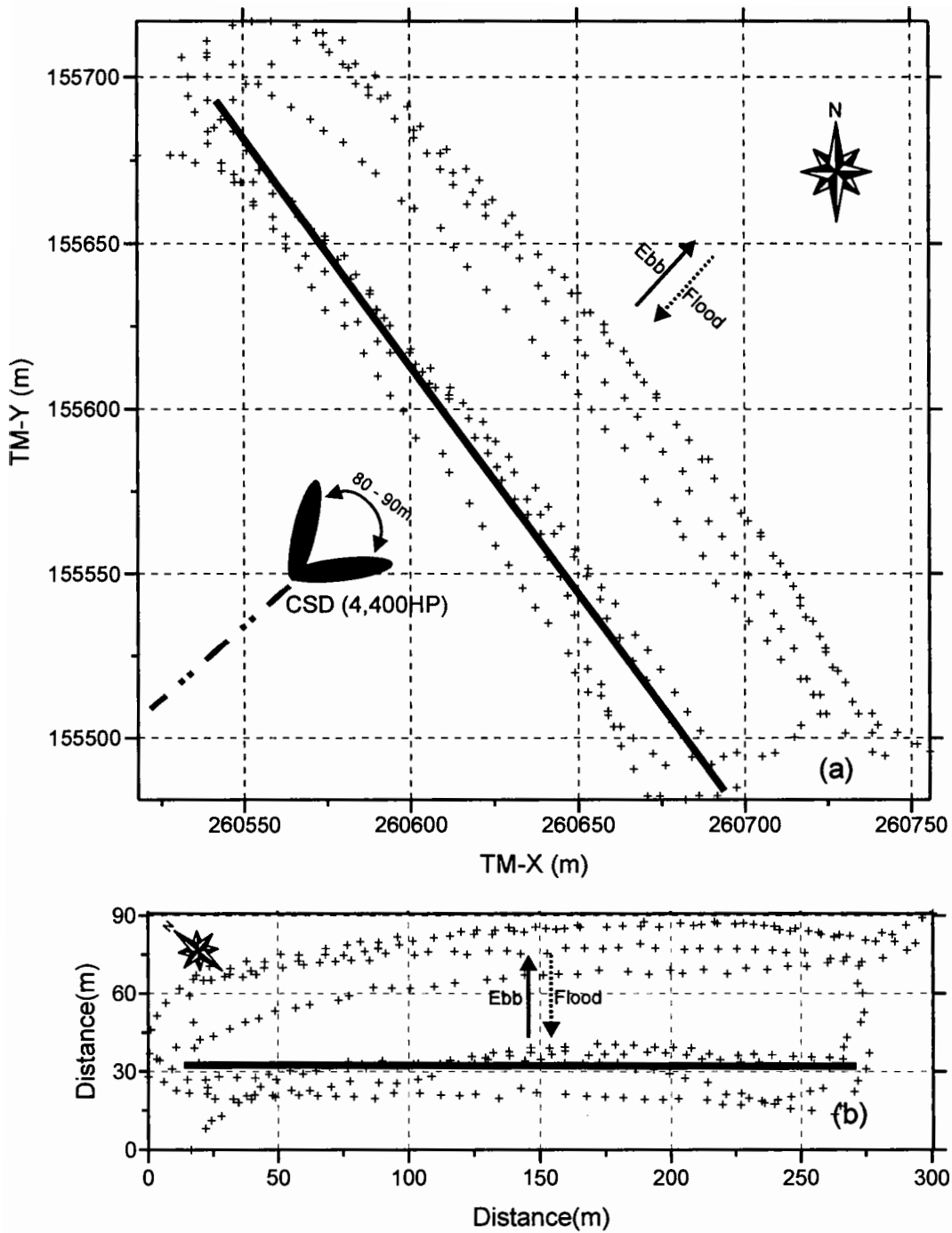


그림 A1.5 ADCP 이동관측 경로도 (GC4).

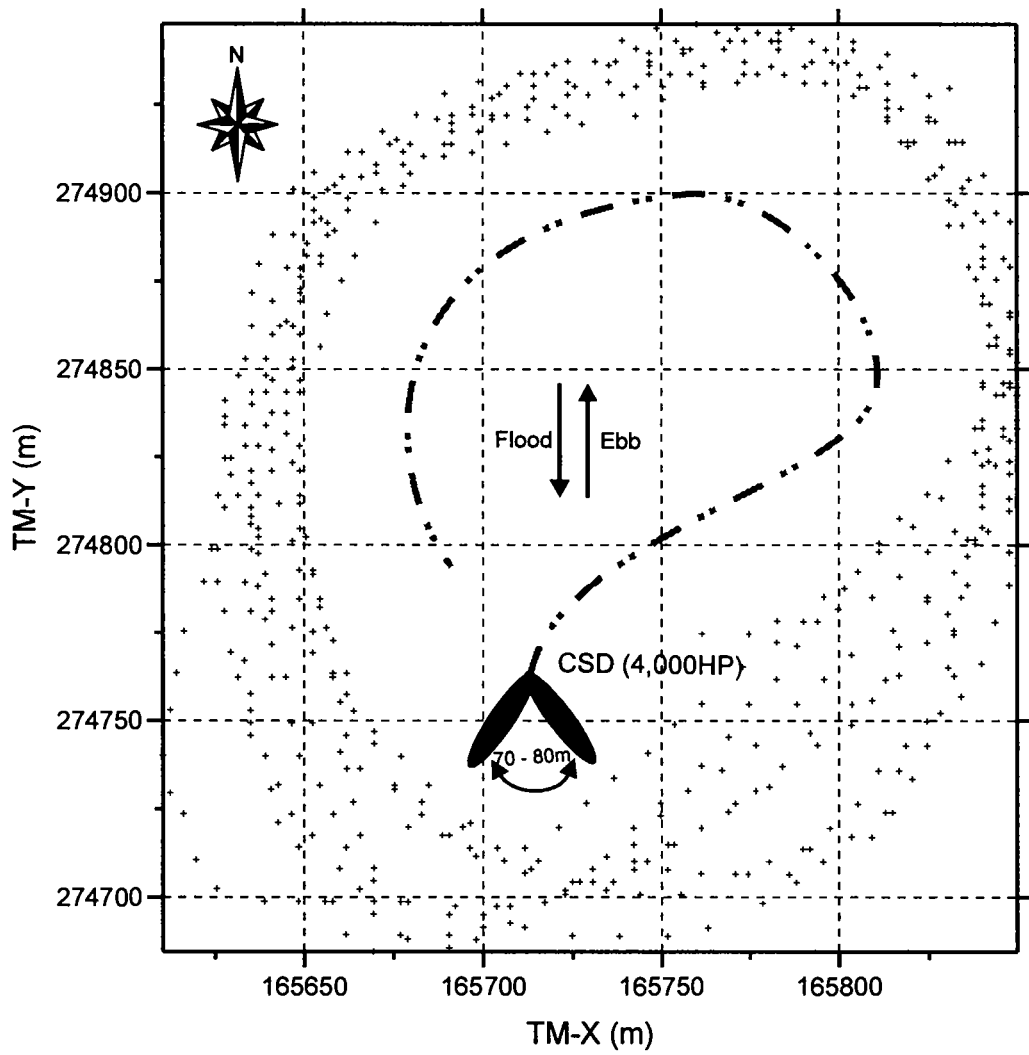


그림 A1.6 ADCP 이동관측 경로도 (KC2).

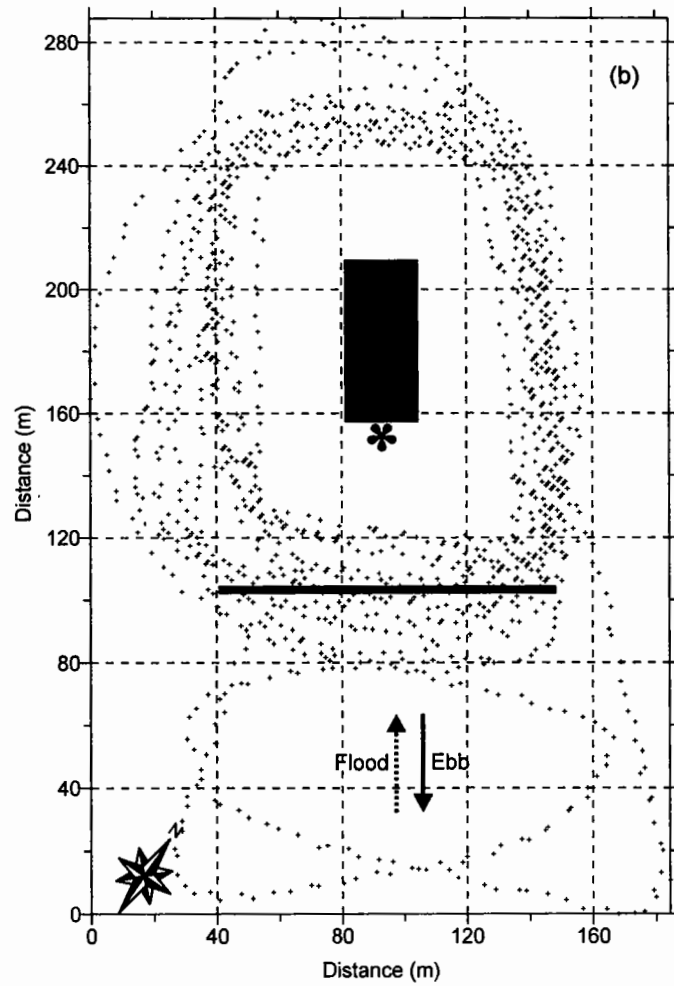
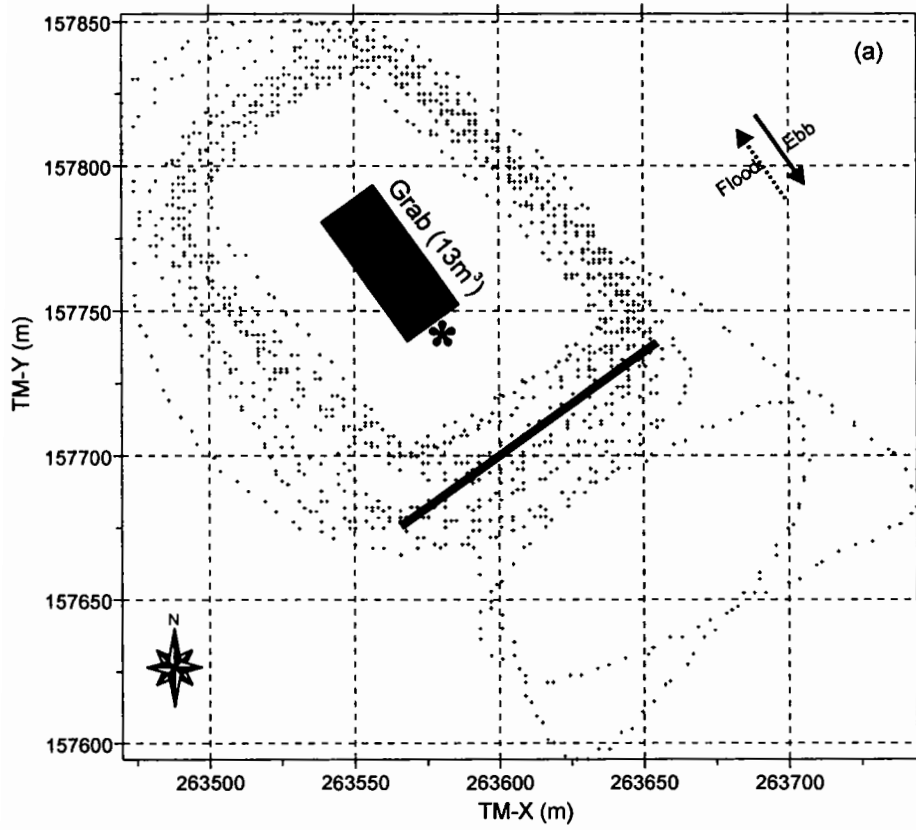


그림 A1.7 ADCP 이동관측 경로도 (GG1).



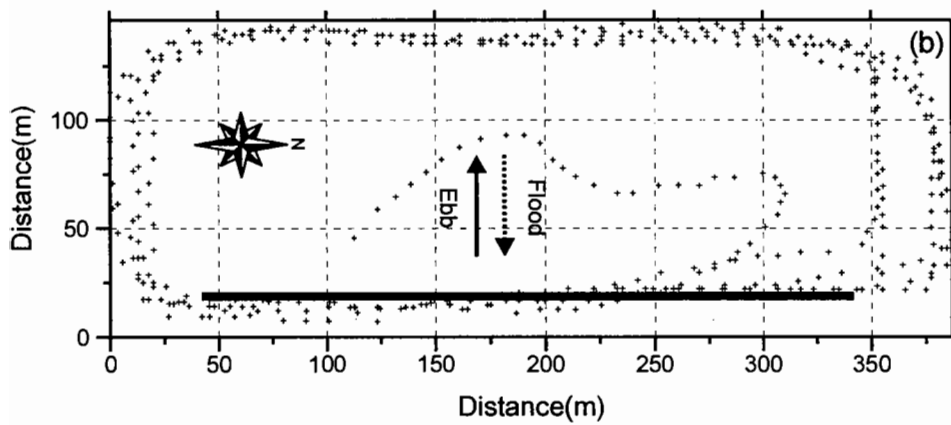
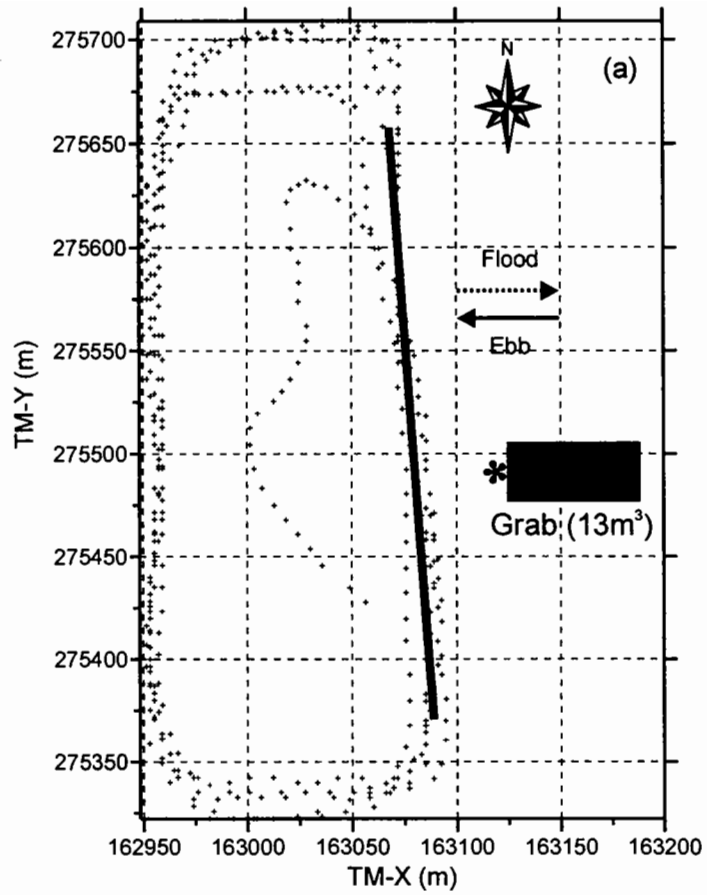


그림 A1.8 ADCP 이동관측 경로도 (KG2).

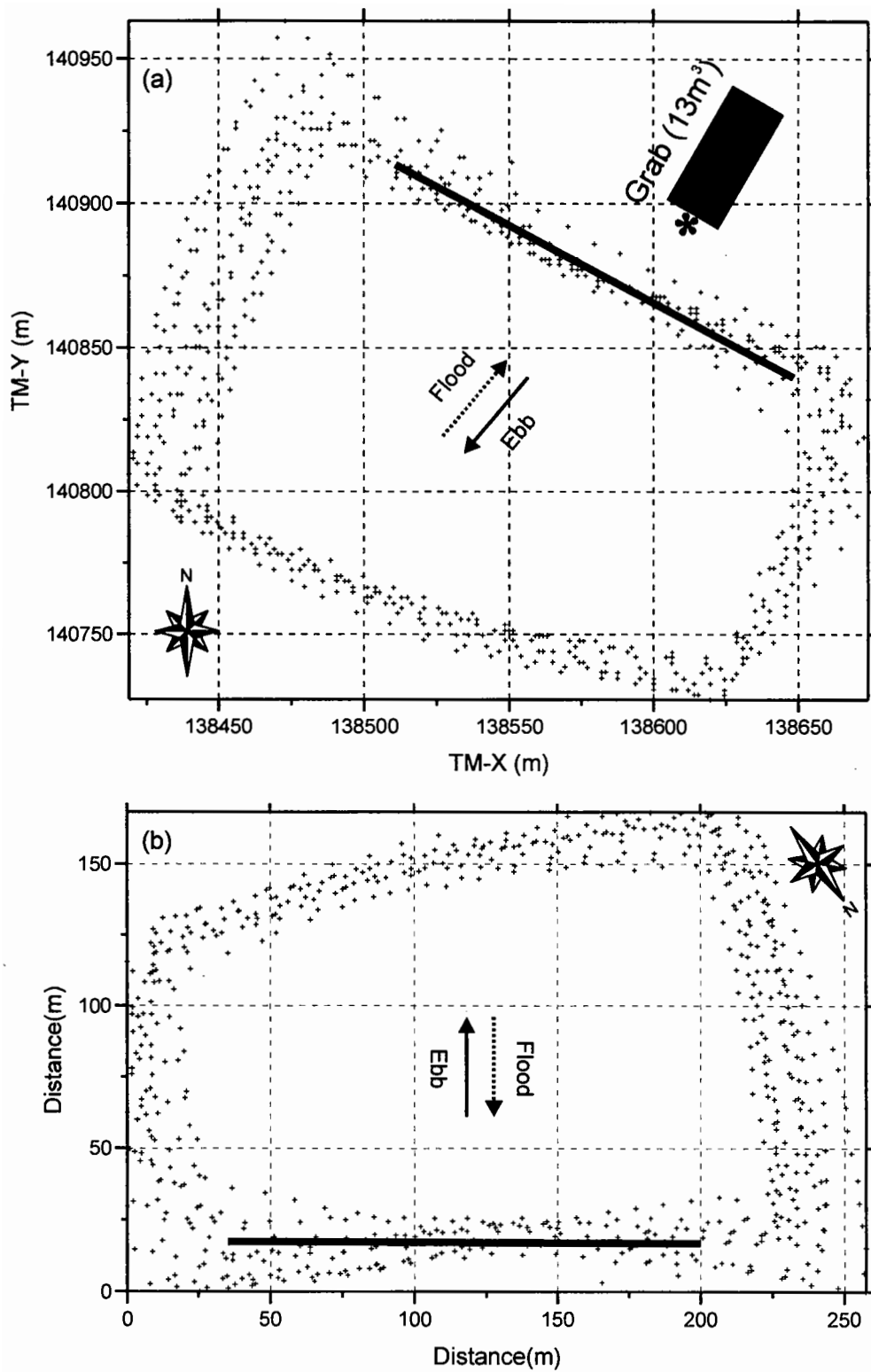


그림 A1.9 ADCP 이동관측 경로도 (MG1).

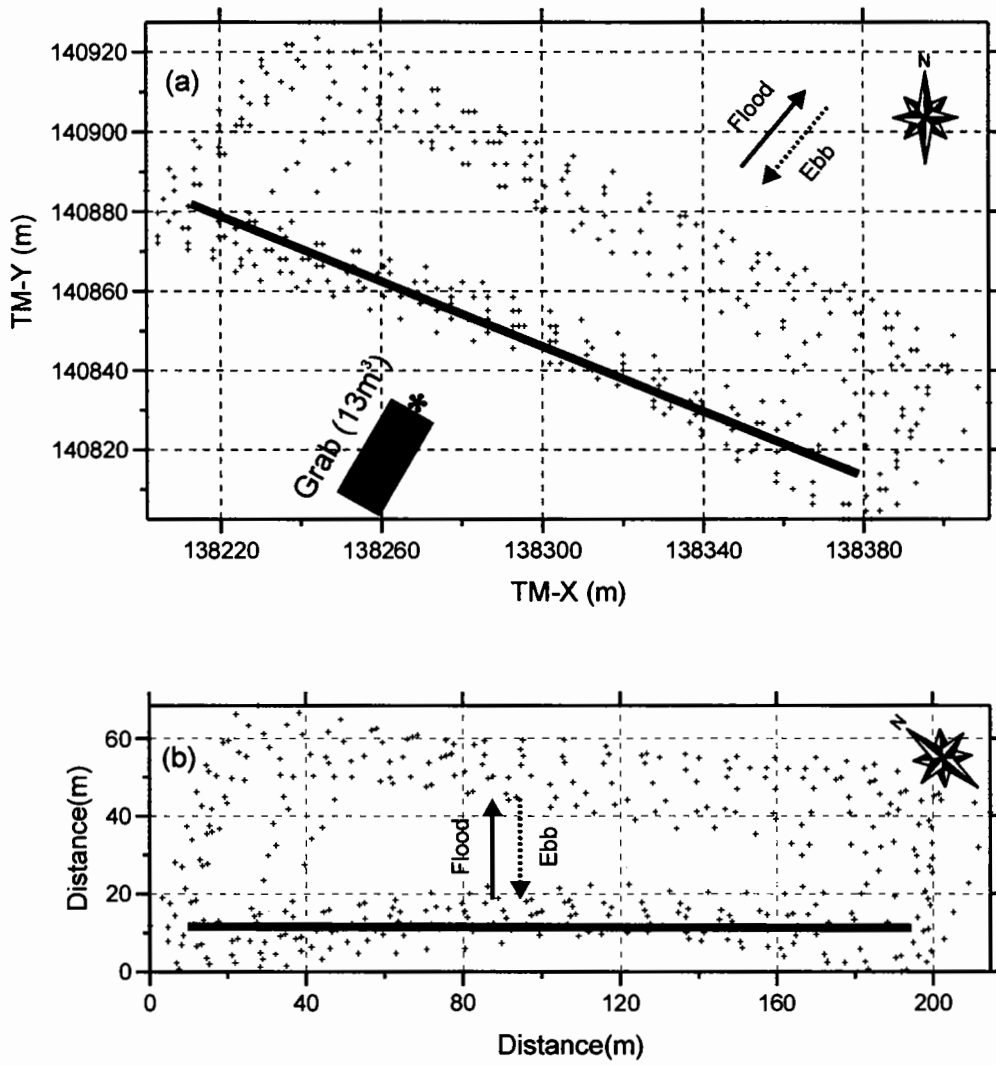


그림 A1.10 ADCP 이동관측 경로도 (MG2).

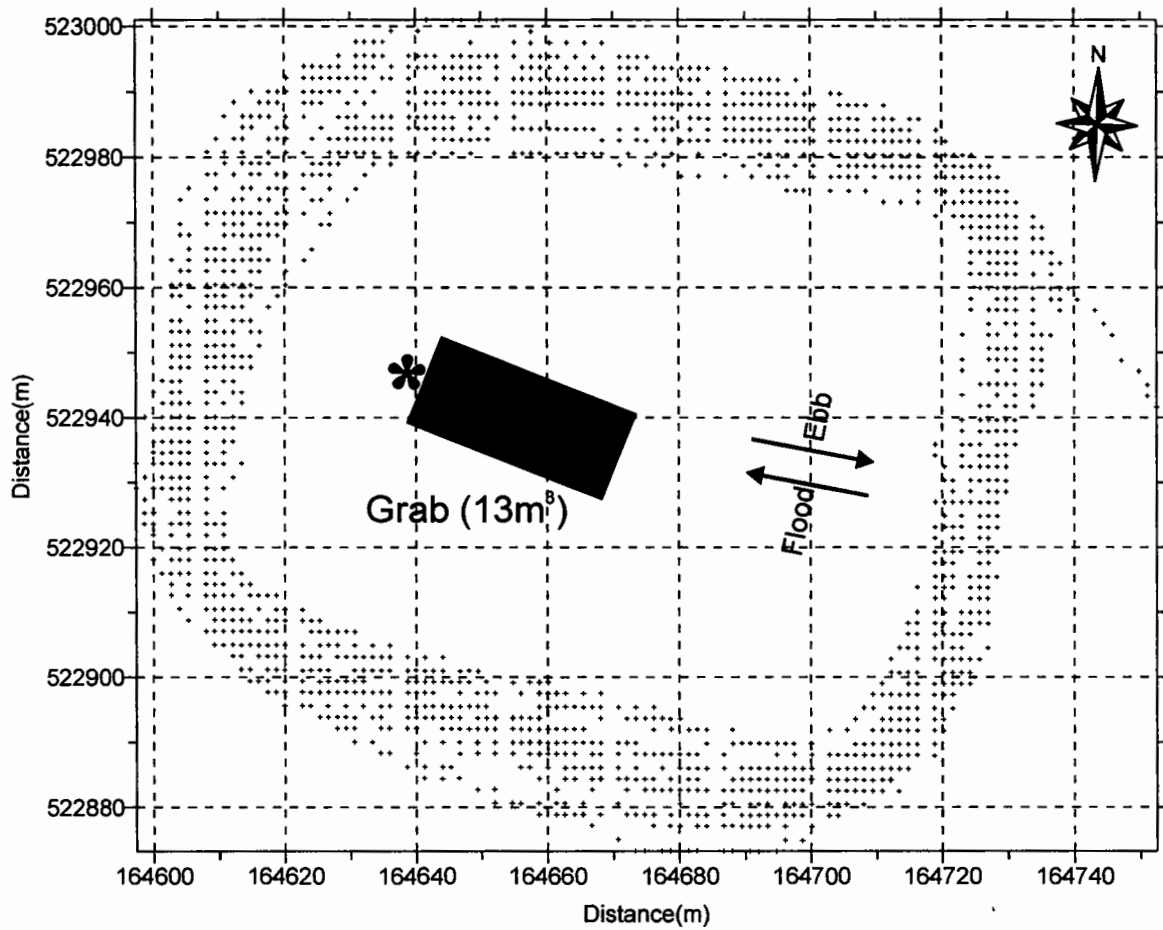


그림 A1.11 ADCP 이동관측 경로도 (SG).

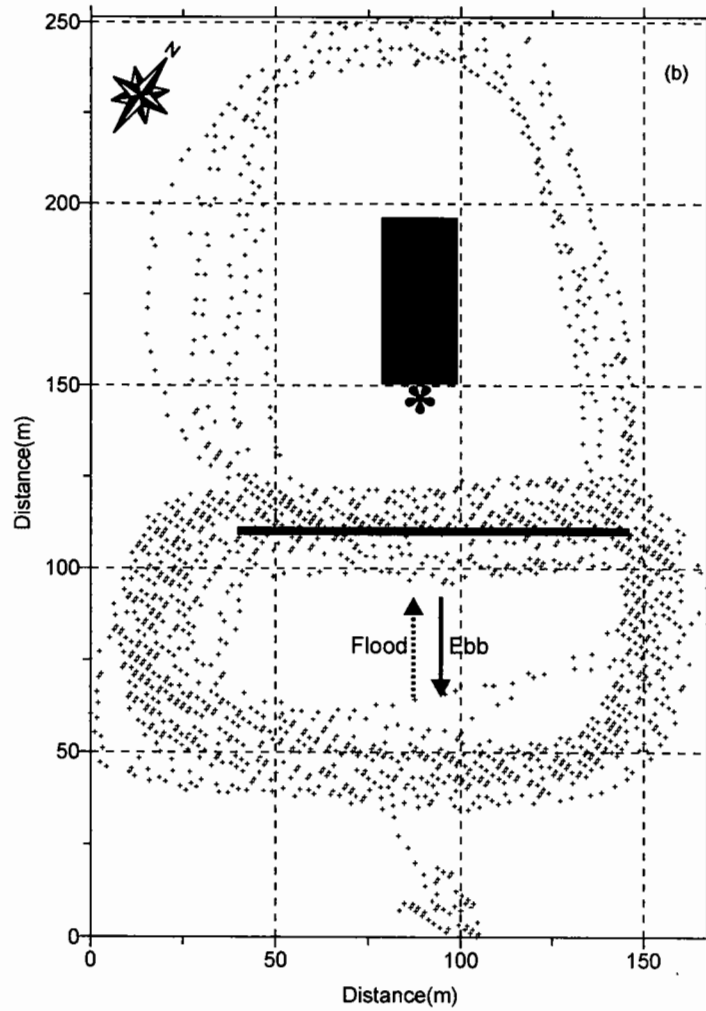
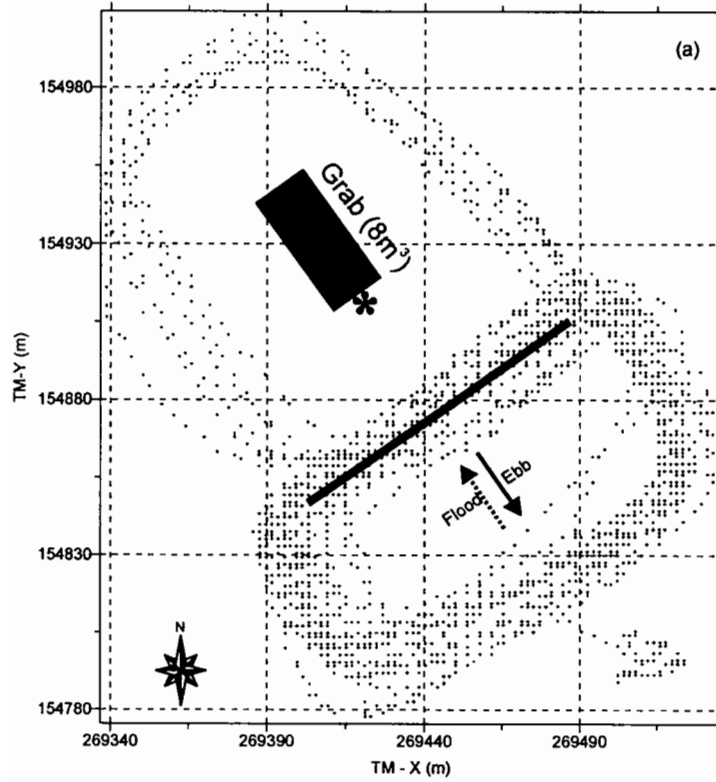


그림 A1.12 ADCP 이동관측 경로도 (GG2).

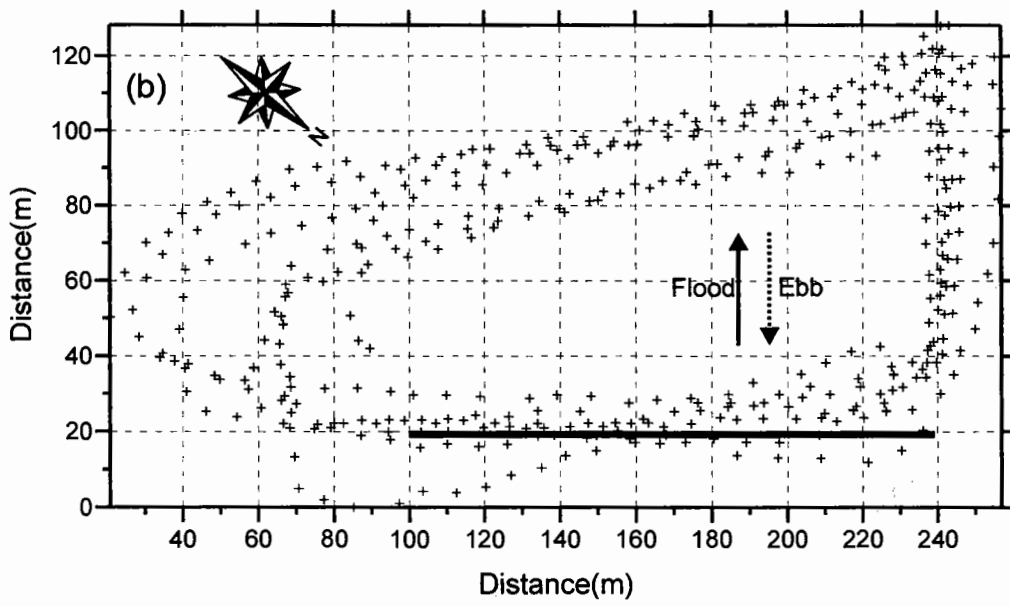
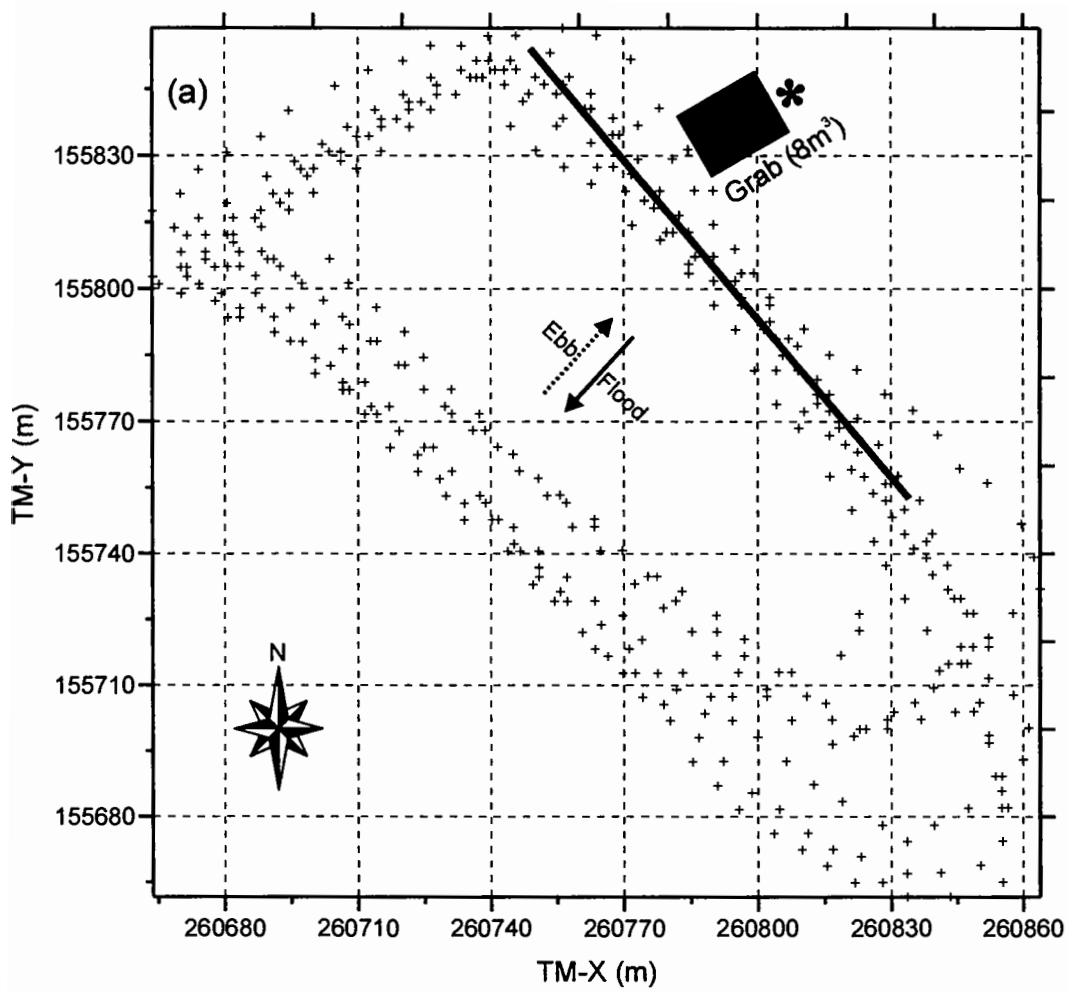


그림 A1.13 ADCP 이동관측 경로도 (GG3).

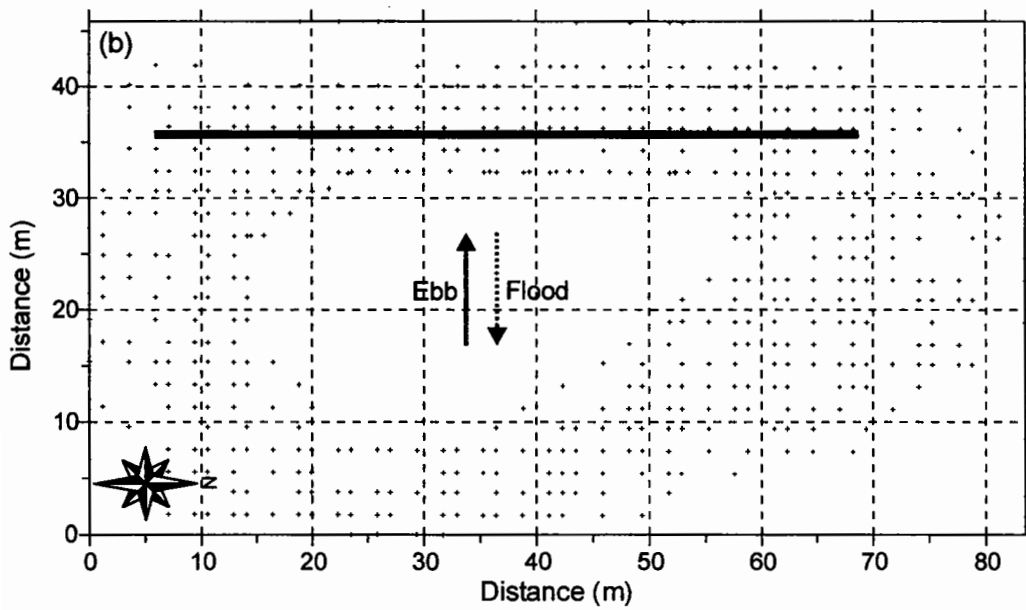
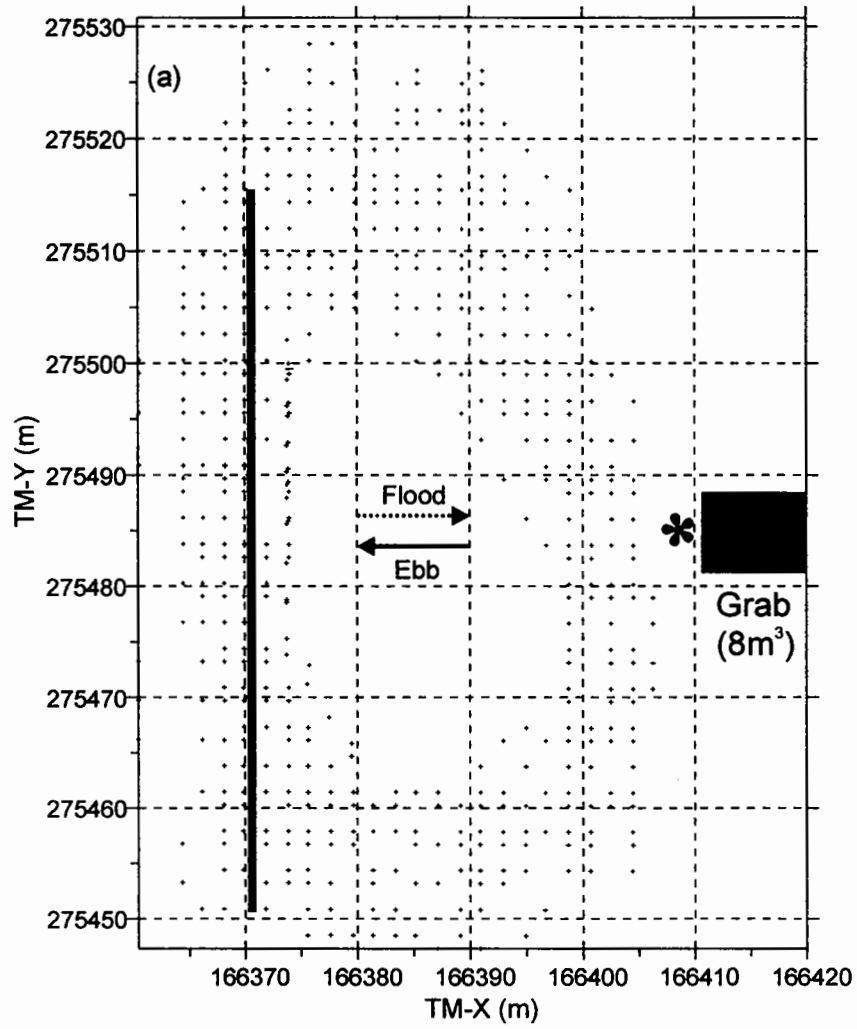


그림 A1.14 ADCP 이동관측 경로도 (KG1).

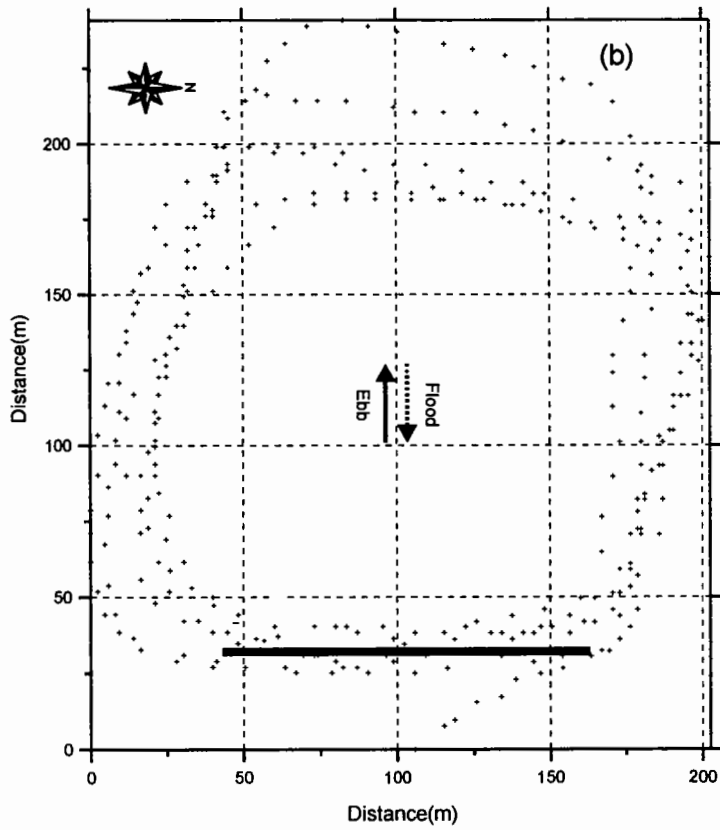
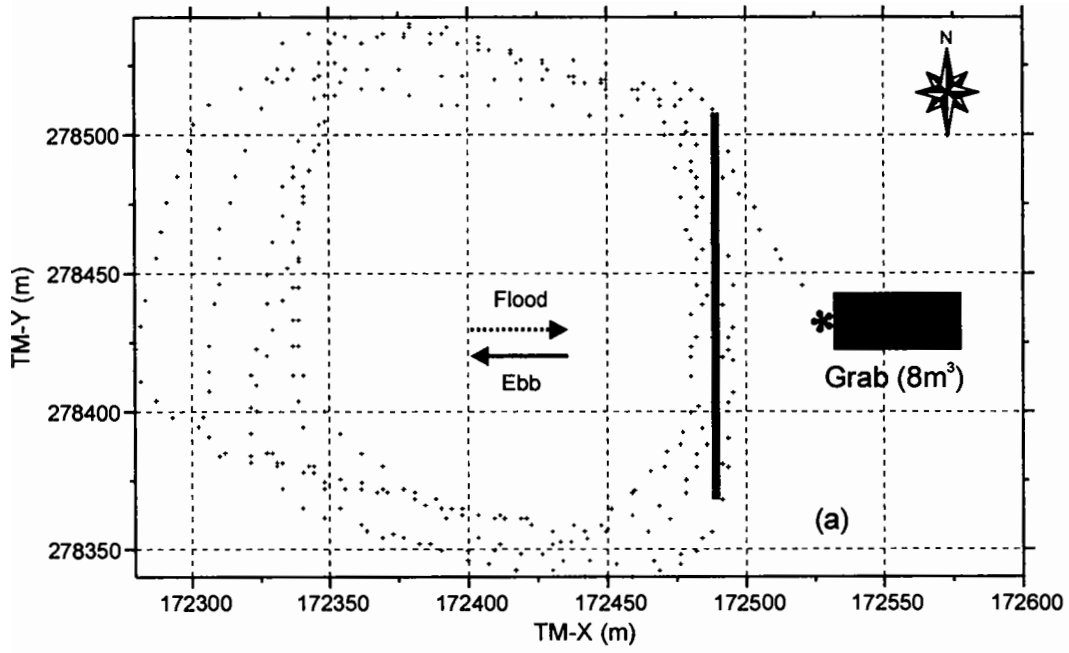


그림 A1.15 ADCP 이동관측 경로도 (KG3).



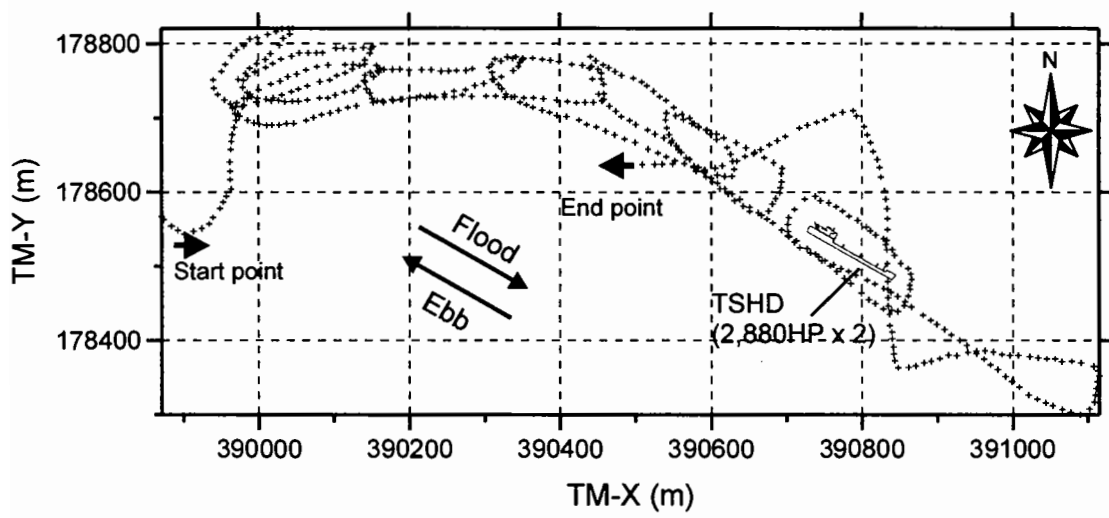


그림 A1.16 ADCP 이동관측 경로도 (BT).

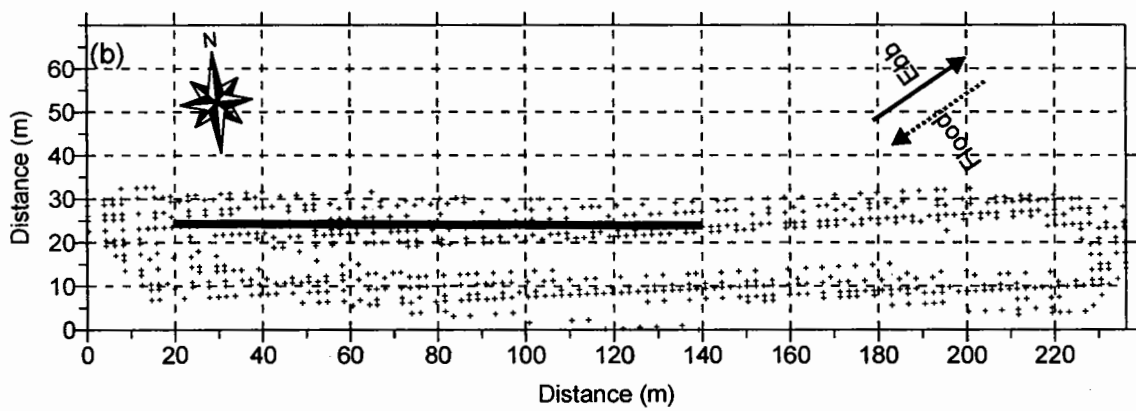
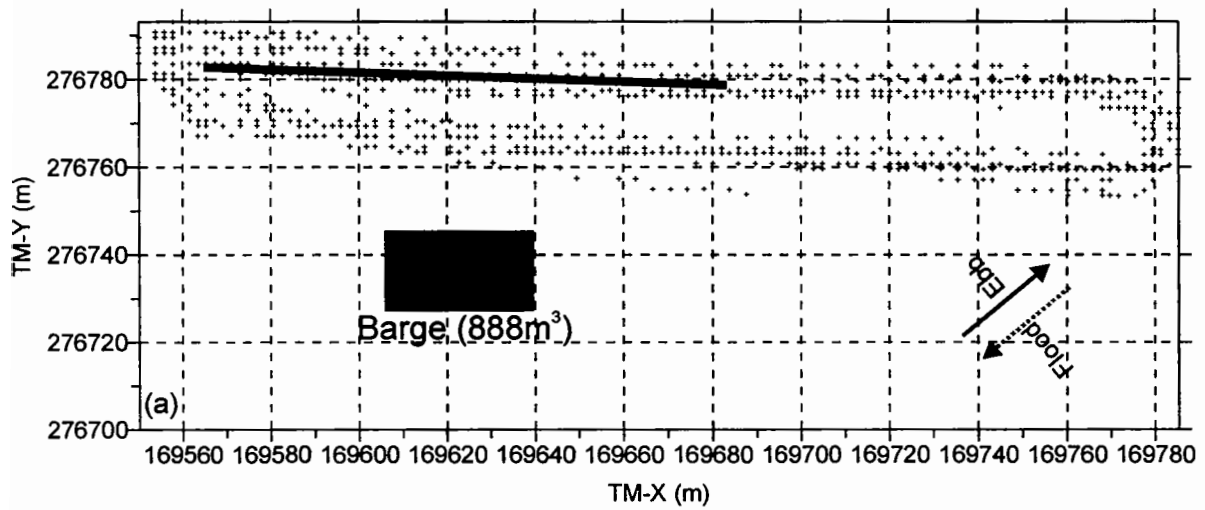


그림 A1.17 ADCP 이동관측 경로도 (KR).

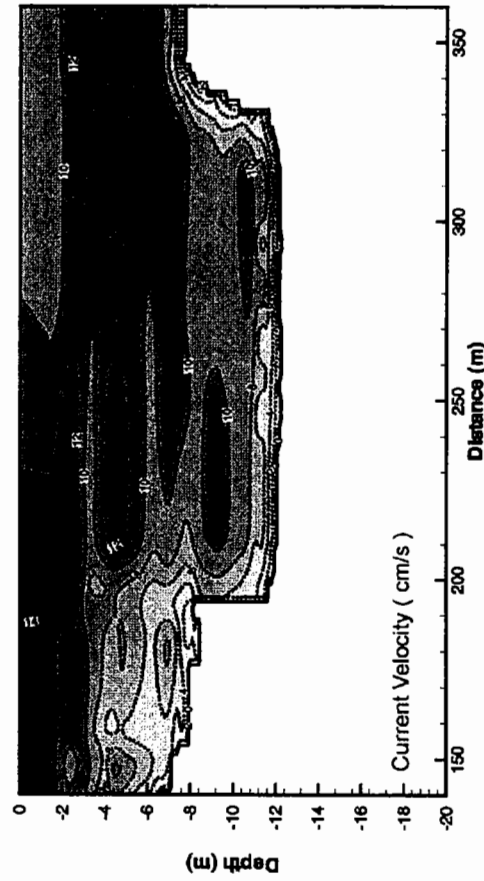
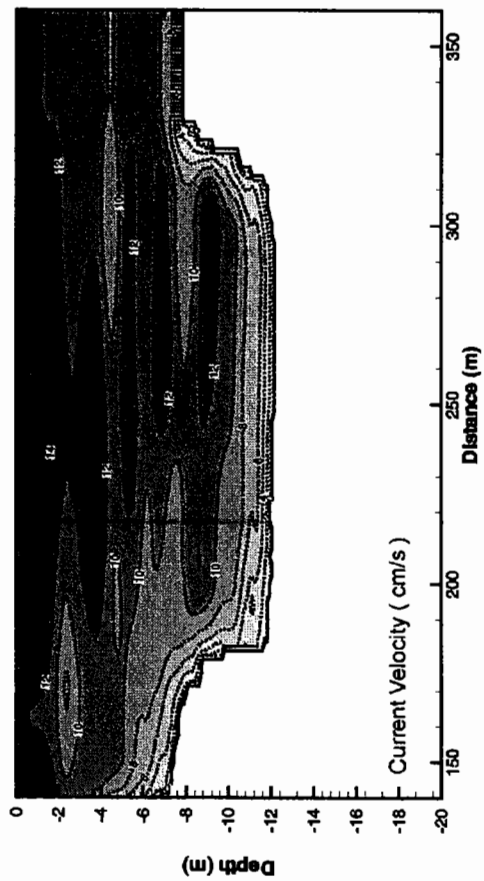
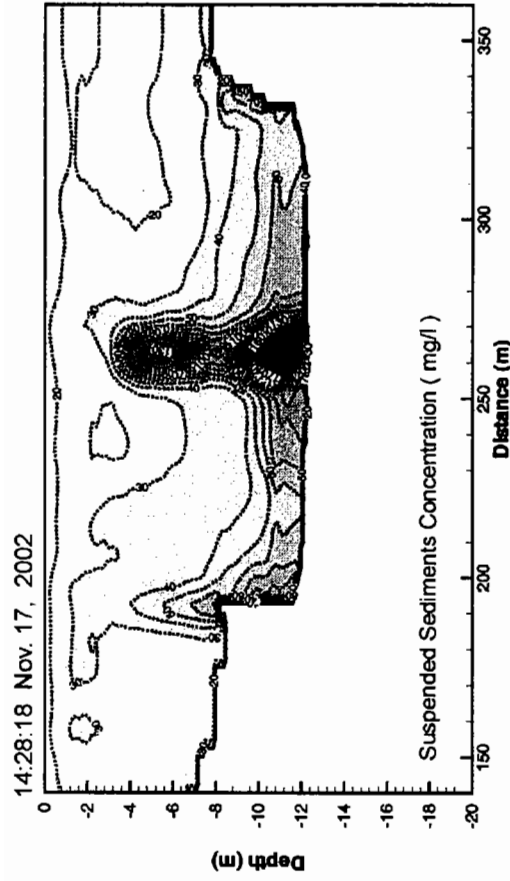
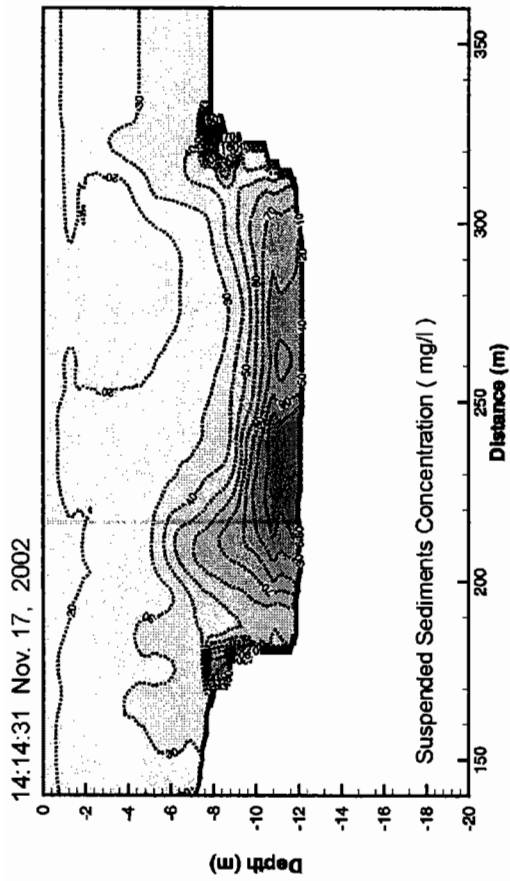


그림 A1.18 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GC3, CSD 20,000HP).

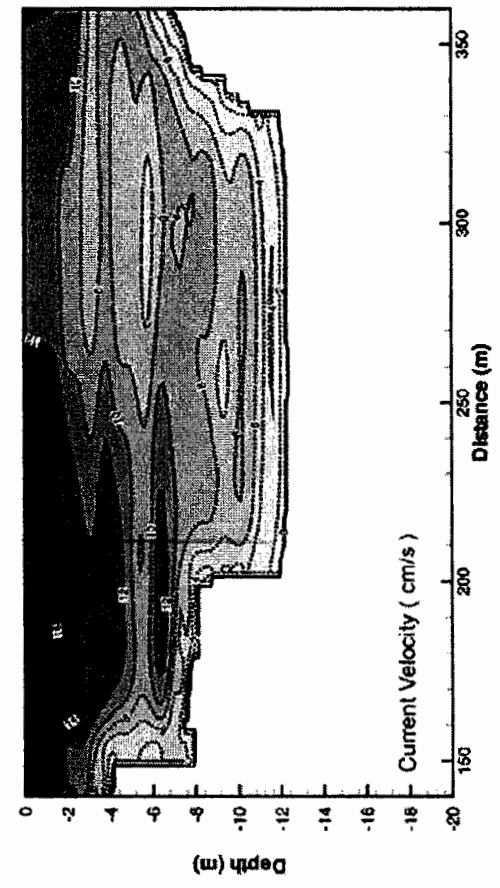
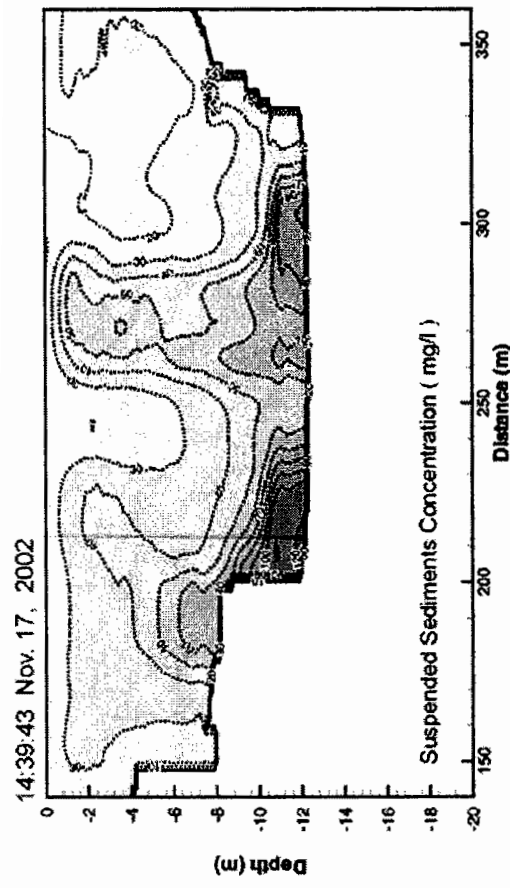
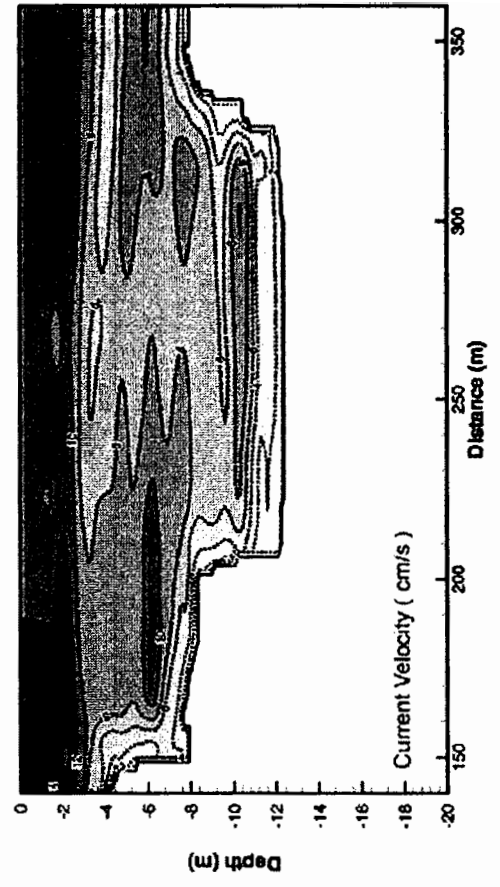
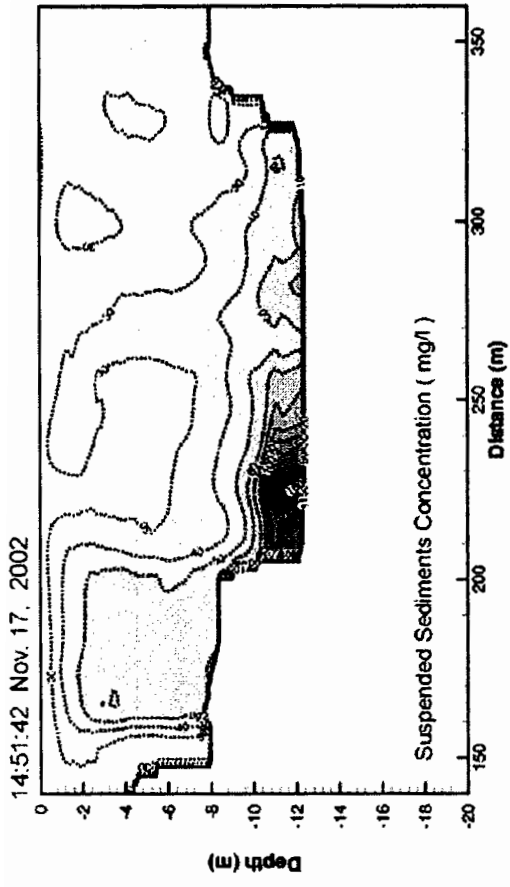


그림 A1.18 (계속).

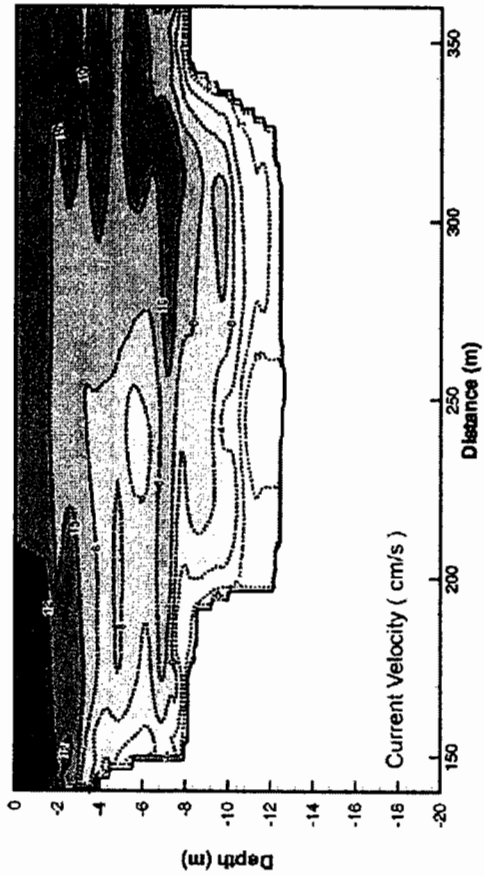
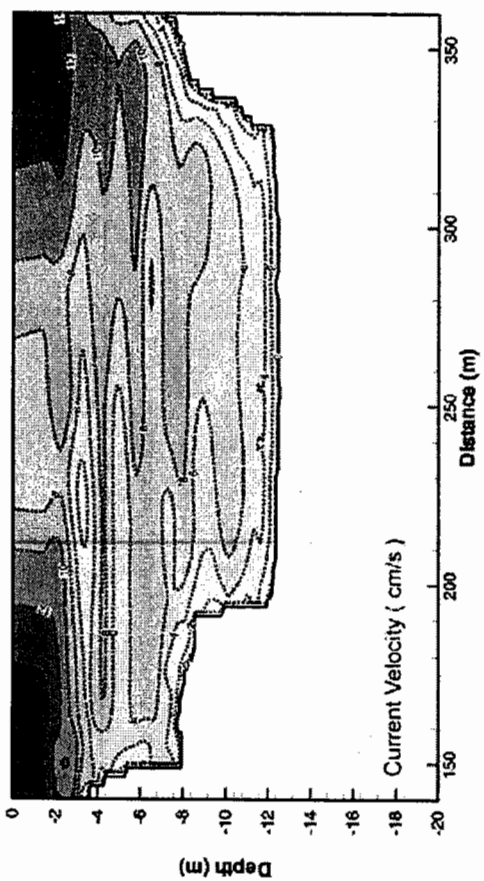
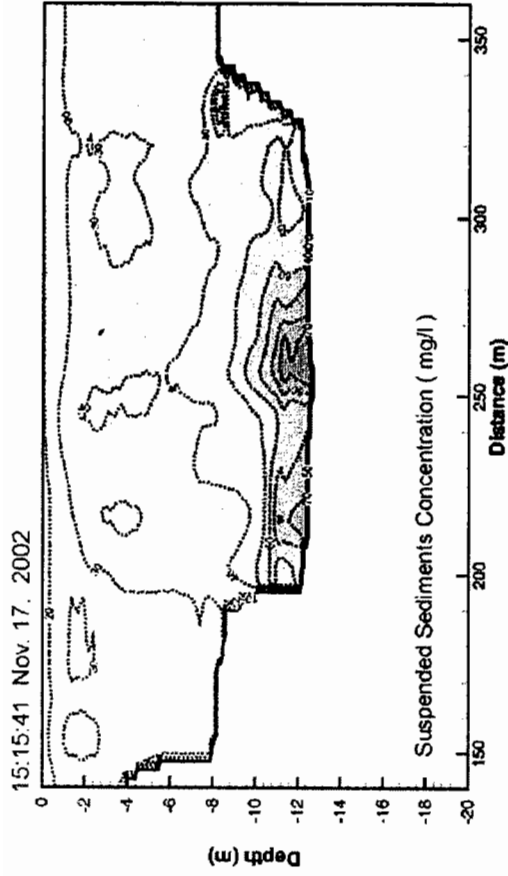
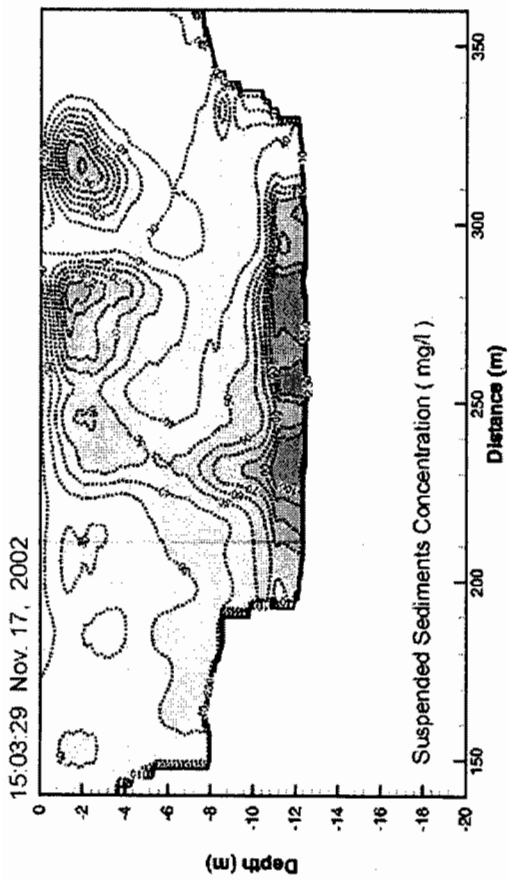


그림 A1.18 (계속).

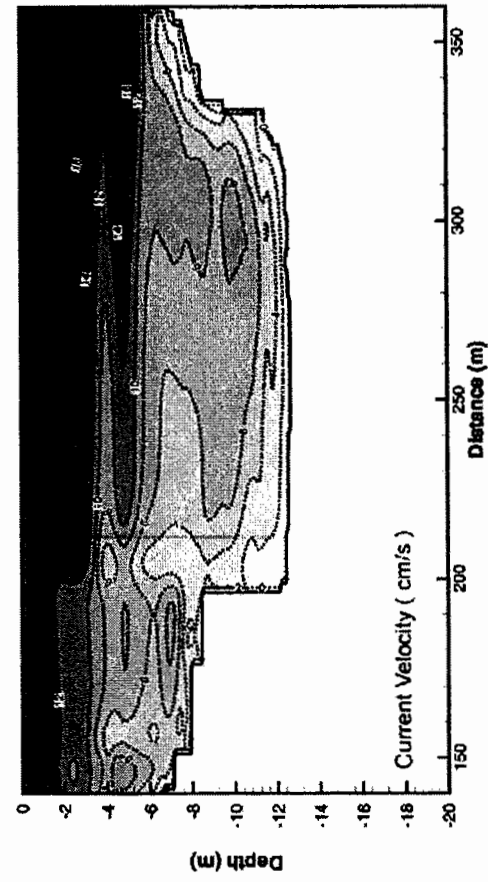
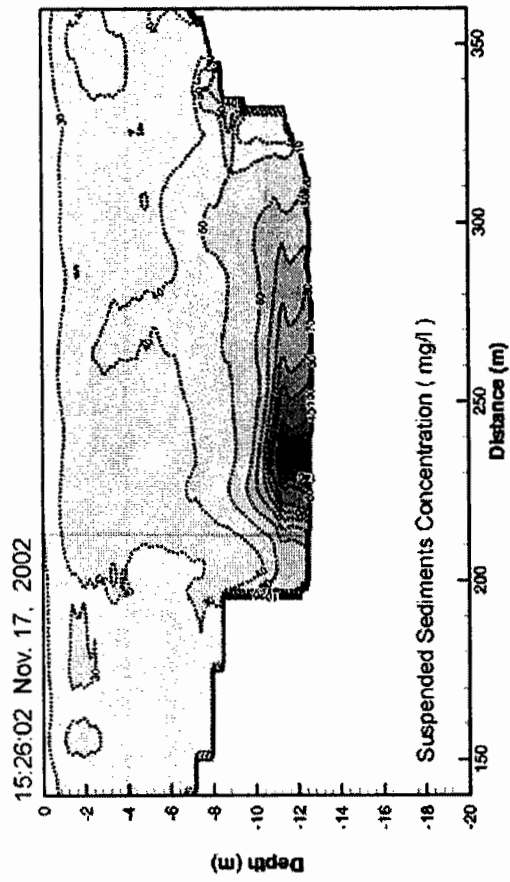
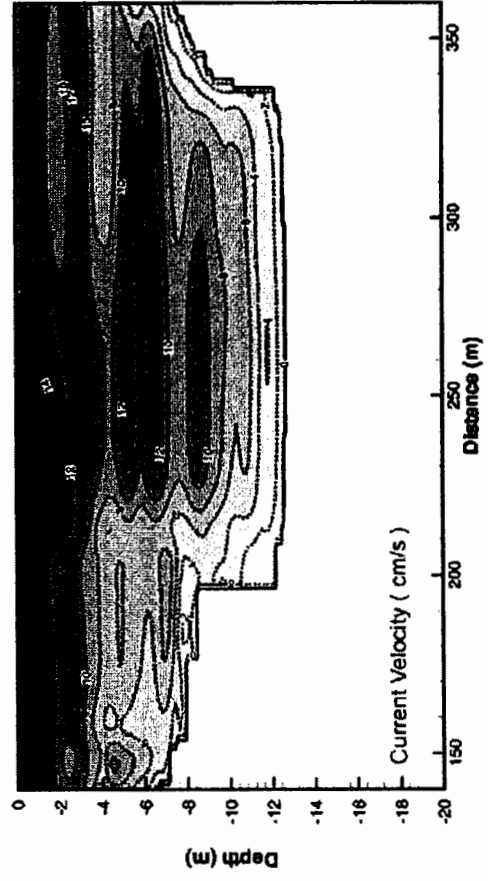
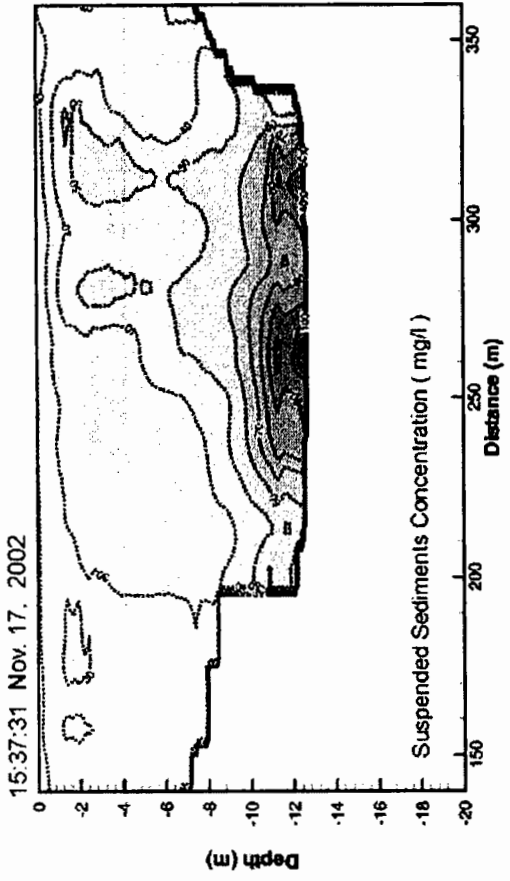


그림 A1.18 (계속).

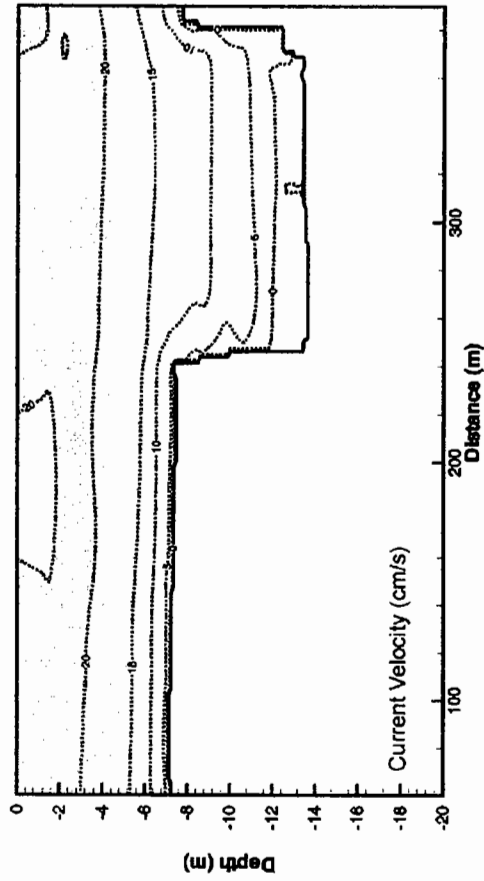
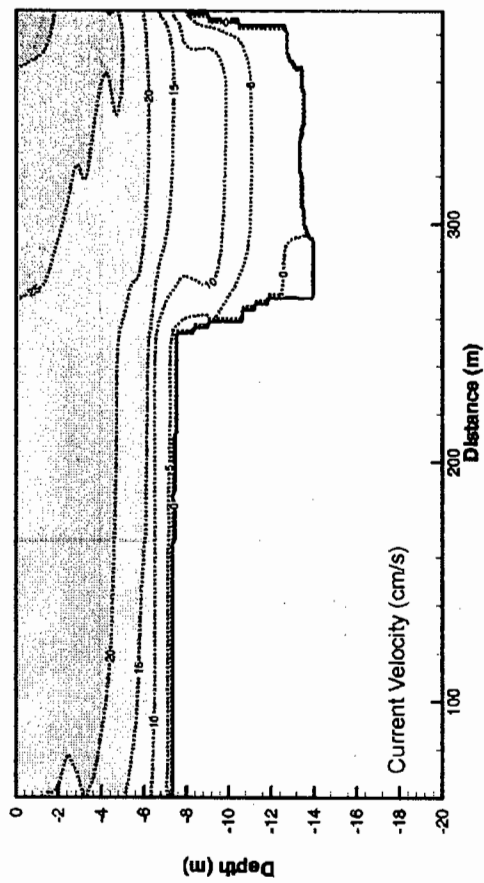
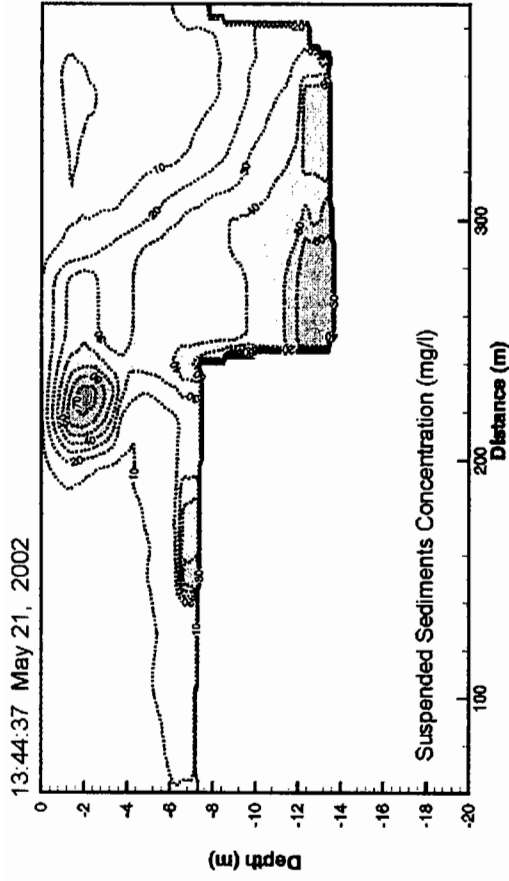
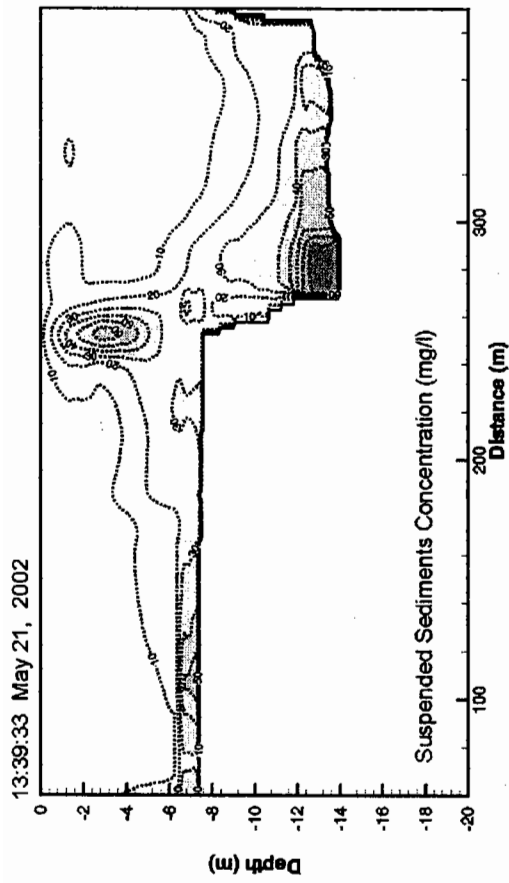


그림 A1.19 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (KCI, CSD 20,000HP).

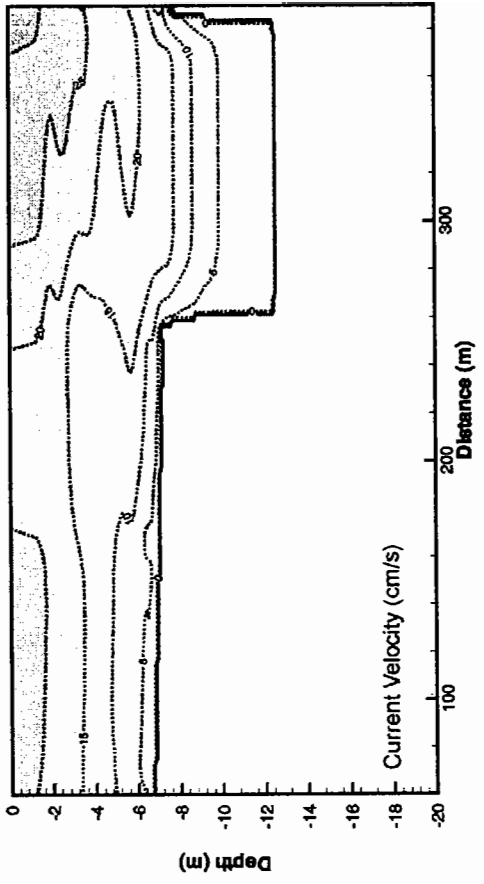
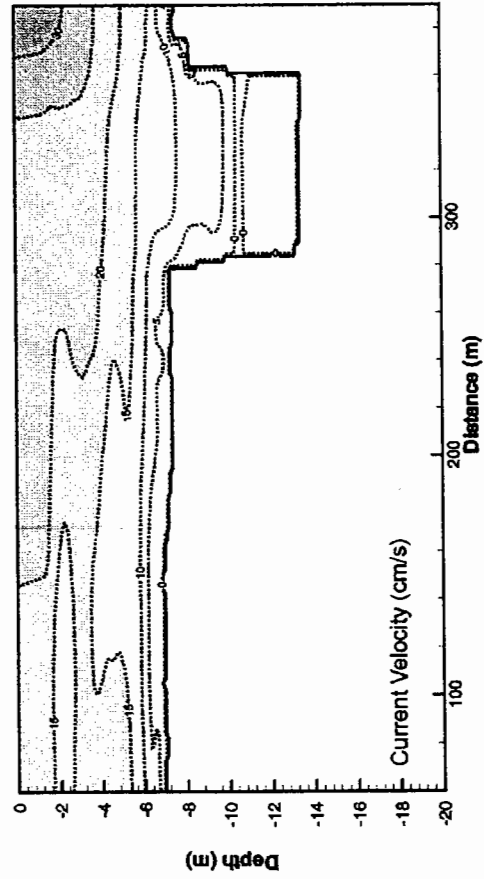
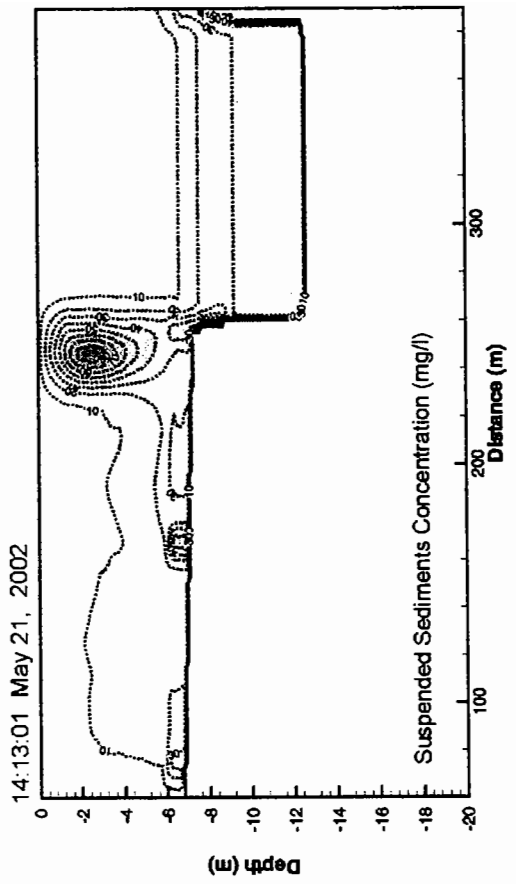
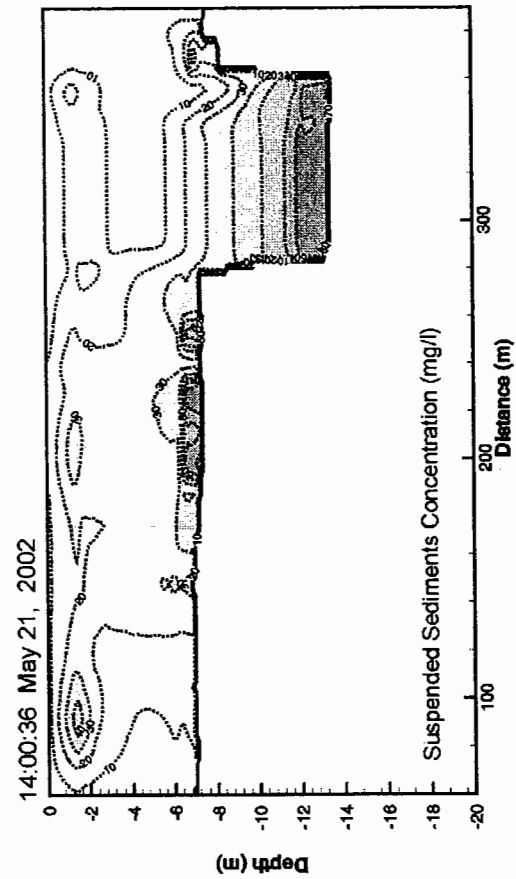


그림 A1.19 (계속).



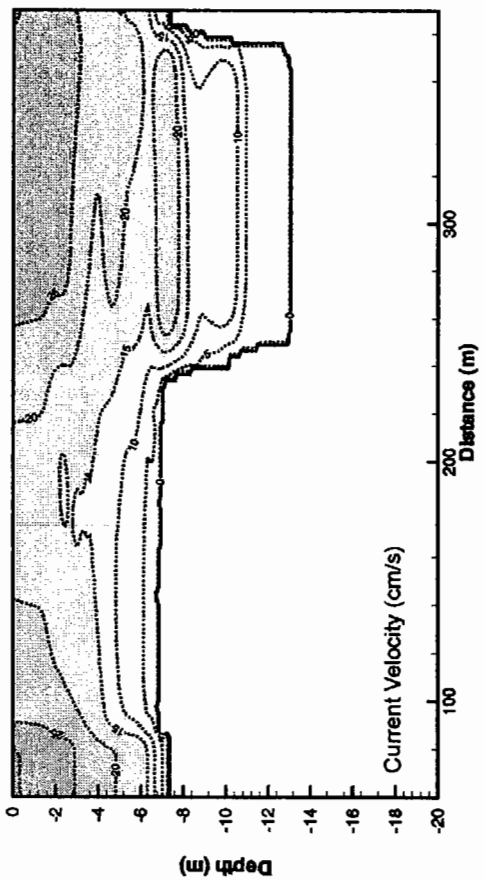
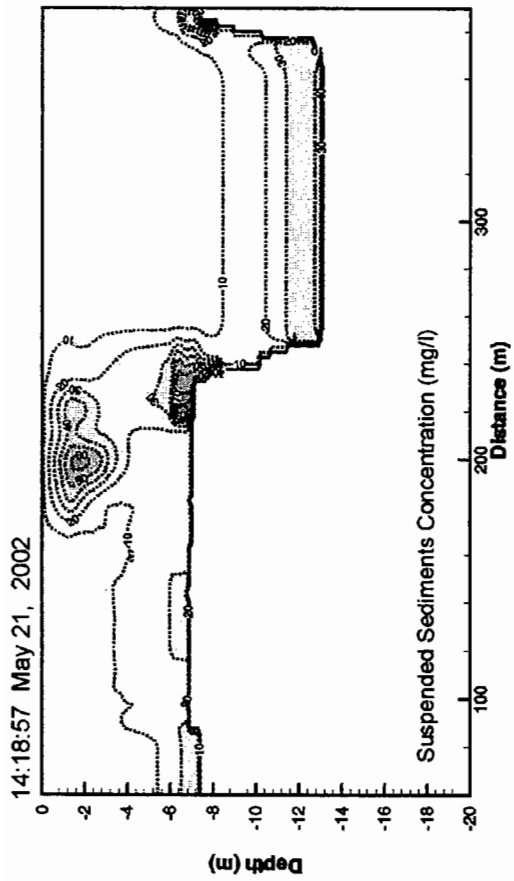
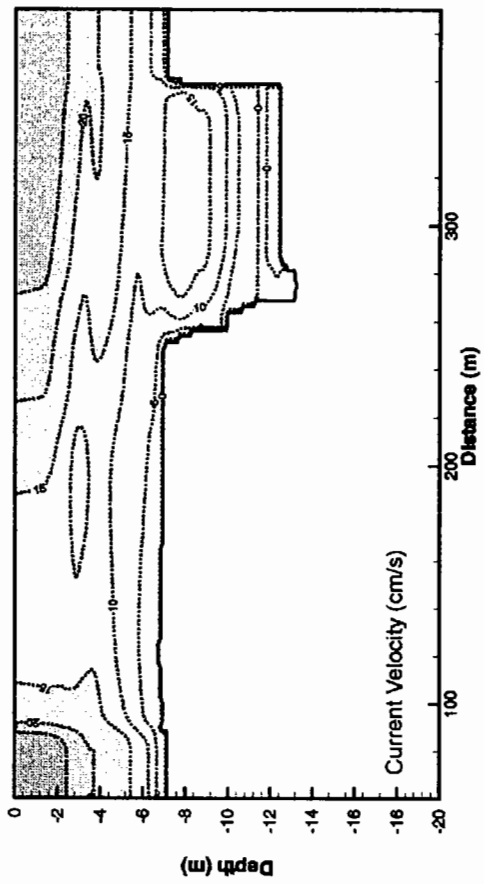
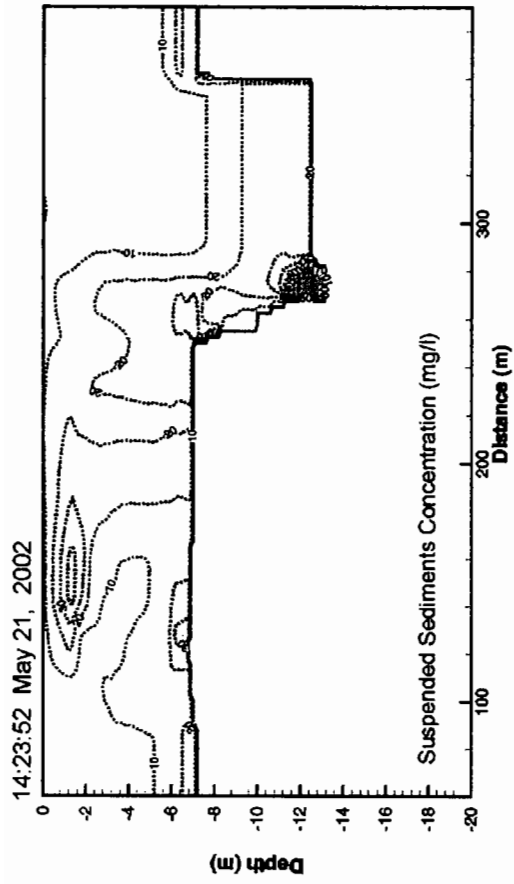


그림 A1.19 (계속).

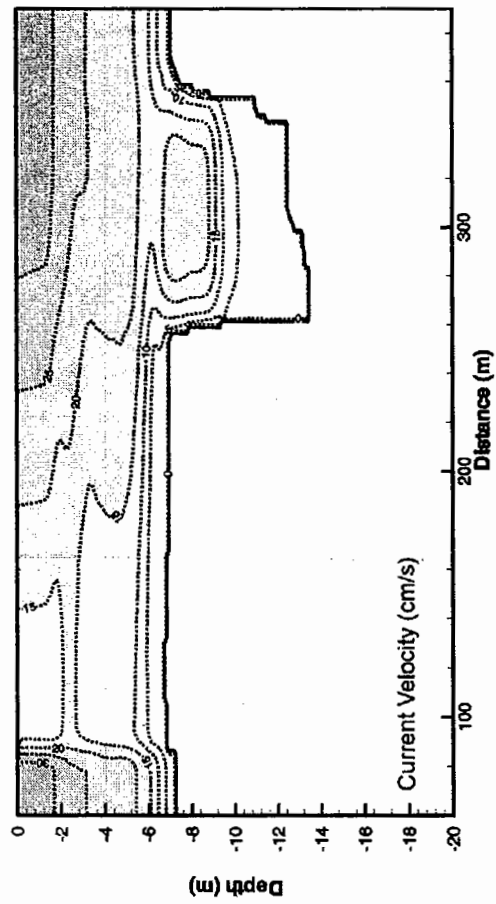
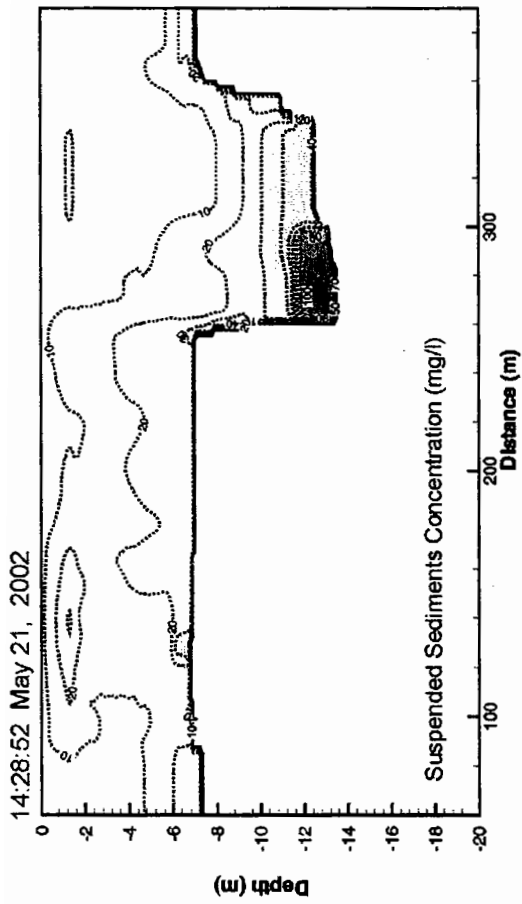


그림 A1.19 (계속).

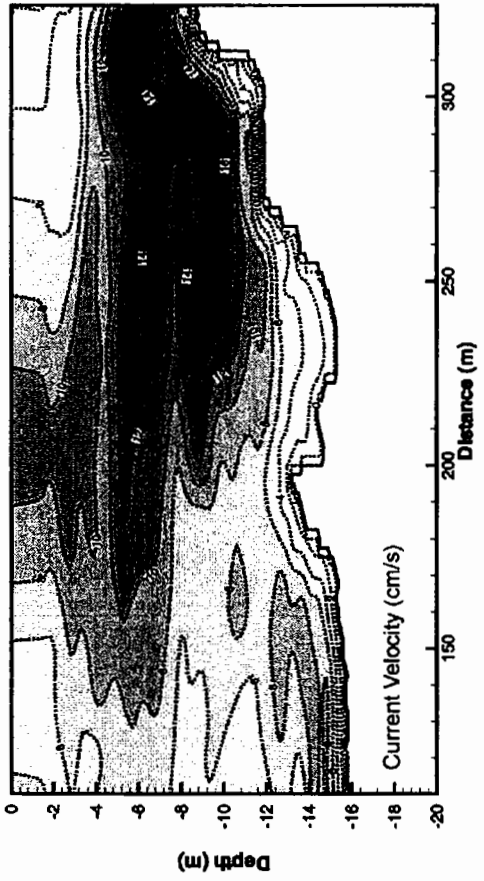
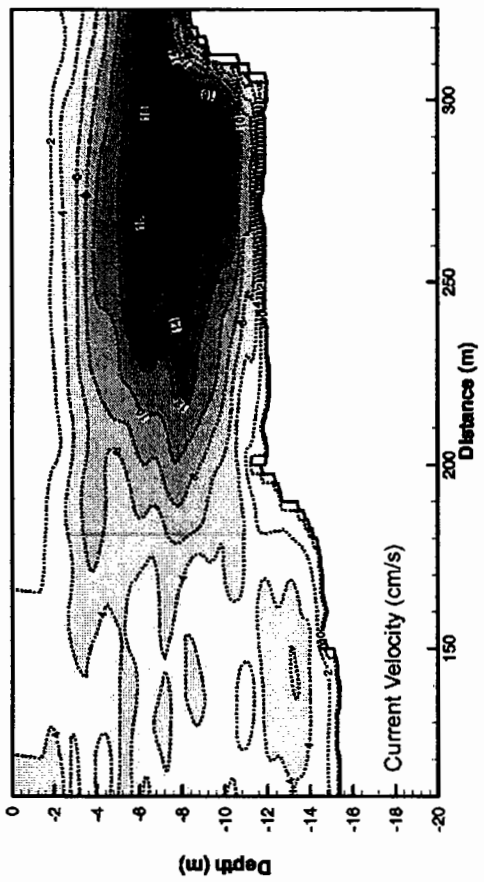
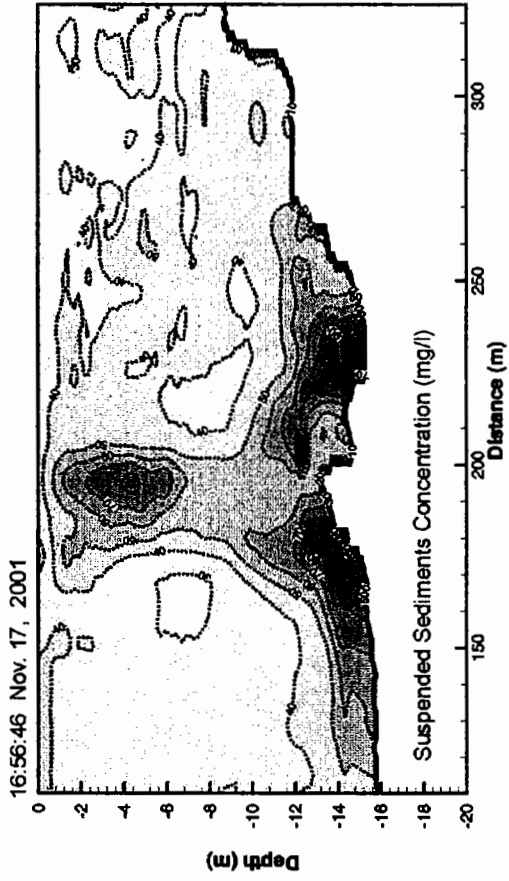
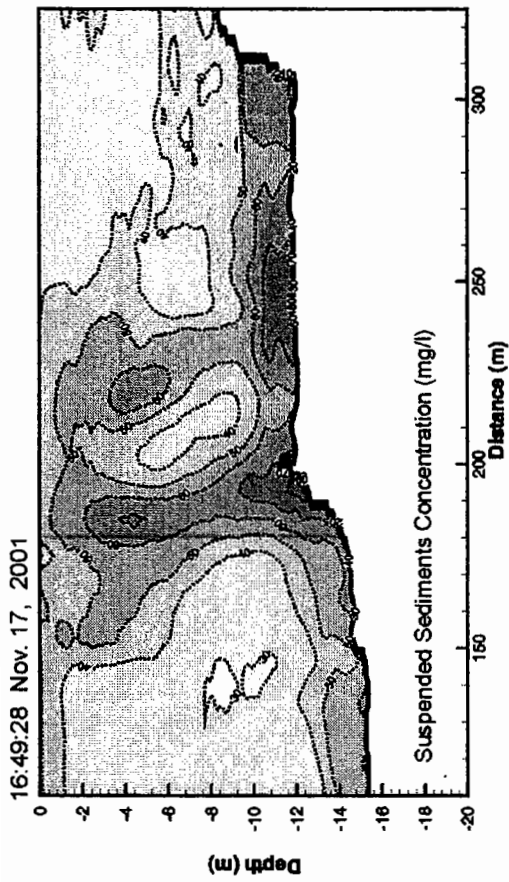


그림 A1.20 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GCI, CSD 12,000HP).

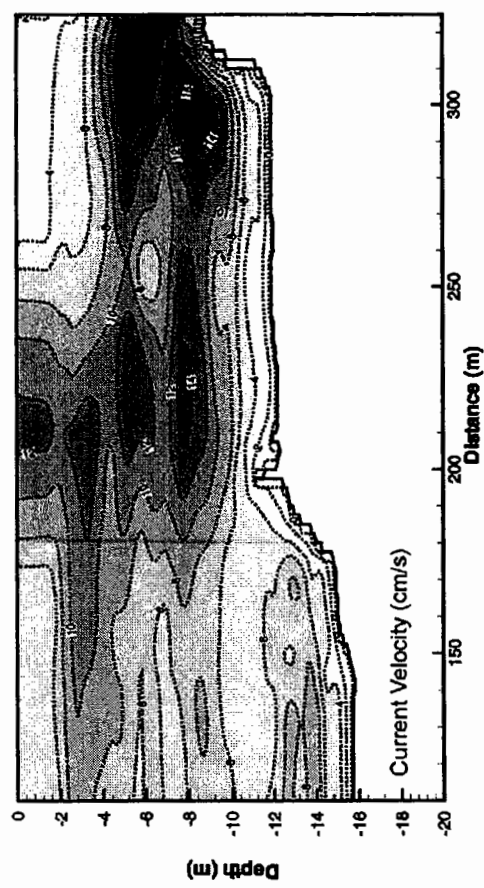
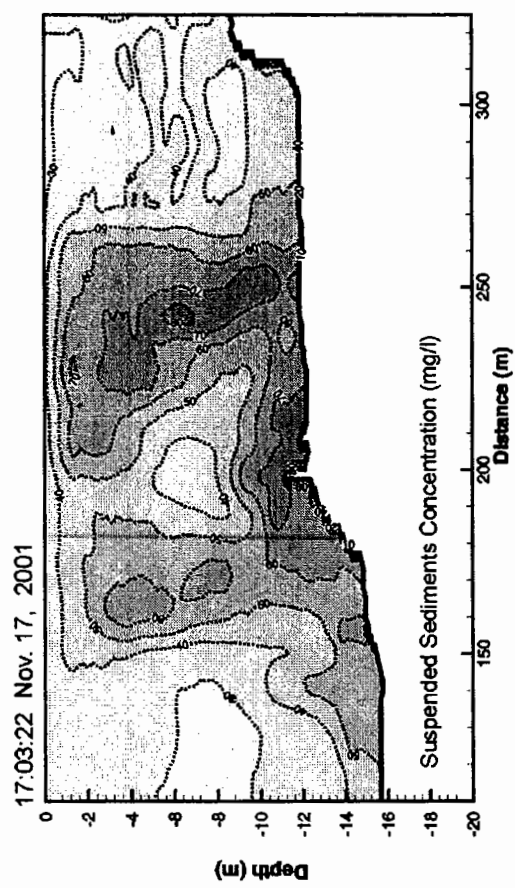
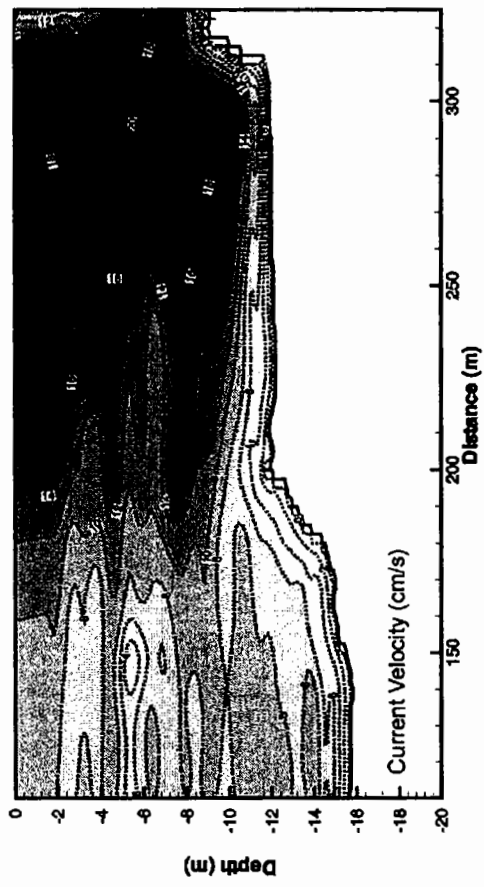
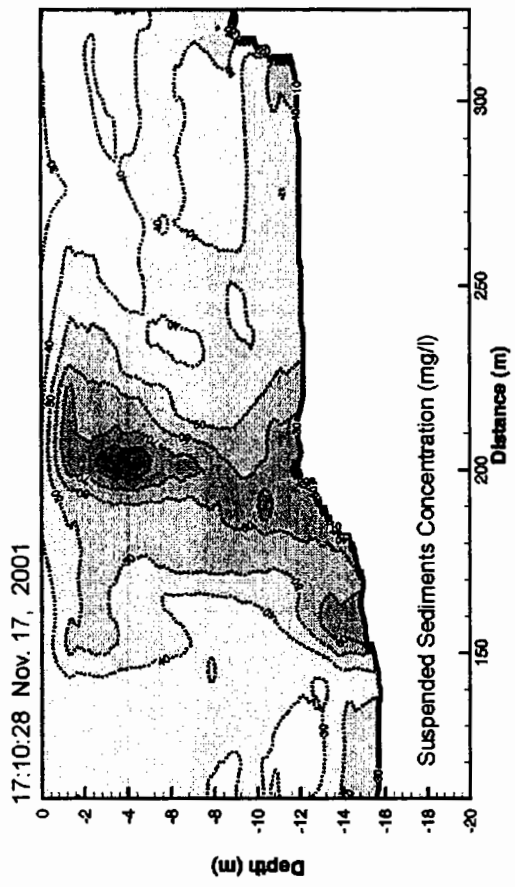


그림 A1.20 (계속).

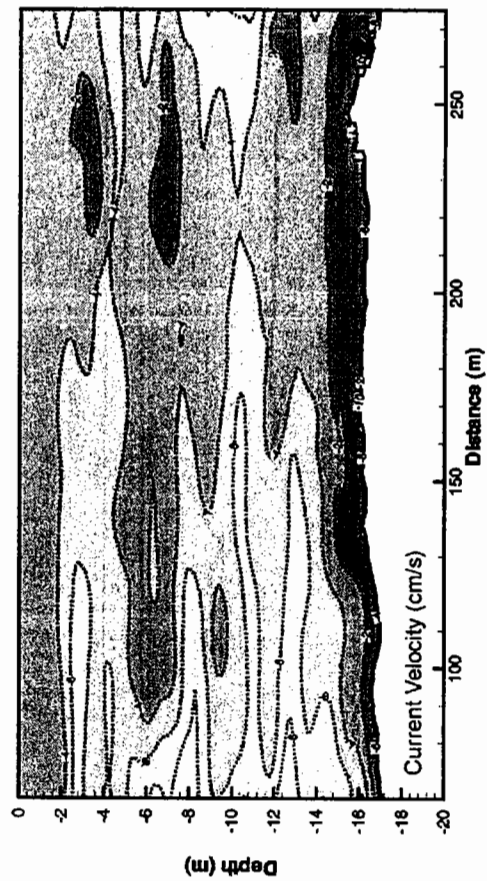
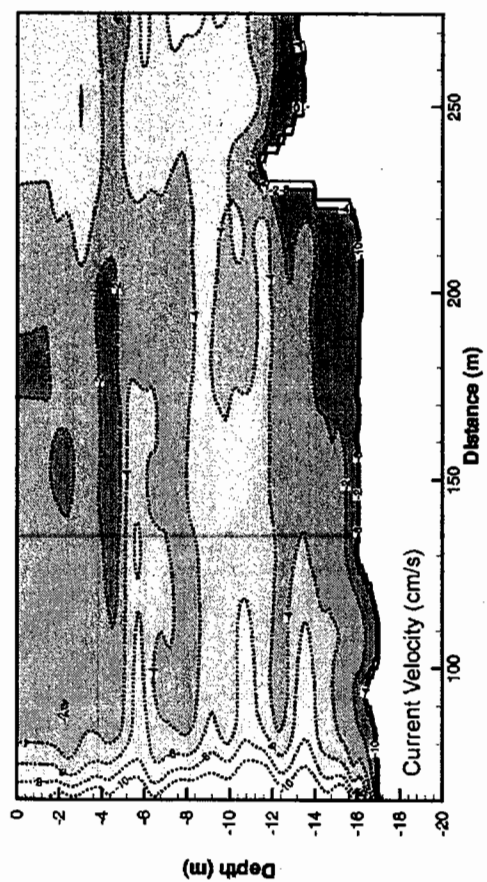
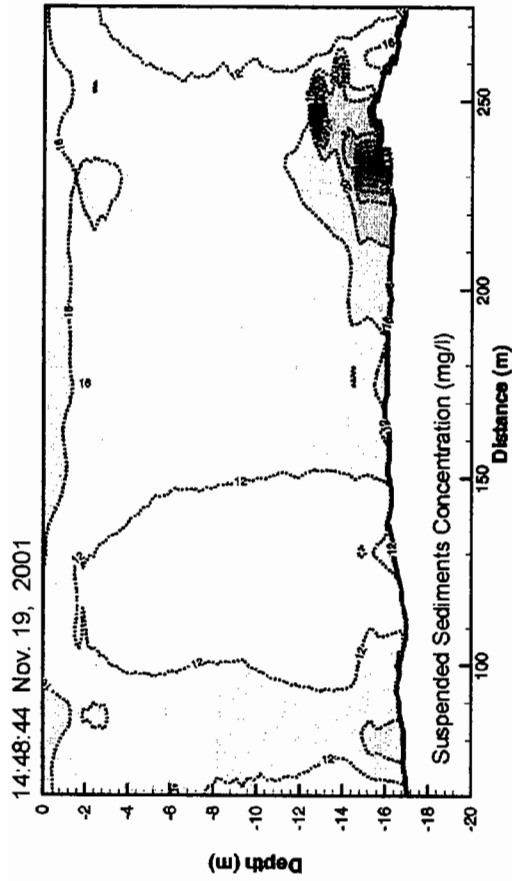
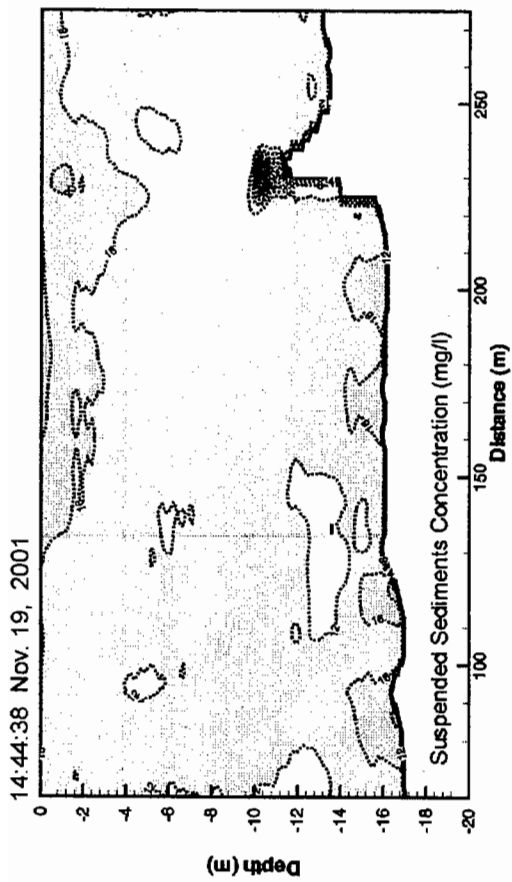


그림 A1.21 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GC2, CSD 7,200HP).

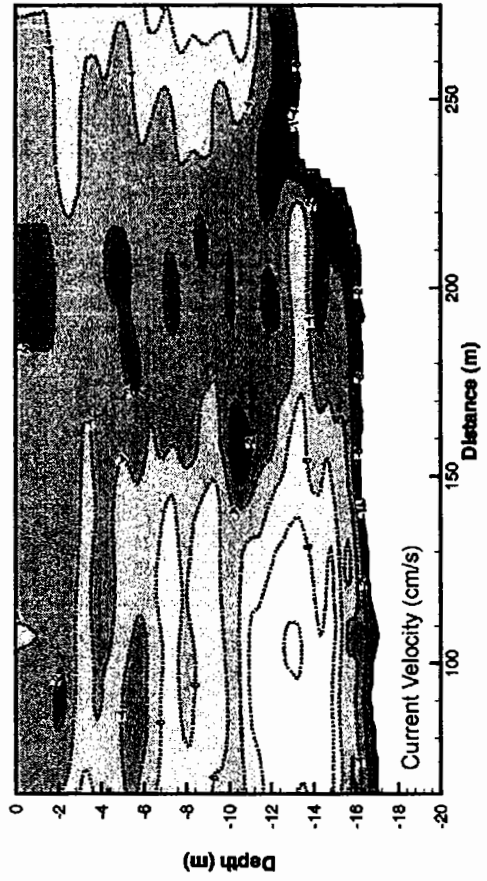
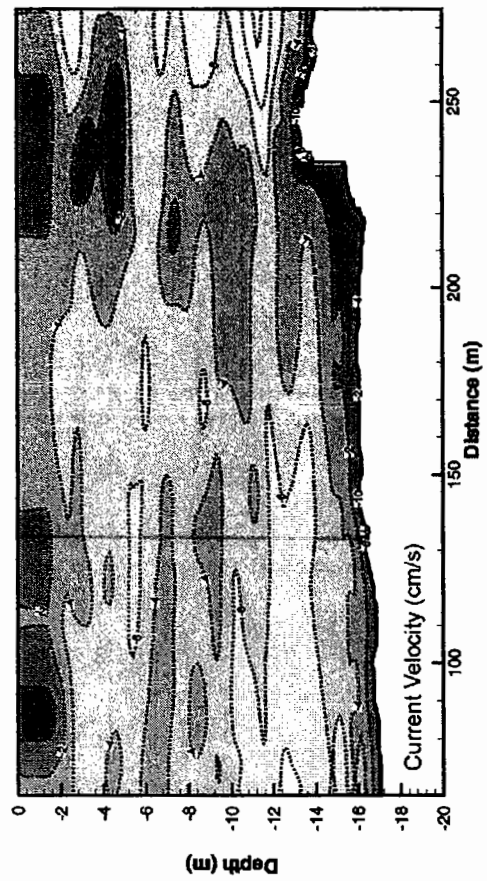
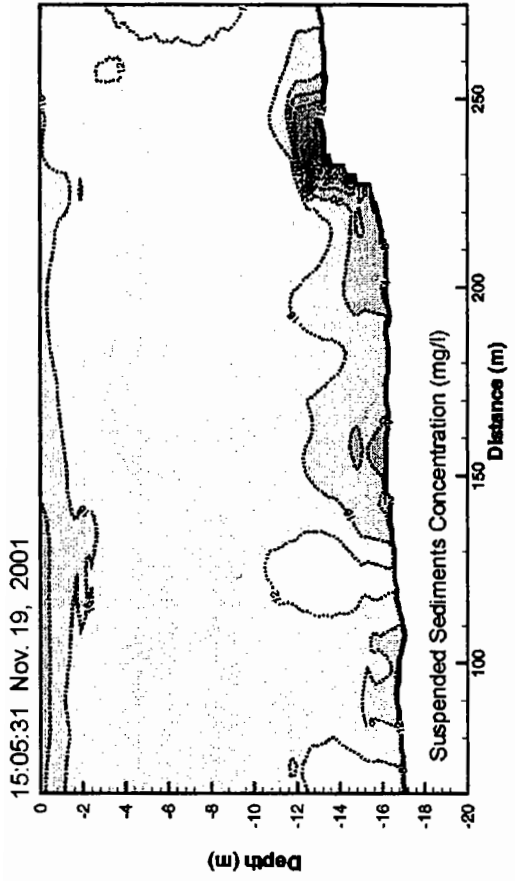
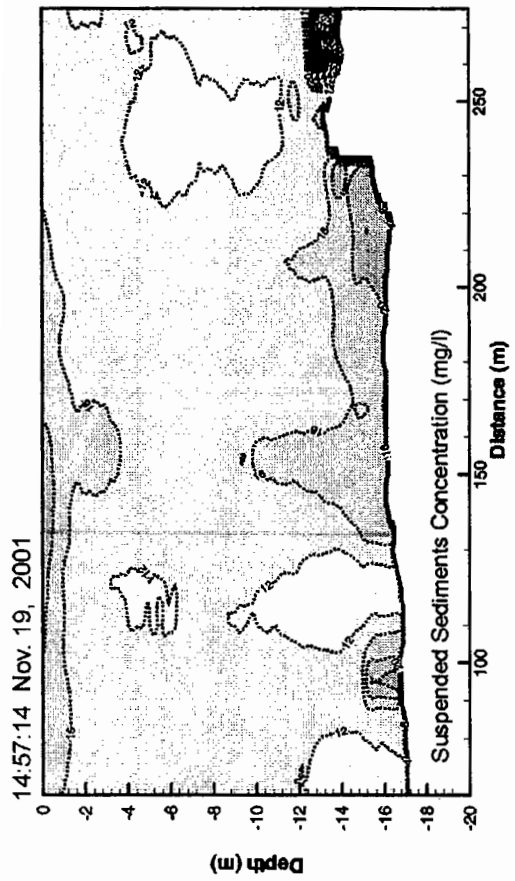


그림 A1.21 (계속).

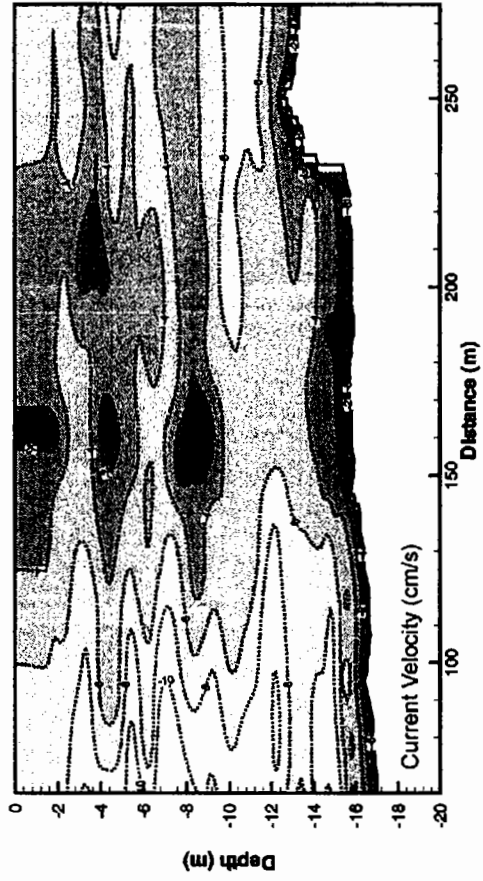
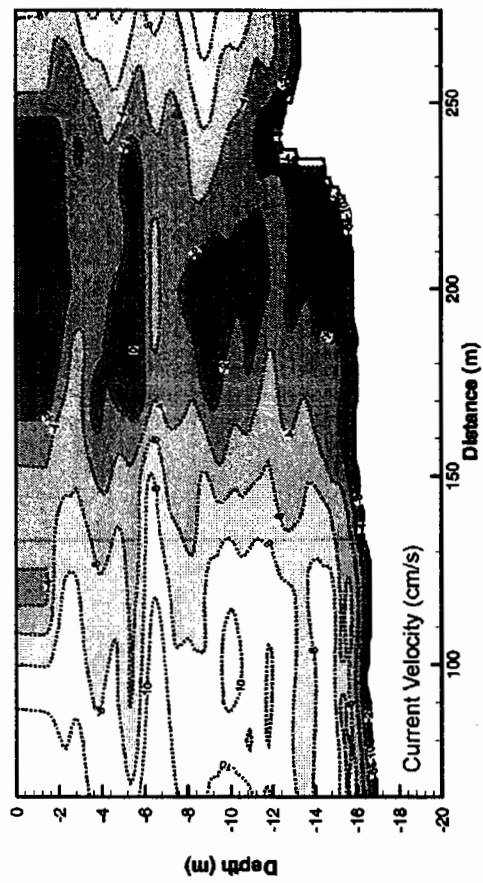
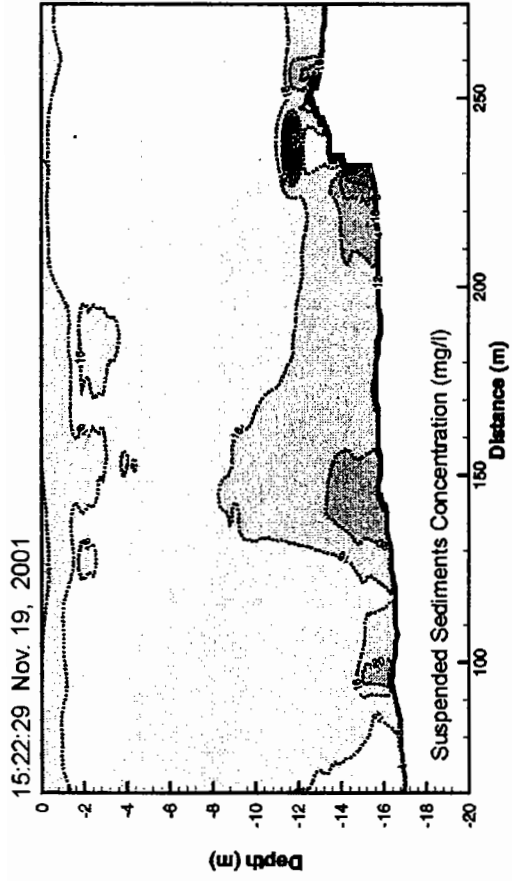
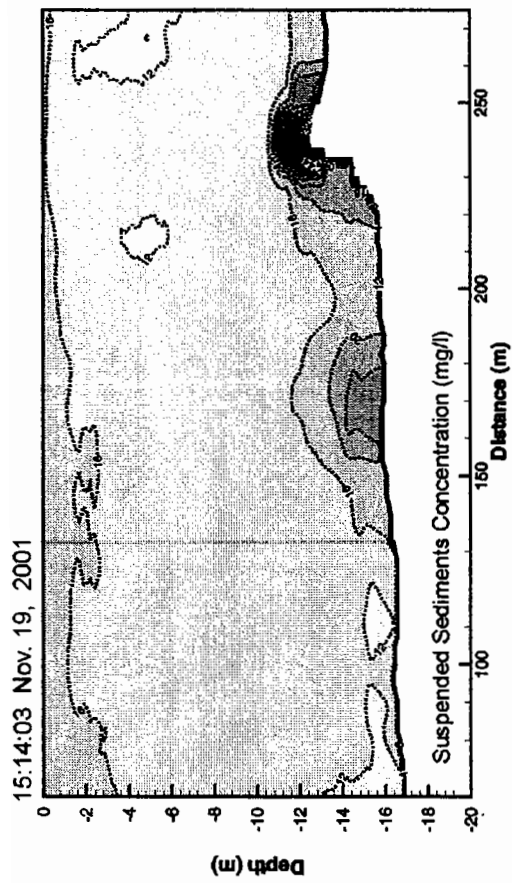


그림 A1.21 (계속).



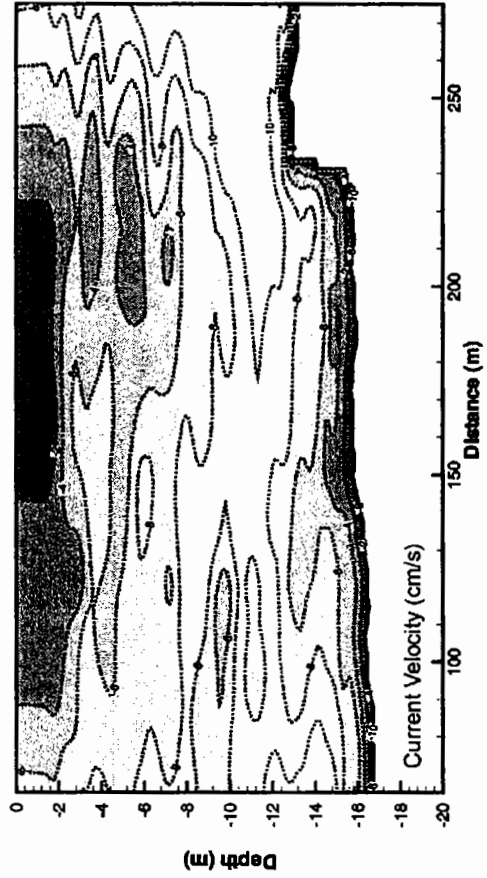
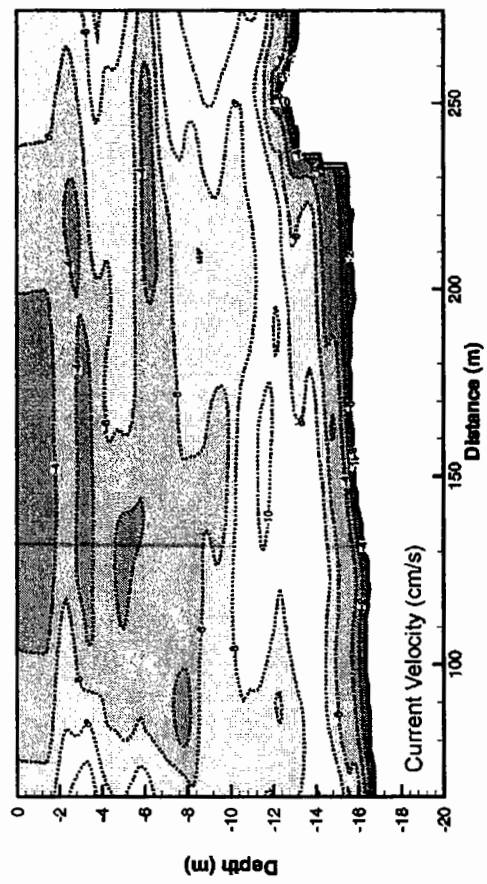
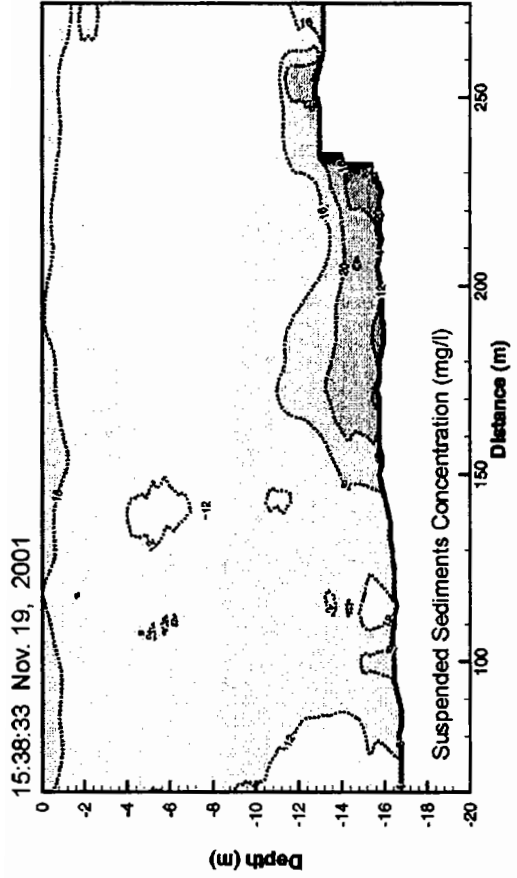
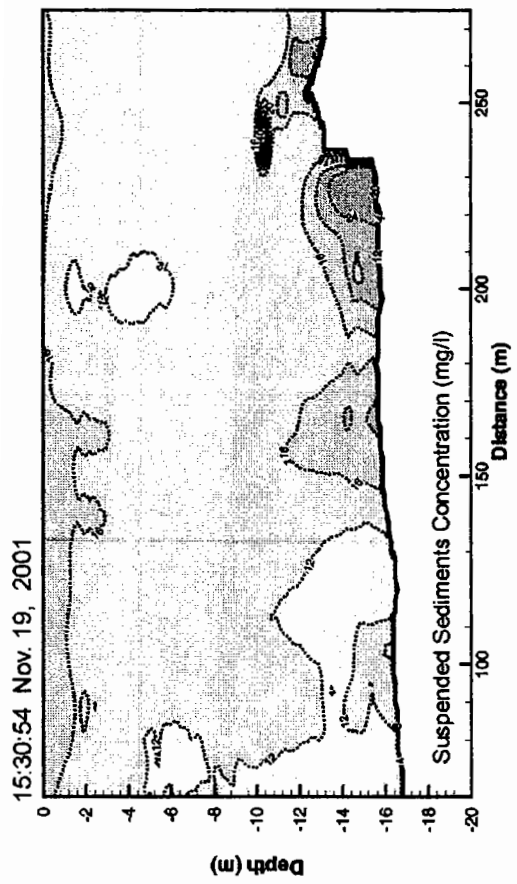


그림 A1.21 (계속).



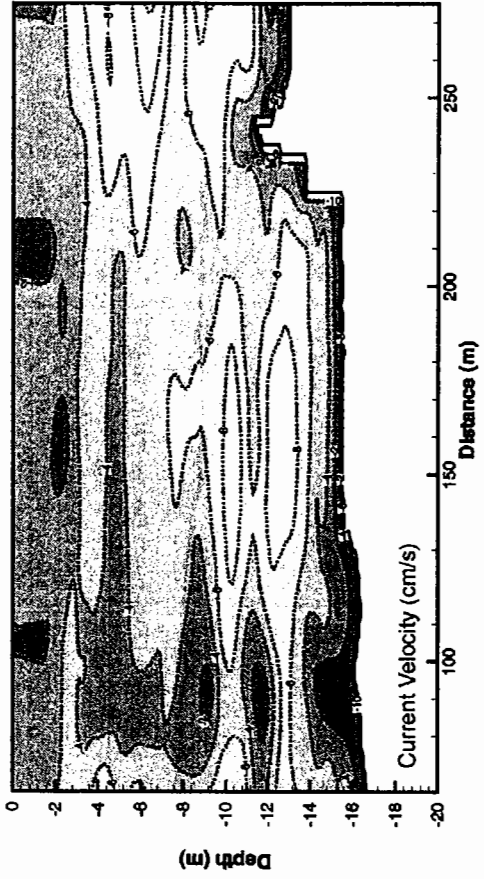
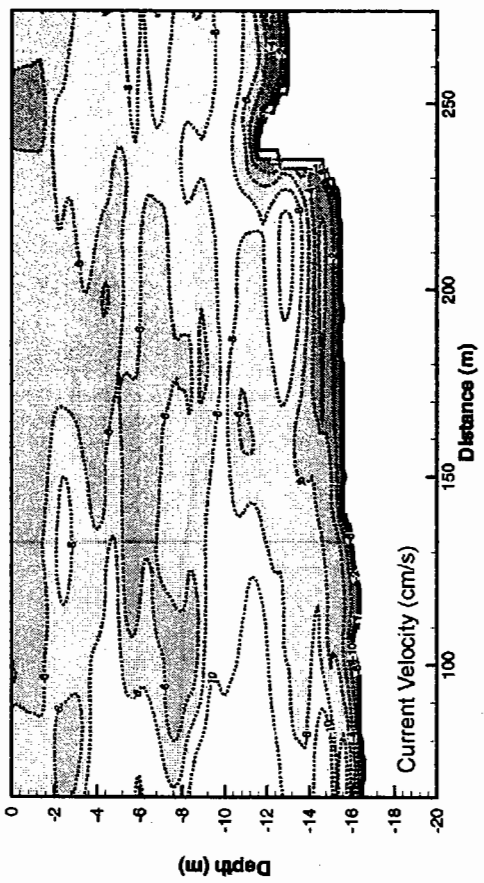
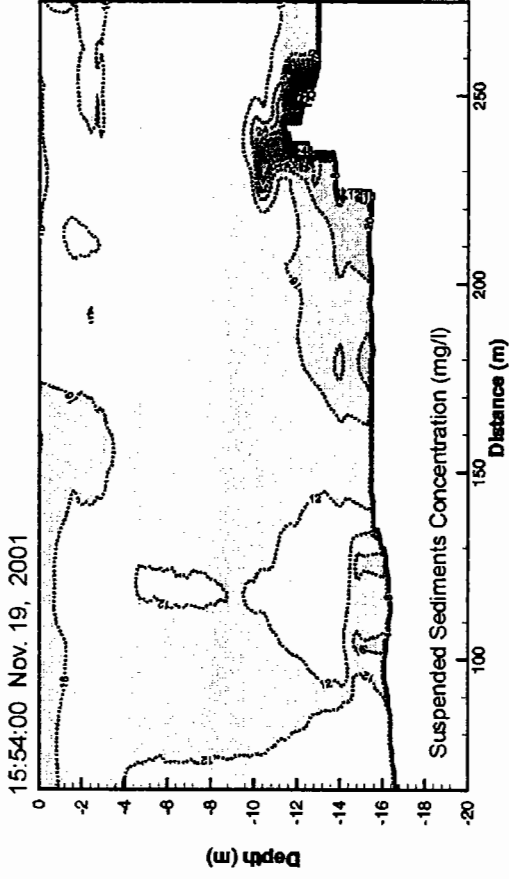
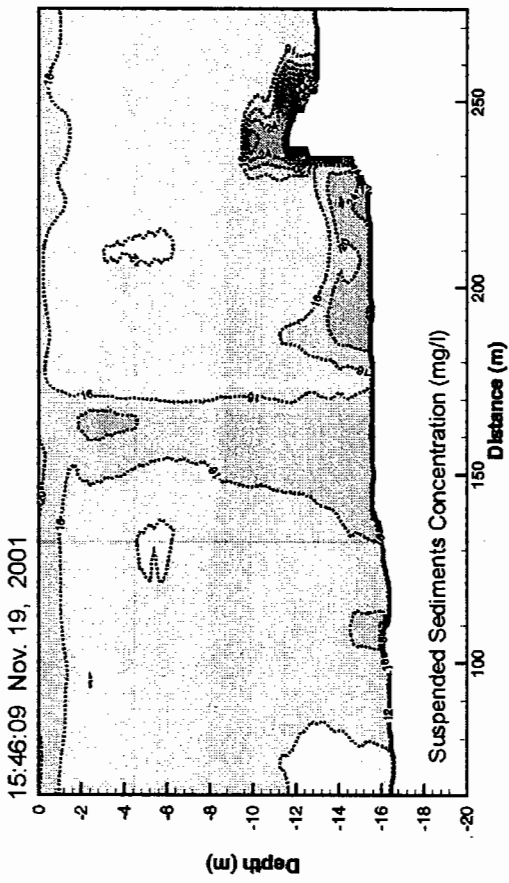


그림 A1.21 (계속).

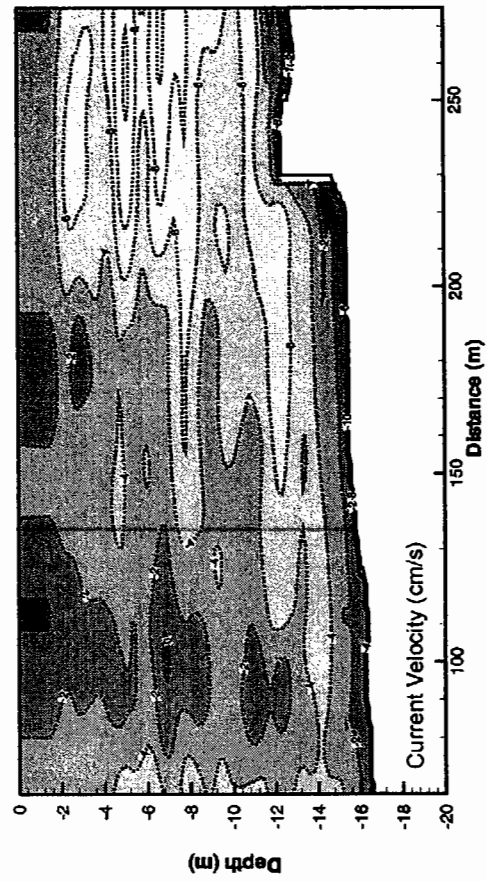
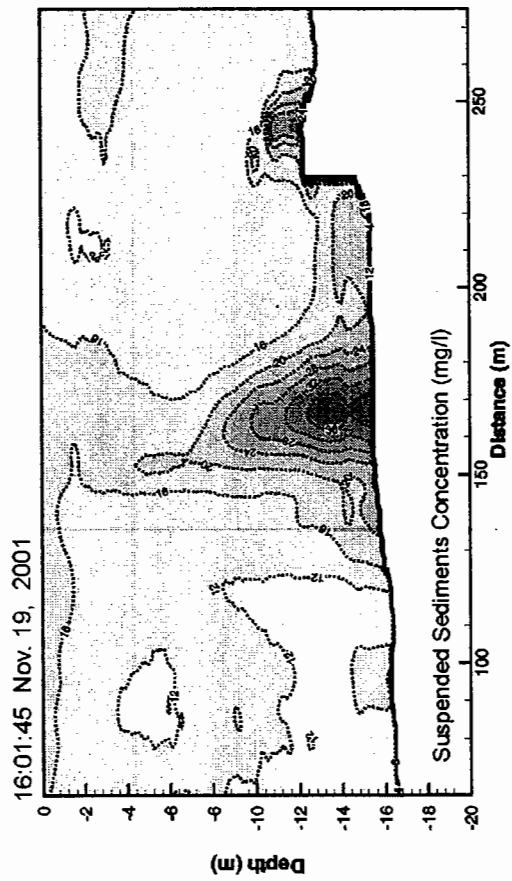
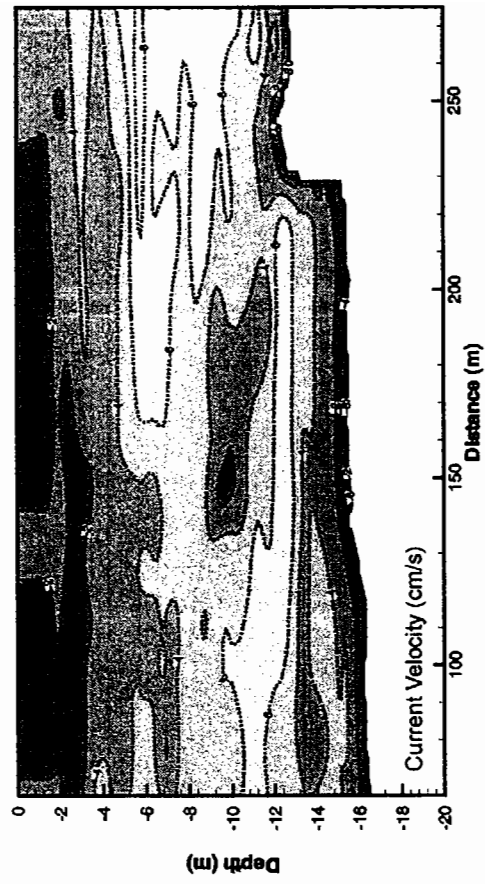
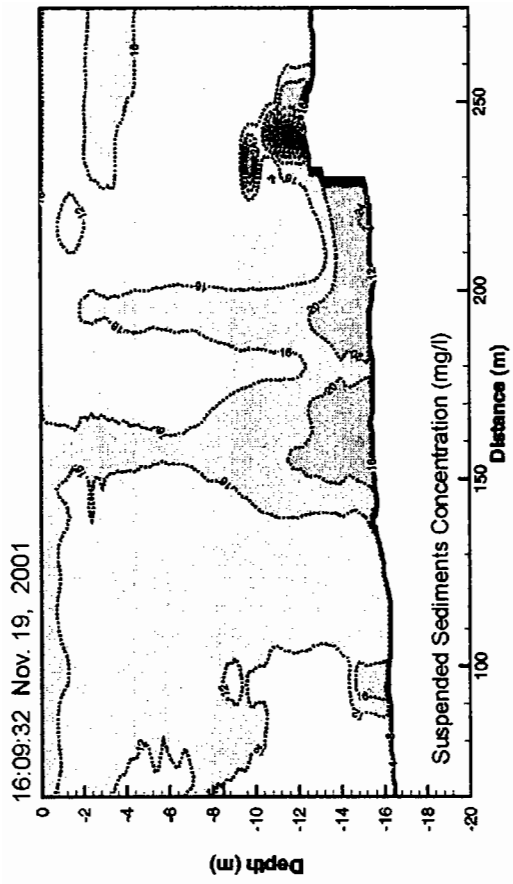


그림 A1.21 (계속).

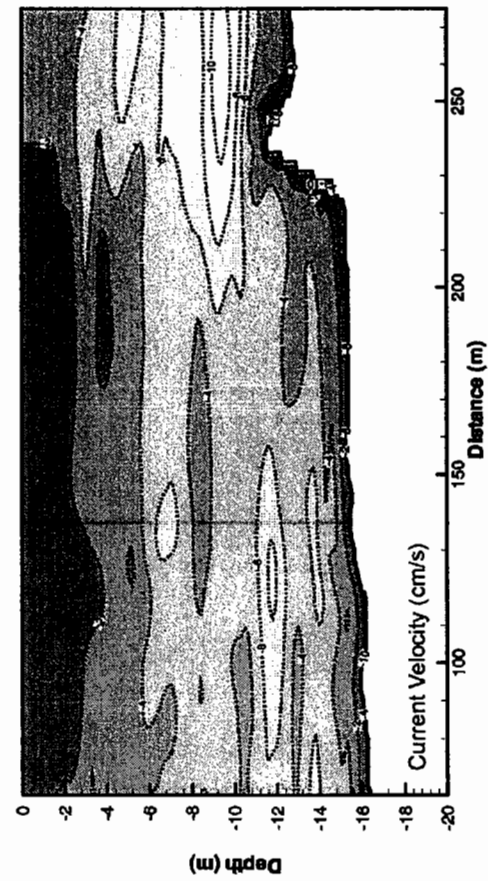
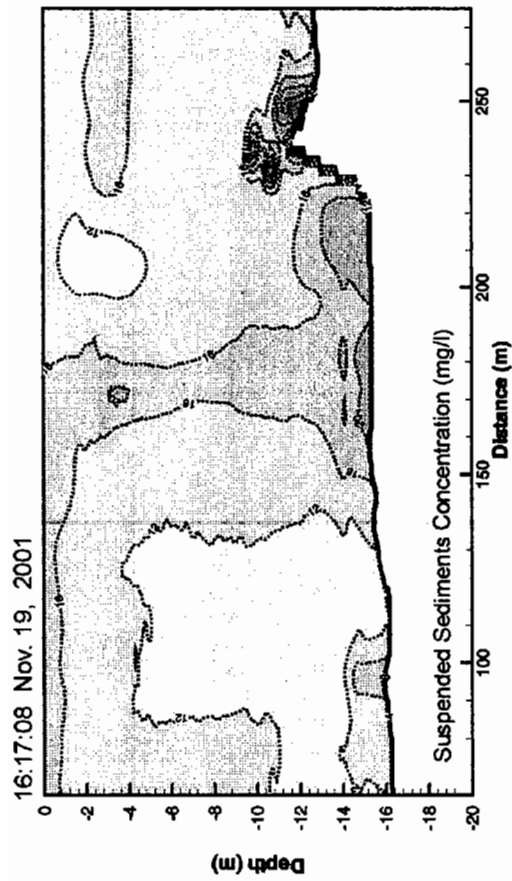
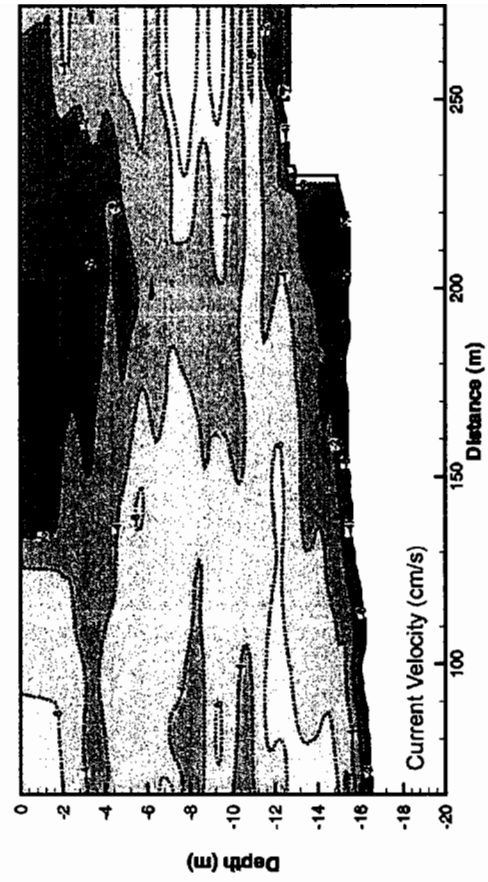
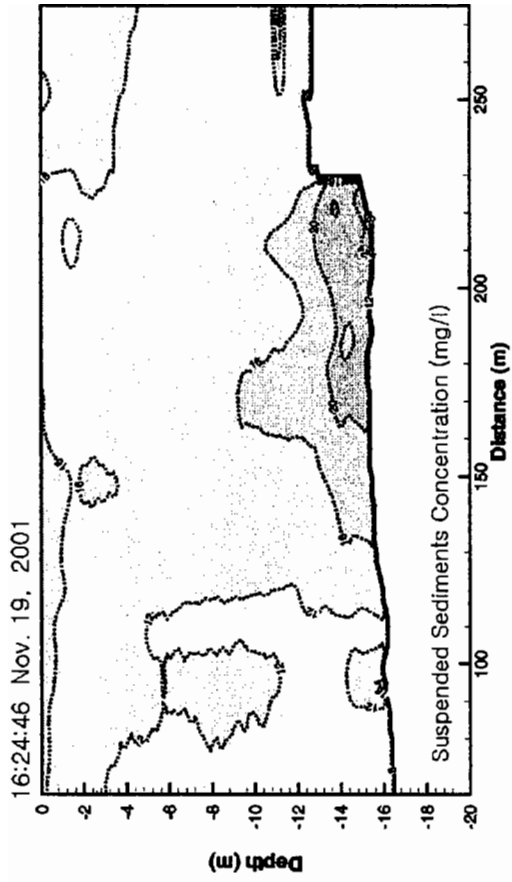


그림 A1.21 (계속).

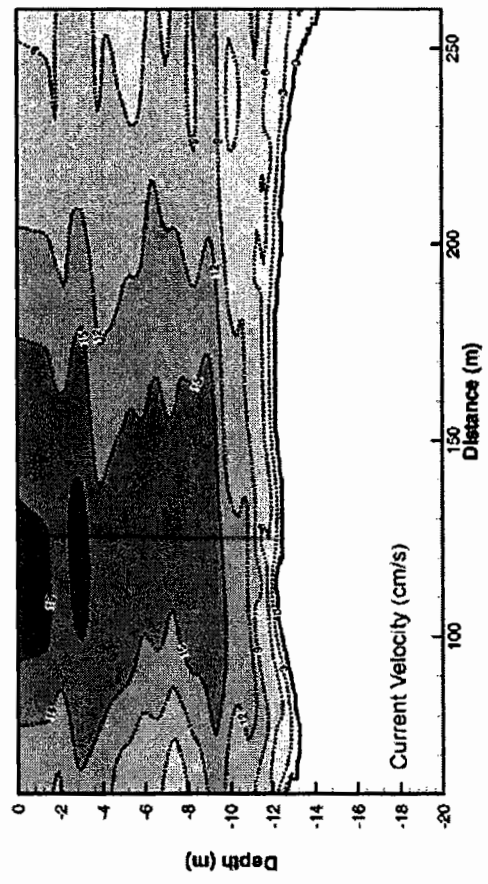
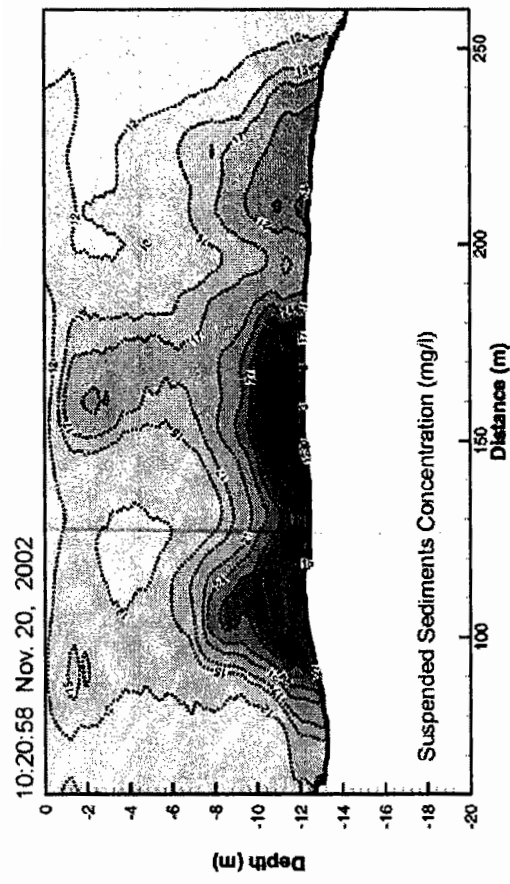
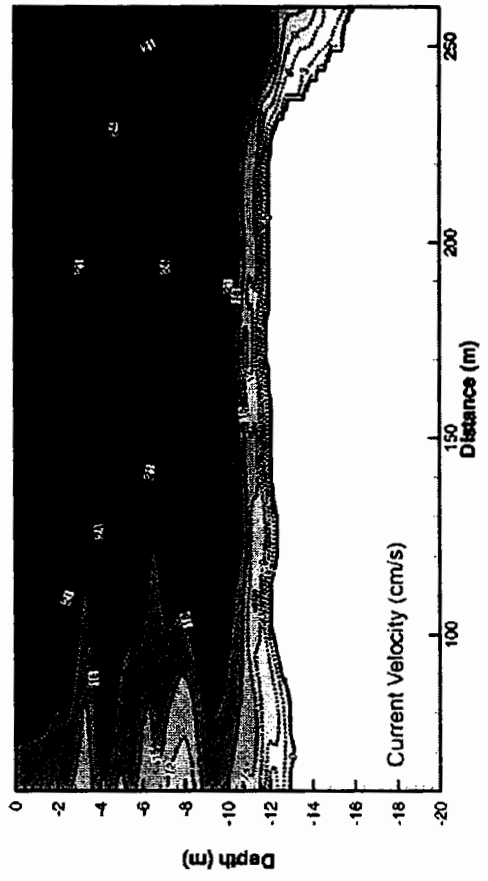
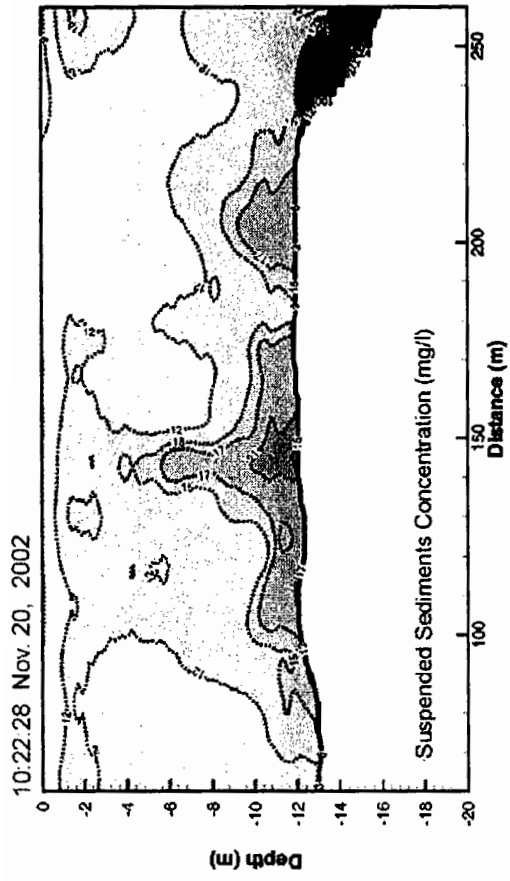


그림 A1.22 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GC4, CSD 4,400HP).

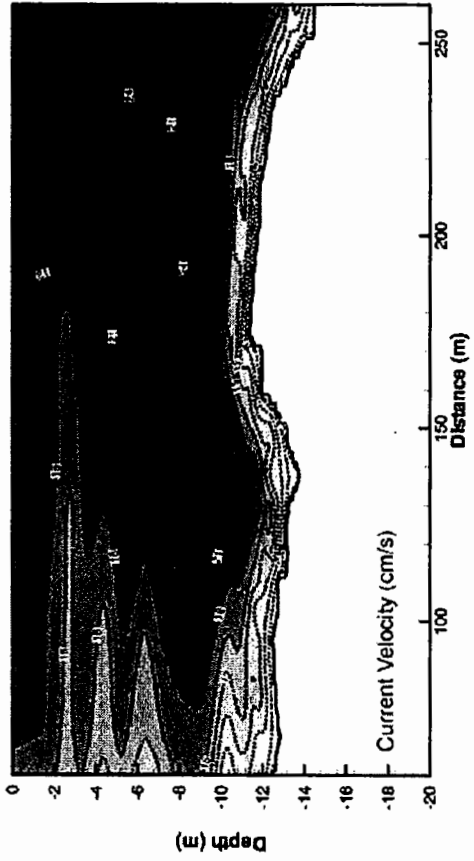
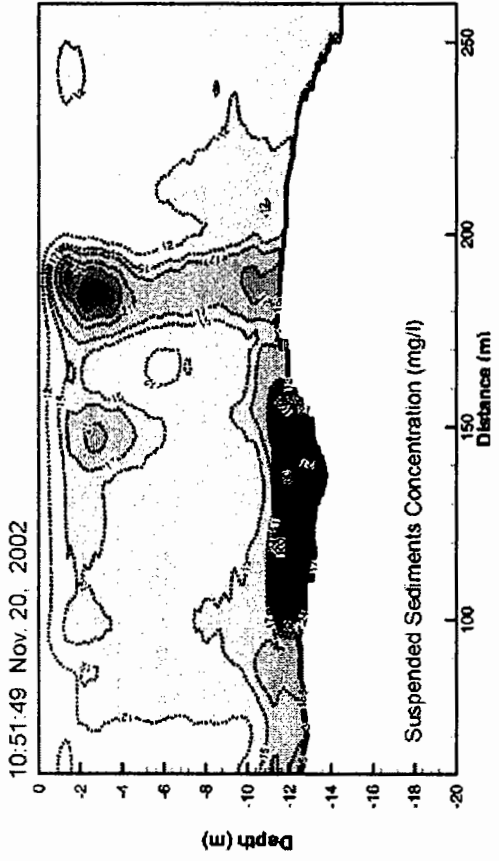
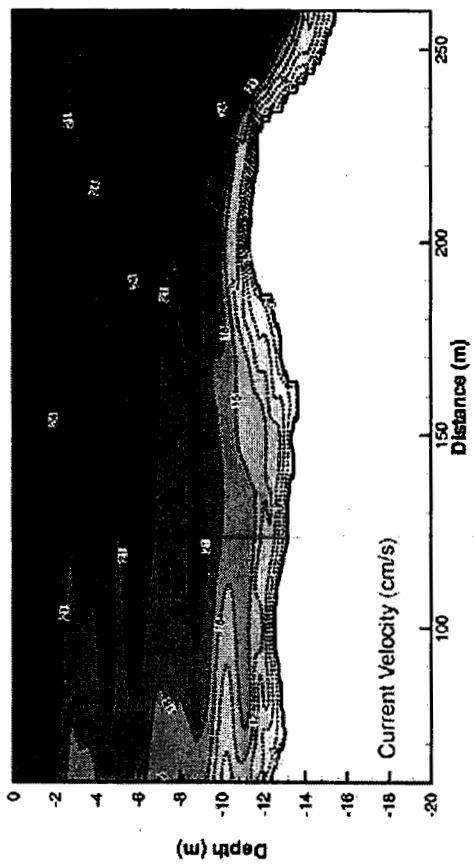
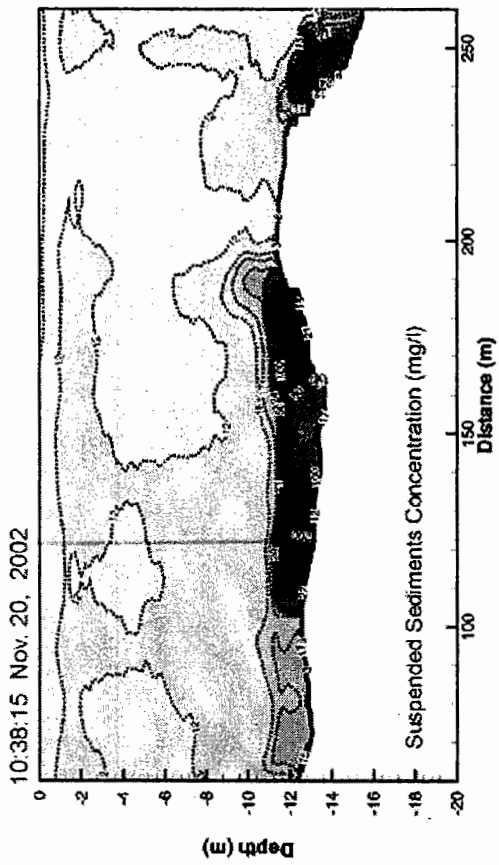


그림 A1.22 (계속).

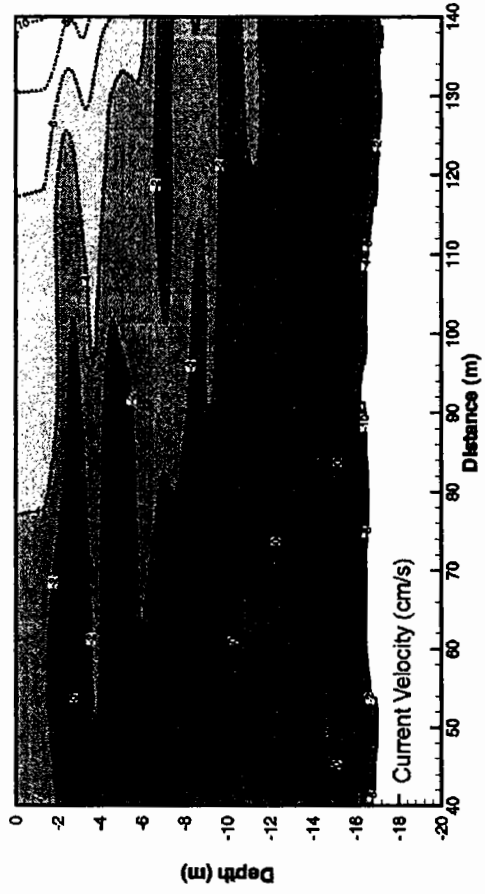
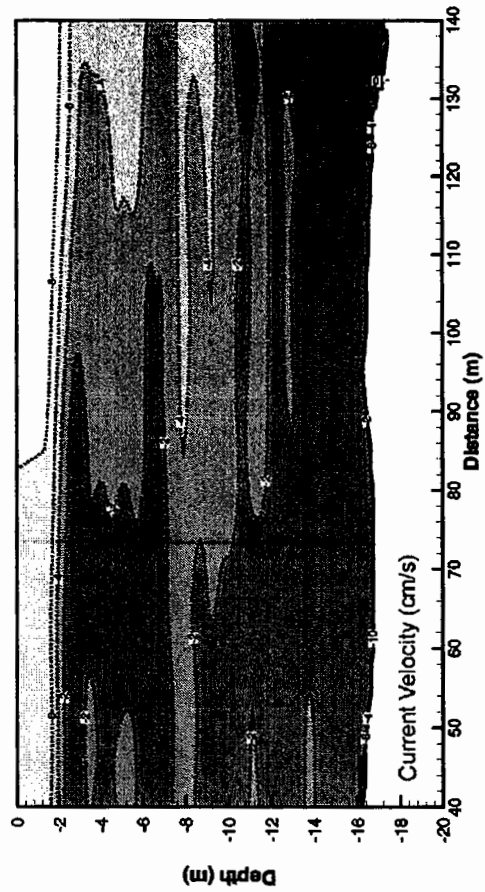
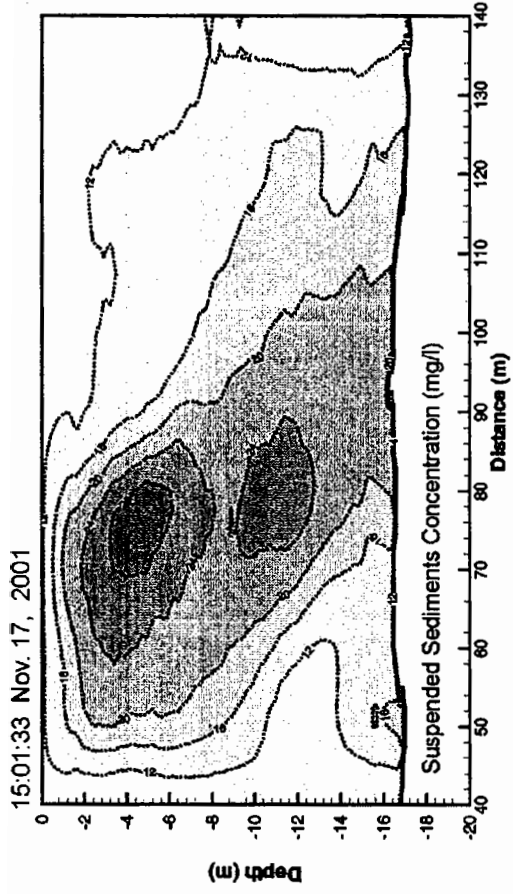
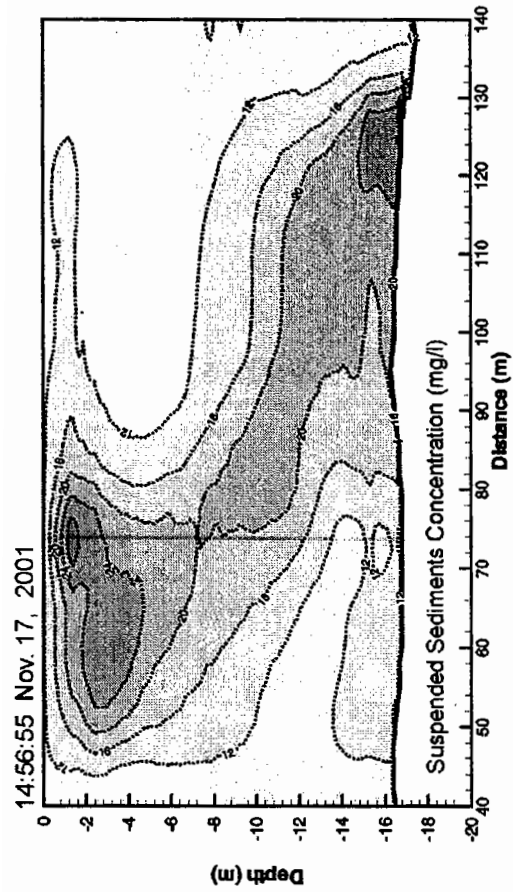


그림 A1.23 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GG1, Grab 13m<sup>3</sup>).



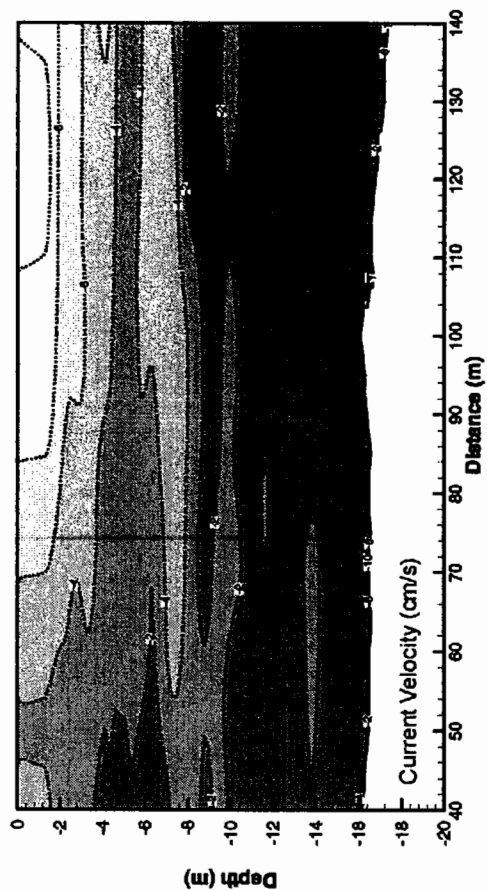
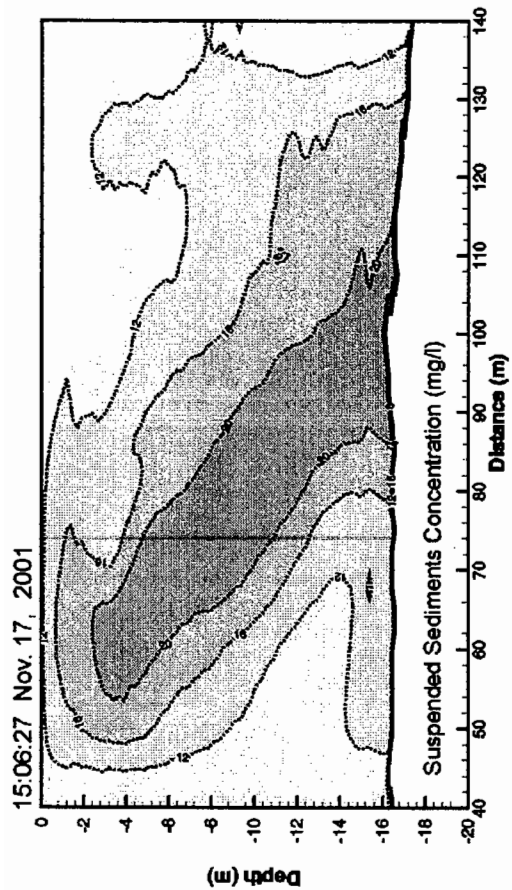
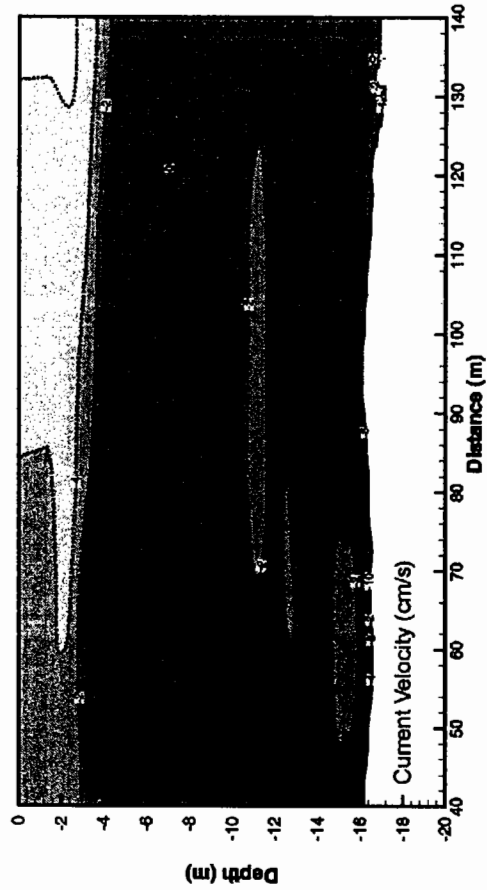
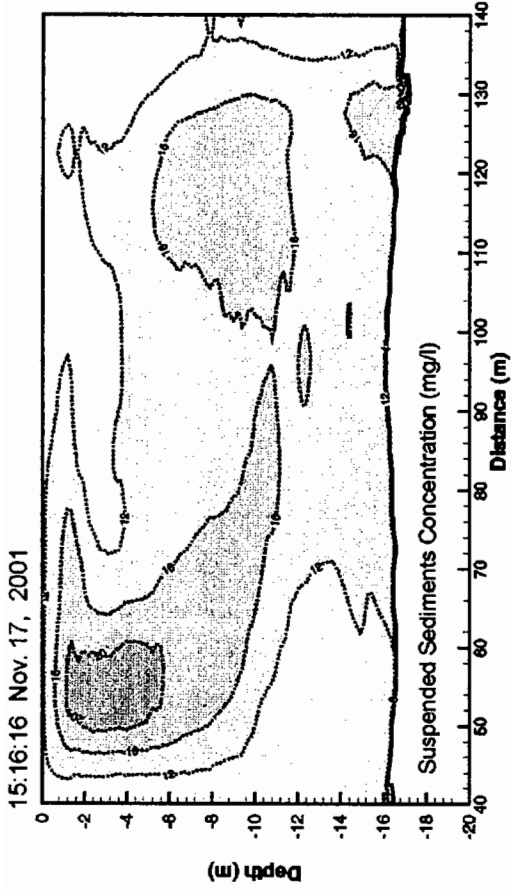


그림 A1.23 (계속).

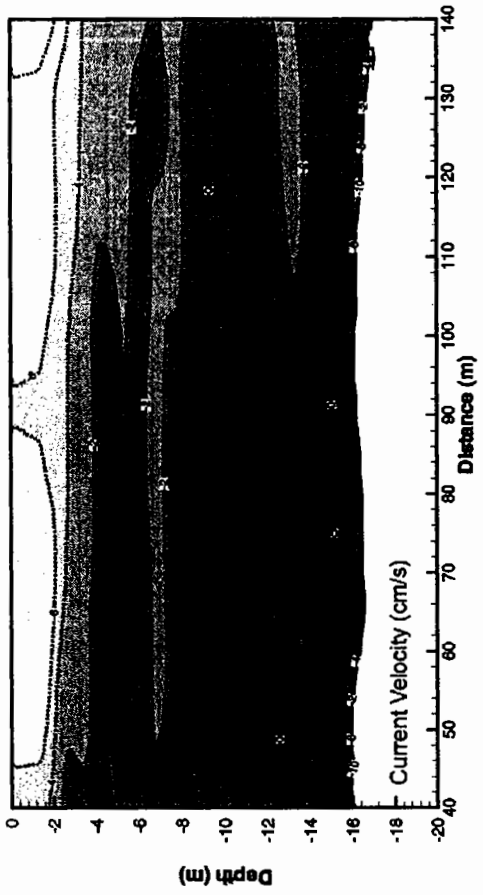
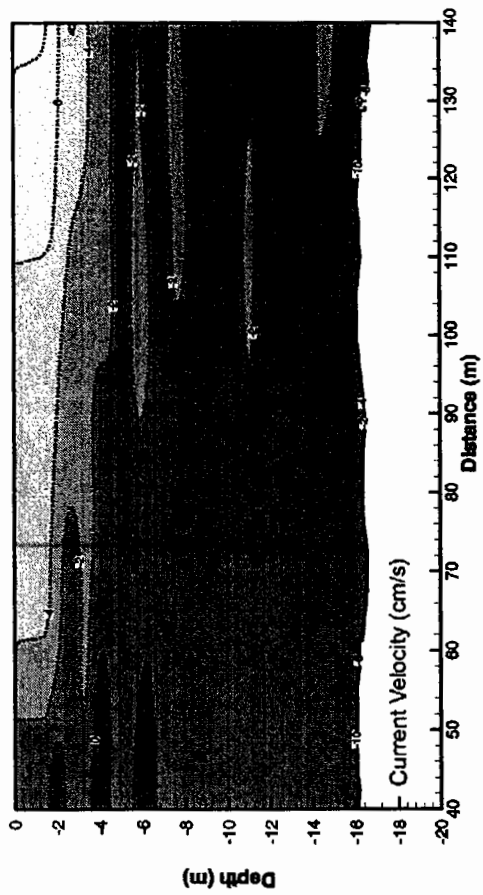
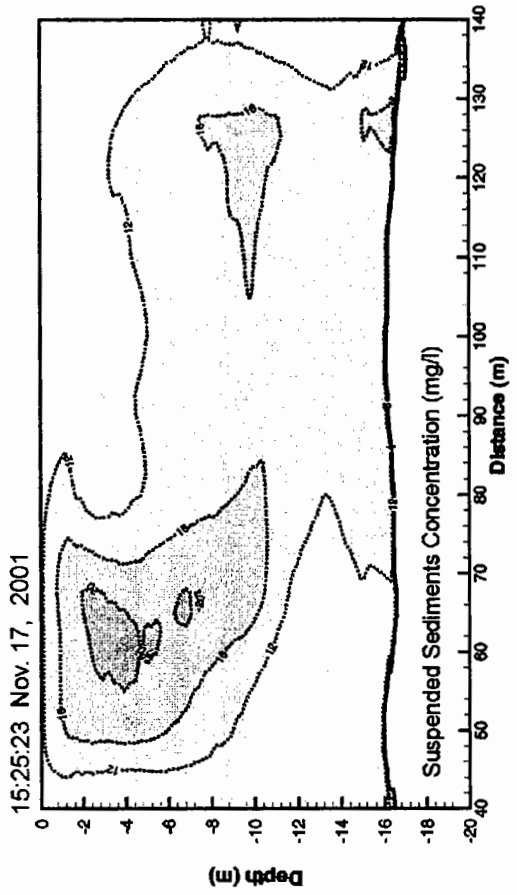
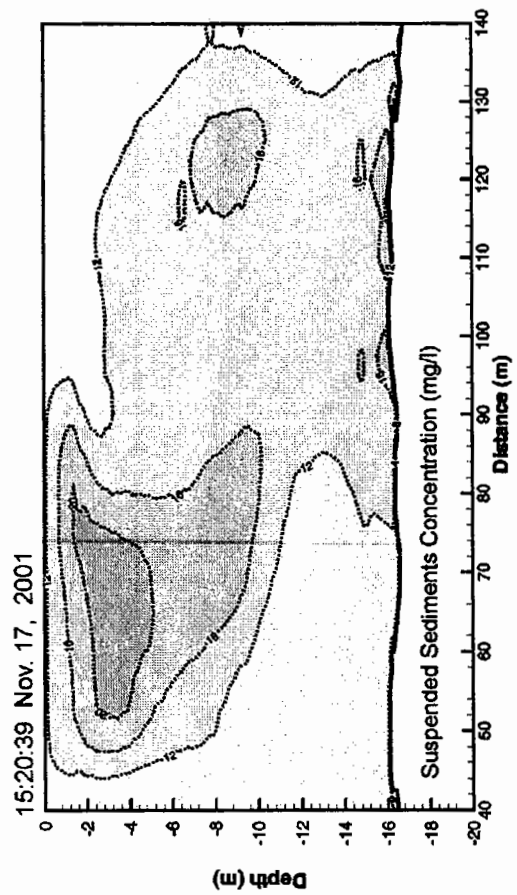
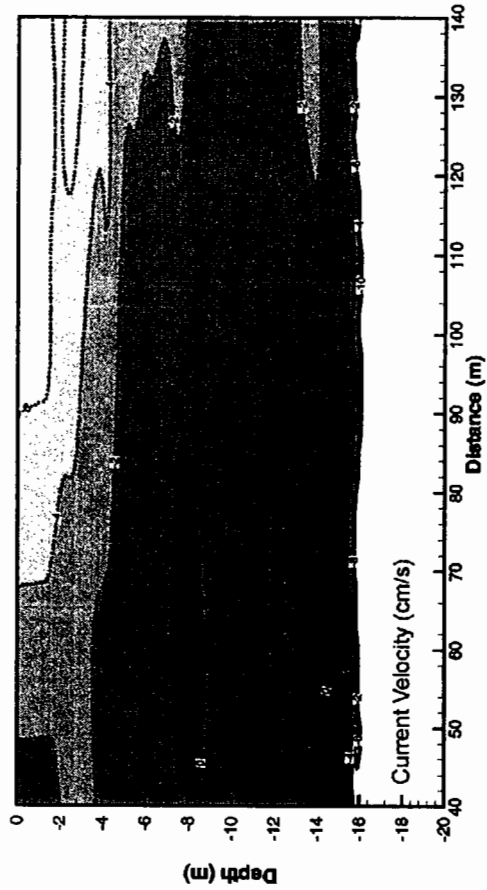
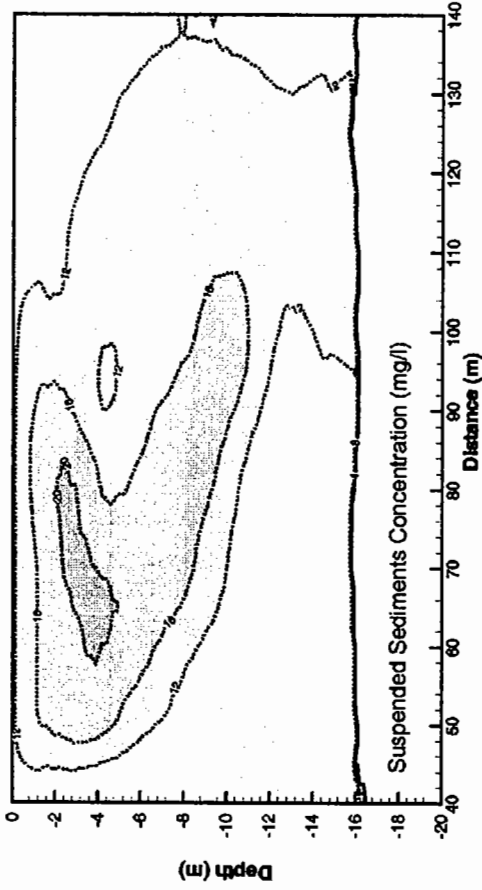


그림 A1.23 (계속).



15:31:09 Nov. 17, 2001



15:29:33 Nov. 17, 2001

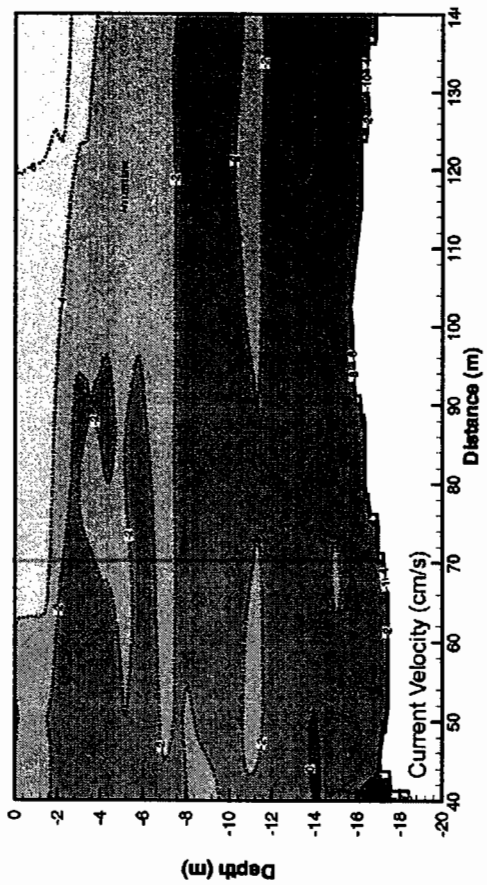
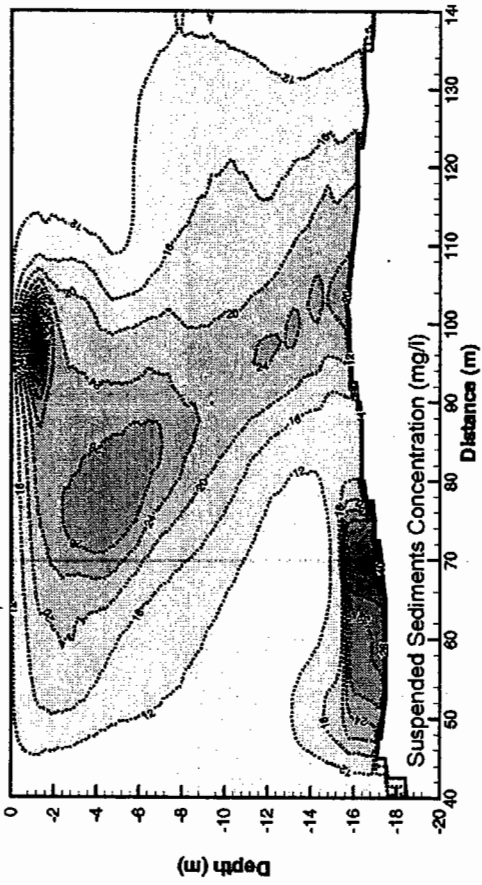


그림 A1.23 (계속).

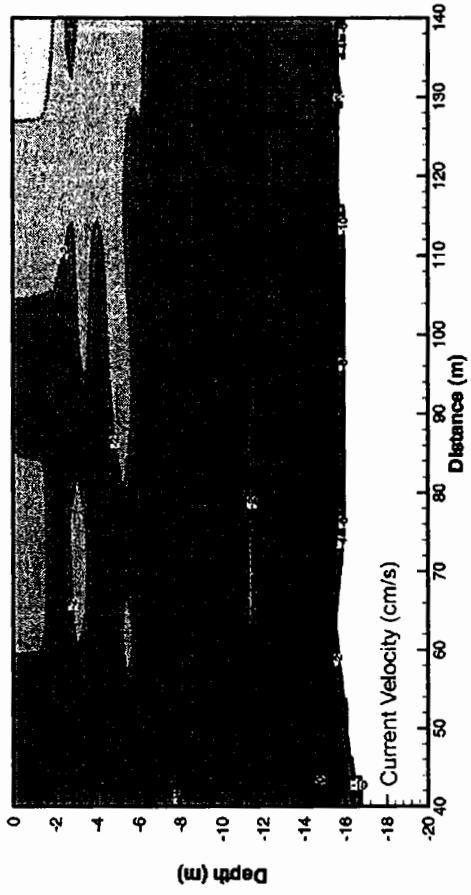
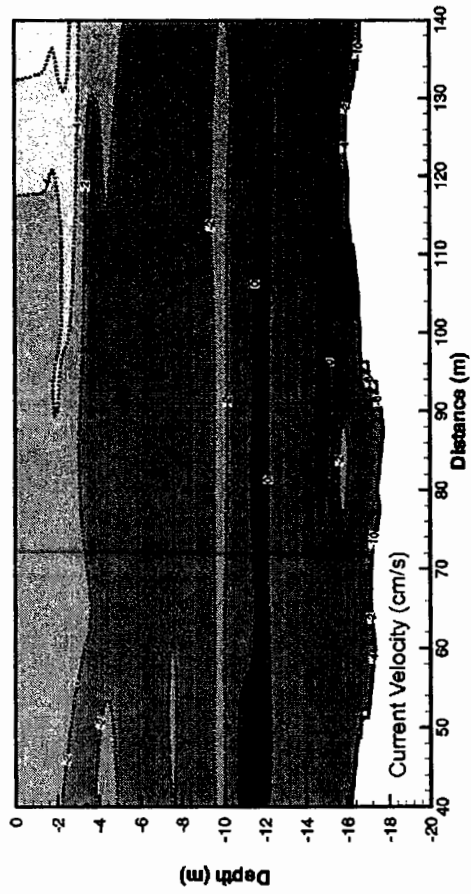
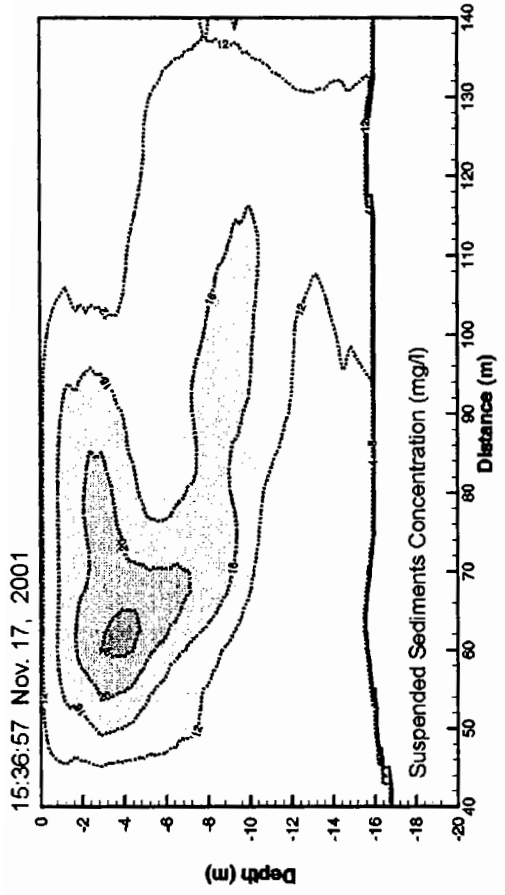
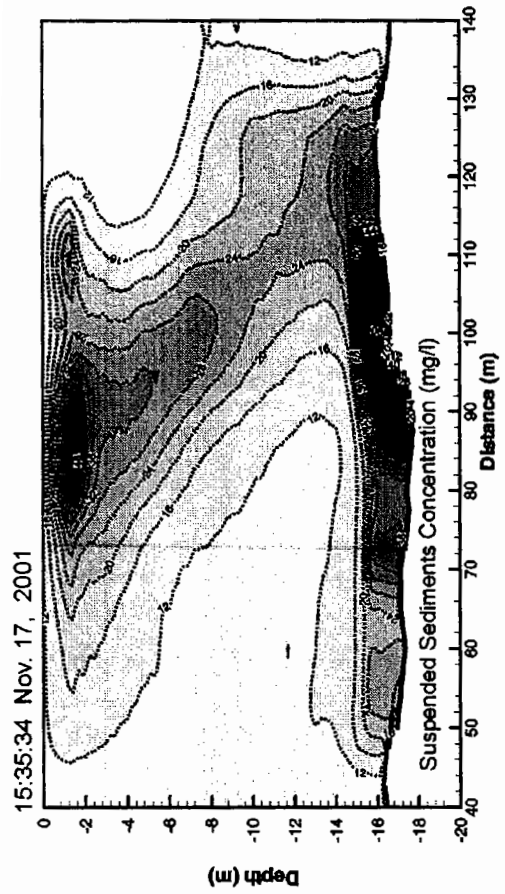


그림 A1.23 (계속).

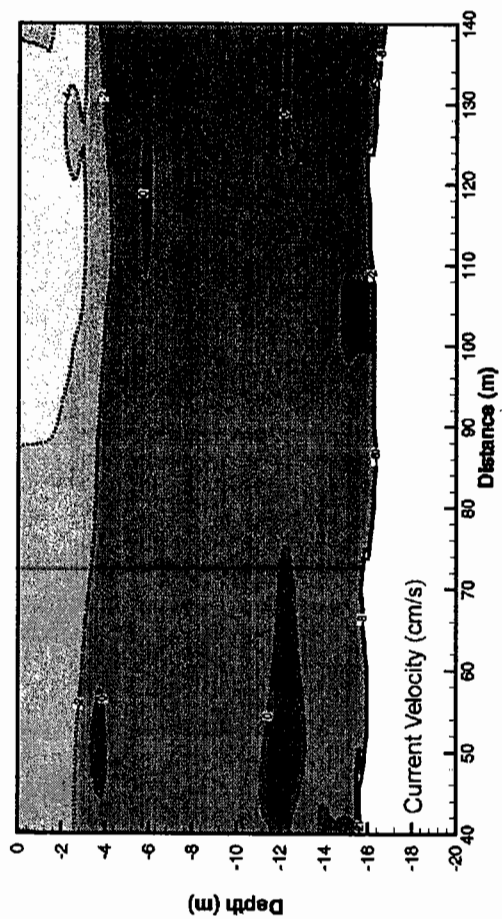
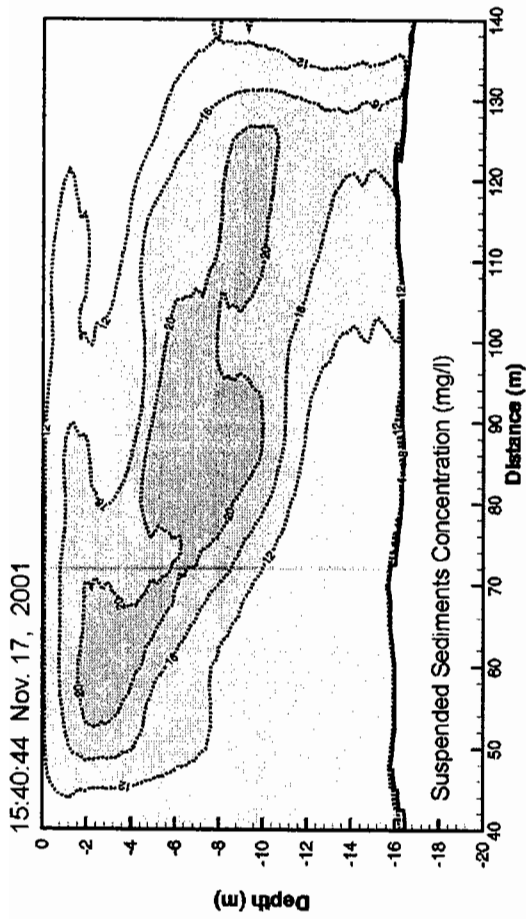


그림 A1.23 (계속).

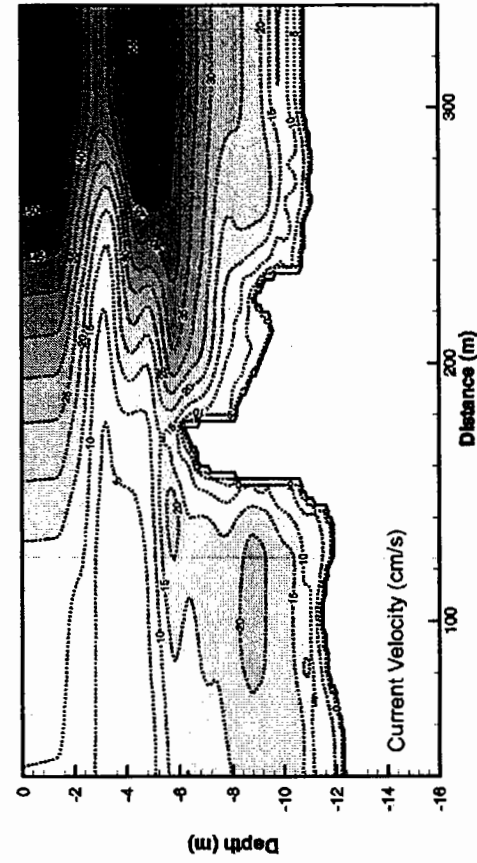
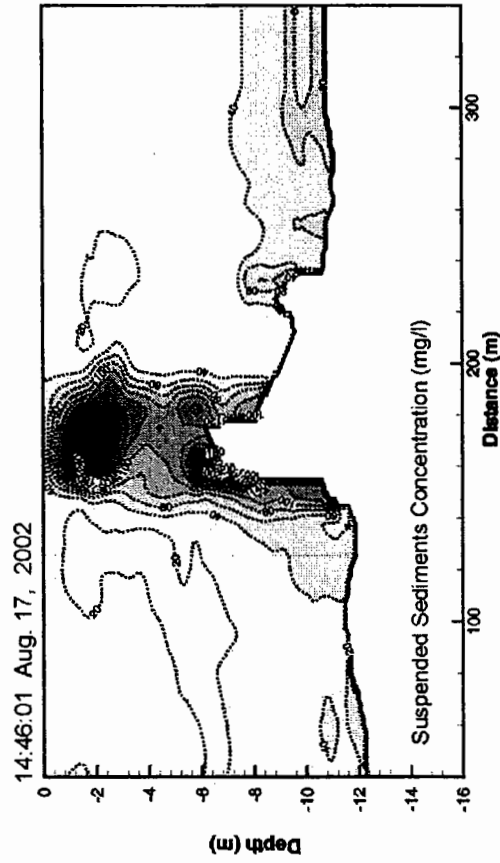
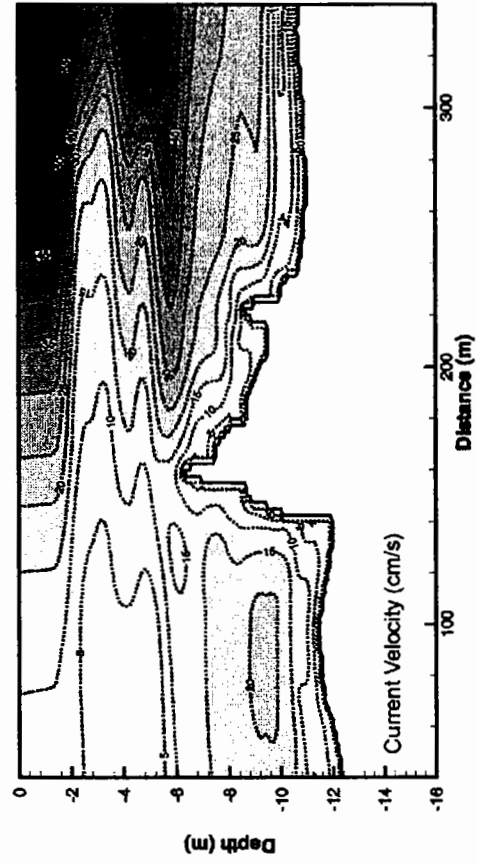
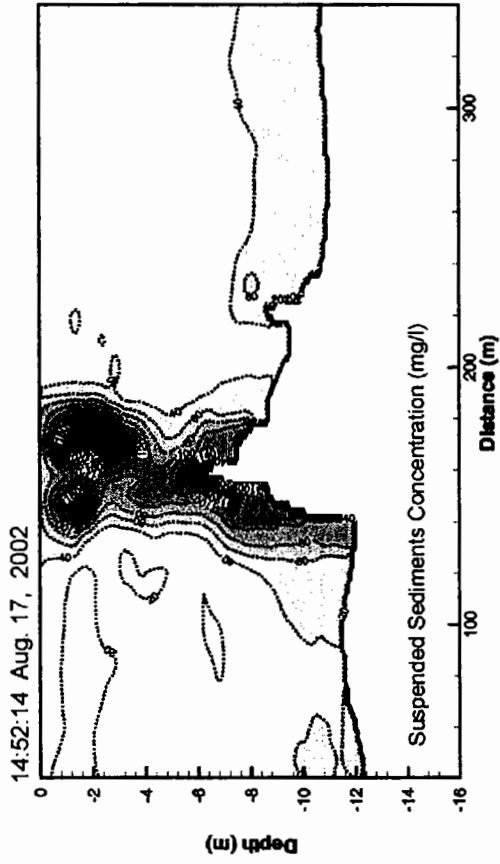


그림 A1.24 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (KG2, Grab 13m<sup>3</sup>).

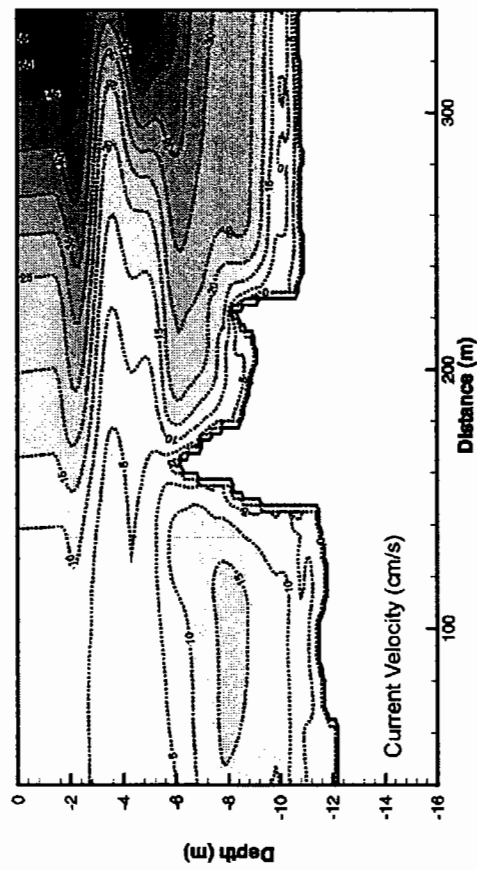
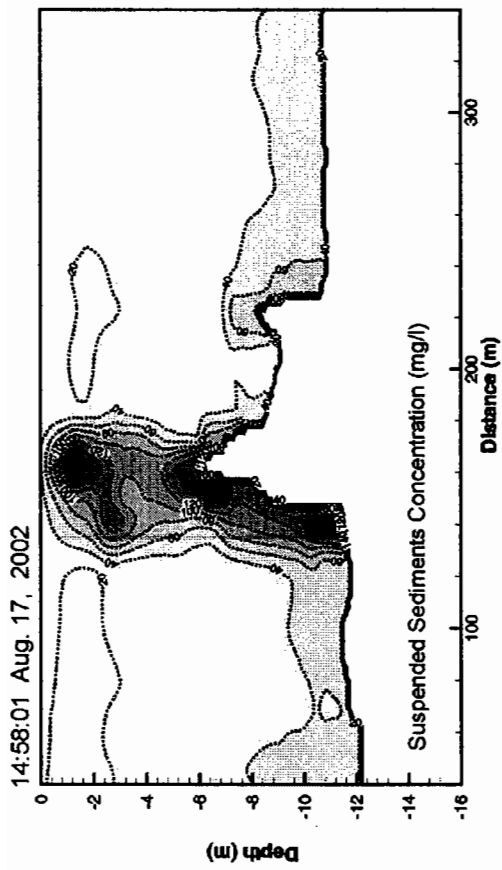
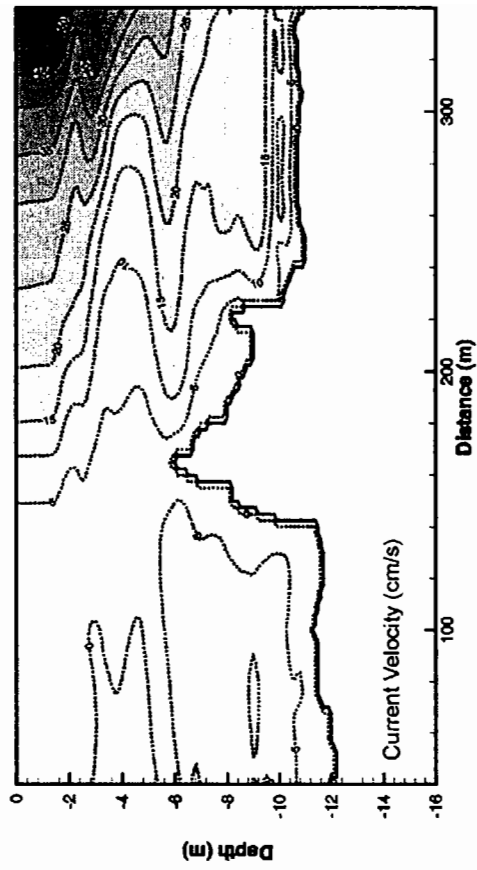
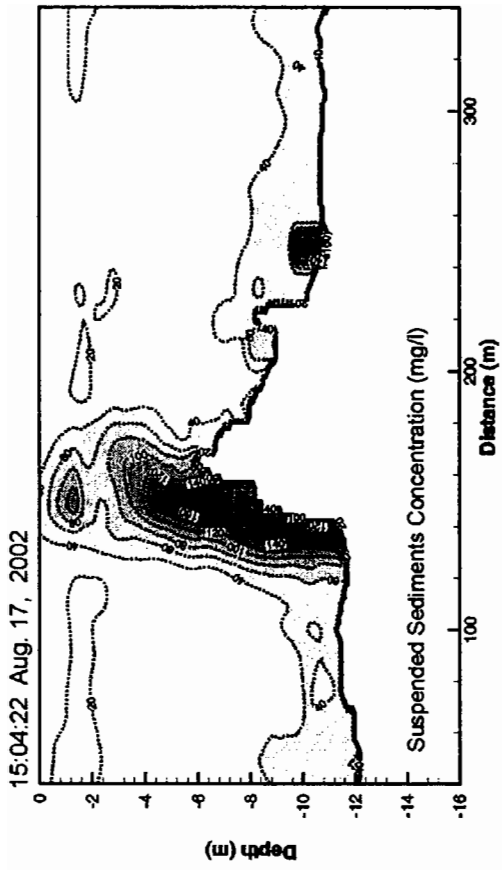


그림 A1.24 (계속).

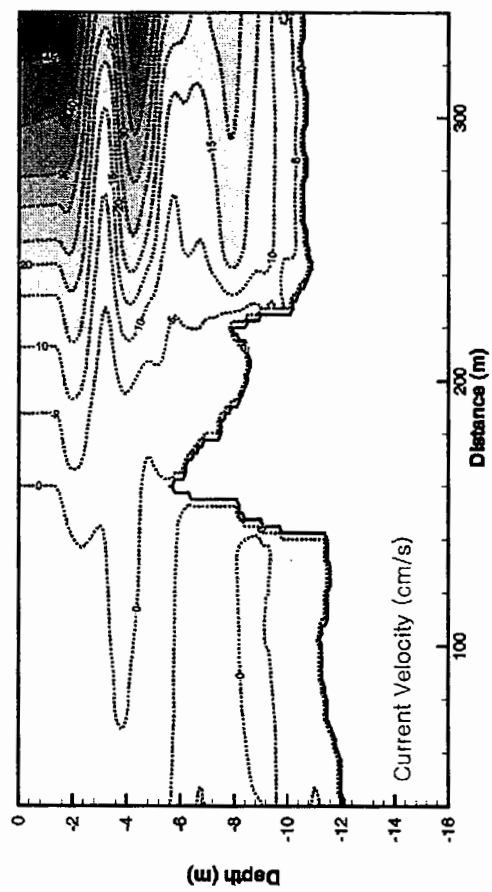
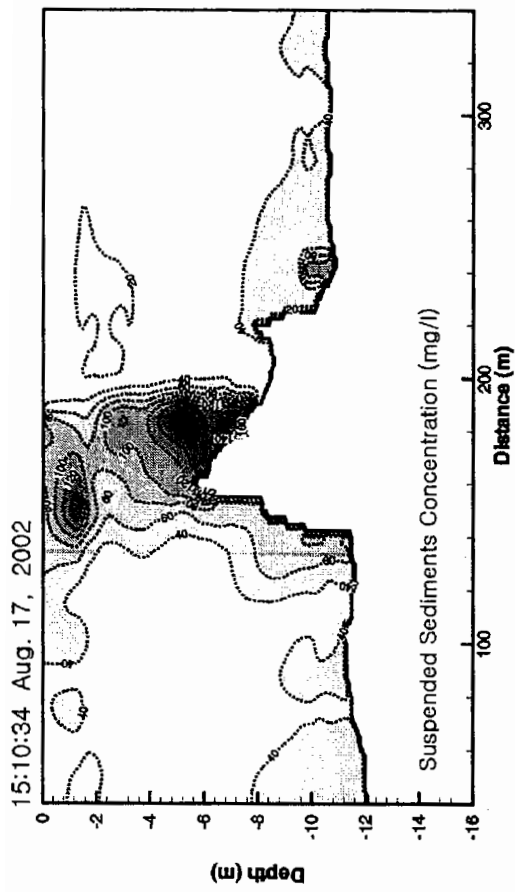


그림 A1.24 (계속).

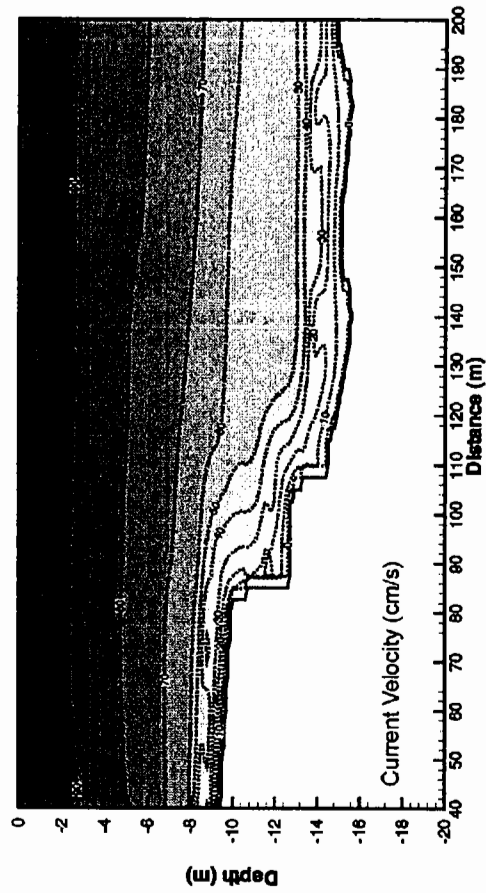
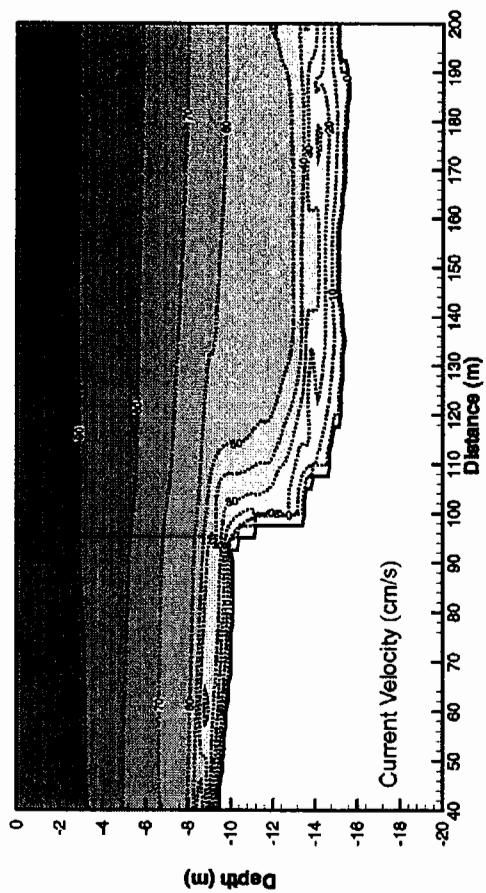
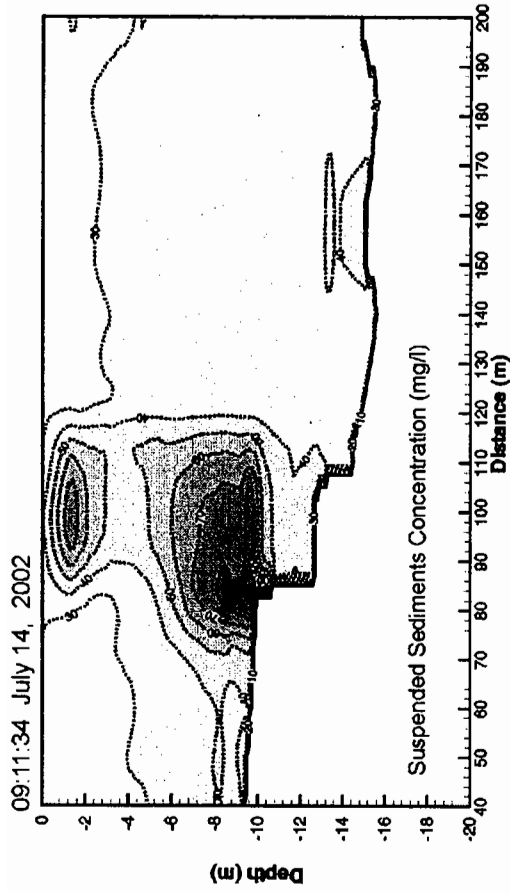
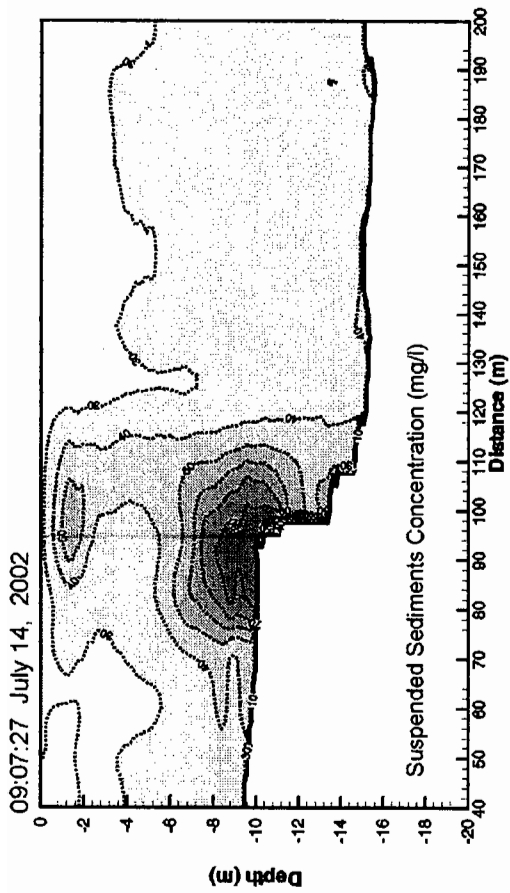


그림 A1.25 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (MG1, Grab 13m<sup>3</sup>).

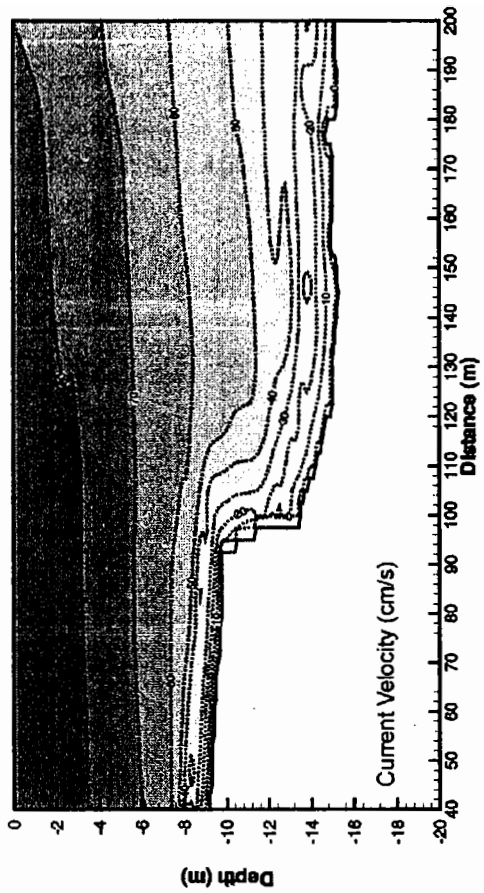
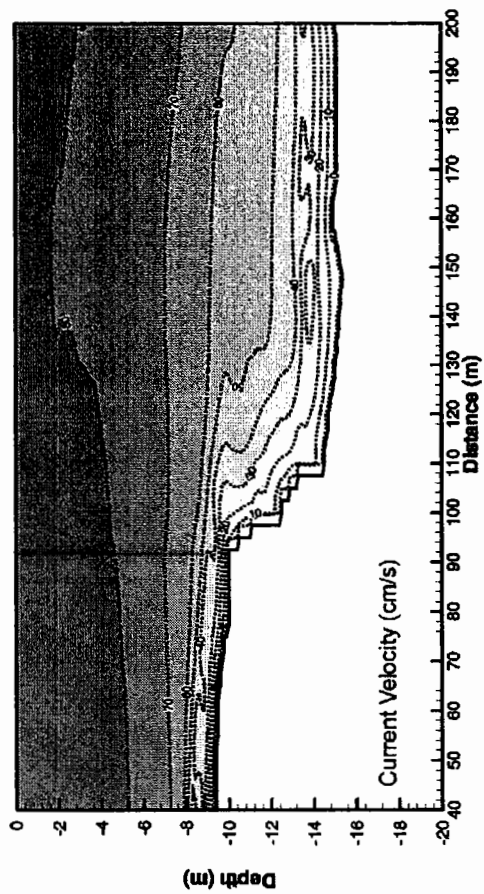
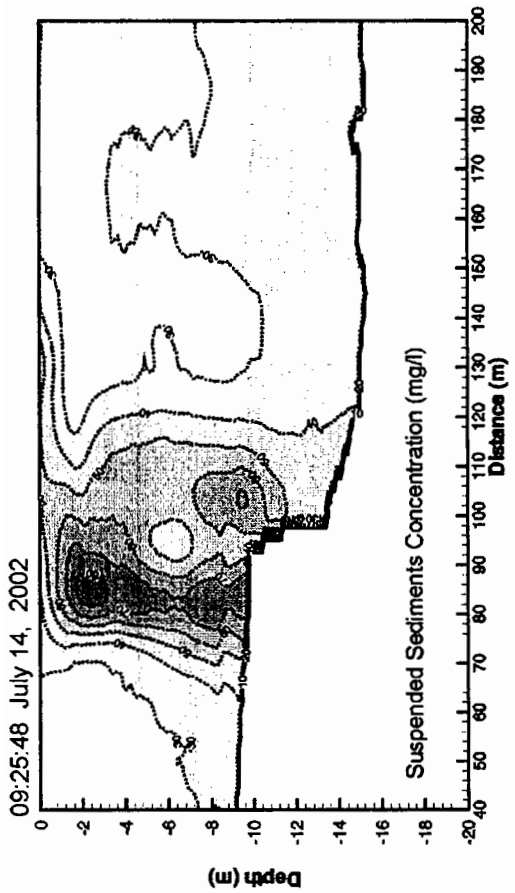
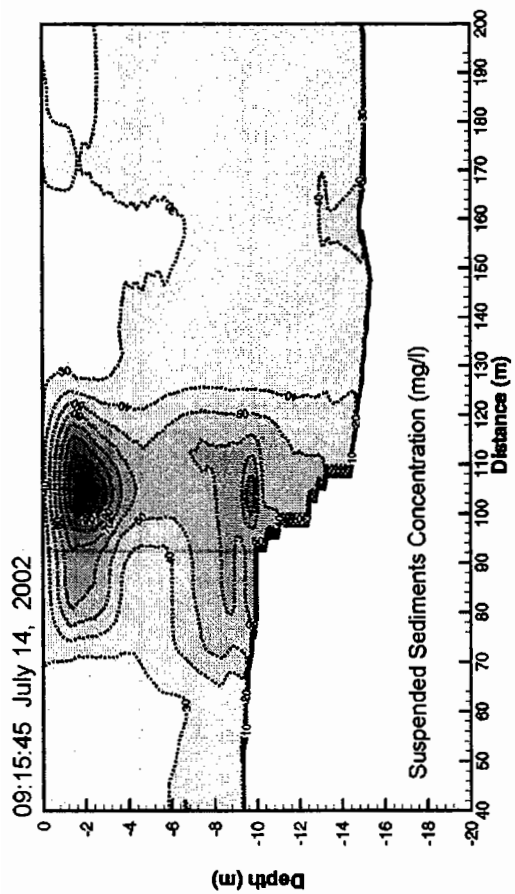


그림 A1.25 (계속).



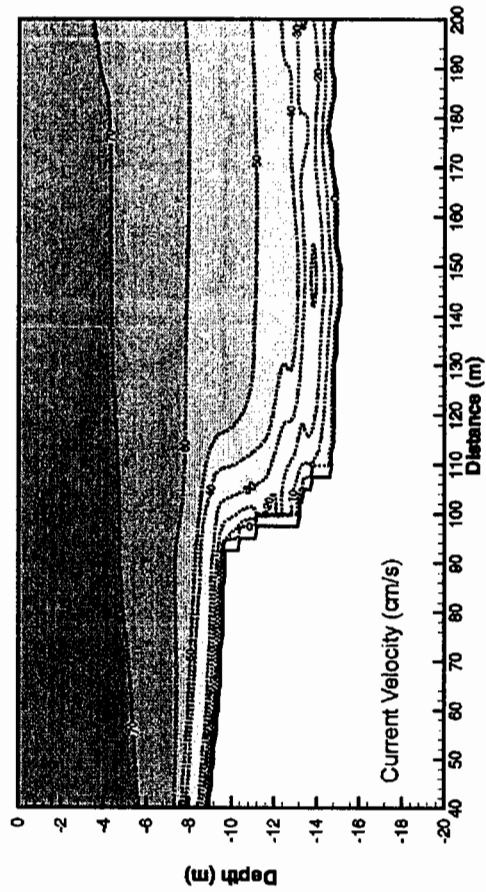
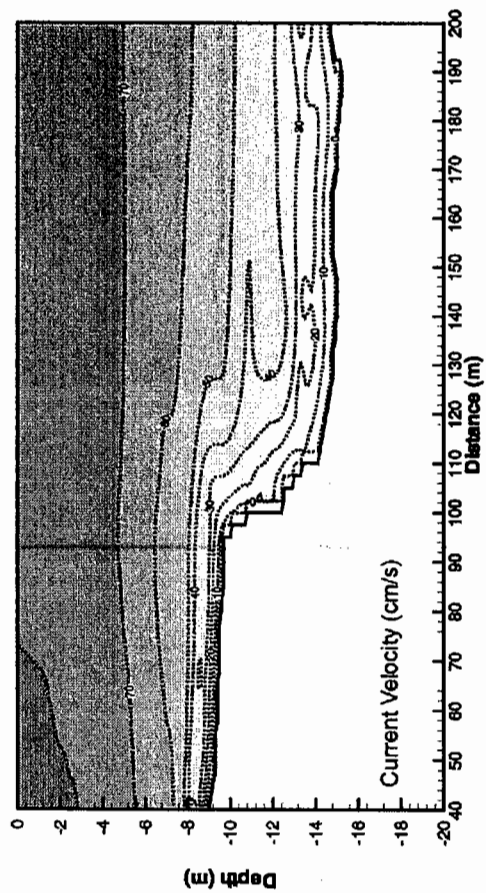
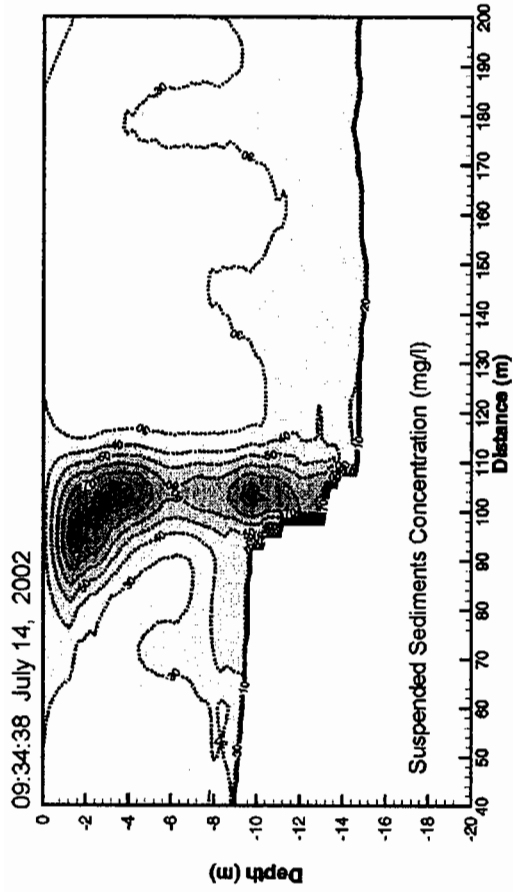
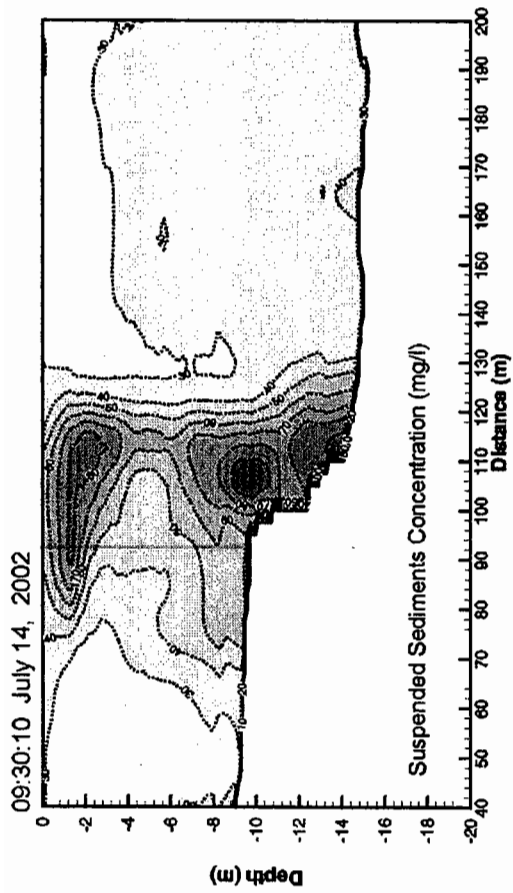


그림 A1.25 (계속).

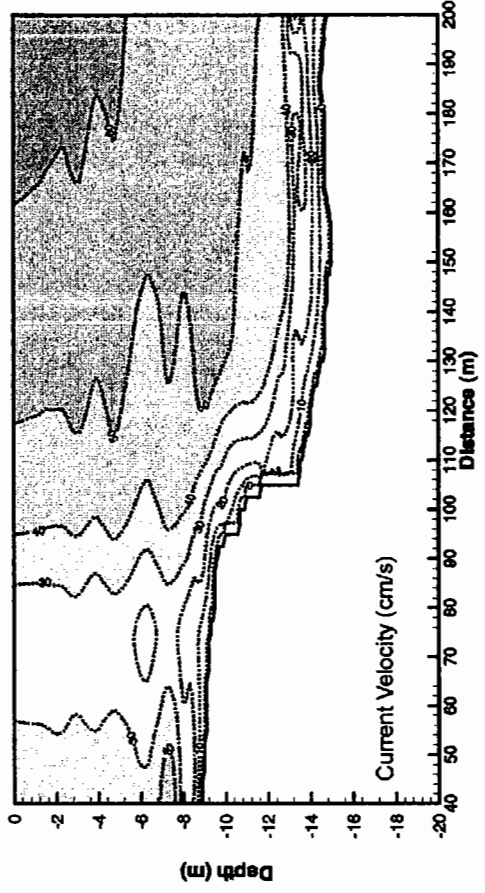
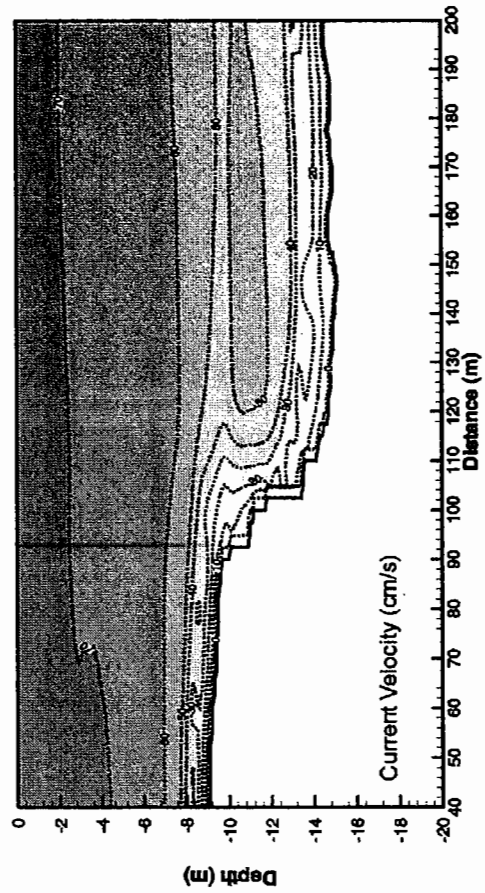
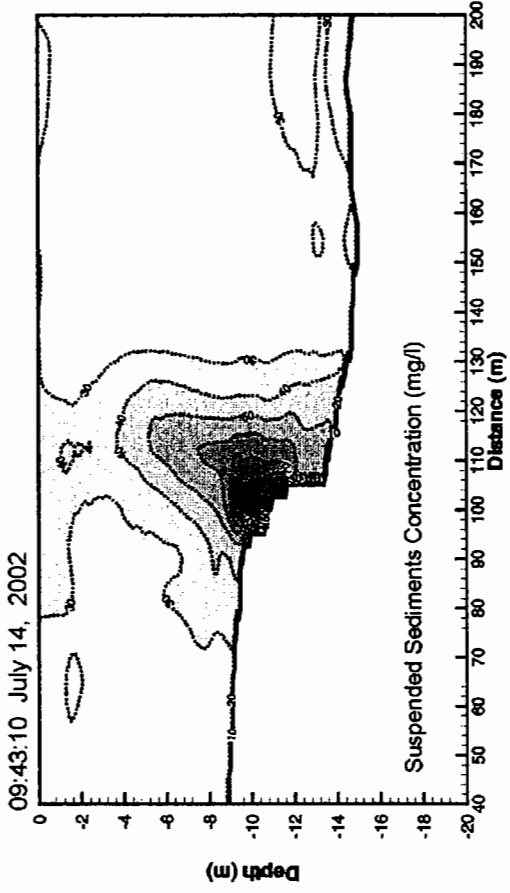
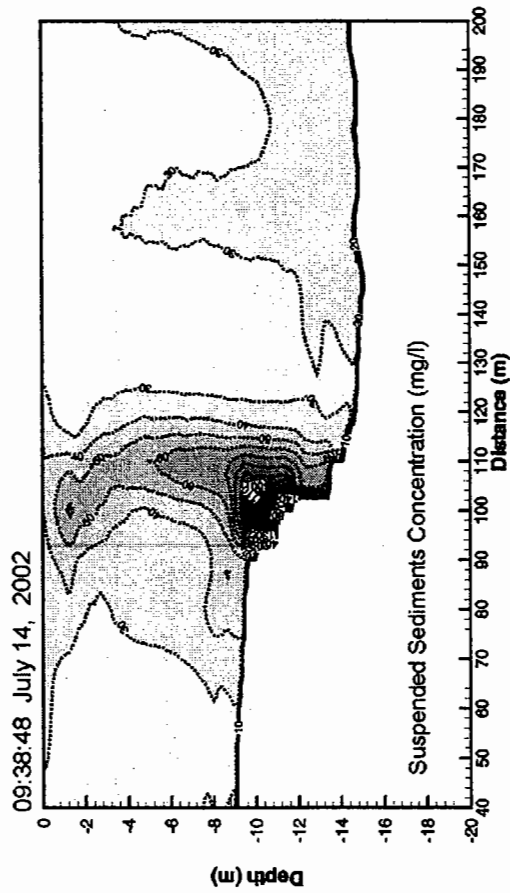


그림 A1.25 (계속).

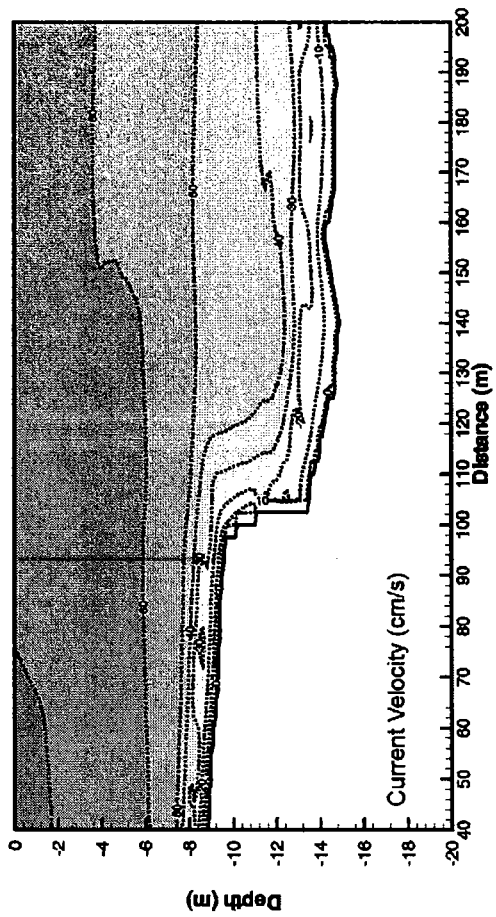
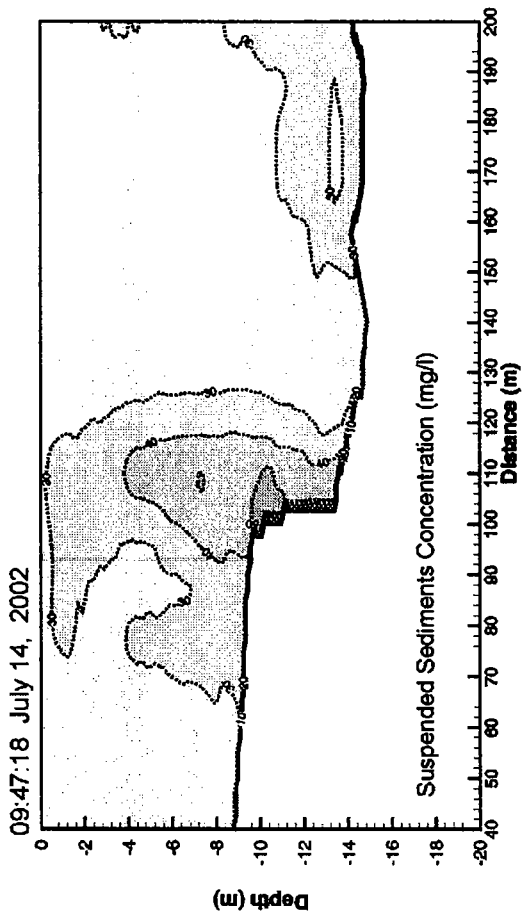


그림 A1.25 (계속).

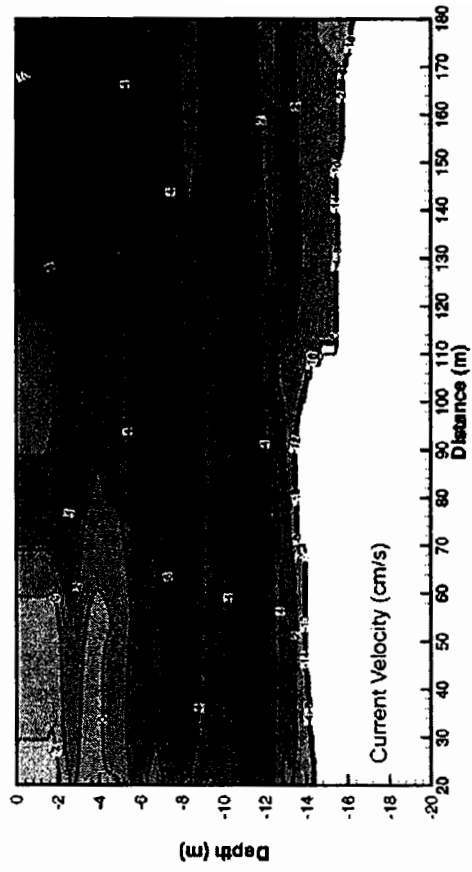
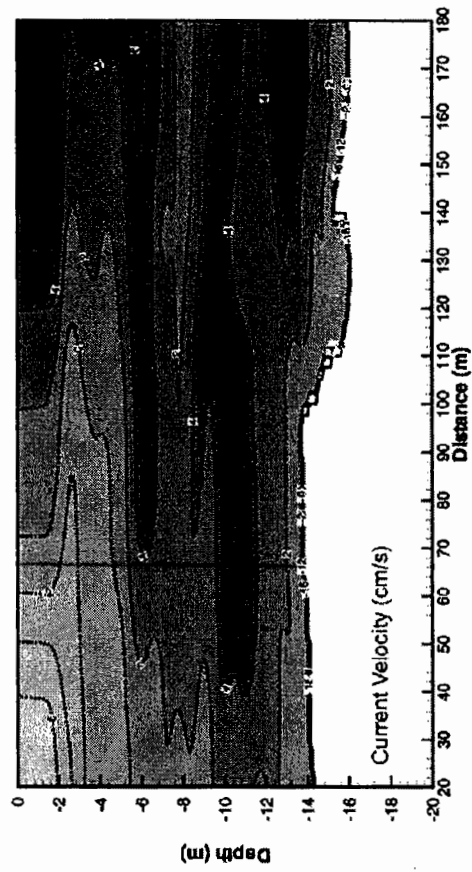
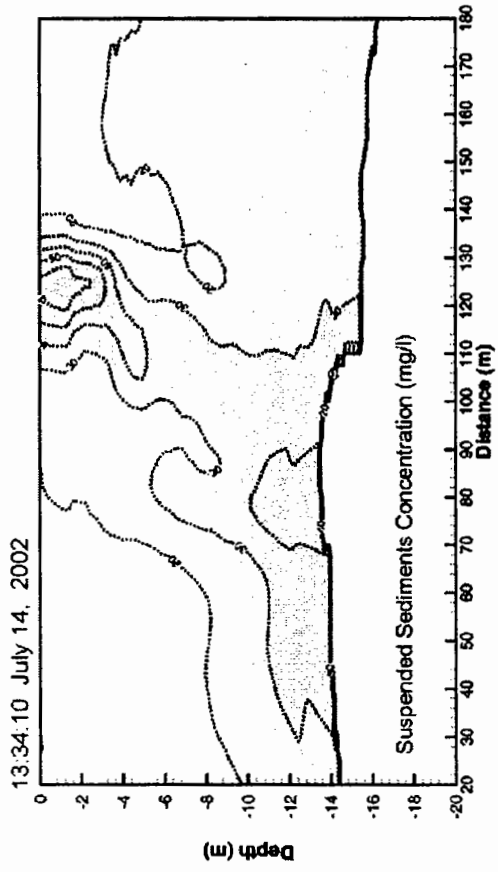
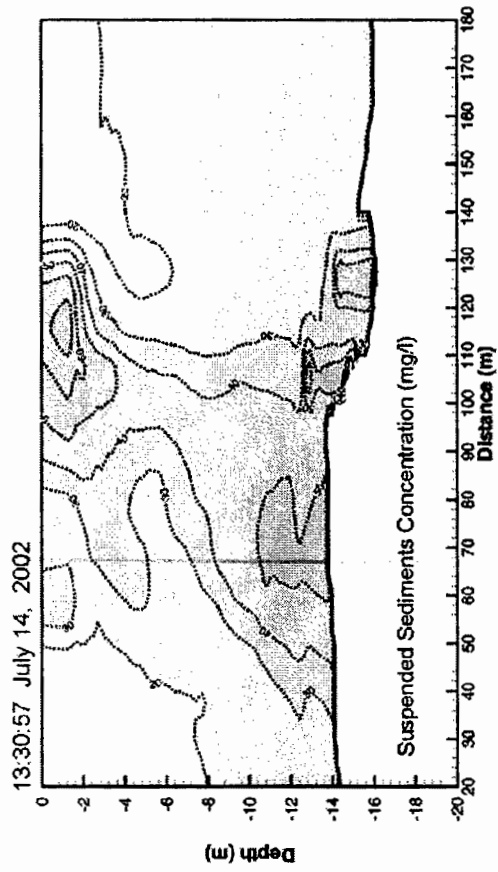


그림 A1.26 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (MG2, Grab 13m<sup>3</sup>).

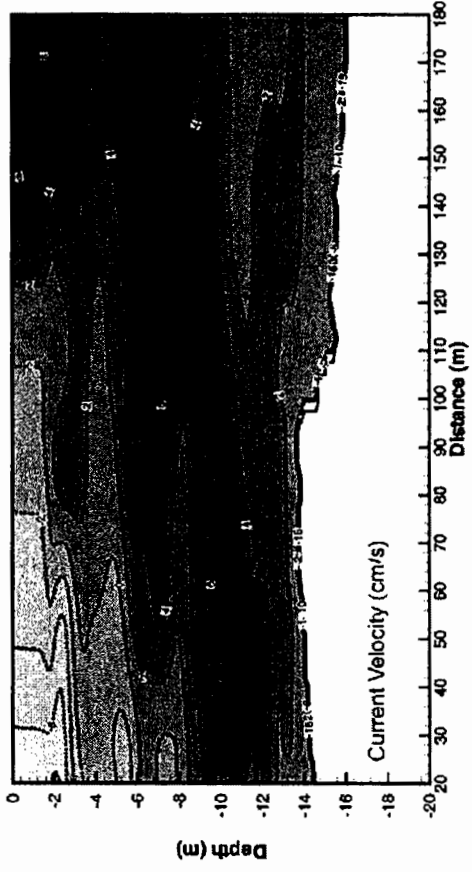
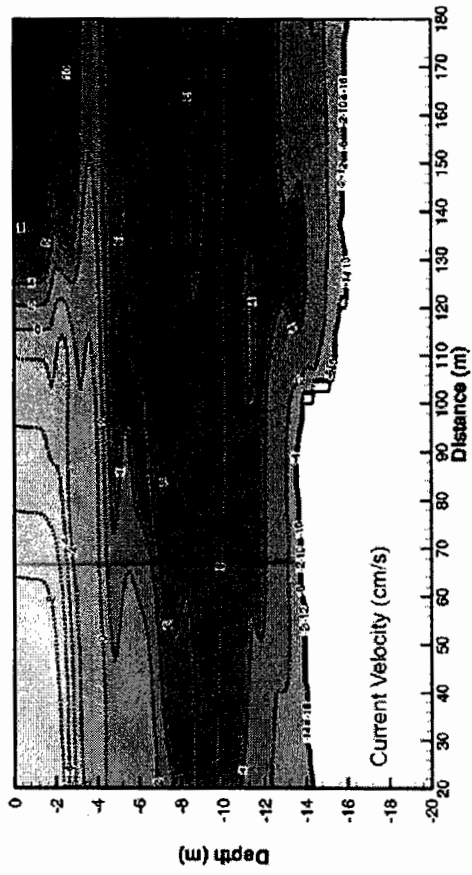
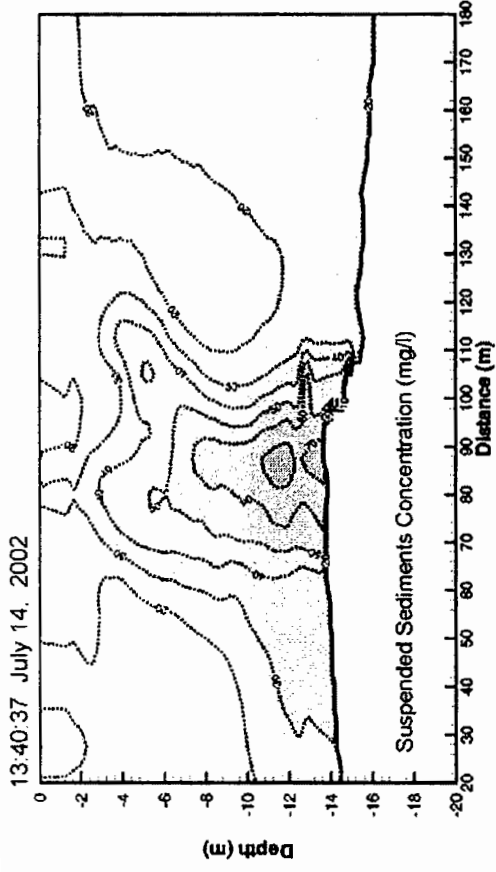
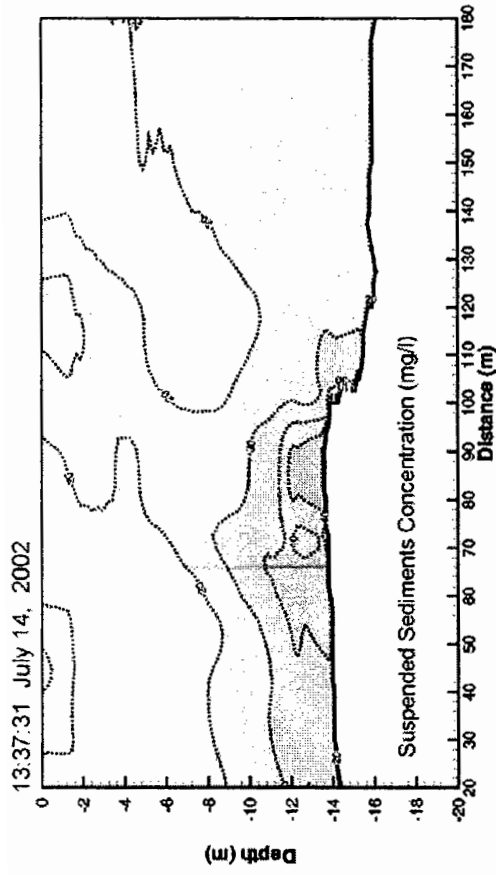


그림 A1.26 (계속).

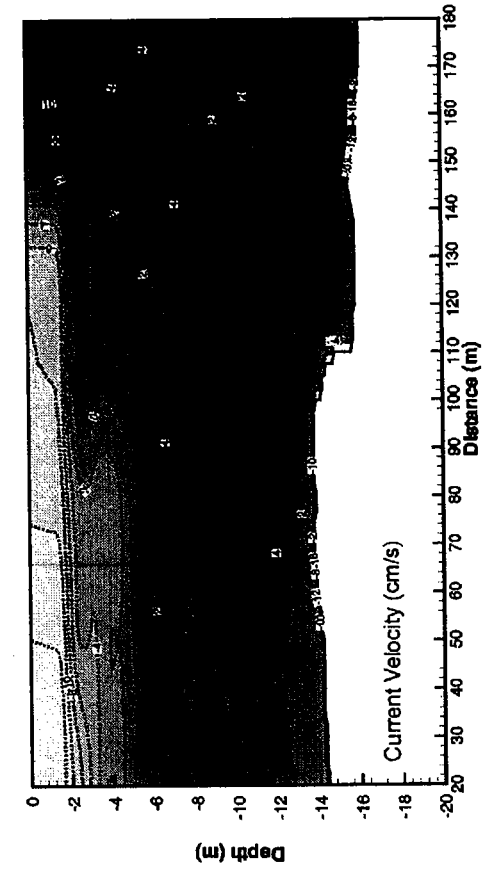
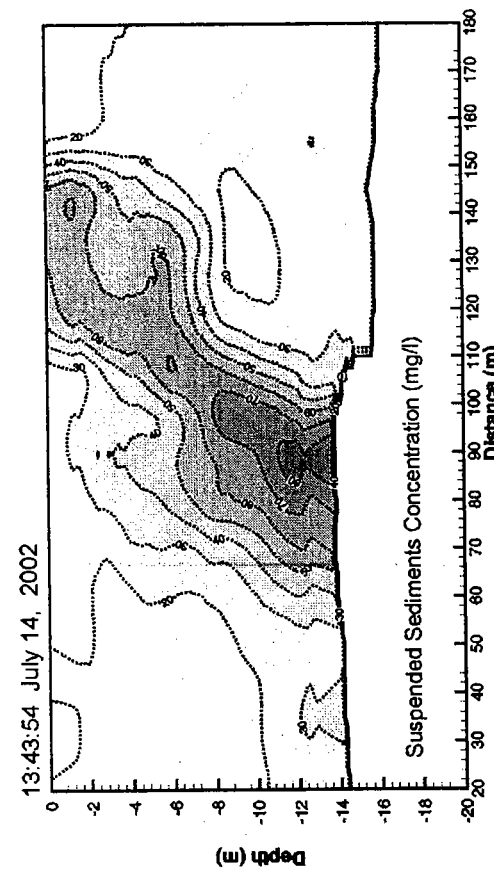
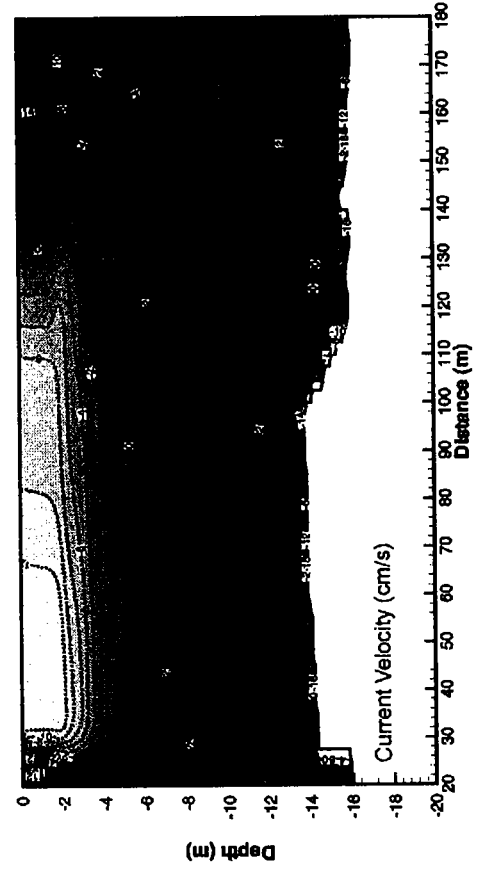
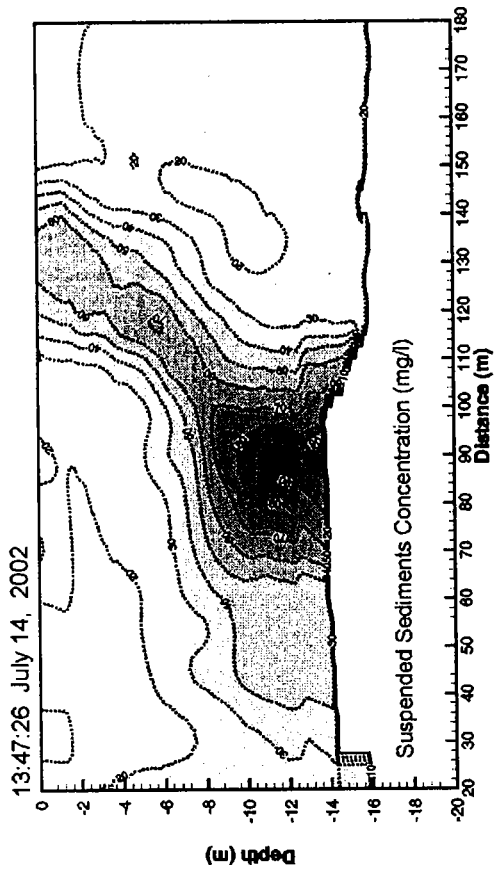


그림 A1.26 (계속).

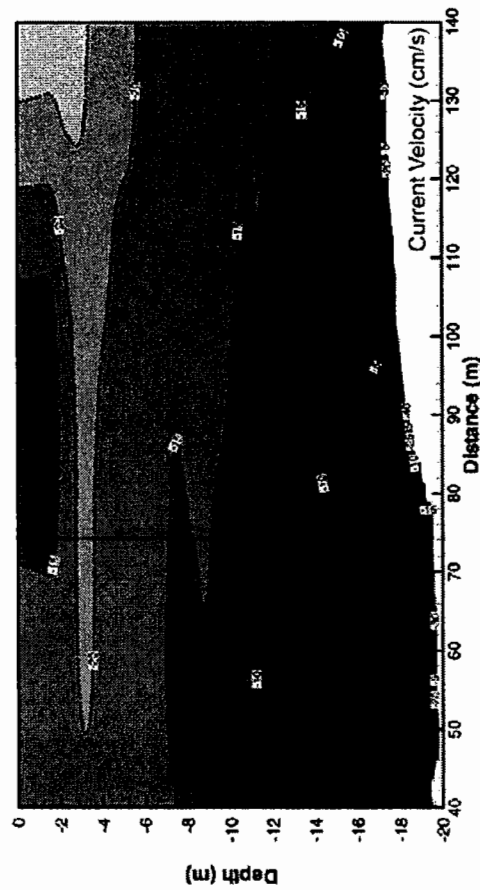
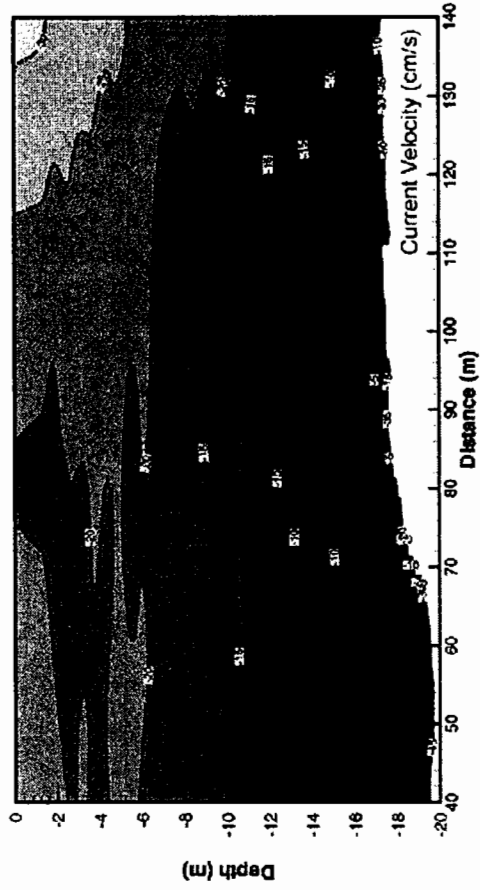
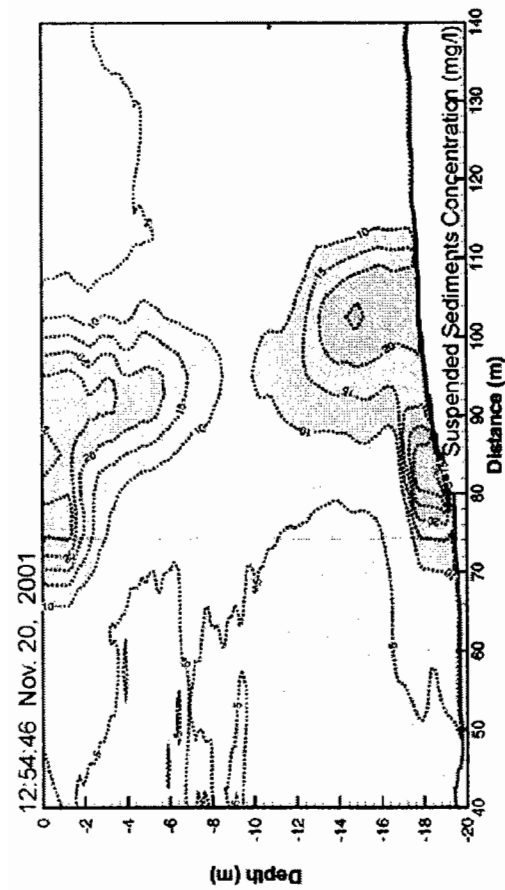
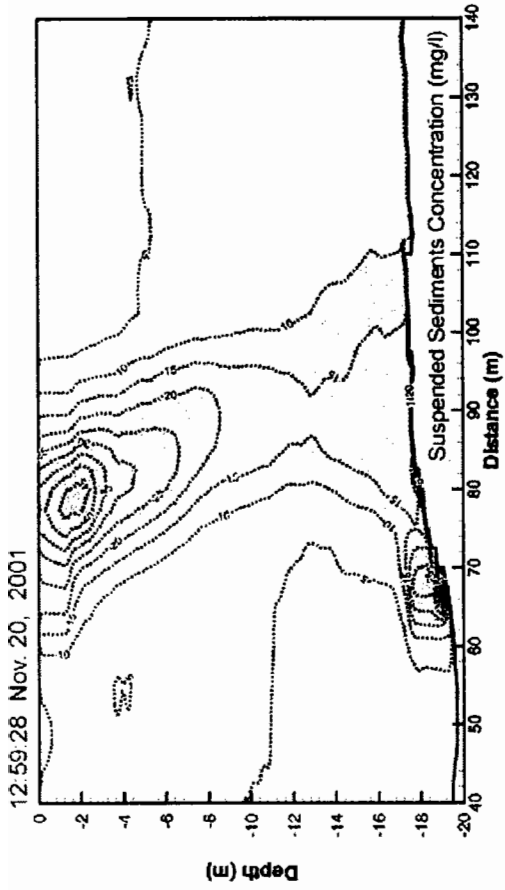


그림 A1.27 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GG2, Grab 8m<sup>3</sup>).

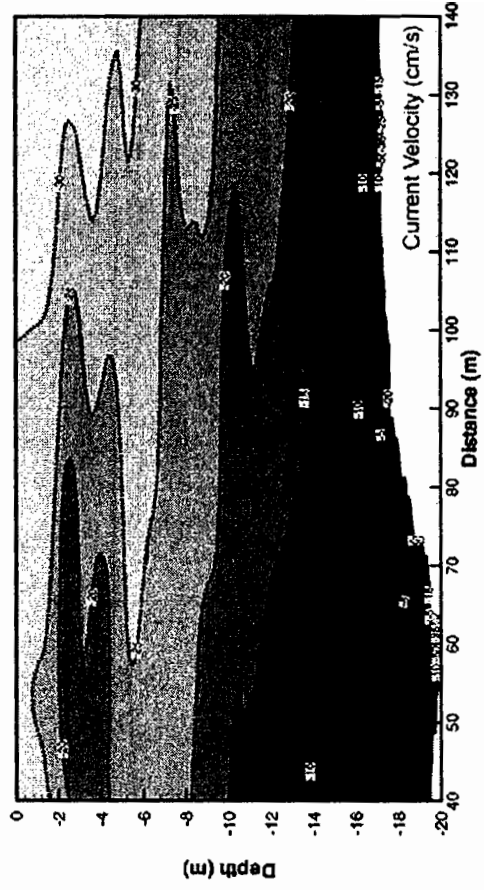
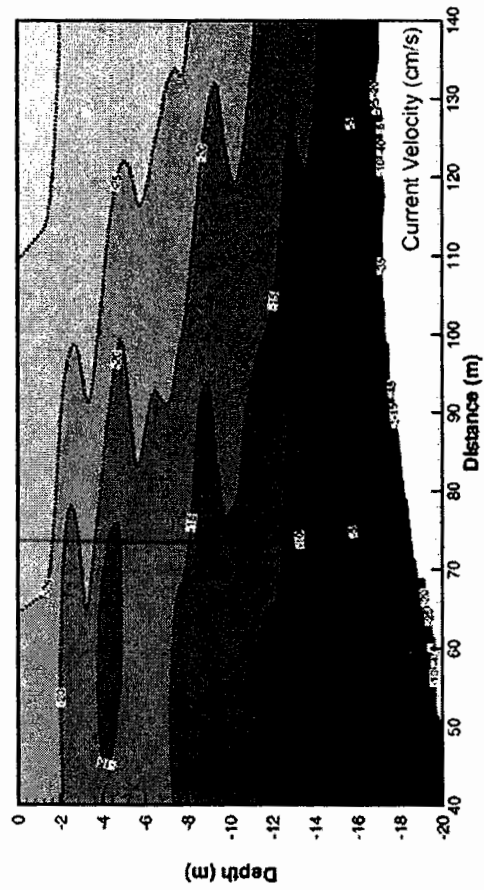
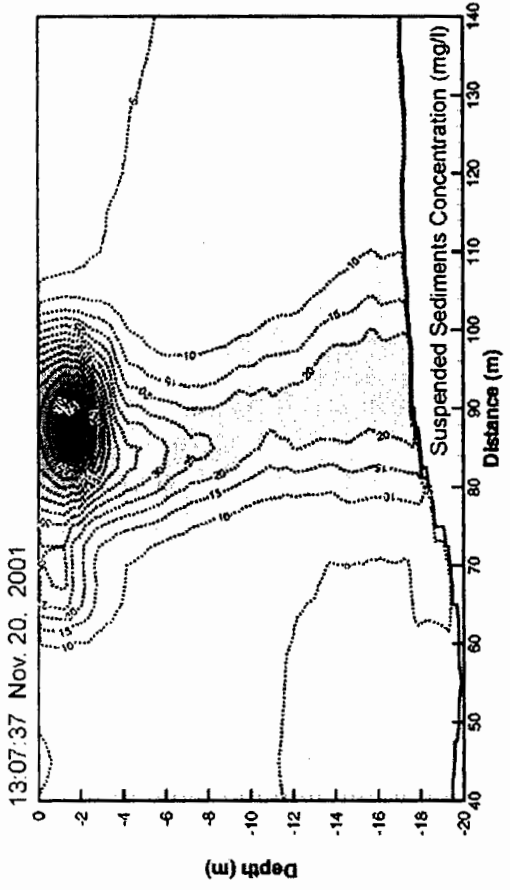
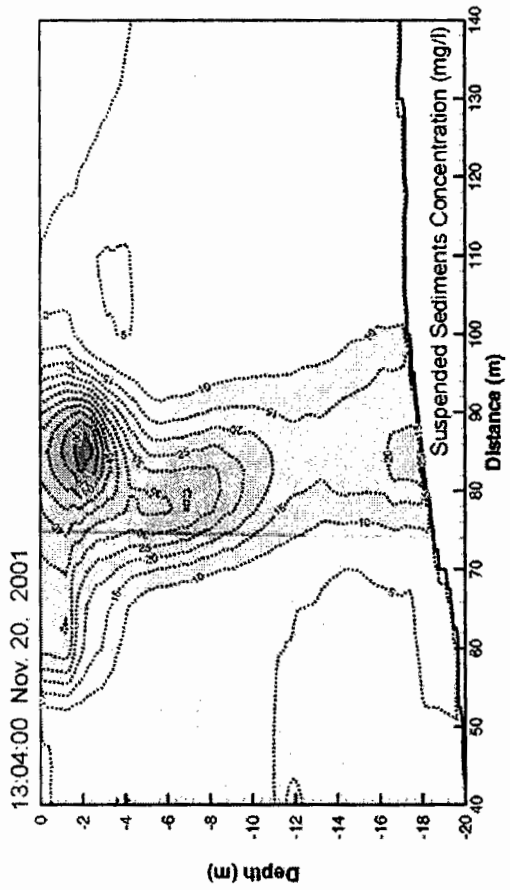


그림 A1.27 (계속).



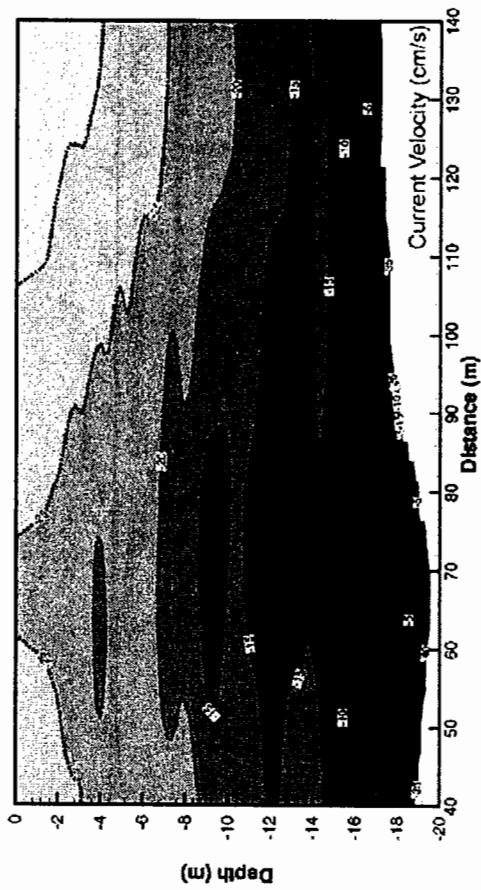
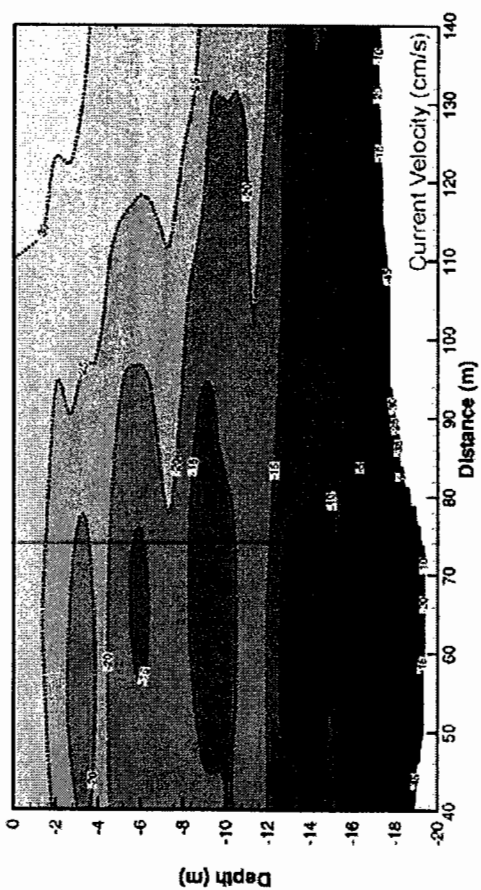
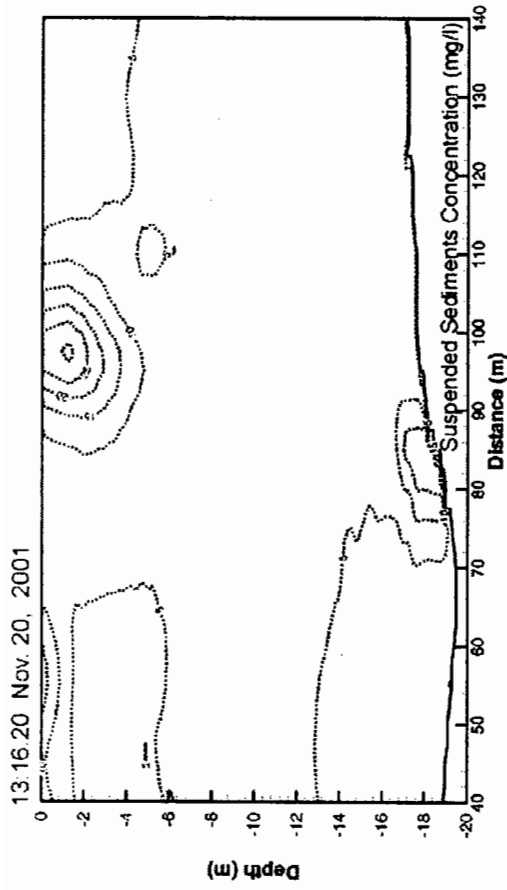
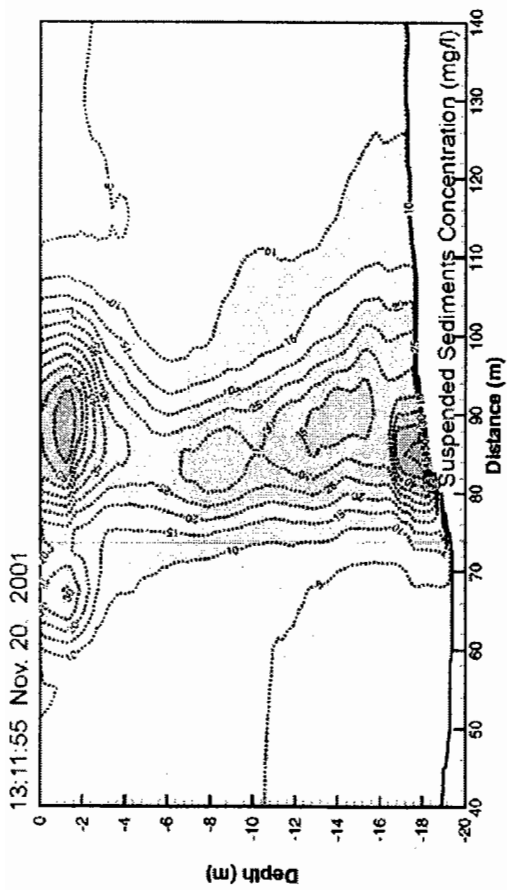


그림 A1.27 (계속).

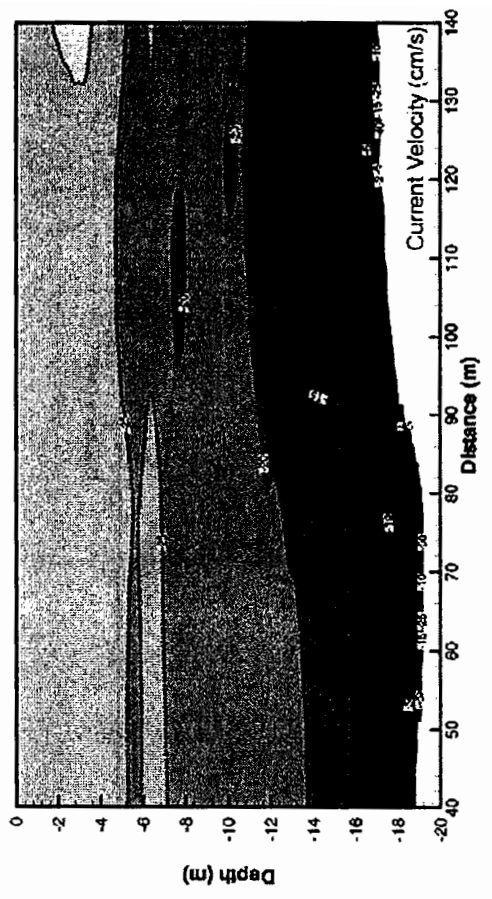
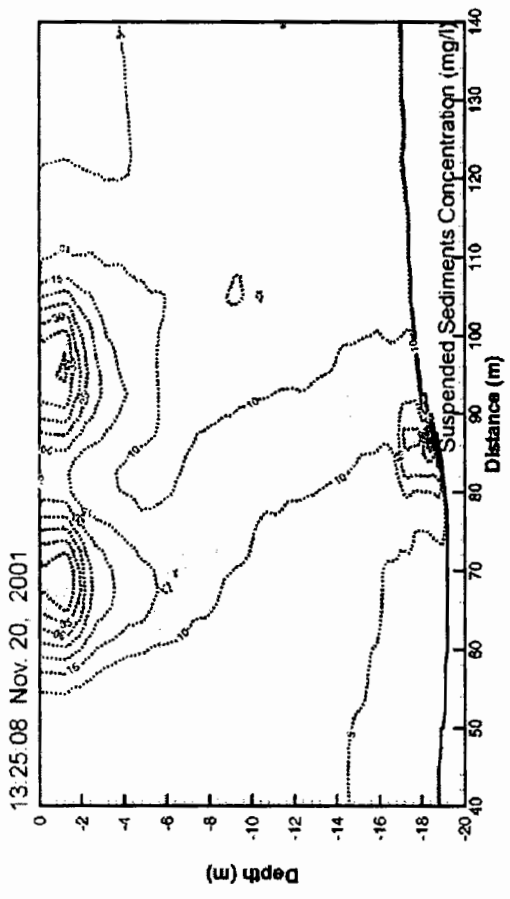
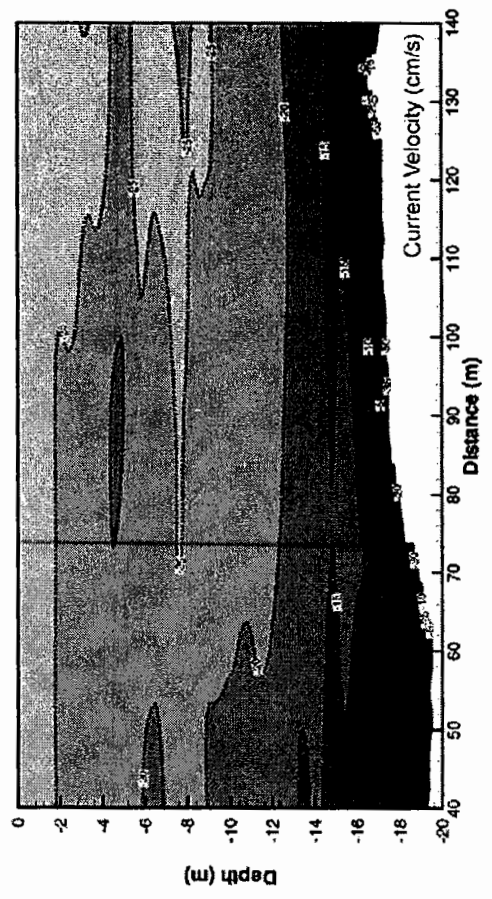
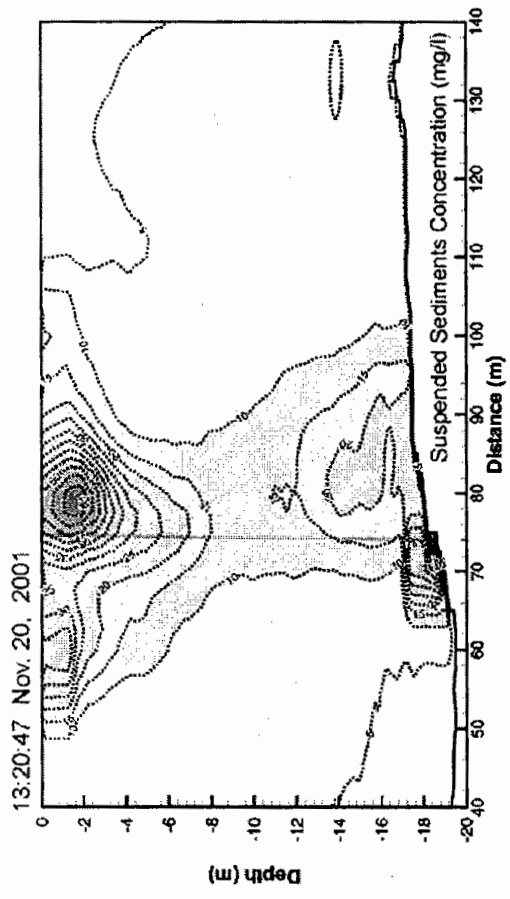


그림 A1.27 (계속).

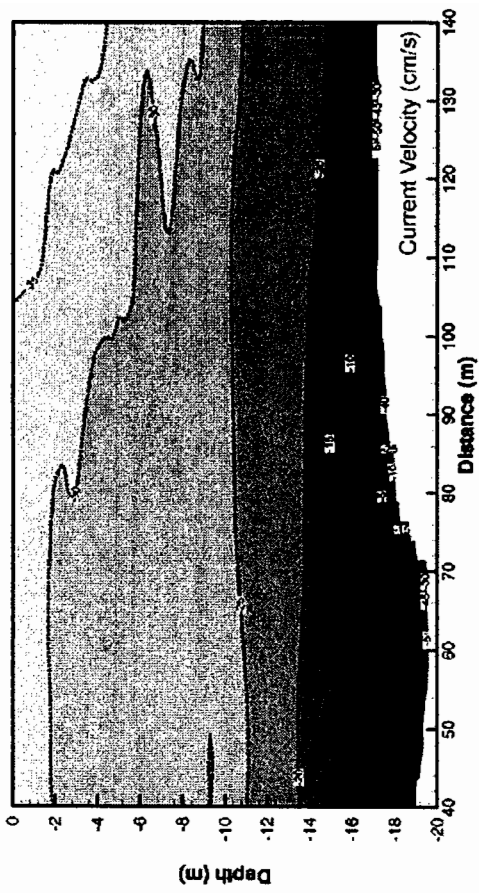
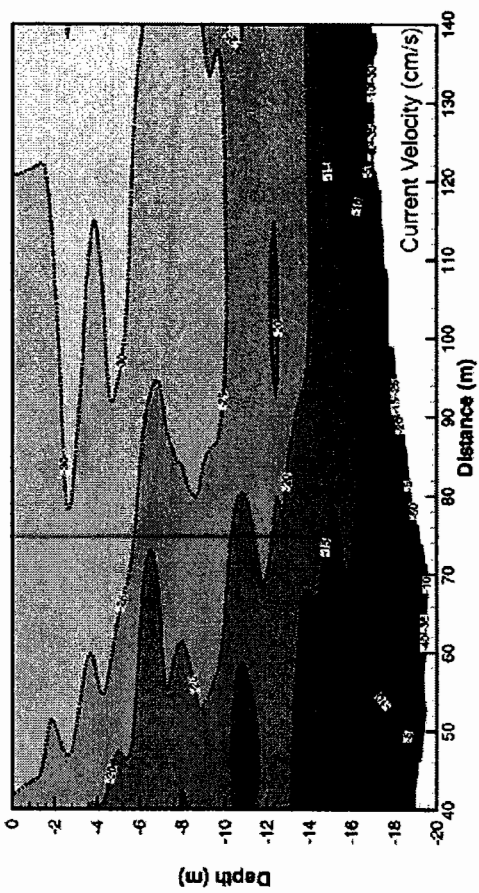
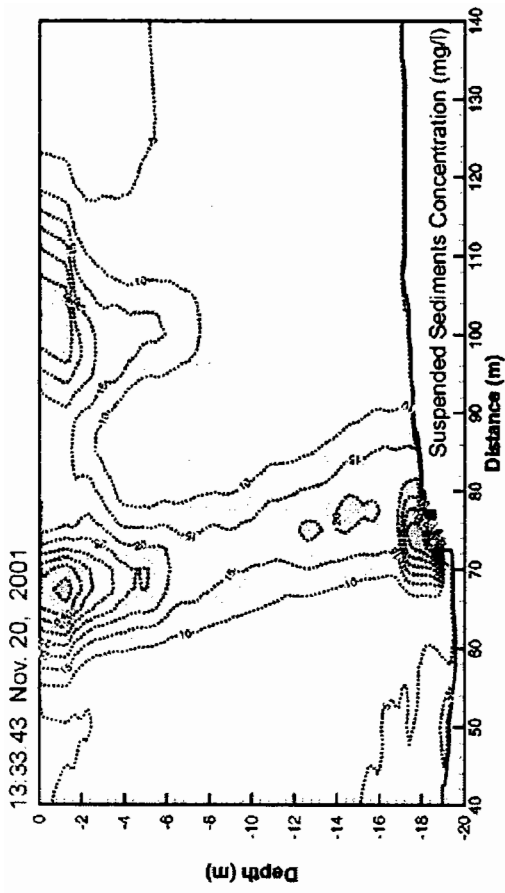
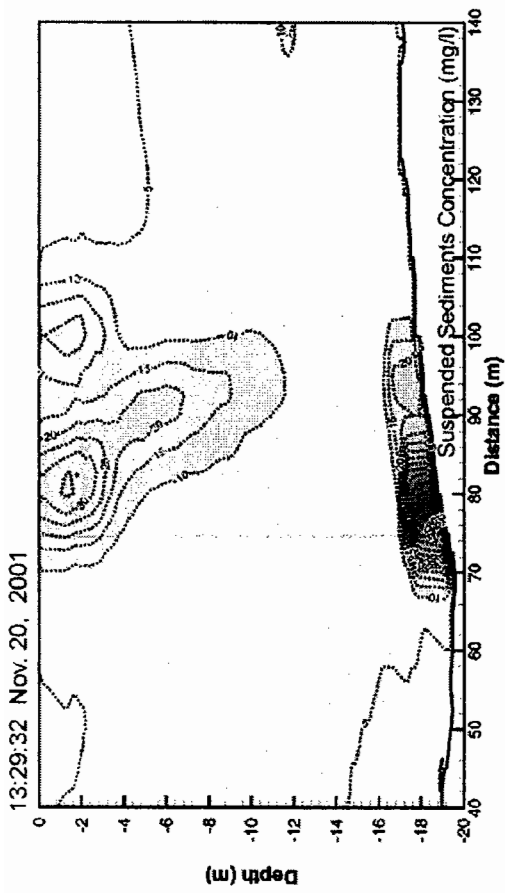


그림 A1.27 (계속).

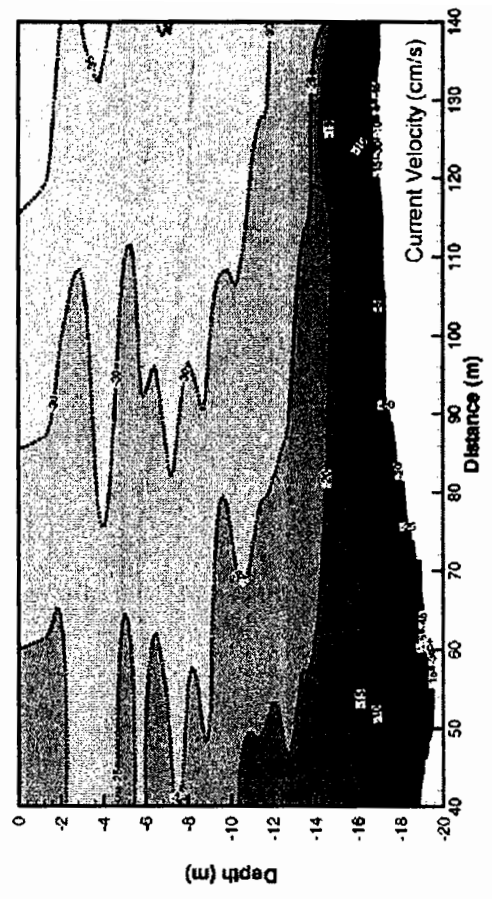
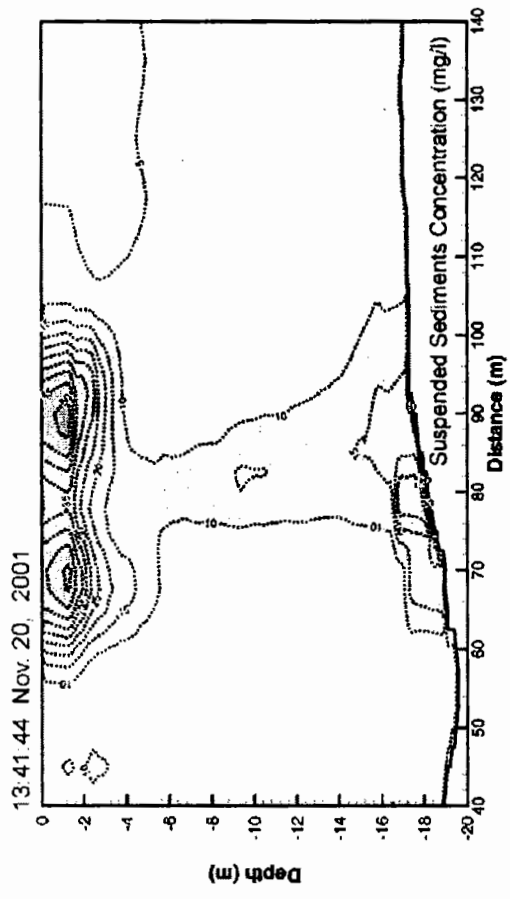
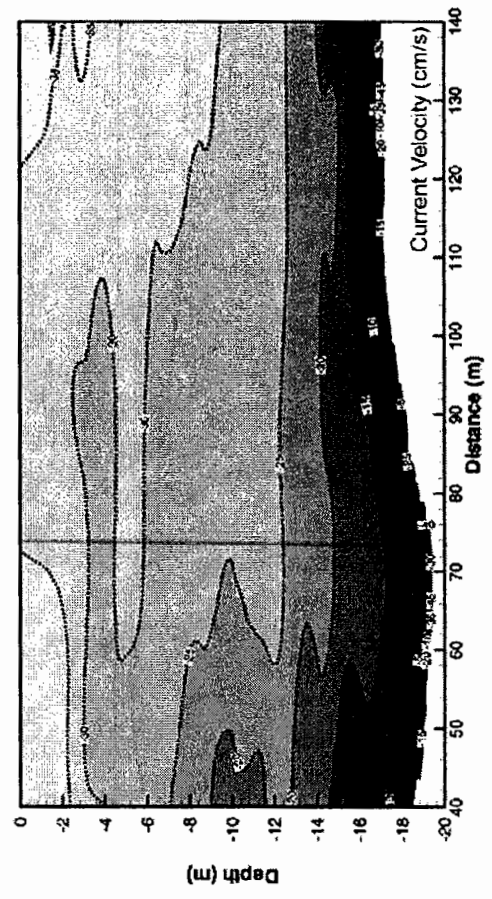
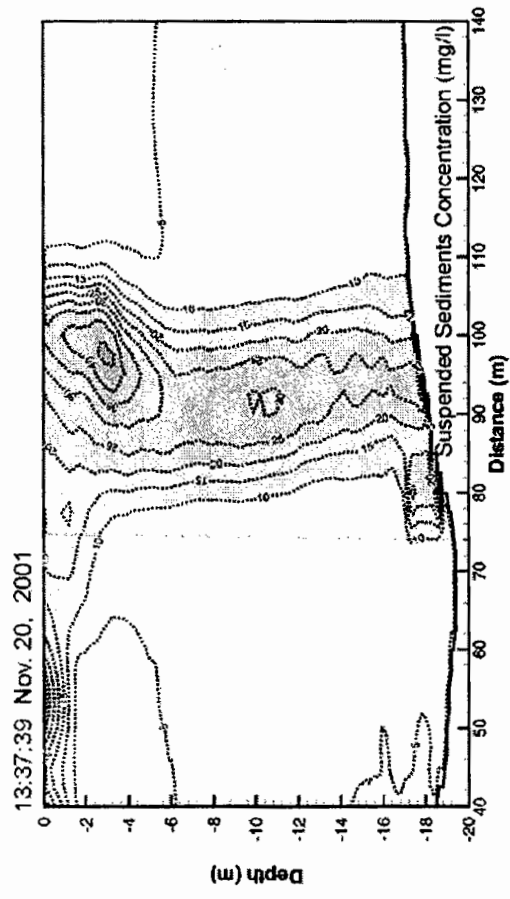


그림 A1.27 (계속).

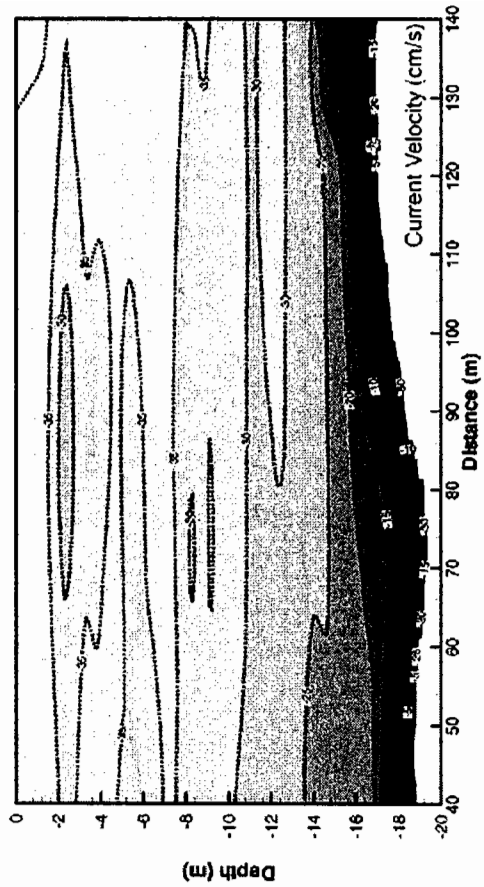
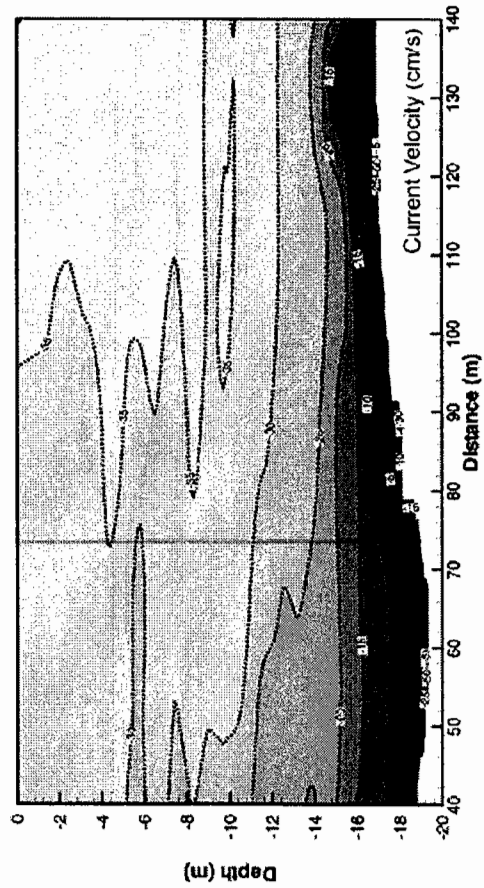
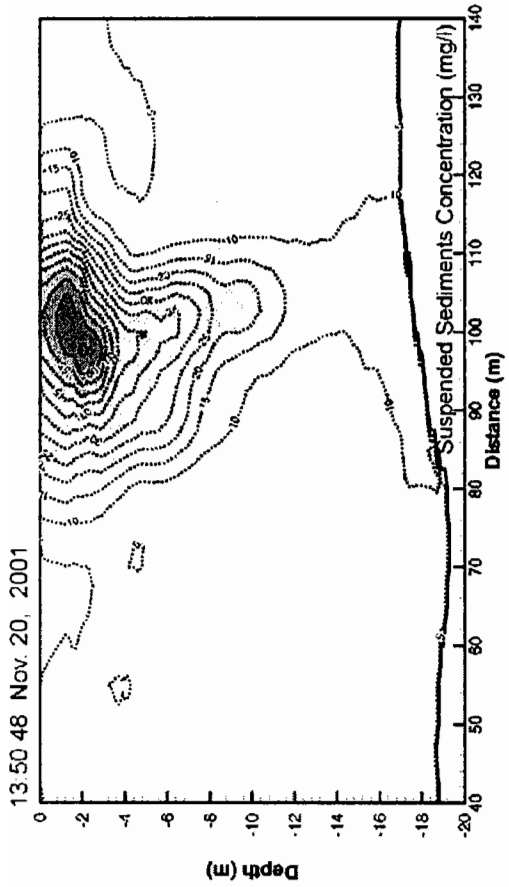
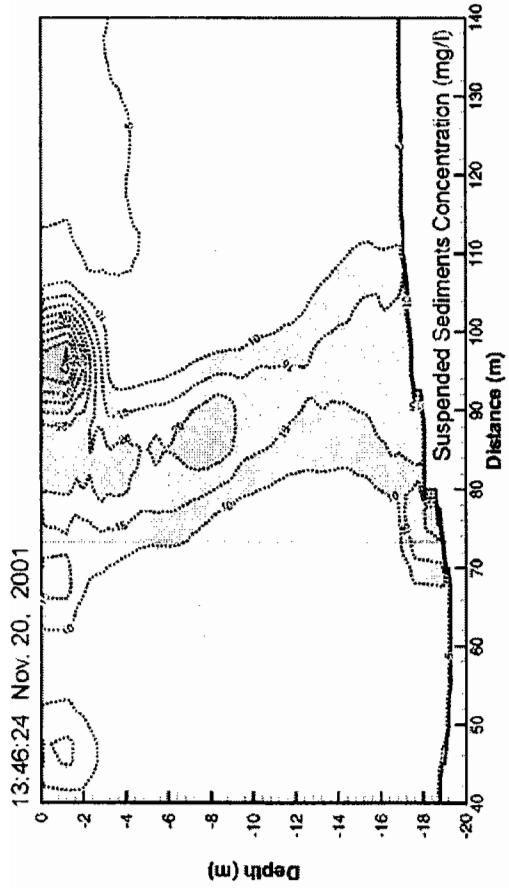


그림 A1.27 (계속).

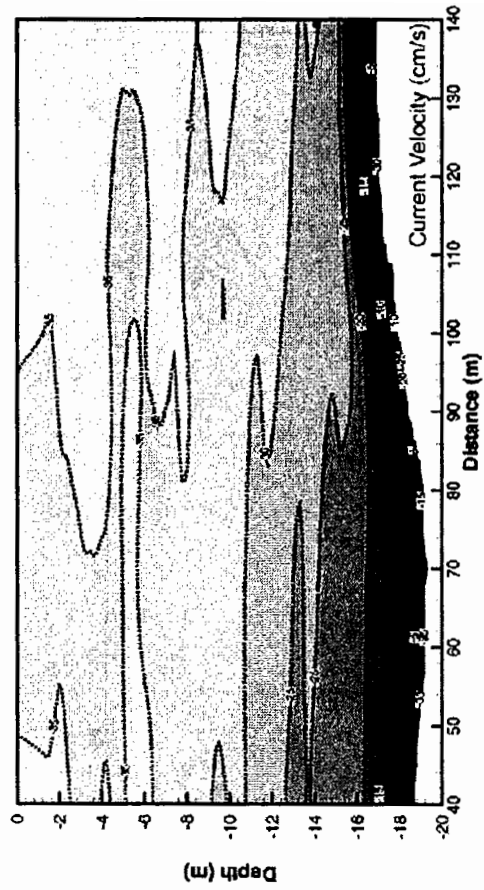
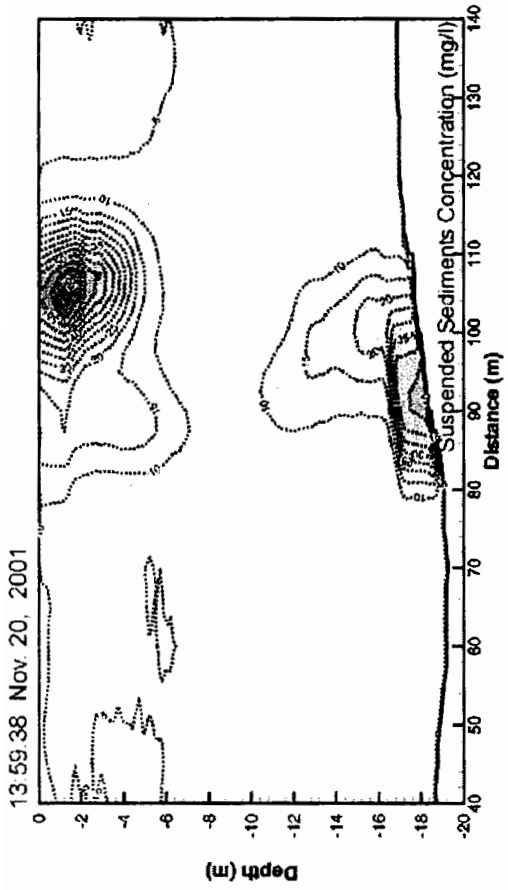
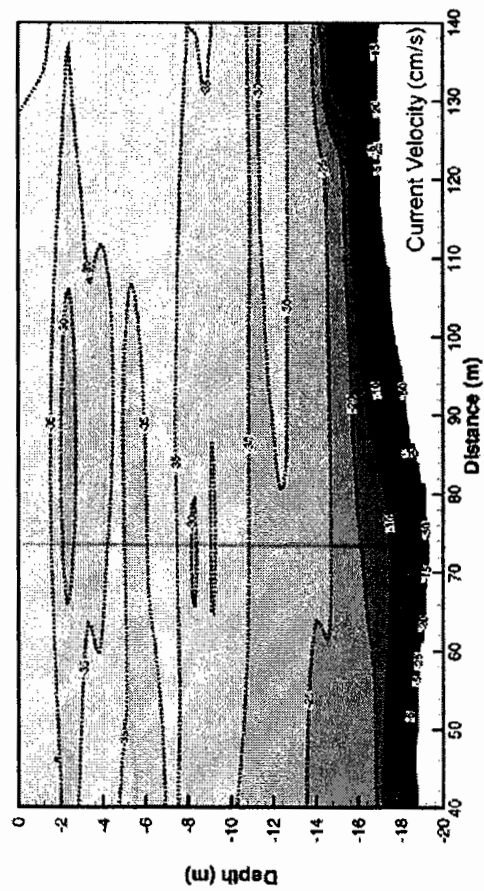
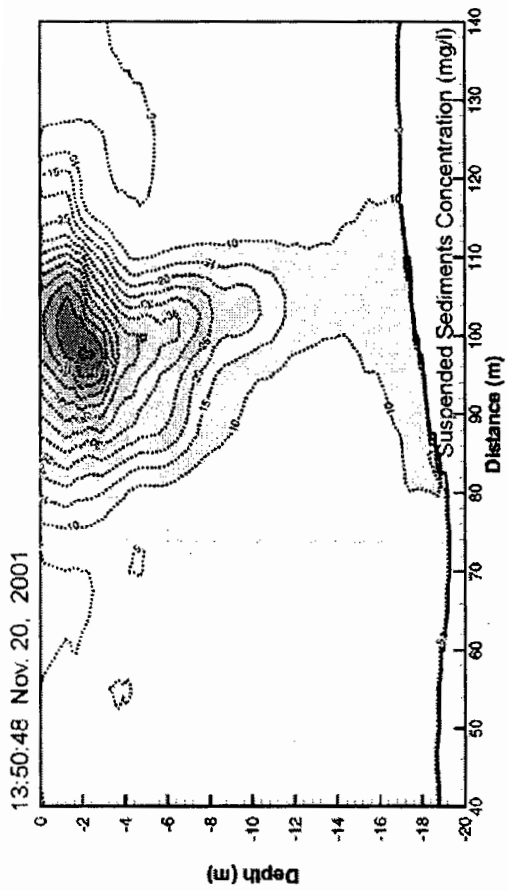


그림 A1.27 (계속).

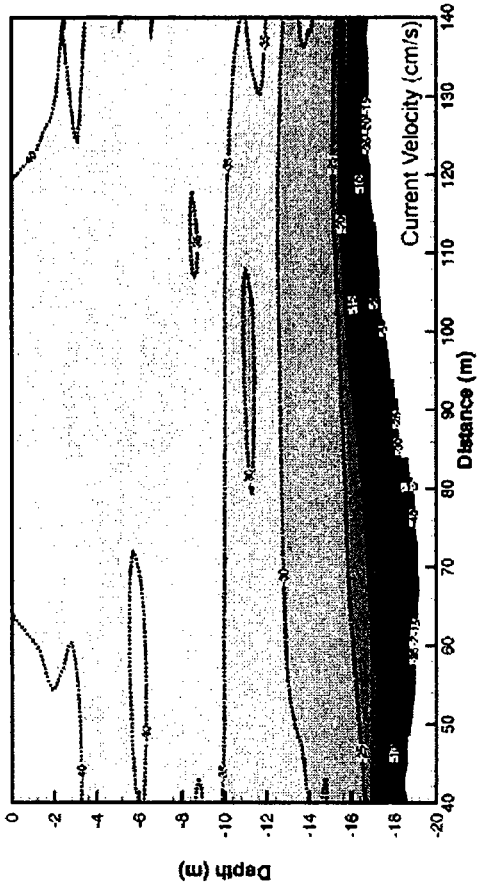
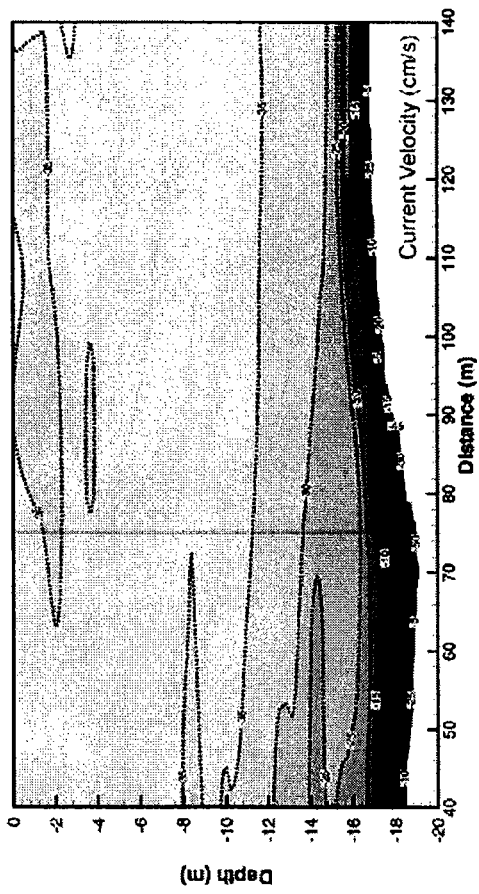
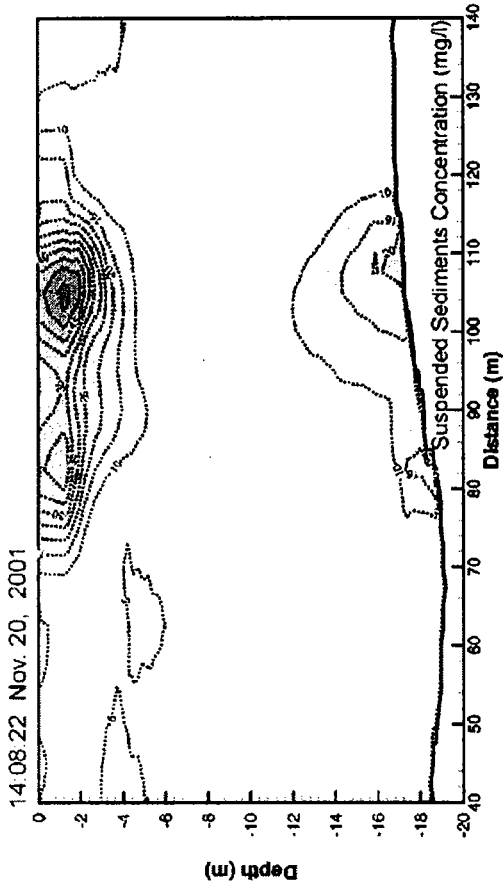
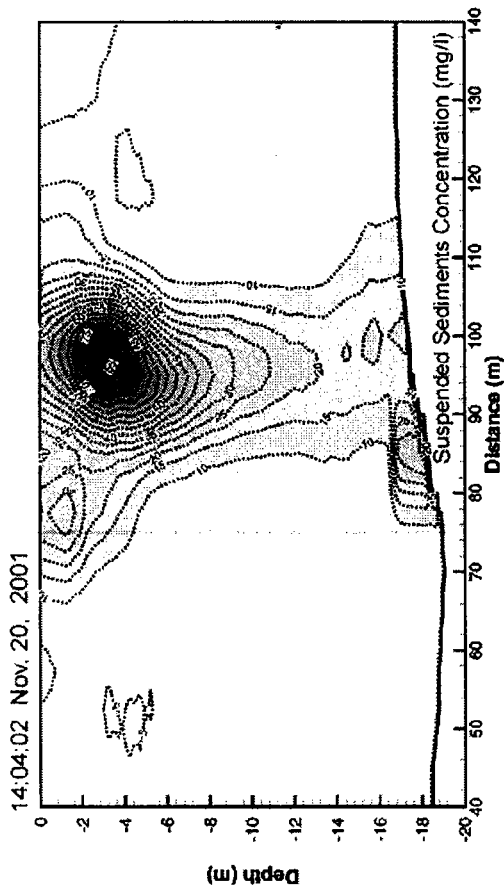
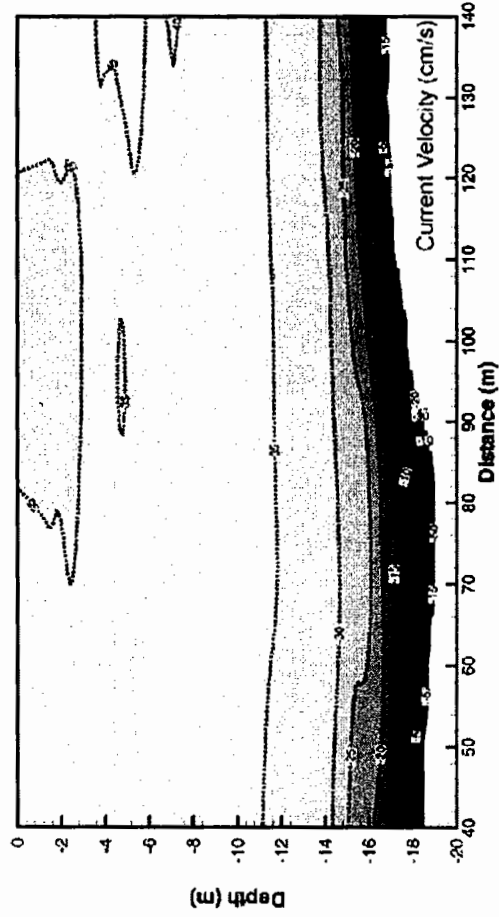
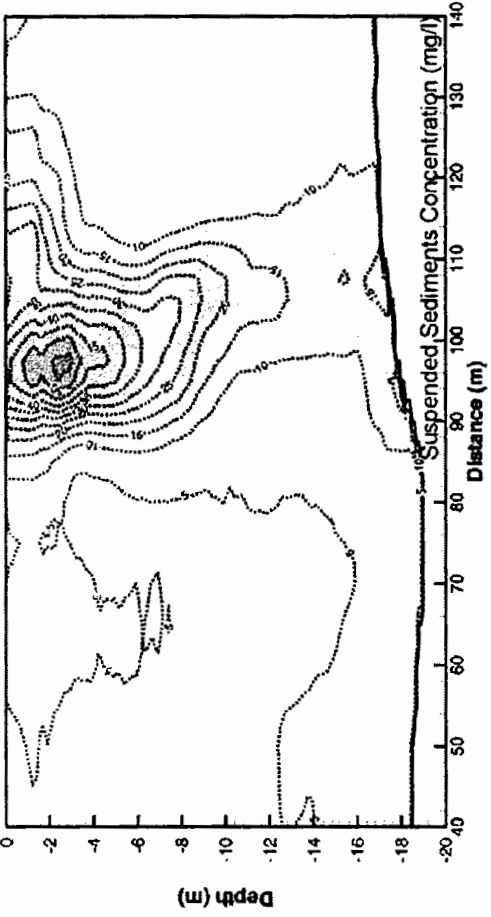


그림 A1.27 (계속).



14:17:09 Nov. 20, 2001



14:12:46 Nov. 20, 2001

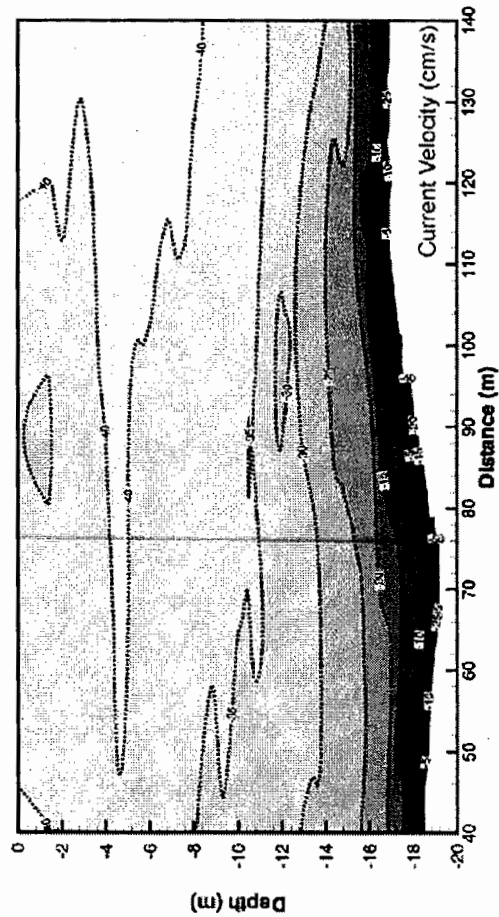
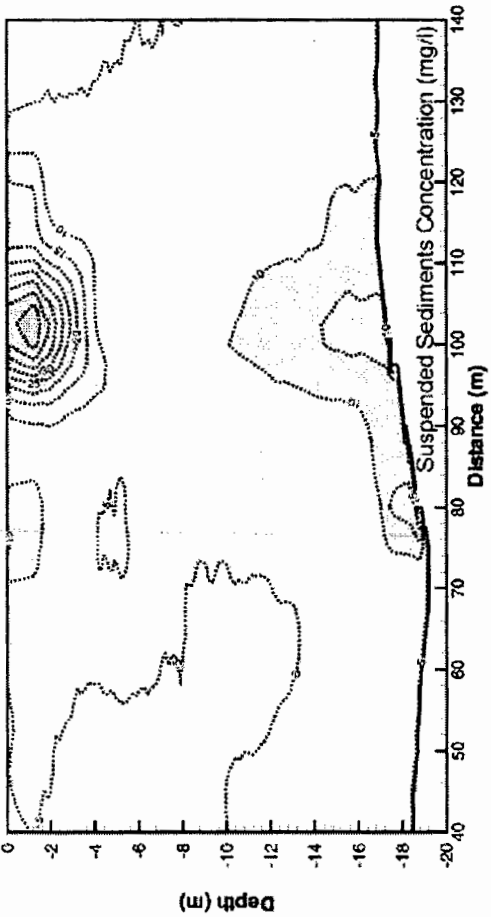


그림 A1.27 (계속).



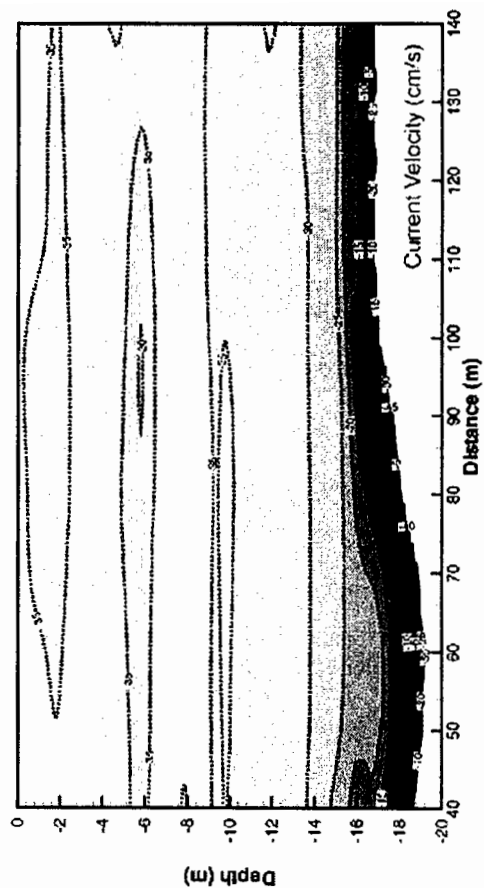
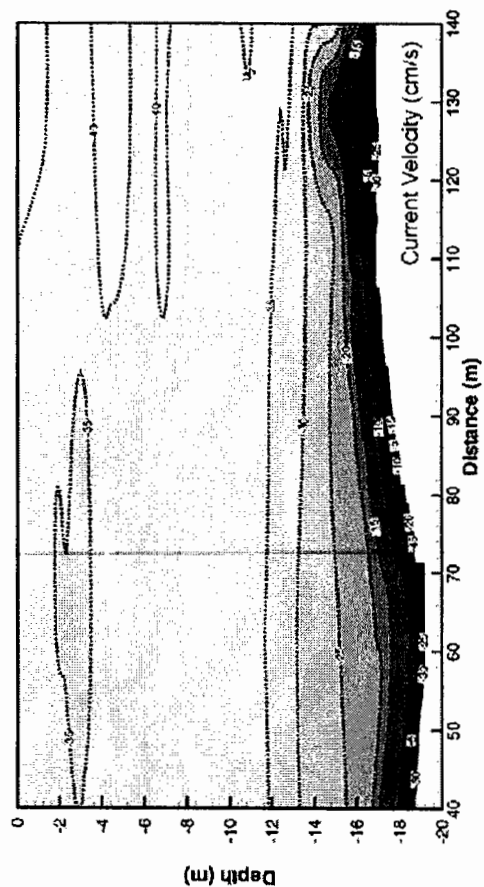
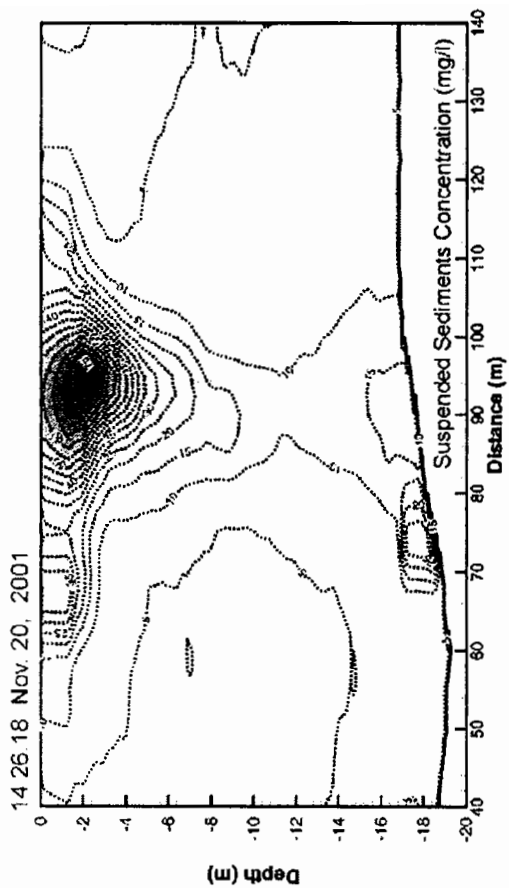
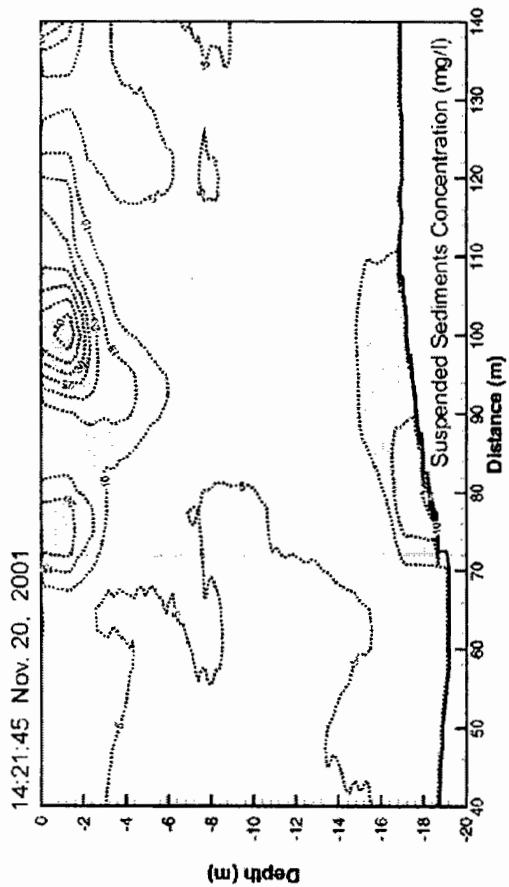


그림 A1.27 (계속).

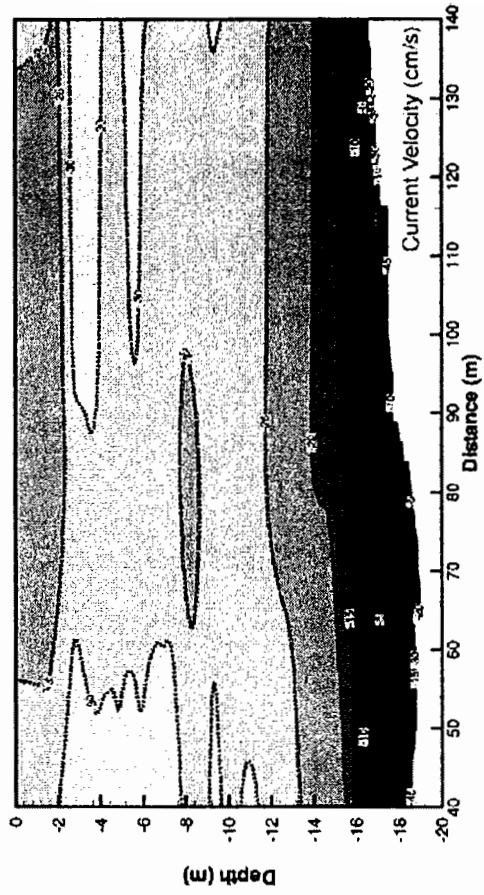
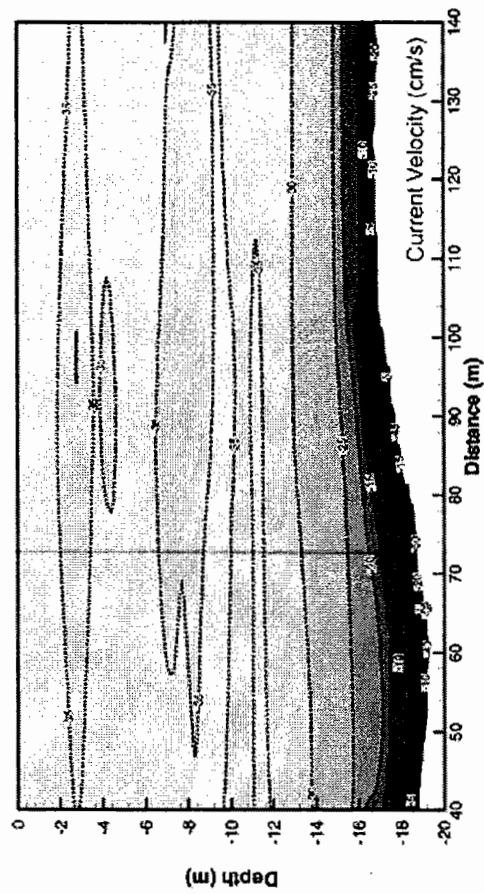
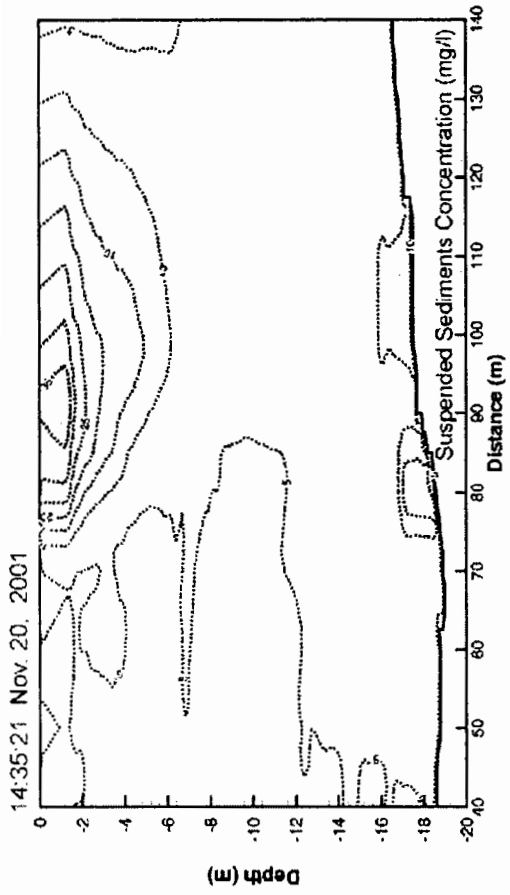
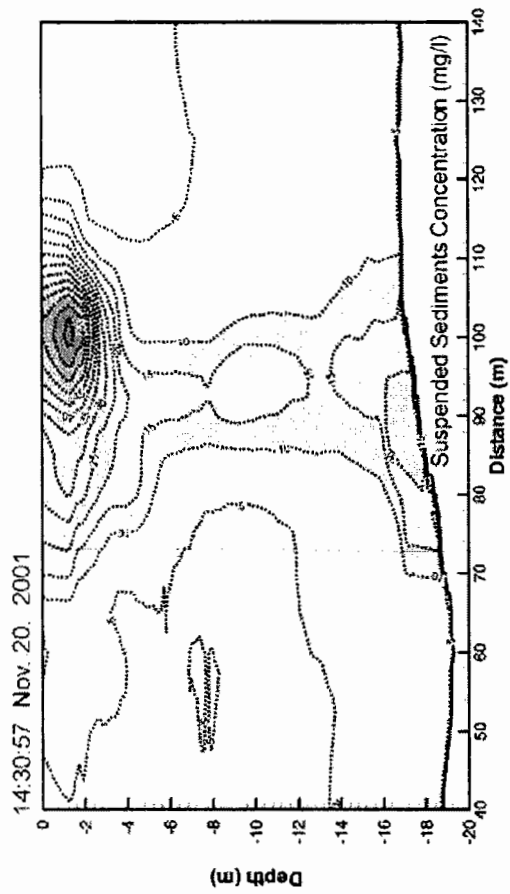


그림 A1.27 (계속).

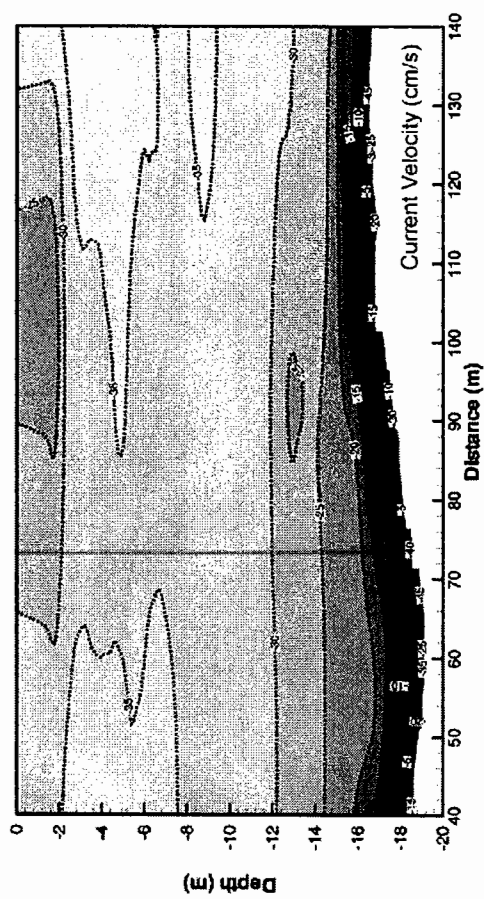
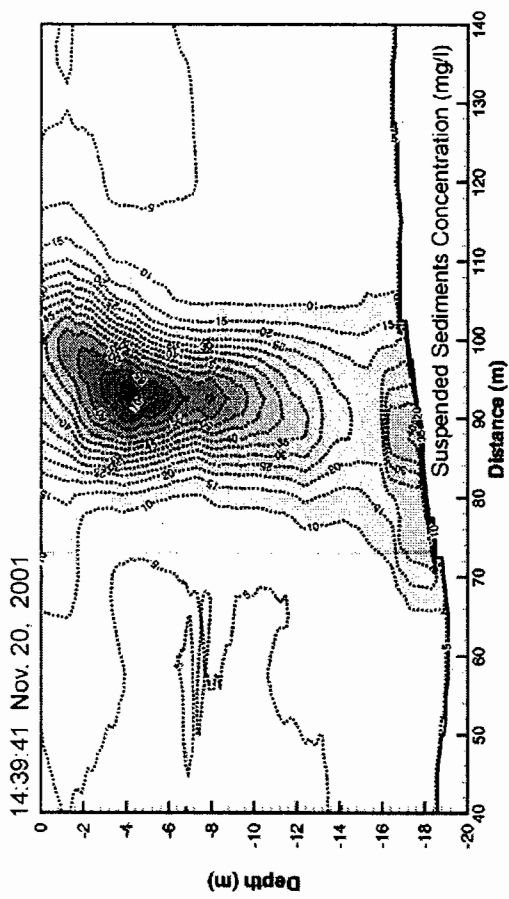


그림 A1.27 (계속).

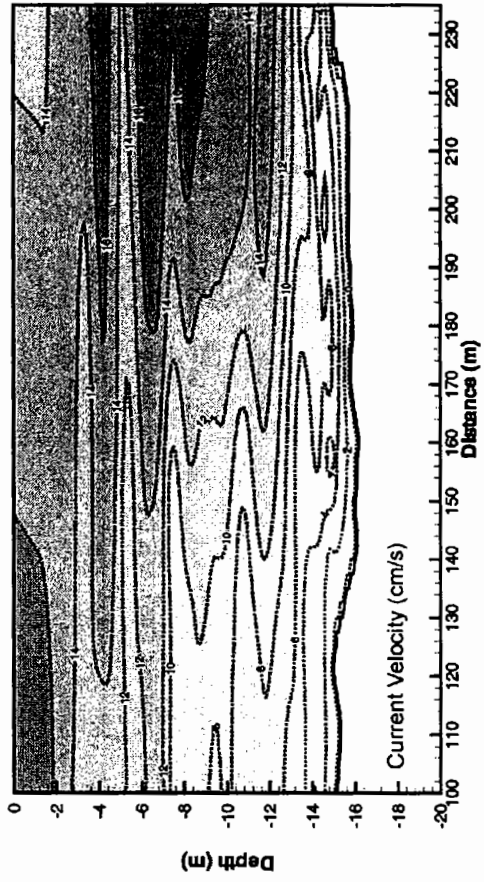
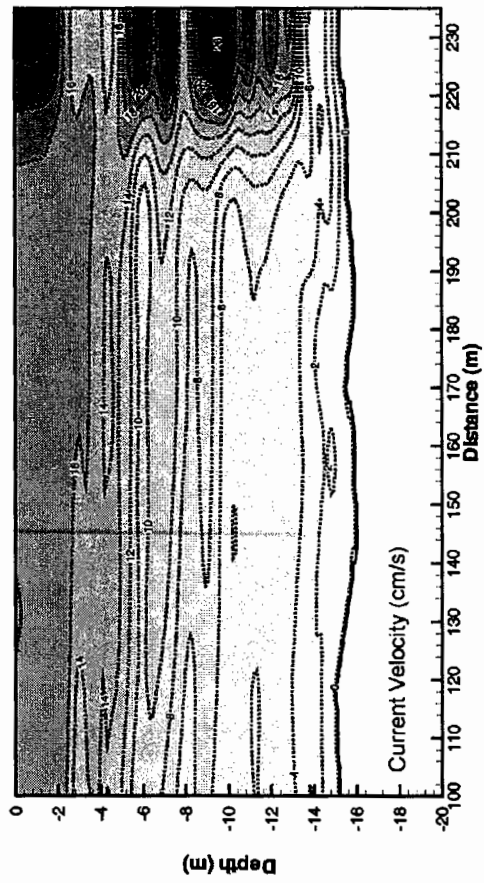
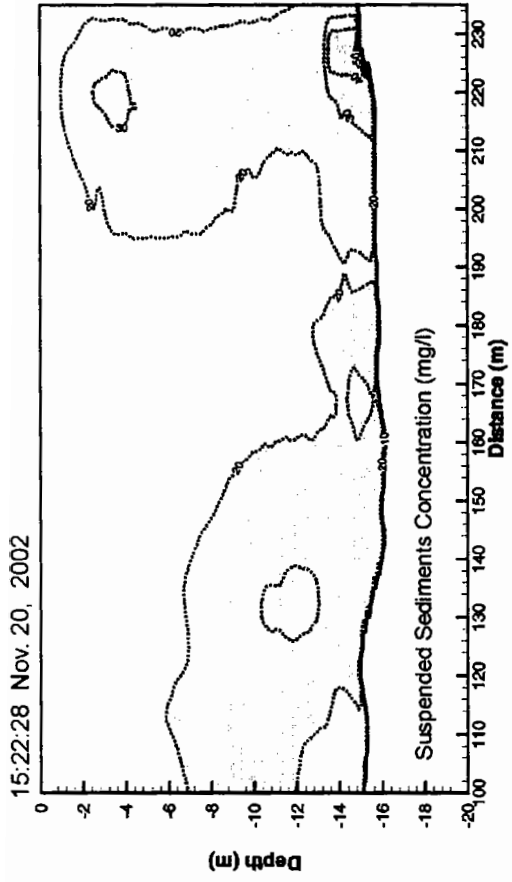
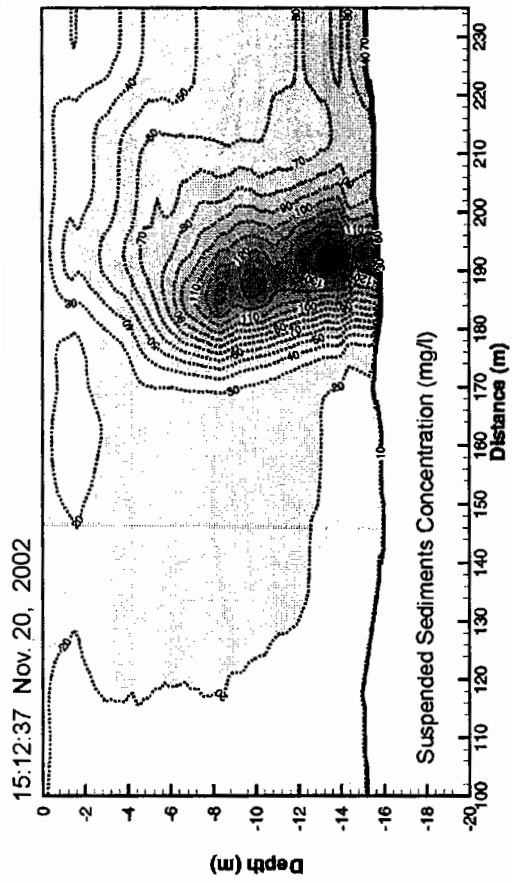


그림 A1.28 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (GG3, Grab 8m<sup>3</sup>).

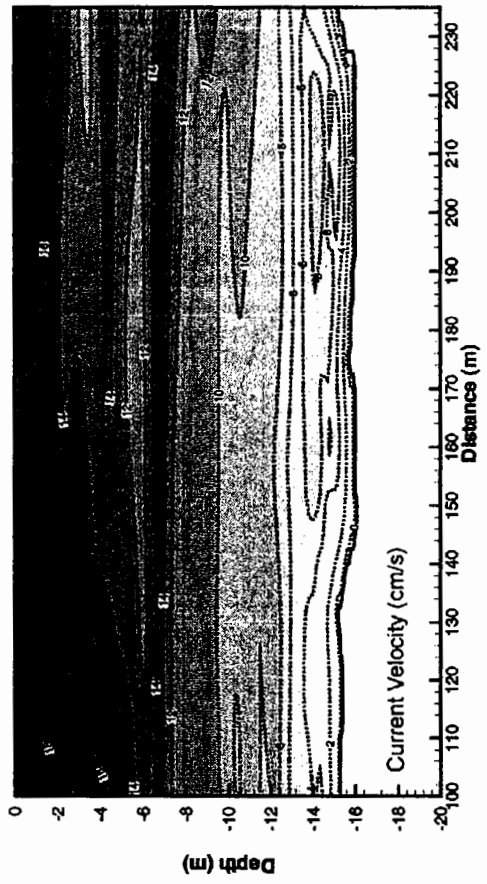
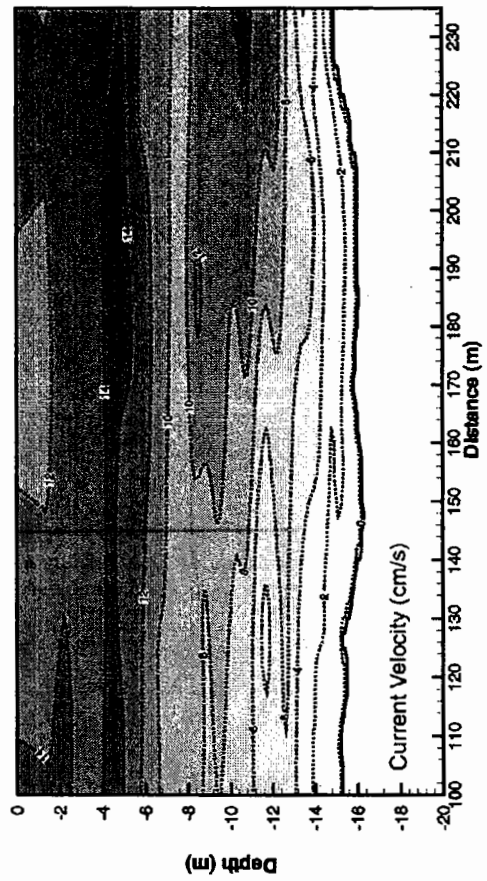
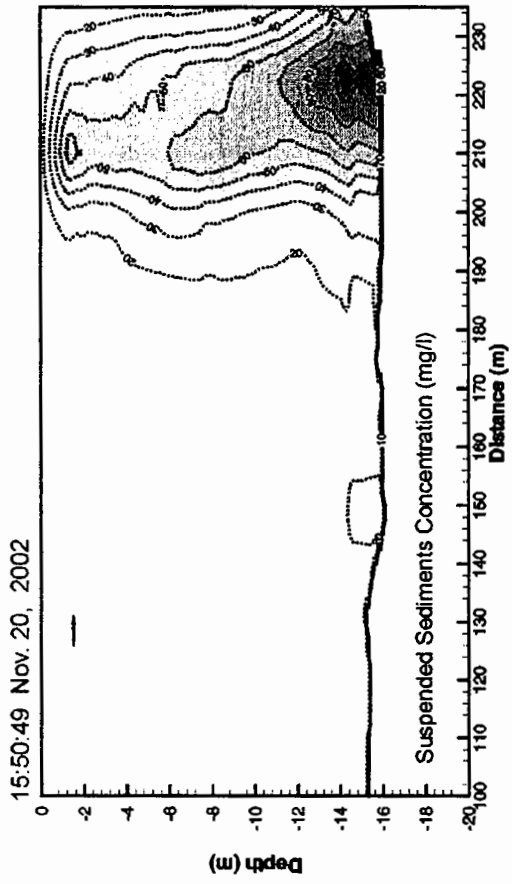
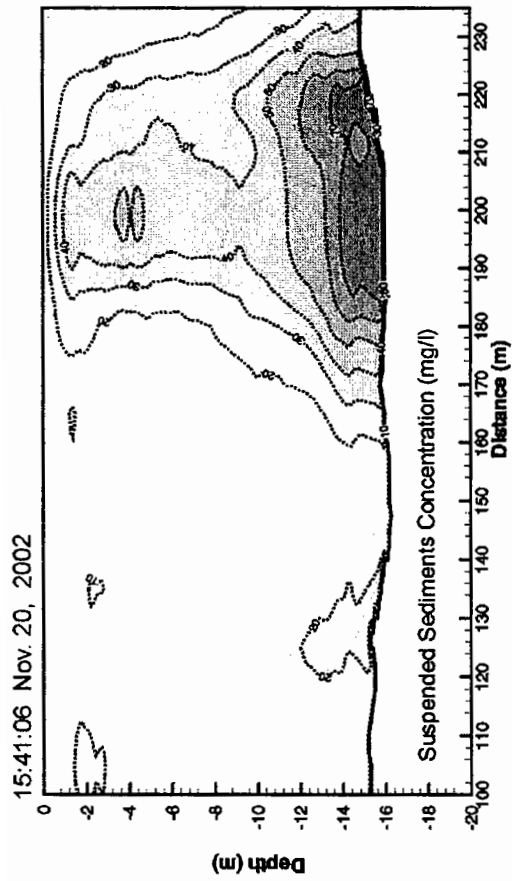


그림 A1.28 (계속).

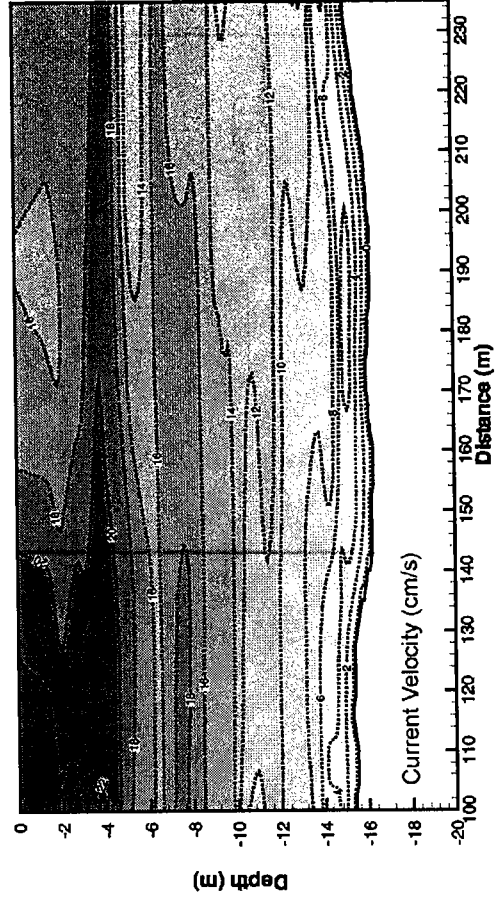
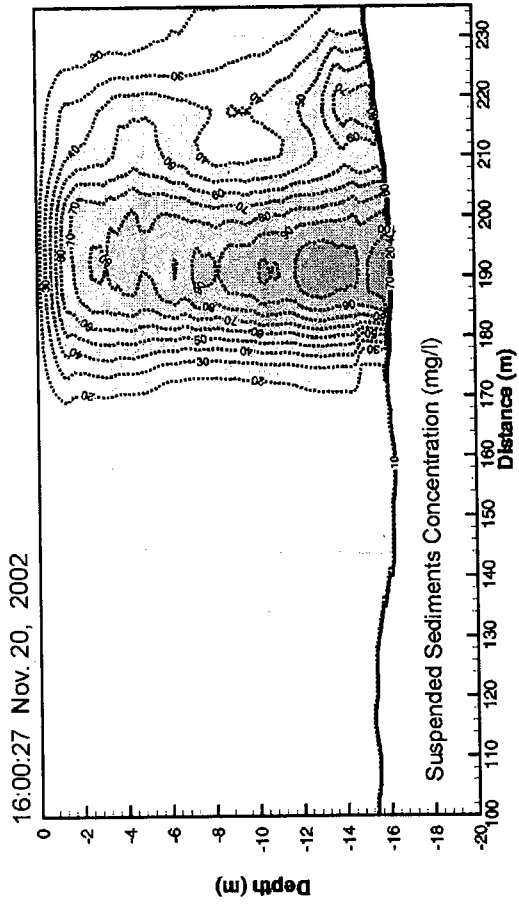


그림 A1.28 (계속).

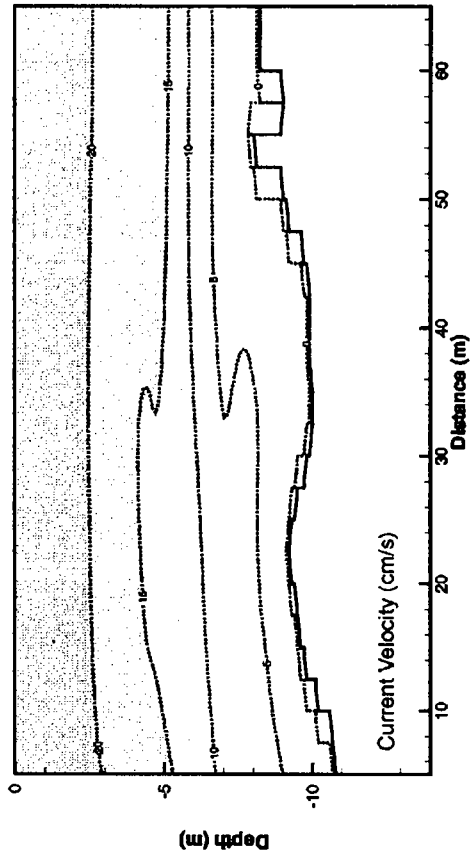
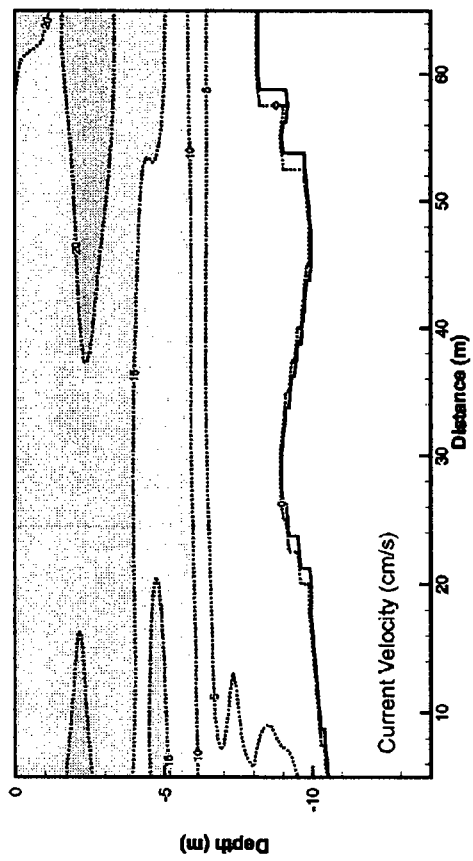
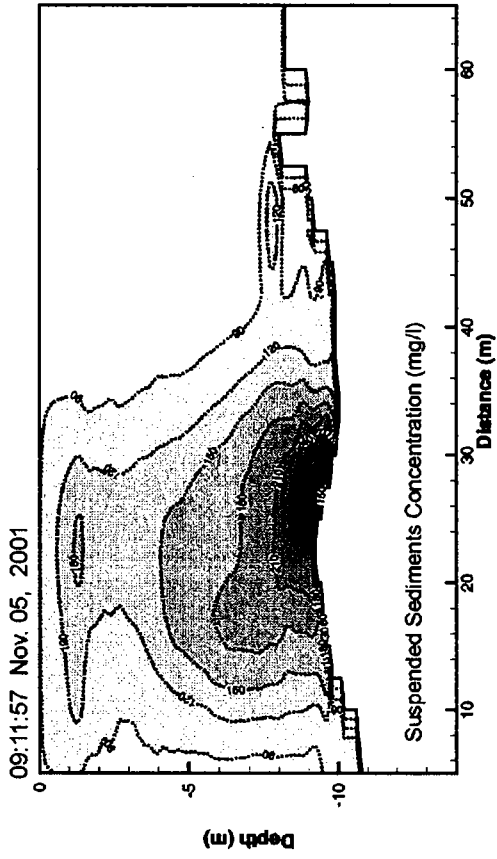
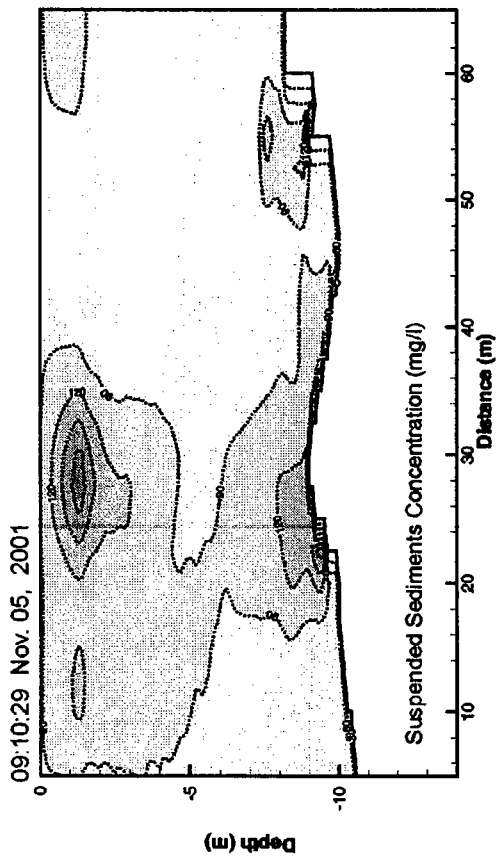


그림 A1.29 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (KG1, Grab 8m<sup>3</sup>).

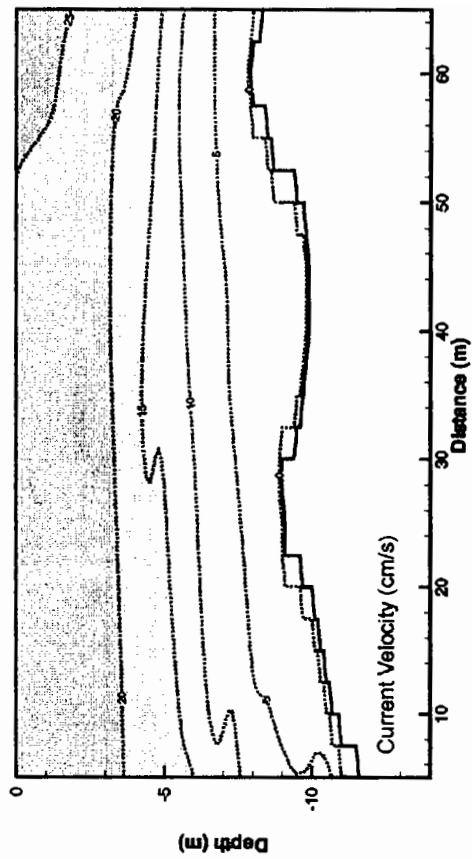
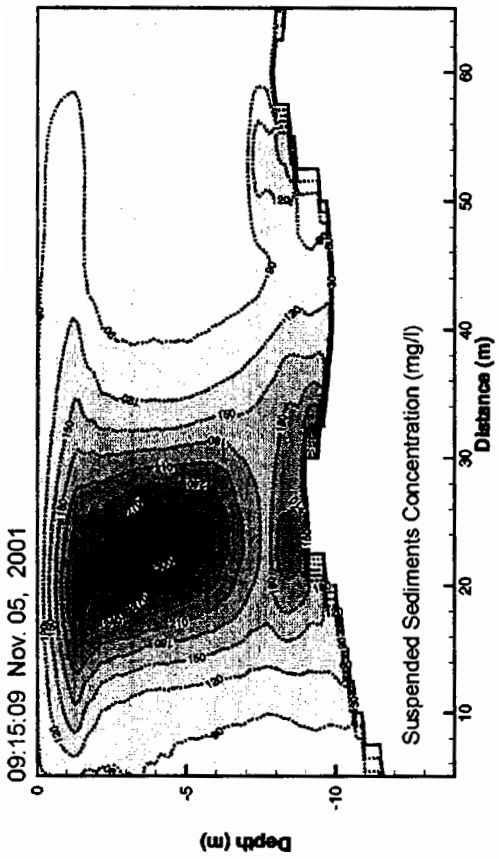
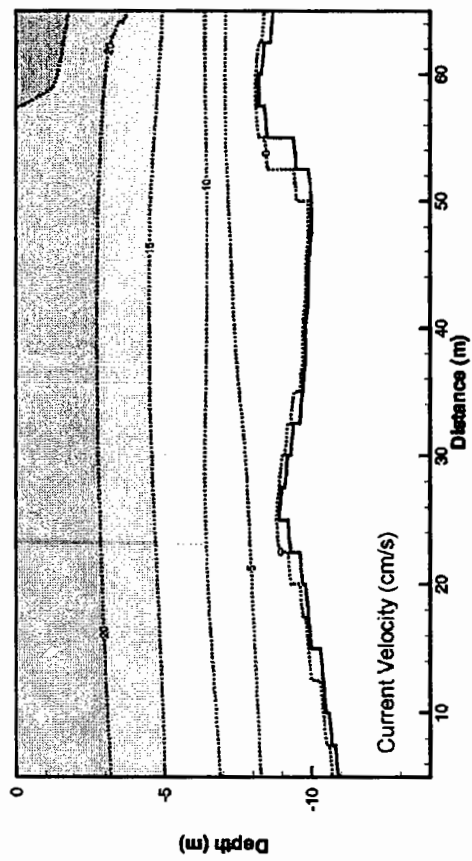
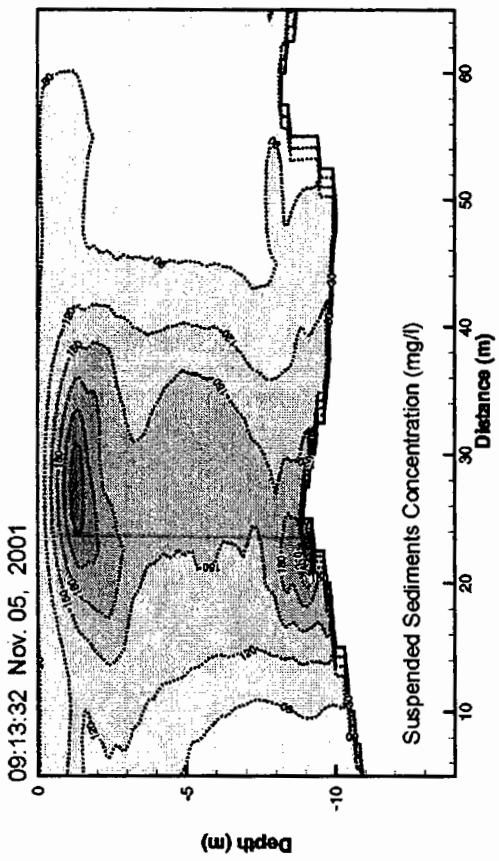


그림 A1.29 (계속).



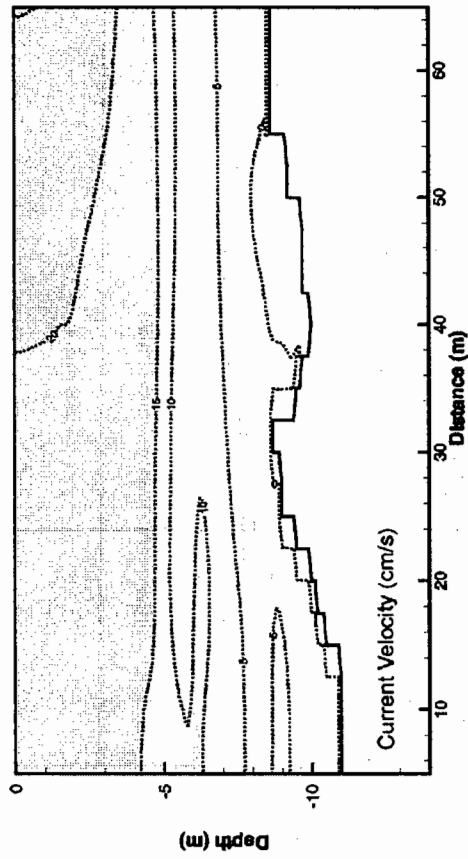
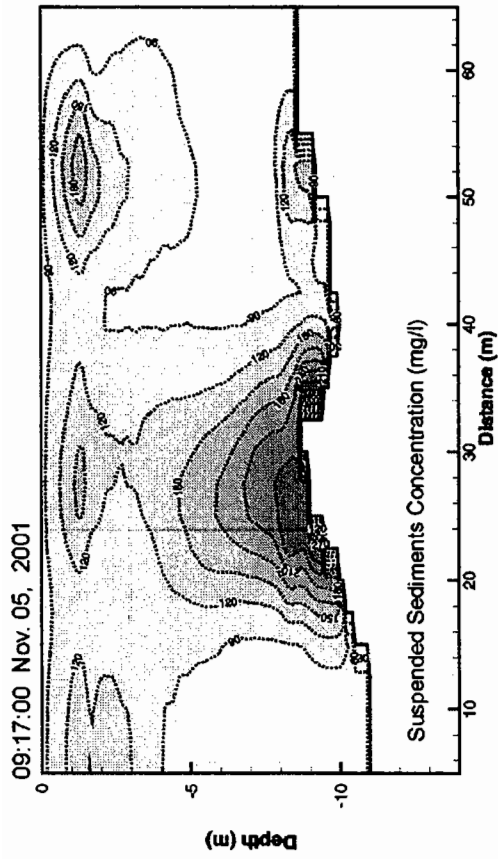
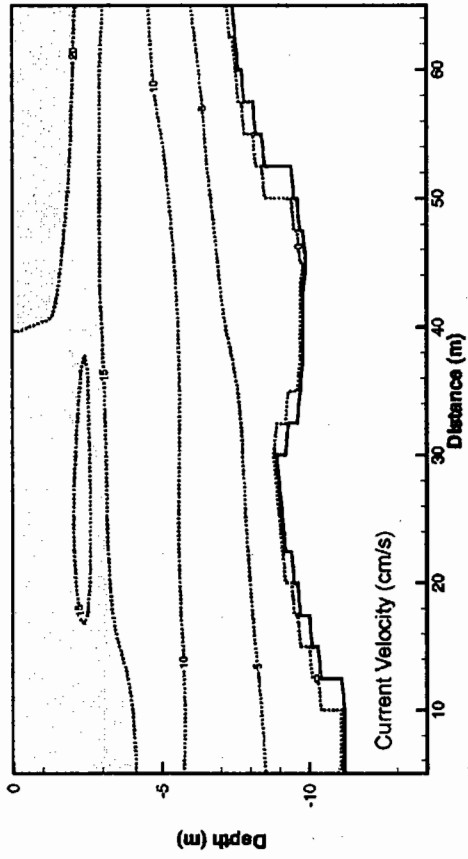
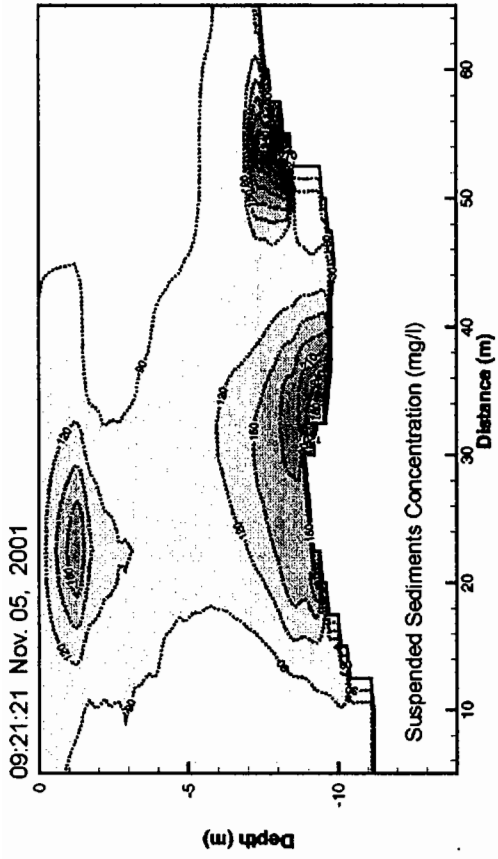


그림 A1.29 (계속)

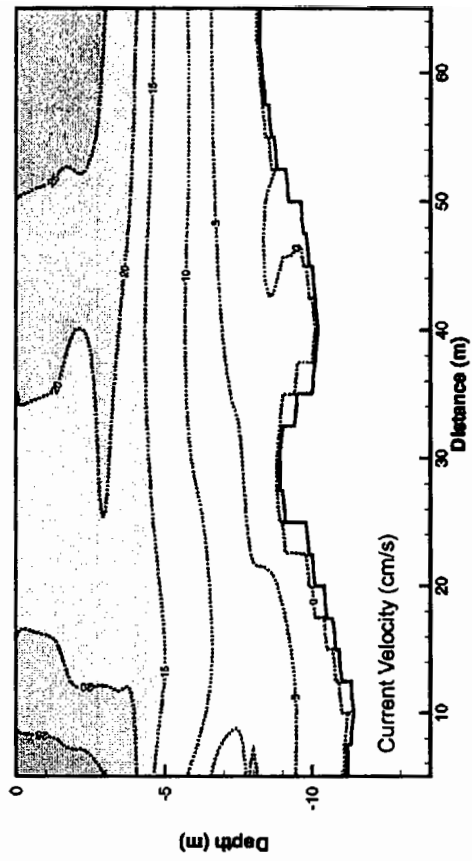
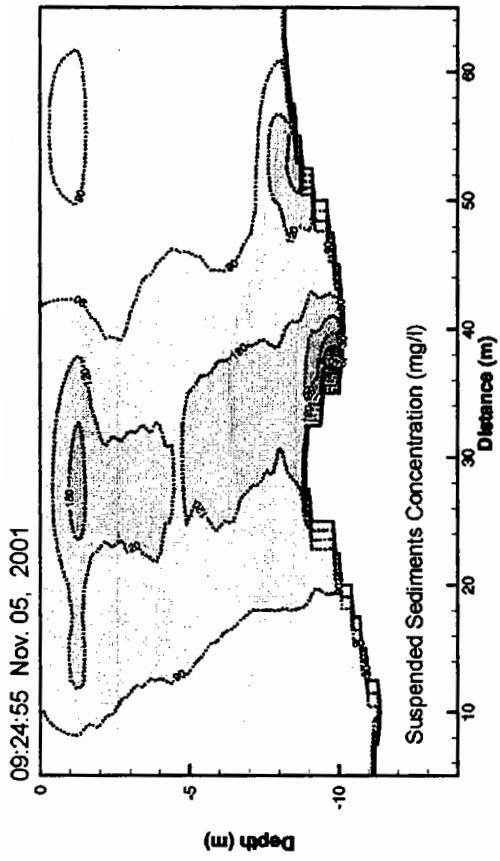
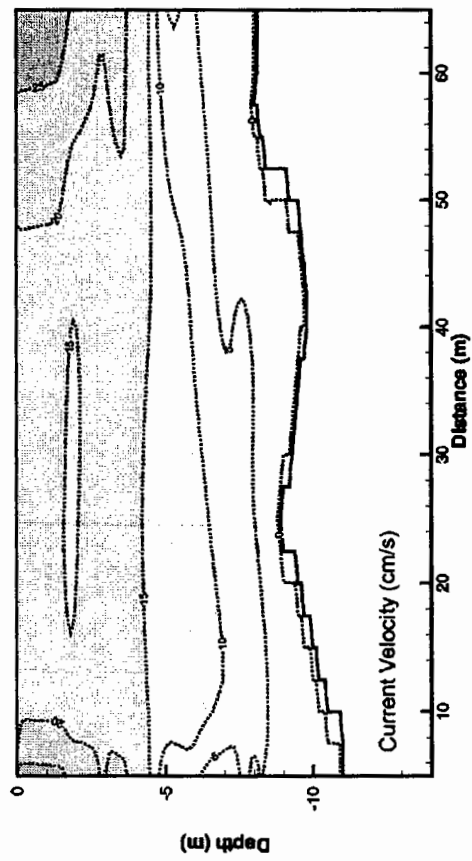
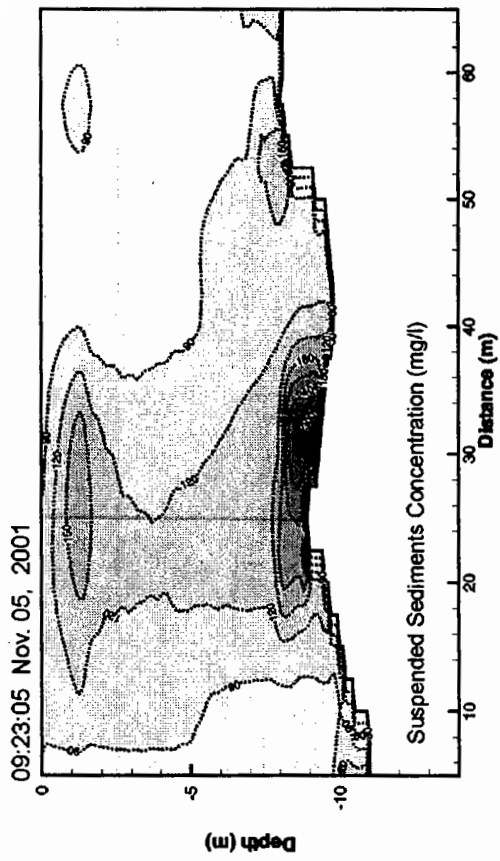


그림 A1.29 (계속).

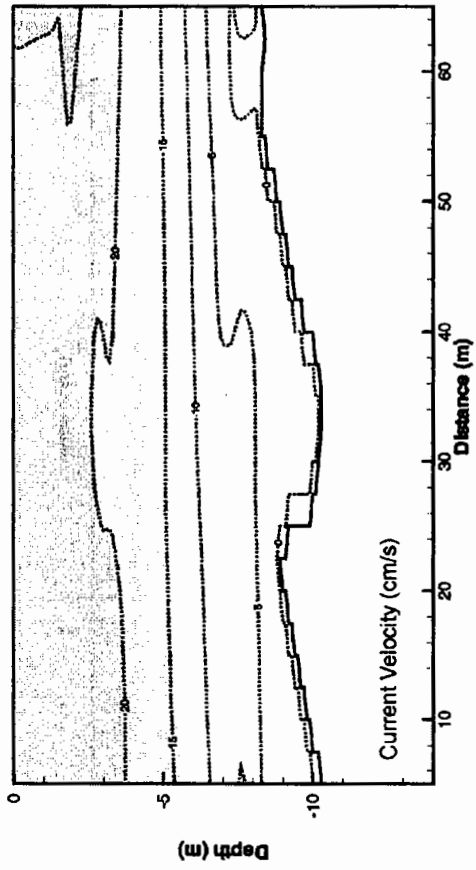
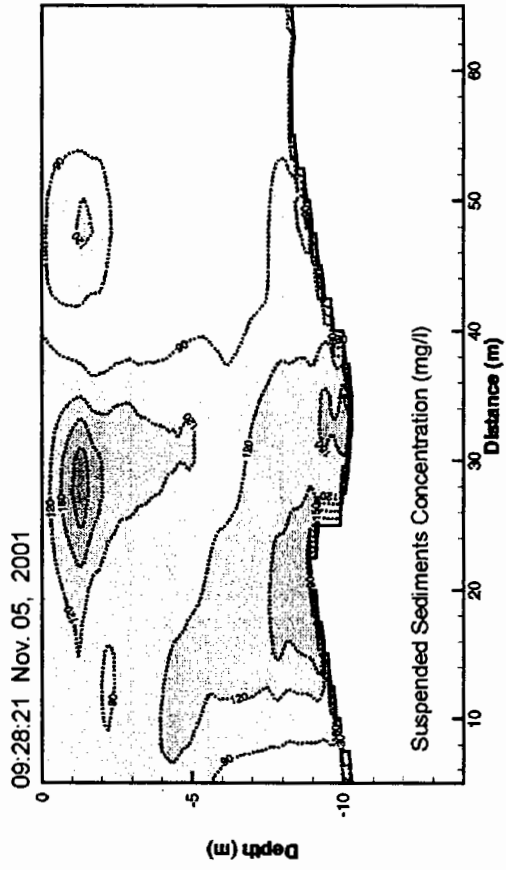
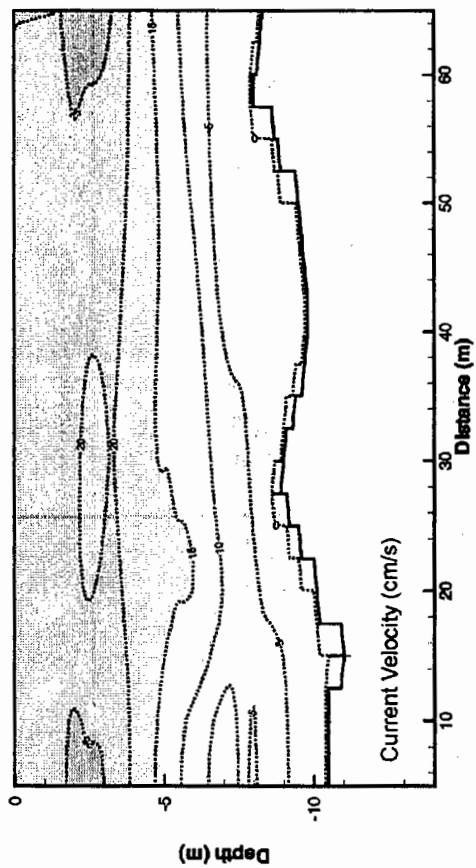
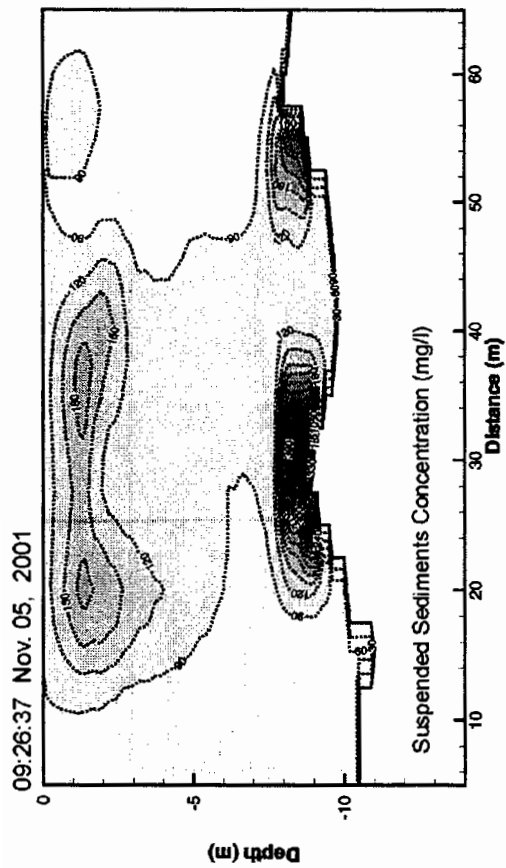


그림 A1.29 (계속).

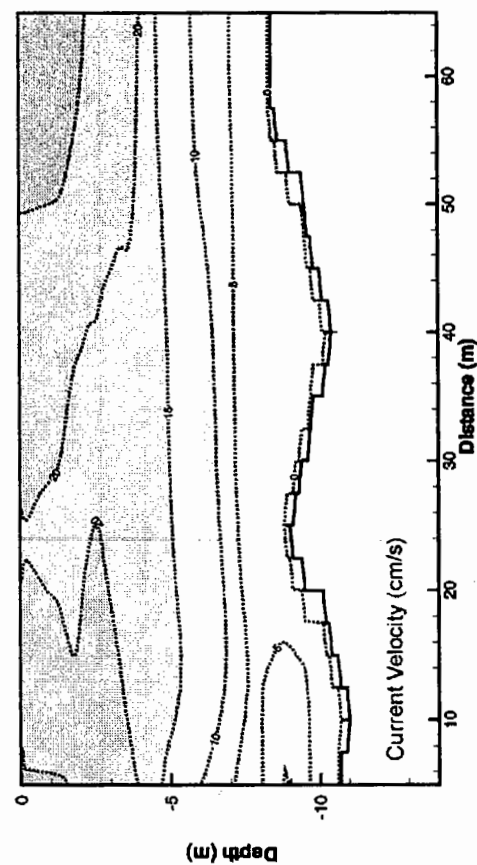
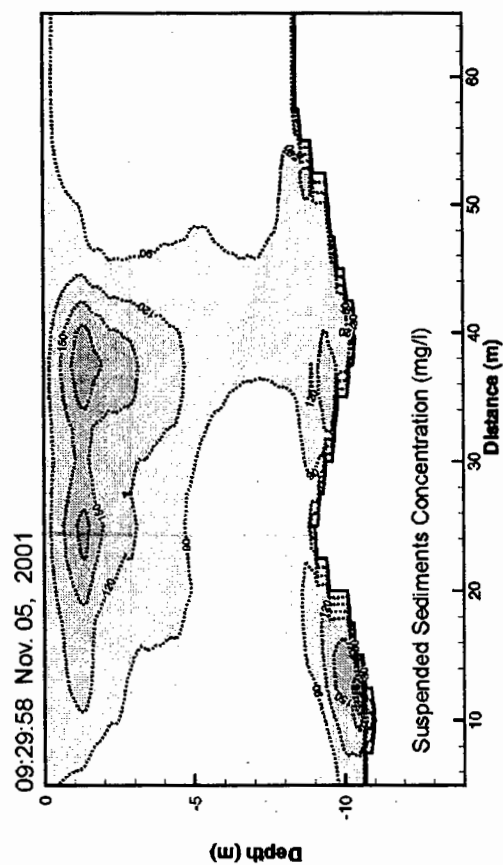
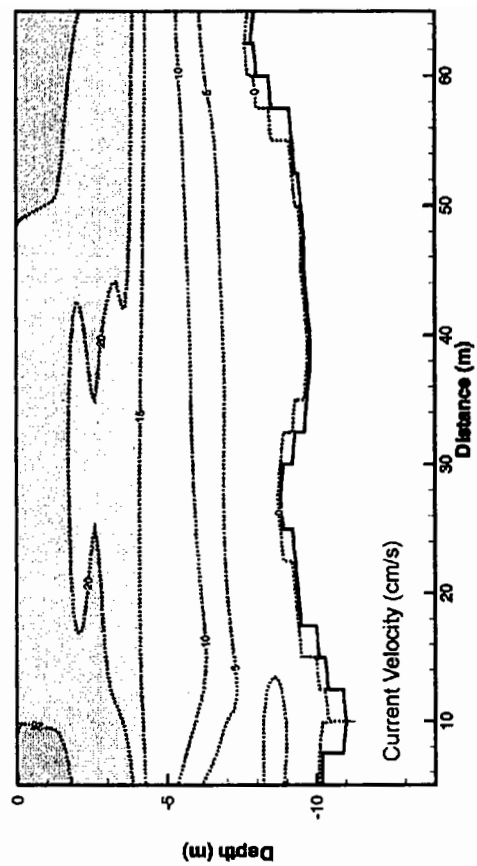
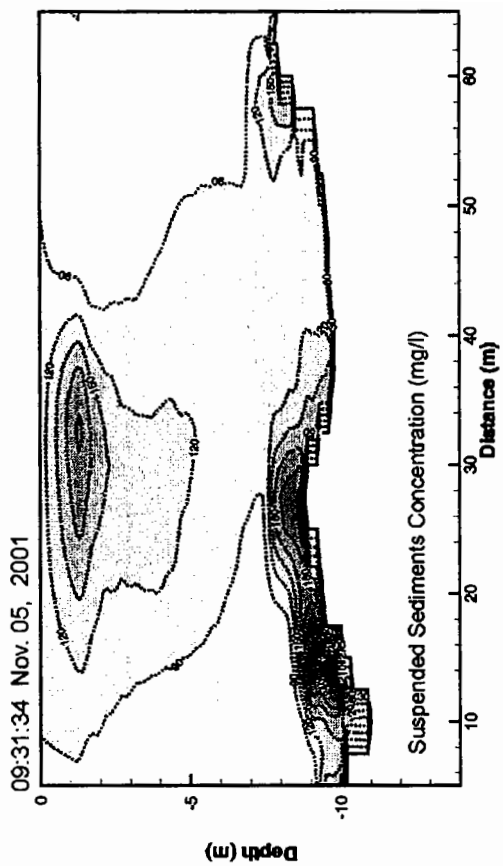


그림 A1.29 (계속).

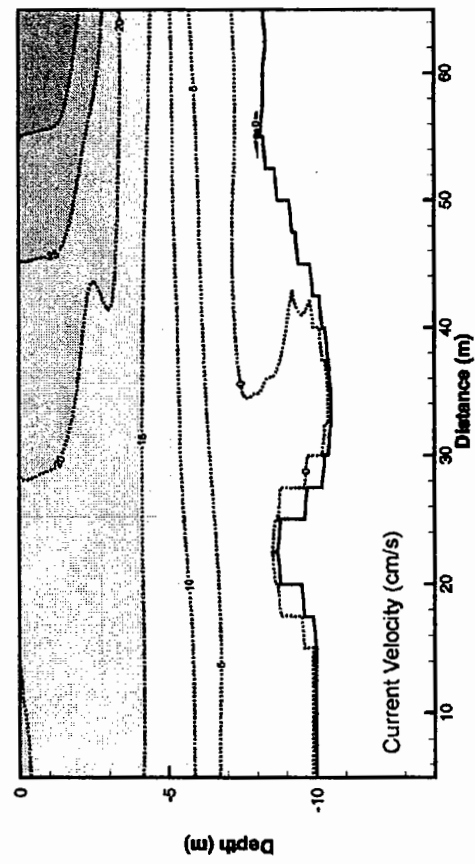
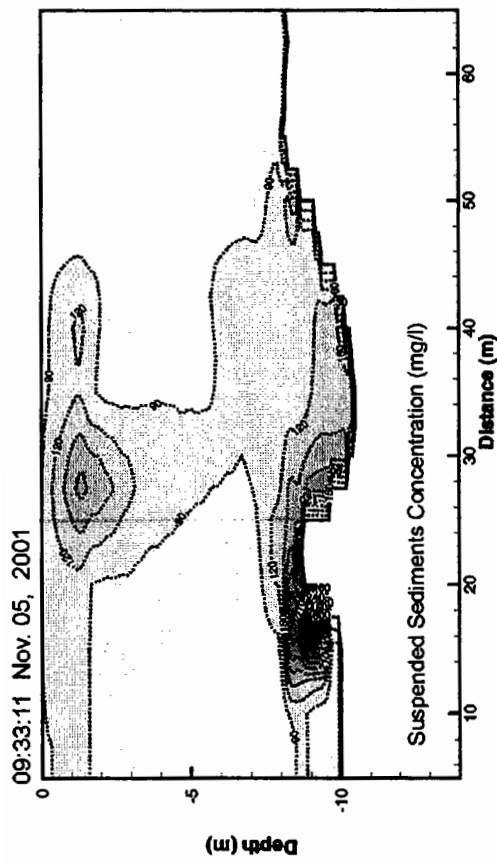
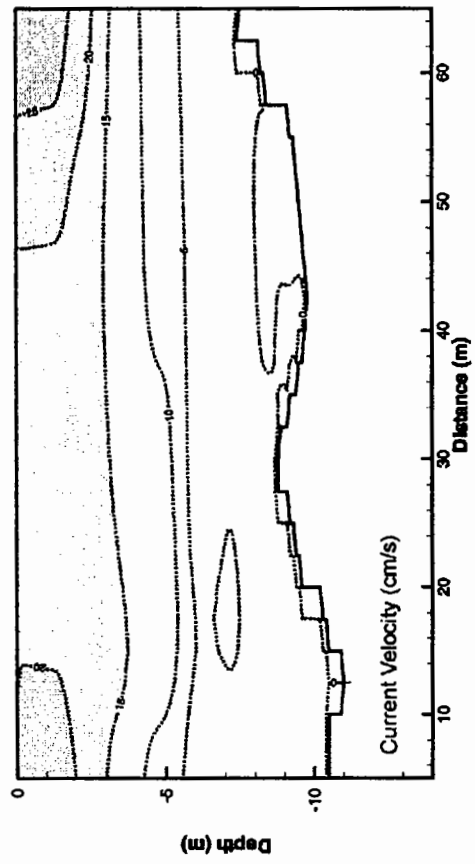
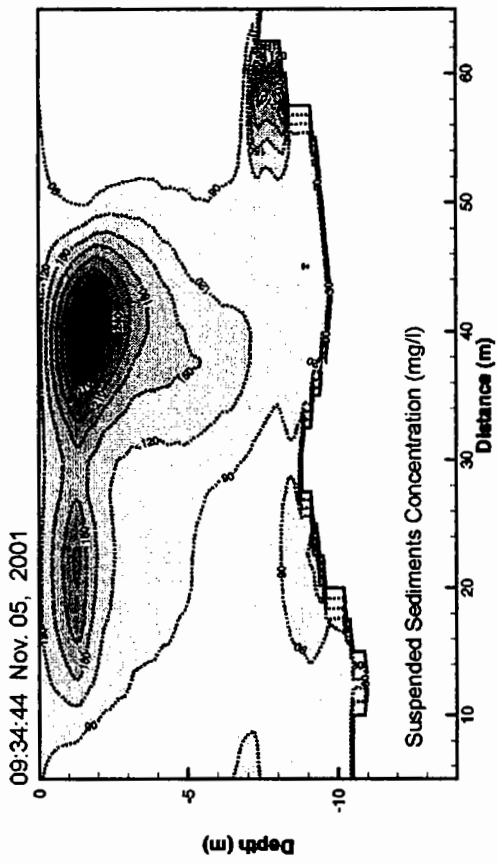


그림 A1.29 (계속).

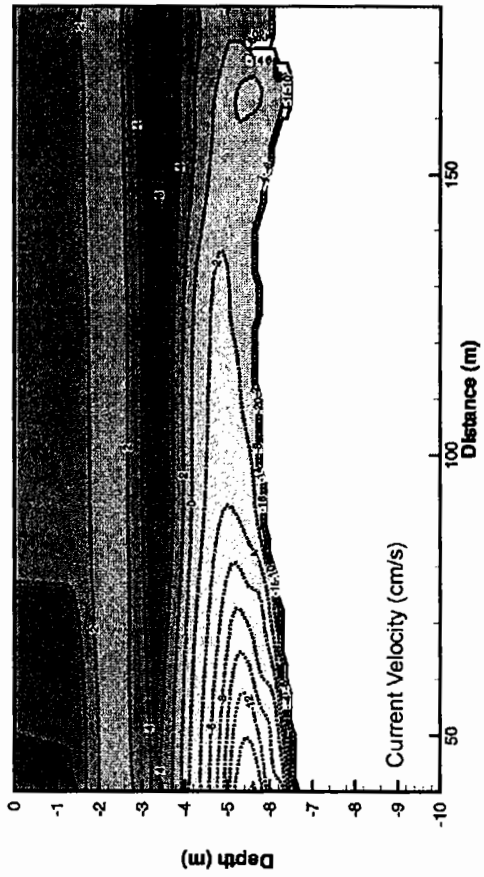
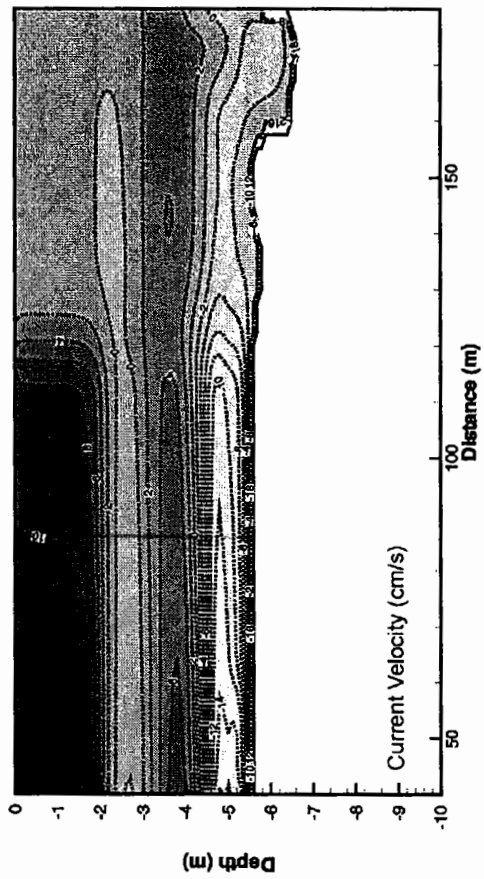
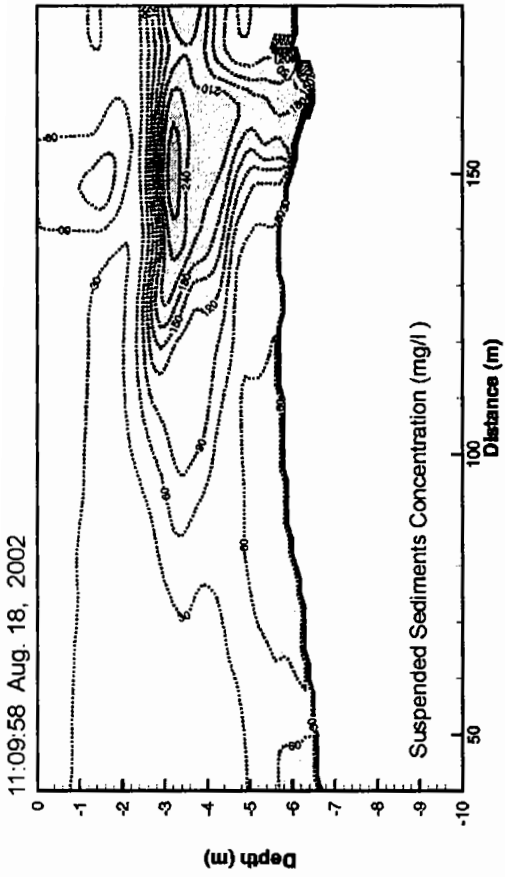
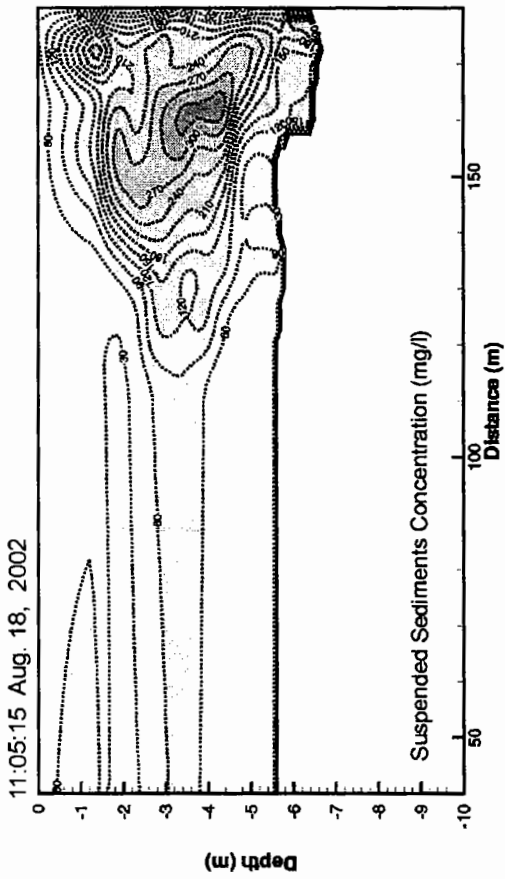


그림 A1.30 준설시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (KG3, Grab 8m<sup>3</sup>).

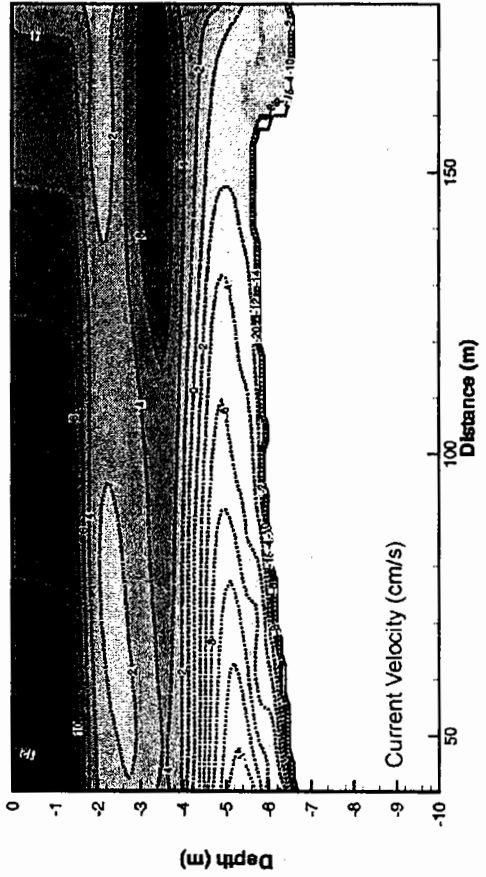
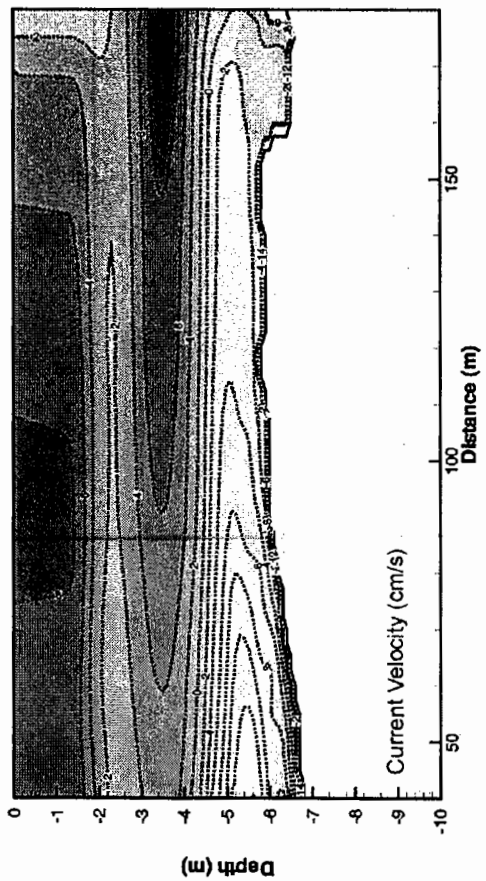
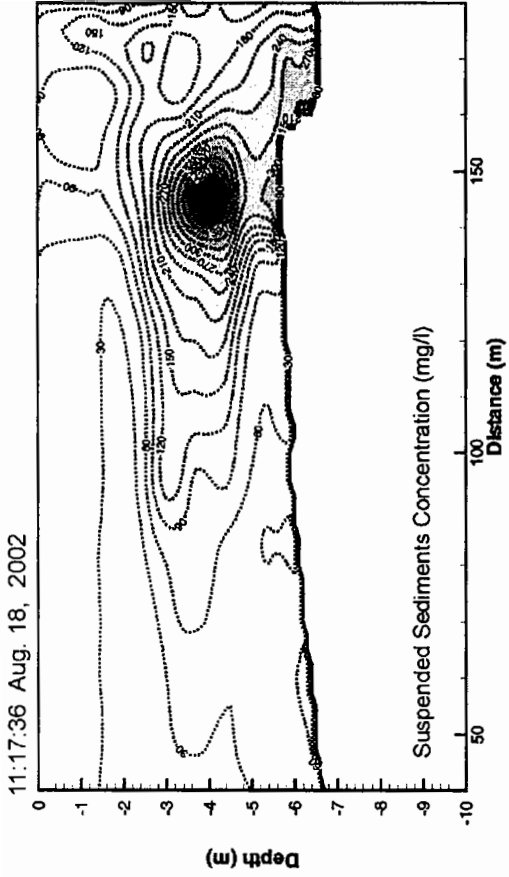
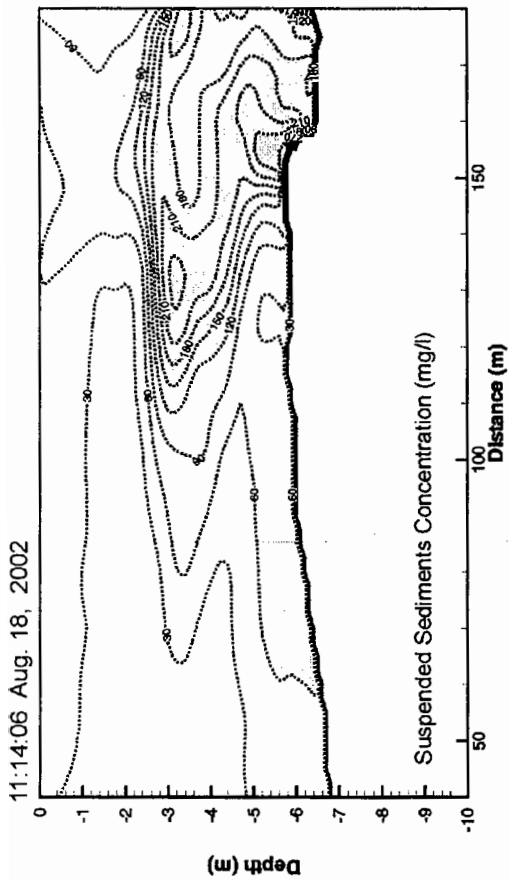


그림 A1.30 (계속).

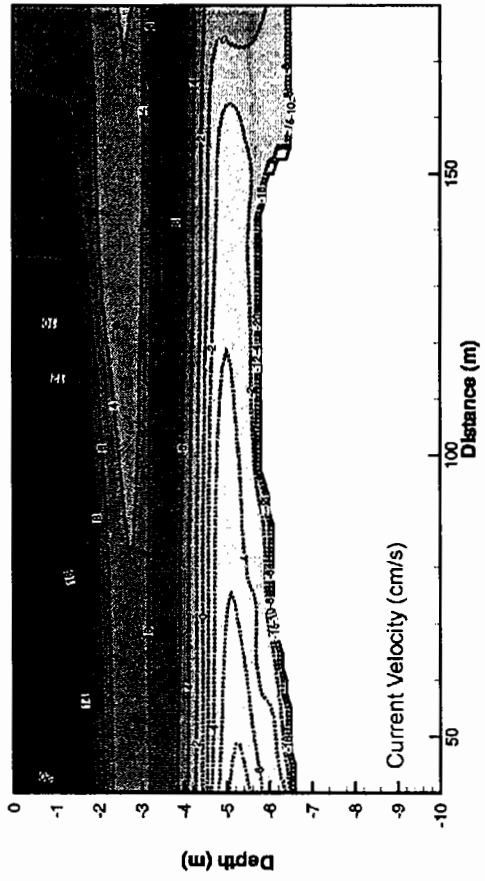
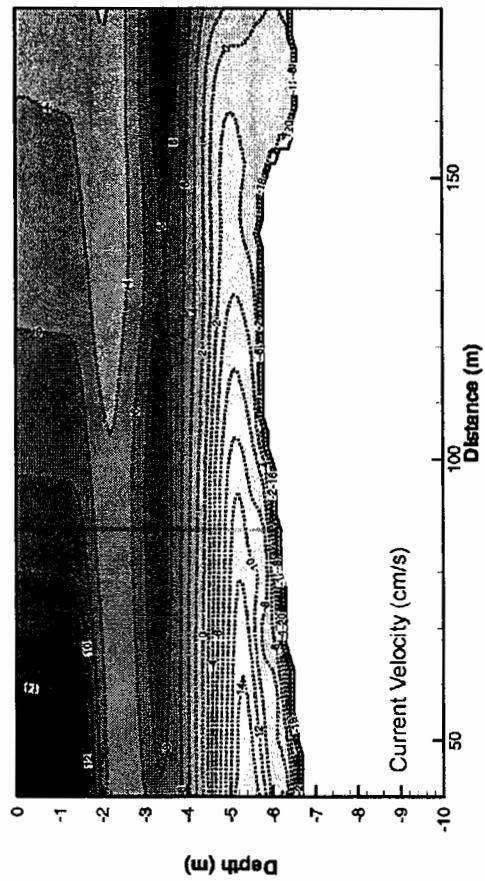
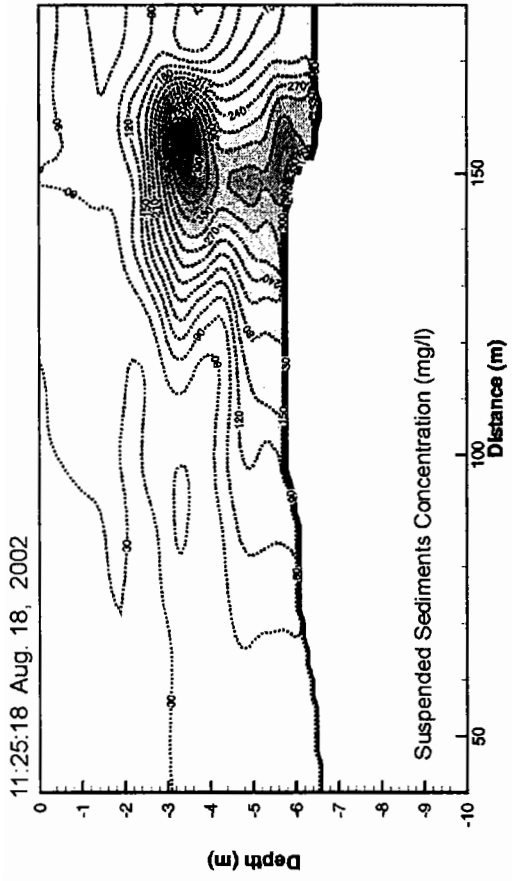
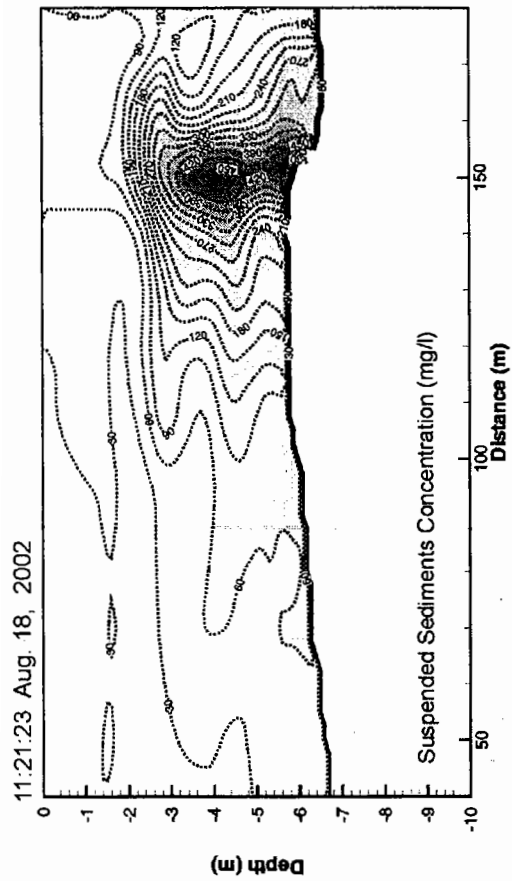


그림 A1.30 (계속).



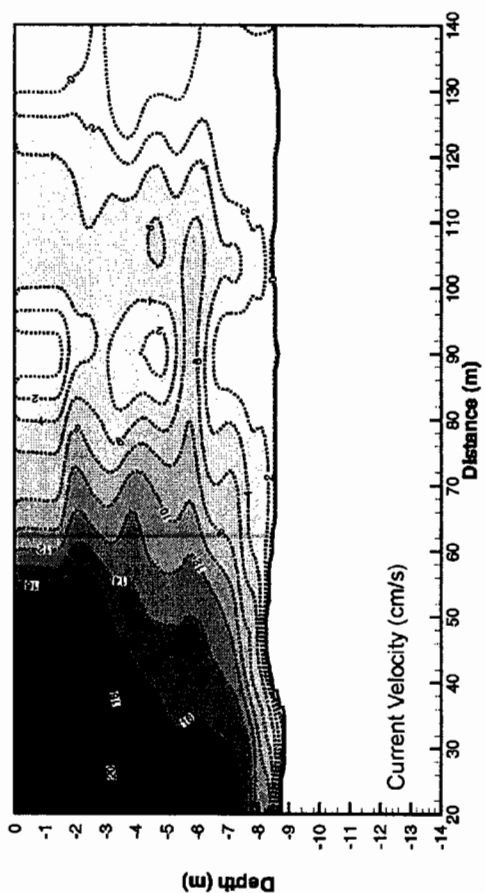
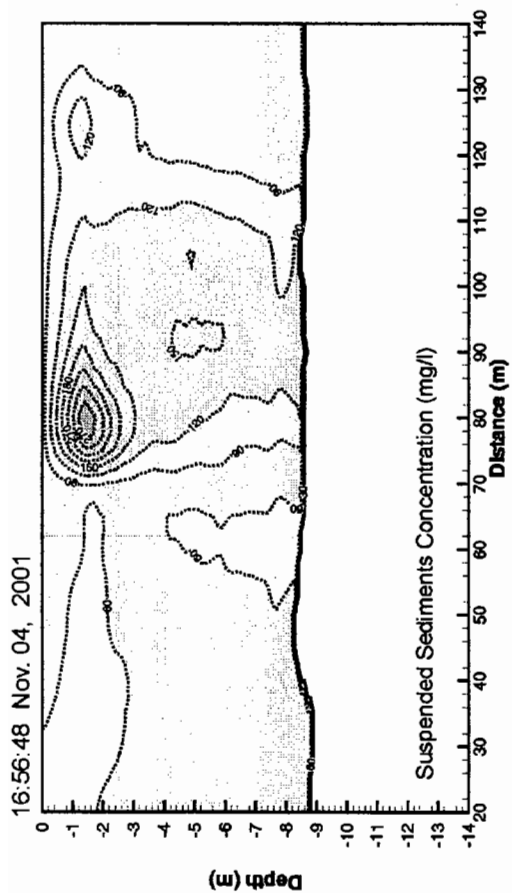
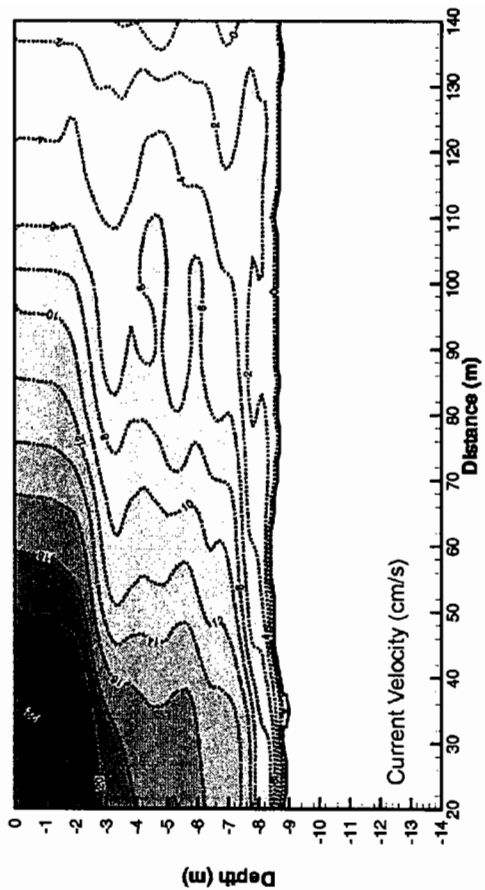
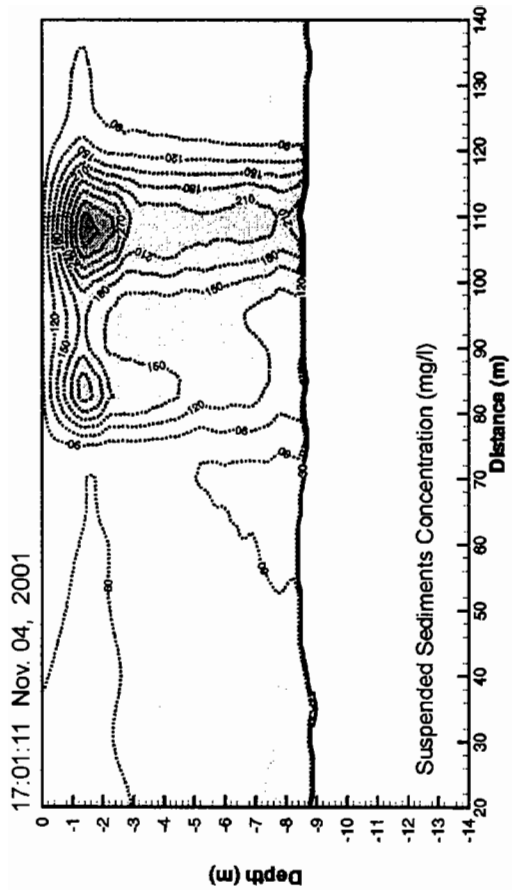


그림 A1.31 사석투하시 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (KR, 기초사석 0.03m<sup>3</sup> 이하).

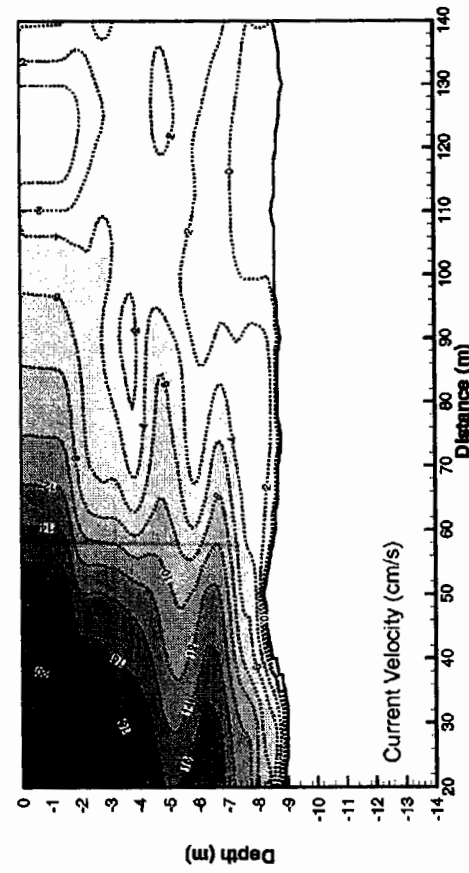
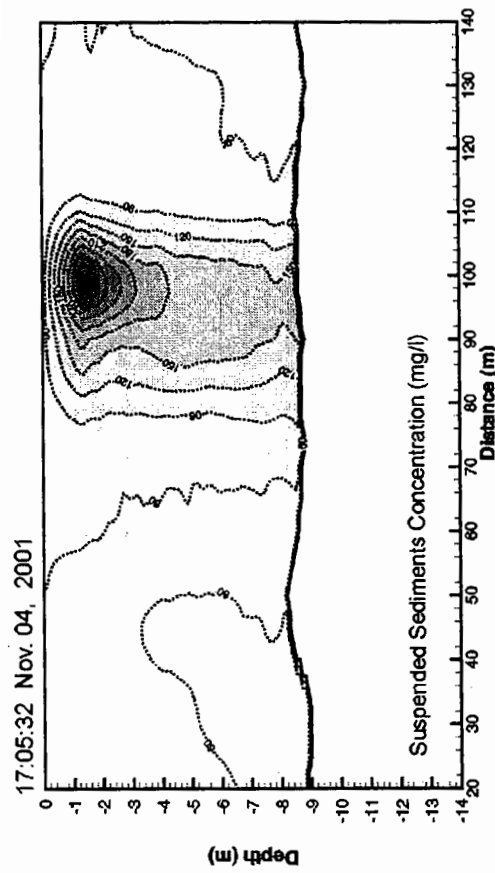
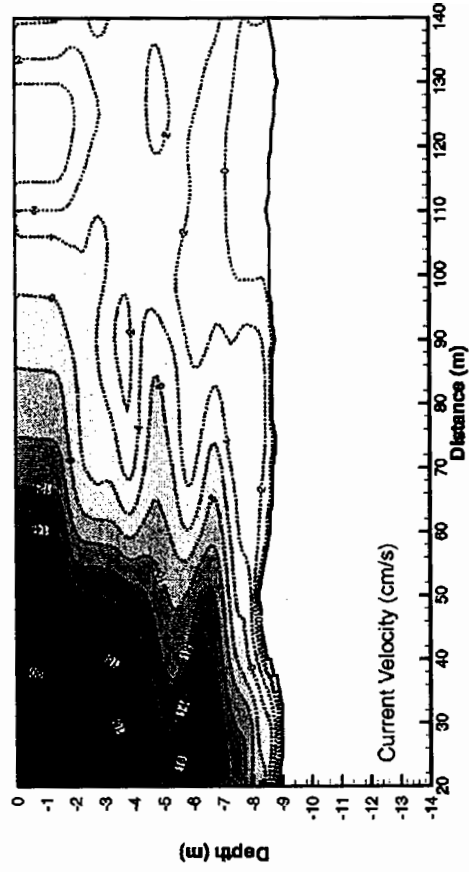
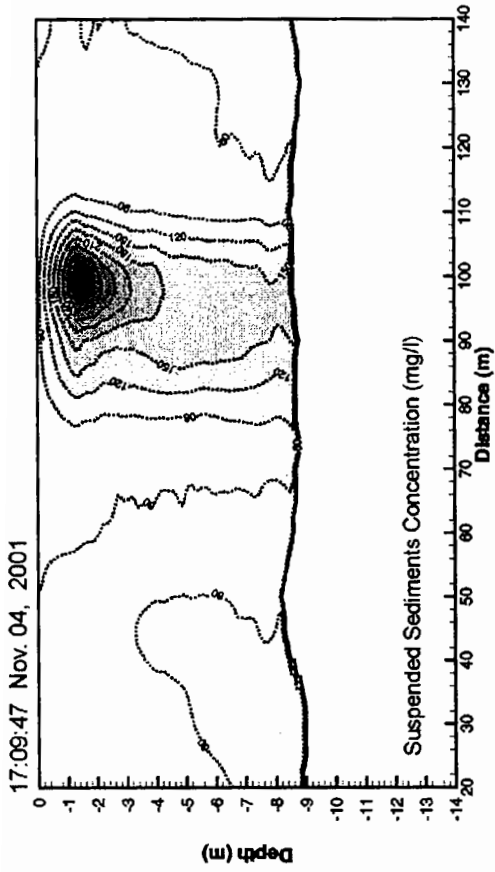


그림 A1.31 (계속).

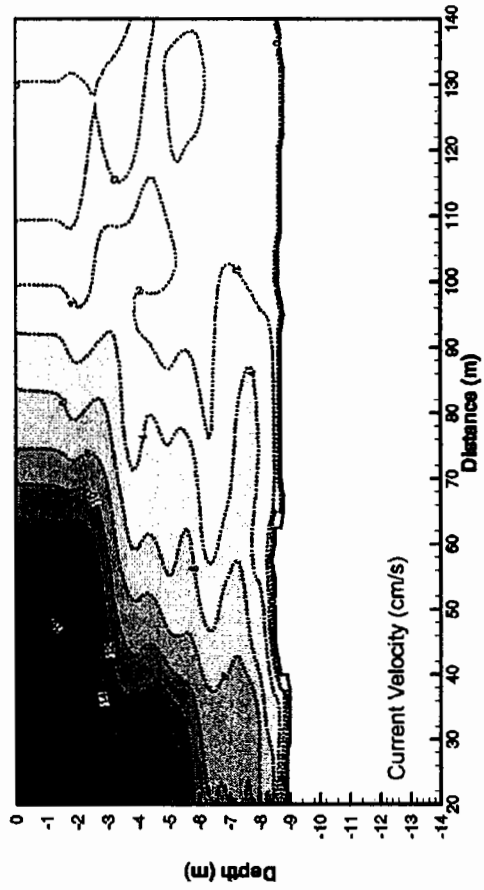
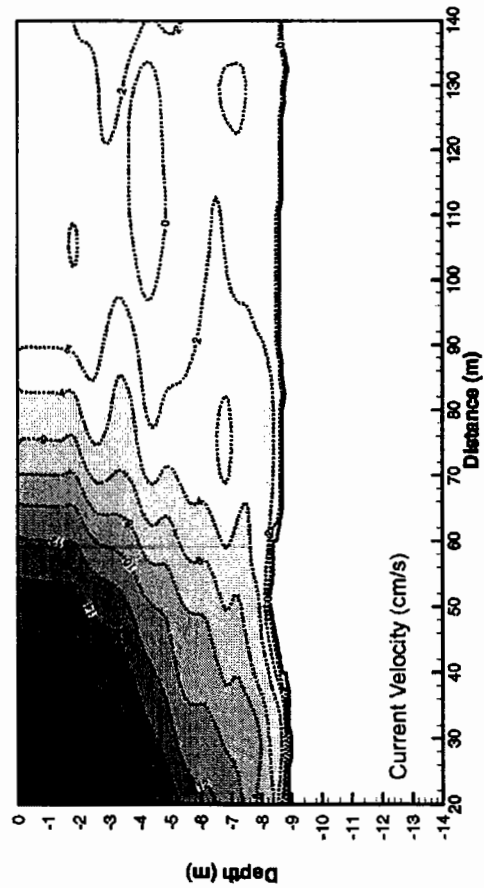
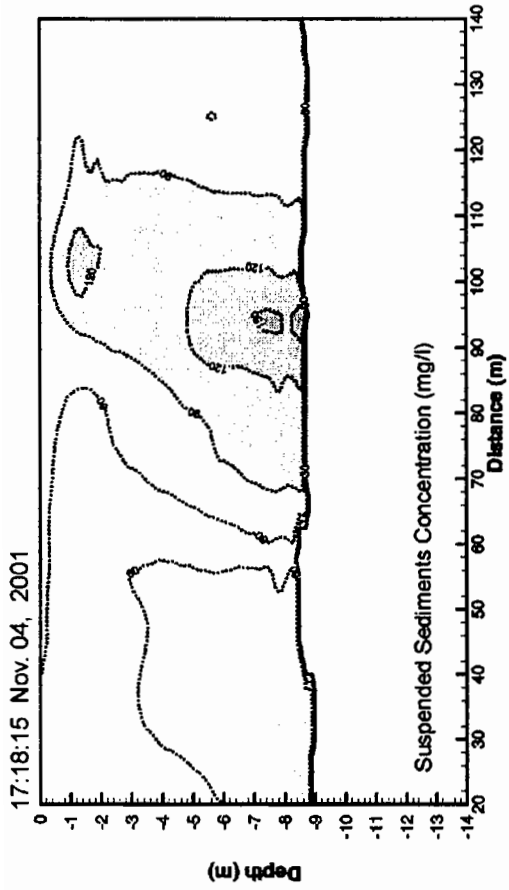
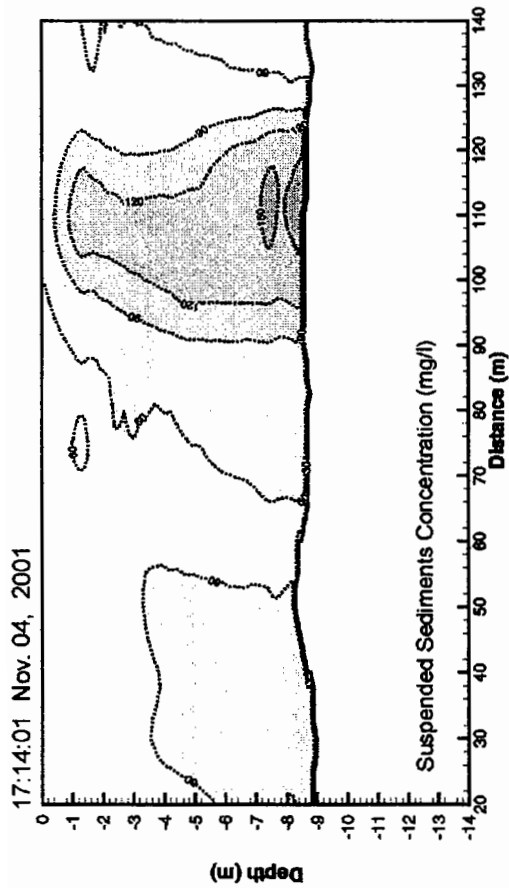


그림 A1.31 (계속).

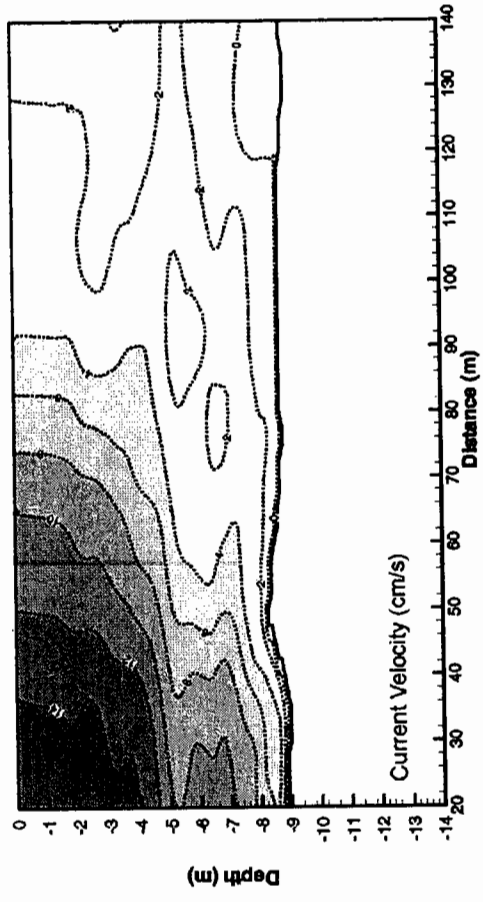
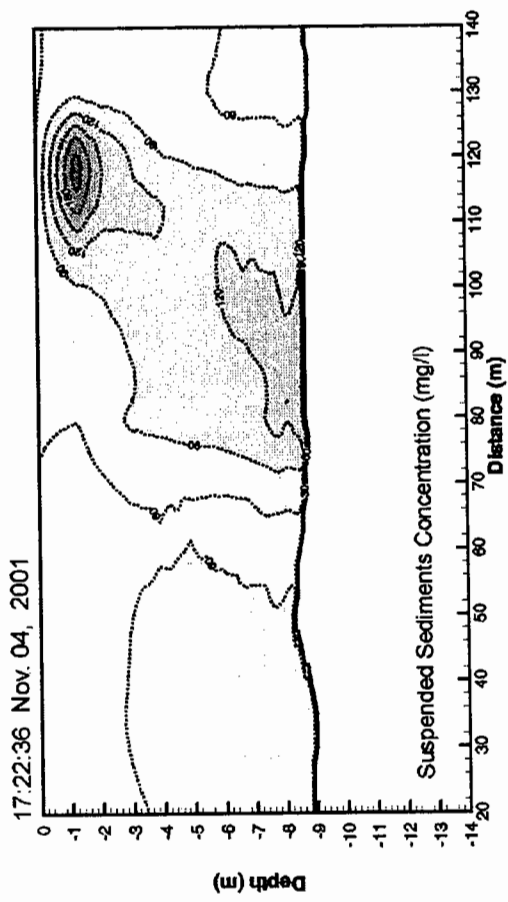


그림 A1.31 (계속).



부록 2  
인천남항 오탁방지막 효율  
현장관측결과



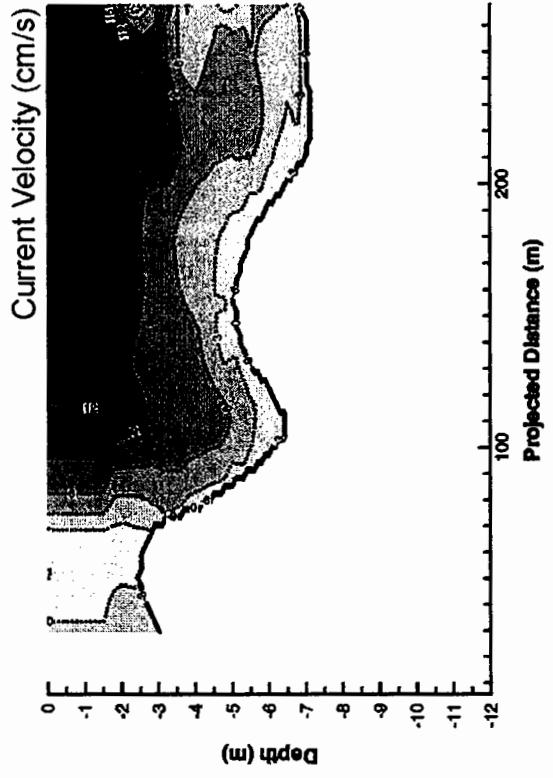
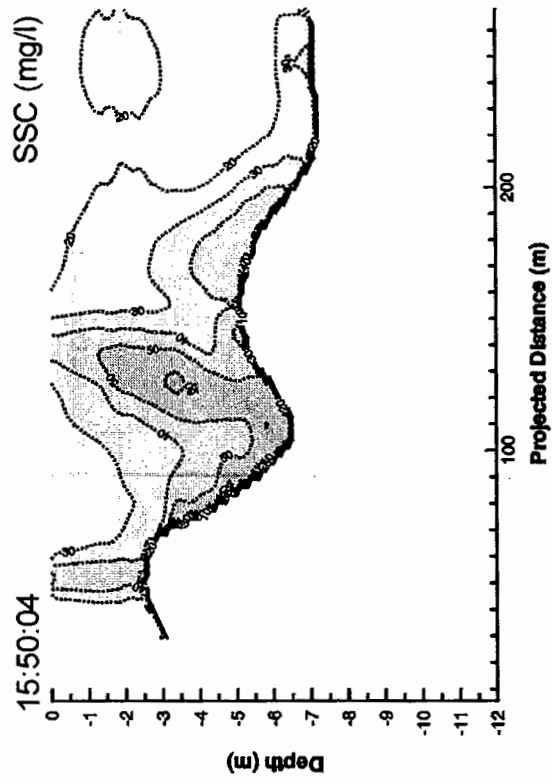
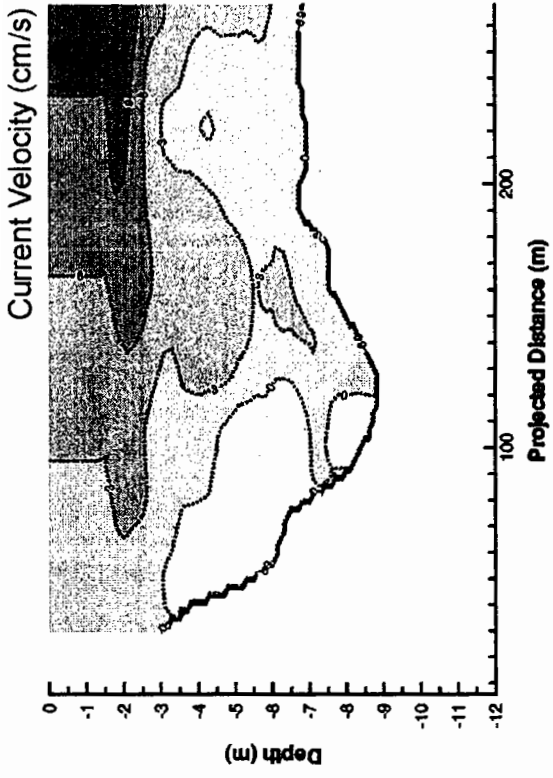
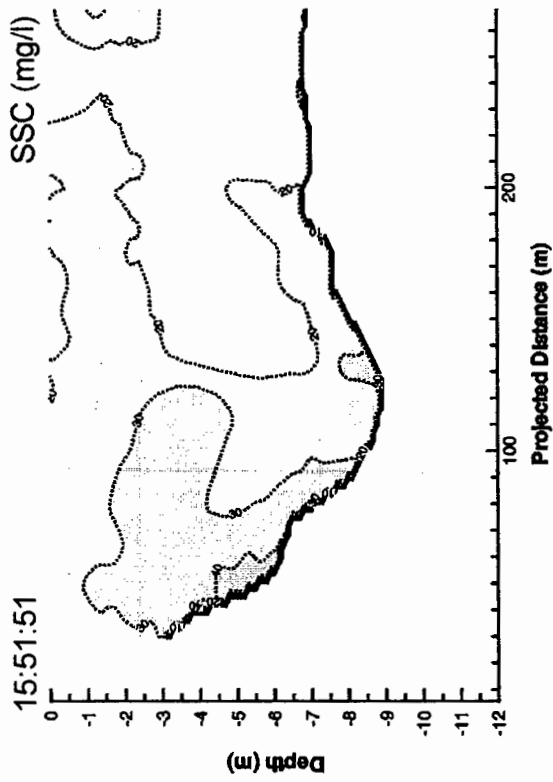


그림 A2.1 Grab 준설시 오락방지막 전후 부유퇴적물 농도 및 유속 단면분포도 (인천남포도, 아래: 방지막 전면, 위: 후면).



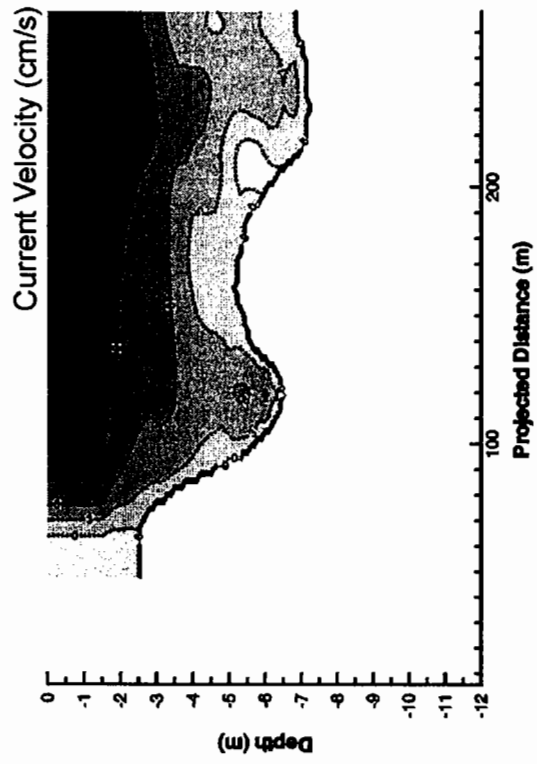
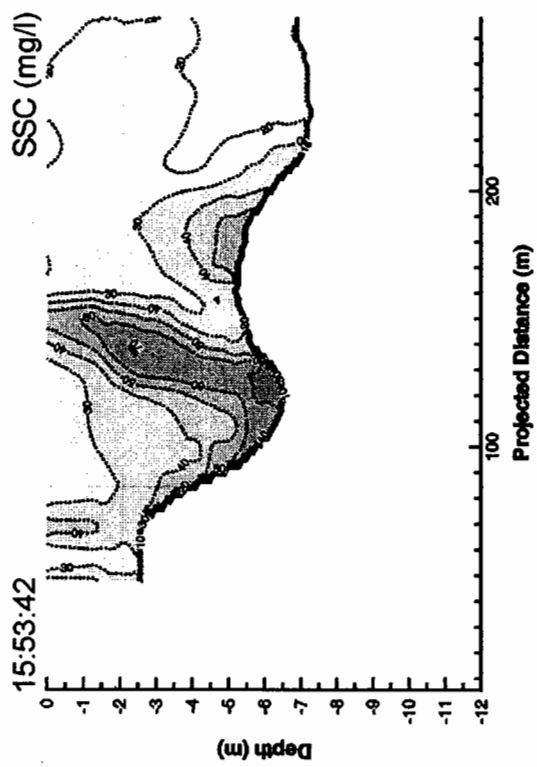
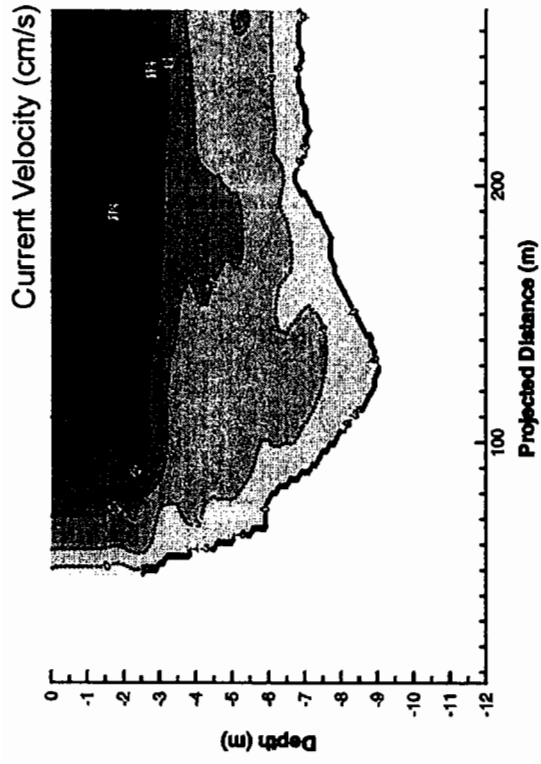
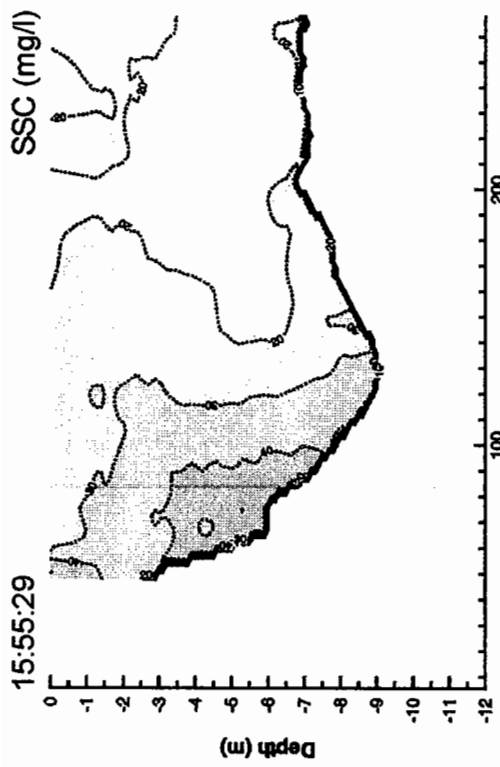


그림 A2.1 (계 속).

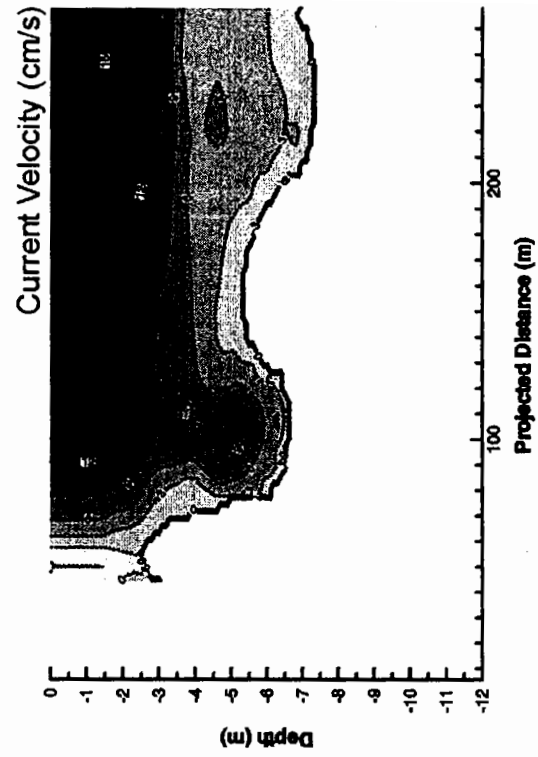
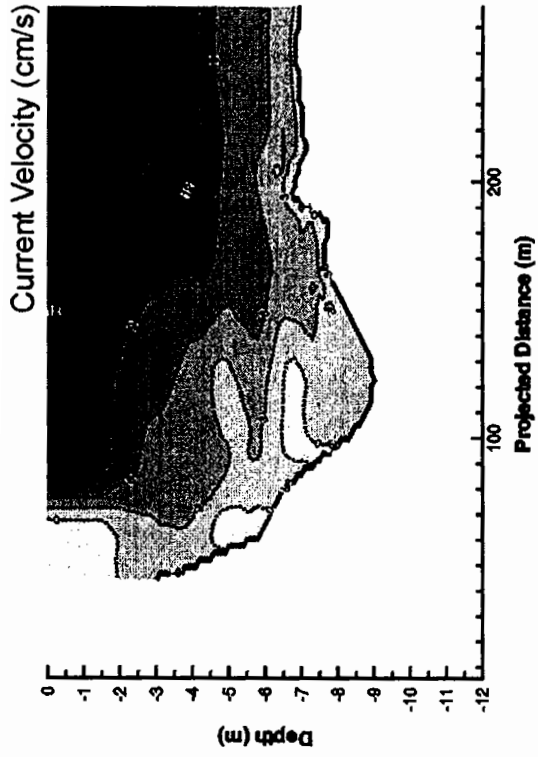
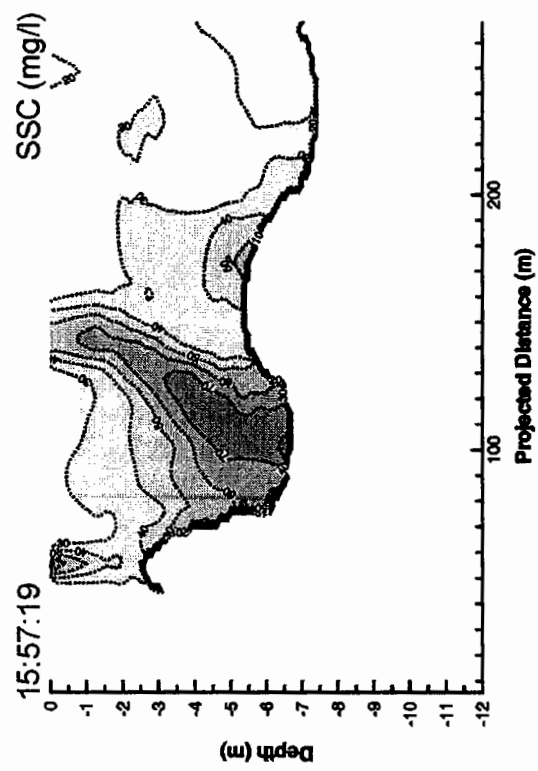
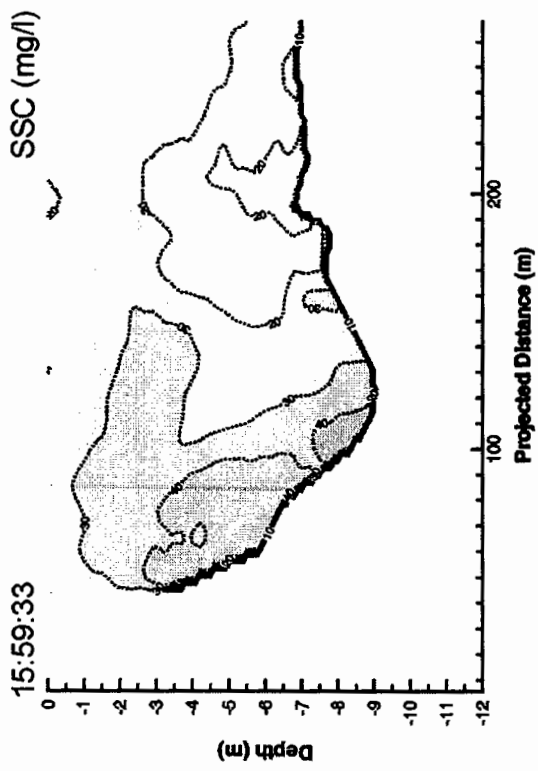


그림 A2.1 (계 속).

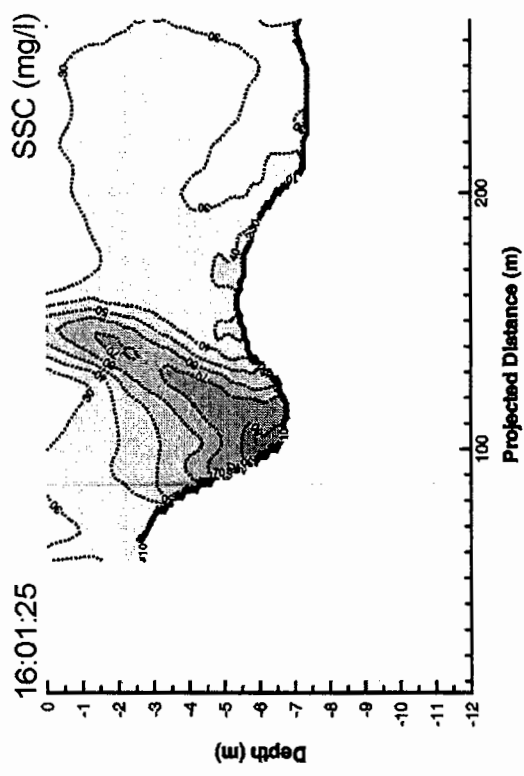
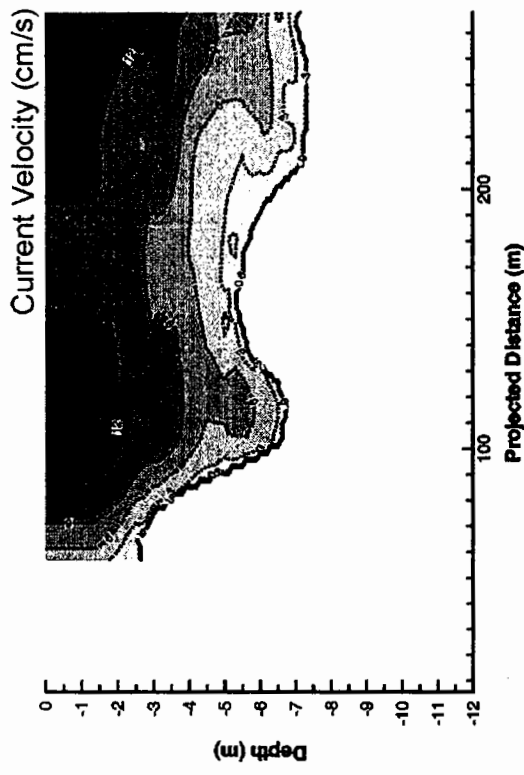
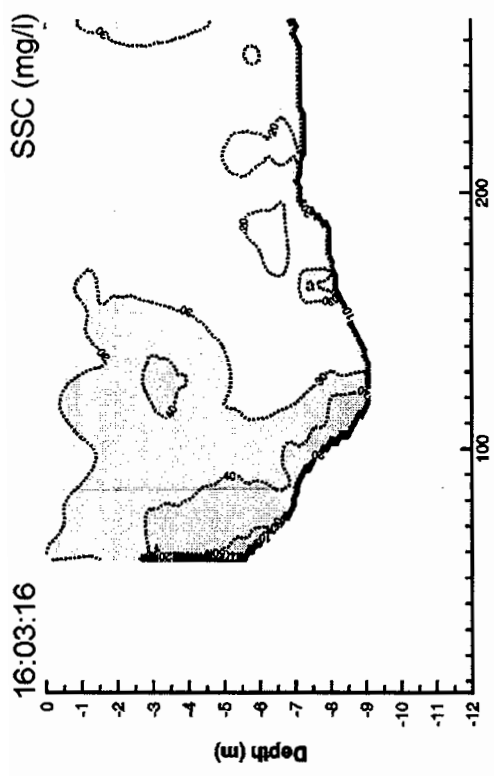
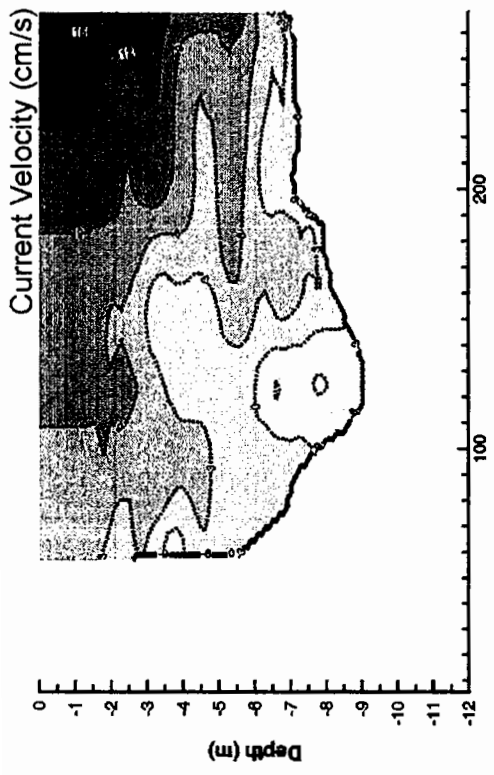


그림 A2.1 (계 속).

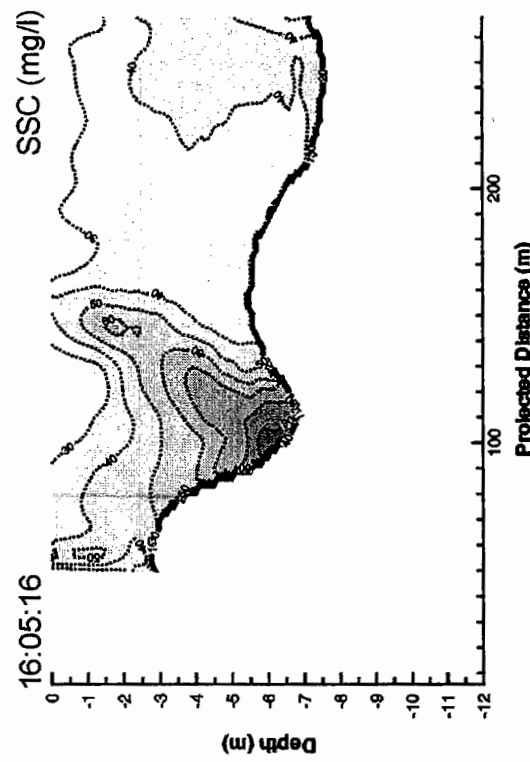
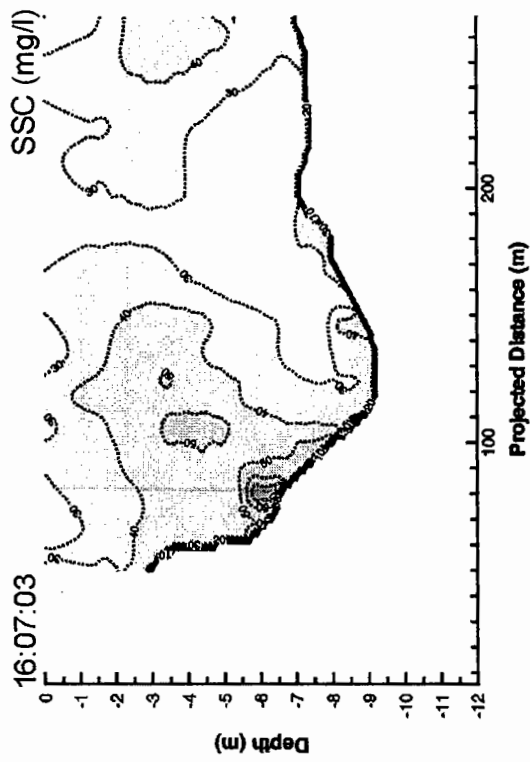
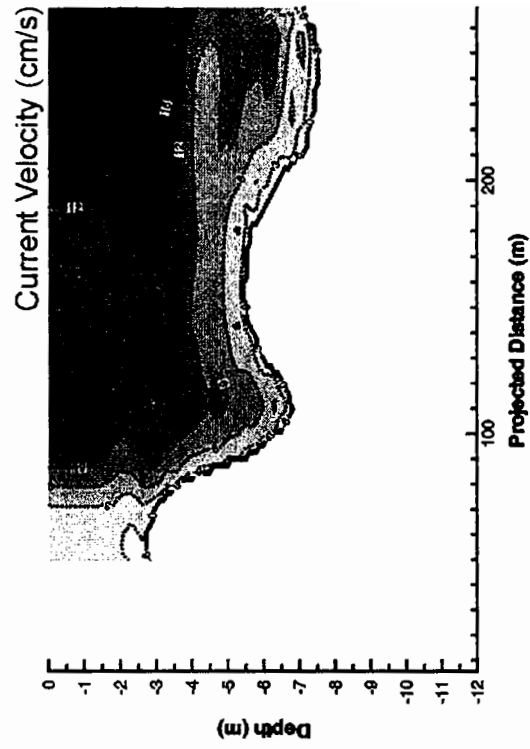
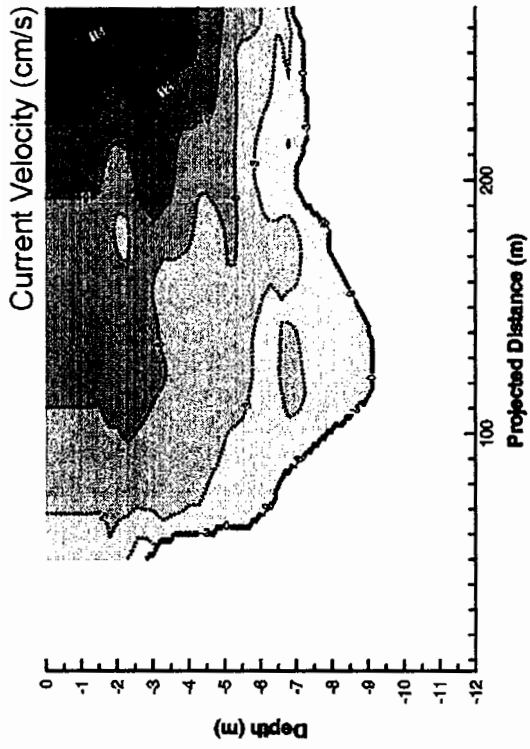


그림 A2.1 (계 속).

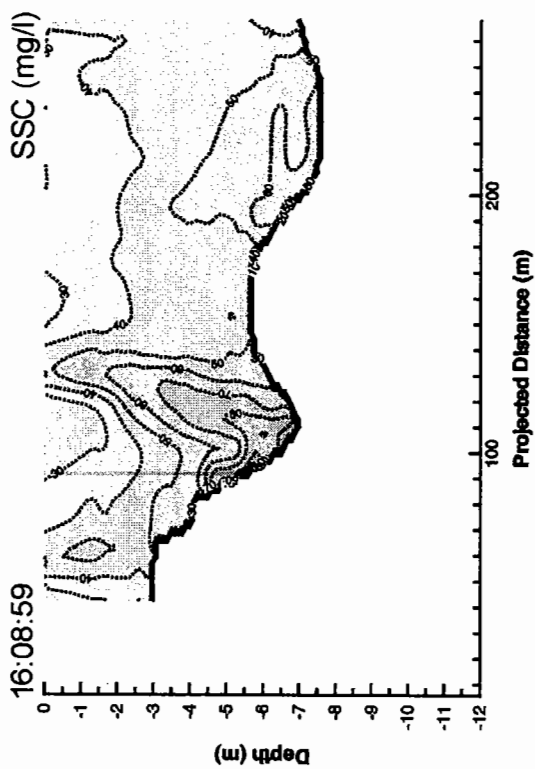
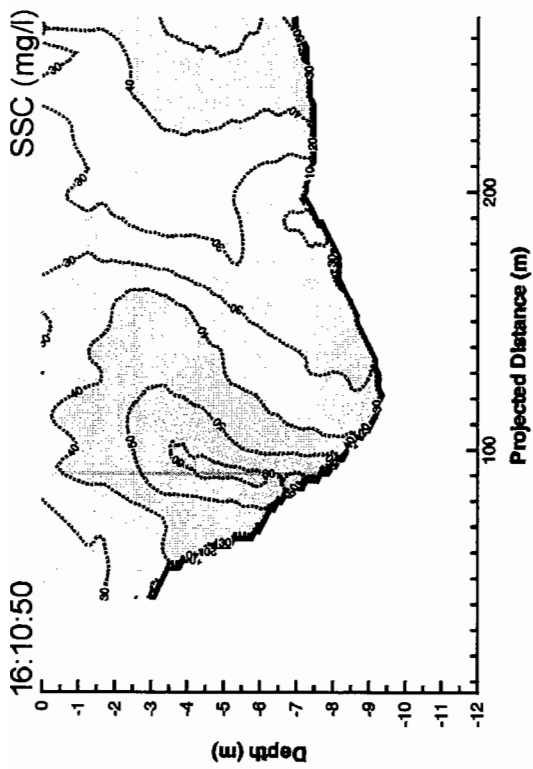
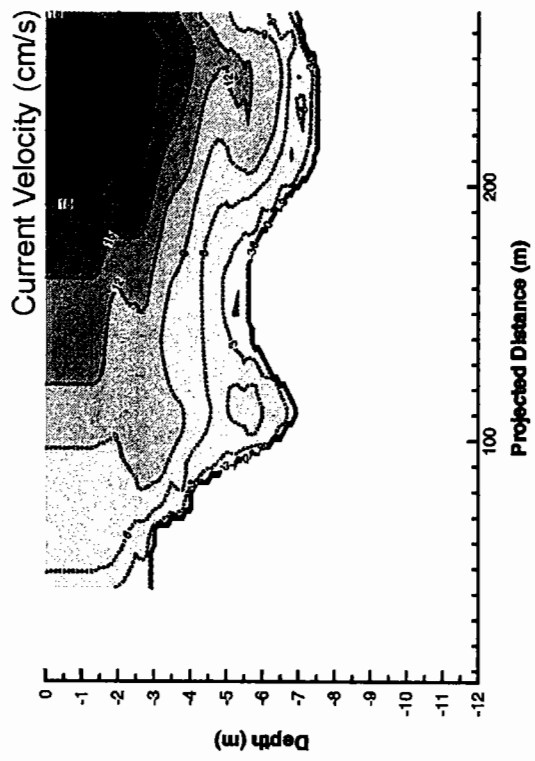
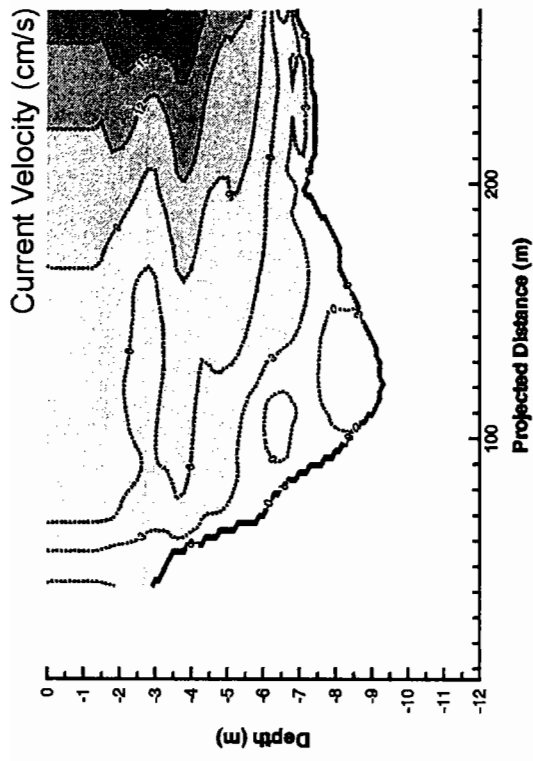


그림 A2.1 (계 속).

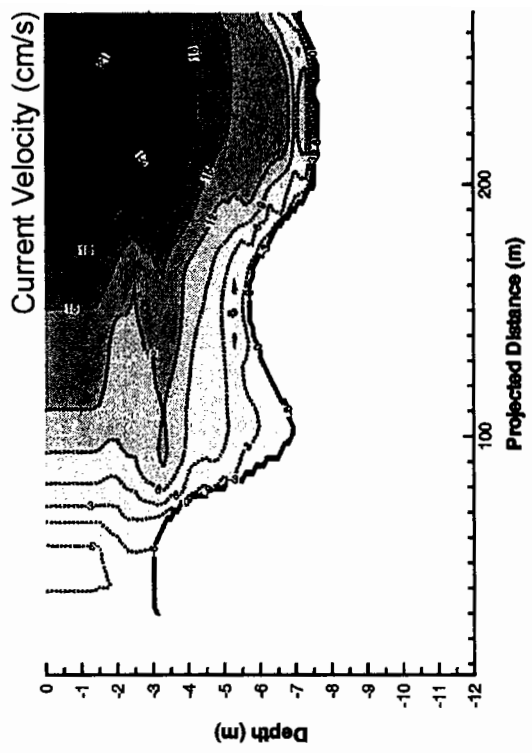
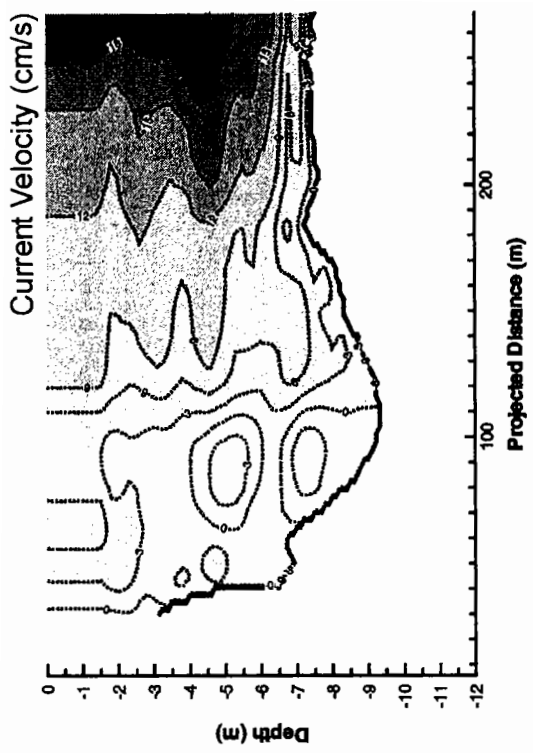
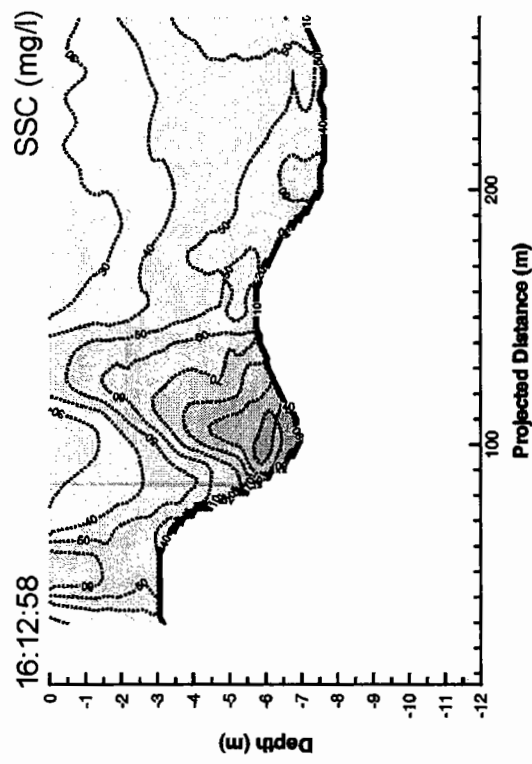
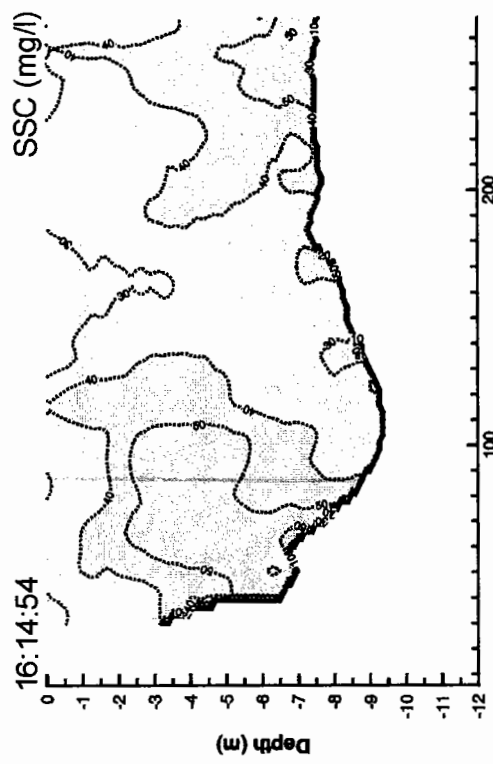


그림 A2.1 (계 속).

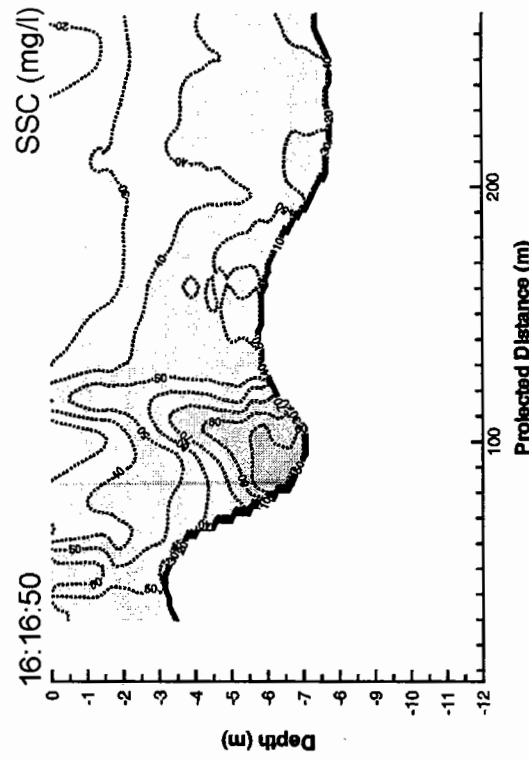
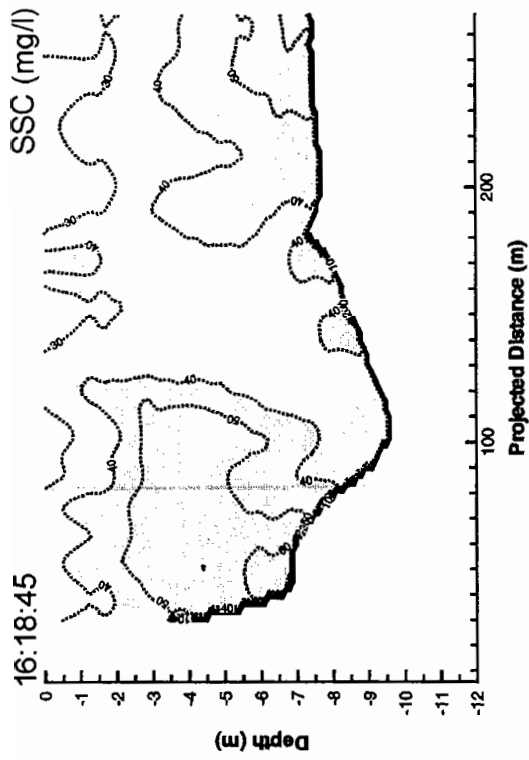
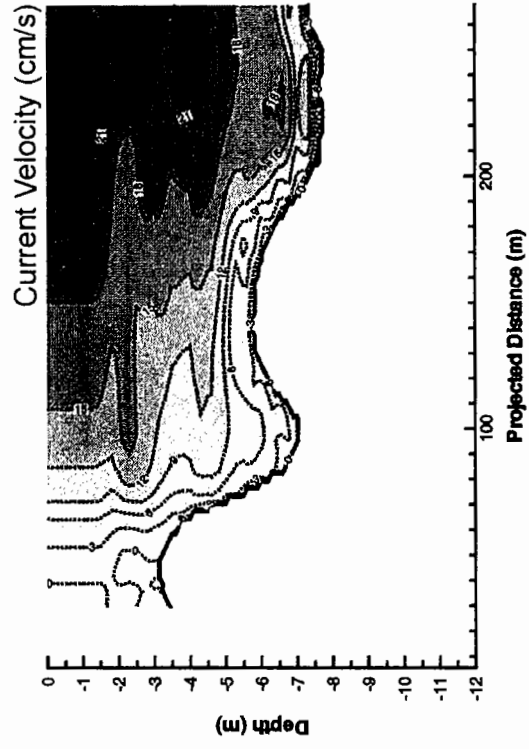
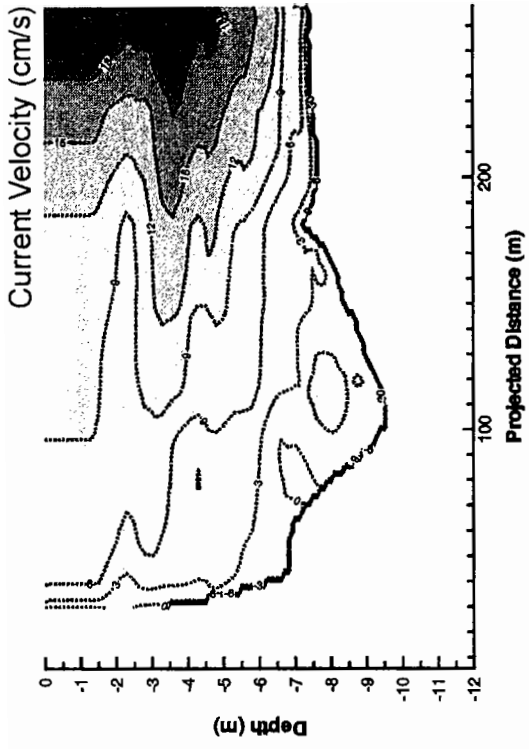


그림 A2.1 (계속).

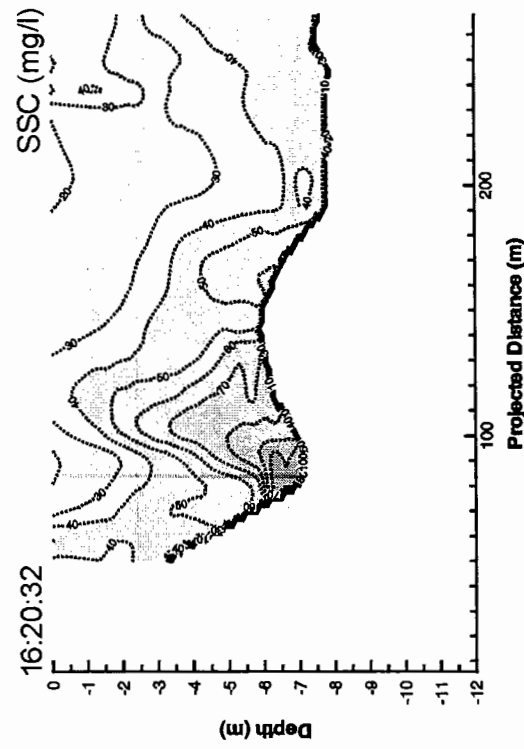
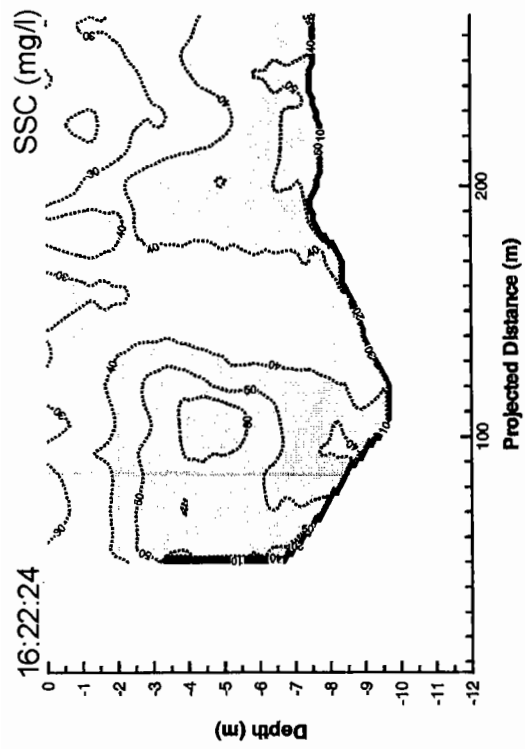
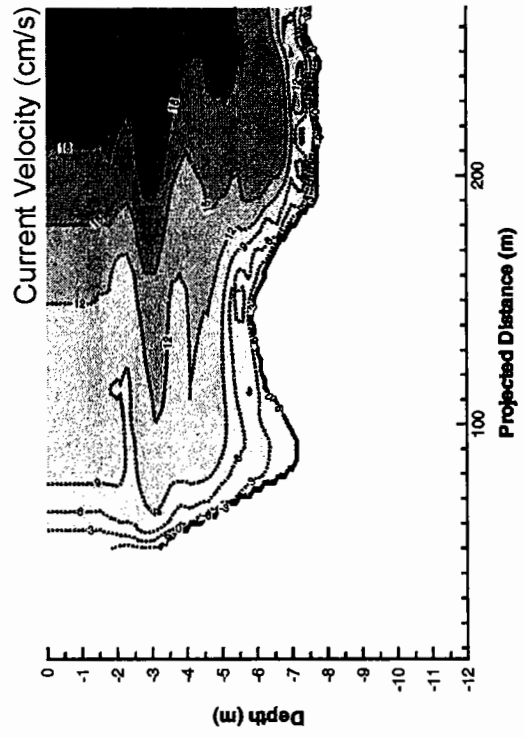
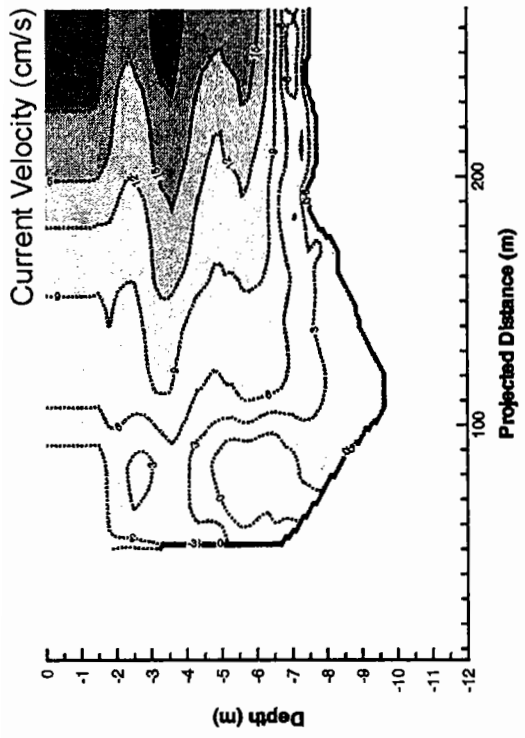


그림 A2.1 (계 속).



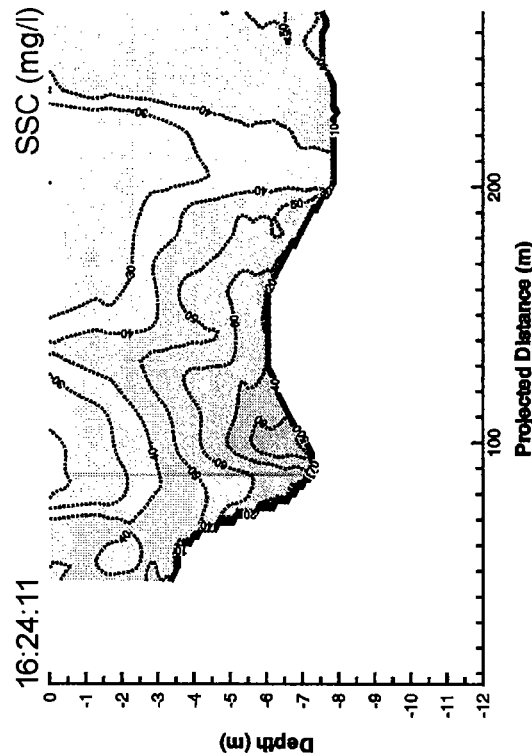
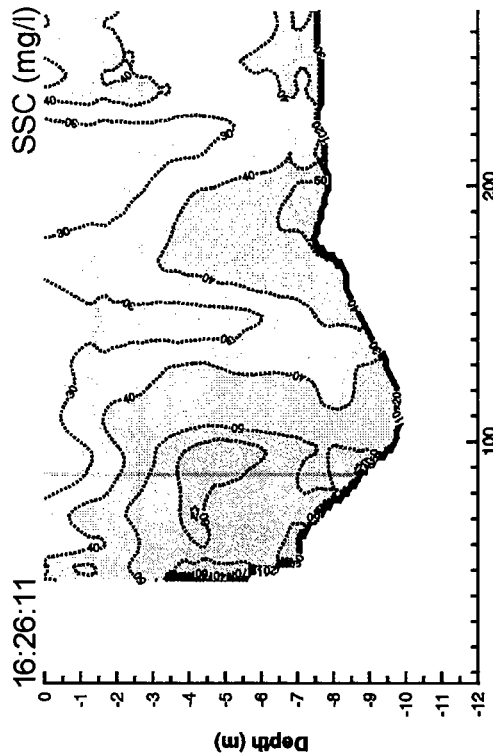
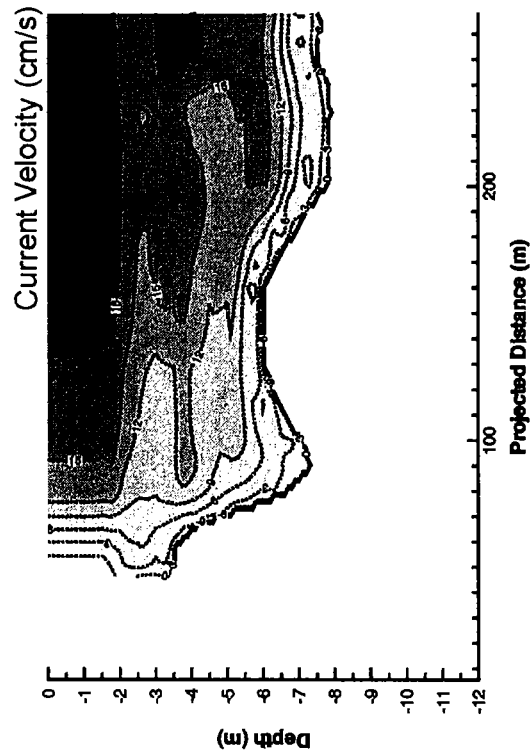
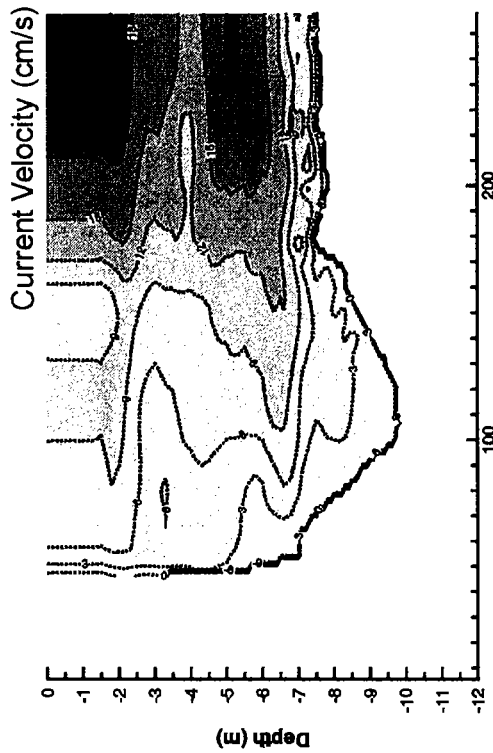


그림 A2.1 (계 속).

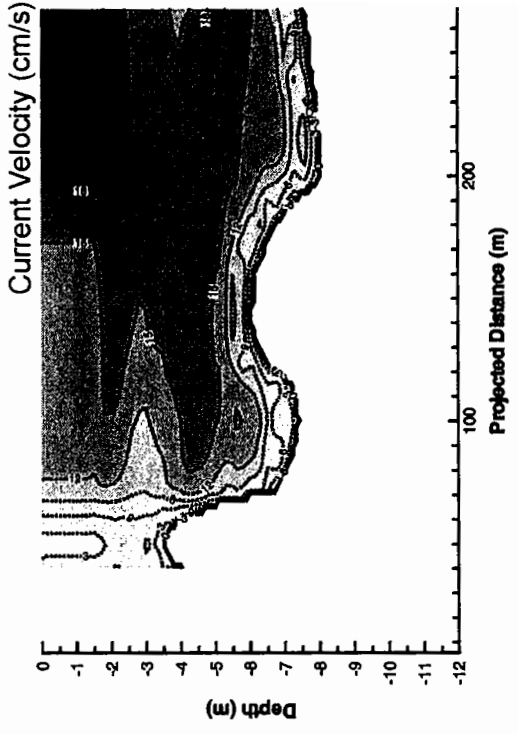
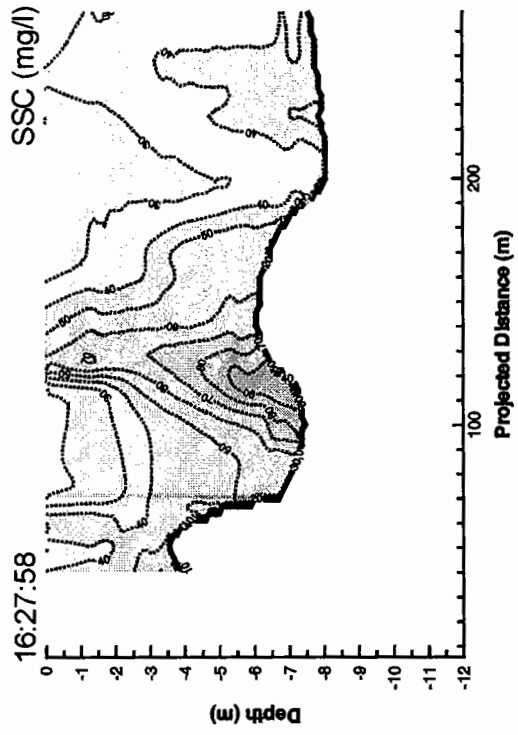
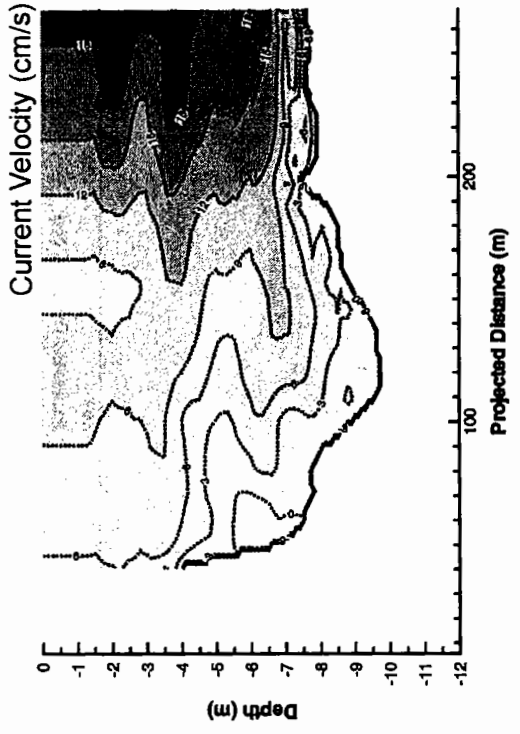
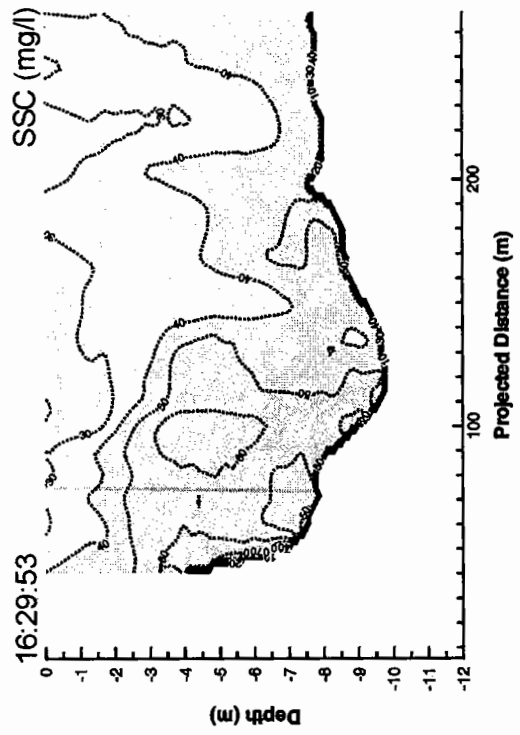


그림 A2.1 (계속).

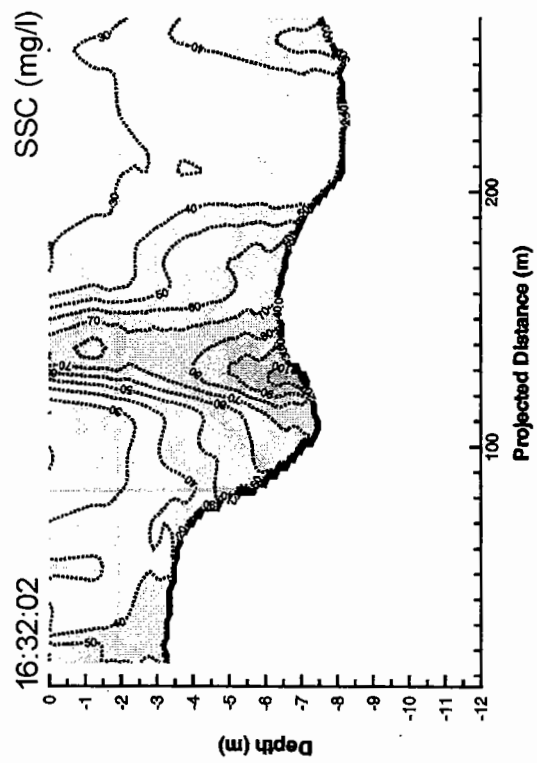
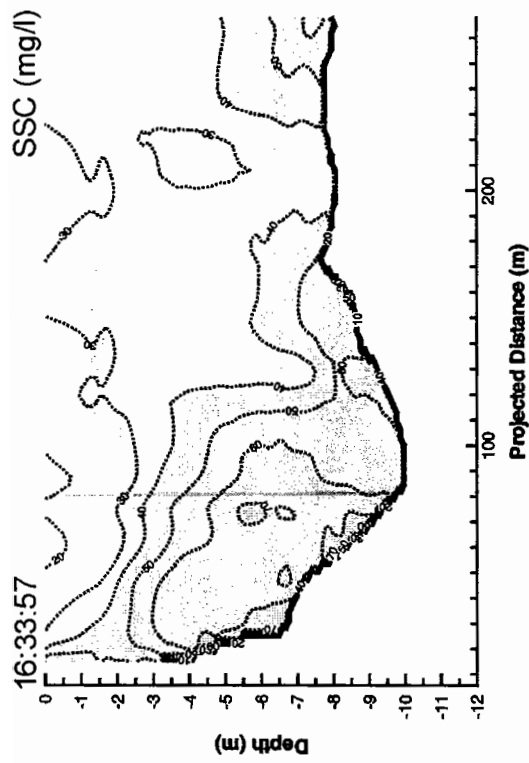
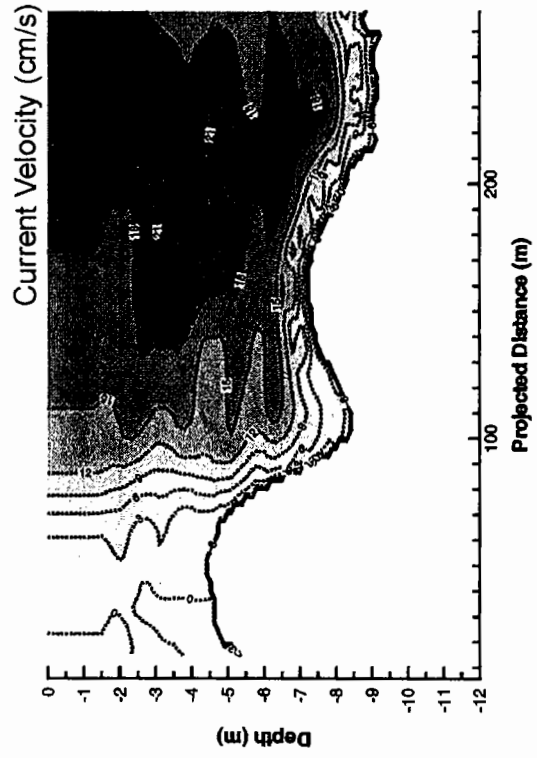
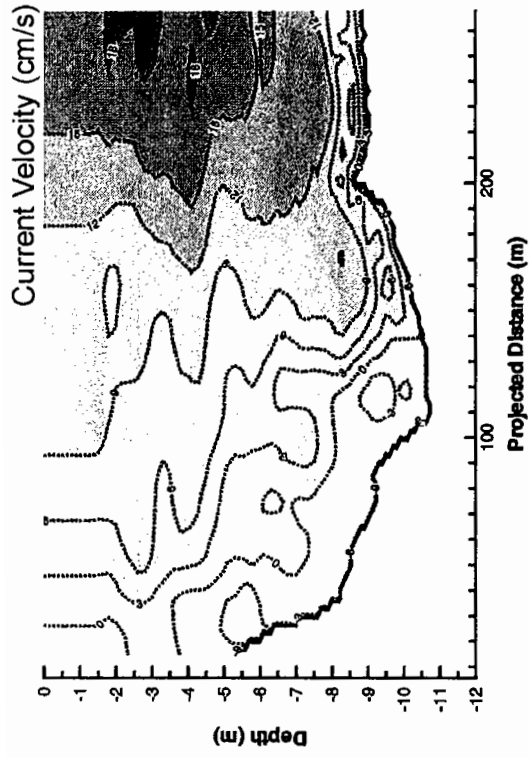


그림 A2.1 (계속).

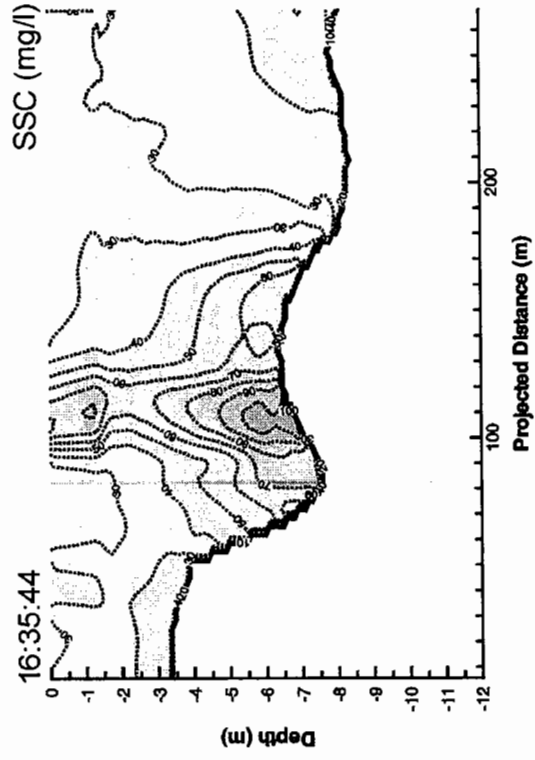
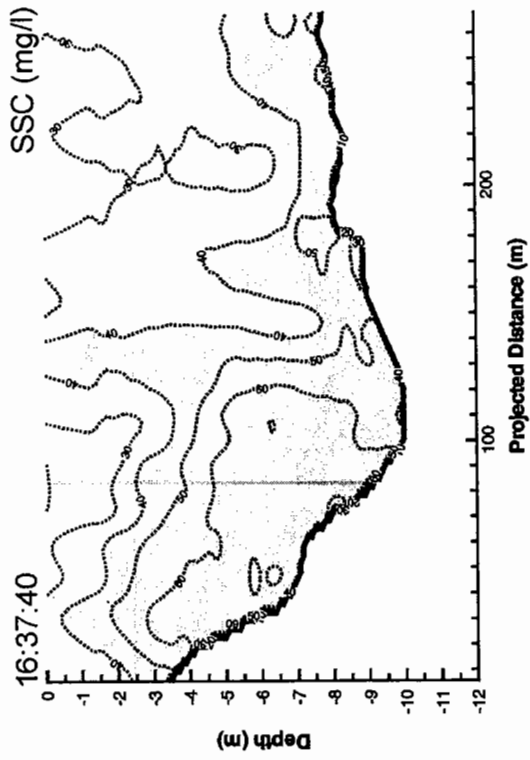
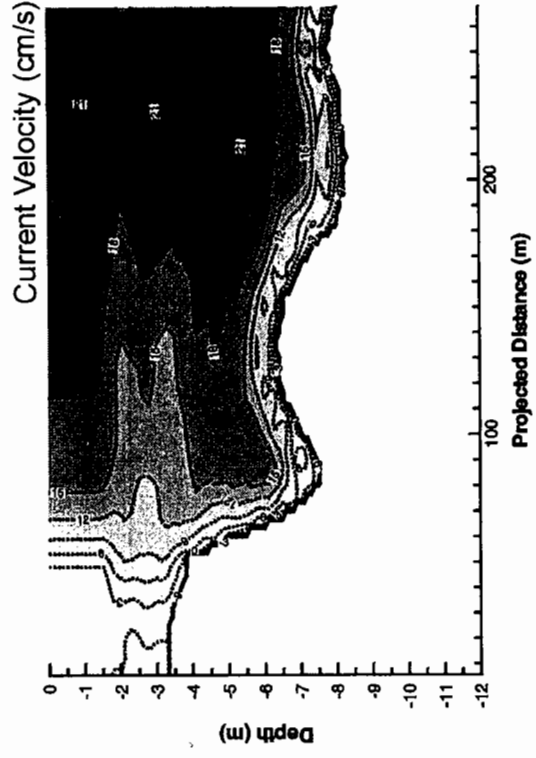
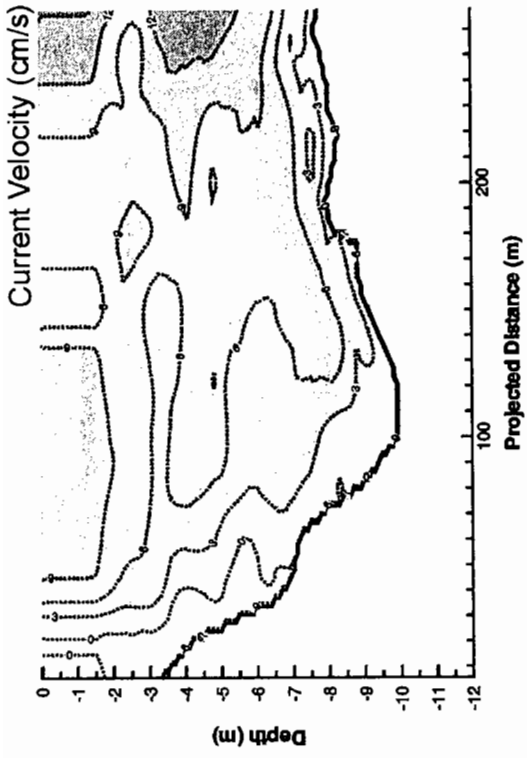


그림 A2.1 (계 속).

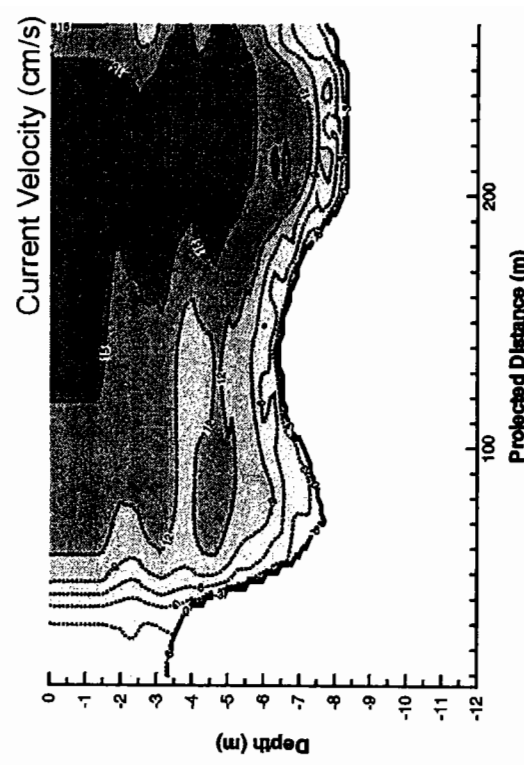
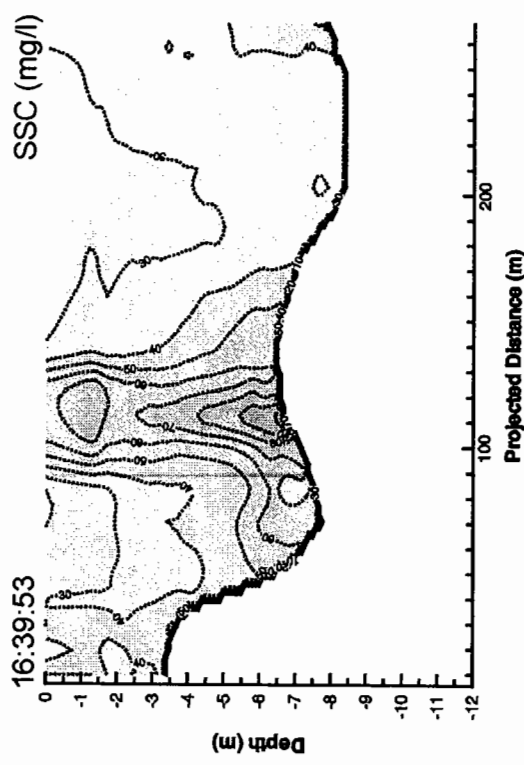
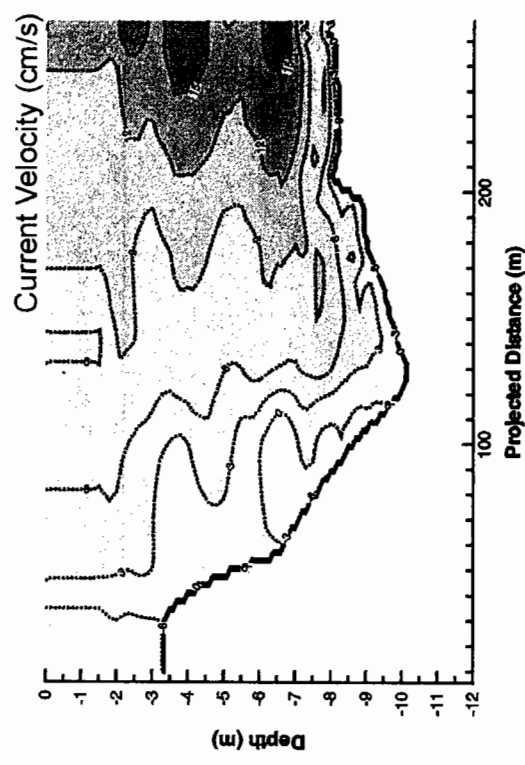
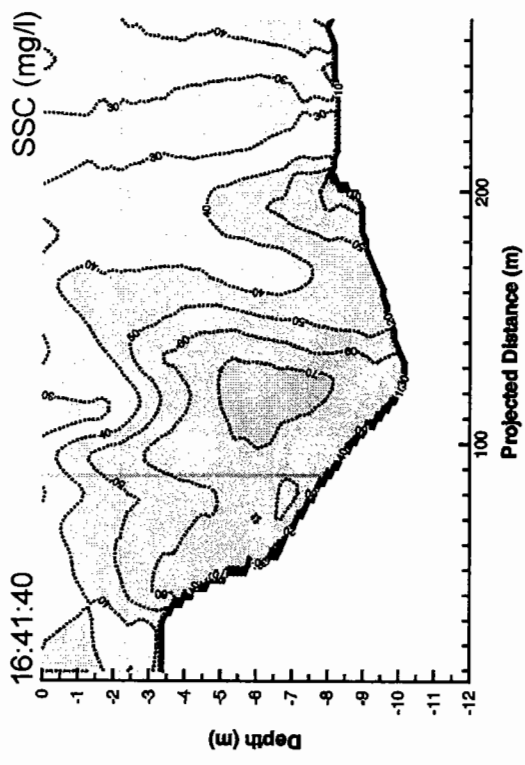


그림 A2.1 (계 속).

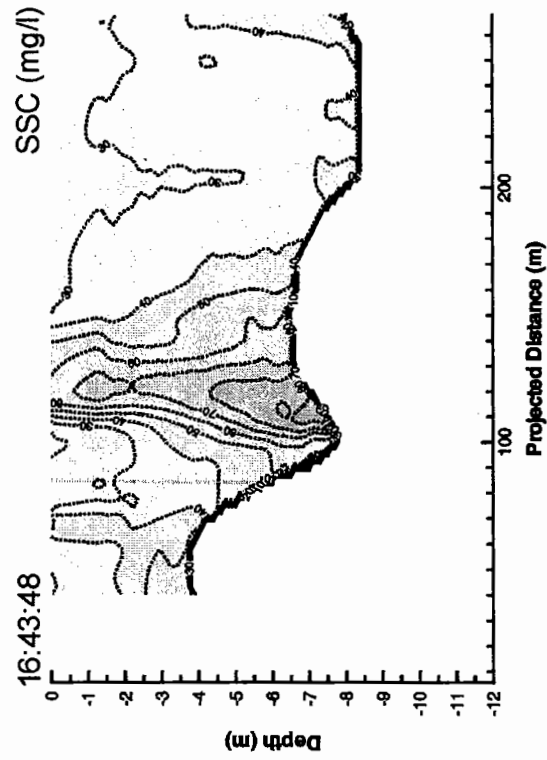
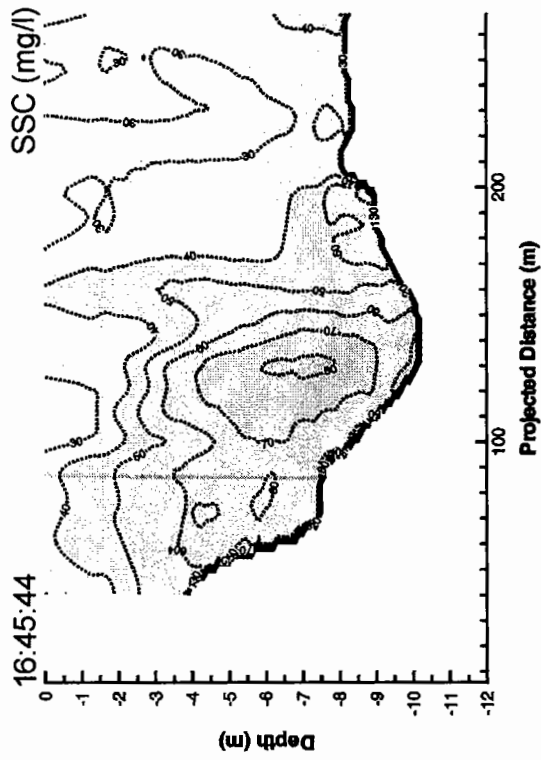
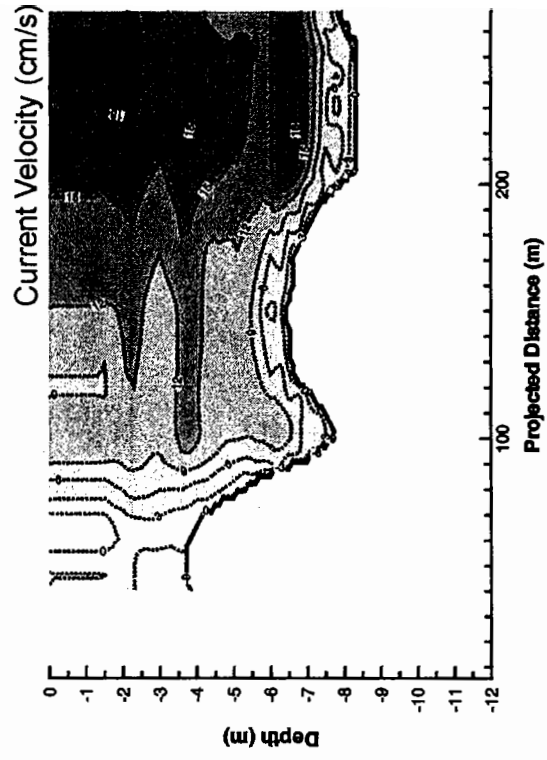
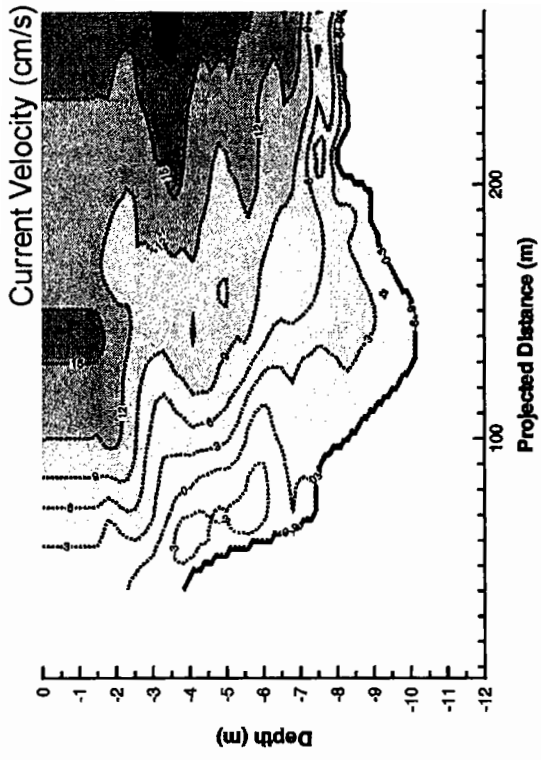


그림 A2.1 (계 속).

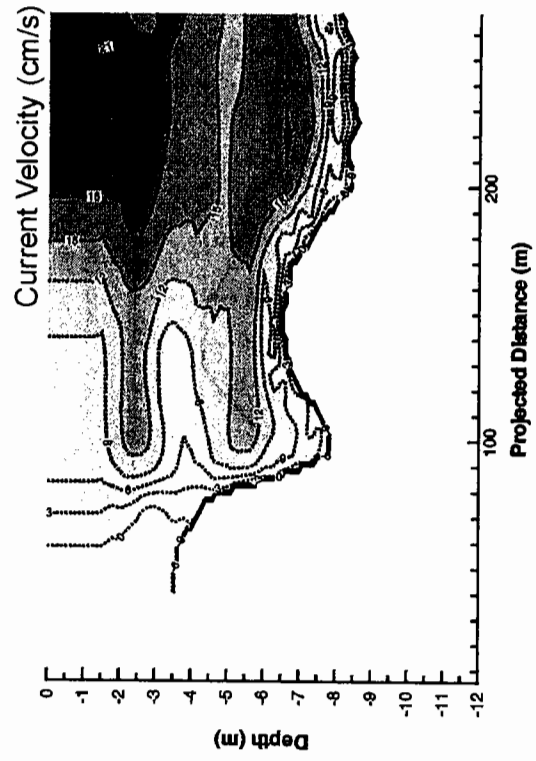
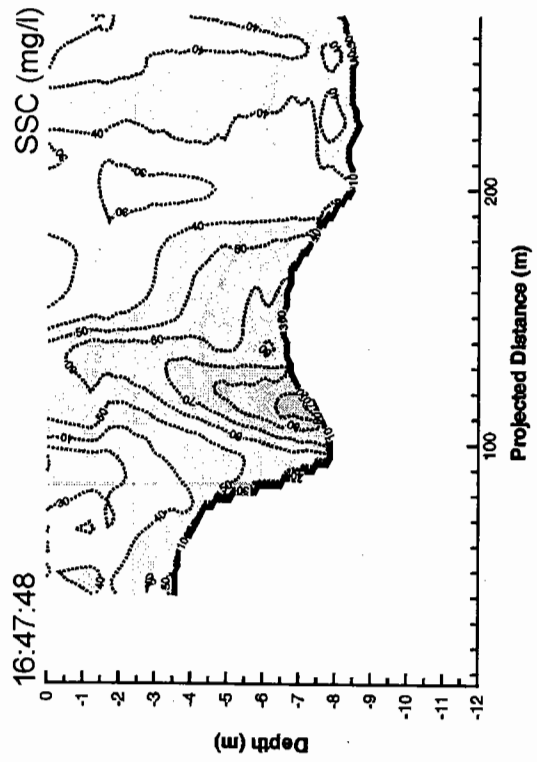
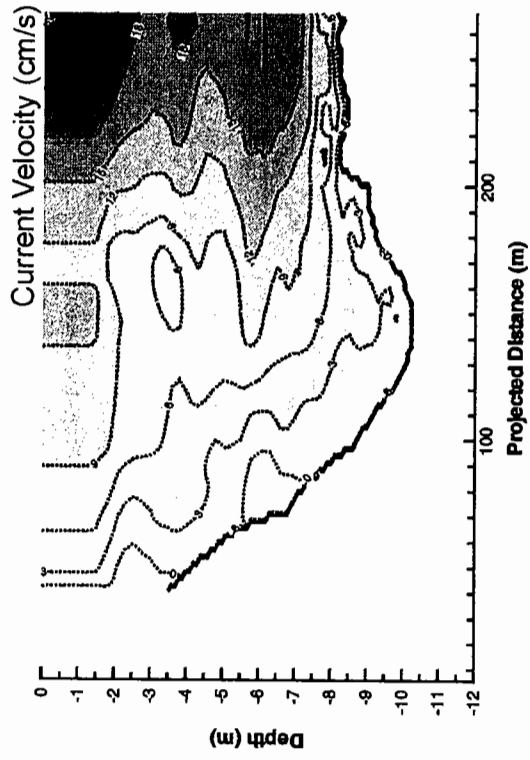
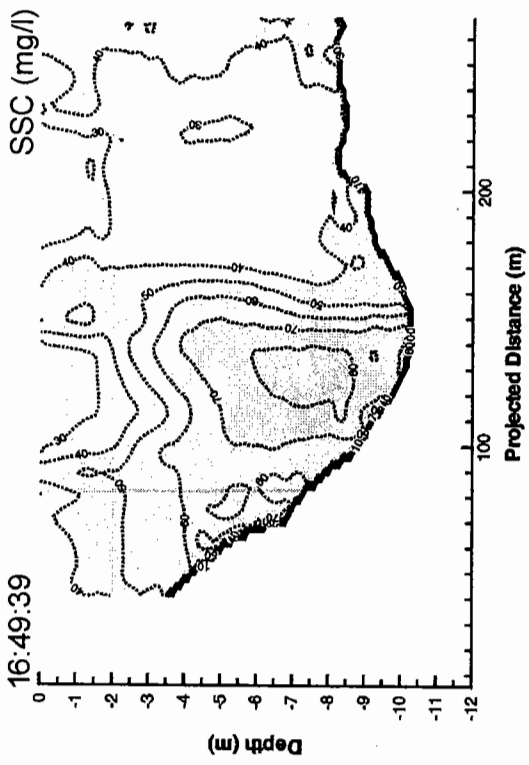


그림 A2.1 (계 속).

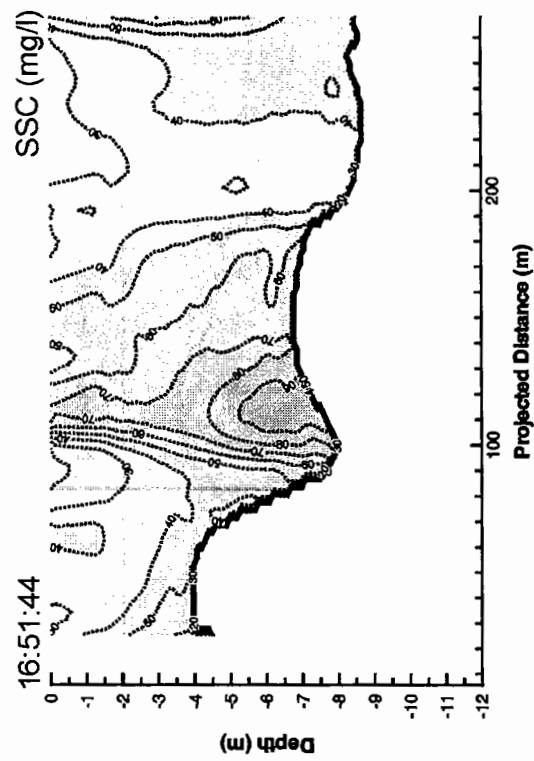
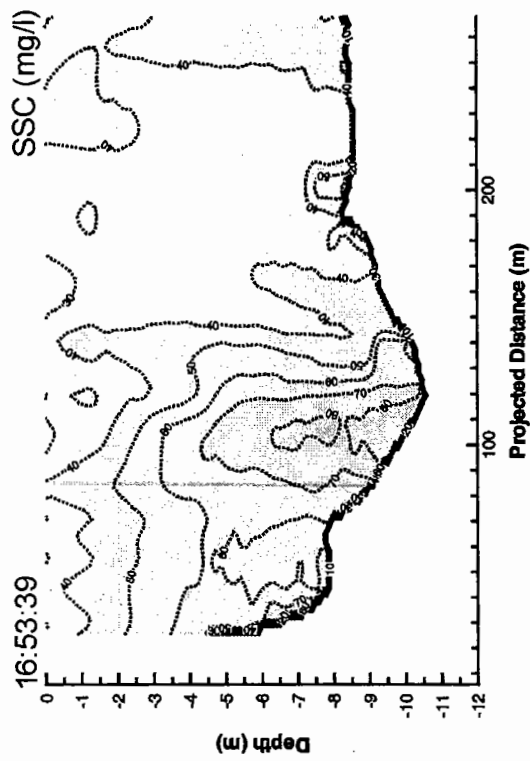
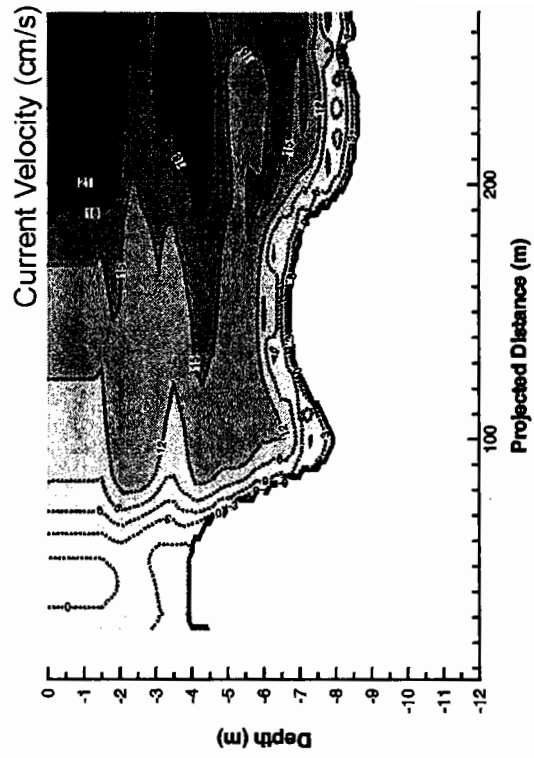
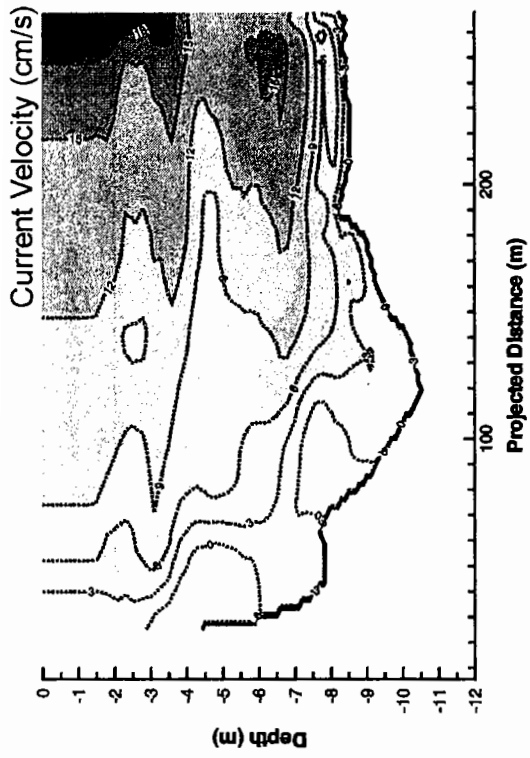


그림 A2.1 (계 속).



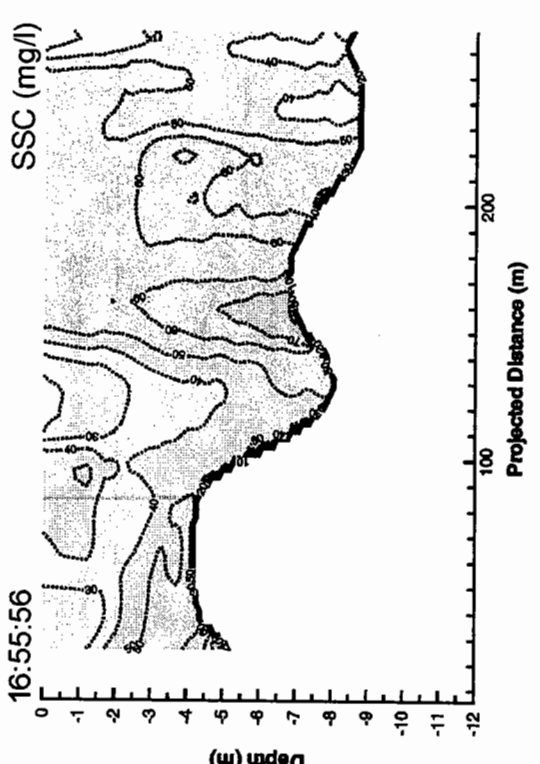
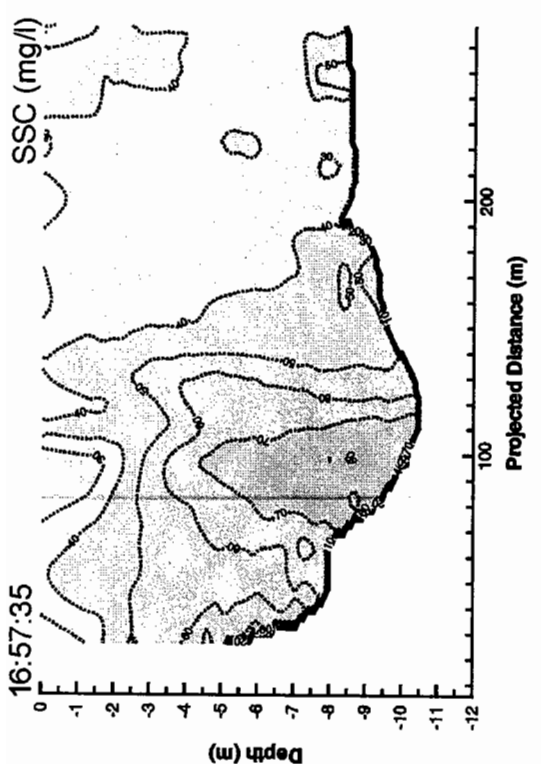
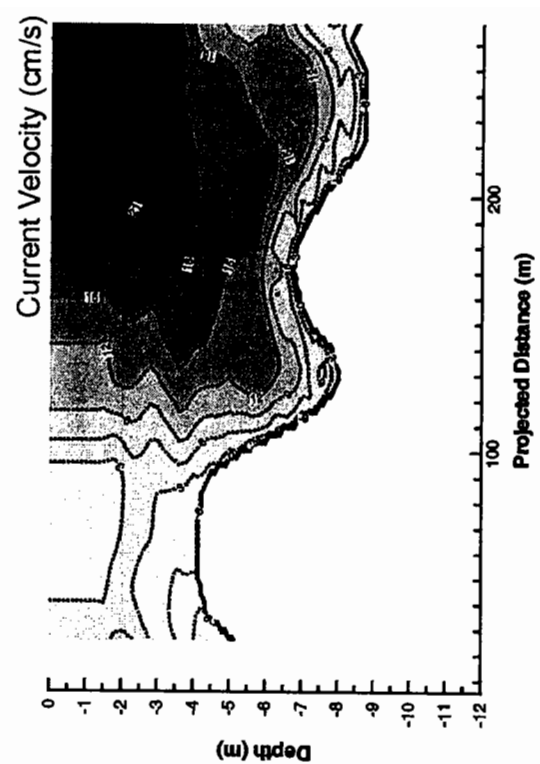
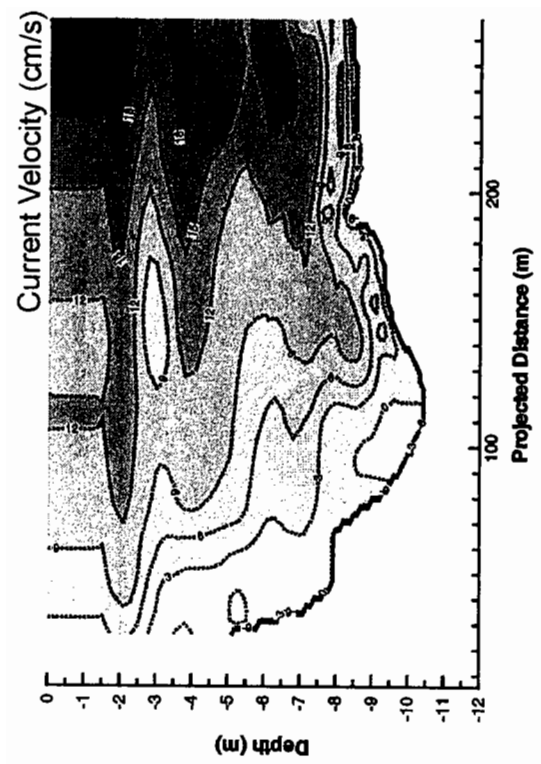


그림 A2.1 (계 속).

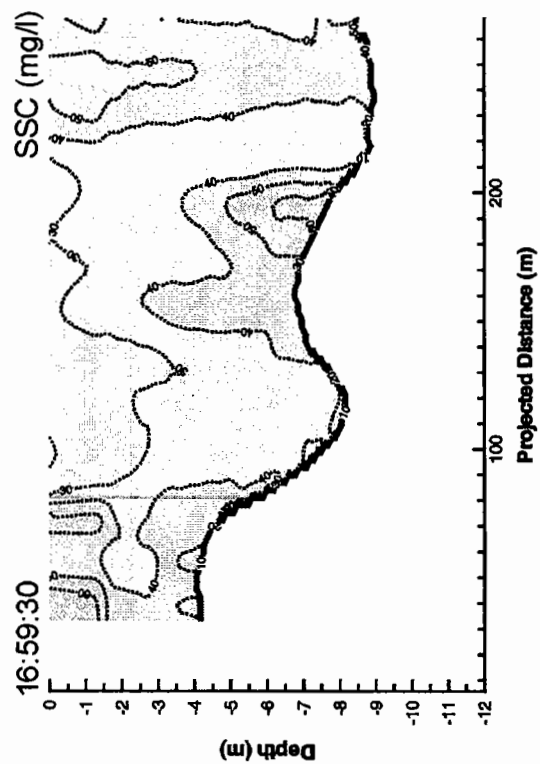
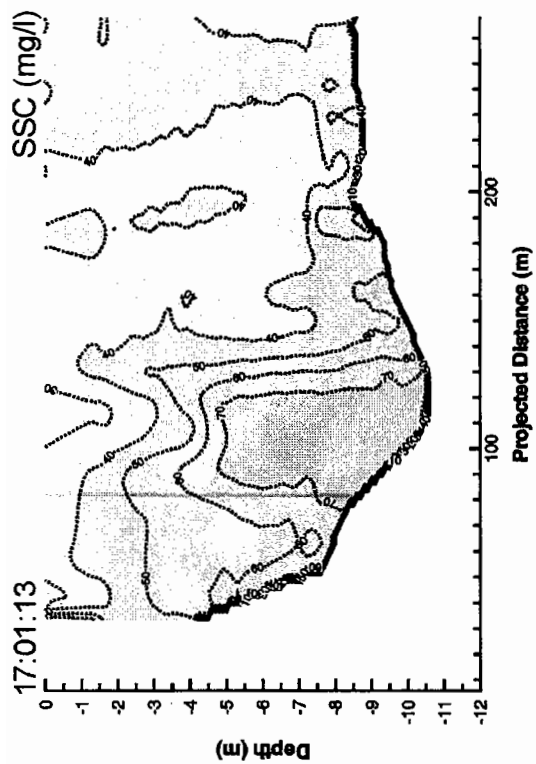
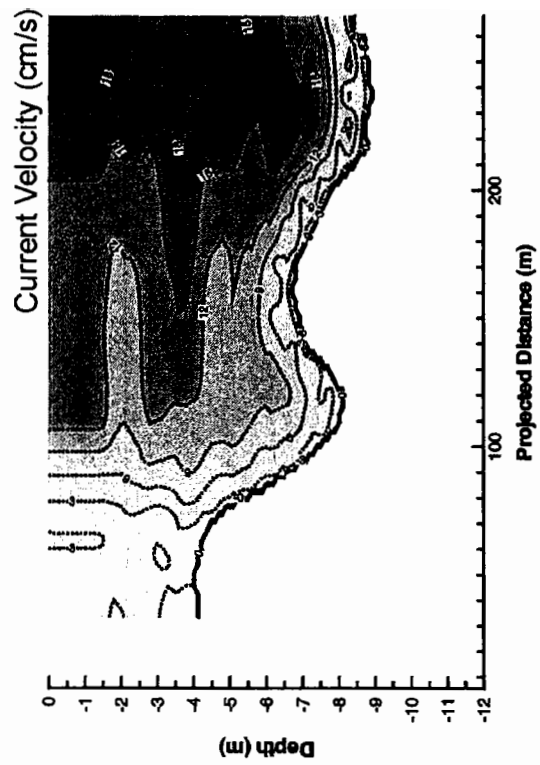
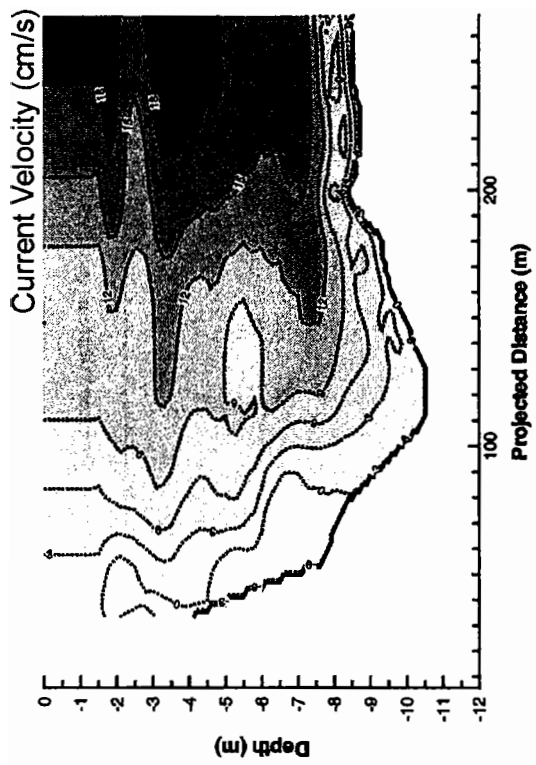


그림 A2.1 (계 속).

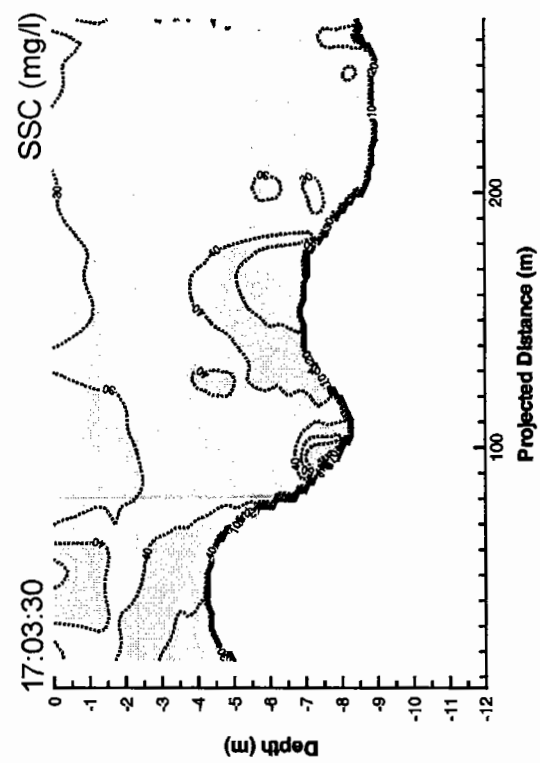
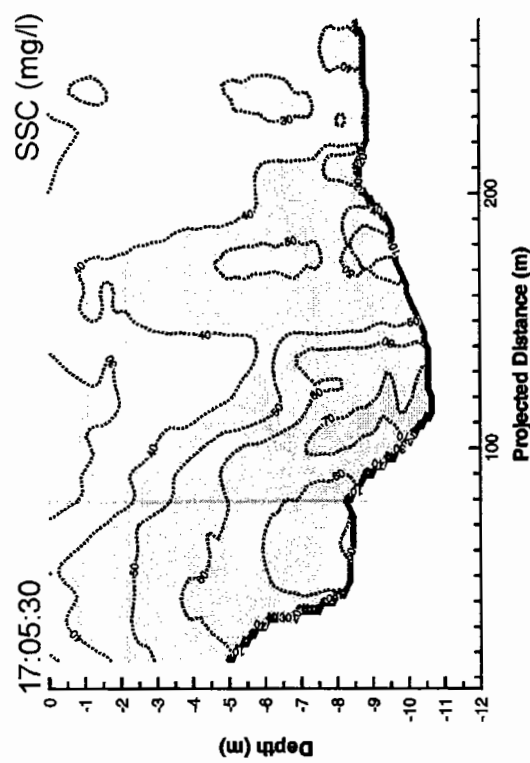
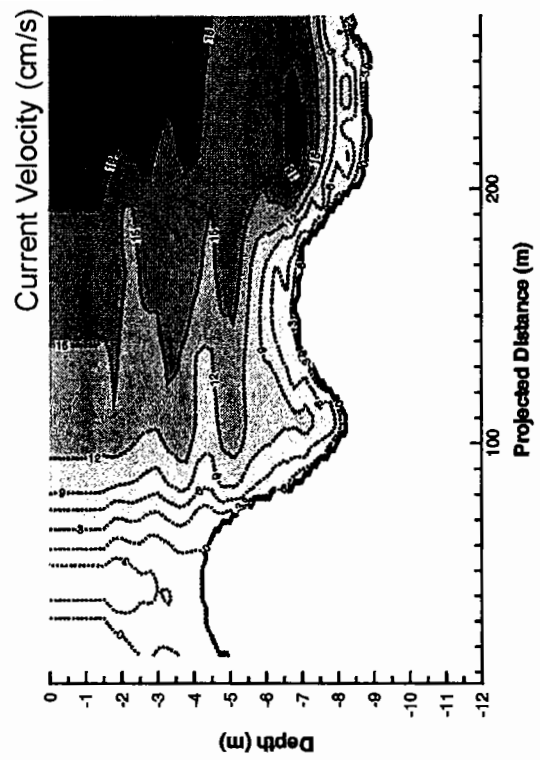
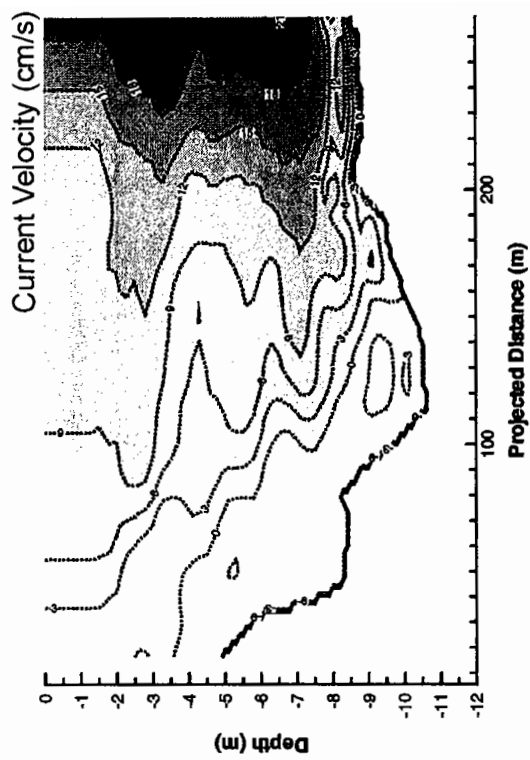


그림 A2.1 (계 속).

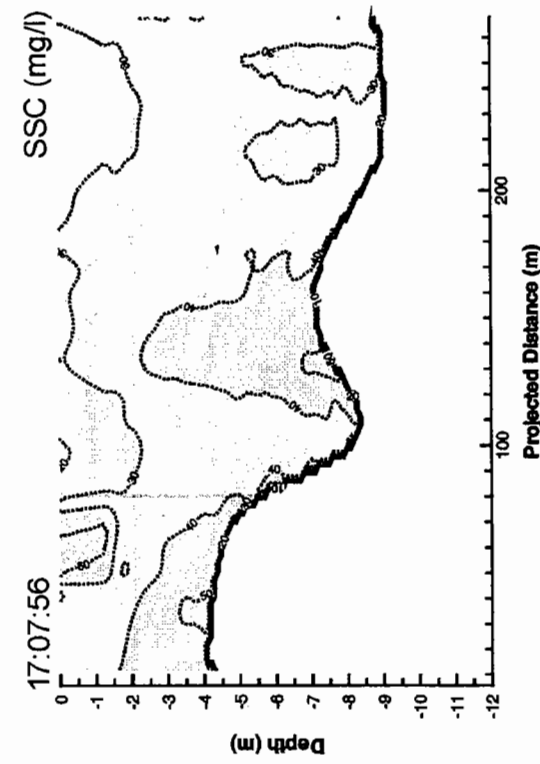
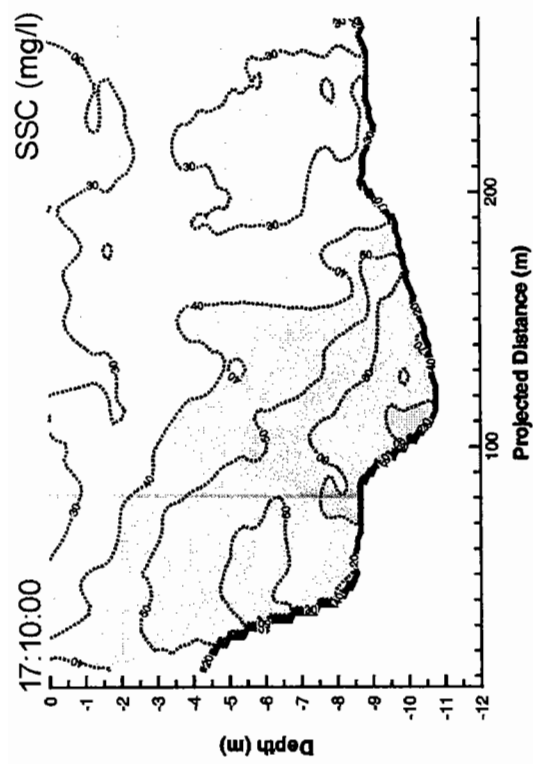
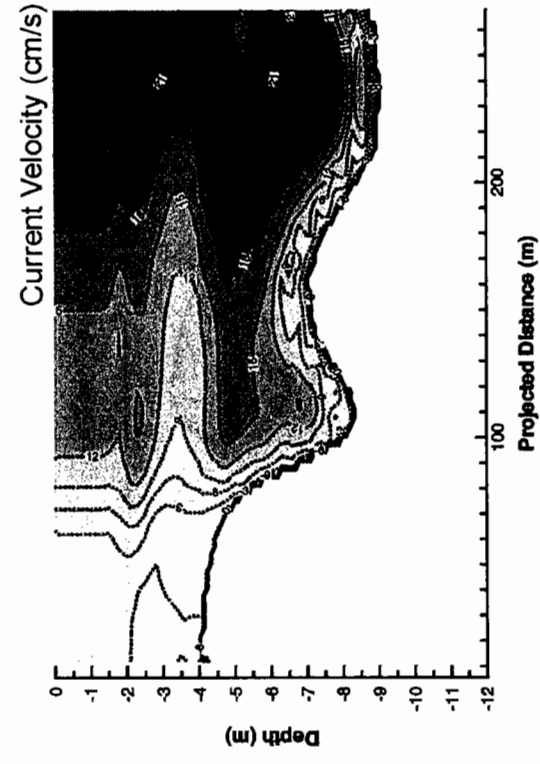
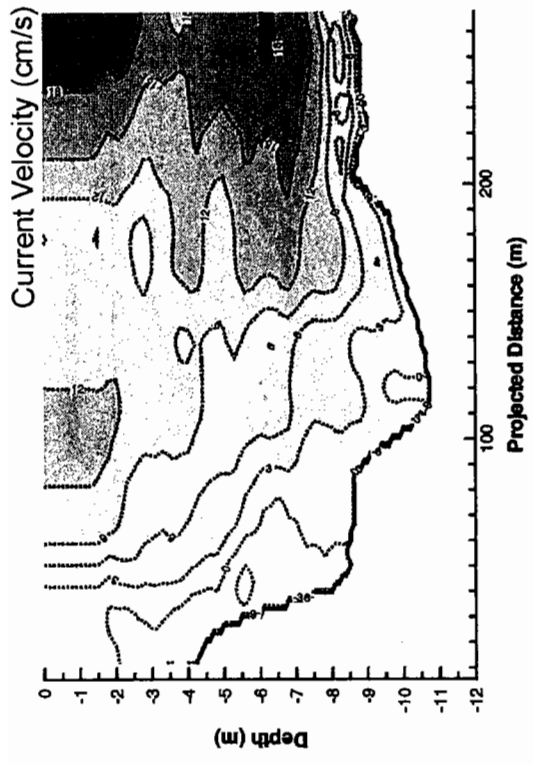


그림 A2.1 (계 속).

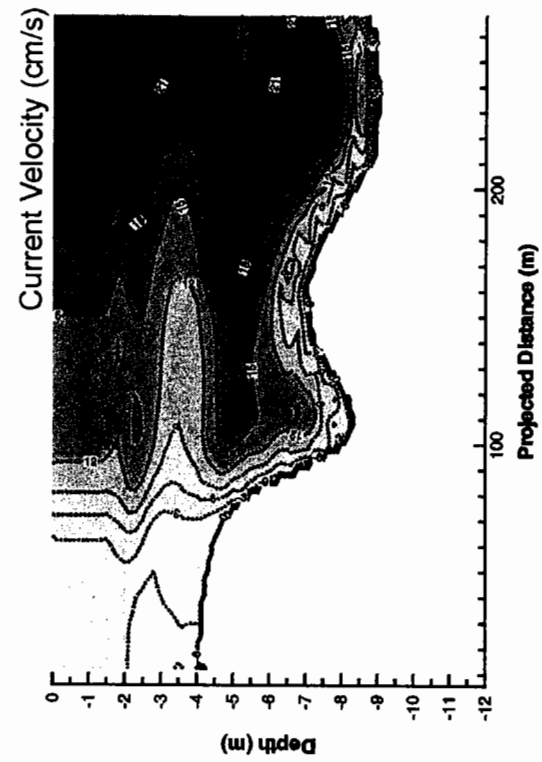
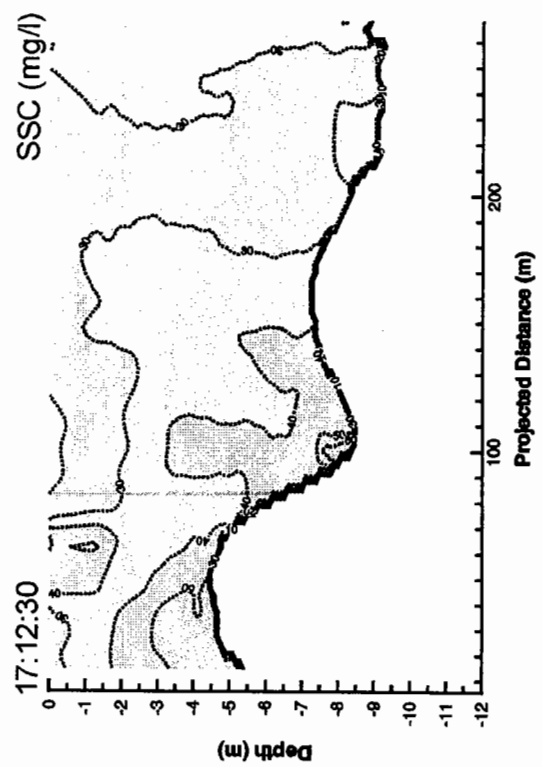
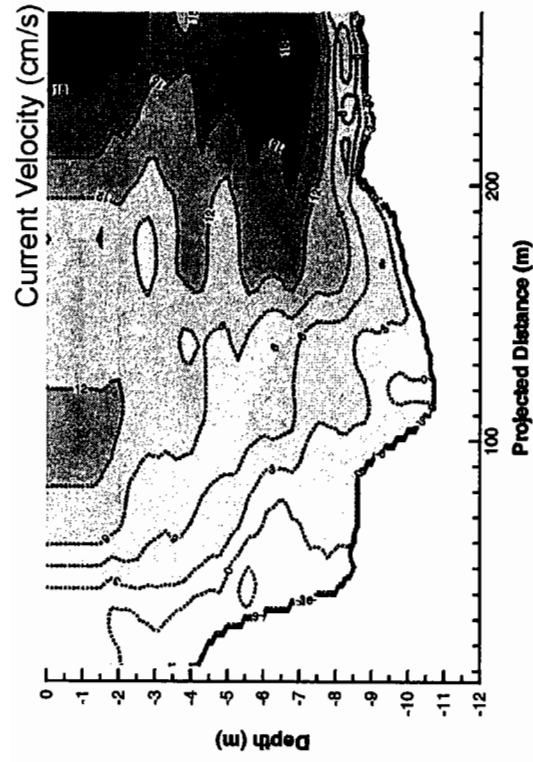
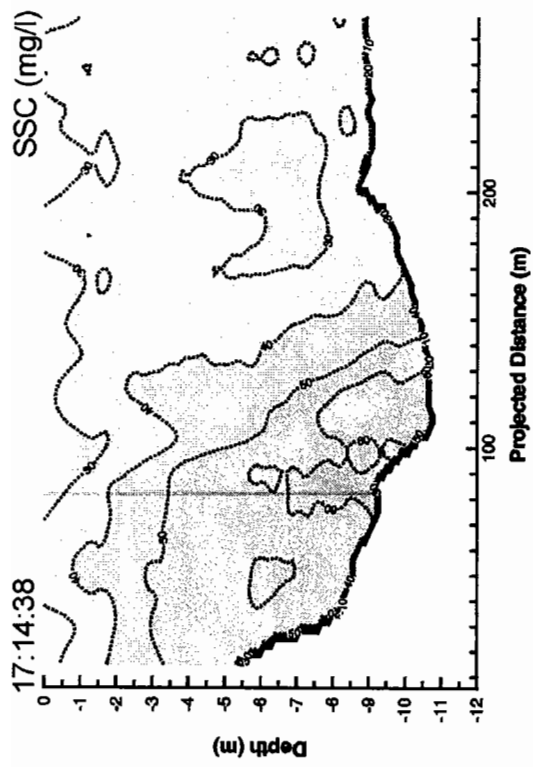


그림 A2.1 (계 속).

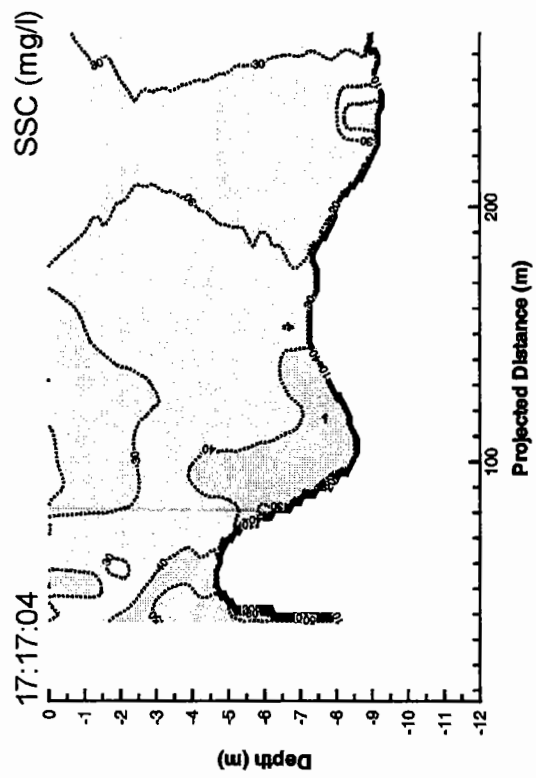
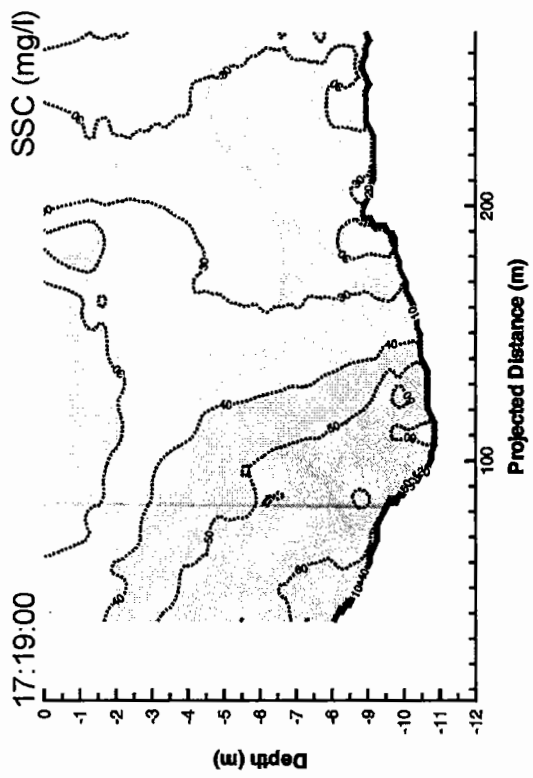
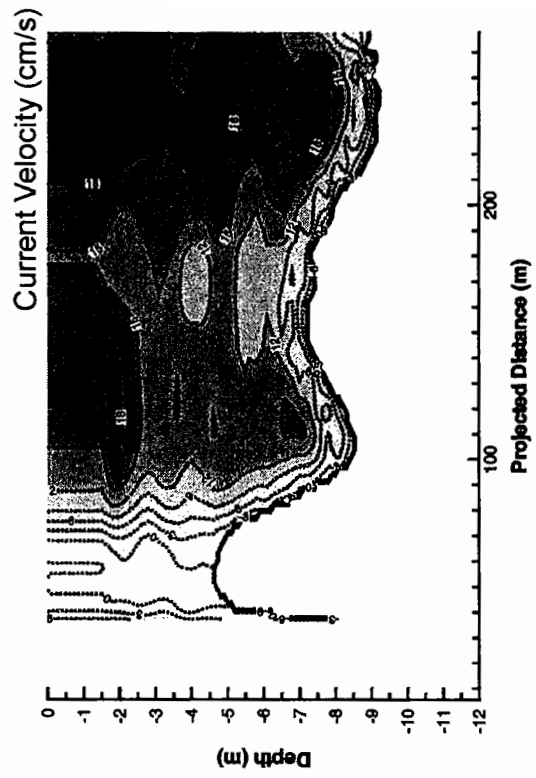
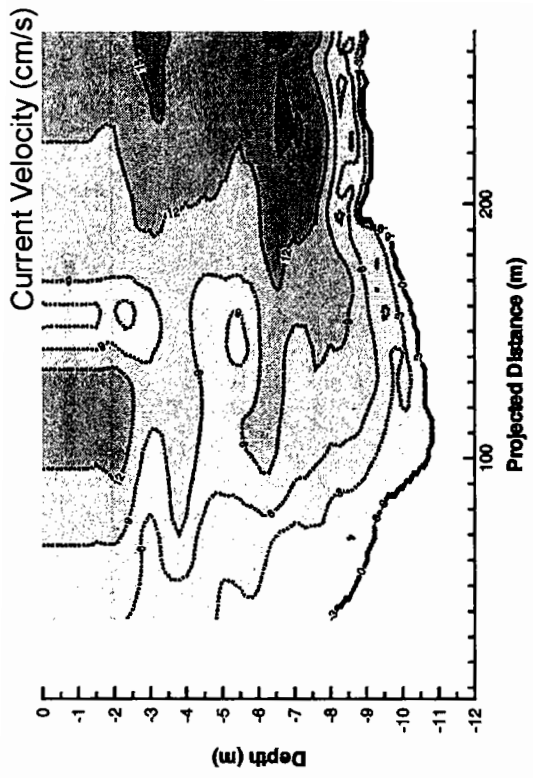


그림 A2.1 (계 속).

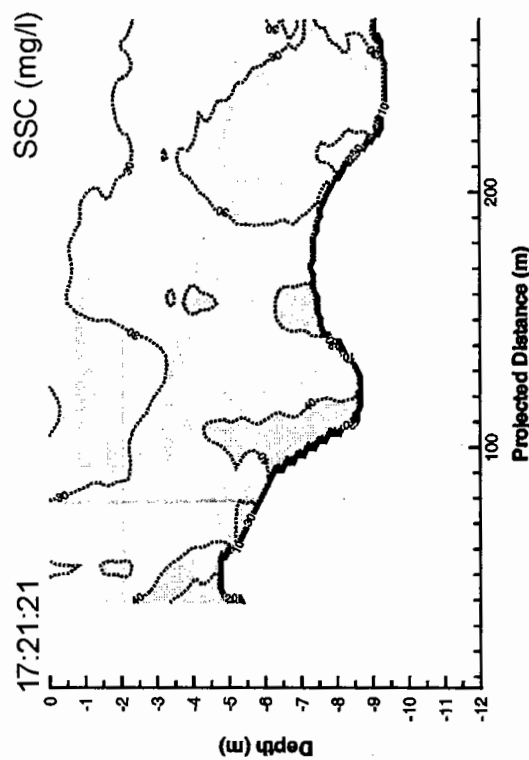
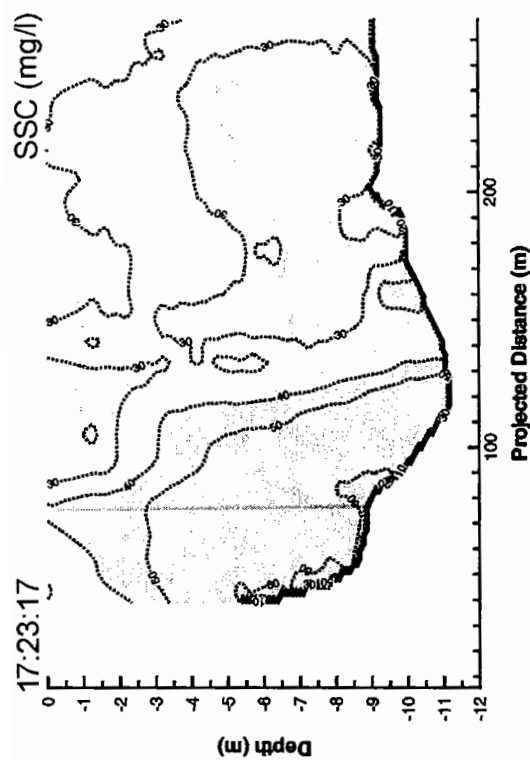
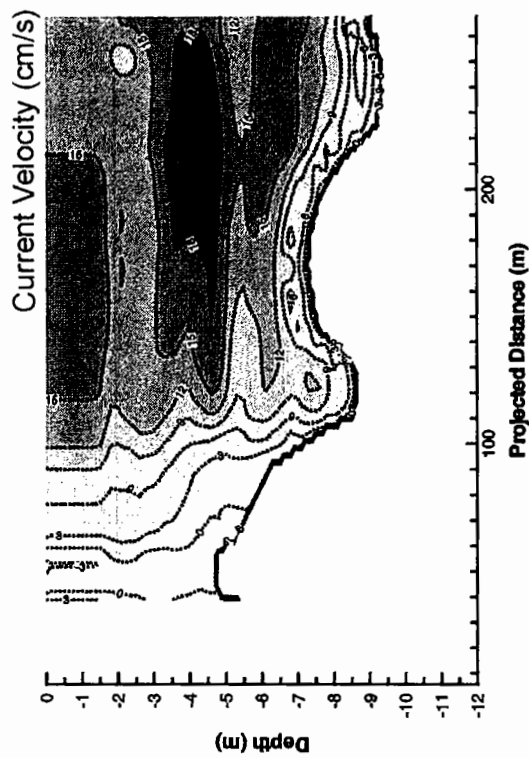
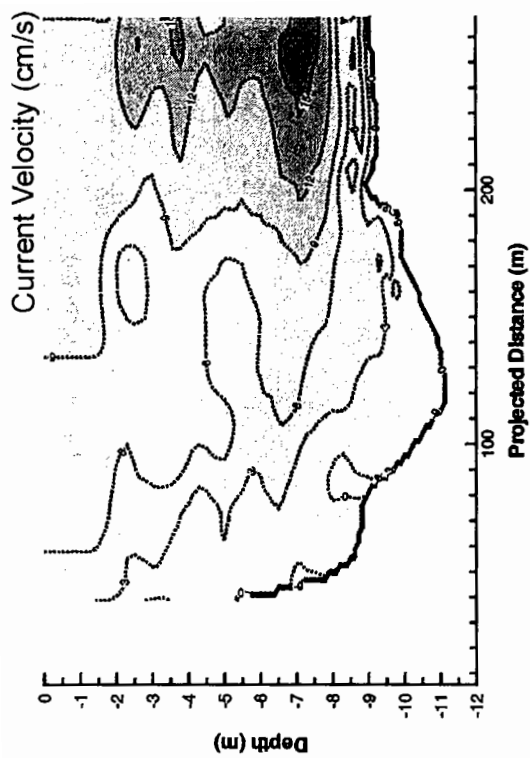


그림 A2.1 (계 속).

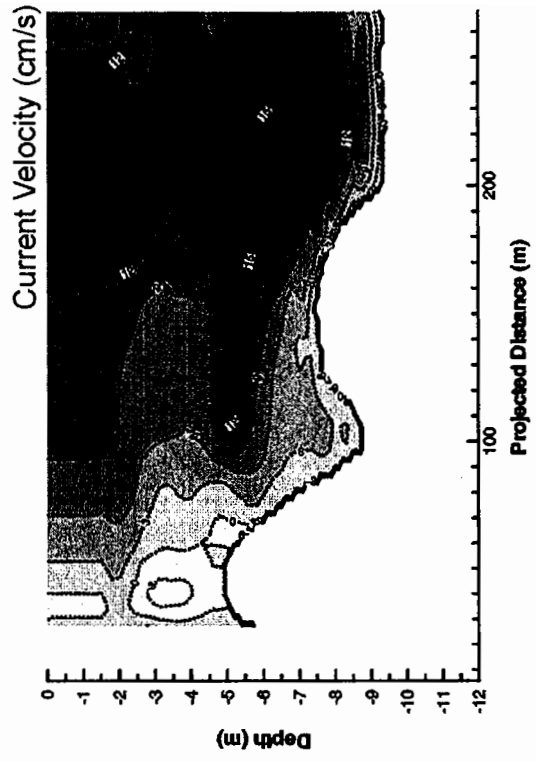
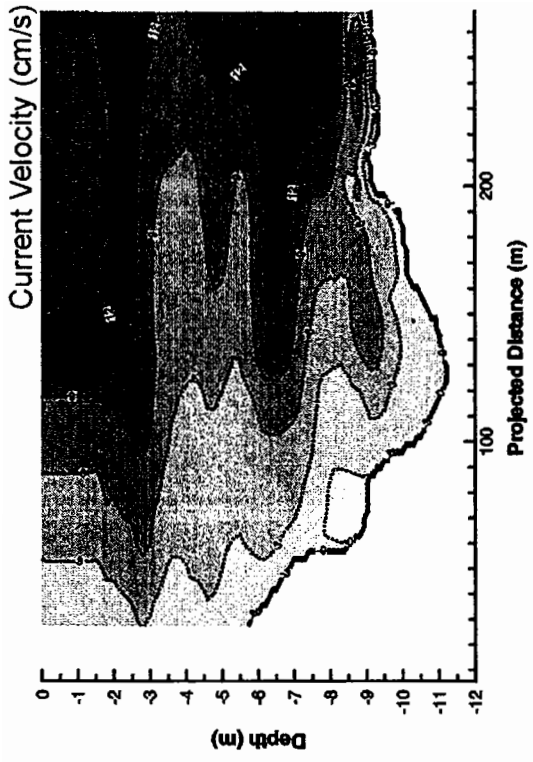
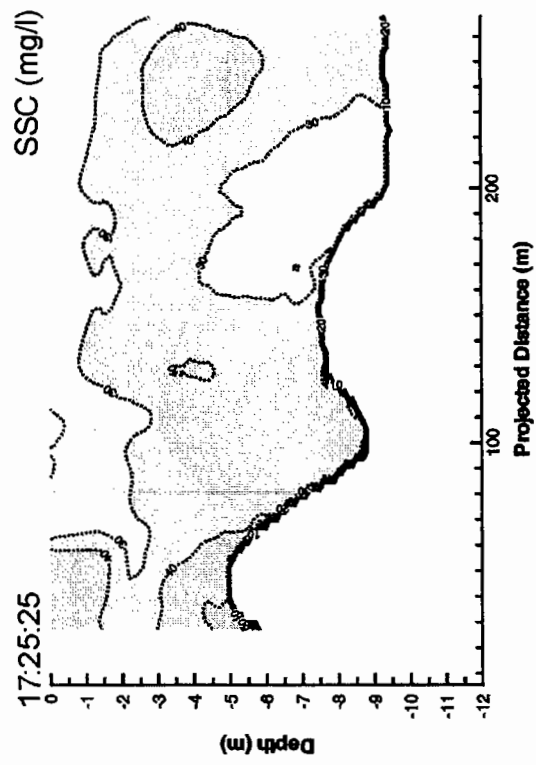
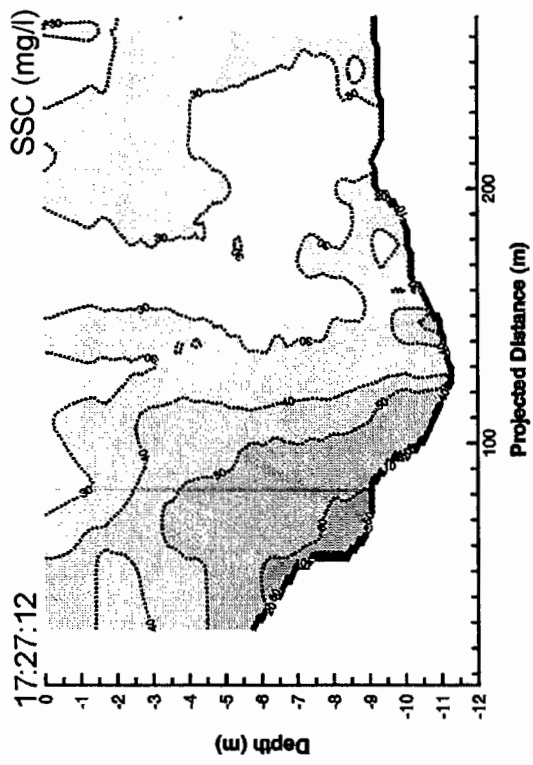


그림 A2.1 (계 속).



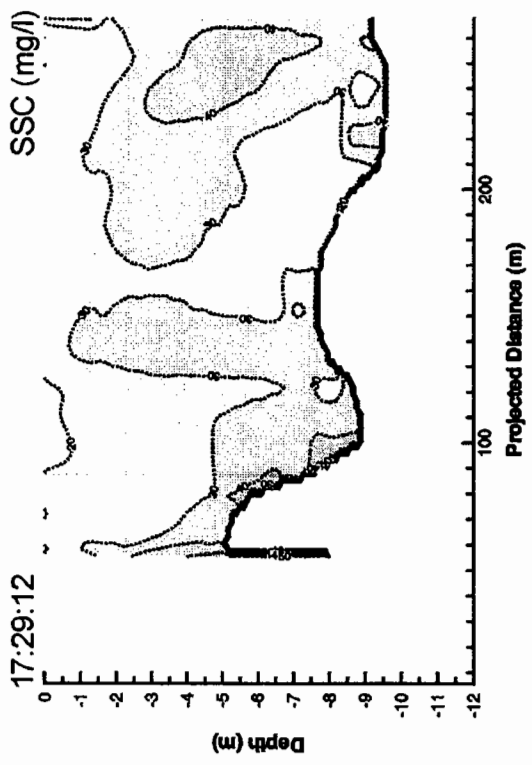
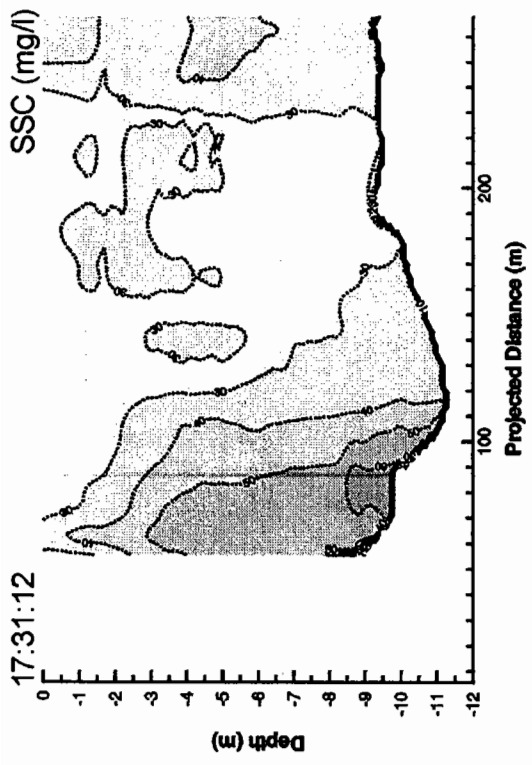
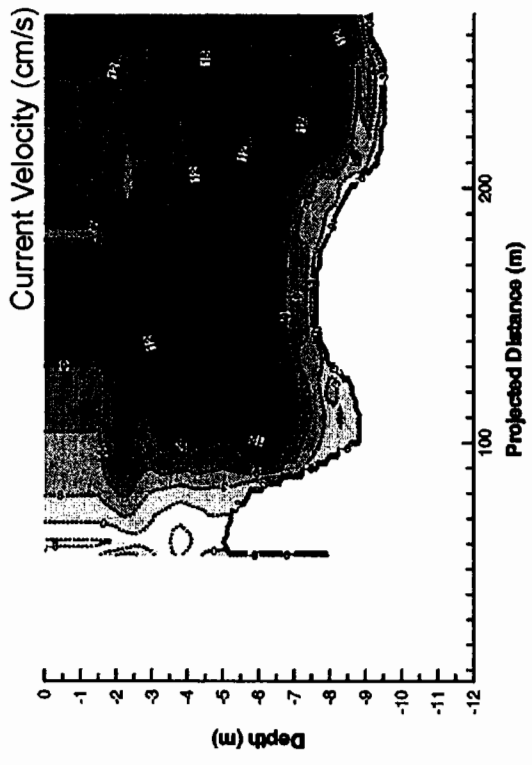
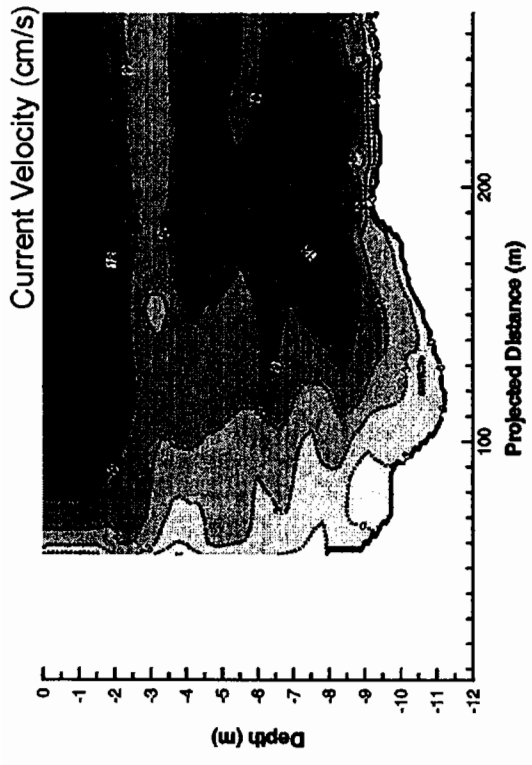


그림 A2.1 (계 속).

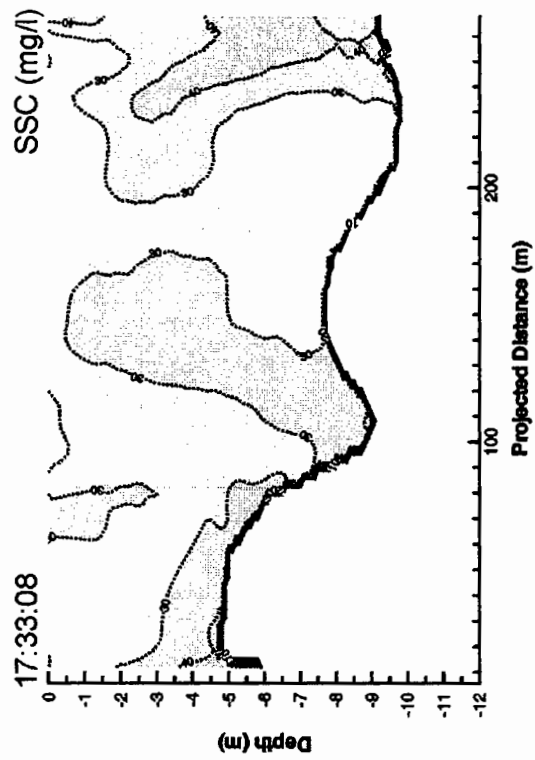
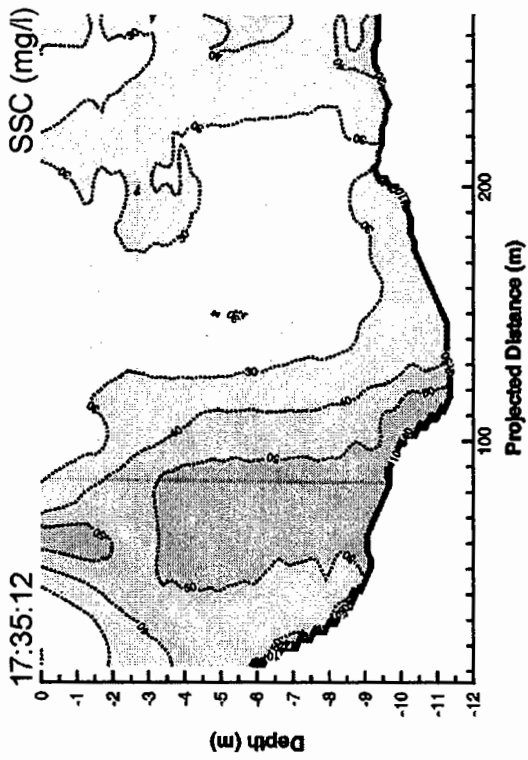
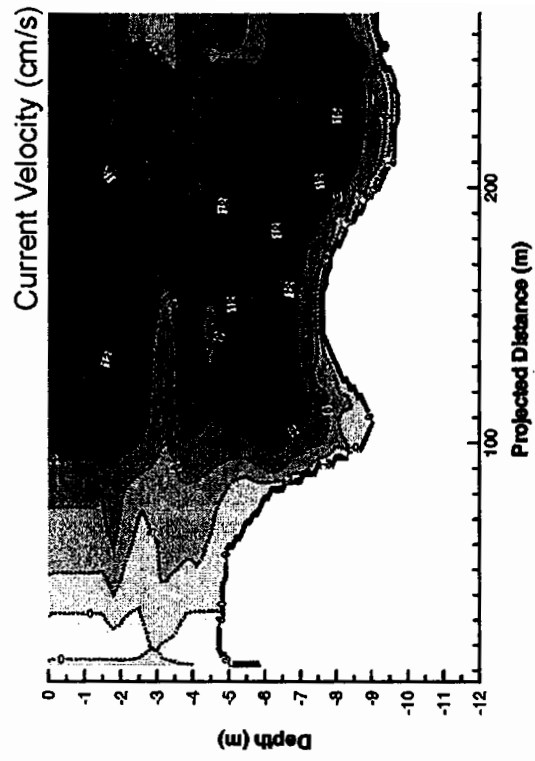
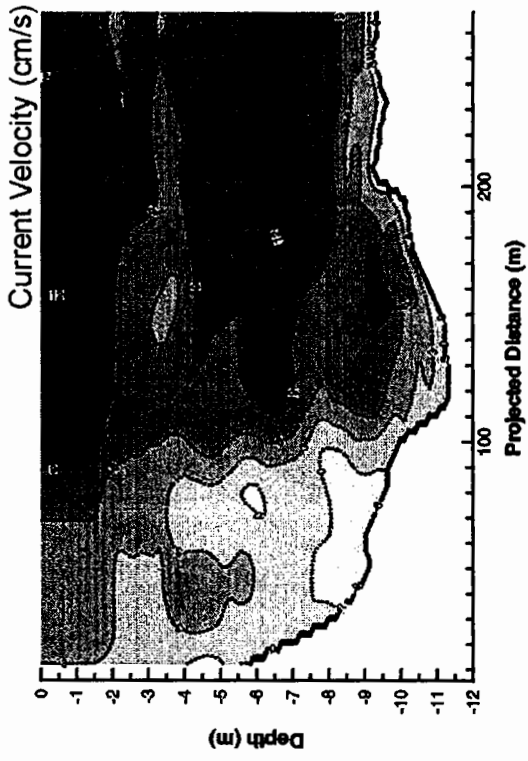


그림 A2.1 (계속).

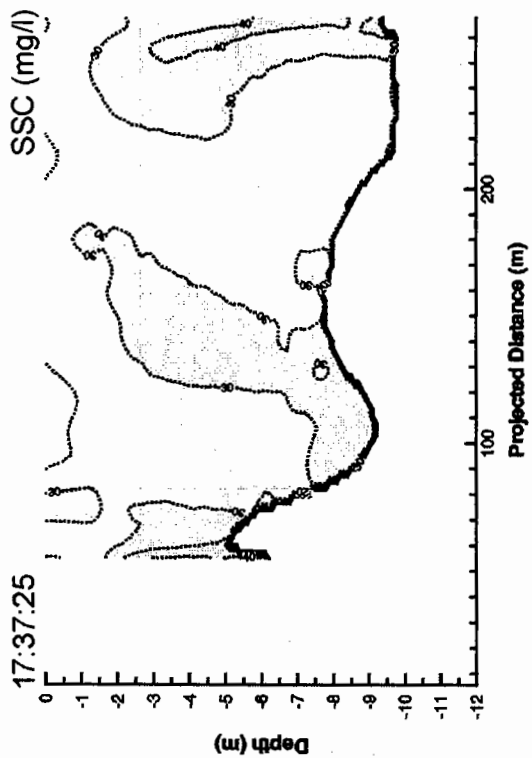
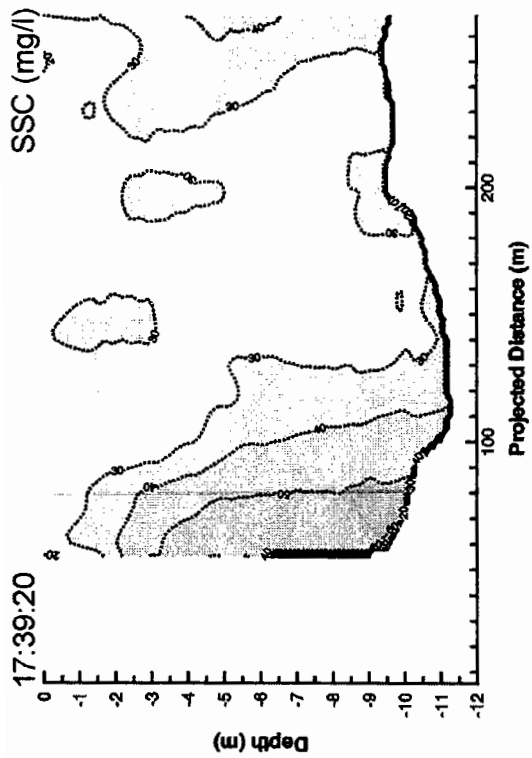
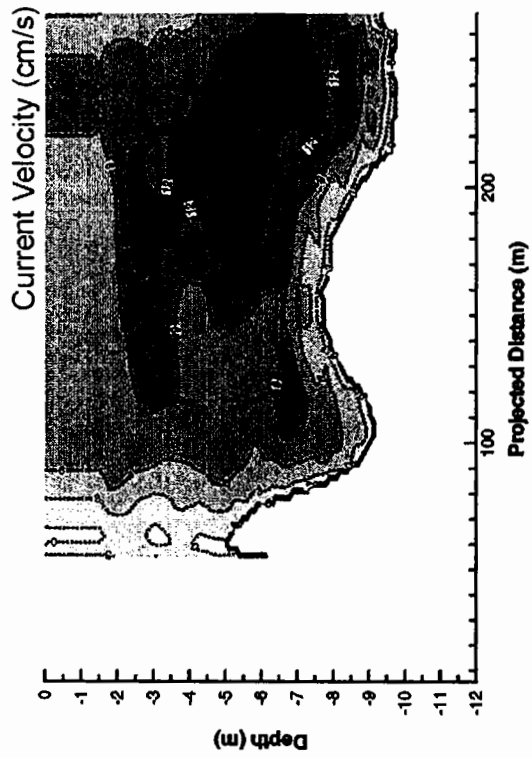
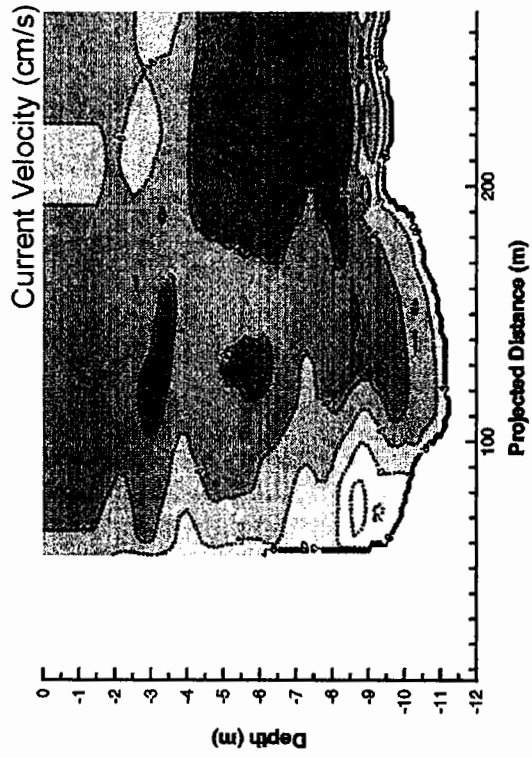


그림 A2.1 (계 속).

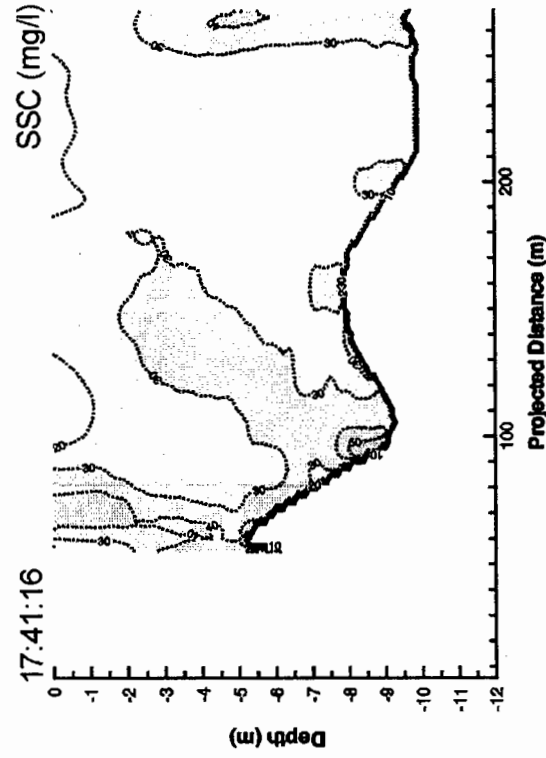
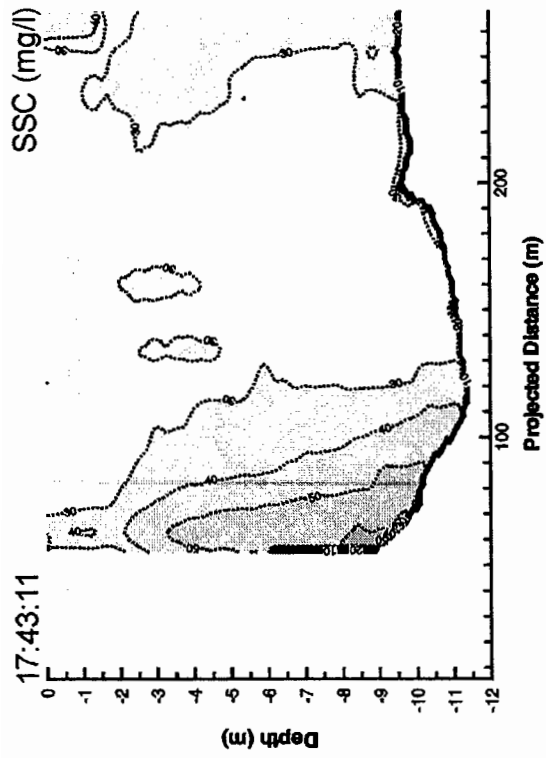
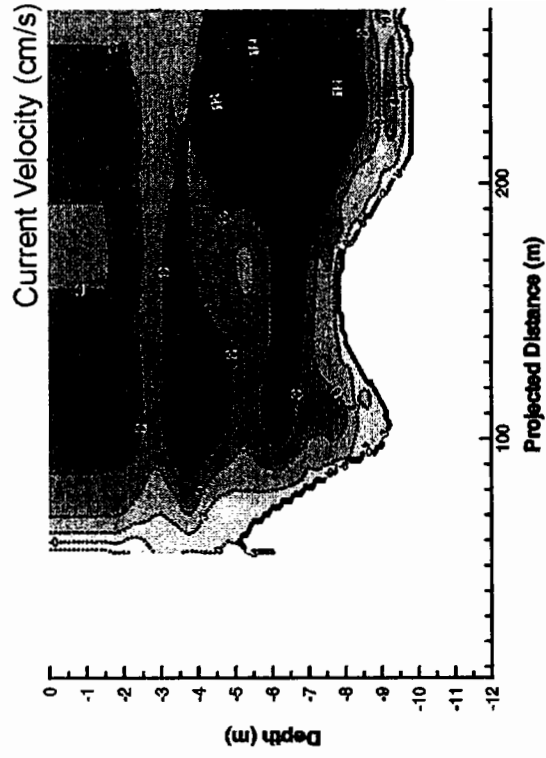
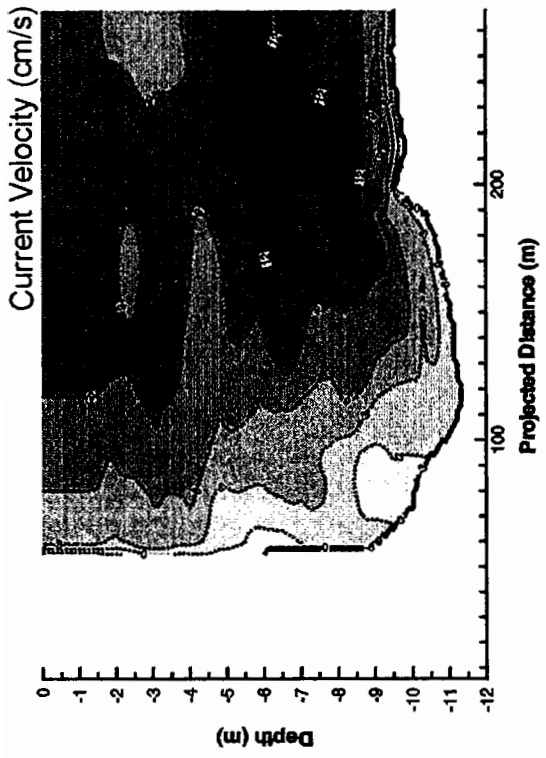


그림 A2.1 (계 속).

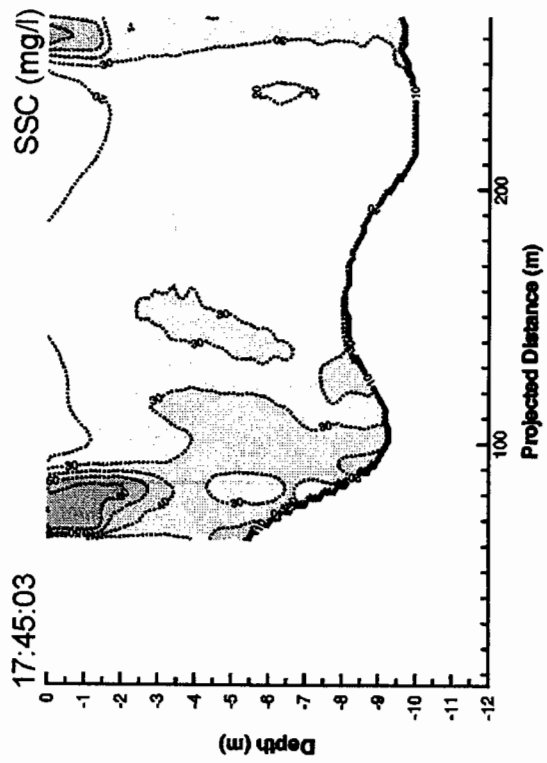
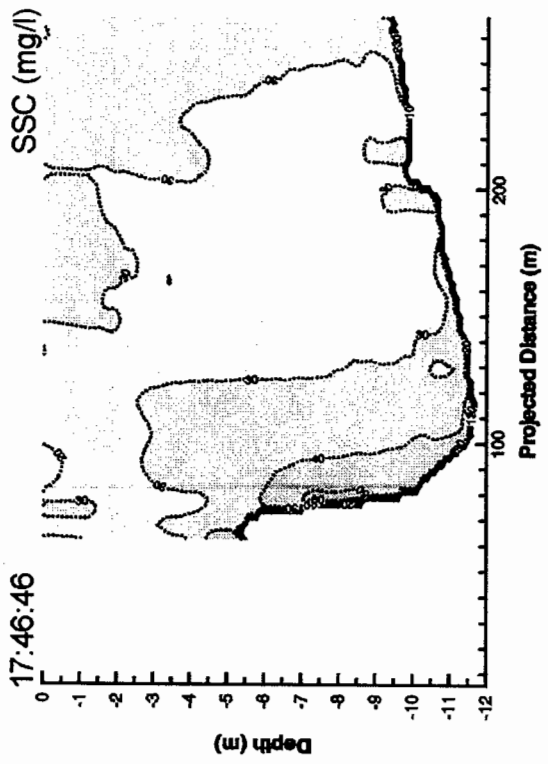
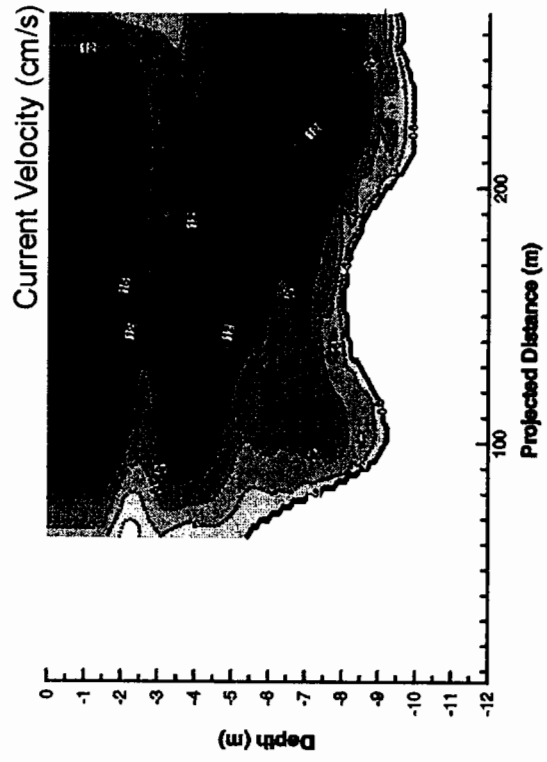
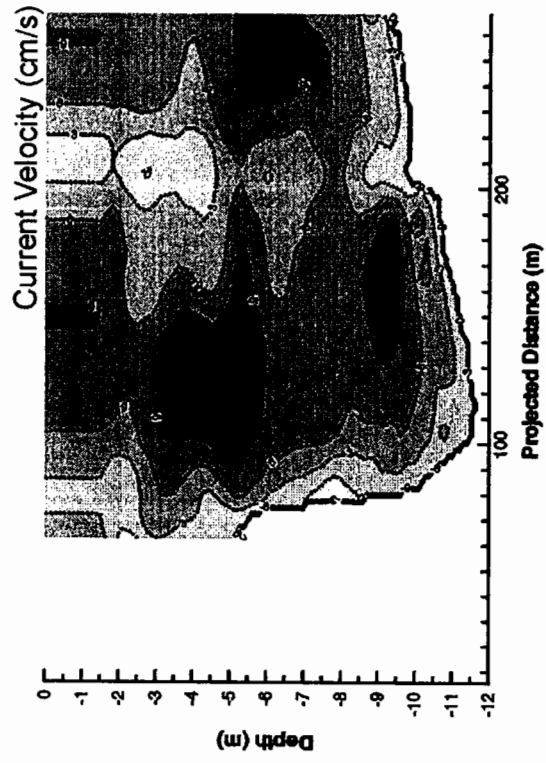


그림 A2.1 (계 속).

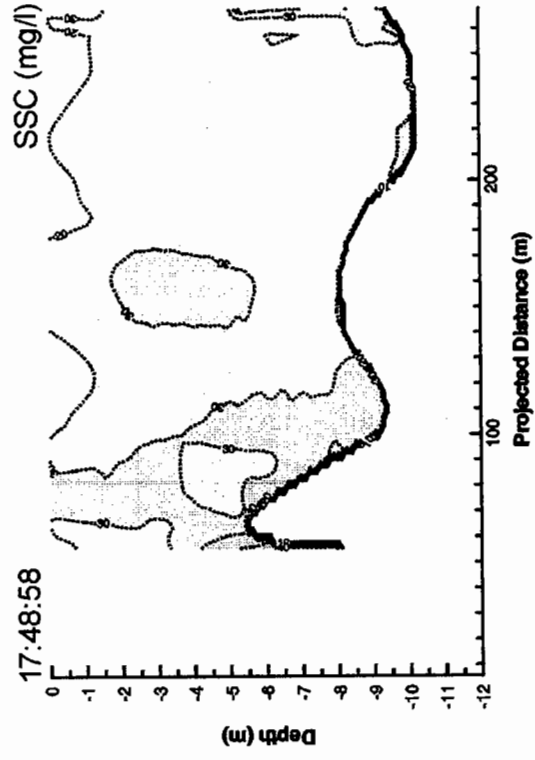
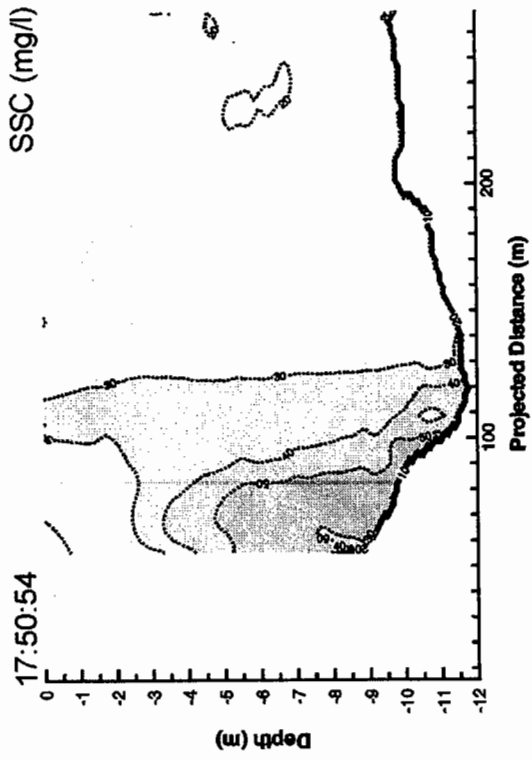
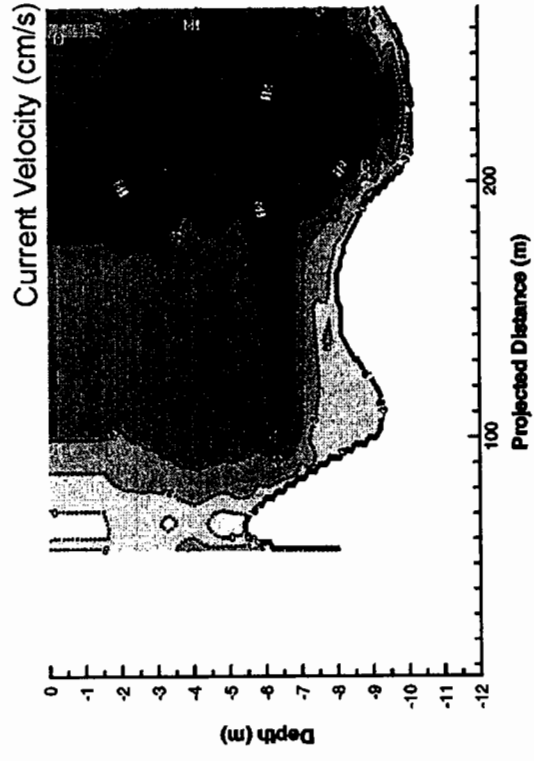
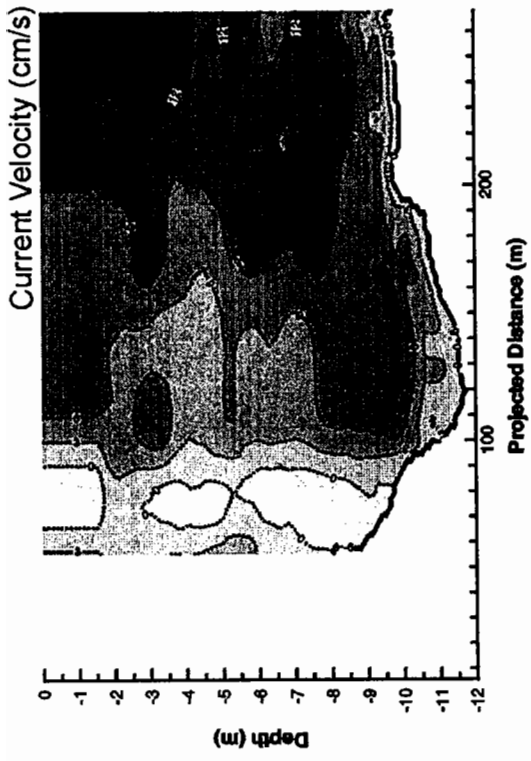


그림 A2.1 (계 속).

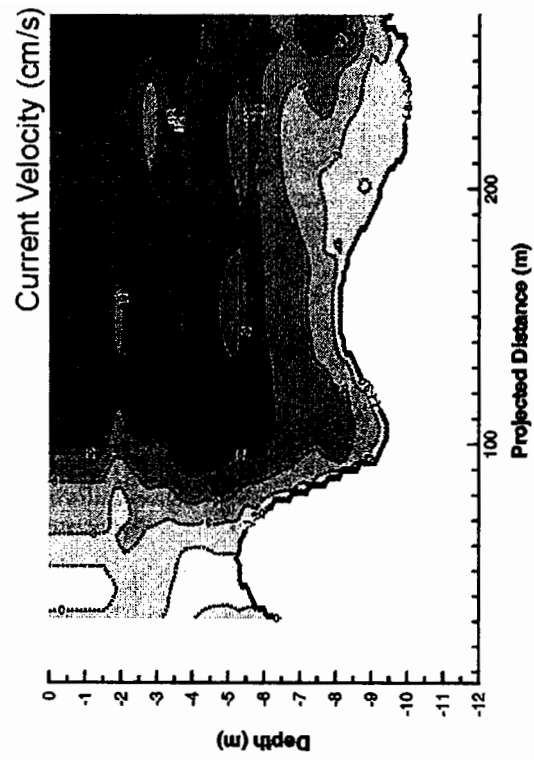
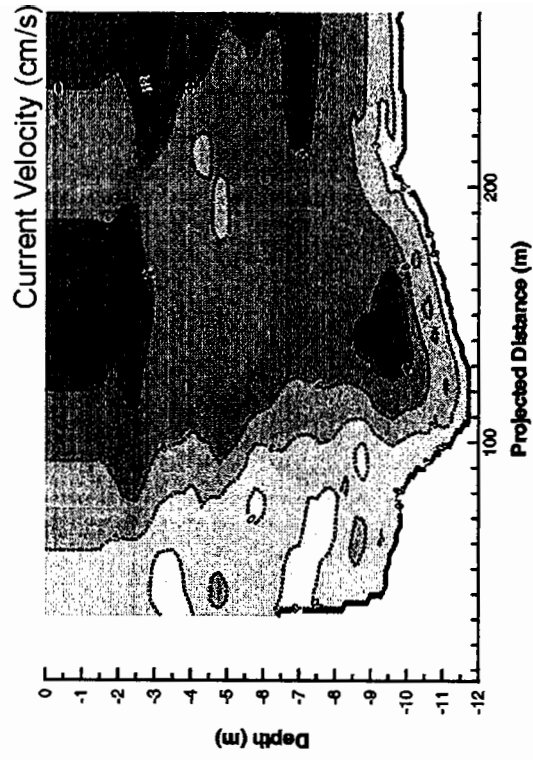
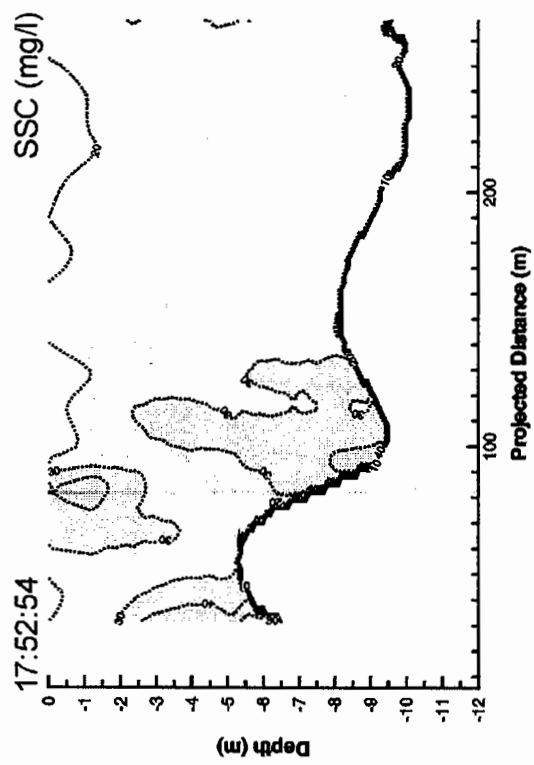
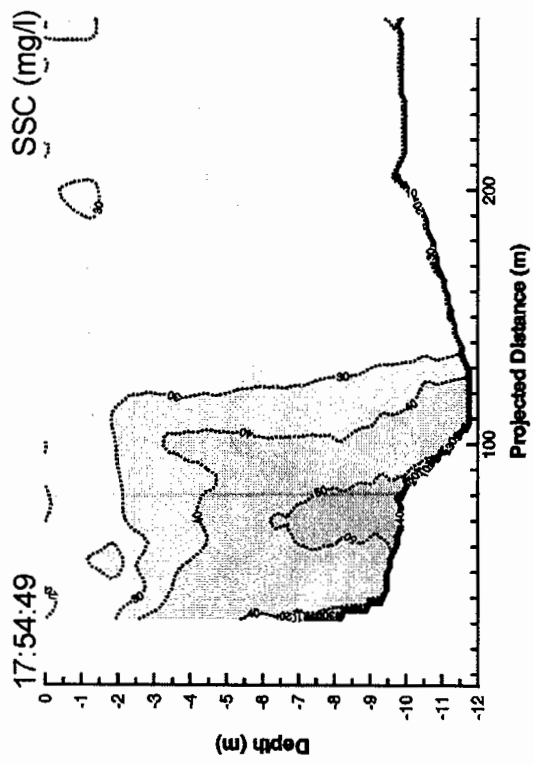


그림 A2.1 (계 속).

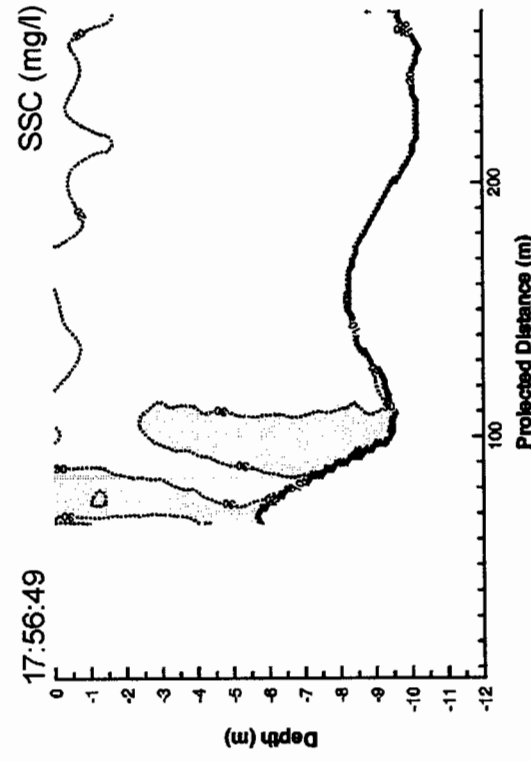
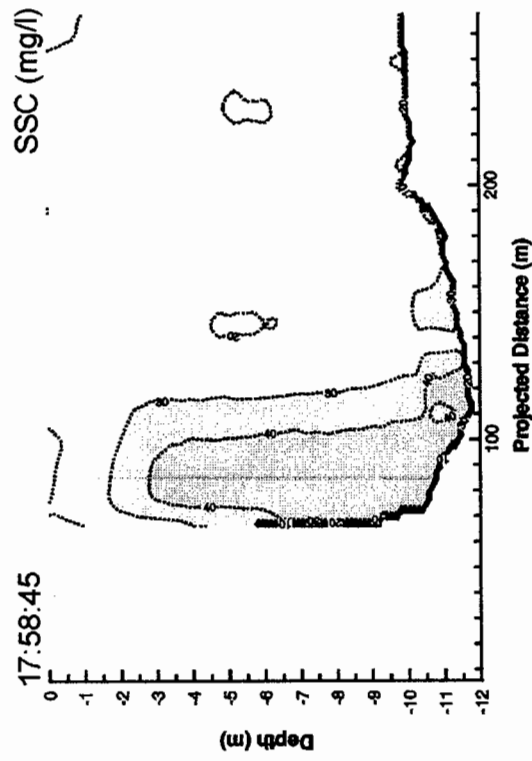
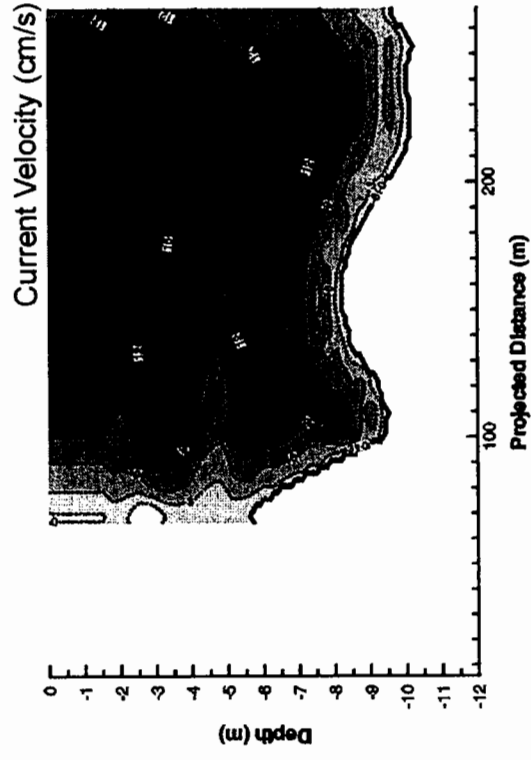
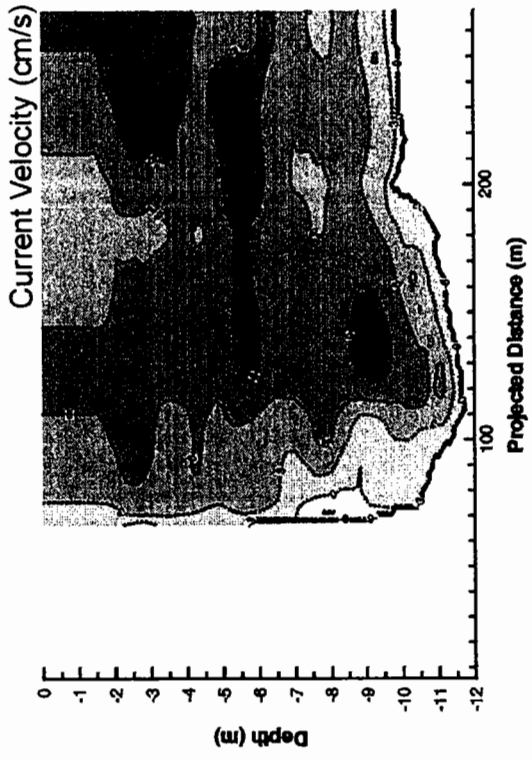


그림 A2.1 (계 속).





부록 3  
오탁방지막 설계 및 시공 요령  
(拔萃本)

1999

해양공사오탁방지협회  
기술위원회 (일본)



# 목 차

A3.1 개요 .....	355
A3.1.1 정의 .....	355
A3.1.2 형식 및 각부 명칭 .....	355
A3.1.3 표준 규격 .....	359
A3.2 구조 계산 .....	364
A3.2.1 수하형 .....	364
A3.2.1.1 외력조건 .....	364
A3.2.1.2 오탁방지막 강도 계산 .....	364
A3.2.1.3 규격 검토 .....	369
A3.2.2 자립형 .....	370
A3.2.2.1 외력조건 .....	370
A3.2.2.2 오탁방지막 강도 계산 .....	370
A3.2.3 구조계산 예 .....	374
A3.2.3.1 수하형 .....	374
A3.2.3.2 자립형 .....	381
A3.3 재료 .....	385
A3.3.1 Float .....	385
A3.3.1.1 고정식(수하형 및 자립형) .....	385
A3.3.1.2 부침식 .....	386
A3.3.2 Curtain .....	387
A3.3.2.1 사용 재료 .....	387
A3.3.2.2 시험 방법 .....	387
A3.3.2.3 기타 .....	388
A3.3.3 Tension 部 .....	388
A3.3.3.1 고정식(수하형) .....	388
A3.3.3.2 부침식 .....	389
A3.3.4 Anchor rope .....	389
A3.3.4.1 Wire rope .....	389

A3.3.4.2 합성섬유 rope .....	392
A3.3.5 Weight (자립형) .....	392
A3.4 부설 요령 .....	394
A3.4.1 고정식 (수하형) .....	394
A3.4.1.1 오탉방지막 조립 .....	394
A3.4.1.2 Anchor 설치 .....	397
A3.4.1.3 부설 1 (대선 예인하는 경우) .....	398
A3.4.1.4 부설 2 (직접 예인하는 경우) .....	400
A3.4.1.5 조립·부설·철거 요령 .....	401
A3.4.2 부침식 .....	403
A3.4.2.1 육상 야드 조립 .....	403
A3.4.2.2 대선상 조립 .....	407
A3.4.3 고정식 (자립형) .....	414
A3.4.3.1 육상 야드 조립 .....	414
A3.5 보수 및 유지관리 .....	424
A3.5.1 보수 및 유지관리 체계 .....	424
A3.5.2 개요 .....	424
A3.5.3 점검내용 .....	426
A3.5.3.1 고정식 수하형 및 부침식 수하형 .....	426
A3.5.3.2 고정식 자립형 .....	426
A3.5.4 점검내용 설명 .....	426
A3.5.4.1 일상점검 .....	426
A3.5.4.2 정기점검 .....	426
A3.5.4.3 임시점검 .....	428
A3.6 효과 및 실측 사례 .....	435
A3.6.1 오탉확산 방지 효과 .....	435
A3.6.2 실측 사례 .....	437

## A3.1 개요

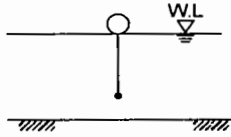
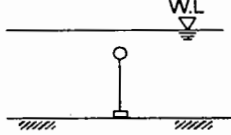
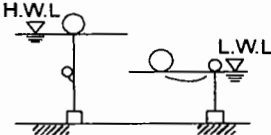
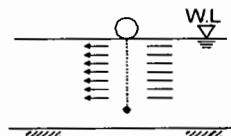
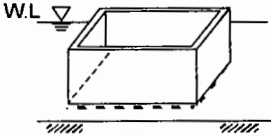
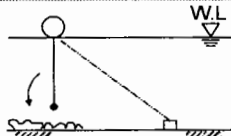
### A3.1.1 정의

- 오탉방지막은 해양이나 하천에서 준설이나 매립공사시에 발생하는 오탉물의 물리적 확산을 방지하고 주변에 오탉의 영향을 최소화하기 위해 설치하는 유연한 막 구조물이다.
- 오탉방지막은 기본적으로 오탉 확산을 방지하는 합성섬유로 된 curtain 部, curtain 部를 띄우기 위한 float 部, 그리고 이를 고정하기 위한 繫留部로 구성된다.

### A3.1.2 형식 및 각부 명칭

- 오탉방지막의 형식 및 특징은 표 A3.1.1과 같다.

표 A3.1.1 오탉방지막의 형식 및 특징.

1. 고정식(固定式)	발포 폴리스티렌(styrofoam) 또는 합성수지를 float로 사용하며 부침(浮沈) 기능이 없다.	
1) 수하형(垂下型)	해면에서 float로 curtain을 늘어뜨리는 형이다.	
2) 자립형(自立型)	해저면에서 float로 curtain을 일으켜 세우는 형이다.	
3) 중간 float형 (中間 float 型)	조석 간만의 차가 큰 경우에 curtain이 간만의 차에 대응할 수 있도록 중간 float를 부착한 형이다.	
4) 통수형(通水型)	통수성이 있는 재료를 curtain에 사용하여 늘어뜨리는 형이다.	
5) Frame형(枠型)	강관 float로 사각형 틀을 만들고 그 주변에 curtain을 늘어뜨리는 형이다.	
2. 부침식(浮沈式)	고무 등의 기밀 재료로 된 float를 사용하며 부침기능이 있다.	
1) 수하형(垂下型)	해면에서 float로 curtain을 아래로 늘어뜨리는 형이다.	

○ 고정식(수하형)의 각 부분 명칭과 설명은 그림 A3.1.1 및 표 A3.1.2와 같다.

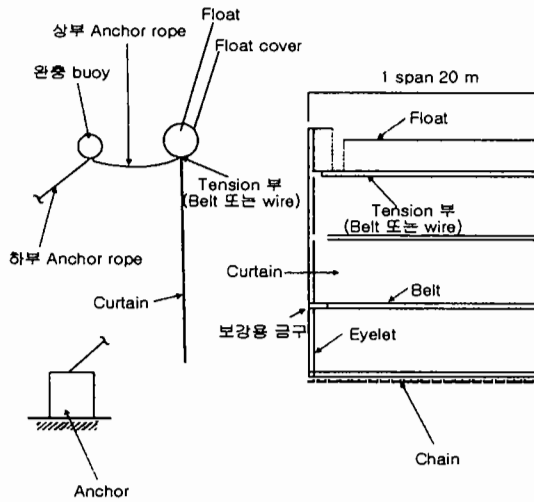


그림 A3.1.1 고정식(수하형) 명칭(참고도).

표 A3.1.2 고정식(수하형)의 각부 명칭과 설명.

명 칭	설 명
Span	오탁방지막 1 unit, 통상 20m를 1 span으로 한다.
Float	Curtain(막)을 띄우는 기능을 가진 부력체, 발포 폴리스티렌이나 합성수지로 만든 것을 사용한다.
Float cover	Float를 덮는 canvas, (공사)선박이 식별하기 쉽도록 통상 黃·橙(주황) 계통의 색을 사용한다.
Tension 部 (belt 또는 wire)	오탁방지막에 작용하는 장력을 받는 부위, 양단부는 연결할 수 있도록 가공되어 있다.
Curtain	Float로부터 아래로 늘어뜨려지는 막체, 내구성이 뛰어난 합성섬유를 사용하며 오탁확산 방지기능을 갖는다.
보강 belt	Curtain 부분에 부착된 belt, curtain, joint 금속부품의 접합부의 보강기능을 갖는다.
Joint 금구	Curtain을 접속하는 경우에 사용하는 금속부품.
Eyelet	Curtain을 접속하는 연결용 구멍으로 양단에 장착하는 구멍.
Chain (weight chain)	Curtain이 흐름에 말려 올라가지 않도록 부착하는 무거운 추.
Anchor	계류용 침추. 통상 콘크리트 블록을 사용한다.
Anchor rope	계류용으로 anchor와 연결이 쉽게 상부 anchor rope와 하부 anchor rope 2개로 구분한다.
완충 buoy	Anchor rope와 curtain과의 마찰 방지용으로 부착하는 buoy.

○ 부침식(수하형)의 각 부분 명칭과 설명은 다음과 같다.

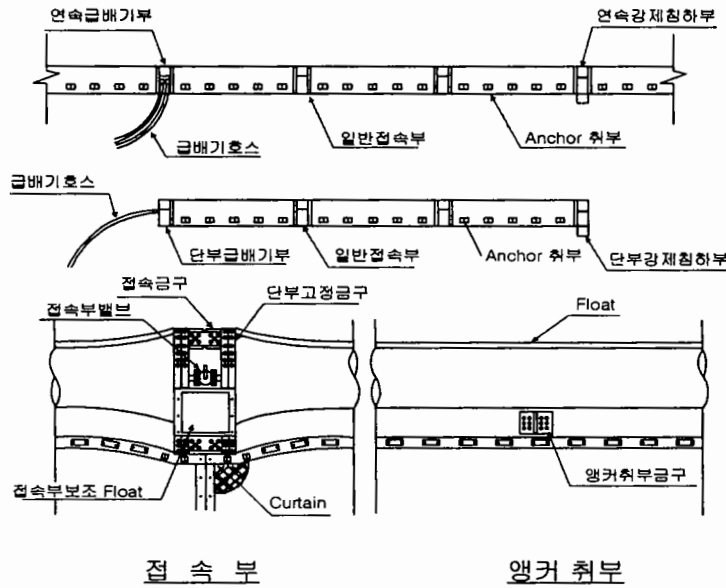


그림 A3.1.2 부침식(수하형) 명칭(참고도).

표 A3.1.3 부침식(수하형)의 명칭과 설명.

명 칭	설 명
Span	오탁방지막 1 unit, 통상 float는 100m, curtain은 20m를 1 span으로 한다.
Float	Curtain(막)을 띄우는 기능을 가진 부력체, 부상, 침하기능을 가진 합성 고무 등의 재질로 되어 있다.
접속부 보조 float	Float끼리 접속하는 경우에 접속부가 가라앉지 않도록 부착하는 float
접속부 valve	Float끼리 접속하는 경우에 부착하는 valve
접속금구	Float끼리 접속하는 경우에 사용하는 금속부품
Anchor 금구	Anchor rope를 부착하기 위한 금속부품
端部 급배기부	한 span과 접속되지 않는 float의 끝으로부터 급배기를 하는 부분.
연속 급배기부	접속된 다른 span과 접속부로부터 두 계통의 급배기를 각각 독립적으로 하는 부분.
단부 강제 침하부	접속된 한 계통의 float를 한 방향으로부터 침하시키기 위하여 다른 span과의 접속이 없는 float의 단부에 설치하는 부분.
연속 강제 침하부	접속된 두 계통의 float의 기점이 되는 한 방향으로부터 침하시키기 위하여 접속부에 설치하는 부분.
급배기 hose	급배기용으로 부착하는 hose. 길이는 수심의 1.5배 정도.



○ 고정식(자립형)의 각 부분 명칭과 설명은 아래와 같다.

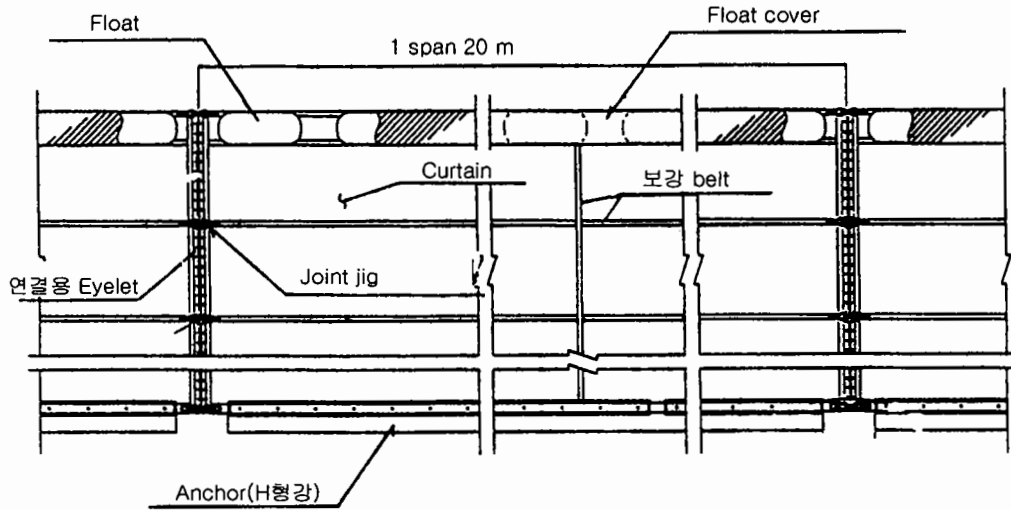


그림 A3.1.3 고정식(자립형) 명칭(참고도).

표 A3.1.4 고정식(자립형)의 명칭과 설명.

명 칭	설 명
Span	오탁방지막 1 unit를 말하며, 통상 20m를 1 span으로 한다.
Float	Curtain(막)을 띄우는 기능을 가진 부력체, 발포 폴리스틸렌이나 합성 수지를 사용한다.
Float cover	Float를 덮는 canvas(PVC 피복 직포) 또는 합성수지를 말하며, 통상 황색, 주황색 계통의 색상을 사용한다.
Curtain	해저(호저)부 anchor로부터 自立하는 막체, 내구성이 우수한 합성수지를 사용하고 오탁확산 방지 기능을 갖는다.
보강 Belt	Curtain 부분에 부착하는 belt, curtain, joint jig(治具)의 부착부의 기능을 보강한다.
Joint jig(治具)	Curtain끼리 접속하는 경우에 사용하는 jig.
연결용 Eyelet	Curtain끼리 연결하는 구멍이며, span의 양단에 장착.
Anchor(H형강)	해저(또는 호저)에 고정시키기 위한 침추, 통상 H형강 사용.

### A3.1.3 표준 규격

○ 고정식(수하형)은 A, B, C, D 4가지 등급으로 나누고 사용조건에 적합한 제품의 표준 규격은 다음과 같다.

표 A3.1.5 고정식(수하형)의 표준 규격.

등급	현 장 조 건	표 준 규 격			
		Float 직경(mm)	Float 형식	Curtain 원단 인장강도 (kgf/3cm)	Weight chain 중량 (kg/m)
A	지형적으로 차폐된 방파제 바깥 해역 (파고 1.5 m 이하, 유속 0.5 m/s 이하)	600	연속	800~500	10~20
B	방파제 내측의 넓은 해역 또는 지형적으로 차폐된 만내의 해역(파고 1.0 m 이하, 유속 0.2 m/s 이하)	400	연속	500~300	5~10
C	방파제 내측의 중간 규모의 넓이를 갖는 해역(파고 0.8 m 이하, 유속 0.1 m/s 이하)	300	연속	500~300	5 이상
D	호소처럼 잔잔하고 잘 차폐된 만내의 해역(파고 0.5 m 이하, 유속 0.05 m/s 이하)	300	분리	300	3~5

주) ① 범용형은 고정식 수하형, span 길이 20 m. ② 내구년수 1년. ③ 계류장치는 포함하지 않는다. ④ 설치수심 20 m 미만. ⑤ 연속형은 float가 연결되고 단독형은 분리되어 연결된다. ⑥ A 등급 이상의 현장조건인 경우는 별도의 규격으로 한다.

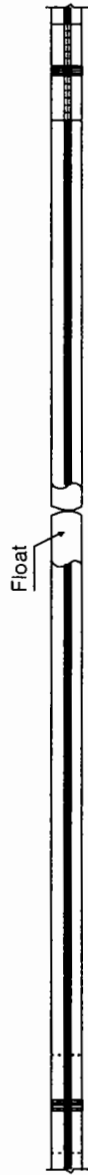
○ 부침식(수하형)은 다음 2가지 등급으로 구분한다.

표 A3.1.6 부침식(수하형)의 표준 규격.

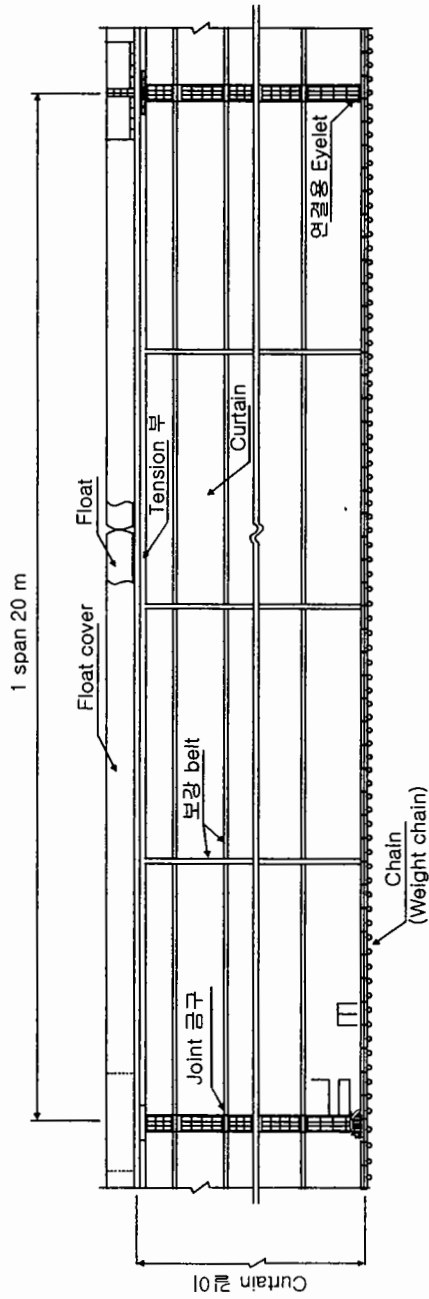
등급	사 용 조 건	표 준 규 격		
		Float 직경 (mm)	인장부재 인장강도(tf)	상용 내압 (kgf/cm <sup>2</sup> )
A	항 의	600	20 이상	0.3~0.5
B	항내·통선 gate용	400	10 이상	

주) ① 계류장치는 포함하지 않는다. ② 급배기부에서 강제침하부 까지를 1계통(unit)으로 한다. ③ 최대 300 m(3 span)를 1계통의 급배기로서 접속, 배치한다 ④ 1계통의 단부에 단부 급배기부와 단부 강제 침하부 혹은 연속 급배기부와 연속 강제침하부의 부속부를 설치한다.

평면도



측면도



단면도

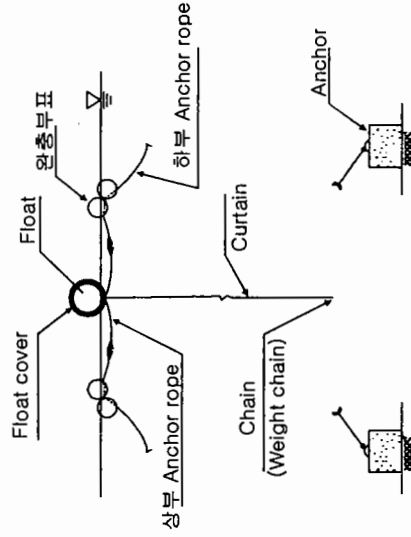


그림 A3.1.4 고정식(수하형) 오탐방지막 규격도(참고도).

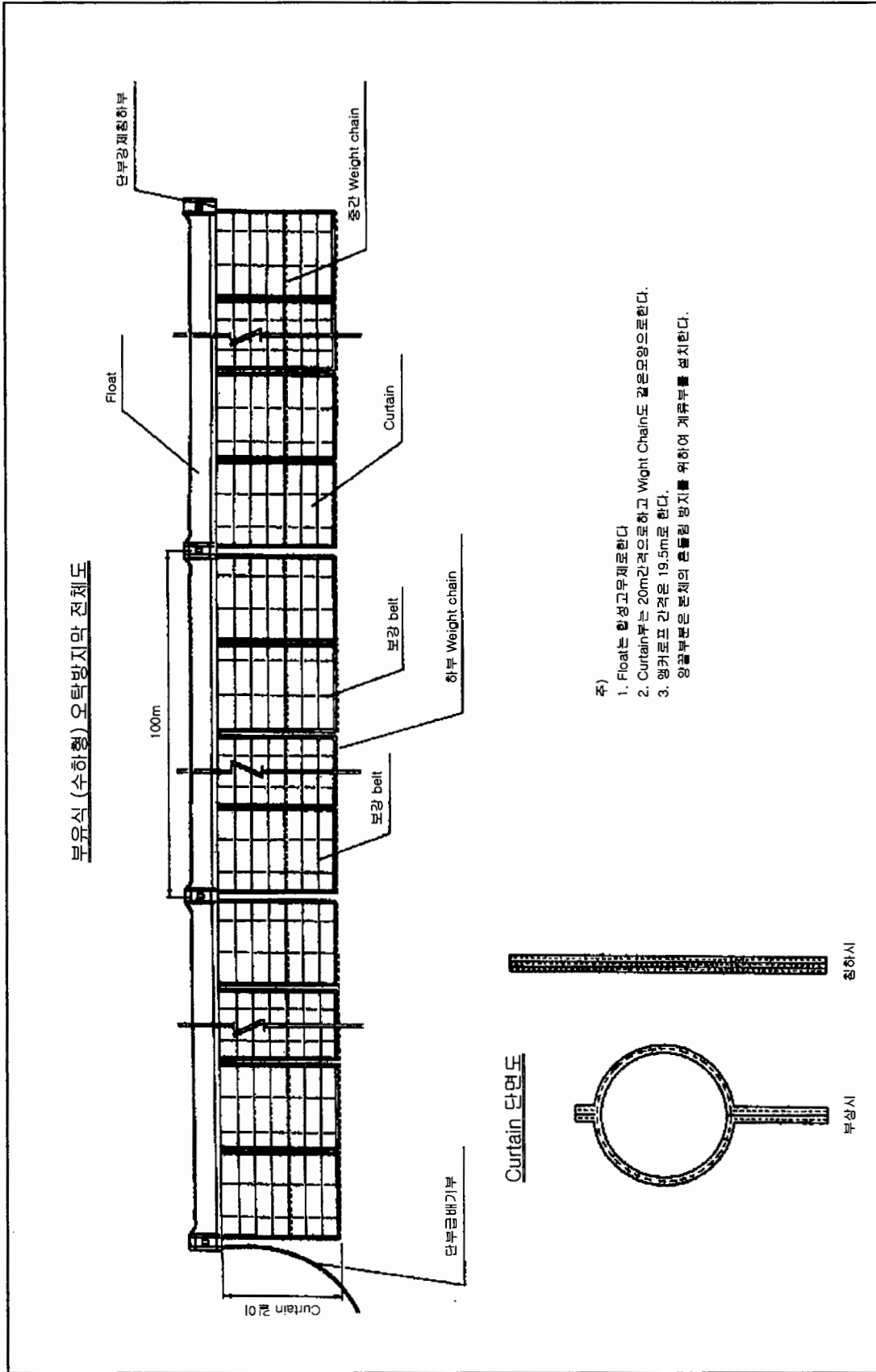


그림 A3.1.5 부침식(수하형) 오탐방지막 규격도(참고도).

○ 고정식(자립형)은 다음 2가지 등급으로 구분한다.

표 A3.1.7 고정식(자립형) 표준 규격.

등급	사용조건	표 준 규 격		
		Float 직경 (mm)	Curtain 원단 인장강도 (kgf/3cm)	Anchor(침추)
A	해역	300	500~300	H형강 또는 chain
B	호소	200	300	H형강 또는 chain

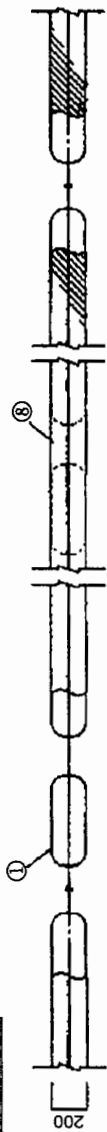
주) ① 범용형은 고정식 자립형, span 길이 20 m. ② 내구년수 1년. ③ Anchor span 길이 19.5 m(H형강의 경우). ④ 설치수심 20 m 이하. ⑤ Anchor 중량은 구조계산으로 산출.

○ 각 형의 anchor 설치 간격 기준은 다음과 같다.

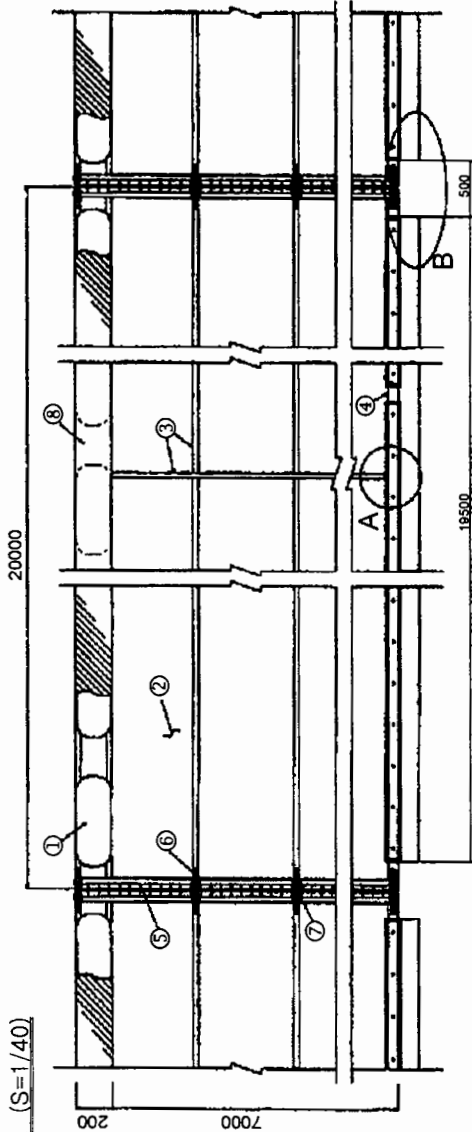
표 A3.1.8 Anchor 설치 간격.

고정식(수하형)	- 19.5m 간격을 표준으로 한다.
부침형(수하형)	- 19.5m 간격을 표준으로 한다. - Float 본체의 anchor 부착을 위한 금속 부품을 20m 간격으로 설치한다. - 양단부의 위치는 단부로부터 10m를 표준으로 한다.
고정식(자립형)	- 20m 간격을 표준으로 한다.

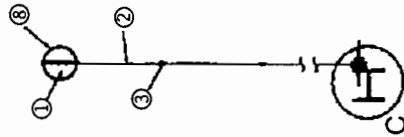
평면도 (S=1/40)



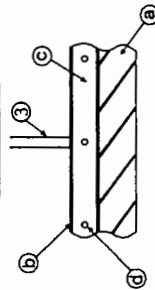
측면도 (S=1/40)



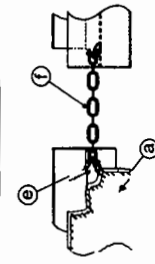
단면도 (S=1/40)



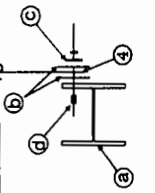
A부 상세도



B부 상세도



C부 상세도



부재 표-1

부재 표-1 (부설시 필요부재) 1 span 20m

No.	명칭	규격	수량	비고
①	float	φ300	1식	styroform 또는 합성섬유
②	curtain	#500	1식	polyester
③	보강belt A	50w X 1.2t 이상	1식	polyester
④	보강belt B	100w X 2t 이상	1식	polyester
⑤	joint목표	φ8m/m 이상	1식	합성섬유
⑥	joint ig	φ9m/m 이상	1식	SS400
⑦	joint 부재	φ12m/m 이상 shakie	1식	SS400
⑧	float cover	polyester tarpaulin	1식	
부재 표-1 (호칭)				
		H-300X300X10X15	19.5m	
		2t 이상 conveyor belt 등	1식	conveyor belt
		R-4t 이상	1식	SS400
		M 16	1식	SS400
		φ 19 m/m	1식	SS400
		φ 16 m/m Lock chain	1식	
		l = 600mm		

그림 A3.1.6 고정식(자립형) 오탁방지막 규격도(참고도).

## A3.2 구조 계산

### A3.2.1 수하형

#### A3.2.1.1 외력조건

##### (1) 주기·파장·파고

○ 주어지지 않은 경우에는 사용자와 협의하여 다음 식들을 적용한다.

① 주기  $T$  (s)  $T = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$

② 파장  $L$  (m)  $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$

③ 파고  $H$  (m)  $H = H_{1/3}, H_{1/3} = \frac{H_{\max}}{1.6}$

##### (2) 풍속 $V$ (m/s)

○ 주어지지 않은 경우에는 주기, 파고 등을 고려하여 사용자와 협의하여 결정한다.

○ 단, 풍속의 고도 보정은 고려하지 않는다. 고려하는 경우는 다음 식을 사용한다.

$$V_h = V_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^{1/7}$$

여기서,  $V_h$ 는 고도  $h$ 에서의 풍속,  $V_0$ 는 고도  $h_0$ 에서의 풍속을 나타낸다.

##### (3) 유속 $U$ (m/s)

○ 주어지지 않은 경우에는 사용자와 협의하여 결정한다.

#### A3.2.1.2 오탉방지막 강도 계산

##### (1) 오탉방지막의 설계외력

○ 수하형 오탉방지막의 설계 외력은 다음 3종류 외력의 수평 성분을 고려한다.

- ① 흐름 압력
- ② 파압력
- ③ 풍압력

(2) 오탉방지막의 단위길이당 수평외력

(가) 흐름 압력  $W_1$

$$\circ W = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot DR \cdot U^2 \cdot K_C \quad (\text{A3.2.1})$$

여기서,  $W_1$ 은 조류에 의한 오탉방지막 부설 길이 1m당 흐름 압력(kgf/m),  $\rho_w$ 는 해수의 밀도( $104.5 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ , 일본항만협회, 1988, 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $DR$ 은 오탉방지막의 높이(m),  $U$ 는 유속(m/s),  $K_C$ 는 오탉방지막의 유효 흘수율(조류에 들뜨지 않도록 하고  $K_C=1$ 로 한다. 들뜨는 모양에 대해서는 추후 검토한다)을 각각 나타낸다.

(나) 파압력  $W_2$

- 파압력은 유의파를 사용하여 해중 부재에 작용하는 작용력의 식으로부터 계산한다. 또 파장은 천해파로서 다음 식으로 계산한다.

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \int \theta^2 dZ \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \left\{ \frac{\pi h}{t} \cdot \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right\}^2 \cdot \frac{L}{8\pi} \\ &\quad \cdot \left[ \sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right) - \sinh\left(\frac{4\pi(h - DR \cdot K_C)}{L}\right) + \frac{4\pi \cdot DR \cdot K_C}{L} \right] \end{aligned} \quad (\text{A3.2.2})$$

여기서,  $W_2$ 는 오탉방지막 부설 길이 1m당 파압력(kgf/m),  $\rho_w$ 는 해수의 밀도( $104.5 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ , 일본항만협회, 1988, 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $DR$ 은 오탉방지막의 높이(m),  $H$ 는 유의파고(m),  $T$ 는 주기(s),  $L$ 은 파장(m),  $h$ 는 수심(m),  $K_C$ 는 오탉방지막의 유효 흘수율(전항 (가)와 같이  $K_C=1$ 로 한다)을 각각 나타낸다.

(다) 풍압력  $W_3$

$$\circ W_3 = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot FR \cdot V^2 \quad (\text{A3.2.3})$$

여기서,  $W_3$ 는 오탉방지막 설치 길이 1 m당 풍압력(kgf/m),  $\rho_a$ 는 공기의 밀도( $0.123 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ , 일본항만협회, 1988, 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $FR$ 은 오탉방지막의 乾舷高(=float 직경, m),  $V$ 는 풍속(m/s)을 각각 나타낸다.



(라) 설계외력

○  $W = W_1 + W_2 + W_3$

여기서,  $W$ 는 오탉방지막 부설 길이 1 m당 설계외력(kgf/m)을 나타낸다.

(3) Tension 부재의 장력

○  $T_s = \frac{W \cdot a}{2\delta_{\max}} \cdot \sqrt{a^2 + 4\delta_{\max}^2}$

여기서,  $T_s$ 는 tension 부재에 발생하는 장력(kgf),  $a$ 는 계류점 사이의 거리  $A_1$ 의 절반(m),  $\delta_{\max}$ 는 최대 휨량(=0.1A, m)을 각각 나타낸다. 단, 계류점 사이의 거리를 변경하는 경우에는

$$A \approx A_1 \cdot \left(1 + \frac{8}{3}n^2 - \frac{32}{5}n^4\right), \quad n = \frac{\delta_{\max}}{A_1}$$

로 한다.

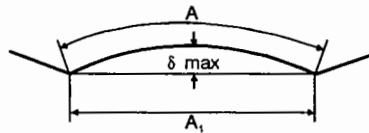


그림 A3.2.1 변형도.

(4) Anchor rope 및 anchor

(가) Anchor rope에 걸리는 장력

○  $T_a = A_1 W$

$$T_u = \frac{T_a}{\cos \theta}$$

여기서,  $T_a$ 는 anchor rope에 걸리는 수평력(kgf),  $T_u$ 는 anchor rope에 걸리는 장력(kgf),  $A_1$ 은 계류점 사이의 거리(m, 계산은  $\delta_{\max} = 2m$ 일 때의 값 19.5m를 표준으로 한다),  $\theta$ 는 anchor rope의 경사도( $30^\circ$ 를 표준으로 한다)를 각각 나타낸다.

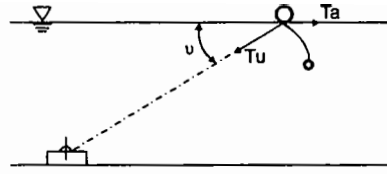


그림 A3.2.2 부설단면도.

(나) Anchor rope의 길이

$$\circ l = \left( CDL + H.W.L + \frac{H}{2} \right) \cdot \frac{1}{\sin\theta} \cdot \alpha = \left( h + d + \frac{H}{2} \right) \cdot \frac{1}{\sin\theta} \cdot \alpha$$

여기서,  $l$ 은 anchor rope의 길이(m),  $CDL$ 은 기본수준면(m),  $H.W.L.$ 은 만조위(m),  $H$ 는 파고(m),  $\theta$ 는 anchor rope의 경사각( $30^\circ$ 를 표준으로 한다),  $\alpha$ 는 여유율(=1.05),  $h$ 는 수심(m),  $d$ 는 간만차(m)를 각각 나타낸다. 단,  $l$ 은  $h/\sin\theta$ 보다 길기 때문에 느슨해진다. 상부 anchor rope는  $l$ 의 일부이며 별도로 추가하지는 않는다.

(다) Anchor 중량

$$\circ W_w = \left( \frac{T_u \cdot \cos\theta}{\alpha \cdot K} + T_u \cdot \sin\theta \right) \cdot S_f$$

$$W_a = W_w \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_c - \gamma_w}$$

여기서,  $W_w$ 는 anchor의 수중 중량(kgf),  $W_a$ 는 anchor의 대기중 중량(kgf),  $T_u$ 는 anchor rope에 걸리는 장력(kgf),  $\theta$ 는 anchor rope의 경사 각도( $30^\circ$ 를 표준으로 한다),  $S_f$ 는 안전율(=1.2),  $\alpha$ 는 중량에 따른 저감계수(50톤까지는  $\alpha = 1$ ),  $K$ 는 파괴력 계수(해양장구조물설계지침, 표 A3.2.1 참조),  $\gamma_c$ 는 콘크리트의 비중(=2.3),  $\gamma_w$ 는 해수 비중(1.025, 일본항만협회, 1988, 항만 시설의 기술상의 기준·동해설)을 나타낸다.

표 A3.2.1 파괴력 계수표.

해저토질	암반	자갈	모래	실트 및 점토
파괴력 계수	1.0~1.5	1.0~2.0	1.5~2.5	2.0~3.5
주) 이 표는 앞으로 추가검토가 필요하다.				

(5) Curtain

- Curtain의 재료를 선정하기 위한 장력 계산은 파의 수립자 속도 분포가 큰 수면 가까이에서부터 curtain의 상부 1 m에 대한 흐름 압력과 파압력으로부터 구한다.

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot U^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \left\{ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right\}^2 \cdot \frac{L}{8\pi} \cdot \left[ \sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right) - \sinh\left\{\frac{4\pi(h-1)}{L}\right\} + \frac{4\pi}{L} \right]$$

$$P_C = P_1 + P_2$$

$$T_C = \frac{P_C \cdot a}{2\delta_{\max}} \cdot \sqrt{a^2 + 4\delta_{\max}^2}$$

여기서,  $P_1$ 은 흐름 압력,  $P_2$ 는 파압력,  $P_C$ 와  $T_C$ 는 각각 curtain에 작용하는 외력과 장력을 나타낸다.

(6) Float

- Float에 작용하는 외력은 연직방향 부력  $T_v$ 로서 다음 식으로 구한다.

$$T_v = \frac{T_u \cdot \sin\theta}{A}$$

- Float 견현율은 50% 이상을 사용하는 것을 기준으로 한다. 따라서 float 부력  $F_f$ 는 다음과 같이  $T_v$ 의 2배 이상으로 하는 것이 바람직하다.

$$F_f \geq 2 T_v$$

주1) 부착물 중량으로 견현율이 50%보다 작아지는 경우, 패류 제거 등의 적절한 유지관리를 하는 것으로 한다. A 등급에서는 최대파고를  $H_{\max} \geq 1.0$  m로 하여 산출한다.

주2) A, B, C 등급 오탉방지막의 설치기간이 1년 이상으로 부영양화가 현저한 폐쇄성 내만에서는 curtain의 양면의 부착 중량을 깊이 5 m까지 고려하는 것이 바람직하다.

### A3.2.1.3 규격 검토

#### (1) Tension 부재

- Tension 부재 장력  $T_s$ 는 float 하부의 tension belt에서 부담한다.
- Tension belt의 절단 강도를  $T_b$ 로 하여 안전율을 3 이상으로 한다.

$$SF = \frac{T_b}{T_s} \geq 3$$

#### (2) Curtain

- Curtain 원단 강도는 curtain에 작용하는 장력  $T_c$ (kgf/m)를 기초로 안전율을 포함하고 3 cm 폭 소요강도로 원단을 선정한다.
- 3cm 폭 소요강도  $T_3$ (kgf/3 cm)는 다음 식으로 구한다.

$$T_3 = T_c \cdot SF \cdot \frac{3}{100}$$

$$SF = SF_1 \cdot \frac{1}{SF_2'} \cdot \frac{1}{SF_3'}$$

- Curtain의 안전율은 표 A3.2.2를 표준으로 한다. 단, 기본안전율 이외는 안전율이라고 부르는 것이 적당하지 못하므로 Curtain 원단 강도 유지의 역수를 안전율로 하여 계산한다.

표 A3.2.2 Curtain의 안전율.

사 용 기 간	6개월	1년	2년
기본안전율 $SF_1$	3	3	3
제품 봉합에 의한 강도 유지 $SF_2$	0.6	0.6	0.6
시간 경과에 따른 강도 유지 $SF_3$	0.6 이하	0.4 이하	0.25 이하
전체 안전율 $SF$	8 이상	12 이상	20 이상

### (3) Anchor rope

- Anchor rope에 걸리는 장력  $T_u(\text{kgf})$ 에 안전율  $SF=3$  이상을 예상하고 anchor rope의 절단 강도와 비교하여 anchor rope의 직경을 결정한다. 단, 매달리는 것을 고려할 때는  $SF=5$  이상으로 한다.
- 현재의 anchor rope는 종래와 마찬가지로 JIS 6×24 도금 wire rope의 피복품이 많이 사용되지만 추가검토가 필요하다. Anchor rope 직경은 부식을 고려하여 최소  $\phi 12$  이상으로 한다.

## A3.2.2 자립형

### A3.2.2.1 외력조건

#### (1) 주기·파장·파고

- 주어지지 않은 경우에는 사용자와 협의하여 다음 식들을 적용한다.

① 주기  $T(\text{s})$   $T = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$

② 파장  $L(\text{m})$   $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\frac{2\pi h}{L}$

③ 파고  $H(\text{m})$   $H = H_{1/3}, H_{1/3} = \frac{H_{\max}}{1.6}$

- ①,②,③의 계산 결과는 소수점 이하 둘째자리까지로 한다.

#### (2) 유속 $U(\text{m/s})$

- 주어지지 않은 경우에는 사용자와 협의하여 결정한다.

### A3.2.2.2 오탁방지막 강도 계산

#### (1) 오탁방지막의 설계외력

- 자립식 오탁방지막의 설계 외력은 다음 외력의 수평 성분으로 한다.

- ① 흐름 압력
- ② 파압력

#### (2) 오탁방지막의 단위폭당 수평 외력

(가) 흐름 압력  $W_1$

$$\circ W_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot DR' \cdot U^2 \cdot K_C \quad (\text{A3.2.4})$$

여기서,  $W_1$ 은 흐름에 의한 오탐방지막의 단위폭(1 m)당의 흐름 압력(kgf/m),  $\rho_w$ 는 해수의 밀도( $104.5 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ , 일본항만협회, 1988, 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설),  $C_D$ 는 항력 계수(=1.2),  $DR'$ 은 오탐방지막의 높이(m, float 직경을 포함한 전체 높이),  $U$ 는 유속(m/s),  $K_C$ 는 오탐방지막의 유효 높이의 비율(조류에 의한 떠들림은 고려하지 않는 것으로 하고  $K_C=1$ 로 한다)을 각각 나타낸다.

(나) 파압력  $W_2$

○ 파력은 유의파를 사용하여 해중 부재에 작용하는 파력의 식으로부터 산출한다.

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \int_{z_2}^{z_1} \left[ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh \left\{ 2\pi \frac{z+h}{L} \right\}}{\sinh \left( \frac{2\pi \cdot h}{L} \right)} \right]^2 \cdot dz$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \left\{ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh \left( \frac{2\pi h}{L} \right)} \right\}^2 \cdot \frac{L}{8\pi} \quad (\text{A3.2.5})$$

$$\left\{ \sinh \left( \frac{4\pi \cdot DR' \cdot K_C}{L} \right) + \frac{4\pi \cdot DR' \cdot K_C}{L} \right\}$$

$$z_1 = DR' - h$$

$$z_2 = -h$$

여기서,  $W_2$ 는 오탐방지막의 단위폭(1m)당 파압력(kgf/m),  $\rho_w$ 는 해수의 밀도( $104.5 \text{ kgf} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ , 일본항만협회, 1988, 항만의 시설의 기술상의 기준·동해설),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $H$ 는 유의파고(m),  $T$ 는 주기(s),  $L$ 은 파장(m),  $h$ 는 수심(m),  $DR'$ 은 오탐방지막의 높이(m, float 직경을 포함한 전체 높이),  $K_C$ 는 오탐방지막의 유효 흘수율(조류에 의한 휘날림은 고려하지 않는 것으로 하고  $K_C=1$ 로 한다)을 각각 나타낸다.

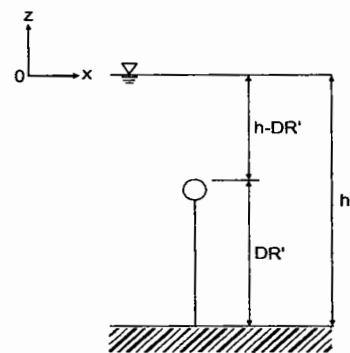


그림 A3.2.3

(다) 설계외력  $W$

$$\circ W = W_1 + W_2$$

여기서,  $W$ 는 오탐방지막의 단위폭당 수평 외력(kgf/m)을 나타낸다.

### (3) Float의 부력

- Float의 부력에서 curtain 및 float에 패류 등의 부착물의 중량은 고려하지 않는다.

#### (가) 연직력 $G$

- $G = W_s + DR' \cdot W_h$

여기서,  $G$ 는 float의 단위길이당 유효 부력(kgf/m),  $W_s$ 는 금속부품의 수중 중량(kg/m),  $DR'$ 은 오탁방지막의 높이(m, float 직경을 포함한 전체 높이),  $W_h$ 는 curtain의 단위면적당 수중 중량(km/m')을 각각 나타낸다.

#### (나) Float의 유효 부력 $F_F$

- $F_F = F_O - G$

여기서,  $F_F$ 는 float의 단위길이당 유효 부력(kgf/m),  $F_O$ 는 float의 단위길이당 부력(kgf/m),  $G$ 는 단위폭당 연직력(kgf/m)을 각각 나타낸다.

### (4) Curtain 강도

- Curtain에 작용하는 인장력은 float의 유효 부력  $F_F$ 와 외력의 수평 성분  $W$ 의 합력으로 한다.

#### (가) 흐름 압력 $W_1$ (kgf/m)

- 흐름 압력은 식 (A3.2.4)의 오탁방지막에 작용하는 흐름 압력으로부터 산출한다.

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot DR' \cdot U^2 \cdot K_C$$

#### (나) 파압력 $W_2$ (kgf/m)

- 파압력은 식 (A3.2.5)의 해중 부재에 작용하는 파력의 식을 사용하는 것으로 한다.

#### (다) 작용 외력 $W$ (kgf/m)

- $W = W_1 + W_2$

#### (라) Curtain에 작용하는 장력 $T_C$ (kgf/m)

- $T_C = \sqrt{F_F^2 + W^2}$

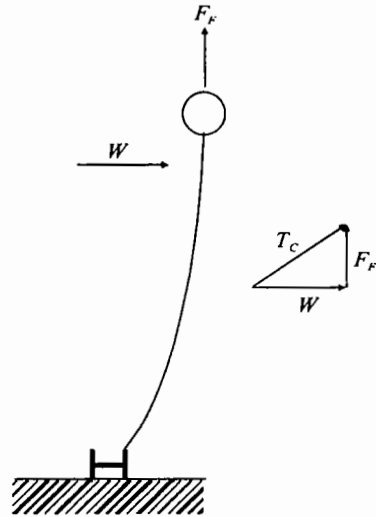


그림 A3.2.4

(마) Curtain의 안전율

- Curtain의 원단 강도는 curtain에 작용하는 장력  $T_c$  (kgf/m)를 기초로 안전율을 포함시켜 3 cm 폭의 소요 강도로 원단을 선정한다. 폭 3 cm의 소요 강도  $T_3$  (kgf/3 cm)는 다음과 같다.

$$T_3 = T_c \cdot SF \cdot \frac{3}{100}$$

$$SF = SF_1 \cdot \frac{1}{SF'_2} \cdot \frac{1}{SF'_3}$$

- Curtain의 안전율은 표 A3.2.3을 표준으로 한다. 단, 기본 안전율 이외는 안전율이 라고 부르는 것이 부적합하므로  $SF'_2$ ,  $SF'_3$ 는 그 역수를 안전율로 보고  $SF_2$ ,  $SF_3$ 로 서 취급한다.

표 A3.2.3 Curtain의 안전율.

사 용 기 간	6 개월	1 년	2 년
기본안전율 $SF_1$	3	3	3
제품 봉합에 의한 강도 유지 $SF_2$	0.6	0.6	0.6
시간 경과에 따른 강도 유지 $SF_3$	0.6 이하	0.4 이하	0.25 이하
전체 안전율 $SF$	8 이상	12 이상	20 이상



(5) Anchor 중량

- Anchor는 작용하는 수평 외력  $W$ 와 상방향의 힘  $F_F$ 에 대하여 그 수중 중량  $W_w$ 에 의해 해저와 그 저항력(파지력)으로 저항하기 때문에 필요한 anchor 중량(수중 중량)  $W_w$ 는 안전율을 고려하여 다음 식으로 산출한다.

$$W_w \geq \left( \frac{W}{K} + F_F \right) \cdot S_F$$

여기서,  $W_w$ 는 anchor의 수중 중량(kg/m),  $W$ 는 수평 외력(kgf/m),  $F_F$ 는 float의 유효 부력(kgf/m),  $K$ 는 anchor와 해저의 파지력 계수(표 A3.2.4 참조, 해양강구조물 설계지침),  $S_F$ 는 안전율(=1.2)를 각각 나타낸다.

표 A3.2.4 파지력 계수.

해저 토질	암반	자갈	모래	실트 및 점토
파지력 계수	1.0~1.5	1.0~2.0	1.5~2.5	2.0~3.5

A3.2.3 구조계산 예

A3.2.3.1 수하형

(1) 설계조건

풍속	$V$	15 m/s
조류속	$U$	0.3 m/s
파고	$H_{1/3}$	1.0 m
파장	$L$	23.25 m ( $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$ 로부터 ACES* 등을 이용)
주기	$T_{1/3}$	$T = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} = 3.86$ s
Curtain 높이	$DR$	7.0 m
조석 간만차	$d$	1.5 m
Float 직경	$FR$	0.6 m
사용 기간		1년
해저 지질		실트 층
수심	$h$	20 m

\* ACES(Automated Coastal Eng. System, CERC)

(2) 오탉방지막의 강도 계산

(가) 외력  $W$  (kgf/m)

① 조류에 의한 오탉방지막 설치 길이 1 m당 흐름 압력  $W_1$  (kgf/m)

$$W_1 = \frac{1}{2} \rho_w \cdot C_D \cdot DR \cdot U^2 \cdot K_C$$

여기서,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도(=104.5 kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $DR$ 은 오탉방지막 높이(=7m),  $U$ 는 유속(=0.3m/s),  $K_C$ 는 오탉방지막의 유효 홀수율(=1)을 각각 나타낸다.

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times 7 \times 0.3^2 \times 1 = 39.5 \text{ kgf/m}$$

② 오탉방지막 설치 길이 1 m당의 파 압력  $W_2$  (kgf/m)

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \int \theta^2 dZ \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \left\{ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh(2\pi h/L)} \right\}^2 \\ &\quad \cdot \frac{L}{8\pi} \cdot \left[ \sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right) - \sinh\left(\frac{4\pi(h - DR \cdot K_C)}{L}\right) + \frac{4\pi \cdot DR \cdot K_C}{L} \right] \end{aligned}$$

여기서,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도(=104.5kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $DR$ 은 오탉방지막 높이(=7m),  $H$ 는 유의파고(=1m),  $T$ 는 주기(=3.86s),  $L$ 은 파장(=23.25m),  $h$ 는 수심(=20m),  $K_C$ 는 오탉방지막의 유효 홀수율(=1)을 나타낸다.

$$W_2 = 75.1 \text{ kgf/m}$$

③ 오탉방지막 설치 길이 1 m당의 풍압력  $W_3$  (kgf/m)

$$W_3 = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot FR \cdot V^2$$

여기서,  $\rho_a$ 는 공기의 밀도(=0.123kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $FR$ 은 float 직경(=0.6m),  $V$ 는 풍속(=15m/s)을 각각 나타낸다.

$$W_3 = 10.0 \text{ kgf/m}$$

④ 오락방지막 설치 길이 1 m당의 수평 외력  $W$  (kgf/m)

$$W = W_1 + W_2 + W_3 = 124.6 \text{ kgf/m}$$

(나) Tension 부재에 발생하는 장력  $T_s$  (kgf)

$$\circ T_s = \frac{W \cdot a}{2\delta_{\max}} \cdot \sqrt{a^2 + 4\delta_{\max}^2}$$

여기서,  $a$ 는 오락방지막이 수평 외력을 받아서 처졌을 때의 계류점 사이의 거리  $A_1$ 의 절반,  $\delta_{\max}$ 는 최대 휨 량,  $W$ 는 설치 길이 1 m당 수평외력(=124.6kgf/m)을 각각 나타내며,  $a$ 와  $\delta_{\max}$ 는 다음과 같이 구한다.

$$a = \frac{1}{2} \cdot A_1 = \frac{1}{2} \times 19.5 = 9.75 \text{ m}$$

$$\delta_{\max} = 0.1 \cdot A = 0.1 \times 20 = 2 \text{ m}$$

따라서,

$$T_s = \frac{124.6 \times 9.75}{2 \times 2} \times \sqrt{9.75^2 + 4 \times 2^2} \approx 3200 \text{ kgf}$$

(다) Anchor 로프 및 anchor

① Anchor 로프에 걸리는 수평력  $T_a$  (kgf)와 장력  $T_u$  (kgf)

$$T_a = A_1 \cdot W$$

$$T_u = \frac{T_a}{\cos\theta}$$

여기서,  $A_1$ 은 계류점 사이의 거리(= 19.5 m),  $\theta$ 는 anchor 로프의 경사 각도(=30°),  $W$ 는 설치 길이 1 m당의 수평 외력(= 124.6 kgf/m)을 각각 나타낸다.

$$T_a = 19.5 \times 124.6 = 2430 \text{ kgf/m}$$

$$T_u = \frac{2430}{\cos 30^\circ} = 2806 \text{ kgf/m}$$

② Anchor 로프의 길이  $l$  (m)

$$l = \left( h + d + \frac{H}{2} \right) \cdot \frac{1}{\sin\theta} \cdot \alpha$$

여기서,  $\theta$ 는 anchor 로프의 경사각(=30°,  $\alpha$ 는 여유율(=1.05),  $h$ 는 수심(=20m),  $d$ 는 간만차(=1.5m)를 각각 나타낸다.

$$l = \left(20 + 1.5 + \frac{1}{2}\right) \times \frac{1}{\sin 30^\circ} \times 1.05 \approx 47 \text{ m}$$

③ Anchor의 수중 중량  $W_w$  (kgf)와 공기중 중량  $W_a$  (kgf)

$$W_w = \left( \frac{T_u \cdot \cos \theta}{\alpha \cdot K} + T_u \cdot \sin \theta \right) \cdot S_f$$

$$W_a = W_w \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_c - \gamma_w}$$

여기서,  $T_u$ 는 anchor 로프에 걸리는 장력(=2806kgf),  $\theta$ 는 anchor 로프의 경사 각도(=30°),  $S_f$ 는 안전율(=1.2),  $\alpha$ 는 중량에 의한 저감 계수(=1),  $K$ 는 파지력 계수(=2, 표 A3.2.1로부터),  $\gamma_c$ 는 콘크리트의 비중(=2.3),  $\gamma_w$ 는 해수 비중(=1.025)을 나타낸다.

$$W_w = \left( \frac{2806 \times 0.866}{1 \times 2} + 2806 \times 0.5 \right) \times 1.2 = 3142 \text{ kgf}$$

$$W_a = 3.142 \times \frac{2.3}{2.3 - 1.025} = 5668 \text{ kgf}$$

(라) Curtain에 작용하는 외력  $P_C$  (kgf/m<sup>2</sup>)와 장력  $T_C$  (kgf/m)

$$\circ P_C = P_1 + P_2$$

$$T_C = \frac{P_C \cdot a}{2\delta_{\max}} \cdot \sqrt{a^2 + 4\delta_{\max}^2}$$

여기서, 흐름 압력과 파 압력은 다음 식에 의한다.

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot U^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \left\{ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh(2\pi h/L)} \right\}^2 \cdot \frac{L}{8\pi} \cdot \left[ \sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right) - \sinh\left\{\frac{4\pi(h-1)}{L}\right\} + \frac{4\pi}{L} \right]$$

여기서,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도(=104.5kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $U$ 는 유속(=0.3 m/s),  $H$ 는 파고(=1m),  $T$ 는 주기(=3.86s)  $L$ 은 파장(=23.25m),  $h$ 는 수심(=20m),  $a$ 는 오타방지막이 수평 외력을 받아 처졌을 때의 계류점 사이의 거리  $A_1$ 의

1/2(=9.75m),  $\delta_{\max}$ 는 최대 휨량(=2m)을 나타낸다.

$$P_1 = \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times 0.3^2 = 5.6 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times \left\{ \frac{\pi \times 1}{3.86} \times \frac{1}{\sinh \{(2 \times \pi \times 20)/23.25\}} \right\}^2 \times \frac{23.25}{8 \times \pi} \\ \times \left[ \sinh \left( \frac{4 \times \pi \times 20}{23.25} \right) - \sinh \left\{ \frac{4 \times \pi \times (20 - 1)}{23.25} \right\} + \frac{4 \times \pi}{23.25} \right] = 32.1 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_C = P_1 + P_2 = 5.6 + 32.1 = 37.7 \text{ kgf/m}^2$$

$$T_C = \frac{37.7 \times 9.75}{2 \times 2} \times \sqrt{9.75^2 + 4 \times 2^2} = 968.4 \text{ kgf/m}$$

(마) Float에 작용하는 연직 외력  $T_V$  (kgf/m)와 1m당 float의 부력  $F_f$  (kgf/m)

$$\circ T_V = \frac{T_u \cdot \sin \theta}{A}$$

$$F_f \geq 2 \cdot T_V$$

여기서,  $T_u$ 는 anchor 로프에 걸리는 장력(=2806kgf),  $\theta$ 는 anchor 로프의 경사각(=30°),  $A$ 는 오락방지막 제품의 1 span 길이(=20m)를 각각 나타낸다.

$$T_V = 2806 \times \frac{\sin 30^\circ}{20} = 70 \text{ kgf/m}$$

$$F_f \geq 2 \times 70 = 140 \text{ kgf/m}$$

(3) 규격 검토

(가) Tension 부재

$$\circ SF = \frac{T_b}{T_s} \geq 3$$

여기서,  $T_s = 3200 \text{ kgf}$ (전술한 내용으로부터),  $T_b \geq 3 \cdot T_s = 9600 \text{ kgf}$

(나) Curtain (3 cm 폭 소요 강도)

$$\circ T_3 = T_c \cdot SF \cdot \frac{3}{100}$$

$$SF = SF_1 \frac{1}{SF_2'} \cdot \frac{1}{SF_3'}$$

여기서,  $T_c = 968.4 \text{ kgf/m}$  (전술한 내용으로부터)이며, 또 curtain의 안전율의 표로부터  $SF \geq 12$ 를 채용하여

$$T_3 = 968.4 \times 12 \times \frac{3}{100} \approx 349 \text{ kgf/3 cm}$$

(다) Anchor 로프

- 안전율을  $SF$ 로 하고 anchor 로프의 필요 장력  $T_0$ 를 구한다.

$$T_0 \geq T_u \cdot SF$$

여기서,

$$T_u = 2806 \text{ kgf} , SF \geq 3$$

$$\begin{aligned} \therefore T_0 &\geq 2806 \times 3 = 8418 \text{ kgf} \\ &\approx 8418 \div 1000 \times 9.80665 \\ &\approx 82.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

(4) 정리

(가) 설계외력

표 A3.2.5 설계외력표.

흐름 압력 $W_1$ (kgf/m)	파 압력 $W_2$ (kgf/m)	풍 압력 $W_3$ (kgf/m)	설계 외력 $W$ (kgf/m)
39.5	75.1	10.0	124.6

(나) 각 부재력

표 A3.2.6 부재력표.

항 목		
Tension 부	Tension 부재의 장력 $T_s$ (kgf/m)	
	3200	
Curtain	Curtain에 작용하는 외력 $P_c$ (kgf/m <sup>2</sup> )	Curtain에 작용하는 장력 $T_c$ (kgf/m)
	37.7	968.4

표 A3.2.6 (계속).

항 목			
Float	Float 직경 $FR$ (m)		1 m당의 필요 float 부력 $F_F$ (kgf/m)
	0.6		140
Anchor 로프 및 anchor	Anchor에 걸리는 장력 $T_u$ (kgf)	Anchor 로프의 길이 $l$ (m)	Anchor 공기중 중량 $W_a$ (kgf)
	2806	47	5668

(다) 규격 검토

표 A3.2.7 규격표.

규 격	
Tension 부	장력 10 tf 이상
Curtain	강도 500 kgf/3cm (안전율 $SF \geq 12$ )
Float	Float 직경 600 $\phi$ 에서 140 kgf/m 이상
Anchor 로프	JIS 6 $\times$ 24 G종 14 $\phi$ 이상 (계류에 대하여)
Anchor 로프의 길이	47 m 이상
Anchor	6 tf 콘크리트 block(공기중 중량) 이상

### A3.2.3.2 자립형

#### (1) 설계조건

흐름	$U$	0.3 m/s
파고	$H_{1/3}$	1.0 m
파장	$L$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L} \rightarrow L = 23.25 \text{ m}$ (ACES* 등을 이용한다)
주기	$T_{1/3}$	$T = 3.86\sqrt{H_{1/3}} = 3.86 \text{ s}$
Curtain 높이	$DR$	10 m
Float 직경	$FR$	300 mm
오타방지막 높이	$DR$	10.3 m
수심	$h$	20 m
사용기간		1년
해저지질		실트 층

\* ACES(Automated Coastal Eng. System, CERC)

#### (2) 오타방지막의 강도 계산

##### (가) 설계외력 $W$ (kgf)

##### ① 흐름에 의한 오타방지막의 단위 폭(1 m)당 흐름 압력 $W_1$ (kgf/m)

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot DR' \cdot U^2 \cdot K_C$$

여기서,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도(=104.5kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $DR'$ 은 오타방지막 높이(float 직경을 포함한 전체 높이) (=10.3m),  $U$ 는 유속(=0.3m/s),  $K_C$ 는 오타방지막의 유효 높이의 비율(=1)을 나타낸다.

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times 10.3 \times 0.3^2 \times 1 \approx 58.1 \text{ kgf/m}$$



② 오탐방지막의 단위 폭(1m)당의 파 압력  $W_2$  (kgf/m)

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \int_{z_1}^{z_2} \left[ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh \{2\pi(z+h)/L\}}{\sinh(2\pi h/L)} \right]^2 \cdot dz$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_D \cdot \left\{ \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh(2\pi h/L)} \right\}^2 \cdot \frac{L}{8\pi} \cdot \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi \cdot DR' \cdot K_C}{L}\right) + \frac{4\pi \cdot DR' \cdot K_C}{L} \right\}$$

$$z_1 = DR' - h$$

$$z_2 = -h$$

여기서,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도(=104.5kgf·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>),  $C_D$ 는 항력계수(=1.2),  $H_{1/3}$ 은 유의파고(=1.0m),  $T_{1/3}$ 은 주기(=3.86s),  $L$ 은 파장(=23.25m),  $h$ 는 수심(=20m),  $DR'$ 은 오탐방지막 높이(float 직경을 포함한 전체 높이)(=10.3m),  $K_C$ 는 오탐방지막의 유효 높이의 비율(=1)을 각각 나타낸다.

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 104.5 \times 1.2 \times \left[ \frac{\pi \times 1.0}{3.86} \times \frac{1}{\sinh\{(2 \times \pi \times 20)/23.25\}} \right]^2 \times \frac{23.25}{8 \times \pi} \times \left\{ \sinh\left(\frac{4 \times \pi \times 10.3 \times 1}{23.25}\right) + \frac{4 \times \pi \times 10.3 \times 1}{23.25} \right\} \approx 0.4 \text{ kgf/m}$$

③ 오탐방지막 설치 단위폭당 수평 외력  $W$  (kgf)

$$W = W_1 + W_2 = 58.1 + 0.4 \approx 58.5 \text{ kgf/m}$$

(나) Float의 단위 길이당 유효 부력  $F_F$  (kgf/m)

$$\circ F_F = F_0 - G$$

여기서,  $F_0$ 는 float의 단위 길이당 부력(= 30 kgf/m),  $G$ 는 단위폭당의 연직력(=0.5 kgf/m)을 각각 나타낸다.

$$F_F = 30 - 0.5 = 29.5 \text{ kgf/m}$$

(다) Curtain 강도

① 흐름 압력 : 앞의 식 (A3.2.4)의 오탐방지막에 작용하는 흐름 압력에 의해 산출한다.

$$W_1 = 58.1 \text{ kgf/m}$$

② 파 압력 : 식 (A3.2.5)의 해중 부재에 작용하는 파력의 식을 이용하는 것으로 한다.

$$W_2 = 0.4 \text{ kgf/m}$$

③ 작용외력  $W$  (kgf/m)

$$W = W_1 + W_2 = 58.1 + 0.4 \approx 58.5 \text{ kgf/m}$$

④ Curtain에 작용하는 장력  $T_C$  (kgf/m)

$$T_C = \sqrt{F_F^2 + W^2}$$

여기서,  $F_F$ 는 float 부력(29.5 kgf/m)이다.

$$T_C = \sqrt{29.5^2 + 58.5^2} = 65.5 \text{ kgf/m}$$

⑤ Curtain의 안전율 (3 cm 폭 소요 강도  $T_3$  (kgf/3cm))

$$T_3 = T_C \cdot SF \cdot \frac{3}{100}$$

여기서,  $SF$ 는 안전율(=12, 표 A3.2.3 참조)을 나타낸다.

$$T_3 = 65.5 \times 12 \times \frac{3}{100} \approx 23.6 \text{ kgf/3 cm}$$

(라) Anchor의 수중 중량  $W_w$  (kgf/m)

$$\circ W_w \geq \left( \frac{W}{K} + F_F \right) \cdot SF$$

여기서,  $W$ 는 수평외력(=58.5kgf/m),  $F_F$ 는 float의 유효 부력(=29.5kgf/m),  $K$ 는 anchor와 해저와의 파지력계수(2.0, 표 A3.2.4 참조),  $SF$ 는 안전율(=1.2)를 각각 나타낸다.

$$W_w \geq \left( \frac{58.5}{2.0} + 29.5 \right) \times 1.2 = 70.5 \text{ kgf/m}$$

(마) Anchor의 공기중 중량  $W_a$  (kgf/m)

$$\circ W_a = W_w \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w}$$

여기서,  $\gamma_s$ 는 강재의 비중(=7.85),  $\gamma_w$ 는 해수의 비중(=1.025)을 나타낸다.

$$W_a = 70.5 \times \frac{7.85}{7.85 - 1.025} \approx 81.1 \text{ kgf/m}$$

여기서, anchor의 표준품으로서 H형강을 사용하고 길이는 span 20m에 대하여 19.5m를 사용하므로 H형강의 필요 공기중 중량  $W_a$ 는 다음과 같이 된다.

$$81.1 \times \frac{20}{19.5} \approx 83.2 \text{ kgf/m}$$

### (3) 정리

○ 설계외력과 각 부재력을 표 A3.2.8과 A3.2.9에 각각 정리하였다.

표 A3.2.8 설계외력표.

유압력 $W_1$ (kgf/m)	파 압력 $W_2$ (kgf/m)	설계외력 $W$ (kgf/m)
58.1	0.4	58.5

표 A3.2.9 부재력.

항 목	
Curtain	Curtain에 작용하는 외력 $W$ (kgf/m)
	Curtain에 작용하는 장력 $T_C$ (kgf/m)
Float	Float 직경 $FR$ (m)
	1 m당의 float 유효 부력 $F_F$ (kgf/m)
Anchor	필요 공기중 중량 $W_a$ (kg/m)
	H형강 규격 (길이 19.5 m)
	H형강 300×300×10×15 (93 kgf/m)

## A3.3 재 료

- 오탉방지막은 float, curtain, tension 部 및 anchor rope로 구성되며 본 장에서는 이들의 소재 및 물리적 성질에 대하여 소개한다.

### A3.3.1 Float

#### A3.3.1.1 고정식 (수하형 및 자립형)

- Float는 float cover로 덮여 있으며(그림 A3.3.1 참조), 각각의 부재에 대하여 다음에 기술한다. float와 float cover의 물성치는 표 A3.3.1과 표 A3.3.2에 각각 제시하였다.

표 A3.3.1 Float의 물성치와 시험법.

재 질	Polystyrene	시 험 방 법
기포 구조	독립 기포	-
외관상 밀도(g/cm <sup>3</sup> )	0.014~0.045	JIS A 9511
부력(kgf/span)	200~5,000	JIS A 9511

(비고) 수하형, 자립형이 포함되며, float의 발포 배율은 약 25~70배로서 대략 외관상 밀도의 역수가 된다.

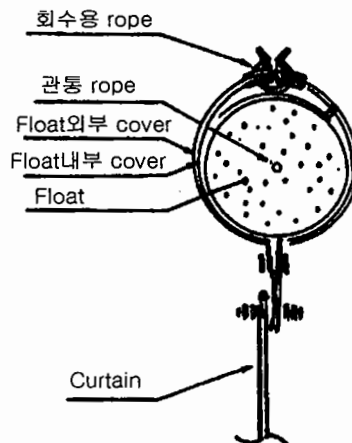


그림 A3.3.1 Float 단면.

표 A3.3.2 Float cover의 물성치와 시험법.

부위	Float 내의 cover	Float 밖의 cover	시험 방법
재질	Polyester Cross	Polyester Cross 또는 Nylon Tarpaulin	
인장강도(kgf/3 cm)	300×300~800×800	115×115~180×180	JIS L 1096
(비고) 여기 게재한 자료는 例示用이기 때문에 사용하는 경우에는 납입 제작사가 제시한 자료를 참조할 것.			

### A3.3.1.2 부침식

○ 재질은 합성고무, 합성섬유로 되어 있으며, 시험 및 검사일람표는 표 A3.3.3과 같다.

표 A3.3.3 고무 float 部 시험 및 검사 일람표.

시험명	검사항목	빈도	시험방법·규격	검사부위	비 고
고무 물성 시험	인장강도 연성	Sample n = 3	JIS K 6251		본체 고무 및 유색 고무를 사용할 경우 이를 포함한다.
Tension 部の 강도 시험	인장강도	Sample n = 3	JIS K 6322	그림 C3.1.2 참조	시험편은 A형, B형, T형 중에서 택일한다.
치수 검사	직경, 전장	전체	줄자 및 Nonius로 측정	직경측정은 100m float의 경우 단부에서 10, 50, 90m부의 3점을 측정한다	현장조립 완료 후 給氣時에 측정
기밀 검사	기밀성	전체	0.5kgf/cm <sup>2</sup> ±10%의 내압에서 15분간 유지하여 유지율 90% 이상인 것		현장조립 완료 후 실시
기능 검사 (浮沈 검사)	부침기능 부침시간	전체	급배기에 의해 부침조작을 한다	給排氣部, 강제침하부를 포함하는 1계통 300m를 기본으로 한다	해상부설 완료 후 실시

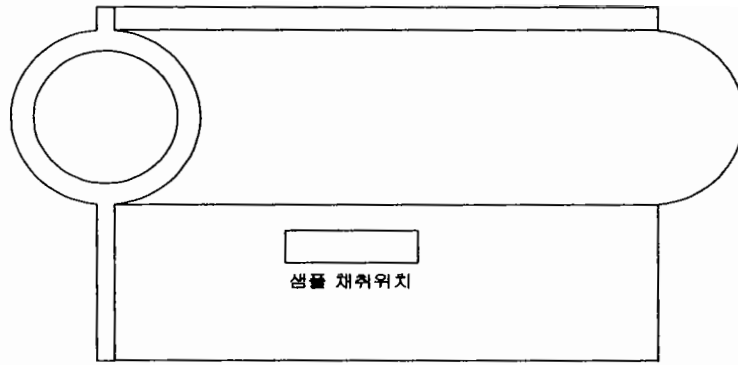


그림 A3.3.2 Tension 部 강도시험 sample 위치도.

## A3.3.2 Curtain

### A3.3.2.1 사용 재료

- ① 소재 및 조직 : 내구성, 내한성, 내약품성, 내후성, 내부식성, 견습 강도 유지성 등 오락방지막의 특성을 종합적으로 만족시키는 것으로서 Polyester 직물이 최적이다.
- ② 인장강도 : 오락방지막은 사용조건에 따라 각 등급으로 분류되지만 curtain 원단의 인장강도는 그것에 적합하도록 300, 500, 800 kgf/3cm 3종류로 한다.

### A3.3.2.2 시험 방법

- ① 적용 범위 : curtain 원단의 인장강도 및 신장율의 시험 방법에 대해 규정한다.
- ② 장치 : 정속 신장-인장시험기로 한다.
- ③ 방법 : JIS L 1096 래블스트립법(Ravelled Strip Method)법으로 한다.
- ④ 조작 : 시험편의 작성 및 시험 조건은 표 A3.3.4에 의한다.
- ⑤ 시험 결과의 종합 방법 : 절단시의 인장강도(kgf) 및 신장율(%)을 산출하고 종·횡 각각 3회의 평균치를 유효숫자 3자리까지 표시한다. 단, 고정점으로부터 1 cm 이내에서 잘린 것 또는 이상하게 잘린 것은 제외한다.
- ⑥ 기록 : 시험 성적에는 다음 항목을 기록해야 한다.
 

(1) 절단 인장강도(kgf/3 cm)	(4) 인장속도(cm/min)
(2) 절단 신장율(%)	(5) 시험편의 폭(cm)
(3) 시험실 온도(℃) 및 습도(%RH)	(6) 고정 간격(cm)
	(7) 기타 필요사항

표 A3.3.4 시험 방법.

상태 조절	건조상태에서 시험하고 시험편이 표준 상태가 된 것
인장 강도	1분간 마다 고정 간격의 100±5%
시험편 폭	3 cm
고정 간격	10 내지 20 cm
시험체 수	3개

### A3.3.2.3 기타 사항

- ① 사용 재료 : 현재 일반적으로 사용되는 재료에 대해 기술하였으나 금후의 신소재 등에 대해서는 필요시 검토한다.

## A3.3.3 Tension 部

### A3.3.3.1 고정식 (수하형)

- 구성 및 재질은 표 A3.3.5, 시험 재료 준비는 그림 A3.3.3에 제시하였다.
- 시험 재료의 시험 방법은 JIS B 8818을 기준하며 시험조건은 인장 속도 20 cm/min 이다.
- 시험편은 건조 상태로 하고 인장강도를 시험한다.

표 A3.3.5 구성과 재질.

	구성부재	재질	부재별 검사 방법
Tension 部	Tension belt	고강력 폴리에스틸	JIS B 8818 기준
	Tension 금속 부품	SS 400 등	
	※ 사용조건 : A~D 등급에 따른 재료를 사용한다.		

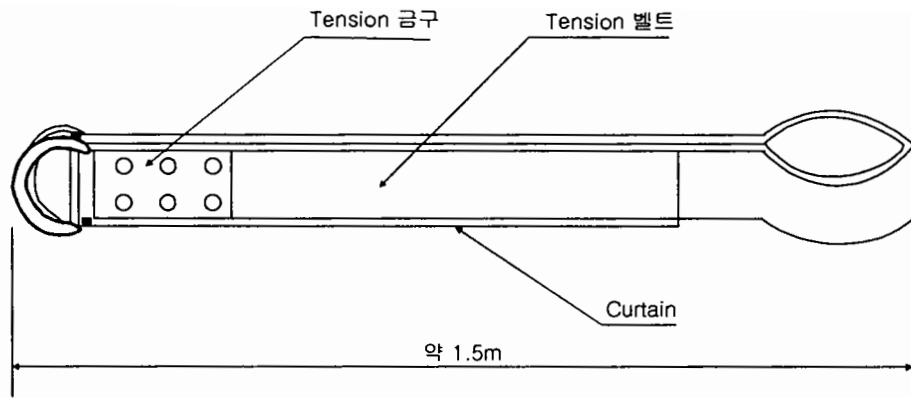


그림 A3.3.3 시험재료.

### A3.3.3.2 부침식

- Float와 일체이며 구성 및 재질에 대해서는 전술한 A3.3.1.2항을 참조한다.
- 또한 시험 방법에 대해서는 사용자와 합의하여 결정한다.

### A3.3.4 Anchor rope

#### A3.3.4.1 Wire rope

##### (1) 구성

- Anchor rope는 JIS G 3525(wire rope)의 6×24G/O가 사용되는 경우가 많다. 그림 A3.3.4에 단면도 및 구성 설명도를 제시하였다.

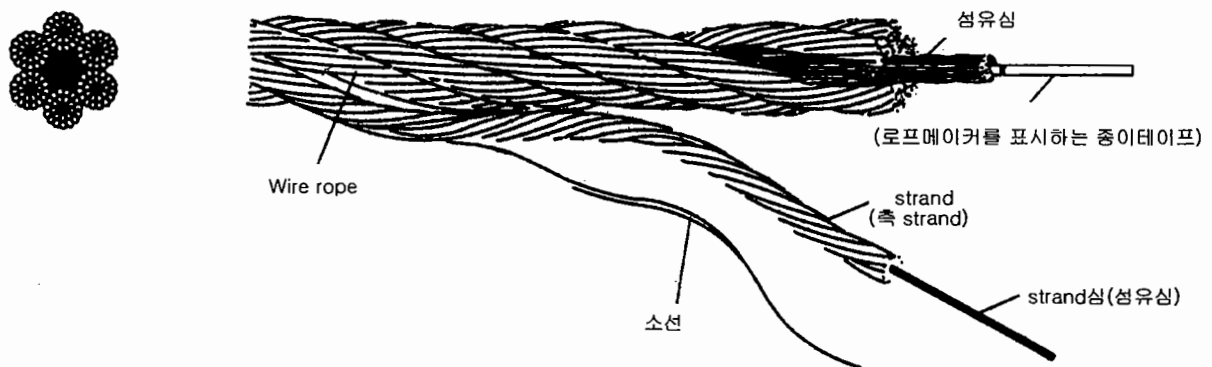


그림 A3.3.4 6×24 단면도 및 구성 설명도.



(2) 재료

(가) 소선

- 素線(단일선)의 제조에 쓰이는 선 재료는 JIS G 3506(경강선재)의 SWR H52~82이며 냉간가공 후 아연 도금을 하든가 또는 아연 도금을 한 후 냉간가공을 한다. 표 A3.3.6에 선 재료의 화학 성분을 제시하였다.

표 A3.3.6 선 재료의 화학 성분.

원소기호	C	Si	Mn	P	S	Fe
화학성분(%)	0.49~0.86	0.15~0.35	0.30~0.90	0.040 이하	0.040 이하	잔여 성분

(나) 섬유심

- 섬유심에 쓰이는 섬유는 양질의 합성 또는 천연 섬유이다.
- 섬유에는 특별하게 지적하지 않는 경우 적당한 정도의 grease 류를 포함시킨다.

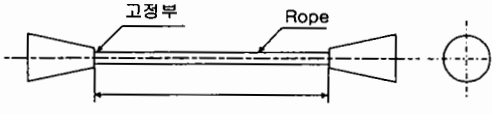
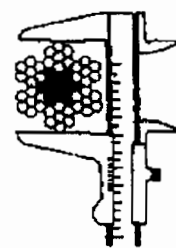
(다) Rope grease

- 주 성분은 petrolatum이며 붉은 rope grease이다.

(3) 시험 및 성질

- JIS G 3525에 규정된 시험의 항목, 시험방법 및 요구 품질을 표 A3.3.7에 제시하였다.
- 또한 JIS G 3525에서는 rope를 구성하는 단일선에 대해서도 절단하중, 최소 비틀림 횟수, 권해성(끈 것이 풀리는 정도), 최소 아연 부착량, 단일선 직경 및 외관에 대해서도 규정되어 있다.

표 A3.3.7 선 재료의 화학 성분.

시험 항목	시험 방법	요구 품질		
절단 하중	Rope의 한쪽 끝에서 적당한 길이를 잘라내어 아래의 그림과 같이 양쪽 끝을 white metal 또는 아연 등으로 원추형으로 고정시킨 것 또는 이것 대신에 적당한 방법으로 rope를 인장시험기에 연결하고 절단될 때까지 서서히 잡아당겨 그때의 절단하중을 측정한다.  <로프 시험> 	공칭 직경	절단하중(kN)	
		mm	G종 (도금합)	A종 (도금안합)
		12	65.9	71.0
		14	89.7	96.6
		16	117.0	126.0
		18	148.0	160.0
		20	183.0	197.0
		22	222.0	239.0
		24	264.0	284.0
		26	309.0	333.0
		28	359.0	387.0
		30	412.0	444.0
		32	469.0	505.0
		36	593.0	639.0
40	732.0	789.0		
Rope 직경	Rope의 한쪽 끝에서 1.5 m 이상 떨어진 임의의 점 2개소 이상 또는 동일 단면에서 두 방향 이상을 Nonius로 아래 그림과 같이 측정하고 그 평균치를 rope의 직경으로 한다.  <로프직경 측정방법> 	Rope 직경의 허용 오차는 지름 10 mm 미만에서는 공칭 직경에 대해 +10%/0, 직경 10 mm 이상에서는 +7%/0로 한다. 단, 특별히 필요한 경우는 인도-인수 당사자간에 협정할 수가 있다.		
외관	육안 검사	전체 길이를 통하여 찌그러짐, 흠 등의 사용상 유해한 결점이 없어야 한다.		

### A3.3.4.2 합성섬유 rope

- 오락방지막 설치기간이 비교적 짧은 경우에는 합성섬유 rope를 anchor rope로 사용하는 경우가 있다.
- 합성섬유 rope는 그 재질에 따라 특성이 다르지만 anchor rope에 사용하는 합성섬유 rope에는 인장강도 및 내후성의 측면에서 나일론 또는 폴리에스틸 로프가 일반적으로 사용되고 있다.
- 표 A3.3.8에 나일론 로프 및 폴리에스틸 로프의 규격(JIS L 2704, L 2707)을 제시하였다.

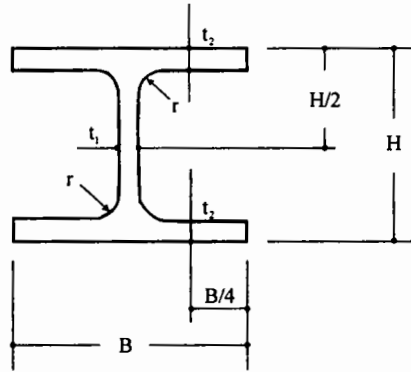
표 A3.3.8 나일론 로프 및 폴리에스틸 로프의 규격.

품종 직경 (mm)	나일론 로프		폴리에스틸 로프			
			Multi-filament		방적사	
	tf	kN	tf	kN	tf	kN
12	2.80	27.50	2.24	22.00	1.49	14.60
14	3.73	36.60	2.98	29.20	1.99	19.50
16	4.78	46.90	3.82	37.50	2.55	25.00
18	5.94	58.30	4.76	46.70	3.18	31.20
20	7.23	70.90	5.79	56.80	3.87	38.00
22	8.63	84.50	6.91	67.80	4.62	45.30
24	10.20	100.00	8.12	79.60	5.43	53.30
26	11.80	116.00	9.42	92.40	6.30	61.80
28	13.50	130.00	10.80	106.00	7.24	71.00
30	15.40	151.00	12.30	121.00	8.23	80.70
32	17.30	170.00	13.90	136.00	9.28	91.00
34	19.40	190.00	15.50	152.00	10.40	102.00

### A3.3.5 Weight (자립형)

- 표 A3.3.9에 일반적으로 사용되는 H형강의 표준 치수와 단면적, 단위질량 등을 제시하였다.

표 A3.3.9 범용품 H형강의 표준치수와 그 단면적 및 단위질량.



호칭 치수 (높이×변)	H×B (mm)	$t_1$ (mm)	$t_2$ (mm)	$r$ (mm)	단면적 (cm <sup>2</sup> )	단위질량 (kg/m)
200×100	200×100	5.5	8	11	26.67	20.9
200×150	194×150	6	9	13	38.11	29.9
200×200	200×200	8	12	13	63.53	49.9
250×125	250×125	6	9	12	36.97	29.0
250×175	244×175	7	11	16	55.49	43.6
250×250	250×250	9	14	16	91.43	71.8
300×150	300×150	6.5	9	13	46.78	36.7
300×200	294×200	8	12	18	71.05	55.8
300×300	300×300	10	15	18	118.40	93.0
350×175	350×175	7	11	14	62.91	49.4
350×250	340×250	9	14	20	99.53	78.1
350×350	350×350	12	19	20	171.90	135.0
400×200	400×200	8	13	16	83.37	65.4
400×300	390×300	10	16	22	133.20	105.0
400×400	400×400	13	21	22	218.70	172.0
450×200	450×200	9	14	18	95.43	74.9
450×300	440×300	11	18	24	153.90	121.0
500×200	500×200	10	16	20	112.20	88.2
500×300	488×300	11	18	26	159.20	125.0
600×200	600×200	11	17	22	131.70	103.0
600×300	588×300	12	20	28	187.20	147.0

출처 : JIS G 3192, 1994

## A3.4 부설 요령

- 본 장에서는 고정식 오탁방지막(수하형 및 자립형) 및 부침식 오탁방지막에 대한 일반적인 조립, 부설 요령을 소개한다.
- 그러나 제작사마다 세부적으로 사용되는 부재 혹은 부재 형상 등에 차이가 있고, 또 조립, 부설 현장 등의 상황에 따라서 수시로 대응이 필요한 경우가 발생하기 때문에 상세한 내용에 대해서는 각 제작사가 제출하는 요령서를 참고하고 조립, 부설 요령에 대해서는 상황에 따라서 충분한 협의를 하는 것이 좋다.

### A3.4.1 고정식 (수하형)

#### A3.4.1.1 오탁방지막 조립

##### (1) 하역

- 트럭에 적재된 오탁방지막을 크레인으로 들어올려 육상 야드에 내릴 때는 다음 사항들에 주의해야 한다.
  - 인양작업에서 사용하는 와이어 로프 또는 로프는 그 하중에 대하여 강도가 충분한 것을 사용한다.
  - 인양작업은 신중하게 하며 특히 트럭이나 기타 돌출물 등에 의한 걸림에 유의한다.
  - 오탁방지막 인양작업을 할 때 tension 部の 금구로부터 시작한다.

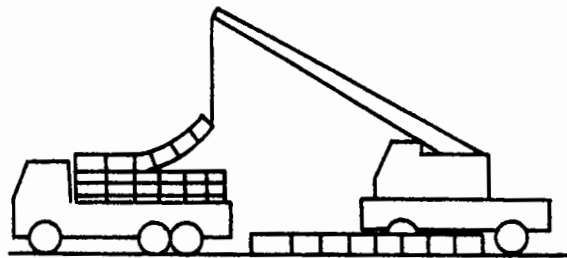


그림 A3.4.1 하역.

##### (2) 야드 배치

- ① Curtain과 float 部를 연결하기 위한 rope( $\phi 9$  mm, 4~5 m 정도)를 오탁방지막 1 span에 대하여 15~20개 준비한다.
- ② 오탁방지막의 curtain을 넓게 펼칠 공간 및 크레인 등의 작업 공간을 고려하여 조립 야드에 상기 로프를 등간격으로 배치한다.

- ③ 하역된 오락방지막을 크레인으로 배치된 로프 위에 배열한다.
- ④ 주의사항 : 오락방지막의 육상 본체 연결작업은 넓은 공간을 확보하여야 하지만, 옆으로 들어 옮기는(橫持) 작업, 예인 작업 및 부설 작업 등을 고려하여 최대 5 span으로 한다.

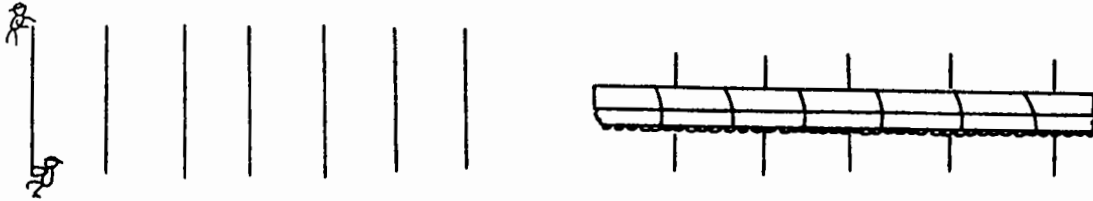


그림 A3.4.2 Curtain 임시고정 tape 배치.

(3) Float의 조립(반입된 오락방지막에 내부 float가 들어있지 않은 경우)

- ① Float cover의 개구부를 열고 소정의 float를 삽입한다.
- ② Float 삽입 후 float의 개구부를 볼트·너트 혹은 로프 등 소정의 재료로 막는다.
- ③ 주의사항 : Float 삽입시 float의 이동을 방지하는 구조로 되어 있으면 그 때마다 실시한다.



그림 A3.4.3 Float 조립.

(4) Span 사이의 연결

- ① Tension 연결부
  - Tension belt 선단에 설치된 D형 고리 등의 금속 부품끼리 소정의 shackle 혹은 연결 부재를 사용하여 양쪽 면을 모두 연결한다.
  - 주의사항 : 사용하는 연결 shackle 등은 할핀 또는 번선 등을 사용하여 풀림 방지를 확실하게 한다.

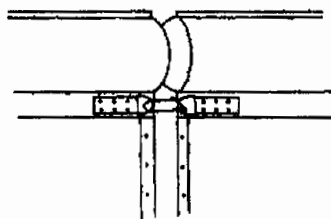


그림 A3.4.4 Tension 部 연결.

② Curtain 연결

- 접힌 curtain을 펼친다.
- Curtain 단부에 만들어진 구멍끼리 locking rope로 모두 튼튼하게 연결한다.
- Curtain 단부에 D형 고리가 설치되어 있는 경우는 D형 고리끼리 소정의 shackle을 사용하여 양쪽 면 모두 연결한다.

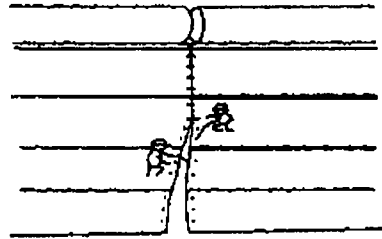


그림 A3.45 Curtain 部 연결.

(5) Weight chain의 설치(weight chain이 부착되어 있지 않은 경우)

- ① Curtain 하부를 가능한 한 옆으로 늘려서 똑바로 편다.
- ② Weight chain을 크레인 등으로 펼쳐서 curtain 하부와 나란히 배치한다.
- ③ 소정의 chain을 매는 부재를 chain의 link 사이를 통하여 curtain 하단에 설치된 구멍에 볼트·너트로 설치한다.

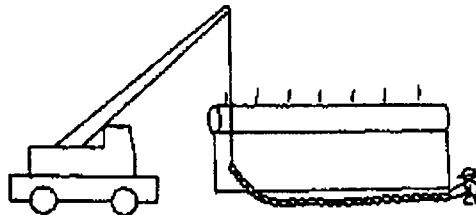


그림 A3.46 Weight chain 부착.

(6) 점검

- 모든 조립 및 연결 작업의 완료시에 각 부의 부착·연결을 철저히 점검하여 오류가 없는지 확인한다.

(7) 반출 및 예인 준비

- ① 대선(바지선) 반출 또는 해상 부설 현장 전까지 예인을 위해 curtain을 float 쪽으로 끌어당긴다.
- ② 조립 전에 배치한 로프를 사용하여 curtain을 float에 단단히 고정시킨다.

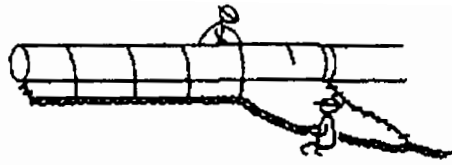


그림 A3.4.7 Curtain 임시고정.

### A3.4.1.2 Anchor 설치

#### (1) Anchor의 반출

- 육상에 놓여진 anchor를 크레인으로 대선에 적재한다.

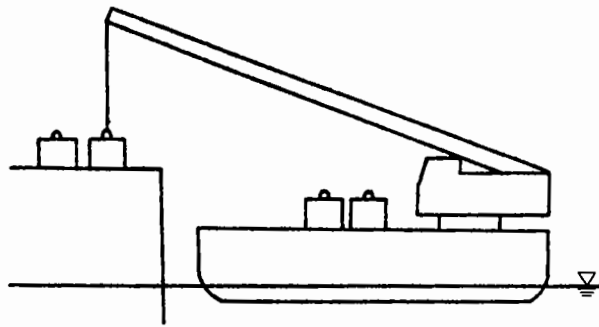


그림 A3.4.8 Anchor 적재.

#### (2) Anchor의 투입, 설치

- ① 대선을 오탁방지막의 부설 현장으로 예인한다.
- ② Anchor에 하부 anchor 로프를 소정의 shackle로 연결한다.
- ③ 하부 anchor 로프의 상단에 보조 float 또는 표지 buoy를 설치한다.
- ④ 크레인으로 미리 측량한 anchor point에 anchor를 내려서 설치한다.
- ⑤ 주의사항
  - Anchor 로프의 상단에 설치된 보조 float는 anchor 로프를 부상시킬 수 있는 부력을 가진 것을 사용하든가 anchor 로프 선단에 수심과 같은 길이의 로프를 float에 연결한다.
  - Anchor에 매는 로프는 anchor용 로프를 사용하지 않고 매달기 작업용으로 충분한 안전율을 갖는 玉掛 로프를 사용한다.
  - Anchor의 설치 위치는 오탁방지막의 계류 형태에 큰 영향을 주기 때문에 가능한 한 정확하게 한다.



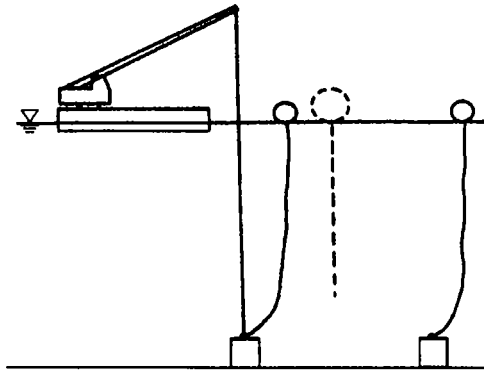


그림 A3.4.9 Anchor 투입 및 설치.

### A3.4.1.3 부설 1 (대선 예인하는 경우)

#### (1) 오락방지막의 반출

- ① 육상 야드에서 조립된 오락방지막은 육상(또는 선상) 크레인으로 대선에 적재한다.
- ② 주의사항
  - 오락방지막을 매달아 올리는 경우 tension 금속 부품 부분에 매달고 본체 중간부를 들어올릴 경우는 폭이 넓은 sling belt를 본체 주위에 두르고 들어올린다.
  - 연속형의 경우는 본체 몸통 부분의 한 지점에서 매다는 것은 float가 파손되므로 반드시 두 지점에서 매단다.
  - 적재시 横持 작업을 할 때 오락방지막 본체를 지면 혹은 대선 바닥에 심하게 끌리지 않도록 유의하고 특히 돌출물에 걸려서 찢어지지 않도록 조심한다.
- ③ 대선 적재는 부설할 때의 꺼내는 방향을 고려하고 span 사이의 연결부로부터 접어서 적재한다.

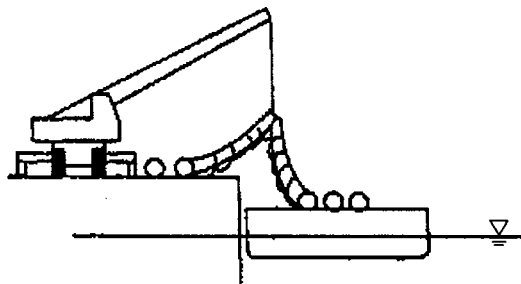


그림 A3.4.10 대선 적재.

#### (2) 예인

- 오락방지막을 적재한 대선을 부설 현장까지 예인한다.

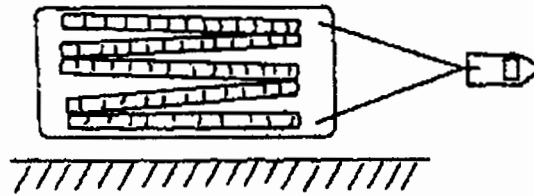


그림 A3.4.11 예인.

### (3) 해상 부설

- ① 오탁방지막의 계류삭이 상부 anchor 로프와 하부 anchor 로프로 분리되어 있는 경우 상부 anchor 로프를 소정의 anchor에 부착된 금구에 shackle로 연결하여 shackle의 풀림을 방지한다.
- ② 부설 지점의 anchor point 부근에 대선을 계선하고 미리 설치된 anchor로부터 anchor 로프를 인양하여 상부 anchor 로프 또는 본체의 anchor에 부착된 금구에 연결한다.
- ③ 양쪽의 anchor 로프가 연결된 오탁방지막을 크레인으로 들어올려 해면에 내린다.
- ④ 대선을 이동시키면서 오탁방지막을 순차적으로 해면에 들어내려 anchor 설치부에서 위와 동일한 연결작업을 실시한다.
- ⑤ 주의사항
  - 오탁방지막에 anchor 로프를 연결하는 shackle은 반드시 활핀 등으로 풀림을 방지한다.
  - 오탁방지막을 해면에 내릴 때 대선의 모서리 부분이나 돌출물에는 주의를 하여 작업을 한다.
  - 가능하면 대선 상의 불필요한 돌출물은 제거하고 들어내리는 쪽의 모서리 부분에 강관 등의 곡면 guard를 설치하는 것이 바람직하다.

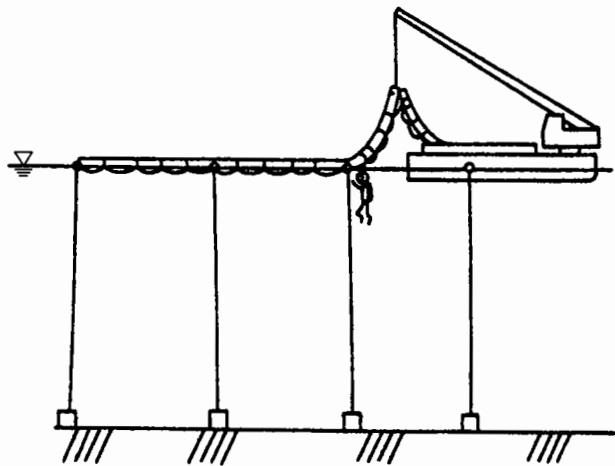


그림 A3.4.12 해상 부설.

#### (4) 부설 완료

- ① 전체 span의 해상 부설 완료 후 조립시에 float와 curtain 고정 로프를 잠수부가 제거토록하고 curtain을 해중에 늘어뜨린다.
- ② 주의사항 : Curtain 고정 로프를 제거할 때 curtain이 한꺼번에 떨어지는 것에 유의한다.

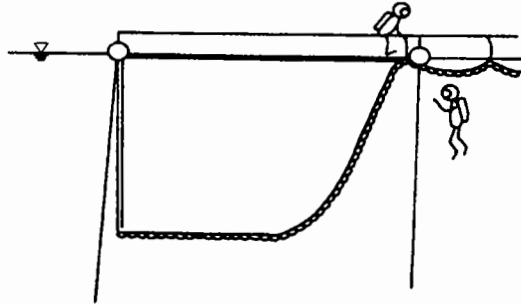


그림 A3.4.13 Curtain 내림.

#### (5) 종료 점검

- 부설 완료 후 잠수부가 연결부, 계류부 등의 부설 상태를 재점검토록 한다.

### A3.4.1.4 부설 2 (직접 예인하는 경우)

#### (1) 오탃방지막의 해면 투입

- ① 오탃방지막 예인 로프를 본체의 tension 금구에 연결한다.
- ② 오탃방지막을 크레인으로 들어올려 예인선 선단 쪽으로부터 해면에 내린다.
- ③ 예인선으로 서서히 끌면서 연결한 span 전부를 해면에 내린다.
- ④ 주의사항
  - 예인 로프의 연결은 본체의 손상 방지를 위해 tension 부분에만 국한한다.
  - 해상으로 끌어낼 때 해안 쪽의 corner 부분에 주의하면서 천천히 작업을 한다.
  - 예인은 한 번에 5 span 이내(100m)로 하고 그 이상은 별도 예인한다.

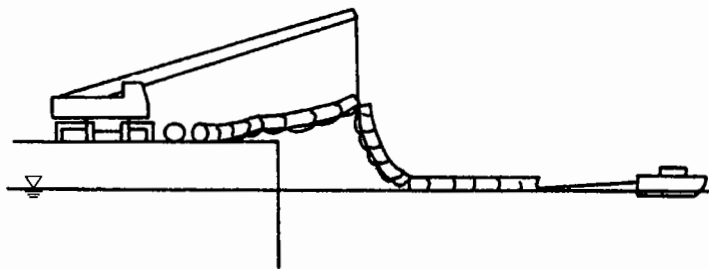


그림 A3.4.14 해면 투입.

## (2) 예인

○ 예인선으로 설치 현장까지 천천히 예인한다.

## (3) 부설(계류)

- ① 잠수부 또는 해상 작업원으로 하여금 미리 설치된 anchor 로프를 오타방지막 본체의 anchor 설치부에 연결시키도록 하여 계류한다.
- ② 주의사항
  - Anchor 로프의 연결은 가능한 한 연결하는 몇 span의 양단부에서 실시하고 순차적으로 내측을 계류한다.
  - 연결은 소정의 shackle 등으로 하며 확실하게 풀림을 방지한다.
  - 전체 span이 부유된 상태에서 조류 등의 영향으로 작업 곤란이 예상되면 가능한 한 조류가 약한 소조기를 택한다.

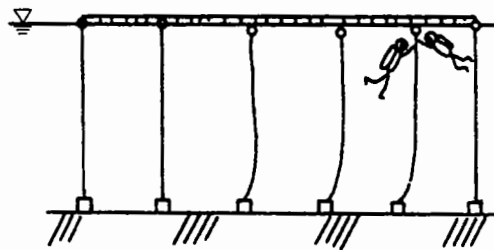


그림 A3.4.15 해상 부설.

## (4) 부설 완료

- ① 전체 span의 해상 부설 완료 후 조립 시에 float와 curtain을 고정시켰던 로프를 잠수부가 제거하고 curtain을 해중에 늘어뜨린다.
- ② 주의사항 : Curtain을 고정시킨 로프를 제거할 때 curtain이 한꺼번에 떨어지는 점에 유의한다.

## (5) 최종 점검

○ 부설 완료 후 잠수부로 하여금 연결부, 계류부 등의 부설 상태를 재점검하도록 한다.

### A3.4.1.5 조립·부설·철거 요령

#### (1) 시공 기자재

- ① 육상 : 트럭 크레인 1대
- ② 해상 : 크레인선 1척, 예인선 1척, 대선 1척, 통선(작업원용) 1척, 잠수선 1척, 경계선 1척, 양묘선 1척

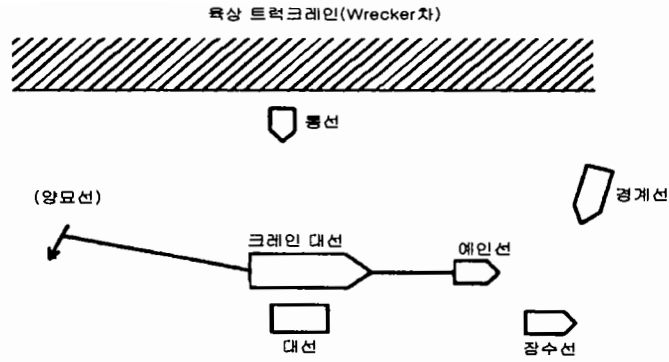


그림 A3.4.16 시공 장비.

③ 주의사항

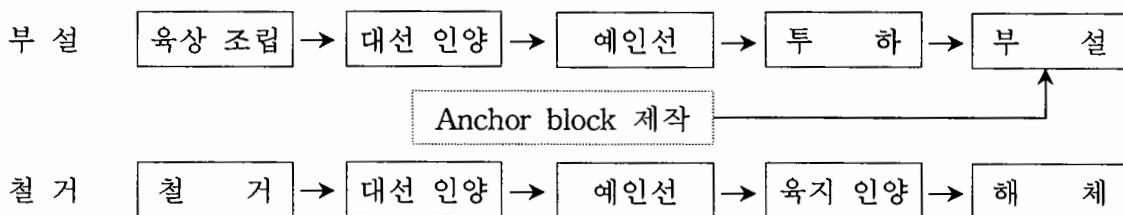
- 오탉방지막의 부설, 철거 작업시 공통 적용한다.
- 각 장비에는 operator가 동반하는 것으로 한다.
- 잠수선에는 잠수부 2인을 대기시킨다.
- 양묘선은 크레인선과 한 조가 되는 경우가 있다.
- 조립 야드는 길이 100m×폭 30m 정도의 공간이 필요하다.

표 A3.4.1 시공 노무 (1일 200 m당 보통 작업원 수).

Float 직경(mm)		φ300 (단독 포함)		φ400		φ600	
		부설	철거	부설	철거	부설	철거
Curtain 높이 1~5 m	육상	12	10	14	12	16	14
	해상	8	10	10	12	12	14
6~10 m	육상	14	12	16	14	18	16
	해상	10	12	12	14	14	16

주) ① 보통 작업원의 수에 따라 별도 보조원 1~2인을 배치한다.  
 ② Anchor block의 설치 및 측량은 별도로 한다.

(2) 시공방법



## A3.4.2 부침식

### A3.4.2.1 육상 야드 조립

#### (1) 오탉방지막 본체 조립

##### (가) 조립 야드의 확인과 정비

- ① 해상하역이 쉬운 육상조립 야드는 140m×40m[1 span(100m)을 조립하는 데 필요한 최소 공간] 정도의 크기가 필요하다.
- ② 포장 및 정지된 조립 야드에는 돌출물이 없는 것을 확인한다.

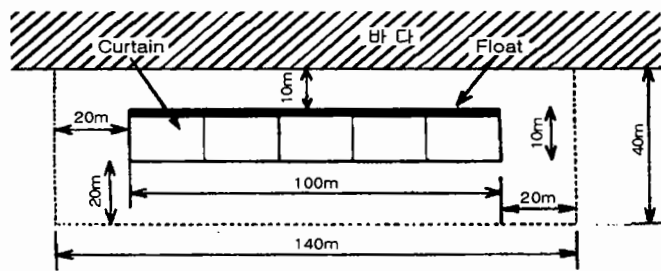


그림 A3.4.17 조립 야드의 크기.

##### (나) 하역

- ① 트럭에 실린 오탉방지막 부재는 크레인으로 육상 야드에 내린다.
- ② 주의사항
  - 인양작업에 사용하는 와이어 로프 또는 벨트 등은 그 하중에 충분히 안전한 것을 사용해야 하고 낙하사고 및 제품의 손상에 유의한다.
  - 인양작업은 신중히 하며 특히 트럭이나 기타의 돌출물 등에 의한 손상에 충분히 유의한다.

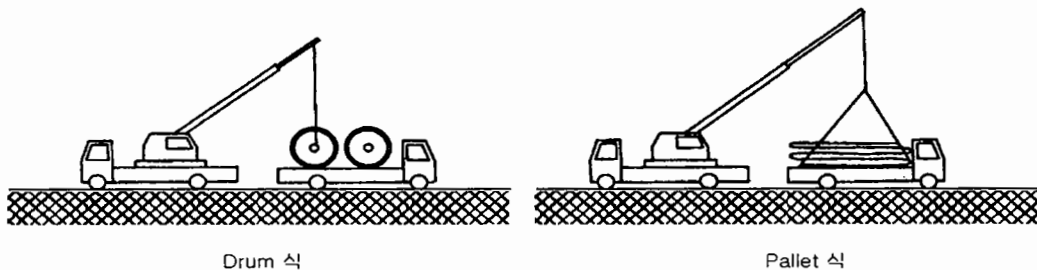


그림 A3.4.18 하역.

##### (다) 야드 배치

- ① 덮개 sheet(폭 2 m×길이 100 m)를 float 배치 장소에 펼친다.
- ② 덮개 sheet의 위에 curtain의 임시 고정 테이프(폭 50mm×길이 5 m)를 2m 간격으로 배치한다.

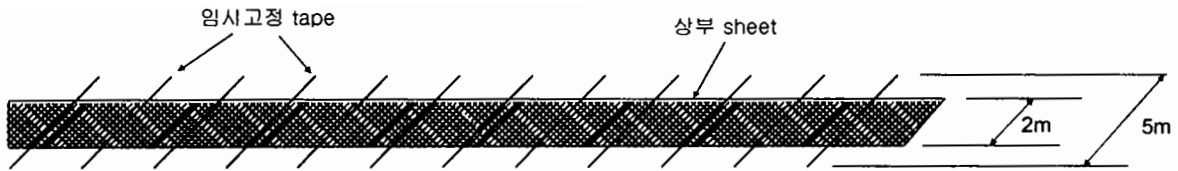


그림 A3.4.19 Curtain 임시 고정.

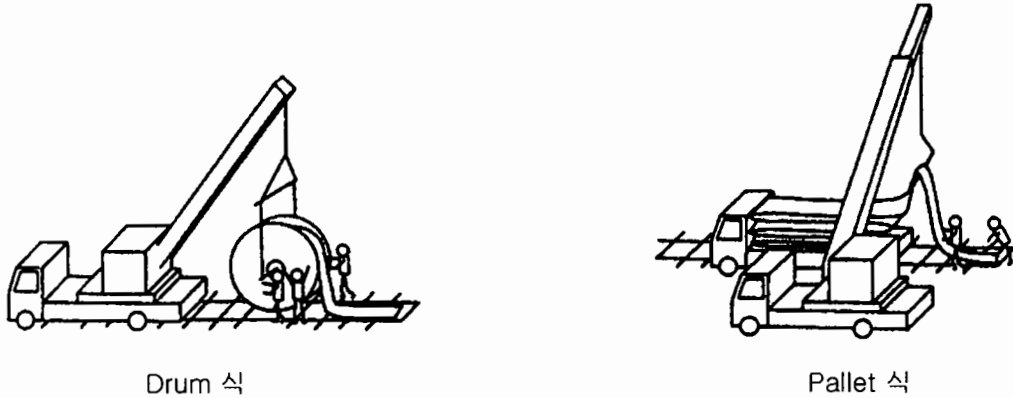


그림 A3.4.20 Float 인출.

③ 트럭을 덮개 sheet 위의 float 배치 장소로 이동시켜 float의 단부 5~10m를 크레인  
으로 신중하게 덮개 sheet 위에 내린다.

④ 주의사항

- Float 본체를 들어올리는 경우 반드시 hanger를 사용하며 와이어 로프 혹은 벨트  
로 직접 들어올리지 않는다.
- Float 단부를 들어올리거나 또는 당기는 경우 단부를 누르는 금구 2개소 이상에  
서 시행하고 절대로 口金部를 당겨서는 안 된다.
- Float의 취급은 신중히 하고 무리하게 끌거나 높이 들어올리지 않는다.

(라) Anchor 연결용 금속 부품의 취급

- ① Anchor 연결 금구 및 필요 부재를 지정 위치에 배치한다.
- ② Fork lifter로 float의 anchor 연결부를 들어올려 금구를 지정된 볼트로 설치한다.
- ③ 주의사항 : Float를 fork lifter의 날로 떠올릴 때 float에 상처가 생기지 않도록 날에  
보호재를 설치한다.

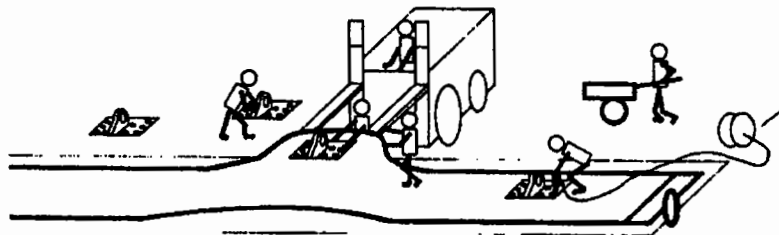


그림 A3.4.21 Anchor 금구 부착.

(마) Curtain 설치

- ① 접혀진 curtain(20 m×H) 5매를 float 100m에 대하여 등간격으로 float의 아래쪽에 배치한다.
- ② 배치된 curtain을 소정의 위치에 펼친다.
- ③ 지정된 금구, 볼트, 너트 등으로 curtain과 float를 연결한다.
- ④ 볼트가 모두 설치된 것을 확인하고 추가 조임을 한다.

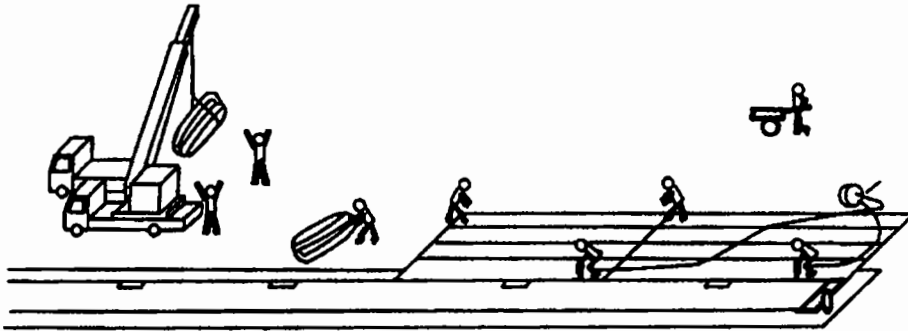


그림 A3.4.22 Curtain 부착.

(바) Curtain 연결

- ① Float에 설치된 5매의 curtain을 locking 로프 또는 테이프와 shackle(joint 금구)로 연결한다.
- ② 주의사항 : Curtain의 joint 금구는 shackle로 양면을 모두 연결하고 변선 혹은 할핀으로 풀림 방지를 확실시 한다.

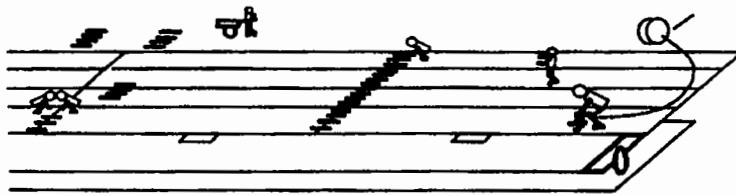


그림 A3.4.23 Curtain 연결.

(사) 중간 weight의 설치

- 펼쳐진 curtain의 소정 위치에 중간 weight를 설치한다.



그림 A3.4.24 중간 weight 설치.



(아) 하부 weight chain의 취부

- ① 하부 weight chain을 curtain의 하단에 나란히 놓는다.
- ② Weight chain 취부용 belt를 curtain 쪽의 취부 구멍에 맞추어 배치한다.
- ③ Curtain 취부 belt를 chain을 통과하여 curtain에 볼트로 취부한다.
- ④ Curtain 연결간의 chain을 지정된 shackle로 연결한다.
- ⑤ 주의사항 : 하부 weight chain은 전체적으로 큰 꼬임이 없도록 배치하고 curtain 취부 belt는 plate 또는 washer를 끼워서 볼트로 조인다.

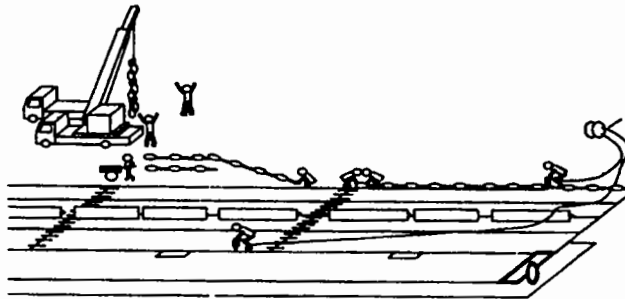


그림 A3.4.25 하부 weight 취부.

(자) 본체 조립 완료

- ① Float, curtain 및 weight가 조립된 상태에서 각 부분의 연결 볼트를 점검하고 필요시 추가 조임을 실시한다.
- ② Curtain을 float 쪽으로 끌어 모은다.
- ③ Float 아래에 배치한 curtain 임시 고정 테이프로 float와 curtain을 연결한다.

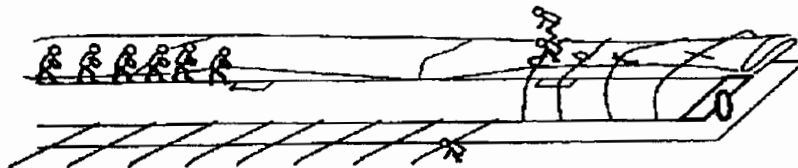


그림 A3.4.26 Curtain 임시 고정.

(차) 공기밀폐 검사

- 공기밀폐 검사 요령에 따라 float를 검사하고 공기가 새지 않는 것을 확인한다.

(카) 横持 作業

- ① 横持 작업 또는 적재용 sling belt(100 mm 이상) 10개를 접는 위치에 배열한다.
- ② 조립된 오타방지막을 옆으로 이동하기 위하여 길이 약 20m 크레인 2대로 신중하게 접는다.
- ③ 주의사항
  - Float는 해상설치시 인출을 고려하여 인출하는 쪽의 단부가 위에 오도록 접는다.

- Float를 들어올리는 높이는 25m 이내로 하고 반드시 hanger용 pipe를 사용한다.
  - Sling belt는 매달아 올렸을 때 말려들지 않도록 한다.
  - 들어올릴 때 신호하는 사람은 한 사람으로 한다.
  - Float를 구부리는 경우에는 가능한 한 큰 곡률을 갖도록 배려하고 anchor 연결부 등이 구부러지지 않도록 한다.
  - 접은 경우에 anchor 연결 금구 혹은 단부의 금구 등의 직접 float에 접촉되는 부분은 사이에 고무 시트 등의 보호재를 넣는다.
  - 구부러진 부분은 잡아 찢기는 것에 대해 매우 약하기 때문에 상처가 나지 않도록 주의한다.
- ④ 접혀진 float를 H형강 등으로 제작한 인양용 hanger(5m 정도) 2개를 사용하여 크레인 2대로 동시에 들어올려 옆으로 이동시킨다.

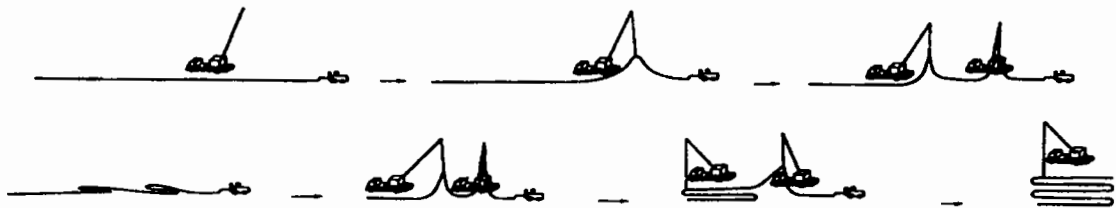


그림 A3.4.27 Float를 접어 포개는 순서.

### A3.4.2.2 대선상 조립

#### (1) 단부 급배기부의 조립

##### (가) 가조립

- 주의사항 : 각 볼트 구멍이 일치하도록 모든 부재를 가조립 상태로 배치하고 가조립이 끝나면 각 볼트의 본격 조임 및 추가 조임을 한다.

##### (나) 본격 조임

- 가조립한 각 부재의 볼트를 정해진 순서대로 조인다.

##### (다) 보조 float 설치

##### (라) 단부 급배기 호스 설치

#### (2) 연결 급배기부의 설치

##### (가) 가조립

##### (나) 본격 조임

- 가조립한 각 부재의 볼트를 정해진 순서대로 본격 조임 및 추가 조임을 실시한다.

(다) 보조 float 설치

(라) 단부 급배기 호스 설치

### (3) 일반 연결부의 조립

(가) 가조립

- 주의사항 : 각 볼트 구멍이 일치되도록 모든 부재를 가조립 상태로 배치하고 모든 가조립이 끝나면 각 볼트의 본격 조임 및 추가 조임을 실시한다.

(나) 본격 조임

- 가조립한 각 부재의 볼트를 정해진 순서대로 본격 조임 및 추가 조임을 실시한다.

(다) 보조 float 설치

### (4) 강제 침하부의 조립·연결

- 강제 침하부의 조립·연결

### (5) 부침식 오탃방지막 부설

(가) 부설작업시 유의할 점

- ① 1일 부설 연장은 최대 2 span(200m)으로 하고 span 작업 중에는 작업 중단이 불가능하기 때문에 날씨 등의 상황 판단을 정확히 하여 1일 부설 span을 결정한다.
- ② 급배기 1계통당 최대 연결 span은 3 span로 하고 그 이상은 다른 계통으로 한다.
- ③ 들어올리는 작업이 대부분이기 때문에 사용하는 sling belt, 玉掛 로프 등은 충분히 안전한 것을 사용하여 재해가 없도록 한다.
- ④ 오탃방지막의 취급에 세심한 주의를 하고 각 작업단계에서 걸려서 찢기는 파손 등의 손상이 없도록 한다.

(나) 대선 적재

- ① 육상 야드에서 접혀진 오탃방지막을 H형강 등으로 제작한 인양용 hanger로 대선 위에 적재한다
- ③ 주의사항
  - 대선 적재시 deck 위에 불필요한 돌출물은 가능한 한 사전에 제거하고 float 인출 쪽의 모서리(edge)에는 둥근 인출 guide를 부착하는 것이 바람직하다.
  - 오탃방지막을 들어올릴 때는 광폭의 sling belt 4~6개를 크게 돌려서 걸고 hanger 2개로 천천히 들어올린다.
  - 대선 적재는 당일 작업이 가능한 개수(1~2개)로 제한하고 급배기부로부터 해상 부설을 표준으로 한다.

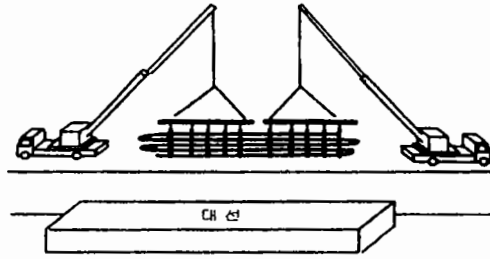


그림 A3.4.28 대선 적재.

(다) 강제침하부의 조립

- 단부 및 연속 강제침하부를 조립 요령에 따라 확실하게 조립한다.

(라) 해상 예인

- ① 오락방지막을 적재한 대선 및 크레인 설치선을 부설 현장으로 예인한다.
- ② 현장에 도착한 대선 및 크레인 대선을 1 span 길이(100m) 이동시킬 수 있도록 닻을 설치한다.
- ③ 주의사항 : 오락방지막의 해상 인출은 대선을 후진시키면서 실시하는 것을 표준으로 하므로 1 span 길이(100m)의 대선 후퇴이동이 가능하도록 닻을 설치한다.

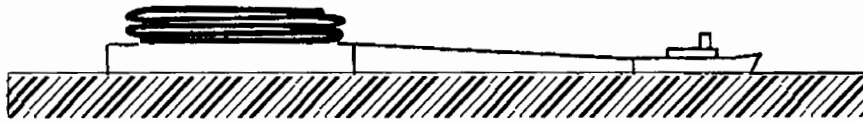


그림 A3.4.29 해상 예인.

(마) 상부 anchor rope의 설치

- 상부 anchor rope를 float의 anchor 접합부에 지정된 shackle로 설치하고 풀림 방지를 확실하게 한다.

(바) 각 부분 점검

- ① 해상 투입 전에 각 부분 접합 볼트의 점검 및 추가 조임을 실시한다.
- ② Valve 부착 장소 및 hose 부착 장소의 기밀 검사는 비눗물 등으로 한다.
- ③ 주의사항 : 육상 야드 또는 대선 위에서 조립된 부재는 물론 처음부터 부착되어 있던 float 단부를 조이는 금구 등의 부재에 대해서도 볼트가 풀려져 있을 수도 있기 때문에 점검 및 추가 조임을 실시한다.

(사) 해상 투입

- ① Compressor와 급배기장치를 다른 작업선에 싣고 급배기 hose를 연결한다.
- ② Float의 단부 금속제 마개에 ball valve를 부착하여 valve를 닫는다.

- ③ 이미 설치되어 있는 하부 anchor rope를 크레인선상에 끌어올려 상부 anchor rope와 지정된 shackle로 연결한다.
- ④ Float에 공기를 서서히 주입하면서 투입하는 쪽의 단부를 크레인으로 폭 100 mm 이상의 벨트를 사용하여 서서히 들어올린다.
- ⑤ Float에 공기가 들어간 시점에서 강제침하부 연결 장소의 공기밀폐 검사를 검사요령에 따라 실시하고 공기가 새지 않는 것을 확인한다.
- ⑥ 대선을 후퇴시키면서 float를 해면에 천천히 내린다.
- ⑦ Float의 일반 연결부(span 연결부)가 해상에 도달하면 다음 span을 일반 연결부요령에 따라 연결하고 공기밀폐 검사를 실시한다.
- ⑧ ③~⑦의 작업을 신중히 반복하여 span 전체를 해상에 내린다.

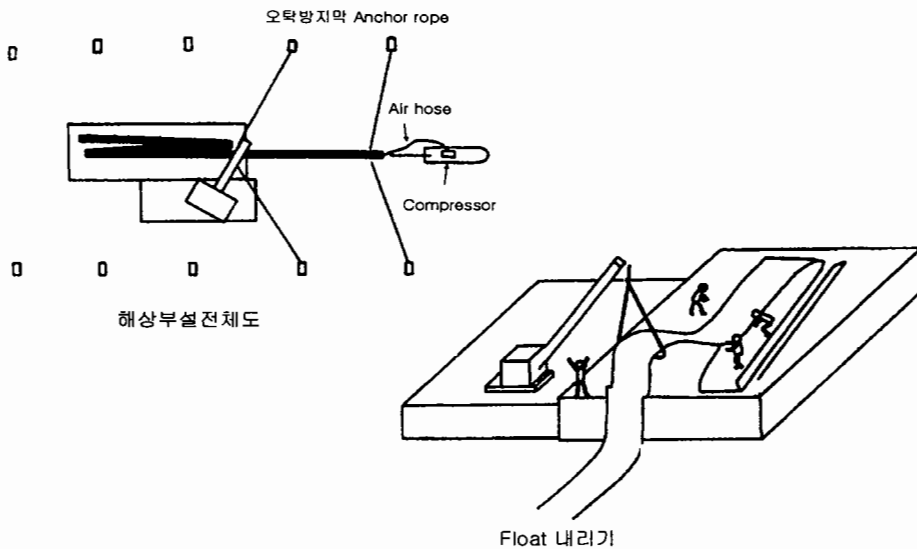


그림 A3.4.30 해상투입.

⑨ 주의사항

- Float 및 단부의 인양시에는 과도한 하중이나 집중 하중이 작용하지 않도록 작업하고 벨트는 감기지 않도록 다룬다.
- 들어올리는 것은 가능한 한 광폭의 sling belt(폭 100 mm 이상)를 사용하고 끌어낼 때는 float 혹은 curtain이 걸리지 않도록 한다.
- 작업 중 공기 주입은 float가 부상할 정도의 내압(약 0.1 kgf/cm<sup>2</sup>)을 유지하고 내압이 과도하지 않도록 대선과 작업선이 긴밀한 연락을 취하면서 작업을 진행한다.
- 강제침하부는 weight가 부착되어 다른 부분보다 매우 무겁기 때문에 신중하게 들어올린다.
- 강제침하부는 해면 투입시 다른 부분보다 먼저 가라앉는다.

(자) 급배기부의 조립

- 급배기부 float의 투입시 조립 요령에 따라 급배기부를 부착한다.

(차) 급배기부의 해면 투입

- 부착된 급배기부를 크레인으로 들어올려 서서히 해면에 투입한다.

(카) 공기 주입

- ① 급배기부의 valve를 닫고 compressor를 시동한다.
- ② 급배기부의 valve를 서서히 개방하면서 공기를 float에 주입한다.
- ③ 급배기부에 설치된 압력 게이지를 보면서 급기 상용내압(0.3~0.5 kgf/cm<sup>2</sup>)으로 조정  
한 후 valve를 닫는다.
- ④ 주의사항
  - Compressor 시동 직후는 공기 배출압력이 매우 높기 때문에 배출압이 안정되면  
급배기부의 valve를 서서히 개방한다.
  - Float 部는 상용내압에 대해 충분한 내구성을 갖지만 만일의 파손을 방지하기 위  
해 給氣는 반드시 상용내압 이내로 한다.
- ⑤ Hose 선단의 valve를 닫고 quick coupling으로 nipple을 닫는다.
- ⑥ Hose 선단의 금속 부품에 marker buoy를 연결한 와이어 혹은 rope를 부착하고 급  
배기 hose를 해면에 투입한다.

(타) 최종점검

- ① 설치 작업에 지장이 없는 span은 설치 완료 후 신속하게 curtain과 float를 연결하고  
있던 curtain의 임시 지지 테이프를 절단하여 curtain을 물 속에 늘어뜨린다.
- ② 주의사항 : Curtain의 임시 지지 테이프를 절단할 때 float가 손상되지 않도록 주의  
한다.
- ③ 잠수부로 하여금 각 부분의 연결 상태를 확인 점검케 한다.
- ④ Span 사이의 연결부 및 급배기 hose 연결부의 valve 개방을 확인하고 valve lever  
를 제거한다.
- ⑤ 부설 line의 상태를 확인하고 부적합한 점이 있으면 anchor의 위치를 조정한다.
- ⑥ 침하 기능 검사
  - 크레인 또는 윈치 등으로 급배기 hose 선단을 작업선으로 인양한다.
  - Hose 선단의 coupling을 떼고 급배기장치를 연결한다.
  - 급배기장치와 hose 선단의 valve를 개방하고 float 내의 공기를 배출한다.
  - Float의 완전 침하 후 잠수부가 침하 상태를 확인하도록 한다.
  - 주의사항 : 기능 검사는 악천후시를 피하고 매 급배기 계통이 끝날 때마다 실시  
하는 것이 바람직하다.
- ⑦ 부상 기능 검사 : 전술한 카)의 공기 주입 요령에 따라 float에 공기를 주입하여 부  
상시킨다.

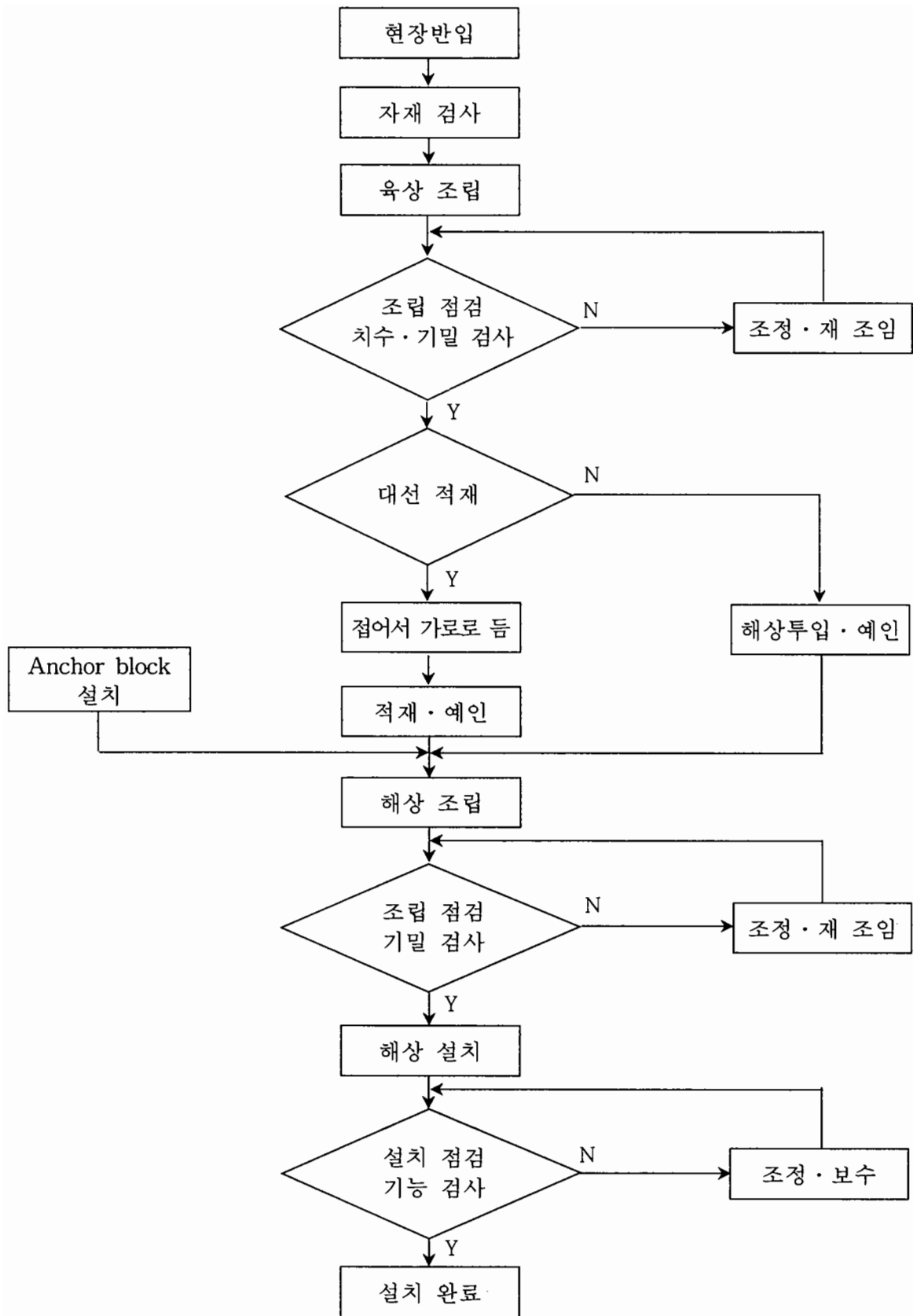


그림 A3.4.31 부침식(수하형)의 조립·설치공사 흐름도.

부침식(수하형)의 조립·설치·철거 요령

- ① 육상 : 표 A3.4.2, A3.4.3 참조.
- ② 해상 : 표 A3.4.4, A3.4.5 참조.

표 A3.4.2 육상 시공 기자재 [100m(1 span)마다].

명칭	규격	수량
Truck crane	35 ton 인양 이상	2대
Fork lifter	1 ton 이상	1대
Compressor	엔진식, 3.5~5 (m <sup>3</sup> /min)	1대
조립 기자재		1식

표 A3.4.3 육상 시공 노무 [100m(1 span)마다의 보통 작업원 수].

Float 직경		φ400		φ600	
작업		조립	해체	조립	해체
Curtain 높이	1~5 m	20명	18명	22명	20명
	6~10 m	22명	20명	24명	22명

표 A3.4.4 해상 시공 기자재 [100m(1 span)마다].

명칭	규격	수량
Truck crane	35 ton 이상 인양	2대
통선		1척
예인선		1척
크레인선	50 ton 이상 인양	1척
양묘선		1척
대선	600 ton 이상 적재	1척
경계선		1척
잠수선	잠수부 4명	2척
Compressor	엔진식, 3.5~5 (m <sup>3</sup> /min)	1대



표 A3.4.5 해상 시공 노무 [100m(1 span)마다의 보통 작업원 수].

Float 직경		φ400		φ600	
작업		조립	해체	조립	해체
Curtain 높이	1~5 m	10명	12명	12명	14명
	6~10 m	12명	14명	14명	16명

### A3.4.3 고정식 (자립형)

#### A3.4.3.1 육상 야드 조립

##### (1) 본체 조립

###### (가) 하역

- ① 크레인으로 트럭에 실린 오탁방지막 및 anchor용 H형강을 육상 야드에 내린다.
- ② 주의사항
  - 들어올리는 작업에 사용되는 걸기 jig는 그 하중에 대하여 충분히 안전한 것을 사용한다.
  - 들어올리는 작업은 신중히 하며 트럭 등에 있는 들출물에 의한 걸림에 유의한다.
  - 오탁방지막 들어올리는 작업은 joint 部の 금구 또는 지정된 곳에서 한다.

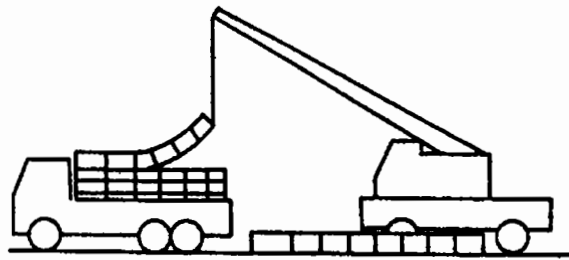


그림 A3.4.32

###### (나) 야드 배치

- ① Anchor와 float 고정용 임시 고정 로프(φ9 mm, 4~5 m 정도)는 오탁방지막 1 span 당 15~20개 준비한다.
- ② 오탁방지막의 조립 공간 및 크레인의 작업 공간을 고려하여 조립 야드에 상기 임시 고정 로프를 등간격으로 배치한다.
- ③ 내려놓은 anchor를 크레인으로 배치된 임시 고정 로프 위에 배치한다.
- ④ 내려놓은 오탁방지막 본체를 크레인으로 배치된 임시 고정 로프 위에 anchor와 나란하게 배치한다.

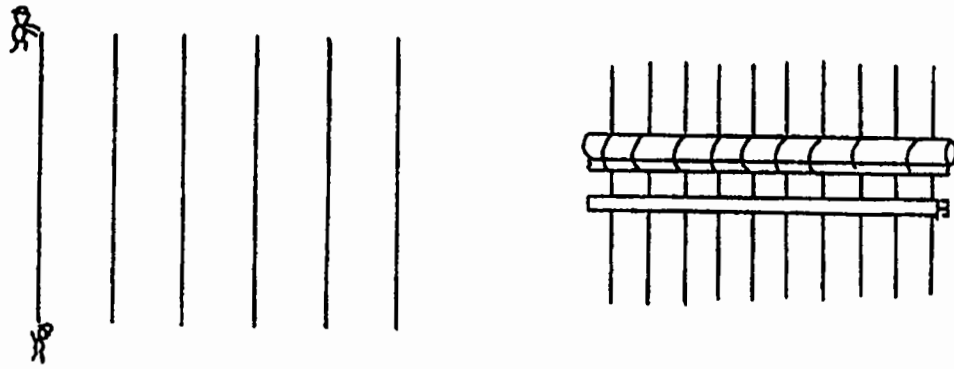


그림 A3.4.33

(다) Float의 조립 (반입된 오락방지막에 내부 float가 들어있지 않은 경우)

- ① Float cover의 개구부를 열고 float를 정해진 개수만큼 삽입한다.
- ② Float 삽입 후 cover의 개구부를 볼트·너트 혹은 로프 등의 지정된 부재로 막는다.



그림 A3.4.34

(라) Anchor(H형강)의 연결

- 오락방지막 1 span에 anchor(H형강)가 분할되어 있으면 볼트·너트 등의 지정된 방법으로 연결한다.

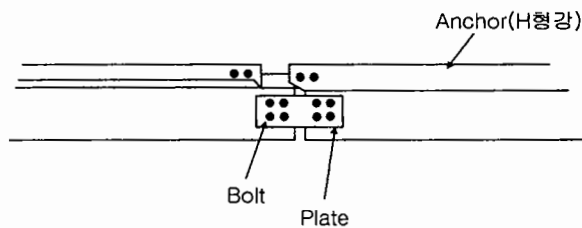


그림 A3.4.35

(마) Curtain과 anchor의 연결

- Curtain의 아래쪽 끝을 빼내서 curtain과 anchor(H형강)를 볼트·너트 혹은 shackle 등의 지정된 부재로 정해진 간격으로 연결한다.

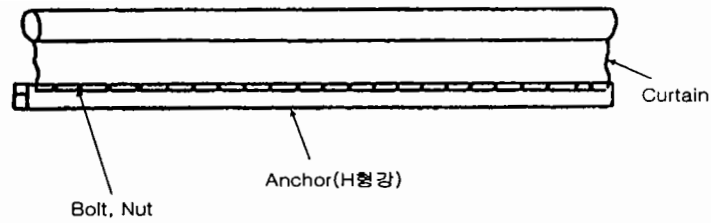


그림 A3.4.36

(바) 점검

- 모든 조립 작업의 완료시에 각 부분을 점검하고 이상이 없는지 확인한다.

(사) 적재 준비

- ① 대선에 적재하기 위하여 float 및 curtain을 anchor(H형강) 쪽으로 끌어당겨 모은다.
- ② 조립 전 배치된 임시 고정 로프로 float 및 curtain을 anchor(H형강)에 고정시킨다.

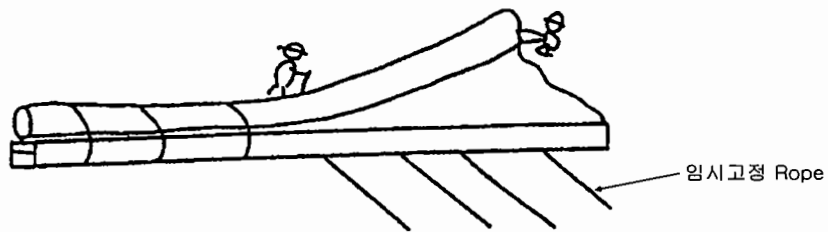


그림 A3.4.37

(아) 오탉방지막의 적재

- ① 육상 야드에서 조립된 오탉방지막을 크레인으로 대선에 적재한다.
- ② 주의사항
  - 오탉방지막을 매달아 올릴 때 anchor(H형강)의 지정된 장소에 와이어 로프 등으로 매달아 올리고 오탉방지막 본체를 매달아 올리면 안 된다.
  - 적재를 위하여 옆으로 운반할 때 오탉방지막 본체가 지면 혹은 대선과 심한 마찰이 생기지 않도록 하고, 특히 돌출물에 의한 걸림에 특별히 주의한다.

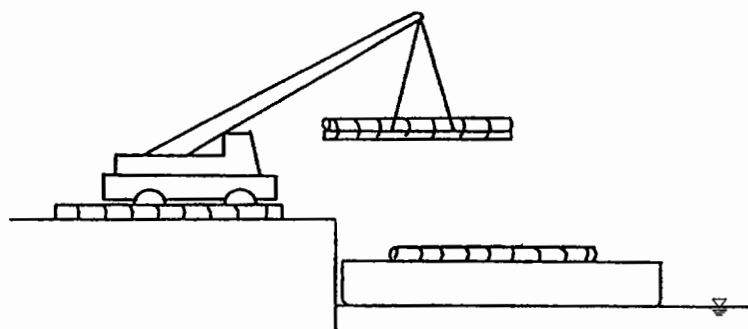


그림 A3.4.38

(자) 예인

- 오탃방지막을 적재한 대선을 설치 현장까지 예인한다.

(차) 해중 설치

- 다음의 해중 설치 순서는 설치수심 20 m 이하로 가정한 일반적인 설치 요령이며 상해 또는 수심 20 m 이상인 해역에서의 설치 요령은 각 제작사로부터 제시되는 요령서를 참조한다.

① Case 1 (연속 설치)

- 대선 위의 오탃방지막 curtain 단부의 임시 고정 로프를 풀고 인접 span의 curtain 단부를 locking rope 또는 테이프로 연결한다.
- 인접 span의 anchor(H형강)를 체인 및 shackle 등 지정된 연결 부재로 연결한다.
- 크레인선 및 양묘선의 2대의 크레인으로 1 span분의 anchor(H형강)의 양쪽 단부를 각각 들어올려 선단 쪽으로부터 비스듬히 해저에 내린다.
- 선단이 해저에 도달하면 그 쪽의 크레인을 개방하고 대선 위의 인접 span의 anchor(H형강) 후단 쪽을 매달아 올려 대선을 이동시키면서 차례로 설치한다.
- 모든 오탃방지막의 설치가 완료된 후 anchor와 float를 고정하고 있던 임시 고정 로프를 절단하고 curtain을 부상시켜 스스로 일어서게 한다.

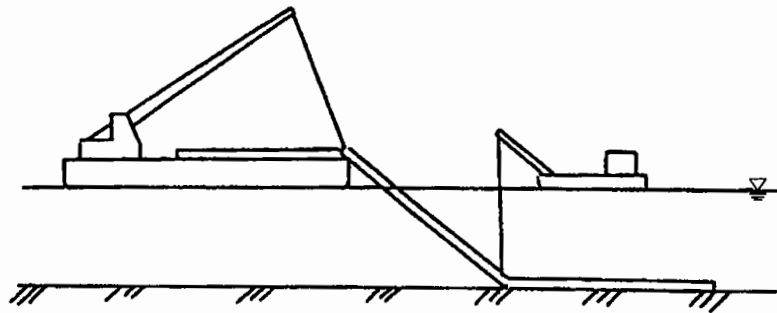


그림 A3.4.39

- 주의사항 : 임시 고정 로프 절단시 float의 급격한 부상에 주의한다.

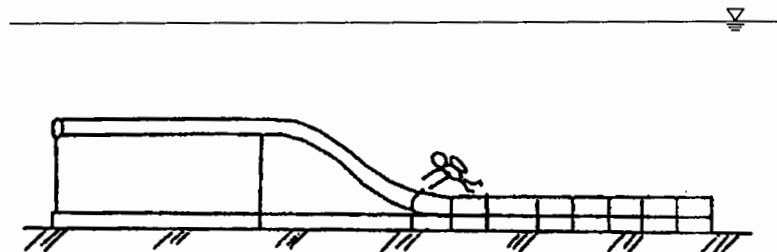


그림 A3.4.40

② Case 2 (단독 설치)

- 대선 위에 적재된 오락방지막을 hanger(그림 A3.4.43 및 A3.4.44 참조)를 사용하여 크레인으로 매달아 올린다.
- 미리 측량되어 있는 설치 지점에 잠수부의 유도에 의해 1 span씩 설치한다.
- 인접 span 사이의 anchor(H형강)를 연결하는 경우에는 잠수부가 체인 및 shackle 등의 지정된 연결 부재로 연결하도록 한다.

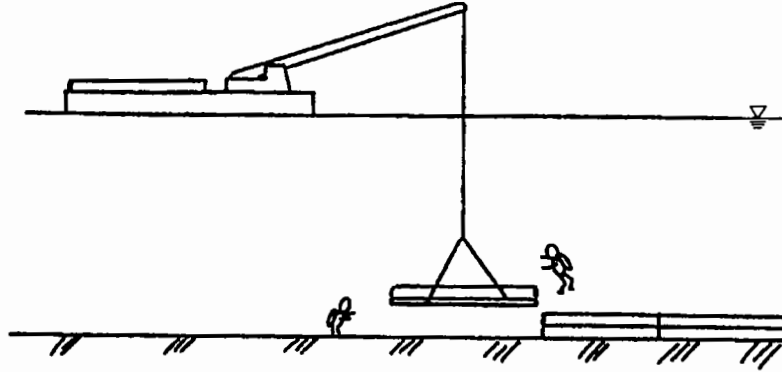


그림 A3.4.41

- 해저에 설치된 오락방지막의 임시 고정 로프를 절단하고 curtain을 부상시켜 스스로 서게 한다.
- 주의사항 : 임시 고정 로프 절단시 float의 급격한 부상에 주의한다.
- 스스로 선 curtain의 단부를 locking rope 또는 테이프로써 연결한다.

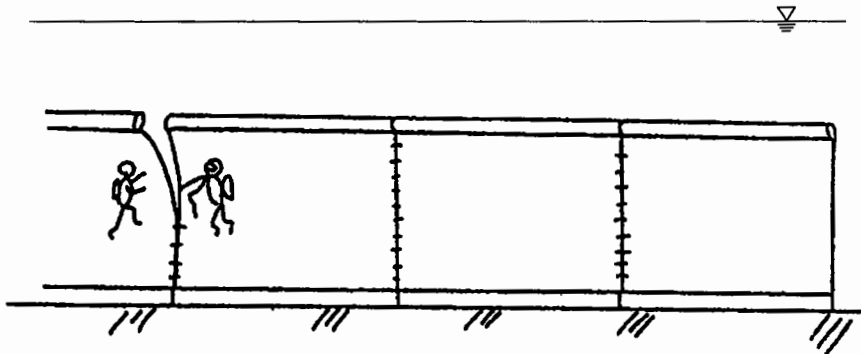


그림 A3.4.42

(카) 최종점검

- 설치 완료 후 잠수부로 하여금 연결부 등의 설치 상태를 점검케 한다

고정식(자립형)의 조립·설치·철거 요령

(가) 시공 기자재

① 육상

트럭 크레인                    1대

② 해상

크레인 대선	1척,	잠수선	1척
예인선	1척,	경계선	1척
대선	1척,	양묘선	1척
통선(작업원용)	1척,		

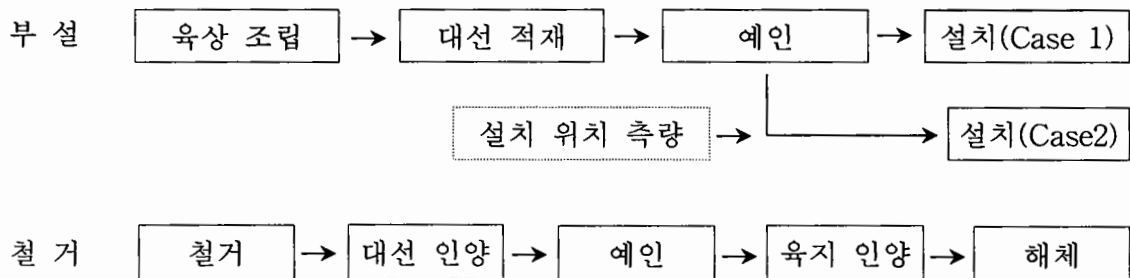
③ 주의사항

- 오락방지막의 설치 및 철거 작업시 공통 적용한다.
- 각 장비는 운전원을 동반하는 것으로 한다.
- 잠수선에는 잠수부 4인을 배치한다.
- 조립 야드는 길이 100m×폭 30m 정도가 필요하다.

표 A3.4.6 시공 노무(1일 140 m마다의 보통 작업원 수).

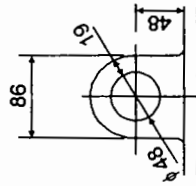
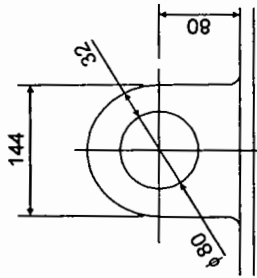
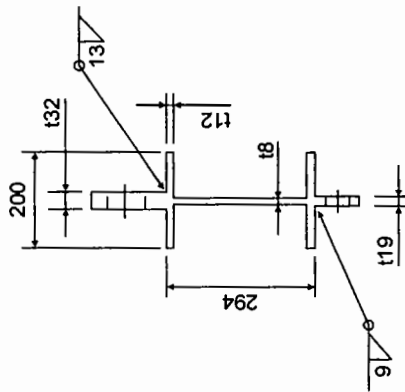
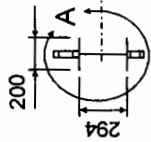
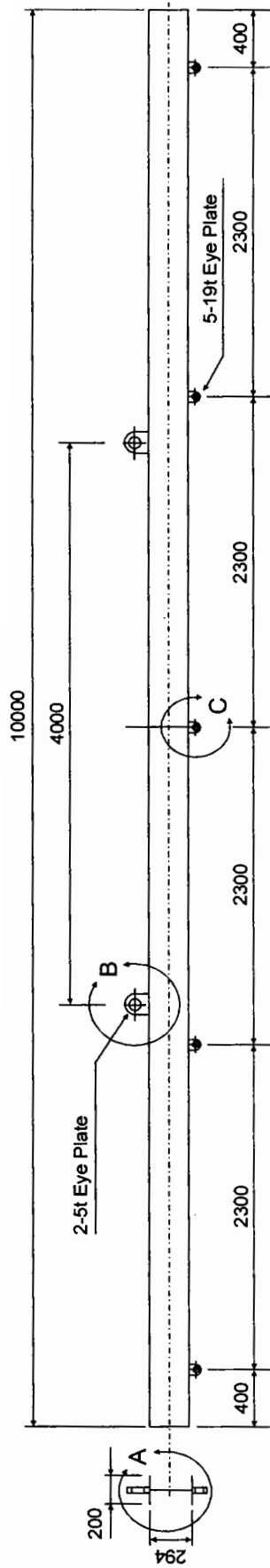
작업		설치	철거
Curtain 높이 1~5 m	육상	12명	10명
	해상	8명	10명
Curtain 높이 6~10 m	육상	14명	12명
	해상	10명	12명

(나) 시공 방법



수하형·자립형 옥타방지막 조립 공사 표준 사용 기자재.

명 칭	규 격	수 량			비 고
		자립형	수하형		
			부침식	고정식	
트럭 크레인	35 ton 매달기 이상	1~2	1~2	1~2	공정에 의한다
Fork lifter	1 ton용 이상	1	1	1	
발전기	2.2 kW 정도	1	2	2	전동식
Compressor	35~50 ps	-	1	-	
Impact wrench		2	5	4	
소켓	M20용, M16용, M12용	각 3	각 5	각 4	
Cap tire	50 m 롤	3	5	3	
일륜차		1	2	2	
Ratchet	M20용, M16용, M12용	각 3	각 5	각 4	
웍셋 wrench	M20용, M16용, M12용	각 3	각 5	각 4	
Monkey spanner	중, 소	각 2	각 2	각 2	
Pipe wrench		-	2	-	
Bar		1	2	1	
Wire cutter		1	2	1	
Hammer	중, 소	각 2	각 2	각 2	
Knife		2	2	2	
Cutter knife		2	2	2	
Driver	+, - (대)	각 2	각 2	각 2	
Pinchers		2	3	2	
Pliers		2	3	2	
Sling belt	100W L=10 m	4	10	6	
	100W L=5 m	4	6	4	
Wire	φ16 L=4 m	2	4	2	
	φ16 L=2 m	2	4	-	
	φ16 L=16 m	2	-	-	
Shackle	φ16	4	10	4	
Hanger	STPT370 또는 φ75 환봉	1	1	1	제작사마다 다름 첨부도 참조
매달기용 hanger	L=10 m	-	2	-	
각재	100×100×2 m	4	10	-	
조릿대		4	5	5	
비닐 테이프		5	5	5	
덮개 시트	2 m <sup>w</sup> ×100 m	1	1	1	PP cross 10 ℓ 정도
Bucket		5	5	5	
줄자	100 m 롤	1	1	1	
	20 m 롤	1	1	1	
	5 m 롤	1	2	2	
절단기		1	1	1	가스
권양기	0.5 ton 이상	-	2	-	
전동 드릴		1	1	1	
드릴용 punch	M20용, M16용, M12용	각3	각 3	각 3	
전기 인두		2	2	1	
테이프(벨트)	50 <sup>w</sup>	100 m	250 m	100 m	
보호재		1 식	1 식	1 식	고무 시트 등
Sander		1	1	1	
Torque wrench		1	1	1	



55.8 kg/m

C부 상세

B부 상세

A부 상세

그림 A3.4.43 페달기용 hanger.



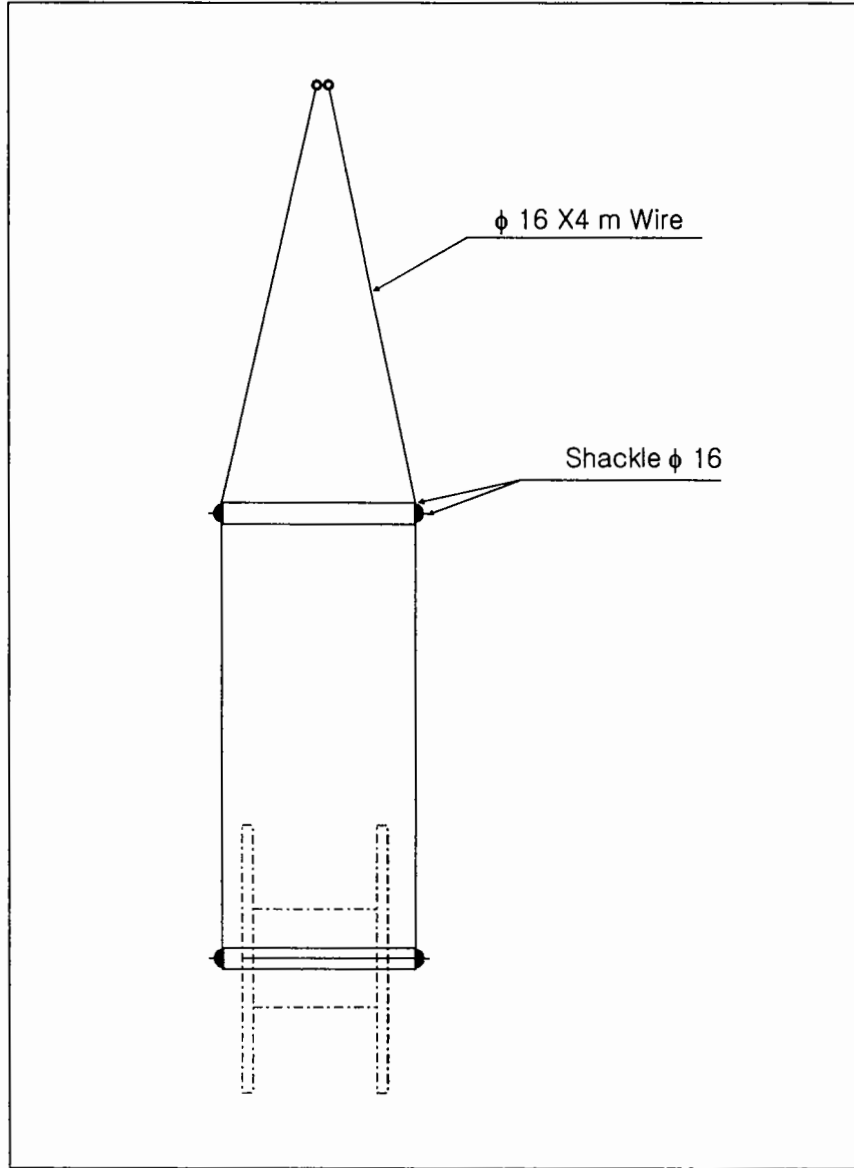


그림 A3.4.44 Hanger.

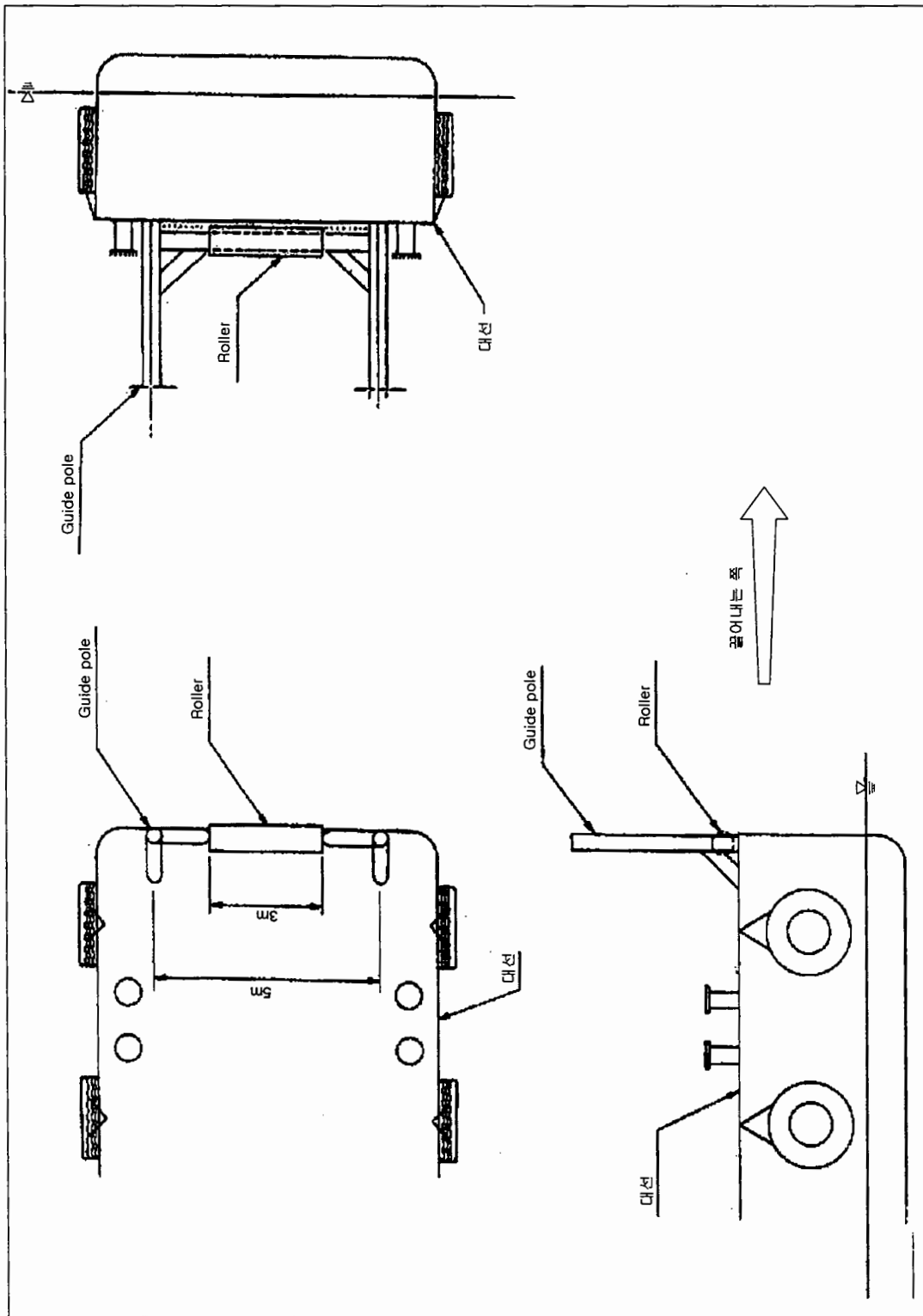


그림 A3.4.45 오타방지막 인출 가이드(참고용).

## A3.5 보수 및 유지관리

### A3.5.1 보수 및 유지관리 체계

- 오탉방지막은 설치기간 중에 항상 풍파와 조류에 노출되고 조개나 해조류 부착 등 가혹한 자연조건하에서, 그리고 해양 공사로 인한 오탉방지막 주변의 여러 가지 외력 요인에 의해 방지막 및 계류삭이 파손될 우려가 있다.
- 이 때문에 설치기간 중에는 항상 감시와 함께 적절한 보수 및 유지 관리를 함으로써 오탉 방지의 목적을 달성하도록 하는 것이 중요하다.

### A3.5.2 개 요

- 보수 관리는 다음과 같은 일상점검, 정기점검, 임시점검 및 패류 제거작업으로 분류할 수 있으며 보수 관리 흐름도는 그림 A3.5.1과 같다.
  - 일상점검 : 매일 1회 오탉방지막 설치 해역을 순회 감시한다. 감시는 항행 선박의 충돌 방지, 이상 사태의 조기 발견을 목적으로 선상에서 육안 점검을 위주로 한다.
  - 정기점검 : 3개월에 1회 선상에서 육안 점검과 함께 잠수 점검을 실시하고 상황을 상세하게 조사한다.
  - 임시점검 : 태풍 등의 이상 기후, 악천후 다음에 실시하며 파손이나 이상 사태의 조기 발견을 목적으로 한다. 기본적으로는 선상 점검을 하지만 필요에 따라서 잠수 점검도 병행한다.
  - 패류 제거 작업 : Float, curtain에 조개, 해조류 등 부착에 의한 중량 증가에 의해 float가 1/2 이상 잠기는 경우에는 잠수부를 동원하여 부착생물을 제거한다.

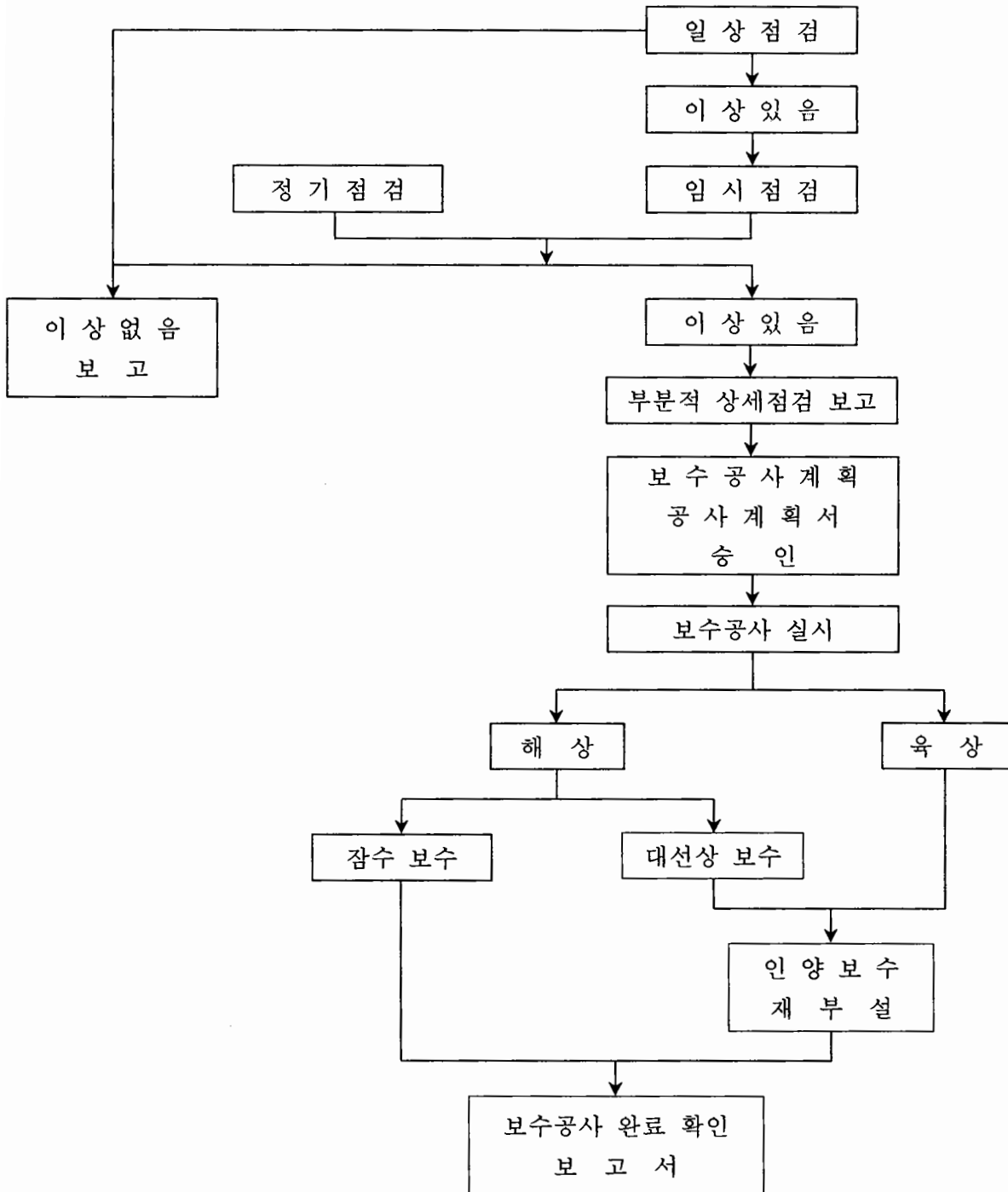


그림 A3.5.1 보수 관리 흐름도.

### A3.5.3 점검내용

○ 고정식 수하형, 부침식 수하형, 고정식 자립형에 대한 점검 내용은 다음과 같다.

#### A3.5.3.1 고정식 수하형 및 부침식 수하형

- 일상점검
- 정기점검
  - 선상 점검
  - 잠수 점검
- 임시점검

#### A3.5.3.2 고정식 자립형

- 일상점검
- 정기점검
  - 잠수 점검
- 임시점검

### A3.5.4 점검내용 설명

#### A3.5.4.1 일상점검

○ 정기점검, 임시점검과는 별도로 항상 오락방지막 설치 해역을 순회 항행하며 이상 유무를 점검, 감시한다. 또 주요 점검 항목은 다음과 같다.

- Line, layout의 검사
- Float의 건현(대기 중 흡수)
- 부유물(쓰레기 등)의 회수, 제거 처분 등

#### A3.5.4.2 정기점검

##### (1) 선상 점검

○ 선상 점검은 선상에서 육안으로 점검하며, 점검 사항은 다음과 같다.

##### ① 설치 line, layout에 이상은 없는가?

설치 line, layout이 설치 당초와 비교하여 어긋나면 계류삭의 이상(anchor의 이동, anchor 로프의 절단, shackle의 풀림 등)을 생각할 수 있다. 이것을 그대로 방치하면 파손 등의 큰 사고로 발전할 우려가 있기 때문에 발견 즉시 잠수 조사를 실시하

여 상세한 상황을 확인한 후에 신속하게 보수, 교환 등의 조치를 취한다.

② Float의 전체적인 건현은 충분한가?

일본의 해양공사오탁방지협회에서는 설치된 상태에서의 고정식 수하형 오탁방지막은 float의 건현을 1/2 이상 확보하는 것이 필요하다고 규정하고 있다[A3.2.1.2(6) 참조]. float의 건현이 현저히 낮아지면 파랑 조건에 따라서는 탁수가 float를 월류하여 오탁방지 효과에 영향을 미칠 위험이 있다. Float의 건현이 전체적으로 낮아진 경우 주로 패류의 부착에 의한 중량 증가를 예상할 수 있으므로 임시로 잠수부에 의한 부착 상황을 조사하고 필요하면 제거한다.

③ Float의 건현이 부분적으로 내려가 있지는 않는가?

Float의 건현이 부분적으로 내려가 있는 경우에는 주로 float의 약화, curtain部の 어떤 이상 등에 기인되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 이 경우에도 float의 검사 및 잠수부에 의한 curtain部를 조사하고 필요에 따라 보수, 수리한다.

④ Anchor 로프에 이상은 없는가?

Anchor 로프가 부자연스럽게 가라앉은 경우는 anchor가 국부적으로 과도하게 작용하거나, float나 curtain 등에 걸려 있거나 하여 절단되어 있을 수도 있다. 수시로 잠수 조사를 하고 필요에 따라 보수, 수리한다.

⑤ 접속(joint)부가 심하게 가라앉아 있지는 않는가?

Span joint 부에 현저하게 가라앉아 있는 부분이 있는 경우에는 float部나 anchor 로프 등의 계류 시스템에 이상이 있을 것으로 예상된다. 이 경우에는 float部の 검사 및 계류 시스템을 잠수 조사하고 필요에 따라 보수, 수리한다.

⑥ Float 部に 이상은 없는가?

Float cover 접속 부재(로프 또는 볼트 등)가 느슨해져 있거나 빠져 있는 경우에는 보수한다.

⑦ 이상의 ①~⑥항에 대한 보수, 교환에 관해서는 해당 제작사에 연락한 후 관계자 간의 협의에 의한 후속 대응이 필요하다.

(2) 잠수 점검

- 선상 점검의 결과 이상이 발견되면 잠수 점검을 실시하여 이상 장소의 상황을 더욱 상세히 조사한다. 또 선상 점검은 육안에 의존하기 때문에 주로 float部の 상황을 확인하게 되며 대부분의 해중에 잠긴 부분의 점검은 곤란하다. 따라서 정기점검시에는 반드시 잠수 점검을 실시한다.
- 잠수 점검에서 점검 부분은 선상 점검의 상황(이상 유무 등)에 따르지만 대체로 주요 점검 부분 및 항목은 다음과 같다.

① Float 部

- Float cover의 파손
- Float의 파손, 찌그러짐 등

② Curtain 部

- Curtain의 파손
- Weight chain의 탈락
- Shackle, joint 금속 부품의 풀림, 빠짐

③ Float와 curtain의 접속부

- Float 또는 curtain의 파손

④ Curtain의 접속부(종 joint)

- Shackle, joint 금속 부품의 풀림, 빠짐
- Joint 로프의 빠짐

⑤ Span 연결부

- 연결부의 파손, 부재의 풀림, 빠짐
- Joint cover의 파손, 이탈 등

⑥ 계류삭

- Anchor의 이동
- Anchor 로프의 파손
- Shackle의 풀림, 빠짐
- Joint 금속 부품의 파손, 볼트, 너트의 풀림, 빠짐

⑦ 부착물 조사와 제거

- 부착물의 종류와 부착 두께(가능하면 중량 측정)를 확인한다.
- 대량으로 부착되어 있으면 오락방지막에 손상을 주지 않도록 주의하면서 제거 작업을 한다.

⑧ 이상의 ①~⑦항의 조사 결과에서 확인된 보수, 교환에 관련된 사항은 해당 제작사에 연락한 후 관계자 간의 협의로 대책을 강구한다.

### A3.5.4.3 임시 점검

- 필요에 따라 수시로 하며 주로 태풍 내습 등 악천후 시에 선상으로부터 육안으로 가능한 범위 내에서 점검한다. 선상 점검이 기본이지만 자립형의 경우나 확실한 이상이 발견되면 잠수 점검을 한다. 또한 점검 내용은 정기점검과 같다.
- 고정식 수하형, 부침식 수하형, 자립식 자립형 등의 보수 점검 요령 및 보수점검표(참고기입용지)는 다음과 같다.

표 A3.5.1 표준 보수점검업무 요령(고정식 수하형).

점검 내용		빈도	1회(500 m)당 필요한 기자재 및 인원	비고
일상 점검	정기 점검, 임시 점검과는 별도로 오탁방지막 설치 해역을 순회 운행하고 점검, 감시한다. ① Line, layout의 검사 ② Float의 건현	매일 1회	감시선 1척 십장 1인 보통작업원 2인	
정기 점검	선상 점검 선상에서 육안 감시가 가능한 범위 내에서 점검한다. ① Line의 layout ② Float의 상황, 건현 상태, 패류의 부착 상황 ③ Curtain 탈락 유무, 접속 상황 ④ 계류삭, anchor 로프의 이상, 완충부이의 탈락 ⑤ 부유물(쓰레기)의 제거, 회수, 처분 ⑥ 사진 촬영	월 1회	(선상, 잠수 공통) 작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인	⑦,⑧항에 대해서는 필요에 따라 실시한다.
	잠수 점검 잠수부에 의한 수면하 점검 ① Float와 curtain의 접속부 ② Curtain 끼리의 접속 ③ 계류삭(상부, 하부 anchor 로프)의 상황, float와의 접속 ④ Curtain의 상황, 패류의 부착 상황 ⑤ Weight chain의 탈락 ⑥ Anchor의 이동 ⑦ 수중 사진 촬영 ⑧ 수중 비디오 촬영	3개월에 1회	(잠수의 경우 다음 필요) 잠수선 1척 잠수부 4인 잠수 송기 연락원 1인	
임시 점검	· 선상에서 육안 감시가 가능한 범위 내에서 점검한다. · 주로 선상 점검을 하지만 경우에 따라서 잠수 점검도 추가한다.	필요할 때마다 (악천후 다음 등)	작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인 (잠수부 2인) (잠수 송기 연락원 1인)	( )는 경우에 따른다.



표 A3.5.2 표준 보수점검업무 요령(부침식 수하형).

점검의 내용		빈도	1회(500 m)당 필요한 기자재 및 인원	비고
일상 점검	<p>정기 점검, 임시 점검과는 별도로 오탁방지막 설치 해역을 순찰하면서 점검, 감시한다.</p> <p>① Line, layout의 검사 ② Float의 건현</p>	매일 1회	감시선 1척 십장 1인 보통작업원 2인	
정기 점검	<p>선상에서 육안 감시가 가능한 범위를 점검한다.</p> <p>① Line의 layout ② 고무 본체의 외상 ③ Float의 상황, 건현 상태, 패류의 부착 상황 ④ Curtain 탈락 유무, 접속 상황 ⑤ 계류삭, anchor 로프의 이상, 완충 부이의 탈락 ⑥ 부유물(쓰레기)의 제거, 회수, 처분 ⑦ 사진 촬영</p>	월 1회	(선상, 잠수 공통) 작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인	⑦,⑧항에 대해서는 필요에 따라 실시한다.
	<p>잠수부에 의한 수면하 점검</p> <p>① Float와 curtain의 접속부 ② Curtain 끼리의 접속 ③ 계류삭(상부, 하부 anchor 로프)의 상황, float와의 접속 ④ Curtain의 상황, 패류의 부착 상황 ⑤ Weight chain의 탈락 ⑥ Anchor의 이동 ⑦ 공기 급배기 hose의 이상 ⑧ 접속부 보조 float의 파손 ⑨ 접속부로부터의 공기 누설 검사 ⑩ Valve의 동작 확인 ⑪ 수중 사진 촬영 ⑫ 수중 비디오 촬영</p>	3개월에 1회	(잠수의 경우 다음 필요) 잠수선 1척 잠수부 4인 잠수 송기 연락원 1인	
임시 점검	<p>· 선상에서 육안 감시가 가능한 범위 내에서 점검한다.</p> <p>· 선상 점검을 주로 하지만 경우에 따라서 잠수 점검도 추가한다.</p>	필요할 때마다 (약천후 다음, 부침 조작 후 등)	작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인 (잠수부 2인) (잠수 송기 연락원 1인)	( )는 필요시 추가

표 A3.5.3 표준 보수점검업무 요령(고정식 자립형).

점검의 내용		빈도	1회(500 m)당 소요 기자재 및 인원	비고
일상 점검	고정식 자립형은 선상 점검이 불가능하므로 ① 부유 파손물이 있지 않은가 점검한다.	매일 1회	감시선 1척 십장 1인 보통작업원 2인	
정기 점검	잠수사에 의한 점검 ① Line의 layout ② Float 파손의 유무 ③ Float와 curtain의 접속 상황 ④ Curtain 파손의 유무 ⑤ 패류의 부착 상황의 확인 ⑥ Anchor와 curtain의 접속 상황 ⑦ 수중 사진 촬영 ⑧ 수중 비디오 촬영	월 1회 3개월에 1회	작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인 잠수선 1척 잠수부 4인 잠수 송기 연락원 1인	⑦, ⑧항은 필요시 추가한다.
임시 점검	정기 점검에 준하여 잠수 점검을 한다.	필요할 때마다 (악천후 다음 등)	작업선 1척 경계선 1척 십장 1인 보통작업원 2인 잠수부 2인 잠수 송기 연락원 1인	

고정식 수하형

# 표준보수점검표

점검일 \_\_\_\_\_ 년 월 일  
 점검자 \_\_\_\_\_

점검 부분	점검항목	일상점검	정기점검		임시점검
			선상점검	잠수점검	
Float 부	Line, layout의 검사			_____	
	Float의 건현			_____	
	Float의 패류 부착물의 유무	_____		_____	
	Float cover 파손 부분의 유무				
	Float 파손 부분의 유무				
Curtain 부	Curtain 탈락의 유무(풀림, 이탈 유무)	_____			
	Curtain 파손 부분의 유무	_____	_____		
	Curtain의 조개 등 부착물의 유무	_____	_____		
	Weight의 탈락	_____	_____		
접속부	Float와 float 접속부의 이탈	_____	_____		
	Joint의 cover 이탈	_____	_____		
	Curtain 끼리의 접속부의 이탈	_____	_____		
	Shackle의 풀림, 이탈	_____	_____		
계류삭	Anchor의 이동	_____			
	Anchor 로프의 이상 유무	_____	_____		
	Shackle의 풀림, 이탈	_____			
	완충 부이의 탈락	_____	_____		
	Anchor 부착 금구의 파손, 풀림	_____			
기타	부유물(쓰레기)의 제거, 회수, 처분	_____		_____	
	사진 촬영, 비디오 촬영	_____			

부착물 (상황을 기입)	측정위치 :
	종 류 :
	두 개 :
	중 량 :

이상 부분의 기입 Span No. :


부침식 수하형

# 표준보수점검표

점검일 \_\_\_\_\_ 년 월 일

점검자 \_\_\_\_\_

점검 부분	점검항목	일상점검	정기점검		임시점검
			선상점검	잠수점검	
Float 부	Line, layout의 검사			-----	
	Float의 건현			-----	
	Float의 패류 부착물의 유무	-----		-----	
	고무 본체 외상의 유무	-----			
Curtain 부	Curtain 탈락의 유무(풀림, 이탈 유무)	-----			
	Curtain 파손 부분의 유무	-----	-----		
	Curtain의 조개 등 부착물의 유무	-----	-----		
	Weight의 탈락	-----	-----		
접속부	접속부 등에서의 공기의 누설	-----			
	접속부 보조 float의 파손 유무	-----	-----		
	Curtain 끼리의 접속의 이탈	-----	-----		
	Joint 금구의 풀림, 이탈	-----	-----		
	Shackle의 풀림, 이탈	-----	-----		
계류삭	Anchor의 이동	-----	-----		
	Anchor 로프의 이상 유무	-----			
	보조 부이의 탈락 유무	-----			
	Shackle의 풀림, 이탈	-----	-----		
	Anchor 부착 금구의 파손, 풀림	-----	-----		
급배기 부	공기 급배기 hose의 이상 유무	-----	-----		
	Valve의 작동 확인	-----			
기타	부유물(쓰레기)의 제거, 회수, 처분	-----		-----	-----
	사진 촬영, 비디오 촬영	-----			

부착물 (상황을 기입)	측정위치 :
	종 류 :
	두께 :
	중 량 :

이상 부분의 기입 Span No. :


고정식 자립형

# 표준보수점검표

점검일 \_\_\_\_\_ 년 월 일

점검자 \_\_\_\_\_

점검 부분	점검항목	일상점검	정기점검 잠수점검	임시점검
Float 부	Line, layout의 검사	——		
	Float 파손의 유무	——		
Curtain 부	Float와 curtain의 접속 상황	——		
	Curtain 파손 부분의 유무	——		
	Curtain의 조개 등 부착물의 유무	——		
	Anchor와 curtain의 접속 상황	——		
기타	부유파손물의 유무		——	——
	수중 사진 촬영, 수중 비디오 촬영	——		

부착물 (상황을 기입)	측정위치 :	
	종 류 :	
	두 께 :	
	중 량 :	

이상 부분의 기입  Span No. :


## A3.6 효과 및 실측 사례

### A3.6.1 오탁확산 방지효과

○ 오탁방지막의 오탁확산 방지효과는 다음과 같다.

- 간섭침강 촉진 효과
- 확산거리 단축 효과
- 정류 효과
- 도수 효과

#### (1) 간섭 침강촉진 효과

- 그림 C6.1.1에서와 같이 오탁방지막을 설치하면 탁수의 확산을 억제하고 오탁 입자끼리 서로 영향을 받아서 간섭침강이 촉진된다.

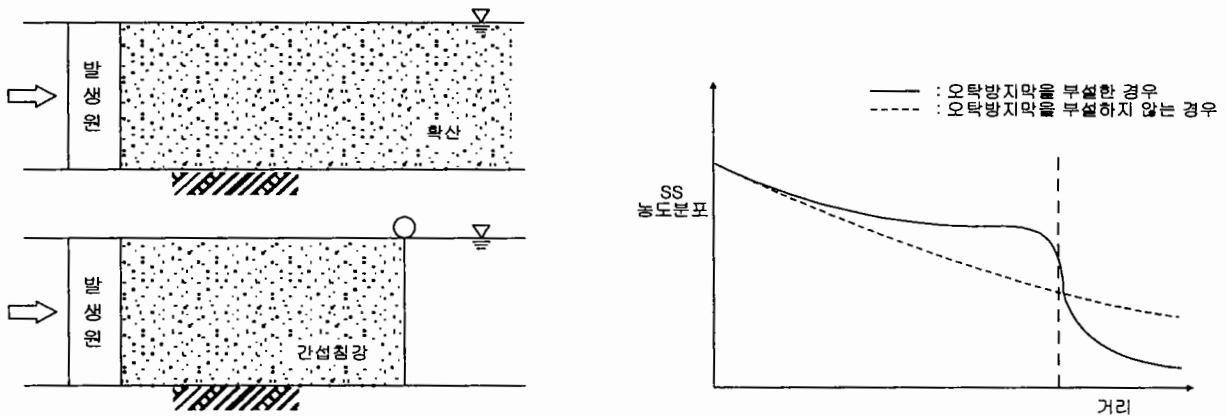


그림 A3.6.1 간섭 침강촉진 효과.

#### (2) 확산거리 단축 효과

- 그림 A3.6.2에서와 같이 오탁방지막을 설치하면 오탁방지막 밑으로부터 오탁 입자의 침강 영역이 짧아지기 때문에 하류로의 영향 범위를 축소시킬 수 있다.

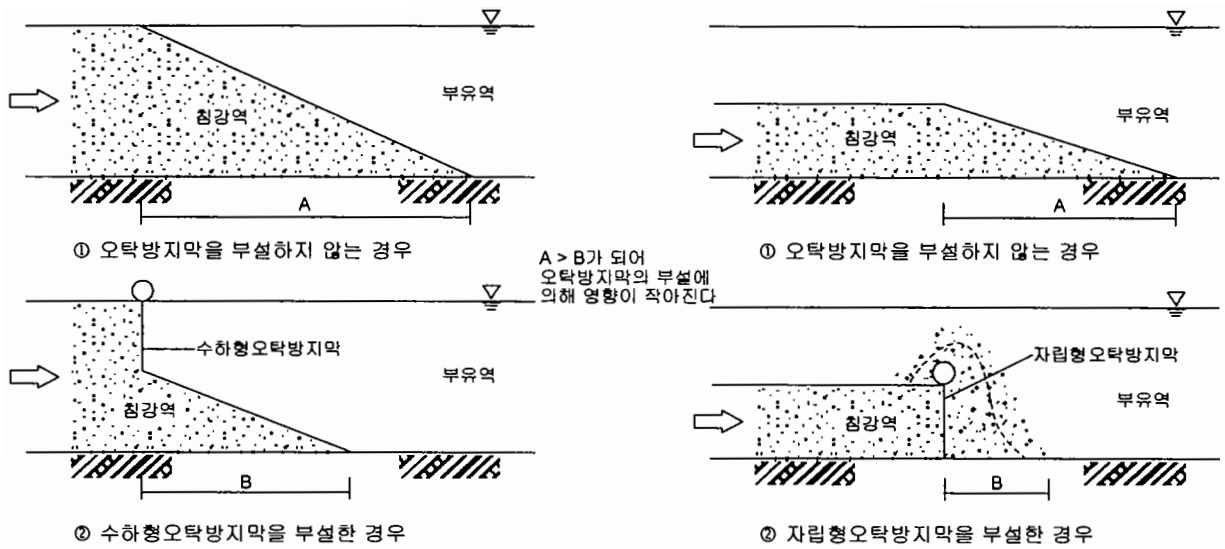


그림 A3.6.2 확산거리 단축효과.

(3) 정류 효과

- 그림 A3.6.3과 같이 매립지 등의 안쪽에서 펌프 준설선의 준설토 배출구로부터 떠 상태로 흐르는 경향이 있기 때문에 오탁방지막을 설치한다.
- 이것에 의하여 폭이 넓은 일정한 유속이 되고 유속 저감으로 오탁 입자가 침강하기 쉽게 된다.

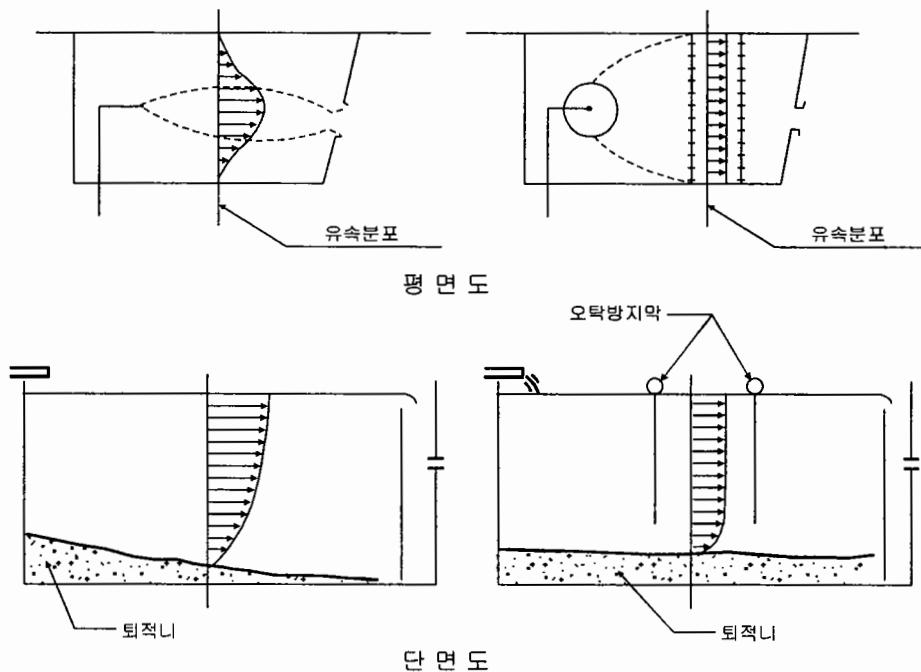


그림 A3.6.3 정류효과.

(4) 도수 효과

- 정류 효과와 마찬가지로 그림 A3.6.4와 같이 오락방지막을 따라 여수토까지의 도달 시간을 연장시켜 흙 입자의 침강을 촉진한다.

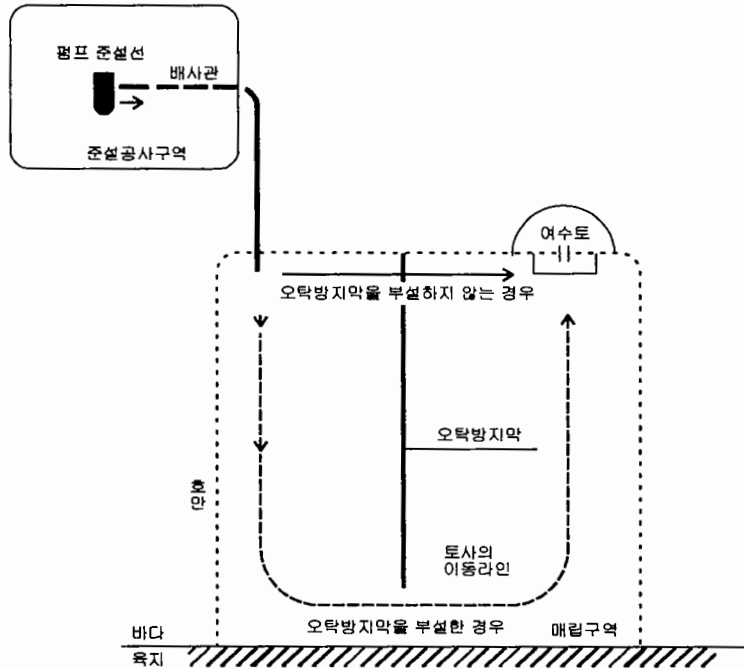


그림 A3.6.4 도수효과.

A3.6.2 실측 사례

○ 그림 A3.6.5와 그림 A3.6.6은 오락방지막을 설치하였을 때의 토사농도 실측사례이다.

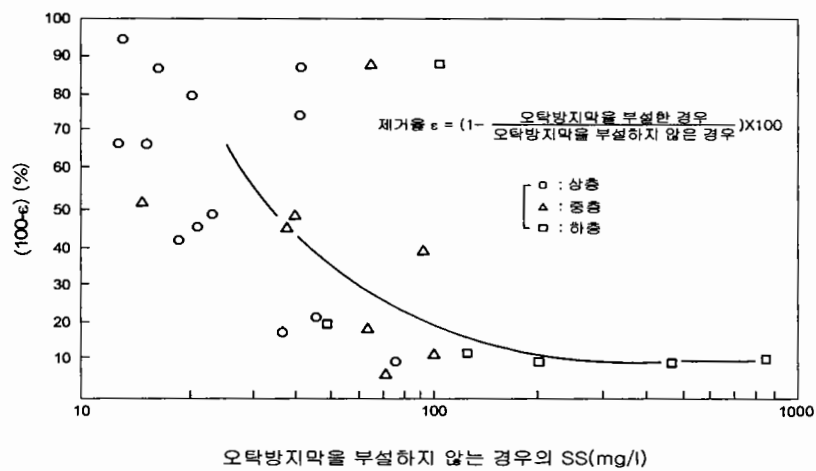


그림 A3.6.5 사례 1.



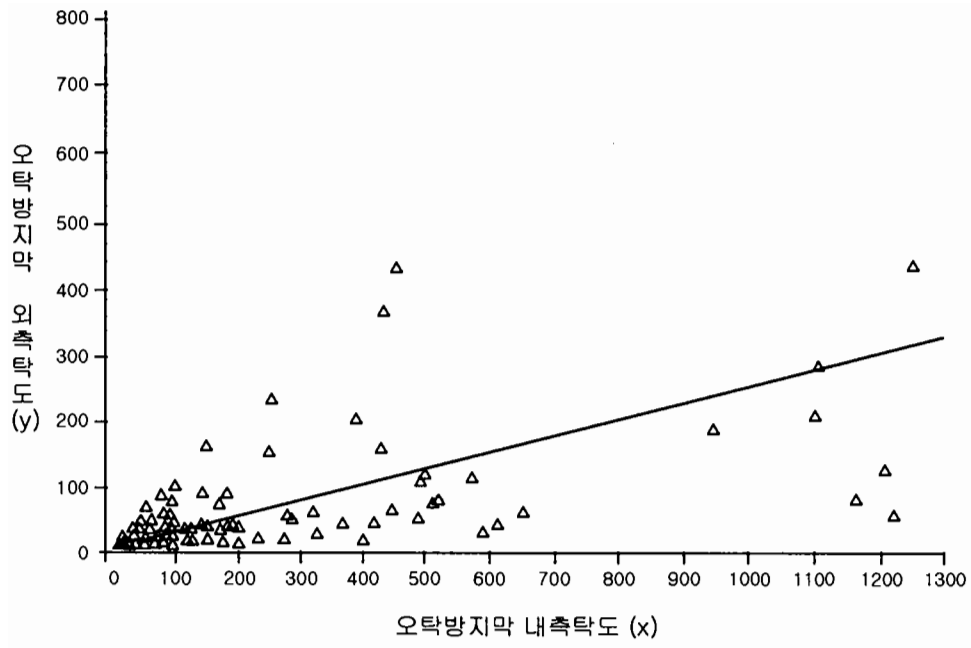


그림 A3.6.6 사례 2.

부록 4  
오탁방지막 제조업체 질의·응답

日本 海洋開發工事安全公害對策本部(1989)의  
‘海洋工事における汚濁水擴散防止膜の手引’ 中 제2장



## A4.1 관리상의 문제점

**問 1 :** 공중에 따라 오탁수 확산방지막(이하 '방지막'이라 한다)의 규격을 변경하는가?

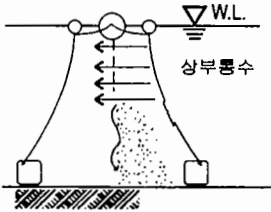
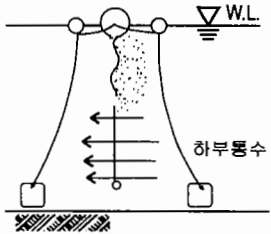
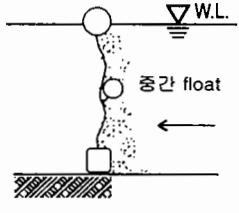
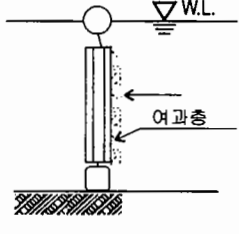
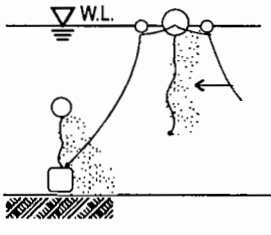
**答 :** 공중에 따라 규격을 바꾸는 것은 물론, 기상·해상조건, 사용기간 등을 감안하지만 특히 다음 사항을 유의하여 계획한다.

1. 기상·해상 등의 환경면에서

- ① 수심이 낮은 쇄파대에서 사용하는 경우
- ② 간만의 차가 큰 경우
- ③ 파랑이 큰 경우
- ④ 흐름이 빠른 경우
- ⑤ 해저지반이 암반인 경우
- ⑥ 대수심인 경우
- ⑦ 설치기간이 긴 경우
- ⑧ 선박의 항행이 있는 경우

2. 기능면에서

상층	수하식	연속형 · 통수형		<p>상층의 오염을 막고 체류에 의하여 오탁 입자의 침강을 촉진한다. 종래부터 일반적으로 사용되고 있으며 실적도 다수임. 단, 유속이 빠른 곳에서는 부적합함.</p>
하층	자립식	연속형		<p>준설, 사토 공사 등에서 오탁이 해저를 따라 확산되는 것을 방지한다.</p>

상·하층	통수식	상부 통수형		상층의 저농도수만을 유출시켜 하층부의 침강을 촉진한다. 유속이 빠른 곳에 적합하다.
상·하층	통수식	중간하부 통수형		상층의 오염방지와 침강을 촉진한다. 하층부의 빨아올림을 방지한다. 유속이 빠른 곳에 적합하다.
전	자립식	중간 Float형		여수토 등에서 탁수의 차단을 목적으로 하여 사용된다. 흐름이 작은 곳에서 사용함.
		부착 여과형		수심이 깊거나 유속이 빠른 장소에 병용하여 사용한다.
층	자립식 수하식	병용형		여과포에 의해 오탁 입자를 부착 제거함과 동시에 여과포 표면에 착생하는 생물 피막에 의하여 오탁 제거 효과를 증대시킨다.

問 2 : 방파제 공사에서 방지막에 대한 문제점이 많이 지적되는데 이에 대한 특별한 고려를 하는가?

答 : 방파제 공사에서 특히 많은 문제가 지적되고 있지만, 이는 다른 공사에 비해 기상·해상 조건이 특히 나쁘기 때문이라고 생각된다. 설치 해역의 기상·해상 등을 충분히 조사한 후 설계조건을 명시하도록 권하고 싶다.

**問 3** : 방지막의 규격은 어떤 항목을 고려하여 결정하는가?

**答** : 다음 항목을 고려하여 규격을 결정한다.

- ① 오락발생원의 위치(거리·심도 등)
- ② 기상·해상 조건 (풍속, 유속, 파고, 주기, 파랑, 수심, 간만차)
- ③ 해저지반 조건 (해저 지질 등)
- ④ 오락발생원 土石의 물성치 (입경, 입도분포 등)
- ⑤ 설치조건 (설치장소, 기간 및 시기, 부설 거리, float의 직경, 커튼 길이, 이설의 유무, 개폐부의 유무, 기타)

**問 4** : 방지막 부설 기간이 1년 이상일 경우 내구성, float 부력 등이 만족되는가?

**答** : 다음 항목을 고려하고 있다.

- ① Float cover를 이중구조로 하여 보강하고 있다. 또, 해수에서 경화되기 어려운 것을 사용하고 있다.
- ② Float 크기를 사용기간, 커튼 길이에 따라 설계한다.
- ③ 커튼 강도를 높이기 위해 커튼부에 보강벨트를 봉제한다(500~800kg/3cm).
- ④ Weight 및 앵커 중량을 해양 조건에 맞게 설계한다.
- ⑤ 내구성은 각 부재의 안전율을 올려서 확보하고 있다(금속부품에 대해서는 방식가공 제품, 와이어에 대해서는 수지피복 제품을 사용하고, 부식을 방지하고 있다. 폴립 방지 기능을 갖춘 금속부품을 이용하는 것도 있다.).
- ⑥ 기타 : 정기적인 유지관리를 실시한다.

**問 5** : 기상·해상의 이상시(예 : 풍속, 파고 등) 구체적인 부설한계조건은?

**答** : 방지막은 앵커의 간격, 부설 길이, 커튼 길이에 따라 상당한 악조건에서도 부설이 가능하다. 그러나 각 현장마다 그 기상·해상조건이 다르며 그것에 부합되게 설계하기 때문에 그 한계조건은 현장마다 다르다(보통 대략적으로 풍속 20 m/s, 파고 2 m, 유속 0.2~0.3 m/s 정도라고 생각한다.).

**問 6** : 방지막 부재의 강도는 무엇을 대상으로 하여 고려하며, 그 안전율은 어떻게 고려하는가(예 : 커튼, 와이어 강도, float 부력, 앵커 중량 등)?

**答** : 개략적으로 다음과 같다.

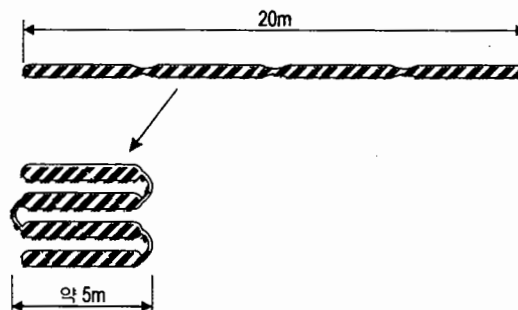
명 칭	대 상	안 전 율
커튼 강도	기상·해상조건, 설치조건, 사용조건	0~6개월 : $F_s=10$ 이상 6~12개월 : $F_s=15$ 이상 12~24개월 : $F_s=20$ 이상
Float 부력	설치기간 중의 손상, 부착물 및 본체 중량, 앵커에 의한 인장	본체 중량의 2~2.5배 이상의 부력을 갖는 것
와이어 강도	기상·해상조건, 설치조건, 앵커의 설치 각도	단기 : $F_s=3$ 이상 장기 : $F_s=6$ 이상
앵커 중량	기상·해상조건, 해저지반조건, 앵커의 설치 각도	$F_s=1.2$ 이상

問 7 : 부설, 철거, 보관시 넓은 야드의 확보가 곤란한 경우가 많은데 대책이 있는가?

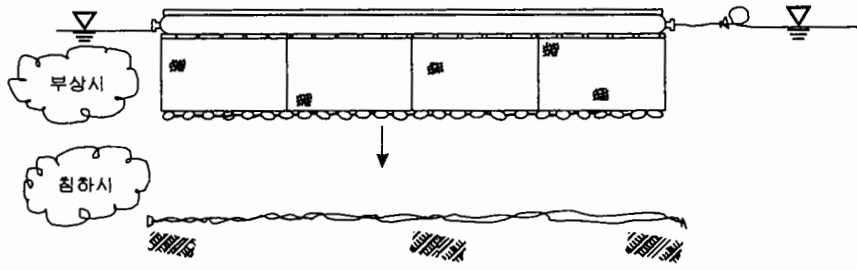
答 : 상황에 따라 다르지만 다음과 같이 조치하고 있다.

1. 특별주문제작에 의한 방법 : 1 span 길이 변경, float 재질 변경에 의해 공간을 약간 작게 하는 것이 가능하지만 가격은 약간 비싸진다. 선박의 계류시에 사용하는 닻으로 콘크리트 제작 야드를 좁게 하는 것은 가능하다.

① 반연속 float type : 길이 20 m/unit, 방지막을 4열로 접는다.



② 부침식 방지막 : 긴급시 또는 공사 도중 등 일시적으로 사용하지 않을 경우 침강시키는 것이 가능하며 취급이 편리하다.



## 2. 표준형 방지막의 작업 방법

### ① 부설 방법

- 중추(무거운 추) 체인과 커튼을 float部の 본체에 단단히 묶은 채로 가까운 해면에 띄워 임시로 설치한다. 해면 넓이에 따르지만 3 span(60 m) 정도를 일련 단위로 예항한다.
- 연결하면서 해면상으로 끌어내고, 일단 띄워 놓은 후 현장으로 예항한다(길이는 보통 5~6 span.).

### ② 철거 방법

- 일시적으로 철거할 때는 연결부의 보조 와이어를 분리한다. 보조와이어, 보조 plate, 앵커, 와이어는 그대로 남는다(단위는 3~5 span).
- 분리시킨 각 단위본체를 방파제까지 예항한다.

### ③ 보관 방법 (해중)

- 정온해역에 예항한다.
- 유실되거나 분실되지 않게 단단히 묶는다.
- 육사부 접촉에 인한 손상이나 본체끼리의 접촉으로 파손되지 않도록 한다.

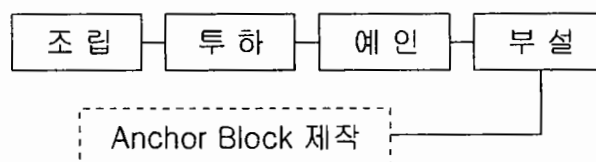
問 8 : 부설 및 철거작업 표준자료를 보고 싶다.

答 : 작업시의 표준예는 다음과 같다.

### 1. 방지막 부설 및 철거

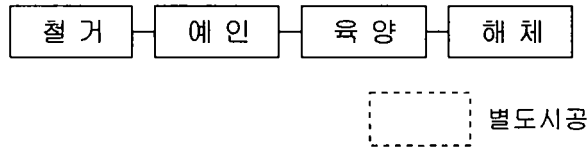
#### 1) 시공 방식

#### (1) 부설





(2) 철거



(3) 유지관리

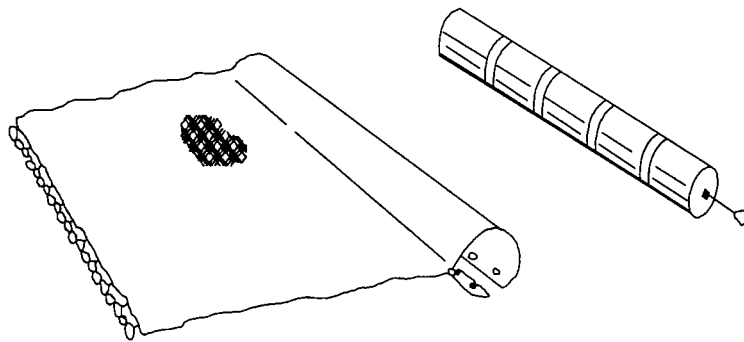
- 유지관리가 필요한 경우는 그 경비를 별도로 계산하여 포함시킬 수 있다.

2) 시공기계의 조합

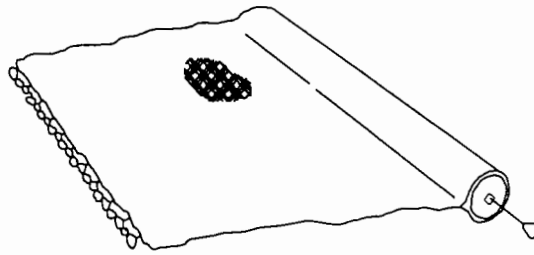
장비명칭	형상 및 치수	부 설	철 거	적 요
트럭	10톤 적재	○	○	
트럭 크레인	15톤 들어올림(유압식)	○	○	
揚錨船	鋼D 10톤 들어올림	○	○	
잠수선	D30 PS 3톤 윈치 부착	○	○	
대선	鋼 100톤 적재	○	○	
예인선	鋼D 180 PS	○	○	

2. 표준 부설 방법 : 방지막의海中 투입, 부설 방법은 부설 형식에 따라 크게 다르므로 대표적인 방법 하나를 예시적으로 설명한다.

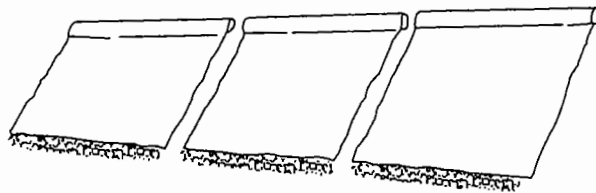
- 현장에서 펼치면서 커튼에 float를 연결한다.



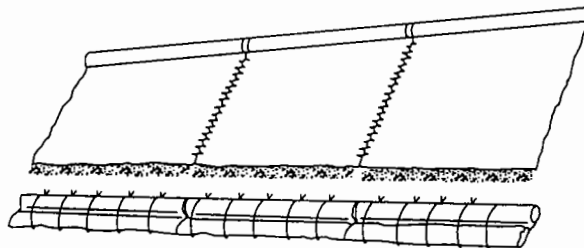
- Float cover를 locking rope로 고정한다.



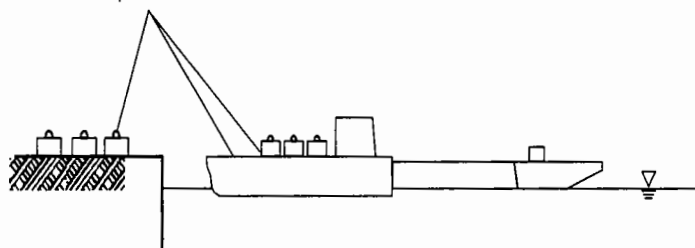
- 조립된 방지막을 몇 span씩 연결할 수 있는 상태로 배열한다.



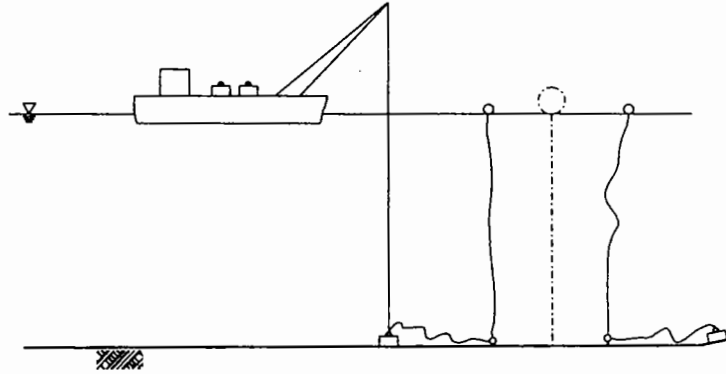
- 각 span마다 locking rope를 연결한다.



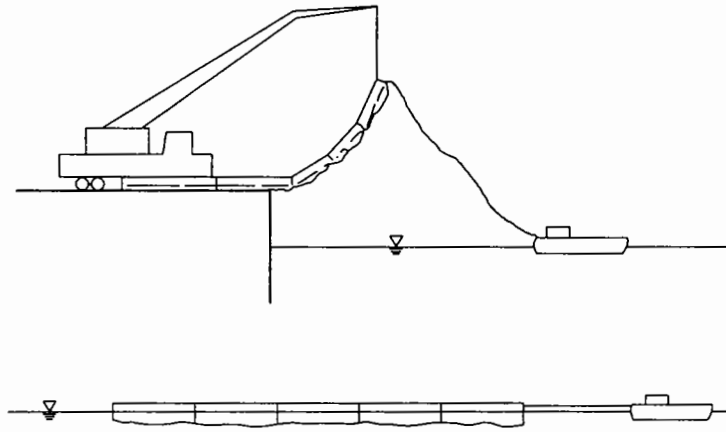
- 앵커를 대선에 싣는다.



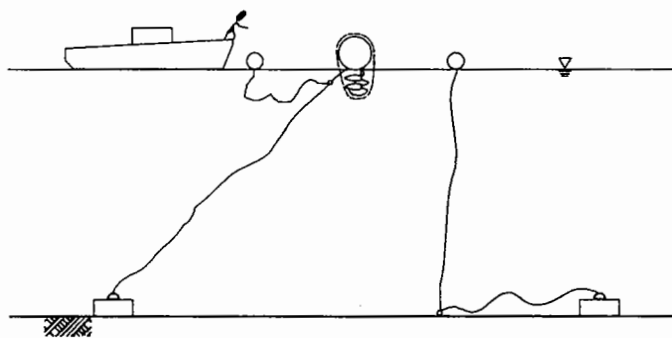
- 방지막 설치 양쪽에 앵커 블록을 크레인船으로 배열한다.



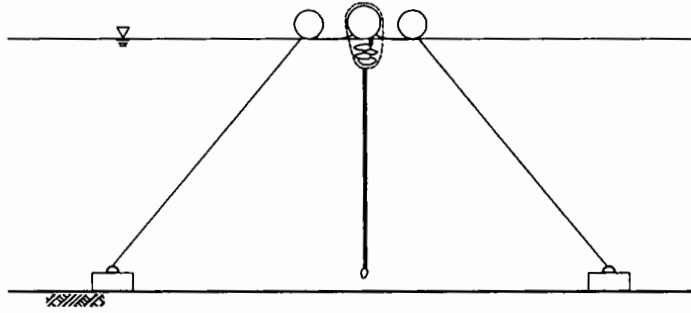
- 크레인으로 바다에 투입한 후 예인선으로 설치 지점까지 예항한다.



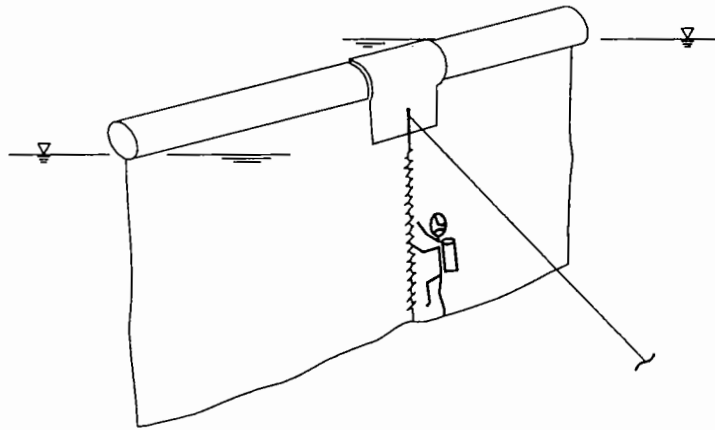
- 잠수부 또는 해상작업원이 float部를 고정한다.



- 커튼部の 임시 고정을 풀고 커튼을 해중으로 내린다.



- 잠수부가 각 span을 연결한다 (설치 완료).



## A4.2 기술적인 문제점

**問 1** : 조류 등에 의해 커튼部가 수직이 되지 않아 효과가 감소하는 경우, 그 대책은?

**答** : 상황에 따라 다음과 같이 조치한다.

- ① 중량이 있는 캔버스(canvas)를 채용한다.
- ② 조류의 저항이 작은 캔버스를 채용한다.
- ③ 서브 앵커(sub anchor)를 병용 설치한다.
- ④ 하부 weight를 증가시킨다.
- ⑤ Float 직경을 크게 한다.

**問 2** : 해저지형 요철이 10~20m 가까이 되면 보통 방식으로는 효과가 없는데 대책은?

**答** : 상황에 따라 다음과 같이 조치한다.

- ① 수하식과 병용한다.
- ② 1 span이 20 m이지만 지형에 맞춰 제작한다.

**問 3** : 潮差에 의한 커튼 하부 손상으로 기능을 유지할 수 없는 경우가 있는데 대책은?

**答** : 상황에 따라 다음과 같이 조치하고 있다.

- ① 지금까지 간만차가 큰 경우, 만조시에는 커튼과 해저 사이가 벌어지지만 오탁 발생원이 상층일 경우에는 문제가 없으므로 底部를 조금 열어서 설치한다.
- ② 중간 float 방식을 사용한다.
- ③ 커튼을 말아 올리는 방식을 사용한다.
- ④ 자립식을 사용한다.
- ⑤ 커튼 하부를 보강한다.

**問 4** : 조류·풍력 등에 의해 앵커, float 등이 파손되는 경우가 있는데 대책은?

**答** : 상황에 따라 다음과 같이 조치한다.

- ① 커튼을 휘게 하여 부설한다.
- ② 수심이 낮은 경우에는 항타 앵커링을 채택한다.

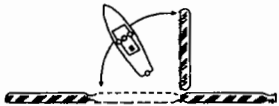
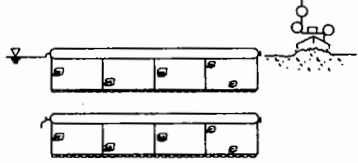
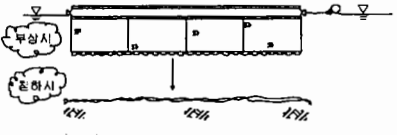
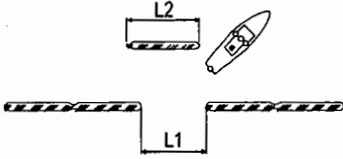
問 5 : 작업선 取付型 (Frame 型) 방지막은 작업 중에 커튼이 찢어지는 경우가 많은데 대책은?

答 : 다음 조치를 고려한다.

- ① Weight를 커튼 깊이에 따라 단계별로 부착할 것.
- ② Weight를 무겁게 할 것.
- ③ 통수성이 우수한 커튼일 것.
- ④ 가능한 한 큰 frame을 이용할 것.
- ⑤ Frame 중앙부에서 작업할 것.
- ⑥ Frame 하부를 넓게 할 것.
- ⑦ 배에서 와이어로 인장할 것.

問 6 : 개폐부의 구조에 대한 부설 개략도는?

答 : 일반적으로 다음 방식을 사용한다.

일 반 형		<p>방지막 설치 부분의 일부를 잘라내서 개폐한다. ※시간과 노력이 필요하다.</p>
상부 개폐형		<p>선박이 통과할 수 있는 수심만 개폐한다. ※시간과 노력이 덜 든다.</p>
부 침 형		<p>부력체의 공기를 빼고 주입하여 개폐한다. ※Compressor를 작업선에 탑재하여 간단히 작업할 수 있지만 초기 경비가 비싸다.</p>
정 치 형		<p>설치한 채 개구부를 열어 두고 떨어진 곳에 L1&lt;L2의 방지막을 설치하는 방법</p>

問 7 : 선박 항행에 의해 방지막에 각종 악영향이 생기는데 그 대책은?

答 : 선박의 항주파에 대한 대책은 어려운 일이지만 다음 사항을 고려한다.

- ① 부표등, marker와의 일체화에 대해서는 차후 해결할 과제이다.
- ② 항주파에 의한 영향은 미소하다고 생각되지만 이것이 원인이 되어 이상이 발생하면 앞으로 고려하여 개선할 필요가 있다.
- ③ 항주파 파장이 짧은 경우에는 어느 정도의 소파 효과는 얻어질 수 있지만 횡을 가지는 경우는 거의 효과가 없다.

問 8 : 커튼 부분의 손상이 많아 내구성을 높이고 싶다.

答 : 소재의 개발 등에 유의하지만 현재로서는 다음과 같은 대책을 강구하고 있다.

- ① 해중 생물의 부착에 의한 중량 증가가 영향을 미치고 있다는 점을 고려하여 부착방지 캔버스, 인장강도가 큰 캔버스의 사용을 검토하고 있다.
- ② 커튼 봉제 부분의 강도를 증가시킨다.
- ③ 해양 조건을 충분히 파악한 후에 설계하는 것이 필요하다.
- ④ 기타
  - 부설·철거에 대해서는 취급설명서에 따른다.
  - 소재의 내구년수는 대략 2년이다.
  - 유지관리를 할 것
  - 토사 투기 등에 의한 유석(流石)이 없도록 한다.

問 9 : 앵커, float 및 와이어 등의 부재를 개량하고 싶다.

答 : 설문조사 결과 등을 근거로 하여 앞으로는 계산 방법 등을 재고하겠지만 지금 상황으로서는 다음 조치를 강구하고 있다.

- ① 앵커의 경우, 현지 제작 및 처분 등을 고려하면 콘크리트 블럭이 적당하지만 소파 블럭 등의 활용도 가능할 것이다.
- ② Float에 대해서는 발포 스티롤이 일반적이지만 고무나 수지 강판 등을 시험적으로 사용하고 있다.
- ③ 와이어에 대해서는 합성섬유 로프나 체인을 시험적으로 사용하고 있지만 앞으로 신소재도 연구할 예정이다.

問 10 : 부설 및 철거를 쉽게 하는 방법을 검토하는가?

答 : 현재로서는 다음 사항을 검토하고 있다.

- ① 부설·철거시 가장 어려운 부분은 커튼이며, 예항시 커튼이 정리되어 있으면 취급이 쉽기 때문에 해상에서의 말아 올림에 대해 연구 중이다.
- ② 부설시 현장작업을 줄이기 위해 제작사에서 완성품을 현장에 가져올 것.
- ③ 파랑조건이 정온한 해역에서는 앵커 간격이나 span을 길게 하는 것은 가능하다.
- ④ 일부 자립식에서 강재를 앵커에 사용하여 부설·철거가 용이한 형태가 있으며, 이것을 일반 방지막에 응용하는 것은 가능하다.

**問 11 :** 내후성(기상·해상 등)이 있는 재질에 대해 검토하는가?

**答 :** 다음 사항에 대해 일부 실시, 또는 검토하고 있다.

- ① 현재 이용하고 있는 커튼의 재질은 내후성이 있는 폴리에스테르 섬유를 기본으로 하고 있지만 장기 사용에서는 지적인 대로 열화된다. 일부 장기간 해수 중에서 사용하여도 열화되기 어려운 것을 사용하고 있지만 아직 일반적이지는 않다.
- ② 수지 등에 의해 피복하기도 하고 보다 내후성이 있는 것을 연구중이지만 현상에서는 소재의 강도를 향상(#300 → #500 → #800), float部の 경우에는 범포(帆布)의 타포린 가공에 대해 연구 중이다.
- ③ 금속부품을 sus로 하면 좋지만 경제성에 문제가 있다.
- ④ 와이어의 경우는 피복 방호한 것을 사용하기도 한다.

**問 12 :** 부착 생물의 처리, 악취, 투기장의 확보 등에 대해 대책은 없는가?

**答 :** 제작사측이 가장 큰 문제로 고려하고 있다. 또한, 처리비용은 1 span당 약 10~15만엔이며 운임은 별도이다.

- ① 보통 산업폐기물로 처분해야 한다. 탈취제 살포도 일시적이다.
- ② 부착 방지 대책 방향을 검토할 예정이다.
- ③ 소량의 부착물에 대해서는 임대 야드에서 처분하는 것도 가능하다.
- ④ 대량 부착에 대해서는 관리형 폐기물로 처리해야 한다.

**問 13 :** 해중생물의 부착방지대책에 대해서 검토하는가?

**答 :** 부착방지 대책은 아직 완전한 것은 아니지만 다음과 같이 하고 있다.



▷ 무공해 부착방지제 및 소재의 개발

- 시트
- Float
- 와이어, 로프

問 14 : 부착물에 의해 수몰, 손상되는 것에 대해서는 검토하는가?

答 : 다음 조치를 강구하고 있다.

- ① 해중생물의 부착으로 수몰되지 않도록 float 직경을 크게 한다.
- ② 정기적으로 부착물을 제거하는 것이 효과적이다 (4개월에 1 평방미터당 60 kg이 부착한 예가 있다.)

問 15 : 제작사간 규격을 통일하여 다른 제작사의 제품과 호환성이 있게 하고 싶다.

答 : 현재 상황과 속사정을 솔직하게 말하면 다음과 같다.

- ① 현실적으로 각 제작사가 독자적으로 제품을 만들고 있기 때문에 현 상황에서 어렵지만, 타 제작사 제품과 결합이 쉽게 하기 위해서는 방지막의 단부 형상을 통일하는 것이 바람직하기 때문에 앞으로 제작사간에 서로 대화하는 노력을 계속해 가야 할 것으로 생각한다.
- ② 호환성이 있는 제품을 공급하는 것은 가능하다.
- ③ 대규모 공사 등에서 각 사의 제품을 조합하여 사용하고 있는 곳도 2, 3 개소 있다.

問 16 : 야간식별이 가능한 방지막을 검토하고 있는가?

答 : 사용자의 요청이 있으면 반사판 설치, 야광 도료 도포 등으로 처리하고 있다.

問 17 : 소파 효과가 있는 방지막을 희망한다.

答 : 현재로서는 파장이 짧은 파에 대해서는 소파 효과가 있지만, 소파 효과가 더 좋은 방지막을 연구 중에 있다.

問 18 : 제작사 측에서 사용자 측에 대한 요망사항이 있다면?

答 : 사용자 측에 대한 요망은 다음과 같다.

- ① 방지막을 부설할 때 외관상 휘지 않게 설치하고 있지만 외력을 경감하기 위해서는 힘을 가지게 설치할 필요가 있으며 그에 따라 설치 거리가 길어진다.

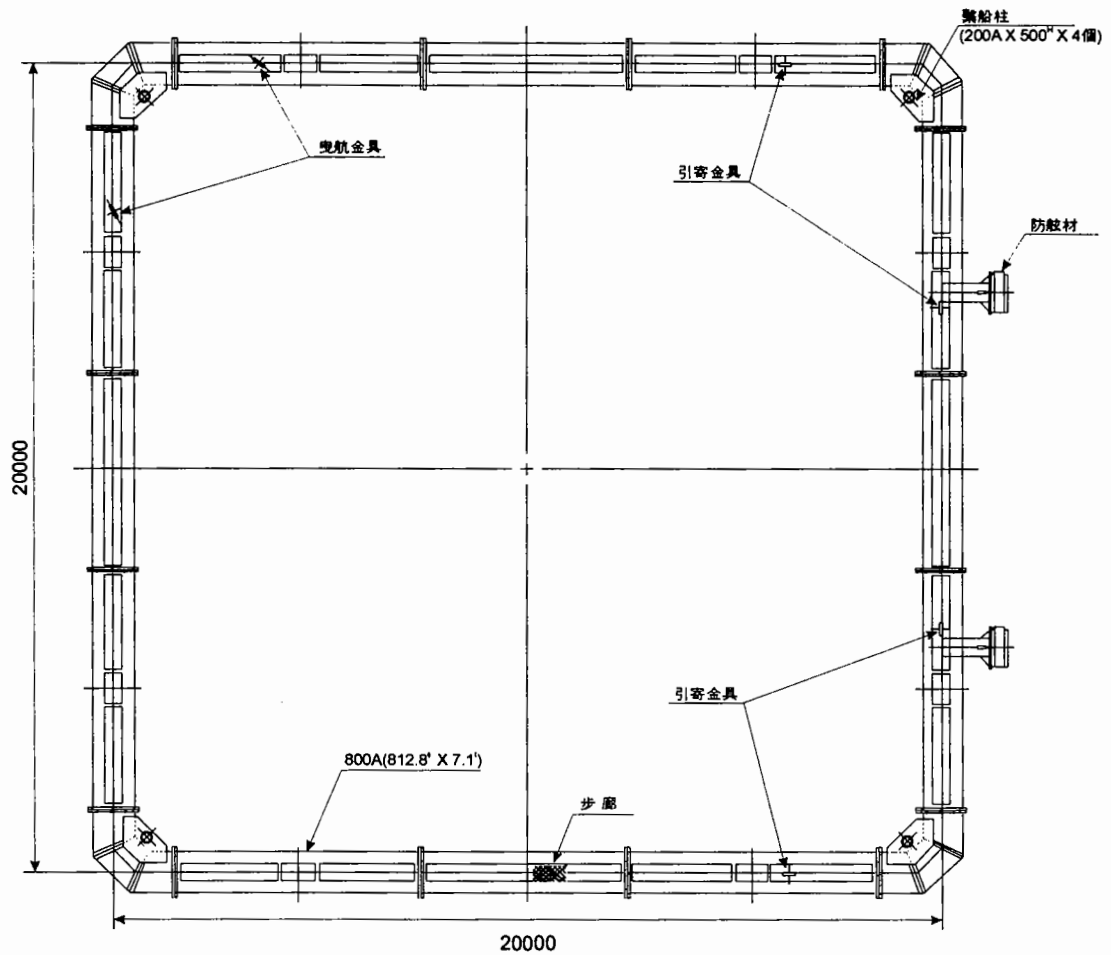
- ② 정기점검을 실시하고 필요에 따라 대책을 강구하기 바란다.
- ③ 방지막 효과 확인을 위하여 현장에서 오탉 조사를 실시하기 바란다.
- ④ 방지막 구조가 적합한지를 알기 위하여 파랑 관측을 실시하기 바란다.
- ⑤ 부착방지제 사용시 신중을 기해주시기 바란다.
- ⑥ 임대품 반납시 skirt에 부착되어 있는 해중생물(특히 조개류)을 제거하기 바란다.
- ⑦ 앵커 중량에 대하여 고려하기 바란다.
- ⑧ 해저퇴적물 성질을 상세하게 조사할 것(앵커 파괴력에도 중요하다).
- ⑨ 설치 숙련도가 방지막 내구성과 기능에 영향을 미치므로 신중을 기해주시기 바란다.
- ⑩ 앵커 와이어 강도와 길이를 신중하게 결정하기 바란다.



부록 5  
Frame 型 오탁방지막 설계도

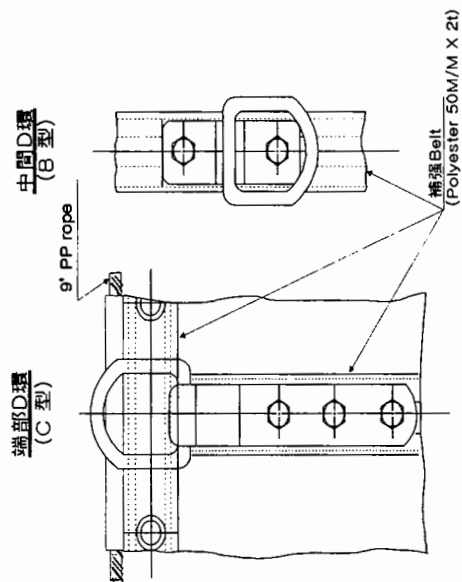
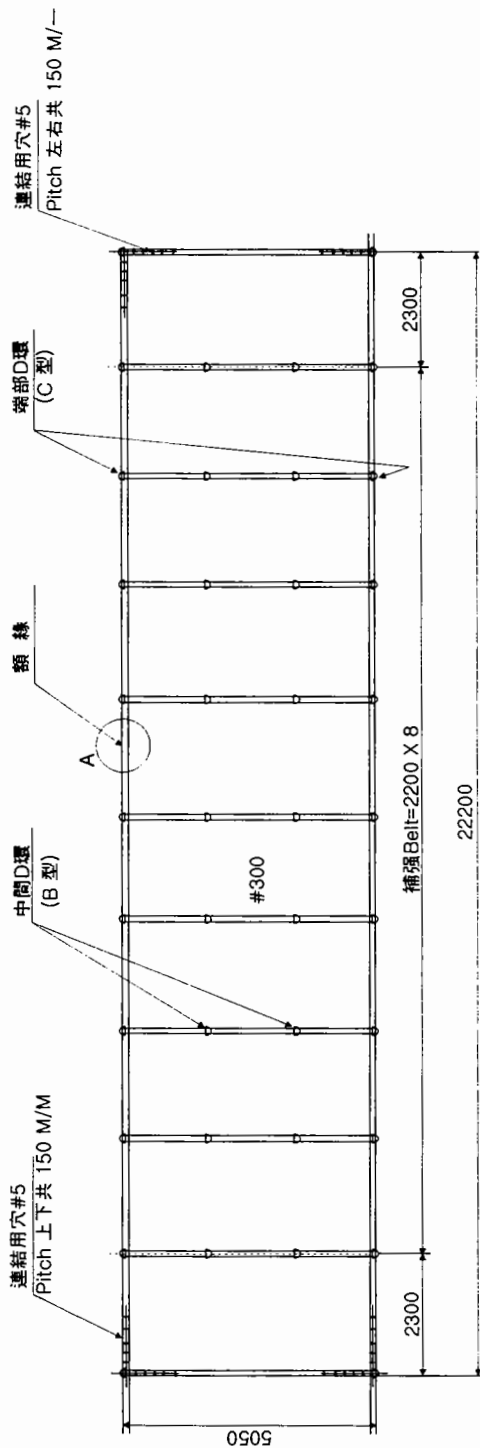


# A5.1 Frame 平面圖 800φ X 20M X 20M

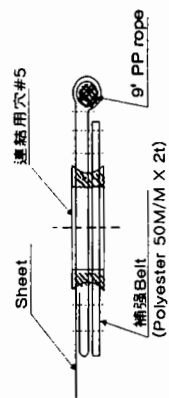


件名	汚濁防止膜用 Float 全體圖 800φ X 20M X 20M
----	--------------------------------------

## A5.2 污濁防止膜 斷面圖 #300 5.05M X 22.2M X 4面



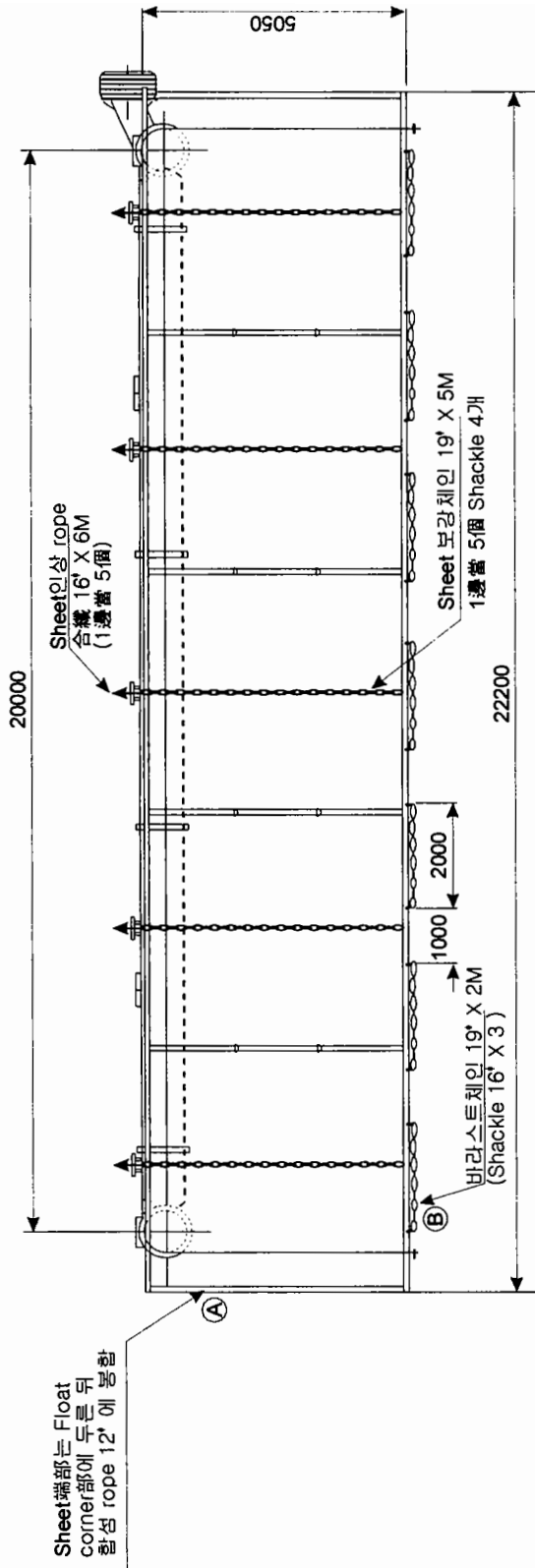
A部 類縁断面



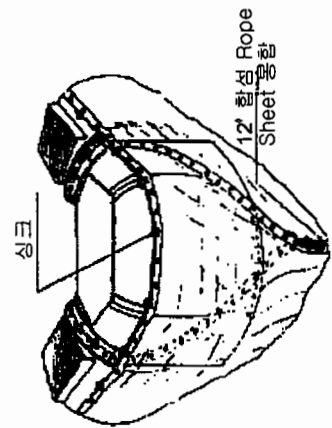
件名

汚濁防止膜 加工圖  
#300 5.05M X 22.2M

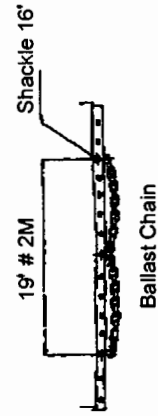
### A5.3 Frame 型 汚濁防止膜 設置斷面圖



① Center부 Sheet 봉합요령



② Ballast chain 취부요령



件名	汚濁防止膜着裝全體圖 #300 X 5.05M X 4面
----	---------------------------------



