

항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(Ⅲ)

A Study on the Harbour Tranquility and Ship Motions(Ⅲ)

1993. 8.

연구기관
한국해양연구소

과학기술처

제 출 문

과 학 기 술 처 장 관 귀 하

본 보고서를 “항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(Ⅲ)” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1993년 8월 27일

주관연구기관명 : 한국해양연구소

총괄연구책임자 : 채장원

연 구 원 : 염기대 · 서경덕
정경태 · 이광수
정신탉 · 정원무
강석구 · 박우선
소재귀 · 진재율
연 구 조 원 : 김용권 · 송한준
백원대 · 김미경
김윤철 · 박현수

요 약 문

I. 제 목

항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구 (III)

II. 연구개발의 중요성 및 목적

우리나라의 산업이 발달하고 경제 규모가 커져 외국과의 교역이 활발해짐에 따라 수출입 물량이 급증하고 있으며 이러한 화물의 80% 이상이 항만을 통해 이루어지고 있다. 그러나, 기존의 항만시설 용량의 부족과 항내정온도의 미확보로 인한 경제적인 손실이 막대하다. 이에 대한 대책의 일환으로 기존 항만의 확장 및 효율적인 운용과 대규모 신항만의 건설이 요청되고 있다. 이러한 항만 개발 사업과 관련된 첨단 요소 기술중의 하나로 항만정온도 유지 기술을 들 수 있다. 항내의 수면 교란이 심하면 선박의 하역 능률이 저하될 뿐만 아니라 하역 작업이 불가능할 때 항외의 묘박지에 장시간 정박해야 하므로 체선료를 지불해야 하는 문제가 발생한다. 이외에도 항만시설(방충재 및 부두시설) 및 선박의 파손과 항만의 궁극적인 전체 하역능력이 저하되어 화물선이 입항을 꺼리기도 하므로 항만정온도 유지 기술의 개발이 요구된다.

본 연구의 목적은 항만의 확장 및 건설에 따라 선박의 안전한 정박과 원활

한 하역작업이 가능하도록 항내의 정온 유지 대책을 수립하는 데 필요한 첨단 요소 기술을 개발하고 이를 이용하여 대상 항만의 정온 유지 대책을 수립하기 위한 기본 설계자료를 제공하는 데 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

항만의 정온도를 예측하기 위해서는 항내의 장주기 부진동 해석, 항외로 부터 입사하는 단주기파의 굴절, 회절, 천수 및 반사 등에 의한 항내파고 및 파향의 변화 뿐만 아니라 이들에 의한 항내 계류선박의 장·단주기 운동까지를 복합적으로 해석해야 한다. 제1, 2차년도에는 부분적인 현장조사와 관련 수치모형의 수립 및 검증을 실시하였으며, 3차년도에는 3개 대상 항만에 대해 단주기 파랑 전파 변형과 장주기 항내 부진동 현상을 체계적이고 정확하게 관측·분석하였다. 또한, 항만 정온도 분석을 위한 수치모형 시스템을 구성하고 이를 적용하여 항만의 가동률을 항만정온도 측면에서 산정하였다. 3차년도의 세부 연구개발 내용은 다음과 같다.

- 항내정온도 분석을 위한 평상파 산출 : 장기간의 기존 자료(JMA 파랑 추산 자료, 4년간) 수집·분석
- 단주기파 정점 및 이동관측 : 동해안에 위치한 3개항(동해항, 묵호항 및 죽변항)에서 동·하계에 파고·파향계를 설치하여 단주기파의 정점 및 이동관측·분석을 실시하고 파랑 변형, 항내 침입 및 항내정온도에 대한 정밀 분석
- 장주기파 관측·분석 : 3개항에서 수압식 파고계를 설치하여 동·하계에 1주일~1개월간 장주기파 관측, 부진동의 주요 침두주기와 증폭비 산출 및 항별 부진

동 특성 파악

- 단주기 불규칙파 수치모형의 수립·검증 : 단주기파 수치모형 HCORD를 확장하여 불규칙파 변형을 효과적으로 계산할 수 있도록 개선하고 계산치와 수리모형 실험치와 비교
- 항만가동을 산정 : 동해항에 대해 단주기파에 의한 항내정온도를 분석하여 항만 가동을 산정

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 장·단주기파 변형에 대한 정밀한 현장관측자료

동해안의 3개항(동해항, 묵호항, 죽변항)을 대상으로 동계와 하계에 장주기파 정점관측 및 단주기파의 고정 및 이동관측자료는 장주기파의 항만 특성에 따른 항내 부진동을 분석하고 수치모형의 검증자료로 활용되었다. 단주기 관측은 Directional Waverider Buoy 2대를 이용하여 항외 및 항내측의 주파수-파향 스펙트럼을 관측·분석함으로써 항내 파랑변형 현상의 분석과 수치모형을 검증하여 현장 적용성을 확보하였다. 주파수-방향 스펙트럼 분석시에는 MEP 방법을 이용하여 LHM 방법에 비해 방향 스펙트럼의 분포에 대한 정확도를 향상시켰다.

2. 항만정온도 분석 및 예측을 위한 수치모형 시스템

장·단주기파 변형의 계산을 위한 수치모형들을 이론 및 수치계산 방법의 개

선 또는 확장으로 정확성과 효율성을 높여 관측자료와의 비교·분석을 통해 효과적인 시스템을 구축하였다.

- 단주기파 수치모형 :

- 외해 → 항입구 부근 해역 : ECORD, PCORD
- 항입구 → 항내 영역 : HCORD

- 장주기파 수치모형 :

- HARBD : 저면마찰과 수심 변화를 고려한 환경사방정식과 측면 흡수경계를 사용하고 방사조건을 해석해로 처리한 국소 유한요소 모형

- 선체운동 수치모형 :

- HYDRO : 방사조건을 고차원 흡수경계조건으로 처리한 수치모형으로 선체에 작용하는 표류력을 포함한 파동력을 계산하는 3차원 유한요소 모형
- BERTH : 비선형 계류 선박의 운동을 규칙파 및 불규칙파에 대해 주파수 및 시간 영역에서 해석하며, 대상 항만에 대한 downtime analysis 가능

3. 동해항의 가동률 분석

항내정온도 분석을 위해 장기간의 기존자료(JMA 추산자료, 4년간)를 수집·분석하여 주요 파향 및 주기별로 수치모형 시스템(ECORD와 HCORD)를 적용하여 항내·외의 파고분포를 계산하였다. 이를 대상선박을 소형선과 중·대형선으로 분류하고 연간가동률 95 및 90%에 해당되는 하역한계파고기준(정상파 조건)을 정하여 동해항의 가동률을 산정하였다.

4. 활용에 대한 건의

본 연구기간중 정밀 관측·분석된 3개항에 대한 장·단주기의 자료는 단주기 파랑 변형과 장주기 항내부진동 현상 연구에 매우 귀중한 자료로 활용될 수 있을 것이다. 항내정온도 분석과 관련하여 수립 및 검증된 장·단주기파 수치모형 시스템은 항내의 파고 및 장주기 부진동에 의한 증폭비 등을 정확하게 예측할 수 있으므로 이를 이용하여 기존 및 신행만 설계시 1차적인 항만정온도 분석을 수행할 수 있다. 계류 선체운동 예측 수치모형을 활용하여 규칙파 및 불규칙파에 대한 항내 계류선박의 동요 및 표류력을 계산함으로써 대상 선박의 계류 형태와 규모 등에 따른 하역한계의 기준의 제시도 가능하다. 이 모형은 주파수 영역에 대해서는 수리모형실험 결과와의 비교를 통해 검증되어 기본설계 등에는 활용이 가능하나 현장 적용성과 정확성을 확보하기 위해서는 정밀한 현장관측이 요구된다.

SUMMARY

I. Title

A study on the harbor tranquility and ship motions(III)

II. Significance and Objective of the Study

As the domestic industries and economy develop, the amount of import and export reaches beyond the capacities of harbors which more than 80 % of the trading goods are transported through in Korea. Due to the lack of the harbor capacity and tranquility economical losses are enormous, a counterplan is required such as the expansion, improvement of existing harbor and construction of new large harbors. With relation to planning of harbor development, one of the most important technologies is the prediction of harbor tranquility through numerical modelling. If a harbor is not properly designed to protect from storm waves and to avoid resonance by long-period waves, loading and unloading efficiencies will decrease and ships may stay outside the harbor claiming demurrage, and also harbor facilities of fender, pier and moored ships will be damaged due to wave induced ship motions. Such problems will result in the decrease of harbor efficiency.

The objects of the present study is to develop advanced numerical models for the analysis of harbor tranquility and to suggest related countermeasures for safe mooring, efficient loading and unloading of vessels.

III. Contents and Scope of the Study

For the prediction of harbor tranquility we need to know not only wave height and direction of the short- and long-period waves propagated into a harbor but also wave induced ship motions. In the 1st and 2nd years field observations of short- and long-period waves at Donghae Harbor were made, and numerical modelling studies have also been carried out with emphasis on set-up and calibration of related models to waves and ship motion analysis. In the final(3rd) year intensive field observations and to set-up a numerical model system, and also calculation of operation rate of Donghae Harbor were made. Details of the study are as follows :

- Calculation of critical waves for the analysis of harbor tranquility :
Collection and analysis of long-term hindcasted wave data through Japan Meteorological Agency.

- Field observation of short-period waves at inside and outside of harbors :
Wind waves were measured at selected three harbors of Donghae, Muko, and Chukpyon using directional waverider buoys in winter and summer. The data are presented in the form of frequency-directional spectrum, which wave propagation and transformation in these harbors were studied through

in detail.

- Field observation and analysis of long-period waves : Long-period waves were measured at the three harbors using pressure type ganges in winter and summer. They were analyzed using a spectral method and presented in frequency spectrum. It is clearly shown that there are several component waves with peak frequencies amplified in the harbors. From the results we can find characteristics of the harbor resonance.

- Irregular wave model : Short wave model HCORD was extended to calculate irregular wave transformation, and numerical results were compared with experimental data of the waves propagating over an elliptic shoal.

- Calculation of harbor operation rate : Downtime was calculated with reference to short wave disturbance in Donghae Harbor.

IV. Results and Recommendations

1. Synthetic field data of short- and long-period wave transformations

Simultaneous field observations of waves were made at inside and outside of the three harbors in winter and summer. The data have been used for the analysis of harbor oscillation and also for the verification of long-period wave models. Series of frequency-directional spectra obtained from

simultaneous observation of short-period waves at inside and outside of harbor are quite useful for the study of wave propagation into a harbor. Only limited number of directional components can intrude into harbor, which will clearly support to develop an irregular wave model. Through the use of Maximum Entropy Method the accuracy of directional spectrum is further increased than that of Longuet-Higgins Method.

2. A numerical modelling system of harbor tranquility analysis and prediction

As the numerical models of short- and long-period wave propagation are improved theoretically and also numerically, they become more accurate. Comparison of numerical results with field data shows that the set of models is efficient and also accurate enough for practical use. The system is as follows:

- Short-period wave model :

- ECORD, PCORD : combined refraction and diffraction models based on elliptic and parabolic type of mild-slope wave equations, respectively. For wave propagation from offshore to the harbor entrance.
- HCORD : combined ref/diff and reflection model based on hyperbolic time-dependent mild-slope wave equation. For wave intrusion into harbor and propagation. The above models can be used to calculate both regular and irregular wave propagation.

- Long-period wave model :

- HARBD : finite element model based on mild-slope wave equation including bottom friction, depth changes, and absorbing side boundary condition. Analytical solutions is used for a radiational condition.

- Ship motion analysis model:

- HYDRO : three-dimensional hydrodynamic model to calculate harbor resonance and wave loadings on a moored-ship. It includes a high-order dampers for a radiational condition.
- BERTH : numerical model for the analysis of moored ship motion due to both regular and irregular waves in frequency and time domains. It can be used to analyze downtime.

3. Calculation of operation rate of Donghae Harbor

Long-term offshore wave data hindcasted by JMA for four years were collected and analyzed in terms of height and direction. Using the numerical models we calculated wave heights when high 5 or 10 % waves propagate into Donghae Harbor. Based on the critical wave height for the limit of loading and unloading, which are corresponding to 90 % and 95 % harbor operation rates, operation rates of Donghae Harbor were calculated. They also depend on the size of vessel.

4. Recommendations

Synthetic field observed data of short- and long-period waves around three harbors will be quite useful for the study of wave transformation and harbor oscillation. As short-period wave height and amplification ratio of long-period waves in a harbor can be calculated accurately, the model system will be a useful tool for the analysis of harbor tranquility in the basic design stage of a harbor. As we can calculate ship motion and drifting forces using the ship motion analysis model BERTH, the criteria of loading limit may be suggested considering the type and scale of a ship. This model was verified with experimental data and can be used for basic design, but some accurate field measurements will be needed to fully support the applicability and accuracy of the model through the comparison between numerical results and field data.

목 차

요 약 문	3
도 목 차	27
표 목 차	43
제1장 서 론	47
1. 연구의 배경 및 목적	47
2. 항만정온도 분석 및 예측 시스템	48
3. 연구범위 및 내용	50
제2장 기존 및 현장관측자료 수집·분석	53
제1절 서 론	53
1. 기존자료 수집·분석	53
2. 단주기파 정점 및 이동관측	54
3. 장주기 부진동 정점관측	54
제2절 기존자료를 이용한 평상파 조건 결정	55
1. 강릉 파랑관측소의 자료	55

2. 일본 기상청(JMA)의 계산 자료	56
3. 선형회귀법에 의한 평상파 결정	61
가. 동해항과 목호항	61
나. 죽변항	68
제3절 단주기파 현장관측 및 분석	76
1. 현장관측	76
가. 목호항	76
나. 죽변항	79
2. 자료처리	82
3. 분석 결과	83
가. 정점관측	83
나. 이동관측	100
제4절 장주기 부진동	117
1. 현장관측	117
가. 목호항	118
나. 죽변항	118
2. 자료처리	121
가. 분석자료 산출	121
나. 스펙트럼 분석 결과	131
3. 침두주기 분석	150
가. Merian's formula와 Helmholtz resonator 이론에 의한 침두주기 계산	150

나. 침투주기 분석	153
다. 증폭비 계산	154
4. 토 의	161
제5절 선체운동	163
제3장 규칙파에 의한 항내정온도 검토	165
제1절 서 론	165
제2절 광역과 세부역의 수치모형	166
1. 광역의 수치모형	166
2. 세부역의 수치모형	168
제3절 광역과 세부역의 수치계산	168
1. 광역의 수치계산	168
2. 세부역의 수치계산	171
가. 일반 사항	171
나. 하역한계파고의 설정	172
다. 출현율 5%의 평상파	176
라. 출현율 10%의 평상파	182
제4절 항내정온도 검토	187
1. 중·대형선	187
2. 소형선	189
제5절 토 의	190

제4장	장주기 부진동 수치해석	193
제1절	서론	193
제2절	3개항의 부진동 해석	193
1.	동해항	194
2.	목호항	202
3.	죽변항	209
제3절	토의	218
제5장	단주기 불규칙파 수치계산	225
제1절	서론	225
1.	기존의 연구에 대한 고찰	225
2.	본 연구의 내용	227
제2절	Vincent와 Briggs(1989)의 수리모형실험	227
1.	일반 사항	227
2.	Test set-up	228
3.	Control signal generation	230
제3절	타원형 수중천뢰상 불규칙파 전파의 수치계산	233
1.	단조 규칙파의 결과 비교	234
2.	단일 주기의 다방향 불규칙파 선형 증첩에 의한 스펙트럼 계산법	239
3.	Goda의 16-point bearing을 기준한 스펙트럼 계산법	242
제4절	토의	245

- 제6장 결론 및 토의 247
 - 1. 연구 결과 247
 - 2. 건의 사항 252
- 참고문헌 255
- 부 록 261
 - A. 단주기파 정점관측 결과(목호항, 죽변항) 263
 - B. 단주기파 이동관측 결과(목호항, 죽변항) 282
 - C. 동해항 항내정온도 계산 결과(광역) 310
 - D. 동해항 항내정온도 계산 결과(세부역) 334
 - E. 국외전문가의 mission report 350
 - F. 죽변항 하계 파랑 정점관측시의 태풍 경로 356

CONTENTS

(영 문 목 차)

Summary	9
List of Figures	27
List of Tables	43
Chapter 1. Introduction	47
1. Objective of the study	47
2. Harbor tranquility analysis and prediction system	48
3. Contents of the study	50
Chapter 2. Existing Data Collection, Field Observation and Analysis	53
Section 1. Introduction	53
1. Existing data collection and analysis	53
2. Observations of short period waves at both fixed and moving stations	54
3. Observations of long period waves at both inside and outside a harbor	54



Section 2. Determination of critical wave condition for harbor tranquility analysis using existing data	55
1. Wave data observed at Kangrung station	55
2. Hindcasted wave data by JMA	56
3. Determination of critical waves by linear regression	61
a. Donghae Harbor and Muko Harbor	61
b. Chukpyon Harbor	68
Section 3. Field observation of short period waves and data analysis	76
1. Field observation	76
a. Muko Harbor	76
b. Chukpyon Harbor	79
2. Data analysis	82
3. Results	83
a. Fixed observation	83
b. Moving observation	100
Section 4. Long period seiche motion	117
1. Field observation	117
a. Muko Harbor	118
b. Chukpyon Harbor	118
2. Data analysis	121
a. Acquisition of filtered data	121

b. Spectral analysis	131
3. Peak period analysis	150
a. Calculation of peak period by Merian's formula and Helmholtz resonator theory	150
b. Analysis of peak period	153
c. Calculation of amplification ratio	154
4. Discussion	161
Section 5. Ship motion	163
Chapter 3. Analysis of Harbor Tranquility using Regular waves	165
Section 1. Introduction	165
Section 2. Offshore and onshore region wave models	166
1. Offshore region wave model	166
2. Onshore region wave model	168
Section 3. Numerical computations of wave propagation in offshore and onshore regions	168
1. Numerical computation in offshore region	168
2. Numerical computation in onshore region	171
a. General considerations	171
b. Determination of wave height criteria for unloading	172
c. Waves with 5 % annual occurrence	176
d. Waves with 10 % annual occurrence	182

Section 4. Harbor tranquility analysis	187
1. Medium and large size vessels	187
2. Small size vessel	189
Section 5. Discussion	190
Chapter 4. Numerical Analysis of Long Period Seiche Motion	193
Section 1. Introduction	193
Section 2. Analysis of seiche motion in three harbors	193
1. Donghae Harbor	194
2. Muko Harbor	202
3. Chukpyon Harbor	209
Section 3. Discussion	218
Chapter 5. Numerical Computation of Irregular Waves	225
Section 1. Introduction	225
1. Previous studies	225
2. Scope of present study	227
Section 2. Hydraulic experiment of Vincent and Briggs(1989)	227
1. General considerations	227
2. Test set-up	228
3. Control signal generation	230

Section 3. Numerical computation of irregular wave propagation over elliptic shoal	233
1. Comparison with monochromatic wave measurement	234
2. Single frequency with multi-directional spectrum method	239
3. Spectral method using directional energy spreading (Goda, 1985)	242
Section 4. Discussion	245
Chapter 6. Conclusion and Discussion	247
1. Results of present study	247
2. Recommendation	252
References	255
Appendix	261
A. Short-period wave data observed at fixed stations (Muko and Chukpyon Harbor)	263
B. Short-period wave data observed at moving stations (Muko and Chukpyon Harbor)	282
C. Computed results of wave propagation in offshore region around Donghae Harbor	310
D. Computed results of wave propagation in onshore region around Donghae Harbor	334
E. Mission report by foreign engineers	350
F. Trajectory of typhoons during short-wave measurement in summer(Chukpyon Harbor)	356

도 목 차

(List of Figures)

Fig. 1.1	Elements of harbor tranquility and a flow chart for tranquility analysis	49
Fig. 1.2	Flow diagram for complete ship motion analysis	51
Fig. 2.2.1	Location of wave measurement station at Kangreung ..	57
Fig. 2.2.2	Grid system of the JMA wave hindcasting model (MOST, 1988)	60
Fig. 2.2.3	Predominant wave directions for harbor tranquility analyses in Donghae and Muko Harbor	64
Fig. 2.2.4	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SE ...	66
Fig. 2.2.5	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ESE ..	66
Fig. 2.2.6	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction E	67
Fig. 2.2.7	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ENE ..	67
Fig. 2.2.8	Predominant wave directions for harbor tranquility analyses in Chukpyon Harbor	72
Fig. 2.2.9	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SSE ..	73
Fig. 2.2.10	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SE ...	73
Fig. 2.2.11	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ESE ..	74

Fig. 2.2.12	Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction E	74
Fig. 2.3.1	Location map of short-wave measurements around Muko Harbor	77
Fig. 2.3.2	Location map of short-wave measurements around Chukpyon Harbor	80
Fig. 2.3.3	Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station WW of Muko Harbor in winter	84
Fig. 2.3.4	Time series of short-wave data measured at station WW of Muko Harbor(17:00 3/18/93)	85
Fig. 2.3.5	Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station WW of Muko Harbor (17:00 3/18/93)	87
Fig. 2.3.6	Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station WW of Muko Harbor (17:00 3/18/93)	88
Fig. 2.3.7	Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station SW of Muko Harbor in summer	89
Fig. 2.3.8	Time series of short-wave data measured at station SW of Muko Harbor(1:00 7/9/93)	90
Fig. 2.3.9	Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station SW of Muko Harbor (1:00 7/9/93)	91
Fig. 2.3.10	Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station SW of Muko Harbor (1:00 7/9/93)	93
Fig. 2.3.11	Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station WW of Chukpyon Harbor in winter	94
Fig. 2.3.12	Time series of short-wave data measured at station WW of Chukpyon Harbor(16:00 1/16/93)	95

Fig. 2.3.13	Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station WW of Chukpyon Harbor (16:00 1/16/93)	97
Fig. 2.3.14	Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station WW of Chukpyon Harbor (16:00 1/16/93)	98
Fig. 2.3.15	Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station SW of Chukpyon Harbor in winter	99
Fig. 2.3.16	Time series of short-wave data measured at station SW of Chukpyon Harbor(12:00 7/30/93)	101
Fig. 2.3.17	Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station SW of Chukpyon Harbor (12:00 7/30/93)	102
Fig. 2.3.18	Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station SW of Chukpyon Harbor (12:00 7/30/93)	103
Fig. 2.3.19	Location map of short-wave measurements around Donghae Harbor	104
Fig. 2.3.20	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W1)	107
Fig. 2.3.21	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W2)	108
Fig. 2.3.22	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W3)	109
Fig. 2.3.23	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W4)	110

Fig. 2.3.24	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W5)	111
Fig. 2.3.25	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W6)	112
Fig. 2.3.26	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W7)	113
Fig. 2.4.1	Location map of seiche measurements and boundary of numerical model, HARBD(Muko Harbor)	119
Fig. 2.4.2	Location map of seiche measurements and boundary of numerical model, HARBD(Chukpyon Harbor)	120
Fig. 2.4.3	Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(15:10 3/18~20:51 3/18/93)	122
Fig. 2.4.4	Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(5:45 3/21~11:26 3/21/93)	123
Fig. 2.4.5	Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(15:10 3/18~20:51 3/18/93) ...	125
Fig. 2.4.6	Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(5:45 3/21~11:26 3/21/93) ...	126
Fig. 2.4.7	Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(14:34 7/11~21:24 7/11/93) ...	127
Fig. 2.4.8	Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(14:34 7/11~21:24 7/11/93) ...	128
Fig. 2.4.9	Time series of raw sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(11:01 1/13~16:42 1/13/93)	129
Fig. 2.4.10	Time series of raw sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(12:59 1/16~18:40 1/16/93)	130

Fig. 2.4.11	Time series of filtered sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(11:01 1/13~16:42 1/13/93)	132
Fig. 2.4.12	Time series of filtered sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(12:59 1/16~18:40 1/16/93)	133
Fig. 2.4.13	Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 1, winter)	134
Fig. 2.4.14	Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 2, winter)	135
Fig. 2.4.15	Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 1, summer)	139
Fig. 2.4.16	Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 2, summer)	141
Fig. 2.4.17	Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 3, summer)	142
Fig. 2.4.18	Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 1, winter)	144
Fig. 2.4.19	Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 2, winter)	145
Fig. 2.4.20	Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 3, winter)	146
Fig. 2.4.21	Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 4, winter)	147
Fig. 2.4.22	Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 5, winter)	148
Fig. 3.2.1	Offshore and onshore computational regions for the analysis of harbor tranquility in Donghae Harbor	167
Fig. 3.3.1	Finite difference grids of the offshore computational region ..	169
Fig. 3.3.2	Water depth contours in the offshore computational region ..	170

Fig. 3.3.3	Finite difference grids of the onshore computational region ..	173
Fig. 3.3.4	Water depth contours in the onshore computational region ...	174
Fig. 3.3.5	Three-dimensional topography of the onshore computational region	175
Fig. 3.3.6	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S69° E)	178
Fig. 3.3.7	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S75° E)	179
Fig. 3.3.8	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N86° E)	180
Fig. 3.3.9	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N66° E)	181
Fig. 3.3.10	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S62° E)	183
Fig. 3.3.11	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S71° E)	184
Fig. 3.3.12	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N87° E)	185
Fig. 3.3.13	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N67° E)	186
Fig. 4.2.1	Finite element mesh for Donghae Harbor	195

Fig. 4.2.2	Computed response curves for periods from 60 to 1,200 seconds in Donghae Harbor(10 seconds interval)	196
Fig. 4.2.3	Computed amplification ratios for wave period of 970 seconds in Donghae Harbor	198
Fig. 4.2.4	Computed amplification ratios for wave period of 320 seconds in Donghae Harbor	199
Fig. 4.2.5	Computed amplification ratios for wave period of 210 seconds in Donghae Harbor	200
Fig. 4.2.6	Finite element mesh for Muko Harbor	203
Fig. 4.2.7	Water depth contours around Muko Harbor	204
Fig. 4.2.8	Three-dimensional topography around Muko Harbor ...	205
Fig. 4.2.9	Computed response curves for periods from 55 to 1,000 seconds in Muko Harbor(5 seconds interval)	207
Fig. 4.2.10	Computed response curves for periods from 52 to 250 seconds in Muko Harbor(2 seconds interval)	208
Fig. 4.2.11	Computed amplification ratios for wave period of 755 seconds in Muko Harbor	210
Fig. 4.2.12	Computed amplification ratios for wave period of 198 seconds in Muko Harbor	211
Fig. 4.2.13	Computed amplification ratios for wave period of 116 seconds in Muko Harbor	212
Fig. 4.2.14	Finite element mesh for Chukpyon Harbor	213
Fig. 4.2.15	Water depth contours around Chukpyon Harbor	215
Fig. 4.2.16	Three-dimensional topography around Chukpyon Harbor	216
Fig. 4.2.17	Computed response curves for periods from 55 to 1,000 seconds in Chukpyon Harbor(5 seconds interval)	217

Fig. 4.2.18	Computed response curves for periods from 52 to 300 seconds in Chukpyon Harbor(2 seconds interval)	219
Fig. 4.2.19	Computed amplification ratios for wave period of 710 seconds in Chukpyon Harbor	220
Fig. 4.2.20	Computed amplification ratios for wave period of 270 seconds in Chukpyon Harbor	221
Fig. 4.2.21	Computed amplification ratios for wave period of 164 seconds in Chukpyon Harbor	222
Fig. 5.2.1	Location of elliptic shoal and measurement transects	229
Fig. 5.2.2	Angular spreading functions for directional spectra (after Vincent and Briggs, 1989)	233
Fig. 5.3.1	Water depth contours around elliptic shoal	235
Fig. 5.3.2	Three-dimensional topography around elliptic shoal	236
Fig. 5.3.3	Wave height ratios around elliptic shoal computed using regular wave : (a) Measurement; (b) Present computation ...	237
Fig. 5.3.4	Three-dimensional snapshot of water level variations around elliptic shoal(Regular wave)	238
Fig. 5.3.5	Comparisons of wave height ratios computed overall mean wave direction for Case N1 : (a) Measurement; (b) Computation by Suh et al.(1993); (c) Present computation	241
Fig. 5.3.6	Contour map of wave height ratios computed by Goda's method	244
Fig. B.1.1	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W1)	282

Fig. B.1.2	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W2)	283
Fig. B.1.3	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W3)	284
Fig. B.1.4	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W4)	285
Fig. B.1.5	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W5)	286
Fig. B.1.6	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W6)	287
Fig. B.1.7	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W7)	288
Fig. B.1.8	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W8)	289
Fig. B.1.9	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W9)	290
Fig. B.1.10	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W10)	291
Fig. B.1.11	Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W13)	292

Fig. B.1.12 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W1)	293
Fig. B.1.13 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W2)	294
Fig. B.1.14 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W3)	295
Fig. B.1.15 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W4)	296
Fig. B.1.16 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W5)	297
Fig. B.1.17 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W6)	298
Fig. B.1.18 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W7)	299
Fig. B.1.19 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W8)	300
Fig. B.1.20 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W11)	301
Fig. B.1.21 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W12)	302

Fig. B.1.22 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W13)	303
Fig. B.1.23 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W14)	304
Fig. B.1.24 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W15)	305
Fig. B.1.25 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W16)	306
Fig. B.1.26 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W17)	307
Fig. B.1.27 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W18)	308
Fig. B.1.28 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor (station W19)	309
Fig. C.1.1 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = SE)	310
Fig. C.1.2 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE)	311
Fig. C.1.3 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = E)	312
Fig. C.1.4 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE)	313
Fig. C.1.5 Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = SE)	314

Fig. C.1.6	Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE)	315
Fig. C.1.7	Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = E)	316
Fig. C.1.8	Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE)	317
Fig. C.1.9	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = SE)	318
Fig. C.1.10	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = SE)	319
Fig. C.1.11	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = ESE)	320
Fig. C.1.12	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = ESE)	321
Fig. C.1.13	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = E)	322
Fig. C.1.14	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = E)	323
Fig. C.1.15	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = ENE)	324
Fig. C.1.16	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = ENE)	325

Fig. C.1.17	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = SE)	326
Fig. C.1.18	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = SE)	327
Fig. C.1.19	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = ESE)	328
Fig. C.1.20	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = ESE)	329
Fig. C.1.21	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = E)	330
Fig. C.1.22	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = E)	331
Fig. C.1.23	Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition (Dir = ENE)	332
Fig. C.1.24	Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = ENE)	333
Fig. D.1.1	Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = S69° E)	334
Fig. D.1.2	Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = S75° E)	335

Fig. D.1.3	Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = N86° E)	336
Fig. D.1.4	Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition (Dir = N66° E)	337
Fig. D.1.5	Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = S69° E)	338
Fig. D.1.6	Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = S75° E)	339
Fig. D.1.7	Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = N86° E)	340
Fig. D.1.8	Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = N66° E)	341
Fig. D.1.9	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S69° E)	342
Fig. D.1.10	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S75° E)	343
Fig. D.1.11	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N86° E)	344
Fig. D.1.12	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N66° E)	345
Fig. D.1.13	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S62° E)	346

Fig. D.1.14	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S71° E)	347
Fig. D.1.15	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N87° E)	348
Fig. D.1.16	Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N67° E)	349
Fig. F.1.1	Trajectory of center of typhoon OFELIA (12:00 7/26~3:00 7/28/93)	359
Fig. F.1.2	Trajectory of center of typhoon PERCY (21:00 7/28~21:00 7/30/93)	360
Fig. F.1.3	Trajectory of center of typhoon ROBYN (21:00 8/08~9:00 8/11/93)	361

표 목 차

(List of Tables)

Table 2.2.1	Directional distribution of significant wave height(Kangreung wave measurement station, 1992) ..	58
Table 2.2.2	Directional distribution of mean wave period (Kangreung wave measurement station, 1992)	59
Table 2.2.3	Coordinates of the grid points of the JMA wind and wave hindcasting models along the coast of Korea (MOST, 1988)	61
Table 2.2.4	Directional distribution of significant wave height hindcasted at grid point 1713 by JMA	62
Table 2.2.5	Directional distribution of mean wave period hindcasted at grid point 1713 by JMA	63
Table 2.2.6	Formulas for significant wave height corresponding T_z in wave directions	68
Table 2.2.7	Wave heights and periods of 5 and 10 percent occurrence of highest waves in predominant wave directions over one year at Donghae and Muko Harbor	68
Table 2.2.8	Directional distribution of significant wave height hindcasted at grid point 1714 by JMA	69
Table 2.2.9	Directional distribution of mean wave period hindcasted at grid point 1714 by JMA	70

Table 2.2.10	Formulas for significant wave height corresponding T_z in wave directions	75
Table 2.2.11	Wave heights and periods of 5 and 10 percent occurrence of highest waves in predominant wave directions over one year at Chukpyon Harbor	75
Table 2.3.1	Periods of short-wave measurement around Muko Harbor	78
Table 2.3.2	Periods of short-wave measurement around Chukpyon Harbor	81
Table 2.3.3	Characteristics of wave data observed at fixed (FW1 to FW7) and moving stations (MW1 to MW7)	105
Table 2.3.4	Characteristics of wave data observed at fixed and moving stations around Muko Harbor	115
Table 2.3.5	Characteristics of wave data observed at fixed (FW1 to FW7) and moving stations (MW1 to MW7)	116
Table 2.4.1	Peak periods of seiches measured at three stations in Muko Harbor in winter	136
Table 2.4.2	Peak periods of seiches measured at three stations in Muko Harbor in summer	138
Table 2.4.3	Peak periods of seiches measured at two stations in Chukpyon Harbor in winter	149
Table 2.4.4	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S2 in Donghae Harbor in winter	155
Table 2.4.5	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S3 in Donghae Harbor in winter	156

Table 2.4.6	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S4 in Donghae Harbor in winter	157
Table 2.4.7	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at two stations in Muko Harbor in winter	159
Table 2.4.8	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at two stations in Muko Harbor in summer	160
Table 2.4.9	Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S2 in Chukpyon Harbor in winter	162
Table 3.3.1	Incident wave conditions for the numerical model, HCORD	172
Table 3.3.2	Critical wave height ratios for cargo handling (5 % occurrence)	177
Table 3.3.3	Critical wave height ratios for cargo handling (10 % occurrence)	177
Table 4.2.1	Comparisons of normalized seiche amplification ratios measured and computed at first peak period of the Donghae Harbor	201
Table 5.2.1	Data for test cases	231
Table 5.3.1	Distribution of wave amplitudes	240
Table 5.3.2	Ratio of wave energy in each direction to the total energy	242
Table A.1.1	Characteristics of wave data observed in Muko Harbor in winter	263
Table A.1.2	Characteristics of wave data observed in Muko Harbor in summer	265

Table A.1.3	Characteristics of wave data observed in Chukpyon Harbor in winter	268
Table A.1.4	Characteristics of wave data observed in Chukpyon Harbor in summer	274
Table F.1.1	Details about typhoon OFELIA	357
Table F.1.2	Details about typhoon PERCY	357
Table F.1.3	Details about typhoon ROBYN	358

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 경제 규모가 커지고 외국과의 교역이 활발해짐에 따라 수출·입 물량이 증가하고 있으며, 이들의 80% 이상이 항만을 통해 이루어지고 있다. 그러나, 기존의 항만 시설용량의 부족과 항내정온도 미확보로 인한 경제적인 손실이 막대하여 이에 대한 대책의 일환으로 기존 항만의 확장과 대규모 신항만의 건설이 요청되고 있다. 1990년을 기준한 전국 항만의 하역능력은 22,440만톤, 동시 접안 능력 396척(해운항만청, 1991)으로 년평균 약 10%의 증가 추세를 나타내고 있으나 여전히 상당한 시설 능력이 부족한 실정이다. 따라서, 항만의 확장 및 시설의 현대화에 진력할 뿐만 아니라 기존 항만 및 신항만들의 효율적인 이용과 관련하여 항만개발에 관한 연구를 종합적으로 수행해야 할 것이다.

항만개발과 관련된 첨단 요소 기술중의 하나로 항내정온도 유지 기술을 들 수 있다. 항내의 수면교란이 심하면 비단 선박의 하역능률이 저하될 뿐만 아니라 하역불가시 항외의 묘박지에 장기간 정박해야 하므로 상당한 체선료를 지불해야 하는 문제가 발생한다. 이 외에도 대상항만의 전체하역능률이 줄어들어 교역 상대국의 화물선이 입항을 꺼리기도 한다. 계획항만인 포항신항에서는 항내 수면교란으로 인하여 방충시설의 파손 및 하역불능시간이 증가하는 문제점이 노출되어 대책안이 수립(건설부, 1987)된 바 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 항만의 확장 및 건

설에 따라 수요가 증대되고 있는 선박의 안전한 정박 및 원활한 하역 작업이 가능하도록 항내의 정온 유지 대책을 수립하는 데 필요한 첨단 요소 기술을 개발하고, 동해안의 주요 항만에 대한 항만정온도를 상세하고 체계적으로 분석하여 정온도 유지대책 수립에 기초 자료를 제공하는 데 있다.

2. 항만정온도 분석 및 예측 시스템

- 항만정온도의 기준

항만은 선박이 안전하게 입·출항하고 정박하여 효율적인 하역작업을 할 수 있도록 외곽 및 수역 시설과 계류 시설, 하역 시설을 갖추고 있어야 한다. 이는 궁극적으로 항내의 수면이 정온해야 하고 현대적인 하역 장비를 확보하고 있어야 함을 의미한다. 여기서 항내 수면이 정온한 정도를 항만정온도라 부른다. 항만정온도의 기준은 종래의 항내파고(예 : 0.5 m)로부터 계류선박의 하역작업에 직접적인 영향을 주는 하역 한계인 체감한계 선체운동(6 자유도 운동)으로 바뀌고 있다(예 : 컨테이너선의 경우 Surge = ± 0.5 m, Sway = ± 0.3 m, Heave = ± 0.3 m, Roll = $\pm 3^\circ$, Yaw = $\pm 2^\circ$).

- 항만정온도 분석 및 예측 과정

항만이 건설된 후에는 정온도에 관련된 문제점이 발생하더라도 평면 배치를 전체적으로 바꾸어 해결하는 방법은 거의 불가능하다. 따라서, 사전에 충분한 조사·분석이 이루어져야 하며 기존 항만의 확장 및 문제점이 있는 항만의 경우 Fig. 1.1과 같은 종합적인 연구·검토가 이루어져야 할 것이다.

연구단계 :

phase I	phase II
---------	----------

연구기관 : (연구소, 대학) (연구소, 설계회사, 해운항만청)

분석단계 :

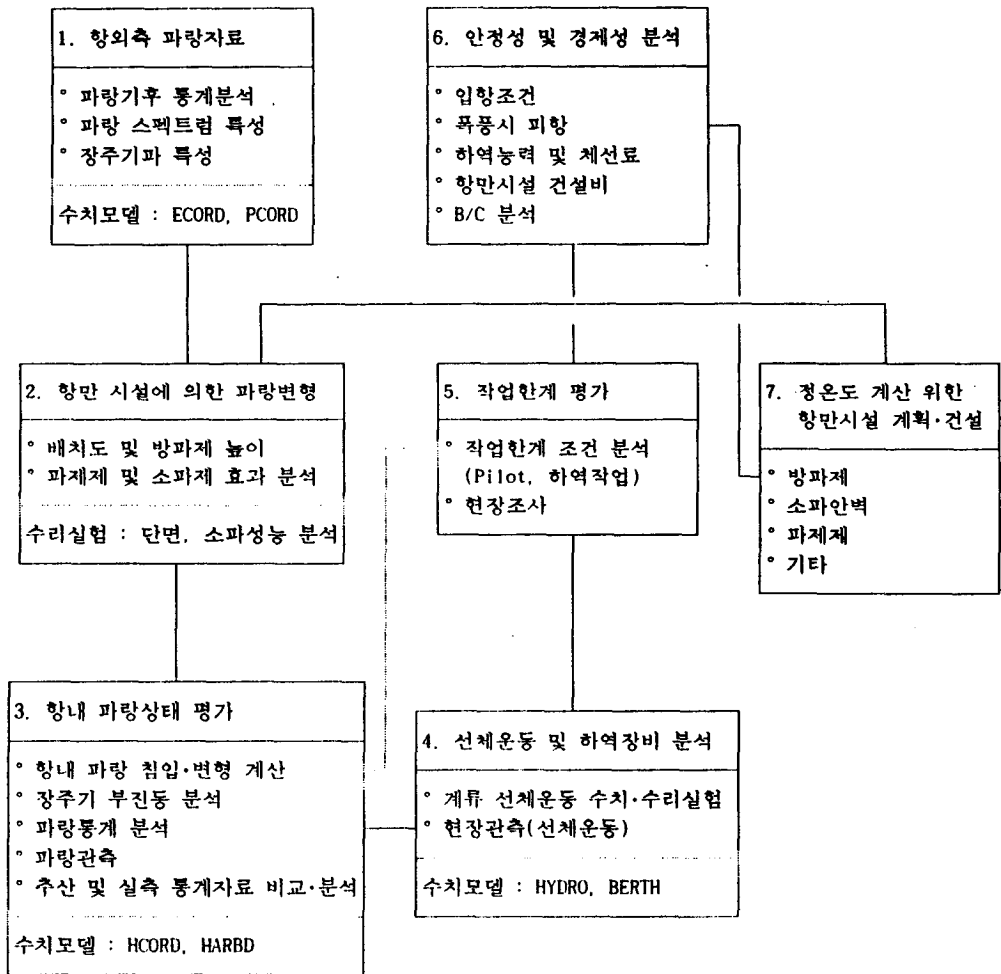
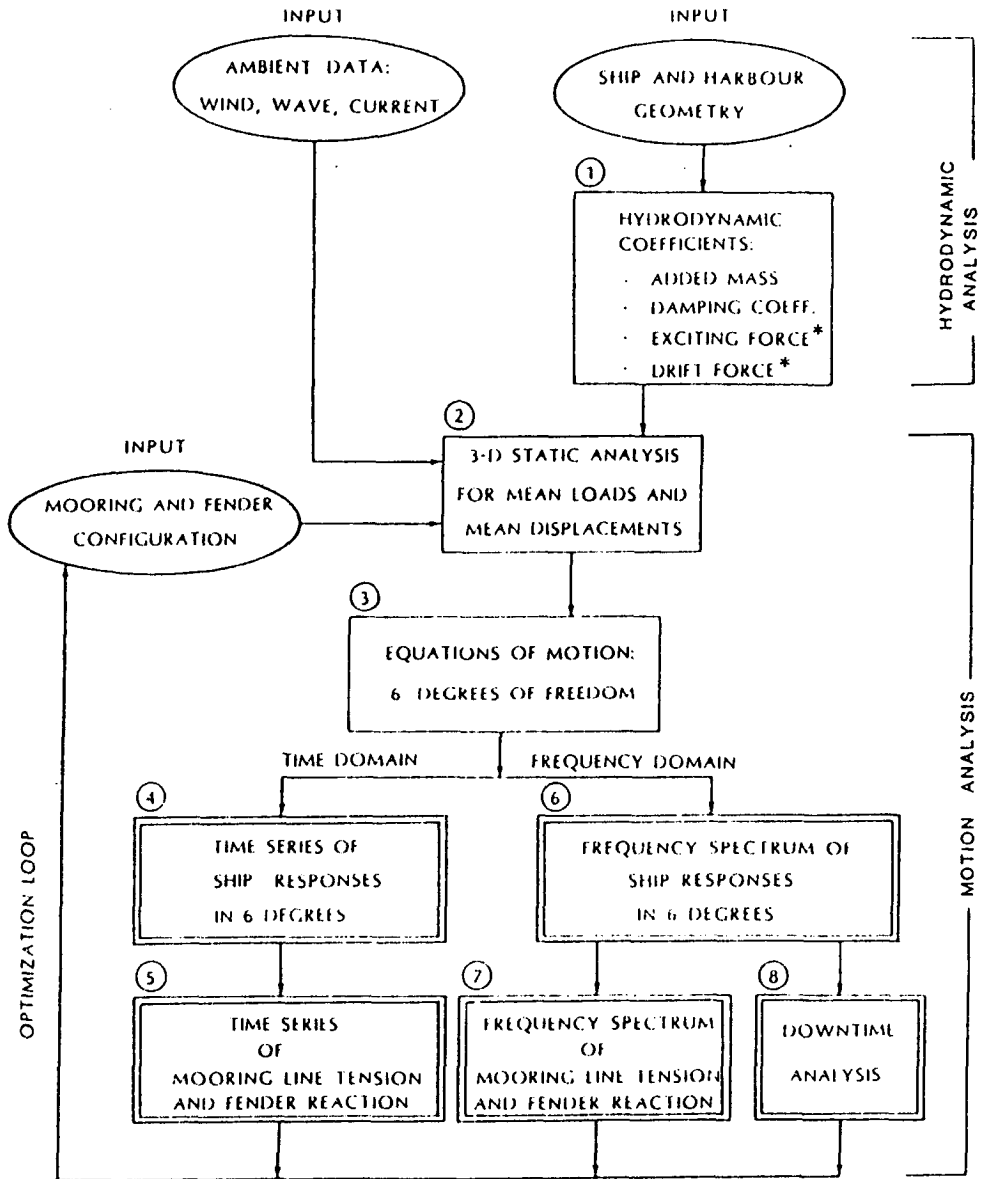


Fig. 1.1 Elements of harbor tranquility and a flow chart for tranquility analysis.

3. 연구범위 및 내용

본 연구는 총 연구기간이 3년으로 Fig. 1.1의 제 1단계 및 Fig. 1.2에 제시된 순서에 따라 대상 항만에 대해 항만정온도를 분석하고 종합시스템을 수립하는 데 최종목표를 두고 연구를 시작하였다. 그러나, 원래 사업계획서대로의 예산 및 고가 관측장비(선체운동 관측기기)를 확보할 수 없었으므로 연구의 범위와 내용을 수정하여 다음과 같이 연구를 수행하였다.

- 동해안의 주요 항만에 대한 체계적인 정온도 분석
 - 계절에 따른 장·단주기 파랑 관측·분석
 - 단주기파의 항내·외 주파수-방향 스펙트럼의 동시관측을 통한 항내 파랑 침입·변형 분석
- 단주기파 전파 및 변형 계산을 위한 수치모델 수립·검증
 - 계산영역 및 정확도, 계산 시간의 경제성 등을 감안한 수치모형의 특성별 시스템 구축(ECORD, PCORD, HCORD)
 - 규칙파 및 불규칙파 모형의 수립·검증
- 장주기파의 부진동 현상의 재현 및 정확한 분석을 위한 수치모델의 수립·검증
 - 해저면 마찰, 측면 흡수경계 및 수심변화를 고려한 환경사 수치모델의 수립 (HARBD)
- 선체운동 해석을 위한 수치모형(Fig. 1.2 참조)의 수립·검증
 - 표류력을 포함한 파동력의 산정을 위한 수치모형의 수립(HYDRO)



* Unit response

Fig. 1.2 Flow diagram for complete ship motion analysis.

- 미육군 공병단 의뢰로 Tekmarine Inc.에서 개발한 비선형 선체운동 해석 수치모형 수립(BERTH)

- 동해항에 대한 항만가동을 평가

- 심해파 추산자료(4년간)와 천해 파랑 변형(ECORD) 및 항내 파랑 전파·변형 모형(HYORD)를 이용한 방향별 파고 계산 및 95%, 90% 항만가동을 확보를 위한 정온도를 분석

본 연구의 최종년도인 3차년도의 연구내용은 항내 정온도 분석을 위한 평상파 조건 산출, 동해안 3개항에 대한 장·단주기파의 계절 특성을 파악하고 단주기파의 주파수-파향 스펙트럼 변형 및 장주기의 항내부진동 특성을 분석하였다. 이들 자료는 동해안의 단·장주기파의 특성과 항내 전파 변형을 연구하기 위한 귀중한 자료로써 비교적 계절적인 특성과 현상을 분석하기 위해 체계적이고 정확하게 관측·분석되었다고 할 수 있다.

단주기파 모형 HCORD를 확장하여 불규칙파의 전파 변형을 계산할 수 있도록 하였으며, 계산 결과치를 수리모형 실험치(Vincent와 Briggs, 1989)와 비교하여 적용성을 입증하였다. 또한, 동해항에 대한 평상파 산정 및 파랑 모형(ECORD, HCORD)의 각 방향별 적용을 통하여 항내 파고를 계산함으로써 중·대형선과 소형선 등을 기준한 항만가동율을 산출하였다.

선체운동 분석 모형은 1차년도에 Long Beach항에 적용한 바 있으나 완전한 검증 단계를 거치지 않은 상태이므로 동해안의 항만에는 적용하지 않았다.

제2장 기존 및 현장관측자료 수집·분석

제1절 서론

1. 기존자료 수집·분석

지금까지의 항만정온도 평가시에는 주로 재현년도 50년의 설계파를 입사파로 사용하여 대상수역에서의 파고비를 계산하여 항내 구조물의 안정성과 항내정온도를 검토해 왔다. 그러나, 설계파와 평상시 파랑은 각각의 주기와 파고가 서로 다르므로 파랑의 항내 침입·전파 현상이 서로 다르다. 따라서, 단주기파에 대한 항만정온도 검토시에는 설계파에 비해 파고와 주기가 작으며 출현빈도가 훨씬 큰 평상파에 대한 검토가 요구된다.

한편, 항만정온도 평가에는 년중 가동률이 중요한 역할을 담당하므로 본 연구의 경우 16 방위별로 년중 5% 및 10% 출현률의 파(대상파를 가장 큰 파로부터 크기 순서대로 배열할 때 1/20에 해당되는 파를 년중 출현률 5%의 파, 1/10에 해당되는 파를 년중 출현률 10%의 파라고 부르기로 함)를 대상으로 수치계산을 실시하여 단주기파에 의한 항만 가동률을 산정하였다. 이러한 항만 가동률 산정시의 기준이 되는 파는 년중 5~10%의 출현률을 가지므로 평상시 파랑과 마찬가지로 설계파에 비해 주기 및 파고가 상당히 작아진다. 본 연구에서는 평상시 파랑과 항만 가동률 산정시의 기준이 되는 파를 동일한 것으로 보고 95% 가동률 판정을 위하여 출현률 5% 및 10%인 파를 선정하는 것을 기본으로 하였으며, 이들을 각

각 $(H_{1/20})_{year}$ 및 $(H_{1/10})_{year}$ 로 표시하였다. 일반적인 파랑 분석시에 사용되는 $H_{1/3}$ 이나 $H_{1/10}$ 등은 전체 파랑자료를 크기 순으로 배열할 때 1/3이나 1/10보다 큰 파들을 평균한 것이나 여기서는 판단을 위한 한계치(critical value)를 나타낸다.

평상파의 선정에 이용가능한 자료로는 해운항만청에서 실시중인 강릉 파랑관측소에서 실시한 파랑 관측자료와 일본 기상청(JMA)에서 MRI 모형을 이용하여 일본 열도와 한반도 주변의 파를 예측한 결과중 약 4년간의 자료를 들 수 있다. 그러나, 강릉 파랑관측소의 자료는 3개월간의 결측과 수중식 파향·파고계의 설치 방향이 잘못되어 있을 가능성이 있어서 제외하고 일본 기상청의 자료를 사용하였다.

2. 단주기파 정점 및 이동관측

동해안에 위치한 묵호항과 죽변항을 대상으로 항외 입사경계에서의 파의 통계적 및 구조적 특성, 그리고 파랑의 항내 전파특성을 파악하고 불규칙 단주기파 수치모형의 입력 및 검증자료를 제공하기 위하여 2대의 파고·파향계를 이용하여 항외의 1개 정점과 항내·외의 여러 지점에서 정점 및 이동관측을 실시하고 관측자료들을 파랑자료 분석용 프로그램 DIWAP (Directional Wave Analysis Program)에 의해 분석, 정리하였다.

3. 장주기 부진동 정점관측

묵호항과 죽변항내의 부진동 현상에 대한 시간적 및 공간적 특성을 파악하기 위한 기초자료와 부진동 수치모형의 검증(verification) 자료를 수

집하기 위하여 항내·외의 정점에서 현장관측을 수행하였다. 현장관측은 각 정점의 해저에 설치된 수압식 자동해면기록기 ISTG(Intelligent Seiche and Tide Gauge)에 의해 수 일간 실시되었다.

Binary code로 저장된 관측자료들을 일련의 환산 프로그램을 이용하여 ASCII code로 변환하였다. 관측해역에서의 부진동 모드 및 에너지 분포 산정을 위한 스펙트럼 분석을 위하여 해수위 자료에 low pass filter와 high pass filter를 순서대로 적용시켜 고주파수대와 저주파수대의 에너지를 제거한 자료를 작성하였다. 이 자료를 30초 간격으로 sampling하여 관측 정점별로 4,096개(약 34.2 시간)의 시계열 자료를 만들고 이들을 FFT 기법에 의해 시계열 자료의 스펙트럼을 분석하는 프로그램 SPECTRAD(해양개발연구소, 1979)로 분석하였다.

제2절 기존자료를 이용한 평상파 조건 결정

1. 강릉 파랑관측소의 자료

평상파의 선정을 위해서는 대상 지역의 인근해역에서 일정한 시간 간격(통상 3시간)으로 1년 이상의 장기간에 걸쳐 연속적으로 관측한 파랑자료가 필요하다. 그러나, 우리나라에서 현재까지 장기간(1년 이상)의 연속적인 파랑관측이 실시된 경우는 해운항만청에서 추진하고 있는 실시간 해상 모니터링 사업의 일환으로 실시되고 있는 전국 주요 관측점(강릉 경포, 울릉도, 영일만 입구의 장기갑, 부산 태종대, 여수 소리도, 제주도 마라도, 목포 흥도, 군산 어청도의 8개소이며, 이중 울릉

도와 어청도는 파향을 관측하지 않음)에서의 파랑 관측에 국한된다. 이중 본 연구의 대상해역(동해항, 묵호항 및 죽변항)에 인접한 강릉 파랑관측소(Fig. 2.2.1 참조)에서는 1991년 10월에 수중식 파향·파고계(PUV)를 수심 15 m에 설치하여 현재까지 자료를 수집하고 있다. Table 2.2.1과 Table 2.2.2에는 1992년 3월 28일부터 12월 31일까지 동 관측소에서 관측된 자료를 16 방위별로 유의파고 $H_{1/3}$ 에 대해 분석한 결과와 유의주기 $T_{1/3}$ 에 대해 분석한 결과를 제시하였다. 참고로 1992년 1~3월과 1993년 1~3월의 기간은 기기의 고장 등으로 자료를 수집하지 못하였으며, 따라서 완전한 1년간의 자료는 현재로는 이용이 불가능하다.

Table 2.2.1을 살펴보면 파향 N, NNW, NNE, NW 및 NE의 출현율이 각각 30.7, 30.3, 15.8, 9.5 및 7.6%로 이들을 합하면 전체의 약 94%를 차지하고 있다. 이는 본 장의 제3절에 제시하는 동해항의 2~3월의 약 1개월간의 현장관측자료의 분석 결과(파향이 대부분 NE~ENE 사이에 분포함)와 비교해 볼 때 큰 차이를 나타낸다. 묵측, 수치모형 및 현장관측에 의한 파향과 비교해 볼 때(보통 NE나 ENE가 우세 파향임) 비록 본 연구에서 확인하지 못하였으므로 단정짓기는 곤란하나 강릉 파랑관측소의 수중식 파향·파고계의 설치 방향이 자북에서 왼쪽으로 30~60° 정도 회전되어 있을 가능성이 있다.

2. 일본 기상청(JMA)의 계산 자료

전술한 검토 결과로부터 강릉 파랑관측소의 자료는 기간이 완전한 1년이 되지 못하고, 또 파향에 대한 신뢰도가 의문시되는 점 등을 고려하여 평상파 산정을 위한 자료에서 제외하였다. 따라서, 본 연구에서는 일본 기상청(Japan Meteorological Agency)에서 MRI(Meteorological Research Institute) 모형을 이용

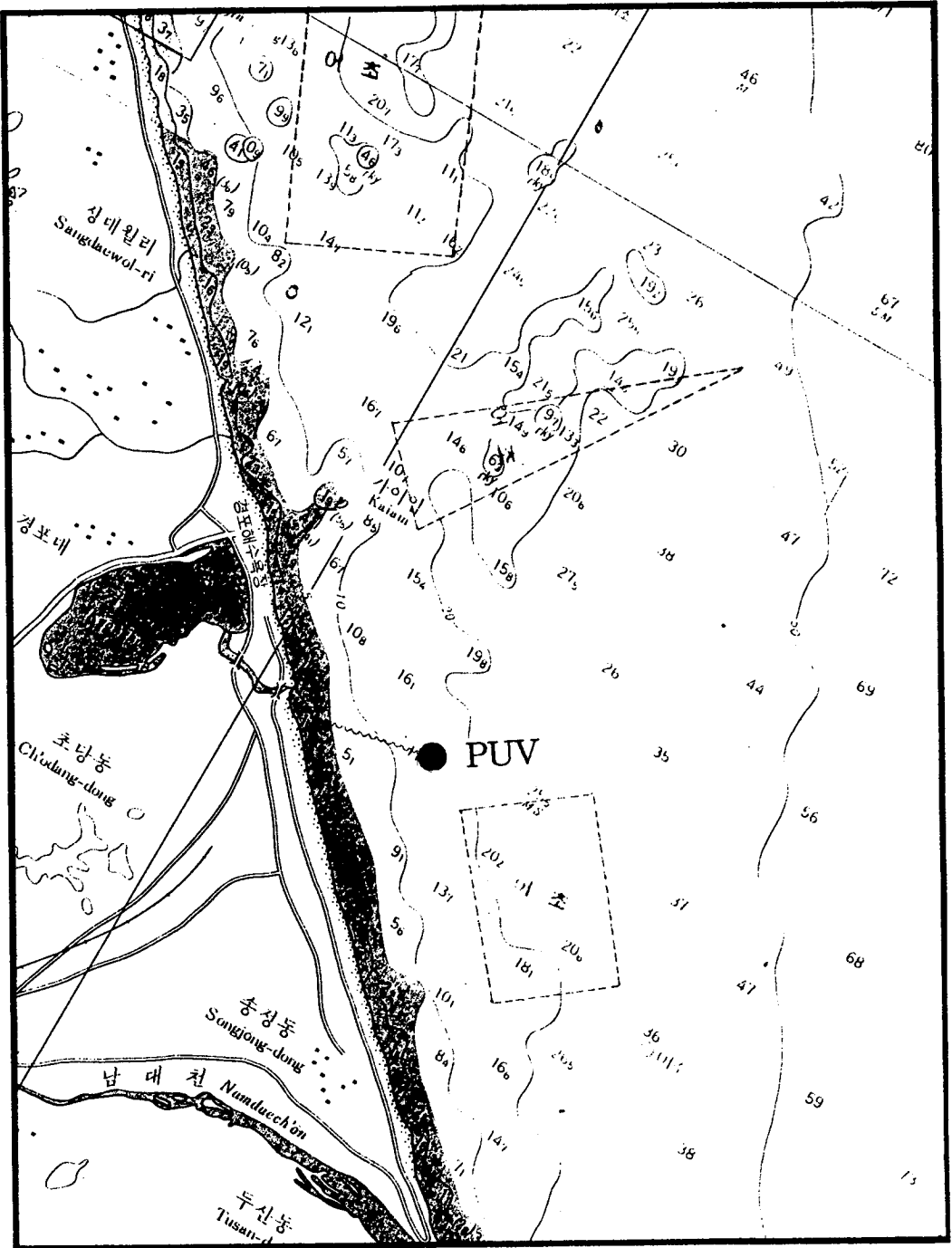


Fig. 2.2.1 Location of wave measurement station at Kangreung.

Table 2.2.1 Directional distribution of significant wave height(Kangreung wave measurement station, 1992).

Dir. $H_{1/3}$	Dir.																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.0 - 0.2	45	74	31	19	5		1			1			2	6	10	27	221
0.2 - 0.4	126	105	73	21	1							1	2	17	42	55	443
0.4 - 0.6	133	76	35	4									1	24	49	73	395
0.6 - 0.8	90	45	28											14	29	62	268
0.8 - 1.0	75	29	12	2										13	21	52	204
1.0 - 1.2	75	21	2											9	26	66	199
1.2 - 1.4	43	10												1	14	79	147
1.4 - 1.6	39	3												1	21	67	131
1.6 - 1.8	19	5													6	58	88
1.8 - 2.0	18	3												1	6	48	76
2.0 - 2.2	22	3													1	42	68
2.2 - 2.4	14	1													1	25	41
2.4 - 2.6	10														1	22	33
2.6 - 2.8	4															12	16
2.8 - 3.0	8															11	19
3.0 - 3.2	4	1														3	8
3.2 - 3.4	3															6	9
3.4 - 3.6	4	1														3	8
3.6 - 3.8	1	1														2	4
3.8 - 4.0																2	2
4.0 - 4.2																1	1
4.2 - 4.4																3	3
4.4 - 4.6																2	2
4.6 - 4.8																2	2
4.8 - 5.0																	
5.0 - 5.2																1	1
5.2 - 5.4																	
5.4 - 5.6																	
5.6 - 5.8																	
5.8 - 6.0																	
6.0 - 6.2																1	1
Total	733	378	181	46	6		1			1		1	5	86	227	725	2390
Permillage	307	158	76	19	3								2	36	95	303	1000

(Numerals : numbers of occurrence)

Table 2.2.2 Directional distribution of mean wave period(Kangreung wave measurement station, 1992).

Dir. $T_{1/3}$	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
4.0 - 4.5			4	4													8
4.5 - 5.0	15	44	39	10	1		1							12	17	13	152
5.0 - 5.5	43	67	49	15	3							1	1	24	36	28	267
5.5 - 6.0	73	97	47	11	2				1				3	17	33	46	330
6.0 - 6.5	90	84	20	2									1	19	48	73	337
6.5 - 7.0	89	37	19	3										5	34	88	275
7.0 - 7.5	106	17	2	1										4	30	108	268
7.5 - 8.0	81	14												3	19	87	204
8.0 - 8.5	65	9	1												5	103	183
8.5 - 9.0	69	4												2	2	63	140
9.0 - 9.5	41	2													1	65	109
9.5 - 10.0	24	1													1	26	52
10.0 - 10.5	15														1	18	34
10.5 - 11.0	9	1														6	16
11.0 - 11.5	4															1	5
11.5 - 12.0	6																6
12.0 - 12.5	2	1															3
12.5 - 13.0	1																1
Total	733	378	181	46	6		1			1		1	5	86	227	725	2390
Permillage	307	158	76	19	3							1	2	36	95	303	1000

(Numerals : numbers of occurrence)

하여 6 시간 간격으로 한반도를 포함한 일본 주변의 파를 예측한 결과중 1983년 1월부터 1987년 2월까지 약 4년간의 자료(과학기술처, 1988a)를 입수하여 평상파 선정을 위한 기초자료로 이용하였다.

일본 기상청에서 사용한 수치모형을 위한 격자망도는 Fig. 2.2.2, 우리나라 부근에 위치한 격자점의 경도 및 위도는 Table 2.2.3에 나타낸 바와 같다. 그리고 가로 및 세로 방향의 격자간 간격은 127 km로 동일하며, 그림중에서 목호항과 동

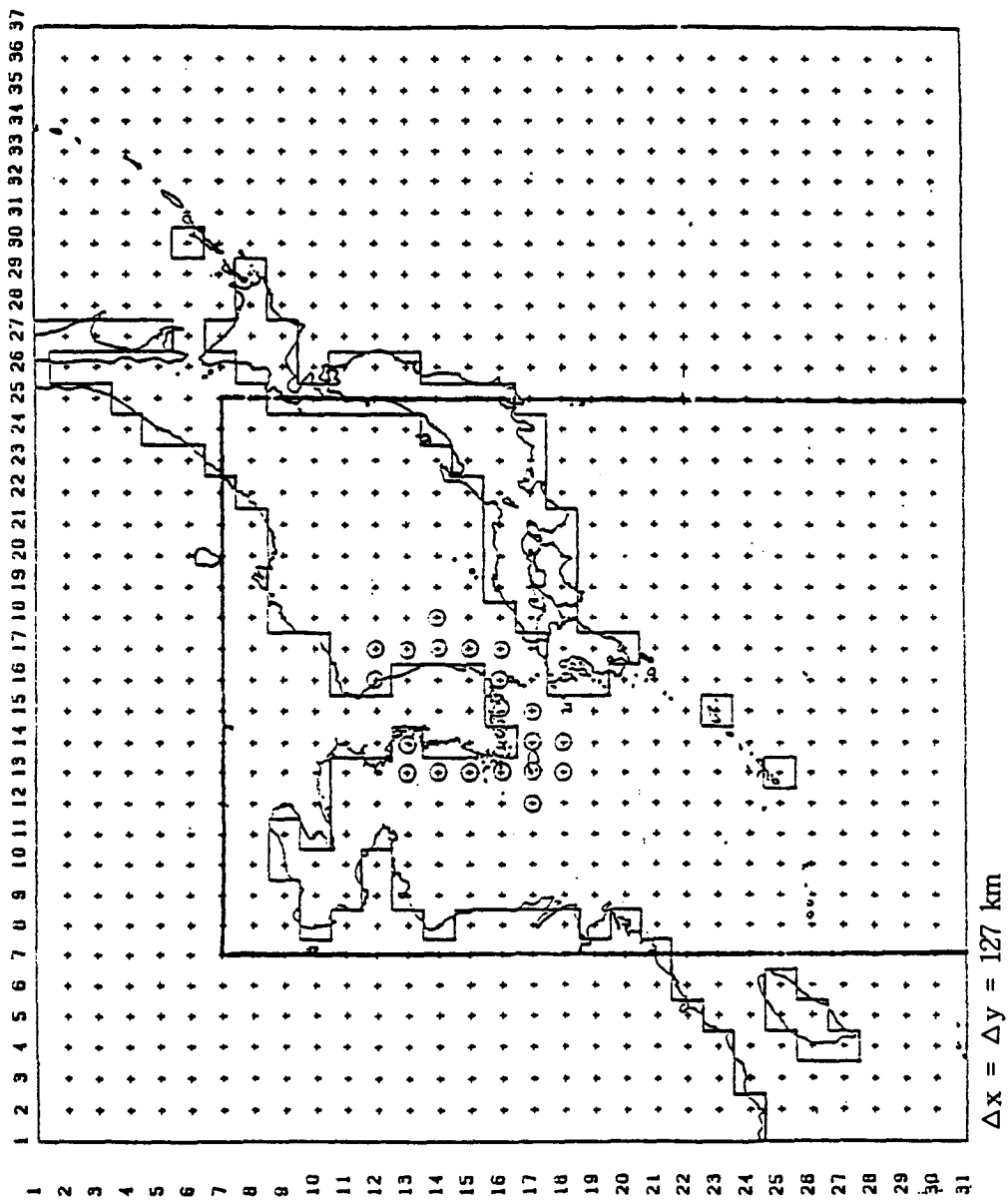


Fig. 2.2.2 Grid system of the JMA wave hindcasting model(MOST, 1988).

해상에 인접한 격자 번호는 1713, 그리고 죽변항에 인접한 격자 번호는 1714이다.

Table 2.2.3 Coordinates of the grid points of the JMA wind and wave hindcasting models along the coast of Korea (MOST, 1988a).

Grid Number	Latitude (Degree)	Longitude (Degree)	Grid Number	Latitude (Degree)	Longitude (Degree)
1217	33.1	125.1	1516	34.7	128.2
1313	37.1	125.1	1517	33.7	128.5
1314	36.1	125.4	1612	38.7	128.4
1315	35.2	125.7	1616	34.9	129.4
1316	34.2	126.0	1712	38.9	129.7
1317	33.3	126.2	1713	37.9	129.9
1318	33.4	126.5	1714	36.9	130.1
1413	37.4	126.3	1715	36.0	130.3
1417	33.5	127.3	1716	35.0	130.5
1418	32.5	127.6	1814	37.1	131.5

3. 선형회귀법에 의한 평상파 결정

가. 동해항과 묵호항

일본 기상청 자료중 격자번호 1713(묵호항과 동해항)에서의 결과를 16 방위별로 유의파고 H_s 에 대해 분석한 결과를 Table 2.2.4에, 그리고 평균주기 T_2 에 대해 분석한 결과를 Table 2.2.5에 각각 제시하였다. 16 방위중에서 묵호항과 동해항의 정온도에 영향을 미치는 파향으로는 항만의 평면배치와 항 주변의 해안선 형태를 고려하여 SE, ESE, E 및 ENE의 4개를(Fig. 2.2.3 참조) 선정하였다.

선정된 SE~ENE의 4개 파향별 파랑자료의 T_2 와 H_s 의 관계를 알아보기 위

Table 2.2.4 Directional distribution of significant wave height hindcasted at grid point 1713 by JMA.

H_s \ Dir.	Dir.																Total
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
0.0 - 0.2	3	3	9	16	15	17	2	3	12	42	1			1	17	9	150
0.2 - 0.4	5	12	41	47	31	34	9	7	30	138	23				44	23	444
0.4 - 0.6	10	20	67	54	54	69	23	18	52	221	24			2	85	41	740
0.6 - 0.8	14	35	102	61	52	63	44	18	50	173	23	1	2	8	115	74	835
0.8 - 1.0	12	60	135	57	40	43	34	18	33	50	15	4	1	5	100	68	675
1.0 - 1.2	27	79	93	39	29	40	19	15	21	16		1	2	3	65	69	518
1.2 - 1.4	31	69	109	26	23	12	8	9	11	8	2	1	1	5	72	71	458
1.4 - 1.6	30	78	87	18	17	9	9	2	4	4	2	1	1	3	64	57	386
1.6 - 1.8	34	78	48	7	13	10	3	4	3		2	1		1	72	50	326
1.8 - 2.0	29	64	44	7	8	4	4		1	1				2	65	60	289
2.0 - 2.2	28	67	34	7	4	3	3	3		1				1	56	41	248
2.2 - 2.4	34	54	24	4	3	1	2	1	3	1				3	47	39	216
2.4 - 2.6	31	42	15	2		1			1						38	45	175
2.6 - 2.8	41	28	22	3										3	26	53	176
2.8 - 3.0	31	31	16	3	1				1	1					21	40	145
3.0 - 3.2	28	20	9	1	2	1									21	27	109
3.2 - 3.4	10	10	1	1	1										9	18	50
3.4 - 3.6	9	9	6	1											11	16	52
3.6 - 3.8	4	2	4	2							1				6	10	29
3.8 - 4.0	5	1		1						1					6	8	22
4.0 - 4.2	3	3	1	1											2		10
4.2 - 4.4	2	1	1	1					1					1	4	1	12
4.4 - 4.6	1	1							1						3		6
4.6 - 4.8	1													1			2
4.8 - 5.0															1	1	2
5.0 - 5.2																1	1
5.2 - 5.4	1																1
5.4 - 5.6									1								1
5.6 - 5.8																	
5.8 - 6.0	1																1
6.0 - 6.2																	
6.2 - 6.4		1															1
Total	425	768	868	359	293	307	160	98	225	657	93	9	7	39	950	822	6080
Permillage	70	126	143	59	48	50	26	16	37	108	15	1	1	6	156	135	1000

(Numerals : numbers of occurrence)

Table 2.2.5: Directional distribution of mean wave period hindcasted at grid point 1713 by JMA.

Dir. T_z	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
3.5 - 4.0	3	1	7		5	3	4	2	3	7	1	1	1	1	8	5	52
4.0 - 4.5	8	10	10	13	6	14	27	12	26	22	10	1		1	30	22	212
4.5 - 5.0	7	14	37	19	19	17	28	7	22	17	3	4	1		40	31	266
5.0 - 5.5	30	48	97	129	108	164	60	41	107	210	22	1	4	11	196	109	1337
5.5 - 6.0	43	105	117	54	70	63	18	20	22	78	11	1	1	12	161	120	896
6.0 - 6.5	55	140	163	51	49	30	12	12	19	83	7	1		3	133	129	887
6.5 - 7.0	62	144	169	33	19	7	7	3	5	59	8			5	147	104	772
7.0 - 7.5	81	154	131	24	10	3		1	5	44	8			1	110	131	703
7.5 - 8.0	61	75	81	13	1	2	1		2	20	3			2	54	72	387
8.0 - 8.5	47	47	44	13	2	1	2		1	14	4				34	50	259
8.5 - 9.0	13	18	7	7	2	1			2	15	4				16	33	118
9.0 - 9.5	5	5	3	1			1			8	3			1	11	8	46
9.5 -10.0	5	3			1				1	16	2			2	5	4	39
10.0 -10.5	2	1			1				1	11					5	3	24
10.5 -11.0	1	1							1	9	1					1	14
11.0 -11.5	2	1		2					1	5	2						13
11.5 -12.0						1			3	9	2						15
12.0 -12.5									1	2							3
12.5 -13.0										9	1						10
13.0 -13.5			1			1			3	5							10
13.5 -14.0										2							2
14.0 -14.5																	
14.5 -15.0		1								4							5
15.0 -15.5			1							4	1						6
15.5 -16.0										1							1
16.0 -16.5										2							2
16.5 -17.0																	
17.0 -17.5																	
17.5 -18.0																	
18.0 -18.5																	
18.5 -19.0										1							1
Total	425	768	868	359	293	307	160	98	225	657	93	9	7	39	950	822	6080
Permillage	70	126	143	59	48	50	26	16	37	108	15	1	1	6	156	135	1000

(Numerals : numbers of occurrence)

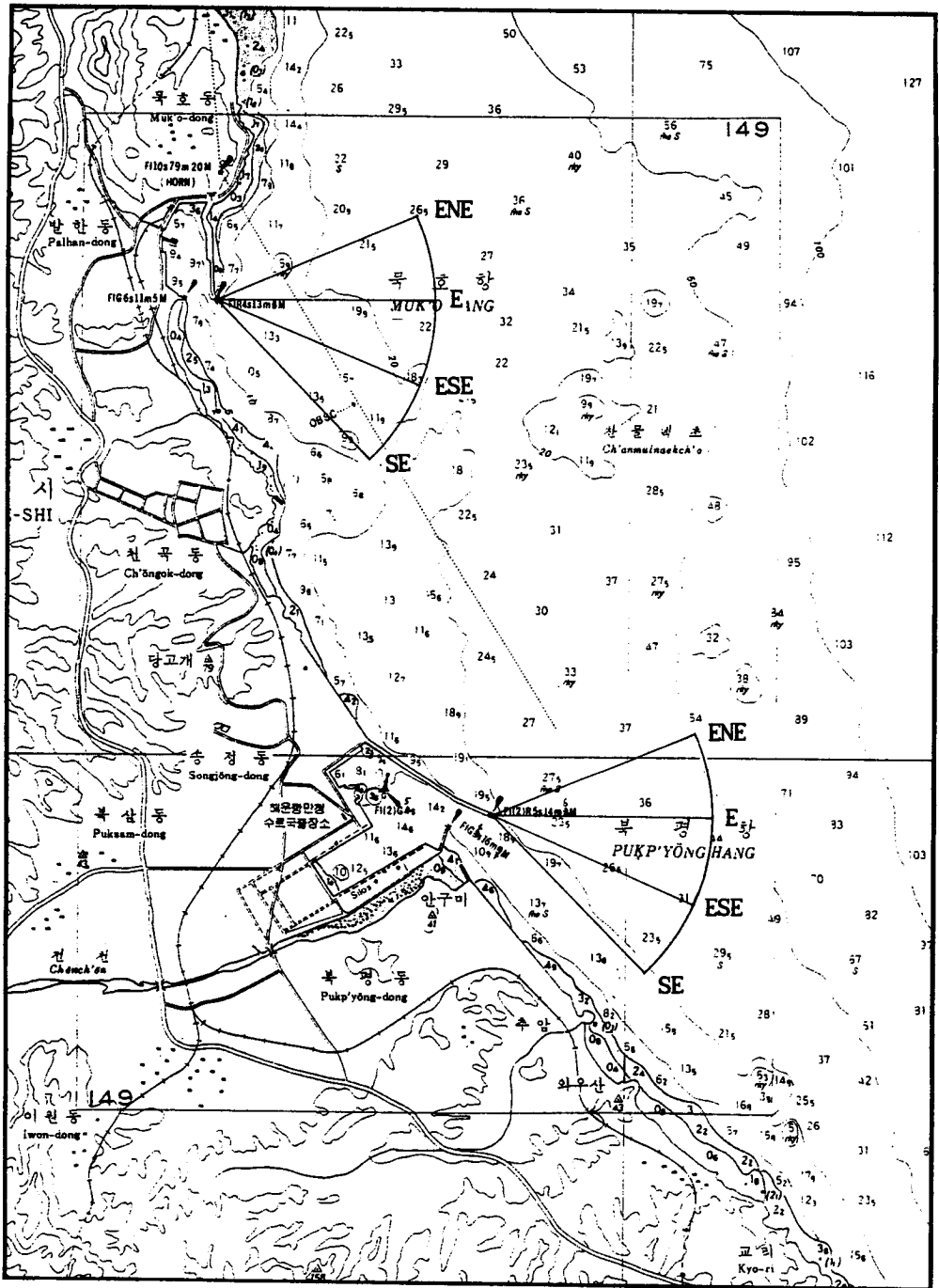


Fig. 2.2.3 Predominant wave directions for harbor tranquility analyses in Donghae and Muko Harbor.

하여 가로축을 $T_z(\text{sec})$, 세로축을 $H_s(m)$ 로 하여 Fig. 2.2.4~2.2.7에 각각 도시하였다. 이 그림들중에서 파향 ENE에 대한 Fig. 2.2.7을 제외하면 대체로 가운데가 출현빈도가 높은 타원형을 이루고 있어서 T_z 와 H_s 의 관계식을 구하기에 양호한 분포를 나타내고 있다. 파향 ENE의 경우에는 기타 파향의 자료에 비해 파고가 작고 주기가 비교적 긴 파가 상당한 부분을 차지하고 있다. 단, 파향 ESE에 대한 자료에서는 주기가 10.0 초 이상이고 파고가 작은 자료가 포함되어 있는데 이들은 swell 성분이라고 생각되며 선형회귀법(Linear Regression Method)의 적용시에 자료의 특성을 크게 변화시킬 우려가 있어서 분석에서 제외하였다.

Fig. 2.2.4~2.2.7에 도시된 각 파향별 자료 전체에 대해 선형회귀법을 사용하여 T_z 와 H_s 간의 관계식을 구하여 Table 2.2.6에 제시하였다. 한편, Table 2.2.4에서 4개 파향 SE, ESE, E 및 ENE에 대한 년중 5 % 출현률의 파고를 구하면 1.9, 1.7, 1.9 및 2.3 m가 되며, 이 값을 Table 2.2.6에 제시된 식의 H_s 에 대입하면 T_z 는 SE~ENE에 대해 각각 7.98, 7.28, 7.97 및 10.24 sec가 된다. 그리고, 년중 10 % 출현률의 경우 SE~ENE에 대해 H_s 가 1.5, 1.3, 1.7 및 1.7 m, T_z 가 각각 6.83, 6.42, 7.50 및 8.28 sec가 된다. 이들을 다시 T_z 와 $T_{H_{1/3}}$ 에 대하여 Goda(1985)가 제시한 관계식 $T_{H_{1/3}} = (0.9-1.4) T_z \approx 1.15 T_z$ 에 대입하면 연중출현율 5 %의 경우 $T_{H_{1/3}}$ 은 각각 9.18(≈ 9.20), 8.37(≈ 8.40), 9.17(≈ 9.20) 및 11.77(≈ 11.80) sec가 된다. 그리고, 연중출현율 10 %의 경우 4개 파향에 대해 $T_{H_{1/3}}$ 은 각각 7.85(≈ 7.80), 7.38(≈ 7.40), 8.63(≈ 8.60) 및 9.52(≈ 9.60) sec가 된다. 이들을 정리한 5 % 및 10 % 출현율의 평상파 입력조건을 Table 2.2.7에 제시하였다.

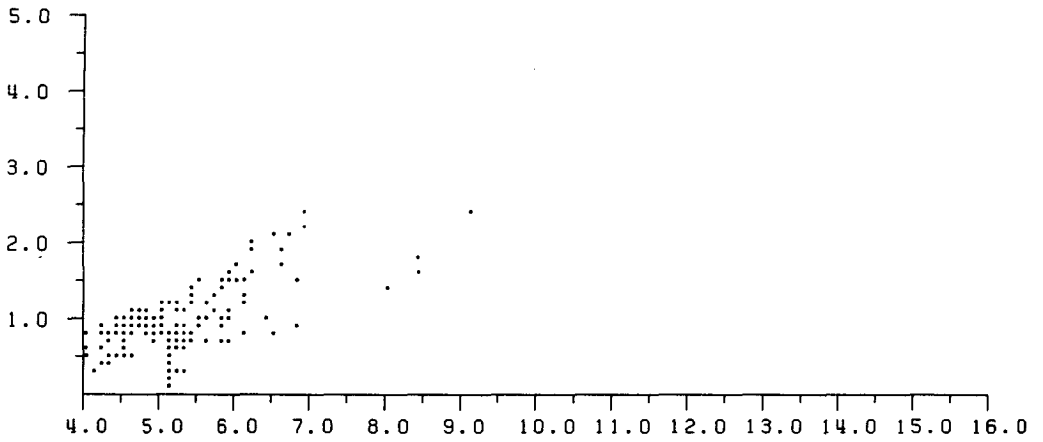


Fig. 2.2.4 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SE.

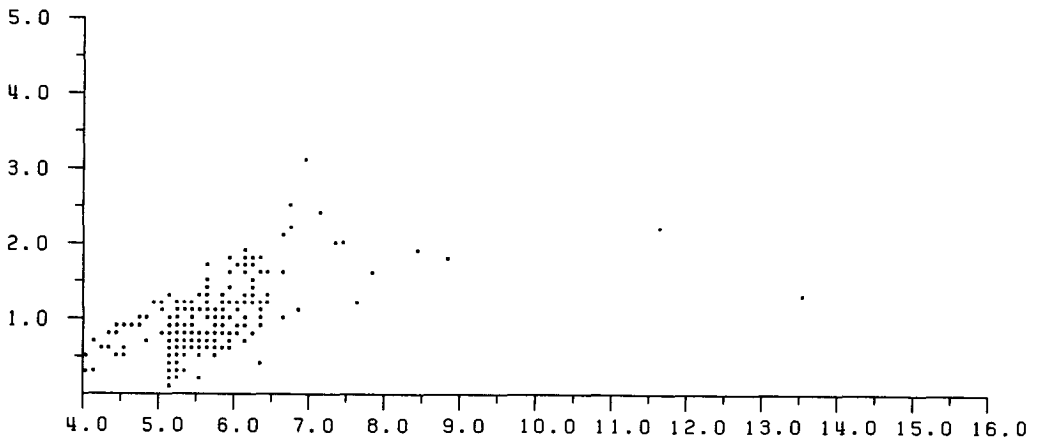


Fig. 2.2.5 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ESE.

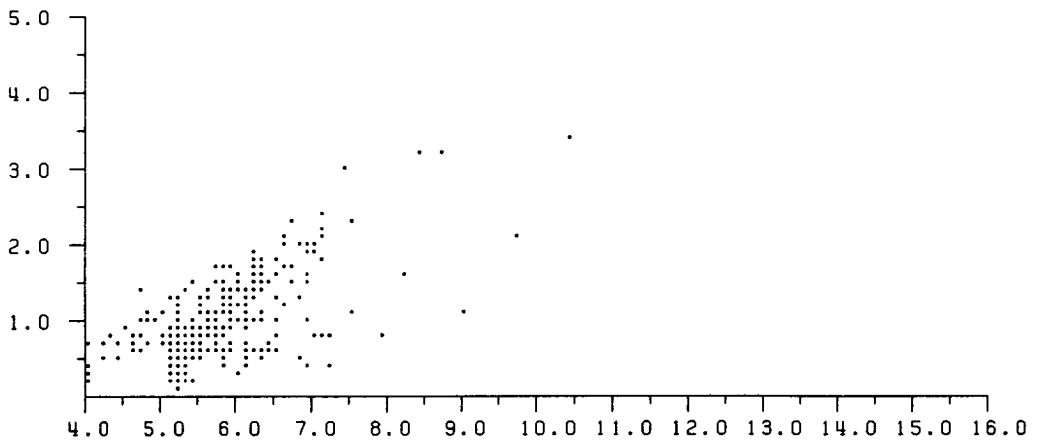


Fig. 2.2.6 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction E.

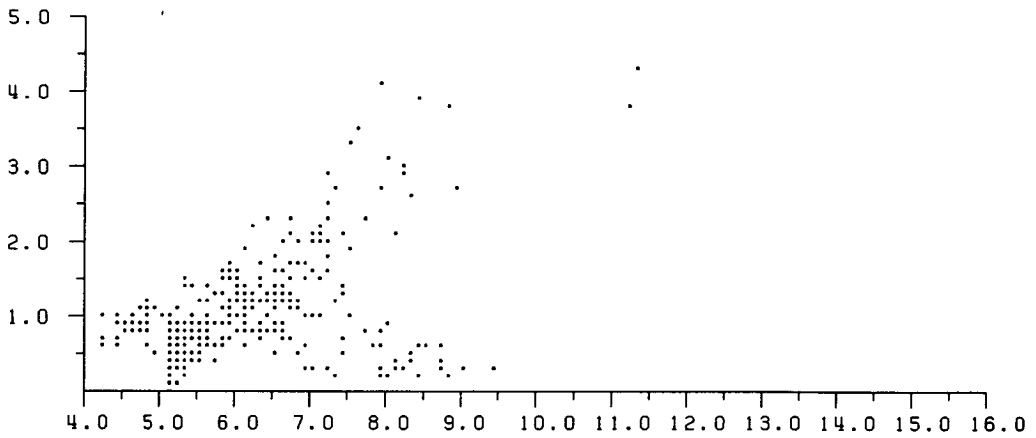


Fig. 2.2.7 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ENE.

Table 2.2.6 Formulas for significant wave height corresponding T_z in wave directions.

Direction	Formula
SE	$H_s = 0.349T_z - 0.885$
ESE	$H_s = 0.468T_z - 1.706$
E	$H_s = 0.426T_z - 1.494$
ENE	$H_s = 0.307T_z - 0.843$

Table 2.2.7 Wave heights and periods of 5 and 10 percent occurrence of highest waves in predominant wave directions over one year at Donghae and Muko Harbor.

Wave direction	5 % occurrence		10 % occurrence		Remarks
	$T_{H_{1/3}}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{H_{1/3}}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	
SE	9.2	1.9	7.8	1.5	Below 10 sec.
ESE	8.4	1.7	7.4	1.3	
E	9.2	1.9	8.6	1.7	
ENE	11.8	2.3	9.6	1.7	

나. 죽변항

일본 기상청 자료중 격자번호 1714(죽변항)에서의 결과를 16 방위별로 유의 파고 H_s 에 대해 분석한 결과를 Table 2.2.8에, 그리고 평균주기 T_z 에 대해 분석한 결과를 Table 2.2.9에 각각 제시하였다. 16 방위중에서 죽변항의 정온도에 영

Table 2.2.8 Directional distribution of significant wave height hindcasted at grid point 1714 by JMA.

H_s \ Dir.	N	NE	E	SE	S	SW	W	WNW	NW	NNW	Total							
0.0 - 0.2	4	1	10	8	11	6				5	15	4				1	3	68
0.2 - 0.4	9	9	40	21	37	3	1	2	18	90	18					4	31	283
0.4 - 0.6	19	24	69	39	114	23	6	8	44	236	47	1	1	3	10	80	724	
0.6 - 0.8	36	40	119	52	111	21	11	13	28	285	53	5	3	4	23	94	898	
0.8 - 1.0	50	90	139	42	63	20	15	12	17	135	34	11	3	5	22	77	735	
1.0 - 1.2	59	105	107	37	46	28	10	11	11	51	7	4	2	5	31	78	592	
1.2 - 1.4	69	102	85	29	36	12	4	11	14	31	4	1	6	6	14	75	499	
1.4 - 1.6	76	97	86	20	21	6	5	6	4	9		1	3	10	11	76	431	
1.6 - 1.8	71	88	51	13	11	2	2	1	2	3	2	1	1	2	15	82	347	
1.8 - 2.0	61	80	33	9	4	3	2	1	4	5	2	2			21	59	286	
2.0 - 2.2	52	57	20	7	6	3		2		1		1	2	3	15	77	246	
2.2 - 2.4	55	55	23	6	6	1	1			3				1	12	39	202	
2.4 - 2.6	54	39	13	3	1					2				1	9	55	177	
2.6 - 2.8	47	32	6	2	4					1				1	12	43	148	
2.8 - 3.0	42	15	13					1		1				2	15	43	132	
3.0 - 3.2	39	14	3	2	1	1					1				6	28	95	
3.2 - 3.4	25	5	5		2										7	32	76	
3.4 - 3.6	14	12	3												4	17	50	
3.6 - 3.8	4	2		1											6	14	27	
3.8 - 4.0	6		2			1					1				6	1	17	
4.0 - 4.2	4	3	1												6	4	18	
4.2 - 4.4	1		1												1	5	8	
4.4 - 4.6		1	2	1											3		7	
4.6 - 4.8				1												1	2	
4.8 - 5.0	1		1							1	1					1	5	
5.0 - 5.2																		
5.2 - 5.4	1			1													2	
5.4 - 5.6	1		1														2	
5.6 - 5.8			1														1	
5.8 - 6.0										1							1	
6.0 - 6.2																		
6.2 - 6.4	1																1	
Total	801	871	834	294	474	130	57	68	147	870	174	27	21	43	254	1015	6080	
Permillage	132	143	137	48	78	21	9	11	24	143	29	4	3	7	42	167	1000	

(Numerals : numbers of occurrence)

Table 2.29 Directional distribution of mean wave period hindcasted at grid point 1714 by JMA.

T_z \ Dir.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
3.5 - 4.0	1	4	2	2	9	2			10	14	8	1	1			3	57
4.0 - 4.5	13	12	22	11	17	11	11	2	9	32	15	6	1	3	8	17	190
4.5 - 5.0	20	22	45	10	24	14	12	6	11	32	10	4	3	5	15	27	260
5.0 - 5.5	61	59	120	87	219	63	16	25	69	239	47	5	6	10	34	122	1182
5.5 - 6.0	79	121	132	59	92	20	12	22	15	121	27	4	6	10	33	157	910
6.0 - 6.5	118	156	154	54	66	11	2	7	13	103	18	4	1	4	35	154	900
6.5 - 7.0	155	167	130	26	24	3	3	3	5	73	11	3	2	2	33	166	806
7.0 - 7.5	120	167	112	19	9	1	1	2	2	68	13			5	26	154	699
7.5 - 8.0	114	80	55	10	5	1				26	7			2	23	89	412
8.0 - 8.5	67	42	42	6	3					20	3			1	21	66	271
8.5 - 9.0	31	21	13	5	3	3				17	4			1	15	33	146
9.0 - 10.0	7	7	3	1	1					17	1		1		8	14	60
10.0 - 10.5	7	9	2	2		1				20	4				2	7	54
10.5 - 11.0	2	3								12	2					4	23
11.0 - 11.5	3	1			1				2	14	2					1	24
11.5 - 12.0	1			1	1				1	6	1				1	1	13
12.0 - 12.5	1								2	12	1						16
12.5 - 13.0										7							7
13.0 - 13.5			1	1						8							10
13.5 - 14.0			1						4	7							12
14.0 - 14.5									1	5							6
14.5 - 15.0																	
15.0 - 15.5								1		3							4
15.5 - 16.0	1								2	7							10
16.0 - 16.5									1	3							4
16.5 - 17.0																	
17.0 - 17.5										2							2
17.5 - 18.0																	
18.0 - 18.5																	
18.5 - 19.0																	
19.0 - 19.5										2							2
Total	801	871	834	294	474	130	57	68	147	870	174	27	21	43	254	1015	6080
Permillage	132	143	137	48	78	21	9	11	24	143	29	4	3	7	42	167	1000

(Numerals : numbers of occurrence)

향을 미치는 파향으로는 항만의 평면배치와 항 주변의 해안선 형태를 고려하여 SSE, SE, ESE 및 E의 4개를(Fig. 2.2.8 참조) 선정하였다.

선정된 SSE~E의 4개 파향별 파랑자료의 T_z 와 H_s 의 관계를 알아보기 위하여 가로축을 T_z (sec), 세로축을 H_s (m)로 하여 Fig. 2.2.9~2.2.12에 각각 도시하였다. 이 그림들중에서 파향 E에 대한 Fig. 2.2.11을 제외하면 대체로 가운데가 출현빈도가 높은 타원형을 이루고 있어서 T_z 와 H_s 의 관계식을 구하기에 양호한 분포를 나타내고 있다.

Fig. 2.2.9~2.2.12에 도시된 각 파향별 자료 전체에 대해 선형회귀법을 사용하여 T_z 와 H_s 간의 관계식을 구하여 Table 2.2.10에 제시하였다. 한편, Table 2.2.8에서 4개 파향 SSE, SE, ESE 및 E에 대한 년중 5% 출현률의 파고를 구하면 모두 1.9 m가 되며, 이 값을 Table 2.2.6에 제시된 식의 H_s 에 대입하면 T_z 는 SSE~E에 대해 각각 6.89, 7.73, 7.33 및 7.96 sec가 된다. 그리고, 년중 10% 출현률의 경우 SSE~E에 대해 H_s 가 모두 1.5 m, T_z 가 각각 6.23, 6.53, 6.47 및 7.01 sec가 된다. 이들을 다시 T_z 와 $T_{H_{1/3}}$ 에 대하여 Goda(1985)가 제시한 관계식 $T_{H_{1/3}} = (0.9-1.4) T_z \approx 1.15 T_z$ 에 대입하면 년중출현률 5%의 경우 $T_{H_{1/3}}$ 은 각각 7.92(\approx 8.00), 8.89(\approx 8.80), 8.43(\approx 8.40) 및 9.15(\approx 9.20) sec가 된다. 그리고, 년중출현률 10%의 경우 5개 파향에 대해 $T_{H_{1/3}}$ 은 각각 7.16(\approx 7.20), 7.51(\approx 7.60), 7.44(\approx 7.40) 및 8.06(\approx 8.00) sec가 된다. 이들을 정리한 5% 및 10% 출현률의 평상파 입력조건을 Table 2.2.11에 제시하였다.

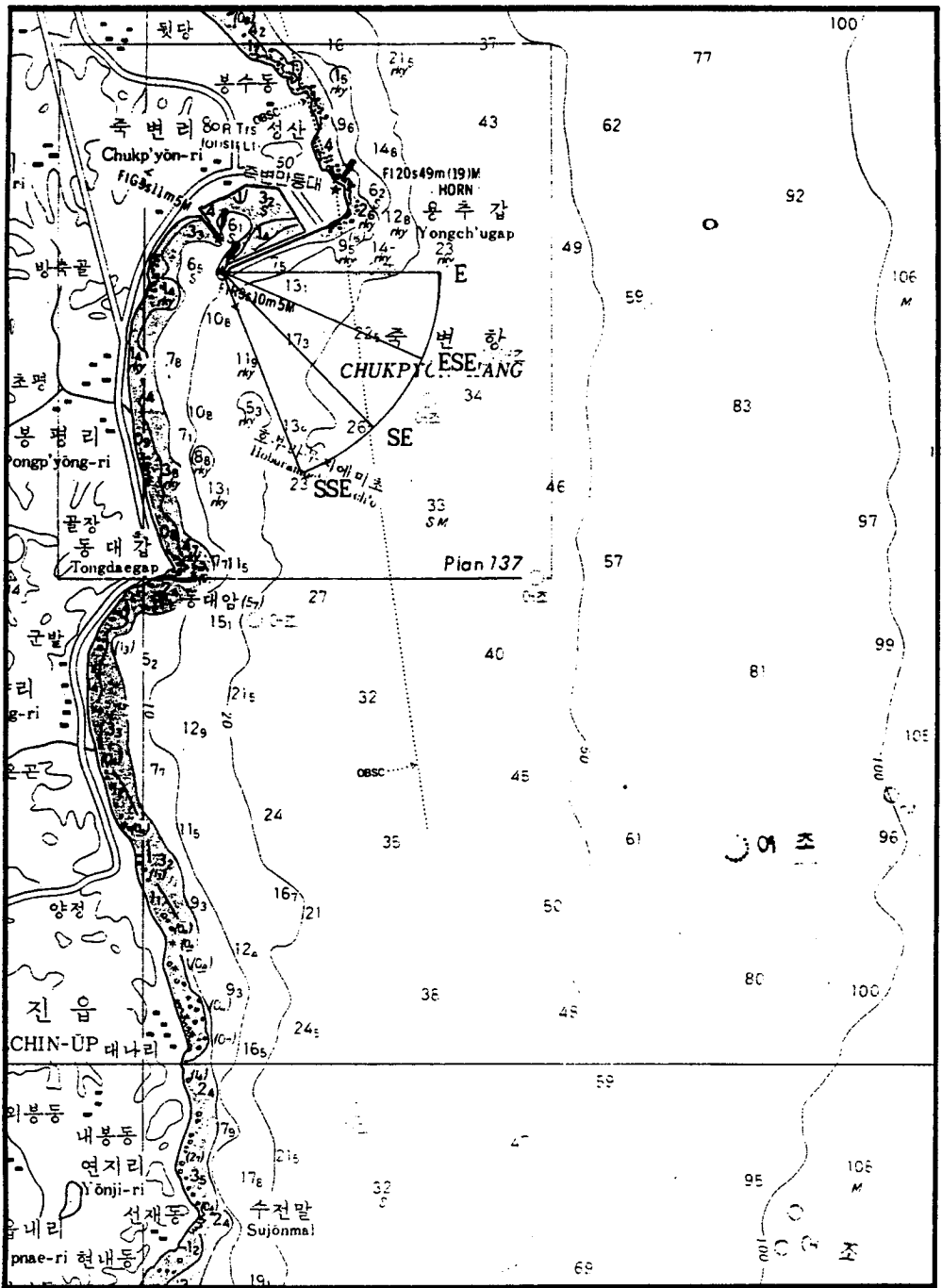


Fig. 2.2.8 Predominant wave directions for harbor tranquility analyses in Chukpyon Harbor.

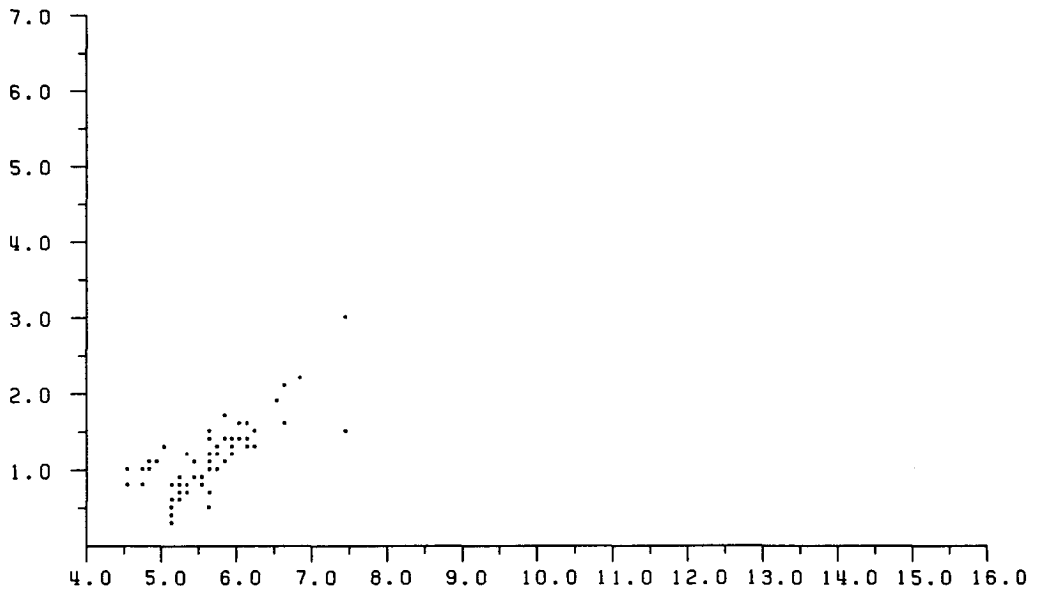


Fig. 2.2.9 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SSE.

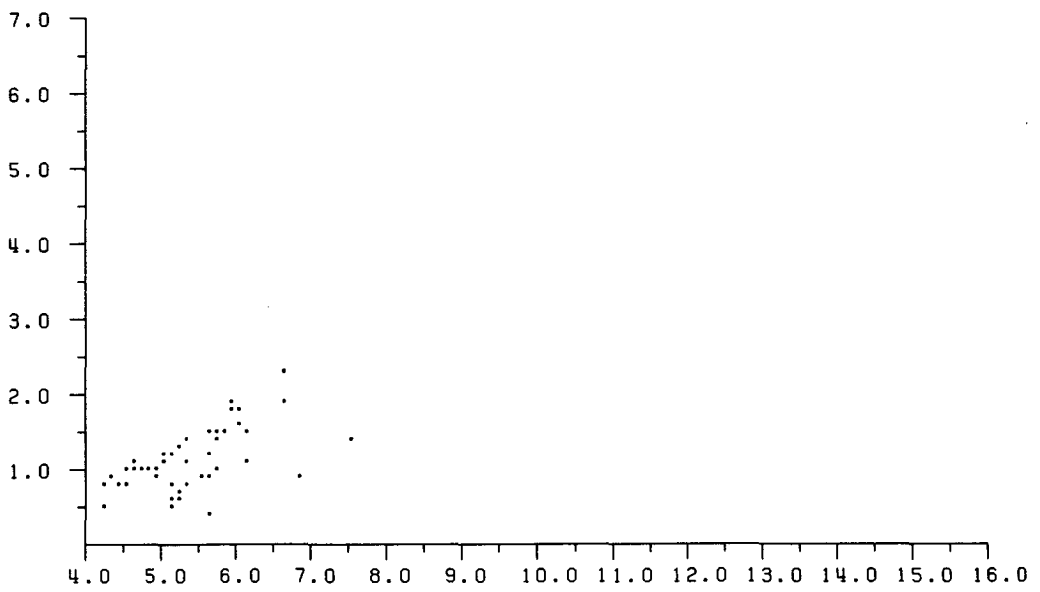


Fig. 2.2.10 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction SE.

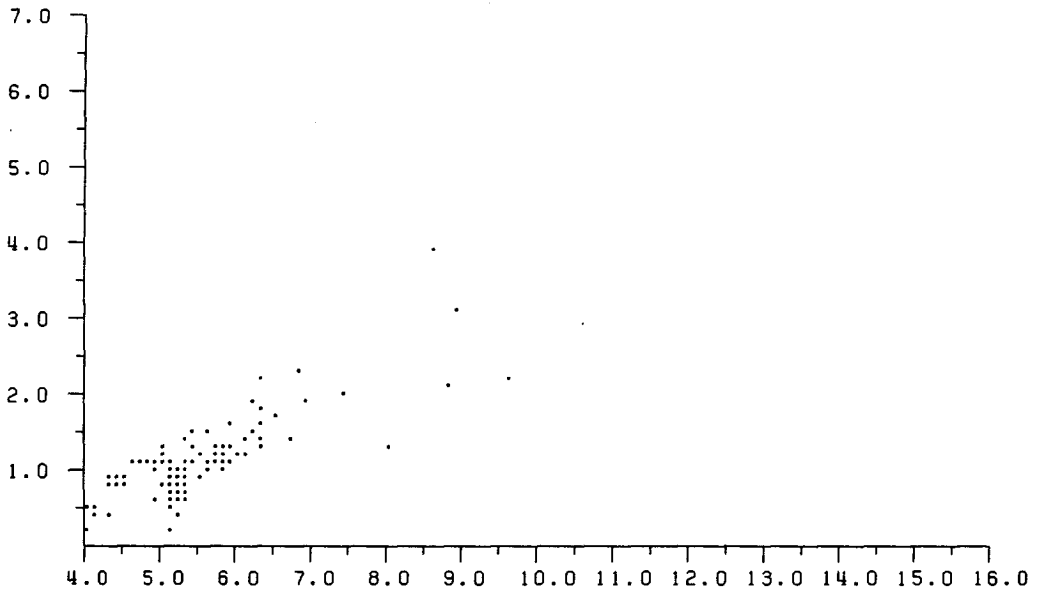


Fig. 2.2.11 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction ESE.

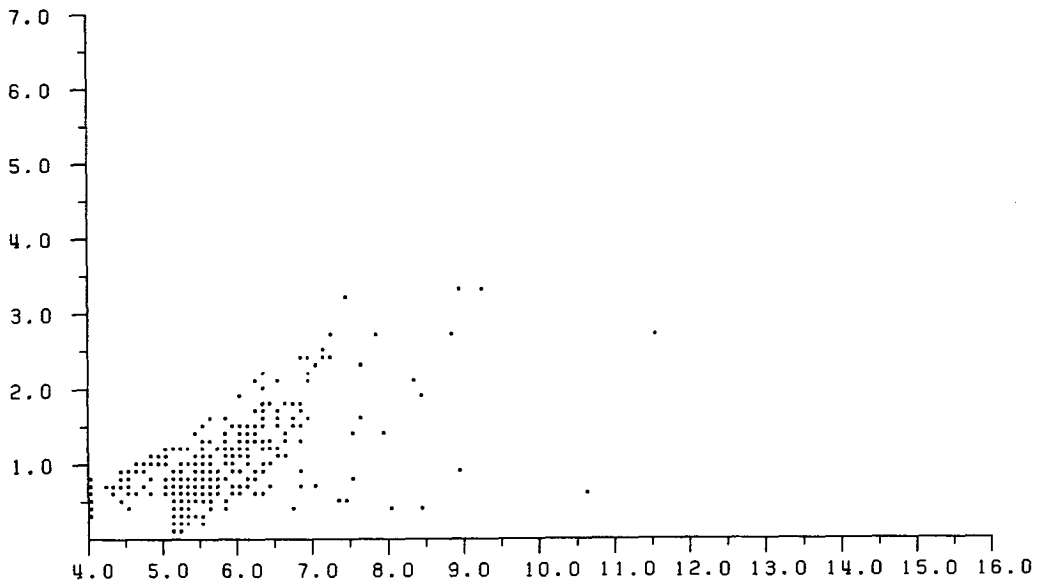


Fig. 2.2.12 Scatter plot of H_s versus T_z in wave direction E.

Table 2.2.10 Formulas for significant wave height corresponding T_z in wave directions.

Direction	Formula
SSE	$H_s = 0.605T_z - 2.268$
SE	$H_s = 0.333T_z - 0.673$
ESE	$H_s = 0.467T_z - 1.522$
E	$H_s = 0.419T_z - 1.437$

Table 2.2.11 Wave heights and periods of 5 and 10 percent occurrence of highest waves in predominant wave directions over one year at Chukpyon Harbor.

Wave direction	5 % occurrence		10 % occurrence		Remarks
	$T_{H_{1/3}}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{H_{1/3}}$ (sec)	$H_{1/3}$ (m)	
SSE	8.0	1.9	7.2	1.5	
SE	8.8	1.9	7.6	1.5	
ESE	8.4	1.9	7.4	1.5	
E	9.2	1.9	8.0	1.5	

제3절 단주기와 현장관측 및 분석

본 연구의 제 2차년도에 관측이 실시된 동해항의 인근에 위치한 묵호항, 그리고 울진 원자력발전소 부근에 위치한 죽변항에서 단주기 불규칙파 현장관측을 실시하였다. 항의 입사경계에서의 파의 통계적 및 구조적 특성, 그리고 파랑의 항내 전파·변화 특성을 파악하고 불규칙파 수치모형의 입력 및 검증자료를 제공하기 위하여 각 항별로 2대의 부이형 파고·파향계(Directional Waverider Buoy)를 이용하여 수치모형의 입력경계 부근의 항외 1개 정점에서 단주기파 고정관측, 그리고 항내·외 다수의 지점에서 이동관측을 실시하였다.

1. 현장관측

가. 묵호항

동계(1993년 3월 하순)와 하계(7월 초순)에 묵호항에서 수치모형의 입력경계 부근의 항외 1개 정점에서 불규칙파 고정관측을 실시하였다. 그러나, 이동관측의 경우 동계에서는 항내·외 11개 지점에서 실시하였으나 하계에서는 파랑조건이 적절하지 못하여(입사파고와 주기가 작음) 실시하지 못하였다. 관측지점들의 위치를 Fig. 2.3.1[그림중에서 WW(129° 08' 06" E, 37° 32' 26" N)는 동계의 고정관측 정점, SW(129° 08' 20" E, 37° 31' 57" N)는 하계의 고정관측 정점, W1~W10 및 W13은 동계의 이동관측 지점

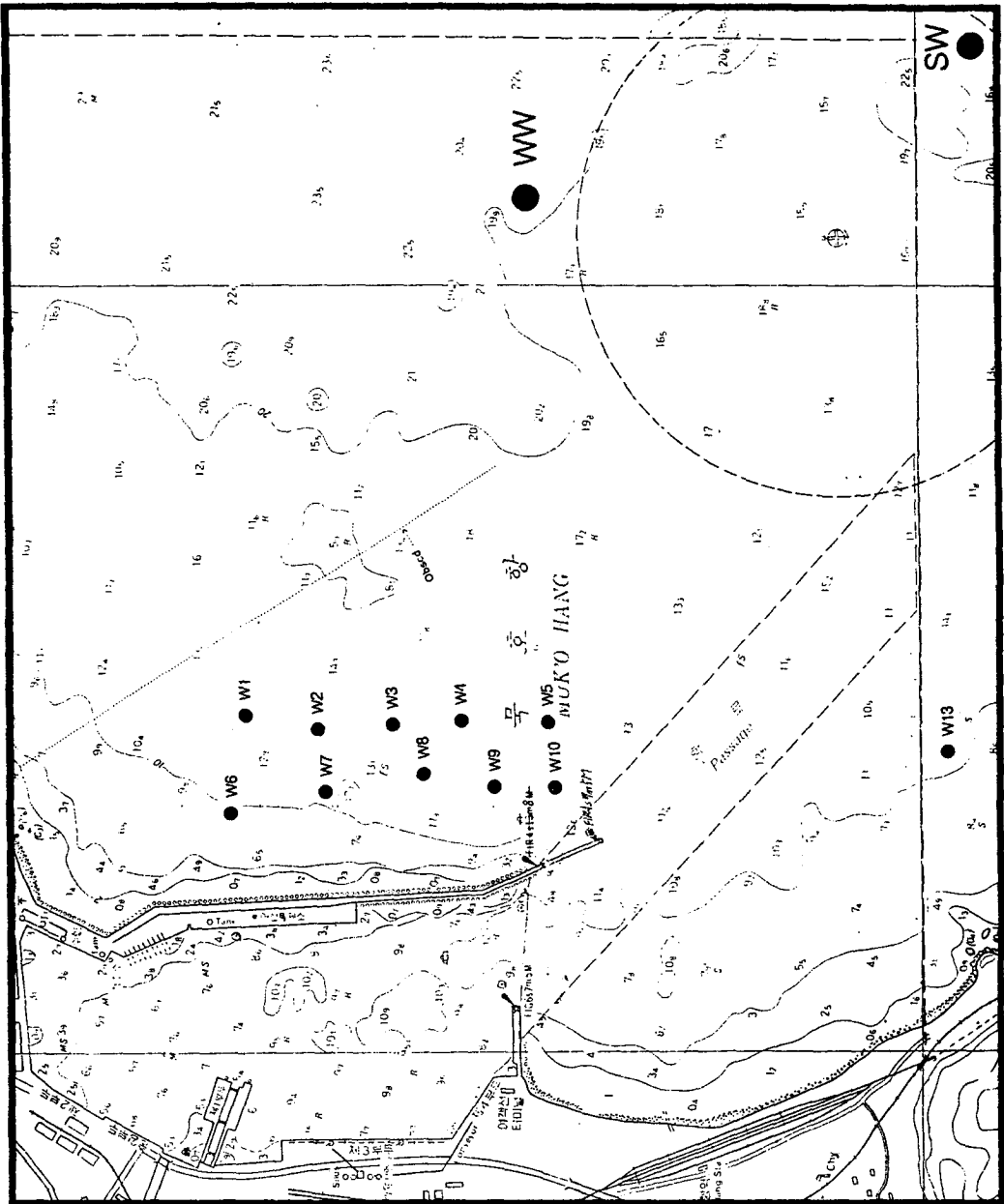


Fig. 2.3.1 Location map of short-wave measurements around Muko Harbor.

을 각각 나타냄]에 도시하였는 데 하계에는 파향 SE 계열의 파의 출현률이 높을 것으로 생각되어 수치모형 격자망도에서 이를 반영하는 것이 용이하도록 정점을 약간 남쪽으로 이동시켰다. 그리고, 관측기간 및 관측성과를 Table 2.3.1에 제시하였으며, 이 표의 정점관측시의 기록누락에는 이동관측 실시(동계의 경우)로 자료가 이동관측 항목에 포함되거나 정전 등으로 인한 결측 및 잡음(noise)으로 인한 자료 불량 등을 포함하였다.

Table 2.3.1 Periods of short-wave measurements around Muko Harbor.

Season	Item	Periods of measurement	Numbers of data	No. of badness	Remarks
Winter	Fixed	1993. 3.18 ~ 3.21	72	15	Hourly measu.
	Moving	1993. 3.19 ~ 3.20	11	-	
Summer	Fixed	1993. 7. 7 ~ 7.12	113	10	Hourly measu.

1) 정점관측

정점관측 지점은 목호항 주변해역의 파를 대표할 수 있으며, 선박의 통행에 별다른 지장을 주지 않고, 또 항주파(ship-generated wave) 등의 영향이 비교적 적은 곳을 선정하였다. 즉, 동계의 경우 북방파제 선단에서 동쪽으로 약 1.2 km 떨어진 지점(Fig. 2.3.1에서 WW, 평균해면기준 수심 약 20.0 m), 하계의 경우 이보다 남쪽으로 약 500 m 떨어진 지점(Fig. 2.3.1에서 SW, 수심 약 17.0 m)을 선정하고 네덜란드 Datawell사의 부이형 파고·파향계를 계류하여 현장관측을 실시하였다. 관측기간은 Table 2.3.1에 나타난 바와 같으며 관측은 매시간마다 0.78125초 간격으로 2,048개(약 26.7

분)씩의 해수위 자료(상하이동, heave) 및 2 개의 파향에 관한 자료(전후이동, surge; 좌우이동, sway)가 수집되도록 실시되었다. 매회의 관측치들은 수신기인 WAREC에 수신된 후 자료전송 케이블을 통하여 휴대용 컴퓨터의 하드 디스크에 디지털 형태로 저장되었다.

2) 이동관측

항외로부터 항내로 전파되는 파는 수심변화 등에 의한 천수·굴절·반사, 구조물에 의한 회절·반사 및 항내에서의 다중반사 등의 영향을 받는다. 수심 변화에 따른 파랑의 변형 및 방파제 전면에서의 파고 및 파향 분포를 파악함으로써 불규칙파 수치모형의 검증자료로 사용하기 위하여 동계에 항내·외 11개 지점(Fig. 2.3.1에서 W1~W10, W13)에서 1993년 3월 19일과 20일의 2일 동안 2대의 파고·파향계를 사용하여 이동관측을 실시하였다. 이동관측중에는 항외의 정점에서도 동일한 시각에 고정관측이 수행되었으며, 기타 관측기기, 관측방법, 자료수집 간격 및 자료갯수 등은 고정관측의 경우와 동일하다.

나. 죽변항

동계(1993년 1월)에 죽변항에서 수치모형의 입력경계 부근의 항외 1개 정점에서 불규칙파 고정관측을, 항내·외 19개 지점에서 이동관측을 실시하였다. 그리고, 하계(1993년 7~8월)에는 동 기간중의 파랑 특성을 파악하기 위하여 죽변항 단주기파 수치모형의 입사경계 부근에서 약 1개월간 불규칙파 정점관측을 실시하였다. 관측지점들의 위치를 Fig. 2.3.2[그림중에서 WW(129° 26' 29" E, 37° 02' 59" N)는 동계의 고정관측 정점, SW(129°

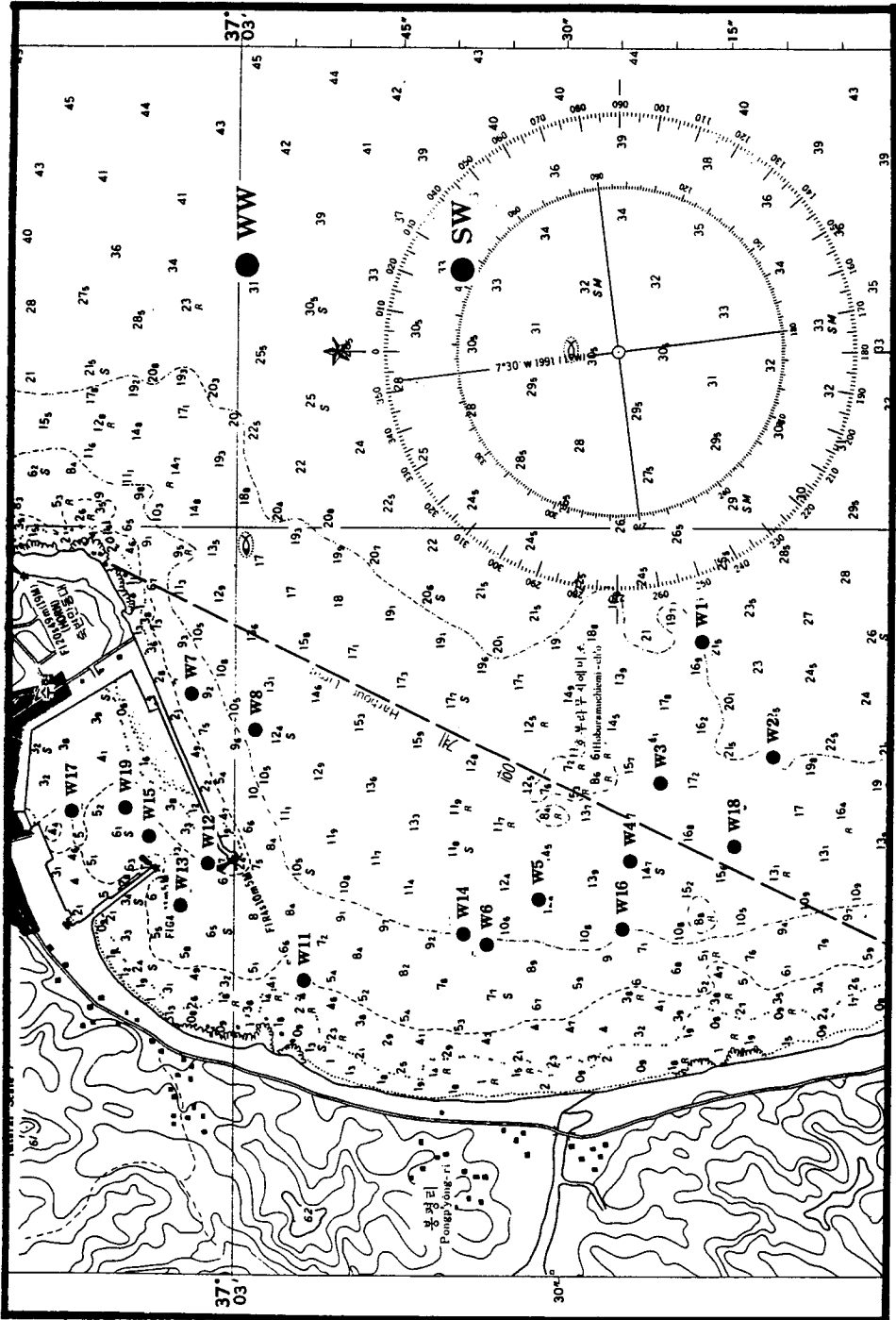


Fig. 2.3.2 Location map of short-wave measurements around Chukpyon Harbor.

26' 28" E, 37° 02' 39" N)는 하계의 고정관측 정점, 그리고 W1~W8, W11~W19는 동계의 이동관측 지점]에 도시하였다. 그리고, 관측기간 및 관측성과를 Table 2.3.2에 제시하였으며, 이 표의 정점관측시의 기록누락에는 목호항의 경우와 동일하게 이동관측 실시로 자료가 이동관측 항목에 포함되거나 정전 등으로 인한 결측 및 잡음(noise)으로 인한 자료 불량 등을 포함하였다. 이동관측시의 2개소의 기록누락은 실제 자료의 누락이 아니라 관측시 위치측정기기인 GPS(Global Positioning System)의 수신 상태가 불량하여 관측지점을 정확하게 파악하지 못한 점에서 기인된다.

Table 2.3.2 Periods of short-wave measurements around Chukpyon Harbor.

Season	Item	Periods of measurement	Numbers of data	No. of badness	Remarks
Winter	Fixed	1993. 1. 8 ~ 1.18	234	17	Hourly measu.
	Moving	1993. 1.10 ~ 1.17	19	2	
Summer	Fixed	1993. 7.22 ~ 8.26	280	51	Every 3 hours

1) 정점관측

정점관측 지점은 죽변항 주변해역의 파를 대표할 수 있는 곳을 선정하였다. 즉, 동계의 경우 북방파제 선단에서 동쪽으로 약 1.5 km 떨어진 지점(Fig. 2.3.2에서 WW, 평균해면기준 수심 약 27.0 m)을, 그리고 하계의 경우 이보다 남쪽으로 약 600 m 떨어진 지점(Fig. 2.3.2에서 SW, 수심 약 33.0 m)을 선정하고 부이형의 파고·파향계를 계류하여 현장관측을 실시하였다. 관측기간은 Table 2.3.2에 나타난 바와 같으며 관측은 동계의 경우

목호항의 경우와 동일하게 매시간마다, 그리고 하계의 경우 매 3시간마다 0.78125초 간격으로 2,048개(약 26.7분)씩의 해수위 자료 및 2 개의 파향에 관한 자료가 수집되도록 실시되었다. 매회의 관측치들은 WAREC에 수신된 후 자료전송 케이블을 통하여 컴퓨터의 하드 디스크에 디지털 형태로 저장되었다.

2) 이동관측

불규칙파 수치모형의 검증자료로 사용하기 위하여 동계에 항내·외 19 개 지점(Fig. 2.3.2에서 W1~W19, 단 W9는 위치가 부정확한 것으로 판단되며 W10은 위치를 확인하지 못하여 제외)에서 1993년 1월 10일, 12일 및 17일의 3일 동안 2대의 파고·파향계를 사용하여 이동관측을 실시하였다. 관측기기, 관측방법, 자료수집 간격 및 자료갯수 등은 목호항의 경우와 마찬가지로 고정관측과 동일하다.

2. 자료 처리

파랑기록중 파고와 주기 등의 분석방법은 해양관측편람(해양연구소, 1984) 및 본 연구의 제 2차년도 보고서(과학기술처, 1992)에 자세히 수록되어 있다. 자료의 분석시에는 personal computer에 저장된 1회 26.7분간의 연속된 2,048개씩의 해수위 및 파향에 관한 자료를 사용하였다.

파고 및 주기의 분석에는 평균파법인 zero up-crossing method를 이용한 통계적 분석 및 스펙트럼 기법을 사용하였다. 스펙트럼 분석시에는 rectangular window function에 1/8 cosine taper를 사용하였으며 자유도는

20으로 하였다.

파향에 대해서는 정점관측자료에는 2차년도에 사용한 바 있는 LHM(Longuet-Higgins et al., 1963)을, 그리고 이동관측자료에는 LHM 대신에 Kobune와 Hashimoto(1986), 오 등(1992)에 의한 MEM(Maximum Entropy Method)을 사용하여 분석, 정리하였다. 2차년도에 조류나 반사파의 영향이 강한 지역에서는 EMLM(Extended Maximum Likelihood Method)의 사용을 추천한 바 있으나 본 연구에서는 이와 성능이 거의 동일한 MEM을 사용하였다. 실제로 EMLM과 MEM을 모두 사용해본 결과 큰 차이가 없음을 확인하였다.

3. 분석 결과

가. 정점관측

1) 목호항

- 동계

조사지역의 주변해역에서 발생되었던 파는 대부분 바람에 의해 지역적으로 생성, 발달되어 전파해온 풍파(wind-generated gravity waves)로 판단된다. 동계에 WW지점에서 1시간 간격으로 26.7분씩 관측된 자료들을 분석하여 유의파고($H_{1/3}$)와 유의파주기($T_{H_{1/3}}$)의 시간적 변화를 Fig. 2.3.3에, 그리고 주요 파랑특성계수들을 부록의 Table A.1.1에 제시하였다. 한편, 이동관측이 실시되는 동안 WW에서 관측된 파랑의 분석 결과는 이동관측

의 분석 결과에 포함시켰다. 이 표의 유의파고의 시간적 변화를 살펴보면 2.5 m에서 0.4 m로 점진적 감소를 나타내어 폭풍파가 감쇠되고 있는 시기의 관측임을 알 수 있다. 또한, 표에 제시된 파향(Dir.)을 살펴보면 대부분이 NE(45.0°)~ENE(67.5°) 사이에 분포하고 있으므로 비록 관측기간이 짧기는 하나 동계의 주된 파향이 이러한 방향일 것으로 추측할 수 있다.

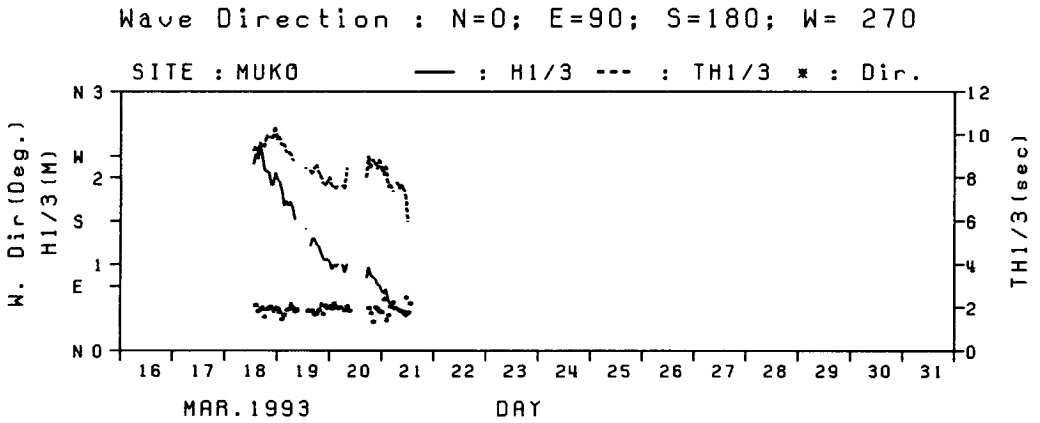
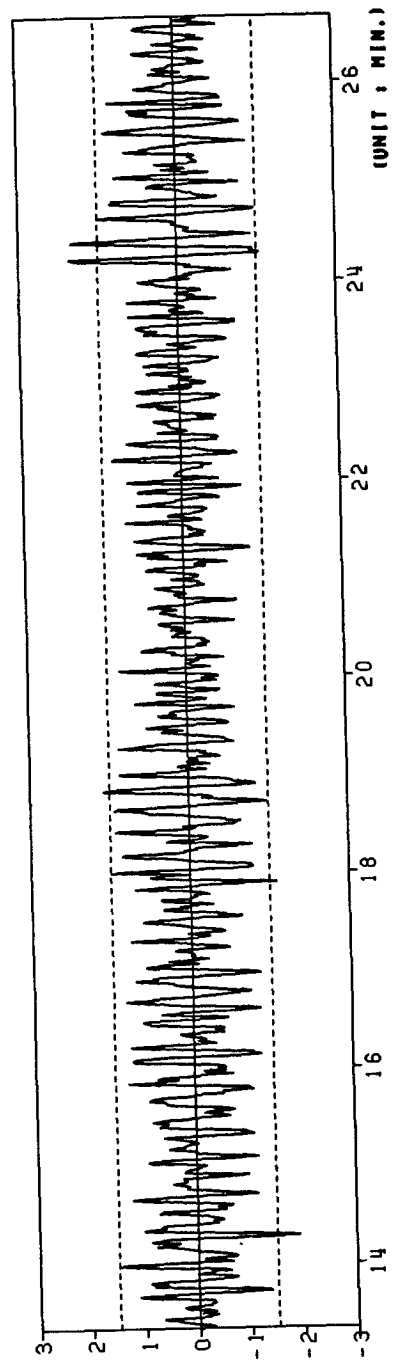
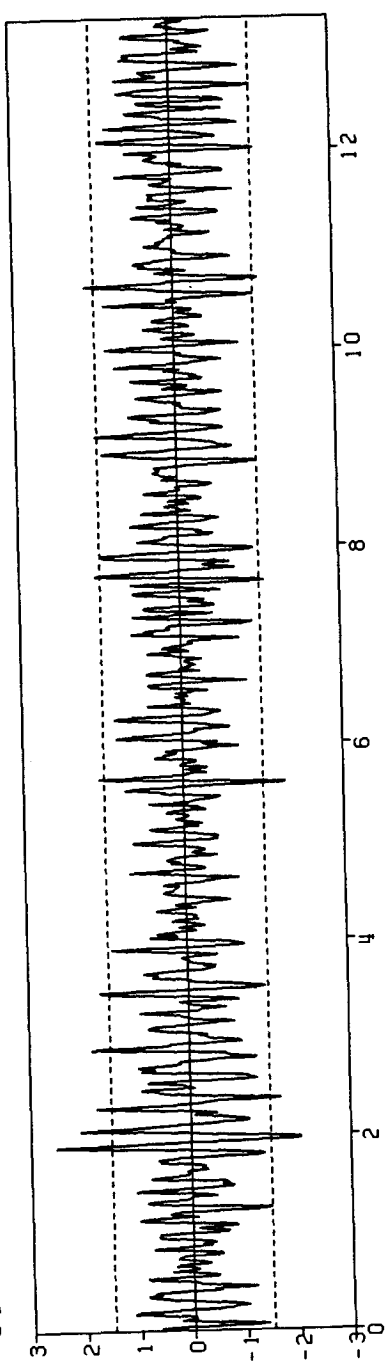


Fig. 2.3.3 Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station WW of Muko Harbor in winter.

한편, 부록의 Table A.1.1을 살펴보면 관측기간중의 최대파고는 3월 18일 17시의 4.69 m였으며, 이 때의 유의파고 $H_s = 2.52$ m, 평균주기 $T_z = 7.25$ sec였다. 한편, 유의파고가 최대인 때도 최대파고가 최대인 때와 동일한 것으로 나타났다. 위 자료의 최대파고에 대한 유의파고의 비는 1.86 정도로 이는 Horikawa(1978)가 제시한 최대파고와 유의파고의 관계식 $H_{max} / H_{1/3} = 1.07 \sqrt{\log_{10} N}$ ($N = 351$; N 은 파의 수)으로 계산한 1.71보다 약간 크다. 3월 18일 17시에 관측된 26.7분간의 파고의 시계열 변화를 Fig. 2.3.4에 도시하였다.

93 03 18 17:00

SITE : MUKO



(UNIT : MIN.)

TIME SERIES OF WAVE DATA

Fig. 2.3.4 Time series of short-wave data measured at station WW of Muko Harbor(17:00 3/18/93).

3월 18일 17시의 관측자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 분석 결과를 Fig. 2.3.5에 도시하였다. 이 그림중 (a)는 351개의 파고를 그 기록의 자승평균평방근 파고(root mean square wave height)로 무차원화시키고 이 무차원화된 파고들의 분포를 Rayleigh 분포곡선과 함께 도시한 것인데 그림에서 보는 바와 같이 Rayleigh 분포와 잘 맞지 않는 것으로 나타났다. 이로부터 Rayleigh 분포의 가정과는 달리 스펙트럼 폭이 넓은 파랑이 관측되었음을 알 수 있다. 그림중 (b)는 JONSWAP 스펙트럼과 비교한 것으로 이와는 대체로 양호한 일치를 나타낸다.

동 자료를 DIWAP(파향분석법: LHM)으로 처리한 결과중 스펙트럼 밀도와 파향 및 파향의 분산도(directional spreading)를 Fig. 2.3.6에 제시하였는데 그림중에 제시된 * 표시는 대표 파향(그림중 우측의 index 기준)을 나타내며 숫자는 파향 분산도를 나타낸다. 파향은 0° 가 N을 나타내고 시계 방향으로 증가하며(예를 들면 $E = 90^\circ$), 관측자료에서 제시된 자북과 도북의 차이가 반영되었다.

- 하계

하계의 경우도 조사지역의 주변해역에서 발생되었던 파는 대부분 바람에 의해 지역적으로 생성, 발달되어 전파해온 풍파로 판단된다. 하계에 SW지점에서 1시간 간격으로 26.7분씩 관측된 자료들을 분석하여 유의파고($H_{1/3}$)와 유의파주기($T_{H_{1/3}}$)의 시간적 변화를 Fig. 2.3.7에, 그리고 주요 파랑 특성계수들을 부록의 Table A.1.2에 제시하였다. 이 기간의 유의파고의 변화를 살펴보면 0.3~0.4 m로 일정하다가 3월 8일 밤부터 약간 증가하고 있으며, 이 시기에 파향이 ESE(112.5°)~E(90°)에서 N(0°)~NE(45°)로

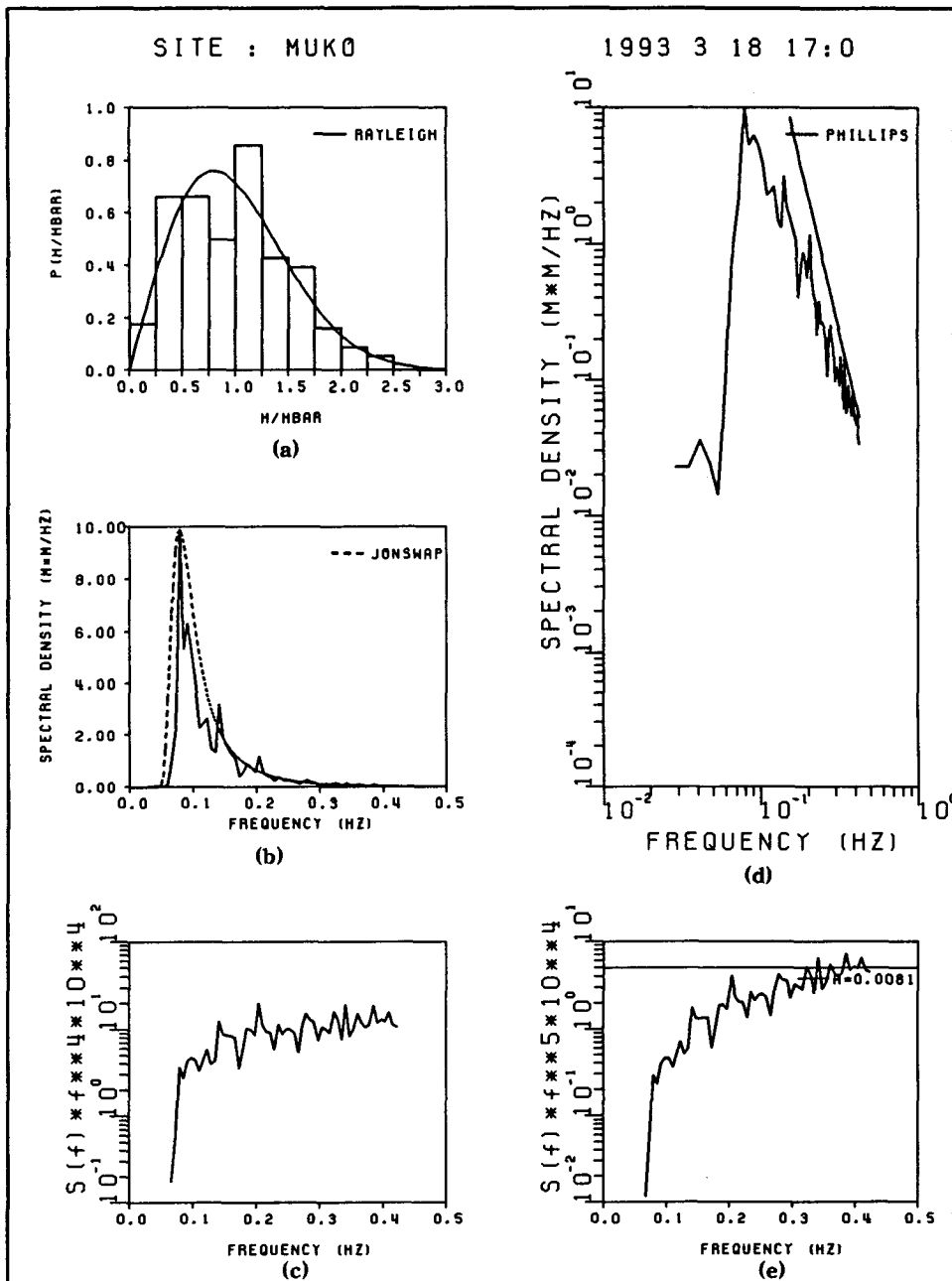


Fig. 2.3.5 Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station WW of Muko Harbor(17:00 3/18/93).

상당히 달라진 것을 알 수 있다. 이로부터 비록 유의파고와 유의파주기가 작기는 하나 하계에는 ESE~E 방향의 파가 상당히 생성되는 것으로 판단된다.

부록의 Table A.1.2를 살펴보면 관측기간중의 최대파고는 7월 9일 1시의 1.19 m였으며, 이 때의 유의파고 $H_s = 0.69$ m, 평균주기 $T_z = 3.83$ sec였다. 한편, 유의파고가 최대인 때도 동계와 마찬가지로 최대파고가 최대인 때와 동일한 것으로 나타났다. 위 자료의 최대파고에 대한 유의파고의 비는 1.72 정도로 이는 Horikawa(1978)에 의한 식 $H_{max} / H_{1/3} = 1.07 \sqrt{\log_{10} N}$ ($N = 481$)으로 계산한 1.75보다 약간 작다. 7월 9일 1시에 관측된 26.7분간의 파고의 시계열 변화를 Fig. 2.3.8에 도시하였다.

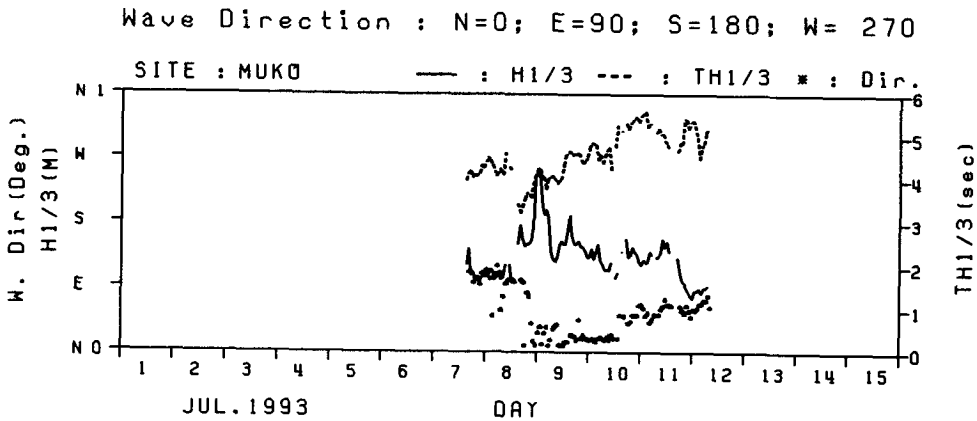
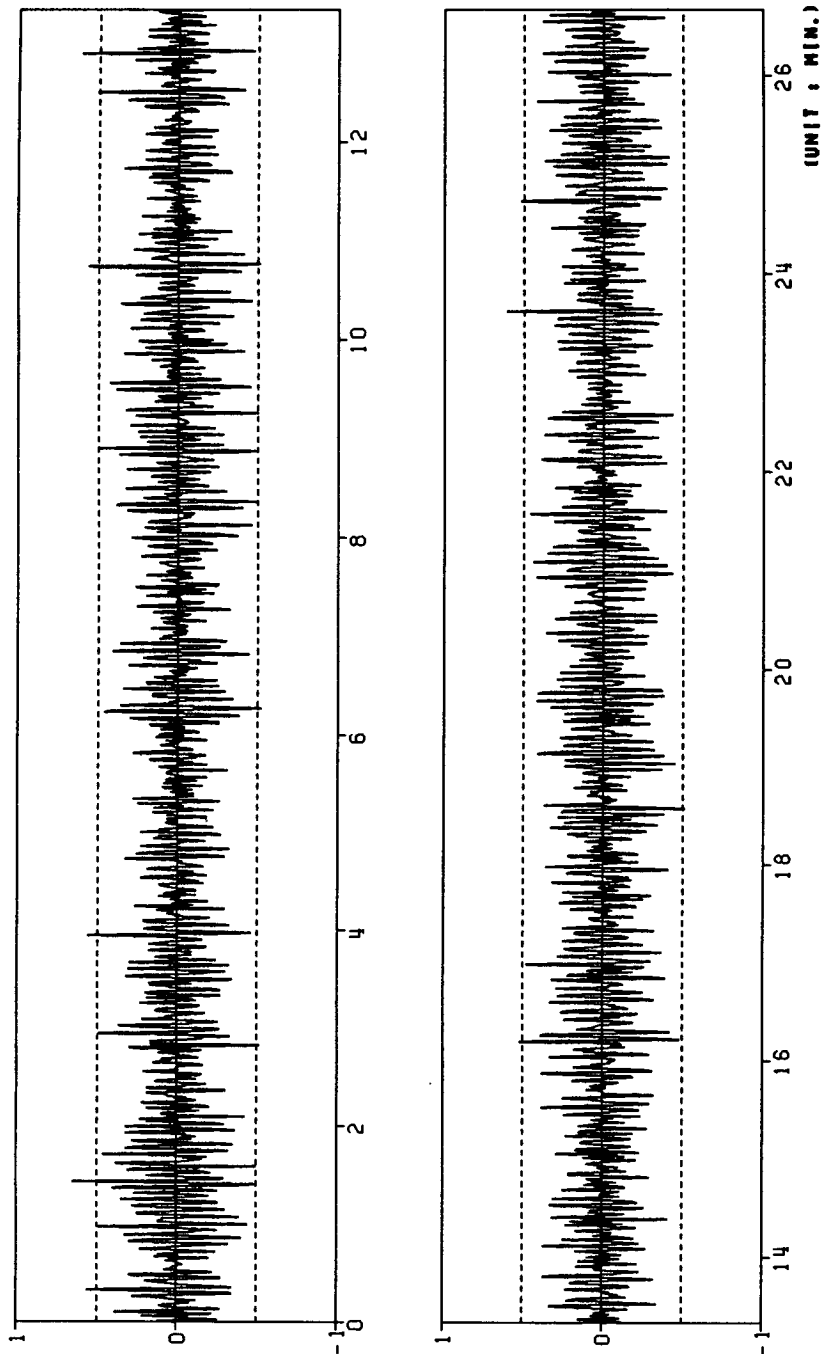


Fig. 2.3.7 Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station SW of Muko Harbor in summer.

7월 9일 1시의 관측자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 분석 결과를 Fig. 2.3.9에 도시하였다. 이 그림중 (a)는 481개의 파고를 그 기록

SITE : MUKO

93 07 09 01:00



TIME SERIES OF WAVE DATA

(UNIT : MIN.)

Fig. 2.3.8 Time series of short-wave data measured at station SW of Muko Harbor(1:00 7/9/93).

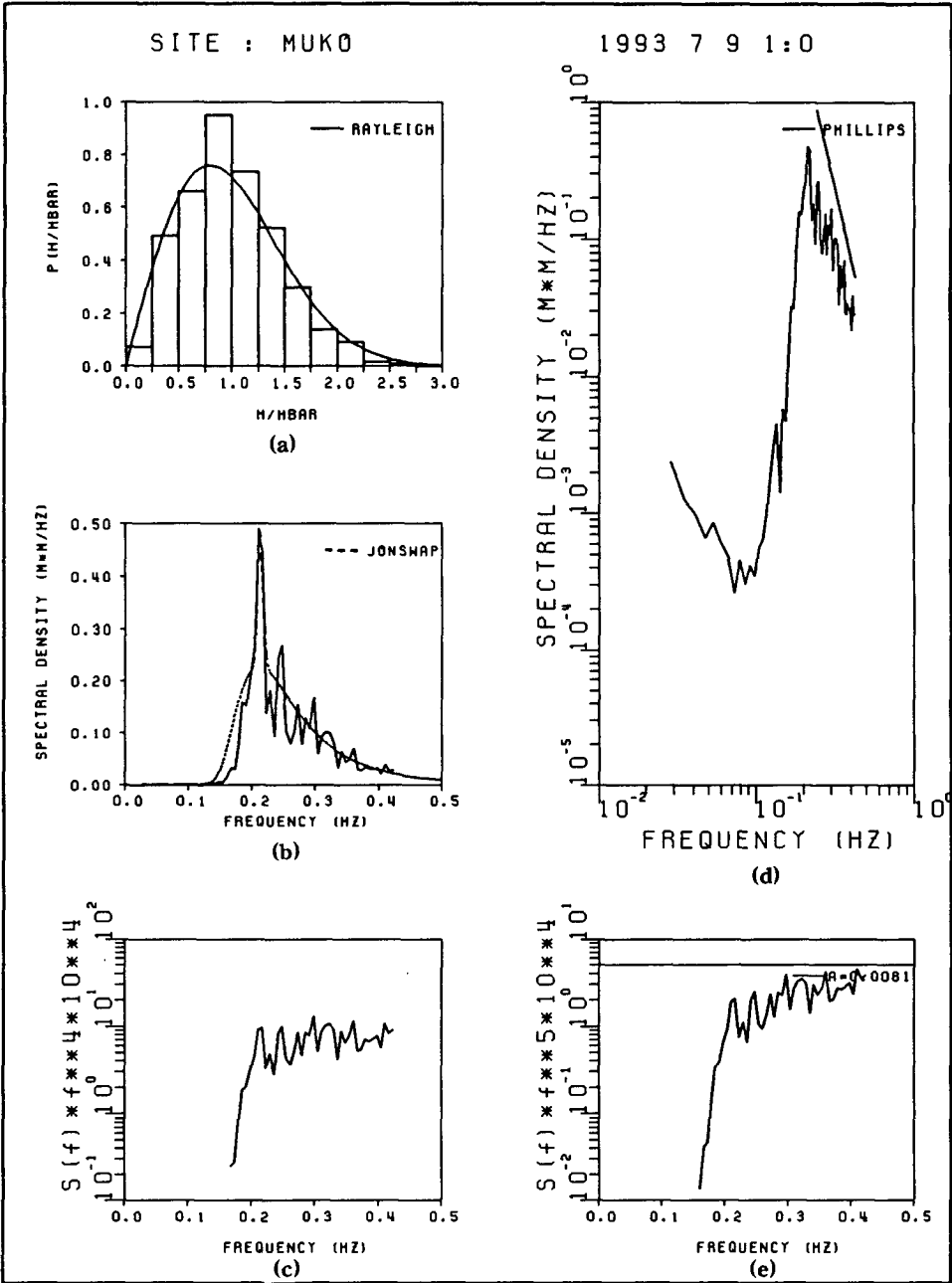


Fig. 2.3.9 Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station SW of Muko Harbor(1:00 7/9/93).

의 자승평균평방근 파고로 무차원화시키고 이 무차원화된 파고들의 분포를 Rayleigh 분포곡선과 함께 도시한 것인데 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로 Rayleigh 분포와 잘 맞지 않는 것으로 나타났다. 이로부터 동계와 마찬가지로 하계에서도 Rayleigh 분포의 가정과는 달리 스펙트럼 폭이 넓은 파랑이 관측되었음을 알 수 있다. 그림중 (b)는 JONSWAP 스펙트럼과 비교한 것으로 이와도 상당한 차이를 나타낸다.

동 자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 밀도와 파향 및 파향의 분산도를 Fig. 2.3.10에 제시하였는데 동계의 경우와 동일하게 그림중에 제시된 * 표시는 대표 파향을 나타내며 숫자는 파향 분산도를 나타낸다.

2) 측면향

- 동계

측면향 동계의 경우도 조사지역의 주변해역에서 발생되었던 파는 대부분 바람에 의해 지역적으로 생성, 발달되어 전파해온 풍파로 판단된다. 동계에 WW지점에서 1시간 간격으로 26.7분씩 관측된 자료들을 분석하여 유의파고($H_{1/3}$)와 유의파주기($T_{H_{1/3}}$)의 시간적 변화를 Fig. 2.3.11에, 그리고 주요 파랑특성계수들을 부록의 Table A.1.3에 제시하였다. 한편, 이동관측이 실시되는 동안 WW에서 관측된 파랑의 분석 결과는 이동관측의 분석 결과에 포함시켰다. 이 표를 살펴보면 파향이 대체로 NNE(22.5°)~ENE(67.5°) 사이에 분포하나 3월 9일에는 대부분 E 방향이었다.

부록의 Table A.1.3을 살펴보면 관측기간중의 최대파고는 1월 16일 16

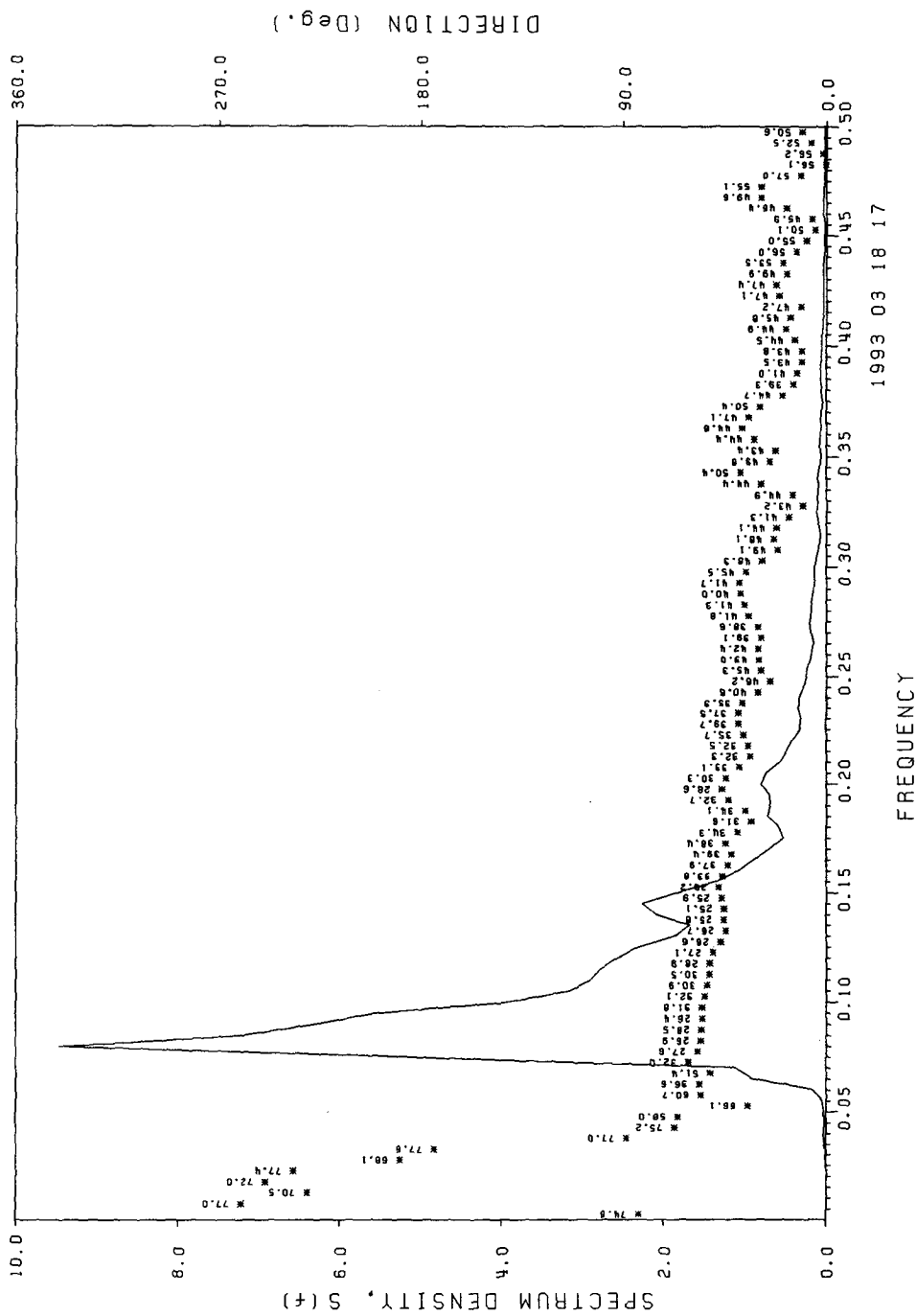


Fig. 2.3.10 Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station SW of Muko Harbor(1:00 7/9/93).

시의 8.16 m였으며, 이 때의 유의파고 $H_s = 4.88$ m, 평균주기 $T_z = 8.30$ sec였다. 한편, 유의파고가 최대인 때는 1월 16일 13시의 5.04 m로 나타났다. 위 자료의 최대파고에 대한 유의파고의 비는 1.67로 이는 Horikawa(1978)가 제시한 최대파고와 유의파고의 관계식 $H_{max} / H_{1/3} = 1.07 \sqrt{\log_{10} N}$ ($N = 295$; N 은 파의 수)에 의한 1.68보다 약간 작다. 1월 16일 16시에 관측된 26.7분간 파고의 시계열 변화를 Fig. 2.3.12에 도시하였다.

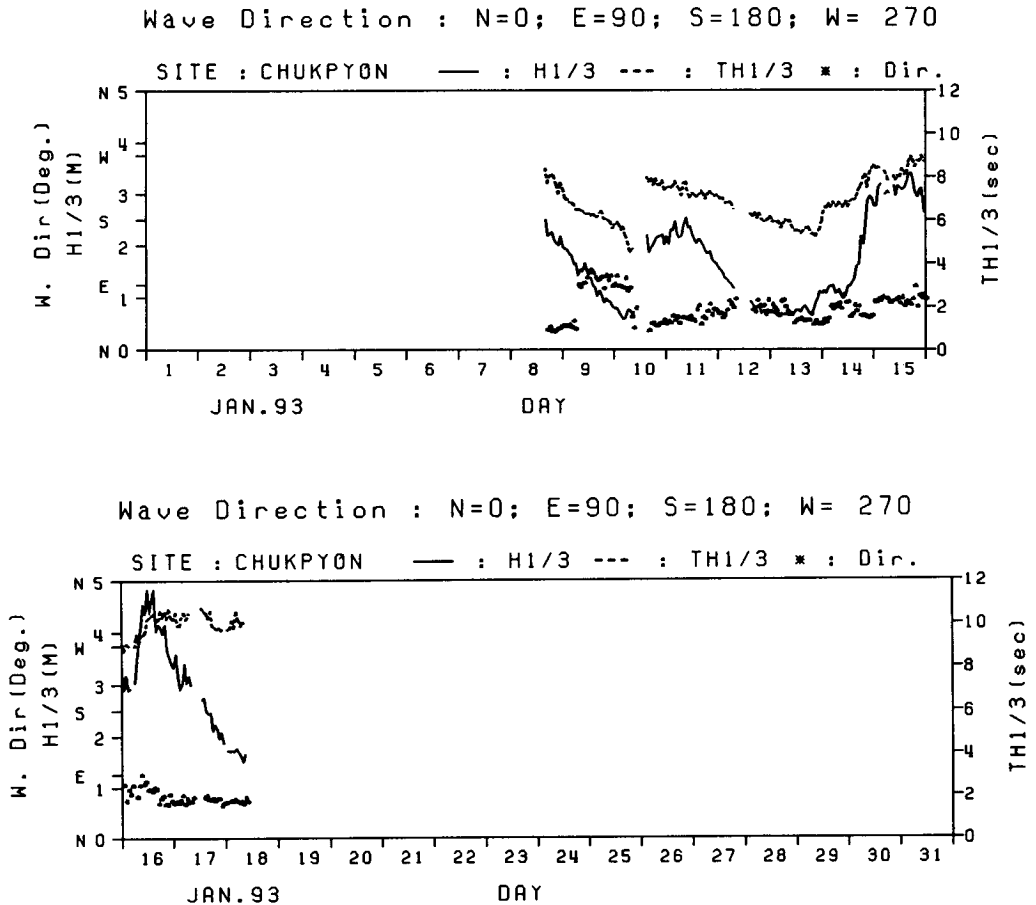
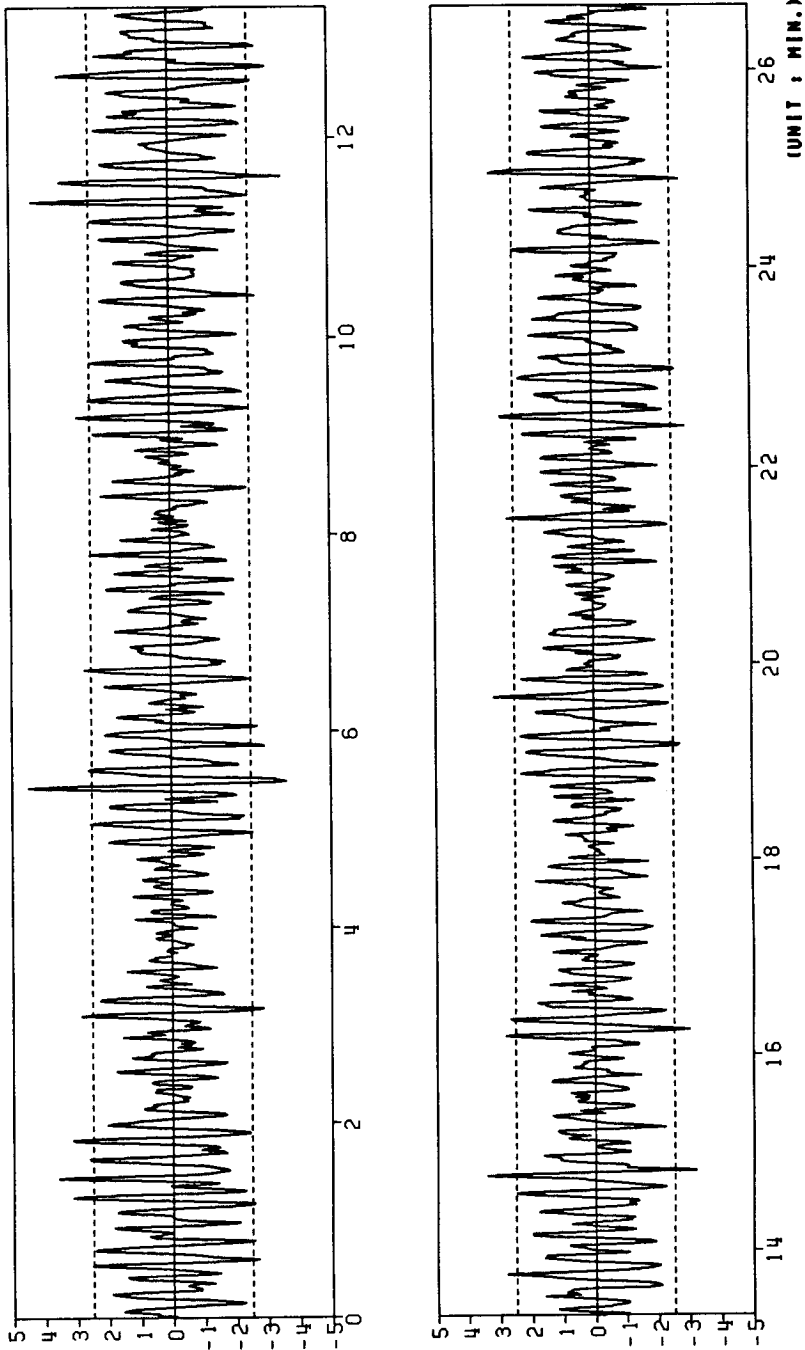


Fig. 2.3.11 Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station WW of Chukpyon Harbor in winter.

SITE : CHUKPYON

93 01 16 16:00



TIME SERIES OF WAVE DATA

Fig. 2.3.12 Time series of short-wave data measured at station WW of Chukpyon Harbor(16:00 1/16/93).

1월 16일 16시의 관측자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 분석 결과를 Fig. 2.3.13에 도시하였다. 이 그림중 (a)는 241개의 파고를 그 기록의 자승평균평방근 파고로 무차원화시키고 이 무차원화된 파고들의 분포를 Rayleigh 분포곡선과 함께 도시한 것인데 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로 Rayleigh 분포와 대체로 잘 맞는 것으로 나타났다. 이로부터 Rayleigh 분포의 가정처럼 스펙트럼 폭이 좁은 파랑이 관측되었음을 알 수 있다. 그림중 (b)는 JONSWAP 스펙트럼과 비교한 것으로 이와도 양호한 일치율을 나타낸다. 동 자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 밀도와 파향 및 파향의 분산도를 Fig. 2.3.14에 제시하였다.

- 하계

죽변항 동계의 경우도 조사지역의 주변해역에서 발생되었던 파는 대부분 바람에 의해 지역적으로 생성, 발달되어 전파해온 풍파로 판단된다. 하계에 SW지점에서 3시간 간격으로 26.7분씩 관측된 자료들을 분석하여 유의파고($H_{1/3}$)와 유의파주기($T_{H_{1/3}}$)의 시간적 변화를 Fig. 2.3.15에, 그리고 주요 파랑특성계수들을 부록의 Table A.1.4에 제시하였다. 이 표를 살펴보면 7월 하순부터 8월 중순까지는 파향이 대체로 NNE(22.5°)~E(90.0°) 사이에 분포하나 그 이후에는 대부분 E~SSE 방향이었음을 알 수 있다.

부록의 Table A.1.4를 살펴보면 관측기간중의 최대파고는 7월 30일 12시의 3.43 m였으며, 이 때의 유의파고 $H_s = 1.79$ m, 평균주기 $T_2 = 5.13$ sec였다. 한편, 유의파고가 최대인 때는 최대파고가 최대인 때와 동일한 것으로 나타났다. 위 자료의 최대파고에 대한 유의파고의 비는 1.92 정도로 이는 Horikawa(1978)가 제시한 최대파고와 유의파고의 관계식

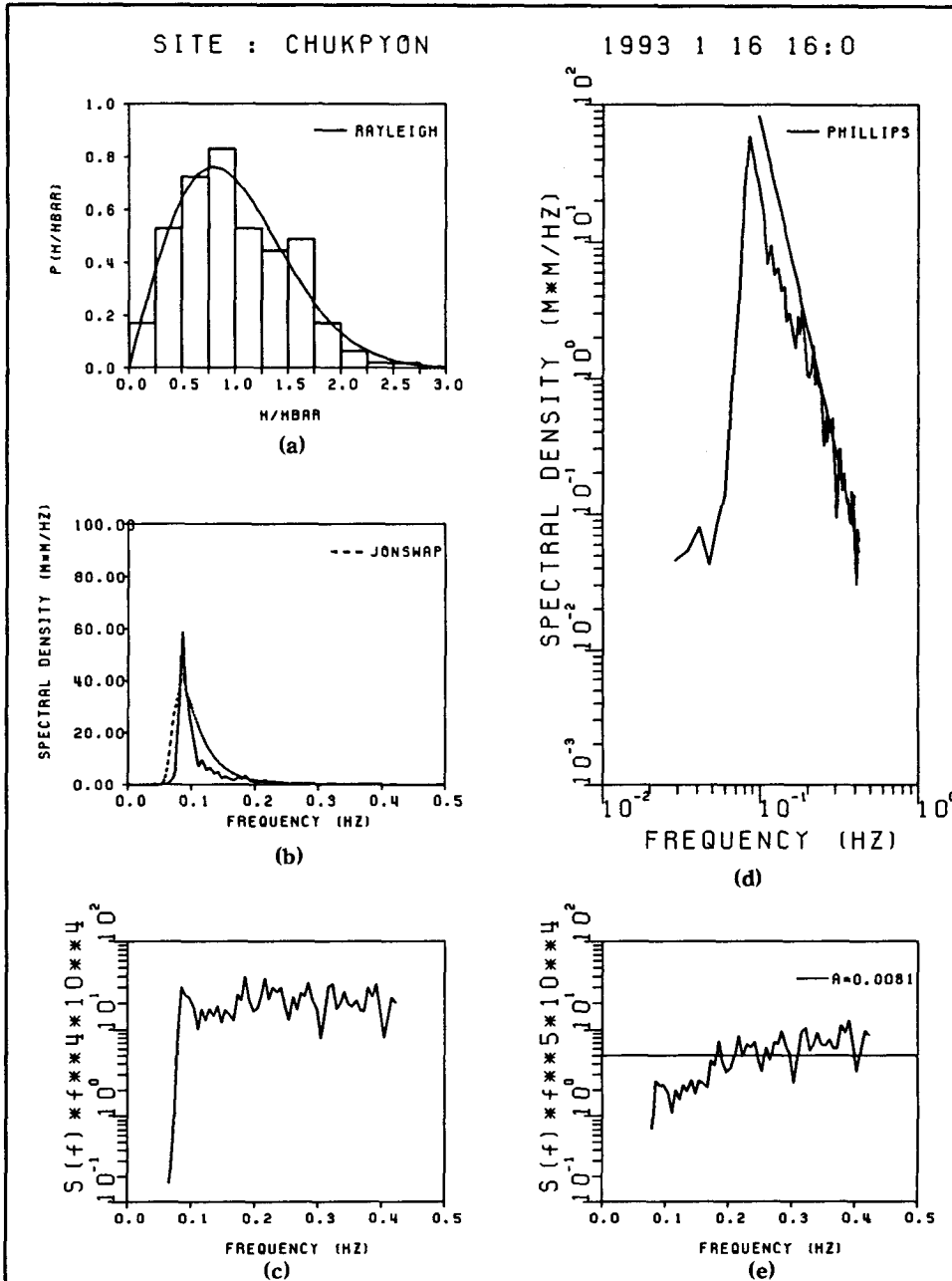


Fig. 2.3.13 Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station WW of Chukpyon Harbor(16:00 1/16/93).

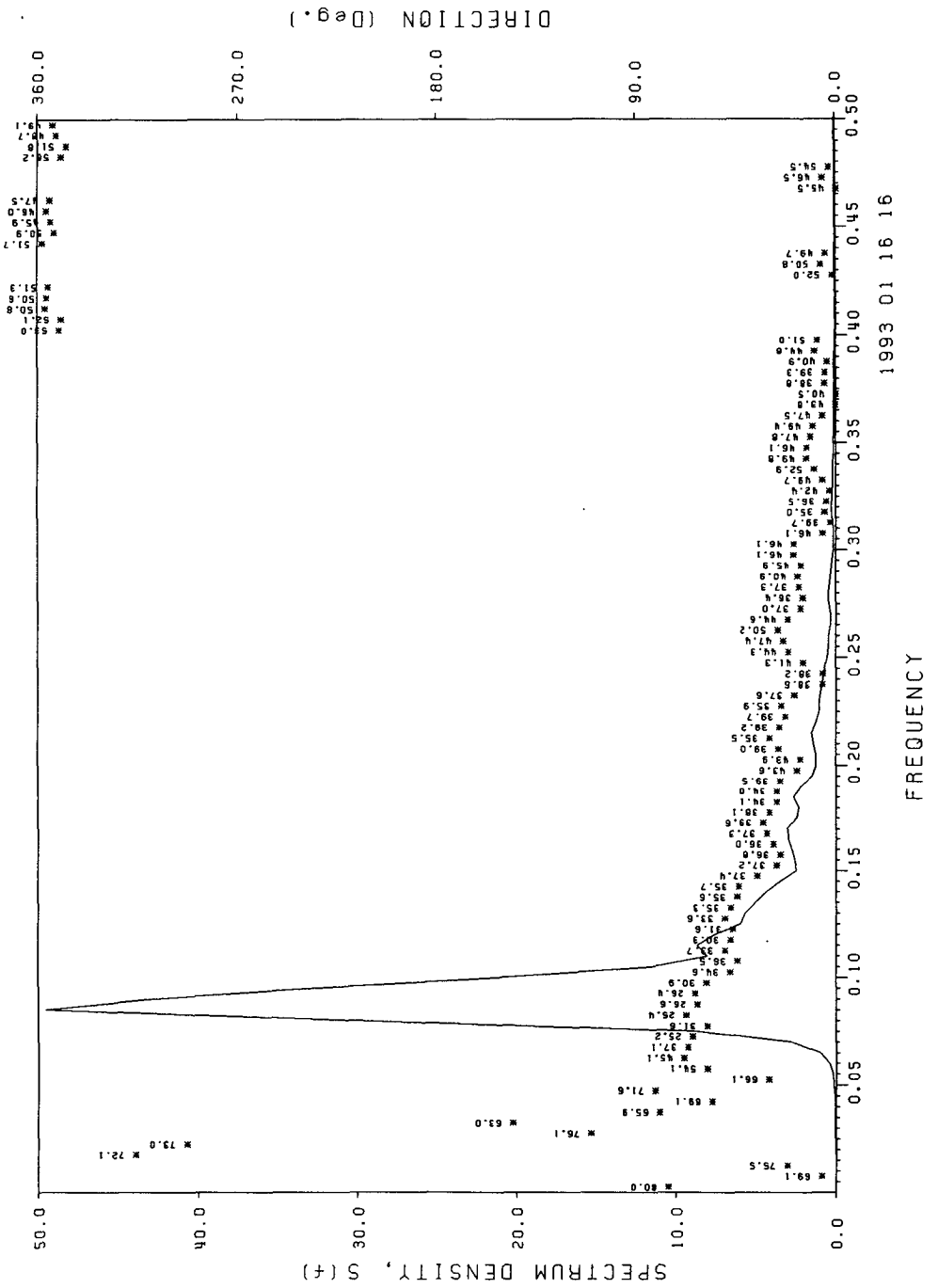
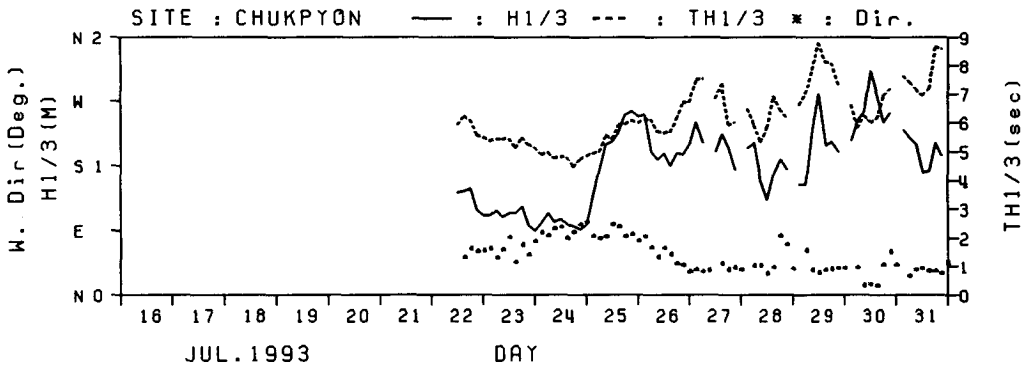
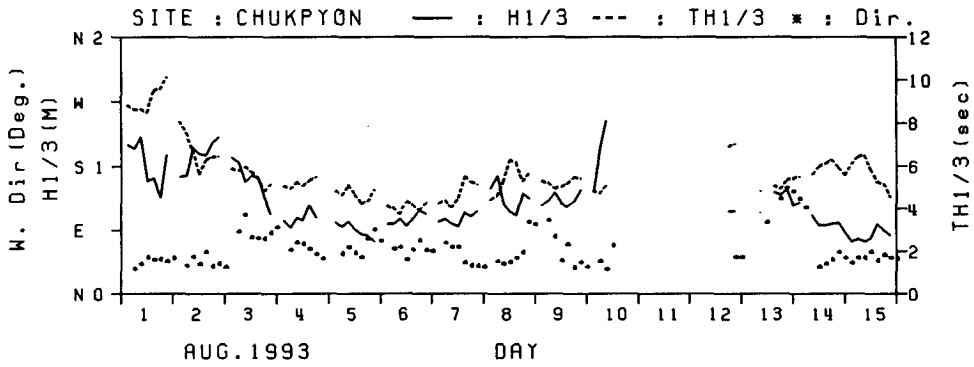


Fig. 2.3.14 Frequency spectra, direction and spreading for waves measured at station WW of Chukpyon Harbor(16:00 1/16/93).

Wave Direction : N=0; E=90; S=180; W= 270



Wave Direction : N=0; E=90; S=180; W= 270



Wave Direction : N=0; E=90; S=180; W= 270

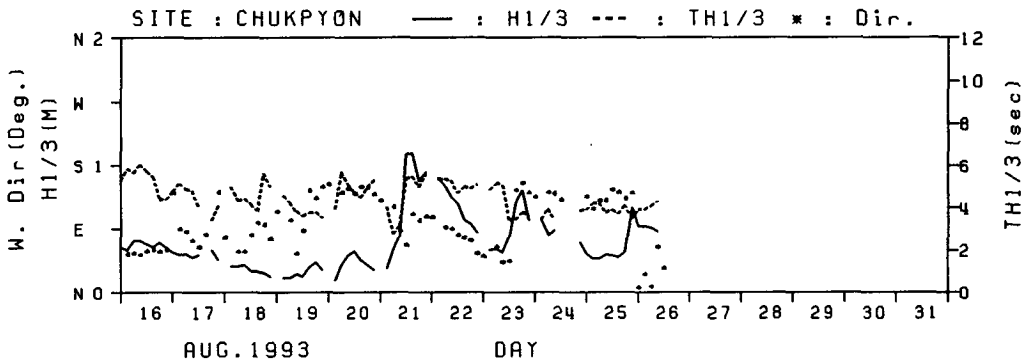


Fig. 2.3.15 Time series of $H_{1/3}$ and $T_{H_{1/3}}$ measured at station SW of Chukpyon Harbor in winter.

$H_{max} / H_{1/3} = 1.07 \sqrt{\log_{10} N}$ ($N = 397$; N 은 파의 수)으로 계산한 1.72보다 상당히 크다. 1월 16일 16시에 관측된 26.7분간의 파고의 시계열 변화를 Fig. 2.3.16에 도시하였다.

7월 30일 12시의 관측자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 분석 결과를 Fig. 2.3.17에 도시하였다. 이 그림중 (a)는 397개의 파고를 그 기록의 자승평균평방근 파고로 무차원화시키고 이 무차원화된 파고들의 분포를 Rayleigh 분포곡선과 함께 도시한 것인데 그림에서 보는 바와 같이 Rayleigh 분포와 대체로 잘 맞지 않는 것으로 나타났다. 이로부터 Rayleigh 분포의 가정과는 달리 스펙트럼 폭이 넓은 파랑이 관측되었음을 알 수 있다. 그림중 (b)는 JONSWAP 스펙트럼과 비교한 것으로 이와도 양호한 일치를 나타낸다. 동 자료를 DIWAP으로 처리한 결과중 스펙트럼 밀도와 파향 및 파향의 분산도를 Fig. 2.3.18에 제시하였다.

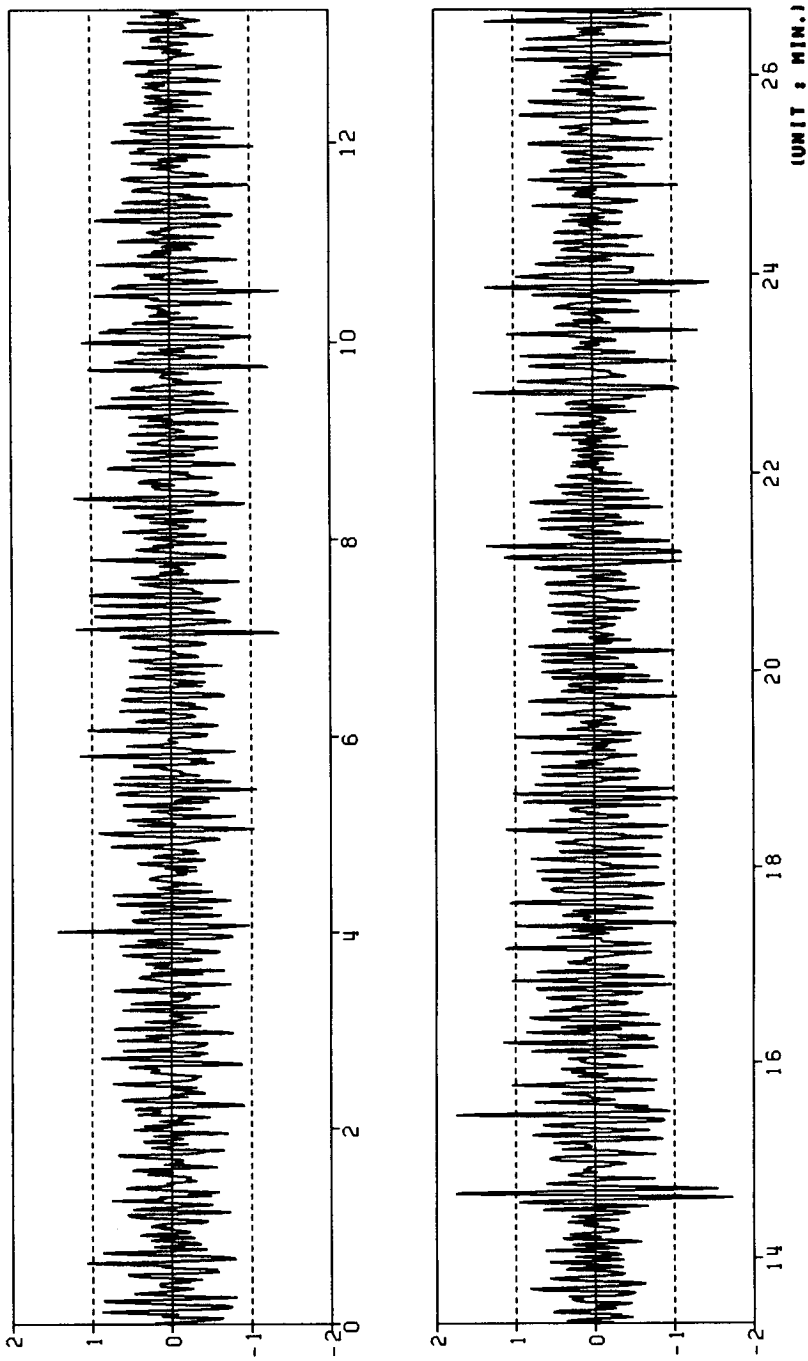
나. 이동관측

1) 동해항

본 연구의 제 2차년도에 1992년 3월 18~19일의 2일간 동해항 주변에서 이동관측을 실시한 바 있다. 2차년도에서는 Longuet-Higgins 등(1963)에 의한 LHM으로 파향 스펙트럼을 분석하였으나 3차년도에는 정확도가 보다 높은 MEP로 다시 분석하였다. 2차년도 보고서에 제시되었던 정점 및 이동관측지점의 위치를 편의를 위해 Fig. 2.3.19에 다시 도시하였으며, 항내외 7개 지점에서의 이동관측 결과를 동일한 시각에서의 항외 정점관측

SITE : CHUKPYON

93 07 30 12 00



TIME SERIES OF WAVE DATA

Fig. 2.3.16 Time series of short-wave data measured at station SW of Chukpyon Harbor(12:00 7/30/93).

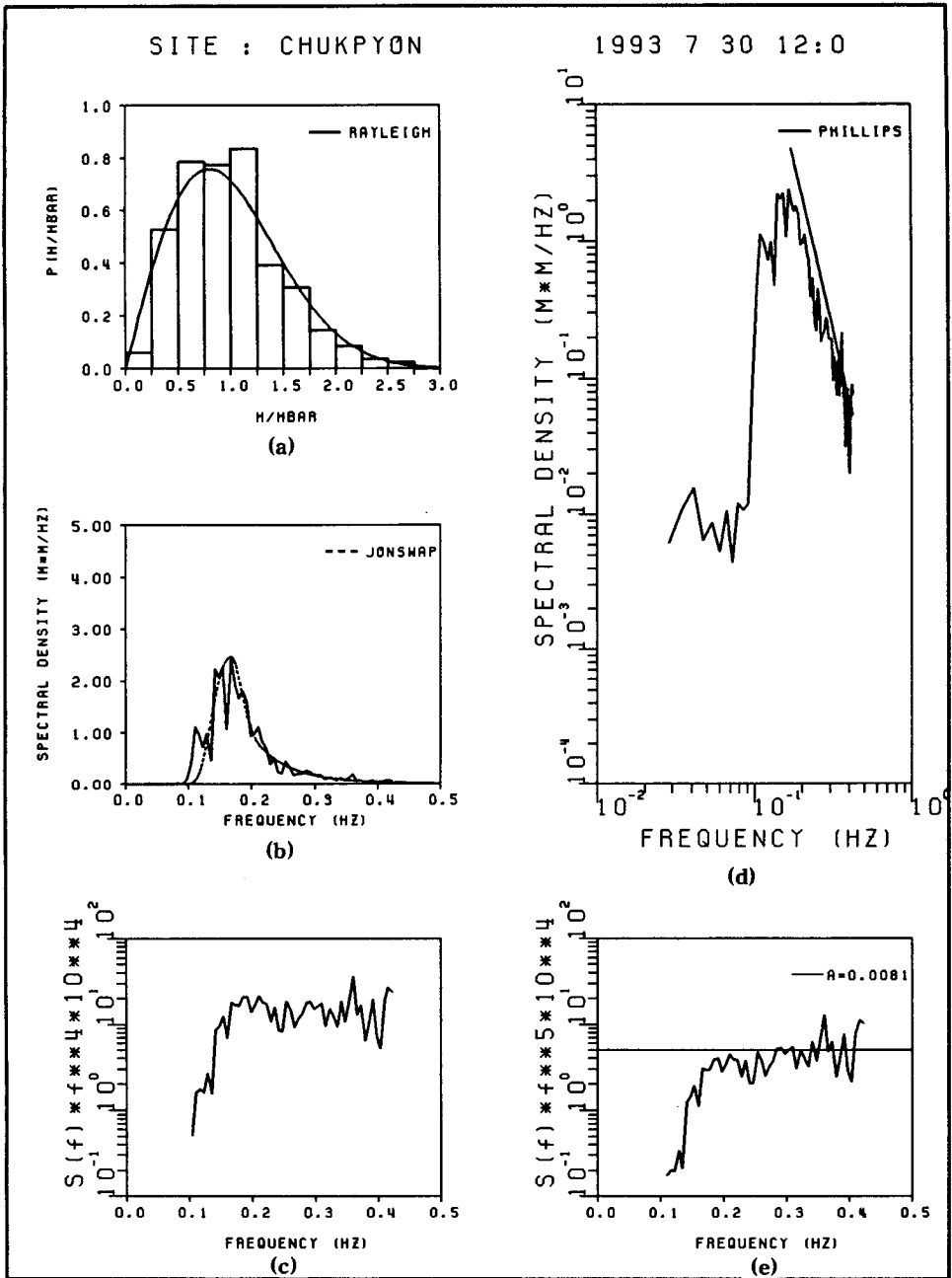


Fig. 2.3.17 Wave height distribution and frequency spectra for waves measured at station SW of Chukpyon Harbor(12:00 7/30/93).

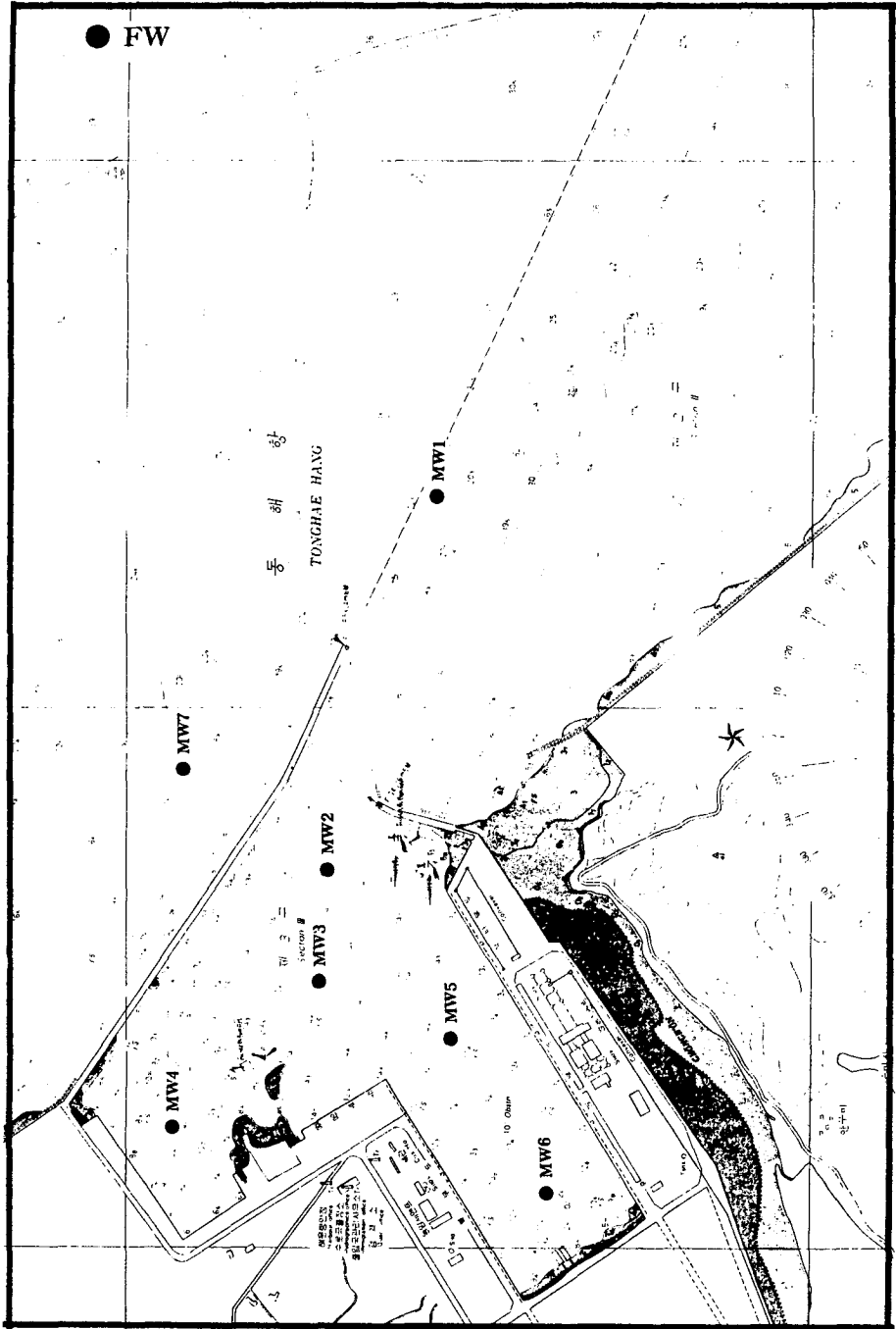


Fig. 2.3.19 Location map of short-wave measurements around Donghae Harbor.

결과와 함께 Table 2.3.3에 제시하였다. 이 표를 살펴보면 이동관측시 항의 정점에서의 유의파고는 0.57~1.29 m로 상당히 작은 편에 속한다. 또한, 3월 18일 관측된 FW5~FW7의 유의파고가 1.08~1.29 m인데 비해 3월 19일 관측된 FW1~FW4의 경우에는 0.57~0.67 m여서 유의파고가 시간이 경과할 수록 작아졌다.

Table 2.3.3 Characteristics of wave data observed at fixed (FW1 to FW7) and moving stations(MW1 to MW 7).

Analysis method	Sta. No.	H_s (m)	T_p (sec)	T_z (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_m (m)	T_m (sec)	Dir. (deg)	Spr. (deg)
MEM	FW1	0.57	8.00	4.67	0.83	5.67	0.53	6.41	0.33	4.68	48.6	29.4
	FW2	0.61	7.14	5.56	0.77	7.18	0.58	6.95	0.38	5.75	64.4	53.3
	FW3	0.62	7.41	5.79	1.03	6.87	0.60	6.58	0.37	5.85	83.3	39.6
	FW4	0.67	7.14	5.68	0.95	6.62	0.64	6.69	0.39	5.56	87.5	44.0
	FW5	1.12	5.26	4.46	1.67	5.15	1.02	5.29	0.63	4.29	68.7	38.1
	FW6	1.29	5.71	4.63	1.77	5.90	1.21	5.57	0.74	4.63	64.7	37.5
	FW7	1.08	5.56	4.36	1.62	6.64	1.01	5.73	0.66	4.79	70.2	47.0
LHM	FW1	0.58	8.18	4.89	1.04		0.59	5.90	0.43		46.7	41.7
	FW2	0.60	7.85	5.55	0.98		0.59	6.68	0.42		70.9	50.2
	FW3	0.63	7.44	5.81	1.20		0.63	6.71	0.45		80.6	44.6
	FW4	0.69	7.41	5.83	1.26		0.68	8.83	0.48		81.2	42.8
	FW5	1.14	5.92	4.76	1.90		1.11	5.55	0.80		71.7	47.4
	FW6	1.26	5.61	4.91	2.15		1.24	5.64	0.89		70.7	39.2
	FW7	1.06	5.58	4.77	1.70		1.04	5.72	0.78		74.9	45.0
MEM	MW1	0.54	7.69	4.95	0.85	6.73	0.49	6.45	0.31	4.58	93.9	36.0
	MW2	0.19	7.41	4.60	0.29	5.53	0.18	5.85	0.11	4.23	106.0	25.8
	MW3	0.18	7.69	4.28	0.28	6.34	0.17	5.68	0.11	4.31	111.3	48.5
	MW4	0.18	7.41	4.50	0.28	7.81	0.16	6.20	0.09	4.36	76.5	48.2
	MW5	0.14	5.13	4.12	0.19	5.89	0.13	5.22	0.08	4.19	35.2	48.8
	MW6	0.12	5.26	4.20	0.18	4.41	0.11	5.43	0.07	4.38	77.7	44.4
	MW7	1.33	8.70	4.91	1.98	6.18	1.20	6.16	0.77	4.65	127.9	44.8
LHM	MW1	0.51	7.79	5.36	0.85		0.50	6.19	0.38		92.4	46.5
	MW2	0.18	7.21	4.99	0.31		0.20	5.17	0.14		108.0	29.3
	MW3	0.18	6.61	4.61	0.33		0.19	5.34	0.13		109.3	29.3
	MW4	0.17	7.40	4.69	0.30		0.17	5.83	0.12		97.0	42.9
	MW5	0.14	5.99	4.48	0.30		0.14	5.24	0.10		59.4	42.9
	MW6	0.12	5.45	4.68	0.24		0.13	5.62	0.09		66.2	40.8
	MW7	1.30	8.61	4.95	2.12		1.25	5.85	0.91		127.3	48.9

이동관측이 실시되는 동안 정점 및 이동관측된 파랑의 방향 스펙트럼을 분석한 결과를 Figs. 2.3.20~2.3.26에 각각 제시하였다. 이를 살펴보면 항입구보다 내측(MW2~MW6)에서는 방파제의 차단 효과로 에너지의 침입이 크게 감소됨을 뚜렷하게 알 수 있다.

항외정점에서 전파되어 항입구 외측의 접근수로(access channel)에 위치한 MW1에서 관측된 자료의 방향 스펙트럼 분석 결과를 제시한 Fig. 2.3.20을 살펴보면 spectral density는 양자가 비슷하나 파의 전파후 방향의 분산도가 좁아지고 있다. 또한, 대표파향(mean direction)이 NE에서 ENE로 변화되었으며 이는 수심변화에 의한 굴절 효과에 기인된 것으로 사료된다.

항내 중앙부에 위치한 MW2와 MW3에 대한 Fig. 2.3.21과 2.3.22를 살펴보면 북방파제와 남방파제에 의해 상당한 파향이 차단되어 파향 스펙트럼의 폭이 크게 좁아지고, 또 spectral density도 매우 감소한 것으로 나타났다. 단, MW2보다 항의 내측에 위치한 MW3에서는 안벽에 의한 반사파의 영향으로 방향이 180° 다른 파향 성분도 상당히 출현한다. FW2의 평균파향은 NE, FW3의 평균파향은 ENE로 보여지나 MW2와 MW3의 평균파향은 각각 ESE와 E로 변화되었다.

항의 내측에서 관측된 MW4~MW6의 자료에서도 spectral density가 크게 감소하였으며, 방향 스펙트럼의 경우 항내 다중반사로 인하여 폭이 아주 넓게 나타났다. 이러한 분석 결과는 동해항내의 안벽이 대부분 직립안벽으로 이루어져 있어서 침입된 파에너지를 거의 감쇠시키지 못할 것이라고 생각할 때 타당한 것으로 사료된다. 특기할 만한 점은 평면 배치를 고려할 때 당연하다고 생각되기는 하나 특수 부두내에 위치한 MW4에서의 spectral density가 항외 중앙부에 위치한 MW2나 MW3보다 별로 낮지 않은 점이다(첨두주파수에서의 spectral density를 비교해 볼

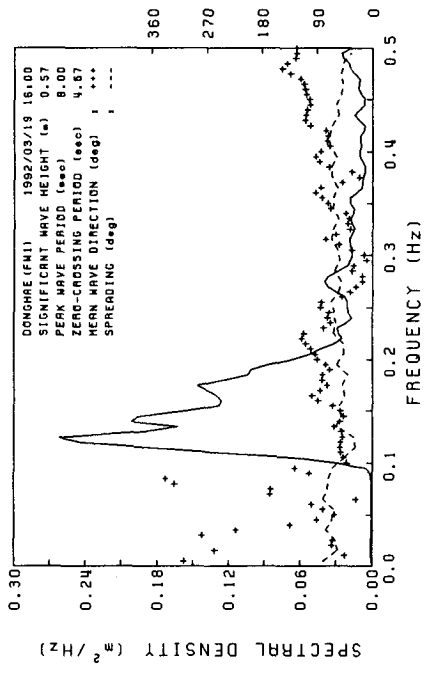
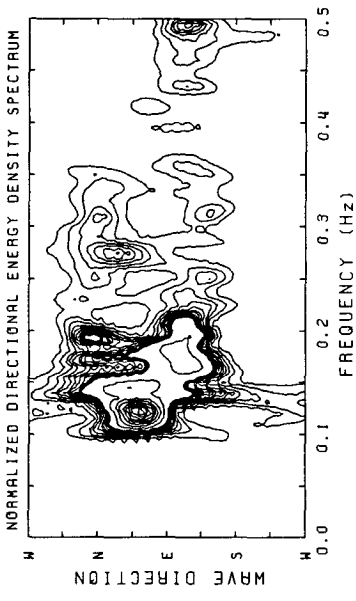
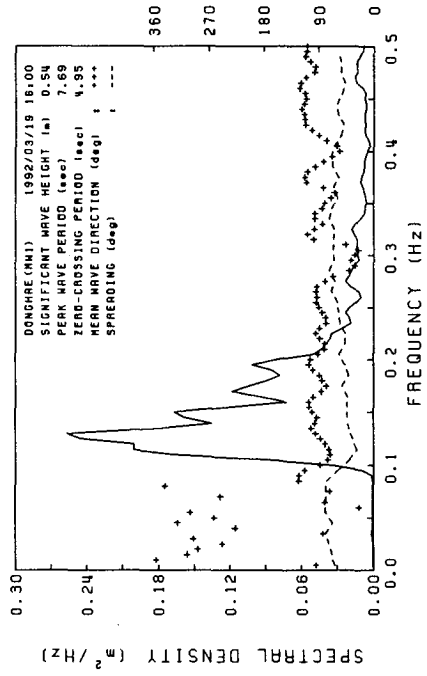
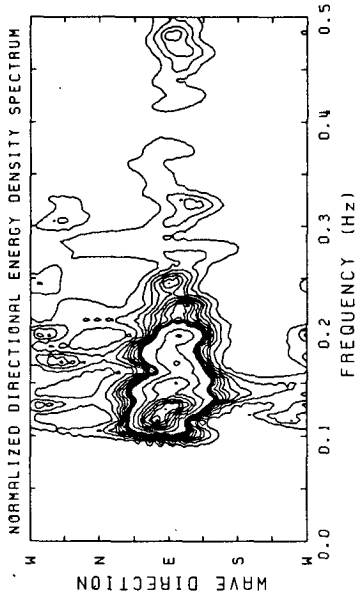


Fig. 2.3.20 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W1).

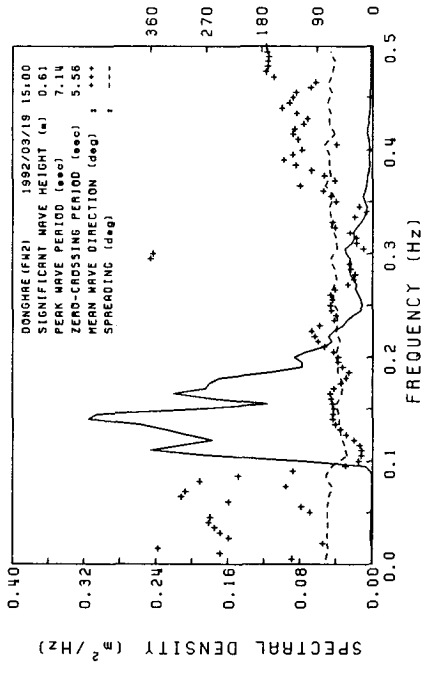
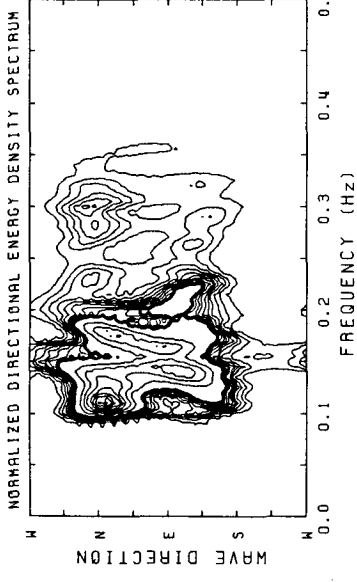
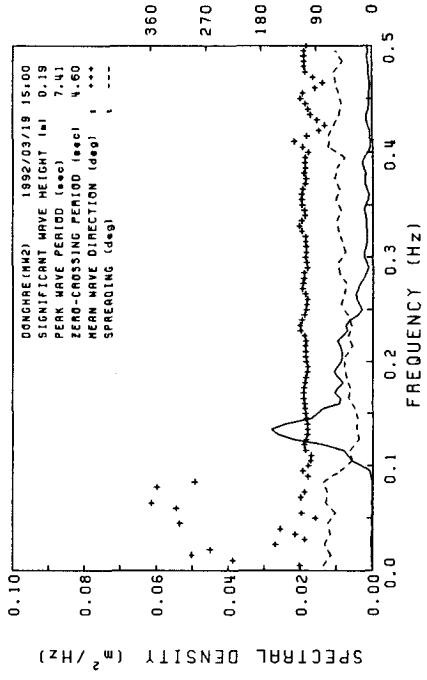
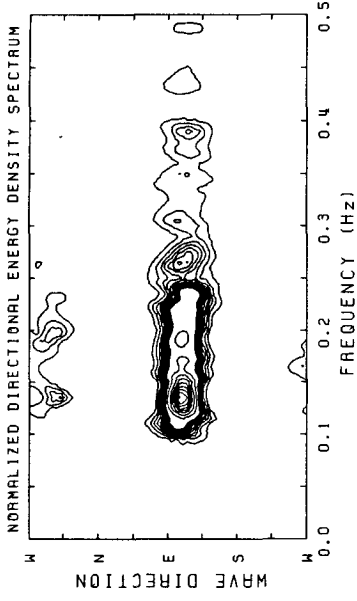


Fig. 2.3.21 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghaie Harbor (station W2).

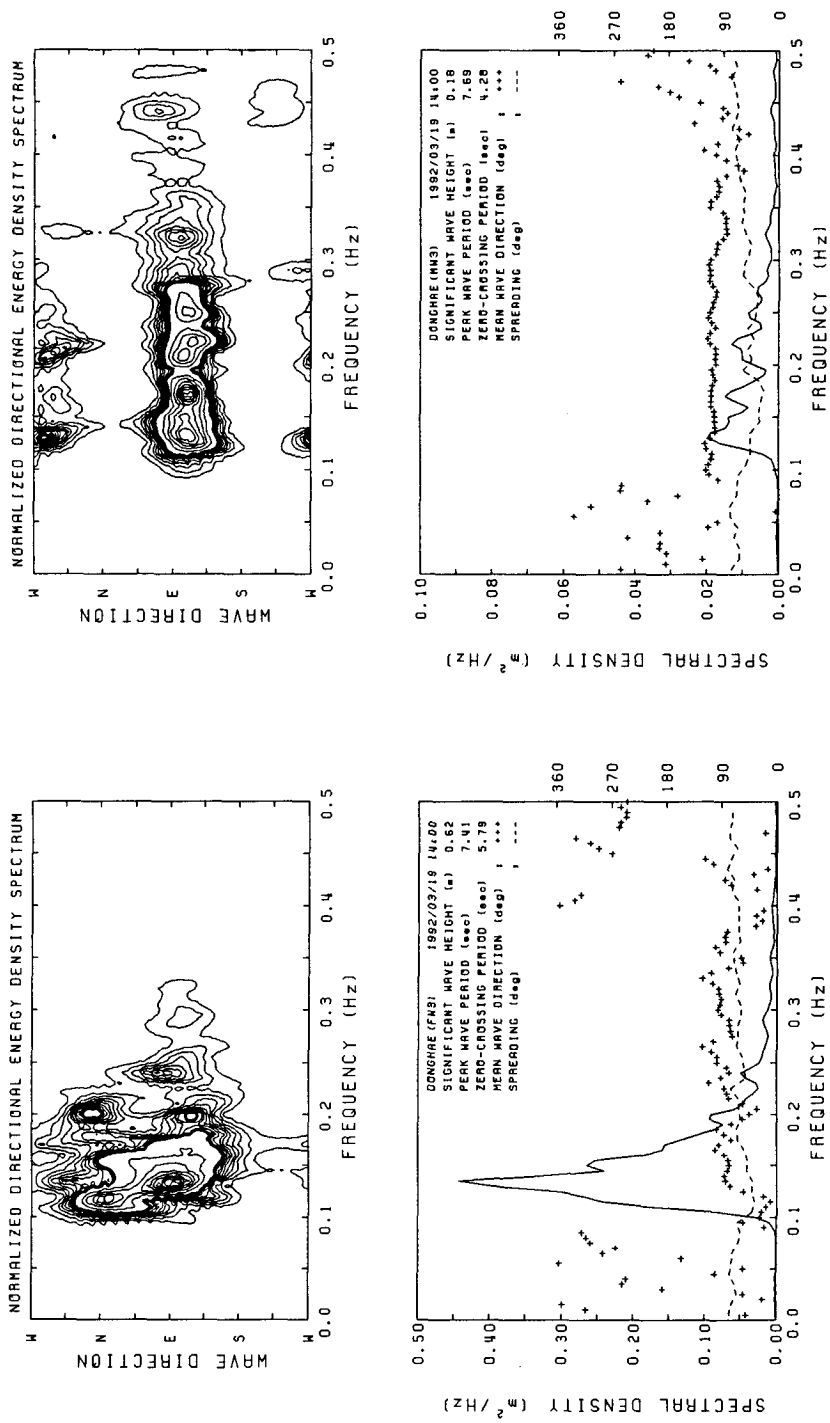


Fig. 2.3.22 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W3).

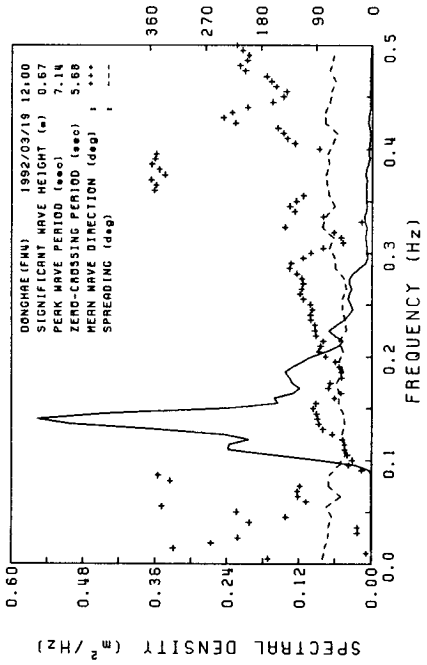
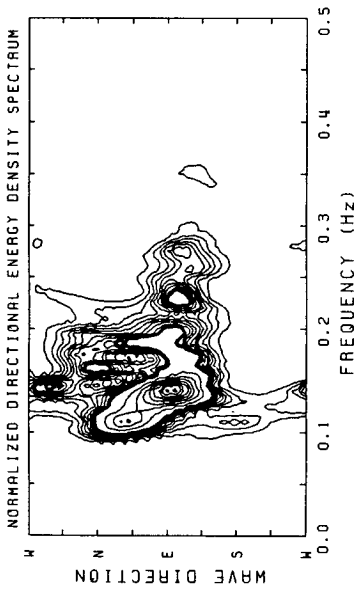
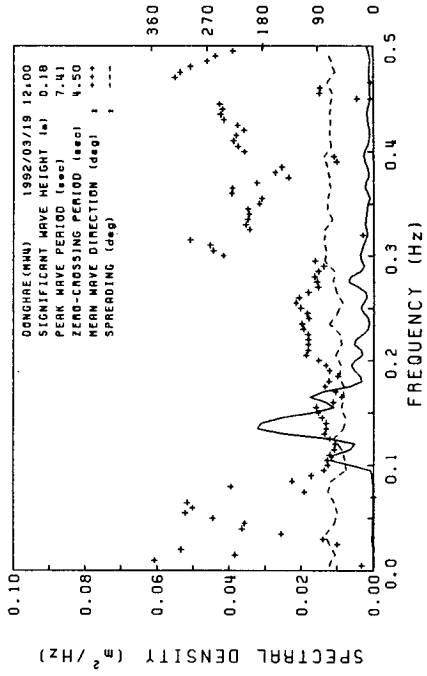
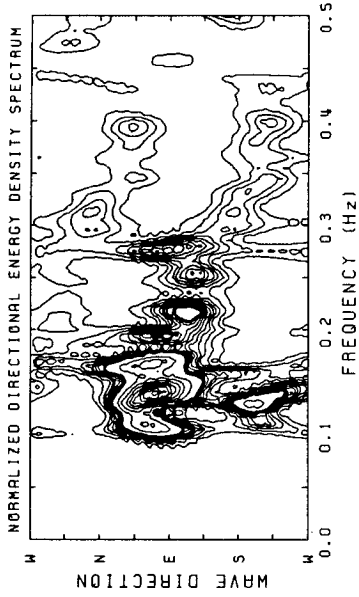


Fig. 2.3.23 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W4).

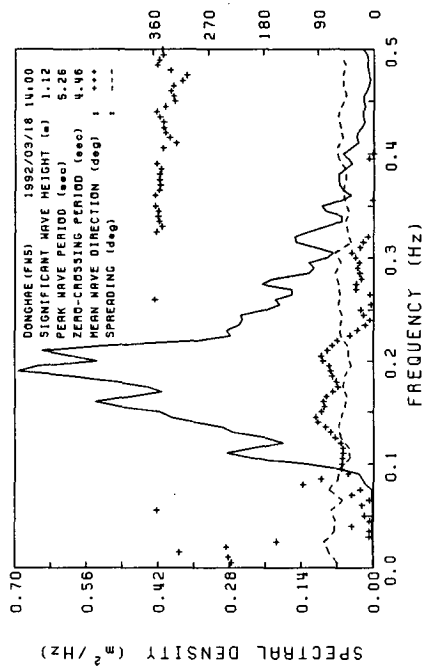
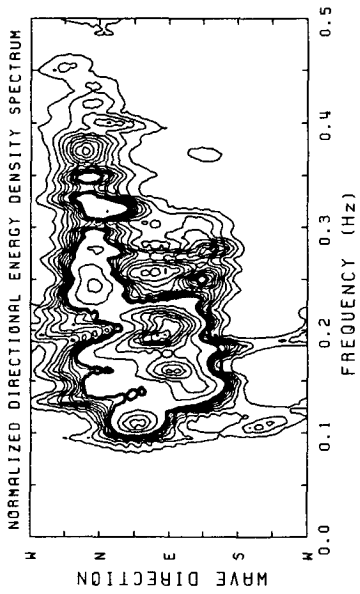
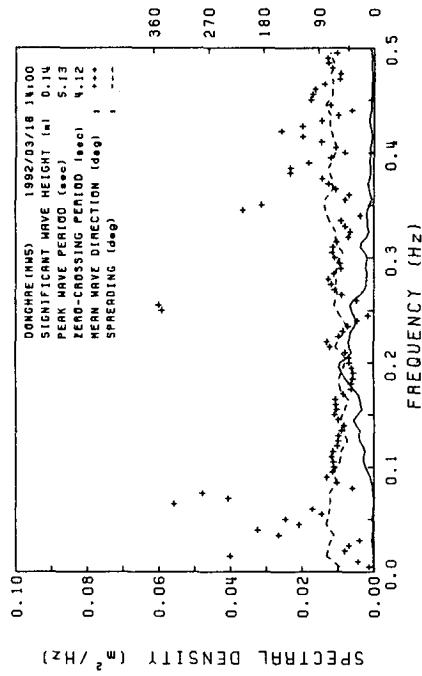
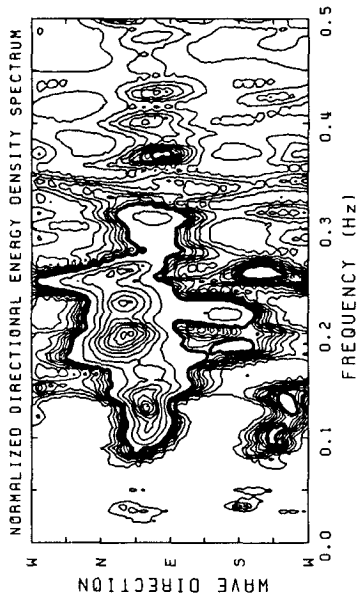


Fig. 2.3.24 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W5).

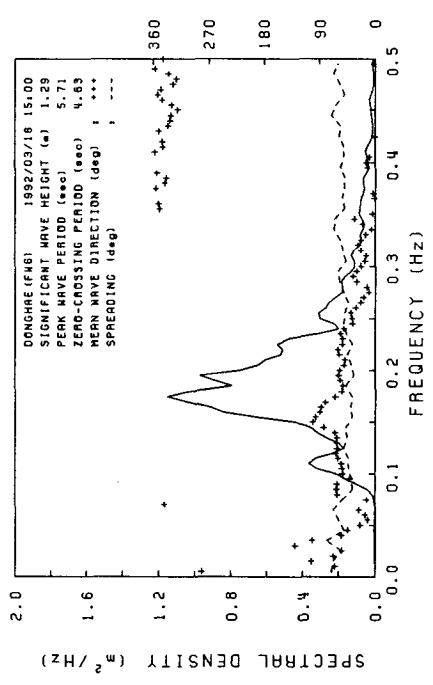
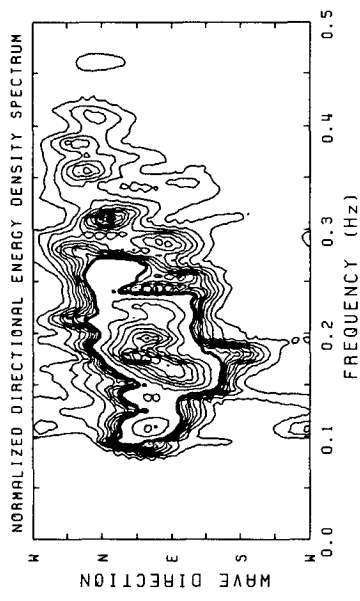
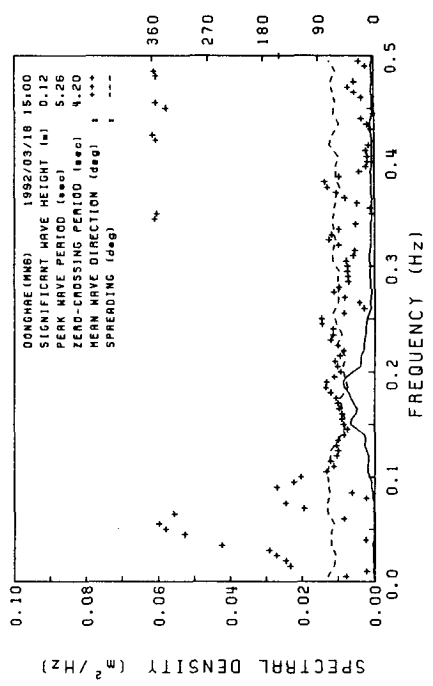
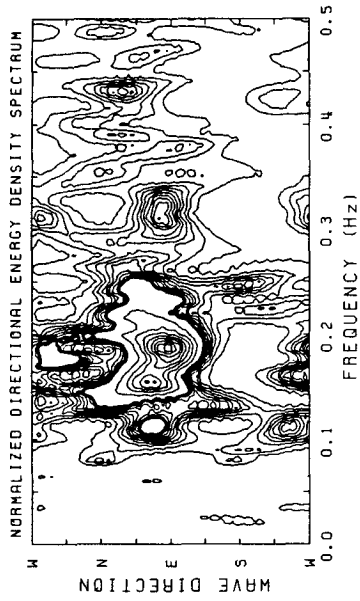


Fig. 2.3.25 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W6).

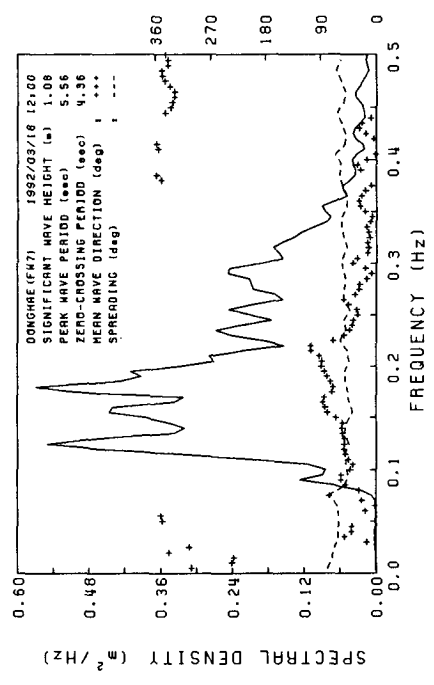
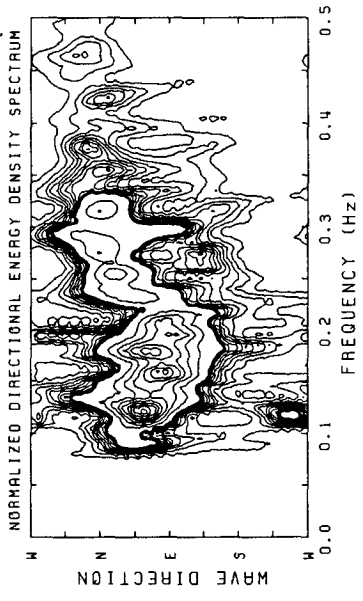
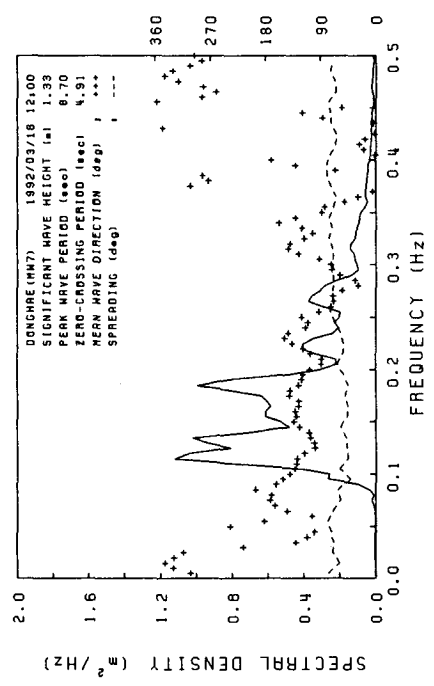


Fig. 2.3.26 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Donghae Harbor (station W7).

때 MW2의 경우 $0.31 \rightarrow 0.03 \text{ m}^2/\text{Hz}$, MW4의 경우 $0.55 \rightarrow 0.035 \text{ m}^2/\text{Hz}$ 로 감소하였으므로 이를 파고로 환산하면 MW2의 경우 $0.557 \rightarrow 0.173 \text{ m}/\text{Hz}$, MW4의 경우 $0.742 \rightarrow 0.187 \text{ m}/\text{Hz}$ 가 된다. 이들의 비를 구해보면 MW2의 경우 0.31, MW4의 경우 0.25가 되는데 이들의 항내 위치를 고려하면 특수부두는 일단 항내로 침입된 파의 경우 대부분의 에너지가 전파해 올 것으로 추측할 수 있다). 이러한 점은 현지 답사시 동해지방해운항만청이나 해군의 관계자들에 의해서도 확인된 사항으로 이에 대한 대책 수립이 요구된다고 사료된다.

북방파제 전면에 위치한 MW7의 경우 북방파제로부터의 반사파(북방파제에는 소파시설이 없음)가 중첩된 경향을 뚜렷하게 보여준다. 먼저, spectral density의 경우 정점에서는 double peak인 $f \approx 0.11$ 및 0.18 Hz 에서 $0.56 \text{ m}^2/\text{Hz}$ 였으나 MW7에서는 $f \approx 0.11$ 및 0.18 Hz 에서 $1.0 \sim 1.1 \text{ m}^2/\text{Hz}$ 로 상당히 증가하고 있어서 반사파가 중첩된 중복파로 에너지가 증가된 것으로 사료된다. 또한, 방향 스펙트럼을 기준할 경우 대표파향의 경우 NE~ENE가 E로 변화되었으며 파향의 범위도 NW~SE에서 NE~SE로 90° 정도 변화된 양상을 나타낸다.

2) 목호항

항내외 11개 지점에서의 이동관측 결과를 동일한 시각의 항외 정점관측 결과와 함께 Table 2.3.4에 제시하였는데 이에 따르면 이동관측시 항외 정점에서의 유의파고는 $0.87 \sim 1.60 \text{ m}$ 로 상당히 작다. 또한, 1월 19일 관측된 FW13의 유의파고가 1.60 m 인데 비해 1월 20일 관측된 FW1~FW10의 경우에는 $0.87 \sim 1.08 \text{ m}$ 여서 기상상태가 시간이 경과할 수록 좋아졌다.

Table 2.3.4 Characteristics of wave data observed at fixed and moving stations around Muko Harbor.

Sta. No.	H_s (m)	T_p (sec)	T_z (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_m (m)	T_m (sec)	Dir. (deg)	Spr. (deg)
FW 1	1.01	6.90	6.37	1.40	6.67	0.93	7.65	0.57	6.05	47.6	33.0
2	0.93	11.11	5.89	1.30	6.94	0.86	7.73	0.52	5.83	51.7	38.2
3	1.04	10.53	6.19	1.55	7.68	0.94	8.68	0.60	6.41	63.1	28.8
4	0.89	11.76	6.37	1.20	9.08	0.83	8.37	0.51	6.26	55.5	26.9
5	0.89	10.53	6.35	1.31	9.04	0.82	8.49	0.52	6.48	52.9	29.8
6	1.08	10.53	6.47	1.48	9.56	1.00	8.55	0.64	6.61	63.1	29.4
7	0.97	9.52	6.18	1.38	7.13	0.90	8.32	0.56	6.26	52.4	35.6
8	0.87	10.53	6.03	1.22	8.27	0.81	8.13	0.50	6.04	69.1	39.2
9	0.90	7.69	6.21	1.29	7.70	0.86	7.78	0.56	6.47	55.4	23.8
10	0.90	10.53	6.18	1.27	5.84	0.84	7.93	0.53	6.22	48.5	37.1
13	1.60	10.00	6.58	2.84	8.52	1.48	8.59	0.94	7.05	62.2	30.9
MW 1	1.04	11.11	6.81	1.43	8.87	0.95	8.57	0.60	6.80	76.0	35.7
2	0.88	10.53	6.08	1.21	9.92	0.79	8.30	0.50	6.19	57.6	31.9
3	0.82	10.53	5.65	1.05	6.92	0.72	7.83	0.44	5.37	33.9	61.1
4	1.11	10.53	7.19	1.39	9.93	1.03	9.54	0.66	7.47	49.1	36.5
5	0.71	10.00	5.88	1.04	8.48	0.64	7.86	0.40	6.00	84.4	48.9
6	0.83	10.00	6.23	1.02	9.24	0.78	8.18	0.49	6.25	70.8	36.4
7	0.83	11.11	6.30	1.08	7.48	0.76	8.35	0.49	6.60	74.7	51.1
8	0.80	10.53	6.13	1.21	8.04	0.74	8.37	0.46	6.30	78.0	45.7
9	0.81	10.53	5.98	1.24	8.54	0.75	8.74	0.45	5.94	58.9	48.1
10	0.75	7.69	5.86	1.26	8.15	0.72	8.18	0.43	6.09	66.3	28.2
13	1.44	10.00	7.16	2.13	10.11	1.36	9.34	0.87	7.37	51.5	22.2

이동관측이 실시되는 동안 정점 및 이동관측된 파랑의 파향 스펙트럼 및 분산도를 분석한 결과를 Figs. B.1.1~B.1.11에 제시하였다. 이를 살펴보면 동해항과 마찬가지로 항입구보다 내측에서는 방파제의 차단 효과로 에너지의 침입이 크게 감소됨을 뚜렷하게 알 수 있다.

3) 측면항

항내의 7개 지점에서의 이동관측 결과를 동일한 시각에서의 항외 정점관측 결과와 함께 Table 2.3.5에 제시하였는데 이를 살펴보면 이동관측시

Table 2.3.5 Characteristics of wave data observed at fixed (FW1 to FW7) and moving stations(MW1 to MW 7).

Sta. No.	H_s (m)	T_p (sec)	T_z (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_m (m)	T_m (sec)	Dir. (deg)	Spr. (deg)
FW 1	1.12	7.14	5.37	1.60	6.32	1.03	6.61	0.62	5.20	54.6	41.6
2	1.10	7.14	5.12	1.78	6.33	1.03	6.35	0.68	5.48	61.6	33.5
3	1.11	8.00	5.30	1.60	6.60	0.97	6.62	0.64	5.30	64.0	27.9
4	0.98	8.00	5.32	1.40	7.54	0.93	6.74	0.59	5.55	64.3	29.7
5	0.96	7.14	5.32	1.47	6.70	0.91	6.43	0.53	5.20	65.5	42.9
6	0.95	7.41	5.40	1.31	6.48	0.91	6.64	0.55	5.34	44.5	29.2
7	0.79	5.41	4.01	1.37	5.07	0.71	4.80	0.46	4.04	47.1	23.8
8	1.22	5.26	4.49	2.16	6.46	1.10	5.37	0.73	4.69	32.9	25.9
11	1.63	8.70	5.17	2.47	6.01	1.53	6.80	0.93	5.28	25.3	14.7
12	3.48	11.76	9.11	4.77	9.01	3.32	11.01	2.29	10.24	56.0	8.3
13	2.52	12.50	8.01	3.52	10.46	2.32	9.78	1.57	8.49	57.8	18.1
14	0.87	7.14	5.13	1.20	5.33	0.82	6.12	0.51	5.19	82.5	45.9
15	2.92	11.76	8.51	5.45	9.83	2.73	10.69	1.75	8.98	49.6	15.3
16	0.83	8.00	5.07	1.36	5.94	0.77	6.53	0.50	5.37	54.5	35.9
17	2.92	11.76	8.36	4.83	9.84	2.72	10.56	1.74	8.56	61.4	16.9
18	0.89	7.41	5.12	1.28	6.44	0.83	6.26	0.50	5.03	41.6	34.8
19	2.57	11.11	8.37	3.90	9.39	2.42	10.69	1.46	8.29	44.2	21.6
MW 1	0.92	6.45	5.56	1.38	6.15	0.87	6.45	0.54	5.58	81.5	31.0
2	1.00	7.14	5.61	1.66	7.14	0.93	6.64	0.56	5.37	92.1	23.9
3	0.83	7.14	5.35	1.19	6.55	0.77	6.65	0.50	5.51	100.5	25.8
4	0.88	6.90	5.63	1.27	6.35	0.82	6.70	0.51	5.63	80.1	26.9
5	0.80	7.14	5.50	1.25	6.15	0.72	6.52	0.48	5.65	94.8	27.9
6	0.76	7.69	5.52	1.11	6.16	0.71	6.54	0.45	5.49	97.2	29.5
7	0.33	9.09	5.55	0.49	7.23	0.30	6.78	0.18	5.42	97.6	39.9
8	0.45	5.26	5.09	0.78	7.08	0.43	6.22	0.26	5.19	99.3	24.5
11	0.38	9.52	5.07	0.56	7.73	0.34	6.86	0.22	5.31	117.5	17.6
12	0.73	6.06	5.35	1.06	6.59	0.69	6.42	0.45	5.67	101.8	27.0
13	0.54	11.76	5.75	0.87	8.72	0.51	8.04	0.31	6.16	153.9	19.9
14	0.71	6.45	5.51	1.02	6.90	0.66	6.62	0.43	5.68	93.7	18.9
15	0.13	13.33	4.65	0.18	9.87	0.11	6.99	0.07	4.78	240.1	44.2
16	0.73	5.88	5.37	1.07	6.42	0.70	6.54	0.45	5.60	87.6	23.5
17	0.14	11.76	4.33	0.23	8.47	0.12	6.60	0.08	4.41	224.6	53.9
18	0.73	6.06	5.35	1.06	6.59	0.69	6.42	0.45	5.67	101.8	27.0
19	0.14	12.50	4.53	0.20	7.34	0.12	6.62	0.07	4.38	93.9	71.4

항외 정점에서 유의파고는 0.79~3.48 m로 크게 변화하고 있다.

17개소에서 이동관측이 실시되는 동안 정점 및 이동관측된 파랑의 파향 및 분산도를 분석한 결과를 Figs. B.1.12~B.1.28에 각각 제시하였다. 이를 살펴보면 항입구보다 내측에서는 방파제의 차단 효과로 에너지의 침입이 크게 감소됨을 뚜렷하게 알 수 있다.

제4절 장주기 부진동

1. 현장관측

대형선박이 접안하여 하역작업을 수행하는 동해안의 산업항중 포항신항에서는 과거의 연구나 한국해양연구소의 현장관측(건설부, 1987; 강 등, 1989)을 통하여 다양한 주기의 부진동이 존재함이 밝혀졌으며, 동해항의 경우 과학기술처(1992)와 정 등(1993a, b)에 따르면 Helmholtz natural period (제1 공진주기)가 17.1분, 제2 공진주기가 5.5분, 그리고 국부주기가 2.0~3.6분 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 당해년도에는 제1절에서 언급한 바와 같이 항만의 규모가 크고 관측이 용이하지 못한 이유 등으로 동해항 대신 묵호항과 죽변항에서 현장관측을 실시하였다.

관측정점은 묵호항의 경우 항내·외 3개소, 그리고 죽변항의 경우 항내·외 2개소였다. 부진동의 계절별 특성을 파악하기 위하여 2개항에서 모두 동계 및 하계관측을 시도하였으나 죽변항 하계관측의 경우 항외정점에 설

치한 기기를 분실하여 자료를 취득하지 못하였다. 각 정점의 해저에 설치된 수압식 자동해면기록기 ISTG(Intelligent Seiche and Tide Gauge)에 의해 관측이 수행되었다. 5초(목호항 동계 및 죽변항 동계 관측자료) 및 6초(목호항 하계 관측자료)마다 취득된 각 관측점에서의 자료들은 일단 기기에 내장된 512 KB 용량의 data logger에 저장되고 기기의 회수후 RS232C port를 통하여 personal computer에 이동, 보관되었다.

가. 목호항

관측지점의 위치로는 Fig. 2.4.1에 제시된 바와 같이 수치모형의 외해경계에 해당되는 항외에 1개 정점(S1, 동계와 하계의 위치가 다름), 항입구에 1개 정점(S2), 그리고 항의 내측에 1개 정점(S3)을 선정하였다. 한편, Fig. 2.4.1에서 반원형으로 그려진 가는 실선은 목호항 부진동 수치모형의 입사 경계를 나타낸다. 각 정점의 해저에 설치된 ISTG에 의해 동계의 경우 1993년 3월 18일부터 3월 21일까지의 4일간, 그리고 하계의 경우 1993년 7월 7일부터 7월 12일까지의 6일간 실시되었다. 모든 자료는 유실없이 회수되었으며 상태 또한 양호하였다.

나. 죽변항

죽변항 동계의 파랑 이동관측 기간동안 항외 1개 정점과 항내 1개 정점에서 부진동 관측이 수행되었다. 관측지점의 위치로는 Fig. 2.4.2에 제시된 바와 같이 수치모형의 외해경계에 해당되는 항외에 1개 정점(S1, 동계와 하계의 위치가 다름), 그리고 항의 내측에 1개 정점(S2)을 선정하였다. 한편, Fig. 2.4.2에서 반원형으로 그려진 가는 실선은 죽변항 부진동 수치모형

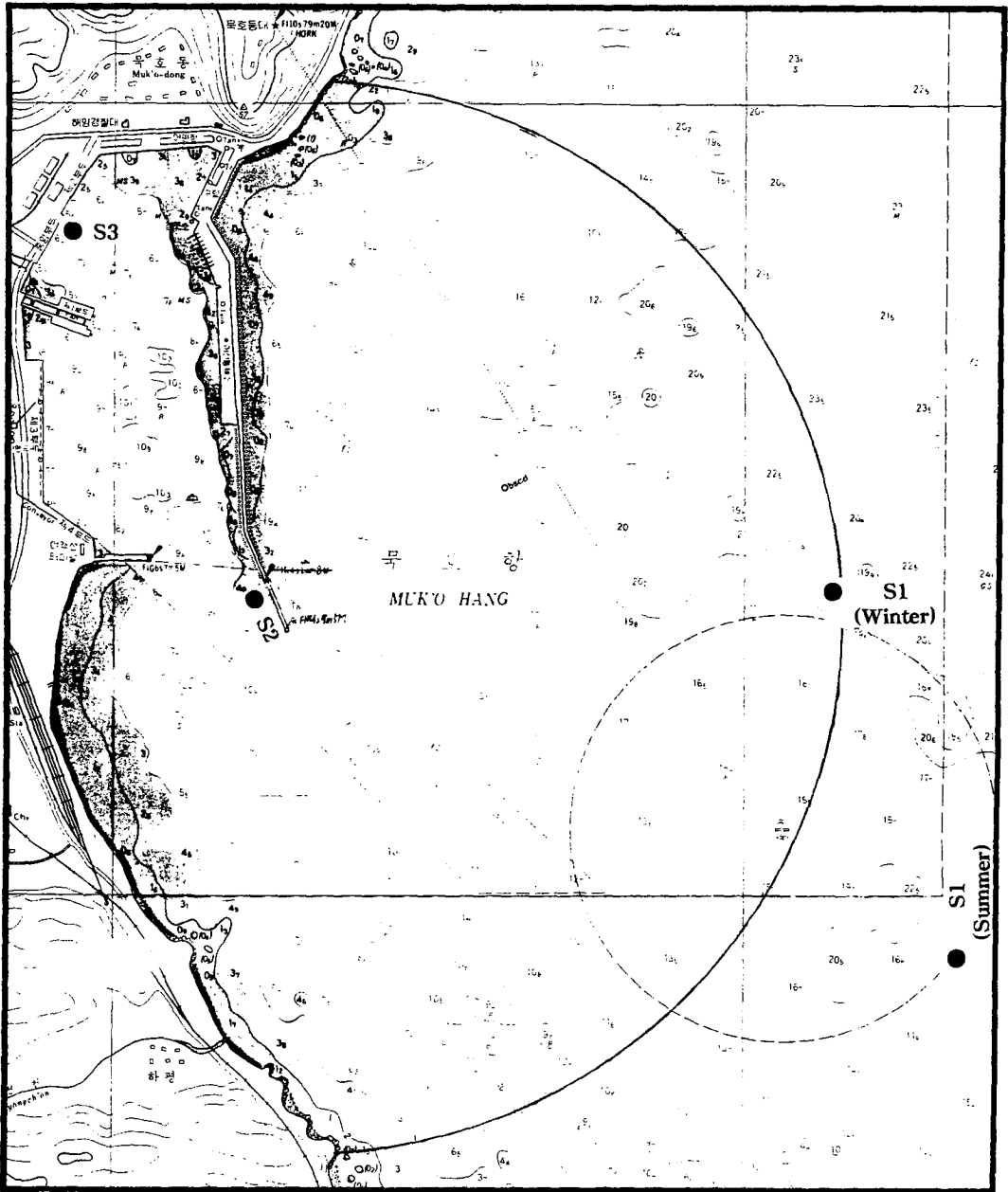


Fig. 2.4.1 Location map of seiche measurements and boundary of numerical model, HARBD(Muko Harbor)

의 입사경계를 나타낸다. 관측은 목호항의 경우와 동일하게 각 정점의 해저에 설치된 ISTG에 의해 1993년 1월 9일부터 1월 16일까지 약 8일간 실시되었다. 동계 관측에서는 모든 자료가 유실없이 회수되었으며 상태 또한 양호하였다. 그러나, 하계 관측의 경우 전술한 바와 같이 항외 정점에 설치한 기기를 회수하지 못하였으며 이는 저인망 어선의 불법어로작업에 의한 것으로 추정되었다.

2. 자료 처리

가. 분석자료 산출

Personal computer에 저장된 자료들로부터 일련의 환산 프로그램을 이용하여 해수위 자료(sea level data)를 산출하였다. 관측해역에서의 부진동 모드 및 에너지 분포 산정을 위한 스펙트럼 분석을 위하여 해수위 자료에 low pass filter와 high pass filter를 순서대로 적용시켰다. Low pass filter는 30초 미만의 단주기파를, 그리고 high pass filter는 조석 효과를 포함한 수 시간 이상의 장주기 진동을 제거하도록 하였다.

1) 목호항

- 동계

목호항 동계관측의 경우 폭풍주의보가 발효중일 때(3월 18일 15시 10분부터 5초 간격의 자료 4,096개; Fig. 2.4.3)와 항외가 잔잔할 때(3월 21일 5시 45분부터 5초 간격의 자료 4,096개; Fig. 2.4.4) 정점 S1~S3에서 수집된 2가지 경우의 시계열 자료를 제시하였다. Fig. 2.4.3의 경우 단주기파가 제거되지 않아서 부진동 현상을

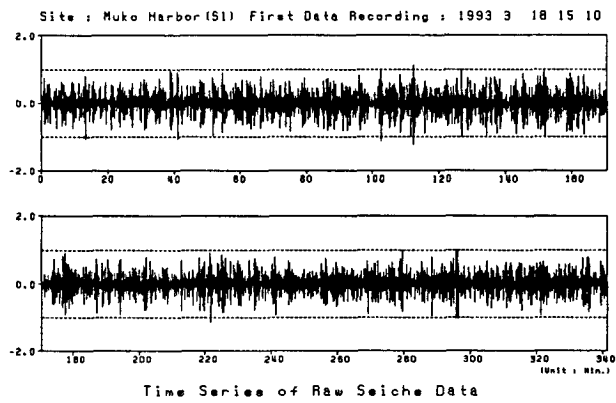
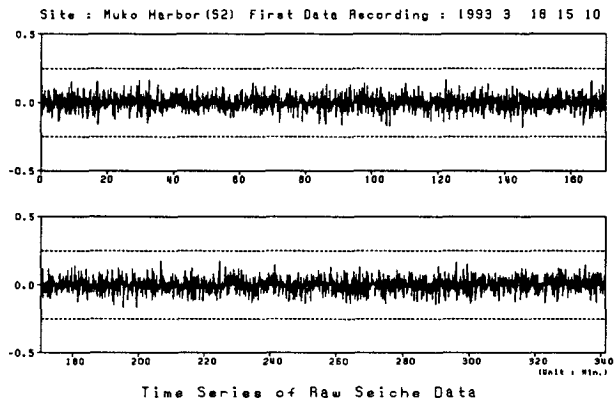
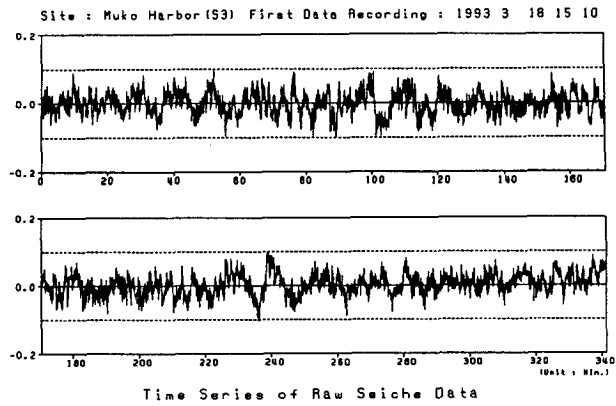


Fig. 2.4.3 Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(15:10 3/18~20:51 3/18/93).

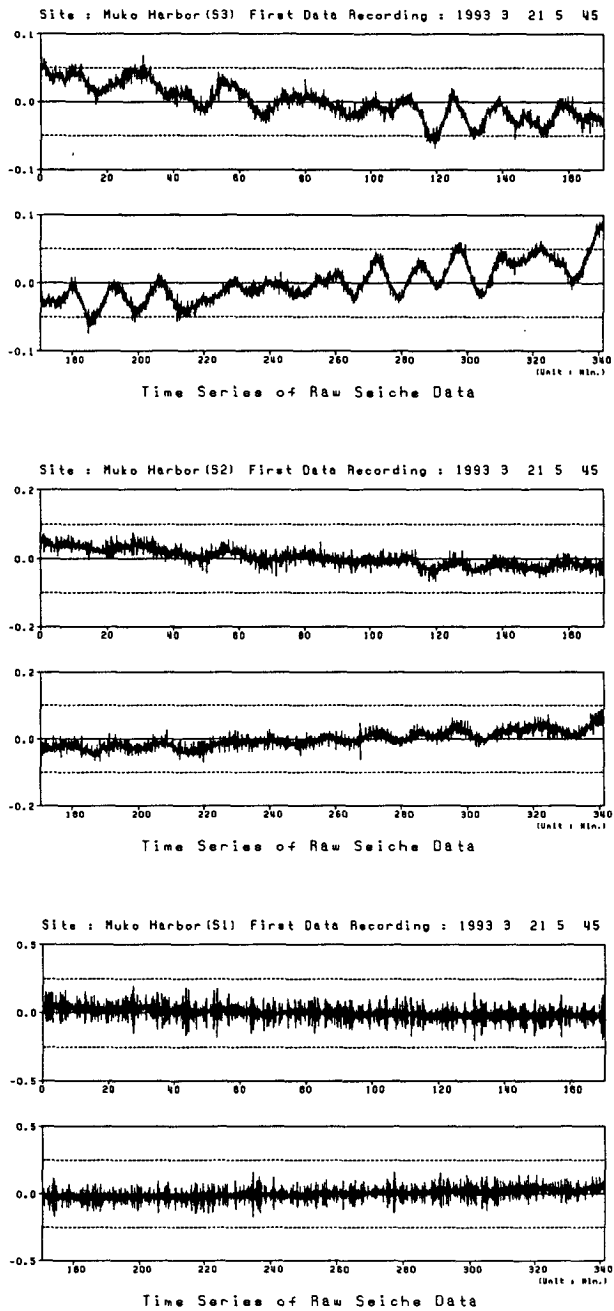


Fig. 2.4.4 Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(5:45 3/21~11:26 3/21/93).

확실하게 알아보기 힘들며 진폭의 축척을 크게 한 이유는 항외의 큰 파고를 기준 하였기 때문이다. Fig. 2.4.4를 살펴 보면 단주기파가 포함된 상태에서도 항내 정점에서는 장주기 진동이 상당히 뚜렷하게 나타나고 있다. Fig. 2.4.5와 2.4.6에는 high pass filter와 low pass filter를 모두 통과시킨 시계열 자료를 도시하였다. Fig. 2.4.5를 살펴보면 항내 뿐만 아니라 항외에서도 1~3분 정도 주기의 장주기 진동이 나타나고 있으며, 이는 단주기파의 파군 현상(wave grouping) 때문인 것으로 추측되었다. 그러나, Fig. 2.4.6을 살펴볼 때 부진동의 진폭이 상당히 작으므로 대체적으로 이 기간중에는 목호항내 부진동현상이 상당히 약했던 것으로 추측된다.

- 하계

정점 S1~S3에서 수집된 관측자료들의 일부(7월 11일 14시 34분부터 6초 간격의 자료 4,096개)를 동일한 시간대의 시계열 자료로써 Fig. 2.4.7에 각각 제시하였다. 이 그림들을 살펴보면 단주기파가 포함된 상태에서 항내 뿐만 아니라 항외 및 항입구의 정점에서도 장주기 진동이 상당히 뚜렷하게 나타나고 있다. Fig. 2.4.8에는 high pass filter와 low pass filter를 모두 통과시킨 시계열 자료를 도시하였다. 한편, Fig. 2.4.8에 제시된 그림중 정점 S2~S3의 시계열 곡선을 살펴보면 거의 동위상임을 알 수 있다. 이 기간중에는 동계관측의 경우와는 달리 진폭이 0.15~0.2 m, 주기가 10~15분 정도인 부진동이 매우 뚜렷하게 나타나고 있어서 상당한 대조를 이루고 있다.

2) 죽변항(동계)

죽변항의 경우 항외가 잔잔할 때(1월 13일 11시 1분부터 5초 간격의 자료 4,096개; Fig. 2.4.9)와 폭풍 경보가 발효중일 때(1월 16일 12시 59분부터 5초 간격의 자료 4,096개; Fig. 2.4.10)의 2가지 경우의 시계열 자료를 제시하였다. Fig.

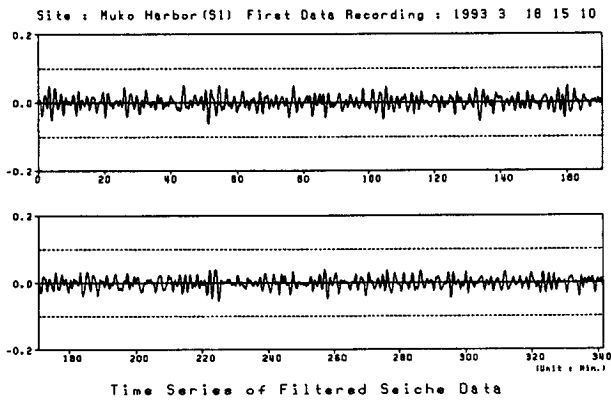
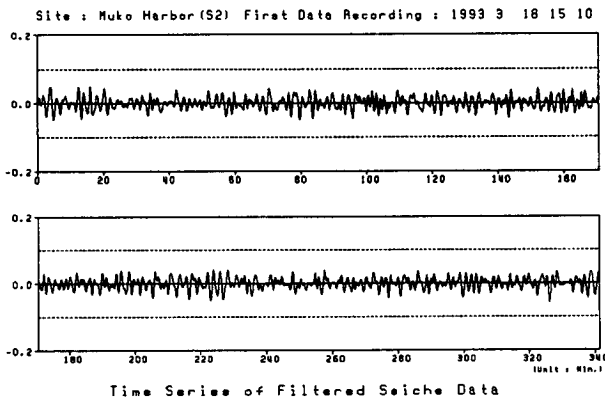
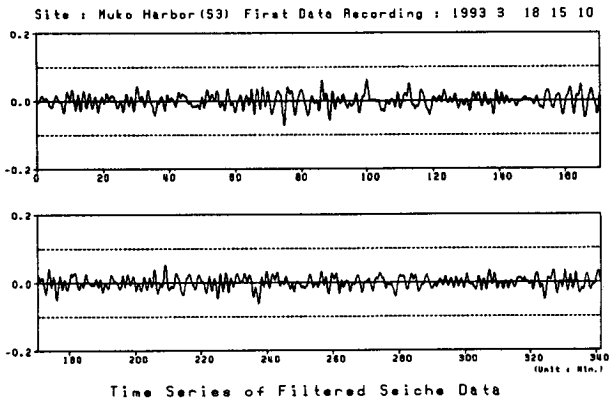


Fig. 2.4.5 Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(15:10 3/18~20:51 3/18/93).

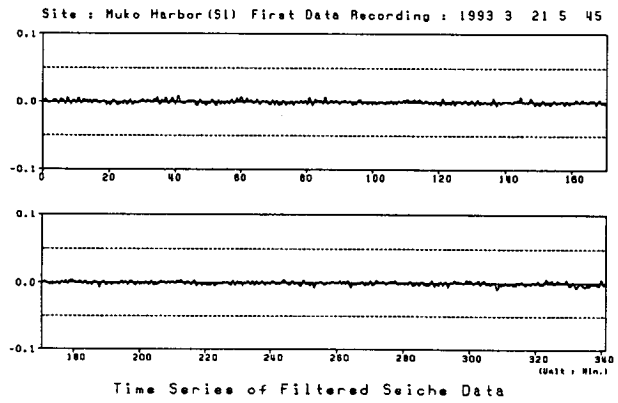
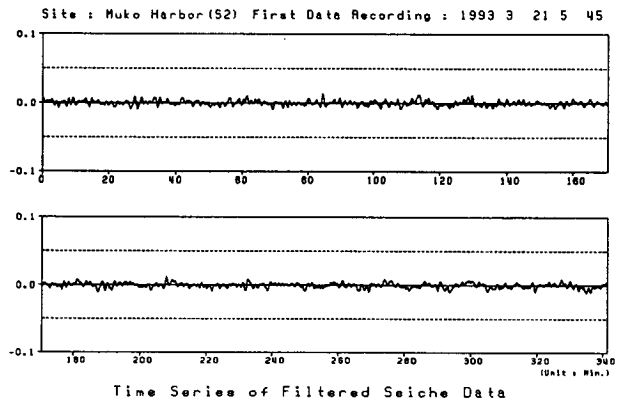
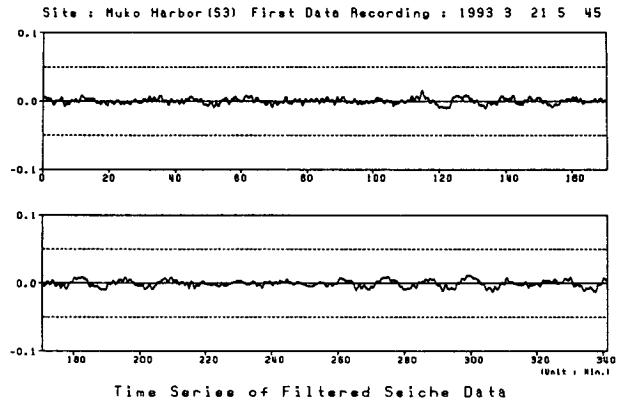


Fig. 2.4.6 Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(5:45 3/21~11:26 3/21/93).

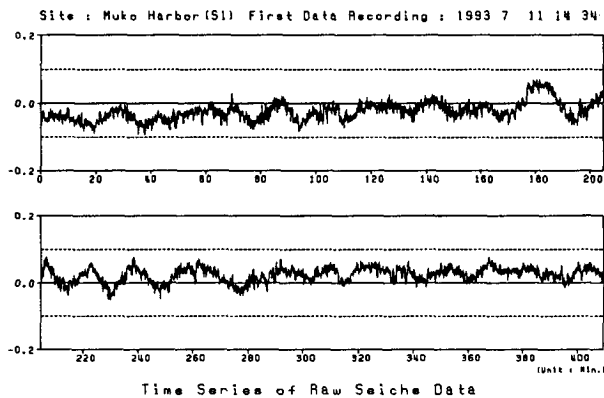
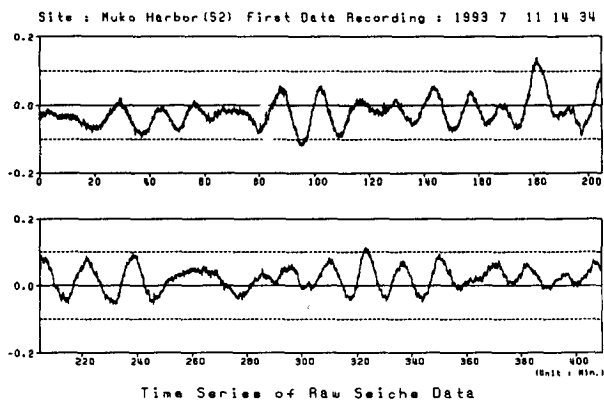
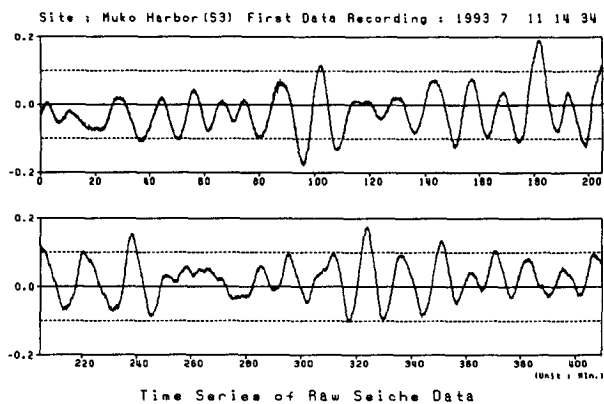


Fig. 2.4.7 Time series of raw sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(14:34 7/11~21:24 7/11/93).

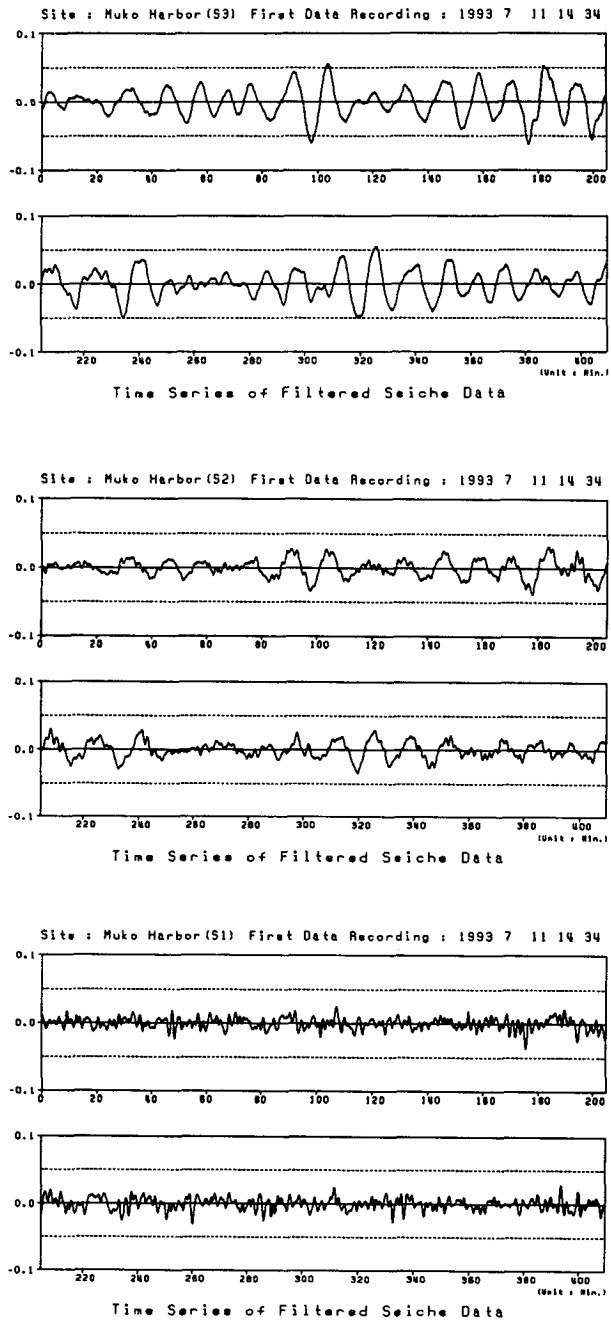


Fig. 2.4.8 Time series of filtered sea level data(S1~S3) measured in Muko Harbor(14:34 7/11~21:24 7/11/93).

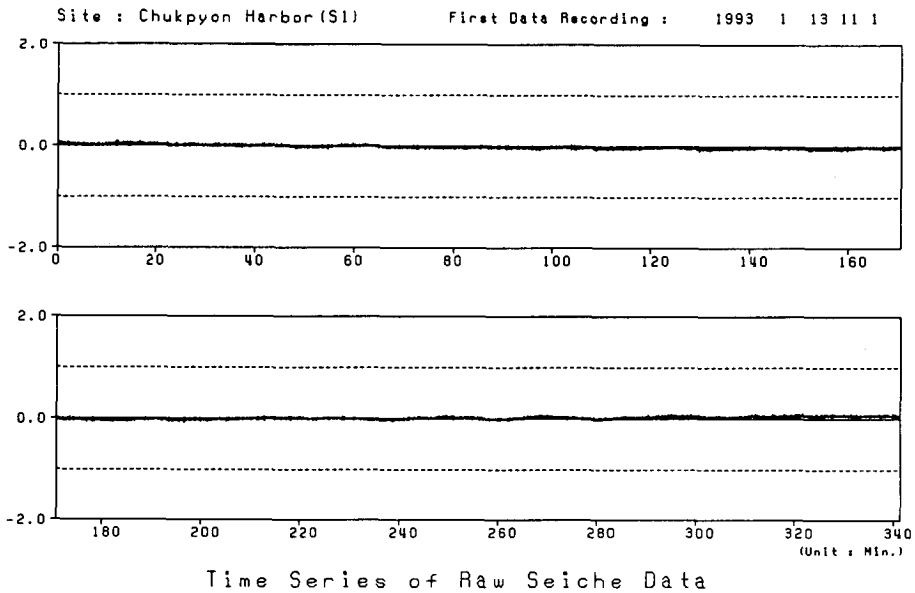
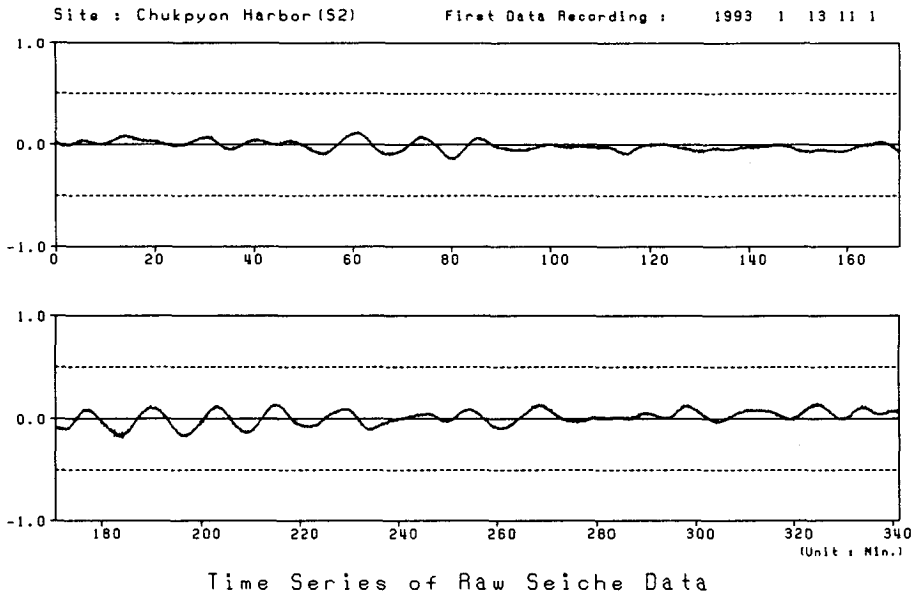


Fig. 2.4.9 Time series of raw sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(11:01 1/13~16:42 1/13/93).

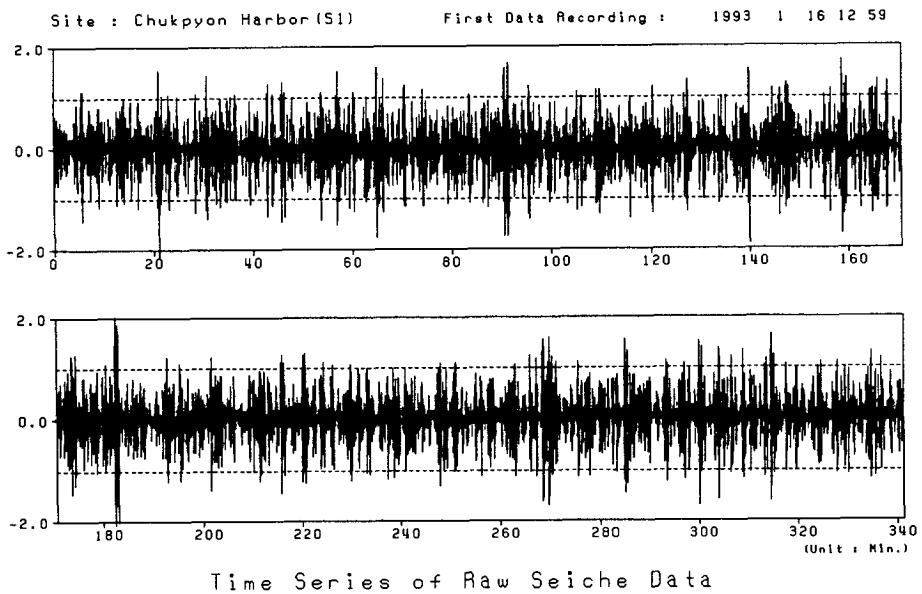
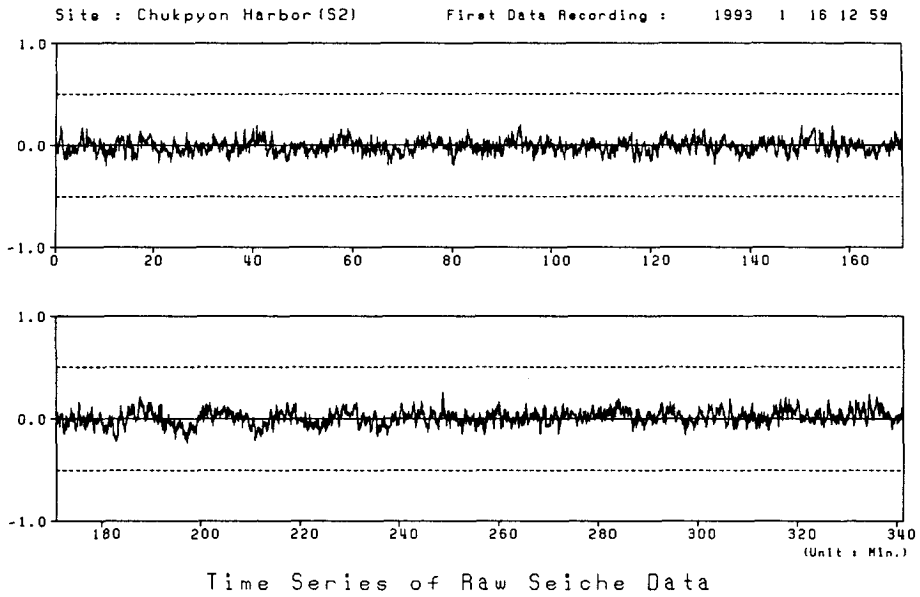


Fig. 2.4.10 Time series of raw sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(12:59 1/16~18:40 1/16/93).

2.4.9를 살펴 보면 단주기파가 포함된 상태에서도 항내 정점에서는 장주기 진동이 상당히 뚜렷하게 나타나고 있다. Fig. 2.4.10의 경우 단주기파가 제거되지 않아서 부진동 현상을 확실하게 알아보기 힘들며 진폭의 축척이 큰 이유는 항외에서 파가 커서 이를 기준하였기 때문이다. Fig. 2.4.11과 2.4.12에는 high pass filter와 low pass filter를 모두 통과시킨 시계열 자료를 도시하였다. Fig. 2.4.10을 살펴보면 항내 뿐만 아니라 항외에서도 1~3분 정도 주기의 장주기 진동이 나타나고 있으며, 이는 목호항의 경우와 동일하게 단주기파의 파군 현상(wave grouping) 때문인 것으로 추측되었다.

나. 스펙트럼 분석 결과

전술한 방법으로 고주파수대와 저주파수대의 에너지를 제거한 자료를 만든 후 이를 30초 간격으로 sampling하여 관측정점별로 4,096개(약 68.3 시간)의 시계열 자료를 만든 후 FFT(Fast Fourier Transformation) 기법을 이용하여 시계열 자료의 co-spectra 및 cross spectra를 분석하는 프로그램 SPECTRAD(해양개발연구소, 1979)로 분석하였다.

1) 목호항

- 동계

현장관측을 통해 구해진 전체자료수는 3개 정점별로 4,096개(약 34.1 시간)를 1 case로 할 때 모두 2 cases였으며, 각 case의 스펙트럼 분석 결과에서 제시된 peak period를 Table 2.4.1에 정리하였다. 본 연구에서는 2 cases 모두에 대해 스펙트럼 분석 결과(Fig. 2.4.13~2.4.14 참조)를 제시하였다. Table 2.4.1에 제시된 두번째 case의 결과에 따르면 목호항의 항입구 정점(S2)과 항내 정점(S3)에서 spectral

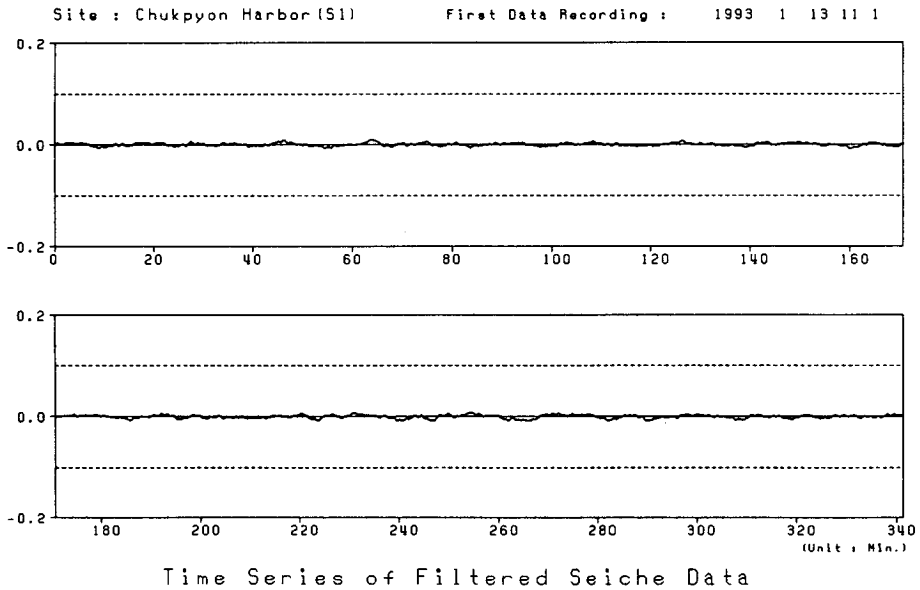
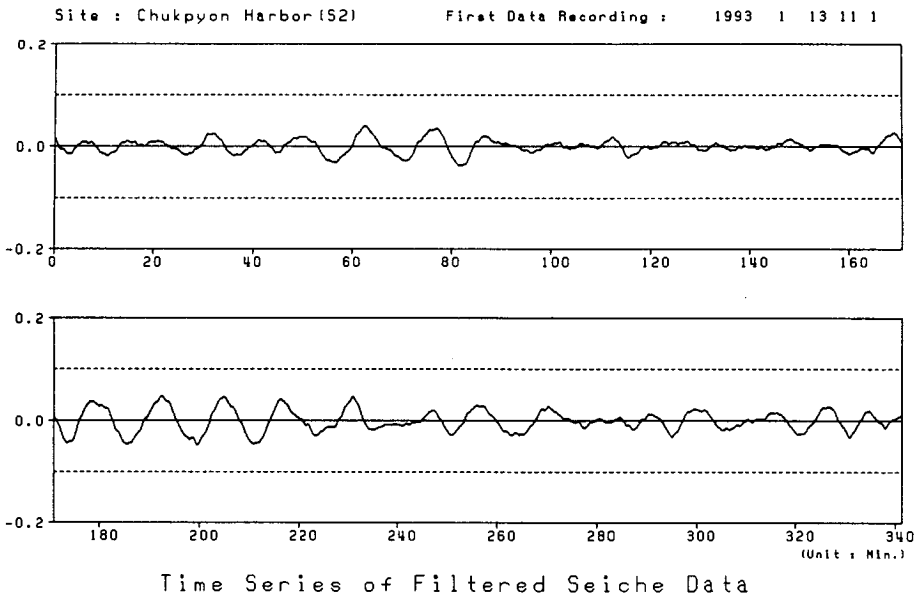


Fig. 2.4.11 Time series of filtered sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(11:01 1/13~16:42 1/13/93).

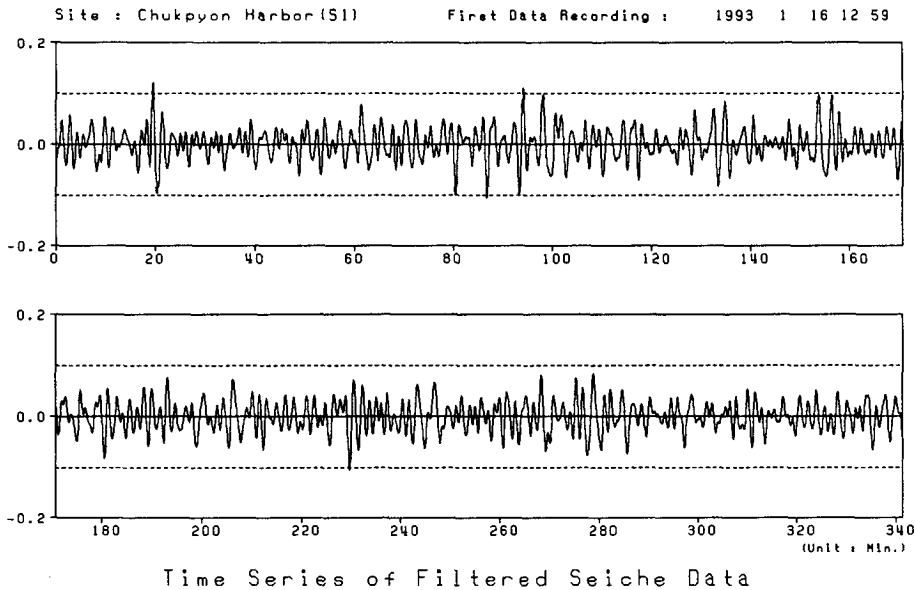
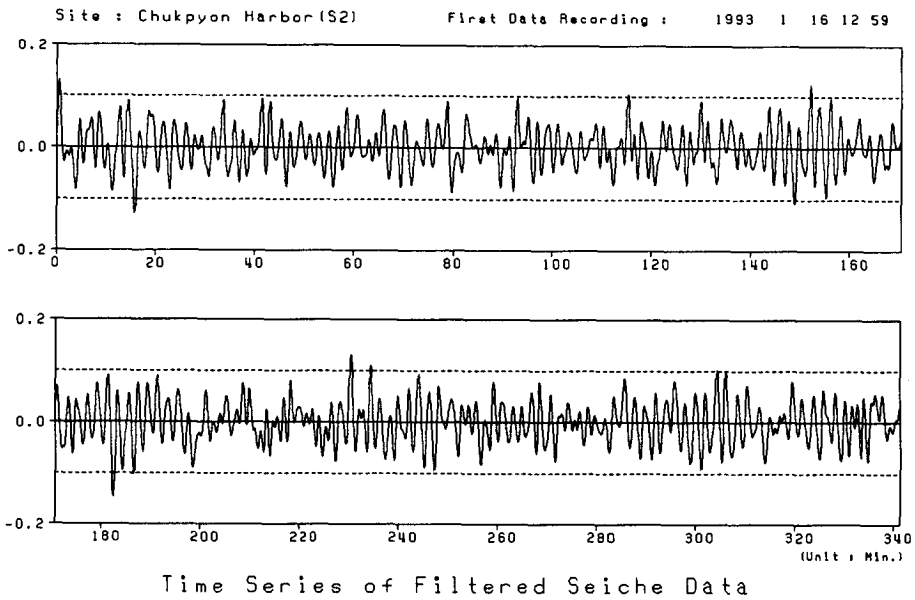


Fig. 2.4.12 Time series of filtered sea level data(S1~S2) measured in Chukpyon Harbor(12:59 1/16~18:40 1/16/93).

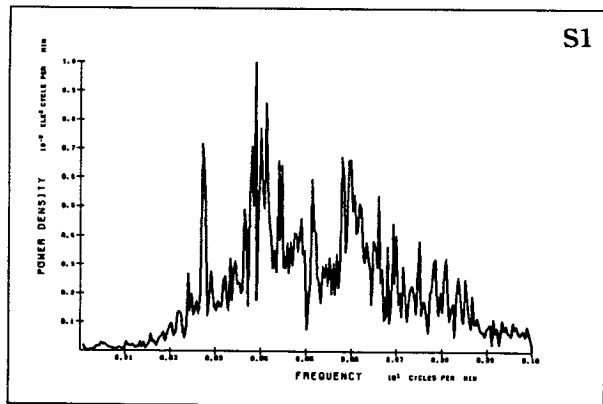
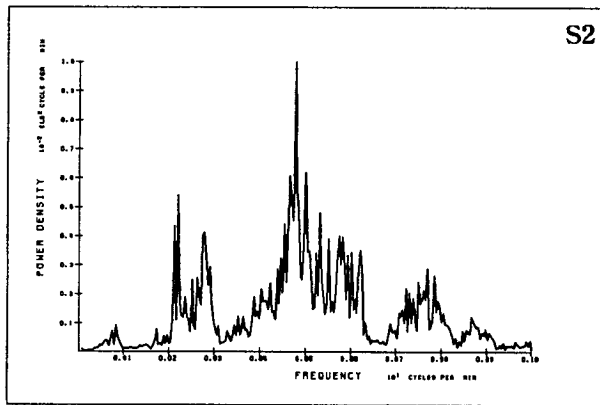
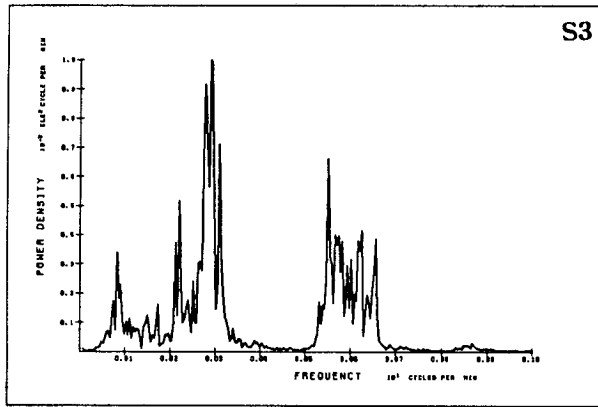


Fig. 2.4.13 Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 1, winter)

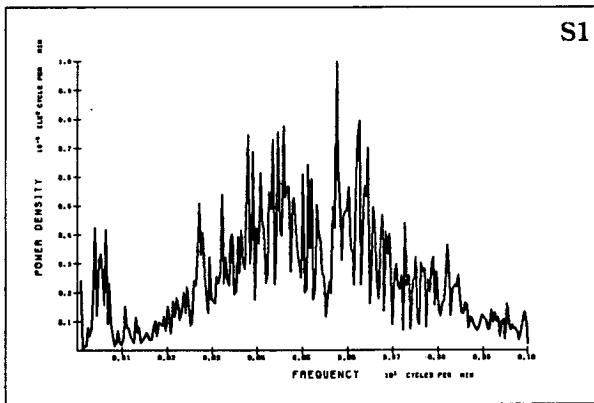
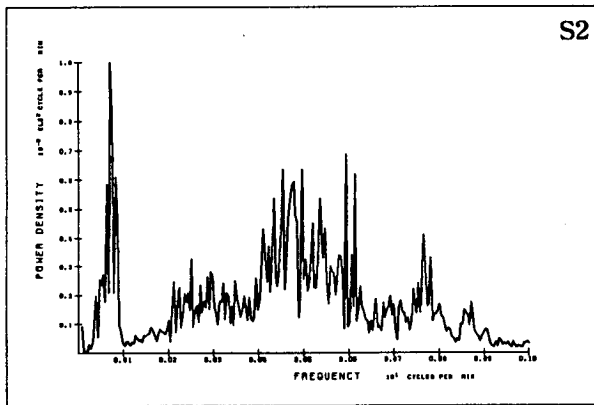
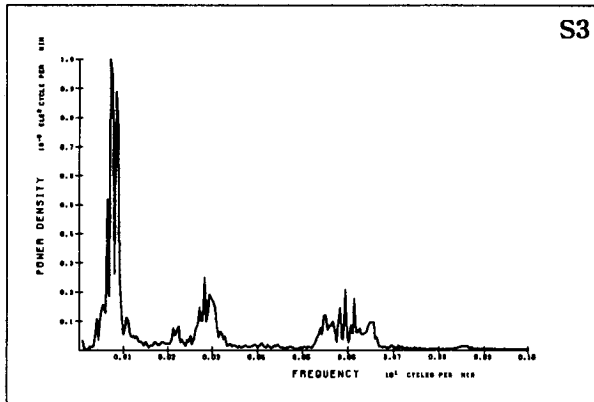


Fig. 2.4.14 Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 2, winter)

density가 최대인 주기는 통계에서는 각각 853초(14.2분)인 것으로 나타났다. 그리고, 제2 첨두주기와 국부적인 소규모 진동의 첨두주기는 구분이 명확하지 않으므로 수치모형실험 결과를 이용해야 할 것으로 판단되었다.

Table 2.4.1 Peak periods of seiches measured at three stations in Muko Harbor in winter.

Case no.	Measurement period	Peak periods of seiche(sec)			Mean wave direction	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
		S1	S2	S3			
1	3.18.15.10 ~20.01.18	233, 155, 151, 146, 117, 104	732, 284, 274, 216, 129, 126, 120, 113	732, 284, 274, 216, 208, 194, 109, 97, 91	N54.9° E	1.67	9.02
2	3.20.01.18 ~21.11.26	1535, 1181, 960, 223, 187, 158, 131, 104, 97	960, 853, 732, 240, 132, 126, 101, 98	960, 853, 732, 213, 205, 101, 98	N56.3° E	0.77	8.03

Fig. 2.4.13에는 정점 S1~S3에서 관측된 case 1의 자료의 스펙트럼 분석 결과를 제시하였다. 그림에 제시된 power density를 살펴보면 S1의 경우 233초(3.6분), 155초(2.6분), 151초(2.5분), 146초(2.4분), 117초(2.0분), 104초(1.7분) 등에서 peak가 나타나고 있으나 분명한 구분은 쉽지 않다. 항입구인 S2의 경우 732초(12.2분), 284초(4.7분), 274초(4.6분), 216초(3.6분), 129초(2.2분), 126초(2.1분), 120초(2.0분), 113초(1.9분) 등에서, 그리고 S3의 경우 732초(12.2분), 284초(4.7분), 274초(4.6분), 216초(3.6분), 208초(3.5분), 194초(3.2분), 109초(1.8분), 97초(1.6분), 91초(1.5분) 등에서 peak가 출현하며 몇 개를 제외하고는 분명한 구분이 쉽지 않다. 이 경우 특기할 만한 점은 spectral density가 최대인 주기가 2~4분 사이에 존재하며 이때 항외파고가 상당히 높았던 점을 감안하면 단주기파의 파군 현상에 의한 에너지가 상당히 컸던 것으로 생각된다. 참고로 동 관측기간중의 유의파고의 평균은

1.67 m였으며, 파고·파향계로 관측된 동 기간중의 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N55° E였다.

Fig. 2.4.14에는 정점 S1~S3에서 관측된 case 2의 자료의 스펙트럼 분석 결과를 제시하였다. 그림에 제시된 power density를 살펴보면 S1의 경우 1,535초(25.6분), 1,181초(19.7분), 960초(16.0분), 223초(3.7분), 187초(3.1분), 158초(2.6분), 131초(2.2분), 104초(1.7분), 97초(1.6분) 등에서 peak가 나타나고 있으나 분명한 구분은 쉽지 않다. 항입구인 S2의 경우 960초(16.0분), 853초(14.2분), 732초(12.2분), 240초(4.0분), 132초(2.2분), 126초(2.1분), 101초(1.7분), 98초(1.6분) 등에서, 그리고 S3의 경우 960초(16.0분), 853초(14.2분), 732초(12.2분), 213초(3.6분), 205초(3.4분), 101초(1.7분), 98초(1.6분) 등에서 peak가 출현하며 몇 개를 제외하고는 분명한 구분이 쉽지 않다. Case 2에서는 항외에 위치한 정점 S1을 제외하면 853초(14.2분)에서 spectral density가 최대여서 항외파고가 비교적 작을 경우 peak period가 항의 고유주기에 접근하는 점이 특기할 만하다. 동 관측기간중의 유의파고의 평균은 0.77 m였으며, 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N56° E였다.

Fig. 2.4.13과 2.4.14를 비교해 보면 항외의 파랑 상태에 따라 항내 정점에서의 peak period에서 반응이 상당히 다르게 나타나고 있다. 정점 S2와 S3을 기준할 때 case 2에서는 제1 첨두주기에서의 에너지가 가장 크나 case 1의 경우 국부적인 진동이 나타나는 주기대에서의 에너지가 오히려 제1 첨두주기에서의 에너지보다 크게 나타나고 있다. 이는 case 1에 해당되는 관측기간동안 항외 입사파가 상당히 컸던 점으로 미루어 볼 때 단주기파의 grouping effect 또는 이 성분이 장주기파에 중첩된 영향 때문인 것으로 판단된다.

- 하계

현장관측을 통해 구해진 전체자료수는 3개 정점별로 4,096개(약 34.1 시간)를 1 case로 할 때 모두 3 cases였으며, 각 case의 스펙트럼 분석 결과에서 제시된 peak period를 Table 2.4.2에 정리하였다. 본 연구에서는 3 cases 모두에 대해 스펙트럼 분석 결과(Fig. 2.4.15~2.4.17 참조)를 제시하였다. Table 2.4.1에 제시된 두번째 case의 결과에 따르면 묵호항의 항입구 정점(S2)과 항내 정점(S3)에서 spectral density가 최대인 주기는 하계에서는 각 case마다 달라서 각각 732초(12.2분), 768초(12.8분) 및 809초(13.5분)인 것으로 나타났다. 그리고, 제2 침두주기와 국부적인 소규모 진동의 침두주기는 하계 자료의 분석 결과에서는 전혀 출현하지 않아서 역시 수치모형실험 결과를 이용해야 할 것으로 판단되었다.

Table 2.4.2 Peak periods of seiches measured at three stations in Muko Harbor in summer.

Case no.	Measurement period	Peak periods of seiche(sec)			Mean wave direction	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
		S1	S2	S3			
1	7.7.15.00 ~ 9.01.08	1535, 1181, 853, 177	1535, 1181, 853, 732, 668	1181, 809, 732, 668, 591	N83.4° E	0.35	4.05
2	7.9.01.08 ~ 10.11.16	1535, 1181, 366, 177, 134	1181, 853, 768, 698	1181, 853, 768, 698, 569	N19.5° E	0.43	4.40
3	7.10.11.16 ~ 11.21.24	1535, 1181, 904, 809, 194, 187, 175, 167	1181, 809, 698	1181, 809, 698, 591	N54.2° E	0.37	5.19

Fig. 2.4.15에는 정점 S1~S3에서 관측된 case 1의 자료의 스펙트럼 분석 결과

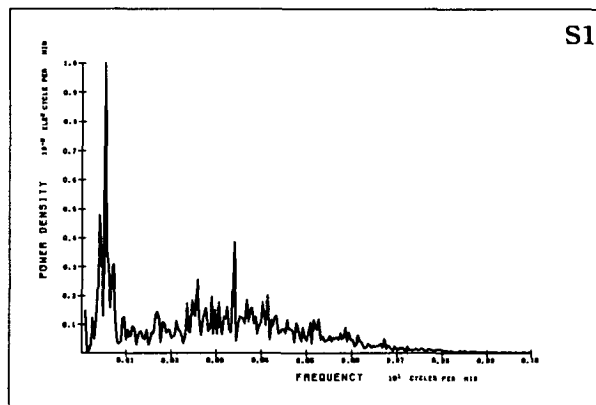
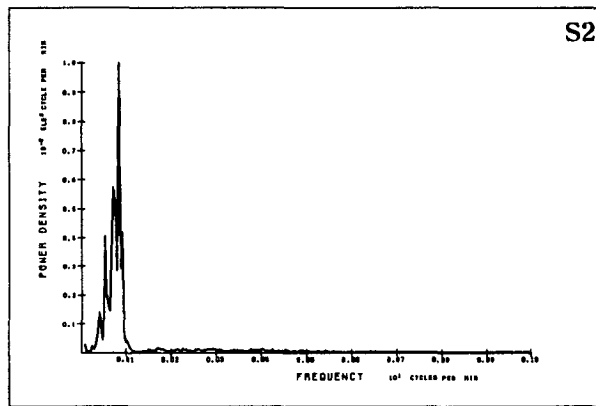
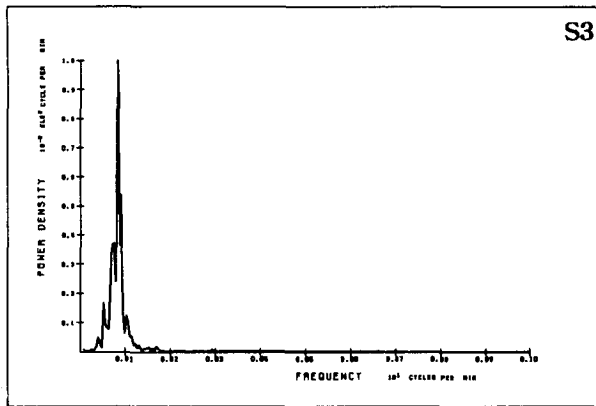


Fig. 2.4.15 Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 1, summer)

를 제시하였다. 그림에 제시된 power density를 살펴보면 S1의 경우 1,535초(25.6분), 1,181초(19.7분), 853초(14.2분), 110초(1.8분) 등에서 peak가 나타나고 있으며 비교적 분명하게 구분된다. 항입구인 S2의 경우 1,535초(25.6분), 1,181초(19.7분), 853초(14.2분), 732초(12.2분), 668초(11.1분) 등에서, S3의 경우 1,181초(19.7분), 809초(13.5분), 732초(12.2분), 668초(11.1분), 591초(9.9분) 등에서 peak가 출현하며 비교적 분명하게 구분된다. 동 관측기간중의 유의파고 H_s 의 평균은 0.35 m였으며, 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N83° E였다.

Fig. 2.4.16은 case 2의 3개 정점에서 관측된 자료를 분석한 것으로서 S2와 S3에서의 반응은 case 1과 유사하다. S1의 경우 1,535초(25.6분), 1,181초(19.7분), 366초(6.1분), 177초(3.0분), 134초(2.2분) 등에서 peak가 나타나고 있으나 peak frequency가 분명하게 구분되지는 않는다. 항입구인 S2의 경우 1,181초(19.7분), 853초(14.2분), 768초(12.8분), 698초(11.6분) 등에서, 그리고 항내인 S3의 경우 1,181초(19.7분), 853초(14.2분), 768초(12.8분), 698초(11.6분), 569초(9.5분) 등에서 peak가 출현하며 비교적 분명하게 구분된다. 동 관측기간중의 유의파고 H_s 의 평균은 0.43 m였으며 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N20° E였다.

Fig. 2.4.17은 case 3의 3개 정점에서 관측된 자료를 분석한 것으로서 case 2와 마찬가지로 S2와 S3에서의 반응은 case 1과 유사하다. S1의 경우 1,535초(25.6분), 1,181초(19.7분), 904초(15.1분), 809초(13.5분), 194초(3.2분), 187초(3.1분), 175초(2.9분), 167초(2.8분) 등에서 peak가 나타나고 있으나 peak frequency가 분명하게 구분되지는 않는다. 항입구인 S2의 경우 1,181초(19.7분), 809초(13.5분), 698초(11.6분) 등에서, 그리고 항내인 S3의 경우 1,181초(19.7분), 809초(13.5분), 698초(11.6분), 591초(9.9분) 등에서 peak가 출현하며 비교적 분명하게 구분된다. 동 관측기간중

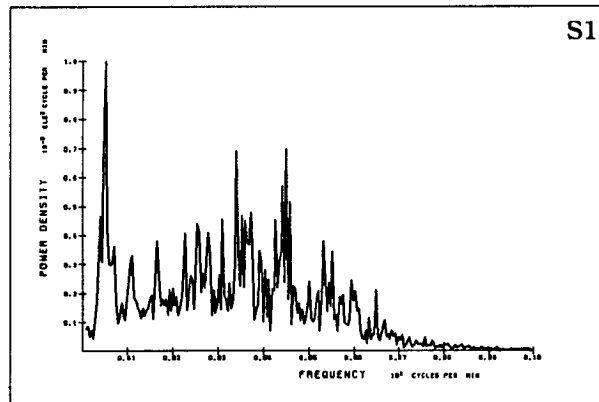
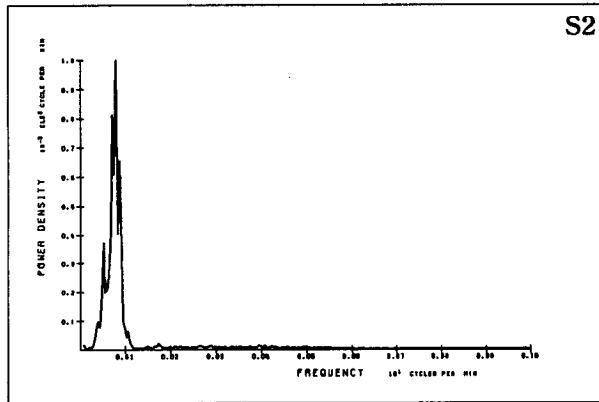
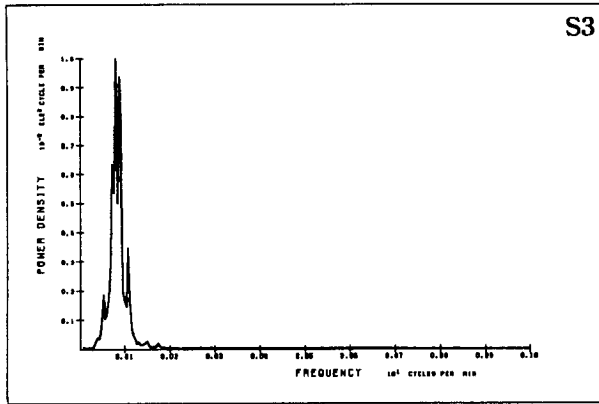


Fig. 2.4.16 Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 2, summer)

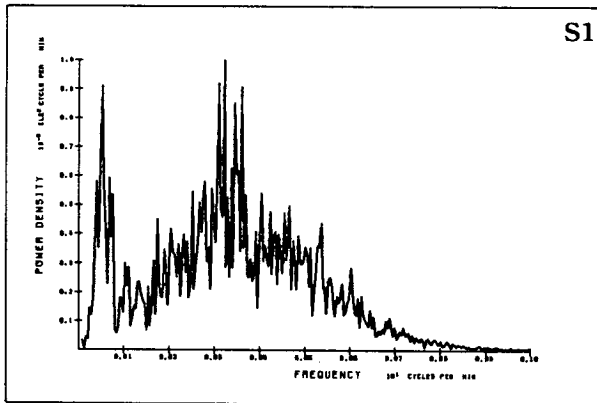
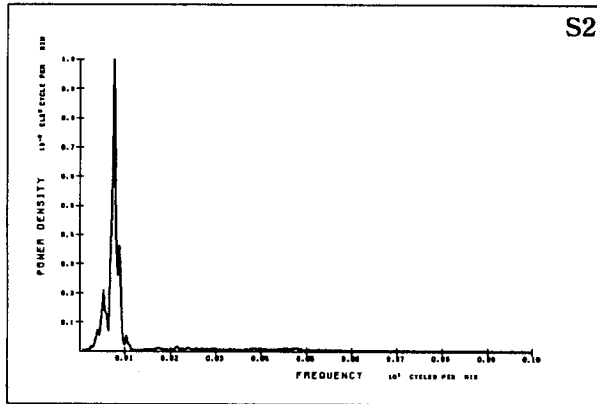
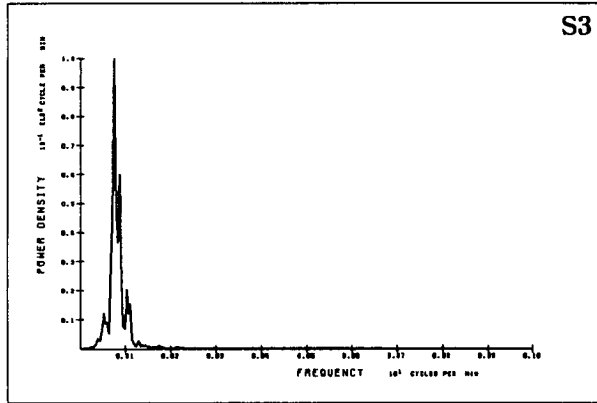


Fig. 2.4.17 Spectral density of sea level variations measured in Muko Harbor(case 3, summer)

의 유의파고 H_s 의 평균은 0.37 m였으며 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N54° E였다.

- 토의

동계와 하계의 관측 결과를 살펴보면 묵호항의 부진동 현상은 관측시기 및 항내 정점의 위치에 따라 peak period에서의 반응이 상당히 다르게 나타나고 있다. 폭풍주의보가 발효중일 때 관측된 Fig. 2.4.13의 경우 나머지 동·하계의 자료와는 달리 국부적인 진동이 나타나는 주기대에서의 에너지가 오히려 제1 첨두주기에서의 에너지보다 크게 나타나고 있다. 이는 단주기파의 grouping effect 또는 이 성분이 장주기파에 중첩된 영향 때문인 것으로 판단된다. 또한, 동계에 관측된 Figs. 2.4.13과 2.4.14에서는 하계에서는 나타나지 않은 제2 첨두주기 또는 국부적인 첨두주기가 출현하고 있는데 이는 항의 입사파고에 이 주기대에 에너지가 얼마나 포함되어 있는가에 달린 것으로 사료된다.

2) 죽변항(동계)

현장관측을 통해 구해진 전체자료수는 2개 정점별로 4,096개(약 34.1 시간)를 1 case로 할 때 모두 5 cases였으며, 각 case의 스펙트럼 분석 결과에서 제시된 peak period를 Table 2.4.3에 정리하였다. 본 연구에서는 5 cases 모두에 대해 스펙트럼 분석 결과(Fig. 2.4.18~2.4.22 참조)를 제시하였다. Table 2.4.1에 제시된 결과에 따르면 죽변항의 항내 정점(S2)에서 spectral density가 최대인 주기는 동계에서는 698초(11.6분)~809초(13.5분) 사이에 존재할 것으로 추측된다. 그리고, 제2 첨두주기와 국부적인 소규모 진동의 첨두주기는 구분이 명확하지 않으므로 묵호항의 경우와 마찬가지로 수치모형실험 결과를 이용해야 할 것으로 판단되었다.

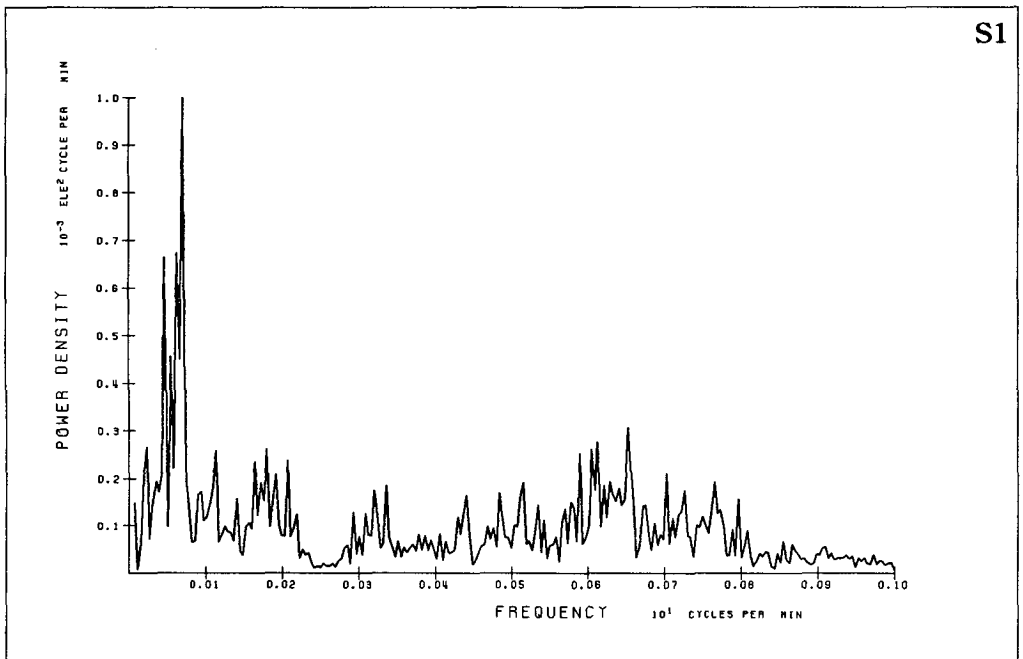
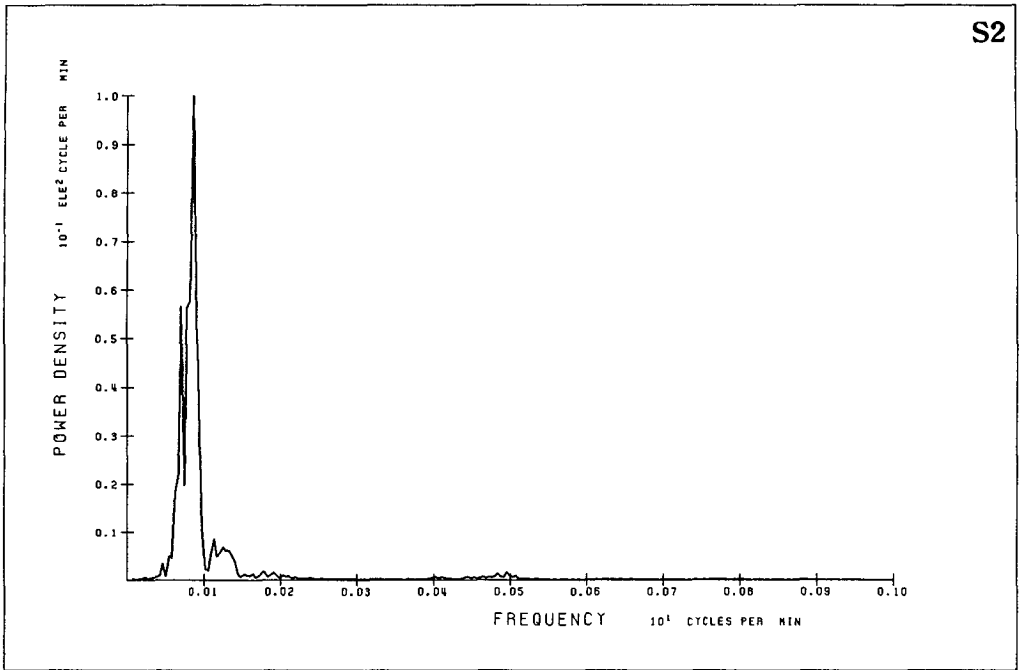
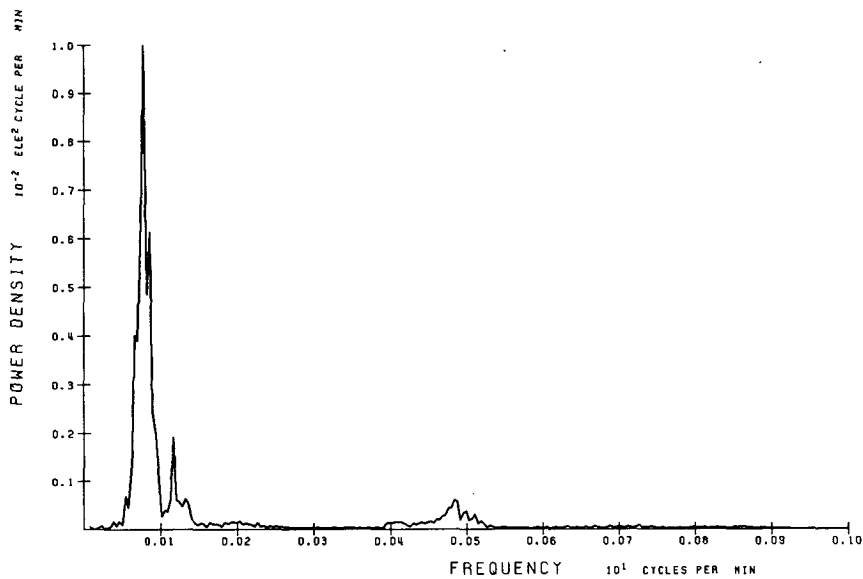


Fig. 2.4.18 Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 1, winter)

S2



S1

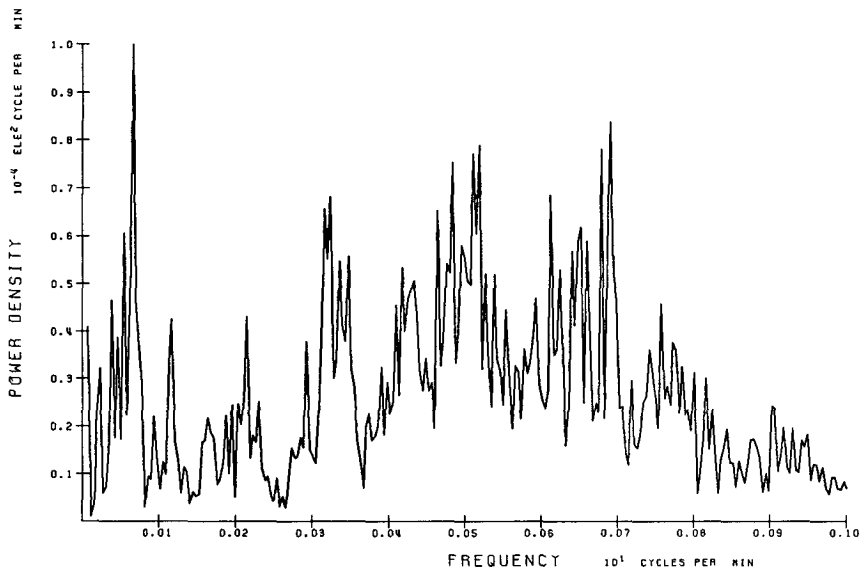


Fig. 2.4.19 Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 2, winter)

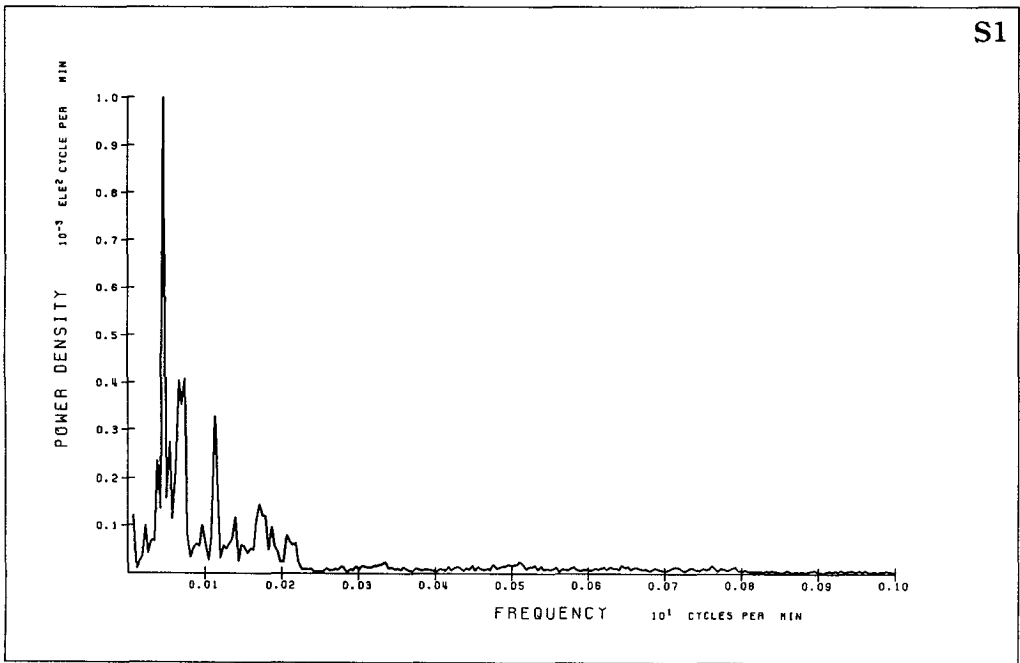
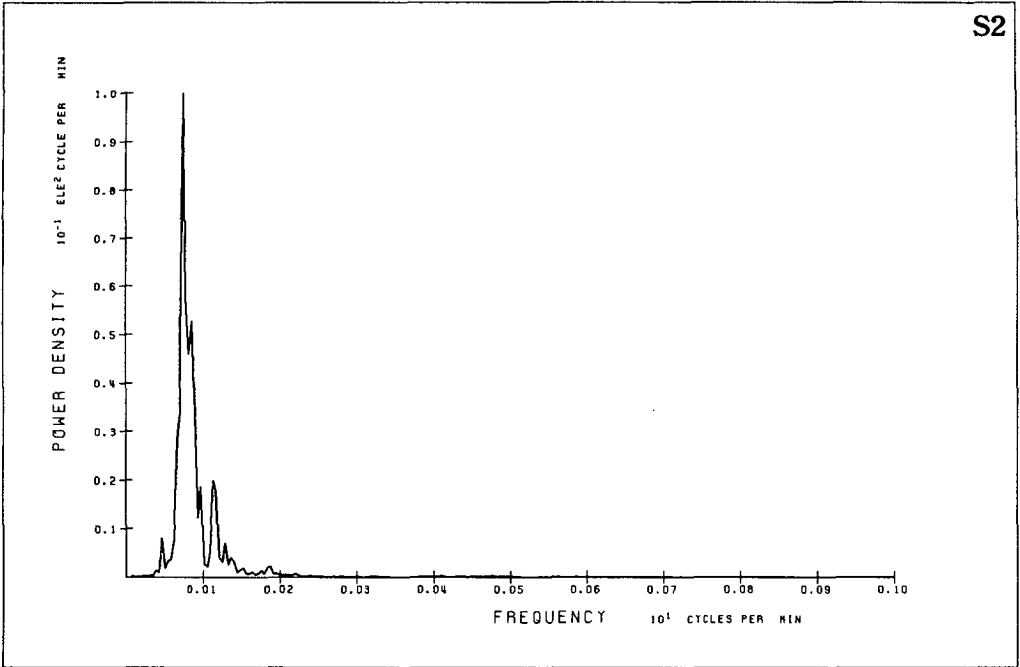


Fig. 2.4.20 Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 3, winter)

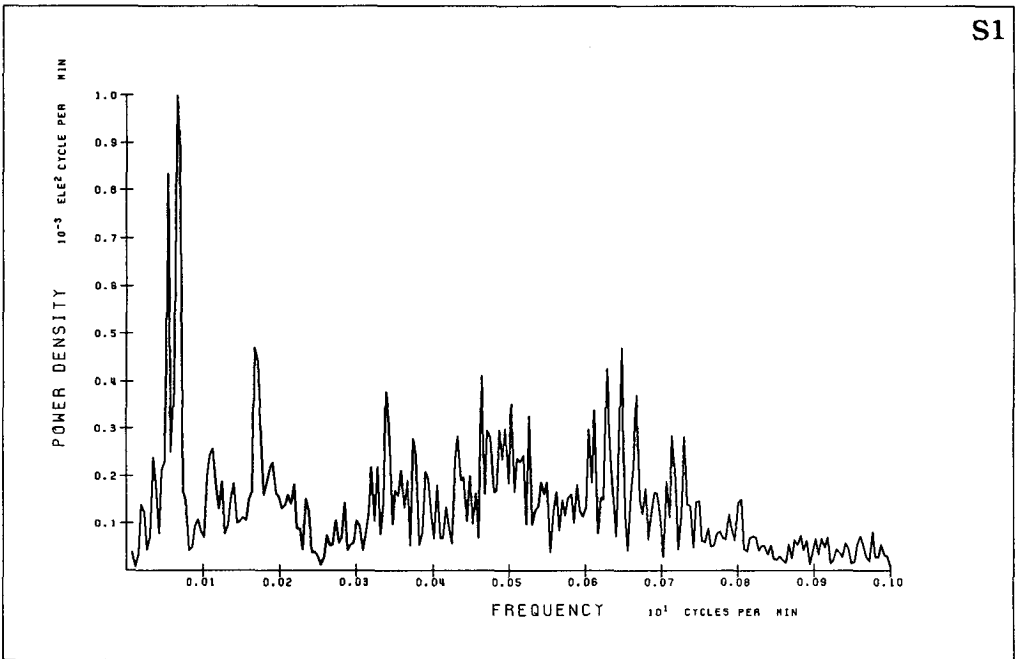
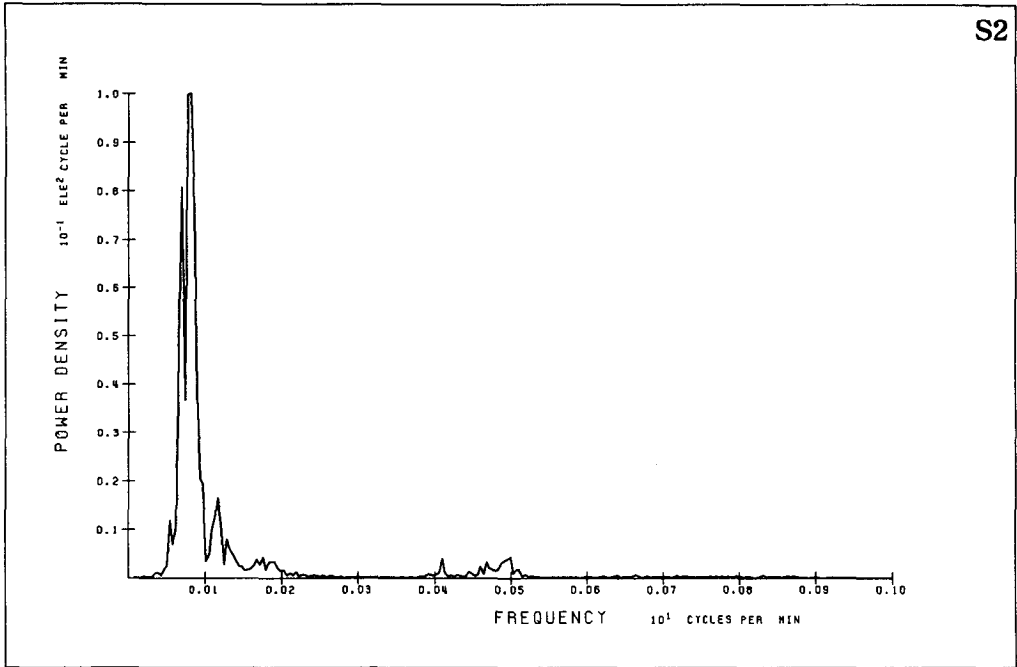


Fig. 2.4.21 Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 4, winter)

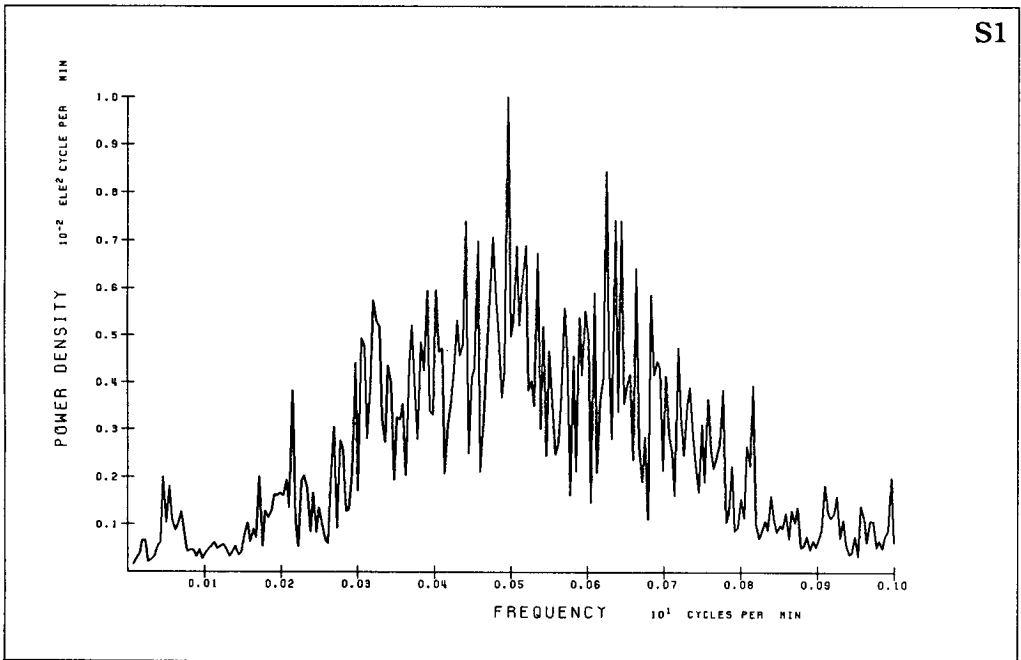
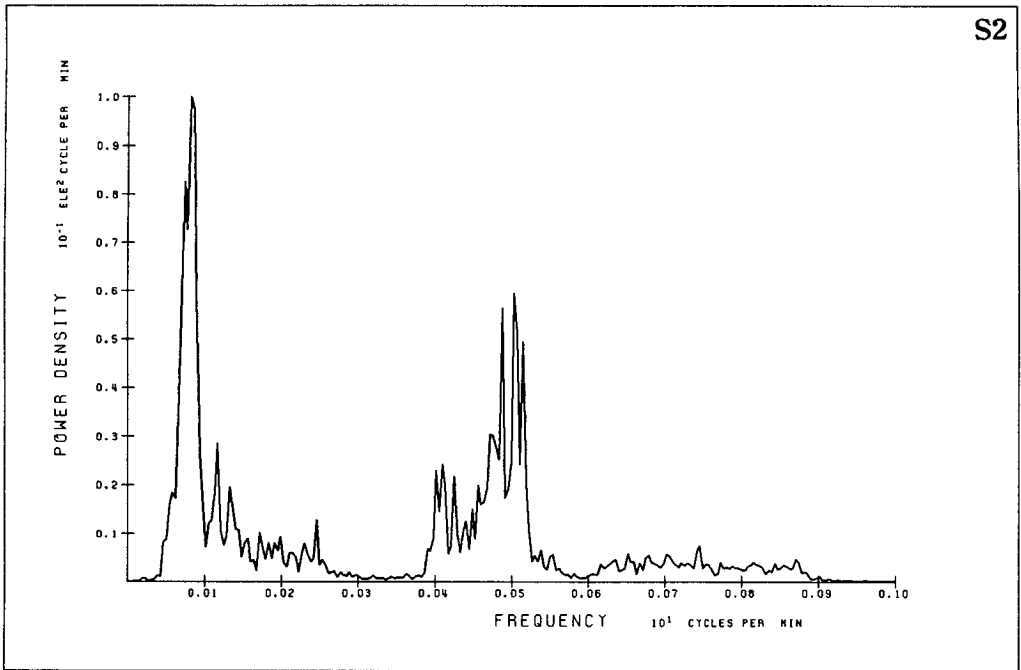


Fig. 2.4.22 Spectral density of sea level variations measured in Chukpyon Harbor(case 5, winter)

죽변항의 경우에는 항외가 잔잔하였던 시기에 관측된 case 3과 폭풍경보가 발효중이었던 시기의 case 5에 대해서만 특징을 비교하기로 한다. Fig. 2.4.20에는 정점 S1과 S2에서 관측된 case 3의 자료의 스펙트럼 분석 결과를 제시하였다. 그림에 제시된 power density를 살펴보면 S1의 경우 1,279초(21.3분), 853초(14.2분), 530초(8.8분) 등에서 peak가 나타나고 있으며 비교적 분명하게 구분된다. 항내인 S2의 경우 809초(13.5분), 698초(11.6분), 530초(8.8분) 등에서 peak가 출현하며 역시 비교적 구분이 쉽다. 참고로 동 관측기간중의 유의파고의 평균은 0.75 m였으며, 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N50° E였다.

Table 2.4.3 Peak periods of seiches measured at two stations in Chukpyon Harbor in winter.

Case no.	Measurement period	Peak periods of seiche(sec)		Mean wave direction	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)
		S1	S2			
1	1. 9.16.00 ~11.02.08	1279, 960, 853	853, 698	N65.6° E	1.31	6.41
2	1.11.02.08 ~12.12.16	1097, 904, 512, 279, 185	768, 698, 512, 124	N48.2° E	1.93	7.18
3	1.12.12.16 ~13.22.24	1279, 853, 530	809, 698, 530	N49.5° E	0.75	5.81
4	1.13.22.24 ~15.08.32	1097, 904, 357	853, 768, 731, 512	N54.7° E	1.83	7.20
5	1.15.08.32 ~16.18.40	1279, 279, 121, 96	809, 731, 698, 512, 146, 123, 119	N67.5° E	3.51	9.04

Fig. 2.4.22에는 정점 S1~S2에서 관측된 case 5의 자료의 스펙트럼 분석 결과

를 제시하였다. 그림에 제시된 power density를 살펴보면 S1의 경우 1,279초(21.3분), 279초(4.7분), 121초(2.0분), 96초(1.6분) 등에서, 그리고 S2의 경우 809초(13.5분), 731초(12.2분), 698초(11.6분), 512초(8.5분), 146초(2.4분), 123초(2.1분), 119초(2.0분) 등에서 peak가 출현하나 몇 개를 제외하고는 분명한 구분이 쉽지 않다. 이 경우 특기할 만한 점은 항외파고가 매우 높았는데도 spectral density가 최대인 주기가 목호항의 2~4분 사이와는 달리 peak period인 것으로 항만의 형상 등에 기인되는 차이인 것으로 생각된다. 동 관측기간중의 유의파고의 평균은 3.51 m였으며, 단주기파의 대표 파향의 평균은 약 N68° E였다.

3. 침두주기 분석

가. Merian's formula와 Helmholtz resonator 이론에 의한 침두주기 계산

3개항(동해항, 목호항 및 죽변항)의 부진동 현장관측 결과에서 제시된 2~3개의 침두주기에 대해서 이론식에 의한 추정치와 비교하였다. 한 쪽이 개방되고 다른 쪽이 폐쇄된 등수심의 직사각형 항만에 대해 사용되는 Merian 공식은 다음과 같다(Murty, 1984).

$$T_n = \frac{4L}{(2n-1)\sqrt{gh}} \quad (2.41)$$

여기서, T_n 은 제n번째 고유주기, L 은 항의 길이, g 는 중력가속도, h 는 수심을 각각 나타낸다.

입구(inlet)를 통하여 바다와 연결된 만(basin)에서는 Helmholtz mode로 알려진 mode의 공진이 발생할 수 있으며, 이 운동과 수반하여 만의 해수면은 유입수로(inlet channel)의 water mass가 출입함에 따라 같은 위상으로 승강한다. 이 운동

은 자유도가 1인 spring-mass system과 유사하며, 여기서 수로의 물은 질량, 그리고 증력하의 만내 해수위는 스프링(spring)을 나타낸다. Freeman 등(1974)은 Helmholtz resonator에서의 고유주파수를 다음 식으로 구할 수 있음을 제시하였다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{A}} \sqrt{\frac{S}{l}} \quad (2.4.2)$$

여기서, ω_0 는 natural frequency(rad/sec), A 는 항의 면적, S 는 수로의 단면적, l 은 수로의 길이를 각각 나타낸다.

1) 동해항

Merian's formula에 $L = 1,540$ m(항입구에서 항의 가장 내측까지의 길이), $g = 9.8$ m/sec^2 , $h = 14.0$ m를 대입하여 동해항의 제1 및 제2 고유주기를 간략하게 계산하면 약 526초(8.8분)과 175초(2.9분)가 된다. 이 결과는 관측자료의 분석 결과에서 제시된 동해항의 제1 및 제2 첨두주기(정 등, 1993a 참조)인 약 17.1분 및 5.5분과는 상당한 차이를 나타낸다.

동해항의 Helmholtz mode의 frequency를 $A = 1,055,000$ m^2 , $S = 5,600$ m^2 (폭 400 m, 깊이 14 m), $l = 1,540$ m(동해항의 경우 수로를 특별히 구분하기 어려우므로 항의 길이와 동일한 것으로 가정)를 사용하여 간단히 구해 보면 $\omega_0 = 0.005812$ (rad/sec)가 된다. 따라서, 이를 이용하여 peak period를 구하면 1,081초(18.0분)가 되므로 Merian 공식으로 구한 동해항의 제1 첨두주기 8.8분보다 관측결과로서 제시된 17.1분에 훨씬 접근한다.

2) 목호항

Merian's formula에 $L = 930$ m(항입구에서 항의 가장 내측까지의 길이), $g = 9.8$ m/sec², $h = 8.5$ m를 대입하여 목호항의 제1 및 제2 고유주기를 간략하게 계산하면 약 408초(6.8분)과 136초(2.3분)가 된다. 여기서 제시된 제1 첨두주기 6.8분은 관측자료의 분석 결과에서 제시된 목호항의 제1 첨두주기인 732초(12.2분)~853초(14.2분)와는 상당한 차이를 나타낸다.

목호항의 Helmholtz mode의 frequency를 $A = 363,000$ m², $S = 1,500$ m²(폭 150 m, 깊이 10 m), $l = 470$ m를 사용하여 간단히 계산해 보면 $\omega_0 = 0.00928$ (rad/sec)가 된다. 따라서, 이를 이용하여 peak period를 구하면 677초(11.3분)가 되므로 Merian 공식으로 구한 목호항의 제1 첨두주기 6.8분보다 관측결과로서 제시된 12.2~14.2분에 훨씬 접근한다.

3) 죽변항

Merian's formula에 $L = 530$ m, $g = 9.8$ m/sec², $h = 4.5$ m를 대입하여 죽변항의 제1 및 제2 고유주기를 간략하게 계산하면 약 319초(5.3분)과 106초(1.8분)가 된다. 이 결과는 관측자료의 분석 결과에서 제시된 죽변항의 제1 첨두주기인 698초(11.6분)~809초(13.5분)와는 상당한 차이를 나타낸다.

죽변항의 Helmholtz mode의 frequency를 $A = 221,000$ m², $S = 825$ m²(폭 150 m, 깊이 5.5 m), $l = 270$ m를 사용하여 간단히 계산해 보면 $\omega_0 = 0.01164$

(rad/sec)가 된다. 따라서, 이를 이용하여 peak period를 구하면 540초(9.0분)가 되므로 Merian 공식으로 구한 측면항의 제1 첨두주기 5.3분보다 관측결과로서 제시된 11.6~13.5분에 훨씬 접근한다.

나. 첨두주기 분석

1) 동해항

정 등(1993a)에 따르면 13 cases중 항내 정점인 S3와 S4에서는 10 cases에서 17.1분, 그리고 3 cases에서 16.0분의 첨두주기가 제시되어 동해항의 제1 첨두주기는 약 17.1분이 될 것으로 판단되었다. 그리고, 동해항의 제2 첨두주기는 3 cases에서 출현한 약 5.5(327초 및 334초)분이 될 것으로 사료되었으며 이는 통상 제2 첨두주기가 제1 첨두주기의 1/3 정도인 점을 감안하면 타당한 것으로 판단되었다. 한편, 국부적인 소규모 진동의 첨두주기는 구분이 명확하지 않으므로 수치모형실험 결과를 이용해야 할 것으로 판단되었다.

2) 목호항

Helmholtz resonator 이론에 의한 결과가 677초(11.3분)이며, Table 2.4.1과 2.4.2에 제시된 항내(S3)에서의 공진주기들의 출현빈도를 종합하여 생각해 볼 때 732초가 3회, 그리고 668초, 698초, 809초, 853초가 각각 2회씩이므로 어느 하나를 제1 첨두주기로 결정하기가 상당히 곤란하다. 따라서, 후술하는 첨두주기에서의 증폭비 계산 결과들을 종합하여 판단해야 할 것으로 사료된다.

3) 측면향

측면향에 Helmholtz resonator 이론을 적용한 결과가 540초(9.0분)이며, Table 2.4.3에 제시된 항내 정점(S2)에서의 공진주기들의 출현빈도는 698초가 4회, 512초가 3회, 그리고 731초, 768초, 809초, 853초가 각각 2회씩으로 나타났다. 따라서, 이 경우에도 어느 하나를 제1 침두주기로 결정하기가 곤란하므로 후술하는 침두주기에서의 증폭비 계산 결과들을 종합하여 판단해야 할 것으로 사료된다.

다. 증폭비 계산

스펙트럼 분석에 의해 제시된 각 항의 침두주기에 대해 항외 정점 S1에 대한 나머지 정점(동해항 : S2~S4의 3개소; 목호항 : S2~S3의 2개소; 측면향 : S2의 1개소)에서의 증폭비를 다음의 식 (2.4.3)을 이용하여 구하였다.

$$R_{1i} = \sqrt{\frac{S(f_p)_i(\sigma^2)_i}{S(f_p)_1(\sigma^2)_1}} \quad (2.4.3)$$

여기서, S 는 스펙트럼 밀도, σ^2 은 분산(variance), f_p 는 peak frequency, 아랫첨자 i 는 정점(S2~S4)의 번호를 나타낸다. 수집된 자료 cases는 동해항의 경우 13 cases, 목호항 동계의 경우 2 cases, 목호항 하계의 경우 3 cases, 그리고 측면향 동계의 경우 5 cases였다.

1) 동해항

동해항 3개 정점에서 식 (2.4.3)에 의해 13 cases의 침두주기에서 구한 항외 정점 S1에 대한 항내 정점 S2~S4에서의 증폭비들을 Table 2.4.4~2.4.6에 제시하였

Table 2.4.4 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S2 in Donghae Harbor in winter.

Period (sec)	Amplification ratios													Ave.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1704													1.2	1.2
1615									1.5					1.5
1535			1.9				1.7							1.8
1534										1.6	1.6	1.7		1.6
1395	1.9	2.1												2.0
1279				2.3		2.5		2.0			2.0	2.5		2.3
1181					2.5				2.9	2.9	3.1			2.9
1024	11.2		8.5		14.6	8.4	12.2		6.8	5.1	5.3	6.0		8.7
960		8.0		12.0				7.9					7.8	8.9
809		2.2					2.4			2.8	2.5			2.5
768			2.4	1.9										2.2
439		1.0					1.1		0.9					1.0
427				0.7									0.7	0.7
415											1.0			1.0
366			1.4											1.4
284				0.8										0.8
226		1.0												1.0
213	4.2													4.2
209					4.3									4.3
208								3.9						3.9
205		5.5										2.1		3.8
191									1.5					1.5
187	0.6											0.9		0.8
182									3.3					3.3
179					0.8									0.8
173		1.9												1.9
169								1.0						1.0
141		1.9												1.9
140									1.1					1.1
138					2.5									2.5
137								2.5						2.5
135						7.3		4.3						5.8
134	3.9	4.1										2.5		3.5
130					5.5									5.5
125									2.6					2.6
124	1.7							1.7						1.7
121													2.1	2.1
112					0.9									0.9
110	0.5													0.5
99	0.6													0.6
97								1.6						1.6
89								0.9						0.9
84	2.5											2.1		2.3
83								3.0						3.0

Table 2.4.5 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S3 in Donghae Harbor in winter.

Period (sec)	Amplification ratios													Ave.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1704													1.5	1.5
1615									1.7					1.7
1535			2.1				2.0							2.1
1534										1.9	1.9	1.9		1.9
1395	2.4	2.6												2.5
1279				3.0		3.3		2.8			2.6			2.9
1181					3.7					3.9				3.8
1024	18.2		13.5		25.8	15.2	19.5		10.7	8.2	8.4	10.4	13.8	14.4
960		13.8		21.0				13.7						16.2
809		6.1	6.4				5.0		7.2	7.1	6.3	6.1		6.3
768			5.3	4.6										5.0
439		1.8					1.8		1.2					1.6
427				0.9									0.6	0.8
415											1.5			1.5
366			1.1											1.1
334								4.1						4.1
327	6.7	7.4												7.1
320									2.8					2.8
284				0.9										0.9
226		0.8												0.8
208	3.2							5.2						4.2
205		6.4												6.4
202												3.9		3.9
191									0.6					0.6
187	0.7											0.8		0.8
179					1.0									1.0
173		1.0												1.0
169								0.8						0.8
141		1.6												1.6
140									0.8					0.8
138					0.7									0.7
137								0.7						0.7
134												1.4		1.4
132												1.7		1.7
125									1.3					1.3
124	0.9							0.5						0.7
119		6.8			5.1	7.6		3.0				4.3		5.4
117	3.7													3.7
112					0.7									0.7
110	0.7													0.7
102	3.5													3.5
100		2.0												2.0
99	0.6													0.6
98						5.2								5.2
97								0.9						0.9
89								0.9						0.9

Table 2.4.6 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S4 in Donghae Harbor in winter.

Period (sec)	Amplification ratios													Ave.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1704													1.5	1.5
1615									1.8					1.8
1535			2.1				1.9							2.0
1534										2.0	1.9	1.9		1.9
1395	2.4	2.7												2.6
1279				3.1		3.4		2.9			2.6			3.0
1181					3.6				4.2	4.0				3.9
1024	19.0		13.5		25.2	15.5	19.7		11.3	8.5	8.2	10.1	13.2	14.4
960		14.3		22.6				14.4						17.1
809		6.2	6.7				5.6		7.7	7.0	6.1	5.7		6.4
768			5.3	5.0										5.2
439		1.3					1.2		1.1					1.2
427				1.1									0.4	0.8
415											1.1			1.1
366			0.5											0.5
334								7.9						7.9
327	5.6	6.9												6.3
284				0.6										0.6
226		0.5												0.5
213	4.4													4.4
208						3.8		5.4						4.6
205		6.4										2.4		4.4
191									1.0					1.0
187	0.7											0.6		0.7
179					1.0									1.0
173		0.9												0.9
169								1.0						1.0
141		1.0												1.0
140									2.3					2.3
138					1.3									1.3
137								1.2						1.2
134												0.5		0.5
125									1.5					1.5
124	1.6							1.6						1.6
120	3.7					4.1								3.9
119		6.9			6.7			3.9						5.8
118												2.3		2.3
112					0.6									0.6
110	0.3													0.3
102												2.2		2.2
99	0.4													0.4
97								0.8						0.8
89								1.1						1.1

다. 이 표를 살펴보면 제1 첨두주기 17.1분(1,024초)에서의 증폭비가 정점 S2에서 5.1~14.6(평균 8.7), S3에서는 8.2~25.8(평균 14.4), 그리고 S4에서는 8.2~25.2(평균 14.4)로 나타났다. 그리고, 제2 첨두주기인 5.5분(327초 및 334초)에서는 정점 S3와 S4에서 평균값이 4.1~7.9 정도로 변화하였다. 3 cases에서 peak가 출현한 16.0분에서의 증폭비의 평균이 정점 S3와 S4에서 16.2~17.1 정도여서 10 cases에서 peak가 출현한 17.1분에서의 증폭비의 평균인 14.4보다 큰 점이 특이하다.

한편, 정 등(1993a)에 제시된 제1 첨두주기 17.1분(1,024초)에서의 증폭비들, S2에서 6.0, S3에서 10.0, 그리고 S4에서 10.0은 제1, 8 및 13 case에서 각각의 제1 첨두주기를 17.1분을 중심으로 5개의 frequency에서의 증폭비들을 산술 평균한 값으로서 이 값이 실제와 더 부합되는 것으로 판단되었다. 한편, 정 등(1993a)의 결과에 의하면 정점 S2~S4에서의 시계열 곡선이 거의 동위상이므로 이러한 사실을 종합해 볼 때 제1 첨두주기 17.1분은 node가 항입구로부터 항외측으로 상당히 떨어진 Helmholtz natural period일 것으로 생각된다.

2) 목호항

식 (2.4.3)에 의해 구한 목호항 동계 및 하계 관측자료의 첨두주기들에서의 증폭비들을 Table 2.4.7과 2.4.8에 각각 제시하였다. 이 표를 살펴보면 동·하계 모두 732초에서 증폭비가 가장 크며 항외 정점 S1에 대한 항내 정점 S3에서의 값이 15.5~27.0까지 변화하고 있다. 동·하계 모두 첨두주기 732초를 중심으로 증폭비가 일정하게 감소하고 있으므로 이를 목호항의 제1 첨두주기로 보아도 될 것으로 사료된다.

Table 2.4.7 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at two stations in Muko Harbor in winter.

Period(sec)	Amplification ratios				Average	
	1		2		S2	S3
	S2	S3	S2	S3		
1535			1.1	1.3	1.1	1.3
1181			1.3	1.8	1.3	1.8
960			1.8	2.9	1.8	2.9
853			3.2	5.5	3.2	5.5
732	4.9	10.5	9.9	20.4	7.4	15.5
284	3.7	4.0			3.7	4.0
274	2.8	3.2			2.8	3.2
240			3.0		3.0	
233	0.9	1.2			0.9	1.2
223			1.1	1.4	1.1	1.4
216	1.3	2.2			1.3	2.2
213				2.6		2.6
208		3.1				3.1
205				2.0		2.0
194		3.5				3.5
187			1.0	0.8	1.0	0.8
158			0.8	0.3	0.8	0.3
155	0.6	0.3			0.6	0.3
151	0.5	0.2			0.5	0.2
146	0.6	0.2			0.6	0.2
132			2.0		2.0	
131			0.8	0.2	0.8	0.2
129	1.8				1.8	
126	2.2		1.7		2.0	
120	4.0				4.0	
117	0.9	0.3			0.9	0.3
113	2.4				2.4	
109		2.3				2.3
104	0.9	1.0	0.8	0.4	0.9	0.7
101			1.9	1.7	1.9	1.7
98			2.6	2.3	2.6	2.3
97		1.4	0.7	0.9	0.7	1.2
91		1.9				1.9

Table 2.4.8 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at two stations in Muko Harbor in summer.

Period(sec)	Amplification ratios						Average	
	1		2		3		S2	S3
	S2	S3	S2	S3	S2	S3		
1535	1.3	1.5	1.1	1.2	1.2	1.5	1.2	1.4
1181	1.6	1.9	1.4	1.8	1.6	2.2	1.5	2.0
904					2.6	4.2	2.6	4.2
853	3.3	5.2	3.5	5.6			3.4	5.4
809		8.6			4.5	8.1	4.5	8.4
768			7.6	13.7			7.6	13.7
732	13.9	27.0					13.9	27.0
698			4.6	10.0	6.9	15.8	5.8	12.9
668	4.6	10.2					4.6	10.2
591		5.8				4.9		5.4
569				4.5				4.5
366			0.3	0.6			0.3	0.6
194					0.3	0.2	0.3	0.2
187					0.2	0.1	0.2	0.1
177	0.4	0.2	0.1	0.1			0.3	0.2
175					0.2	0.1	0.2	0.1
167					0.2	0.1	0.2	0.1
134			0.2	0.1			0.2	0.1

3) 죽변항

식 (2.4.3)에 의해 구한 죽변항 동계 관측자료의 첨두주기들에서의 증폭비들을 Table 2.4.9에 제시하였다. 이 표를 살펴보면 731초와 698초에서의 항외 정점 S1에 대한 항내 정점 S2에서의 평균증폭비가 각각 23.6과 22.3으로 값이 비슷하다. 이들을 중심으로 증폭비가 일정하게 감소하고 있으나 전술한 출현빈도를 감안하면 698초를 죽변항의 제1 첨두주기로 보아도 될 것으로 사료된다.

4. 토 의

동해항, 묵호항 및 죽변항에서 2~4대의 수압식 파고계를 사용하여 동·하계에 약 일주일~1개월간 현장관측을 실시하여 각 항별 부진동의 특성을 파악하였다. 관측자료의 스펙트럼 분석 결과에서 제시된 주요 토의 사항은 다음과 같다.

- 동해항의 항내 관측자료(S3, S4)의 분석에서 동해항의 제1 첨두주기는 16.0(3회)~17.1분(10회), 제2 첨두주기는 5.3(1회)~5.6분(3회) 사이에 존재하는 것으로 나타났으며, 출현빈도를 감안하면 제1 첨두주기는 약 17.1분, 제2 첨두주기는 약 5.5분이 되는 것으로 사료된다.
- 묵호항과 죽변항의 현장관측자료 분석 결과 묵호항의 제1 첨두주기는 약 12.2분(732초), 그리고 죽변항의 제1 첨두주기는 약 11.6분(698초)가 될 것으로 사료된다.
- Merian 공식에 의한 3개항의 고유주기와 관측에 의해 구해진 첨두주기가 크게 다른 것으로 나타났다. 동해항의 경우만으로 한정하면 폭이 좁고 이중으로 이루어진 항입구라는 특수한 형태에 기인된 것으로 판단할 수도 있다. 그러나, 묵호항과 죽변항의 경우도 동일한 현상을 나타내었으므로 접근수로를 가진 항

Table 2.4.9 Amplification ratios at peak periods of seiches measured at station S2 in Chukpyon Harbor in winter.

Period(sec)	Amplification ratios					Average
	1	2	3	4	5	
1279	1.9		2.0		1.8	1.9
1097		2.9		2.7		2.8
960	4.4					4.4
904		5.5		5.3		5.4
853	6.3		6.9	6.8		6.7
809			11.0		9.1	10.1
768		16.1		18.3		17.2
731				34.1	13.1	23.6
698	32.4	21.9	22.0		13.0	22.3
530			5.5			5.5
512		5.8		6.7	6.8	6.4
357				2.0		2.0
279		1.3			1.1	1.2
185		0.5				0.5
146					2.0	2.0
124		2.5				2.5
123					3.5	3.5
121					1.2	1.2
119					3.0	3.0
96					0.5	0.5

의 경우에는 Merian 공식보다는 Helmholtz resonator 이론으로 구하는 것이 보다 정확한 것으로 사료된다.

- 동해항의 Helmholtz natural period에서의 평균증폭비는 약 14.4배, 묵호항의 경우 15.5~27배, 그리고 죽변항의 경우 22~24배 정도여서 영일만의 약 2배에 비해 매우 크나 관측기간중의 항내에서의 해수위 변위 진폭은 약 10~20 cm로 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.
- 관측시기에 따라 항내 정점에서 peak period에서의 반응이 상당히 다르게 나타나고 있는데 이는 항외 입사파가 상당히 큰 경우 단주기파의 grouping effect 또는 이 성분이 장주기파에 중첩된 영향 때문인 것으로 사료된다.
- 동해항의 경우 관측시기별로 제2 첨두주기 및 국부적인 첨두주기의 출현 여부가 다른 이유는 항외파고의 크기 또는 입사파향의 차이에 기인된 것으로 사료되나 이들에 대해서는 추후 추가적인 연구가 요망된다.

제5절 선체운동

본 연구의 중요한 연구항목중 하나인 선체운동에 대해서는 관측 시스템의 미비로 결국 현장관측을 수행하지 못하였다. 제2차년도에서도 언급한 바와 같이 현재 국내에서 이용 가능한 비디오 관측 시스템은 6 자유도 운동간의 연성효과를 분리하는데 어려움이 있을 뿐만 아니라 선박의 동요가 심할 때는 강한 바람도 불기 때문에 카메라가 흔들려서 발생하는 오차도 상당하다. 또한, 특수 부두가 있는 항에서는 항내에서의 촬영 금지로 인한 어려움이 있고, 관측자료가 구해지더라도 A/D 변환기(Analogue/Digital Converter)를 이용해야 하는 어려움이 따른다.

일본 항만기술연구소에 따르면 현재까지 일본에서 사용한 선체운동 계측방법중에서 가장 우수한 방법은 관성 동요계측장치인 TMOS-1000 혹은 2000을 이용하는 방법으로 가벼워서 설치가 용이하고 분석이 쉬우며 값이 싼(3,000만원 정도) 장점을 가지고 있다. 관성 동요계측장치는 3차원 공간을 고속 또는 저속의 항행체의 방위각, 姿勢角, 각속도, 가속도를 계측하여 출력하는 시스템이다. 계측 방식으로는 진동 컴퍼스와 가속도계를 각각 3개 및 자기 방위 센서 1개를 항행체에 설치하는 strap-down 방식을 사용한다. 이 장치는 7개의 센서 출력으로부터 항행체 고정좌표계로부터 지구좌표계로 변환하는 좌표계 변환 matrix(coordinate transformation matrix)를 구하고, 계산기 내부에 가상의 수직·수평 platform을 만들어 지구좌표에 대한 항행체의 방위각, 姿勢角 등을 출력한다.

선체운동의 관측은 현장 및 관측장비의 여건상 video camera를 이용하는 방법이 불가능하므로 이러한 제약을 받지 않는 첨단장비 TMOS-1000을 구입해야 할 것으로 사료된다. 추후 유사한 연구사업을 수행하게 될 경우 동 기기의 구입이 불가능하더라도 일본의 항만기술연구소와의 국제 공동연구를 추진할 수 있다.

제3장 규칙파에 의한 항내정온도 검토

제1절 서론

본 장에서는 대상항만에 대한 단주기 규칙파의 항내 침입·변형 및 다중반사를 계산함으로써 이에 대한 항내정온도의 평가를 시도하였다. 제1장에서 기술한 바와 같이 항내정온도 평가를 위한 모형항만으로는 강원도의 동해안에 위치한 동해항을 선정하였다. 동해항은 제2차년도 보고서(과학기술처, 1992)에 제시한 것처럼 특수부두 전면수역에서 swell로 인한 항내정온도 불량으로 이 지역의 선박들이 남부두쪽으로 피항하는 사례가 발생하고 있다.

본 연구에서는 제2차년도에 수리모형실험 결과와의 비교·분석을 통하여 검증된 수치모형을 사용하여 단주기파에 대한 항내정온도 평가 방법을 시험하였다. 대상파로는 주기가 10초 이상이며 회귀빈도가 50년인 설계파 대신 제2장의 Table 2.2.7에 제시한 바 있는 JMA 자료를 이용하여 구해진 년중출현률 5 % 및 10 %의 평상파 [$(H_{1/20})_{year}$, $(H_{1/10})_{year}$]를 사용하였다. 한편, 불규칙파에 대한 단주기파 수치모형의 검증은 Vincent와 Briggs (1989)의 타원형 수중천퇴상 파랑 전파의 수리모형실험 결과와의 비교를 통해 실시되었으며, 이에 대해서는 제5장에 기술하였다.

제2절 광역과 세부역의 수치모형

JMA의 격자번호 1713($129^{\circ} 54' E$, $37^{\circ} 54'$)은 대상항만인 동해항($129^{\circ} 10' E$, $37^{\circ} 30'$)으로부터 약 80 km 떨어진 해상에 위치하고 있으므로 이 지점을 포함하는 계산영역을 설정하기가 곤란하여 심해파 조건($h/L > 0.5$, h 는 수심, L 은 파장)을 만족하는 동해항 인근해역의 수심 120 m 지점에 수치모형의 입사 경계를 설정하였다. 이 지점도 항입구에서 약 6 km 떨어져 있으므로 쌍곡형 수치모형으로 계산하기에는 영역이 너무 커서 계산영역을 Fig. 3.2.1에 제시한 바와 같이 광역과 세부역으로 구분하였다. 그림중에서 점선으로 둘러싸인 영역이 광역, 그리고 동해항 주변을 실선으로 둘러싼 영역이 세부역을 각각 나타낸다. 세부역을 구성한 이유는 수치모형 ECORD가 반사를 고려하지 못하므로 광역 모형에서 세부역의 입사경계까지 계산한 후 세부역에서 해안구조물로 인한 반사파의 영향을 포함시키기 위해서였다.

광역은 125×190 개의 등간격 격자($\Delta x = \Delta y = 50$ m)로 구성되었으며, 수치 계산에는 완경사 파동방정식을 규칙파에 대해 유한차분법을 이용하여 계산하는 타원형 수치모형(ECORD)이 사용되었다. 한편, 세부역은 310×250 개의 등간격 격자($\Delta x = \Delta y = 10$ m)로 구성되었으며, 수치계산에는 완경사 파동방정식을 2 개의 1차 선형방정식으로 분리시킨 후 규칙파에 대해 유한차분법을 이용하여 계산하는 쌍곡형 수치모형(HCORD)이 사용되었다.

1. 광역의 수치모형

광역에 사용된 타원형 수치모형은 과학기술처의 특정연구사업으로 수행된 “해안구조물 적정설계조건 결정기법의 체계화 연구”중 제1차년도(과학기술처, 1987)의 CORD, 제2차년도(과학기술처, 1988b)의 CORD1, 제3차년도(과학기술처, 1989)의 ECORD로 이름과 기능이 변화된 수치모형이다. 따라서, 상세한 내용에 대해서는 동 보고서들을 참조하기 바란다.

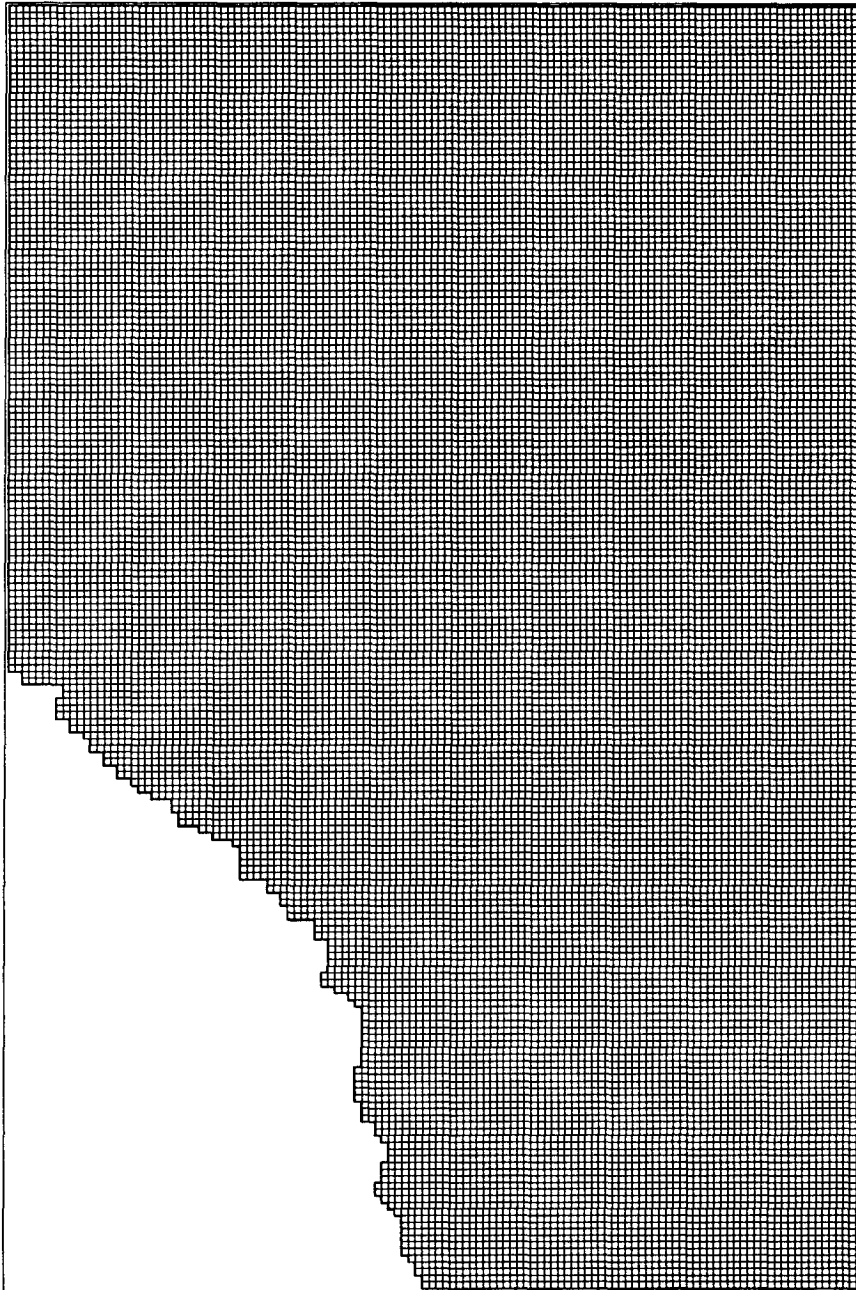
2. 세부역의 수치모형

세부역에 사용된 쌍곡형 수치모형, HCORD는 과학기술처의 특정연구사업으로 수행된 “해안구조물 적정설계조건 결정기법의 체계화 연구”(과학기술처, 1987, 1988, 1989)에서 수립되었으며, 본 연구의 제1차년도(과학기술처, 1991)에서도 소개된 바 있으므로 상세한 내용에 대해서는 동 보고서들을 참조하면 될 것으로 사료된다.

제3절 광역과 세부역의 수치계산

1. 광역의 수치계산

Fig. 3.3.1은 수치모형 ECORD를 위한 광역의 격자망도를 제시한 것으로서 이는 125×190 ($\Delta x = \Delta y = 50.0 \text{ m}$)의 격자로 구성되었다. 광역의 등수심선도를 Fig. 3.3.2에 도시하였는데 이를 살펴보면 전반적으로 평행한 수심을 이루고 있으나 부분적으로 천퇴(shoal)가 존재한다. 이 수심도는 수로국 발행 해도 No. 153을 기준



nx = 125 ny = 190 nin = 20030

Fig. 3.3.1 Finite difference grids of the offshore computation region.

WATER DEPTHS IN FRONT OF DONGHAE HARBOR

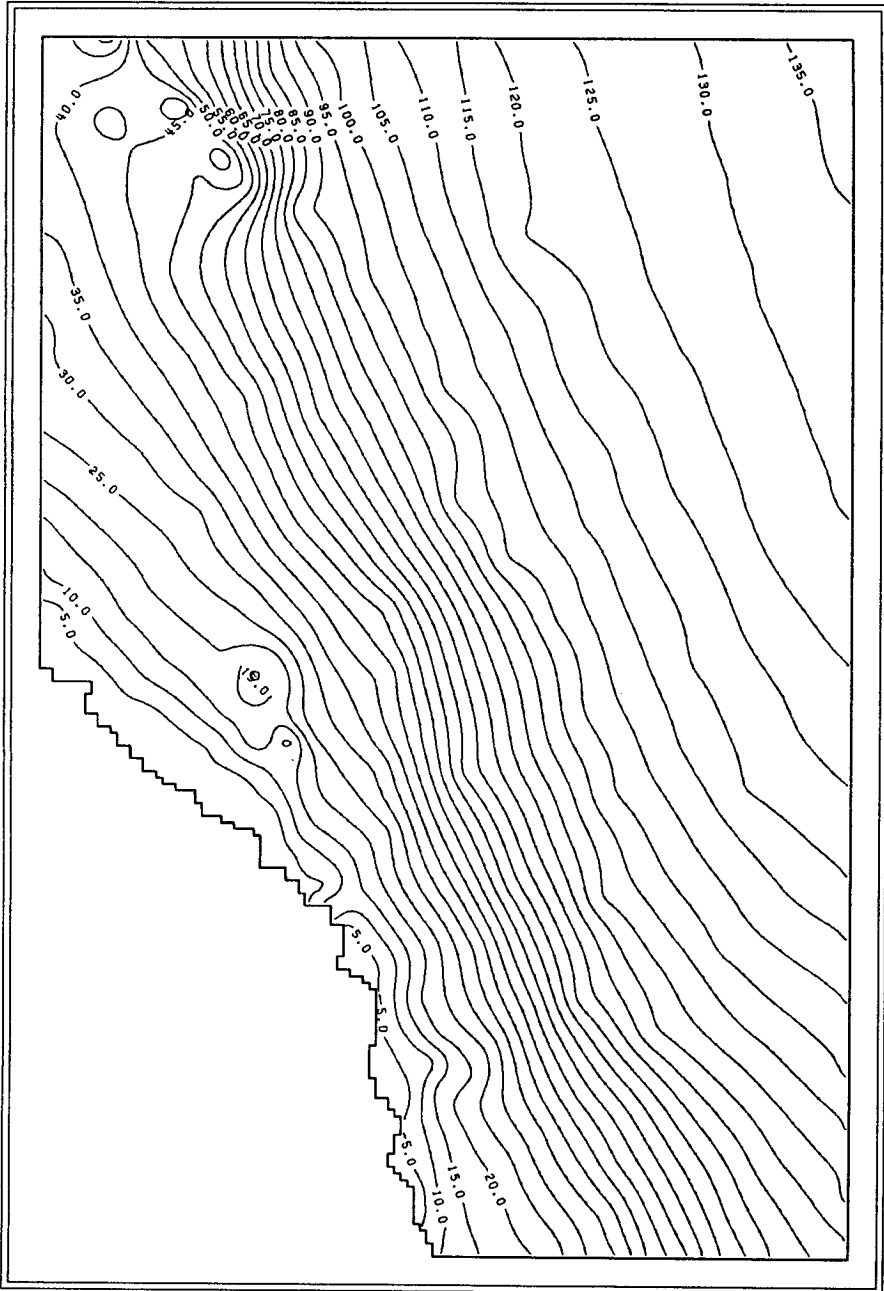


Fig. 3.3.2 Water depth contours in the offshore computation region.

으로 하여 작성되었으며, 수치계산시에는 동해항의 MSL인 0.20 m가 독취된 수심에 추가되었다.

Table 2.2.7에 제시된 4개 파향의 5 % 출현률 평상파(파향 SE, 파고 1.9 m, 주기 9.2 sec; 파향 ESE, 파고 1.7 m, 주기 8.4 sec; 파향 E, 파고 1.9 m, 주기 9.2 sec; 파향 ENE, 파고 2.3 m, 주기 11.8 sec)를 입사조건으로 사용하여 광역의 파고 및 파향을 계산한 결과를 파향 SE~ENE에 대하여 각각 부록의 Figs. C.1.1~C.1.4에 제시하였다. 그리고, 10 % 출현률 평상파(파향 SE, 파고 1.5 m, 주기 7.8 sec; 파향 ESE, 파고 1.3 m, 주기 7.4 sec; 파향 E, 파고 1.7 m, 주기 8.6 sec; 파향 ENE, 파고 1.7 m, 주기 9.6 sec)에 대한 결과를 파향 SE~ENE에 대하여 각각 부록의 Figs. C.1.5~C.1.8에 제시하였다.

그러나, 동 그림상에서 세부역의 입사조건을 결정하는 것은 불가능하므로 관심 영역에 대한 결과만을 심해파향 SE~ENE에 대하여 각각 부록의 Figs. C.1.9~C.1.24에 제시하였다. 각 그림중에서 가는 실선으로 둘러싸인 부분이 HCORD의 입사경계에 해당된다. 그리고, 파향의 경우 180 °가 파향 E를 나타내며, 파고의 경우 제시된 값은 100이 곱해진 값이다. 한편, 수치모형 HCORD의 입력조건으로는 파향 SE(Fig. C.1.9와 C.1.10)의 경우 격자번호 [5, 124], ESE의 경우 [5, 129], E의 경우 [5,134], 그리고 ENE의 경우에는 [5, 139]의 값을 중심으로 그림상 가로 방향의 5점 평균한 값을 사용하였으며 이들을 정리하면 Table 3.3.1과 같다.

2. 세부역의 수치계산

가. 일반 사항

동해항의 항내정온도 검토를 위하여 전술한 바와 같이 수치모형 HCORD의 대상영역을 Fig. 3.2.1에 실선으로 둘러싸인 세부역으로 결정하였다. Fig. 3.3.3에 세부역의 격자망도를 제시하였는데 이는 $310 \times 250 (\Delta x = \Delta y = 10.0 \text{ m})$ 의 격자로 구성되었다. 세부역의 등수심선도와 3차원 수심도를 각각 Fig. 3.3.4와 3.3.5에 도시하였는데 이를 살펴보면 대체로 해안선과 평행한 형태를 취하고 있다. 상기 수심도는 수로국 발행 해도 No. 149를 기준으로 하여 작성되었다. 그리고, 수치계산시에는 독취된 수심에 동해항의 MSL인 0.20 m가 추가되었다.

Table 3.3.1 Incident wave conditions for the numerical model, HCORD.

Deep wave direction	5 % occurrence			10 % occurrence		
	Height (m)	Period (sec)	Direction (Deg.)	Height (m)	Period (sec)	Direction (Deg.)
SE	1.09	9.2	S69 ° E	0.85	7.8	S62 ° E
ESE	1.40	8.4	S75 ° E	1.15	7.4	S71 ° E
E	1.73	9.2	N86 ° E	1.56	8.6	N87 ° E
ENE	2.02	11.8	N66 ° E	1.54	9.6	N67 ° E

수치계산에 영향을 미치는 인자로는 구조물에서의 반사율, 계산 주기수 등을 들 수 있다. 반사율은 자연해빈의 경우 0.2, 테트라포드로 축조된 소파시설의 경우 0.4, 그리고 직립 안벽의 경우 0.9로 하였다. 한편, 특수부두와 일반부두의 경계에 있는 부두는 약간의 소파 기능을 가진 것으로 판단되어 반사율을 0.7로 하였다.

나. 하역한계파고의 설정

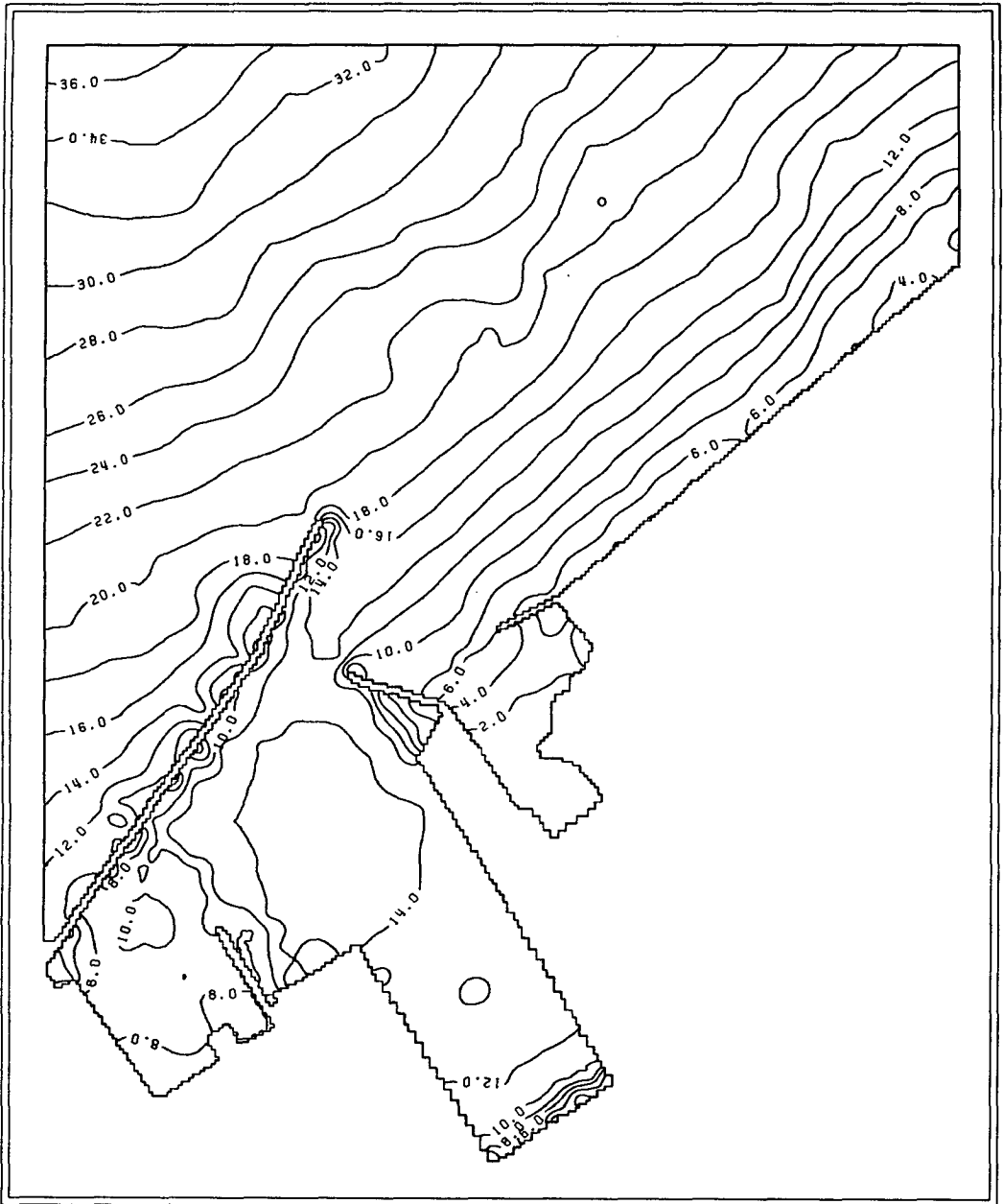


Fig. 3.3.4 Water depth contours in the onshore computation region.

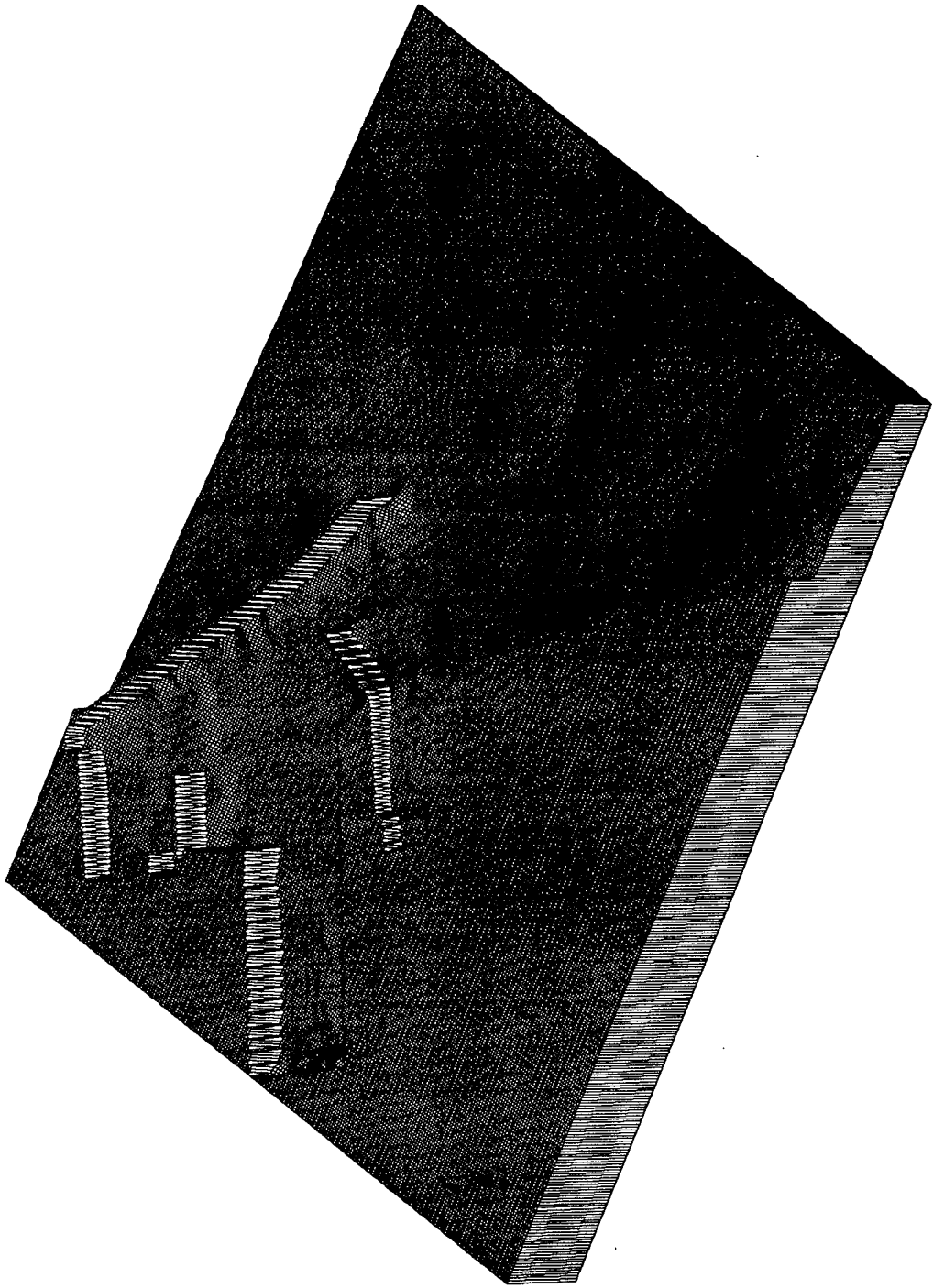


Fig. 3.3.5 Three-dimensional topography of the onshore computational region.

일본항만협회(1989)에 따르면 년중 95~97.5 % 이상의 정박 또는 계류가 가능한 항내정온도의 확보를 추천하고 있다. 또한, 선박 규모별 하역한계파고($H_{1/3}$)로서 소형선(500 DWT 미만)의 경우 0.3 m, 중·대형선(500~50,000 DWT)의 경우 0.5 m, 그리고 초대형선(50,000 DWT 이상)의 경우 0.7~1.5 m를 제시하고 있다. 본 동해항의 경우 특수부두에 정박하는 선박들은 수십톤에서 10,000톤급으로 생각되며, 따라서 소형선과 중·대형선이 모두 정박하는 항만의 성격을 지닌다. 우리나라 항만의 경우 항내파고비를 일본항만협회(1989)의 중·대형선에 해당되는 0.5 m 이하로 통상 규정하고 있으나 본 경우에는 0.3 m 이하와 0.5 m 이하로 구분하여 항내정온도를 검토하는 것으로 하였다. 따라서, 하역한계파고 0.3 m 및 0.5 m에 대응하는 출현률 5 %와 10 %에 해당되는 각 파향별 하역한계파고비(0.3 m/파향별 입사파고 및 0.5 m/파향별 입사파고)와 년중출현률(Table 2.2.1 참조)을 Table 3.3.2와 3.3.3에 각각 제시하였다.

다. 출현률 5 %의 평상파

출현률 5 %인 평상파의 경우에는 수치계산을 입사파가 항내에 도달하여 증복파가 형성될 수 있을 때까지 실시하는 것으로 하였으며 심해파향 SE의 경우 46, ESE의 경우 50, E의 경우 45, 그리고 ENE의 경우 34 주기까지 수치계산을 수행하였다. 참고로, 평균수심을 20 m로 가정할 경우 파향 SE~ENE에 해당되는 파장은 각각 108, 95, 108 및 149 m이다.

심해파향 SE~ENE에 대해 5 % 출현률의 평상파를 사용하여 수치계산을 실시한 결과를 부록의 Figs. D.1.1~D.1.4에 각각 등파고비선도로, 그리고 역시 부록의 Figs. D.1.5~D.1.8에 계산이 종료된 시각에서의 3차원 해

수위변화도로 제시하였다. 그러나, 이 그림들로는 항내파고비를 정확하게 파악하기가 어려워서 특수부두와 중앙부두 전면을 중심으로 한 수역의 파고비를 Figs. 3.3.6~3.3.9에 보다 자세하게 제시하였다.

Table 3.3.2 Critical wave height ratios for cargo handling (5 % occurrence).

Direction	SE		ESE		E		ENE	
Incident wave height(m)	1.09		1.40		1.73		2.02	
Critical wave height(m)	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.50
Critical wave height ratio	0.28	0.46	0.21	0.36	0.17	0.29	0.15	0.25
Annual occurrence(%)	0.13		0.25		0.24		0.30	

Table 3.3.3 Critical wave height ratios for cargo handling (10 % occurrence).

Direction	SE		ESE		E		ENE	
Incident wave height(m)	0.85		1.15		1.56		1.54	
Critical wave height(m)	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.50
Critical wave height ratio	0.35	0.59	0.26	0.43	0.19	0.32	0.19	0.32
Annual occurrence(%)	0.26		0.51		0.48		0.59	

먼저, 심해파향 SE에 대한 Fig. 3.3.6을 살펴보면 항입구 부근에서 파고비가 0.7 전후로 나타나며 등파고비선에 파고비의 값이 표시되지 않아서 이

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=S69E; HEIGHT=1.09m; PERIOD=9.2sec

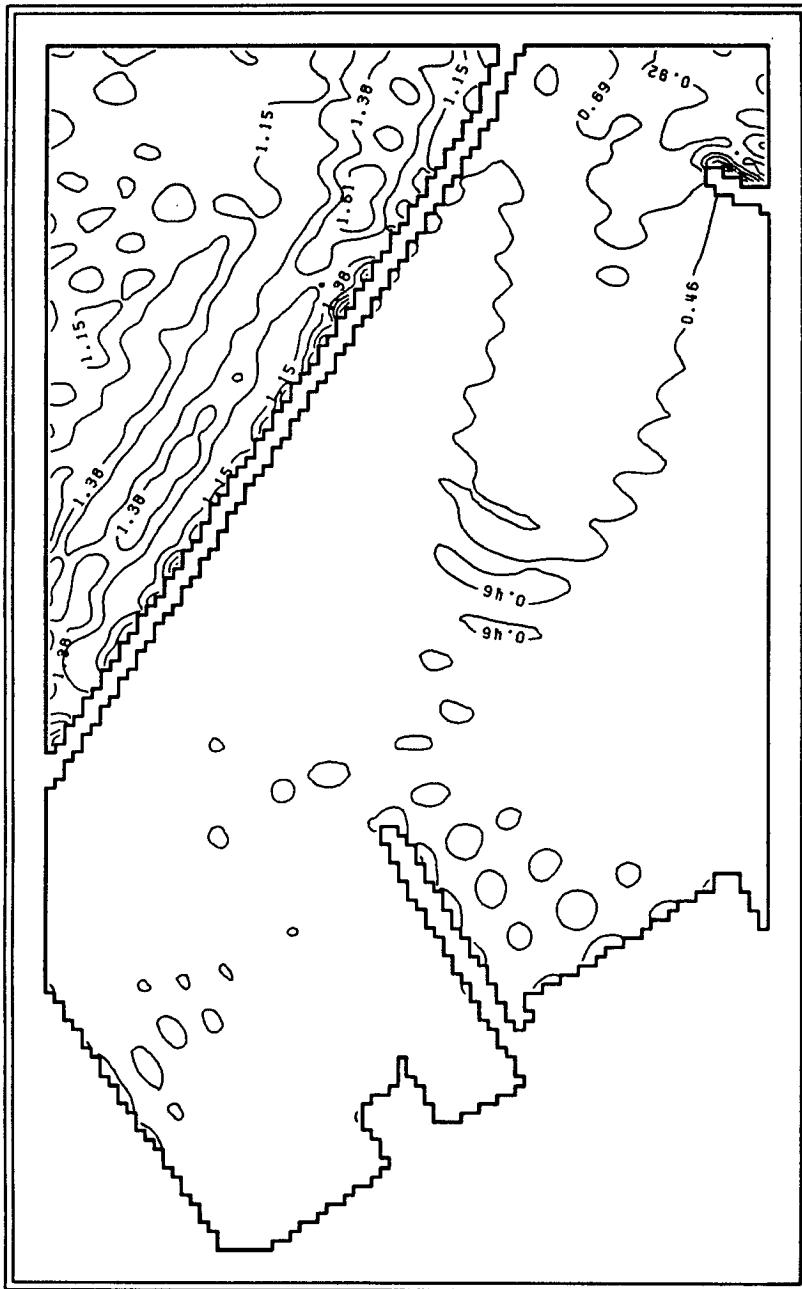


Fig. 3.3.6 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S69° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S75E; HEIGHT=1.40m; PERIOD=8.4sec

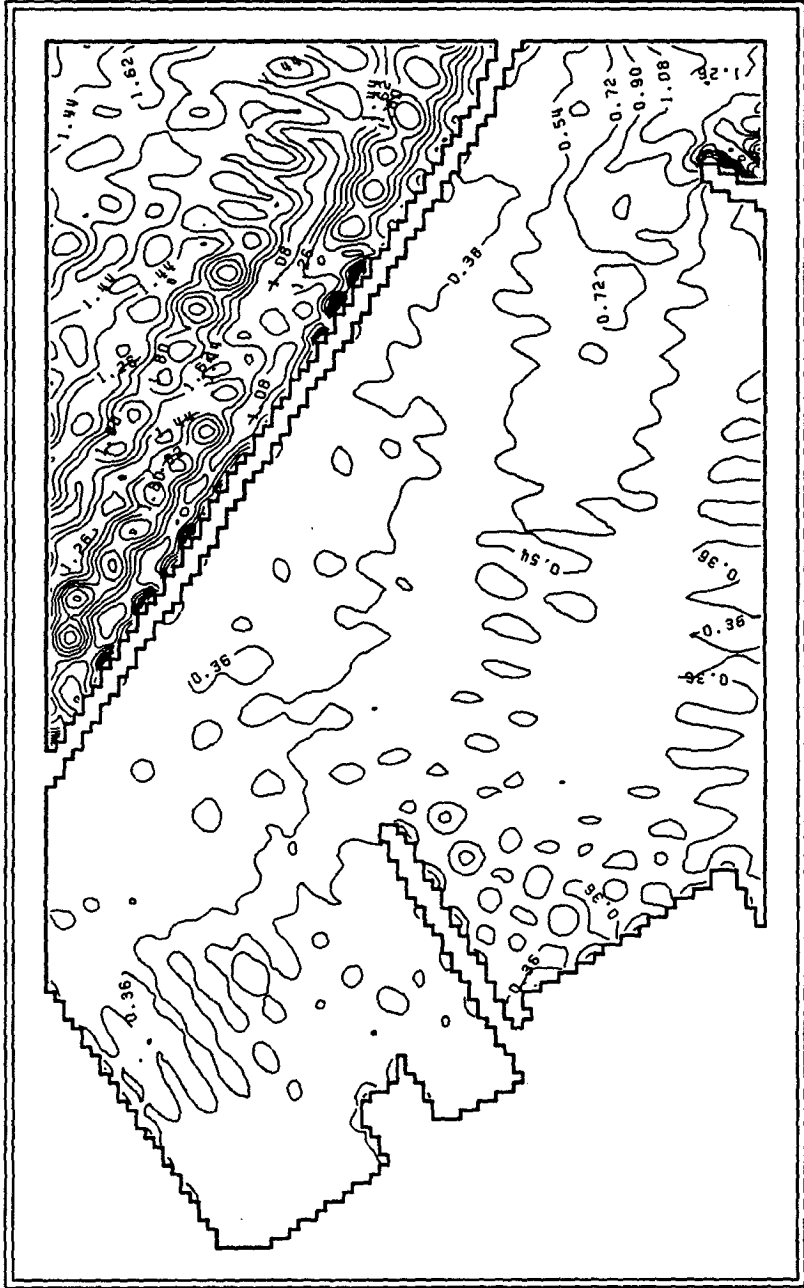


Fig. 3.3.7 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S75° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGCHAE HARBOR

DIRECTION=N86E; HEIGHT=1.73m; PERIOD=9.2sec

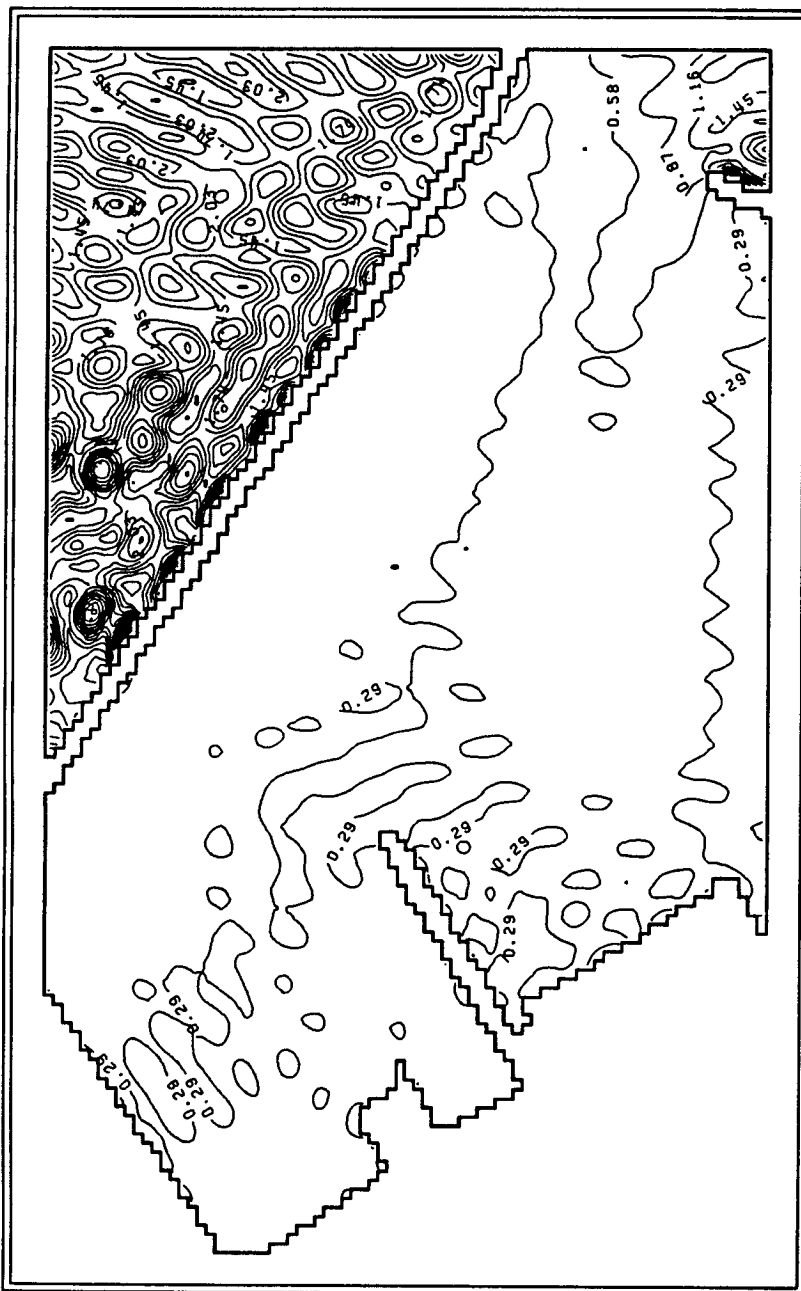


Fig. 3.3.8 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Dongchae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N86° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=N66E; HEIGHT=2.02m; PERIOD=11.8sec

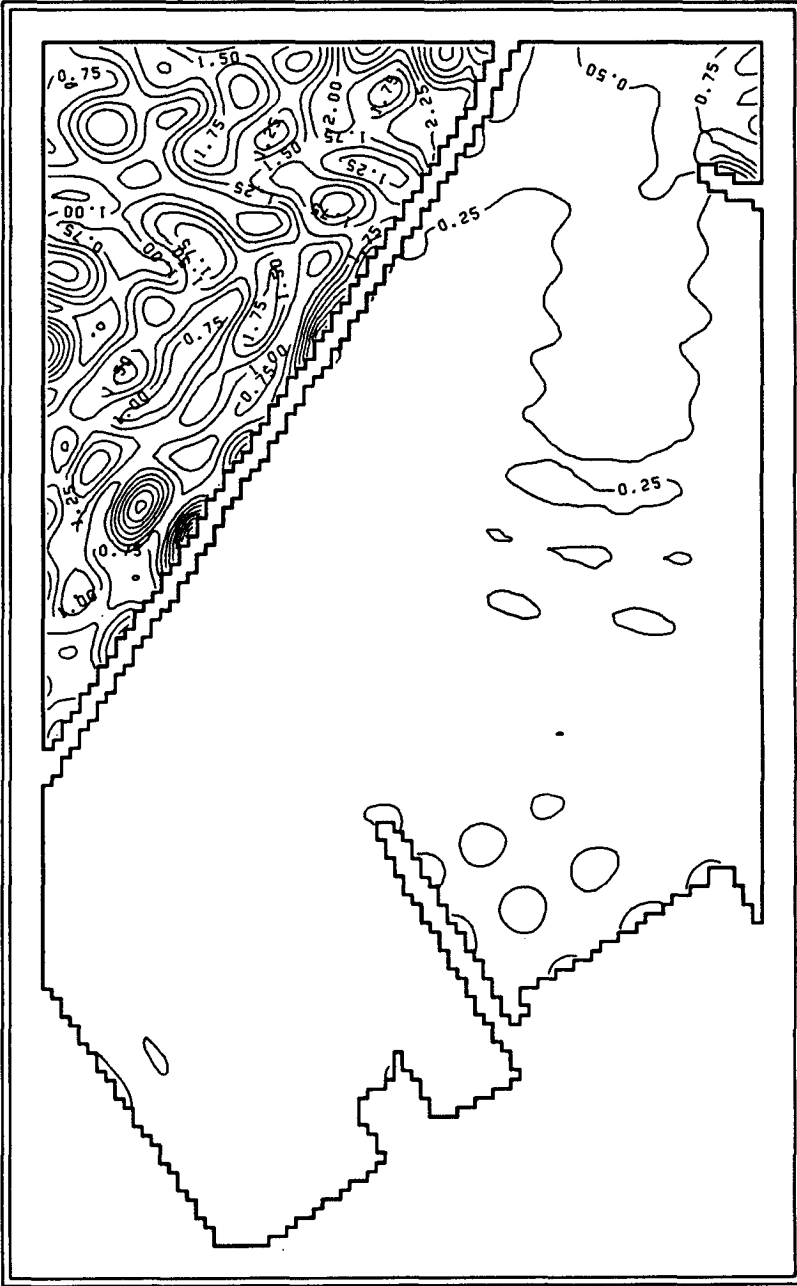


Fig. 3.3.9 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N66° E).

그림으로 판단하기는 어렵다. 그러나, 본 보고서에는 제시하지 않았으나 동일한 영역에 대해 작성된 color contour map과 이후 제시될 하역한계파고 0.3 m에 대한 그림 등으로 판단하면 특수부두 좌측수역과 중앙부두 전면수역에서는 파고비가 0.6 정도 되는 것으로 사료된다. Fig. 3.3.7에 제시된 ESE의 경우 특수부두 좌측수역에서는 파고비가 0.5~0.6 정도, 그리고 중앙부두 전면에서는 0.7~0.8 정도로 상당히 크게 나타나고 있다. 파향 E에 대한 Fig. 3.3.8을 살펴보면 특수부두 좌측수역에서는 파고비가 0.4~0.5 정도, 그리고 중앙부두 전면에서는 0.5~0.6 정도로 나타난다. Fig. 3.3.9에 제시된 ENE의 경우 특수부두 좌측수역에서는 0.2 정도, 그리고 중앙부두 전면에서는 0.3 정도로 나타난다.

라. 출현률 10 %의 평상파

출현률 10 %인 평상파의 경우에도 수치계산을 입사파가 항내에 도달하여 증복파가 형성될 수 있을 때까지 실시하는 것으로 하였으며 심해파향 SE의 경우 58, ESE의 경우 61, E의 경우 47, 그리고 ENE의 경우 44 주기까지 수치계산을 수행하였다. 참고로 평균수심을 20 m로 가정할 경우 파향 SE~ENE에 해당되는 파장은 각각 85, 79, 99 및 115 m이다.

5 % 출현률의 평상파와 동일하게 심해파향 SE~ENE에 대해 10 % 출현률의 평상파를 사용하여 수치계산을 실시한 결과중 특수부두 좌측 수역과 중앙부두 전면수역을 중심으로 한 지역의 파고비를 Figs. 3.3.10~3.3.13에 보다 자세하게 제시하였다.

먼저, 심해파향 SE에 대한 Fig. 3.3.10을 살펴보면 파고비가 특수부두의

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=S62E; HEIGHT=0.85m; PERIOD=7.8sec

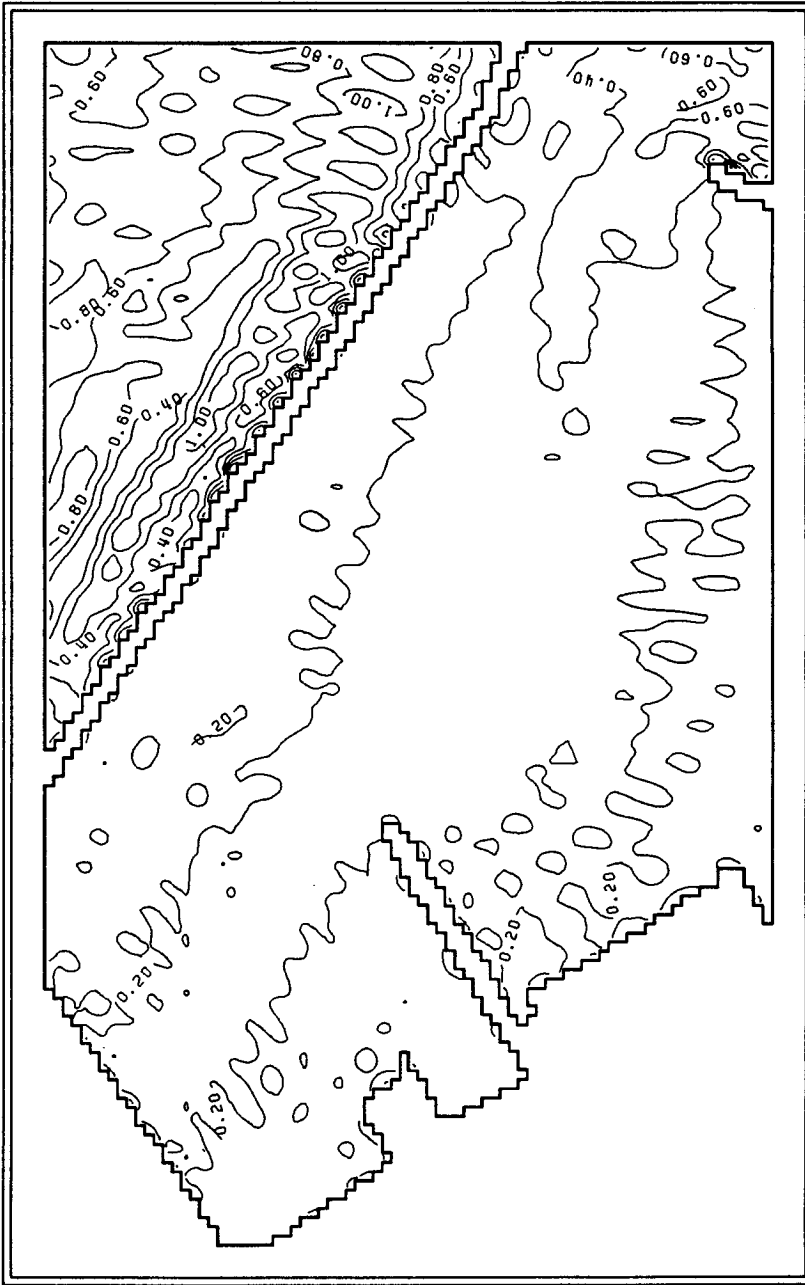


Fig. 3.3.10 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S62° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=S71E; HEIGHT=1.15m; PERIOD=7.4sec

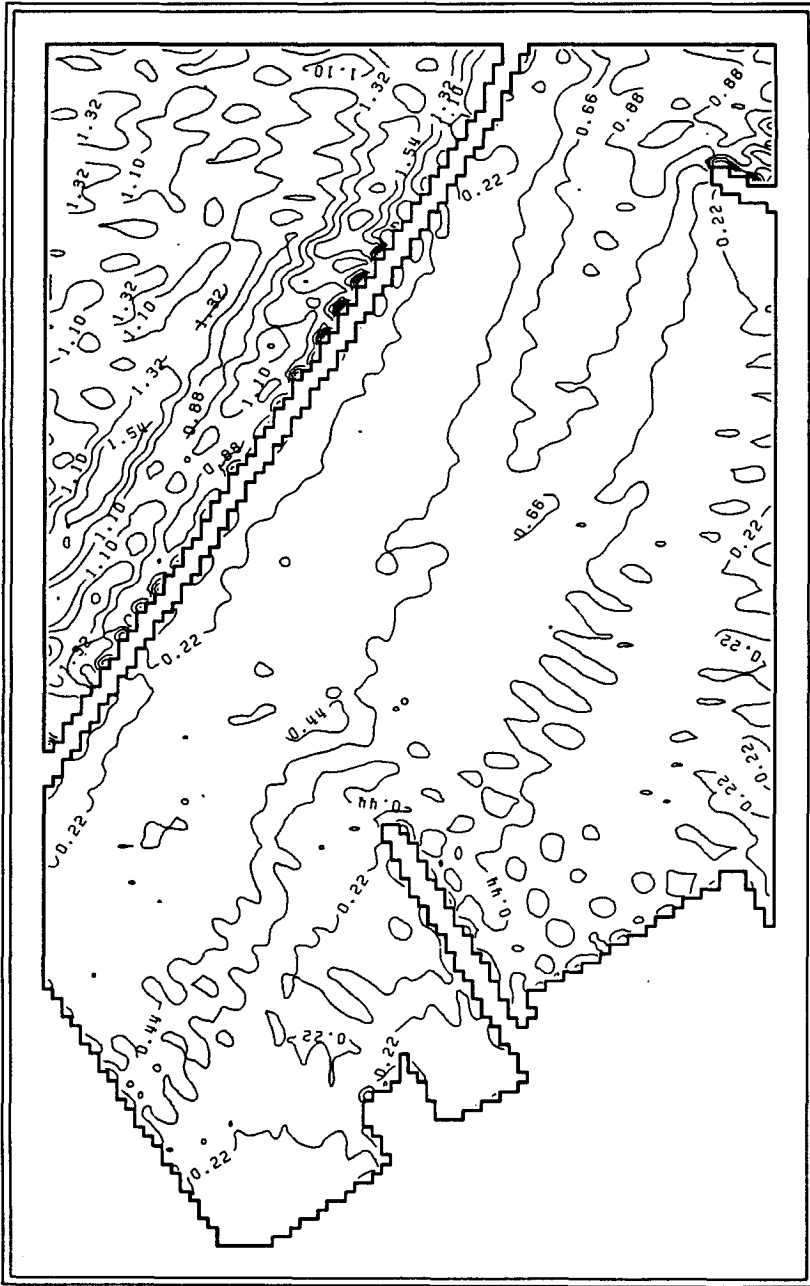


Fig. 3.3.11 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S71° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=N87E; HEIGHT=1.56m; PERIOD=8.6sec

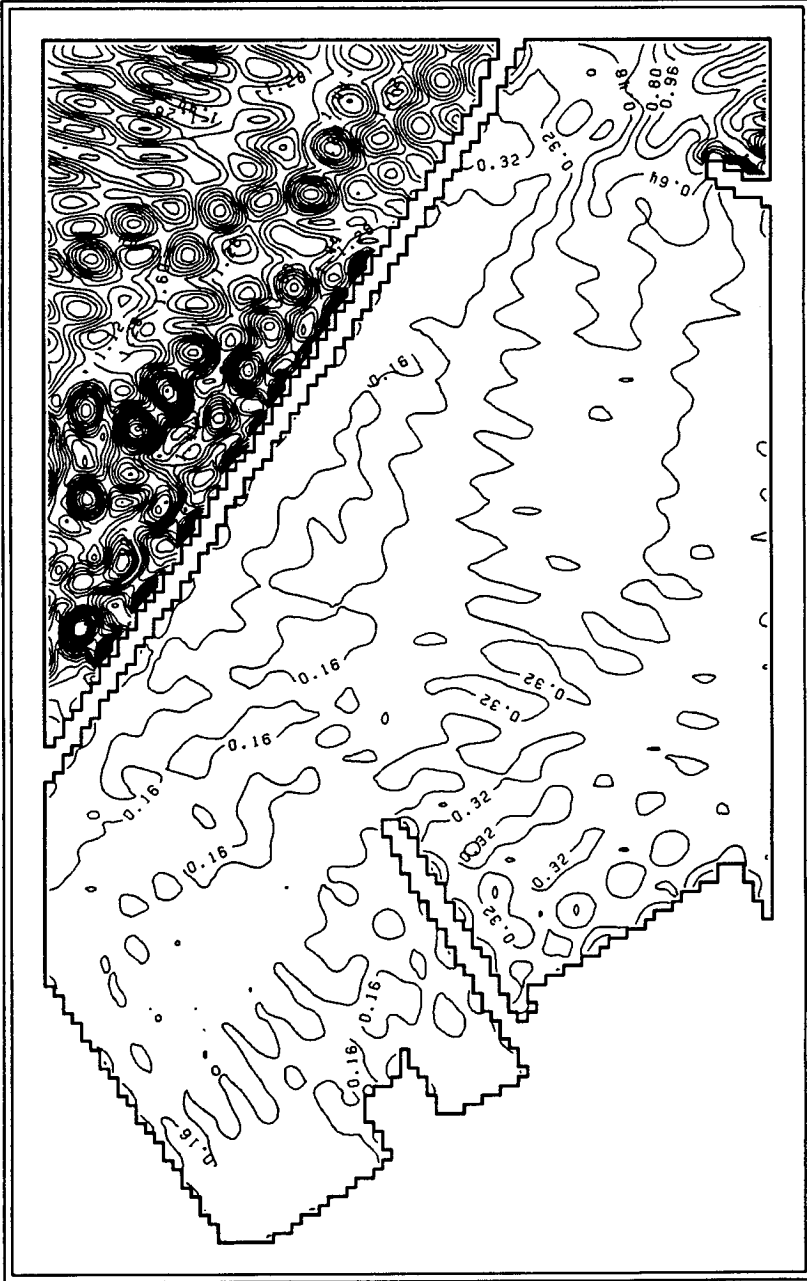


Fig. 3.3.12 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N87° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=N67E; HEIGHT=1.54m; PERIOD=9.6sec

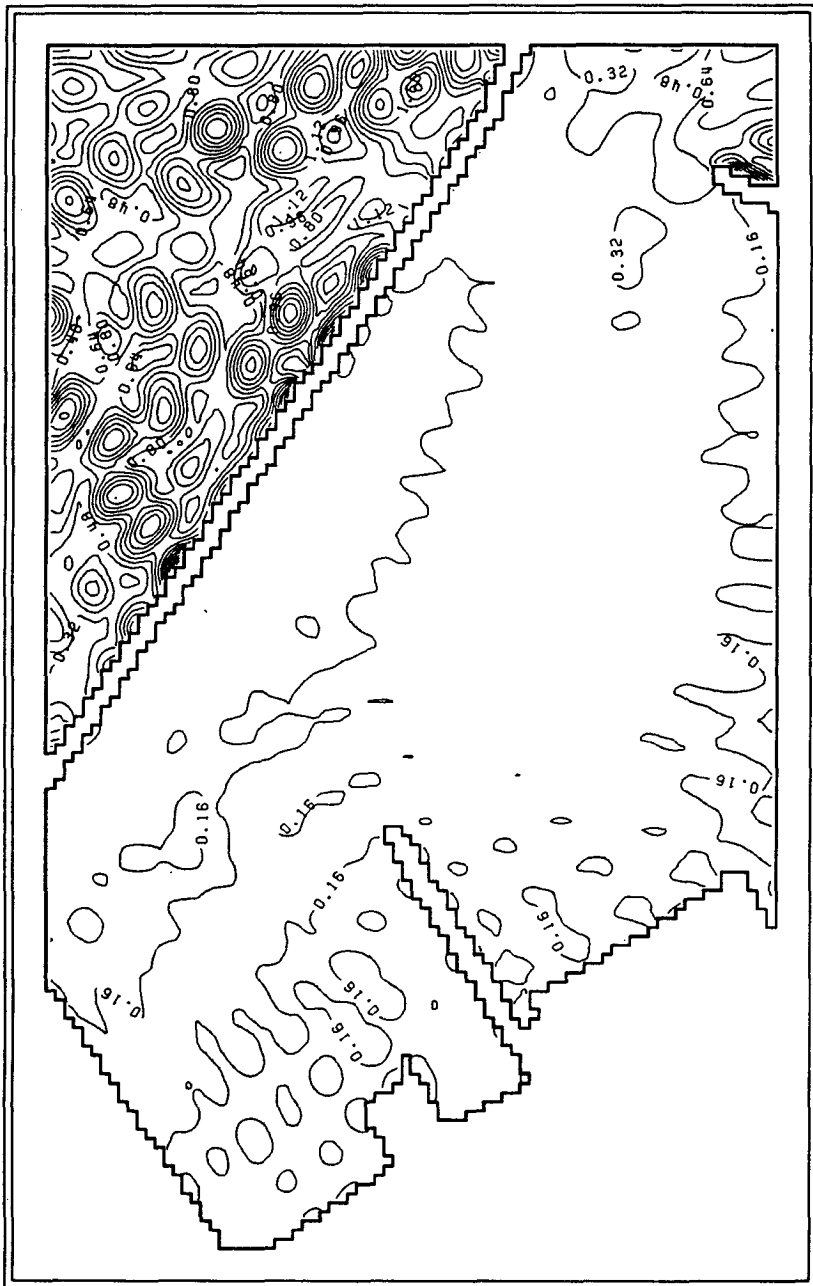


Fig. 3.3.13 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.5 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N67° E).

좌측수역에서는 0.3~0.4, 중앙부두 전면수역에서는 0.4~0.5 정도로 나타난다. Fig. 3.3.11에 제시된 ESE의 경우 입사파가 항내로 상당히 깊게 침입하여 특수부두 좌측수역에서 파고비가 0.4~0.5 정도, 그리고 중앙부두 전면에서는 0.5~0.6에 달하고 있다. 파향 E에 대한 Fig. 3.3.12를 살펴보면 특수부두 좌측수역에서 파고비가 0.3~0.4 정도, 그리고 중앙부두 전면에서 파고비가 0.4~0.5 정도로 나타난다. Fig. 3.3.13에 제시된 ENE의 경우 특수부두 전수역에서 0.2 정도, 중앙부두 전면에서 0.2~0.3 정도로 나타난다.

제4절 항내정온도 검토

1. 중·대형선

전술한 바와 같이 500~50,000 DWT의 중·대형선에 대한 계류 및 하역한계파고는 0.5 m로 제시되고 있다. 이 파고에 대응되는 5 % 출현률 평상파의 하역한계파고비는 SE~ENE에 대해 0.46, 0.36, 0.29 및 0.25로 제시 (Table 3.3.2 참조)된 바 있으며 이를 본 장의 제3절에 제시된 각 파향별 특수부두 및 중앙부두 부근의 파고비(SE : 0.6; ESE : 0.5~0.6, 0.7~0.8; E : 0.4~0.5, 0.5~0.6; ENE : 0.2, 0.3)와 비교해 보면 파향이 ENE인 경우만 한계기준에 근접할 뿐 나머지 파향의 경우에는 모두 이 기준을 만족하지 못하고 있다.

따라서, 검토대상인 4개 파향의 10 % 출현률 평상파를 대상으로 한 결과를 이용하여 재검토를 실시하였다. 하역한계파고 0.5 m에 대응되는 10 % 출현률 평상파의 하역한계파고비는 SE~ENE에 대해 0.59, 0.43, 0.32 및

0.32로 제시(Table 3.3.3 참조)된 바 있으며 이를 본 장의 제3절에 제시된 각 파향별 특수부두 및 중앙부두 부근의 파고비(SE : 0.3~0.4, 0.4~0.5; ESE : 0.4~0.5, 0.5~0.6; E : 0.3~0.4, 0.4~0.5; ENE : 0.2, 0.2~0.3)와 비교해 보면 파향이 SE와 ENE인 경우 기준을 만족하나 나머지 파향의 경우에는 이 기준을 만족하지 못한다.

이상의 검토 결과를 기준으로 동해항의 중·대형선의 년중 항만가동률(강우, 강풍, 태풍 또는 지진 등으로 인한 경우는 제외)을 산정해 보기로 한다. 먼저, 파향이 SE와 ENE인 경우 년중 하역불능률을 0.26 및 0.59 %로 산정하는 것이 가능하다. 파향 ESE와 E의 경우 입사파고의 감소율이 항내 반사파고의 감소율과 선형적인 관계가 성립하는 것으로 가정하면(물론 이들 파향에 대한 5 % 및 10 % 출현률의 하역한계파고비가 각각 0.36 및 0.29에서 0.43 및 0.32로 증가한 점을 고려하면 이 가정에는 다소의 무리가 따름을 알 수 있음) 항내파고가 이 하역한계파고 이하가 되기 위한 입사파고는 파향 ESE의 경우 $0.36/0.8 \times 1.40 = 0.63$ m, 그리고 파향 E의 경우 $0.29/0.6 \times 1.73 = 0.84$ m가 되어야 한다. 제2장의 Table 2.2.4에서 이 파고들의 년중출현률을 구해 보면 파향 ESE의 경우 $187/6,080 \times 100 = 3.08$ %, 그리고 파향 E의 경우 $141/6,080 \times 100 = 2.32$ %가 된다. 4개 파향의 하역불능률을 모두 합하면 $0.26+0.59+3.08+2.32 = 6.25$ %이므로 동해항의 중·대형선의 연중가동률은 약 93.8 %가 되어 일본항만협회(1989)에서 추천하는 연중가동률 95~97.5 %에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

원칙적으로는 년중출현률 15, 20, 25 % 등과 같이 출현률을 증가시킨 파랑조건을 구하고 다시 이들을 입력조건으로 사용하여 수치계산을 실시하여야 보다 정확한 항만가동률을 산정할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나, 이러한 작업에는 막대한 시간이 소요될 뿐만 아니라 본 연구에서 사용하는 수치모형이 규칙파를 대상

으로 하기 때문에 불규칙파인 실제 현상을 정확하게 반영할 수 없는 점을 고려하면 이 정도의 검토로 충분할 것으로 사료되었다. 또한, 이러한 판단에는 현존하는 항내파 모의 수치모형들이 모두 항내에서의 다중 반사를 그다지 정확하게 재현하지 못한다는 점도 고려되었다.

2. 소형선

소형선의 하역한계파고비를 보다 용이하게 구분하기 위하여 중·대형선의 경우와 동일하게 심해파향 SE~ENE에 대한 5 % 출현률의 평상파수치계산 결과를 부록의 Figs. D.1.9~D.1.12에, 그리고 10 % 출현률의 평상파의 결과를 Figs. D.1.13~D.1.16에 각각 등파고비선도로 제시하였다.

500 DWT 미만의 소형선에 대한 계류 및 하역한계파고는 0.3 m로 제시되고 있다. 이 파고에 대응되는 5 % 출현률 평상파의 하역한계파고비는 SE~ENE에 대해 0.28, 0.21, 0.17 및 0.15로 제시(Table 3.3.2 참조)된 바 있으며 이를 각 파향별 특수부두 및 중앙부두 부근의 파고비(SE : 0.6; ESE : 0.5~0.6, 0.7~0.8; E : 0.4~0.5, 0.5~0.6; ENE : 0.2, 0.3)와 비교해 보면 모든 파향에서 이 기준이 만족되지 못한다.

따라서, 검토대상인 4개 파향의 10 % 출현률 평상파를 대상으로 한 결과를 이용하여 재검토를 실시하였다. 하역한계파고 0.3 m에 대응되는 10 % 출현률 평상파의 하역한계파고비는 SE~ENE에 대해 0.35, 0.26, 0.19 및 0.19로 제시(Table 3.3.3 참조)되었으며 이를 각 파향별 특수부두 및 중앙부두 부근의 파고비(SE : 0.3~0.4, 0.4~0.5; ESE : 0.4~0.5, 0.5~0.6; E : 0.3~0.4, 0.4~0.5; ENE : 0.2, 0.2~0.3)와 비교해 보면 파향이 ENE인 경우

만 기준을 만족하고 있다.

이상의 검토 결과를 기준으로 동해항의 소형선의 연중 항만가동률(강우, 강풍, 태풍 또는 지진 등으로 인한 경우는 제외)을 산정해 보기로 한다. 먼저, 파향이 ENE인 경우 연중 하역불능률을 0.59 %로 산정하는 것이 가능하다. 나머지 파향에 대해서는 중·대형선의 경우와 마찬가지로 입사파고의 감소율이 항내 반사파고의 감소율과 선형적인 관계가 성립되는 것으로 가정하면 항내파고가 이 하역한계 파고 이하가 되기 위한 입사파고는 파향 SE의 경우 $0.28/0.6 \times 1.09 = 0.51$ m, 파향 ESE의 경우 $0.21/0.8 \times 1.40 = 0.37$ m, 그리고 파향 E의 경우 $0.17/0.6 \times 1.73 = 0.49$ m가 되어야 한다. 제2장의 Table 2.2.4에서 이 파고들의 년중출현률을 구해보면 파향 SE의 경우 $138/6,080 \times 100 = 2.27$ %, 파향 ESE의 경우 $285/6,080 \times 100 = 4.69$ %, 그리고 파향 E의 경우 $220/6,080 \times 100 = 3.62$ %가 된다. 4개 파향의 하역불능률을 모두 합하면 $0.59+2.27+4.69+3.62 = 11.17$ %이므로 동해항의 연중가동률은 약 88.8 %가 되어 상당히 불량한 것으로 나타났다.

제5절 토 의

타원형 수치모형 ECORD와 쌍곡형 수치모형 HCORD를 이용하여 모형 항만으로 선정된 동해항의 단주기 규칙파에 대한 년중가동률을 산정하였다. 본 접근방법은 실제로는 불규칙파인 해양파를 규칙파로 가정하여 실시한 것이므로 실제와는 큰 차이가 있을 수 있으며, 또 제6장에서 후술하는 바와 같이 항만가동률은 선체운동의 관점에서 산정하는 것이 보다 정확할 것이라는 점을 감안할 때 실효성이 크게 감소된다고도 볼 수 있다. 그러나, 세계적으로 아직까지 이러한 시도를 한 바가 거의 없는 점을 감안(일본 운수

성 항만기술연구소에서 선체운동을 고려한 하역한계파고의 산정을 부분적으로 시도중)하면 방법론의 제시라는 점에서 의미를 부여할 수도 있을 것이다. 본 장에서 구해진 주요 결론 및 토의 사항은 다음과 같다.

- 동해안에 위치한 대부분의 항만들은 S~SE 방향으로 항입구가 개방되어 있으며, 따라서 년중출현률이 높은 파향인 ENE~NNE에 대해서는 항내로 침입하는 파가 거의 회절파이다.
- 동해항의 년중가동률은 중·대형선의 경우 약 94%, 그리고 소형선의 경우 약 89%로 나타나서 특수부두를 기준할 경우 항내정온도가 상당히 불량하였다.
- 광역의 수치계산에 사용된 타원형 수치모형은 일반적으로 진해파향이 등수심선과 이루는 각이 작아질수록 오차가 증대되므로 본 경우에도 심해입사파향이 SE와 ESE인 경우 실제와 상당한 차이를 나타내었을 가능성이 있다. 따라서, 앞으로 이러한 경우를 정확하게 재현할 수 있는 수치모형의 개발이 요구된다.

제4장 장주기 부진동 수치해석

제1절 서론

동해항, 묵호항 및 죽변항에서 2년간 동·하계에 수압식 파고계인 ISTG를 사용하여 항·내외 2~4개 정점에서 수 일~1개월간에 걸쳐 장주기파를 관측하였으며 그 분석 결과를 제2장에 제시한 바 있다. 본 장에서는 분석 결과로 제시된 각 항의 제1, 제2 및 국부적인 고유주기를 수치모형에 의해 재현하였다. 본 연구에서 사용된 수치모형, HARBD는 제2차년도 및 기타의 연구[예를 들면, 정 등(1993b)]를 통하여 그 적용성이 검증된 바 있다. 그리고, 본 모형을 불규칙파를 고려할 수 있도록 확장하는 것은 다소 무리가 따를 것으로 사료되어 장주기 불규칙파의 모의(simulation)는 컴퓨터의 기억용량의 요구량이나 계산시간면에서 불리하기는 하나 1, 2차년도에 제시된 바 있는 유체력 산정 수치모형, HYDRO의 사용을 추천하는 것으로 하였다.

제2절 3개 항의 부진동 해석

본 연구의 제2차년도에 동해항에서의 관측자료를 이용하여 HARBD를 검증한 바 있으며, 이를 기초로 동해항의 장래 확장에 따른 부진동 변화를 예측한 바 있

다. 본 3차년도에서는 동해항에 대한 적용 결과를 재정리하고 새로 현장관측이 수행된 묵호항과 죽변항에 대해서도 동일한 수치모형을 적용함으로써 동해안에 위치한 항만에서 발생하는 부진동 현상을 종합적으로 분석·검토하였다.

1. 동해 항

동해항의 장주기 부진동의 항내 증폭현상을 예측하기 위해 해석해와 유한요소를 복합적으로 이용한 수치모형을 적용하여 현장관측 결과와 비교·분석함으로써 본 수치모형의 적용성을 확인하고 이를 토대로 동해항 부진동의 Helmholtz natural period, 제2 첨두주기 및 국부적인 첨두주기를 제시하였다.

현장관측 결과의 분석에서 나타난 동해항의 첨두주기를 찾기 위하여 Fig. 4.2.1에 제시된 절점수 2,656개, 선형 삼각형 요소수 4,983개의 유한요소망도를 작성하였으며, 그림중에 표시된 S1~S4는 현장관측 정점의 위치를 나타낸다. 수치계산은 주기 60~1,200초(주기는 10초씩 증가)의 장주기 파가 해안선에 대해 수직으로 입사하는 경우에 대해 실시되었으며 4개 정점에서의 증폭비의 변화를 Fig. 4.2.2에 도시하였다. 이 그림을 살펴보면 항입구 및 항내에서 모두 주기 970초(16.2분)에서 제1 공진이 발생하는 것으로 나타나 관측자료의 분석결과 Helmholtz natural period로 제시된 17.1분(1,024초)과 거의 비슷하였다. 항외 정점에서 주기 960초 부근의 증폭비가 크게 감소하는데 이는 Helmholtz natural period에서의 마디가 그 부근에 위치하기 때문으로 생각된다. 항내 정점 S3와 S4에서 공진이 출현한 320초(5.3분) 역시 관측자료의 분석에서 제시된 5.5분과 거의 일치하였다. 이 외에 210초(3.5분), 130초(2.2분) 및 120초(2.0분)에서 국부적인 공진이 출현하였는데 이들도 관측결과에서 제시된 주기와 유사하였다.

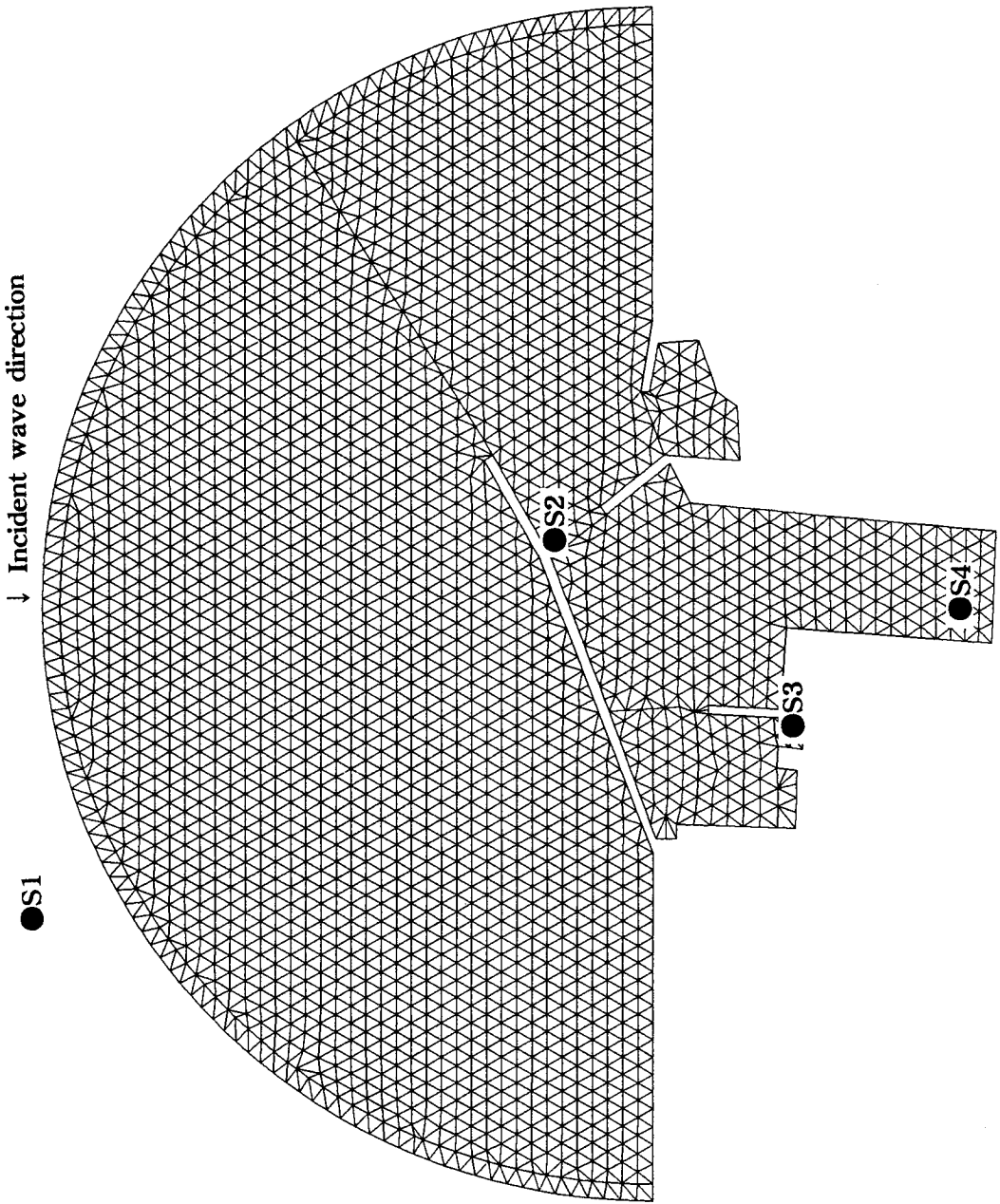


Fig. 4.2.1 Finite element mesh for Donghae Harbor.

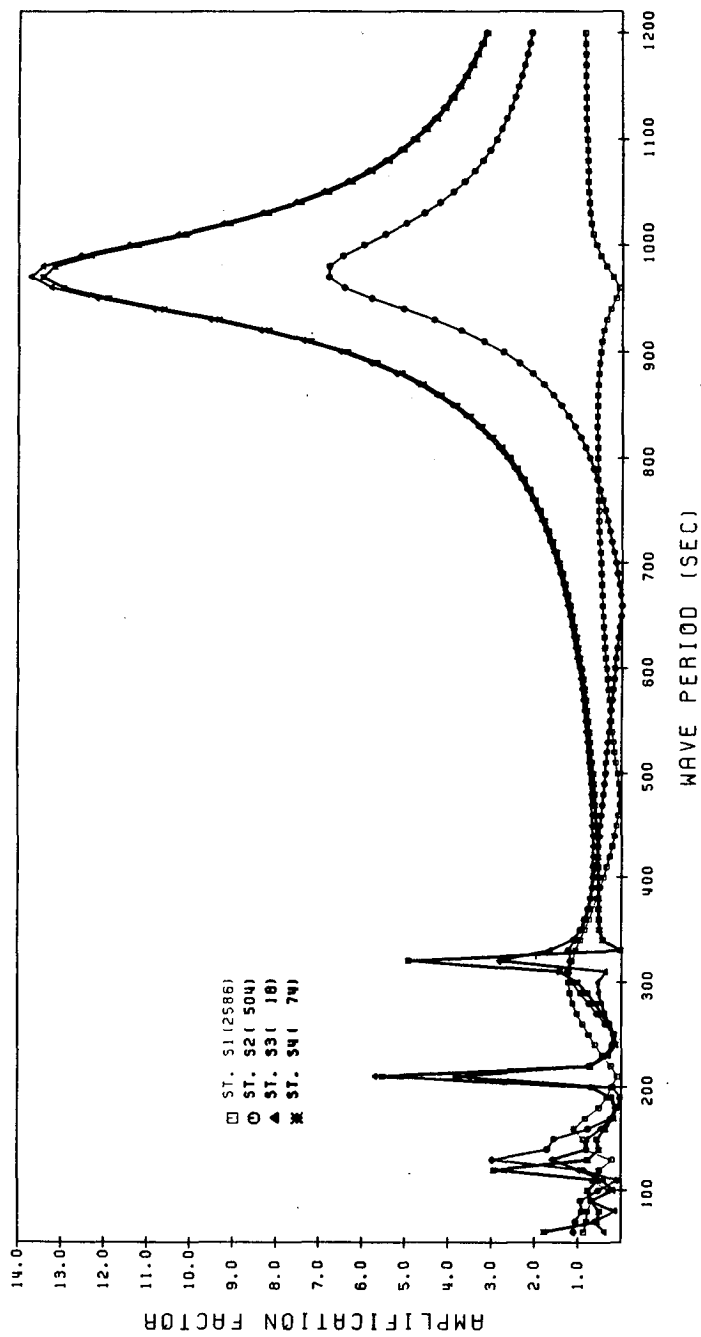
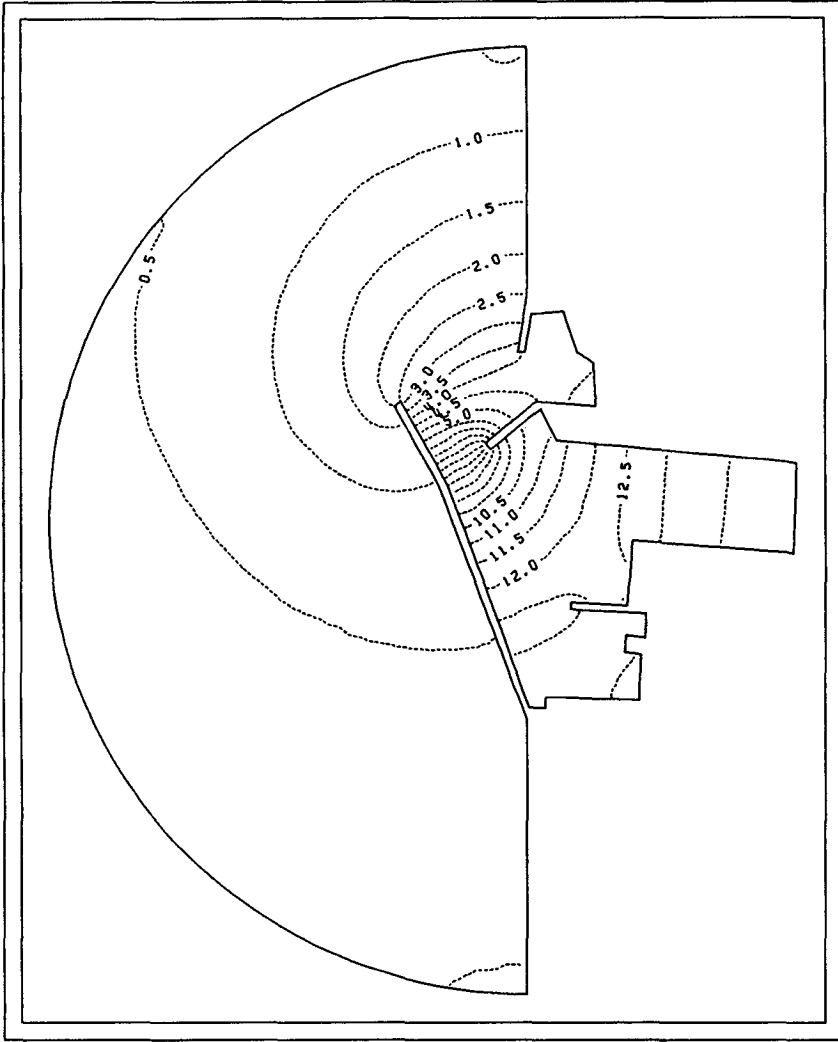


Fig. 4.2.2 Computed response curves for periods from 60 to 1,200 seconds in Donghae Harbor(10 seconds interval).

단주기파 관측 결과에서는 부진동 관측기간중의 대표파향의 범위가 data cases 1, 8 및 13(정 등, 1993a)에 대하여 각각 $N5.2^{\circ}W \sim N39.6^{\circ}E$, $N16.2^{\circ}E \sim N80^{\circ}E$ 및 $N39.7^{\circ}E \sim N75.5^{\circ}E$ 가 되는 것으로 나타난 바 있다. 그러나, 주기가 10초 전후인 단주기파와 주기가 1~20분인 장주기파의 파향이 일치한다고 보기는 어렵다. 따라서, 입사파향의 차이가 증폭비에 어느 정도 영향을 미칠 것으로는 생각되었으나 침두주기의 계산에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료되어 모든 주기에 대해 해안선에 대해 수직 입사($N54.0^{\circ}E$)하는 것으로 가정하였다. 또한, 본 계산에서는 외해에서의 입사파 진폭을 모두 0.5 m로 가정하였으며, 반사율은 침두주기의 계산에는 거의 영향을 미치지 않으므로 모든 고체 경계에서 1.0으로 가정하였다. 한편, 해저면 마찰계수는 정확한 산정이 어려워서 전체 영역에 대해 모두 마찰계수 β 를 0.0으로 하였다.

수치계산 결과 제시된 970, 320 및 210초의 3개 침두주기에 대해 계산된 등증폭비선도를 Figs. 4.2.3~4.2.5에 각각 도시하였다. 주기 970초에 대한 결과인 Fig. 4.2.3을 살펴보면 제1 침두주기에 대해서는 입사경계 부근에서 마디(node)가, 그리고 항내 가장 안쪽에서 북(anti-node)이 나타나서 관측된 침두주기와 마찬가지로 Merian 공식으로 구한 침두주기와는 큰 차이를 보였다. 제2 침두주기의 경우인 Fig. 4.2.4를 살펴보면 마디가 항의 중앙부에서 생기고 있는데 이는 항입구에서 거의 3/4 파장이 걸쳐지는 것으로 볼 수 있으므로 이 주기와 일치하는 약 5.5분이 동해항의 제2 침두주기인 것으로 생각된다. Fig. 4.2.5에 제시된 주기 210초의 경우 마디가 북항 및 남항의 입구에서 생기므로 이는 이들의 국부적인 침두주기인 것으로 생각된다.

RESONANT AMPLIFICATION AROUND DONGHAE HARBOUR



WAVE PERIOD = 970.0 SEC

Fig. 4.2.3 Computed amplification ratios for wave period of 970 seconds in Donghae Harbor.

RESONANT AMPLIFICATION AROUND DONGCHAE HARBOUR

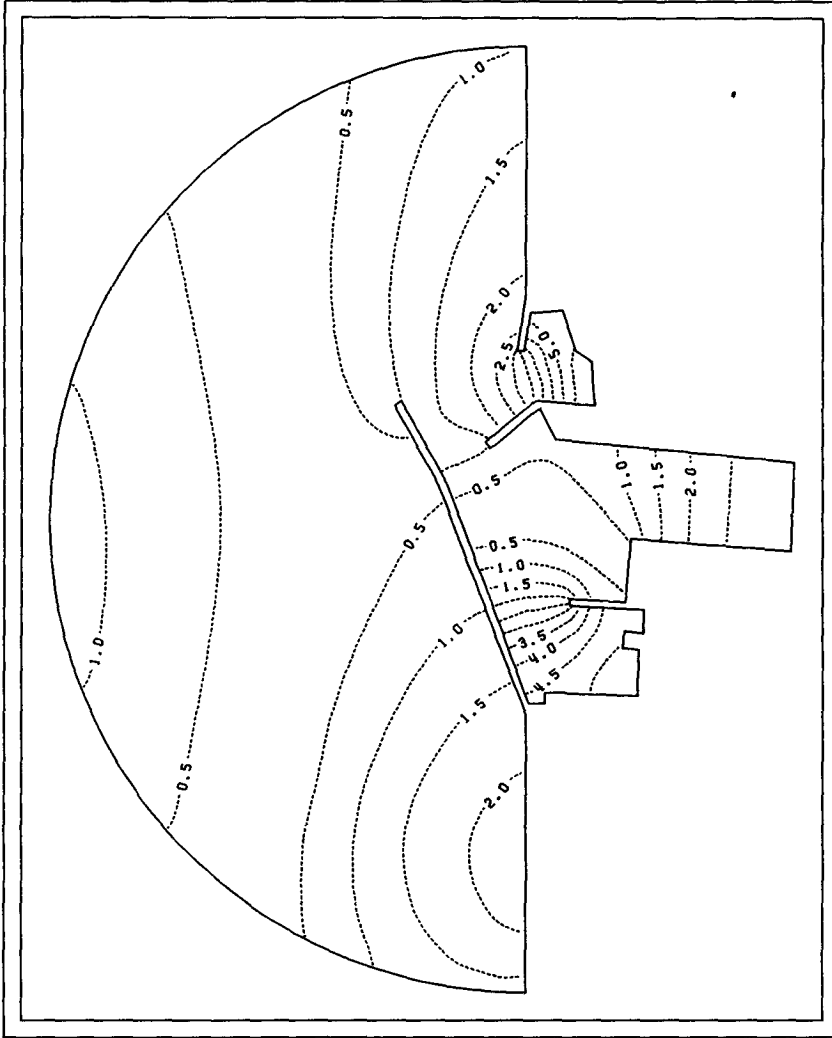
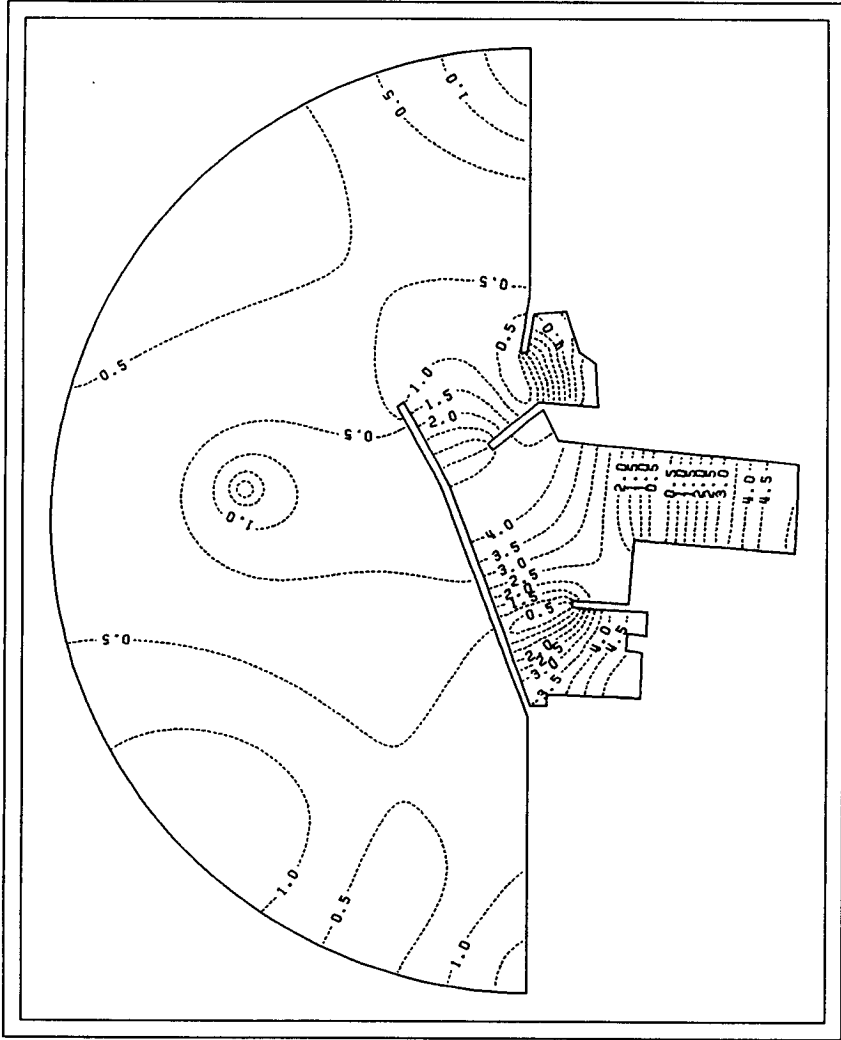


Fig. 4.2.4 Computed amplification ratios for wave period of 320 seconds in Dongchae Harbor.

RESONANT AMPLIFICATION AROUND DONGHAE HARBOUR



WAVE PERIOD = 210.0 SEC

Fig. 4.2.5 Computed amplification ratios for wave period of 210 seconds in Donghae Harbor.

스펙트럼 분석에 의해 제시된 Helmholtz natural period 1,024초와 수치 모형으로 계산된 제1 첨두주기 970초에 대해 3개 정점에서의 증폭비를 계산한 결과를 항외 정점에서의 해수위 진폭으로 무차원화된 값으로 Table 4.2.1에 제시하였다. 관측에서 제시된 주기와 수치계산을 실시한 주기를 약간 다르게 취한 이유는 수치모형으로 계산한 첨두주기가 관측치와 다르기는 하나 모든 수치모형이 관측치와 정확하게 일치하는 결과를 제시할 수는 없는 점을 감안하면 양자에서 공진이 일어나는 주기에 대해서 증폭비를 비교하는 것이 보다 합리적이라고 생각되었기 때문이다.

Table 4.2.1 Comparisons of normalized seiche amplification ratios measured and computed at first peak period of the Donghae Harbor.

St. no.	Normalized amplification ratios						
	Measurements		Results of numerical calculation				
	Period (sec)	Averaged amplification ratio	Period (sec)	$K_r = 1.00$	$K_r = 0.99$	$K_r = 0.98$	$K_r = 0.95$
S2	1,024	6.0	970	6.8	4.6	3.4	2.0
S3	1,024	10.0	970	13.7	9.2	6.9	3.9
S4	1,024	10.0	970	13.4	9.0	6.7	3.8

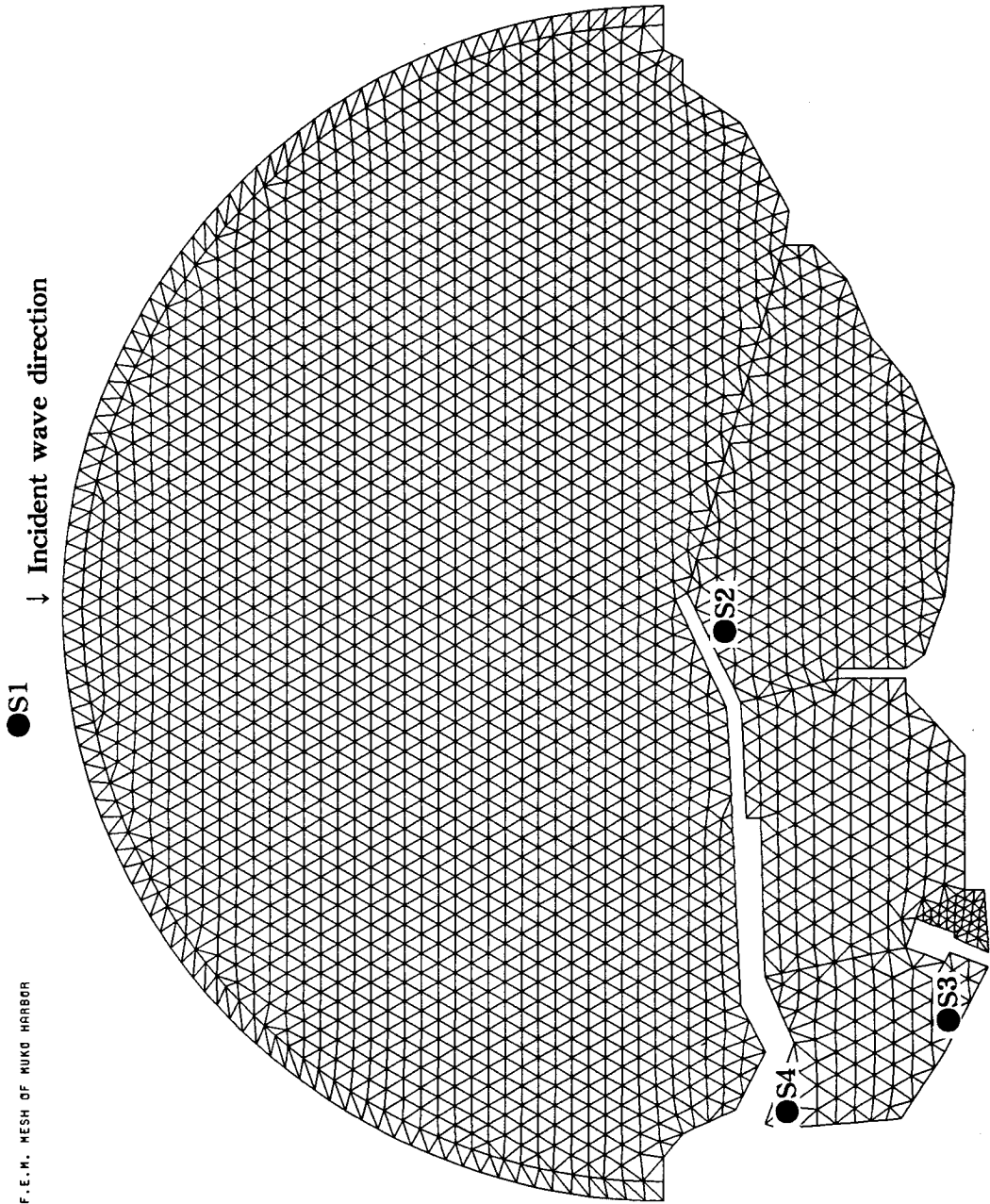
Table 4.2.1에 제시된 관측된 증폭비는 제2장에 기술된 바와 같이 data cases 1, 8 및 13에서 각각의 제1 첨두주기를 중심으로 5개의 주파수에서의 증폭비들을 산술 평균한 후 이 3개의 평균값들을 다시 평균한 값이다. 이 평균값을 기준하여 양자를 비교해보면 고체 경계면에서 완전 반사를 가정할 경우 실제보다 약간 과장된 결과를 예측할 가능성이 있음을 알 수 있다. 정(1991)에 따르면 수리모형실험 결과와의 비교시 반사율을 0.99로 했을 경

우 가장 양자가 근접하였으며 이는 Table 4.2.1에서 알 수 있듯이 본 연구와 같은 현장관측자료 분석 결과와의 비교에서도 동일한 것으로 나타났다. 이 표에 따르면 반사계수가 약간만 변화해도 무차원화된 증폭비가 크게 변화하고 있는데 이는 본 논문에서 반사계수를 정의하는 방법이 단주기파 수치모형에서 사용되는 것과는 다르며, 또한 본 반사계수 정의는 전술한 바와 같이 본 연구의 제2차년도에서 반사율 민감도 시험을 통하여 그 적용성이 확인된 바 있다.

2. 목호항

현장관측 결과와 수치계산 결과를 비교하기 위하여 Fig. 2.4.1에 제시된 바 있는 계산영역에 대해 유한요소망을 작성하였다(Fig. 4.2.6). 이 요소망은 총 4,905개의 선형 삼각형 요소와 2,592개의 절점으로 구성되었다. 이 그림에 표시된 S1~S3는 제2장의 Fig. 2.4.1에 표시된 관측정점 S1~S3와 동일한 위치이며, S4는 항의 가장 안쪽에 위치한 임의의 지점을 선택한 것이다. 절점간의 거리는 대부분 45 m이나 방파제 부근에서는 자료의 부분적인 수정으로 인하여 60 m 정도인 곳도 있다. 그러나, 이는 본 연구에서 취급하는 파중 주기가 가장 짧은(52초) 파의 파장이 수심 10 m를 기준할 때 최소한 510 m보다 큰 점을 감안하면 한 파장을 8개 구간으로 구분할 수 있으므로 적절하다. Fig. 4.2.7에는 1985년도 수로국 발행(1992년 개보필) 해도 No. 149를 준하여 작성한 대상해역의 2차원 등수심도를, 그리고 Fig. 4.2.8에는 수심도를 3차원적으로 도시하였다.

먼저, 관측 결과의 분석에서 제시된 목호항의 공진주기를 찾기 위하여 일정한 간격으로 주기를 증가시키면서 계산을 실시하였다. 계산은 주기 55



NR. OF NODES - 2802 NR. OF ELEMENTS - 4808

Fig. 4.2.6 Finite element mesh for Muko Harbor.

DEPTH CONTOUR OF MUKO HARBOUR

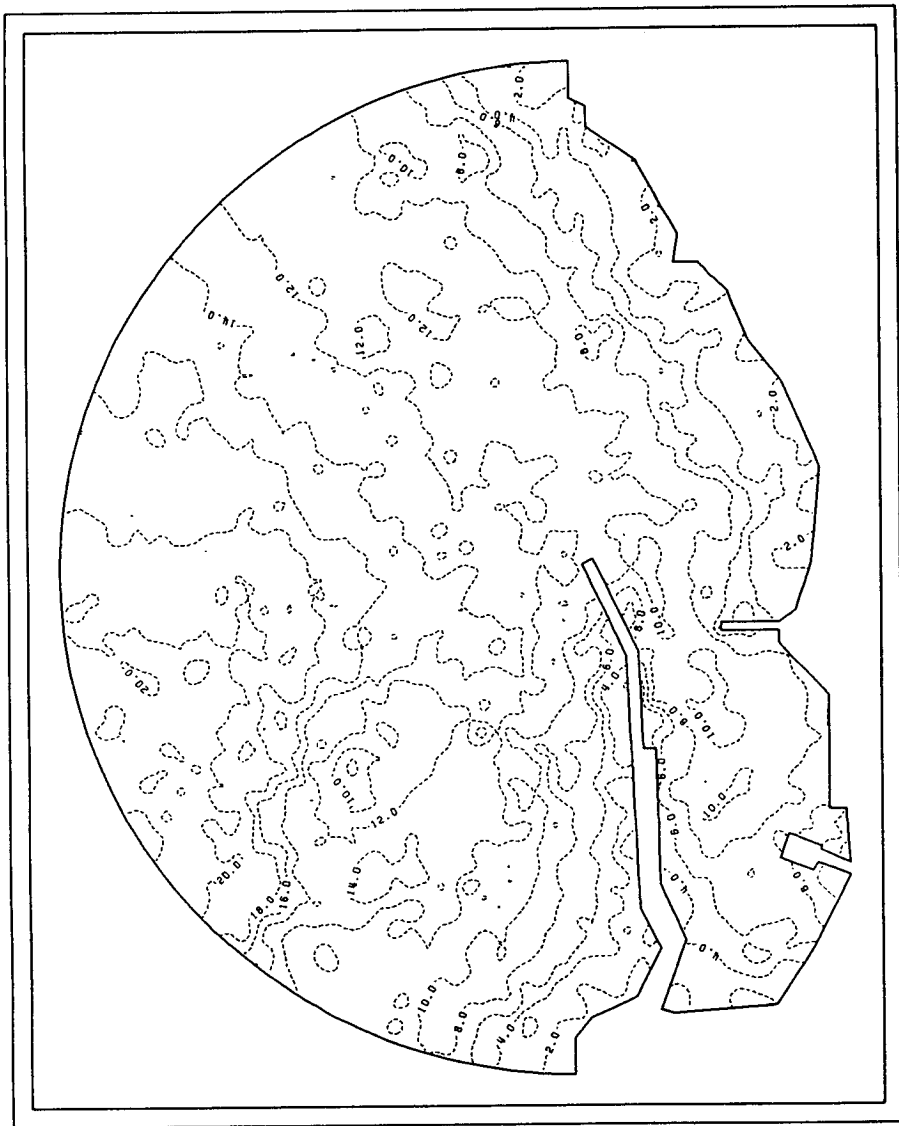
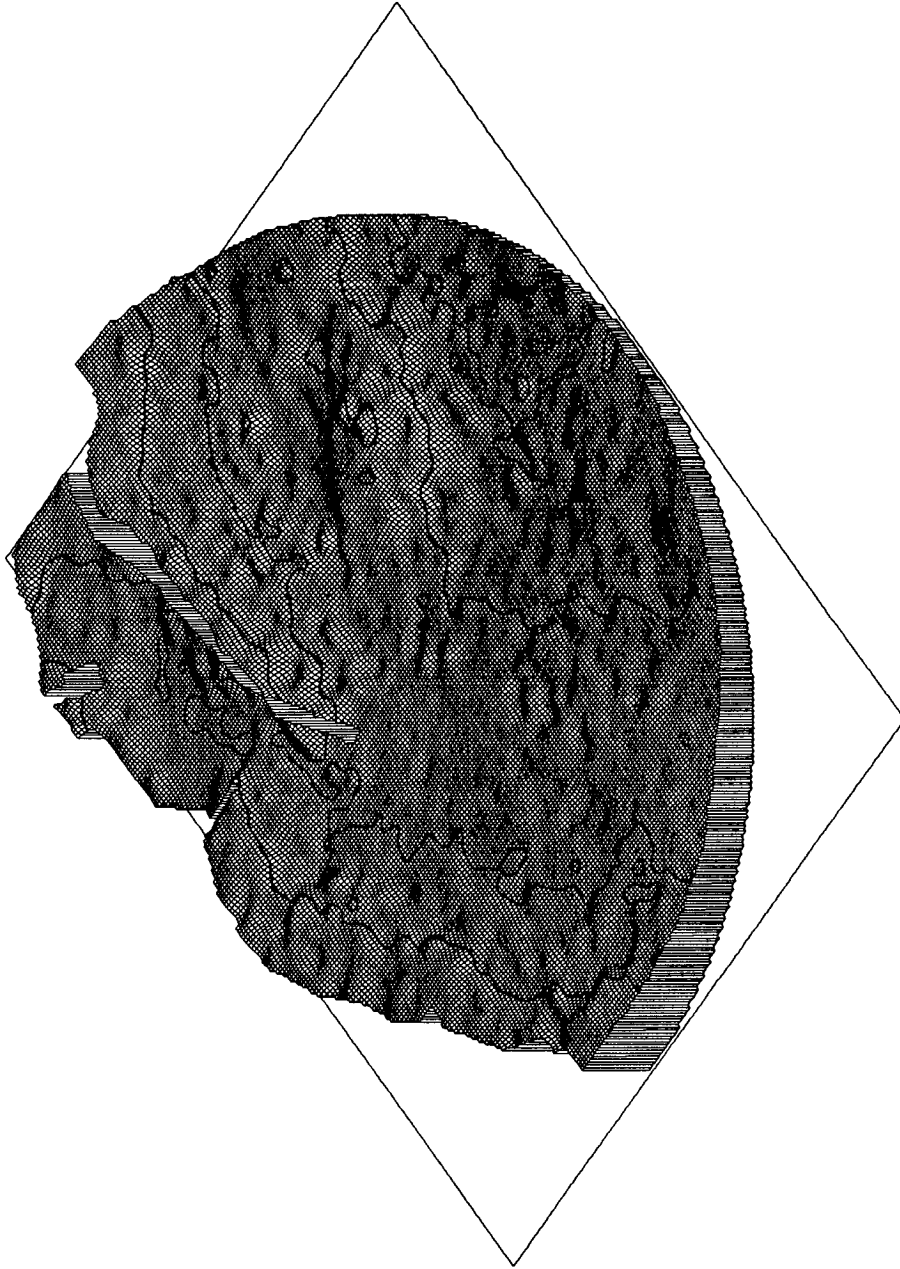


Fig. 4.2.7 Water depth contours around Muko Harbor.



3-D TOPOGRAPHY OF MUKO HARBOUR (FOR SEICHE)

Fig. 4.2.8 Three-dimensional topography around Muko Harbor.

초에서 1,000초까지 5초 간격으로 실시되었으며 그 결과를 Fig. 4.2.9에 도시하였다. 본 계산에서는 외해에서의 입사파 진폭을 모두 0.5 m로 가정하였으며, 입사파향은 해안선에 수직으로 입사하는 것으로 가정하였다. 그리고, 수치계산시 고체경계면에서의 반사율은 테트라포드 등의 이형블럭으로 피복된 방파제나 호안의 경우 0.98, 사빈 해안인 경우 0.95, 그리고 소파시설이 없는 방파제나 안벽 등에서는 모두 1.0으로 가정하고 해저면 마찰계수는 전체 영역에 대해 모두 $\beta = 0.0$ 으로 하였다. Fig. 4.2.9를 살펴보면 항입구 및 항내에서 모두 주기 755초에서 제1 공진이 발생하는 것으로 나타나 관측자료의 분석결과로 제시된 732초와 상당히 잘 일치한다. 또한, 동계 관측자료의 분석결과에서는 194~216초 사이에 공진이 발생한 바 있으며 본 수치계산 결과에서도 198초에서 공진이 출현하였다. 제1 공진주기에서의 증폭비는 12.0으로 나타나 동계의 증폭비 15.5와는 유사하나 하계의 증폭비 27.0보다는 상당히 작다. 그러나, 수치계산에 의한 증폭비를 동해항의 경우와 같이 현장관측자료로부터 증폭비를 구할 때 각 case에서 제1 첨두주기를 중심으로 5개의 주파수에서의 증폭비들을 산술 평균한 후 이 평균값을 다시 평균한 증폭비와 비교하면 양자가 거의 비슷해질 것으로 사료된다.

Fig. 2.4.9에 제시된 증폭비 반응에서는 주기 250초 이하의 비교적 단주기파인 경우 항내에서의 반응이 상당히 복잡하여 구분이 쉽지 않다. 따라서, 52~250초까지 2초 간격으로 다시 수치계산을 실시하고 그 결과를 Fig. 4.2.10에 도시하였다. 이 그림을 살펴보면 주기 56, 66, 72, 84, 102, 108, 116, 130, 158 및 198초 등에서 다양한 크기의 공진이 발생하고 있다. 주기 56초의 경우 항외 정점 S1에서 peak가 나타나며 이는 방사파 처리의 불완전 등에서 비롯되는 numerical instability로 생각된다.

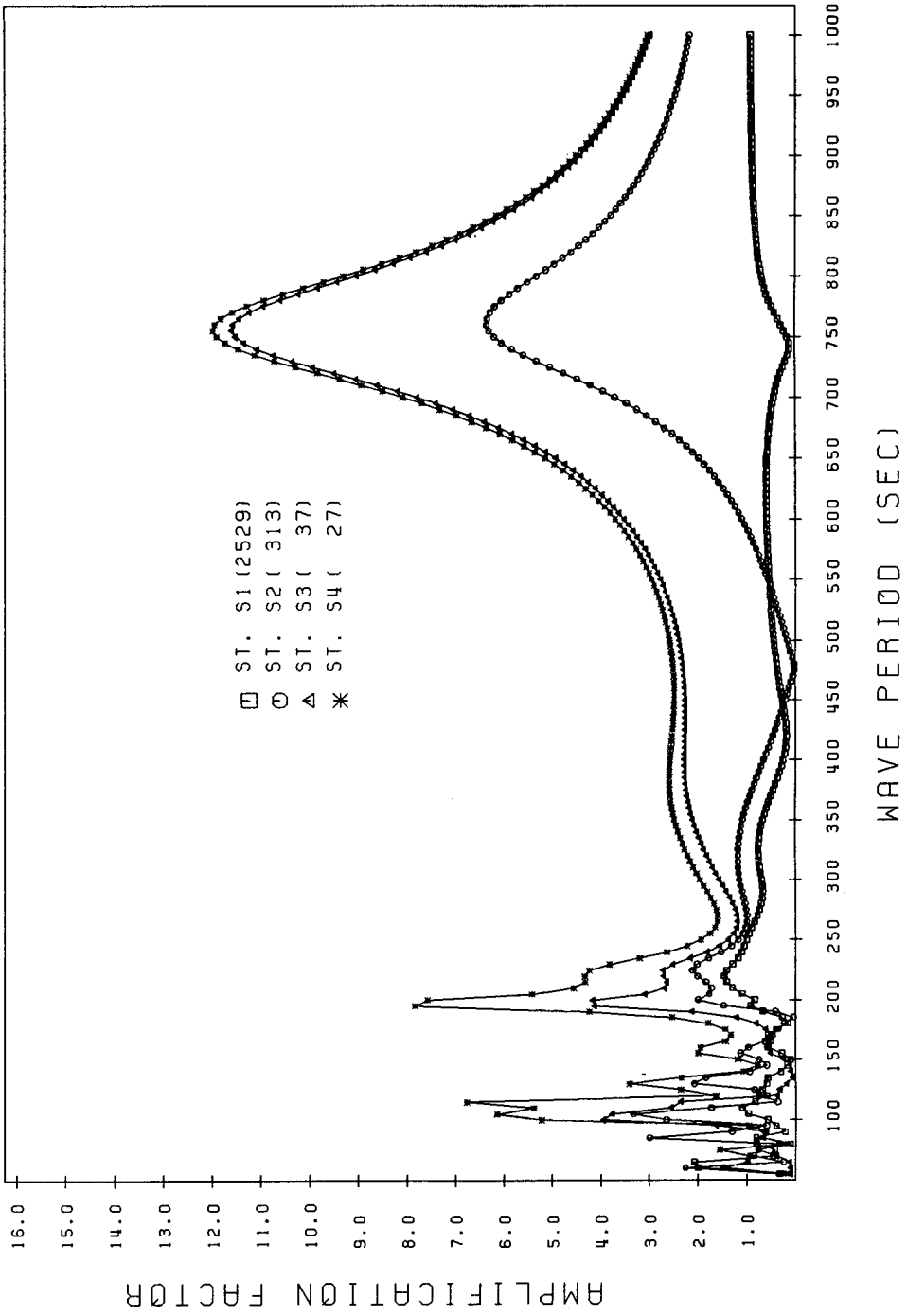


Fig. 4.2.9 Computed response curves for periods from 55 to 1,000 seconds in Muko Harbor(5 seconds interval).

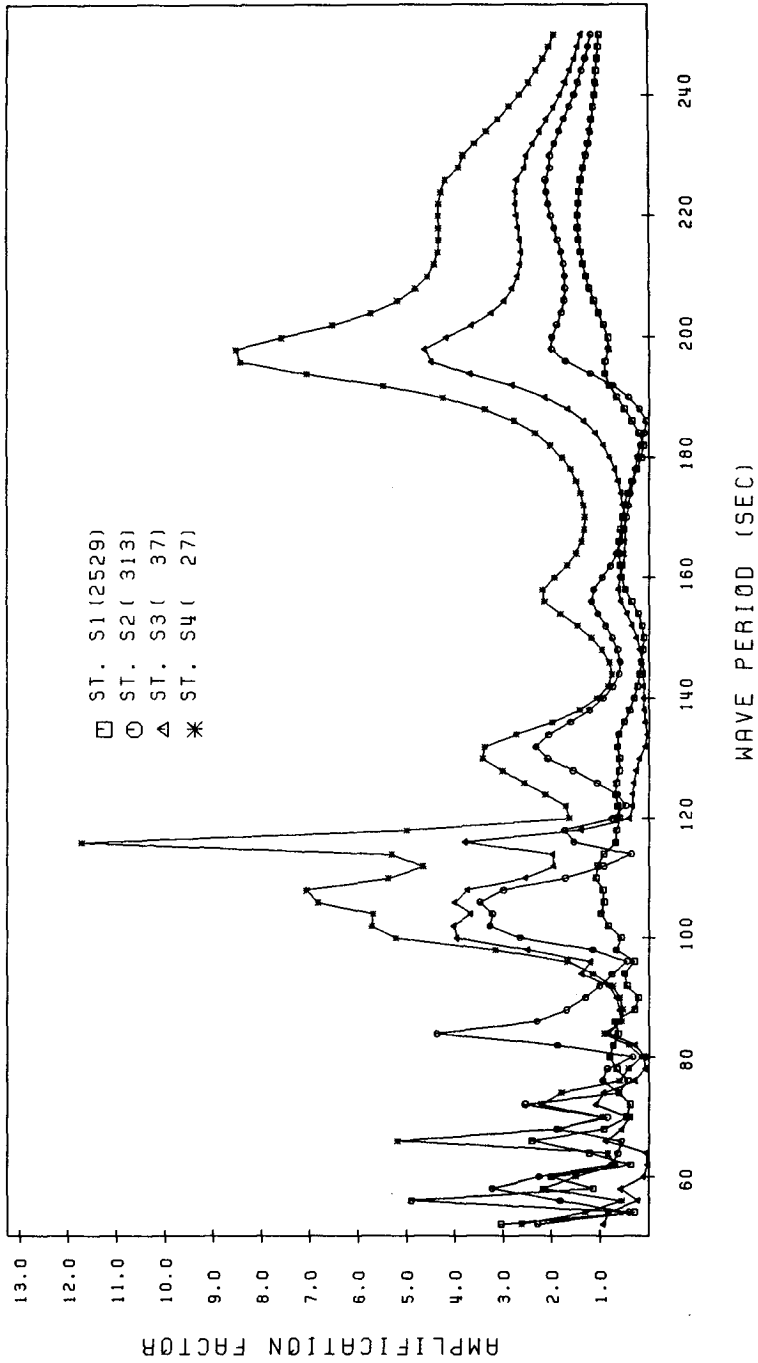


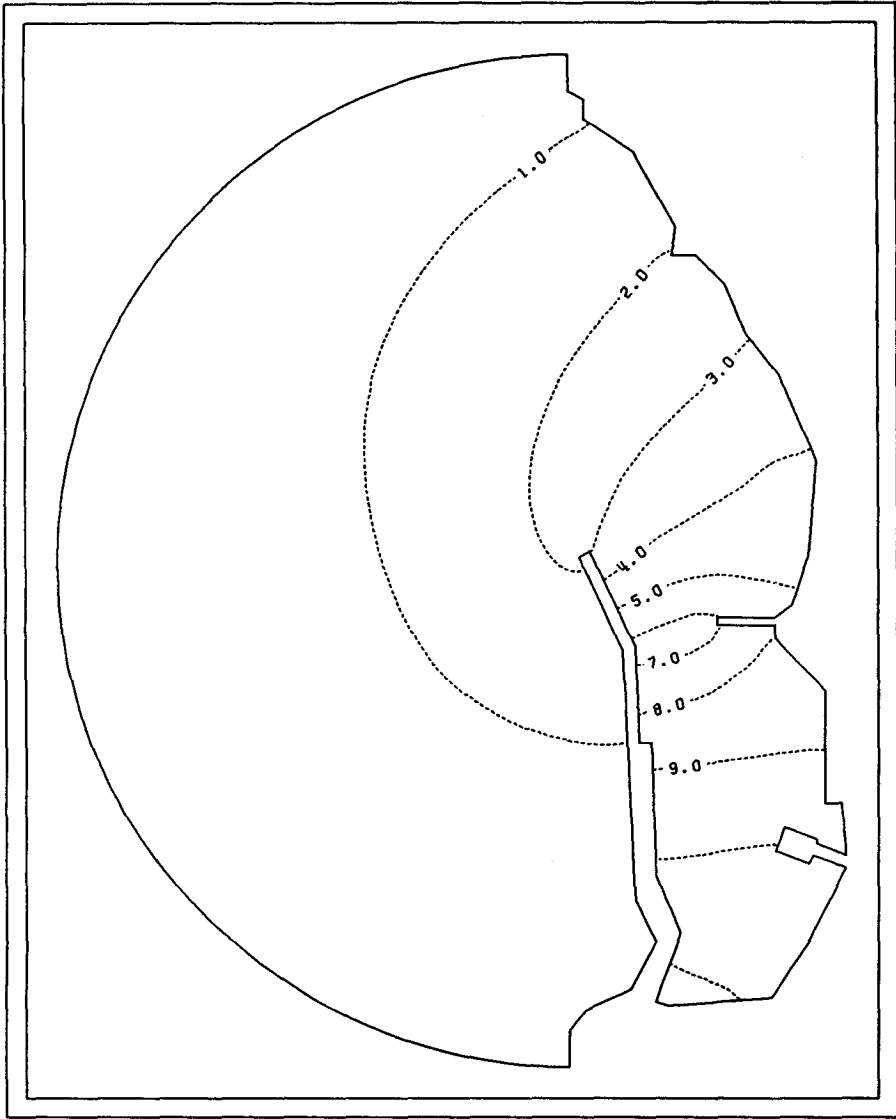
Fig. 4.2.10 Computed response curves for periods from 52 to 250 seconds in Muko Harbor(2 seconds interval).

수치계산 결과에서 제시된 제1 공진주기 755초에 대해 계산된 등중폭 비선도를 Fig. 4.2.11에 제시하였는 데, 이를 살펴보면 항외 입사경계 부근에서 마디(node)가, 그리고 항내 깊숙한 곳에서 북(anti-node)이 생기는 것을 알 수 있다. 한편, 수치계산에서 제2 공진주기로 제시된 198초에 대해 계산된 등중폭비선도를 Fig. 4.2.12에 도시하였는 데, 여기서는 항입구에서 약간 외측 및 항외 증양부에서 마디가, 그리고 항외 입사경계 및 항내 깊숙한 곳에서 북(anti-node)이 생기는 것을 알 수 있다. 국부 공진주기로 생각되는 116초에 대해 계산된 등중폭비선도는 Fig. 4.2.13에 도시하였는데 여기서는 항입구에서 약간 외측, 항외 증양부에서 약간 외측 및 항외 내측에 마디가, 그리고 마디의 사이 및 항내 깊숙한 곳에서 북이 생기는 것을 알 수 있다.

3. 죽변항

현장관측 결과와 수치계산 결과를 비교하기 위하여 Fig. 2.4.2에 제시된 바 있는 계산영역에 대해 유한요소망을 작성하였다(Fig. 4.2.14). 이 요소망은 총 6,148개의 선형 삼각형 요소와 3,215개의 절점으로 구성되었다. 이 그림에 표시된 S1과 S3는 제2장의 Fig. 2.4.2에 표시된 관측정점 S1 및 S2와 동일한 위치이며, S3은 항입구의 정점, 그리고 S4는 항외의 가장 안쪽에 위치한 임의의 지점을 선택한 것이다. 절점간의 거리는 대부분 40 m를 유지시켰으나 방파제 부근에서는 자료의 부분적인 수정으로 인하여 50 m 정도가 된 곳도 있다. 그러나, 이는 본 연구에서 취급하는 파종 가장 짧은 파인 주기 52초의 파장이 수심 10 m를 기준할 때 최소한 510 m를 넘는 점을 감안하면 목호항의 경우와 마찬가지로 충분한 것으로 판단되었다.

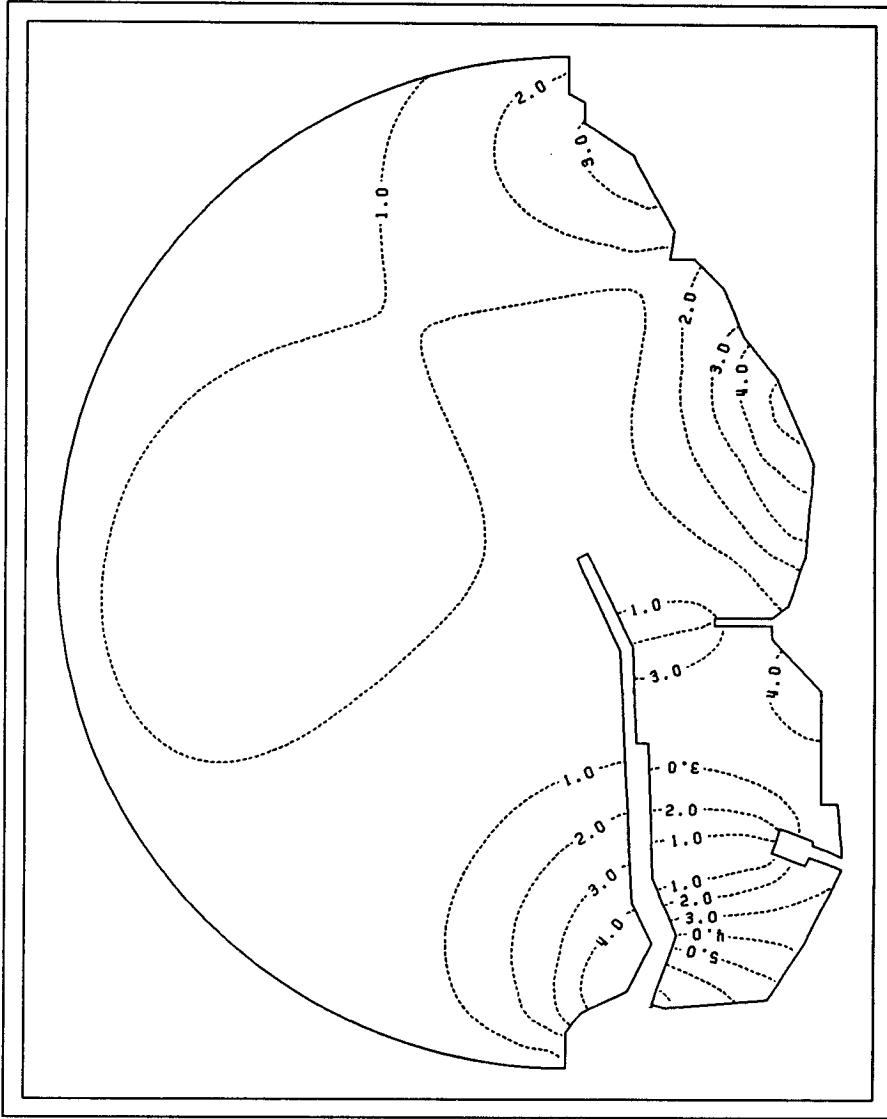
RESONANT AMPLIFICATION AROUND MUKO HARBOUR



WAVE PERIOD = 755.0 SEC

Fig. 4.2.11 Computed amplification ratios for wave period of 755 seconds in Muko Harbor.

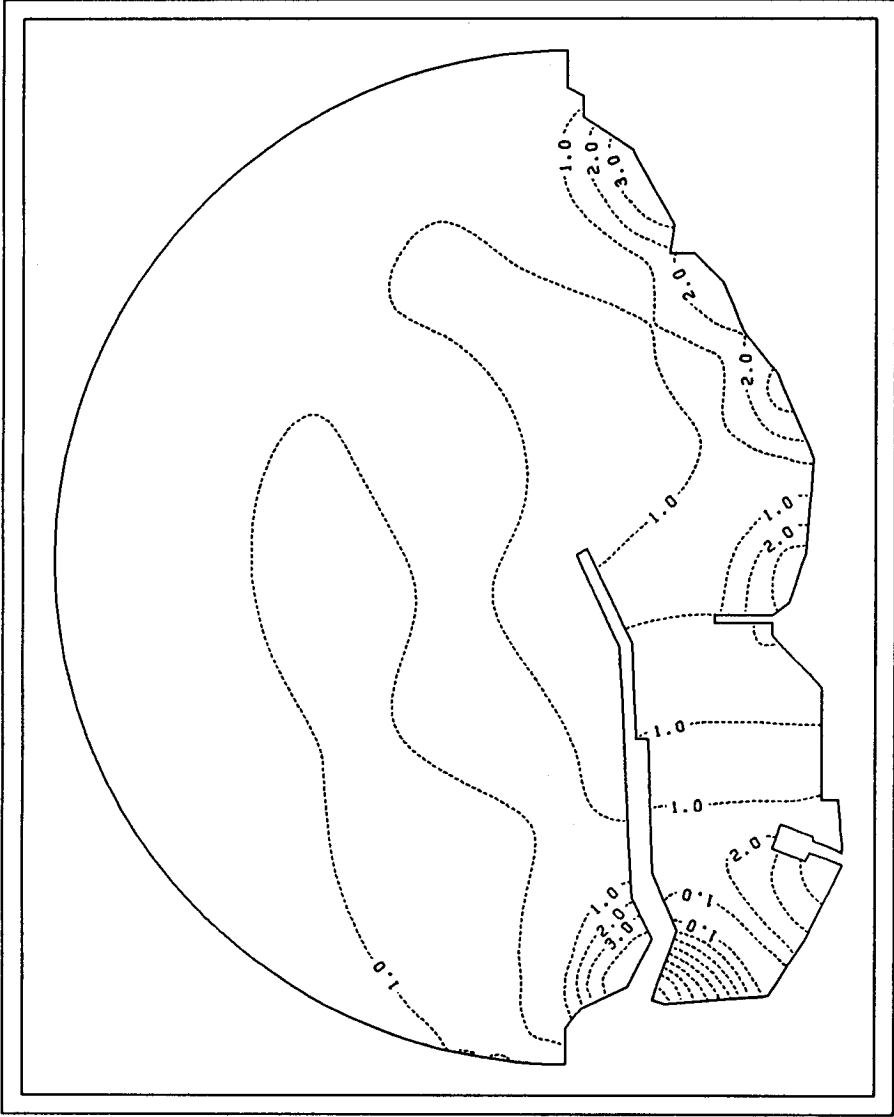
RESONANT AMPLIFICATION AROUND MUKO HARBOUR



WAVE PERIOD = 198.0 SEC

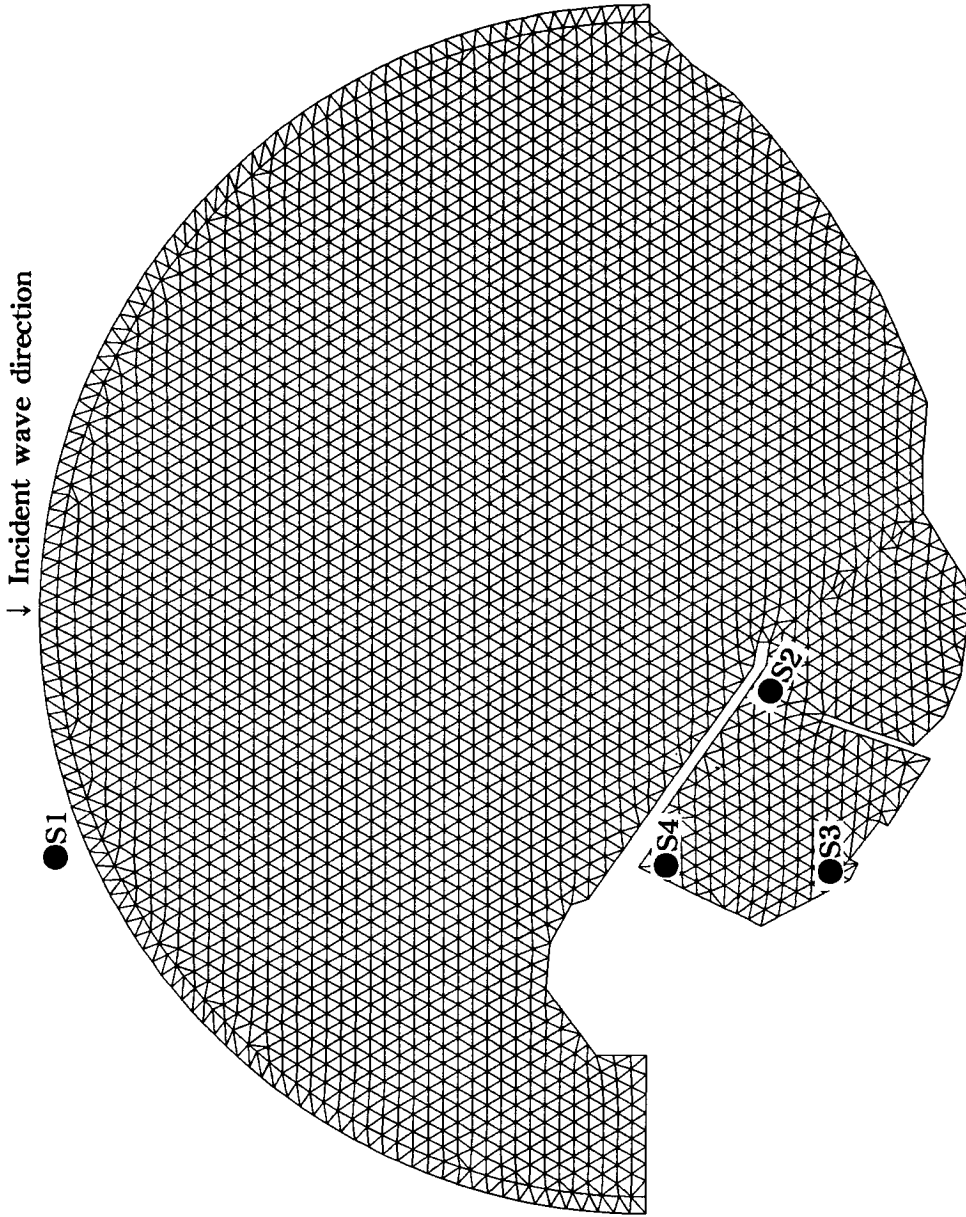
Fig. 4.2.12 Computed amplification ratios for wave period of 198 seconds in Muko Harbor.

RESONANT AMPLIFICATION AROUND MUKO HARBOUR



WAVE PERIOD = 116.0 SEC

Fig. 4.2.13 Computed amplification ratios for wave period of 116 seconds in Muko Harbor.



NB. OF NODES = 3215 NB. OF ELEMENTS = 6148

Fig. 4.2.14 Finite element mesh for Chukpyon Harbor.

Fig. 4.2.15에는 1981년도 수로국 발행(1992년 개보필) 해도 No. 137을 준하여 작성한 대상해역의 2차원 등수심도를, 그리고 Fig. 4.2.16에는 수심도를 3차원적으로 도시하였다.

먼저, 관측 결과의 분석에서 제시된 측면항의 공진주기를 찾기 위하여 일정한 간격으로 주기를 증가시키면서 계산을 실시하였다. 계산은 목호항의 경우와 동일하게 주기 55초에서 1,000초까지 5초 간격으로 실시되었으며 그 결과를 Fig. 4.2.17에 도시하였다. 본 계산에서는 외해에서의 입사파 진폭을 모두 0.5 m로 가정하였으며, 입사파향은 Fig. 4.2.14에 제시한 것처럼 해안선에 수직으로 입사하는 것으로 가정하였다. 그리고, 수치계산시 고체 경계면에서의 반사율은 테트라포드 등의 이형블럭으로 피복된 방파제나 호안의 경우 0.98, 사빈 해안인 경우 0.95, 그리고 소파시설이 없는 방파제나 안벽 등에서는 모두 1.0으로 가정하고 해저면 마찰계수는 전체 영역에 대해 모두 $\beta = 0.0$ 으로 하였다. Fig. 4.2.17을 살펴보면 항입구 및 항내에서 모두 주기 710초 부근에서 제1 공진이 발생하는 것으로 나타나 관측자료의 분석결과로 제시된 698초와 거의 비슷하다. 또한, 동계 관측자료의 분석결과에서는 119~146초 사이에 공진이 발생한 바 있으며 본 수치계산 결과에서도 130초와 160초 부근에서 공진이 출현하였다. 제1 공진주기에서의 증폭비는 11.0으로 나타나 동계의 증폭비 22~23보다 상당히 작다. 그러나, 수치계산에 의한 증폭비를 동해항의 경우와 같이 현장관측자료로부터 증폭비를 구할 때 각 case에서 제1 첨두주기를 중심으로 5개의 주파수에서의 증폭비들을 산술 평균한 후 이 평균값을 다시 평균한 증폭비와 비교하면 양자가 거의 비슷해질 것으로 사료된다.

Fig. 4.2.17에 제시된 증폭비 반응에서는 주기 300초 이하의 비교적 단

DEPTH CONTOUR OF CHUKPYON HARBOUR

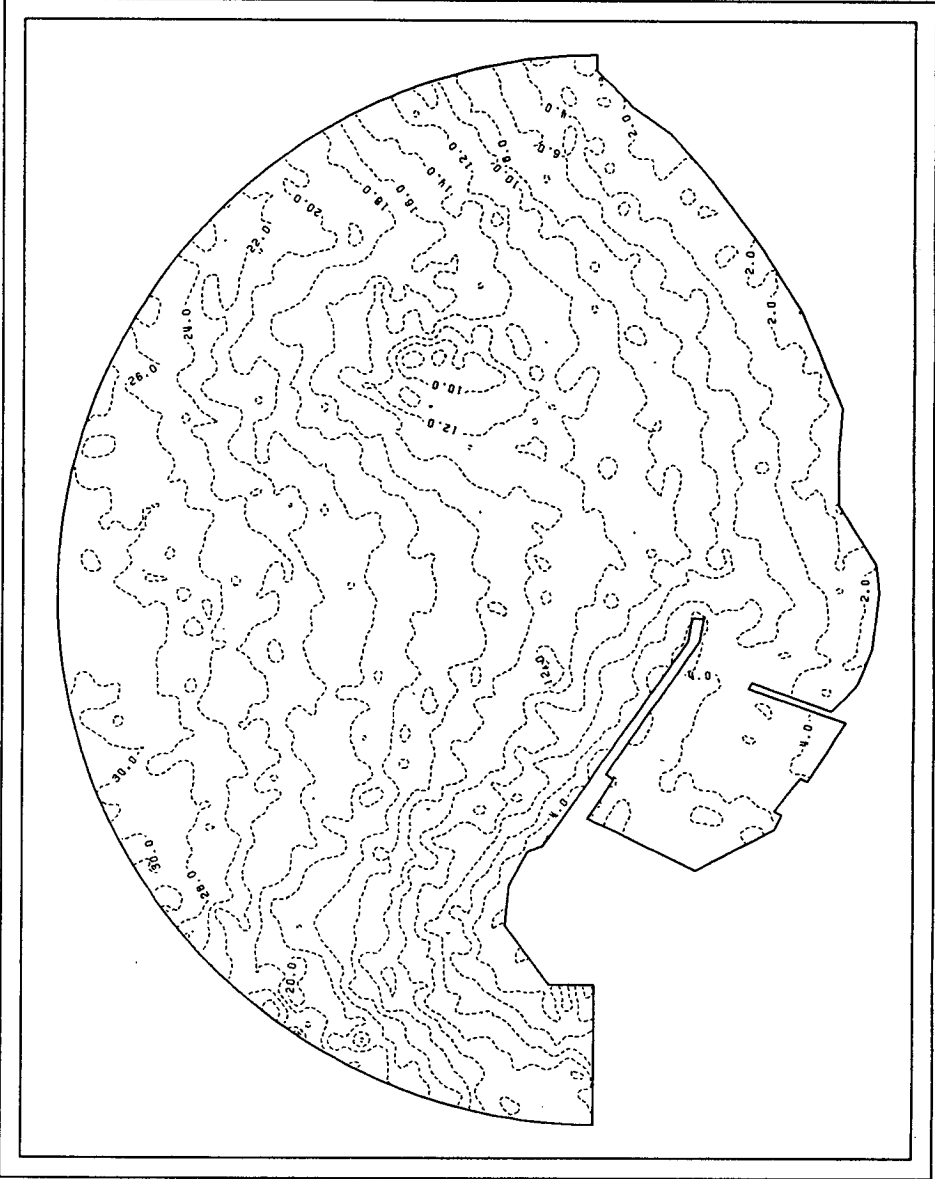
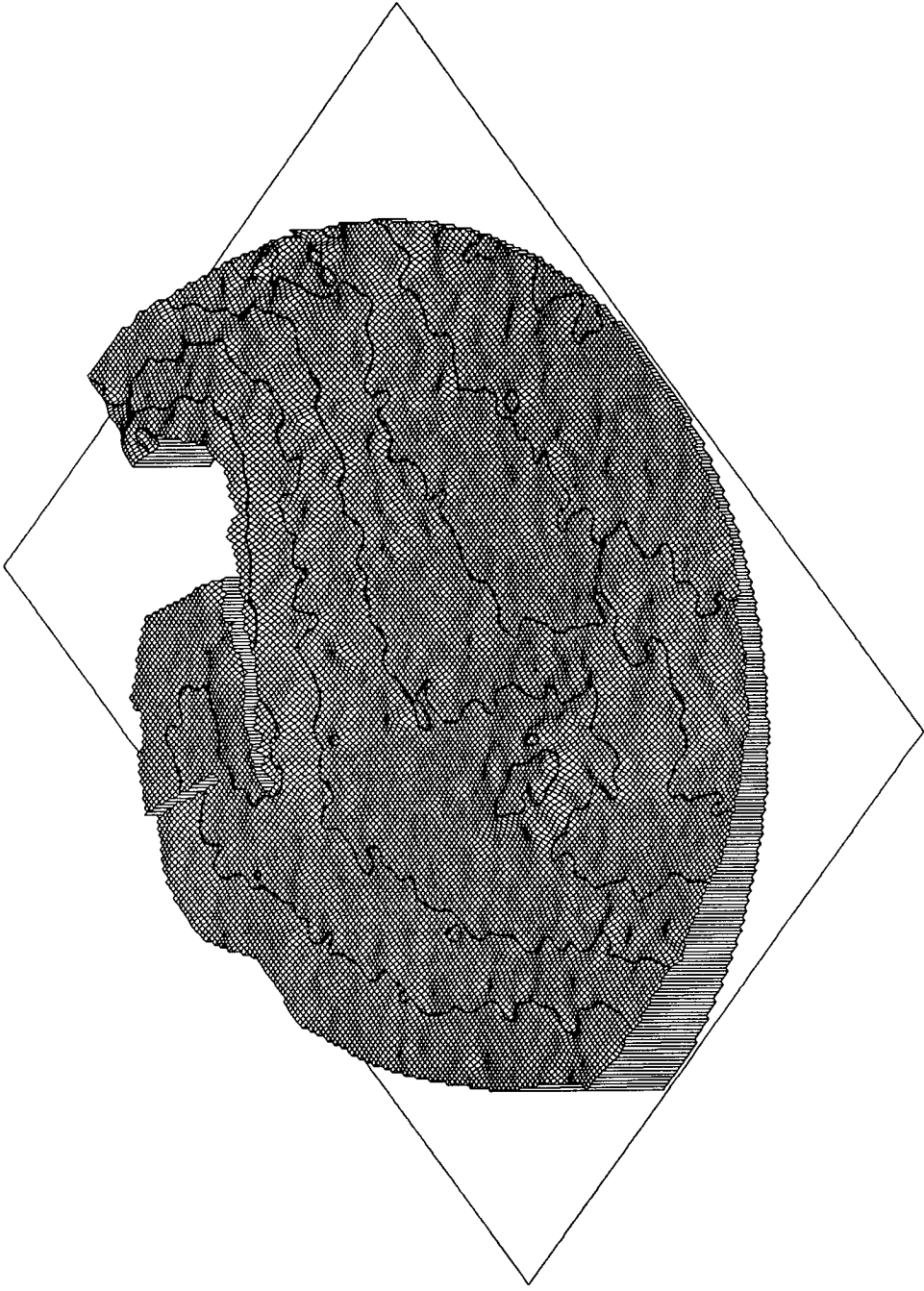


Fig. 4.2.15 Water depth contours around Chukpyon Harbor.



3-0 TOPOGRAPHY OF CHUKPYON HARBOUR (FOR SEICHE)

Fig. 4.2.16 Three-dimensional topography around Chukpyon Harbor.

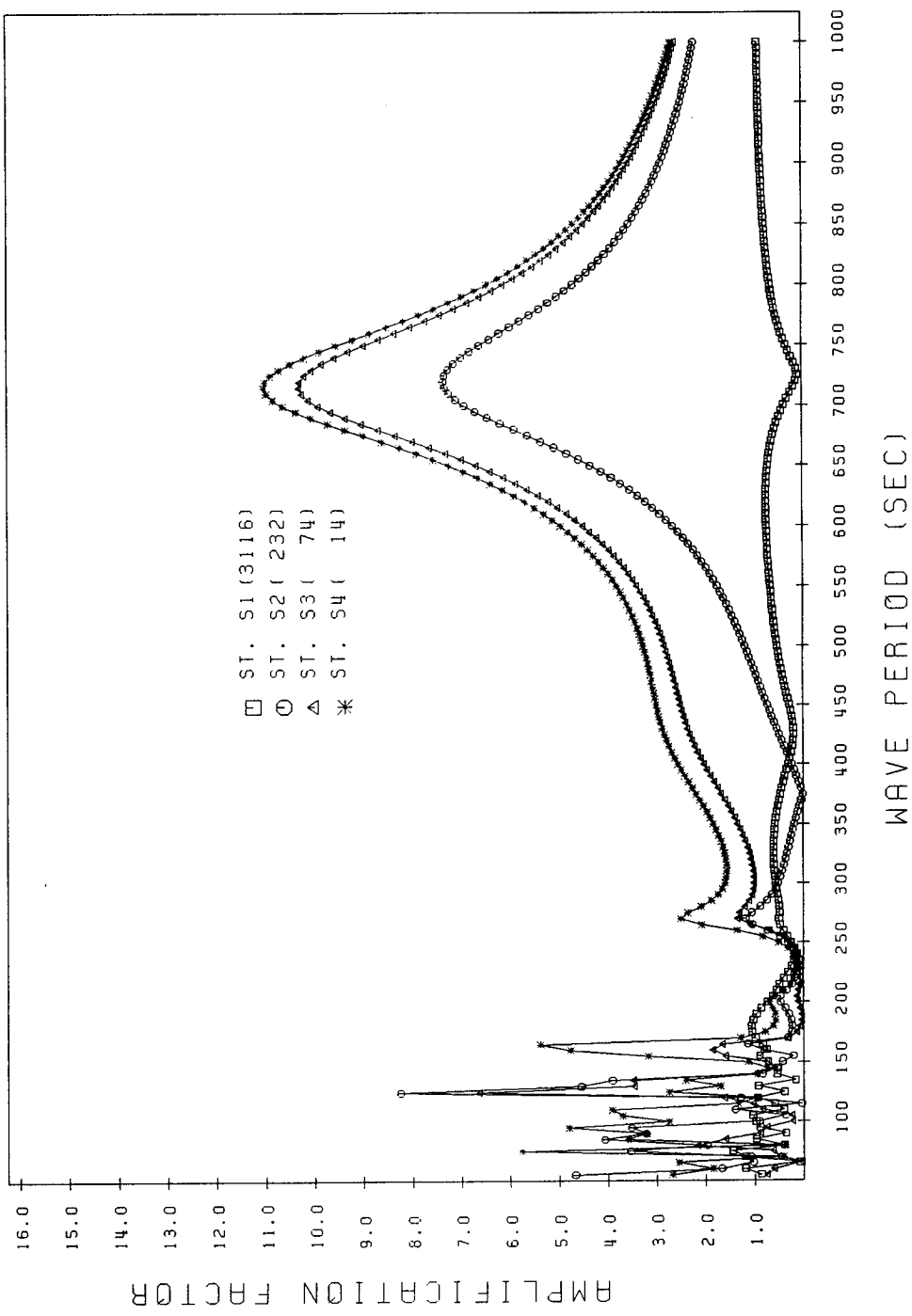


Fig. 4.2.17 Computed response curves for periods from 55 to 1,000 seconds in Chukpyon Harbor(5 seconds interval).

주기인 경우 항내에서의 반응이 상당히 복잡하여 구분이 쉽지 않다. 따라서, 52~300초까지를 2초 간격으로 다시 수치계산을 실시하여 그 결과를 Fig. 4.2.18에 도시하였다. 이 그림을 살펴보면 주기 58, 68, 88, 96, 108, 124, 164 및 270초 등에서 다양한 크기의 공진이 발생하고 있다.

수치계산 결과에서 제시된 제1 공진주기 710초에 대해 계산된 등중폭비선도를 Fig. 4.2.19에 제시하였는데 이를 살펴보면 항외 입사경계 부근에서 마디(node)가, 그리고 항내 깊숙한 곳에서 북(anti-node)이 생기는 것을 알 수 있다. 한편, 수치계산에서 제2 공진주기로 생각되는 270초에 대해서 계산된 등중폭비선도를 Fig. 4.2.20에 도시하였는데 여기서는 항입구에서 약간 내측에서 마디가, 그리고 항내 깊숙한 곳에서 북(anti-node)이 생기는 것을 알 수 있으며 국부 공진주기로 생각되는 164초에 대해서 계산된 등중폭비선도를 Fig. 4.2.21에 도시하였는데 여기서는 항입구에서 약간 외측과 항의 중앙부에서 마디가, 그리고 마디의 사이 및 항내 깊숙한 곳에서 북이 생기는 것을 알 수 있다.

제3절 토 의

동해항, 묵호항 및 죽변항에 수치모형을 적용하여 현장관측 결과와 비교·분석 함으로서 관측 결과에서 제시된 각 항의 Helmholtz natural period 및 제2 첨두 주기를 확인하였다. 본 장의 주요 결론 및 토의 사항은 다음과 같다.

- 관측자료의 분석에서 제시된 동해항의 Helmholtz natural period 및 제2 첨두 주기인 17.1분 및 5.5분과 수치계산에 의한 결과인 16.2분 및 5.3분, 묵호항의 12.2분 및 3.2~3.6분과 12.6분 및 3.3분, 그리고 죽변항의 11.6분과 11.8분이 매

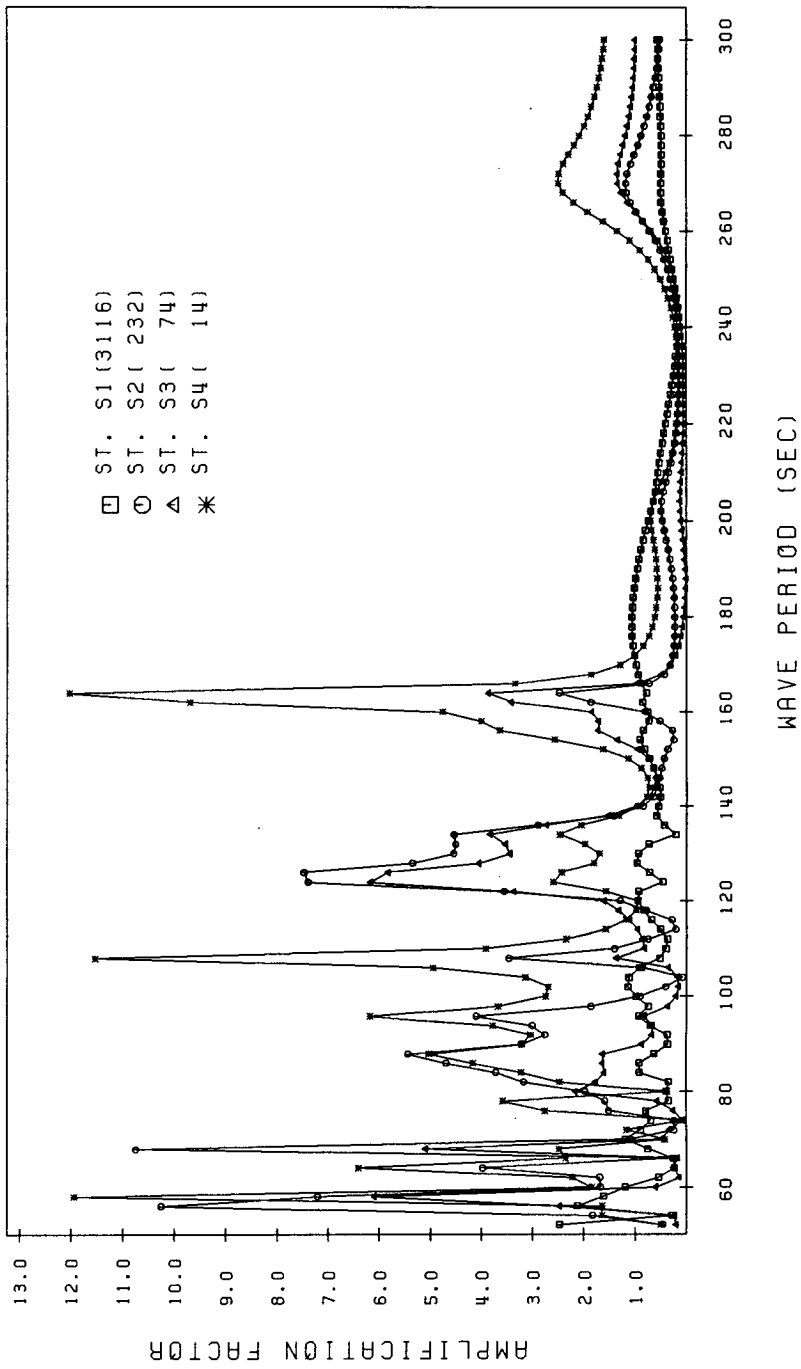
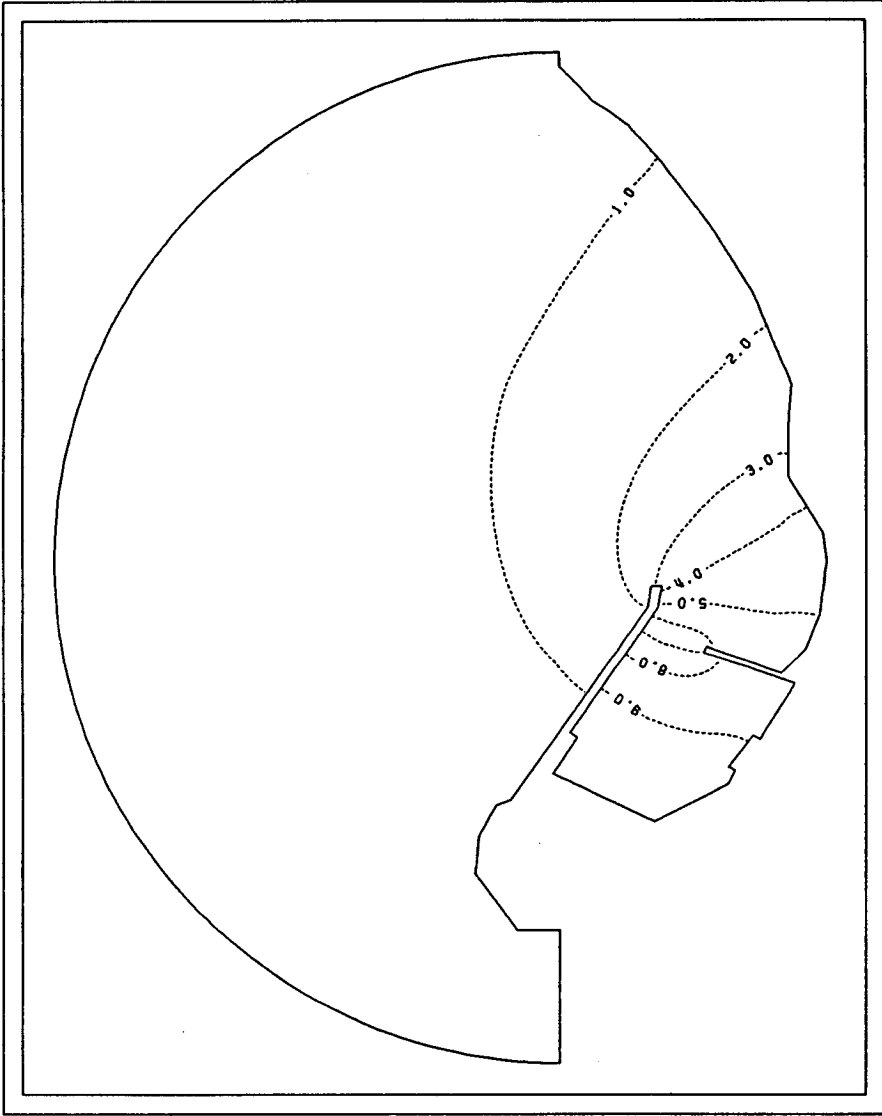


Fig. 4.2.18 Computed response curves for periods from 52 to 300 seconds in Chukpyon Harbor(2 seconds interval).

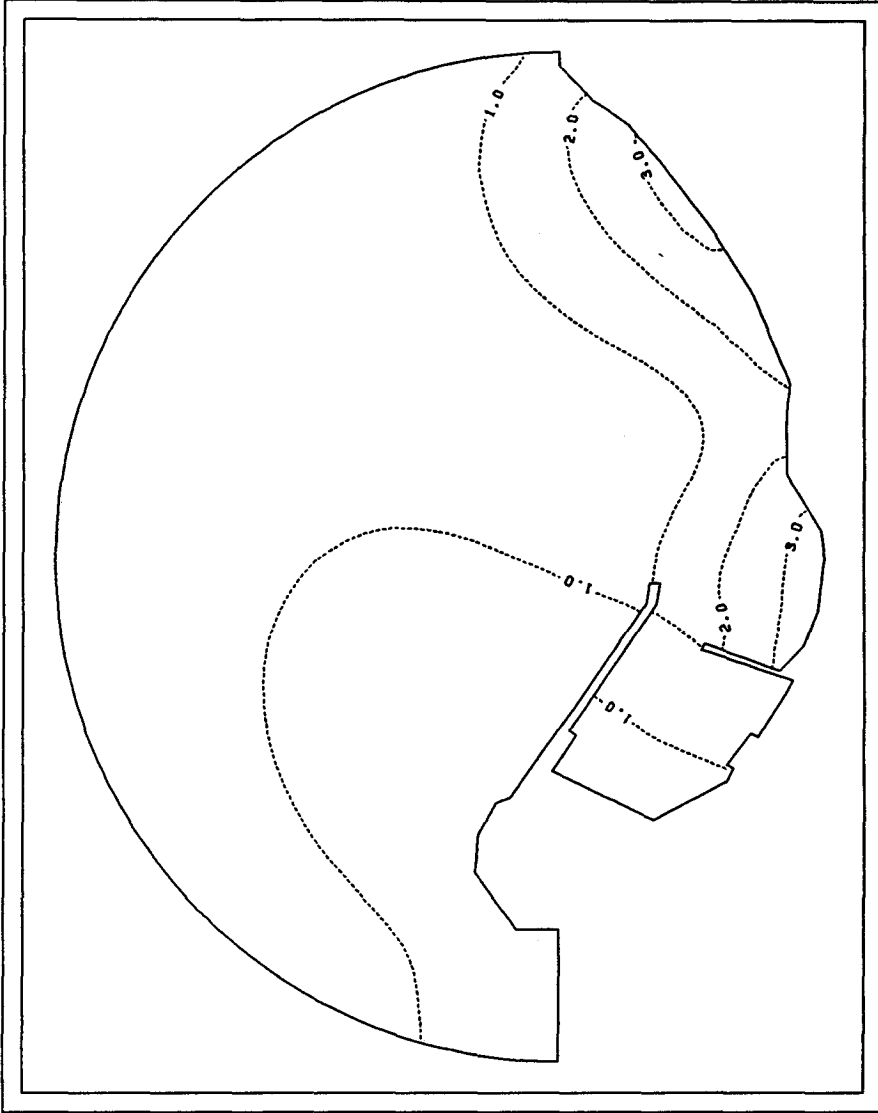
RESONANT AMPLIFICATION AROUND CHUKPYON HARBOUR



WAVE PERIOD = 710.0 SEC

Fig. 4.2.19 Computed amplification ratios for wave period of 710 seconds in Chukpyon Harbor.

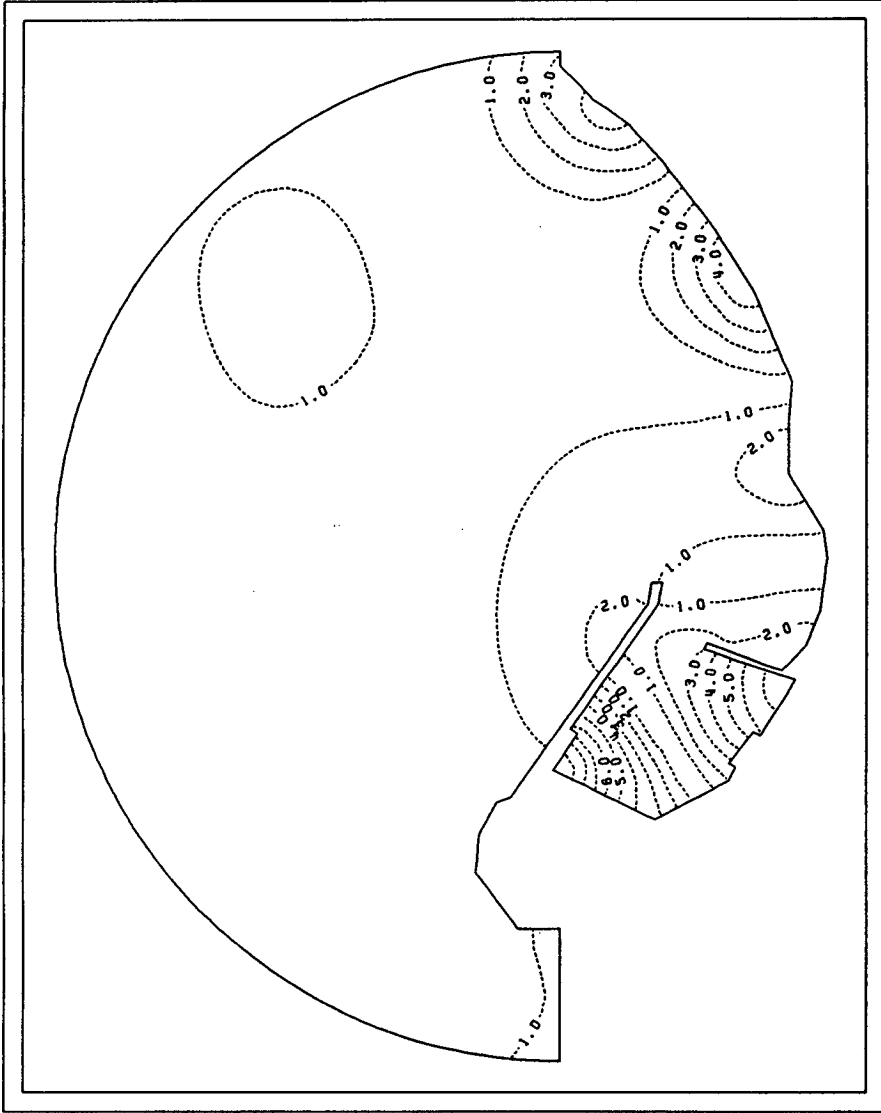
RESONANT AMPLIFICATION AROUND CHUKPYON HARBOUR



WAVE PERIOD = 270.0 SEC

Fig. 4.2.20 Computed amplification ratios for wave period of 270 seconds in Chukpyon Harbor.

RESONANT AMPLIFICATION AROUND CHUKPYON HARBOUR



WAVE PERIOD = 164.0 SEC

Fig. 4.2.21 Computed amplification ratios for wave period of 164 seconds in Chukpyon Harbor.

우 잘 일치하여 본 수치모형의 적용성이 입증되었다.

- 동해항의 경우 관측자료에서 부분적으로 출현한 2분 전후의 침두주기는 수치계산 결과 동해항의 국부적인 침두주기인 것으로 나타났다.
- 동해항의 경우 고체경계면에서의 반사계수를 0.99로 했을 때 현장관측 및 수치계산으로 구해진 항내 정점에서의 무차원화된 증폭비가 가장 잘 일치하였다.
- 고체 경계면에서 부분흡수 경계조건을 사용함으로써 침두주기에서의 증폭비를 상당히 정확하게 예측하여 본 수치모형의 타당성이 확인되었으나 항만구조물의 종류(안벽, 소파시설 등)나 자연 해빈 등에 대한 적절한 반사계수의 선정은 3차원 수조에서의 수리모형실험 결과 등에 따라야 할 것으로 판단된다.
- 해저면 마찰계수에 대해서는 정확한 산정이 어려워서 모두 0으로 하였으나 항입구의 급축소 등을 고려하기 위해서는 앞으로 이에 대한 상세한 연구가 요망된다.

제5장 단주기 불규칙파 수치계산

제1절 서론

1. 기존의 연구에 대한 고찰

해저지형이 복잡한 해역을 진행하는 파의 굴절과 회절에 의한 변형을 정확하게 추정하기 위한 연구는 해안공학에서 계속되어 왔다. 자연의 파랑 현상이 복잡함에도 불구하고 불규칙한 해저지형상의 파랑 전파에 대한 대부분의 공학적인 해석은 유의파를 근사하기 위하여 통상 사용되는 단조파의 파고, 주기 및 파향에 의한 해상 상태의 표현에 의존하였다. 파랑 전파 문제는 축척화된 수리모형실험에서는 경험적으로, 그리고 수치실험에서는 선형 또는 최근의 비선형 근사에 의해 해석되고 있다. 좀더 정확한 전파 모형의 개발 및 이용은 파랑 굴절 모형에서 나타나는 파향선의 집중(caustics)에 의해 파고가 거의 무한하게 커지는 현상을 방지하기 위한 필요성에서 제기되었다. 이러한 수치모형들은 굴곡이 심한 해저 지형상의 단조파 전파의 수리모형실험 결과를 이용하여 굴절과 회절의 복합적인 현상의 모의에 성공하였다(Berkhoff et al., 1982; Ebersole, 1985). 파랑 전파에 대한 스펙트럼 모형들은 복잡한 정도가 여러 단계이나 일반적으로 개별적인 파랑 성분의 전파에 대한 선형파 이론에 근거하고 있으며 단조파 기법의 해상도를 가진 격자망은 거의 사용하지 않는다. 스펙트럼 파랑 조건에 대한 단조파 근사는 본질적으로 표현이 적절하거나 최소한 안정적이라고 가정한다.

최근 들어, 굴절-회절의 복합작용(combined refraction-diffraction)에 관한 연구는 파의 굴절만을 고려한 연구와 비교할 때 파랑 변형의 예측능력을 향상시키는 데 매우 중요함이 입증되고 있다. 여러 가지 단조파(monochromatic wave)의 전파 모형이 개발되어 굴절-회절의 계산에 사용되어 왔으며 이들은 광범위한 상황에서 매우 유용함이 입증되었다.

굴절-회절 복합 모형은 넓고 개방되었으며 해저면 변화가 심한 해안지역에도 적용되었다. 일반적으로 해안공학자들은 외해의 불규칙한 해상상태를 하나의 파고, 주기 및 파향으로 대표되는 단조파(즉, 유의파)로 근사시키고, 이것이 해안으로 전파되는 것처럼 하여 이 파의 변형을 조사한다. 이러한 방법으로 관심지점에서 계산된 파고는 실제의 불규칙한 해상상태의 근사값이다. 이러한 방법이 해안공학에서 널리 사용되어 왔음에도 불구하고 공학자들은 통상 여기에 수반되는 근사도(degree of approximation)를 거의 알지 못하고 있다.

이러한 근사법에 의한 오차에 대해 보다 자세히 알기 위하여 Goda(1985)는 “단조 표현법(monochromatic representation method)”과 “스펙트럼 계산법(spectral calculation method)”을 방파제 주위의 굴절과 회절, 구조물로부터의 반사 등과 같은 파랑 변형 과정에 적용하여 그 결과를 비교하였다. 스펙트럼 계산법은 불규칙한 해상상태의 스펙트럼을 단일주파수 성분들로 분해한 후 각 성분의 변형을 계산하여 그 결과들을 선형중첩하는 방법이다. Goda의 계산에 따르면 몇 가지 경우에서 두 방법에 의해 구해진 계산치가 큰 차이를 나타내었다. 예를 들어, 방파제 후면의 파랑 회절의 경우 단조 표현은 특정하게 가정된 입력 스펙트럼에 대해 스펙트럼에 의한 계산치의 1/3 정도를 제시하였으며, 파의 굴절에서도 100% 정도의 차이가 나타났다. 따라서, 이는 해안공학에서의 불규칙파 사용에 대한 필요성을 재인식시켜 주었다.

2. 본 연구의 내용

다방향 불규칙파를 단조파로 근사시켰을 때 발생하는 오차를 검증하기 위하여 Vincent와 Briggs(1989)는 타원형 수중천뢰상에서의 단조파 및 불규칙파의 전파변형에 관한 수리모형실험을 실시한 바 있으며, Panchang 등(1990), Kirby 등(1992), Kubo 등(1992), Suh와 Dalrymple(1993) 등이 여러 가지 수치모형을 사용하여 동현상을 모의하였다. 본 연구에서도 쌍곡형 수치모형, HCORD를 확장하여 불규칙파 전파를 모의하며, 수치모형의 적용성과 정확성 등을 분석하기 위해 수중천뢰상 불규칙파 전파에 대해 계산하였다. 본 연구내용에는 이해를 돕기 위하여 Vincent와 Briggs(1989) 및 Panchang 등(1990)의 논문의 내용중 일부를 발췌하여 수록하였다.

제2절 Vincent와 Briggs(1989)의 수리모형실험

1. 일반 사항

미육군 공병단 산하 연안공학연구센터(CERC)에서의 directional spectral wave generator(DSWG)를 사용하여 Vincent와 Briggs(1989)는 최근 타원형 수중천뢰(elliptic shoal)상의 불규칙파 전파를 모의하였다. 실험에 사용된 해저 지형은 Berkhoff 등(1982)의 것과 유사한 타원형 수중천뢰였다. Experimental design의 개념은 유의파고 H_s , 첨두주기 T_p 및 전체 평균파향(overall mean wave direction) $\bar{\theta}$ 를 가진 해상상태를 대표할 수 있는 파고 H , 주기 T 및 파향 θ 를

가진 단조파를 선택하는 것이었다. 요구되는 H_s , T_p 및 $\bar{\theta}$ 를 가진 무한한 수의 방향 스펙트럼 $S(f, \theta)$ 와 각 스펙트럼에 대한 무한한 수의 시계열 기록을 발생시킬 수 있었으며, 총 17개의 test case가 실행되었다. 수조내의 파고, 주기 및 파향의 변화는 각각 $H(x, y)$, $T(x, y)$ 및 $\theta(x, y)$ 로 표현되었다. 이에 해당되는 무차원화된 양들, $A = H(x, y)/H_0$, $B = T(x, y)/T_0$ 및 $C = \theta(x, y)/\theta_0$ 는 입사조건(조파기를 따라서는 일정하다고 가정)에 의해 나뉘어 구성되었다.

불규칙파에 대해서는 H_s , T_p 및 $\bar{\theta}$ 가 A , B 및 C 로 사용되었다. 단조파 실험은 아랫첨자 $m(A_m, B_m, C_m)$, 불규칙파 실험은 아랫첨자 $i(A_i, B_i, C_i)$ 로 표시되었다. 수리실험은 파의 발생과 계측, 그리고 수조내의 여러 지점에서 A , B 및 C 의 값을 구하는 것으로 구성되었다. A_m, B_m, C_m 과 A_i, B_i, C_i 간의 차이는 자연적인 해상상태에 대한 단조파 근사의 발산을 측정하는 것으로 볼 수 있다. 여기서는 단지 파고에 대해서만 기술하며 주기의 분포 양상은 별다른 차이가 없었다. 파향 분석은 더욱 어려우며 개별적인 취급을 필요로 한다.

2. Test set-up

Shoal test는 CERC의 폭 35 m, 길이 29 m의 3차원 불규칙 조파수조(directional spectral wave basin)에서 수행되었다. 수조 저면(Briggs and Hampton, 1987)은 최대 변화가 0.009 m로 일정하였다. 수조벽(perimeter)에서는 역반사(adverse reflections)를 방지할 수 있도록 파랑 에너지를 충분히 감쇠시킬 수 있는 wave absorber가 설치되었다. 파는 DSWG(directional spectral wave

generator)로 발생되었다. DSWG의 전면에 위치한 폭 6.10 m, 길이 15.24 m가 관측지역으로 설정되었다(Fig. 5.2.1 참조). 수중천뢰의 중심은 (6.10 m, 13.72 m)에 위치하였다. Fig. 5.2.1에 관측지역내에 설치된 9개의 parallel-wire resistance-type 센서의 위치[조파기와 나란한 5개소(①, ②, ③, ④, ⑤)와 수직한 4개소(⑥, ⑦, ⑧, ⑨)]를 제시하였다. (3.05 m, 21.34 m)에는 열번째 gage를 무차원화를 위한 reference gage로 설치되었다.

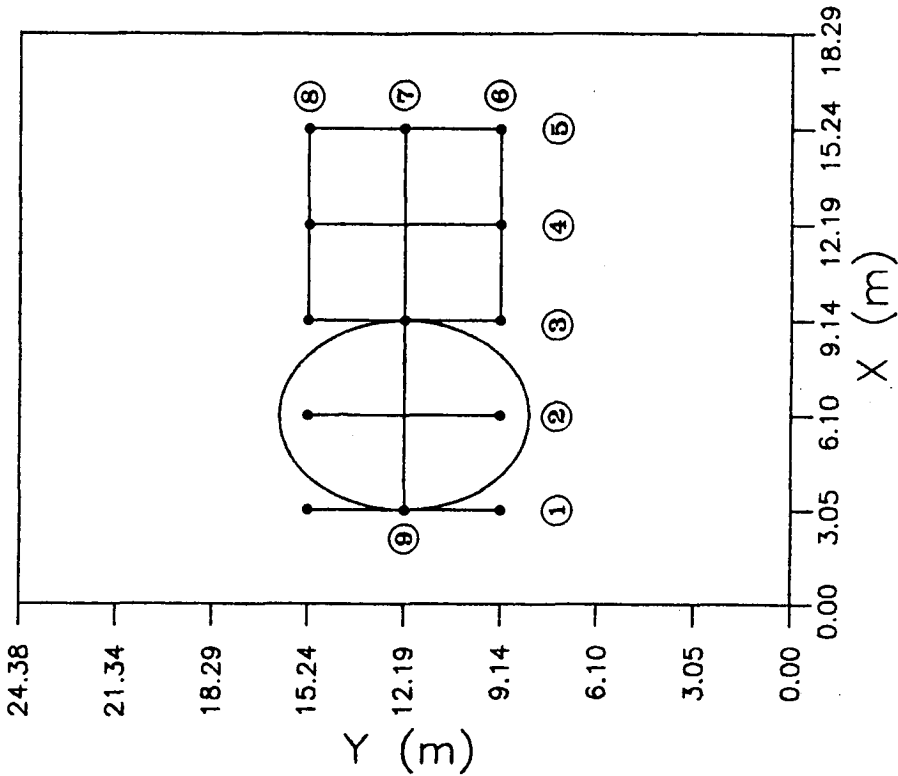


Fig. 5.2.1 Location of elliptic shoal and measurement transects.

타원형 수중천뢰는 Berkhoff 등(1982)을 모사하였으며 주축 반경(major radius) 3.96 m, 종축 반경(minor radius) 3.05 m, 그리고 중앙부의 최대 높이는 0.3048 m였다. 수중천뢰의 경계는 다음 식으로 정의된다.

$$\left(\frac{X'}{3.05}\right)^2 + \left(\frac{Y'}{3.96}\right)^2 = 1 \quad (5.2.1)$$

여기서, X' 과 Y' 은 각각 주축과 종축을 나타내는 천뢰 중심을 기준으로 한 국부좌표계이다. 천뢰단면의 임의점에서의 높이 E_s 는 다음 식으로 주어진다.

$$E_s = -0.4572 + 0.7620 \left\{ 1 - \left(\frac{X'}{3.81}\right)^2 - \left(\frac{Y'}{4.95}\right)^2 \right\}^{0.5} \quad (5.2.2)$$

모든 실험은 수심 h 를 0.4572 m로 하여 수행되었으며, 따라서 천뢰 중심부에서의 정수위(still water level)는 0.1524 m였다.

3. Control signal generation

방향 스펙트럼 $S(f, \theta)$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$S(f, \theta) = S(f) D(f, \theta) \quad (5.2.3)$$

여기서, $S(f)$ 는 다음 식

$$S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta \quad (5.2.4)$$

로 주어지는 1차원 주파수 스펙트럼이며, $D(f, \theta)$ 는 다음 식

$$\int_0^{2\pi} D(f, \theta) d\theta = 1 \quad (5.2.5)$$

을 만족하는 방향분포함수(directional spreading function)이다.

Bouws 등(1985)에 의한 TMA(Texel, MARSEN, ARSLOE data sets에 대한 명명) 천해파 스펙트럼이 target frequency spectrum으로 선정되었으며, 방향분포함수로는 wrapped normal function(Borgman, 1984)이 사용되었다. TMA 스펙트

럼은 다음 식으로 주어진다.

$$E(f) = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left\{-1.25\left(\frac{f_m}{f}\right)^4 + (\ln \gamma) \exp\left[\frac{-(f-f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]\right\} \phi(f, h) \quad (5.2.6)$$

여기서, 주파수 f 에 대한 스펙트럼 에너지 밀도 $E(f)$ 는 α (Phillips 상수), f_m (첨두 주파수), γ (peak energy enhancement factor), σ (spectral width parameter) 및 h (수심)에 의존된다. γ 는 Pierson-Moskowitz 스펙트럼의 경우 1이며, σ 는 $f < f_m$ 일 경우 $\sigma = \sigma_a$, 그리고 $f \geq f_m$ 일 경우 $\sigma = \sigma_b$ (Table 5.2.1 참조)가 된다. $\phi(f, h)$ 는 수심 h 의 효과를 포함시키기 위한 계수로서 Hughes(1984)는 다음과 같은 근사식을 제시하였다.

$$\phi = 0.5(W_h)^2 \quad \text{for } W_h < 1 \quad (5.2.7a)$$

$$\phi = 1 - 0.5(2 - W_h)^2 \quad \text{for } 1 \leq W_h \leq 2 \quad (5.2.7b)$$

$$\phi = 1 \quad \text{for } W_h > 2 \quad (5.2.7c)$$

Table 5.2.1. Data for test cases.

Wave	Case ID	Peak period (sec)	Incident wave height (cm)	α	γ
Monochromatic	M1	1.3	5.50	-	-
Narrow-directional	N1	1.3	7.75	0.01440	2
	N2	1.3	7.75	0.00440	20
	N3	1.3	2.54	0.00155	2
	N4	1.3	2.54	0.00047	20
Note : $\gamma = 20$: narrow frequency spreading $\gamma = 2$: broad frequency spreading $\sigma_a = 0.07$; $\sigma_b = 0.09$					

여기서,

$$W_h = 2\pi f \sqrt{\frac{h}{g}} \quad (5.2.8)$$

매개변수 γ 로는 broad frequency spectra를 만들기 위해서는 2, 그리고 narrow frequency spectra의 경우 20이 사용되었다. 유사하게 Fig. 5.2.2에 제시된 바와 같이 narrow와 broad frequency spectrum에 대한 2개의 angular spreading function $D(\theta)$ 가 2차원 스펙트럼을 얻기 위하여 $E(f)$ 와 결합되어 사용되었다(θ 는 mean direction, 즉 x 와 이루는 각). Fig. 5.2.2에 제시된 2개의 wrapped normal spreading function은 다음 식에서 방향 분산이 좁은 경우와 넓은 경우 σ_m 에 10° 와 30° 를 각각 사용하여 구하였다.

$$D(\theta) = \frac{1}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{j=1}^J \exp\left[-\frac{(j\sigma_m)^2}{2}\right] \cos j(\theta - \theta_m) \quad (5.2.9)$$

여기서, θ_m (mean wave direction) = 0° , J 는 Fourier 급수의 수(수치계산에서는 20을 사용)를 나타낸다.

몇 개의 스펙트럼에 해당되는 불규칙파의 전파와 이에 상응하는 규칙파의 전파를 모의하였다. Table 5.2.1에는 단조파와 불규칙파에 관계된 매개변수들을 요약하여 제시하였다. 여기서는 Vincent와 Briggs(1989)가 실험한 17 경우중 5 경우만 포함하였다. 단조파(M1)에 대해서는 spectral wave height를 $\sqrt{2}$ 로 나눔으로서 해당되는 파고를 구하였다. 이는 스펙트럼 조건과 단조파 조건의 에너지량을 적절히 균등화시키고(Thompson and Vincent, 1985), 또 단조파가 쇄파되지 않도록 하기 위함이었다.

Vincent와 Briggs(1989)의 주요 결론은 다음과 같다.

- 불규칙파와 단조파의 전파 특성 사이에는 상당한 차이가 나타났다.
- 유사한 1차원 (주파수) 스펙트럼의 경우 관측된 파고들은 angular spreading에 큰 영향을 받았다.
- 주파수 범위(frequency space)의 분포(spreading)는 기록된 파고에 큰 영향을 미치지 않았다.

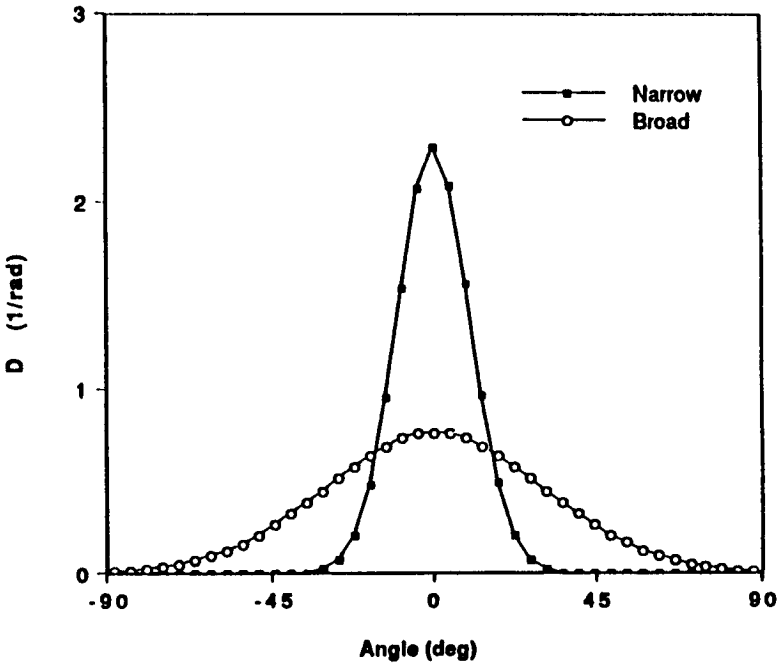


Fig. 5.2.2 Angular spreading functions for directional spectra (after Vincent and Briggs, 1989).

제3절 타원형 수중천뢰상 불규칙파 전파의 수치계산

Copeland(1985), Madsen과 Larsen(1987), Panchang과 Kopriva(1988), Rygg(1988), 과학기술처(1991)의 수치모형들은 굴절-회절 복합방정식과 관련된 시

간 의존 쌍곡형 편미분방정식의 해에 기초하고 있다. 이들의 경우 물리적 근사는 전혀 필요하지 않으나 모형이 적절한 해를 제시하기 위해서는 작은 시간간격(통상 Courant condition에 의해 지배됨)으로 매우 많은 파랑 주기동안 적분하는 것이 필요하다. 큰 영역에 대해서는 많은 계산시간이 필요하며, 특히 여러 개의 스펙트럼 성분을 취급하는 경우 이러한 경향은 심화된다. 그러나, 실제 항만과 같이 반사 현상이 존재하는 곳에서는 이러한 모형을 사용해야 보다 실제에 접근하는 계산 결과를 얻을 수 있다.

1. 단조 규칙파의 결과 비교

Vincent와 Briggs(1989)에 제시된 타원형 수중천뢰 수리모형에 대한 수심도를 작성하여 Fig. 5.3.1에 등수심선도를, 그리고 Fig. 5.3.2에 3차원 수심도를 제시하였다. 격자망도는 183×243 개의 격자로 구성되었으며, 사용된 격자크기는 $\Delta x = \Delta y = 0.1 m$ 였다.

모형에 단조파(M1)가 수직 입사하는 경우의 수중천뢰 주변의 등파고비선도를 Fig. 5.3.3에 제시하였다. 그림중에서 (a)는 Vincent와 Briggs(1989)의 수리모형실험 결과를, 그리고 (b)는 본 연구에서 사용하는 쌍곡형 수치모형, HCORD에 의한 결과이다. 양자를 비교해보면 수중천뢰 바로 후면에서 파고비가 2.4가 출현하는 점이나 그 지점의 좌우에서 에너지의 분산으로 파고비가 작아지는 지점의 출현 등 전반적으로 아주 양호한 일치를 보여준다. 단, 그림에 표시된 축척에서 알 수 있듯이 Vincent와 Briggs(1989)의 결과는 가로와 세로의 축척이 다르다. 한편, 이 경우의 3차원 해수면 변위도를 Fig. 5.3.4에 도시하였다.

WATER DEPTH CONTOURS AROUND ELLIPTIC SHOAL
(AFTER VINCENT AND BRIGGS, 1989)

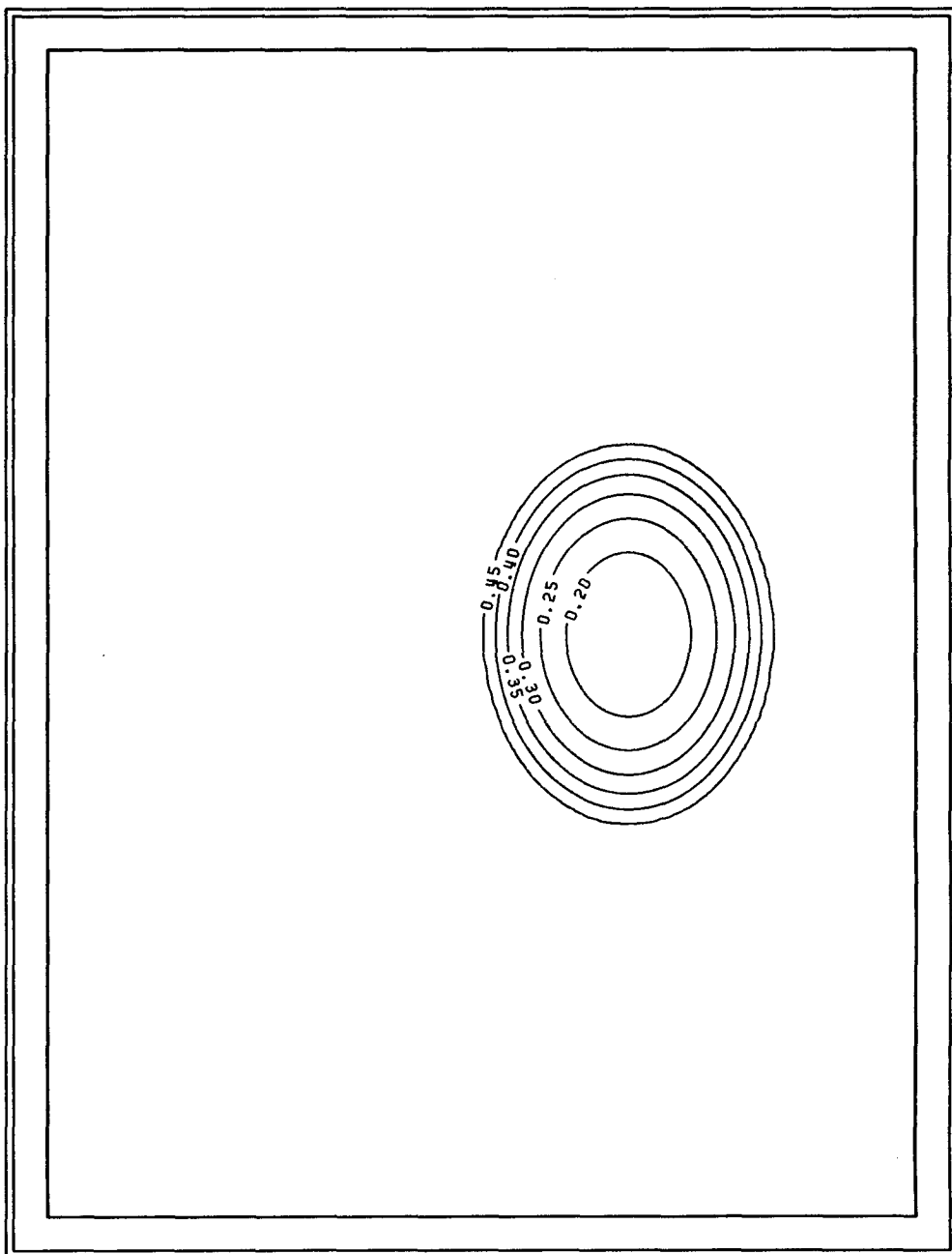


Fig. 5.3.1 Water depth contours around elliptic shoal.

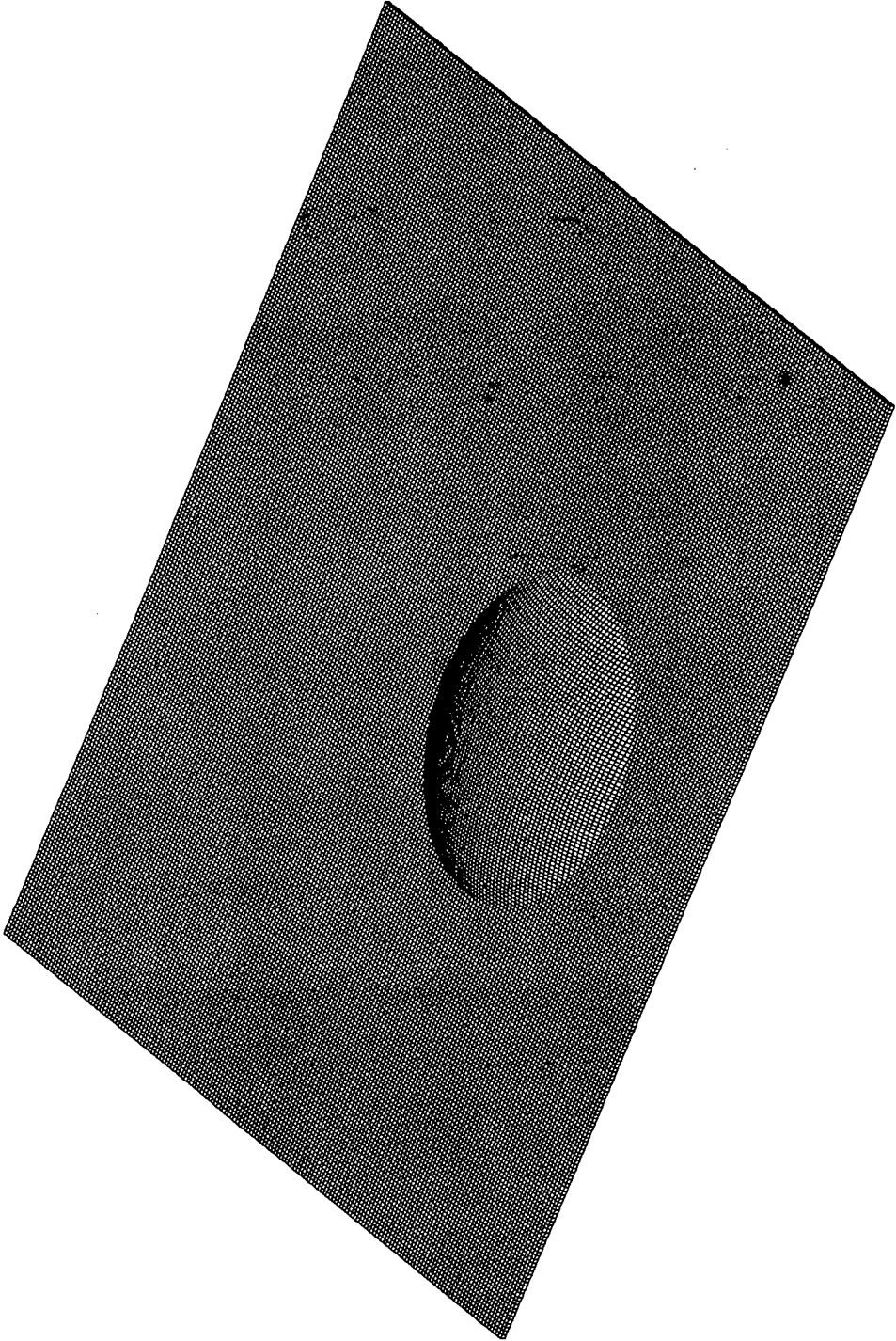


Fig. 5.3.2 Three-dimensional topography around elliptic shoal.

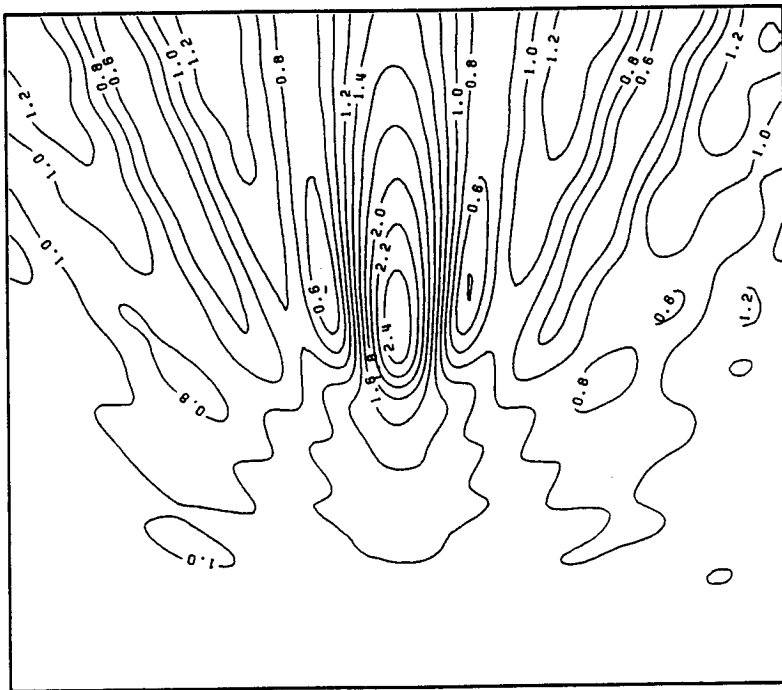
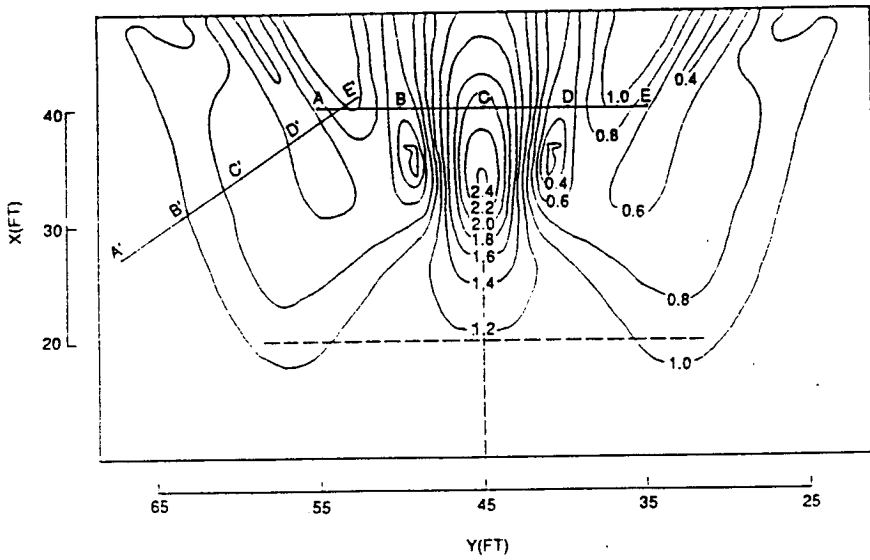


Fig. 5.3.3 Wave height ratios around elliptic shoal computed using regular wave :
 (a) Measurement; (b) Present computation.

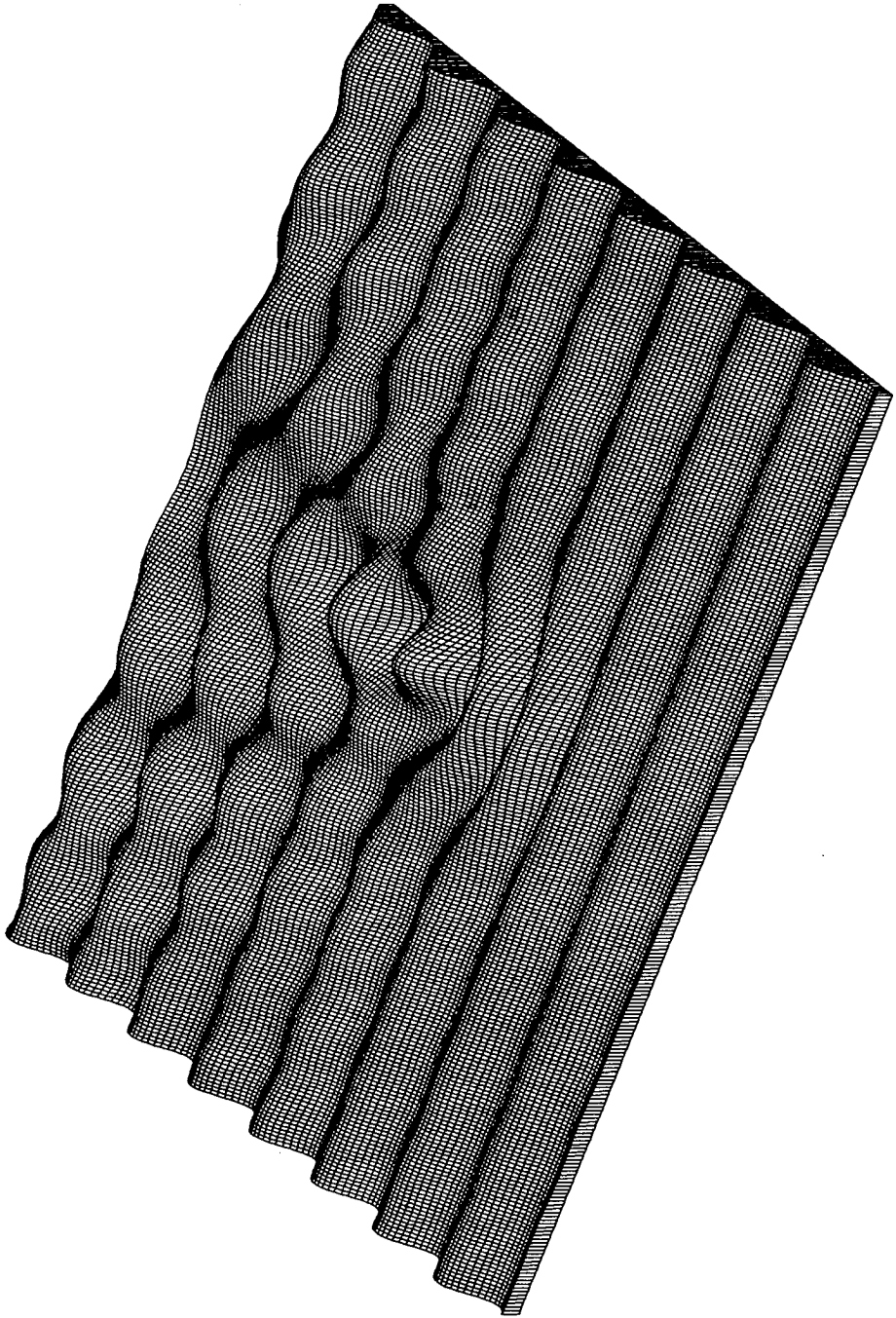


Fig. 5.3.4 Three-dimensional snapshot of water level variations around elliptic shoal(Regular wave).

2. 단일 주기의 다방향 불규칙파 선형중첩에 의한 스펙트럼 계산법

본 연구에서는 Panchang 등(1990)이나 Suh와 Dalrymple(1993)과 같이 narrow directional spectrum인 test case N1에 대해 수치계산을 실시하여 Vincent와 Briggs(1989) 및 Suh와 Dalrymple(1993)의 결과와 비교하였다. Panchang 등(1990)과 Suh와 Dalrymple(1993)은 모두 TMA 스펙트럼을 multi-frequency와 multi-direction의 성분으로 분해하였으나 본 연구에서는 계산 편의상 단일 주파수에 대해 multi-direction으로 분리하는 방법을 사용하였다. 한편, Panchang 등(1990)은 각 성분파를 입사 경계에서 입사시켜 포물형 모형으로 계산한 각각의 결과들을 합성하였으나 Suh와 Dalrymple(1993)은 angular spectrum model을 이용하여 입사 경계에서 주파수별로 multi-direction이 random하게 합성된 파를 입사시켰다.

초기 파향 θ 를 가진 특정한 주파수 성분에 대한 입사파 진폭은 다음 식으로 주어진다.

$$a_i = \sqrt{2E(f) D(\theta) \Delta f \Delta \theta} \quad (5.3.1)$$

여기서 $E(f)$ 와 $D(\theta)$ 는 전술한 식 (5.2.6)과 (5.2.9)로부터 구해진다. 수치모형으로 모든 성분이 전파되면 임의의 위치에서의 파고를 사용하여 다음과 같이 유의파고 H_s 를 계산한다.

$$H_s^2 = 2 \sum_{i=1}^n H_i^2 \quad (5.3.2)$$

여기서, n 은 frequency-direction 성분의 총 갯수, 그리고 H_i 는 i 번째 성분에 해당하는 파고를 나타낸다. N1을 단일 주파수의 12개 파향으로 분리할 경우 각 파향별 진폭의 분포는 Table 5.3.1에 제시된 바와 같다.

Table 5.3.1에 제시된 12개 성분에 대해 수치계산을 실시하고 이들을 합성한 결과를 Fig. 5.3.5에 제시하였다. 이 그림에서 (a)는 Vincent와 Briggs(1989)의 수리모형실험 결과, (b)는 Suh와 Dalrymple(1993)의 angular spectrum model에 의한 결과, 그리고 (c)는 본 연구의 결과를 각각 나타낸다. 이 그림 (c)을 (a)와 비교해 보면 수중천뢰 후면에서 파가 집중되는 위치가 약간 왼쪽(수중천뢰 방향)으로 이동하였으며 최대파고비도 1.7 정도로 실험 결과인 1.35보다 상당히 크다. 최대파고비를 비교해 보면 Suh와 Dalrymple(1993)이 실험치의 1.13배 정도, 그리고 본 계산이 1.27배 정도이다. 그러나, 본 방법의 단순성(multi-frequency에서 multi-direction을 고려하는 경우 통상 수치계산 case가 500 개 이상이나 본 경우에는 12 case임)을 감안하면 실용적인 측면에서는 수용할 만하다고 사료된다.

Table 5.3.1 Distribution of wave amplitudes.

Case no.	Incident angle	Amplitudes
1	-28.417	0.0129920
2	-23.250	0.0253226
3	-18.083	0.0431890
4	-12.917	0.0644572
5	-7.750	0.0841791
6	-2.583	0.0961989
7	2.583	0.0961989
8	7.750	0.0841791
9	12.917	0.0644572
10	18.083	0.0431890
11	23.250	0.0253226
12	28.417	0.0129920

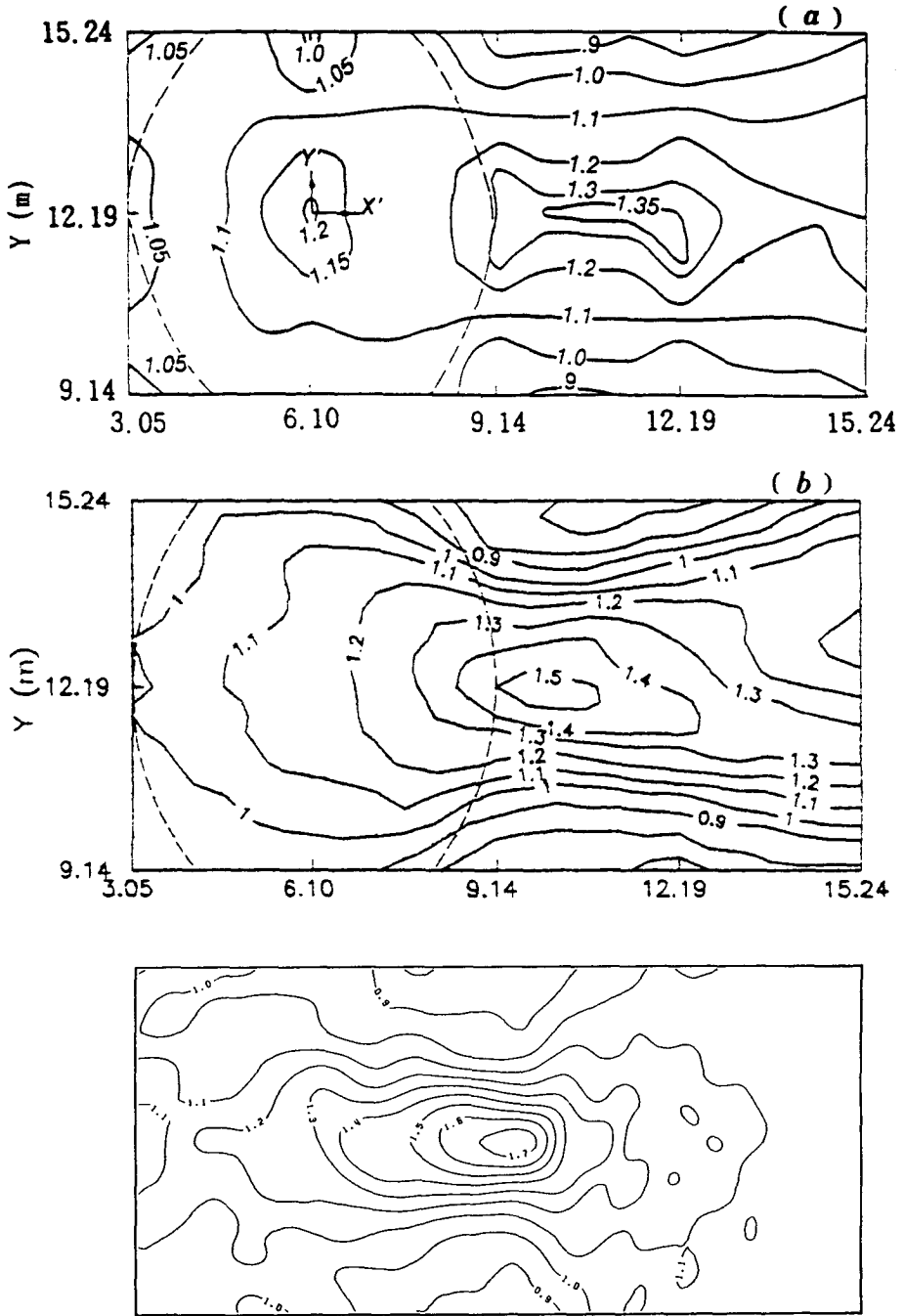


Fig. 5.3.5 Comparisons of wave height ratios computed overall mean wave direction for Case N1 : (a) Measurement; (b) Computation by Suh et al.(1993); (c) Present computation.

3. Goda의 16-point bearing을 기준한 스펙트럼 계산법

Goda(1985)는 전체 파에너지의 분산도에 근거한 불규칙파 개념을 Table 5.3.2와 같이 제시하였다. 본 연구에서는 이 표에서 16-point bearing을 기준하여 태풍에 의해 발생된 풍역과 가장 유사한 $S_{max} = 75$ 를 기준하여 수직 입사(0°)의 경우 60 %, 좌우로 $\pm 22.5^\circ$ 비스듬히 입사하는 경우 각각 20 %로 파에너지가 분산되어 입사한다는 개념을 사용하였다. 단, 이 표에서 16-point bearing 및 $S_{max} = 75$ 를 기준할 때 좌우로 $\pm 45.0^\circ$ 비스듬히 입사하는 경우 각각 2 %의 파에너지가 포함되어 있으나 본 연구에서는 이를 좌우로 $\pm 22.5^\circ$ 비스듬히 입사하는 경우에 포함시켰다.

Table 5.3.2 Ratio of wave energy in each direction to the total energy.

Direction of component waves	16-point bearing			8-point bearing		
	S_{max}			S_{max}		
	10	25	75	10	25	75
67.5°	0.05	0.02	0			
45.0°	0.11	0.06	0.02	0.26	0.17	0.06
22.5°	0.21	0.23	0.18			
0°	0.26	0.38	0.60	0.48	0.66	0.88
-22.5°	0.21	0.23	0.18			
-45.5°	0.11	0.06	0.02	0.26	0.17	0.06
-67.5°	0.05	0.02	0			

$S_{max} = 75$ 일 때 주어진 단조파의 파고에 대응하는 각 성분파의 파고는 식

(5.3.2)로부터 구할 수 있다. 즉,

$$H_i = 2a_i = \sqrt{8S(f)D(\theta)\Delta f\Delta\theta}$$

에 주파수 스펙트럼과 유의파고간의 관계식을 대입하면 된다.

$$\begin{aligned} H_s &= 4\sqrt{m_0} \\ &= 4\left(\int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi S(f, \theta) d\theta df\right)^{1/2} \\ &= 4\sqrt{E} \end{aligned}$$

따라서, $\sum S(f)\Delta f = E = \frac{H_s^2}{16}$ 을 적용하면

$$H_i = \sqrt{\frac{8H_s^2}{16}D(\theta)\Delta\theta} = \sqrt{\frac{H_s^2}{2}D(\theta)\Delta\theta}$$

가 된다. 수직 입사(0°)의 경우 $D(\theta)\Delta\theta = 0.6$, 좌우로 $\pm 22.5^\circ$ 비스듬히 입사하는 경우에는 각각 0.2이므로 이에 해당되는 성분파/입사파의 비를 구하면 각각 0.5477과 0.3162가 된다. 따라서, 이 성분파를 입력조건으로 수치모형을 실행한 후 각 격자점에서의 결과를 식 (5.3.2)로 합성하면 된다.

본 방법으로 수중천뢰 주변의 파랑장을 계산한 결과를 등파고비선도로 Fig. 5.3.6에 제시하였다. 이 그림을 살펴보면 수중천뢰 후면에서 파가 집중되는 위치가 역시 약간 수중천뢰의 중심 방향으로 이동하였다. 최대파고비는 2.0 정도로 실험 결과인 1.35보다 상당히 커서 실험치의 대략 1.5 배 정도이다. 이는 대부분의 에너지가 주진행 방향(0°)에 분포(60 %)되어 있다고 가정했으므로 단조파의 특성이 상당 부분 그대로 나타났기 때문이다. 그러나, 전반적인 파고비 분포 형태는 비교적 잘 일치하고 있으므로 실험 case가 불과 3 case인 점을 감안하면 공학자적 측면에서는 수용할 만하다고 사료된다.

WAVE HEIGHT RATIOS AROUND ELLIPTIC SHOAL
 GODA'S METHOD (HEIGHT=0.0775m; PERIOD=1.30sec)

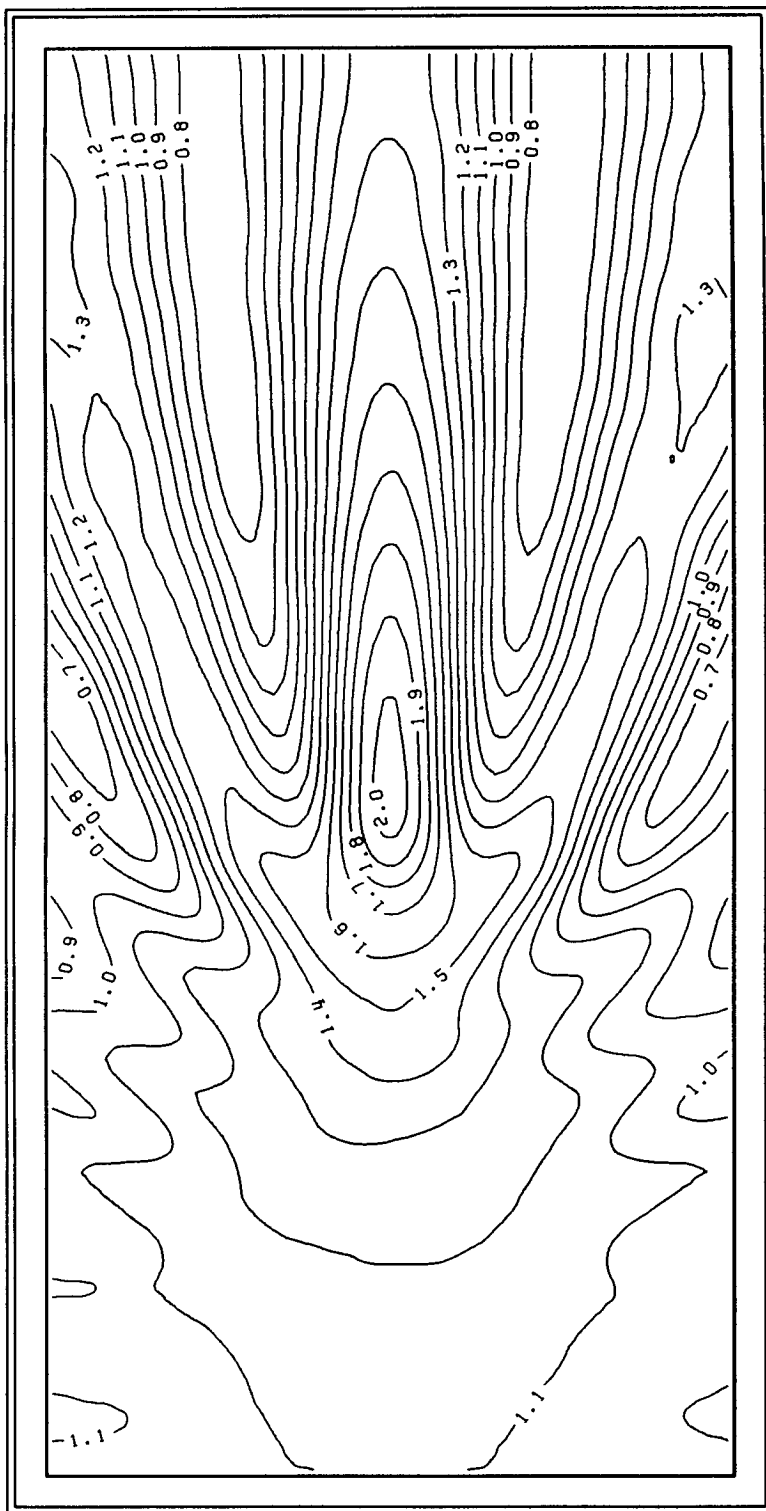


Fig. 5.3.6 Contour map of wave height ratios computed by Goda's method.

제4절 토 의

Vincent와 Briggs(1989)의 타원형 수중천뢰상 불규칙파 전파에 대한 수리모형 실험 결과에 근거하여 단주기 불규칙파의 전파 현상을 2 가지 방법을 사용하여 모 의하였다. 이 방법들은 방법론적인 면에서는 거의 동일하나 그 출발점은 다르다. Goda(1985)의 Spectral Calculation Method는 에너지의 분산도에 근거하여 간략화 된 불규칙파 고려 방법이며, 본 연구에서 제안한 “단일 주기의 다방향 불규칙파 선 형중첩에 의한 스펙트럼 계산법”은 Vincent와 Briggs(1989)의 실험 결과(주파수 범 위의 분포는 파고와 거의 무관함)에 근거하여 제시되었다.

“단일 주기의 다방향 불규칙파 선형중첩에 의한 스펙트럼 계산법”에서는 수중 천뢰 후면의 파고비가 Vincent와 Briggs(1989)의 실험치의 1.27배 정도, 그리고 Spectral Calculation Method에서는 1.5배 정도로 나타나서 규칙파에 의한 1.85배보 다는 상당히 파에너지의 집중이 억제된 것으로 나타났다. 이 방법들은 수치계산 횟수가 12 및 3 cases로 multi-frequency에서 multi-direction을 고려하는 경우보다 크게 감소하므로 실용적인 측면에서는 수용할 만하다고 사료되었다.

Kubo 등(1992), Kirby 등(1992)은 아직 개발 단계이긴 하나 불규칙한 파향과 위상을 입사경계에서 고려하는 수치모형을 개발하여 타원형 수중천뢰상의 파랑 변 형을 시도한 바 있다. 한편, DHI(Danish Hydraulics Institute)에서는 천해역에서 의 파의 비선형성을 고려하기 위해 Boussinesq 방정식을 사용한 상업화된 수치모 형을 개발한 바 있으나 계산시간이 막대하게 소요된다.

제6장 결론 및 토의

1. 연구 결과

가. 기존자료 수집 및 현장관측

- 기존자료 수집·분석을 통한 평상파 조건 결정

항내정온도 평가를 위한 평상파 조건[년중 출현률 5% : $(H_{1/20})_{year}$, 10% : $(H_{1/10})_{year}$ 등의 파랑조건]을 구하기 위해서는 1년 이상의 연속된 파랑자료가 필요하나 기존자료의 관측기간이 짧고 신뢰성에 문제가 있어서 본 연구에서는 일본 기상청(JMA)에서 4년간 추산한 자료를 수집·분석하여 3개항(동해항, 목호항, 죽변항)의 심해 평상파 조건을 제시하였다.

- 단주기파 정점관측

대상항만의 입사파에 대한 계절적, 통계적인 특성을 파악하고 항내·외 동시 관측자료와 비교하기 위해 정점관측을 실시하였다. 3개항의 단주기파 정점관측은 도중의 정전으로 인한 일부 결측을 제외하면 대체적으로 성공적으로 수행되었다. 파향분석 결과 3개항의 동계 대표파향이 동해항의 경우 NNE~NE, 목호항의 경우 NE~ENE, 그리고 죽변항의 경우 NNE~ENE 사이에 분포하였으며, 하계에는 목호항의 경우 NE~ESE, 그리고 죽변항의 경우 NNE~SSE 사이에 분포하였다. 관측자료중 최대파고는 1993년 1월 16일 죽변항에서 관측된 8.16 m, 그리고 최대유

의파고는 동일한 시기의 5.04 m였다. 관측된 파는 파고가 매우 클 때(폭풍 경보 시)를 제외하면 대부분 스펙트럼 폭이 넓어서 Rayleigh 분포와 잘 맞지 않았다.

- 단주기파 이동관측

단주기파 이동관측의 목적은 반사가 존재하는 실효역에서의 불규칙파 변형 수치모형의 검증자료를 제공하기 위해서이다. 3개항에서 동·하계에 2대의 Directional Waverider Buoy를 이용하여 이동관측을 실시하고 외해 고정관측 및 항내·외 이동관측 자료를 분석한 결과, 항외파가 항입구를 통과하면 방파제에 의해 상당한 범위의 파향이 차단되어 한정된 방향의 파만이 침입·전파한다는 사실이 확인되었으며 항내에서는 다중반사가 발생하여 거의 모든 방향의 파향이 존재하는 것으로 해석되었다. 이러한 자료는 MEP로 분석된 주파수-방향 스펙트럼으로서 항내의 파랑 침입·전파 변형을 연구하는 데 매우 귀중한 현장자료이다.

- 장주기파 정점관측

동해항, 묵호항 및 죽변항에서 2~4대의 수압식 파고계를 사용하여 동·하계에 약 일주일~1개월간 현장관측을 실시하여 각 항의 계절별 부진동의 특성을 파악하였다. 동해항의 항내 관측자료(S3, S4)의 분석에서 동해항의 제1 침두주기는 16.0(3회)~17.1분(10회), 제2 침두주기는 5.3(1회)~5.6분(3회) 사이에 존재하는 것으로 나타났으며, 출현빈도를 감안하면 제1 침두주기는 약 17.1분, 제2 침두주기는 약 5.5분이 되는 것으로 사료된다. 그리고, 묵호항과 죽변항의 현장관측자료 분석 결과 묵호항의 제1 침두주기는 약 12.2분(732초), 그리고 죽변항의 제1 침두주기는 약 11.6분(698초)가 될 것이다.

Merian 공식에 의한 3개항의 고유주기와 관측에 의해 구해진 침두주기가 크게 다른 것으로 나타났다. 동해항의 경우만으로 한정하면 폭이 좁고 이중으로 이루어

진 항입구라는 특수한 형태에 기인된 것으로 판단할 수도 있다. 그러나, 목호항과 죽변항의 경우도 동일한 현상을 나타내었으므로 접근수로를 가진 항의 경우에는 Merian 공식보다는 Helmholtz resonator 이론으로 구하는 것이 보다 정확한 것으로 사료된다. 동해항의 Helmholtz natural period에서의 평균중폭비는 약 14.4배, 목호항의 경우 15.5~27배, 그리고 죽변항의 경우 22~24배 정도여서 영일만의 약 2배에 비해 매우 크나 관측기간중의 항내에서의 해수면 변위 진폭은 약 10~20 cm로 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 관측시기에 따라 항내 정점에서 peak period에서의 반응이 상당히 다르게 나타나고 있는데 이는 항의 입사파가 상당히 큰 경우 단주기파의 grouping effect 또는 이 성분이 장주기파에 중첩된 영향 때문인 것으로 사료된다.

- 선체운동 관측

본 연구의 중요한 연구항목중 하나인 선체운동에 대해서는 연구비에 비해 고가인 관측 시스템을 확보할 수 없어서 현장관측을 수행하지 못하였다. 제2장에서 언급한 바와 같이 비디오 관측 시스템은 6 자유도 운동간의 연성효과를 분리하는데 어려움이 있을 뿐만 아니라 관측시 강풍으로 인한 카메라의 동요로 발생하는 오차도 상당하다. 따라서, 현재까지 개발된 선체운동 계측기기중 가장 우수한 관성 동요계측장치 TMOS-1000 혹은 2000을 구입해야 신뢰도가 높은 관측을 실시할 수 있을 것이다. 추후 유사한 연구사업을 수행하게 될 경우 동 기기의 구입이 불가능하더라도 일본의 항만기술연구소와의 국제 공동연구를 추진하는 방안도 고려할 수 있을 것이다.

나. 장주기 부진동

동해항, 목호항 및 죽변항에 수치모형을 적용하여 현장관측 결과와 비교·분석

함으로서 관측 결과에서 제시된 각 항의 Helmholtz natural period 및 제2 첨두 주기를 확인하였다. 관측자료의 분석에서 제시된 동해항의 Helmholtz natural period 및 제2 첨두주기인 17.1분 및 5.5분과 수치계산에 의한 결과인 16.2분 및 5.3분, 묵호항의 12.2분 및 3.2~3.6분과 수치계산 결과인 12.6분 및 3.3분, 그리고 죽변항의 11.6분과 수치계산에 의한 11.8분이 매우 잘 일치하여 본 수치모형의 적용성이 입증되었다.

동해항의 경우 관측자료에서 부분적으로 출현한 2분 전후의 첨두주기는 수치계산 결과 동해항의 국부적인 첨두주기인 것으로 나타났다. 동해항의 경우 고체경계면에서의 반사계수를 0.99로 했을 때 현장관측 및 수치계산으로 구해진 항내 정점에서의 무차원화된 증폭비가 가장 잘 일치하였다. 고체 경계면에서 부분흡수 경계조건을 사용함으로써 첨두주기에서의 증폭비를 상당히 정확하게 예측하여 본 수치모형의 타당성이 확인되었으나 항만구조물의 종류(안벽, 소파시설 등)나 자연 해빈 등에 대한 적절한 반사계수의 선정은 3차원 수조에서의 수리모형실험 결과 등에 따라야 할 것으로 판단된다. 해저면 마찰계수에 대해서는 정확한 산정이 어려워서 모두 0으로 하였으나 항입구의 급축소 등을 고려하기 위해서는 앞으로 이에 대한 상세한 연구가 요망된다.

다. 단주기 불규칙파 변형

Vincent와 Briggs(1989)의 타원형 수중천뢰상 불규칙파 전파에 대한 수리모형 실험 결과에 근거하여 단주기 불규칙파의 전파 현상을 2 가지 방법을 사용하여 모의하였다. 이 방법들은 방법론적인 면에서는 거의 동일하나 그 출발점은 다르다. Goda(1985)의 Spectral Calculation Method는 에너지의 분산도에 근거하여 간략화된 불규칙파 계산 방법이며, 본 연구에서 제안한 “단일 주기의 다방향 불규칙파 선

형중첩에 의한 스펙트럼 계산법”은 Vincent와 Briggs(1989)의 실험 결과에 근거하여 제시되었다.

“단일 주기의 다방향 불규칙파 선형중첩에 의한 스펙트럼 계산법”에서는 수중 천뢰 후면의 파고비가 Vincent와 Briggs(1989)의 실험치의 1.27배 정도, 그리고 Spectral Calculation Method에서는 1.5배 정도로 나타나서 규칙파에 의한 1.85배보다는 상당히 파에너지의 집중이 억제된 것으로 나타났다. 이 방법들은 수치계산 횟수가 12 및 3 cases로 multi-frequency에서 multi-direction을 고려하는 경우보다 크게 감소하므로 실용적인 측면에서는 수용할 만하다고 사료되었다.

라. 항만가동을 산정

대상항만으로 특수부두 전면수역에서 swell로 인한 항내정온도 불량 문제점이 있는 동해항을 선정하고 단주기 규칙파의 항내 침입·변형 및 다중반사를 계산함으로써 동해항의 항만가동률을 평가하였다. 대상파로는 주기가 10초 이상이며 회귀빈도가 50년인 설계파 대신 JMA 자료를 이용하여 구해진 년중출현률 5 % 및 10 %의 평상파를 사용하였다. 본 방법은 실제로는 불규칙파인 해양파를 규칙파로 가정하여 실시한 것이므로 실제와는 큰 차이가 있을 수 있으며, 또 항만가동률은 선체운동의 관점에서 산정하는 것이 보다 정확할 것이라는 점을 감안할 때 실효성이 크게 감소된다고도 볼 수 있다. 그러나, 세계적으로 아직까지 이러한 시도를 한 바가 거의 없는 점을 감안하면 방법론의 제시라는 점에서 의미를 부여할 수도 있을 것이다.

동해안에 위치한 대부분의 항만들은 S~SE 방향으로 항입구가 개방되

어 있으며, 따라서 년중출현률이 높은 파향인 ENE~NNE에 대해서는 항내로 침입하는 파가 거의 회절파이다. 동해항의 년중가동률은 증·대형선의 경우 약 94%, 그리고 소형선의 경우 약 89%로 나타나서 특수부두를 기준할 경우 항내정온도가 상당히 불량하였다. 단, 광역의 수치계산에 사용된 타원형 수치모형은 일반적으로 진행파향이 등수심선과 이루는 각이 작아질수록 오차가 증대되므로 본 경우에도 심해입사파향이 SE와 ESE인 경우 실제와 상당한 차이를 나타내었을 가능성이 있다. 따라서, 앞으로 이러한 경우를 정확하게 재현할 수 있는 수치모형의 개발이 요구된다.

2. 건의 사항

가. 정확한 항내정온도 평가를 위한 금후의 연구 방향

항내정온도는 항내 선박의 동요량에서 평가해야 한다는 입장이 강화되고 있으며 금후의 연구는 이러한 방향이 되어야 할 것이다. 항내 계류선박에 작용하는 유체력 산정 수치모형으로서는 선형 포텐셜 이론으로 해명할 수 있는 범위내에서의 수치모형은 거의 완성된 것으로 생각된다. 그러나, 장주기 동요를 유발하는 비선형 유체력을 항내와 같은 복잡한 파랑장에서 예측하는 방법, 계류 시스템의 비선형성 문제, 비선형인 감쇠 효과의 추산 방법 등에 대해서는 지속적인 연구가 요망된다.

나. 외국기관과의 협력

항내에 계류된 선체운동을 연구하는 외국기관으로는 미국의 CERC, 네덜란드

의 DHI, 일본의 PHRI, 오사카(大阪)대학 및 고베(神戸)상선대학 등을 들 수 있다. 위 기관들중 일본의 대학을 제외하고는 실제적으로 협력이 거의 불가능한 실정이다. 즉, CERC의 경우 시기 및 목적에 따라 대부분 자국내의 대학 부설 연구소나 일반 연구소에 위탁 연구를 의뢰하고 있으므로 적절한 partner를 찾기 어려우며, DHI의 경우 기술용역을 주로 수행하므로 용역으로 의뢰할 경우 단가가 매우 높고 첨단기술일 경우 기술 이전을 하지 않는다. 한편, PHRI는 일본의 국가기관이므로 문헌이나 일부 자료의 교환 이상의 협력은 기대하기 어렵다.

대학에서 수행할 수 있는 연구는 외국의 경우라도 예산 제한 등의 영향으로 수치계산 기법의 개발을 포함한 이론적인 연구 및 수리모형실험이 주체가 되며 대규모 실측을 실시하는 것은 어렵다. 한편, 당 연구소는 대규모 현장관측과 수치모형의 현장 적용을 주체로 한 연구를 수행하고 있으나 기초적인 수리현상에 관한 모형실험과 장주기파의 발생 원인 등에 대한 연구도 앞으로는 필요한 실정이다. 따라서, 대학과 연구소의 특성을 모두 살린 국제 협동 연구를 실시한다면 실리가 높은 성과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌 (References)

- 강석구, 이상룡, 소재귀. 1989. 영일만과 포항신항의 부진동 현상. Ocean Research, Vol. 11, No. 2, pp. 31~41.
- 건설부. 1987. 포항신항 파랑조사 및 모델실험 용역 보고서. 제2권 파랑조사 및 모델 실험편, 440 pp.
- 과학기술처. 1987. 해안구조물 적정설계조건 결정기법의 체계화 연구. 연구기관 한국과학기술원 해양연구소. BSPG 00043-157-2, 479 pp.
- 과학기술처. 1988a. 해안·재해 예보 시스템 연구(IV). 연구기관 한국과학기술원 해양연구소, BSPG 00061-203-1, 320 pp.
- 과학기술처. 1988b. 해안구조물 적정설계조건 결정기법의 체계화 연구(II). 연구기관 한국과학기술원 해양연구소. BSPG 00064-195-2, 455 pp.
- 과학기술처. 1989. 해안구조물 적정설계조건 결정기법의 체계화 연구(III). 연구기관 한국해양연구소. BSPG 00088-243-2, 363 pp.
- 과학기술처. 1991. 항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(I). 연구기관 한국해양연구소. BSPG 00135-373-2, 194 pp.
- 과학기술처. 1992. 항만정온도 유지대책 수립에 관한 연구(II). 연구기관 한국해양연구소. BSPG 00153-481-2, 183 pp.
- 오병철, 박경수, 심재설. 1992. Array를 이용한 파향 스펙트럼 산정에 관한 연구. Ocean Research, Vol. 14, No. 2, pp. 111~129.

- 정원무. 1991. 복합요소법에 의한 항내 파랑 침입·변형 연구. 공학석사 학위논문, 명지대학교 토목공학과, 169 pp.
- 정원무, 정경태, 채장원. 1993a. 동해항의 부진동 특성(1. 현장관측). 대한토목학회논문집, 제13권 제3호, pp. 173~183.
- 정원무, 정경태, 채장원. 1993b. 동해항의 부진동 특성(2. 수치계산). 대한토목학회논문집, 제13권 제3호, pp. 185~192.
- 포항종합제철주식회사. 1989. 포항항 종합계획 및 원료부두 설계용역 보고서. 제3권 항내정온도 검토편, 182 pp.
- 해양개발연구소. 1979. 조석자료의 처리 및 분석의 체계화를 위한 연구(I). 186 pp.
- 해양연구소. 1984. 해양관측편람. 233 pp.
- 해운항만청. 1991. 해운항만 통계연보. 442 pp.
- Berkhoff, J. C. W. 1976. Mathematical models for simple harmonic linear water waves : Wave diffraction and refraction. Delft Hyd. Lab., No. 163.
- Berkhoff, J. C. W., N. Booij and A. C. Radder. 1982. Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear water waves. Coastal Eng., 6, pp. 255~279.
- Borgman, L. E. 1984. Directional spectrum estimation for the S_{xy} gauges. Technical Report, Coastal Eng. Res. Cr., USAE Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 104 pp.
- Bouws, E., H. Gunther, W. Rosenthal and C. Vincent. 1985. Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water. J. Geophysical Res., 90(C1), pp. 975~986.
- Briggs, M. J. and M. L. Hampton. 1987. Directional spectral wave generator basin response to monochromatic waves. Technical Report CERC 87-6, Coastal Eng. Res. Cr., USAE Waterways

Experiment Station, Vickburg, MS, 90 pp.

- Copeland, G. J. M. 1985. A numerical model for the propagation of short gravity waves and the resulting circulation around nearshore structures. Ph. D. Thesis, University of Liverpool.
- Ebersole, B. A. 1985. Refraction-diffraction model for linear water waves. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, 111(6), pp. 939~953.
- Freeman, N. G., P. F. Hamblin and T. S. Murty. 1974. Helmholtz resonance in harbours of the Great Lakes. *Proc. 17th Conf. Great Lakes Res.*, pp. 399~411.
- Goda, Y. 1985. Random seas and design of maritime structures. Univ. of Tokyo Press, 323 pp.
- Horikawa, K. 1978. Coastal engineering : An introduction to ocean engineering. University of Tokyo Press, 402 pp.
- Hughes, S. A. 1984. The TMA shallow-water spectrum description and applications. Technical Report CERC 84-7, Coastal Eng. Res. Cr., USAE Waterways Experiment Station, Vickburg, MS.
- Kirby, J. T. and R. A. Dalrymple. 1986. Modeling waves in surfzones and around islands. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, 112(1), pp. 78~93.
- Kirby, J. T., C. H. Lee and C. Rasmussen. 1992. Time-dependent solutions of the mild-slope wave equation. *Proc. 23rd Conf. on Coastal Eng.*, Chap. 28, Venice, Italy, pp. 391~404.
- Kobune, K. and N. Hashimoto. 1986. Estimation of directional spectra from maximum entropy principle. *Proc. 5th Int. Offshore Mech. and Arctic Eng.*, ASME 1, pp. 80~85.
- Kubo, Y., Y. Kotake, M. Isobe and A. Watanabe. 1992. Time-dependent

mild slope equation for random waves. Proc. 23rd Conf. on Coastal Eng., Chap. 30, Venice, Italy, pp. 419~431.

- Longuet-Higgins, M. S., D. E. Cartwright and N. D. Smith. 1963. Observation of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy. In *Ocean Wave Spectra*, Prentice-Hall, Inc., pp. 111~136.
- Madsen, P. A. and J. Larsen. 1987. An efficient finite-difference approach to the mild-slope equation. *Coastal Eng.*, 11, pp. 329~351.
- Murty, T. S. 1984. *Storm surges : Meteorological and ocean tides*. Canadian Government Publishing Centre, Friesen Printers Ltd., 897 pp.
- Panchang, V. G. and D. A. Kopriva. 1988. Solution of two-dimensional water-wave propagation problems by Chebyshev Collocation. *Mathematical and Computer Modelling*, 12(6), pp. 625~640.
- Panchang, V. G., G. Wei, B. R. Pearce and M. J. Briggs. 1990. Numerical simulation of irregular wave propagation over shoal. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, 116(3), pp. 324~340.
- Pinkster, J. A. 1976. Low frequency second order wave forces on vessels moored at sea. 11th Sym. on Naval Hydrodynamics, London.
- Pos, J. D. and F. A. Kilner. 1987. Breakwater gap wave diffraction : An experimental and numerical study. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, 111(4), pp. 629~644.
- Rottmann-Sode, W. and W. Zielke. 1984. Linear short wave modeling for harbors. 5th Int. Conf. Finite Elements in Water Resour., Burlington, Vermont.
- Rygg, O. B. 1988. Nonlinear refraction-diffraction of surface waves in intermediate and shallow water. *Coastal Eng.*, 12, pp. 191~211.
- Southgate, H. 1985. A harbor ray model of wave refraction-diffraction. *J.*

- Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 111(1), pp. 29~44.
- Suh, K. D. and R. A. Dalrymple. 1993. Application of angular spectrum model to simulation of irregular wave propagation. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 119(5), pp. 505~520.
- Tekmarine Inc. 1988. Finite element model for harbor resonance and ship hydrodynamics. Progress Report, Tekmarine Project No. TCN-134.
- Thompson, E. F. and C. L. Vincent. 1982. Significant wave height for shallow water design. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 111(5), pp. 828~842.
- Tsay, T. -K. and P. L. -F. Liu, 1983. A finite element model for water wave refraction and diffraction. Applied Ocean Res., 5(1), pp. 30-37.
- Vincent, C. L. and M. J. Briggs. 1989. Refraction-diffraction of irregular waves over a mound. J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 115(2), pp. 269~284.
- 高山知司. 1981. 波の回折と港内波高分布に関する研究. 運輸省 港灣技術研究所, 港灣技研資料, No. 367, 140 pp.
- 白石悟. 1992. Personal Communication.
- 上田茂. 1984. 係岸船舶の動揺解析手法とその應用に関する研究. 港灣技研資料, No. 504.
- 日本港灣協會. 1989. 港灣の施設の技術上の基準・同解説. 改訂版(下巻), 運輸省港灣局 監修, 499 pp.
- 青木伸一. 1991. 港内係留船の波浪動揺の豫測とその低減化に関する研究. 工学博士 學位論文, 大阪大學 土木工學科, 258 pp.
- 青木伸一. 1993. Personal Communication.

부 록

(Appendix)

- A. 단주기 파 정점관측 결과(목호항, 죽변항)
- B. 단주기 파 이동관측 결과(목호항, 죽변항)
- C. 동해항 항내정온도 계산 결과(광역)
- D. 동해항 항내정온도 계산 결과(세부역)
- E. 국외전문가의 mission report
- F. 죽변항 하계 파랑 정점관측시의 태풍 경로



Table A.1.1 Characteristics of wave data observed in Muko Harbor in winter.

Site : Muko

Mar. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
18D 14H	2.28	11.71	6.93	3.53	1.54	2.16	13.97	10.12	9.27	61.6	30.5
18D 15H	2.36	12.73	7.08	3.31	1.65	2.27	14.50	10.55	9.43	53.6	28.6
18D 16H	2.32	12.85	7.09	4.44	1.59	2.22	13.35	10.10	9.12	56.0	32.6
18D 17H	2.52	12.70	7.25	4.69	1.70	2.41	13.91	10.59	9.50	57.7	27.6
18D 18H	2.39	12.67	7.34	3.46	1.60	2.28	13.36	10.47	9.56	45.2	33.0
18D 19H	2.18	11.84	7.04	3.11	1.49	2.09	14.92	10.47	9.43	55.7	24.1
18D 20H	2.14	12.70	7.55	3.13	1.46	2.08	15.42	10.83	9.94	58.3	27.4
18D 21H	2.13	12.70	7.75	3.05	1.45	2.06	14.61	11.01	9.91	58.4	27.2
18D 22H	2.06	11.87	7.49	2.79	1.38	1.92	14.30	10.76	9.84	54.1	33.1
18D 23H	2.04	12.69	7.63	3.38	1.36	1.92	14.62	10.86	9.85	57.6	35.2
18D 24H	2.13	11.75	7.92	3.82	1.43	2.06	15.50	11.35	10.34	56.6	23.0
19D 1H	2.03	12.57	7.71	2.99	1.42	1.98	13.53	11.01	9.78	52.0	28.5
19D 2H	2.06	11.79	7.77	3.00	1.40	1.96	13.93	11.15	9.92	42.0	31.3
19D 3H	1.91	11.11	7.29	3.70	1.33	1.85	13.99	10.68	9.52	48.3	34.4
19D 4H	1.76	12.70	7.27	2.44	1.20	1.68	13.21	10.50	9.58	55.4	31.8
19D 5H	1.79	11.76	7.19	2.57	1.24	1.73	13.62	10.15	9.23	56.5	31.8
19D 6H	1.70	11.79	7.17	2.77	1.19	1.68	13.73	10.40	9.12	62.4	39.3
19D 7H	1.76	11.72	7.06	2.61	1.24	1.72	13.42	10.44	9.16	58.3	29.6
19D 8H	1.72	10.34	7.00	2.78	1.16	1.64	13.36	9.85	8.83	53.5	27.9
19D 9H	1.60	11.11	6.72	2.38	1.09	1.52	12.53	9.57	8.78	55.4	34.2
19D 14H	1.45	10.90	6.76	2.20	0.99	1.41	13.25	9.57	8.45	53.9	35.6
19D 16H	1.26	10.96	6.54	2.03	0.86	1.22	12.75	9.40	8.36	54.5	30.1
19D 17H	1.34	8.66	6.60	2.50	0.95	1.30	13.80	9.68	8.20	49.2	28.3
19D 18H	1.36	10.32	6.54	2.47	0.93	1.30	12.46	9.12	8.42	50.2	35.7
19D 19H	1.30	9.69	6.95	2.00	0.87	1.23	11.17	9.23	8.62	54.9	27.5
19D 20H	1.25	9.13	6.87	2.28	0.87	1.21	13.96	9.36	8.28	62.4	33.3
19D 21H	1.20	9.64	6.58	1.74	0.83	1.14	12.45	9.05	8.10	49.5	31.2
19D 22H	1.11	9.16	6.48	2.00	0.76	1.07	12.66	8.75	7.76	60.5	39.9
19D 23H	1.06	9.65	6.50	1.85	0.75	1.05	13.46	8.93	7.66	57.5	34.6
19D 24H	1.08	9.12	6.48	1.79	0.76	1.07	11.94	8.88	7.77	60.2	30.5
20D 1H	1.07	8.64	6.44	1.70	0.74	1.04	12.59	8.95	8.06	57.2	23.7
20D 2H	1.00	9.66	6.10	1.74	0.69	0.95	11.91	8.41	7.66	64.3	32.8
20D 3H	1.03	9.15	6.39	1.67	0.73	1.00	12.75	8.91	7.53	58.9	31.1
20D 4H	1.01	7.48	6.26	1.59	0.70	0.98	12.51	8.63	7.52	58.1	30.5
20D 5H	1.05	10.24	6.34	1.97	0.72	1.01	13.85	8.62	7.75	58.5	34.8
20D 7H	1.02	8.19	6.39	1.55	0.73	1.00	10.96	8.69	7.66	54.8	30.3

Table A.1.1 (Cont'd).

Site : Muko		Mar. 1993										
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>	
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)	
20D 8H	0.95	7.75	6.18	1.69	0.66	0.91	12.27	8.57	7.50	60.7	34.3	
20D 9H	1.02	10.27	6.66	1.47	0.71	1.01	12.32	9.28	8.45	54.5	28.9	
20D 18H	0.88	9.14	6.56	1.45	0.60	0.85	11.30	9.10	8.06	58.1	32.7	
20D 19H	0.99	10.95	7.34	1.41	0.67	0.97	12.51	9.90	8.99	50.7	33.6	
20D 20H	0.90	9.67	6.80	1.40	0.62	0.87	12.50	9.34	8.48	38.6	40.9	
20D 21H	0.88	9.71	6.86	1.91	0.59	0.86	12.06	9.46	8.83	58.9	46.7	
20D 22H	0.85	9.14	6.76	1.38	0.58	0.83	12.50	9.41	8.71	55.9	35.6	
20D 23H	0.79	10.36	6.69	1.21	0.54	0.77	12.37	9.44	8.42	53.8	41.6	
20D 24H	0.79	10.25	6.69	1.21	0.53	0.76	11.62	9.38	8.83	52.3	32.2	
21D 1H	0.71	10.27	6.57	1.08	0.48	0.69	12.72	9.19	8.46	69.9	42.5	
21D 2H	0.69	10.18	6.11	0.96	0.48	0.67	11.58	9.01	8.12	41.1	34.6	
21D 3H	0.73	10.24	6.57	1.36	0.50	0.72	12.13	9.28	8.54	48.0	31.1	
21D 4H	0.61	9.18	5.65	0.99	0.42	0.58	11.88	8.48	7.56	59.8	35.0	
21D 5H	0.57	10.25	5.50	0.86	0.38	0.55	11.04	8.38	7.69	65.4	40.3	
21D 6H	0.53	10.27	5.42	0.95	0.37	0.52	12.00	8.33	7.40	57.3	36.3	
21D 8H	0.51	8.60	5.70	0.77	0.36	0.50	11.39	8.70	7.80	54.6	32.8	
21D 9H	0.49	8.67	5.55	0.76	0.34	0.48	11.36	8.54	7.50	53.2	35.6	
21D 10H	0.48	9.19	5.86	0.77	0.34	0.47	11.85	8.85	7.68	51.7	32.8	
21D 11H	0.43	9.16	5.84	0.69	0.30	0.42	11.07	8.43	7.52	72.5	41.7	
21D 12H	0.40	8.65	5.42	0.74	0.28	0.40	11.56	8.07	7.19	51.9	36.1	
21D 13H	0.41	8.62	5.20	0.81	0.30	0.42	10.21	7.00	5.99	64.4	35.3	

Table A.1.2 Characteristics of wave data observed in Muko Harbor in summer.

Site : Muko Jul. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/2}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
7D 16H	0.34	4.78	3.59	0.56	0.25	0.34	7.43	4.54	3.98	110.4	46.5
7D 17H	0.39	4.77	3.85	0.76	0.28	0.40	7.31	4.82	4.17	108.1	29.5
7D 18H	0.31	4.50	3.84	0.53	0.23	0.32	6.25	4.80	4.17	95.7	32.4
7D 19H	0.30	4.52	3.76	0.67	0.22	0.31	6.92	4.79	4.05	102.0	39.5
7D 20H	0.29	4.37	3.82	0.49	0.21	0.29	7.37	4.87	4.12	101.2	28.6
7D 21H	0.28	3.85	3.74	0.44	0.21	0.28	6.32	4.77	4.07	92.7	36.7
7D 22H	0.27	4.26	3.80	0.51	0.20	0.27	7.91	4.93	4.15	108.5	33.0
7D 23H	0.29	4.64	3.91	0.48	0.21	0.29	6.93	5.02	4.33	104.8	35.2
7D 24H	0.30	4.37	3.96	0.52	0.21	0.30	7.29	5.12	4.27	113.3	37.7
8D 1H	0.30	6.26	3.95	0.53	0.22	0.30	8.74	5.03	4.41	111.3	34.6
8D 2H	0.29	4.38	4.08	0.51	0.21	0.29	7.19	5.01	4.52	100.7	37.5
8D 3H	0.31	6.02	3.95	0.51	0.23	0.32	7.12	5.19	4.44	49.1	32.4
8D 4H	0.30	4.50	3.93	0.52	0.23	0.32	6.92	4.94	4.33	107.6	41.0
8D 5H	0.27	4.78	3.86	0.43	0.20	0.28	7.07	4.94	4.19	118.6	41.7
8D 6H	0.28	4.63	3.87	0.48	0.20	0.29	6.31	4.96	4.09	108.6	36.0
8D 7H	0.30	5.61	3.98	0.53	0.22	0.31	8.43	4.99	4.22	56.8	37.1
8D 8H	0.28	5.24	3.80	0.50	0.20	0.28	6.67	5.00	4.21	76.3	39.6
8D 9H	0.29	4.76	3.74	0.48	0.21	0.29	6.60	5.06	4.12	94.1	45.3
8D 10H	0.34	8.18	3.95	0.61	0.24	0.34	9.37	5.43	4.64	99.0	26.4
8D 12H	0.34	4.61	3.83	0.65	0.24	0.34	7.55	5.06	4.30	99.4	29.8
8D 13H	0.26	4.51	3.83	0.45	0.19	0.27	7.16	4.93	4.16	96.4	28.6
8D 16H	0.38	3.51	3.52	0.76	0.31	0.42	6.26	4.21	3.44	99.0	32.5
8D 17H	0.46	3.04	3.13	0.90	0.35	0.49	5.50	3.83	3.22	95.7	40.1
8D 18H	0.42	2.93	3.25	0.71	0.32	0.44	7.33	4.18	3.36	7.6	36.4
8D 19H	0.39	3.44	3.33	0.67	0.30	0.41	7.12	4.32	3.55	81.6	41.5
8D 20H	0.40	3.51	3.52	0.86	0.30	0.42	6.96	4.49	3.70	76.2	44.9
8D 21H	0.41	3.36	3.52	0.80	0.30	0.42	6.32	4.28	3.63	38.7	51.4
8D 22H	0.42	3.66	3.45	0.70	0.31	0.43	5.76	4.16	3.58	13.6	41.9
8D 23H	0.46	3.94	3.62	0.81	0.35	0.48	6.09	4.50	3.88	8.2	42.5
8D 24H	0.66	4.92	3.78	1.16	0.48	0.67	6.07	4.63	4.05	25.6	48.8
9D 1H	0.69	4.75	3.83	1.19	0.51	0.71	6.53	4.87	4.26	33.8	62.2
9D 2H	0.67	4.77	3.88	1.11	0.49	0.69	6.24	4.87	4.24	9.5	52.0
9D 3H	0.55	4.77	3.76	0.99	0.40	0.56	6.54	4.70	4.09	24.7	51.4
9D 4H	0.51	4.77	3.69	0.98	0.38	0.53	6.12	4.63	4.04	33.3	49.6
9D 5H	0.53	3.76	3.54	1.00	0.40	0.55	6.34	4.43	3.78	7.4	34.0
9D 6H	0.49	4.76	3.74	0.83	0.36	0.51	6.31	4.60	4.02	15.2	47.8

Table A.12 (Cont'd).

Site : Muko

Jul. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{\max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{\max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
9D 7H	0.38	4.91	3.83	0.77	0.28	0.39	6.31	4.74	4.06	30.7	53.7
9D 8H	0.34	4.27	3.74	0.59	0.26	0.36	6.37	4.66	4.06	34.5	55.0
9D 9H	0.35	4.61	3.67	0.77	0.26	0.35	5.97	4.74	4.02	37.3	57.6
9D 10H	0.35	4.62	3.69	0.73	0.27	0.37	6.77	4.59	3.92	8.9	59.7
9D 11H	0.42	4.49	3.66	0.70	0.31	0.42	6.48	4.62	3.97	7.3	36.6
9D 12H	0.41	4.62	3.71	0.85	0.31	0.43	7.16	4.73	4.02	7.7	37.0
9D 13H	0.41	5.22	4.05	0.80	0.31	0.42	6.47	5.05	4.36	13.0	34.2
9D 14H	0.41	5.09	4.07	0.65	0.30	0.42	6.75	5.10	4.57	13.0	35.6
9D 15H	0.47	5.23	4.14	0.70	0.34	0.47	6.11	5.22	4.65	22.5	36.8
9D 16H	0.52	4.92	4.17	0.95	0.38	0.53	7.13	5.28	4.66	22.3	35.9
9D 17H	0.45	5.61	4.17	0.77	0.32	0.45	6.75	5.18	4.58	21.0	35.8
9D 18H	0.42	5.42	4.09	0.70	0.31	0.42	6.72	5.23	4.60	15.4	37.3
9D 19H	0.42	5.84	4.12	0.71	0.30	0.42	7.91	5.26	4.59	43.9	44.5
9D 20H	0.43	4.63	4.17	0.69	0.31	0.43	7.24	5.32	4.62	17.9	23.0
9D 21H	0.40	4.63	4.05	0.70	0.30	0.41	7.29	5.23	4.46	22.4	38.2
9D 22H	0.40	5.59	3.99	0.64	0.29	0.41	6.47	5.09	4.38	16.9	24.0
9D 23H	0.39	5.24	4.08	0.64	0.28	0.39	7.18	5.14	4.46	16.8	28.5
9D 24H	0.37	5.41	4.13	0.63	0.27	0.37	6.53	5.19	4.55	15.7	35.5
10D 1H	0.37	5.24	4.37	0.62	0.26	0.37	7.15	5.39	4.75	16.7	27.4
10D 2H	0.40	5.60	4.42	0.73	0.29	0.40	7.40	5.54	4.87	16.2	17.2
10D 3H	0.35	5.62	4.30	0.61	0.25	0.36	7.86	5.45	4.83	13.3	19.9
10D 4H	0.39	5.60	4.26	0.58	0.28	0.39	6.85	5.43	4.81	17.7	20.3
10D 5H	0.41	5.26	4.05	0.84	0.30	0.42	6.93	5.28	4.46	18.7	23.4
10D 6H	0.36	5.25	4.05	0.59	0.26	0.36	8.14	5.23	4.59	17.1	24.1
10D 7H	0.33	5.06	4.04	0.64	0.24	0.34	7.09	5.23	4.38	15.1	22.8
10D 8H	0.33	5.09	4.14	0.47	0.23	0.32	7.42	5.39	4.55	18.8	26.7
10D 9H	0.31	4.92	4.16	0.54	0.22	0.32	9.38	5.32	4.68	15.7	30.0
10D 10H	0.32	5.04	4.34	0.51	0.23	0.32	7.82	5.50	4.77	23.7	30.8
10D 11H	0.30	4.78	4.38	0.57	0.25	0.35	7.11	4.97	4.21	18.2	30.2
10D 13H	0.29	4.74	4.47	0.56	0.21	0.29	9.77	5.50	4.79	18.5	36.0
10D 14H	0.30	6.50	4.65	0.53	0.22	0.31	7.81	5.92	5.29	50.6	34.4
10D 16H	0.38	6.27	4.54	0.64	0.28	0.39	8.48	5.90	5.15	49.2	39.9
10D 18H	0.43	6.01	4.68	0.74	0.32	0.44	7.92	6.03	5.34	39.8	34.6
10D 19H	0.36	5.41	4.72	0.59	0.27	0.37	8.87	5.93	5.20	42.1	33.5
10D 20H	0.38	5.60	4.73	0.61	0.27	0.38	7.16	5.84	5.34	51.4	30.8
10D 21H	0.41	5.80	4.72	0.60	0.30	0.41	7.75	5.94	5.39	49.7	31.3
10D 22H	0.38	5.24	4.76	0.64	0.28	0.39	8.36	6.01	5.47	50.6	39.9

Table A.1.2 (Cont'd).

Site : Muko		Jul. 1993										
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>	
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)	
10D 23H	0.39	5.81	4.75	0.59	0.27	0.38	8.44	6.03	5.45	64.5	43.1	
10D 24H	0.36	5.63	4.66	0.72	0.25	0.35	8.20	5.93	5.36	64.9	38.4	
11D 1H	0.35	5.85	4.75	0.58	0.25	0.34	8.15	6.10	5.52	60.3	36.6	
11D 2H	0.36	6.02	4.82	0.54	0.25	0.36	8.16	6.09	5.54	49.9	30.5	
11D 3H	0.35	6.03	4.84	0.64	0.25	0.35	8.45	6.16	5.60	53.9	33.6	
11D 4H	0.34	6.03	4.35	0.55	0.25	0.35	8.07	5.87	5.24	40.8	28.1	
11D 5H	0.39	5.83	4.46	0.71	0.28	0.39	7.61	5.89	5.33	44.6	32.8	
11D 6H	0.37	5.60	4.73	0.61	0.27	0.38	8.72	5.98	5.30	50.7	38.7	
11D 8H	0.37	5.25	4.64	0.66	0.26	0.37	7.59	5.81	5.11	51.4	43.0	
11D 9H	0.38	5.80	4.67	0.67	0.27	0.37	8.10	5.88	5.21	59.2	40.0	
11D 10H	0.39	5.45	4.63	0.82	0.27	0.39	7.94	5.78	5.07	63.1	39.7	
11D 11H	0.44	5.42	4.70	0.90	0.31	0.44	8.46	5.83	5.09	73.5	35.6	
11D 12H	0.41	5.43	4.55	0.69	0.29	0.41	8.13	5.71	4.93	65.7	41.6	
11D 13H	0.41	5.23	4.58	0.77	0.31	0.43	7.35	5.43	4.84	65.4	40.7	
11D 14H	0.37	5.06	4.43	0.75	0.28	0.39	7.55	5.33	4.74	64.0	39.3	
11D 18H	0.37	5.79	4.08	0.64	0.27	0.37	6.88	5.45	4.68	63.6	30.9	
11D 19H	0.31	6.04	4.27	0.52	0.22	0.31	7.52	5.62	4.89	57.4	31.0	
11D 20H	0.27	5.61	4.51	0.47	0.20	0.28	7.28	5.59	4.86	53.3	30.3	
11D 21H	0.26	6.26	4.88	0.46	0.19	0.27	8.52	6.01	5.45	64.0	31.5	
11D 22H	0.24	6.26	4.92	0.48	0.17	0.25	8.31	5.98	5.43	56.2	30.4	
11D 23H	0.24	5.83	4.82	0.46	0.17	0.24	9.11	6.18	5.22	48.5	41.5	
11D 24H	0.22	6.03	4.94	0.34	0.16	0.22	7.94	6.20	5.36	58.6	27.7	
12D 1H	0.21	6.02	4.88	0.32	0.15	0.21	8.98	6.21	5.41	57.5	30.1	
12D 2H	0.24	5.62	4.73	0.46	0.17	0.24	8.59	6.00	5.29	60.1	29.3	
12D 3H	0.24	5.79	4.31	0.44	0.17	0.24	10.29	5.81	5.01	65.9	37.4	
12D 4H	0.24	5.42	4.09	0.43	0.18	0.25	8.09	5.36	4.50	66.2	43.8	
12D 5H	0.22	5.42	4.34	0.43	0.17	0.23	7.81	5.71	4.78	71.2	40.8	
12D 6H	0.25	5.40	4.28	0.42	0.18	0.25	7.27	5.52	4.88	70.8	45.2	
12D 7H	0.25	4.64	4.57	0.44	0.18	0.25	8.59	5.93	5.13	78.1	41.0	
12D 8H	0.26	6.05	4.67	0.40	0.19	0.26	7.99	5.99	5.24	61.8	31.2	

Table A.13 Characteristics of wave data observed in Chukpyon Harbor in winter.

Site : Chukpyon

Jan. 1993

<i>Time</i>	H_s (m)	T_p (sec)	T_z (sec)	H_{max} (m)	H_{rms} (m)	$H_{1/3}$ (m)	T_{max} (sec)	$T_{1/3}$ (sec)	$T_{H_{1/2}}$ (sec)	<i>Dir.</i> (deg)	<i>Spr.</i> (deg)
8D 17H	2.57	9.10	6.78	4.07	1.78	2.51	10.49	9.07	8.41	26.4	15.4
8D 18H	2.29	9.11	6.38	3.96	1.57	2.19	11.56	8.58	7.69	30.2	22.3
8D 19H	2.36	9.12	6.49	3.78	1.61	2.24	10.88	8.87	8.04	23.9	11.7
8D 20H	2.32	9.09	6.60	3.62	1.59	2.26	10.57	8.93	8.10	23.6	17.1
8D 21H	2.17	9.61	6.46	3.20	1.54	2.13	12.15	8.92	8.07	25.9	14.1
8D 22H	2.10	8.69	6.29	3.69	1.48	2.05	10.69	8.59	7.64	28.1	17.3
8D 23H	2.08	9.62	6.08	3.30	1.43	2.01	10.84	8.15	7.19	29.6	24.4
8D 24H	2.25	8.70	6.38	3.44	1.57	2.19	11.26	8.72	7.77	32.4	16.6
9D 1H	2.07	9.09	6.03	3.10	1.42	1.97	11.09	8.28	7.47	31.4	17.6
9D 2H	2.03	8.61	5.93	3.23	1.42	1.94	9.59	7.95	6.95	30.9	20.4
9D 3H	2.00	8.64	5.90	3.07	1.37	1.92	10.29	7.85	6.98	33.1	28.0
9D 4H	1.93	8.54	5.83	3.68	1.32	1.85	11.36	7.79	6.84	29.8	23.5
9D 5H	1.88	8.59	5.79	2.96	1.31	1.82	9.54	7.70	6.76	38.6	24.1
9D 6H	1.71	8.61	5.79	2.36	1.22	1.65	9.99	7.84	6.79	27.1	29.0
9D 7H	1.70	7.06	5.61	2.62	1.18	1.66	10.46	7.37	6.49	88.3	31.9
9D 8H	1.48	6.54	5.47	2.40	1.04	1.43	10.10	7.22	6.49	85.2	39.7
9D 9H	1.58	6.50	5.45	3.06	1.11	1.55	9.12	7.31	6.45	90.0	35.9
9D 10H	1.54	6.75	5.42	2.67	1.07	1.50	8.58	7.13	6.44	91.2	37.1
9D 11H	1.72	6.56	5.58	3.17	1.20	1.67	10.06	6.95	6.34	97.9	31.8
9D 12H	1.55	6.76	5.45	2.90	1.09	1.54	9.04	7.19	6.26	105.2	40.1
9D 13H	1.41	6.06	5.42	2.03	1.00	1.39	8.51	7.01	6.32	108.6	34.8
9D 14H	1.40	6.29	5.49	2.32	1.00	1.39	8.96	6.96	6.21	104.7	35.5
9D 15H	1.24	6.26	5.50	2.19	0.86	1.23	8.46	6.91	6.25	98.3	45.5
9D 16H	1.20	6.31	5.55	2.42	0.85	1.20	10.35	7.13	6.20	94.6	37.0
9D 17H	1.06	6.06	5.35	1.90	0.74	1.03	8.72	6.64	6.11	95.5	38.5
9D 18H	1.13	6.51	5.44	2.04	0.80	1.14	9.81	6.90	6.33	99.3	34.4
9D 19H	1.07	6.51	5.61	1.57	0.76	1.05	9.66	7.25	6.45	83.3	44.4
9D 20H	0.93	6.48	5.35	1.43	0.65	0.90	8.31	6.77	6.05	100.8	37.8
9D 21H	0.99	6.27	5.43	1.88	0.71	0.99	9.54	7.00	6.07	94.5	28.7
9D 22H	0.95	6.23	5.08	1.38	0.66	0.94	9.06	6.64	5.96	100.6	34.5
9D 23H	0.93	6.24	5.14	1.44	0.65	0.91	8.55	6.71	5.93	86.5	39.9
9D 24H	0.85	5.79	5.08	1.41	0.60	0.84	9.42	6.59	5.62	89.0	39.9
10D 1H	0.81	6.04	5.17	1.33	0.57	0.80	9.58	6.63	5.76	100.7	32.8
10D 2H	0.81	5.80	5.27	1.48	0.58	0.81	8.81	6.90	5.89	86.2	38.5
10D 3H	0.77	6.03	5.16	1.19	0.55	0.75	11.88	6.64	5.81	85.7	38.7
10D 4H	0.65	5.24	4.95	1.00	0.46	0.64	9.03	6.54	5.54	84.4	38.2

Table A.1.3 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Jan. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
10D 5H	0.61	5.08	5.13	1.04	0.43	0.60	9.23	6.60	5.72	97.2	41.4
10D 6H	0.61	5.27	4.55	1.02	0.44	0.61	9.26	6.18	5.32	79.4	44.6
10D 7H	0.76	5.07	4.22	1.26	0.55	0.77	9.23	5.71	4.99	84.3	41.9
10D 8H	0.77	4.65	3.94	1.23	0.57	0.77	8.01	5.35	4.51	44.3	44.0
10D 9H	0.72	4.64	4.03	1.23	0.51	0.71	8.29	5.30	4.62	28.7	32.6
10D 10H	0.72	5.43	4.24	1.12	0.52	0.72	8.35	5.66	4.73	56.3	36.6
10D 16H	2.24	8.63	6.49	3.53	1.57	2.22	11.70	8.91	8.01	24.6	23.4
10D 17H	1.95	8.65	6.28	3.04	1.33	1.87	10.04	8.40	7.75	35.2	21.5
10D 18H	2.01	9.05	6.60	3.30	1.42	1.97	10.68	8.95	7.93	34.7	19.8
10D 19H	2.05	8.25	6.15	3.12	1.45	2.03	11.66	8.54	7.61	31.8	20.6
10D 20H	2.20	9.09	6.54	4.12	1.52	2.15	12.00	8.85	7.93	31.8	22.4
10D 21H	2.22	8.65	6.35	3.67	1.56	2.18	10.94	8.67	7.65	35.3	23.8
10D 22H	2.24	9.14	6.20	3.43	1.53	2.19	11.18	8.40	7.59	35.2	17.0
10D 23H	2.26	9.20	6.34	3.37	1.59	2.23	11.40	8.72	7.85	40.2	27.3
10D 24H	2.10	8.19	6.22	3.27	1.47	2.02	11.42	8.45	7.40	35.0	19.7
11D 1H	2.24	8.58	6.39	3.57	1.55	2.19	11.36	8.45	7.47	37.5	21.0
11D 2H	2.11	8.62	6.16	3.00	1.46	2.03	11.03	8.29	7.54	35.6	23.0
11D 3H	2.36	8.61	6.21	3.81	1.66	2.31	10.91	8.43	7.50	45.2	22.0
11D 4H	2.36	8.67	6.16	3.57	1.62	2.30	10.68	8.45	7.52	39.0	17.7
11D 5H	2.56	9.05	6.54	4.03	1.77	2.48	10.63	8.55	7.81	43.7	21.7
11D 6H	2.26	8.17	6.07	3.78	1.60	2.22	10.18	8.38	7.52	35.2	21.8
11D 7H	2.25	9.10	5.81	3.28	1.56	2.15	11.19	8.34	7.49	42.8	25.7
11D 8H	2.28	8.66	5.95	3.59	1.60	2.21	10.20	8.14	7.09	43.2	25.5
11D 9H	2.45	8.63	6.21	3.76	1.72	2.40	11.49	8.52	7.70	42.2	18.0
11D 10H	2.62	8.21	6.35	4.07	1.82	2.55	10.57	8.29	7.79	40.6	15.8
11D 11H	2.40	8.60	5.95	4.22	1.66	2.35	9.85	7.98	7.19	44.3	18.4
11D 12H	2.44	7.11	5.86	3.83	1.72	2.38	10.70	8.14	7.01	39.2	21.7
11D 13H	2.30	7.80	6.09	3.77	1.59	2.21	10.06	8.06	7.26	38.5	22.7
11D 14H	2.19	7.41	5.80	4.47	1.53	2.12	10.71	7.88	7.16	53.9	30.0
11D 15H	2.12	7.09	5.88	3.02	1.49	2.05	10.43	7.95	7.05	59.6	39.5
11D 16H	2.22	8.21	6.08	3.20	1.56	2.14	11.11	8.07	7.15	33.7	23.8
11D 17H	2.13	8.17	6.16	3.71	1.50	2.10	11.76	8.27	7.32	43.6	27.5
11D 18H	2.06	8.15	5.99	3.19	1.46	2.02	12.38	8.31	7.25	41.4	30.1
11D 19H	1.97	8.20	5.96	3.22	1.38	1.90	10.32	8.06	6.97	51.6	40.4
11D 20H	1.90	7.46	6.01	3.03	1.35	1.84	9.93	8.18	7.13	61.6	32.9
11D 21H	1.94	7.77	6.13	3.10	1.39	1.90	11.20	8.26	7.35	46.4	30.0
11D 22H	1.79	7.80	6.17	2.68	1.25	1.76	9.92	7.95	7.23	54.7	40.9

Table A.1.3 (Cont'd).

Site : Chukpyon		Jan. 1993										
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>	
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)	
11D 23H	1.72	8.13	5.92	3.16	1.22	1.68	10.08	8.04	7.09	53.4	36.9	
11D 24H	1.69	7.76	6.23	2.61	1.16	1.66	10.16	7.95	7.14	48.5	29.6	
12D 1H	1.63	8.24	6.13	2.59	1.13	1.58	10.39	8.11	7.11	48.8	38.9	
12D 2H	1.55	8.15	6.07	2.64	1.09	1.53	9.53	8.06	6.97	42.6	34.9	
12D 3H	1.50	7.85	6.05	2.42	1.06	1.48	9.68	7.89	7.05	46.6	34.7	
12D 4H	1.41	8.19	5.91	2.32	0.97	1.38	9.71	7.64	6.78	53.8	41.7	
12D 5H	1.40	7.79	5.75	2.33	0.97	1.35	10.59	7.66	6.78	66.0	37.3	
12D 6H	1.32	7.13	5.67	2.01	0.93	1.30	10.64	7.58	6.81	61.3	34.0	
12D 7H	1.28	7.45	5.69	2.06	0.91	1.26	9.69	7.61	6.81	56.8	38.8	
12D 8H	1.21	7.11	5.59	1.87	0.85	1.18	9.34	7.47	6.51	68.6	35.7	
12D 16H	0.95	6.79	5.42	1.56	0.66	0.94	10.28	7.19	6.29	53.6	37.1	
12D 17H	0.90	6.80	5.40	1.37	0.62	0.87	10.07	7.03	6.16	51.2	37.0	
12D 18H	0.84	7.42	5.41	1.58	0.59	0.82	8.51	7.11	6.37	67.0	41.6	
12D 19H	0.84	7.11	5.36	1.43	0.59	0.83	8.92	6.96	6.06	59.2	39.2	
12D 20H	0.85	7.08	5.39	1.34	0.60	0.84	8.90	7.17	6.34	58.7	34.1	
12D 21H	0.69	7.05	5.22	1.15	0.50	0.69	8.86	6.88	6.07	60.3	42.6	
12D 22H	0.78	6.29	5.30	1.34	0.56	0.77	8.88	6.89	5.90	47.3	36.8	
12D 23H	0.71	7.40	5.36	1.45	0.50	0.71	9.03	6.67	6.00	66.9	42.3	
12D 24H	0.78	6.50	5.39	1.27	0.55	0.78	8.70	6.79	5.97	50.5	37.1	
13D 1H	0.73	6.78	5.37	1.67	0.51	0.72	8.94	6.96	6.19	60.9	30.4	
13D 2H	0.76	6.26	5.23	1.33	0.54	0.74	8.93	6.69	5.90	56.7	35.1	
13D 3H	0.70	6.52	5.10	1.24	0.50	0.70	8.88	6.68	5.93	52.8	32.5	
13D 4H	0.67	6.27	5.00	1.11	0.49	0.68	8.99	6.61	5.89	46.1	37.5	
13D 5H	0.71	6.51	5.14	1.23	0.50	0.70	8.35	6.50	5.93	65.4	32.6	
13D 6H	0.69	6.03	4.84	1.17	0.49	0.69	8.98	6.33	5.61	67.4	35.8	
13D 7H	0.68	6.29	4.82	0.95	0.49	0.68	8.11	6.44	5.79	58.4	37.7	
13D 8H	0.69	7.37	4.91	1.00	0.48	0.68	9.01	6.71	6.03	52.0	31.5	
13D 9H	0.68	6.53	4.97	1.22	0.49	0.68	9.70	6.79	5.92	47.2	37.8	
13D 10H	0.72	5.81	5.05	1.13	0.52	0.73	9.00	6.66	5.99	47.6	32.7	
13D 11H	0.68	7.75	4.80	1.33	0.49	0.68	9.18	6.42	5.77	35.6	27.2	
13D 12H	0.69	7.10	4.52	1.37	0.50	0.70	8.23	6.20	5.49	38.7	25.4	
13D 13H	0.76	7.14	4.60	1.17	0.55	0.77	8.71	6.44	5.49	39.9	24.4	
13D 14H	0.78	6.83	4.58	1.29	0.57	0.77	8.10	6.34	5.53	41.9	27.5	
13D 15H	0.72	7.09	4.35	1.13	0.53	0.72	8.91	6.13	5.38	39.8	29.8	
13D 16H	0.81	7.09	4.43	1.32	0.58	0.80	8.68	6.18	5.43	38.2	28.7	
13D 17H	0.84	6.49	4.48	1.52	0.62	0.85	8.86	6.33	5.61	39.8	28.8	

Table A.13 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Jan. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/2}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
13D 18H	0.80	6.84	4.70	1.35	0.57	0.79	7.64	6.28	5.63	38.9	29.6
13D 19H	0.72	7.09	4.72	1.31	0.52	0.71	8.57	6.57	5.64	47.7	26.5
13D 20H	0.69	6.79	4.55	1.13	0.50	0.68	8.15	6.20	5.34	33.8	34.3
13D 21H	0.74	6.52	4.36	1.23	0.54	0.76	8.74	6.03	5.37	38.8	35.4
13D 22H	0.92	6.78	4.26	1.67	0.65	0.92	8.04	5.97	5.23	34.3	32.2
13D 23H	1.01	6.51	4.57	1.61	0.72	1.00	7.84	6.24	5.51	34.1	26.1
13D 24H	1.16	6.54	4.63	1.92	0.82	1.13	8.51	6.46	5.53	34.3	35.1
14D 1H	1.09	6.85	4.88	1.79	0.78	1.08	8.99	6.65	5.97	40.6	28.4
14D 2H	1.16	6.78	5.41	1.73	0.81	1.14	9.87	7.20	6.56	36.3	28.6
14D 3H	1.09	6.52	5.45	2.00	0.76	1.08	9.92	7.17	6.55	42.5	32.0
14D 4H	1.24	7.08	5.75	2.44	0.86	1.21	9.36	7.37	6.77	59.2	29.9
14D 5H	1.22	7.08	5.49	1.85	0.85	1.22	9.42	7.21	6.57	54.8	34.2
14D 6H	1.26	7.40	5.73	2.06	0.88	1.24	9.73	7.44	6.84	60.2	27.9
14D 7H	1.10	7.09	5.38	1.61	0.79	1.08	8.90	7.24	6.63	57.9	27.1
14D 8H	1.14	7.41	5.76	2.18	0.78	1.10	9.09	7.37	6.62	62.8	29.1
14D 9H	1.17	7.40	5.88	1.91	0.85	1.16	9.22	7.61	6.84	55.6	29.5
14D 10H	1.01	7.76	5.46	1.79	0.72	1.00	9.05	7.47	6.59	73.8	37.4
14D 11H	1.02	6.79	5.58	1.67	0.70	0.98	9.05	7.31	6.62	63.8	35.8
14D 12H	1.11	7.77	5.87	1.66	0.79	1.09	9.98	7.64	6.86	64.7	29.3
14D 13H	1.24	6.54	5.83	2.24	0.87	1.23	10.17	7.44	6.60	44.4	35.3
14D 14H	1.23	7.09	5.94	2.08	0.85	1.23	10.50	7.57	6.84	47.4	33.5
14D 15H	1.32	7.40	6.04	2.18	0.92	1.31	9.15	7.54	6.95	59.7	30.8
14D 16H	1.41	7.42	5.90	2.28	0.99	1.37	9.74	7.66	6.89	52.2	37.2
14D 17H	1.61	7.75	6.15	2.45	1.13	1.60	9.71	7.78	7.07	59.2	31.5
14D 18H	1.66	7.45	6.39	2.23	1.17	1.64	10.61	8.22	7.43	46.1	34.3
14D 19H	2.26	8.56	6.21	4.17	1.57	2.19	10.11	8.30	7.58	45.2	24.8
14D 20H	2.07	8.67	6.38	3.87	1.43	2.03	11.54	8.59	7.95	45.2	28.1
14D 21H	2.47	9.10	6.54	4.01	1.70	2.42	10.76	8.84	8.12	43.1	28.4
14D 22H	2.97	8.21	6.32	5.39	2.04	2.87	10.52	8.50	7.48	43.2	23.0
14D 23H	3.04	9.21	6.53	4.37	2.13	2.96	11.31	9.06	8.16	46.1	24.5
14D 24H	3.02	8.70	6.69	5.13	2.09	2.92	12.27	9.14	8.36	65.1	26.7
15D 1H	2.84	9.14	6.54	4.45	1.98	2.78	11.14	9.19	8.57	64.1	30.1
15D 2H	2.89	9.12	6.66	4.07	2.02	2.78	11.66	9.18	8.35	67.8	30.9
15D 3H	3.17	9.13	6.92	5.02	2.15	3.14	11.58	9.18	8.48	66.2	28.3
15D 4H	3.22	9.60	6.89	4.91	2.20	3.20	11.79	9.25	8.29	71.2	27.7
15D 6H	3.02	9.18	6.61	4.81	2.10	2.98	11.23	9.20	8.25	69.0	32.6

Table A.1.3 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Jan. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_s	H_{\max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{\max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
15D 7H	3.16	9.14	6.46	4.92	2.22	3.06	11.06	9.12	7.95	64.6	29.8
15D 8H	3.15	8.65	6.32	5.41	2.17	3.01	10.11	8.47	7.67	64.3	28.7
15D 10H	3.28	9.05	6.53	5.70	2.29	3.17	11.41	9.09	8.06	66.7	27.2
15D 11H	3.02	9.61	6.38	5.82	2.11	2.96	10.98	8.83	7.82	69.5	28.0
15D 12H	3.23	8.63	6.62	5.94	2.21	3.16	11.49	9.06	8.04	62.4	27.5
15D 13H	3.14	9.14	6.47	5.24	2.25	3.12	13.61	9.06	7.98	70.6	30.3
15D 14H	3.19	9.17	6.75	5.02	2.22	3.08	11.88	9.24	8.37	59.3	32.2
15D 15H	3.13	8.26	6.53	5.06	2.21	3.12	11.61	9.07	8.07	64.8	29.2
15D 16H	3.26	9.02	6.72	5.46	2.28	3.23	11.41	9.23	8.15	63.3	25.9
15D 17H	3.39	8.64	7.13	5.02	2.41	3.37	12.21	9.63	8.68	60.8	27.4
15D 18H	3.51	10.17	7.42	5.91	2.47	3.41	12.08	10.10	8.98	68.9	25.5
15D 19H	3.33	10.22	7.31	4.96	2.33	3.27	12.32	9.86	8.79	86.2	20.3
15D 20H	3.09	9.14	7.01	4.91	2.12	3.03	11.24	9.40	8.45	58.4	25.9
15D 21H	2.98	9.66	7.25	4.91	2.04	2.94	11.95	9.63	8.77	73.6	28.0
15D 22H	3.18	9.20	7.40	4.76	2.18	3.07	12.08	9.58	8.69	70.5	25.8
15D 23H	3.18	9.65	7.43	4.42	2.27	3.12	12.55	10.05	9.01	74.5	24.1
15D 24H	2.73	9.60	7.02	3.89	1.92	2.65	12.20	9.61	8.72	69.1	24.4
16D 1H	3.23	9.73	7.64	4.51	2.22	3.17	14.36	10.12	9.06	74.2	21.6
16D 2H	3.01	8.23	7.37	4.39	2.03	2.90	11.63	9.71	8.75	51.4	27.1
16D 3H	3.30	10.26	7.74	5.25	2.22	3.18	11.91	9.79	9.09	67.6	25.4
16D 4H	2.98	9.77	7.37	4.72	2.05	2.90	13.28	10.06	9.03	60.8	22.0
16D 5H	3.01	10.93	7.34	4.97	2.14	2.94	14.14	10.27	8.95	73.3	20.9
16D 7H	3.12	9.14	7.25	5.22	2.11	3.04	13.87	9.85	8.94	57.0	30.0
16D 8H	3.57	10.19	7.43	5.80	2.48	3.47	12.43	10.44	9.55	73.4	20.2
16D 9H	4.08	11.09	7.50	6.92	2.77	3.90	14.86	10.39	9.12	88.2	19.2
16D 10H	4.28	10.39	7.55	6.38	2.96	4.17	13.60	10.52	9.45	74.9	27.4
16D 11H	4.62	11.08	7.67	6.65	3.21	4.56	13.43	10.74	9.53	79.1	24.9
16D 12H	4.48	11.65	7.38	7.01	3.12	4.37	13.53	10.63	9.57	67.3	31.7
16D 13H	5.04	11.06	8.25	7.26	3.51	4.84	13.25	11.44	10.25	67.7	30.2
16D 14H	4.53	11.73	7.87	6.37	3.12	4.38	13.27	11.22	10.32	65.0	29.0
16D 15H	4.81	11.78	8.12	7.00	3.37	4.67	13.89	11.33	10.39	70.6	27.2
16D 16H	4.88	11.77	8.30	8.16	3.42	4.85	13.61	11.51	10.54	68.1	25.4
16D 17H	4.16	11.67	7.99	5.94	2.79	4.03	14.09	11.14	10.13	47.8	26.8
16D 18H	4.28	11.80	8.12	6.90	2.90	4.17	14.85	11.40	10.18	54.6	20.9
16D 19H	4.25	11.69	8.48	7.10	2.90	4.11	15.20	11.68	10.65	58.0	25.6
16D 20H	4.07	11.02	8.34	5.83	2.88	3.98	14.46	11.74	10.29	46.4	15.2
16D 21H	4.24	11.03	8.66	6.06	3.00	4.16	14.29	11.80	10.58	46.0	21.3

Table A.1.3 (Cont'd).

Site : Chukpyon												Jan. 1993	
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>		
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)		
16D 22H	3.75	11.74	8.29	6.12	2.60	3.67	14.36	11.65	10.24	60.5	15.7		
16D 23H	3.69	12.68	8.23	5.43	2.50	3.55	14.55	11.56	10.73	51.5	18.9		
16D 24H	3.51	11.02	8.10	4.99	2.42	3.40	14.24	11.21	10.33	47.9	14.6		
17D 1H	3.38	11.00	8.25	4.96	2.32	3.32	14.37	11.18	10.19	50.4	15.5		
17D 2H	3.65	11.07	8.53	5.95	2.50	3.59	14.10	11.52	10.55	48.3	14.7		
17D 3H	3.28	11.77	8.08	5.33	2.24	3.16	15.05	11.22	9.93	51.7	13.8		
17D 4H	3.05	11.89	7.90	5.08	2.12	2.91	13.59	11.11	9.92	59.4	12.2		
17D 5H	3.12	11.06	8.35	6.15	2.13	3.03	16.03	11.71	10.49	47.1	11.5		
17D 6H	3.49	11.79	8.52	5.01	2.41	3.41	14.06	11.76	10.55	54.1	12.8		
17D 7H	3.09	11.12	8.27	4.83	2.11	3.02	14.74	11.27	10.20	49.6	12.9		
17D 8H	3.30	11.77	8.80	5.04	2.28	3.17	16.40	11.84	10.52	50.8	14.9		
17D 9H	3.04	11.74	8.71	5.43	2.12	3.00	14.65	11.67	10.47	56.7	13.8		
17D 14H	2.80	12.68	8.99	3.86	1.97	2.72	14.68	12.03	10.81	56.5	16.8		
17D 15H	2.81	12.61	8.59	4.46	1.93	2.77	14.89	11.75	10.56	59.1	15.5		
17D 16H	2.60	11.80	8.60	4.64	1.82	2.49	14.88	11.69	10.56	53.3	18.5		
17D 17H	2.47	11.78	8.32	4.15	1.73	2.45	13.71	11.66	10.27	53.2	14.9		
17D 18H	2.51	11.09	8.77	4.12	1.72	2.47	15.46	11.47	10.64	55.2	14.3		
17D 19H	2.15	11.74	8.24	3.45	1.49	2.11	13.69	11.22	9.94	52.0	19.1		
17D 20H	2.31	10.28	8.46	3.41	1.60	2.25	13.82	11.01	9.83	54.4	12.8		
17D 21H	2.21	11.73	8.23	3.58	1.54	2.16	13.75	11.02	9.76	54.4	14.7		
17D 22H	2.04	10.93	8.40	3.26	1.38	1.96	13.89	11.09	9.89	44.8	20.4		
17D 23H	2.16	10.94	8.49	3.09	1.55	2.10	14.01	11.42	9.70	48.6	14.2		
17D 24H	1.92	11.00	8.20	3.23	1.31	1.88	13.27	10.98	9.85	48.8	15.3		
18D 2H	1.81	11.05	8.39	3.09	1.24	1.72	14.09	11.26	9.77	51.2	15.7		
18D 3H	1.75	10.98	8.16	2.77	1.20	1.71	13.41	10.83	9.80	51.1	16.1		
18D 4H	1.76	10.40	8.23	3.38	1.20	1.72	14.97	11.23	10.19	53.0	21.4		
18D 5H	1.75	10.31	8.25	2.91	1.21	1.71	13.77	11.03	9.83	51.0	13.1		
18D 6H	1.80	10.88	8.40	2.57	1.25	1.77	15.41	11.36	10.63	49.5	14.6		
18D 7H	1.73	11.09	8.45	2.65	1.20	1.70	13.13	11.24	10.23	50.8	16.2		
18D 8H	1.63	10.16	8.06	2.31	1.13	1.61	13.56	11.07	9.92	46.7	20.3		
18D 9H	1.54	10.98	7.48	2.36	1.06	1.51	13.16	10.79	10.15	55.7	17.0		
18D 10H	1.67	10.92	7.49	2.96	1.16	1.66	13.91	10.67	9.94	50.4	19.1		

Table A.1.4 Characteristics of wave data observed in Chukpyon Harbor in summer.

Site : Chukpyon											Jul. 1993	
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>	
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)	
22D 13H	0.80	7.78	4.87	1.17	0.58	0.80	9.04	6.81	5.93	51.6	30.6	
22D 16H	0.82	7.38	5.33	1.33	0.58	0.81	9.11	6.81	6.21	63.4	36.1	
22D 19H	0.84	6.79	5.47	1.33	0.59	0.83	8.43	6.77	6.10	59.8	25.4	
22D 22H	0.68	7.08	4.99	1.14	0.48	0.66	8.66	6.44	5.56	60.9	34.9	
23D 1H	0.64	6.03	4.86	1.07	0.44	0.62	9.52	6.25	5.48	63.5	30.9	
23D 4H	0.63	6.51	4.66	1.20	0.45	0.62	9.29	6.13	5.37	51.2	32.2	
23D 7H	0.67	6.27	4.75	1.07	0.47	0.66	8.89	6.22	5.44	62.3	28.9	
23D 10H	0.61	6.49	4.78	1.05	0.44	0.61	8.59	6.21	5.45	79.5	30.6	
23D 13H	0.64	6.06	4.89	1.05	0.46	0.64	7.37	6.15	5.47	45.1	35.4	
23D 16H	0.64	6.74	4.41	1.11	0.47	0.64	7.49	5.75	5.14	68.8	31.3	
23D 19H	0.69	6.51	4.72	1.32	0.49	0.69	8.58	6.21	5.50	55.1	22.4	
23D 22H	0.54	5.81	4.56	0.93	0.39	0.54	8.44	6.03	5.25	73.9	35.6	
24D 1H	0.50	6.24	4.61	0.83	0.36	0.50	8.94	6.02	5.14	85.6	46.2	
24D 4H	0.56	5.07	4.40	0.86	0.40	0.56	7.76	5.73	4.90	81.7	35.8	
24D 7H	0.64	4.77	4.48	1.07	0.46	0.64	8.11	5.78	4.97	91.6	24.5	
24D 10H	0.57	4.52	4.22	0.98	0.41	0.57	8.12	5.41	4.76	93.8	34.9	
24D 13H	0.59	4.63	4.32	1.07	0.43	0.59	7.18	5.46	4.82	78.4	26.6	
24D 16H	0.56	5.08	4.26	0.89	0.40	0.55	7.62	5.38	4.79	87.1	32.2	
24D 19H	0.53	4.63	4.02	0.91	0.39	0.54	7.14	5.09	4.47	97.4	33.2	
24D 22H	0.51	4.92	4.22	0.86	0.37	0.51	6.71	5.36	4.75	100.9	31.7	
25D 1H	0.55	5.39	4.27	0.79	0.40	0.55	6.78	5.34	4.87	81.3	33.2	
25D 4H	0.77	5.41	4.39	1.15	0.55	0.77	7.28	5.52	4.94	78.0	24.0	
25D 7H	0.97	5.58	4.29	1.63	0.70	0.98	7.59	5.69	5.01	80.9	27.3	
25D 10H	1.19	6.03	4.71	2.13	0.85	1.17	7.70	6.18	5.56	97.9	30.6	
25D 13H	1.22	6.80	4.66	2.44	0.86	1.19	7.54	6.26	5.45	94.3	28.1	
25D 16H	1.28	6.83	5.08	2.05	0.92	1.26	8.27	6.73	5.93	80.7	29.2	
25D 19H	1.42	7.12	5.00	2.12	1.00	1.40	8.79	6.60	5.96	83.6	26.2	
25D 22H	1.45	6.80	5.08	2.81	1.02	1.42	9.06	6.82	6.07	74.7	23.8	
26D 1H	1.40	7.15	5.00	2.37	0.97	1.38	8.83	6.66	6.00	80.8	24.3	
26D 4H	1.42	7.10	4.98	2.86	1.01	1.40	8.33	6.82	6.10	65.0	24.8	
26D 7H	1.11	7.07	5.29	2.04	0.78	1.11	8.75	6.77	6.13	51.8	26.9	
26D 10H	1.07	6.78	4.79	2.20	0.75	1.05	8.06	6.32	5.69	64.5	27.6	
26D 13H	1.08	6.48	4.56	1.86	0.79	1.10	9.22	6.31	5.65	55.5	23.3	
26D 16H	1.00	6.50	4.95	1.69	0.70	1.00	8.05	6.36	5.67	42.8	17.7	

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Jul. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{\max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{\max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
26D 19H	1.10	6.53	5.24	1.73	0.77	1.10	8.46	6.79	6.13	40.7	20.2
26D 22H	1.12	7.45	5.71	1.54	0.76	1.09	10.90	7.45	6.71	31.0	16.9
27D 1H	1.19	7.44	5.81	1.86	0.83	1.17	10.00	7.46	6.72	33.8	16.3
27D 4H	1.36	8.60	5.95	2.20	0.95	1.34	9.86	8.14	7.51	31.5	15.1
27D 7H	1.19	8.66	6.03	2.28	0.82	1.18	11.26	8.07	7.55	33.4	14.2
27D 12H	1.14	8.63	5.26	1.79	0.81	1.11	9.75	7.58	6.85	42.9	26.7
27D 15H	1.28	8.70	5.44	2.21	0.87	1.25	9.85	8.06	7.38	34.2	19.6
27D 18H	1.16	7.47	4.63	1.57	0.82	1.14	10.77	6.79	5.91	36.7	19.8
27D 21H	0.99	7.71	4.77	1.63	0.70	0.97	9.54	7.04	6.02	34.5	26.8
28D 3H	1.17	7.46	5.22	1.71	0.81	1.14	9.44	7.14	6.49	39.4	17.8
28D 6H	1.22	7.77	4.96	2.05	0.87	1.18	8.55	6.83	5.91	39.5	16.3
28D 9H	0.91	5.24	4.50	1.53	0.65	0.89	9.09	6.26	5.33	27.7	29.8
28D 12H	0.75	7.08	4.98	1.43	0.53	0.74	8.45	6.61	5.83	36.6	26.2
28D 15H	0.96	7.76	5.82	1.88	0.67	0.94	9.86	7.64	6.93	81.2	31.1
28D 18H	1.07	6.55	5.75	1.72	0.75	1.05	9.94	7.22	6.46	69.1	35.4
28D 21H	0.99	6.52	5.50	1.50	0.70	0.97	8.71	6.99	6.15	35.3	26.2
29D 3H	0.88	6.57	5.67	1.47	0.62	0.86	9.65	7.41	6.63	60.7	31.6
29D 9H	1.31	8.65	7.00	2.16	0.90	1.28	12.24	8.89	7.87	29.7	12.5
29D 12H	1.59	10.26	7.30	2.45	1.13	1.56	13.27	9.73	8.82	33.6	15.7
29D 15H	1.17	9.19	6.19	1.75	0.82	1.16	11.92	8.88	8.12	34.7	21.4
29D 18H	1.22	9.62	6.02	1.96	0.84	1.19	11.44	8.80	8.10	36.3	17.9
29D 21H	1.15	9.69	5.42	2.06	0.79	1.11	10.84	8.05	7.28	36.4	19.8
30D 3H	1.23	9.18	4.99	2.06	0.86	1.20	10.31	7.47	6.61	36.9	29.7
30D 6H	1.39	9.16	4.93	2.04	0.98	1.35	10.68	6.74	5.82	11.9	16.4
30D 9H	1.46	5.60	5.18	2.30	1.02	1.42	9.81	6.99	6.23	14.1	17.8
30D 12H	1.79	6.01	5.13	3.43	1.24	1.74	10.36	6.69	6.01	12.4	14.8
30D 15H	1.60	8.24	5.14	2.76	1.13	1.55	9.45	6.97	6.15	41.1	28.6
30D 18H	1.37	7.47	6.00	2.02	0.97	1.34	10.38	7.99	6.95	59.0	46.6
30D 21H	1.45	7.78	6.38	2.31	1.03	1.41	10.02	8.24	7.21	41.2	31.9
31D 3H	1.30	8.58	6.86	1.96	0.90	1.28	11.10	8.63	7.64	25.5	25.0
31D 6H	1.25	7.85	6.62	1.87	0.86	1.22	10.63	8.22	7.42	34.5	27.5
31D 9H	1.18	7.48	6.30	1.85	0.83	1.17	10.81	8.01	7.18	36.4	28.1

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Aug. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
4D 15H	0.70	6.50	4.69	1.19	0.50	0.70	7.81	6.01	5.36	54.3	22.9
4D 18H	0.60	6.50	4.99	1.06	0.43	0.60	8.82	6.45	5.53	48.3	24.0
5D 3H	0.55	6.01	4.25	0.94	0.40	0.56	7.37	5.60	4.85	55.6	32.4
5D 6H	0.53	4.76	4.15	0.94	0.38	0.53	8.40	5.51	4.68	64.5	28.1
5D 9H	0.58	5.60	4.63	0.95	0.41	0.57	7.86	5.85	5.15	56.3	20.5
5D 12H	0.50	5.44	4.22	0.78	0.37	0.51	7.18	5.41	4.70	50.2	37.2
5D 15H	0.45	6.02	3.78	0.88	0.34	0.47	8.27	5.15	4.24	76.3	47.3
5D 18H	0.45	6.03	3.88	0.79	0.33	0.46	7.45	5.20	4.36	89.3	38.1
5D 21H	0.40	5.82	4.32	0.78	0.29	0.41	8.10	5.56	4.94	73.2	37.7
6D 3H	0.53	5.58	3.75	1.01	0.39	0.55	7.29	4.90	4.12	62.1	32.5
6D 6H	0.54	6.00	3.62	0.89	0.40	0.55	6.60	4.78	4.04	64.3	32.1
6D 9H	0.59	2.94	3.44	1.02	0.43	0.59	7.17	4.55	3.73	46.8	28.2
6D 12H	0.53	5.22	3.90	0.94	0.38	0.53	6.83	4.98	4.35	60.8	27.9
6D 15H	0.58	4.15	3.75	1.02	0.43	0.59	6.61	4.78	4.17	73.8	34.8
6D 18H	0.65	4.50	3.64	1.12	0.48	0.66	7.00	4.50	3.97	60.6	34.9
6D 21H	0.61	4.40	3.87	1.10	0.46	0.63	6.58	4.86	4.29	59.4	29.4
7D 3H	0.57	4.76	3.92	1.01	0.42	0.57	6.87	4.92	4.28	70.3	31.3
7D 6H	0.58	4.64	3.87	0.88	0.43	0.59	6.84	5.05	4.40	64.5	33.3
7D 9H	0.52	4.50	3.77	1.04	0.40	0.55	6.91	4.98	4.07	64.7	43.0
7D 12H	0.51	5.61	3.96	0.81	0.39	0.53	8.18	5.43	4.54	42.4	35.2
7D 15H	0.65	6.80	4.59	1.18	0.47	0.64	8.59	6.26	5.53	37.9	18.2
7D 18H	0.60	6.04	4.25	1.16	0.44	0.61	8.08	6.00	5.27	37.3	20.7
7D 21H	0.64	7.10	4.11	0.96	0.46	0.65	9.24	5.98	5.15	36.1	20.4
8D 3H	0.85	6.52	3.94	1.26	0.61	0.83	8.14	5.47	4.45	44.6	20.6
8D 6H	0.96	6.27	4.06	1.53	0.68	0.93	7.79	5.54	4.66	41.3	22.0
8D 9H	0.74	6.02	4.37	1.17	0.52	0.72	9.15	6.27	5.32	43.4	28.0
8D 12H	0.66	7.76	5.21	1.15	0.46	0.65	9.56	7.12	6.30	49.3	23.4
8D 15H	0.64	7.82	5.04	1.07	0.46	0.62	9.49	7.09	6.17	56.9	34.3
8D 18H	0.81	5.07	4.86	1.49	0.57	0.79	8.24	6.18	5.32	100.2	29.4
8D 21H	0.78	5.40	5.10	1.22	0.55	0.75	9.69	6.70	5.67	96.8	36.1
9D 3H	0.72	7.41	4.71	1.11	0.50	0.70	8.54	6.13	5.32	102.7	38.0
9D 6H	0.76	4.78	4.76	1.30	0.54	0.74	8.48	6.18	5.22	79.6	40.5

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon Aug. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{\max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{\max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
9D 9H	0.81	4.76	4.40	1.54	0.57	0.80	8.72	5.69	4.99	45.6	35.6
9D 12H	0.72	4.40	4.45	1.20	0.52	0.71	8.64	5.91	5.05	68.3	37.8
9D 15H	0.69	6.54	4.50	1.13	0.50	0.69	8.70	6.09	5.23	35.5	30.0
9D 18H	0.74	6.53	4.70	1.22	0.54	0.73	9.01	6.39	5.51	42.6	26.5
9D 21H	0.82	6.27	4.46	1.46	0.59	0.82	9.32	6.10	5.44	36.7	30.2
10D 3H	0.80	6.52	4.34	1.43	0.59	0.80	8.01	5.52	4.87	44.3	35.2
10D 6H	1.12	4.63	4.21	1.80	0.81	1.12	8.12	5.38	4.76	33.4	28.5
10D 9H	1.35	5.07	4.63	2.11	0.97	1.35	7.98	5.81	5.13	66.8	31.6
12D 20H	0.66	8.18	5.59	1.17	0.46	0.65	10.34	7.72	6.91	50.3	24.8
12D 23H	0.66	7.80	5.85	1.00	0.47	0.65	10.78	8.06	7.04	50.2	24.9
13D 11H	0.64	4.77	4.03	1.09	0.46	0.64	9.56	5.70	4.87	99.6	20.4
13D 17H	0.81	5.07	4.39	1.52	0.58	0.80	8.38	5.77	5.10	133.2	33.5
13D 20H	0.78	6.03	4.26	1.43	0.56	0.78	7.54	5.84	4.97	148.6	24.5
13D 23H	0.83	5.78	4.56	1.27	0.60	0.82	9.17	6.10	5.37	143.9	28.8
14D 2H	0.70	5.24	4.79	1.12	0.50	0.70	8.48	6.23	5.45	133.3	29.0
14D 5H	0.73	6.00	4.68	1.25	0.52	0.72	8.04	6.14	5.53	120.5	40.0
14D 11H	0.64	4.92	4.82	0.88	0.45	0.62	9.80	6.42	5.63	36.2	48.8
14D 14H	0.55	7.83	5.13	1.01	0.39	0.54	10.29	7.10	5.99	40.7	31.4
14D 17H	0.55	5.42	5.21	1.02	0.39	0.54	9.25	7.13	6.15	46.5	29.5
14D 20H	0.56	6.78	5.28	0.81	0.40	0.55	10.24	7.52	6.34	57.1	29.4
14D 23H	0.57	5.82	5.05	0.87	0.41	0.56	10.02	7.00	5.92	49.0	23.7
15D 2H	0.49	7.46	4.83	0.76	0.35	0.48	9.56	6.57	5.59	42.0	24.3
15D 5H	0.41	6.27	4.89	0.73	0.29	0.41	10.43	7.22	6.11	49.3	22.7
15D 8H	0.44	9.10	5.02	0.77	0.31	0.43	9.82	7.45	6.46	48.9	25.8
15D 11H	0.41	7.76	5.11	0.73	0.29	0.41	9.58	7.55	6.50	57.8	31.8
15D 14H	0.45	7.09	4.75	0.79	0.32	0.44	10.36	6.78	5.85	45.3	29.4
15D 17H	0.55	7.13	4.37	0.89	0.39	0.55	8.91	6.17	5.27	53.3	32.9
15D 20H	0.51	5.43	4.43	0.82	0.37	0.50	8.47	6.08	5.20	49.4	25.3
15D 23H	0.47	6.02	3.93	0.70	0.34	0.46	9.06	5.40	4.57	48.2	26.1
16D 2H	0.36	7.78	4.50	0.62	0.26	0.36	10.20	6.51	5.31	53.2	34.9
16D 5H	0.34	7.42	4.98	0.67	0.24	0.34	9.46	6.61	5.84	54.5	38.1

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Aug. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(<i>m</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>deg</i>)	(<i>deg</i>)
16D 8H	0.41	6.47	4.54	0.71	0.30	0.41	8.38	6.36	5.67	52.0	27.5
16D 11H	0.41	6.03	4.96	0.64	0.29	0.41	8.35	6.60	6.07	57.1	40.1
16D 14H	0.37	6.52	4.98	0.71	0.27	0.38	8.52	6.36	5.73	59.4	39.9
16D 17H	0.34	6.78	4.61	0.68	0.25	0.36	10.20	6.12	5.48	56.2	36.3
16D 20H	0.40	7.07	3.85	0.66	0.29	0.40	8.06	5.43	4.38	58.9	41.1
16D 23H	0.37	3.94	3.96	0.71	0.26	0.36	7.62	5.42	4.42	139.0	29.2
17D 2H	0.32	6.27	4.11	0.50	0.23	0.32	7.70	5.61	4.79	88.1	41.2
17D 5H	0.31	6.53	4.39	0.47	0.22	0.30	9.64	6.06	5.15	85.3	44.2
17D 8H	0.31	5.82	4.11	0.49	0.23	0.31	7.76	5.77	4.87	72.3	38.8
17D 11H	0.28	5.42	4.18	0.49	0.20	0.28	8.25	5.61	4.81	63.1	42.1
17D 14H	0.26	5.84	4.00	0.51	0.22	0.30	8.23	4.93	4.02	80.9	40.3
17D 18H	0.32	2.74	3.17	0.61	0.25	0.34	7.39	4.42	3.42	140.3	22.0
17D 21H	0.25	6.27	3.78	0.43	0.19	0.26	8.87	5.17	4.10	76.5	41.1
18D 3H	0.20	6.80	4.11	0.35	0.15	0.21	8.98	6.03	5.00	56.4	39.1
18D 6H	0.21	6.83	3.89	0.40	0.16	0.21	7.94	5.43	4.36	56.6	38.5
18D 9H	0.21	7.10	3.80	0.48	0.15	0.22	8.07	5.42	4.41	79.9	47.3
18D 12H	0.17	7.76	3.75	0.29	0.12	0.17	8.65	5.22	4.16	97.8	45.4
18D 15H	0.16	3.16	3.57	0.32	0.13	0.17	8.50	5.05	3.87	94.9	43.8
18D 18H	0.15	7.80	4.70	0.28	0.11	0.16	10.94	6.45	5.67	74.8	30.0
18D 21H	0.12	6.26	4.54	0.26	0.09	0.13	9.57	5.85	5.02	113.4	47.3
19D 3H	0.12	6.27	4.02	0.20	0.09	0.12	8.27	5.53	4.56	101.3	54.8
19D 6H	0.11	3.17	3.74	0.19	0.09	0.12	10.19	5.33	4.26	53.6	44.6
19D 9H	0.14	3.45	3.53	0.27	0.11	0.15	10.55	4.97	3.81	86.2	43.2
19D 12H	0.12	2.94	3.48	0.22	0.09	0.13	9.82	4.94	3.64	143.0	57.1
19D 15H	0.19	3.58	3.49	0.44	0.14	0.20	7.13	4.47	3.78	132.1	25.8
19D 18H	0.23	3.59	3.62	0.39	0.17	0.24	6.28	4.64	3.77	148.2	24.5
19D 21H	0.16	4.63	3.42	0.32	0.13	0.18	6.57	4.32	3.55	152.1	40.1
20D 3H	0.10	4.15	3.66	0.19	0.07	0.10	10.35	5.17	3.98	139.8	38.8
20D 6H	0.21	5.77	5.12	0.38	0.15	0.22	8.75	6.38	5.71	145.9	19.9
20D 9H	0.27	5.81	4.33	0.44	0.21	0.29	8.75	5.79	5.14	138.7	27.7
20D 12H	0.32	5.08	4.21	0.50	0.24	0.33	7.45	5.47	4.73	148.7	30.1
20D 15H	0.26	4.77	3.94	0.44	0.19	0.26	9.49	5.28	4.49	147.7	30.8
20D 18H	0.21	5.63	4.30	0.34	0.15	0.22	7.42	5.67	4.99	137.1	33.5

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon

Aug. 1993

<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>
	(m)	(sec)	(sec)	(m)	(m)	(m)	(sec)	(sec)	(sec)	(deg)	(deg)
20D 21H	0.17	6.02	4.65	0.34	0.13	0.18	7.81	6.14	5.31	129.2	22.1
21D 3H	0.18	4.36	3.95	0.31	0.14	0.19	7.38	4.76	4.05	120.0	37.3
21D 6H	0.30	2.44	2.86	0.60	0.25	0.34	4.79	3.39	2.77	85.7	25.2
21D 9H	0.41	3.05	3.23	0.81	0.32	0.45	5.82	3.82	3.21	65.9	28.8
21D 12H	1.08	6.02	4.47	2.21	0.77	1.09	8.05	6.16	5.36	109.7	27.8
21D 15H	1.12	6.79	4.65	1.62	0.80	1.10	8.46	6.31	5.50	100.7	26.0
21D 18H	0.88	6.75	4.35	1.38	0.64	0.88	7.94	5.75	5.01	106.0	32.4
21D 21H	0.95	6.49	4.78	1.69	0.68	0.95	9.02	6.21	5.54	105.2	40.5
22D 3H	0.92	6.02	4.58	1.81	0.66	0.91	7.57	5.98	5.37	90.9	36.6
22D 6H	0.85	5.60	4.57	1.44	0.61	0.84	7.28	6.04	5.35	88.6	45.7
22D 9H	0.76	6.06	4.67	1.53	0.54	0.75	8.20	5.99	5.30	79.6	34.8
22D 12H	0.71	5.80	4.16	1.42	0.51	0.70	6.77	5.29	4.69	76.2	41.4
22D 15H	0.56	5.58	4.37	0.82	0.41	0.57	8.40	5.73	5.00	72.7	43.0
22D 18H	0.53	5.23	4.37	1.03	0.38	0.54	7.06	5.63	4.94	54.0	32.3
22D 21H	0.47	5.63	4.68	0.89	0.34	0.47	7.97	5.83	5.10	50.0	42.6
23D 3H	0.33	5.41	4.24	0.58	0.24	0.34	7.81	5.61	4.88	63.8	38.1
23D 6H	0.35	5.80	4.51	0.59	0.25	0.35	7.35	5.83	5.18	41.4	27.2
23D 9H	0.32	5.77	4.61	0.59	0.23	0.32	7.82	5.61	5.09	43.2	29.6
23D 12H	0.42	2.69	3.27	0.68	0.33	0.45	6.75	4.21	3.42	143.5	27.0
23D 15H	0.69	3.22	3.33	1.38	0.53	0.72	6.94	4.05	3.47	154.1	25.2
23D 18H	0.79	3.95	3.56	1.39	0.59	0.81	7.17	4.27	3.79	139.7	21.4
23D 21H	0.56	3.85	3.53	0.88	0.42	0.57	6.91	4.26	3.65	134.0	21.9
24D 3H	0.55	3.23	3.32	0.94	0.41	0.57	6.64	4.09	3.49	140.1	16.4
24D 6H	0.43	4.27	3.70	0.68	0.33	0.45	6.17	4.54	3.95	138.1	23.9
24D 9H	0.46	3.24	3.30	1.04	0.36	0.49	5.98	4.14	3.46	130.2	23.8
24D 23H	0.37	5.40	3.54	0.66	0.29	0.40	6.40	4.57	3.86	134.4	34.2
25D 2H	0.30	5.08	3.64	0.48	0.23	0.31	6.71	4.64	3.92	117.3	32.5
25D 5H	0.26	5.41	3.86	0.45	0.19	0.27	6.40	4.80	4.24	128.9	27.6
25D 8H	0.26	5.23	3.81	0.49	0.19	0.27	6.82	4.97	4.24	128.6	35.5
25D 11H	0.29	4.65	3.48	0.50	0.22	0.30	6.78	4.71	3.79	143.9	28.3
25D 14H	0.28	4.05	3.62	0.46	0.21	0.29	7.61	4.75	3.89	139.8	29.6
25D 17H	0.25	2.52	3.39	0.41	0.20	0.28	6.64	4.51	3.73	131.1	30.3

Table A.1.4 (Cont'd).

Site : Chukpyon		Aug. 1993										
<i>Time</i>	H_s	T_p	T_z	H_{\max}	H_{rms}	$H_{1/3}$	T_{\max}	$T_{1/3}$	$T_{H_{1/3}}$	<i>Dir.</i>	<i>Spr.</i>	
	(<i>m</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>m</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>sec</i>)	(<i>deg</i>)	(<i>deg</i>)	
25D 20H	0.32	4.27	3.90	0.61	0.23	0.32	7.10	4.98	4.15	139.1	23.6	
25D 23H	0.64	3.58	3.41	1.32	0.48	0.67	6.71	4.30	3.48	5.8	28.7	
26D 2H	0.51	4.16	3.66	0.86	0.38	0.52	7.49	4.70	3.92	24.3	52.0	
26D 5H	0.50	4.04	3.65	0.86	0.38	0.52	6.46	4.58	3.93	7.3	25.7	
26D 8H	0.49	4.37	3.86	0.99	0.36	0.51	6.35	4.80	4.12	63.2	37.1	
26D 11H	0.48	4.78	3.96	1.07	0.35	0.48	7.09	4.96	4.31	33.0	31.1	

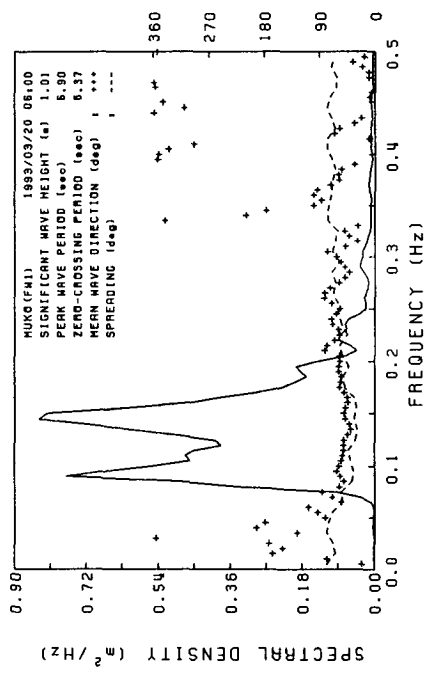
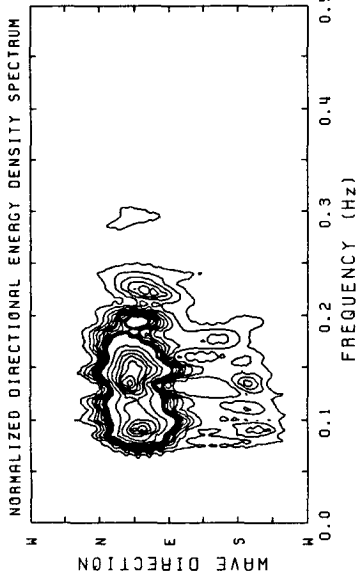
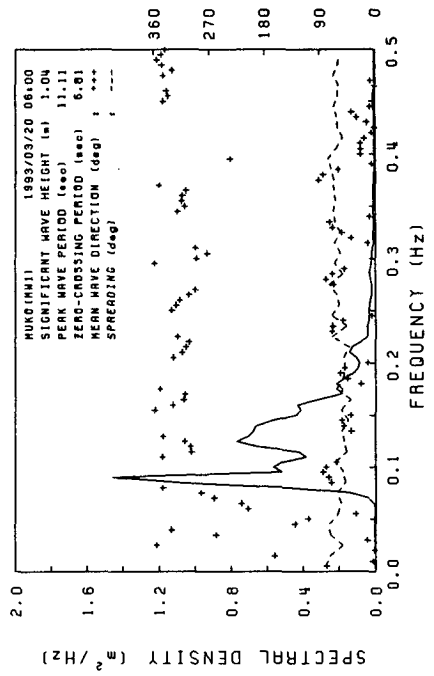
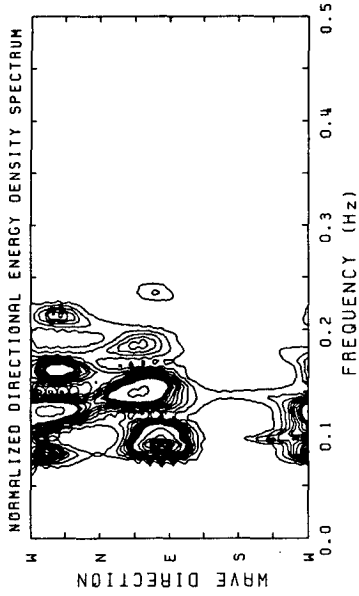


Fig. B.1.1 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W1).

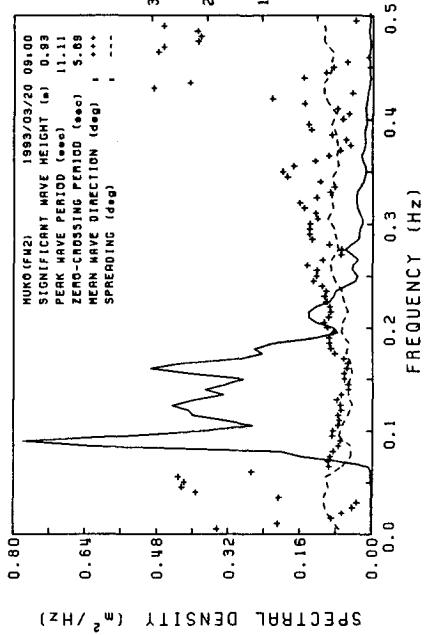
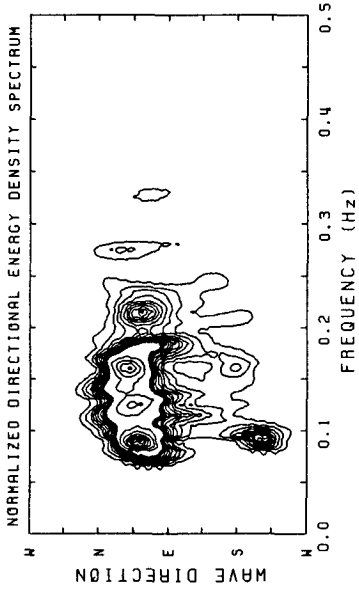
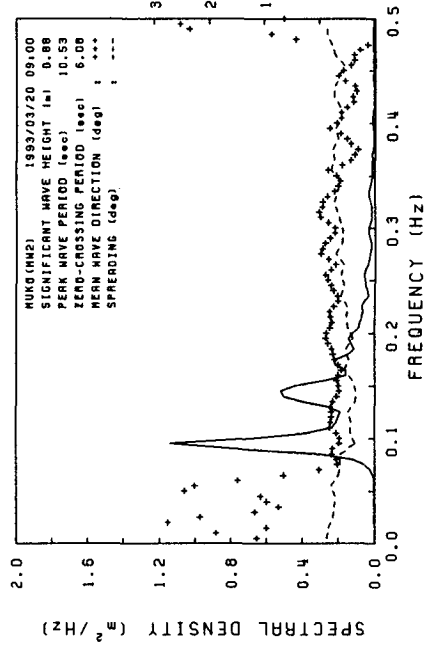
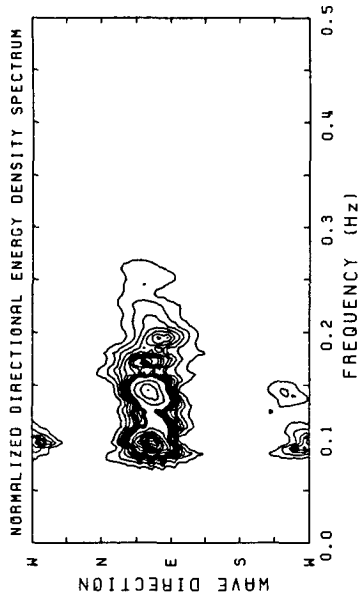


Fig. B.1.2 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor (station W2).

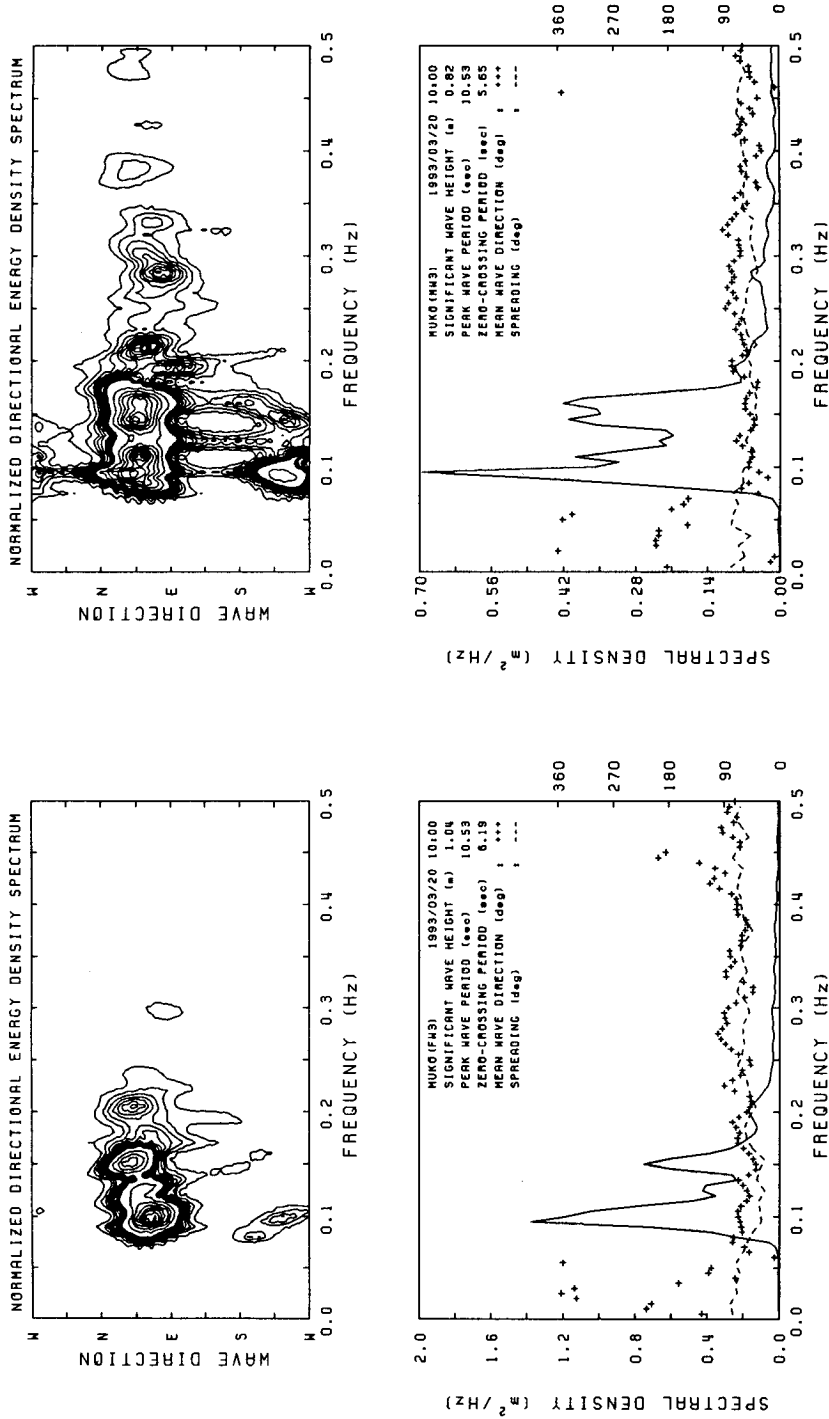


Fig. B.1.3 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W3).

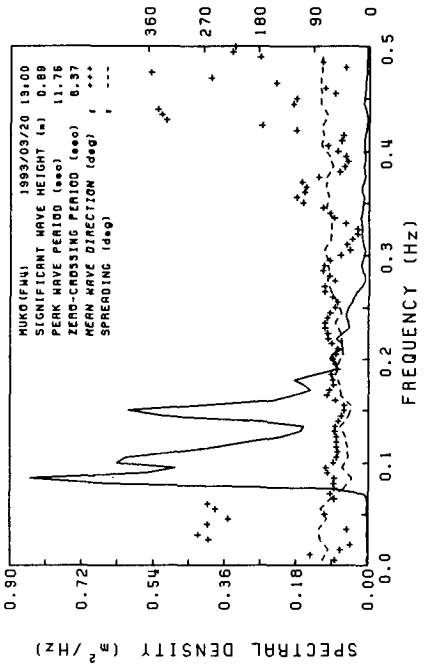
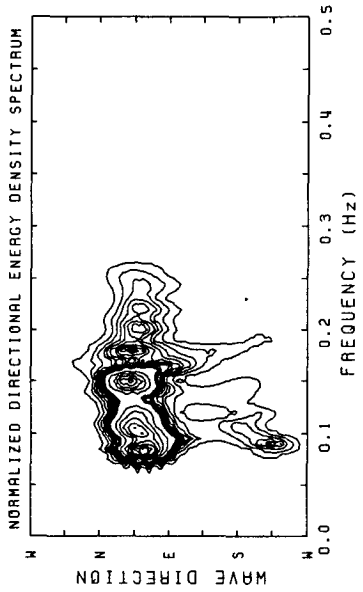
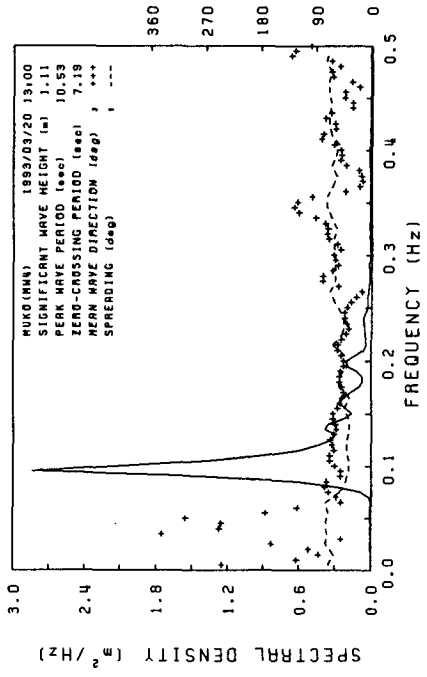
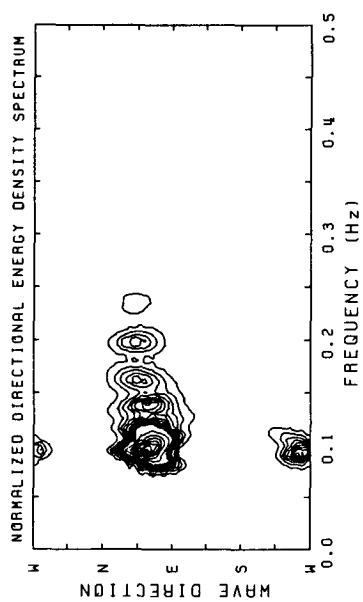


Fig. B.1.4 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W4).

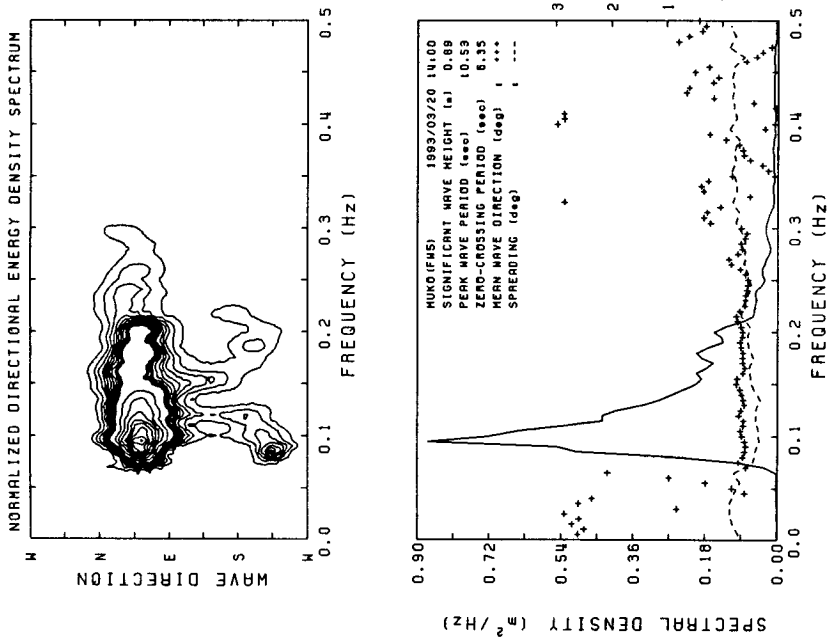
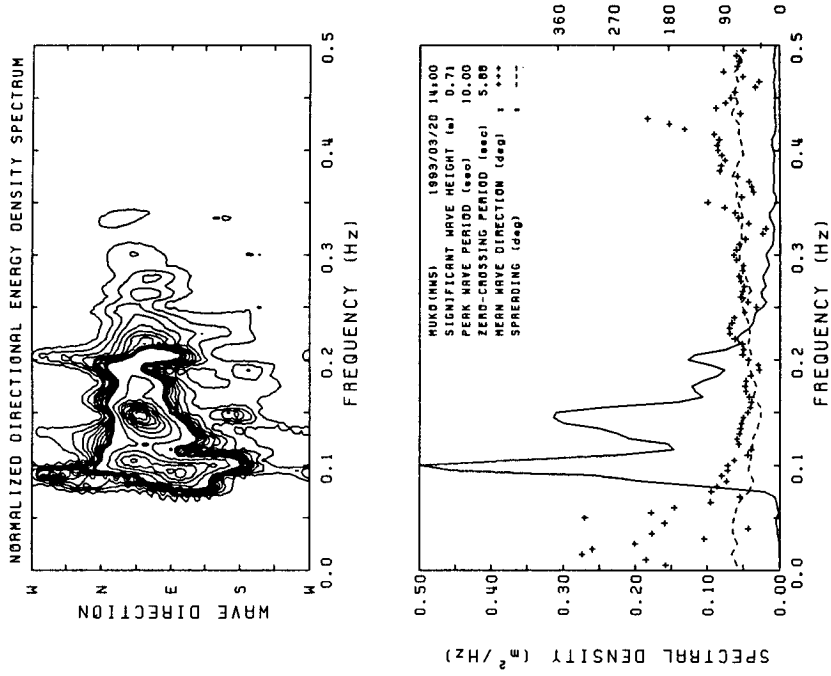


Fig. B.1.5 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W5).

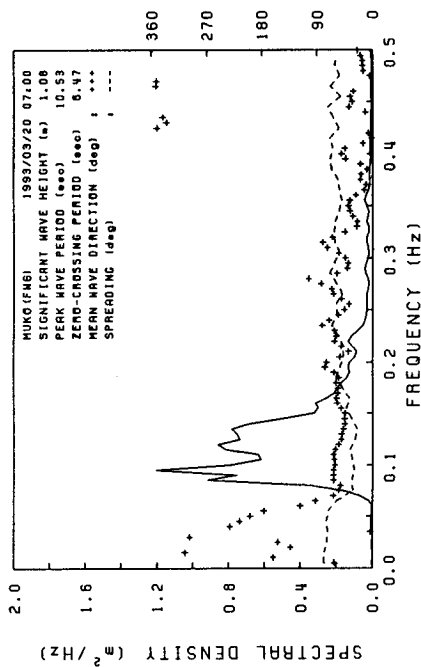
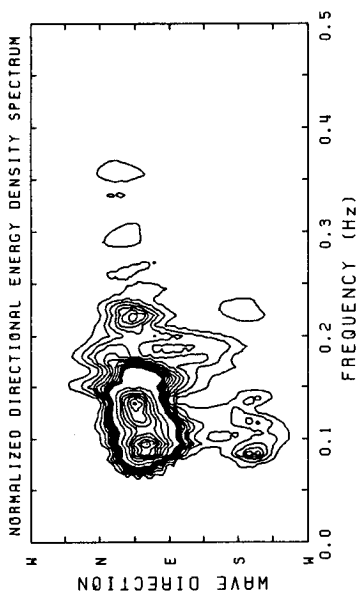
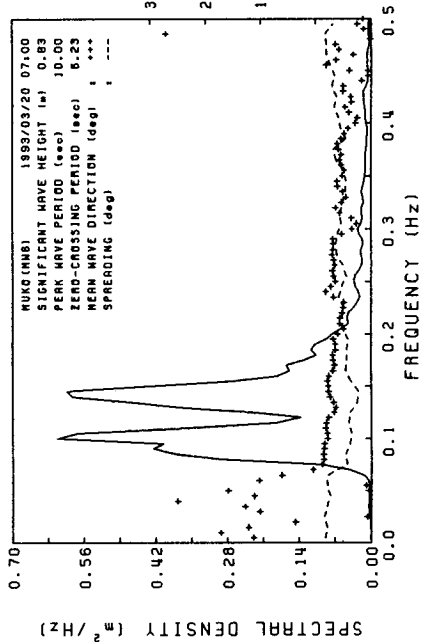
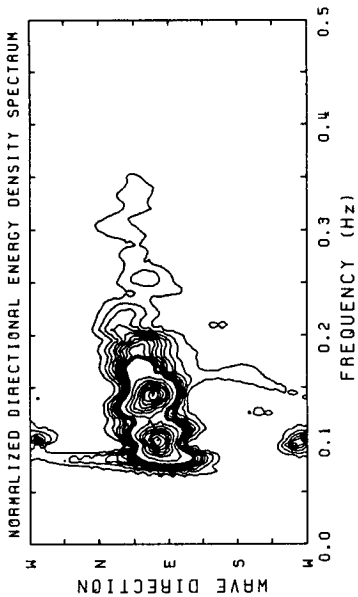


Fig. B.1.6 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W6).

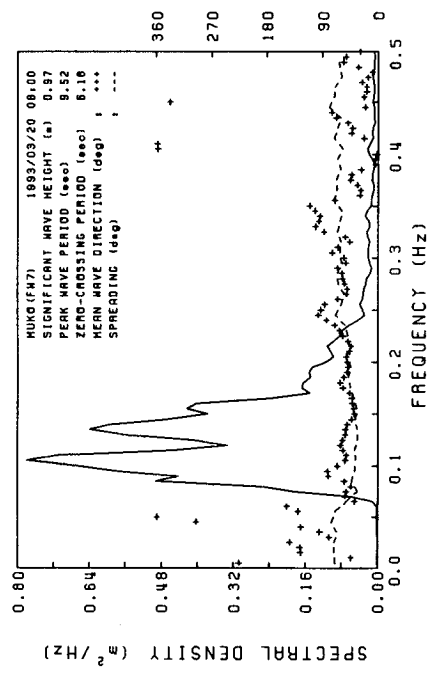
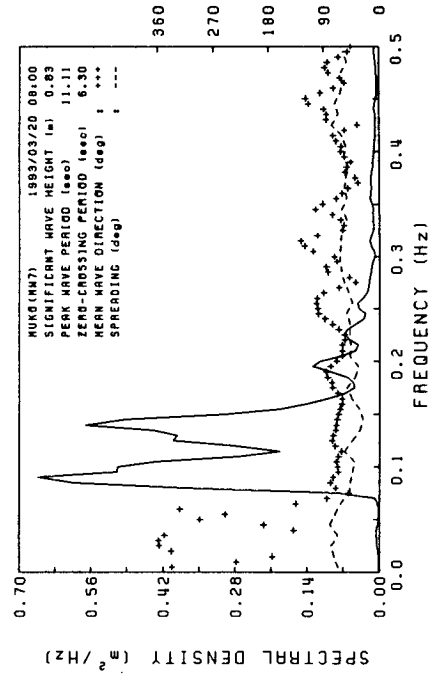
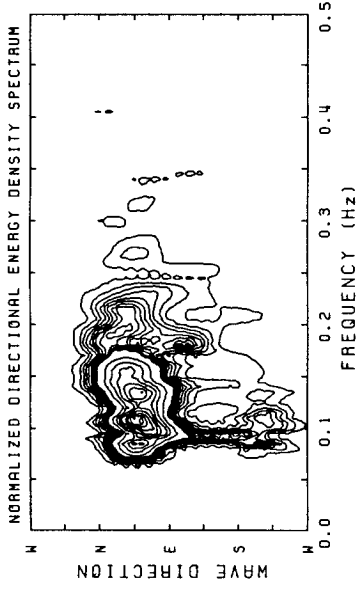
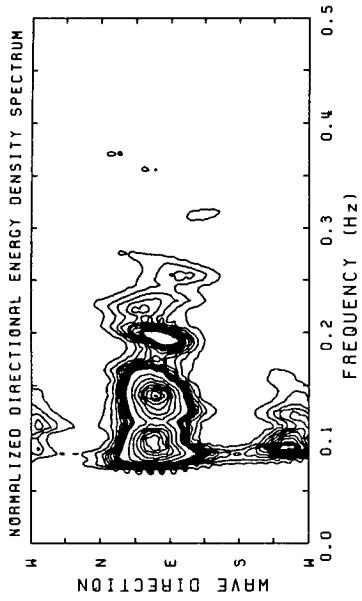


Fig. B.1.7 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W7).

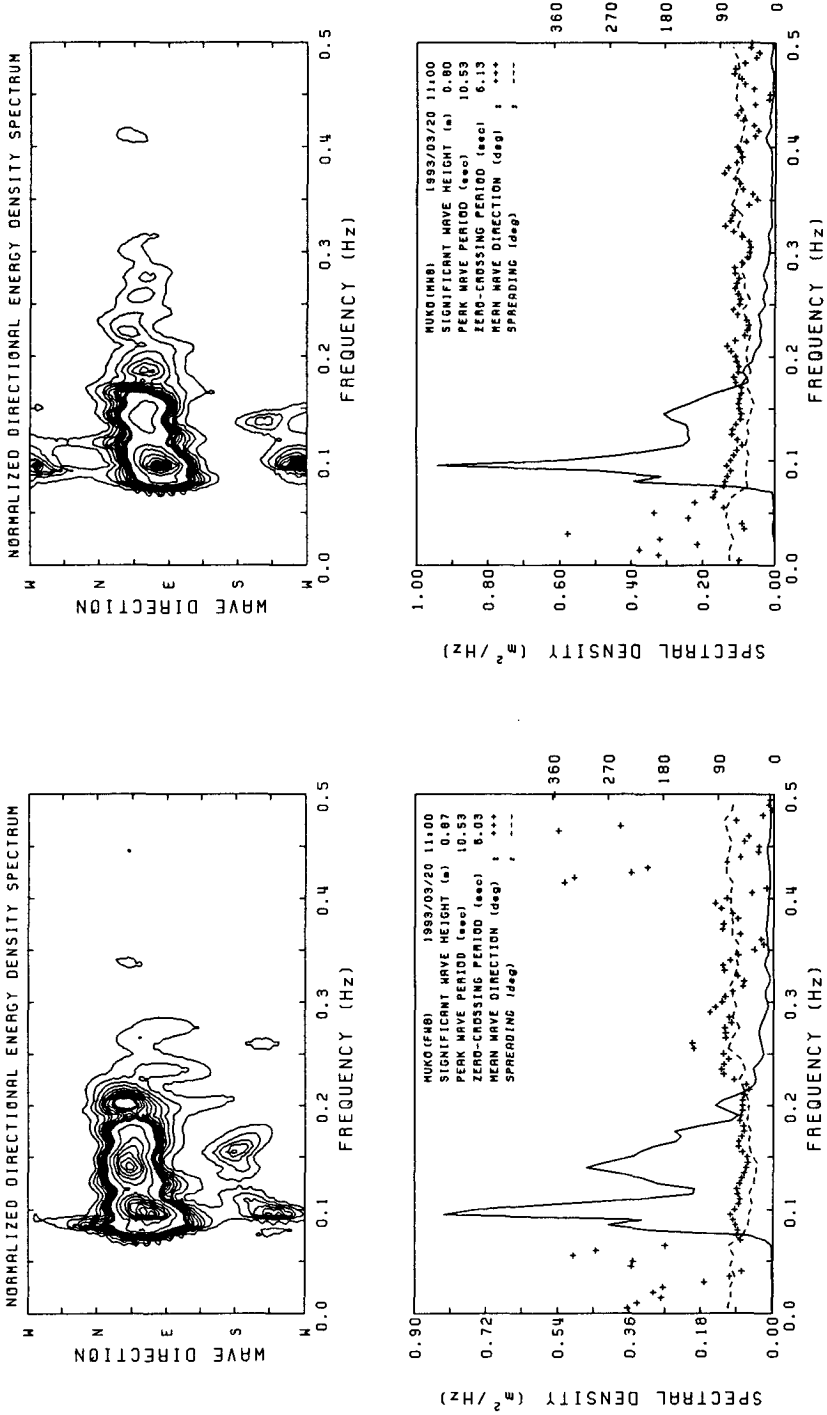


Fig. B.1.8 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W8).

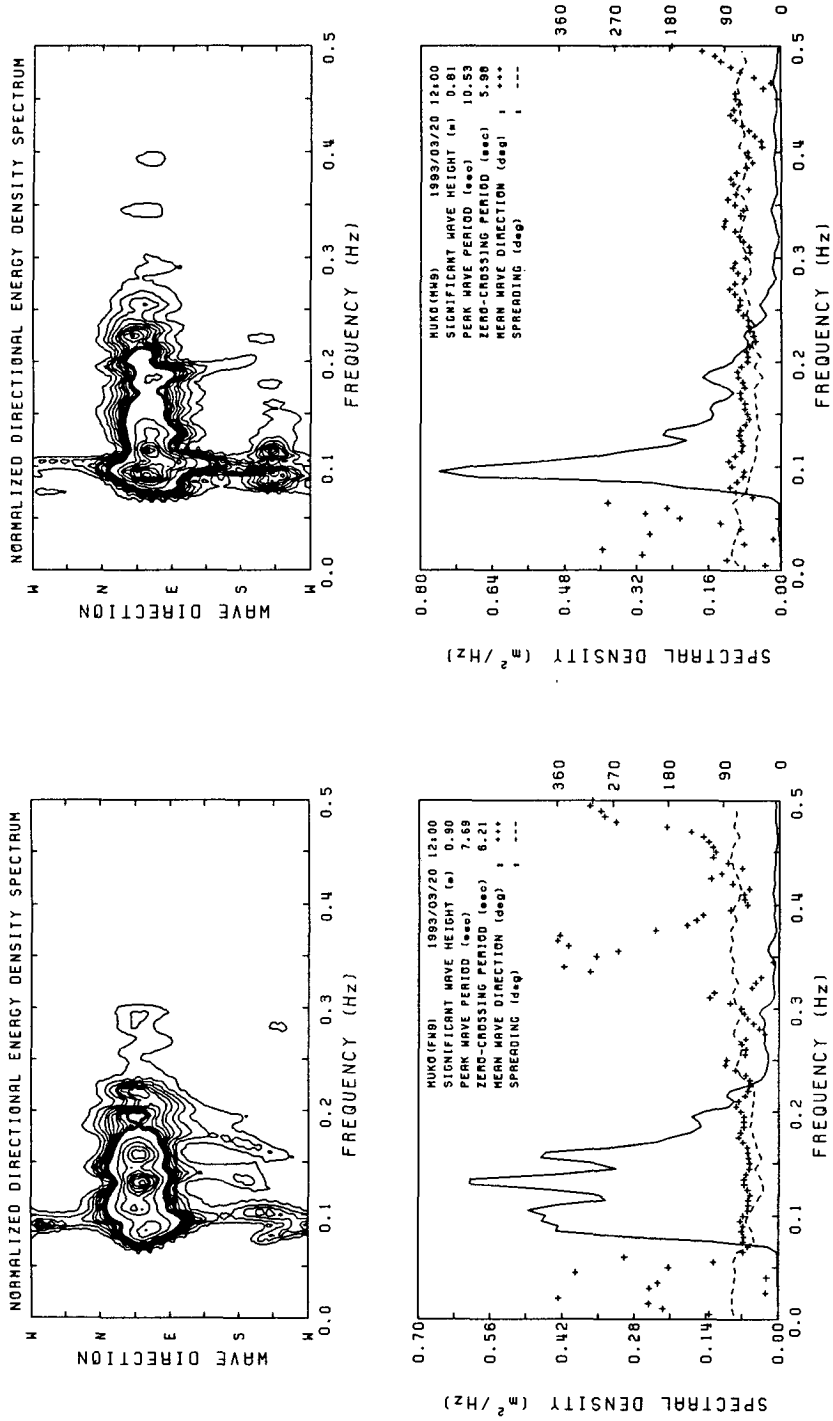


Fig. B.1.9 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W9).

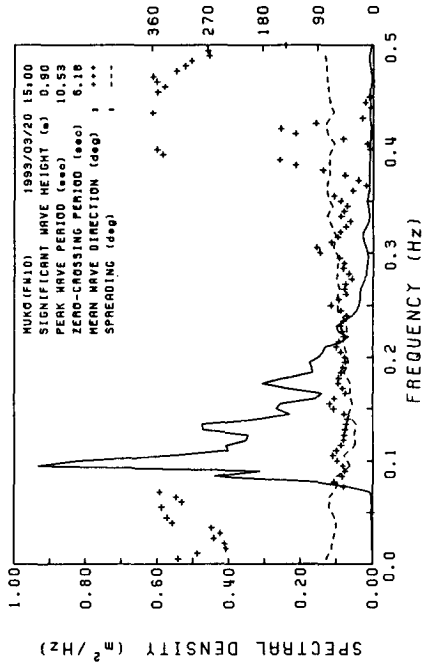
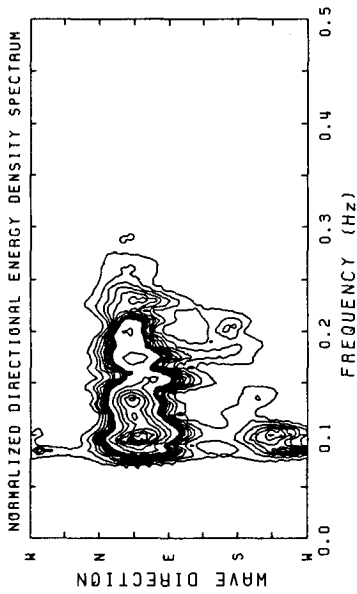
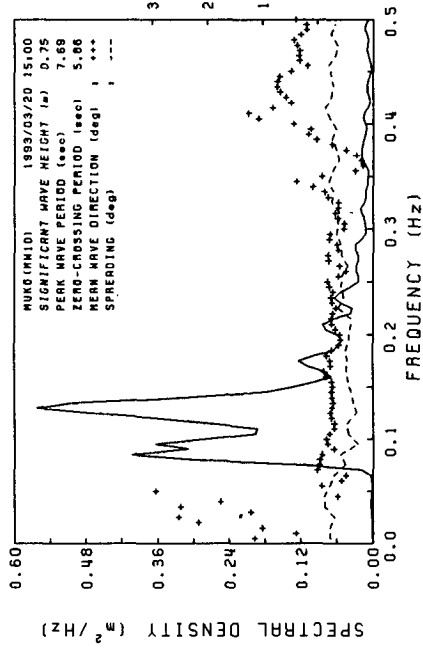
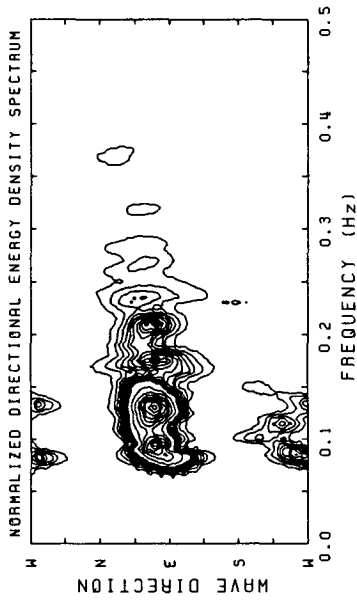


Fig. B.1.10 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W10).

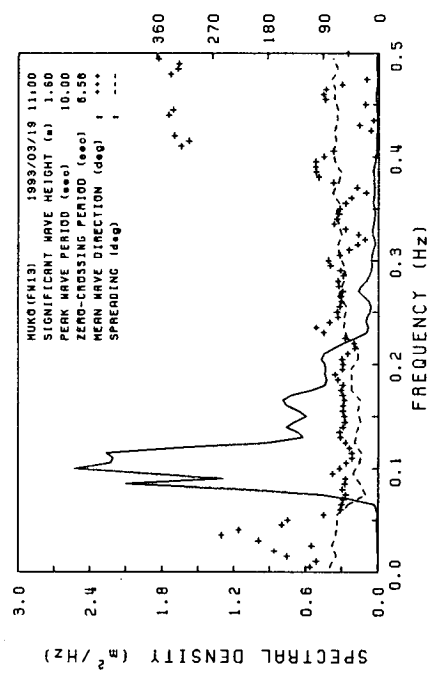
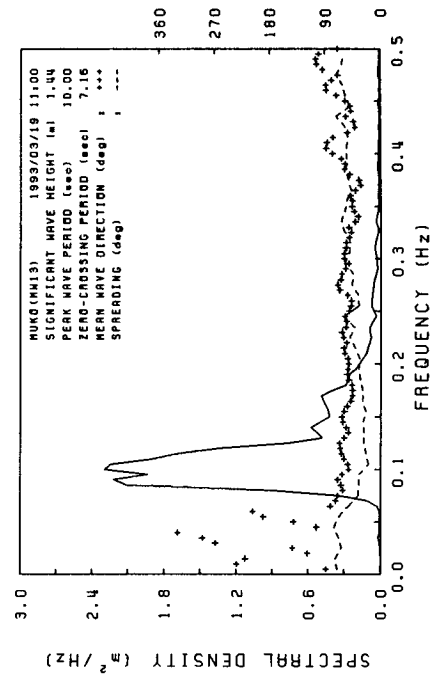
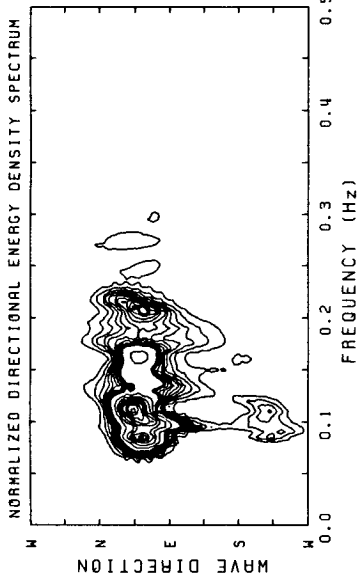
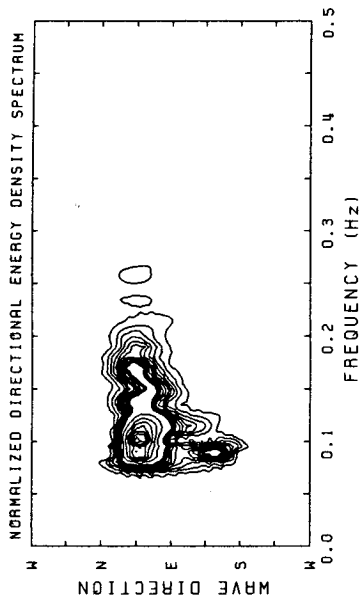


Fig. B.1.11 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Muko Harbor(station W13).

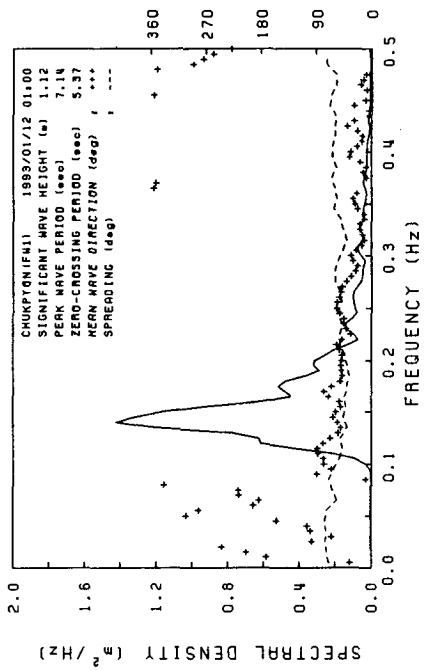
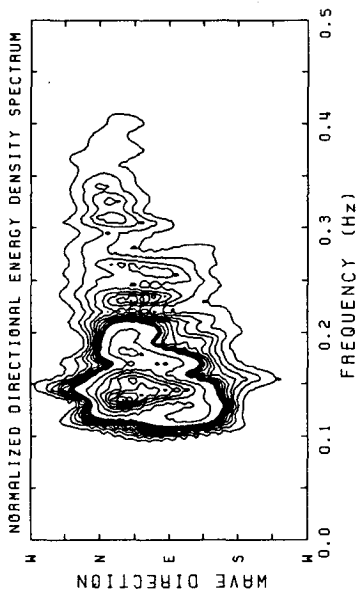
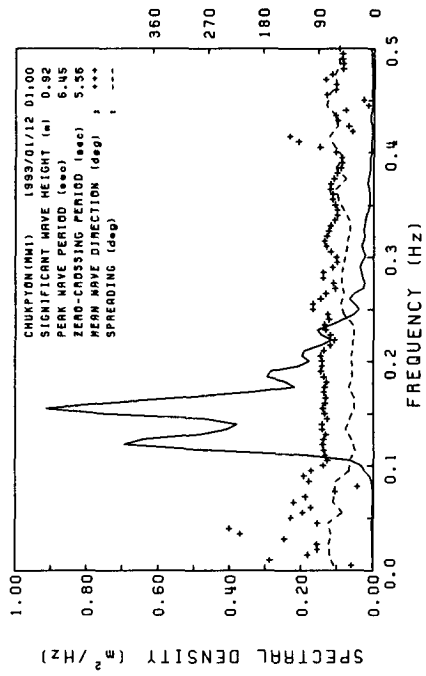
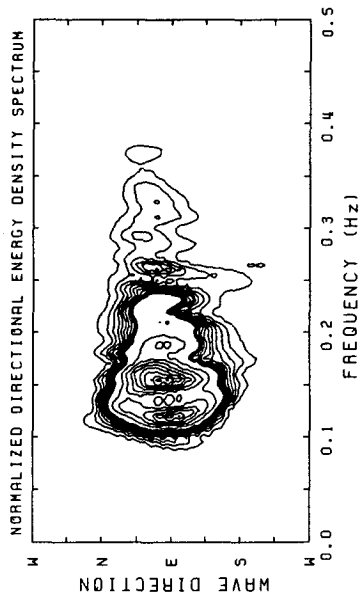


Fig. B.1.12 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W1).

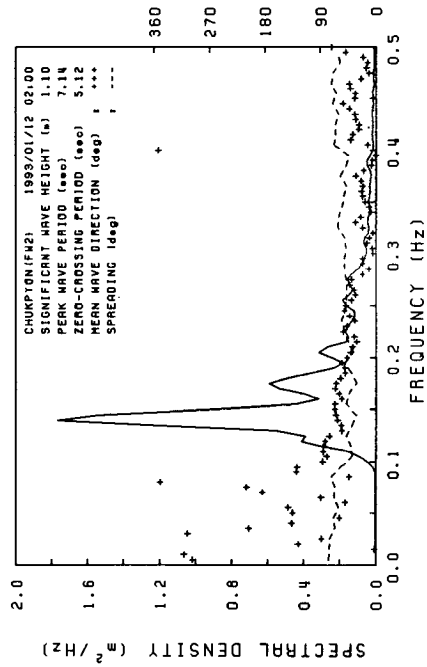
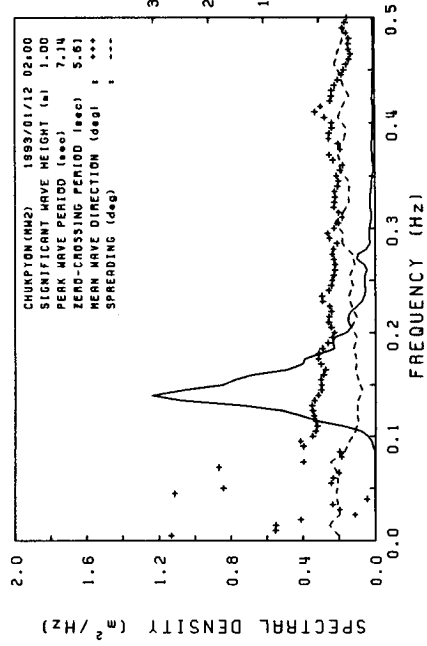
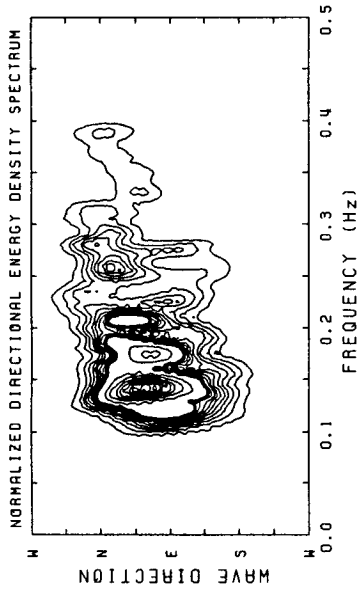
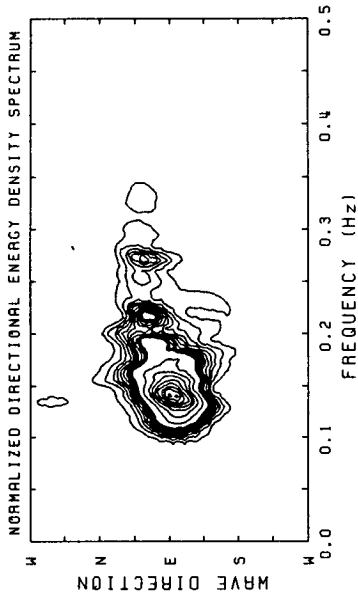


Fig. B.1.13 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W2).

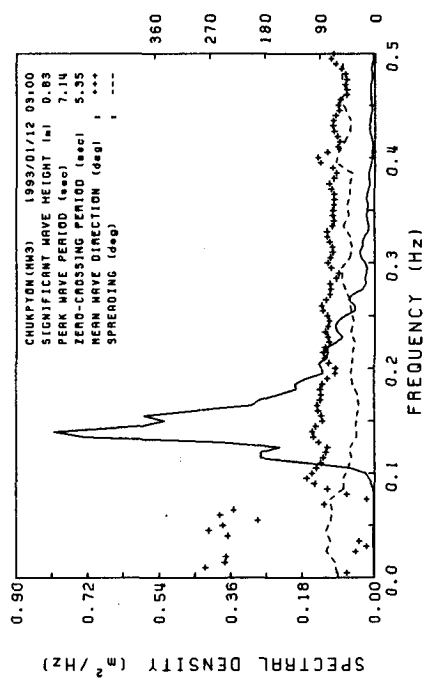
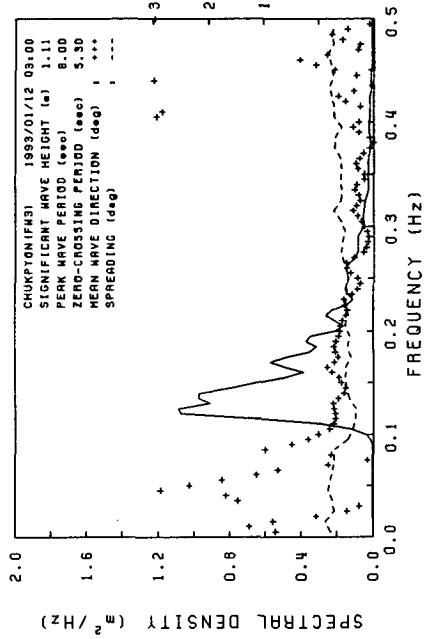
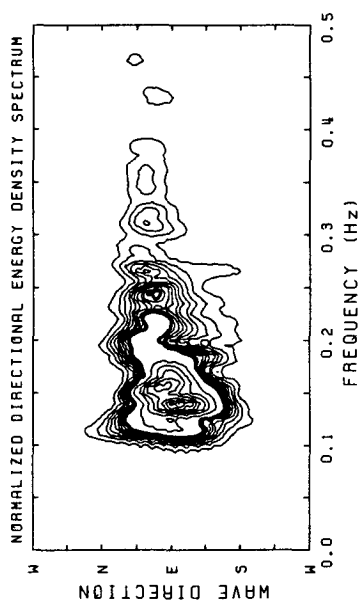
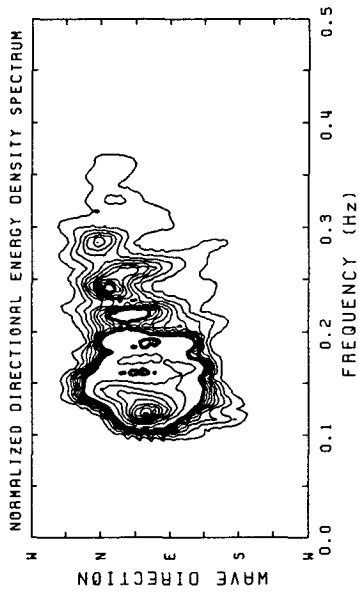


Fig. B.1.14 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W3).

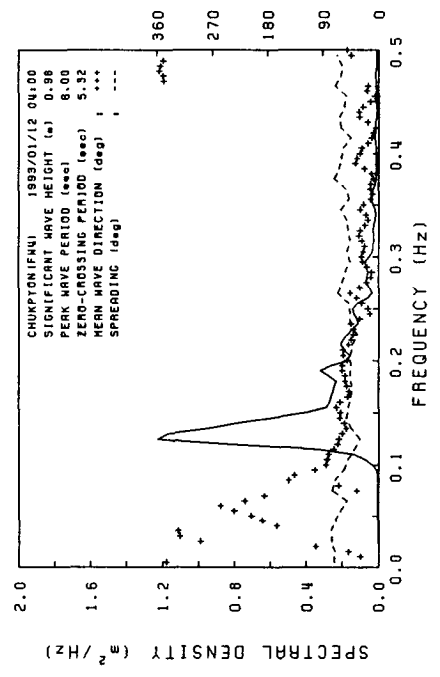
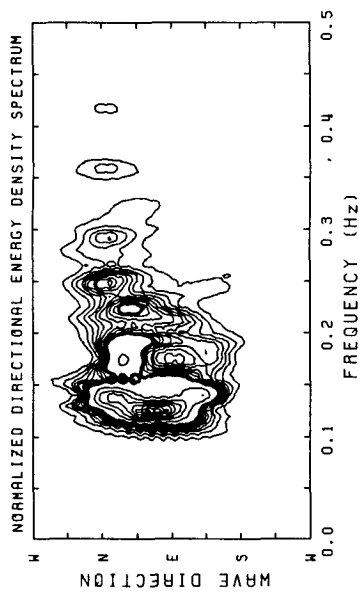
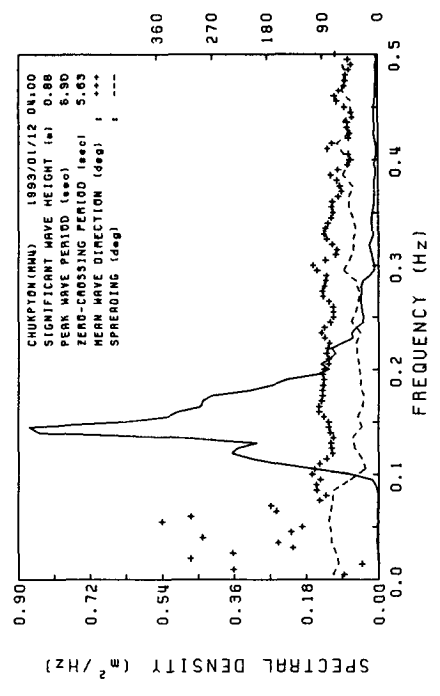
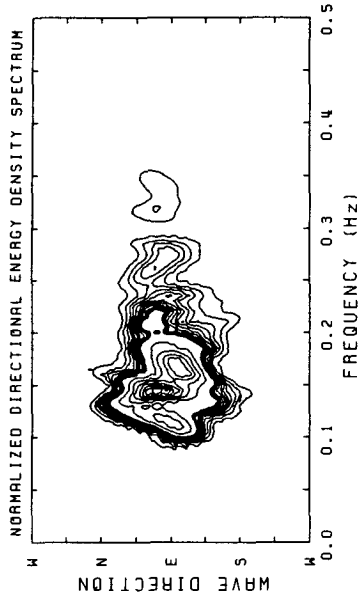


Fig. B.1.15 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W4).

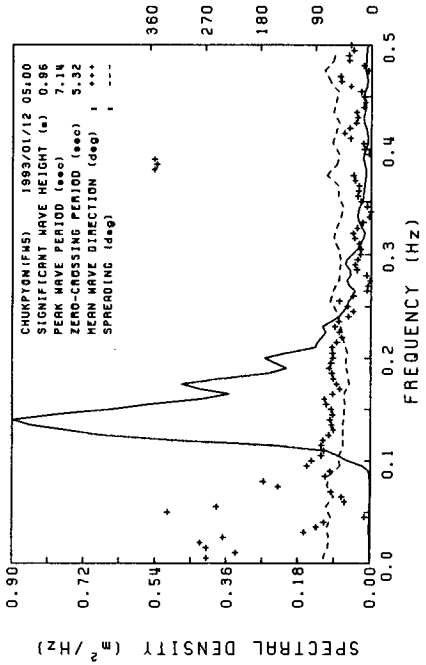
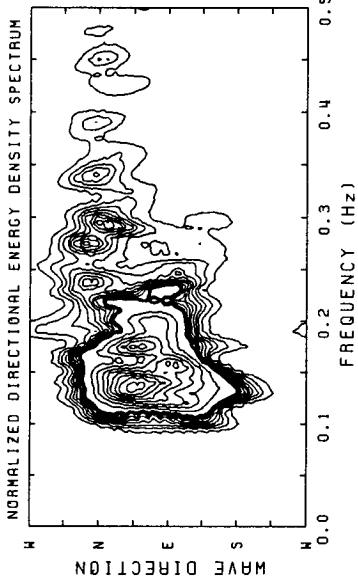
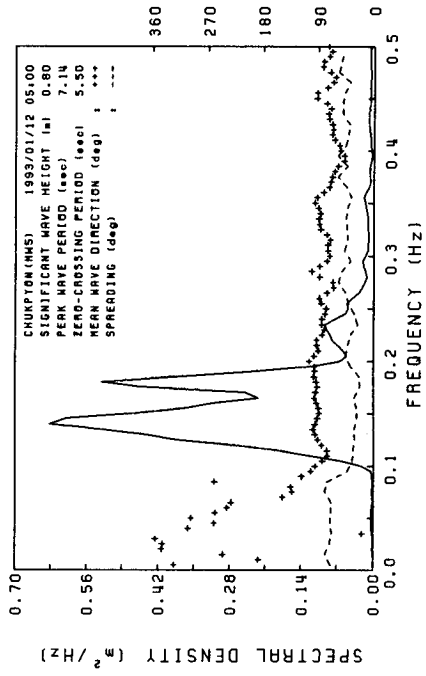
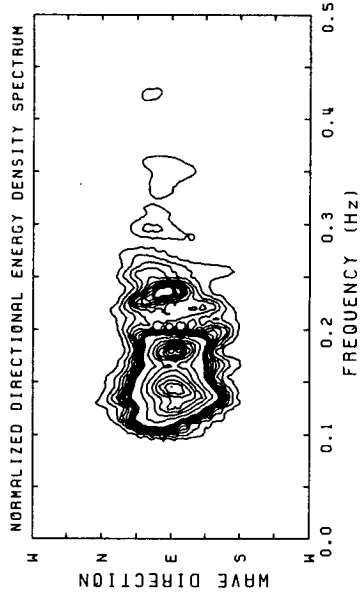


Fig. B.1.16 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W5).

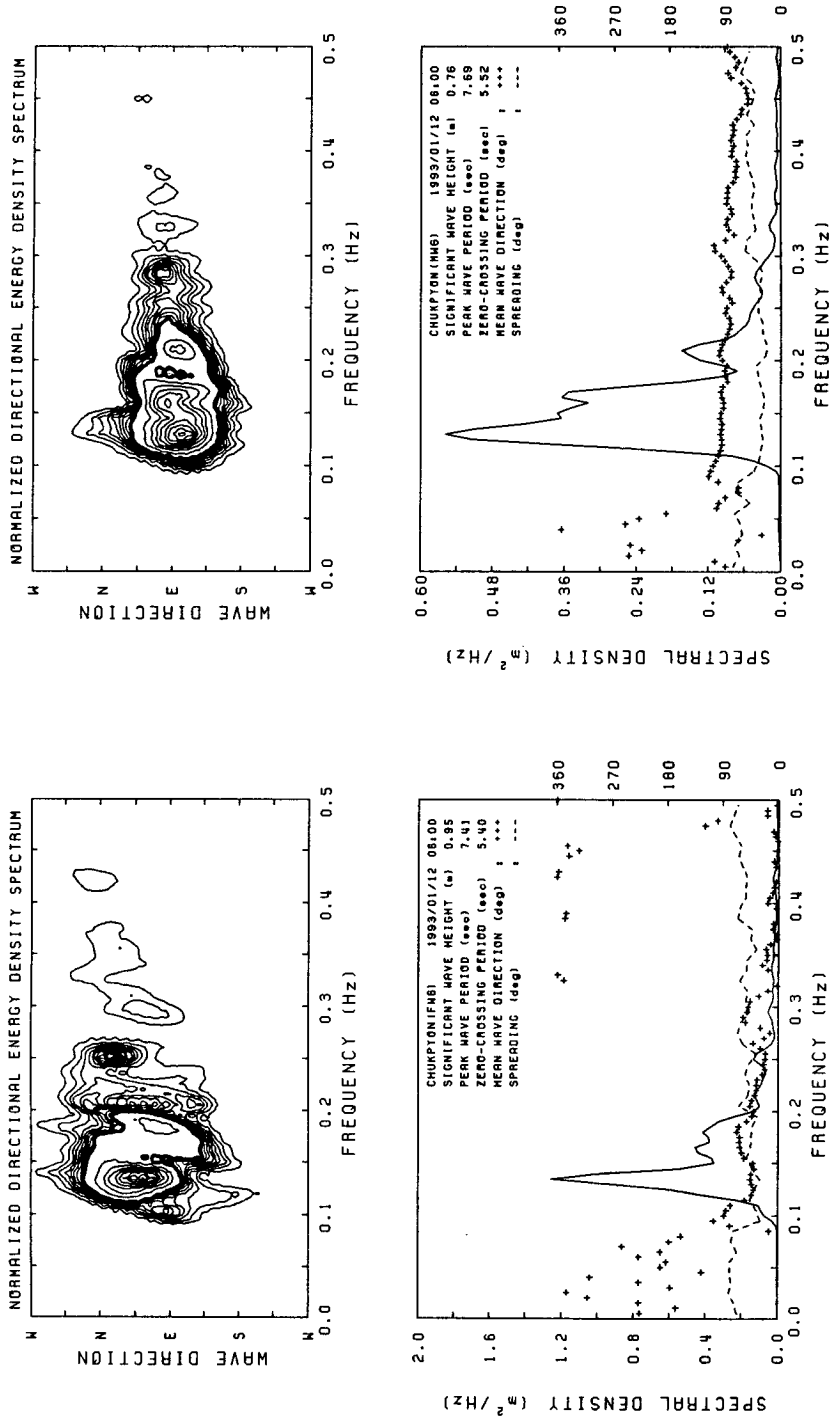


Fig. B.1.17 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W6).

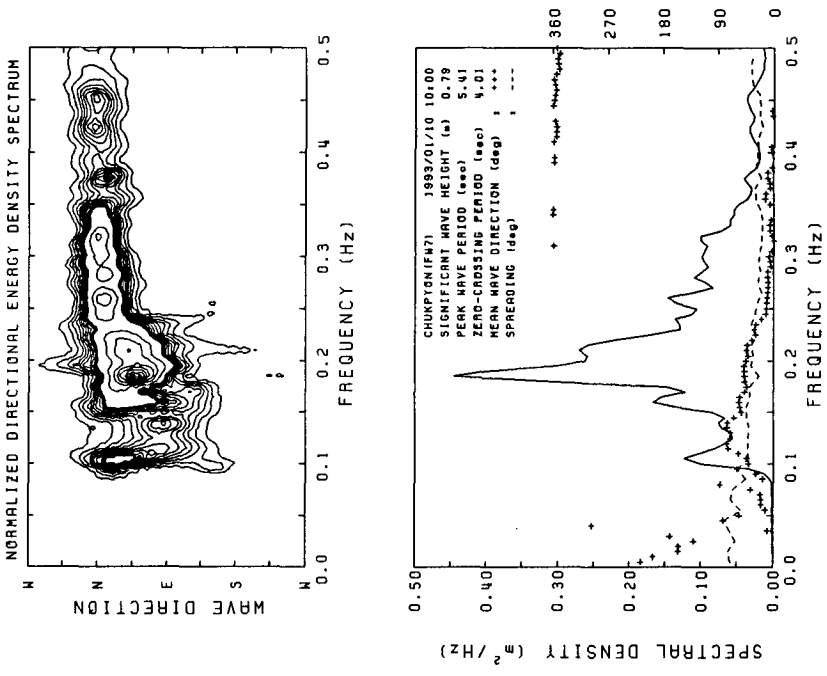
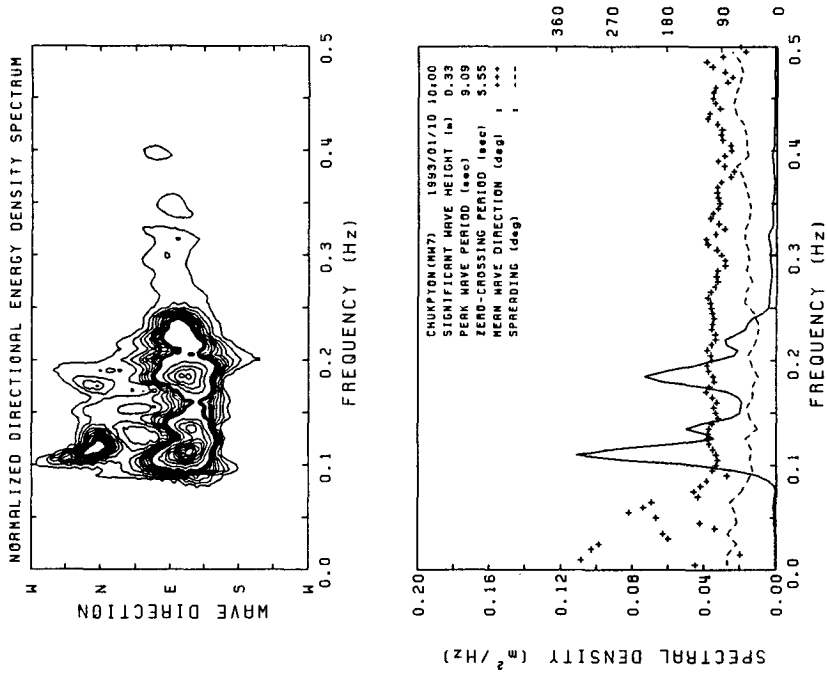


Fig. B.1.18 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W7).

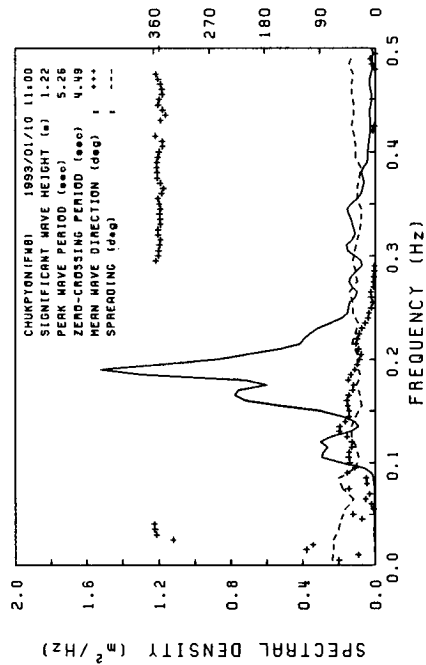
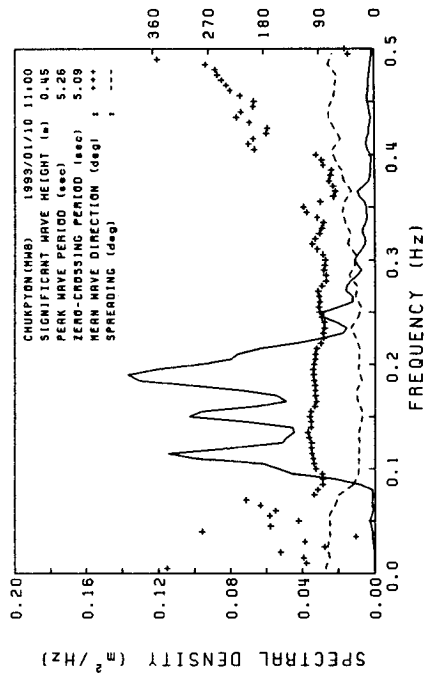
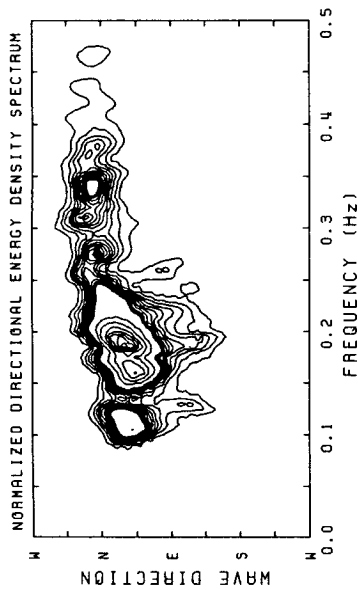
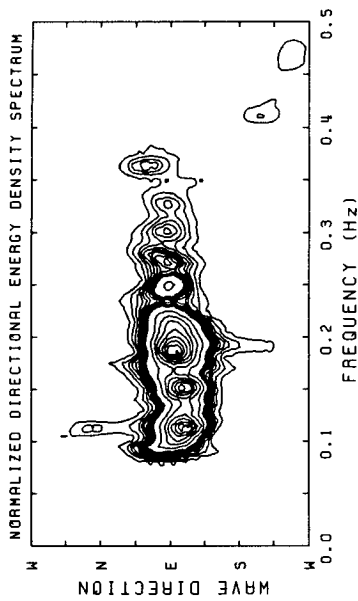


Fig. B.1.19 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W8).

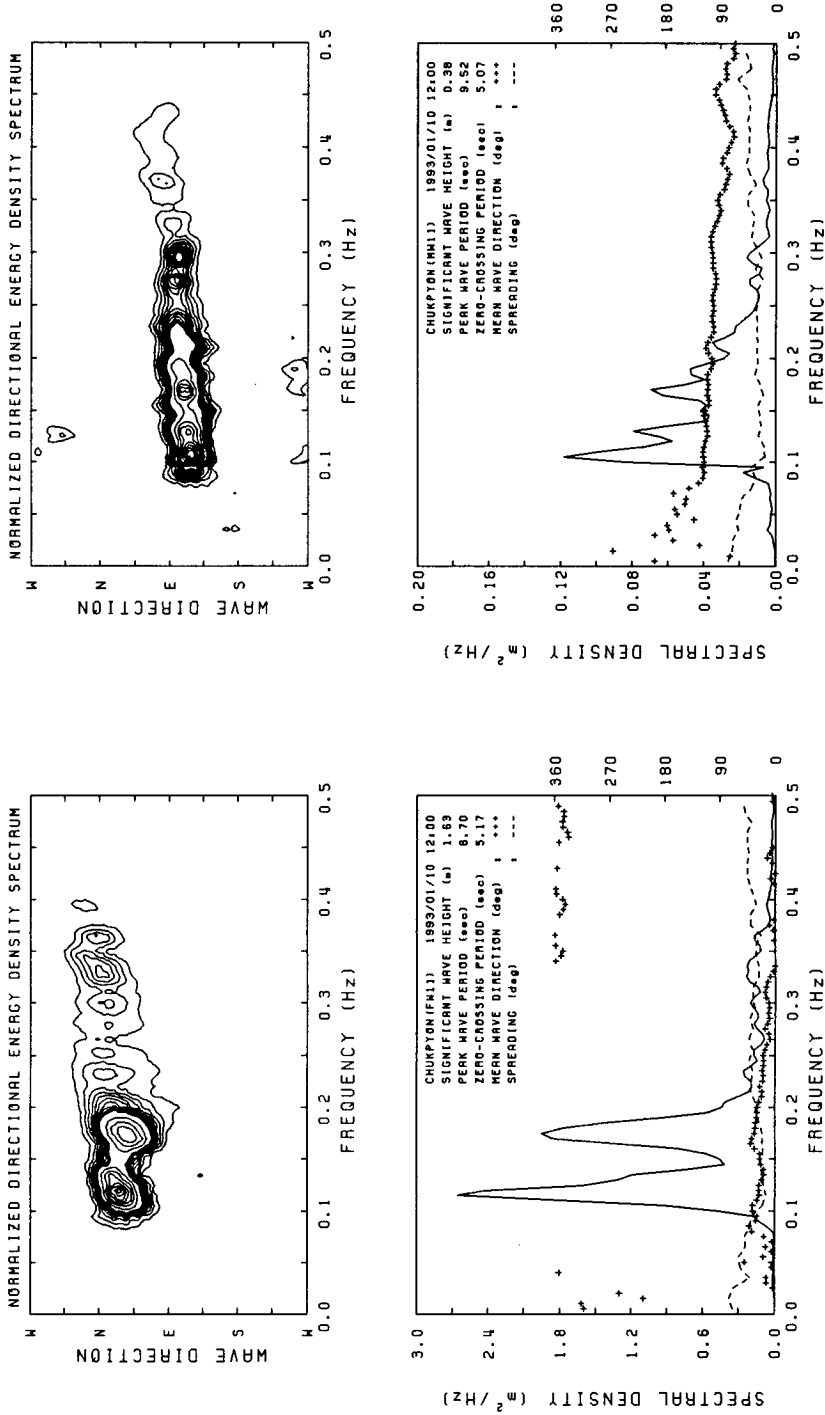


Fig. B.1.20 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W11).

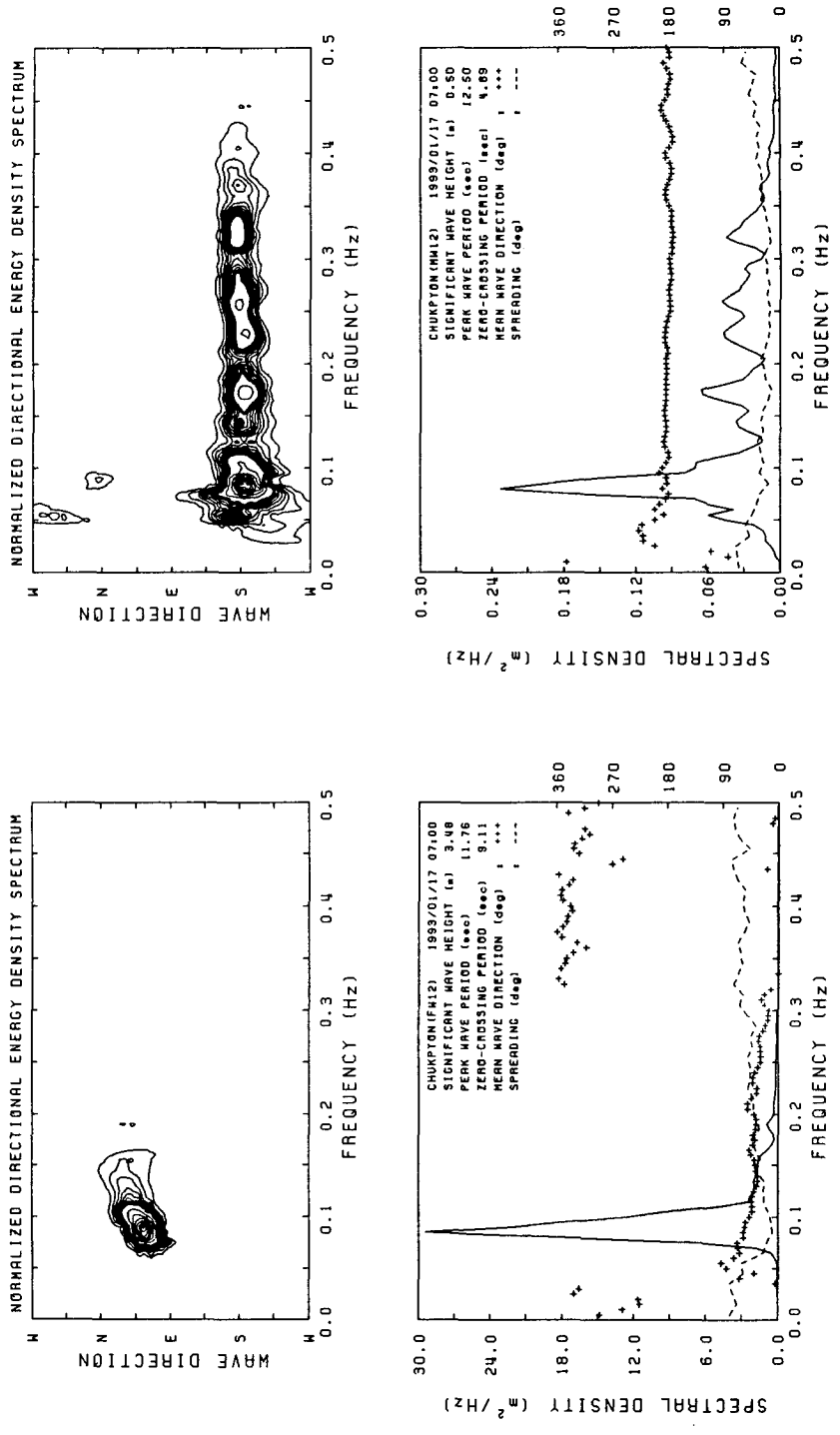


Fig. B.1.21 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W12).

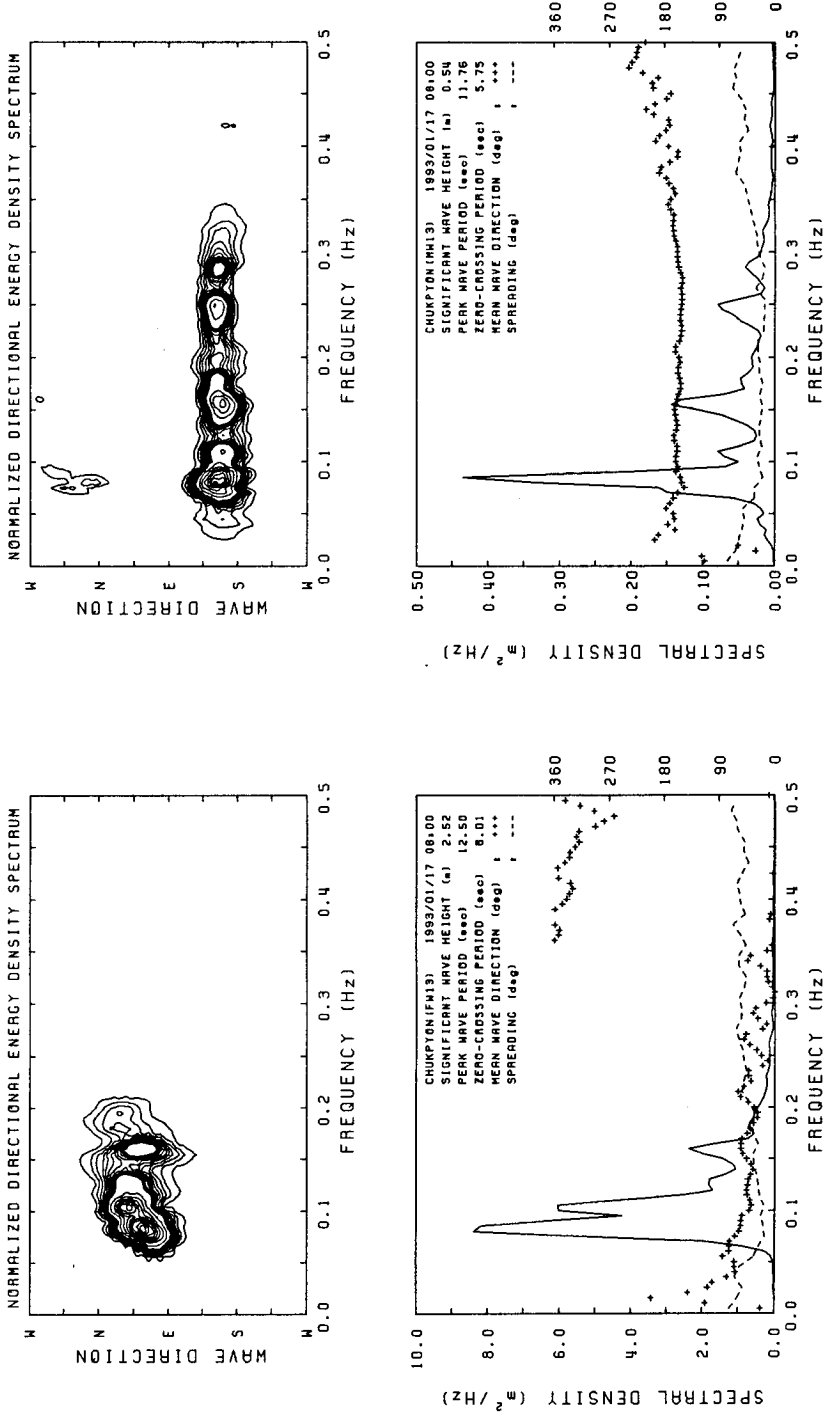


Fig. B.1.22 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W13).

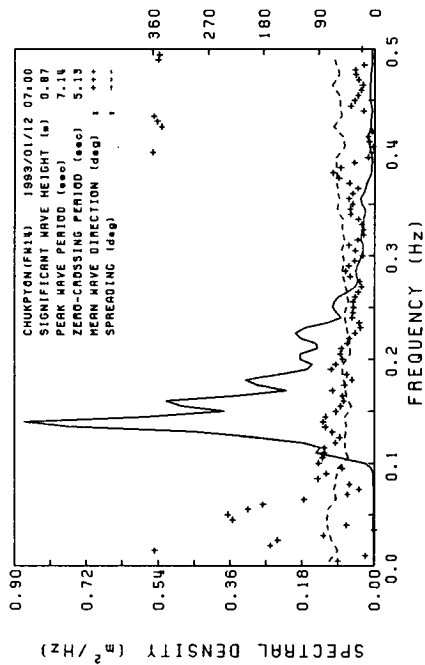
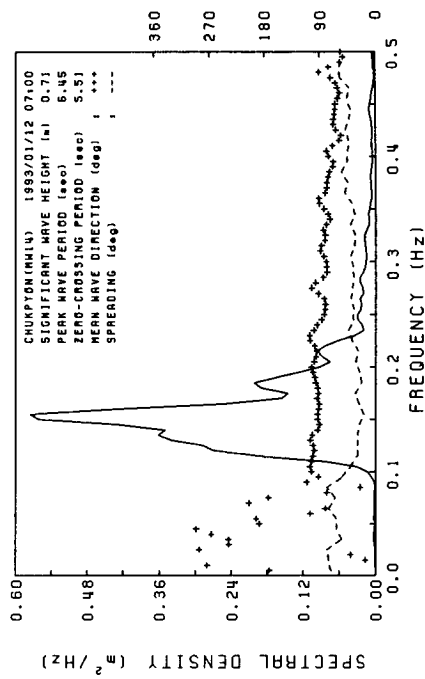
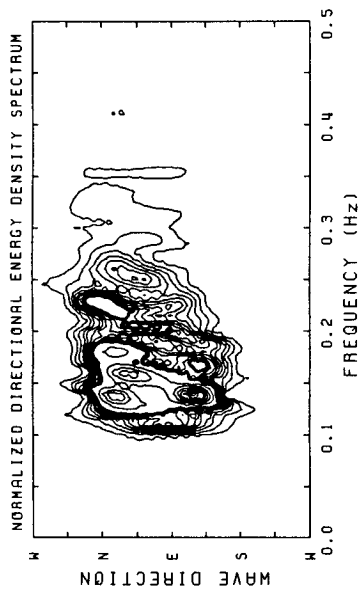
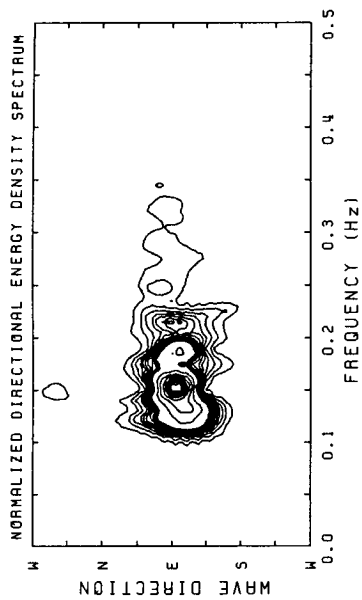


Fig. B.1.23 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W14).

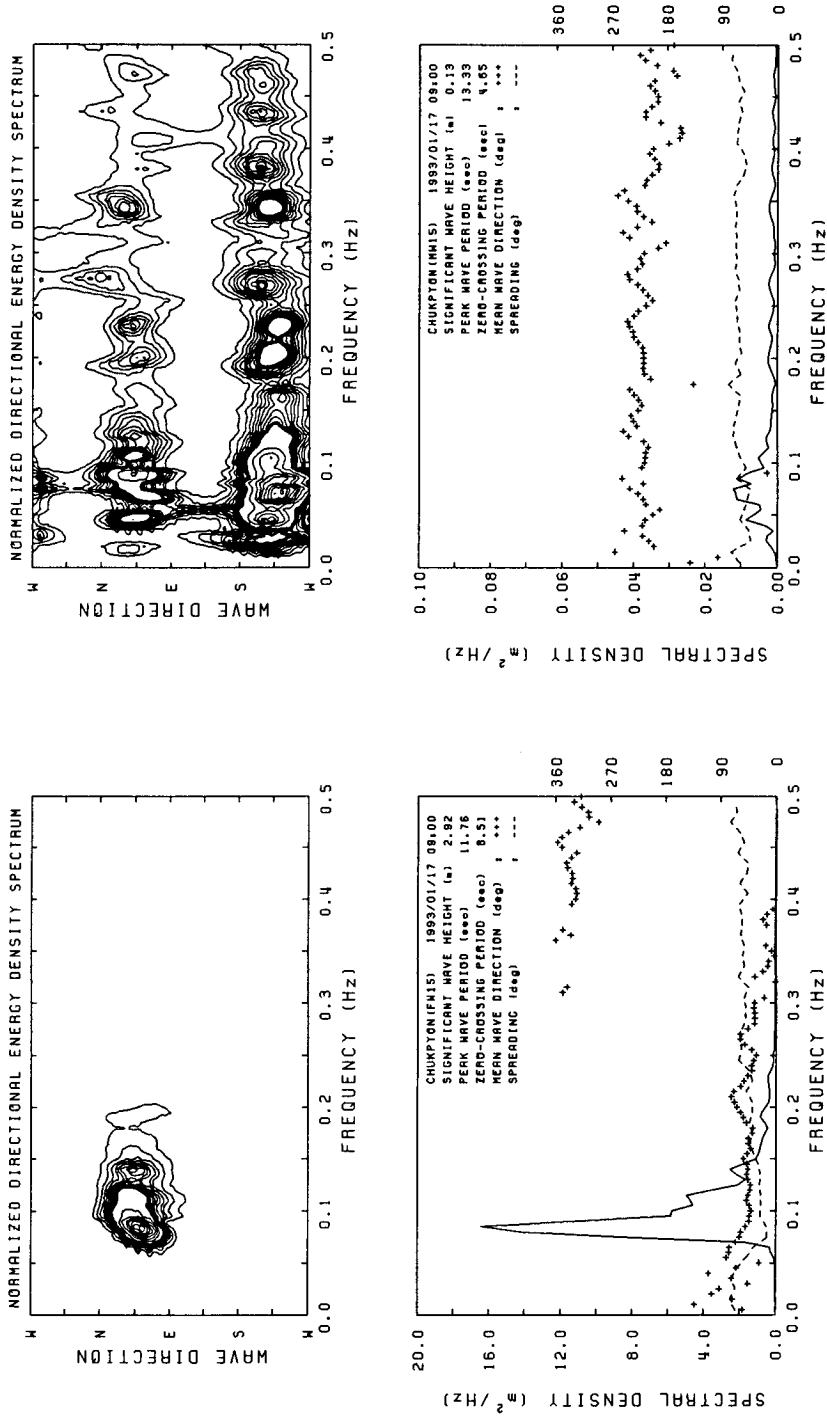


Fig. B.1.24 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W15).

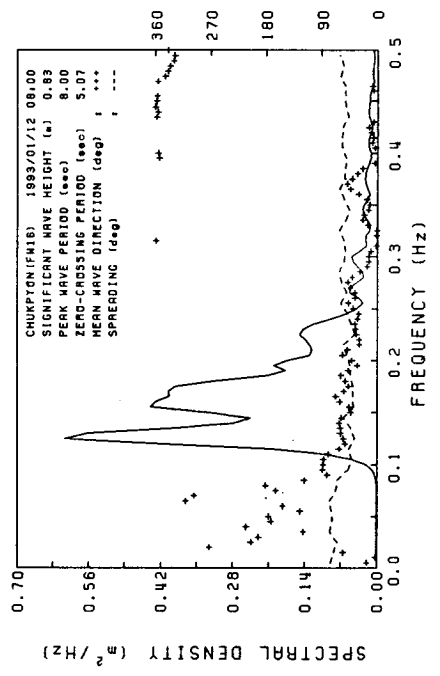
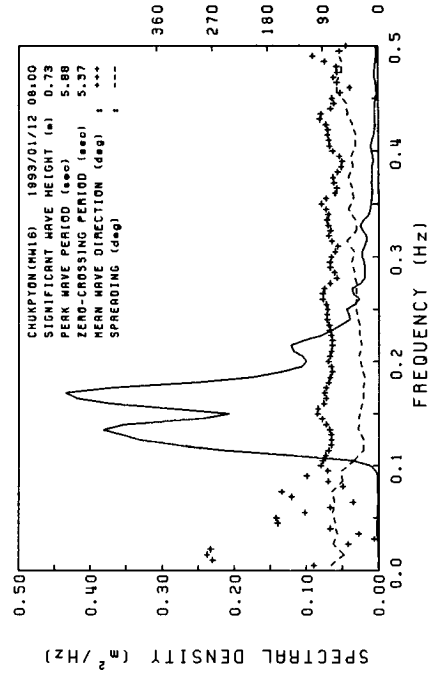
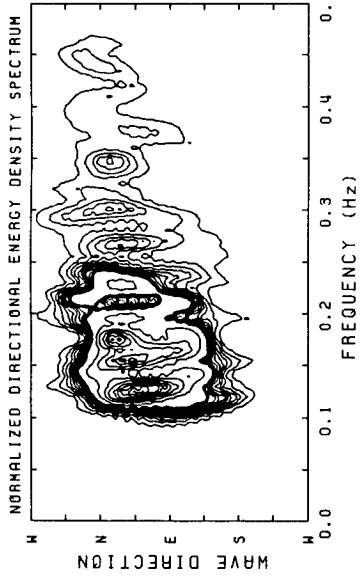
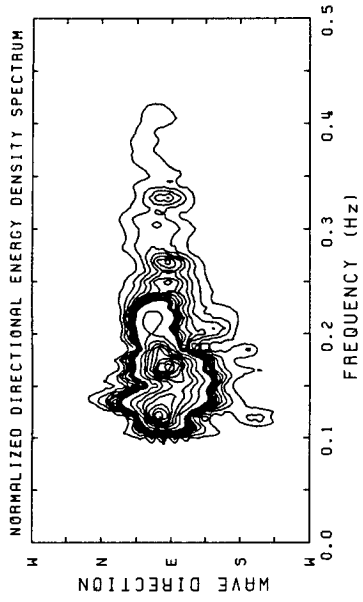


Fig. B.1.25 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W16).

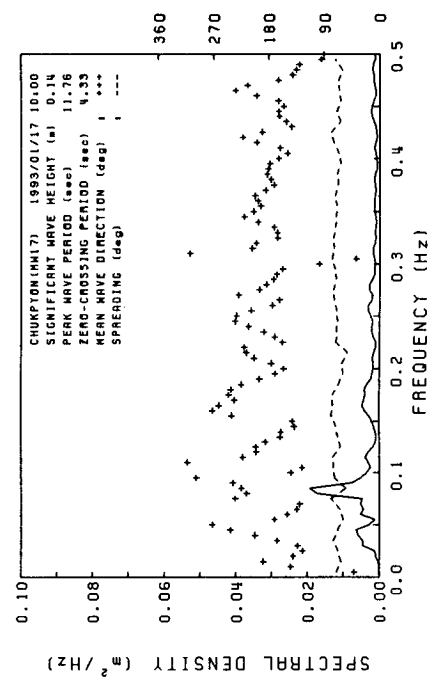
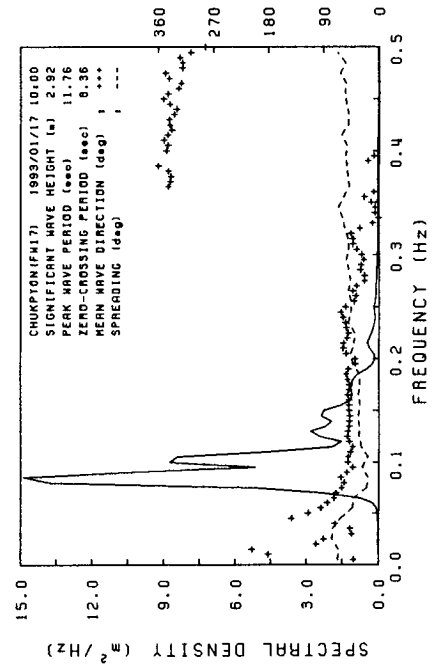
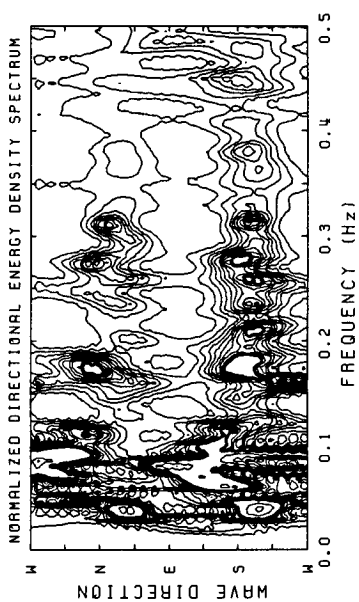
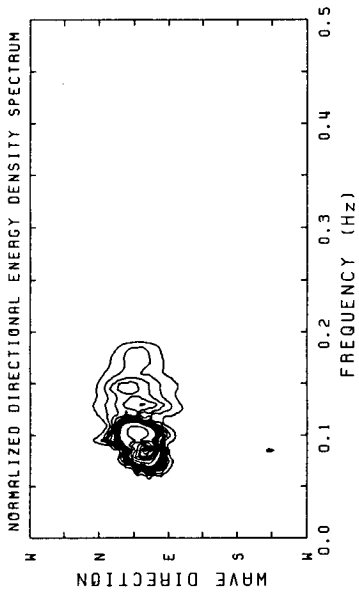


Fig. B.1.26 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W17).

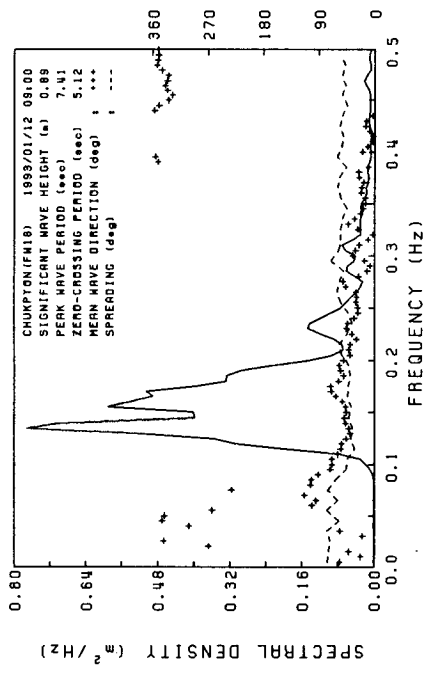
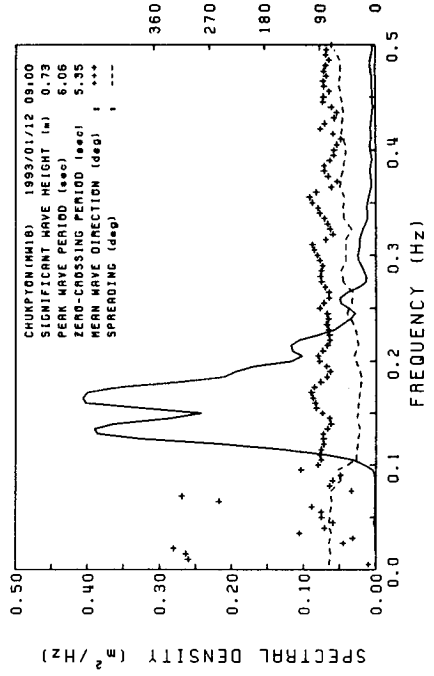
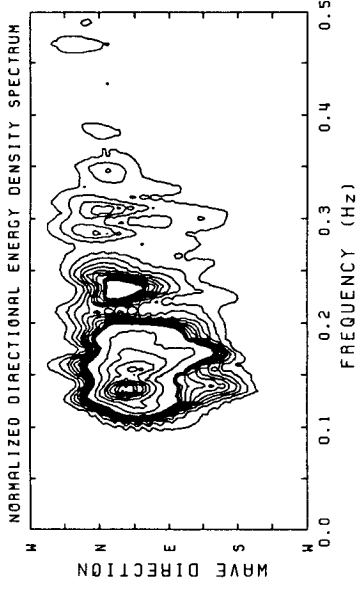
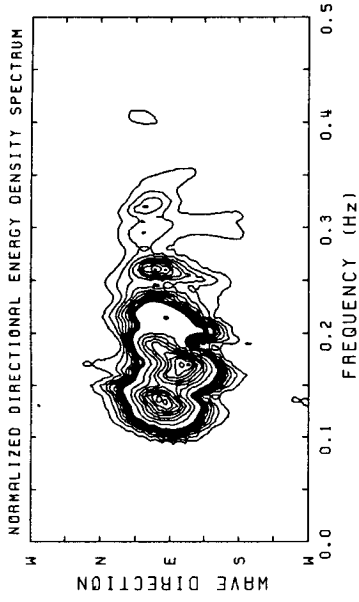


Fig. B.1.27 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W18).

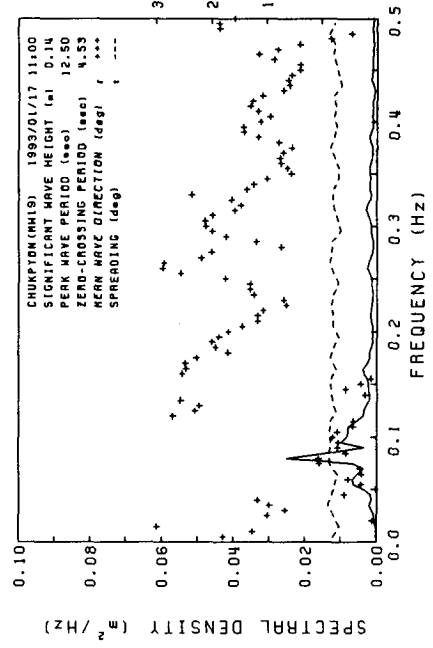
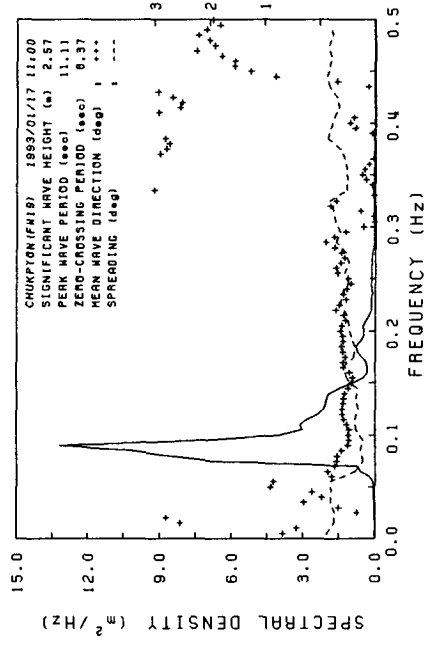
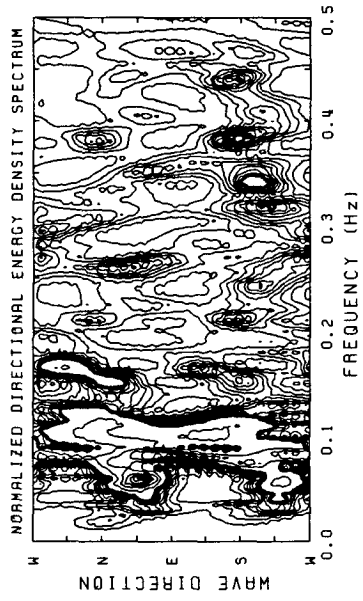
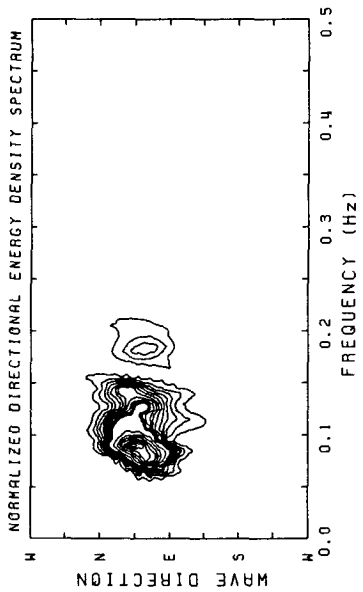


Fig. B.1.28 Directional wave spectra measured at fixed station and moving station around Chukpyon Harbor(station W19).

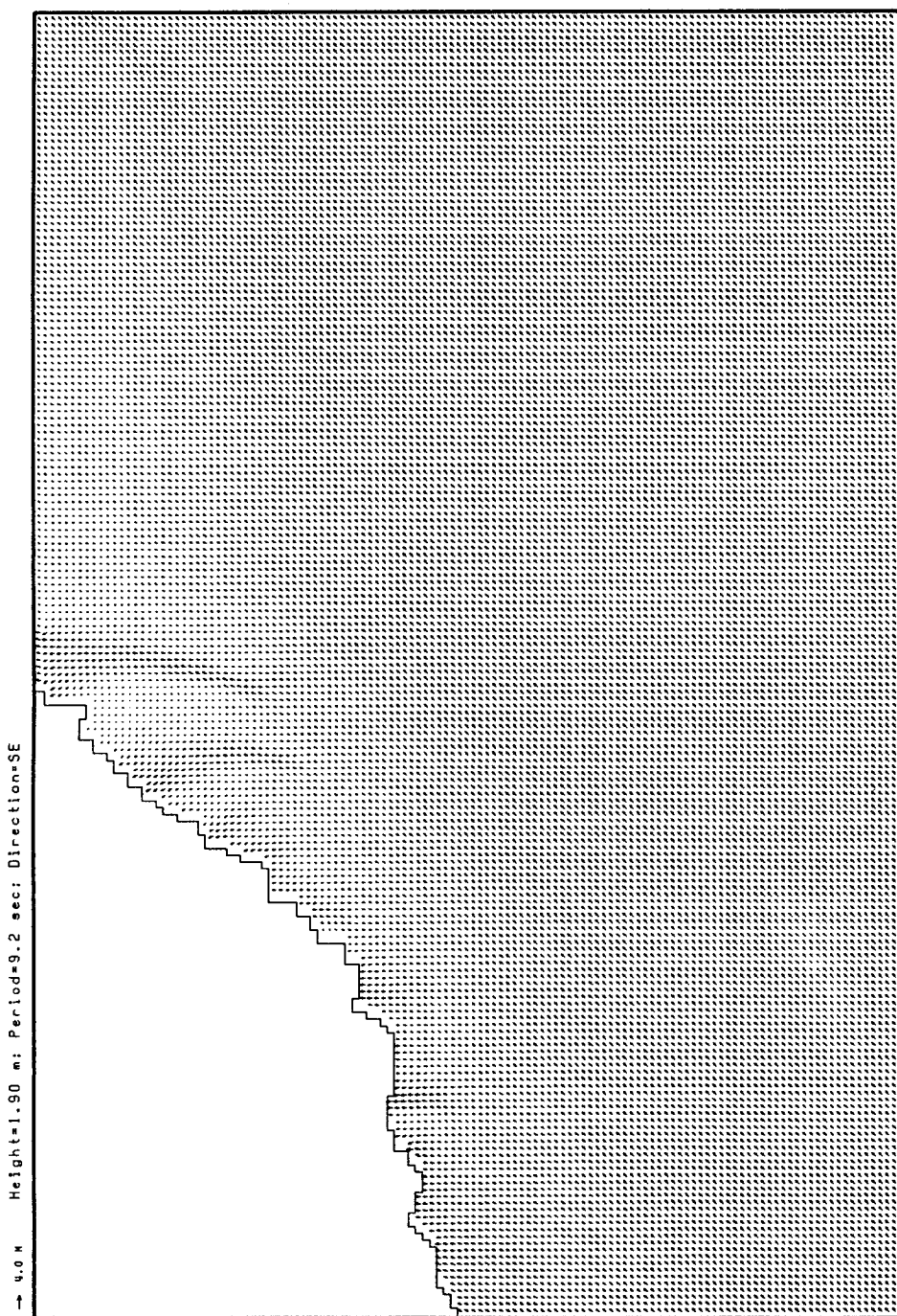


Fig. C.1.1 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = SE).



Fig. C.1.2 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE).

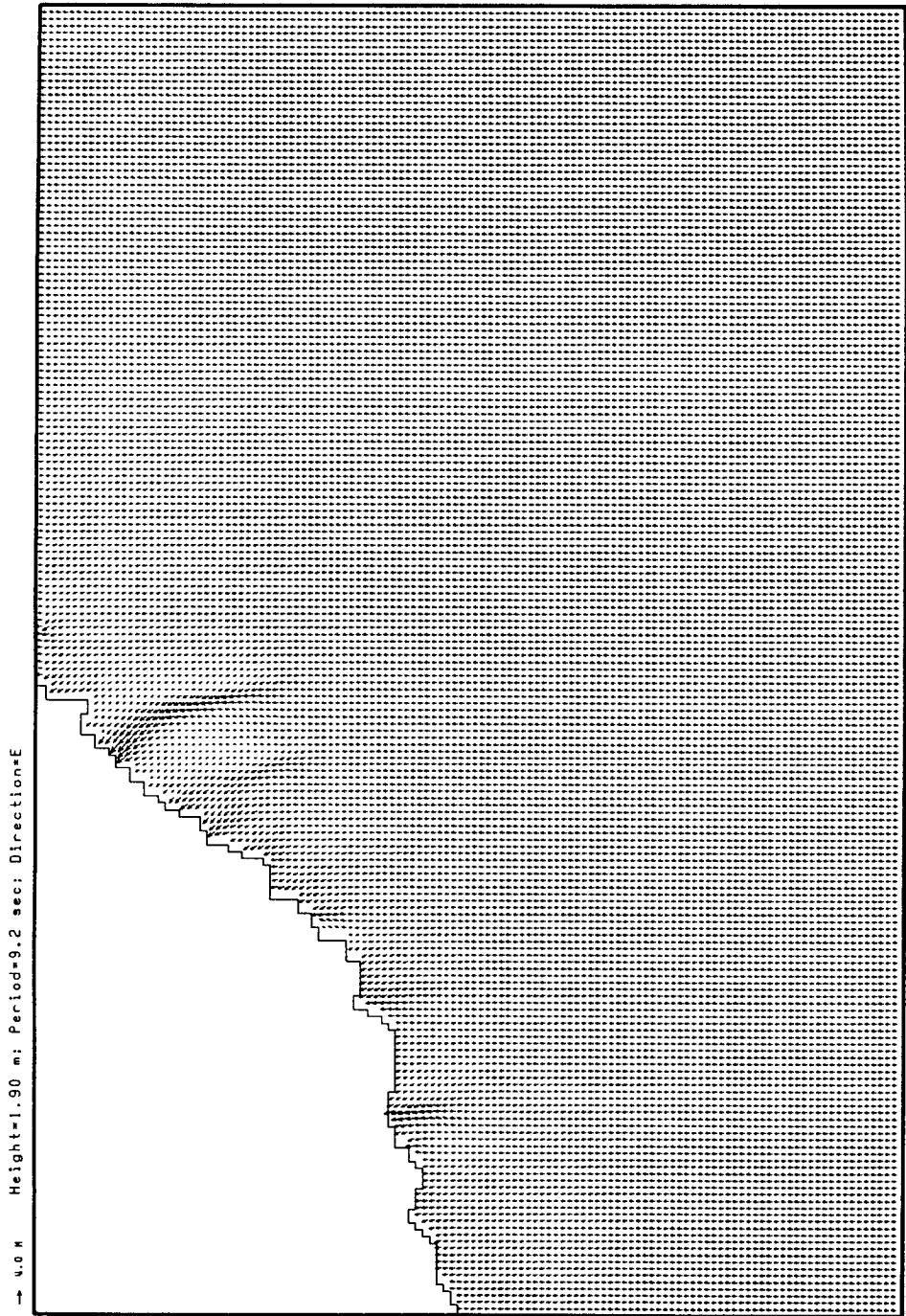


Fig. C.1.3 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = E).

→ 4.0 M Height=2.30 m; Period=11.8 sec; Direction=ENE

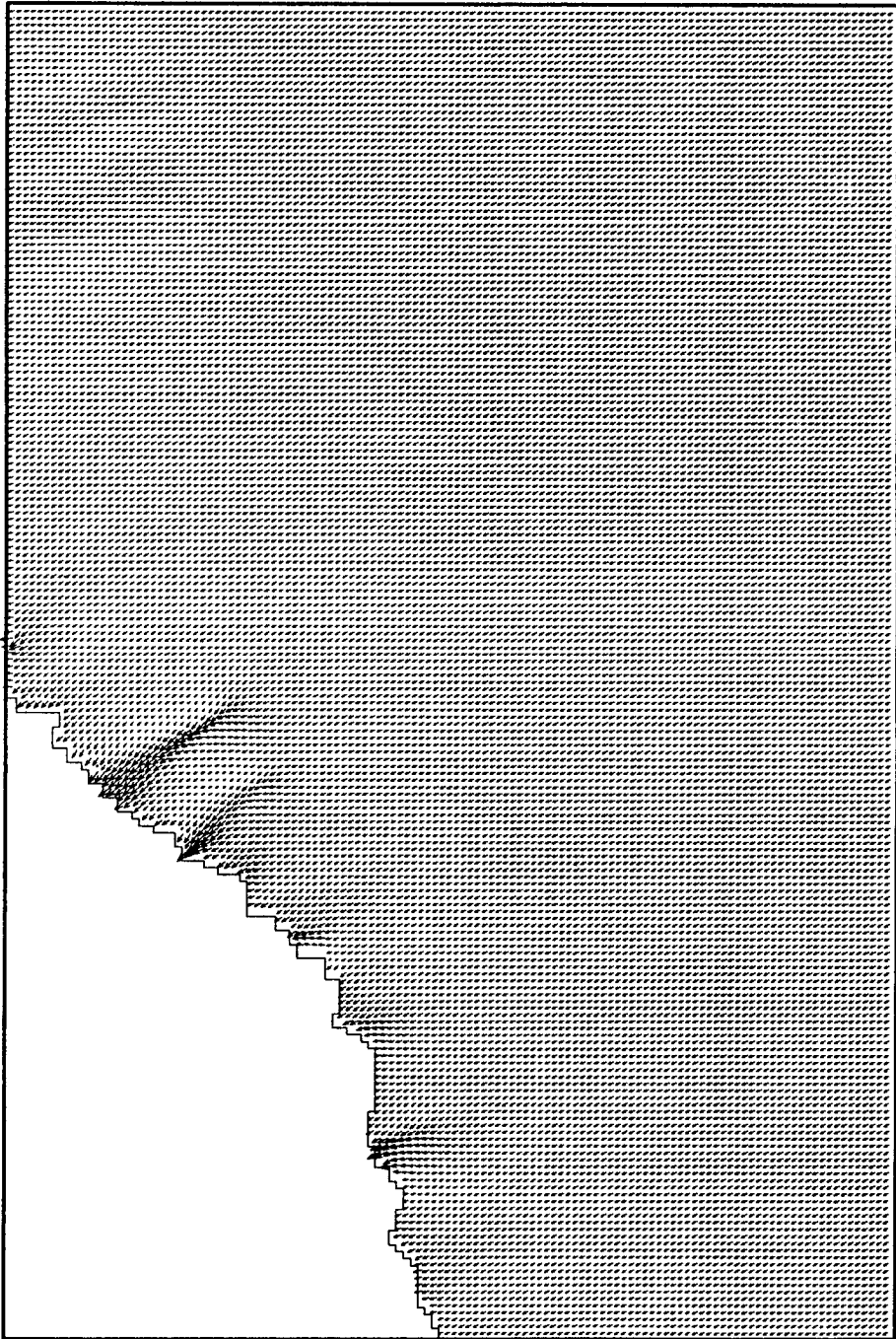


Fig. C.1.4 Calculated wave direction vectors using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE).

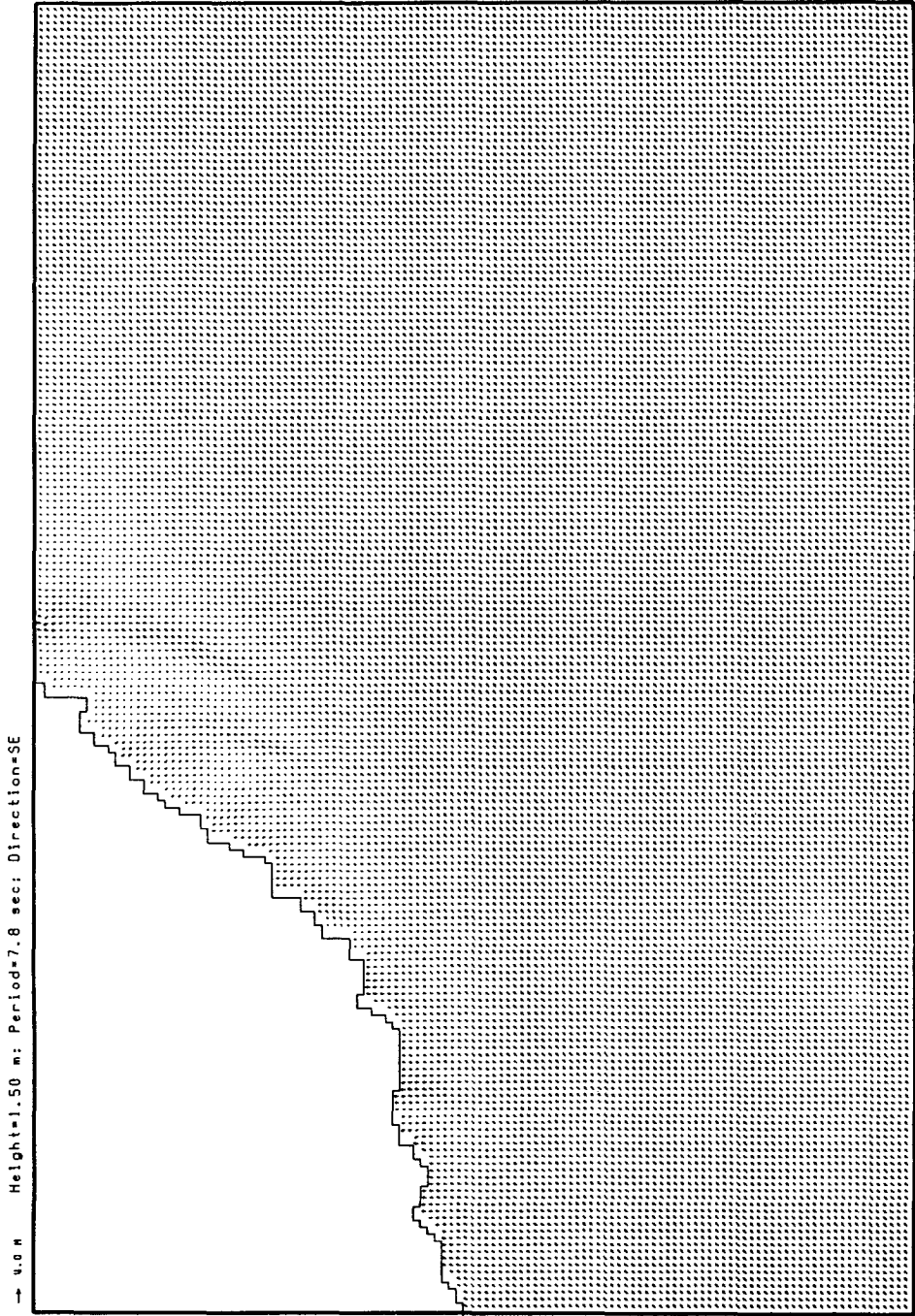


Fig. C.1.5 Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = SE).



Fig. C.1.6 Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE).



Fig. C.1.7 Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = E).



Fig. C.1.8 Calculated wave direction vectors using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE).

Height=1.9m; Period=9.2sec; Direction=SE : WAVE DIRECTION

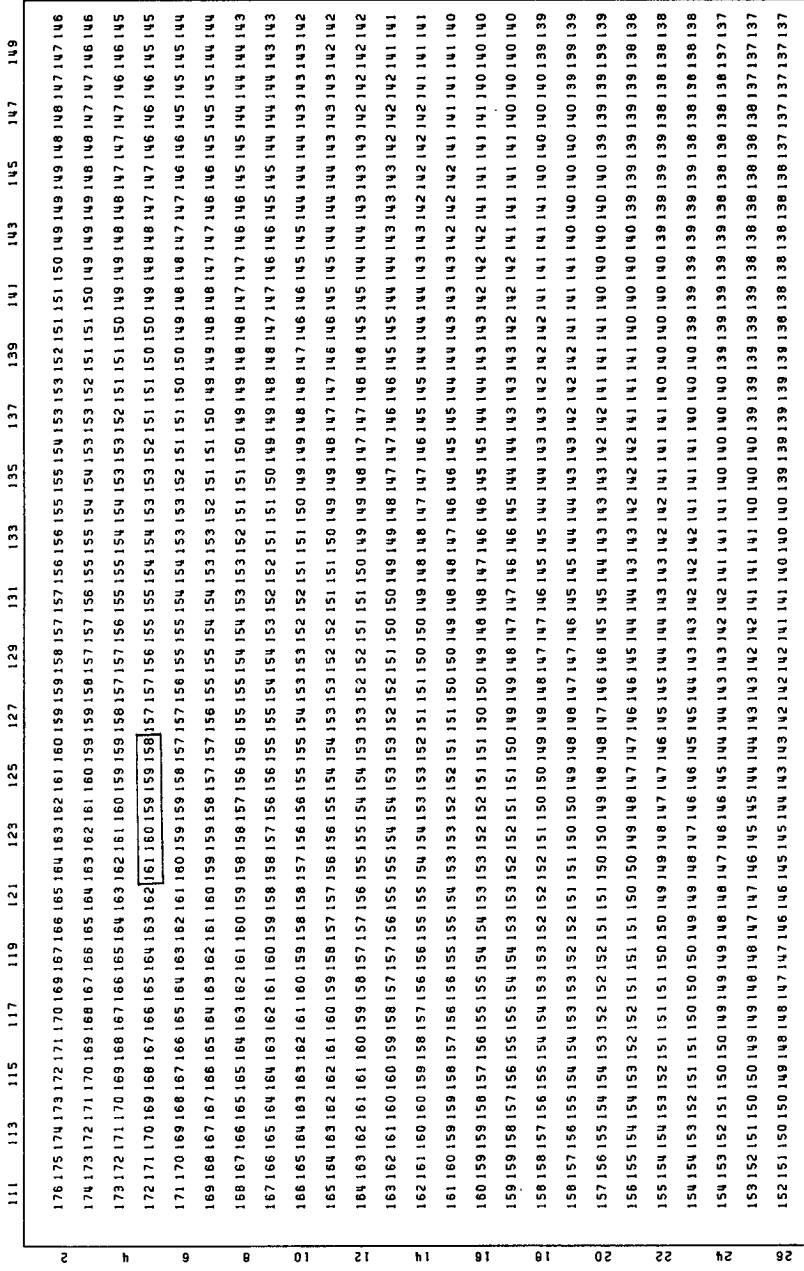


Fig. C.1.10 Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = SE).

Height=1.7m; Period=8.4sec; Direction=ESE : WAVE DIRECTION

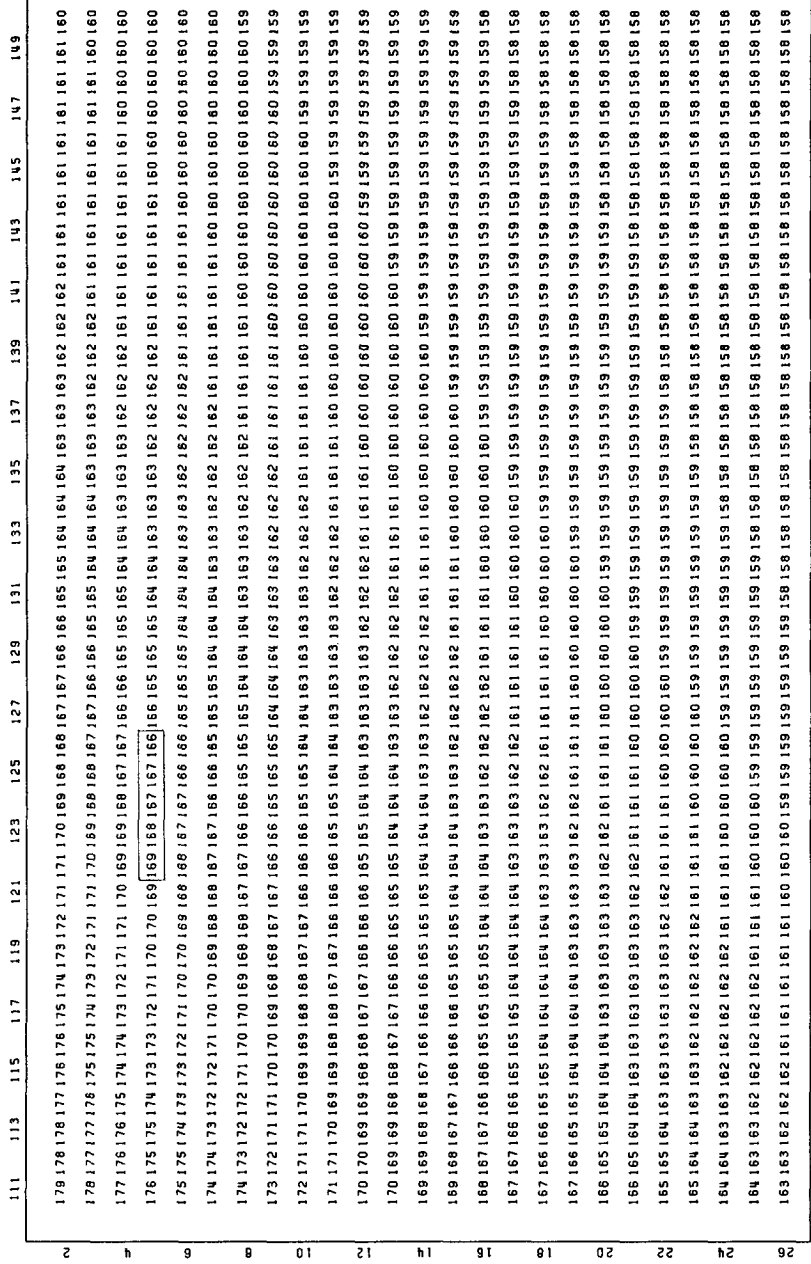


Fig. C.1.12 Calculated wave directions around incident boundary of HCORD using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE).

Height=2.3m; Period=11.8sec; Direction=ENE; WAVE DIRECTION

	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149	
2	211	210	210	209	209	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	210	210	210	209	209	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
4	210	210	210	209	209	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	210	210	209	209	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
6	210	210	209	209	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	209	209	209	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
8	209	209	209	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	209	209	209	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
10	208	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	208	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
12	208	208	208	208	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
14	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	206	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
16	206	206	206	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
	205	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206
18	205	205	205	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206
	204	205	205	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206
20	204	204	204	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
22	204	204	204	204	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
24	204	204	204	204	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205
	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
26	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204

Fig. C.1.16 Calculated wave directions around incident boundary of HCOORD using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE).

Height=1.5m; Period=7.8sec; Direction=SE : WAVE HEIGHT

111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149																						
63	64	65	66	68	69	70	72	73	75	76	78	79	81	83	85	87	89	91	93	94	96	97	98	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	111	112	114	115	117			
84	85	86	88	89	71	72	73	75	76	80	81	83	85	87	89	91	93	95	96	98	99	100	101	102	103	104	105	106	108	109	110	111	113	114	116	117	119				
85	86	67	69	71	72	74	75	76	78	80	81	83	85	87	89	91	93	95	96	98	99	100	102	103	104	105	106	107	108	109	111	112	114	115	117	119	120	121	122		
85	86	67	69	71	72	74	75	77	78	80	82	83	85	87	89	91	93	95	97	98	100	101	102	103	104	105	106	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123		
86	67	69	70	72	74	75	77	78	80	82	84	85	88	90	92	93	95	97	99	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	127
88	69	70	72	74	75	77	79	80	82	84	86	88	90	92	94	96	97	99	100	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	127	
89	70	72	74	75	77	79	81	82	84	86	88	90	92	94	96	98	99	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	127	128	129	
70	72	73	75	77	79	81	83	84	86	88	90	92	94	96	98	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	121	123	124	126	127	128	130	131	
72	73	75	77	79	81	83	85	86	88	90	92	94	96	98	100	102	103	105	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	131	132	134		
73	75	77	79	81	83	85	87	88	90	92	94	96	98	100	102	104	105	106	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	131	133	134	135		
75	77	79	81	83	85	87	89	90	92	94	97	99	101	102	104	106	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	132	133	134	135	136		
77	79	81	83	85	87	89	91	93	95	97	99	101	103	105	106	107	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	131	132	134	135	136	137	138		
79	81	83	85	87	89	91	93	95	97	99	101	103	105	107	108	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139		
81	83	85	87	89	91	93	95	97	99	102	104	105	107	109	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141		
83	85	88	90	92	94	95	97	100	102	104	106	108	109	110	112	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142		
85	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	111	113	114	116	117	119	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144		
88	90	92	94	96	98	100	102	105	107	109	111	112	113	114	116	117	119	120	122	123	124	126	127	129	130	131	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145		
90	92	95	97	99	101	103	105	107	109	111	113	114	115	117	119	120	122	123	124	126	127	129	130	131	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147		
93	95	97	99	101	103	105	107	110	112	113	115	116	117	119	120	122	123	124	126	127	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148		
95	98	100	102	103	105	108	110	112	114	115	117	119	120	122	123	124	126	127	129	130	131	132	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149			
98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	119	120	122	123	125	126	128	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150			
101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	120	121	123	124	126	127	129	130	131	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152			
104	106	108	109	111	113	115	117	119	120	122	124	125	127	128	129	131	132	133	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154			
106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	129	130	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155				
109	111	113	115	117	119	120	122	124	126	127	129	130	131	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156				

Fig. C.1.17 Calculated wave heights around incident boundary of HCOORD using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = SE).

Height=1.5m; Period=7.8sec; Direction=SE : WAVE DIRECTION

111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149																		
170	169	168	166	165	164	163	162	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	141	140	140	140	
169	167	166	165	164	163	162	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	141	140	140	140
167	166	165	164	163	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	140	140
166	165	164	162	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	140	139	139
165	163	162	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	140	139	139	139
163	162	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	140	139	139	139	139
162	161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	139	139	139	139	138	138
161	160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	149	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	139	139	139	138	138	138	138
160	159	158	157	156	155	154	153	152	151	150	149	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	140	139	139	139	138	138	138	138	138
159	158	156	155	154	153	152	151	150	149	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	138	137	137	137	137	
158	156	155	153	152	151	150	149	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	138	137	137	137	137	137	137	
156	155	154	153	152	151	150	149	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	
155	154	154	153	152	151	150	149	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	
154	153	153	152	151	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	137	
153	153	152	151	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	137	136	136
153	152	151	150	149	148	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	137	136	136	
152	151	150	149	148	147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	137	136	136	136	136	
151	150	149	146	147	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	
150	149	148	147	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
149	148	147	147	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
148	147	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
148	147	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
147	146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
146	146	145	144	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
146	145	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	
145	144	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139	139	138	138	138	137	137	137	137	137	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	

Fig. C.1.18 Calculated wave directions around incident boundary of HCOORD using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = SE).

Height=1.3m; Period=7.4sec; Direction=ESE : WAVE HEIGHT

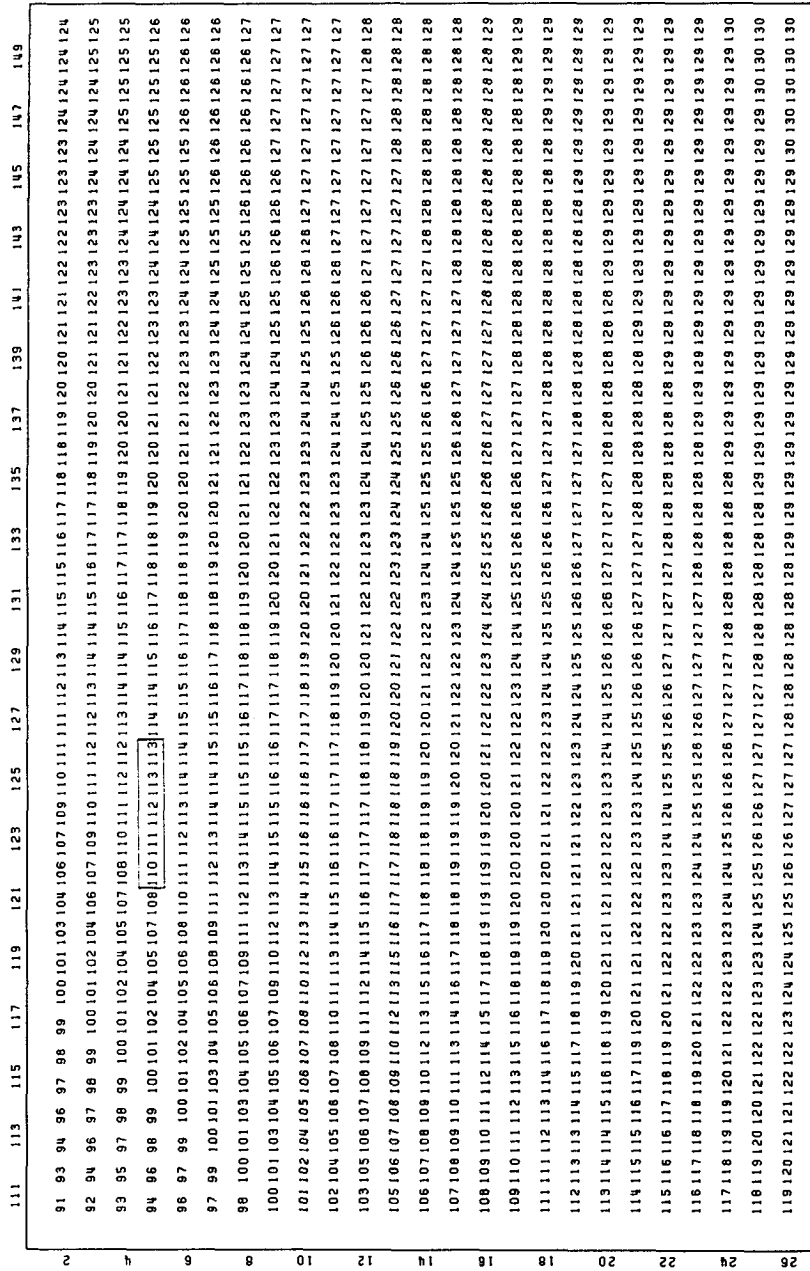


Fig. C.1.19 Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ESE).

Height=1.7m; Period=8.6sec; Direction=E : WAVE DIRECTION

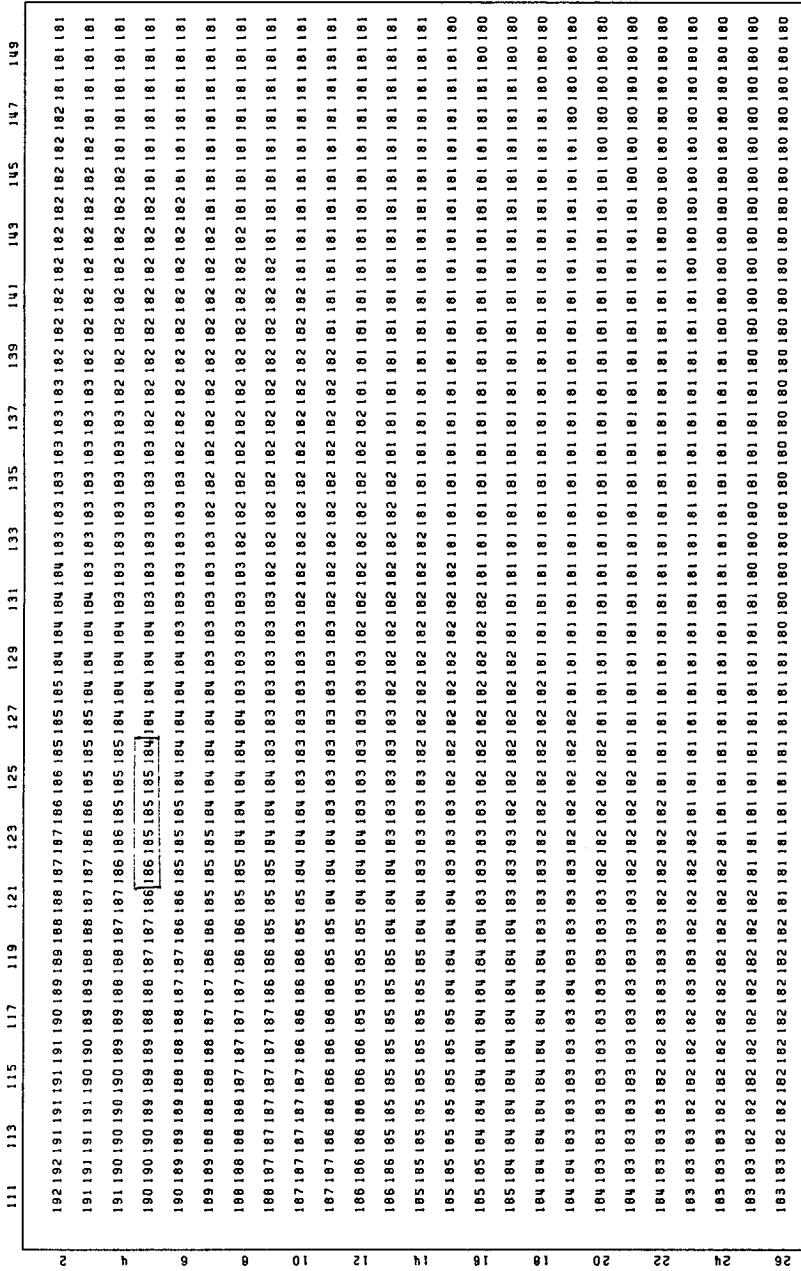


Fig. C.1.22 Calculated wave directions around incident boundary of HCOORD using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = E).

Height=1.7m; Period=9.6sec; Direction=ENE; WAVE HEIGHT

	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149	
2	156	153	151	151	152	153	155	157	158	157	156	155	154	154	153	153	154	154	155	155	154
4	156	153	151	150	149	150	152	154	156	157	156	155	154	154	154	154	154	155	155	155	154
6	157	154	151	149	149	149	151	152	155	156	157	156	155	154	154	154	154	155	155	155	154
8	158	154	151	149	148	149	150	151	154	155	155	155	155	155	155	154	154	154	155	155	154
10	159	155	152	150	148	148	149	150	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
12	160	157	154	151	149	149	149	151	152	154	156	157	156	156	156	156	156	156	156	156	156
14	161	158	155	152	150	149	149	150	152	154	155	155	155	155	155	154	154	154	155	155	154
16	162	158	157	154	152	150	149	150	151	153	155	155	155	155	155	154	154	154	155	155	154
18	161	160	158	155	153	151	150	150	151	153	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
20	162	158	157	154	152	150	149	150	151	153	155	155	155	155	155	154	154	154	155	155	154
22	161	160	158	155	153	151	150	150	151	153	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
24	160	160	158	156	154	152	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151	151
26	159	159	157	155	153	151	150	150	151	153	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154

Fig. C.1.23 Calculated wave heights around incident boundary of HCORD using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE).

Height=1.7m; Period=9.6sec; Direction=ENE; WAVE DIRECTION

	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	147	149				
2	209	209	208	208	207	207	206	206	206	206	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	201	201	
4	209	209	208	208	207	207	206	206	206	206	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
6	209	209	208	208	207	206	206	206	206	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
8	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
10	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
12	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
14	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
16	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
18	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
20	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
22	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
24	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201
26	208	208	208	207	206	206	206	205	205	205	205	205	205	204	204	204	204	203	203	202	202	202	201	201

Fig. C.1.24 Calculated wave directions around incident boundary of HCOORD using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = ENE).

WAVE HEIGHT RATIOS AROUND DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S69E; HEIGHT=1.09m; PERIOD=9.2sec

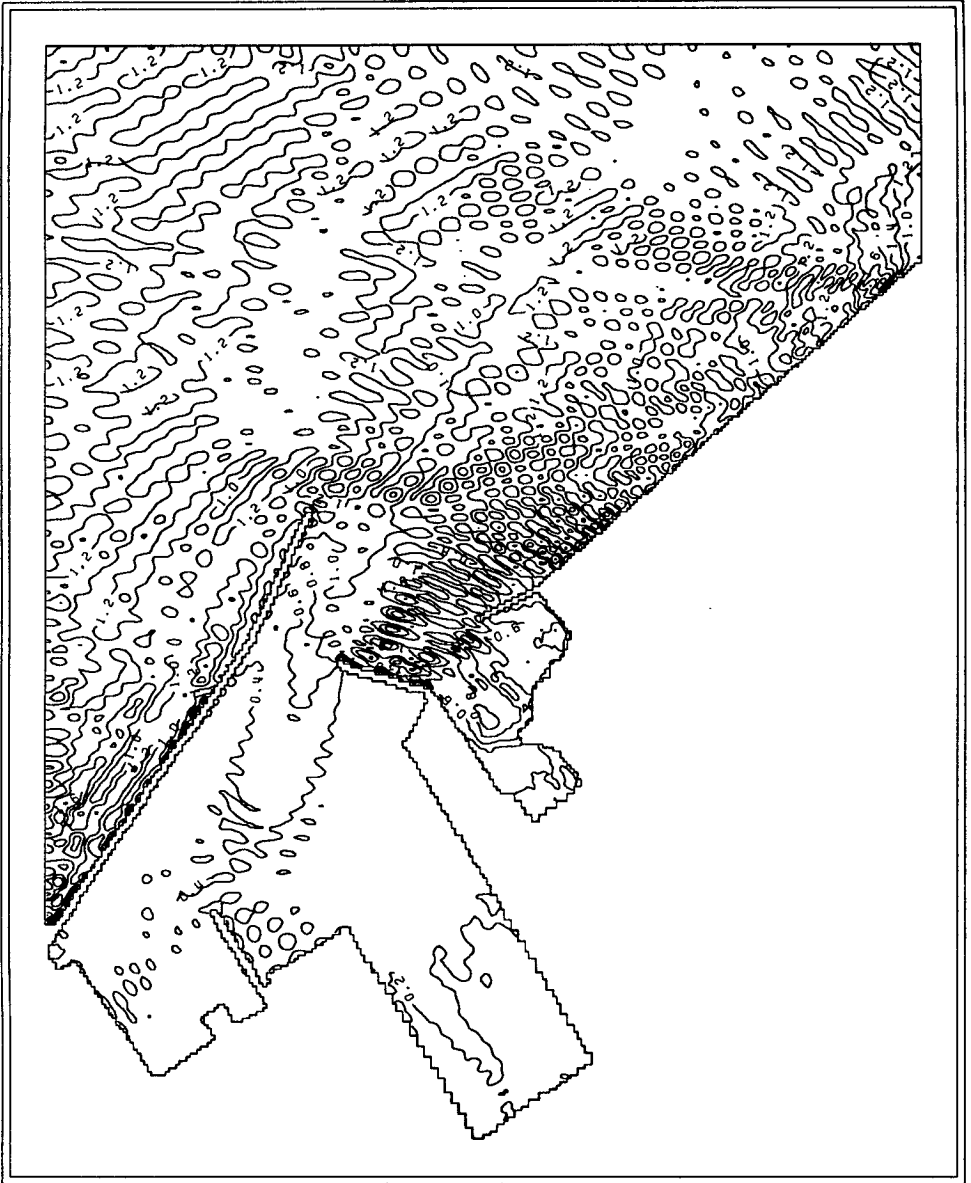


Fig. D.1.1 Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S69° E).

WAVE HEIGHT RATIOS AROUND DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S75E; HEIGHT=1.40m; PERIOD=8.4sec

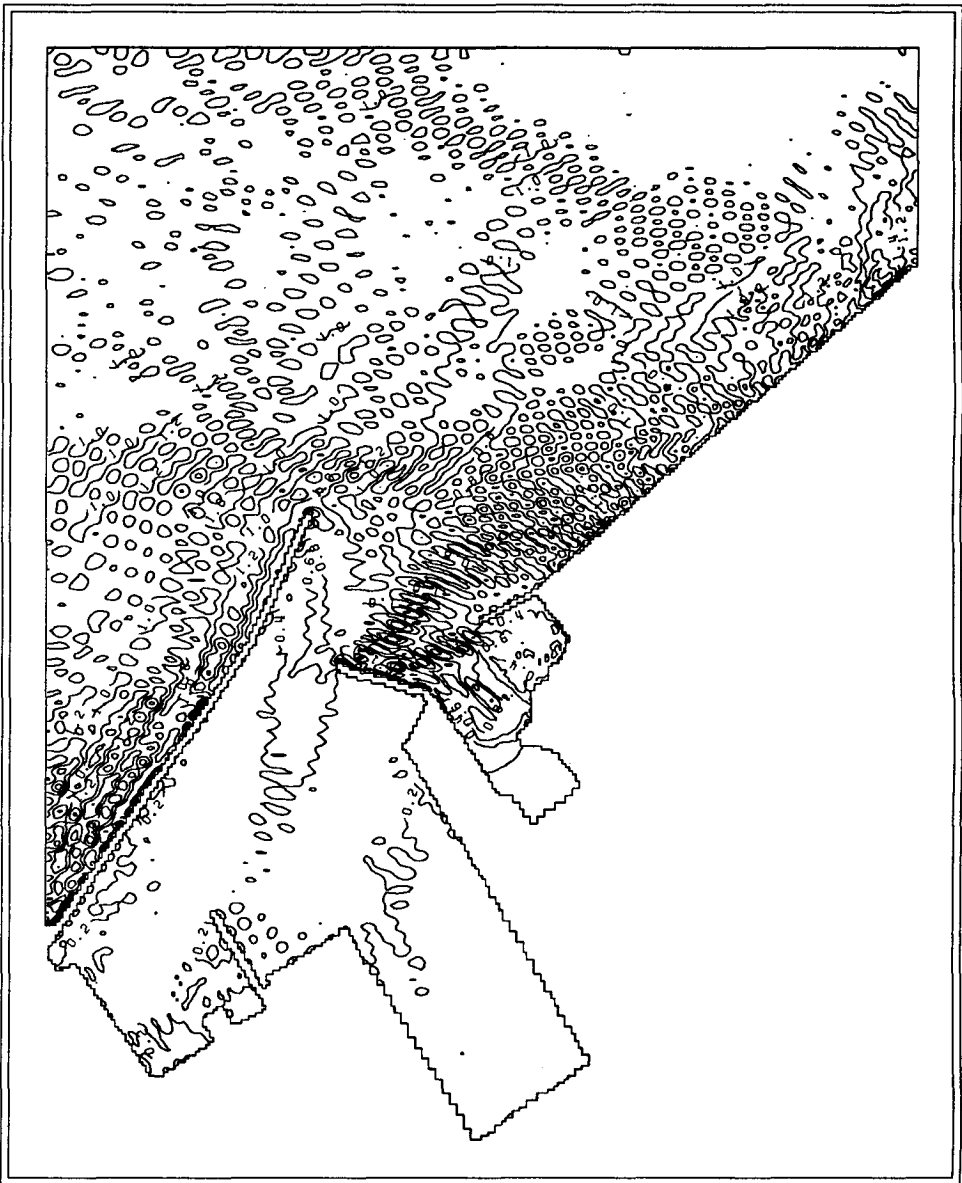


Fig. D.1.2 Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S75° E).

WAVE HEIGHT RATIOS AROUND DONGCHAE HARBOR
DIRECTION=N86E; HEIGHT=1.73m; PERIOD=9.2sec

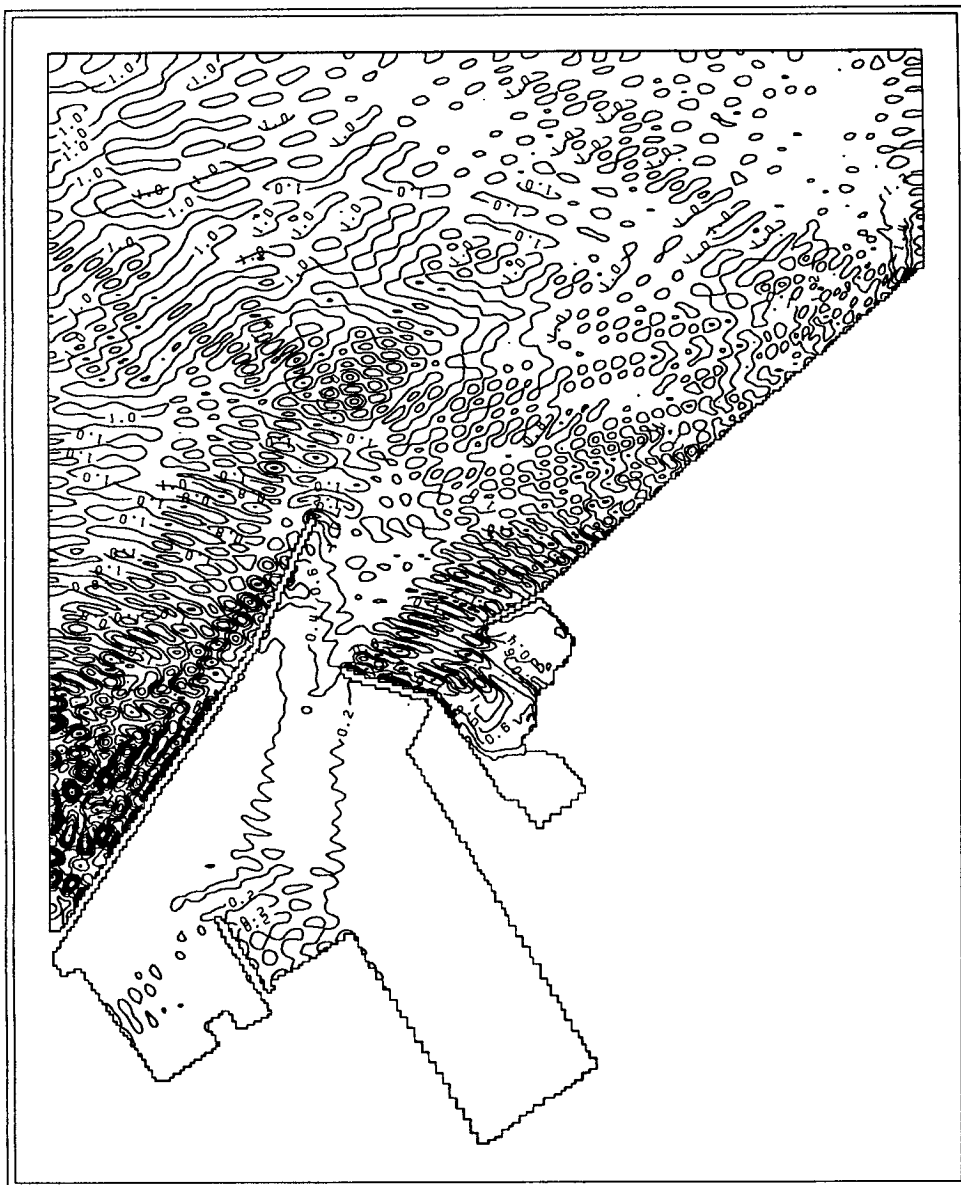


Fig. D.1.3 Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N86° E).

WAVE HEIGHT RATIOS AROUND DONGHAE HARBOR
DIRECTION=N66E; HEIGHT=2.02m; PERIOD=11.8sec

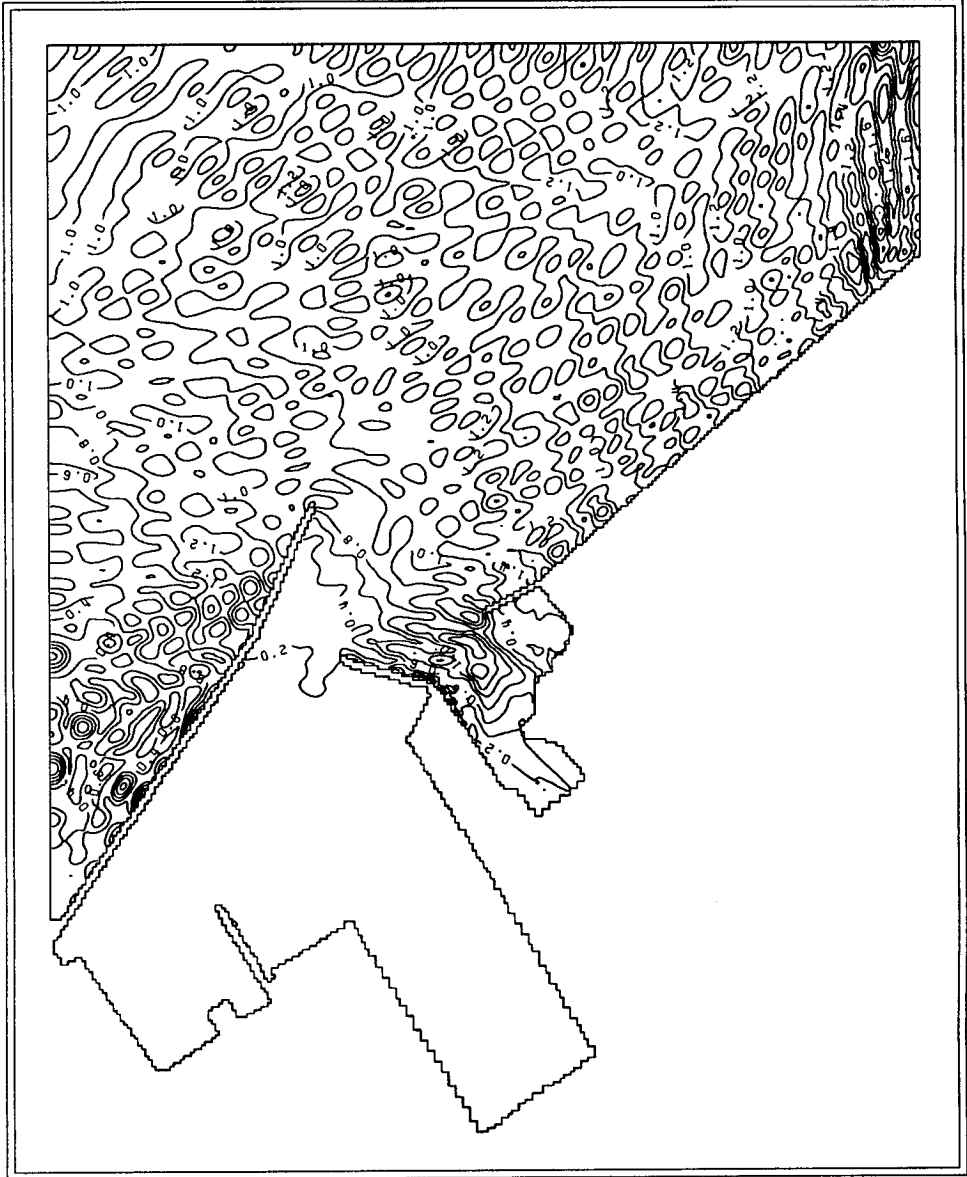


Fig. D.1.4 Calculated wave height ratios in the onshore computation region using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N66° E).

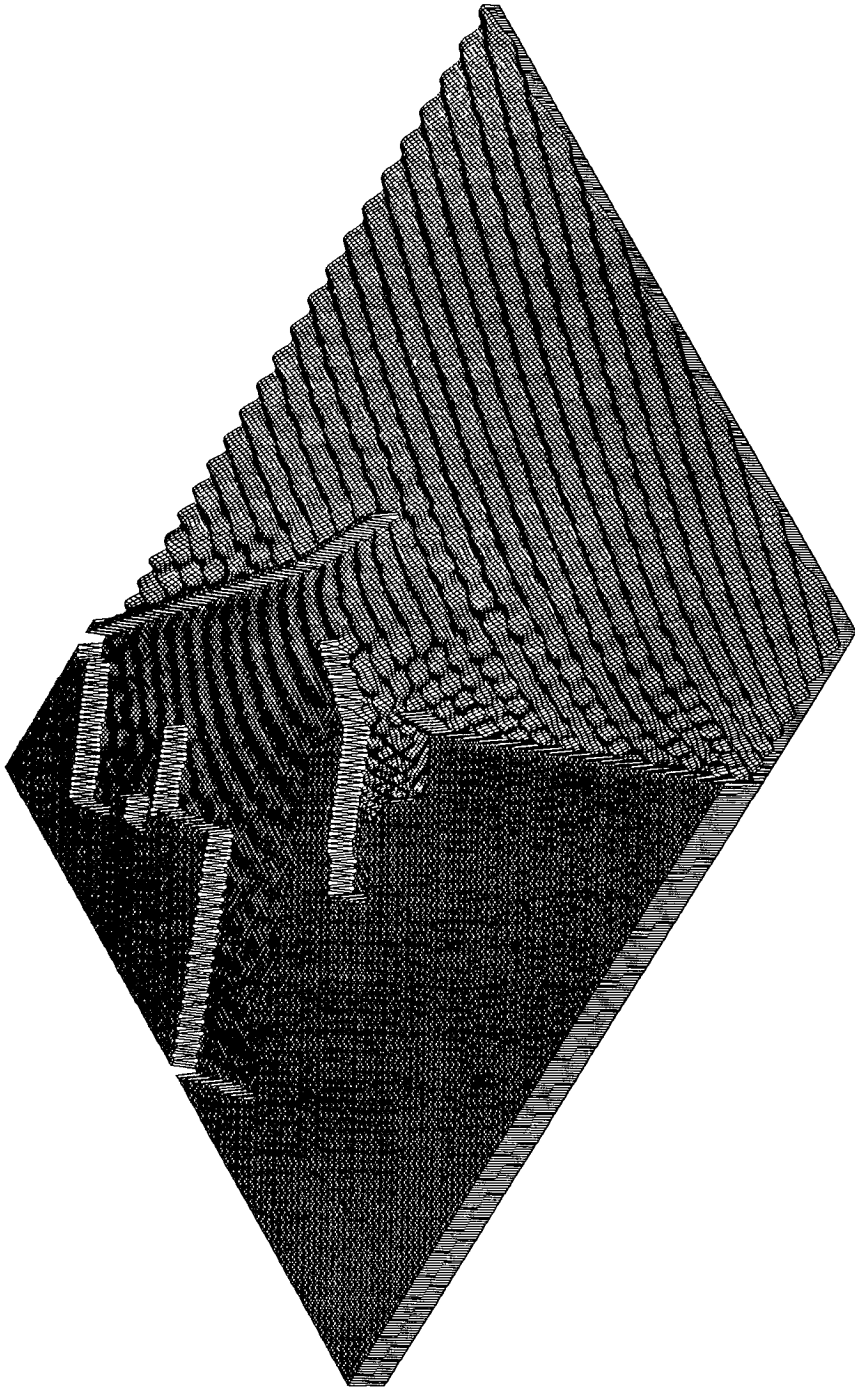


Fig. D.1.5 Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = S69° E).

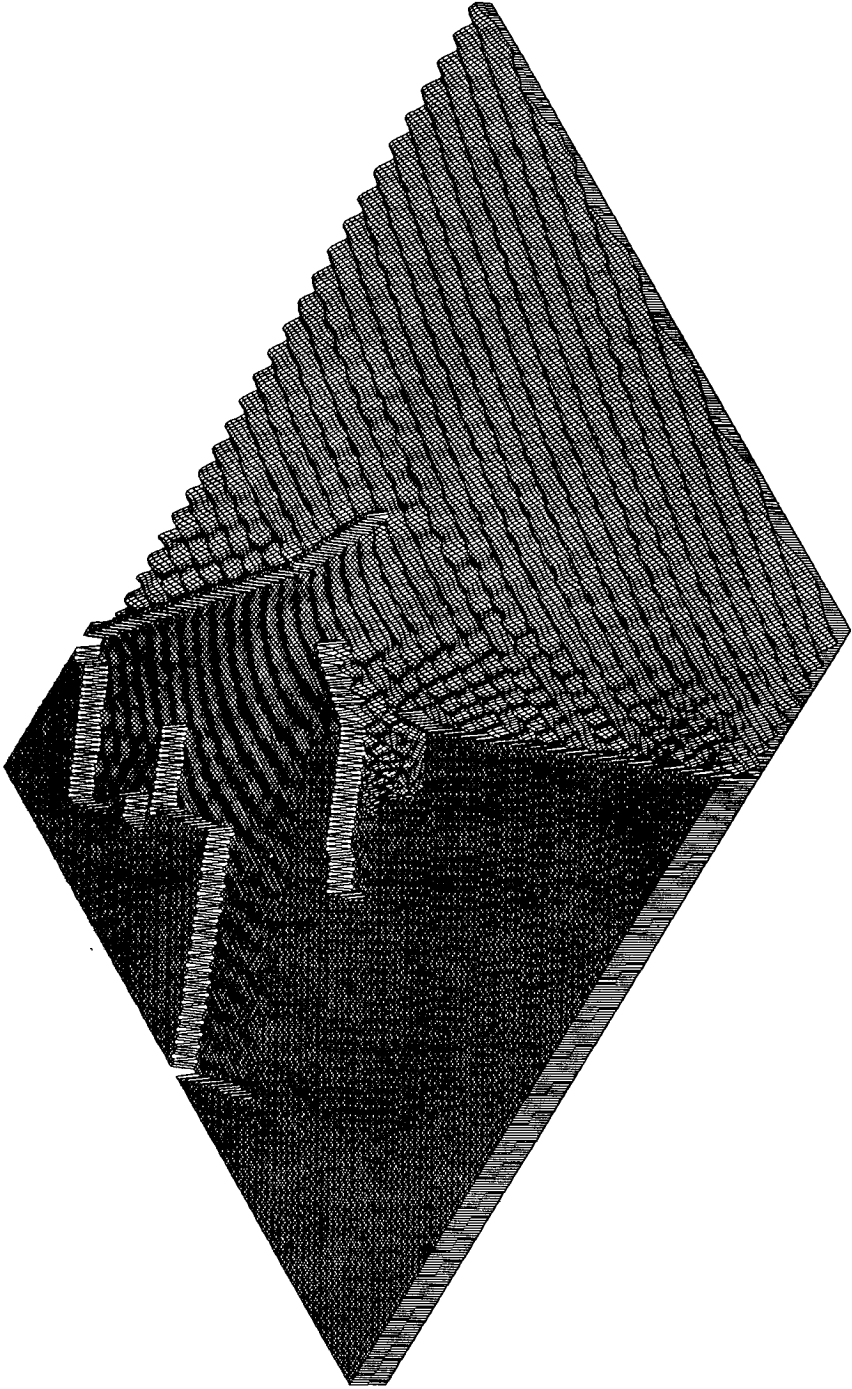


Fig. D.1.6 Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = S75° E).

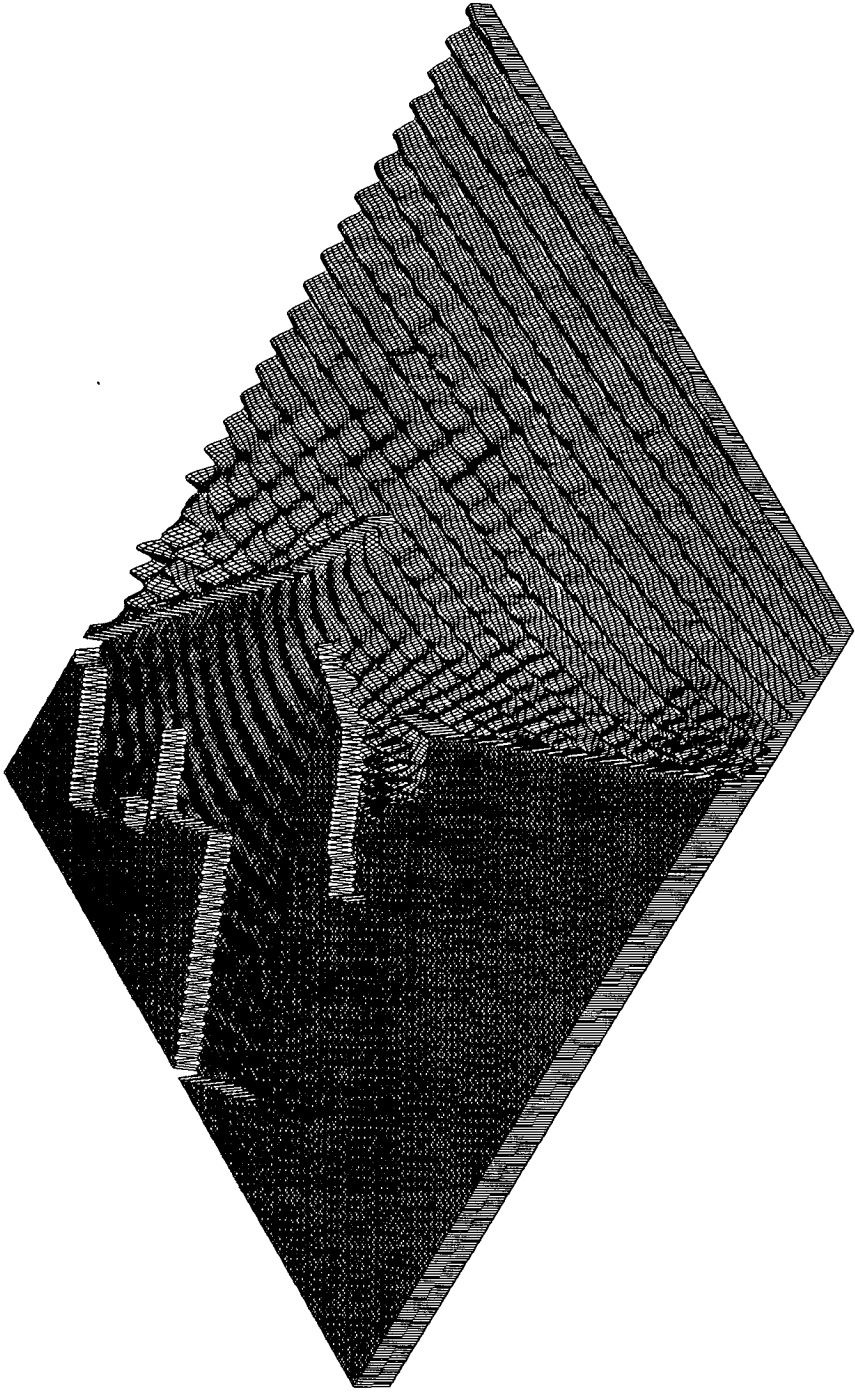


Fig. D.1.7 Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = N86° E).

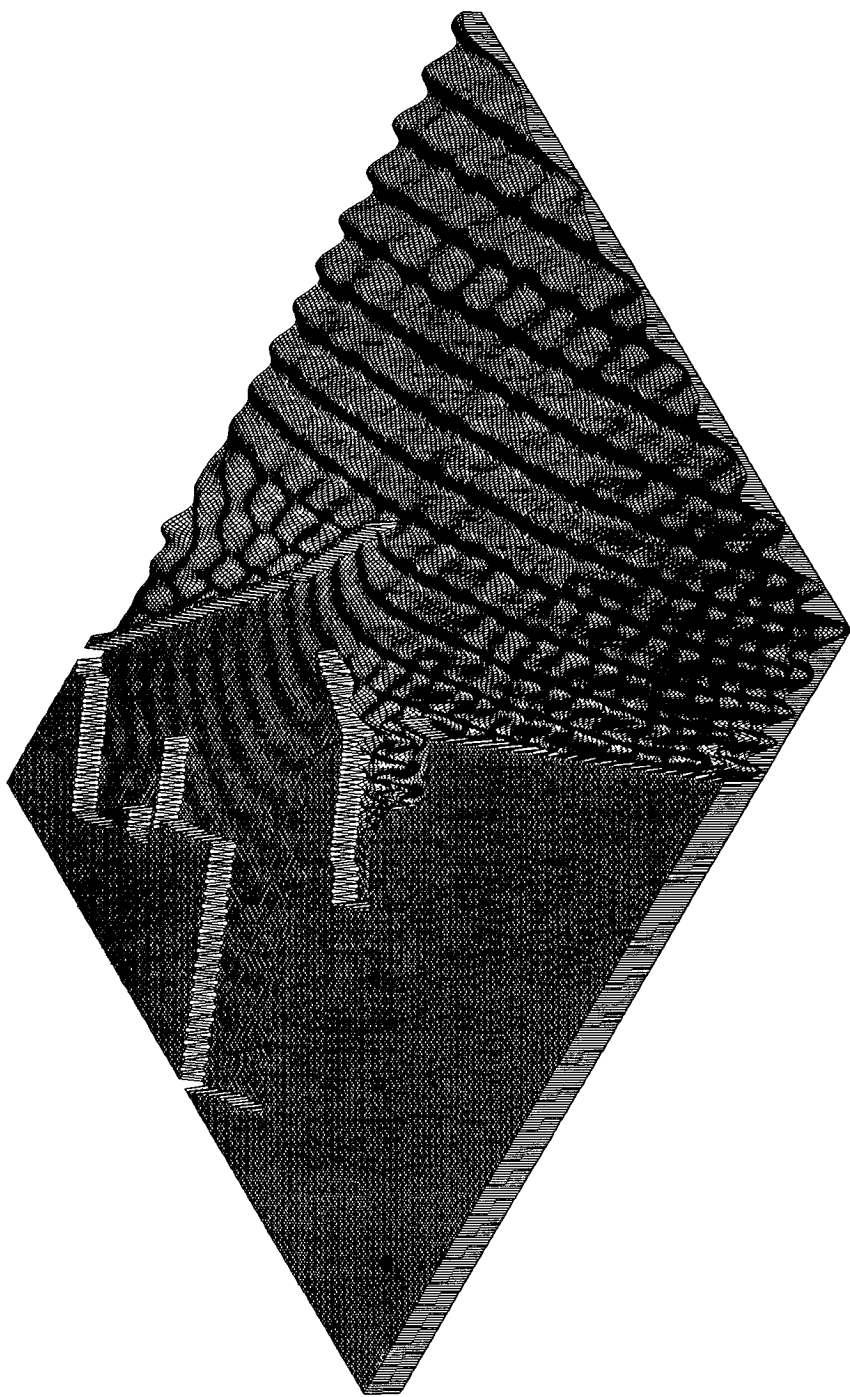


Fig. D.1.8 Three-dimensional snapshot of water level variations in the onshore computational region(Dir = N66° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S69E; HEIGHT=1.09m; PERIOD=9.2sec

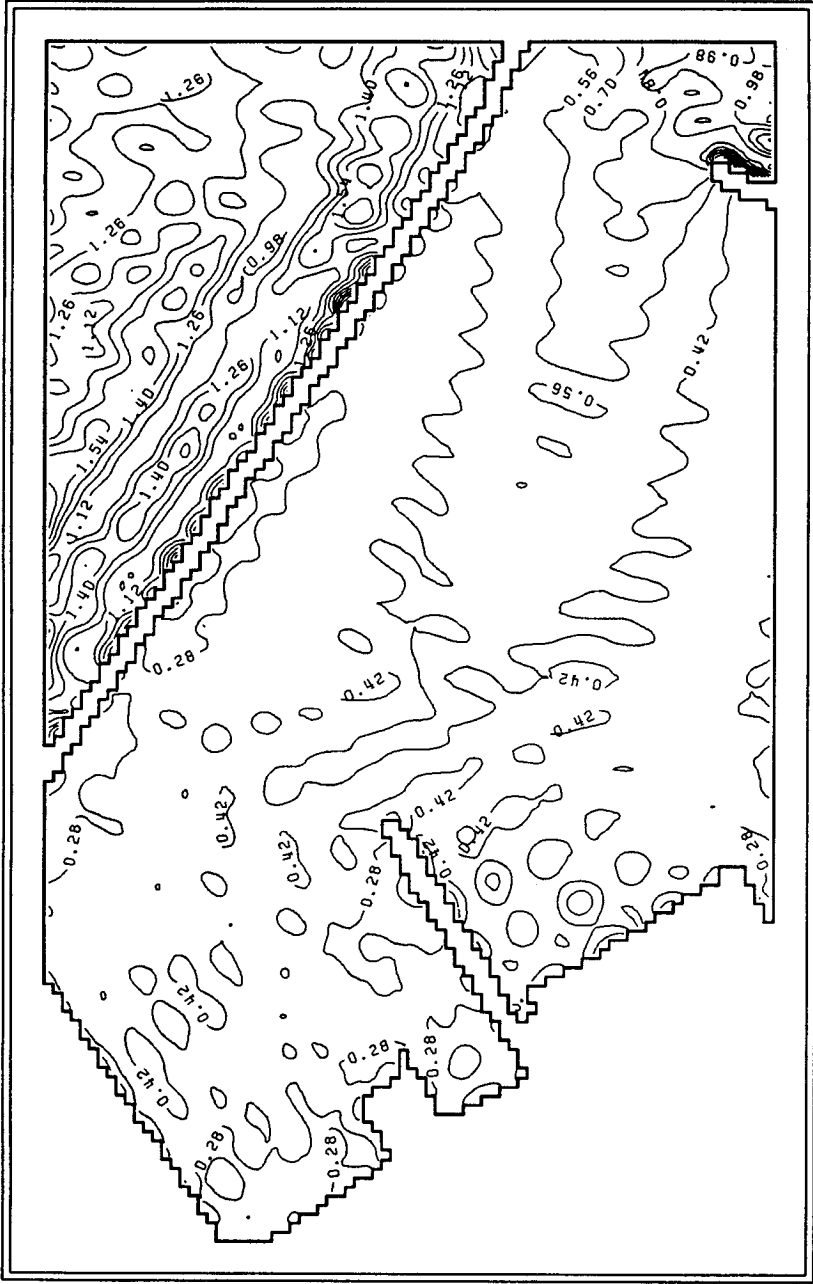


Fig. D.1.9 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S69° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S75E; HEIGHT=1.40m; PERIOD=8.4sec

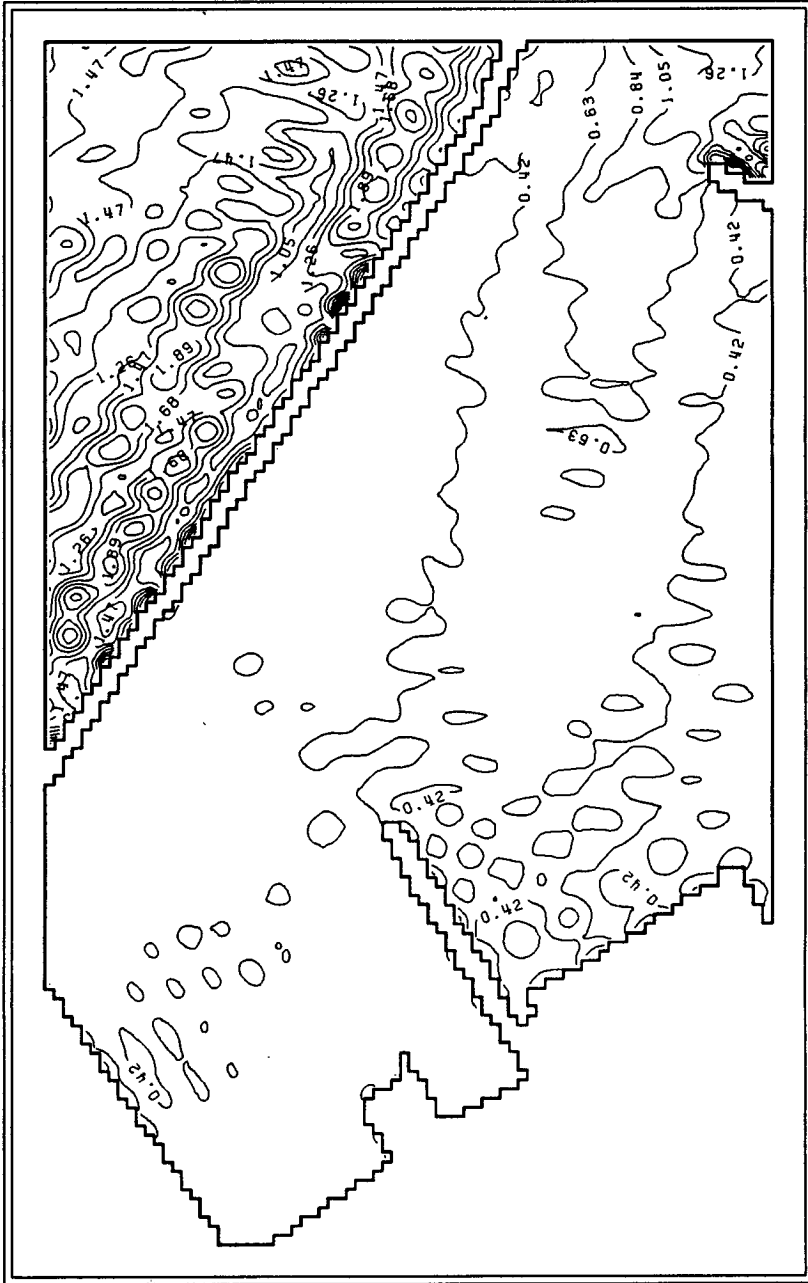


Fig. D.1.10 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = S75° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=N86E; HEIGHT=1.73m; PERIOD=9.2sec

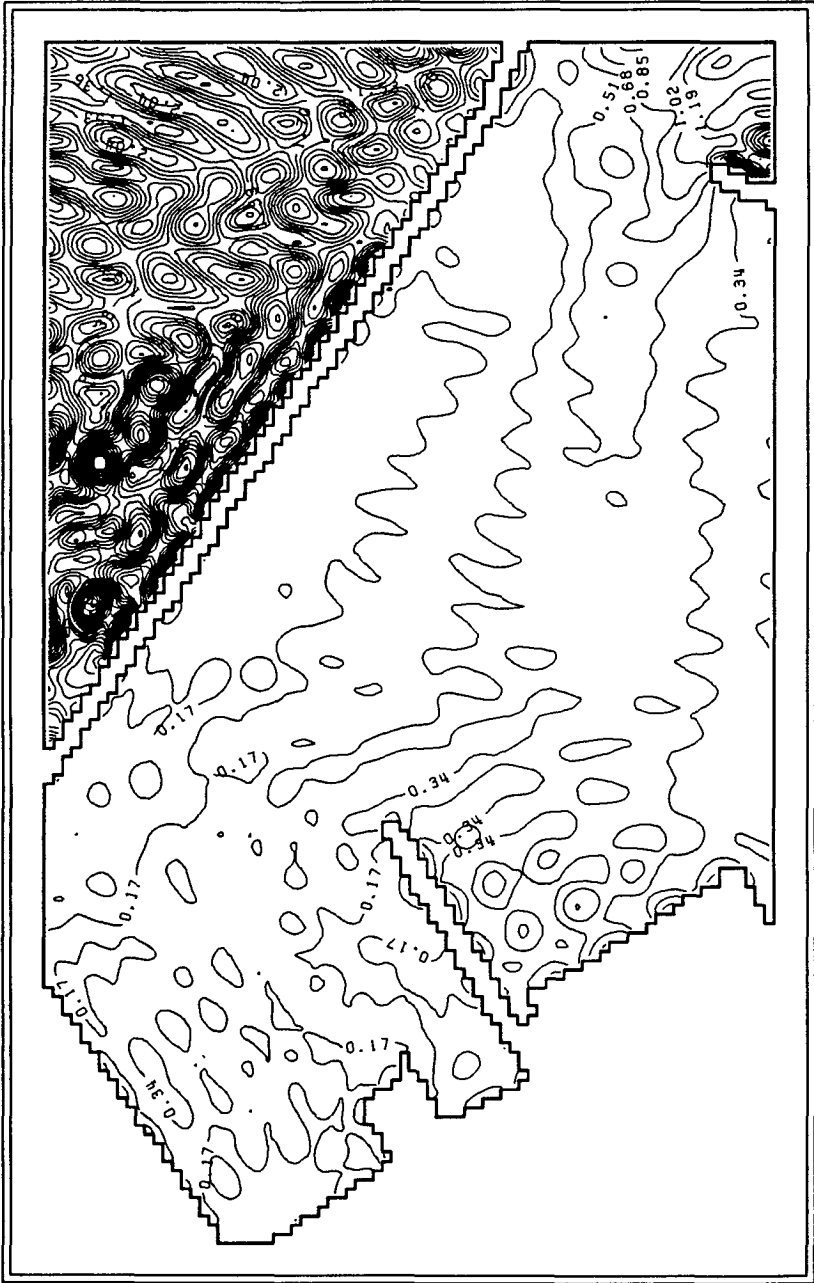


Fig. D.1.11 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N86° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=N66E; HEIGHT=2.02m; PERIOD=11.8sec

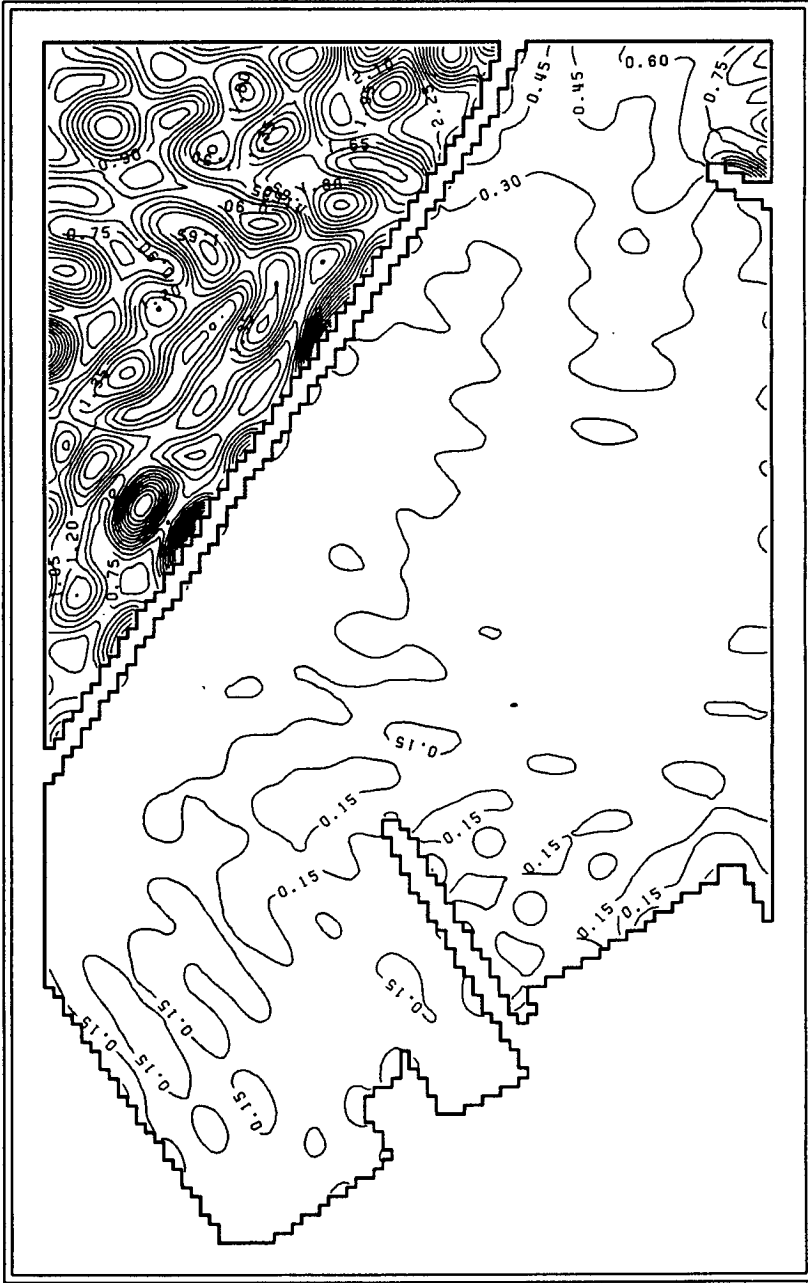


Fig. D.1.12 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 5 % annual occurrence wave condition(Dir = N66° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR
DIRECTION=S62E; HEIGHT=0.85m; PERIOD=7.8sec

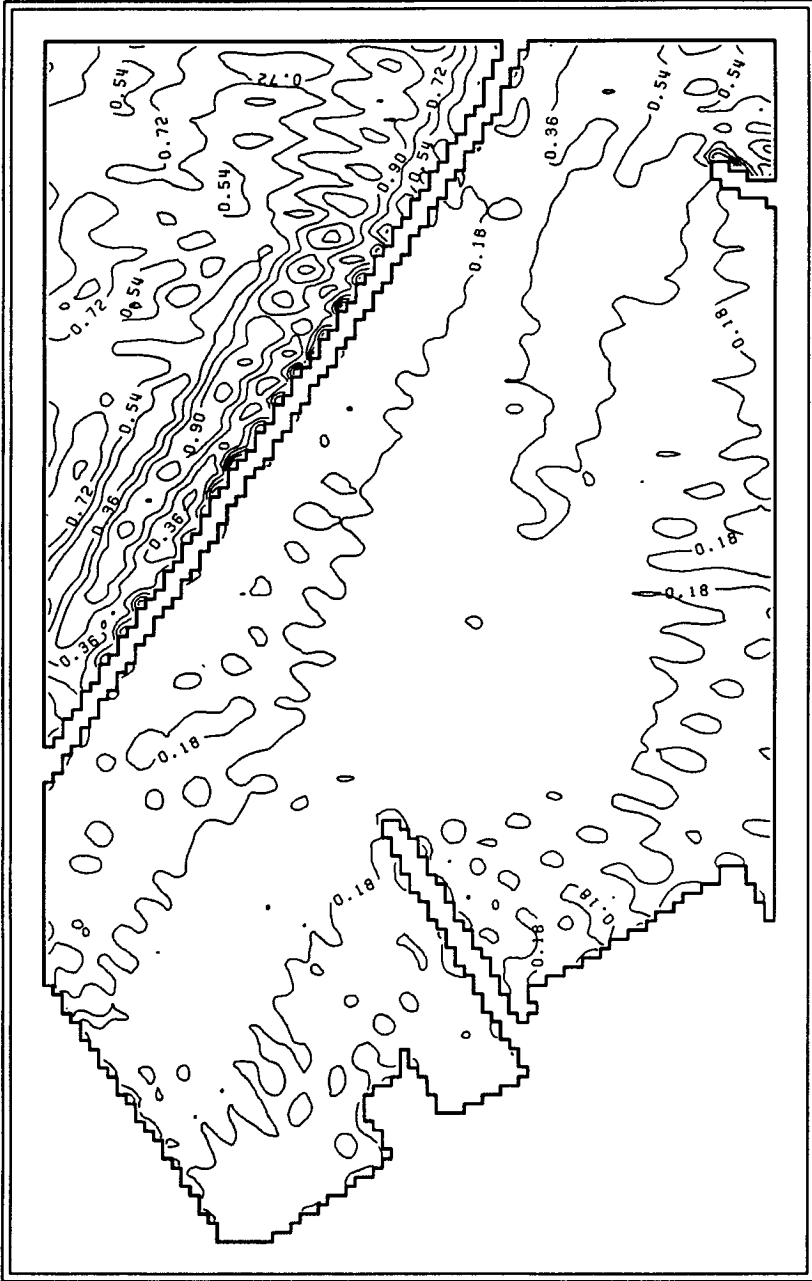


Fig. D.1.13 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10% annual occurrence wave condition(Dir = S62° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=S71E; HEIGHT=1.15m; PERIOD=7.4sec

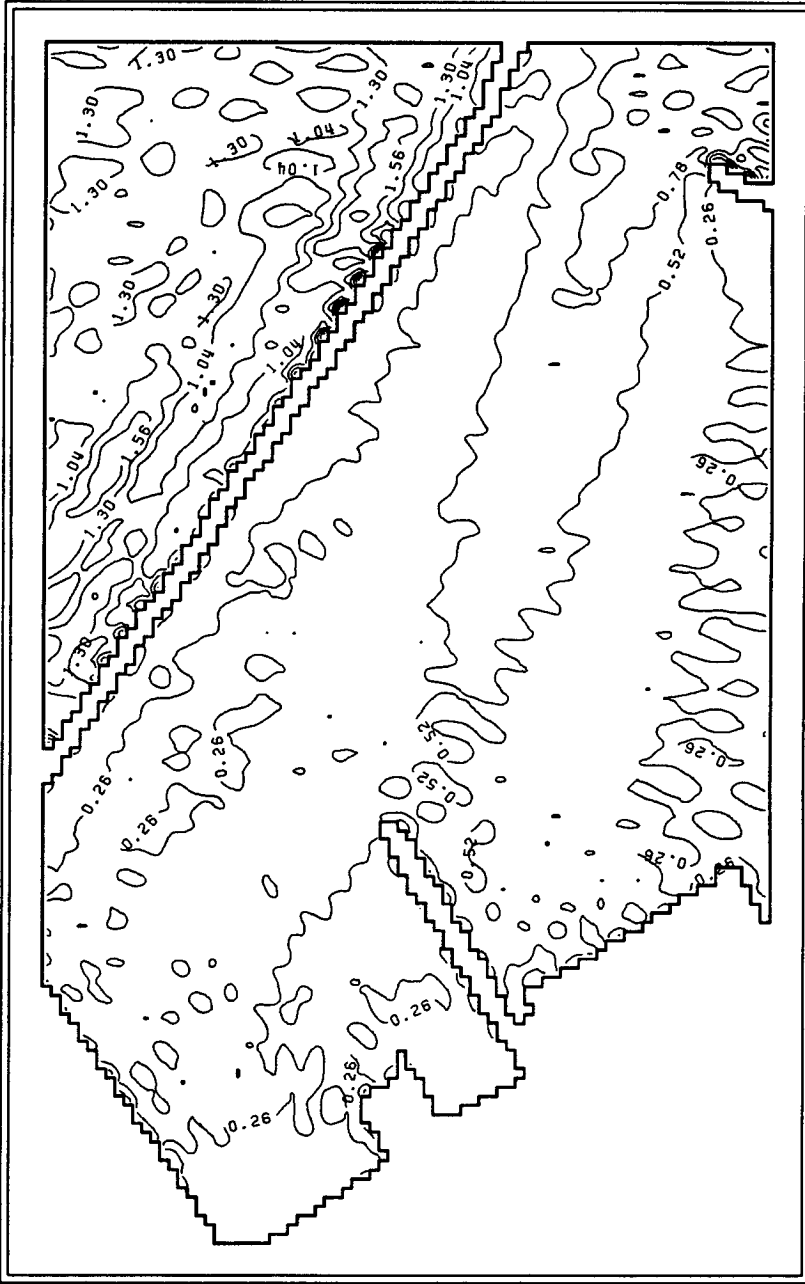


Fig. D.1.14 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = S71° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=N87E; HEIGHT=1.56m; PERIOD=8.6sec

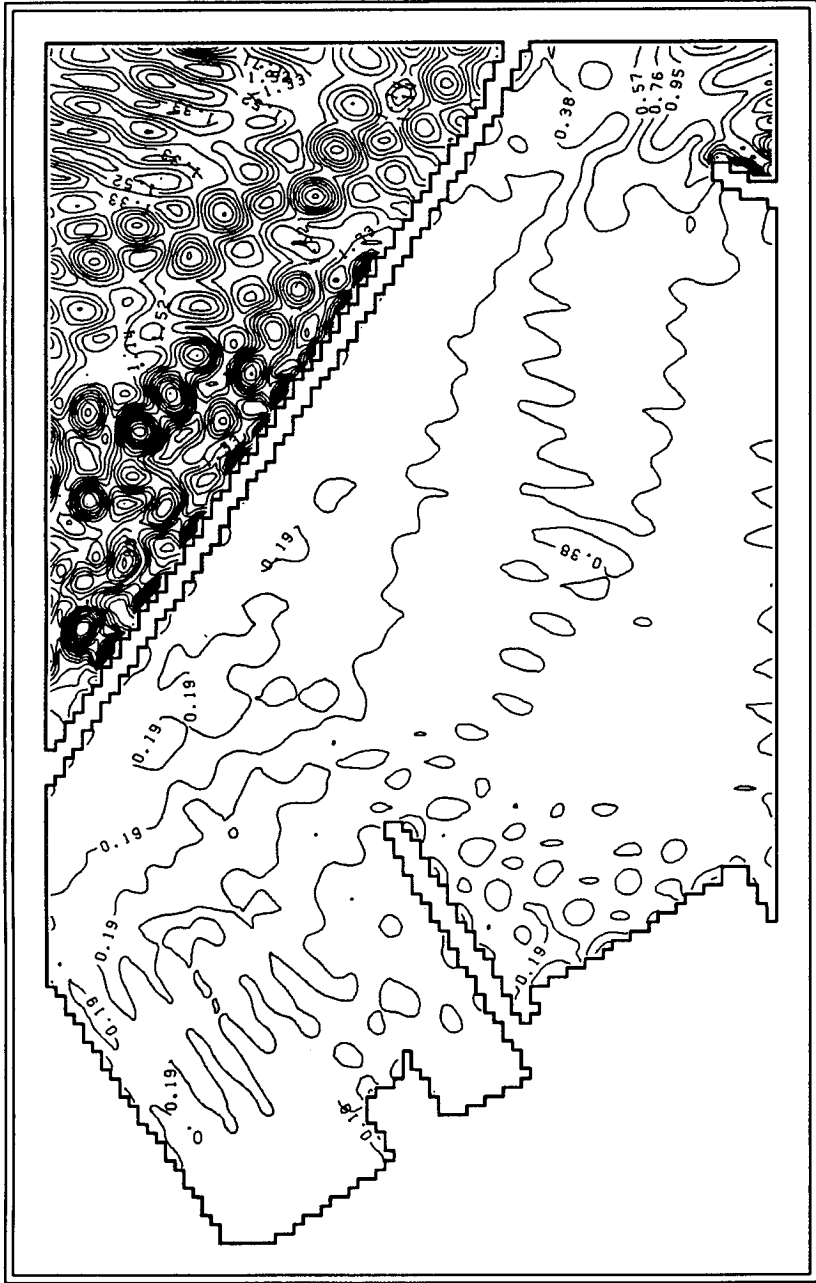


Fig. D.1.15 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N87° E).

WAVE HEIGHT RATIOS IN DONGHAE HARBOR

DIRECTION=N67E; HEIGHT=1.54m; PERIOD=9.6sec

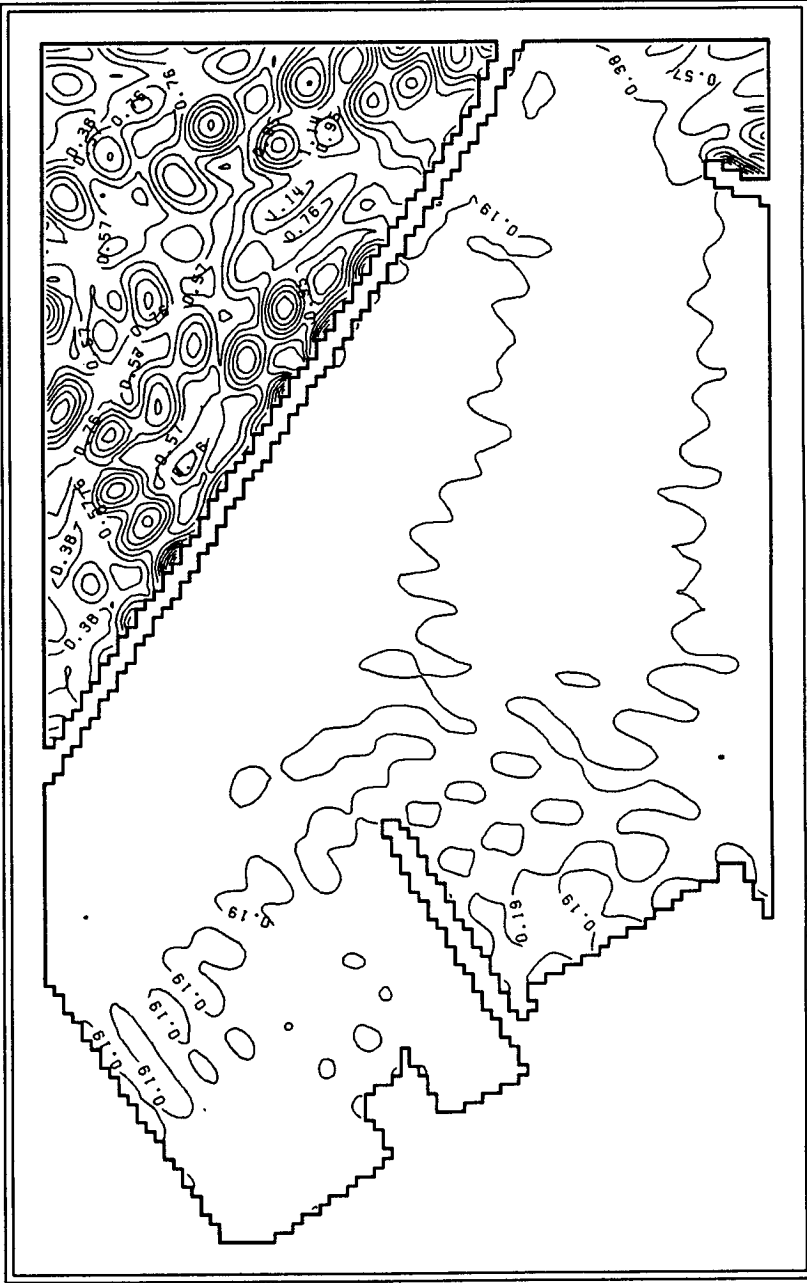


Fig. D.1.16 Calculated wave height ratios for critical wave height 0.3 m in the Donghae Harbor using 10 % annual occurrence wave condition(Dir = N67° E).

부록 E 국외전문가의 mission report

본 mission report는 연구사업의 일환으로 초청된 日本 運輸省 港灣技術研究所 (PHRI)의 白石愔 박사와 大阪大學 土木工學科 青木伸一 박사의 2인이 작성한 내용을 요약한 것이다.

E1. 천해역에서의 단주기파 변형

천해역에서의 파랑변형에 대해서는 최근 완경사 방정식을 사용하는 유효한 수치계산법이 여러가지 제안되고 있다. 그러나, 광범위한 연안역에서 다방향 불규칙 파를 계산 대상으로 하고, 또 파에 의한 흐름이나 쇄파, 해빈 변형 등을 포함하는 포괄적인 계산을 하기 위해서는 완경사 방정식을 사용하는 계산이 비실용적인 경우가 많다. 일본의 경우 동경대학교 토목공학과(Kubo et al., 1992), 그리고 미국의 경우 Delaware 대학 토목공학과(Kirby et al., 1992)에서는 불규칙한 파향과 위상을 입사경계에서 고려하는 쌍곡형 수치모형을 개발하여 타원형 수중천뢰상의 파랑 변형을 재현한 바 있다. 한편, 일본의 항만기술연구소(白石, 1992)나 大阪大學 土木工學科(青木, 1993)에서는 에너지 방정식을 기초로 차분계산법을 사용하여 일반적인 해안 뿐만 아니라 잠제(submerged breakwater) 등의 투과성 구조물이 있는 경우, 하구 유출류가 있는 하구 부근의 파랑 및 해빈 변형의 계산에 적용하고 있다. 그리고, 천해역에서의 파의 비선형성을 고려하기 위해 Boussinesq 방정식을 사용한 경우로는 DHI(Danish Hydraulics Institute)에서 상업화된 수치모형을 개발한 바 있다.

E2. 장주기 부진동

해안 부근의 장주기파에 대해서는 관측이나 실험이 어려워서 단주기파에 비해 연구가 늦어지고 있다. 장주기파는 해빈변형이나 항내진동 등의 중요한 현상과 강한 관련을 가지고 있음이 지적되고 있으나 그 발생 원인조차 충분히 해명되어 있지 않다. 따라서, 파군(wave group)에 수반되는 set-down wave나 연안류의 전단 불안정에서 비롯되는 far-infra-gravity wave(FIG wave) 등을 대상으로 하는 한 연구도 심도있게 진행되어야 할 것이다.

E3. 새로운 항내정온도 평가법

일본의 경우 지금까지의 항내정온도의 평가는 주로 계선안 전면에서의 유의파고를 기준하여 수행되었다. “항만의 시설의 기술상의 기준·동해설(일본항만협회, 1989)”에 제시된 박지의 정온도 평가기준은 계선안 전면에서의 하역한계파고로서 소형선은 0.3m, 중·대형선은 0.5m, 초대형선은 0.7~1.5m가 사용되고 있다. 그러나, 실제로는 계선안에서의 하역의 가부는 선박의 종류, 선박의 형태, 하역방식, 유의파 주기, 유의파고, 파향, 풍속, 풍향 및 계선안 구조 등의 영향을 받게 된다. 현재, 일본의 항만기술연구소에서는 상기 요인들을 고려한 하역 한계파고에 관한 검토를 실시하고 있다.

항내정온도 문제는 외곽시설, 계류시설의 배치를 고려하여 종합적으로 평가할 필요가 있다. 항내정온도를 향상시키기 위해서는 가능한 한 항구폭을 좁히거나 회선박지(回船泊地)를 제한할 필요가 있지만 이 경우 선박의 조종성이 나빠지므로

PHRI에서는 입·출항하는 선박의 조종문제와 계류선박의 동요 문제를 종합적으로 평가할 방법의 검토를 진행하고 있다.

항내정온도는 항만의 이용자인 조선관계자(선장이나 pilot 등)가 판단해야 하며 항내의 파고보다도 물론 선박의 동요량으로 평가하는 것이 바람직하다. 이 경우 동일한 파고에 대해서도 입사파의 주기나 대상으로 하는 선박에 따라서 정온도가 달라진다. 이러한 항내정온도를 생각할 경우 항만관계자가 일률적으로 결정하기 보다는 입항하는 선박에 대한 정온도를 파악해야 한다. 따라서, 항만기술자로서는 입항하는 선박의 크기나 종류마다 정온도의 자료(동요의 크기)를 정보로서 제공할 수 있어야 되며, 또 이러한 정보를 토대로 적절한 선석(berth)의 배치계획을 수립하는 것도 가능해질 것으로 사료된다. 이러한 방법은 어디까지나 이상론이며 현실적으로는 선체동요 예측의 어려움, 선체동요의 한계치가 명확하지 않은 점 등에 의해 곧바로 실시되기는 어렵다. 그러나, 현재 일본의 운수성에서는 이러한 평가를 실시하려고 하는 움직임이 있으며 금후 예측방법 등이 개선됨에 따라 선체동요에 의한 평가가 가능해질 것으로 생각된다.

E4. 선체운동의 수치 및 수리모형실험

E4.1 수치계산시의 개선점

불규칙파중의 선체운동은 파의 주기(수초~십수초)와 유사한 주기의 단주기 동요와 1~2분 정도의 장주기 동요의 2 종류로 크게 구분할 수 있다. 전자는 정수 역학적인 복원력을 가지는 모드에서 현저하지만 이에 대해서는 선형 포텐셜 이론을 사용하여 거의 예측이 가능한 단계에 도달했다고 생각된다. 단, roll(횡동요)과

같이 고유주기 부근에서의 비선형 감쇠 효과가 중요한 모드에 대해서는 감쇠력의 평가방법이 정량적인 동요 예측을 위한 문제점으로서 남게 된다.

장주기 선체동요는 계류부체의 수평운동(surge, sway)과 회전운동(yaw)의 모드에서 나타나는 동요로서 운동의 고유주기가 1~2분 정도인 점과 연관되어 있다. 장주기 동요의 원인으로서는 다음의 세 가지를 생각할 수 있다.

- 불규칙파중에 포함된 장주기파 성분에 의한 강제진동
- 불규칙파의 파고의 변동성(파군)에 기인되는 변동표류력에 의한 강제진동
- 계류 시스템의 비선형성에 의한 subharmonic resonance의 발생

위의 세 가지중 첫번째에 대해서는 단주기파에 의한 동요와 완전히 동일하게 대처할 수가 있지만, 두번째와 세번째에 대해서는 파랑 및 부체 진동 시스템에서의 비선형성을 고려하지 않으면 설명할 수 없는 현상이며 취급이 쉽지 않다. 변동표류력에 대해서는 Pinkster(1976) 등에 의해 근사식이 제안되어 있지만 다방향 불규칙파에 대한 적용이나 항내 등의 복잡한 파랑장에서는 여전히 문제점으로 남아 있다. 그리고, 이러한 장주기 동요에 수반되는 감쇠는 통상적인 방사 감쇠(radiation damping)나 점성 감쇠 이외에 wave damping으로 불리우는 새로운 감쇠 효과를 고려해야 되는 점이 지적되고 있으며 이 외에도 문제점이 많다.

그리고, 비선형 계류된 부체에 대해서 생각해 보면 계류시스템에서 발생하는 장주기의 subharmonic motion과 장주기 외력에 의한 강제 진동이 공존하게 되므로 문제가 더욱 복잡해진다. 따라서, 금후 이러한 장주기 동요의 해명 및 예측방법의 개발에 노력을 경주해야 할 것이다. 또한, 장주기 동요에 대해서는 해·조류(current)이나 바람의 영향도 무시할 수 없는 경우가 많으므로 이들에 대한 연구도 포함되어야 한다.

HYDRO와 BERTH에는 파랑표류력에 대한 검증자료가 포함되어 있지 않으므로 이에 대한 비교·검토를 수행해야 할 것으로 사료된다. 계류시스템의 비선형성 및 방충재의 이력현상(hysteresis)은 계류된 선박의 동요에서 중요한 요인이 되므로 이에 대한 검토를 할 필요가 있다. 수치모형 BERTH에서는 계류시스템의 비선형성의 고려가 가능하지만 hysteresis에 대해서는 고려할 수 없으므로 차후 이에 대한 개선이 요망된다.

E4.2 파랑장과 선체운동 계산의 분리

Tekmarine Inc.(1988)에서 개발한 수치모형, HYDRO와 BERTH는 2차원 유한요소법과 3차원 유한요소법을 병용하여 항내 파고분포 계산과 선체동요 계산을 동시에 수행하는 방법이며 방법면에서는 완결된 것으로 생각된다. 그러나, 이 방법을 대규모 항만에 적용하는 경우는 요소 분할수가 커지게 되어 계산에 필요한 기억 용량 및 입력 자료 작성에 필요한 시간이 많아지게 되는 단점이 부각된다. 단주기파 변형의 계산시 靑木(1991)이 제안한 파향선법을 이용한 계산 및 高山(1981)의 항내정온도 계산법을 上田(1984)의 동요계산법과 연결하는 방법 등을 생각할 수 있다. 그러나, 상기 방법들은 일정수심의 가정에 근거하고 있으므로 해양연구소(1991)의 쌍곡형 수치모형을 주파수별로 다방향 불규칙파를 고려할 수 있도록 확장하고 이를 HYDRO 및 BERTH와 연결하는 방안이 정확도면에서 보다 유리할 것으로 사료된다.

즉, 제1단계로서 항내의 파랑 변형만을 풀어서 Froude-Krylov력을 우선 구한 후 선체상의 포텐셜의 법선방향 미분치를 사용하여 회절 및 방사 문제를 푸는 2단계를 수순을 밟는 것이 좋다. 이 방법의 이점은 항내에서의 파랑변형을 구할 때는 항만 전체의 형상을 고려하지만 선체에 의한 파의 산란은 풀 필요가 없으며, 역으

로 회절 및 반사 문제를 풀 때는 선체를 고려하지만 항만 경계의 영향은 선체 주변만을 고려하면 되므로 계산이 간단해진다. 회절 및 방사 문제를 푸는 경우 선체 주변의 경계만을 고려하는 이유로는 이들 문제에서 발생하는 파는 선체로부터 방사형으로 넓게 퍼져가는 파가 있으며 원방 경계의 영향은 거의 무시할 수 있기 때문이다.

E4.3 수리모형실험

포항종합제철주식회사(1989)에서 실시한 선체운동 수리모형실험시 모형 방충재에 대해서는 고무를 사용하여 형상을 조정하고 변위 복원력 특성의 상사성을 재현하였으나 모형에서 구해지는 변위복원력 특성과 실제 방충재의 특성의 비교가 없다. 모형에 의한 재현성이 명확하지는 않지만 모형은 실제 방충재보다도 hysteresis가 클 것으로 추정된다. 일반적으로 고무의 특성을 모형 축척과 일치시키는 것은 어려우므로 여러 개의 coil spring 또는 공기 압력을 사용하여 변위 복원력 특성을 모형화하는 방법이 바람직하다.

부록 F 죽변항 하계 파랑 정점관측시의 태풍 경로

제2장에 기술한 바와 같이 1993년 7월 22일부터 8월 26일까지 죽변항의 항의 정점 SW에서 파향·파고계를 이용하여 단주기파를 관측하였다. 동 관측기간중에는 제4호 태풍 NATHAN에서 제12호 WINONA까지 총 9개의 태풍이 발생하였으나 우리나라 또는 관측해역에 영향을 미친 것은 제5호 OFELIA, 제6호 PERCY 및 제7호 ROBYN으로 제한된다. 상기 3개 태풍에 관한 간단한 자료(중심시도, 위치, 최대풍속 등)를 Table F.1.1~F.1.3에 각각 제시하였다. 또한, 태풍 중심의 시간별 위치를 Figs. F.1.1~F.1.3에 각각 도시하였다. 단, 표와 그림에 표시된 시간은 관측자료의 수집 시간과의 비교를 위하여 편의상 동경 135°를 기준한 우리나라의 시간으로 표시하였다.

태풍 OFELIA가 죽변 해역에 영향을 미친 것은 7월 27일 15시에서 7월 28일 12시까지로 보여지며 부록의 Table A.1.4를 살펴보면, 이 기간중의 유의파고는 0.75~1.28 m, 침두주기는 5.24~8.70 sec, 대표파향은 N27.7°E~N39.5°E로 변화하였다. 태풍 PERCY의 경우 7월 30일 00시에서 7월 30일 18시까지 동 해역에 영향을 미쳤다고 생각되며 유의파고가 1.23~1.79 m, 침두주기는 5.60~9.18 sec, 대표파향이 N11.9°E~N59.0°E까지 분포하였다. 태풍 ROBYN의 경우 8월 10일 06시에서 8월 11일 오후까지 영향을 미친 것으로 추정되나 동기간중에는 정전으로 인하여 8월 10일 12시부터는 관측자료를 입수하지 못하였다. Figs. F.1.1~F.1.3의 경로도를 살펴보면 제7호 태풍 ROBYN이 가장 우리나라에 근접하여 통과하였으며, 따라서 이 시기의 파고도 상당히 컸을 것으로 추측되나 결측되었으므로 차후 이러한 현장관측시에는 재해로 인한 결측이 발생하지 않도록 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

Table F.1.1 Details about typhoon OFELIA.

시 간	중심시도 (hPa)	위치		중심최대풍속 (knots)
		위도	경도	
7월 26일 12시	996	25.1 ° N	134.1 ° E	40
7월 26일 15시	994	25.6 ° N	133.7 ° E	45
7월 26일 18시	994	26.0 ° N	133.3 ° E	45
7월 26일 21시	994	26.1 ° N	133.0 ° E	45
7월 27일 00시	994	26.6 ° N	132.8 ° E	45
7월 27일 03시	994	28.2 ° N	131.9 ° E	45
7월 27일 06시	994	29.4 ° N	131.5 ° E	45
7월 27일 09시	990	30.7 ° N	131.2 ° E	45
7월 27일 12시	992	31.5 ° N	131.2 ° E	40
7월 27일 15시	994	33.0 ° N	131.6 ° E	40
7월 27일 18시	992	34.3 ° N	131.8 ° E	40
7월 27일 21시	996	35.7 ° N	132.7 ° E	35
7월 28일 00시	996	36.7 ° N	133.2 ° E	36
7월 28일 03시	1004	38.0 ° N	134.0 ° E	-

Table F.1.2 Details about typhoon PERCY.

시 간	중심시도 (hPa)	위치		중심최대풍속 (knots)
		위도	경도	
7월 28일 21시	990	25.0 ° N	128.2 ° E	45
7월 29일 00시	985	25.5 ° N	128.3 ° E	50
7월 29일 03시	980	26.3 ° N	128.4 ° E	55
7월 29일 06시	980	26.9 ° N	128.5 ° E	55
7월 29일 09시	975	27.6 ° N	128.7 ° E	60
7월 29일 12시	975	28.4 ° N	128.7 ° E	60
7월 29일 15시	975	29.4 ° N	128.9 ° E	60
7월 29일 18시	975	30.8 ° N	129.2 ° E	60
7월 29일 21시	975	31.7 ° N	129.4 ° E	60
7월 30일 00시	980	32.9 ° N	130.0 ° E	55
7월 30일 03시	980	34.3 ° N	130.5 ° E	55
7월 30일 06시	980	35.8 ° N	131.9 ° E	55
7월 30일 09시	985	37.1 ° N	132.9 ° E	50
7월 30일 12시	985	38.2 ° N	133.7 ° E	50
7월 30일 15시	990	39.2 ° N	134.2 ° E	45
7월 30일 18시	990	40.1 ° N	134.9 ° E	45
7월 30일 21시	994	41.0 ° N	136.0 ° E	-
7월 31일 03시	996	41.0 ° N	136.0 ° E	-

Table F.1.3 Details about typhoon ROBYN.

시 간	중심시도 (hPa)	위치		중심최대풍속 (knots)
		위도	경도	
8월 8일 21시	945	25.3 ° N	129.8 ° E	85
8월 9일 00시	945	25.8 ° N	129.6 ° E	85
8월 9일 03시	945	26.3 ° N	129.5 ° E	85
8월 9일 06시	945	27.0 ° N	129.3 ° E	85
8월 9일 09시	945	27.7 ° N	129.2 ° E	85
8월 9일 12시	940	28.4 ° N	129.1 ° E	85
8월 9일 15시	940	29.0 ° N	129.0 ° E	85
8월 9일 18시	940	29.9 ° N	129.1 ° E	85
8월 9일 21시	940	30.4 ° N	129.1 ° E	85
8월 10일 00시	945	31.3 ° N	129.1 ° E	85
8월 10일 03시	955	32.2 ° N	129.2 ° E	75
8월 10일 06시	950	33.3 ° N	129.4 ° E	85
8월 10일 09시	955	34.1 ° N	129.8 ° E	80
8월 10일 12시	955	35.1 ° N	130.2 ° E	80
8월 10일 15시	965	36.0 ° N	130.9 ° E	70
8월 10일 18시	970	37.0 ° N	131.8 ° E	65
8월 10일 21시	975	38.5 ° N	132.8 ° E	60
8월 11일 00시	975	39.2 ° N	133.6 ° E	60
8월 11일 03시	980	39.5 ° N	134.0 ° E	55
8월 11일 06시	980	39.9 ° N	134.8 ° E	55
8월 11일 09시	985	40.0 ° N	135.0 ° E	50

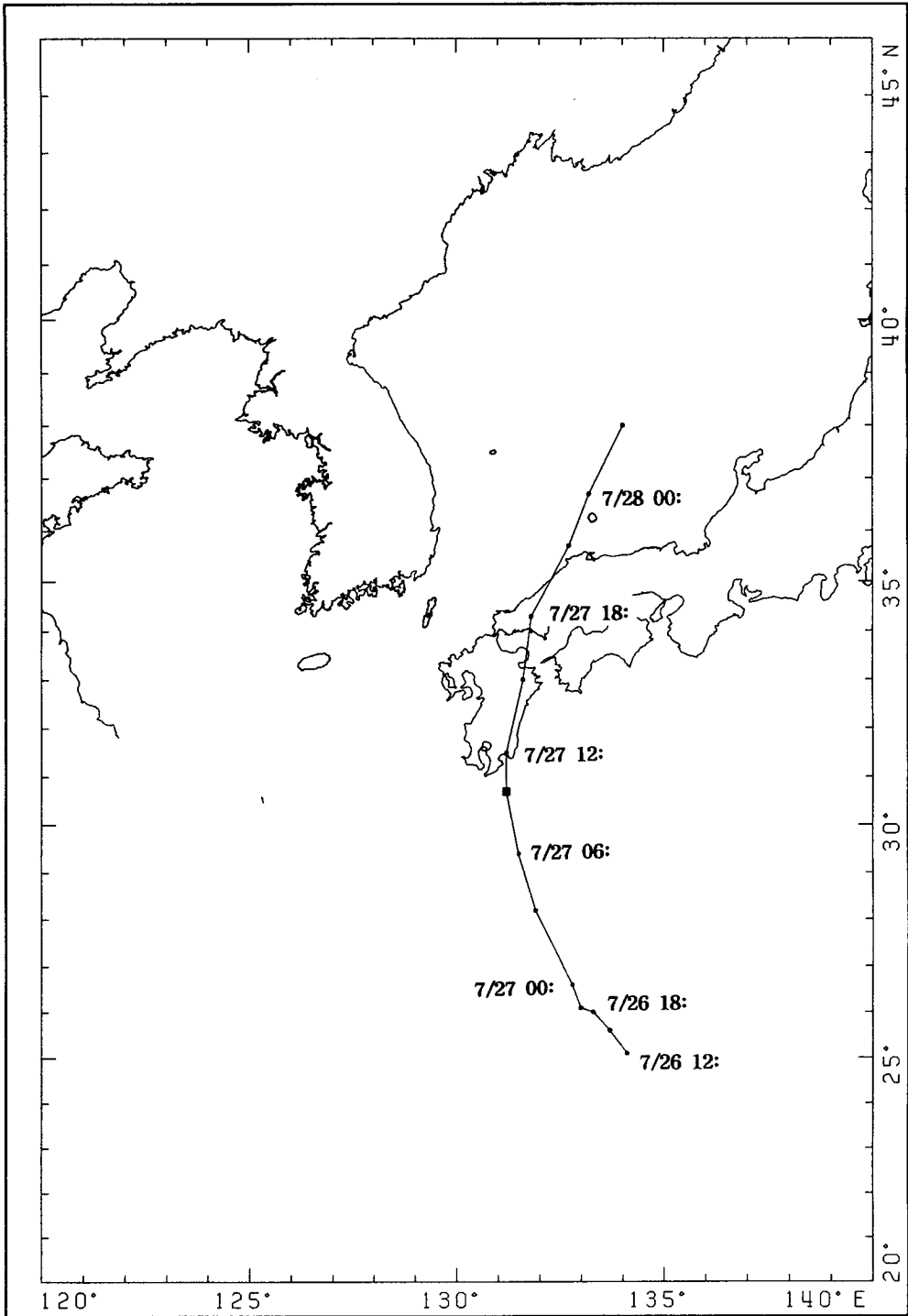


Fig. F.1.1 Trajectory of center of typhoon OFELIA(12:00 7/26 ~ 03:00 7/28/93).

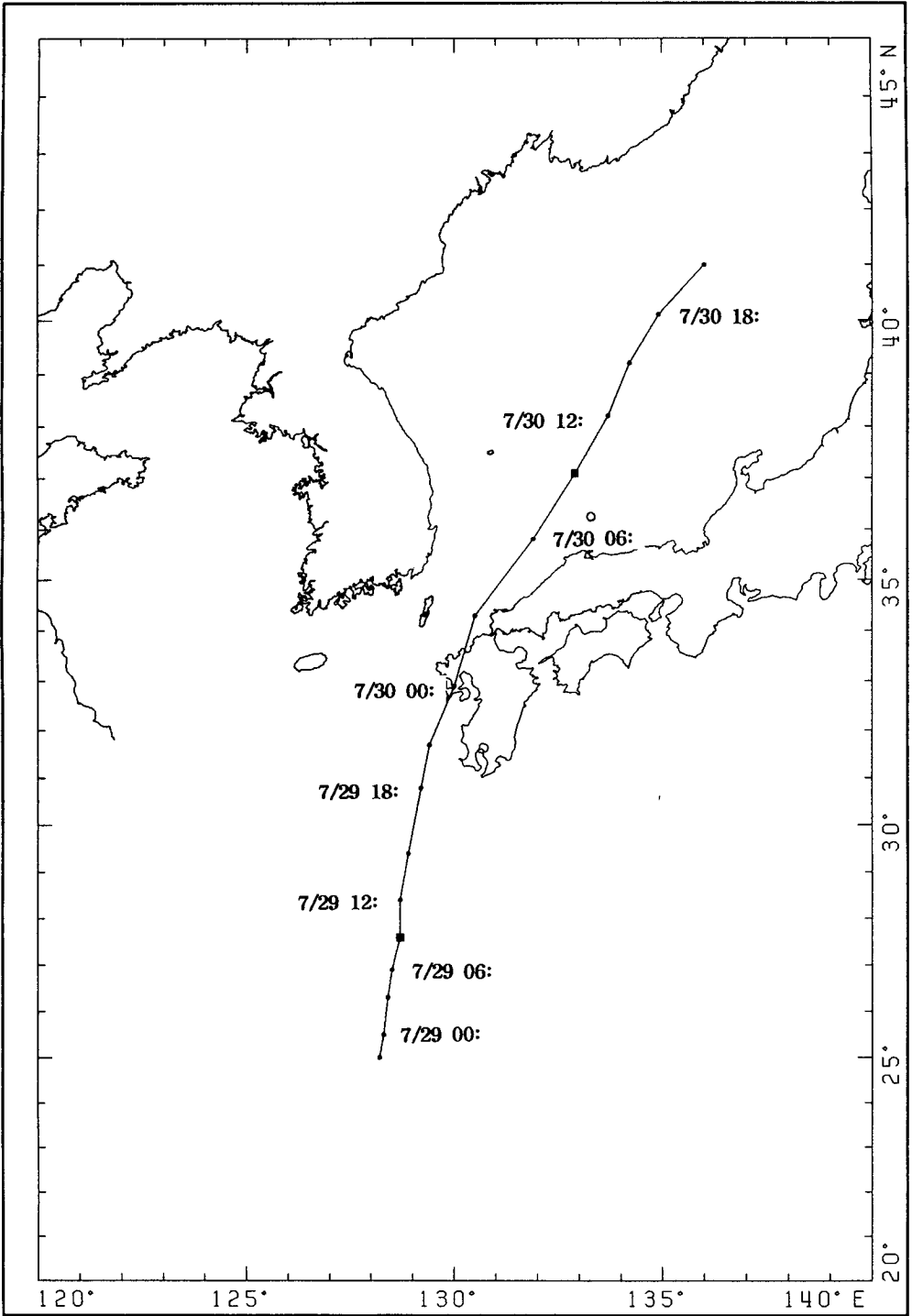


Fig. F.1.2 Trajectory of center of typhoon PERCY(21:00 7/28 ~ 21:00 7/30/93).

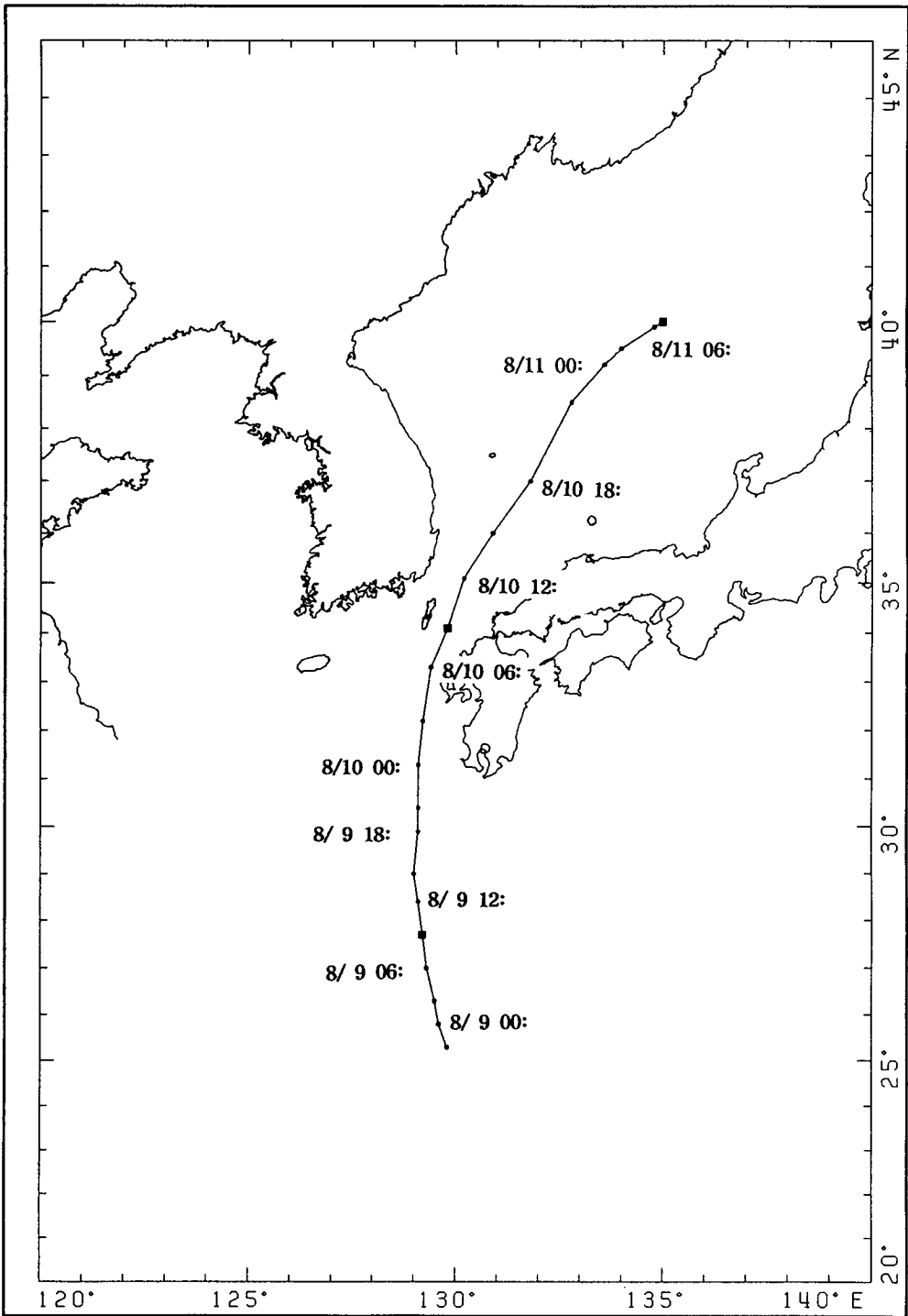


Fig. F.1.3 Trajectory of center of typhoon ROBYN(21:00 8/08 ~ 09:00 8/11/93).