

BSPE 00402-727-2

2차원 불규칙 조파시스템의 설계 및 건설에  
관한 연구

A Study on Design and Construction of Two-Dimensional  
Irregular Wavemaking System

1994. 3.

한국해양연구소

# 제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “2차원 불규칙 조파시스템의 설계 및 건설에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 3월

한국해양연구소

연구책임자 : 서경덕

연구 원 : 이달수

연구 원 : 이동영

연구 조원 : 장세철

# 요 약 문

## I. 제 목

2차원 불규칙 조파시스템의 설계 및 건설에 관한 연구

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

沿岸工學과 관련된 제반 연구는 크게 이론적 연구, 현장관측을 통한 연구, 수치모형을 이용한 연구, 수리실험을 통한 연구 등으로 구분할 수 있다. 연안공학 연구의 발전을 위해서는 이러한 여러 방향의 연구가 균형적으로 발전하여 상호보완적으로 사용되어야 할 것이다. 그러나 현재 우리나라의 연안공학 연구는 現場觀測과 數值模型 연구에 편중되어 있으며, 水理實驗 분야는 타 분야에 비해 낙후되어 있다. 수리실험 분야의 연구에 필수적인 장비는 파랑을 발생시킬 수 있는 造波水槽인데 현재 국내 연구소 및 대학에 설치되어 있는 조파수조는 대부분 외국 기술진에 의해 제작된 것이다. 본 연구의 목표는 2차원 조파수조의 설계 및 제작에 관한 기술을 정립하여 보급함으로써 국내 수리실험 분야의 연구를 활성화 시키는 데 있다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

- 국내·외 조파수조 현황 및 특성 조사
- 파랑 및 흐름 발생장치와 퇴적물 이동 실험장치를 포함하는 2차원 조파수조의 설계

### Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 연구개발결과

국내·외 해양공학 관련 대학 및 연구소의 파랑수조 특성 및 보유현황을 조사, 정리한 결과 국내 대학 및 연구소가 보유하고 있는 파랑수조의 양이 외국에 비해 훨씬 적은 것을 알 수 있었으며, 이는 국내의 수리실험 분야 연구가 외국에 비해 상당히 뒤떨어져 있음을 나타내는 단적인 증거라 할 수 있다. 국내 수리실험 분야의 연구를 활성화시키기 위해서는 파랑수조의 설계 및 제작 기술을 향상시키고 또한 파랑수조를 저렴한 가격으로 공급할 수 있도록 함으로써 해양관련 수리실험의 저변 확대가 필요하다.

파랑수조 설치위치는 한국해양연구소 제2연구동 1층 실험실로 하였으며, 실험실의 공간적인 여건을 감안하여 수조의 크기는 길이 24.2 m, 폭 0.6 m, 높이 0.9 m로 하였다. 조파기의 형태는 소형 조파수조에 적합한 전기식 피스톤형으로 불규칙 파랑을 발생시킬 수 있도록 설계 하였으며, 파랑과 흐름을 동시에

발생시킬 수 있는 파랑-흐름 복합수조로 설계하였다. 조파기의 설계수심, 주기 및 파고는 각각 50 cm, 2.0 s, 40 cm로 하였으며, 이에 대한 설계 Stroke는 52 cm, 조파기 구동파워는 약 1.1 Hp로 계산되었으나 실제 설계에서는 조파기 Stroke를 60 cm, 모터의 용량은 2.2 Hp로 설계하였다. 본 조파수조는 파랑 및 흐름에 관한 실험뿐만 아니라 이들에 의한 퇴적물 이동에 관한 실험을 실시할 수 있도록 수조 중앙에 Sediment tank를 설치하였다. 또한 퇴적물 이동 실험시 汚泥로 더러워진 消波機를 효과적으로 청소할 수 있는 장치를 부착하였다.

## 2. 활용에 대한 건의

본 사업에 의해서 설계된 2차원 조파수조는 파랑과 흐름을 동시에 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 또한 이들에 의한 퇴적물 이동 실험을 실시할 수 있도록 설계함으로써 장차 연안공학에 관련된 기초 및 응용 연구에 활용이 기대되며 뒤떨어진 국내 수리실험 분야의 발전에 큰 활력소가 되리라 전망된다.

# SUMMARY

## I. Title

A Study on Design and Construction of Two-Dimensional Irregular Wavemaking System

## II. Objective and Significance of the Study

Research on coastal engineering has been conducted by means of theoretical development, field experiment, numerical modeling, hydraulic modeling, and so on. It is desirable for such research measures to be developed in harmony and used interdependently. However, the research on coastal engineering in Korea is biased toward field experiment and numerical modeling, and the hydraulic modeling falls behind others. One of the essential devices for coastal hydraulic modeling is a wave flume. Most of the wave flumes in the universities and research institutes of Korea were manufactured by foreign technology. The objective of the present study is to establish and provide the technology for design and construction of a two-dimensional wavemaker so as to activate the research on coastal hydraulic modeling.

### **III. Contents of the Study**

The main subjects of the present study are as follows:

- o Survey of wave tanks in Korea and foreign countries
- o Design of a two-dimensional wave flume including wave and current generating system and apparatus for sediment transport experiments

### **IV. Results and Recommendation**

#### **1. Results**

Survey was made for the specifications and characteristics of the wave flumes in universities and research institutes in Korea and for the hydraulic modeling facility in several foreign universities and research institutes. The survey showed that the facility for coastal hydraulic modeling in Korea is much less than that in foreign countries, meaning that Korea falls behind other forward developed countries in this field. Thus, in order to activate the research on coastal hydraulic modeling, it is necessary to establish and provide the technology for design and construction of a wavemaking system.

The wave flume will be located on the first floor of R-2 of KORDI. The flume will be 24.2 m long, 0.6 m wide, and 0.9 m high. The wavemaker will

be a piston type driven by an electric servo motor which can generate irregular waves. The flume was designed to be able to generate both wave and current. The design water depth, wave period and height were 50 cm, 2 s, and 40 cm, respectively. The corresponding stroke and necessary power were calculated as 52 cm and 1.1 Hp, respectively, but the design stroke and power of motor were chosen to be 60 cm and 2.2 Hp, respectively. A sediment tank was installed in the middle of the flume so that tests for sediment transport can be made.

## 2. Recommendation

The two-dimensional wavemaking system designed in the present study, which includes wave and current generating system and apparatus for sediment transport experiments, is expected to be widely used for the fundamental and applied research on coastal engineering. It may also contribute to the enhancement of research on coastal hydraulic modeling in Korea.



# 목 차

제1장 서론 -----	19
제2장 국내·외 造波水槽 現況 및 特性調査 -----	21
제3장 波浪水槽의 설계 -----	26
제1절 水槽 本體의 설계 -----	26
1. 水槽의 크기 및 실험실내 위치 -----	26
2. 수조의 荷重 및 실험실 바닥 슬라브 보강 -----	28
3. 消波裝置 -----	30
4. 水槽의 給·排水 시설 -----	31
5. 循環 시스템 -----	33
6. 퇴적물 이동 실험구간 -----	35
7. 消波機 汚泥  청소장치 -----	36
8. 鉛直壁 실험장치 -----	37
9. 水槽  부속시설 -----	37
제2절 造波機 설계 -----	38
1. 設計波 및 기타 설계조건 -----	38
2. 造波機 하드웨어 -----	43

제4장 결론	44
참고문헌	47
부록 A1 : 조파수조 설계시방서	49
부록 A2 : 수조구조 및 수리계산서	63
부록 A3 : 조파수조 설계도면	75

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	19
<b>Chapter 2. Survey of wave tanks in Korea and foreign countries</b> .....	21
<b>Chapter 3. Design of wave flume</b> .....	26
Section 1. Design of main body of wave flume .....	26
1. Dimension and location of wave flume .....	26
2. Loading of wave flume and reinforcement work of laboratory bottom slab .....	28
3. Wave absorber .....	30
4. Water supply and drainage system .....	31
5. Flow generation system .....	33
6. Test section for sediment transport .....	35
7. Device for cleaning wave absorbers .....	36
8. Device for vertical wall test .....	37
9. Annexed equipments .....	37
Section 2. Design of wavemaker .....	38
1. Determination of design wave condition .....	38
2. Design of wavemaker hardware .....	43

<b>Chapter 4. Conclusion</b> -----	44
<b>References</b> -----	47
<b>Appendix</b> : A1. Specifications for wave flume -----	49
A2. Structural and hydraulic analyses of wave flume -----	63
A3. Drawings for wave flume -----	75

# 圖目次

## (List of Figures)

Fig. 2.1.1	Outline of two-dimensional irregular wave generating system -----	22
Fig. 3.1.1	Plan view of wave laboratory of KORDI -----	27
Fig. 3.1.2	Supporting blocks of wave flume -----	28
Fig. 3.1.3	Design loading of wave flume -----	30
Fig. 3.1.4	Wave absorbers: (a) Downstream, (b) Behind wavemaker -----	31
Fig. 3.1.5	Water supply system -----	32
Fig. 3.1.6	Current box -----	33
Fig. 3.1.7	Sediment tank -----	35
Fig. 3.1.8	Device for cleaning wave absorber -----	36

# 表目次

## (List of Tables)

Table 2.1.1	Summary of wave flumes in Korea -----	24
Table 2.1.2	Number of wave flumes and basins in foreign research institutes -----	25
Table 3.2.1	Parameters for design wave condition -----	41

# 제1장 서론

해양공학 또는 연안공학과 관련된 제반 연구는 크게 이론적 연구, 현장관측을 통한 연구, 수치모형을 이용한 연구, 수리실험을 통한 연구 등으로 구분할 수 있다. 이론적 연구 및 현장관측을 통한 연구는 새로운 이론의 정립 및 관측기기의 발달로 지속적인 발전을 계속해 왔으며, 특히 최근에는 대용량 고속 컴퓨터의 개발과 수치해석 기법의 발달로 인하여 수치모형을 이용한 연구가 급속한 발전을 보이고 있다. 수치모형의 장점은 개발된 수치모형의 구입 및 전수가 용이하며, 하나의 수치모형을 여러가지 경우에 쉽게 적용할 수 있다는 것이다. 수리실험은 초기투자가 크며 인력, 장비, 유지비 등이 많이 필요한 반면 이론적 또는 수치모형 연구와는 달리 가정이나 간략화 없이 해양현상을 정확히 관측할 수 있는 장점이 있다. 또한 현장관측을 통한 연구와 비교해 볼 때 水理實驗은 Scale effect 등의 문제가 있기는 하지만 원하는 해양현상을 비교적 자유롭게 제어할 수 있을 뿐만 아니라 현상을 반복해서 재현하고 원하는 지점에서 쉽게 관측을 행할 수 있는 장점이 있다.

해양공학 연구의 발전을 위해서는 위에 열거한 여러 방향의 연구가 균형적으로 발전하여 상호보완적으로 사용되어야 할 것이다. 그러나 현재 우리나라의 해양공학 연구는 현장관측과 수치모형 연구에 편중되어 있으며, 수리실험 분야는 타 분야에 비해 낙후되어 있다. 수리실험 분야의 연구에 필수적인 장비는 파랑을 발생시킬 수 있는 조파수조인데 현재 국내 연구소 및 대학에 설치되어 있는 조파수조는 대부분 외국 기술진에 의해 제작된 것이다. 따라서 국내 수리실험 분야의 연구를 활성화 시키기 위해서는 조파수조를 국내의

기술로 건설할 수 있는 능력을 배양하고 저렴한 가격으로 조파수조를 대학 및 연구소에 공급할 필요가 있다.

본 보고서에서는 이와 같은 국내의 조파수조 설계 및 건설 기술 확립의 필요성에 따라 조파수조중에 가장 기본적인 2차원 조파수조의 설계에 대하여 기술하였다. 본 2차원 조파수조는 규칙파는 물론 불규칙파를 재현할 수 있도록 설계되었으며 양방향 흐름을 발생시킬 수 있는 장치와 토사의 이동실험을 수행할 수 있는 장치를 포함하고 있다.

본 보고서는 4개의 장 및 3개의 부록으로 구성되어 있다. 제2장에는 국내·외 대학 및 연구소의 조파수조 현황에 대한 조사 내용이 수록되어 있다. 제3장은 소형 2차원 조파수조의 설계에 관한 내용을 포함하고 있으며 이에 대한 설계시방서, 구조 및 수리계산서, 설계도면 등이 각각 부록 A1, A2 및 A3에 수록되어 있다. 제4장에는 본 연구의 결과와 차후 수조 건설 및 보완에 관한 내용이 수록되어 있다.



## 제2장 국내·외 造波水槽 現況 및 特性調査

조파수조는 그 형태에 따라 2차원, 3차원, 원형 등으로 구분된다. 일반적으로 3차원 수조는 직사각형 수조의 한쪽 면을 따라 하나 또는 여러 개의 조파판이 설치되어 파랑의 방향을 고려한 3차원적 현상을 실험할 수 있도록 되어 있으며 (예로서 Wu (1985) 및 Vincent and Briggs (1989)), Dalrymple and Dean (1972)에 의해 최초로 제안된 원형 수조는 수조 중앙에 원통형 조파기를 설치하고 원통의 중앙으로부터 약간의 偏心을 갖는 축을 중심으로 원통을 회전시켜 수조의 중앙으로부터 바깥쪽으로 전파되는 나선형의 파랑을 발생시킨다. 이러한 원형 수조는 수조의 둘레를 따라 입사각 및 파고가 일정한 파랑을 발생시키기 때문에 수조벽의 內側에 모래를 쌓아 沿岸漂砂 이동실험에 이용되고 있다 (Suh and Dalrymple, 1987). 본 연구의 대상인 2차원 조파수조는 한 방향으로 길고 폭이 좁은 수로의 한쪽 끝에 조파기를 설치하여 파랑을 발생시키는 장치로서 파랑의 방향을 고려해야 하는 실험은 할 수 없는 가장 기본적인 조파수조이다.

2차원 조파수조는 발생시킬 수 있는 파랑의 형태에 따라 규칙파 수조와 불규칙 조파수조로 대별되는데, 規則波 水槽는 Motor의 회전을 Gear와 Crank wheel을 통하여 조파판의 규칙적인 운동으로 변환시키는 비교적 단순로운 조파장치를 갖는다. 불규칙 조파수조는 Fig. 2.1.1의 계통도에 나타낸 바와



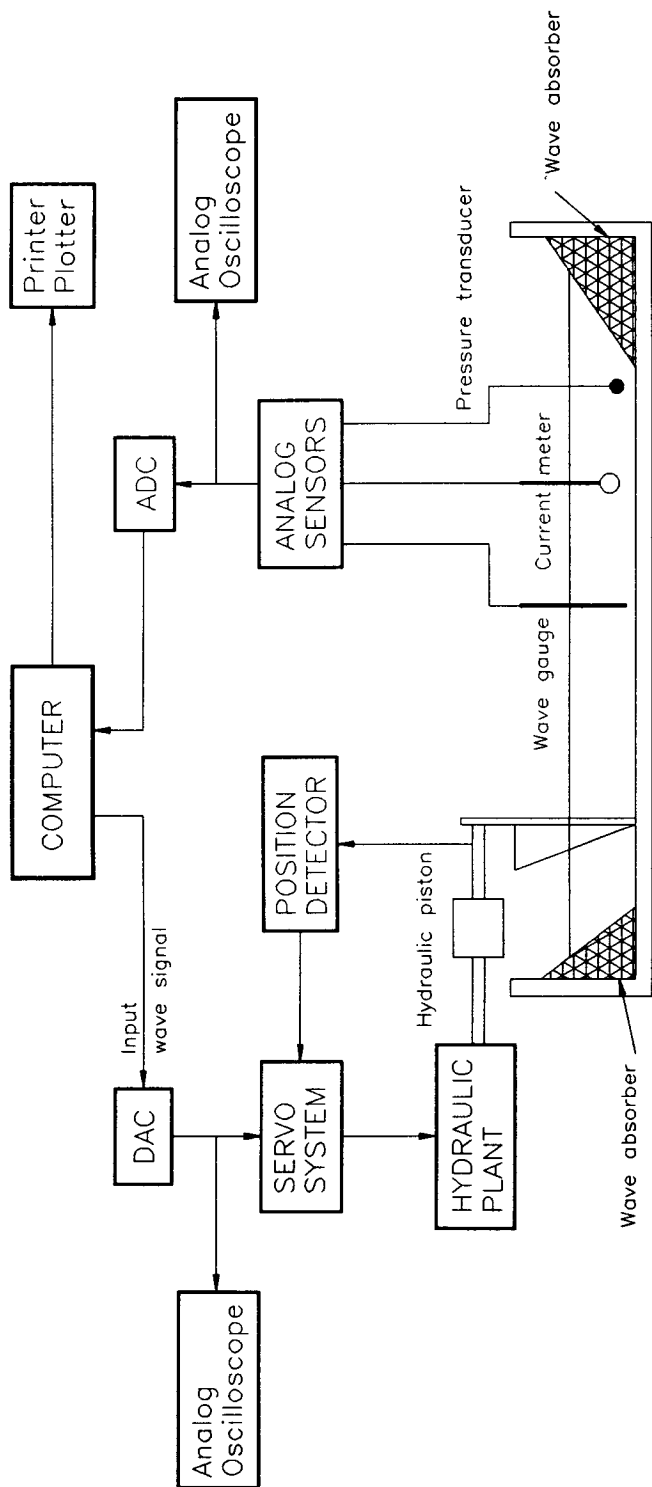


Fig. 2.1.1.1 Outline of two-dimensional irregular wave generating system

같이 복잡한 시스템으로 구성된다. 우선 컴퓨터 내에서 불규칙파의 목적파랑 스펙트럼을 전달함수를 이용하여 造波板의 운동에 관한 스펙트럼으로 변환시킨 후 이로부터 조파판의 운동에 대한 時系列 신호를 계산한다. 이와 같이 계산된 디지털 신호는 DAC (Digital/Analogue converter)를 통하여 아날로그 신호로 전환되어 일종의 自動制御裝置인 Servo-mechanism을 거쳐 Motor로 전달된다. 한편 DAC를 통하여 나온 아날로그 신호는 Analogue oscilloscope를 통하여 확인될 수 있으며, 규칙파의 경우는 컴퓨터에서 신호를 계산하는 대신 Function generator에서 나온 아날로그 신호를 직접 Servo-mechanism으로 보낼 수도 있다. Motor의 종류는 크게 유압식과 전기식으로 구분되며 Motor로부터 나온 출력은 Screw bar 또는 유압 피스톤을 통하여 조파판으로 전달되어 조파판을 움직이게 된다. 조파판의 움직임은 Position detector에 의해 감지되어 다시 Servo-mechanism으로 전달되어 Motor의 출력을 보정하게 된다. 이와 같이 발생된 파랑은 수조내에 설치된 파고계로 측정되어 ADC (Analogue/Digital converter)를 통하여 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터에 기록된다.

2차원 조파수조의 조파기 형태는 조파판 전체가 前後로 움직이는 피스톤형, 조파판의 下端이 수조 바닥에 경첩으로 연결되어 있는 Flap형, 췌기 형태의 물체를 상하로 움직여 파랑을 발생시키는 Plunger형(Wang, 1974) 등이 있다. Flap형과 Plunger형은 수면 부근에서는 조파판이 밀어내는 물의 부피가 크지만 수조 바닥으로 가까이 가면서 감소하기 때문에 심해파의 조파에 적합하며 水粒子의 운동이 연직방향으로 비교적 일정한 천해파의 조파에는 피스톤형이 적합하다. 현재 국내에 2차원 조파수조를 보유하고 있는 기관은 한국해양연구소, 건설부 국립건설시험소, 농어촌진흥공사 수리시험장, 해사기술연구소 등의 연구기관과 서울대학교를 비롯한 여러 대학이며 각 조파수조의 제원 및 특성을 Table 2.1.1에 수록하였다. 외국의 경우는 영국의 HR, 네델란드의 DHL, 미국의 CERC, 캐나다의 NRC, 덴마크의 DHI, 일본의 PHRI 등

Table 2.1.1 Summary of wave flumes in Korea

기관명	파랑	Motor 형태	조파기 형태	제원 L x W x H (m)	흐름발생 장치유무	기 타
한국해양연구소	불규칙	유압식	피스톤형	53.2x1.0x1.25	유	반사파 흡수필터
건설부 국립건설시험소	규칙	전기식	Flap형	36.0x0.6x1.2	무	
	불규칙	유압식	피스톤형	50.0x1.2x1.8	무	
농어촌진흥공사 수리시험장	불규칙	유압식	피스톤형	27.0x1.5x2.5	무	풍동구조 겸용
	불규칙	유압식	피스톤형	40.0x0.6x0.9	무	
해사기술연구소	불규칙	전기식	피스톤형	20.0x0.6x0.8	유	
서울대학교	불규칙	유압식	피스톤형	25.0x0.6x0.8	무	
경기대학교	규칙	전기식	피스톤형	20.0x0.6x1.0	무	
부산수산대학교	규칙	전기식	Flap형	18.5x0.6x1.0	유	토사이동 시험가능
동아대학교	불규칙	유압식	피스톤형	20.0x0.8x1.0	무	
강원대학교	불규칙	유압식	피스톤형	20.0x0.8x1.0	무	
한양대학교	불규칙	전기식	Flap형	20.0x0.6x0.8	무	
충북대학교	불규칙	유압식	피스톤형	25.0x0.8x1.0	무	
여수수산대학교	불규칙	유압식	피스톤형	20.0x0.8x1.0	무	

Table 2.1.2 Number of wave flumes and basins in foreign research institutes

Institute	Wind Wave Flume	Wave Flume	Open Channel	3-D Basin
HR, UK	1	3	2	8
DHL, Netherland	2	3	5	1
NRC, Canada		3	1	4
PHRI, Japan	2	6	2	5

해양 관련 연구소들은 물론이고 해양공학 프로그램이 있는 대학들에서도 2차원 및 3차원 조파수조를 몇 개씩 보유하고 있는 실정이다. 예로서 미국 Delaware 대학은 일반 2차원 조파수조 3개, 바람으로 파랑을 발생시키는 풍동수조 1개, 나선형 파랑을 발생시키는 Spiral wave basin 1개, 多方向 不規則波를 발생시킬 수 있는 Snake-type 3차원 조파수조 1개 등을 보유하고 있으며, Oregon 주립대학은 길이 104.4 m, 폭 3.7 m, 깊이 4.6 m의 Super tank를 포함하여 2次元 조파수조 2개, 3차원 조파수조 1개, Spiral wave basin 1개 등을 보유하고 있다. 영국의 Liverpool 대학도 크고 작은 2차원 조파수조 4개와 3차원 조파수조 1개를 보유하고 있다. 해양연구소(1990)에 외국의 해양공학 관련 주요 연구소들의 수조 보유 현황, 제원 및 특성이 조사되어 있는데 그 보유 현황만 정리하면 Table 2.1.2와 같다. 이상의 조사 결과로 볼 때 국내 대학 및 연구소의 조파수조 보유량이 외국의 연구소나 대학에 비해 훨씬 적은 것을 알 수 있으며, 이는 국내의 수리실험 분야 연구가 외국에 비해 상당히 뒤떨어져 있음을 나타내는 단적인 증거라 할 수 있다.

## 제3장 造波水槽의 설계

### 제1절 수조 본체의 설계

#### 1. 수조의 크기 및 실험실내 위치

파랑수조의 설치 위치는 본 연구소 제2연구동 1층으로 하였으며, 실험실의 공간적인 여건을 감안하여 수조의 크기는 길이 24.2 m, 폭 0.6 m, 높이 0.9 m로 결정하였다 (Fig. 3.1.1 실험실 배치도 참조). 수조의 받침대로서는 Fig. 3.1.2에 나타난 바와 같이 높이 50 cm, 가로 및 세로 각 40 cm의 콘크리트 받침대를 수조폭 방향으로 수조의 좌우측에 각 1개씩, 수조길이 방향으로 3.3 m 간격으로 되어 있는 건물 구조체의 보 및 Girder 위 중앙에 위치하도록 실험실 바닥에 설치하였다. 수조 본체와 콘크리트 받침대 사이에 높이 20 cm인 H형강을 설치하고 콘크리트 받침대와 H형강을 높이 10 cm의 볼트로 고정시킴으로써 수조의 외측 바닥이 실험실 바닥으로부터 80 cm 떨어지도록 하였다. 이와 같이 수조 받침대를 수조 좌우측 2개로 분리하고 수조 본체와 실험실 바닥과의 사이가 다소 큰 것은 실험실의 실험 및 작업 공간의 여건상 수조의 급·배수 및 순환 시스템을 수조 옆으로 설치하지 못하고 전부 수조 밑으로 통과하도록 설계하였기 때문이다.

수조의 바닥은 두께 4 mm의 철판으로 하되 조류 Box가 설치되는 구간 2개소 및 중앙의 퇴적물 이동 실험구간에 대해서는 부식 방지를 위하여 스텐레스

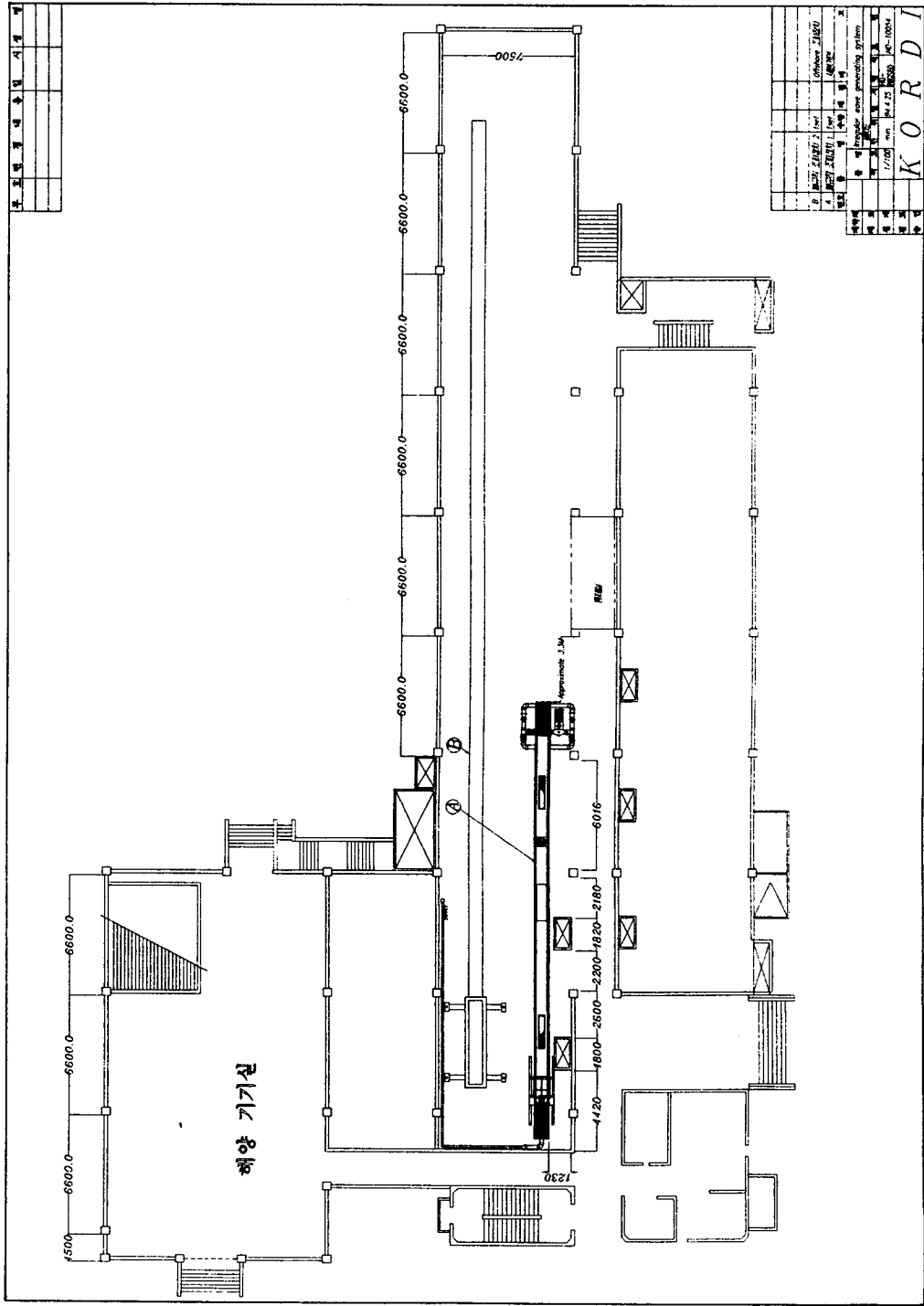


Fig. 3.1.1 Plan view of wave laboratory of KORDI

스틸로 하고 철판으로 되어 있는 구간중 물과 접촉하는 부분은 Epoxy로 塗裝하도록 하였다. 수조의 측면은 조파기측 5 m와 하류측 4 m는 철판으로 하고 중앙의 15 m 구간은 시험시 관측을 위하여 두께 12 mm의 強化유리로 설계하였다.

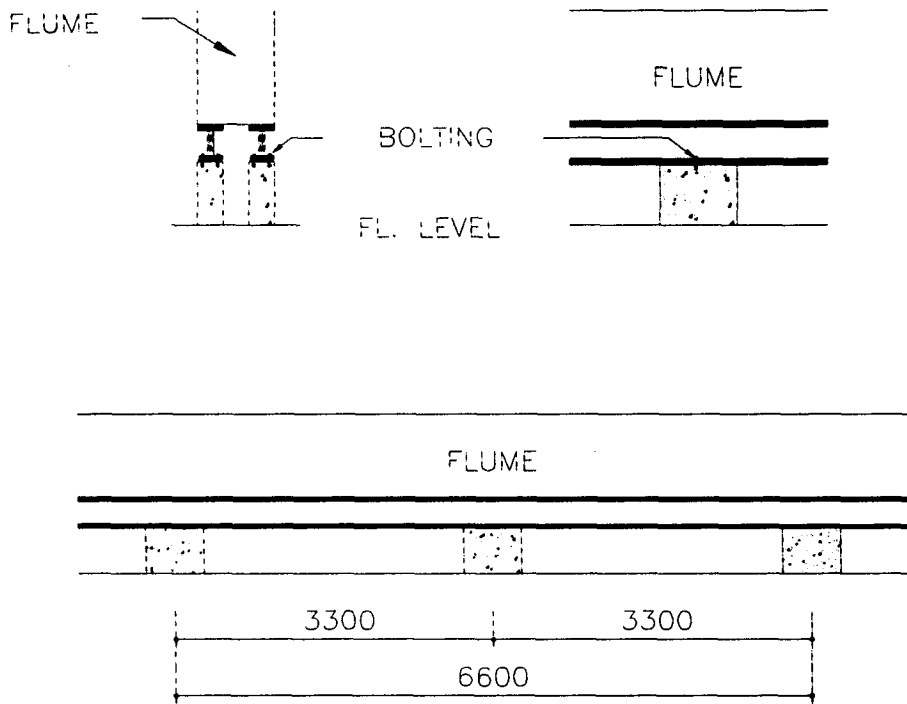


Fig. 3.1.2 Supporting blocks of wave flume.

## 2. 수조의 荷重 및 시험실 바닥 슬라브 보강

시험실 바닥 슬라브의 지지력 검토를 위하여 수조의 하중을 결정해야 한다.



수조의 하중은 수조 자체의 하중 및 수조내에 채워진 물과 실험 구조물의 하중을 포함하는데, 수조 자체의 하중은 部材의 종류가 다양하여 정확한 계산이 어렵다. 따라서 바닥 슬라브의 지지력 검토를 위한 수조 하중은 수조 자체의 하중은 무시하고 수조내에 모래를 가득 채운 경우 모래의 무게로 대신하였다. 모래의 비중을  $2.7 \text{ ton/m}^3$ , 孔隙率을 0.4로 할 때 수조의 설계하중은 수조의 길이 1 m 당 0.87 ton의 連續荷重이 된다. 본 연구소 건설과에서 이 설계하중에 대한 실험실 바닥 슬라브 지지력을 검토한 결과 수조 설치 위치의 바닥 콘크리트보 下部에 보강이 필요한 것으로 판단되어 지하 전기실내 3지점과 물탱크내 2지점에 보강공사를 실시하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 실험실의 공간 여건상 수조의 콘크리트 받침대를 좌우 2개로 분리하여 설치하였기 때문에 보강공사도 좌우 받침대를 따라 2열로 실시하였다. 보강공사는 외경 160 mm의 철제 파이프(전기실내)와 스텐 파이프(물탱크내)를 지하실 천정에서 바닥까지 1층 슬라브 Girder 밑에 기둥으로 설치하였다.

한편 수조에 사용되는 각종 部材의 크기 및 강도를 결정하기 위해서는 수조내에 적재되는 하중을 결정해야 한다. 수조의 설계하중은 방파제 단면실험을 가정하여 Fig. 3.1.3과 같이 수조 Span의 중앙에 길이 2 m, 높이 0.9 m의 콘크리트(비중 2.65) 방파제가 설치되고 나머지는 물이 채워져 있을 경우의 하중으로 하였으며 필요시에는 수조의 자중을 고려하도록 하였다. 수조 본체의 한 Span은 수조가 설치되는 건물의 바닥 슬라브 지지보의 간격과 같은 6.6 m로 하였으며 4개 Span에 대하여 각 Span을 동일하중 조건으로 하여 설계하도록 하였다. 기초 H형강, 저부 횡방향 부재, 저판 Steel Plate, 측면 지지부재, 측면 강화유리 또는 Steel Plate, 측면 상단 H형강 또는 Box 등 모든 부재의 처짐(Deflection)은 1 mm 이하가 되도록 설계하도록 하였다.

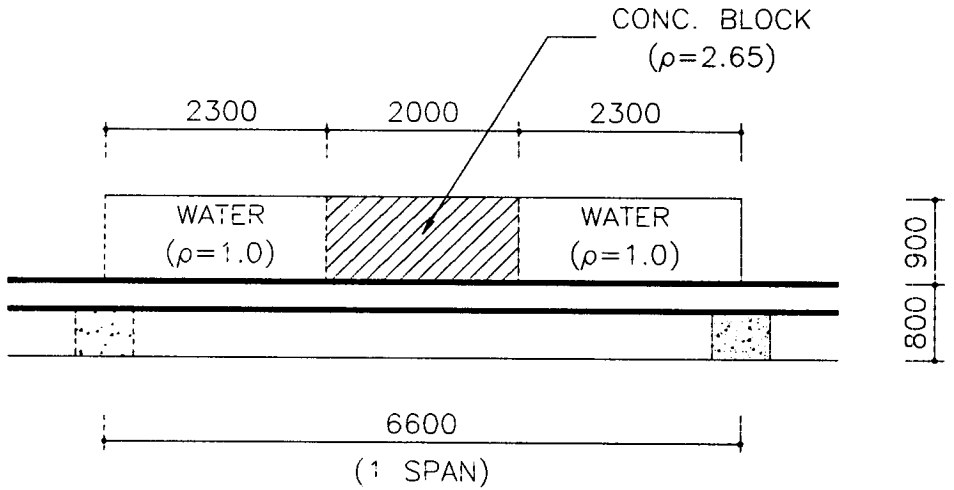
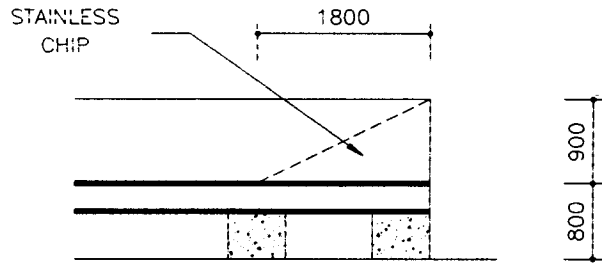


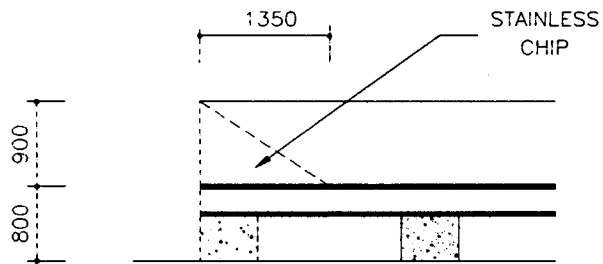
Fig. 3.1.3 Design loading of wave flume.

### 3. 消波裝置(Wave Absorber)

조파기를 가동하여 파랑을 발생시킬 때 조파기 배후에서의 과도한 물의 요동을 방지하고 수조 끝으로 전파해 간 파랑의 반사를 최소화 하기 위하여 수조의 하류단 및 조파기 뒤에 소파장치를 설치하도록 하였다. 소파장치의 재질은 스텐레스 Chip을 적재한 후 망사로 된 경사판을 덮도록 하였다. 소파장치의 Frame은 0.4 m 파고, 2초 주기, 0.7 m 수심의 파랑에 대하여 충분한 횡강도를 갖도록 설계하였다. 소파장치는 Fig. 3.1.4에 나타낸 바와 같이 수조의 상단으로부터 수조 바닥까지 일정한 경사를 갖도록 설계하였으며, 수조 하류단의 소파장치는 경사 1:2, 조파기 뒤의 소파장치는 경사 1:1.5가 되도록 하였다.



(a)



(b)

Fig. 3.1.4 Wave absorbers: (a) Downstream, (b) Behind wavemaker.

#### 4. 水槽의 給·排水 시설

지하 물탱크로부터 수조로의 급수를 위해서 Fig. 3.1.5에 나타낸 바와 같이 기존 수조의 급수관에서 수조로 들어가는 부분에 설치되어 있는 밸브를

개조, 이 부분에 T자형 관을 설치하고 기존수조 Line과 신설수조 Line에 각각 밸브를 설치하여 이 밸브들의 조작을 통하여 물을 기존수조 또는 신설수조로 공급할 수 있도록 하였다. 따라서 급수 펌프는 기존수조의 것을 같이 사용함으로써 본 수조를 위한 추가 설치를 배제하였다. 급수관의 내경은 기존수조의 급수 파이프와 같은  $\phi 100$  PVC 파이프를 사용한다. 급수 파이프는 실험실 벽을 따라 끌어와서 조파기측 흐름 Box에 연결시킨다.

수조로부터 옥외 배수관으로의 배수를 위하여 내경  $\phi 100$  PVC 파이프를 사용하여 조파기측 흐름 Box 측면으로부터 옥외 배수관까지 배수관을 설치한다. 배수관 내의流速,  $V$ 는 수조내에 물이 약 1/3 정도 차있을 때를 기준으로 ( $h = 0.9/3 = 0.3$  m) 계산하면  $V = \sqrt{2gh} = 2.43$  m/s가 되며, 배수관 내의 유량,  $Q$ 는  $Q = AV = 0.019$  m<sup>3</sup>/s가 되어, 管摩擦을 고려하고 수조내에 60 cm의 물을 채웠다고 가정할 때 배수시간은 약 8분 정도가 된다.

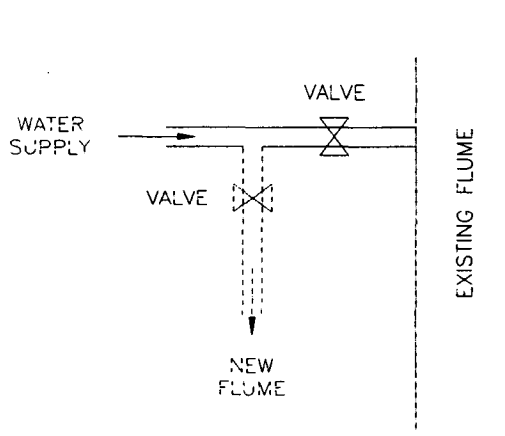


Fig. 3.1.5 Water supply system.

## 5. 循環 시스템

### 가. 흐름 Box

수조는 파랑 및 흐름을 동시에 발생시킬 수 있는 파랑-흐름 복합수조로 설계하였다. 조파기측 흐름 Box는 조파기측 수조 끝으로부터 약 6 m, 하류측 흐름 Box는 수조의 下流端으로부터 약 2 m 떨어진 곳에 수조 바닥에 설치하여 중앙의 약 12 m 구간에서 흐름을 발생시킬 수 있도록 하였다. 흐름 Box는 Fig. 3.1.6에서와 같이 콘크리트 받침대와 수조 바닥 밑의 H형강에 밀착시켜 설치하며 흐름 Box 및 흐름 Box가 부착되는 부분의 수조 바닥 재질은 防蝕이 문제가 되므로 스텐레스 스틸로 한다. 흐름 Box의 폭은 50 cm로 하였으며 흐름 Box의 두께는 Fig. 3.1.6에서와 같이 길이 70 cm의 무공판 및 110 cm의 다공판으로 제작하여 다공판은 흐름에 관한 실험을 실시하지 않을 경우에는 무공판으로 교체할 수 있도록 하였다. 흐름 Box 위에서 두께 개폐작업 등을 할 경우에 대비하여 Box 상부 Girder는 작업하중을 견딜 수 있도록 충분한 강도를 가지도록

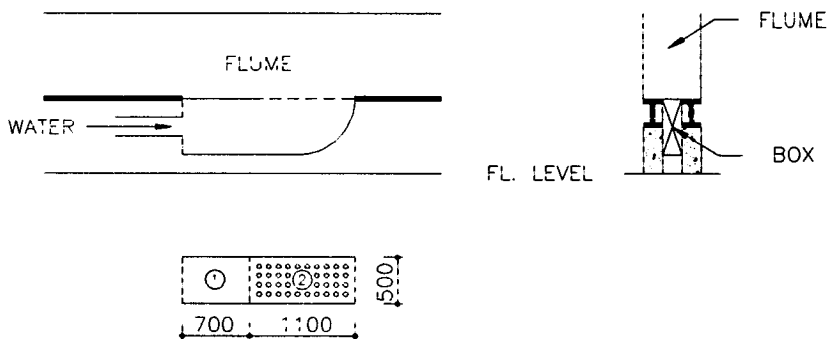


Fig. 3.1.6 Current box.

하였다. 흐름 Box 내부 부품의 구성은 연결 파이프에서 분출되는 유량을 수조 전쪽에 걸쳐 분산시킬 수 있도록 수조 길이방향으로 3개의 칸막이를 설치하여 수조 폭 방향으로 4등분 되도록 하였다. 각 흐름 Box 저면에는 퇴적물 이동 실험시 흐름 Box 내에 잔류되는 汚泥를 제거할 수 있도록 오니 제거용 파이프를 설치하였으며 평상시에는 잠가 둘 수 있도록 밸브를 설치하였다.

#### 나. 흐름 순환 시스템

흐름은 順方向 및 逆方向 흐름을 모두 발생시킬 수 있도록 설계하였는데, 순환펌프는 일방향 펌프를 사용하며 흐름의 방향은 순환 파이프에 설치되는 밸브의 개폐 조작에 의해 조정하도록 하였다. 흐름의 순환 시스템은 수조내 0.4 m 수심에서 최대 0.4 m/s의 平均流速을 발생시킬 수 있도록 설계하였는데 이 때 파이프내의 유속은 2.3 m/s가 된다. 순환 시스템의 파이프 직경은  $\phi$  200을 사용하였고, 파이프 및 파이프의 연결을 위한 엘보우 및 T자관, 흐름조정 밸브, 조류 박스의 다공판 등에 의한 損失水頭를 고려하여 순환펌프의 용량은 25 Hp로 결정하였다. 순환 파이프내의 유속 측정을 위하여 Magnetic flow meter를 펌프 하류의 순환 파이프 내에 펌프 및 파이프 만곡부에서의 와류의 영향을 적게 받는 위치에 설치하도록 하였다. 펌프와 파이프의 연결은 상호 진동이 전달되지 않도록 Expansion joint 등을 부착하도록 하였으며, 펌프는 가동중 Surge 및 성능 변화가 나타나지 않도록 충분한 안정성과 내구성을 갖도록 하였다. 펌프의 진동이 실험실 바닥에 전달되지 않도록 防震 Mat를 설치하도록 하였다. 펌프의 초기 가동시 過負荷를 방지하기 위하여 Slow start 기능을 포함시켰으며 순환 시스템 내에 과도한 Water hammer가 발생하지 않도록 Pump bypass를 부착하였다.

## 6. 堆積物 移動 실험구간

본 수조는 파랑 및 흐름에 의한 퇴적물 이동 현상을 실험할 수 있도록 설계하였다. 퇴적물 이동 실험을 위하여 수조 중앙 부분에 Fig. 3.1.7에 나타낸 바와 같은 길이 2 m, 폭 50 cm, 깊이 10 cm의 Sediment tank를 설치하였다. 이 Sediment tank의 상단은 수조 저면과 같은 Level로 하여 퇴적물 이동 실험시 이 Tank 내에 퇴적물을 채워 넣을 수 있도록 하였다. 퇴적물 이동 실험구간에 대해서는 관측 및 사진촬영이 용이하도록 측벽을 2 m Span 강화유리로 하고 이 구간 내에는 수조측면 보강평철을 설치하지 않도록 하였다.

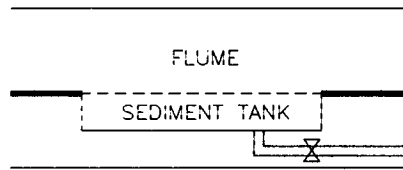


Fig. 3.1.7 Sediment tank.

퇴적물 이동 실험을 실시하지 않는 평상시에는 Sediment tank 내에 Box를 거치하여 Box 윗면이 수조 바닥면과 일치하도록 하였다. Box는 동일한 크기의 두 개로 제작하였으며 위에서 밟아도 변형되지 않게 충분한 강도를 유지하도록 Box 안에 Bracing을 설치하였다. Box는 거치, 제거 및 운반이 가능하도록 손잡이를 부착하도록 하였으며 거치된 상태에서는 Box 윗면에 돌출부가 없도록 매끈하게 설계하였다. Sediment tank 및 Box의 재질은 防蝕의 문제가 있으므로 스텐레스 스틸로 하였다.

## 7. 消波機 汚泥 청소장치

본 조파수조는 퇴적물 이동에 관한 실험을 실시할 수 있도록 설계하였는데 퇴적물 이동 실험시 砂質土의 경우는 큰 문제가 없겠지만 粘土質 퇴적물의 경우에는 수조 전체가 汚泥로 더러워질 수가 있다. 이 경우 수조 내는 깨끗한 물로 세척이 가능하고 흐름 Box 내에 침전된 오니는 Box 저면에 설치된 오니 제거용 파이프를 통하여 제거가 가능하지만 消波機 내에 끼어 있는 오니는 제거가 상당히 곤란하다. 소파기 내에 잔류된 오니는 파랑의 작용에 의해 서서히 수조내로 씻겨 나올 것이므로 다음 실험에 지장을 초래할 수가 있다. 따라서 소파기 내에 잔류해 있는 오니를 단시간 내에 청소할 수 있는 방법을 강구해야 한다.

소파기 오니 청소를 위하여 Fig. 3.1.8에 보인 바와 같은 장치를 소파장치 아래의 수조 저면에 설치하였다. 청소장치 윗면은 소파기의 스텐레스 Chip이 빨리 들어가지 않도록 망사를 설치하였으며 소파장치의 무게에 의해 처짐이 발생하지 않도록 보강하였다. 청소장치의 밑면은 적당한 경사를 갖도록 하여

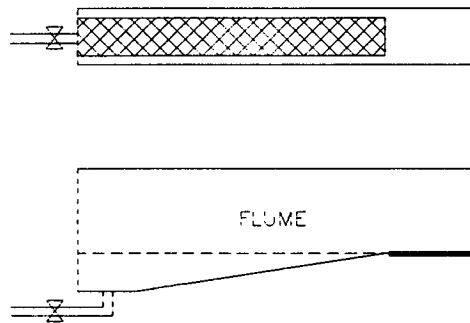


Fig. 3.1.8 Device for cleaning wave absorbers.



소파기에 물을 뿌리면서 오니를 청소할 때 물이 잘 빠지도록 하였다. 청소장치의 밑면에는 파이프를 부착하여 물을 배수할 수 있도록 하였으며 사용하지 않을 때는 잠글 수 있도록 밸브를 부착하였다.

## 8. 鉛直壁 실험장치

파랑의 반사와 관련하여 간혹 수조내에 연직판을 설치할 필요가 있다. 따라서 수조 하류측 소파장치 바로 전면에 연직벽을 설치할 수 있도록 설계하였으며 연직벽은 부착식으로 하여 사용하지 않을 때는 제거할 수 있도록 하였다. 연직판의 재질은 녹이 슬지 않고 무게가 가벼우면서도 파랑 하중에 충분한 강도를 갖는 합성수지로 하였다.

## 9. 水槽 부속시설

각종 계측기기를 부착하여 수조내의 원하는 위치로 운반할 수 있는 계측기기 운반기를 x, y, z 방향으로 계측기기의 이동이 가능하도록 제작하였으며 미세한 이동량은 미동나사에 의하여 조작이 가능하도록 하였다. 또한 계측기기를 부착할 수 있는 Clamp를 부착하였다. 한편 계측기기 운반기를 수조 방향으로 이동시킬 수 있도록 수조 상단에 조파기 위치로부터 수조 하류단까지 Rail을 설치하였다. Rail은 원형 또는 사각봉으로 하도록 하였으며, 처짐 또는 변형이 발생했을 경우 차후 조정이 가능하도록 조립식으로 하였다. Rail과 수조 상단 사이는 계측기기 연결선이(Shield선 포함) 충분히 지나가도록 2.3 cm 떨어지도록 하였다.

조파기, Data acquisition system 및 흐름 발생장치 펌프 가동을 위한

전원에는 A. V. R. 을 부착하도록 하였으며 전원 연결 Port는 실험실 바닥에서 충분히 이격시켜 실험실 벽에 설치하도록 하였다.

## 제2절 조파기 설계

### 1. 설계파 및 기타 설계조건

조파기 하드웨어를 설계하기 위해서는 우선 수조내에서 발생시켜야 하는 최대파랑, 즉 設計波를 결정하고 이에 따라 조파판에 작용하는 파압, 모멘트 등을 계산하여야 한다. 또한 설계파를 발생시키기 위하여 필요한 조파기의 구동파워를 계산하여 서보 모터의 용량을 결정하게 된다.

본 사업에서 개발되는 조파기 제어 시스템은 不規則波를 대상으로 하지만 조파기 설계에 필요한 동력학적 조건에 대하여 불규칙파에 대해서는 이론이 잘 정립되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 규칙파에 대한 동력학적 분석을 실시하였다. 한국해양연구소(1993)의 보고서에 의하면 Dean and Dalrymple(1984)의 선형 조파기 이론을 기초로 하여 조파판에 작용하는 파랑의 최대파워는 다음과 같이 계산됨을 보인 바 있다:

$$P_{\max} = \omega S [F_p \cos^2(\omega t)_{\max} - F_s \cos(\omega t)_{\max} \sin(\omega t)_{\max}] \quad (3.2.1)$$

여기서  $\omega$ 는 파랑의 角周波數(Angular frequency)를 나타내고  $S$ 는

$$S = \frac{gk_p H (\sinh 2k_p h + 2k_p h)}{4\omega^2 \sinh k_p h \cosh k_p h} \quad (3.2.2)$$

로 주어지는 피스톤형 조파기의 스트로크를 나타내며,  $(\omega t)_{\max}$ 는 최대파워가

발생되는 위상으로서

$$(\omega t)_{\max} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( -\frac{F_s}{F_p} \right) \quad (3.2.3)$$

으로 주어진다. 여기서  $F_p$ 와  $F_s$ 는 각각 조파판의 한쪽면에 작용하는, 조파판의 속도와 위상이 같은 抵抗力 및 조파판의 가속도와 위상이 같은 慣性力의 진폭을 나타내며, 이들은 각각 진행파 및 소멸파에 의해 발생하는 힘들로서 다음과 같이 주어진다:

$$F_p = \int_{-h}^0 -\rho\omega A_p \cosh[k_p(h+z)] dz = \frac{2\rho\omega^2 S \sinh^2 k_p h}{k_p^2 (\sinh 2k_p h + 2k_p h)} \quad (3.2.4)$$

$$F_s = \sum_{m=1}^{\infty} \int_{-h}^0 \rho\omega C_m \cos[k_m(h+z)] dz = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{2\rho\omega^2 S \sin^2 k_m h}{k_m^2 (\sin 2k_m h + 2k_m h)} \quad (3.2.5)$$

위의 두 식에서  $A_p$ 와  $C_m$ 은 각각 다음과 같이 주어진다:

$$A_p = -\frac{2S\omega \sinh k_p h}{k_p (\sinh 2k_p h + 2k_p h)} \quad (3.2.6)$$

$$C_m = \frac{2S\omega \sin k_m h}{k_m (\sin 2k_m h + 2k_m h)} \quad (3.2.7)$$

위의 식들에서  $h$ 는 수심,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho$ 는 물의 밀도,  $H$ 는 파고를 나타내며,  $k_p$  및  $k_m(m=1$  부터  $\infty)$ 는 각각 進行波 및 消滅波의 波數로서 다음과 같은 분산관계식으로부터 구해진다:

$$\omega^2 = gk_p \tanh k_p h \quad (3.2.8)$$

$$\omega^2 = -gk_m \tan k_m h \quad (3.2.9)$$

우선 설계파 및 설계수심을 결정하기 위하여 수심을 20 cm부터 50 cm까지 5 cm 간격으로 증가시키고 각 수심에 대하여 주기를 0.4초부터 3.0초까지 0.1초씩 증가시키면서 각 경우에 대하여 波長, 조파판의 스트로크, 조파판 전면에서의 최대수위, 조파판의 최대속도, 최대파워, 최대 토크모멘트 등을 계산하였다. 조파판의 높이는 수조의 높이와 같은 90cm로 가정하였고 조파판에 걸리는 토크모멘트는 조파판을 상단이 고정된 鉛直 Cantilever로 보고 계산하였다. 각 경우에 소멸파 성분은 처음 20개를 포함시켰으며 파고는 쇄파한계인 수심의 0.8배로 하였다. 계산결과 전반적으로 수심 및 주기가 증가할수록 최대파워 및 최대 토크모멘트가 증가함을 알 수 있었으며, 설계수심은 수조의 높이 90cm를 고려하여 조파판 전면에서 순간 최대수위가 靜水面上 약 23cm 되는 수심 50cm로 정하였다. 설계파의 주기는 2초로 하였으며 이는 축척 1:50의 경우 현장에서 약 14초에 해당하며, 縮尺 1:100의 경우 현장에서 20초에 해당한다. 설계파고는 설계수심 50cm에서의 쇄파한계인 40cm로 하였다. 이러한 설계파에 대하여 파장은 약 4m, 피스톤형 조파기의 스트로크는 52cm, 조파판 전면의 순간 최대수위는 정수면상 20cm, 조파판의 순간 최대속도는 약 82 cm/s로 계산되었다. 조파기의 단위폭당 작용하는 순간 최대파워 및 순간 최대 토크모멘트는 1.8 Hp 및 936 N-m로서 조파기의 폭 60cm를 고려하면 조파기의 구동파워는 1.08 Hp, 순간 최대 토크모멘트는 562 N-m로 계산되었다.

한편 조파기의 정밀설계를 위해서는 조파판의 전후면에 작용하는 파력 및 이로 인한 토크모멘트의 파랑 한주기당 변화를 계산할 필요가 있다. 이에 대한 계산결과를 Table 3.2.1에 수록하였다. 이 표에는 설계파랑에 대한 제반

**Table 3.2.1 Parameters for design wave condition.**

PADDLE HEIGHT (M) = 0.90  
 NUMBER OF EVANESCENT MODES = 20

WATER DEPTH (M) = 0.50  
 WAVE HEIGHT (M) = 0.40

PERIOD (S)	WAVE LENGTH (M)	STROKE (M)	MAX ELEV (M)	MAX VELOCITY (M/S)	MAX POWER (HP)	MAX MOMENT (N-M)
2.000	4.055	0.520	0.200	0.817	1.801	936.554
	FRONT			BACK		
	ARM (M)	FORCE (N)	MOMENT (N-M)	ARM (M)	FORCE (N)	MOMENT (N-M)
	0.893	1491.175	1331.619	0.897	-1491.031	-1337.455
	0.879	1491.876	1311.359	0.891	-1491.160	-1328.624
	0.865	1493.280	1291.687	0.885	-1491.418	-1319.905
	0.851	1495.386	1272.573	0.879	-1491.805	-1311.296
	0.837	1498.196	1253.990	0.873	-1492.320	-1302.795
	0.823	1501.710	1235.907	0.867	-1492.965	-1294.400
	0.809	1505.931	1218.298	0.861	-1493.738	-1286.109
	0.795	1510.861	1201.134	0.855	-1494.641	-1277.918
	0.781	1516.501	1184.388	0.849	-1495.672	-1269.826
	0.767	1522.855	1168.030	0.843	-1496.833	-1261.831
	0.753	1529.926	1152.034	0.837	-1498.124	-1253.930
	0.739	1537.716	1136.372	0.831	-1499.543	-1246.121
	0.725	1546.230	1121.017	0.825	-1501.093	-1238.402
	0.711	1555.472	1105.940	0.819	-1502.772	-1230.770
	0.697	1565.445	1091.115	0.813	-1504.581	-1223.224
	0.683	1576.155	1076.514	0.807	-1506.520	-1215.761
	0.669	1587.606	1062.108	0.801	-1508.589	-1208.380
	0.655	1599.804	1047.872	0.795	-1510.788	-1201.077
	0.641	1612.755	1033.776	0.789	-1513.118	-1193.850
	0.627	1626.465	1019.794	0.783	-1515.579	-1186.699

**Table 3.2.1 (Continued).**

FRONT			BACK		
ARM	FORCE	MOMENT	ARM	FORCE	MOMENT
(M)	(N)	(N-M)	(M)	(N)	(N-M)
0.613	1640.940	1005.896	0.777	-1518.171	-1179.619
0.599	1656.187	992.056	0.771	-1520.894	-1172.609
0.585	1672.214	978.245	0.765	-1523.749	-1165.668
0.571	1689.027	964.434	0.759	-1526.735	-1158.792
0.557	1706.635	950.595	0.753	-1529.853	-1151.979
0.543	1725.045	936.700	0.747	-1533.103	-1145.228
0.529	1744.268	922.718	0.741	-1536.486	-1138.536
0.515	1764.311	908.620	0.735	-1540.001	-1131.901
0.501	1785.184	894.377	0.729	-1543.650	-1125.321
0.487	1806.897	879.959	0.723	-1547.432	-1118.793
0.473	1829.460	865.335	0.717	-1551.347	-1112.316
0.459	1852.884	850.474	0.711	-1555.397	-1105.887
0.445	1877.180	835.345	0.705	-1559.581	-1099.505
0.431	1902.359	819.917	0.699	-1563.900	-1093.166
0.417	1928.433	804.157	0.693	-1568.354	-1086.869
0.403	1931.836	778.530	0.687	-1572.944	-1080.612
0.389	1853.334	720.947	0.681	-1577.669	-1074.393
0.375	1716.050	643.519	0.675	-1582.531	-1068.208
0.361	1578.766	569.935	0.669	-1587.530	-1062.057
0.347	1441.482	500.194	0.663	-1592.666	-1055.937
0.333	1304.198	434.298	0.657	-1597.939	-1049.846
0.319	1166.914	372.246	0.651	-1603.350	-1043.781
0.305	1029.630	314.037	0.645	-1608.901	-1037.741
0.291	892.346	259.673	0.639	-1614.590	-1031.723
0.277	755.062	209.152	0.633	-1620.418	-1025.725
0.263	617.778	162.476	0.627	-1626.387	-1019.745
0.249	480.494	119.643	0.621	-1632.496	-1013.780
0.235	343.210	80.654	0.615	-1638.746	-1007.829
0.221	205.926	45.510	0.609	-1645.138	-1001.889
0.207	68.642	14.209	0.603	-1651.672	-995.958

설계조건과 최대 토크모멘트가 발생하는 순간의 조파판 상단으로부터의 모멘트 팔의 길이, 단위 면적당 파력, 토크모멘트 등이 조파판 전후면에 대해서 계산되어 제시되어 있다.

## 2. 조파기 하드웨어

2차원 조파수조의 조파기 형태는 조파판 전체가 전후로 움직이는 피스톤형, 조파판의 하단이 수조 바닥에 경첩으로 연결되어 있는 Flap형, 쇄기 형태의 물체를 상하로 움직여 파랑을 발생시키는 Plunger형(Wang, 1974) 등이 있다. Flap형이나 Plunger형은 수면 부근에서는 조파기가 밀어내는 물의 부피가 크지만 수조 바닥 가까이 가면서 그 양이 작아지기 때문에 심해파의 조파에 적합하다. 본 조파수조는 심해파보다는 연안 근처의 천해파 실험에 많이 사용될 것이므로 조파기의 형태는 천해파의 조파에 적합한 피스톤형으로 하였다. 조파기의 설계 Stroke는 Table 3.2.1에 제시된 설계파의 Stroke에 충분한 여유를 두어서 60 cm로 하였다.

한편 조파기를 구동시키는 모터의 종류로는 전기식 서보 모터, 로터의 관성이 작은 직류식 모터, 유압 펌프식, 유압식 펄스 모터 등이 있다. 유압식은 비교적 규모가 큰 조파기에 사용되며 시스템이 비교적 크고 복잡하다. 본 조파수조는 규모가 비교적 작고 또한 실험실의 공간 여건상 조파장치가 차지하는 공간을 최소화 할 필요가 있기 때문에 전기식 서보 모터를 사용하기로 하였다. 전기식 서보 모터는 그 크기가 작고 모터의 회전운동을 Screw bar에 의해 직선운동으로 바꾸어 조파판을 가동시킨다. 모터의 용량은 모터의 효율 및 기계적인 손실 등을 감안하여 설계 구동파워(1.08 Hp)의 약 2배인 2.2 Hp 모터를 사용하기로 하였다.

## 제4장 결 론

국내·외 해양공학 관련 대학 및 연구소의 파랑수조 특성 및 보유현황을 조사, 정리한 결과 국내 대학 및 연구소가 보유하고 있는 파랑수조의 양이 외국에 비해 훨씬 적은 것을 알 수 있었으며, 이는 국내의 수리실험 분야 연구가 외국에 비해 상당히 뒤떨어져 있음을 나타내는 단적인 증거라 할 수 있다. 국내 수리실험 분야의 연구를 활성화시키기 위해서는 파랑수조의 설계 및 제작 기술을 향상시키고 또한 파랑수조를 저렴한 가격으로 공급할 수 있도록 함으로써 해양관련 수리실험의 저변 확대가 필요하다. 본 사업에 의해서 설계된 2차원 조파수조는 파랑과 흐름을 동시에 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 또한 이들에 의한 퇴적물 이동 실험을 실시할 수 있도록 설계함으로써 장차 연안공학에 관련된 기초 및 응용 연구에 활용이 기대되며 뒤떨어진 국내 수리실험 분야의 발전에 큰 활력소가 되리라 전망된다.

본 사업은 과학기술처의 특정연구사업인 “파랑수조 제어시스템 개발” 사업과 연계하여 수행한 사업으로서 상기 특정연구사업을 통해 개발된 파랑수조 제어시스템을 사용하게 되면 2차원 조파수조의 하드웨어와 소프트웨어를 포함하는 모든 기술의 국산화가 이루어진다. 현재 '94 출연연구기관 연구사업인 “연안재해 저감기술 개발” 사업의 연구비와 본 연구소 기본시설비의 일부를 투입하여 수조 건설을 추진하고 있으며 수조가 완성되면 기개발된 파랑수조 제어시스템을 수조에 연결시켜 그 성능을 검증하고 보완할 수 있을 것이다. 또한 현재 본 연구소가 보유하고 있는 대형 2차원 조파수조 하나로는 연구소의 기본 및 출연기관



연구사업과 외부 수탁사업의 수행에 상당한 제약을 받고 있는데 본 소형수조가 건설되면 이와 같은 연구사업들의 원활한 수행에 큰 도움이 될 것이다.

본 수조의 보다 원활한 사용을 위해서는 수조 상부 Crane을 비롯한 수조 부속시설의 설치가 필요하며 파고계, 유속계 등과 퇴적물 이동 실험에 필요한 여러 가지 계측기기가 구비되어야 할 것이다.

## 참고문헌 (References)

- 과학기술처 (1993). "파랑수조 제어시스템 개발(1)". Rep No. BSPN 00196-622-2.
- 해양연구소 (1990). "2차원 파랑-흐름 복합수조 건설 및 운용" Rep No. BSPE 00166-276-2.
- Dalrymple, R.A. and Dean, R.G. (1972). "The spiral wavemaker for littoral drift studies". Proc. 13th Coast. Eng. Conf., ASCE, 689-705.
- Dean, R.G. and Dalrymple, R.A. (1984). Water wave mechanics for engineers and scientists, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Suh, K.D. and Dalrymple, R.A. (1987), "Offshore breakwaters in laboratory and field". J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., 113(2), 105-121.
- Vincent, C.L. and Briggs, M.J. (1989). "Refraction-diffraction of irregular waves over a mound". J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., 115(2), 269-284.
- Wang, S. (1974). "Plunger-type wavemakers : Theory and experiment". J. Hydr. Res., 12(3).
- Wu, Y.-C. (1985). Directional wavemaker: Theory and experiment. PhD dissertation, Univ. of Delaware, Newark, Delaware, USA.

## 부록 A1

### 조파수조 설계시방서

# 설 계 시 방 서

## 1. 목적

본 설계의 목적은 파랑, 흐름, 퇴적물 이동 등 제반 연안공학적 현상을 실험하기 위한 2차원 불규칙 파랑-흐름 복합수조 건설을 위한 설계 도서를 작성함에 있다.

## 2. 설치 위치

본 연구소 제2연구동 1층

## 3. 설계 개요

### 가. 수조 본체 설계

○ 수조 내부 SIZE :  $600^W \times 900^H$  mm

○ 수조 길이 : 24.0 m

○ 콘크리트 수조받침대 :  $400^L \times 400^W$  mm 좌우 2개씩 3,300 mm 간격으로 설치

### 나. 조파기

○ Stroke 60 cm의 피스톤식

○ 전기식 서보 시스템

### 다. 소파기 (Wave absorber)

○ 제작 및 설치 : 2개소 - 조파기 뒷편 및 수조 하류단

○ 재질 및 구조 : 스텐레스 또는 알루미늄 Chip 적재후 스텐레스 망으로 지지대 설치

### 라. 조파기 Side Rail 지지대

### 마. 흐름 발생장치 설계

○ 흐름 Box : 2개

○ 흐름 순환 장치

### 바. 실험용수 급·배수 시설

○ 급수 Line (기존수조 급수관 → 신설수조)

○ 배수 Line (신설수조 → 옥외 배수관)

### 사. 퇴적물 이동 실험구간

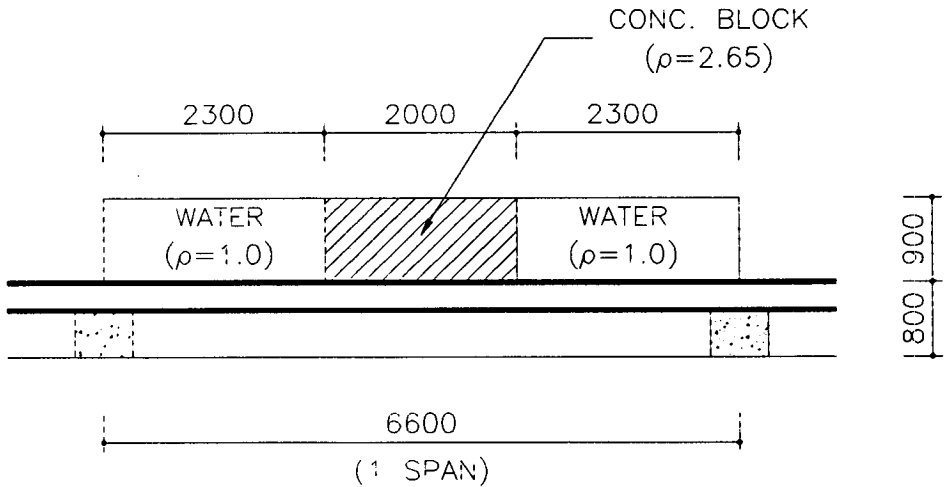
○ 수조 중앙 2 m 구간

- 폭 50 cm, 깊이 10 cm
- 아. 소파기 오니 청소 장치
  - 소파기 2개소의 수조 바닥에 설치
- 자. 연직벽 실험장치
  - 하류측 소파기 전면에 부착식 연직벽 설치
- 차. 수조 부속시설
  - 계측기기 운반기 및 이동 Rail
- 카. 전원설비
  - 조파기 가동전원 Line 구성
  - Data Acquisition 가동전원
  - 흐름 발생장치 Pump 가동전원

#### 4. 설계기준자료 및 과업내용

##### 가. 수조본체 설계

##### 1) 설계하중 결정: 방파제 단면실험 가정



- 콘크리트 블록은 6.6 m Span 임의점에 위치할 수 있다.
- 필요시에는 수조의 자중을 고려할 것.
- 4개 Span (1 Span = 6.6 m) 각 부분을 동일하중 조건으로 할 것.

##### 2) 설계 고려사항

- 가) 부재의 강도: 모든 부재의 처짐(Deflection)은 1 mm 이하로 한다.

- 기초 H형강
- 저부 횡방향 부재
- 저판 Steel Plate
- 측면 지지부재
- 측면 Glass 또는 Steel Plate
- 측벽 상단 H형강 또는 Box

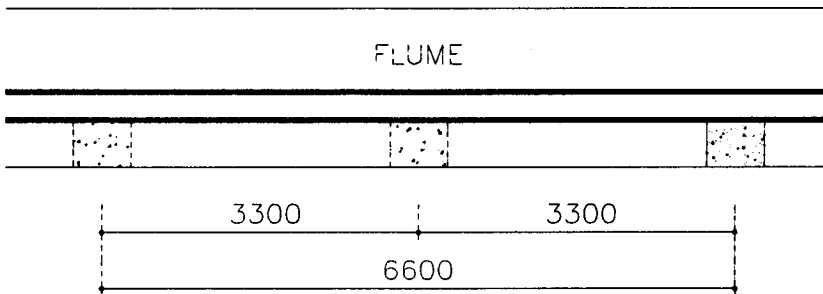
나) 측벽 자재

- 수조 상류단 5 m : Steel Plate
- 수조 중앙 15 m : 강화유리 (길이 1 m 유리로 하되 퇴적물 실험 구간은 2 m로 함)
- 수조 하류단 4 m : Steel Plate

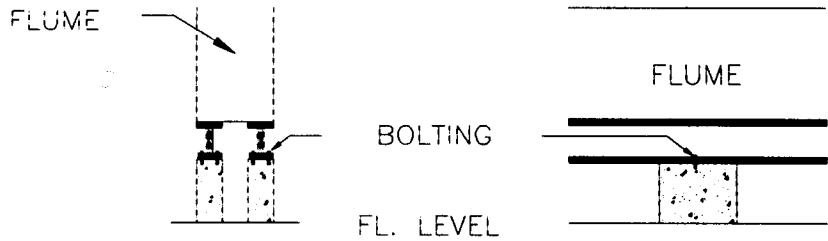
다) 수조 저판 자재

- 퇴적물 이동 실험구간 및 흐름 Box가 설치되는 2개소 : 스텐레스
- 기타 구간 : 철판으로 하고 Epoxy로 도장

라) 콘크리트 수조 받침대



- o 흐름발생장치 및 순환 파이프가 수조 아래 설치되어야 하므로 받침대는 수조폭 방향으로 2개로 분할하여 수조 양측에 설치하여야 함.
- o 받침대의 높이: 흐름발생장치 및 순환 파이프가 수조 아래 설치될 수 있도록 받침대의 높이를 정할 것.
- o 받침대의 단면 Size: 400 x 400 mm
- o 받침대의 고정: - 콘크리트 수조 받침대와 받침대 위의 H형강은 Bolt로 고정할 것.  
- 실험실 바닥과 받침대는 견고히 연결토록 할 것.



- 받침대 설치 위치: 콘크리트 받침대의 설치 위치는 3.3 m 간격으로 되어 있는 건물 구조체의 보 및 Girder 위 중앙에 위치시킬 것.

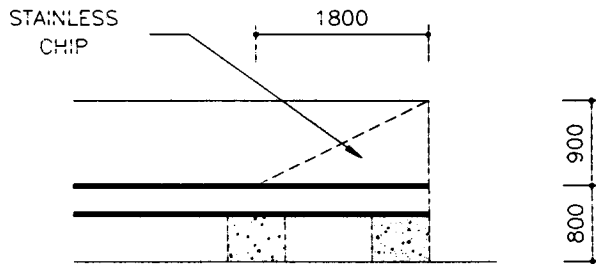
#### 나. 조파기

- 전기식 서보시스템으로 구성되어야 하며 서보 모터는 충분한 Power를 가질 것.
- 컴퓨터로 제어 가능하여야 하며 DT 2801 보드(사용자 제공)로부터의  $\pm 10$  Volt의 Analog Signal과 조파판의 Stroke가 선형으로 상응해야 한다 (즉,  $+10$  Volt =  $+30$  cm,  $-10$  Volt =  $-30$  cm).
- Function Generator와 DC Power Supply로 제어 가능해야 하며  $\pm 10$  Volt 이내에서 일정 전압을 주었을 경우 조파판이 Stroke내 해당 위치에 멈추어 있어야 한다.
- DT 2801 보드와 조파판 사이의 일체의 전기회로를 제공하여야 하며, 아울러 상세한 전기 회로도 및 서보시스템 제어도(Control Diagram)를 제공하여야 한다. Control Line은 Noise를 방지할 수 있도록 충분한 Shield를 갖는 전선으로 한다. 일체의 Control Box는 견고한 철제 Box로 하여 벽에 부착할 수 있도록 구성한다.
- 조파판은 스텐레스로 하며 충분한 휨강도를 가지기 위하여 지지 프레임을 부착한다.
- 조파판의 가이드 레일은 사각 또는 원형 Linear Bearing으로 하며, 조파판 운동시 종방향을 제외한 일체의 움직임 및 진동이 없도록 설치한다. 서보 시스템에 연결하기 전에 손으로 밀었을 때 조파판의 종방향 운동이 완전히 자유로울 정도로 Alignment에 세심한 배려를 할 것.

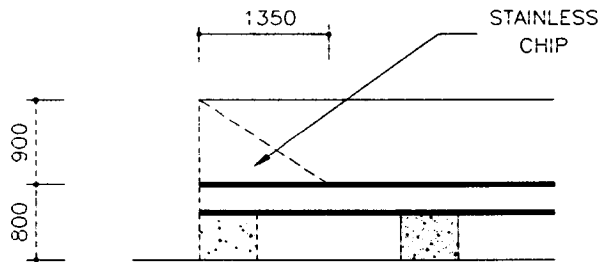
다. 소파기 (Wave Absorber)

1) 제작 및 설치

- 설치위치: 수조 양단에 설치
- 재질: 스테인레스 Chip 적재후 망사로 된 경사판을 덮을 것.
- 강도: 소파기 Frame은 0.4 m 파고, 2초 주기, 0.7 m 수심의 파랑에 대하여 충분한 횡강도를 가질 것.
- 구조:
  - 수조 하류측 소파기



- 조파기 뒷면 소파기



라. 조파기 Side Rail 지지대

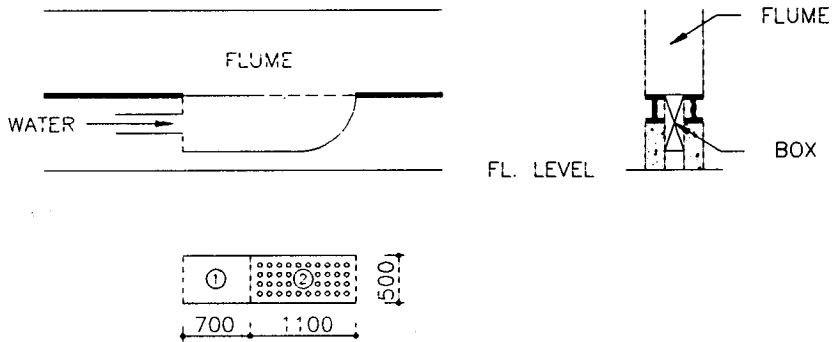
- 조파기를 지지하는 Steel Frame으로서 Flume에 인접하여 설치할 것.
- 지지대의 길이는 조파판 Stroke 60 cm를 감안하여 결정할 것.
- 조파기 지지대에 사다리를 설치할 것.



- 조파판의 운동으로부터 지지대에 가해지는 수평하중 및 휨모멘트는 각각 200 Kg. f (= 1,960 N)와 48 Kg. f-m (= 473 N-m)이다.

마. 흐름발생장치 설계

1) 흐름 Box 2개 설계 제작

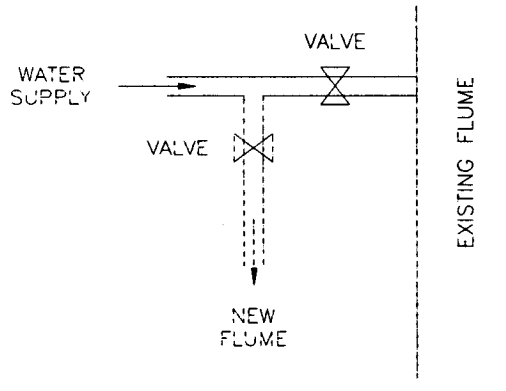


- 흐름 Box는 콘크리트 받침대와 수조 바닥 받침대 H형강에 밀착시켜 설치할 것.
- 흐름 Box 및 흐름 Box가 부착되는 부분의 수조 바닥 재질은 스텐레스 스틸로 할 것.
- 흐름 Box의 폭은 수조 바닥 받침 H형강의 단면폭에 따라 정한다.
- 흐름 Box의 뚜껑은 2개 (① - ②)로 되어 있으며, 각 뚜껑을 제각기 설치할 수 있어야 한다.
  - 뚜껑 ①은 Box 내부 보수시를 제외하고는 항상 설치되어 있도록 하고, 뚜껑 ②는 필요시 개폐할 수 있어야 함.
  - 뚜껑 ②의 상부는 Box Girder 위에 설치하며 50% 다공율판 및 무공율판으로 제작하여 필요에 따라 교체할 수 있어야 함.
  - 뚜껑의 상부면은 수조 저면판과 일치하여야 함.
  - 뚜껑은 견고하게 설치되어야 하며, 개폐가 용이하여야 하고 또한 충분한 자체 휨강도를 가지고 있어야 함.
- 흐름 Box 위에서 뚜껑 개폐 등의 작업을 할 경우에 대비하여 Box 상부 Girder는 작업 하중을 견딜 수 있도록 충분한 강도를 가져야 한다(용접 강도 포함).
- 흐름 Box 내부 부품의 구성은 연결 파이프에서 분출되는 유량을 최대한도로 Box 전폭에 걸쳐 분산시킬 수 있도록 하여야 한다.

- 흐름 Box와 내부 부품들은 흐름 Box에 연결된  $\phi 200$  파이프로부터 나오는 3.0 m/s의 유속을 감당할 수 있도록 충분한 강도를 가지고 있어야 한다(용접강도 포함).
  - 흐름 Box와  $\phi 200$  파이프의 연결은 상호 진동이 전달되지 않도록 설계되어야 한다.
  - 흐름 Box는 실험실 바닥에서 5 cm 이상 이격되어야 한다 (Bolt drive 식 지지).
  - 수조에서 실험용수 배수시 연결 파이프와 Box 저면 사이에 있는 잔여수를 배수할 수 있도록 한다.
  - 퇴적물 이동 실험시 흐름 Box 내에 잔류되는 오니를 제거하기 위하여 각 흐름 Box에 오니 제거용 파이프를 설치하며, 평상시에는 잠가둘 수 있도록 밸브를 설치한다.
- 2) 흐름 순환 시스템
- 순환시스템은 수조내 0.4 m 수심에서 0.4 m/s의 유속을 발생할 수 있도록  $\phi 200$ 의 파이프를 이용하여 펌프, 밸브, 유속계 등을 선정한다 (파이프내 유속 3.0 m/s).
  - 유속계는 펌프 하류에 설치하며, 펌프 및 파이프 만곡부에서의 와류의 영향을 적게 받는 위치에 설치한다.
  - 펌프와 파이프의 연결은 상호 진동이 전달되지 않도록 Expansion joint 등을 부착한다.
  - 펌프는 가동중 Surge 및 성능 변화가 나타나지 않도록 충분한 안정성을 가져야 하며, 내구성이 보장되어야 한다.
  - 펌프의 진동이 실험실 바닥에 전달되지 않도록 防震 mat를 펌프 밑에 설치한다. 단, 펌프 내수실의 위치가 수조 수면의 위치(바닥에서 1.2 m)보다 가급적이면 낮게 펌프 및 mat를 설치한다.
  - 펌프의 초기 가동의 과부하를 방지하기 위하여 Slow start 기능을 포함시킨다.
  - 밸브는 물 순환시 수력에 의해서 완만한 개폐가 발생하지 않도록 충분한 안정성 및 내구성을 가져야 한다.
  - 파이프 재질은 파이프내 녹이 발생하지 않도록 선정되어야 한다.
  - 파이프는 실험실 바닥에서 이격시켜야 하며, 부분적으로 휨이 발생하지 않도록 적당한 간격으로 받침대를 사용하여 지지되어야 한다.
  - 순환시스템 내에 과도한 Water hammer가 발생하지 않도록 필요시 Surge chamber, Pressure relief valve, 또는 Pump bypass 등을 부착한다.

바. 실험용수 급·배수 시설 설계

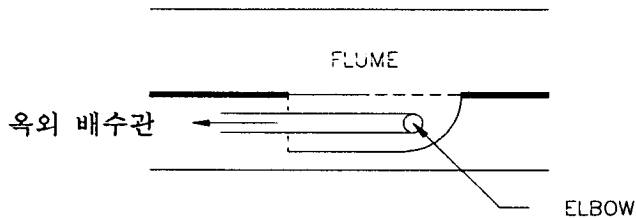
1) 급수 Line (기존수조 급수관 → 신설수조)



- 기존수조의 급수관에서 수조로 들어가는 부분에 설치되어 있는 밸브를 개조, 이 부분에 T자형 관을 설치하고 기존수조 Line과 신설수조 Line에 각각 밸브를 설치하여 이 밸브들의 개폐 조작을 통하여 물을 기존수조 또는 신설수조로 공급할 수 있도록 한다. 따라서 급수 펌프는 기존수조의 것을 같이 사용한다.
- 급수 파이프는 조파기측 흐름 Box에 연결시킨다.
- 급수 파이프는 기존수조와 같은  $\phi 100$  파이프를 사용한다.
- 급수 파이프는 관내부에 녹형성이 없어야 하며, 혹한기 건물의 난방이 되지 않는 상태에서 동결, 파손되지 않도록 한다.

2) 배수 Line (신설수조 → 옥외 배수관)

- 조파기측 흐름 Box로부터 옥외 배수관으로 연결토록 한다.

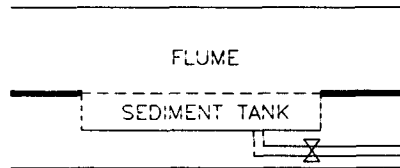


- 배수 파이프 직경은 파이프 및 엘보의 마찰을 고려하여 수조내 10분의 물을 30분내에 배수시킬 수 있도록 결정하며, 필요시 펌프를 설치토록 한다.

- 배수 파이프도 관내부에 녹형성이 없어야 하며, 흑한기 건물의 난방이 되지 않는 상태에서 동결, 파손되지 않도록 한다.

사. 퇴적물 이동 실험구간

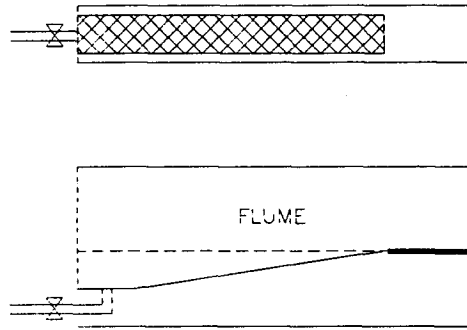
- 수조 중앙 부분에 길이 2 m, 폭 50 cm, 깊이 10 cm의 Sediment Tank를 설치한다.



- 퇴적물 이동 실험구간 2 m에 대해서는 측벽을 2 m Span 강화유리로 하며 이 구간내에는 수조측면 보강평철을 설치하지 않는다 (사진촬영 및 관측에 유리함).
- 퇴적물 이동 실험을 실시하지 않는 평상시에는 Sediment Tank 내에 Box를 거치하여 Box 윗면이 수조바닥과 일치하도록 한다.
- Box는 동일한 크기의 두 개로 제작하며 위에서 밟아도 변형되지 않게 충분한 강도를 유지하도록 Box 안에 Bracing을 설치한다.
- Box의 거치, 제거, 운반이 가능하도록 손잡이를 설치할 수 있도록 하되 거치된 상태에서는 Box 윗면에 돌출부가 없이 매끈하도록 설계한다.
- Box의 밑면은 터진 상태가 되도록 설계한다 (따라서 실제로 완전한 Box가 아님).
- Sediment Tank 및 Box의 재질은 스텐레스 스틸로 한다.

아. 소파기 오니 청소 장치

- 소파기 위치 2개소에 아래와 같이 설치한다.
- 청소장치 윗면은 소파기의 스텐레스 Chip이 빨려들어가지 않도록 망사를 설치하되 소파장치의 무게에 의해 처짐이 발생하지 않도록 설계한다.
- 청소장치의 밑면은 적당한 경사를 갖도록 하여 물이 잘 빠지도록 한다.
- 청소장치의 밑면에 파이프를 부착하여 물을 배수할 수 있도록 하며 사용하지 않을 때는 잠글 수 있도록 밸브를 설치한다.



#### 자. 연직벽 실험장치

- 수조 하류측 조파기 바로 전면에 연직벽을 설치할 수 있도록 설계한다.
- 연직벽은 부착식으로 하여 사용하지 않을 때는 제거할 수 있도록 한다.
- 연직벽은 0.4 m 파고, 2초 주기, 0.7 m 수심의 파랑에 대하여 충분히 견딜 수 있는 강도를 가져야 함.

#### 차. 수조 부속시설

##### 1) 계측기기 운반기

- 계측기기 운반기는 X, Y, Z 3방향으로 이동이 가능하여야 한다 (수동식). 미세한 이동량은 미동나사에 의하여 조작이 가능하여야 한다.
- Sensor를 부착할 수 있는 Clamp가 제공되어야 한다.

##### 2) 이동 Rail

- 계측기기 이동을 위한 Rail은 조파기 위치로부터 수조 하류단까지 설치한다.
- Rail은 원형 또는 사각봉으로 하고, 쳐짐 및 뒤틀림이 없어야 하며 차후 조정이 가능하도록 조립식으로 한다.
- Rail과 수조 상단 사이는 2.3 cm 떨어지도록 Rail을 설치한다.

#### 카. 전원설비

##### 1) 조파기 가동전원

##### 2) Data Acquisition 가동전원

##### 3) 흐름 발생장치 Pump 가동전원

- 상기 1), 2), 3) 전원에 대하여는 A.V.R.을 부착할 것 (가급적이면 A.V.R.의 갯수를 최소로 할 것).
- 전원연결 Port는 실험실 바닥에서 최소한 50 cm 이상 이격시켜 벽에 설치할 것.

타. 기타 사항

- 1) 구조 전체에 물이 직접 닿는 금속 부분은 Epoxy 페인트 이상의 방식 페인트로 처리하여 방식을 확실히 보장할 것.
- 2) 급·배수 시설 및 전원 설비의 설계는 본 연구소 건설과와 긴밀히 협의할 것.
- 3) 본 Spec.의 명시 사항을 변경하고자 할 때에는 본 연구소 해양공학연구부 및 건설과와 사전 협의 승낙을 구할 것.

5. 도서 작성

가. 작성요령 및 기준

- 1) 진행되는 과정을 수시 보고할 것 (설계공정표 작성).
- 2) 본 과업의 수정 또는 추가 및 시정사항이 있을 때는 정당히 요구할 수 있으며, 연구소의 승인으로 효력이 발생한다.
- 3) 설계도면의 문자는 국문 표기를 원칙으로 하나 원명은 영문으로 표기할 수 있다.
- 4) 작도용 용지는 영구 보관상 파손의 우려가 적은 외국산을 사용하여야 한다.
- 5) 설계도면의 모든 단위는 Metric System으로 한다.
- 6) 도면의 양식은 반드시 인쇄하여야 한다.
- 7) 도면의 축척은 아래에 따르고 필요한 도면은 연구소의 지시에 따라 작성하여야 한다.
  - 가) 평면도 및 입면도 : 1/100, 1/200, 1/30
  - 나) 주요 단면도 : 1/50
  - 다) 각 부분 상세도 : 임의
  - 라) 구조도 : 1/20, 1/30
- 8) 설계기준은 연구소의 설계시방서에 충실하도록 할 것이며, 구조계산은 한국 및 일본 기준을 적용하며, 본 공사에 사용되는 자재는 사전에 연구소와 협의하여야 하며, 연구소가 요구할 때에는 카타로그, Sample 근거를 제시하여야 한다.
- 9) 계산서  
상세한 구조체의 구조계산 및 용량산출 계산서를 제출하여야 한다.
- 10) 시방서  
공사 특기 시방서 및 일반 시방서를 상세히 작성 제본본으로 제출하여야

한다.

11) 공사 예산서, 품셈표, 기초 산출서

공사 예산서는 공종별로 세분하여 정부 공사원가계산 작성 요령에 맞추어 작성하고, 품셈 및 노임은 건설 표준품셈 및 노임단가에 준하고 제수량의 산출 기초는 누구나 알 수 있도록 명확히 작성한다.

12) 설계 도면

원도와 동 청사진을 제출하여야 한다.

나. 제 출

1) 설계원도 1부.

2) 설계도 7부 (중판 반절제본 2부, 세류용 16절 제본 2부, 기타 3부).

3) 내역서 5부.

4) 각 계산서 원부 1부, 복사 2부.

5) 일반시방서 및 특기시방서 7부.

6) 수량산출서 2부.

6. 준공 년월일

1994년 월 일

7. 준공도서 인수

계약서에 따라 이를 인수하며, 수정 또는 변경 사항이 있을 때는 즉시 이를 수정하여야 한다.

8. 기 타

가. 용역자는 설계지시사항 미비 또는 의문이 있을 때에는 연구소 관계자의 지시에 따라야 한다.

나. 용역자는 공사 발주전 설계도서에 대하여 연구소의 승인 없이 제3자에게 공개하여서는 안된다.

다. 용역자는 일체의 제출도서에 전책임을 지며, 만일 시공 도중 설계도와 부합되지 않은 경우, 현지조사 보고하여야 하며, 이 때의 비용은 용역자가 부담하여야 한다.

라. 설계도서를 작성함에 있어 시방서에 기술된 내용중에 미비하거나 의심이 생길 때에는 연구소 관계 책임자의 판단에 따라 보충 수정할 수 있다.

## 부록 A2

### 수조구조 및 수리계산서



## 水槽構造 및 水理計算書

◎ 목적: 본 계산서는 2차원 불규칙 파랑-흐름 복합수조 제작을 위한 구조물 계산 및 순환펌프의 용량을 계산함에 있다.

◎ 설계 방침: 당사가 조파수조에 관하여 채택하고 있는 강도의 계산 기준 및 설계 방침은 아래와 같다.

- 1) 강도 계산은 수조내에 물이 만수되었을 때로 가정하여 계산한다.
- 2) 만수시 수압이 각 부재에 작용할 때 각 부재의 처짐은 1 mm 이하로 한다.
- 3) 수조 자체의 중량을 계산한다.
- 4) 6개 SPAN(1 SPAN = 6.6 m)을 각각 동일 하중으로 계산한다.
- 5) 펌프의 용량은 SPEC에 적합하도록 MAKER의 DATA를 참고하여 이론출력을 계산한다.
- 6) 계산의 근사값이 나올 경우 모두 안전측으로 계산하는 것을 원칙으로 한다.
- 7) 상기 조건을 모두 만족하는 것을 본 기술부의 기본방침으로 삼는다.

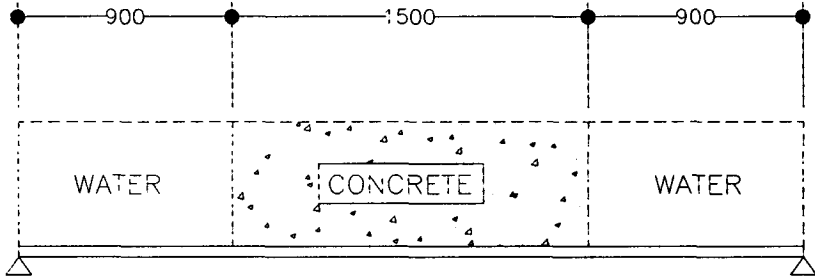
◎ 각 부재의 무게: 6.6 m 1 SPAN을 기준으로 하여 계산한다.

- 1) 철 판 :  $0.6\text{m} \times 6.6\text{m} \times 4\text{t} = 121 \text{ kg}$   
 $0.6\text{m} \times 0.9\text{m} \times 4\text{t} = 17 \text{ kg}$   
 $0.9\text{m} \times 6.6\text{m} \times 4\text{t} \times 2\text{EA} = 362 \text{ kg}$
- 2) 사각 파이프 :  $75 \times 50 \times 3.2\text{t} \times 13.2\text{m} = 81 \text{ kg}$
- 3) 양옆지지평철 :  $0.09\text{m} \times 0.9\text{m} \times 19\text{t} \times 14\text{EA} = 162 \text{ kg}$
- 4) 밑판지지평철 :  $0.05\text{m} \times 19\text{t} \times 13.2\text{m} = 96 \text{ kg}$   
 $0.05\text{m} \times 19\text{t} \times 0.6\text{m} \times 7\text{EA} = 31 \text{ kg}$
- 5) 보강CHANNEL :  $100 \times 50 \times 5\text{t} \times 0.6\text{m} \times 4\text{EA} = 28 \text{ kg}$
- 6) 옆면지지평철 :  $0.038 \times 6\text{t} \times 13.2\text{m} = 23 \text{ kg}$
- 7) 레일용파이프 :  $\phi 22 \times 1.4\text{t} \times 13.2\text{m} = 10 \text{ kg}$
- 8) H-Beam :  $200 \times 200 \times 8 \times 12\text{t} \times 13.2\text{m} = 659 \text{ kg}$
- 9) 물의 중량 :  $0.9\text{m} \times 0.6\text{m} \times 6.6\text{m} = 3,564 \text{ kg}$

\* 총무게 (만수시) : 5,151 kg

\* 모래가 밀면 0.4 m 깔릴 경우 총무게 : 6,720 kg

◎ 콘크리트 방파제 모형이 거치되었을 경우의 하부 지지대의 처짐 계산



1) 6.6 m 1 SPAN에 대한 각 부재의 무게의 총합은 1,587 kg이다. 이것을 반으로 나누면 794 kg인데 기타 무게를 합하면 800 kg이 된다.

2) 방파제 모형의 무게 :  $1.5 \times 0.9 \times 0.6 \times 2,650 = 2,147 \text{ kg}$

3) 물의 무게 :  $1.8 \times 0.9 \times 0.6 \times 1,00 = 972 \text{ kg}$

\* 총무게 : 3,920 kg

여기서 2분의 H-Beam으로 지지하고 있으므로

$$W = 3,920 / (2 \times 330) = 5.94 \text{ kg/cm}$$

$$I = 20 \times 20^3 / 12 - (20 - 0.8) \times (20 - 2.4)^3 / 12 = 4,610.5 \text{ cm}^4$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

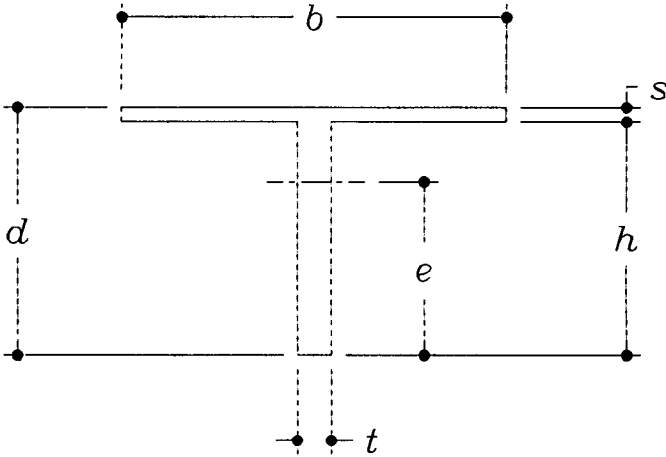
$$L = 330 \text{ cm}$$

균일분포하중으로 계산하면 최대처짐은 중앙부에서 생긴다. 따라서

$$\delta_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI} = 0.095 \text{ cm} = 0.95 \text{ mm}$$

◎ 측부 지지대의 처짐 계산 (철판 부분)

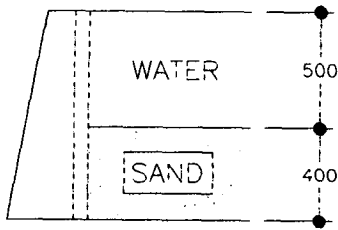
1.1 m 간격으로 대어서 아래와 같은 구조로 한다.



$$e = d - \frac{d^2 t - s^2 (b - t)}{2(bs + ht)}$$

여기서  $b = 100 \text{ mm}$ ,  $s = 4 \text{ mm}$ ,  $h = 90 \text{ mm}$ ,  $d = 94 \text{ mm}$ ,  $t = 19 \text{ mm}$  이므로  $e = 54.52 \text{ mm}$ 가 된다. 따라서

$$I = \frac{1}{3} [te^3 + b(d-e)^3 - (b-t)(d-e-s)^3] = 187.17 \text{ cm}^4$$



최대하중은 모래가 0.4 m 쌓였을 때로 가정하였으므로

$$W_1 = 0.09 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_2 = 0.024 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = W_1 + W_2 = 0.114 \text{ kg/cm}^2$$

집중하중으로 환산하면

$$\overline{W} = \frac{WL}{2} = \frac{0.114 \times 90}{2} = 5.13 \text{ kg/cm}$$

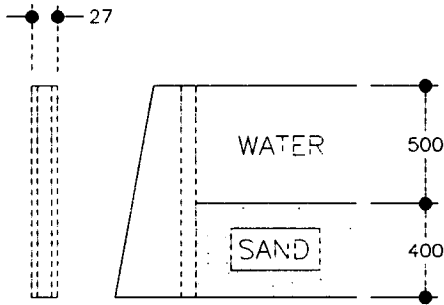
측부지지대는 110 cm 간격으로 설치되므로 총하중,  $W_t$ 는 564.3 kg이 된다.

최대처짐은 자유단에서 발생하므로

$$\delta_{\max} = \frac{W_t L^3}{15EI} = \frac{564.3 \times 90^3}{15 \times 2.1 \times 10^6 \times 187.17} = 0.07 \text{ cm} = 0.7 \text{ mm}$$

㉔ 측부 지지대의 처짐 계산 (강화유리 부분)

1.1 m 간격으로 대어서 양옆에 4t 철판을 측부 지지대와 같은 크기로 용접하여 아래와 같은 구조로 한다.



$$I = \frac{th^3}{12} = \frac{2.7 \times 9^3}{12} = 164.0 \text{ cm}^4$$

$$W_1 = 0.09 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_2 = 0.024 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = W_1 + W_2 = 0.114 \text{ kg/cm}^2$$

측부지지대는 110 cm 간격으로 설치되므로  $q = 12.54 \text{ kg/cm}$ 가 된다. 최대처짐은 자유단에서 발생하므로

$$\delta_{\max} = \frac{qL^4}{30EI} = \frac{12.54 \times 90^4}{30 \times 2.1 \times 10^6 \times 164} = 0.0796 \text{ cm} = 0.796 \text{ mm}$$

㉕ 저판 횡방향 부재의 처짐

종방향으로 94 cm 간격으로 부재가 용접되어 있고 횡방향 부재의 길이는 0.6

m이지만 실제적으로 고정되어 있는 부분의 길이는 50.5 cm이다.

- 물만 채워져 있는 경우

$$W = 0.505 \times 0.9 \times 0.94 \times 1,000 = 428 \text{ kg}$$
$$q = 428/50.5 = 8.48 \text{ kg/cm}$$

부재는 9t x 50 mm 철판을 사용하므로

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.9 \times 5^3}{12} = 9.38 \text{ cm}^4$$

최대처짐은 수조폭 중앙에서 발생하므로

$$\delta_{\max} = \frac{qL^4}{384EI} = \frac{8.48 \times 50.5^4}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 9.38} = 0.0073 \text{ cm} = 0.073 \text{ mm}$$

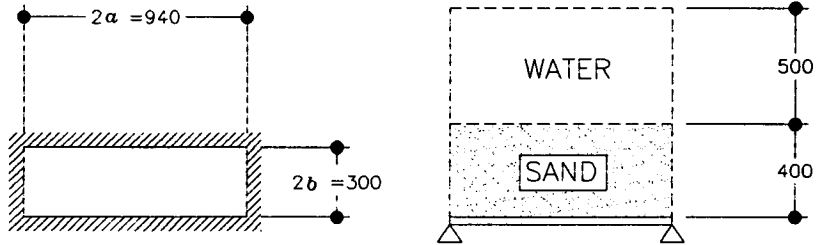
- 수조 저면에 모래를 0.4 m 깔았을 경우

$$W = 0.505 \times 0.94 \times (0.5 \times 1,000 + 0.4 \times 0.4 \times 1,000 + 0.4 \times 0.6 \times 2,650) = 616 \text{ kg}$$
$$q = 616/50.5 = 12.18 \text{ kg/cm}$$
$$\delta_{\max} = 0.105 \text{ mm}$$

- 콘크리트 방파제 모형이 올라갔을 경우

$$W = 0.505 \times 0.94 \times 0.9 \times 2,300 = 983 \text{ kg}$$
$$q = 983/50.5 = 19.46 \text{ kg/cm}$$
$$\delta_{\max} = 0.168 \text{ mm}$$

◎ 저판 STEEL PLATE의 처짐



- 모래가 0.4 m 깔린 경우 최대응력의 계산

최대응력은 중앙부에 작용하므로

$$\sigma_{\max} = \alpha \frac{pb^2}{t}$$

여기서  $\alpha$ 는  $a/b$ 에 의해 정해지는 값으로서  $a/b = 3.13$ 일 때  $\alpha = 2.0$ 이고,  $p$ 는 단위면적당 하중으로서  $p = 0.1296 \text{ kg/cm}^2$ 이며,  $t$ 는 철판의 두께이다. 따라서

$$\sigma_{\max} = 2.0 \times \frac{0.1296 \times 15^2}{0.4} = 146 \text{ kg/cm}^2$$

- 최대처짐의 계산

최대처짐은 중앙부에서 발생하며 다음 식으로 계산된다.

$$\delta_{\max} = \beta \frac{pb^4}{Et^3}$$

여기서  $\beta$ 는  $a/b$ 에 의해 정해지는 값으로서  $a/b = 3.13$ 일 때  $\beta = 0.45$ 이

다. 따라서 최대처짐은

$$\delta_{\max} = 0.45 \times \frac{0.1296 \times 15^4}{2.1 \times 10^6 \times 0.4^3} = 0.22 \text{ mm}$$

◎ 강화유리의 처짐

- 조건: 예정 창호 규격 = 900 x 1100 mm
- 예정 유리 품명 = 12 mm 강화유리
- 수면 높이 = 900 mm
- 지지 조건 = 4변 단순 지지

유리면 중앙부에 발생하는 최대 휨응력은

$$\sigma_c = \beta \frac{ql^2}{nt^2}$$

로 계산된다. 여기서  $a/b = 1.22$ 일 때  $\beta = 0.18$ ,  $q$ 는 수압하중이며,  $l$ 은 단변의 길이,  $n$ 은 접합유리일 경우 접합매수 (통유리인 경우  $n=1$ ),  $t$ 는 유리의 두께이다. 따라서

$$\sigma_c = 0.18 \times \frac{0.09 \times 90^2}{1 \times 1.2^2} = 92 \text{ kg/cm}^2$$

판유리 면 내의 장기 허용응력은 120 kg/cm<sup>2</sup>이고 강화유리인 경우 500 kg/cm<sup>2</sup>으로서 판유리의 사용이 가능한 것으로 계산되지만 본 설계에서는 강화유리를 사용하는 것으로 한다.

◎ 순환펌프의 용량 계산

수조내에 흐름을 발생시킬 수 있는 순환 시스템은 수조내 0.4 m 수심에서 최대 0.4 m/s의 유속을 발생시킬 수 있도록 설계한다.

- 유량:  $Q = AV = 0.6\text{m} \times 0.4\text{m} \times 0.4 \text{ m/s} = 0.096 \text{ m}^3/\text{s} = 5.76 \text{ m}^3/\text{min}$
- 마찰손실수두:



직관: 32 m →  $(3.7/100) \times 32 = 1.184$  m

엘보: 10EA →  $(7/100) \times 10 = 0.7$  m

T자관: 2EA →  $(2.5/100) \times 2 = 0.05$  m

밸브: 6EA →  $(2/100) \times 6 = 0.12$  m

조류 Box 타공망: 1 m

양정: 2 m

-----  
합계 : 5.054 m

여기서 양정을 6 m로 잡는다.

- 펌프의 용량:  $K = \frac{\rho QH}{102} = \frac{1,000 \times 0.096 \times 6}{102} = 5.65 \text{ kW} = 8 \text{ HP}$

안전계수를 2로 보면 이론상으로 16HP의 펌프 용량이 필요하다.

◎ 수조의 배수 시간

수조로부터 옥외 배수관으로의 배수를 위하여  $\phi 100$  PVC 파이프를 사용한다.  
배수관 내의 유속,  $V$ 는 수조내에 물이 약 1/3 정도 차있을 때를 기준으로  
( $h = 0.9/3 = 0.3$  m) 계산하면

$$V = \sqrt{2gh} = 2.43 \text{ m/s}$$

가 되며, 배수관 내의 유량,  $Q$ 는

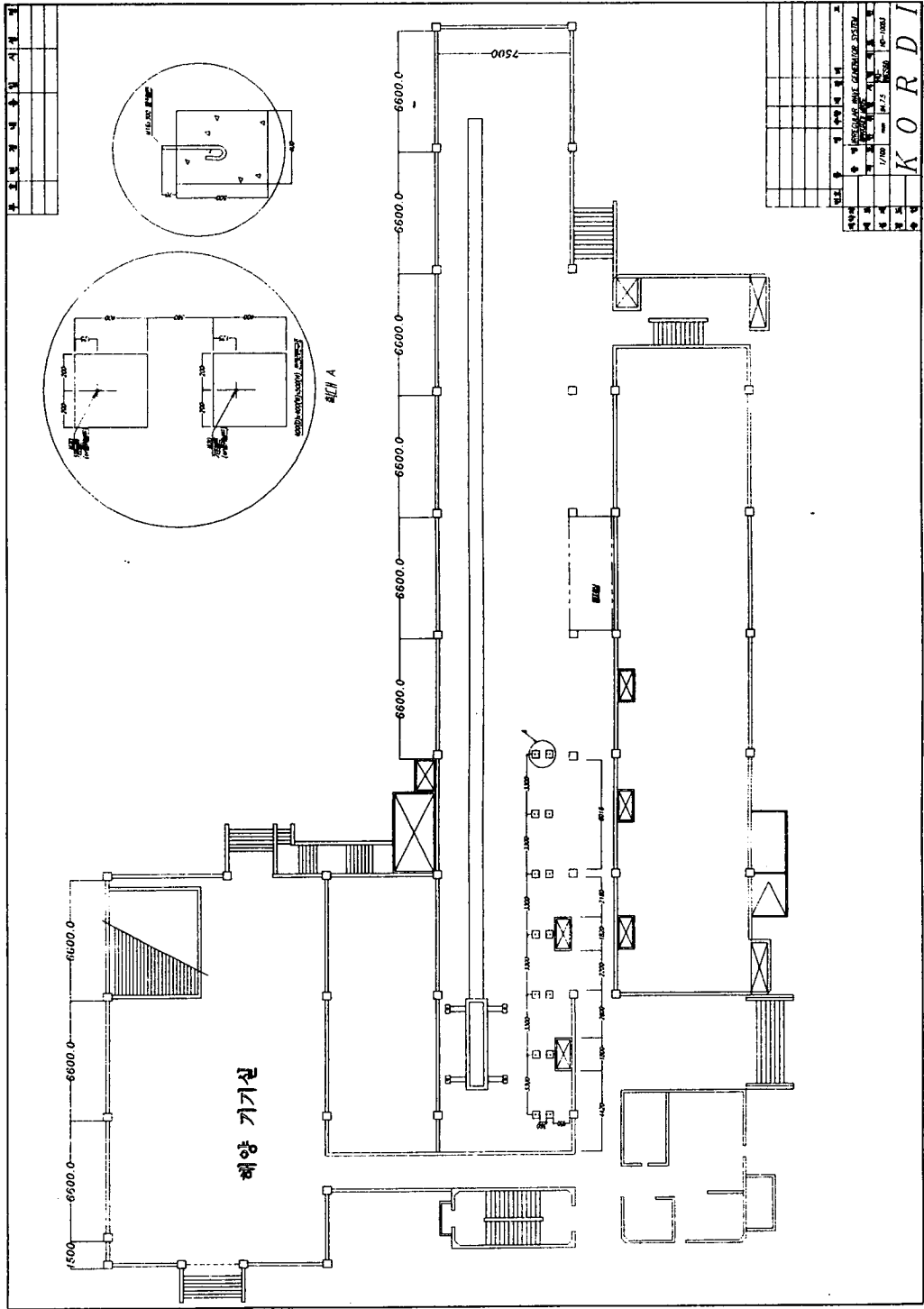
$$Q = AV = 0.019 \text{ m}^3/\text{s}$$

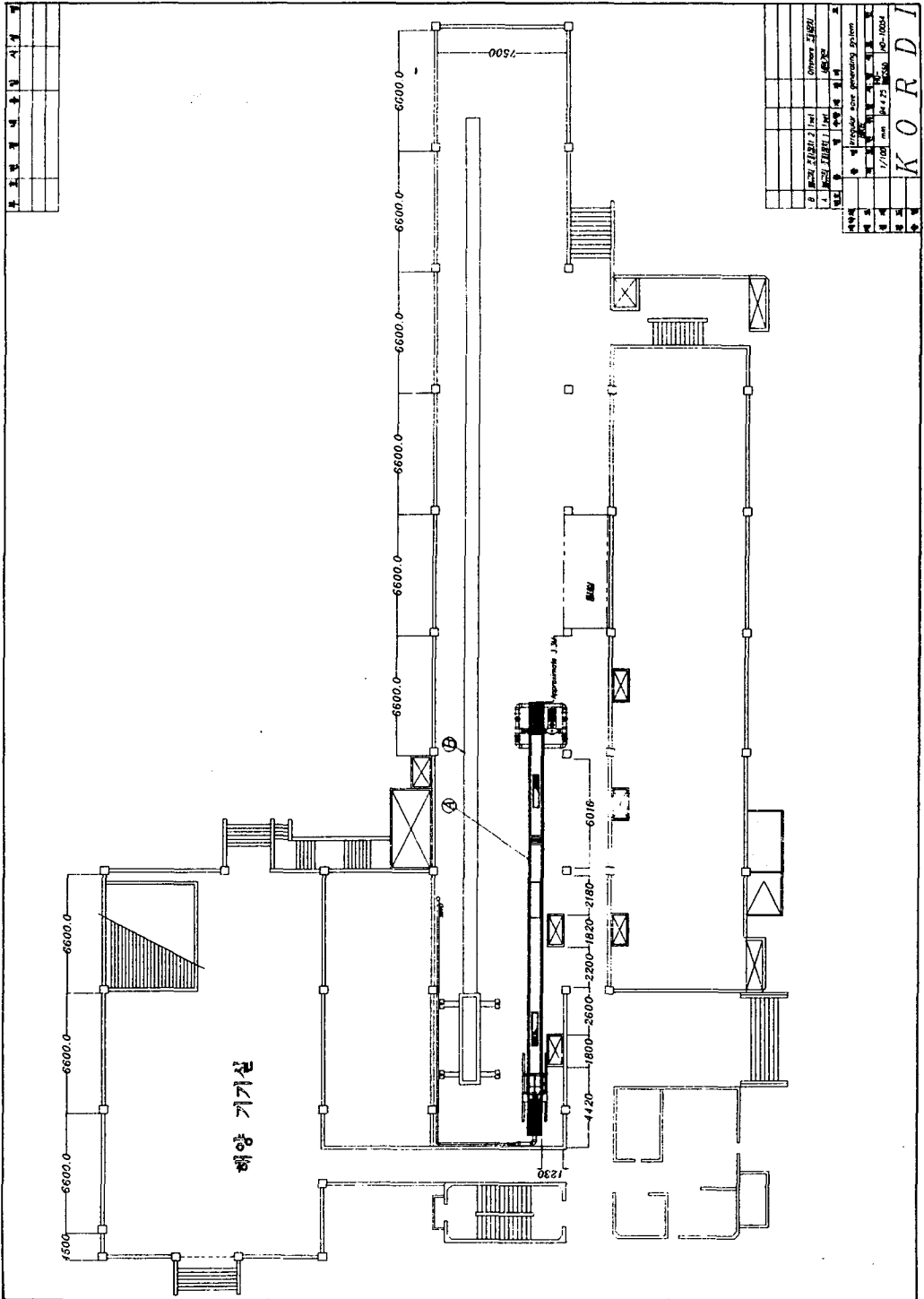
가 되어 관마찰을 고려하고 수조내에 약 60 cm의 물을 채웠다고 가정할 때 배수시간은 약 8분 정도가 된다.

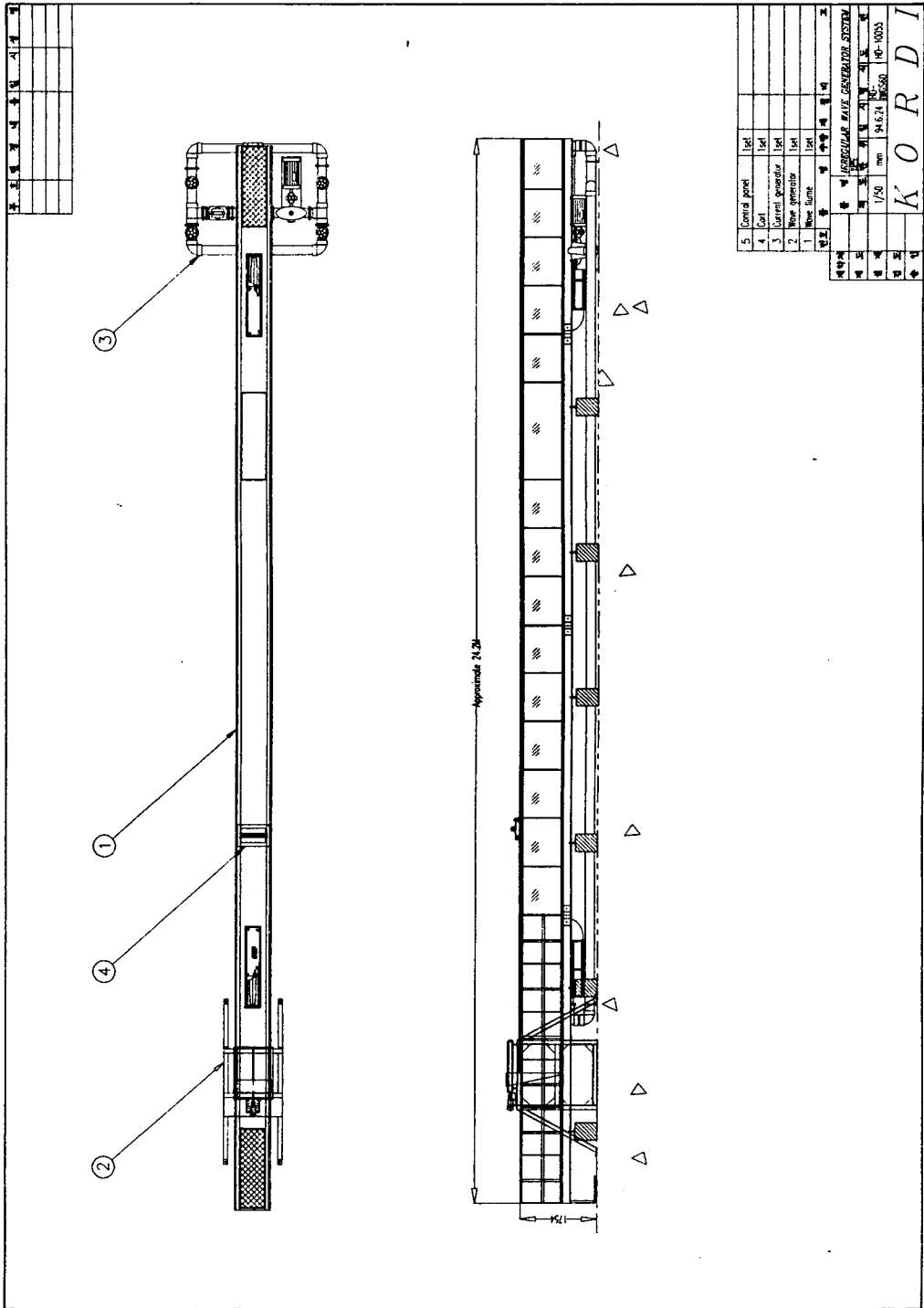
\*\*\*\*\* 이상과 같이 개략적인 구조물 계산서 및 펌프 용량 계산서를 제출하오니  
업무에 참고하시기 바랍니다. \*\*\*\*\*

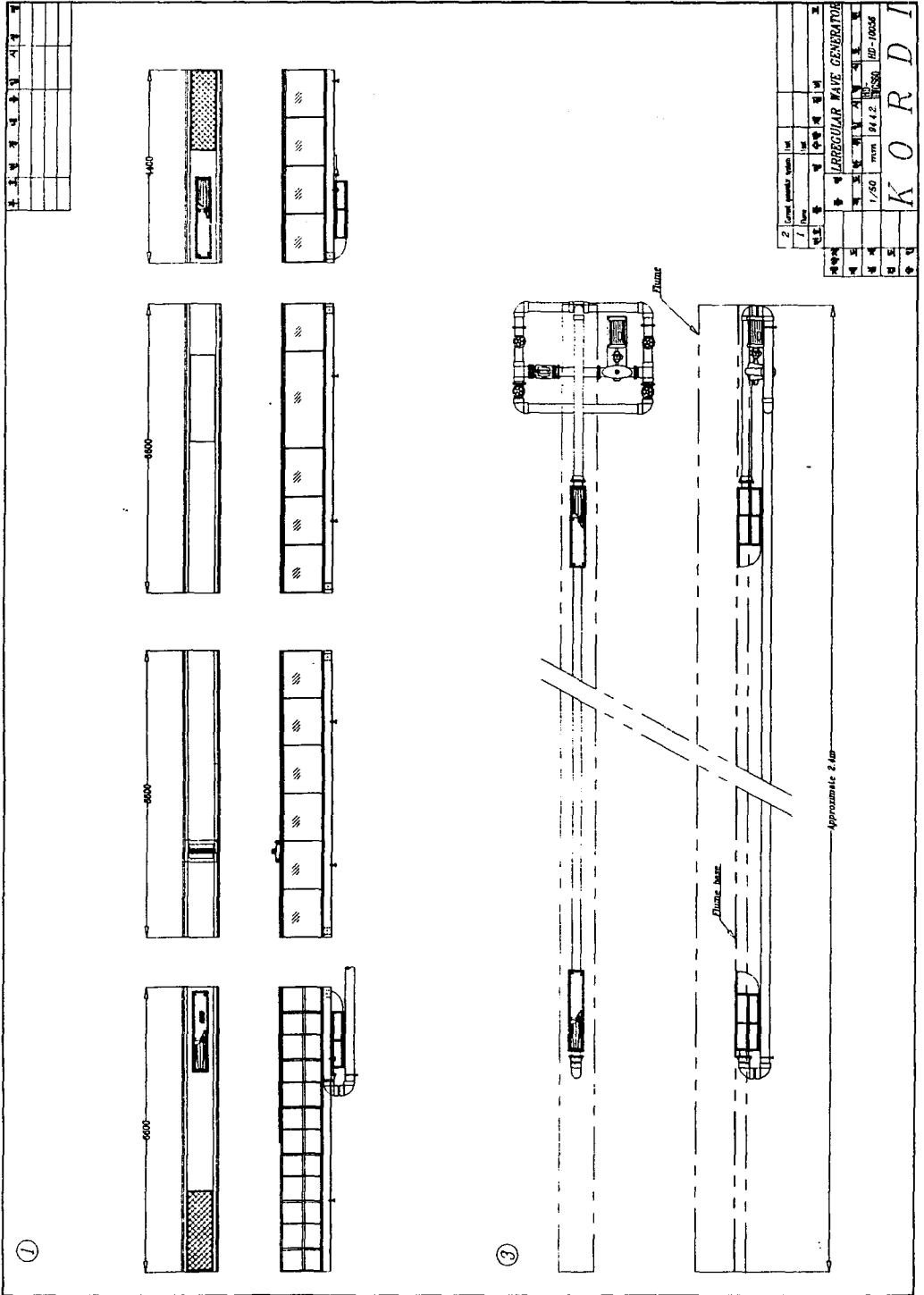
## 부록 A3

### 조파수조 설계도면

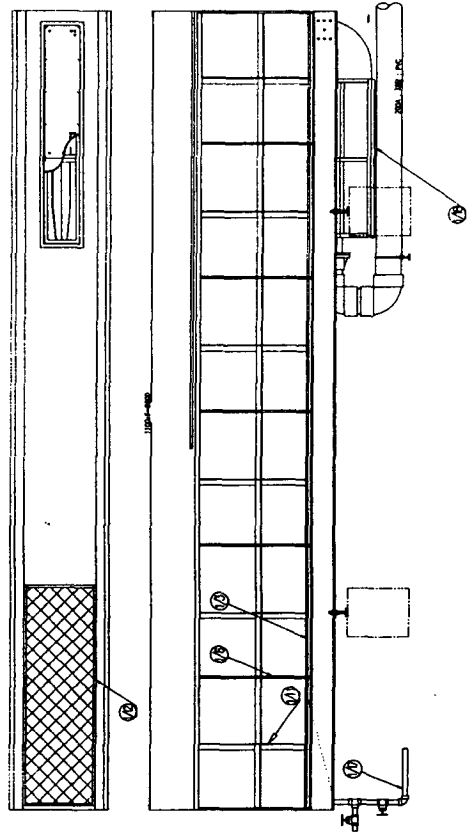




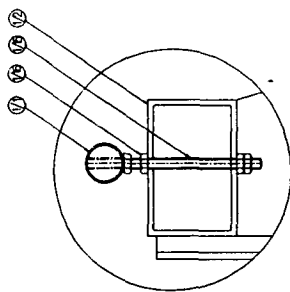




1  
 17  
 16  
 15  
 14  
 13  
 12  
 11  
 10  
 9  
 8  
 7  
 6  
 5  
 4  
 3  
 2  
 1



18	2set	S1S304
17	2set	S1S304
16	172set	S1S304 M6
15	174set	S1S304 M6
14	176set	S541 W20
13	48.4m	S541 500-191
12	2set	S1S304 4t
11	42m	S541 500-504t
10	20m	S541 100-50-5t
9	4.5t	S541 3.8t
8	4.8t	S541 600-6600-4t
7	1460	S541 25-9-904
6	5200	S541 30-19-904
5	800	S541 200-700-6600
4	800	S541 50-19-6600
3	4460	S541 34-6-1100
2	800	S541 75-50-6600
1	200	S1S304 74-7-6600



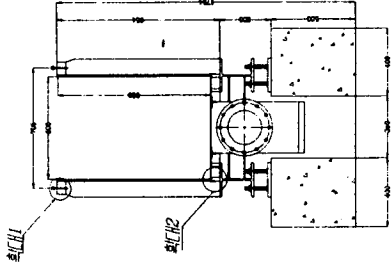
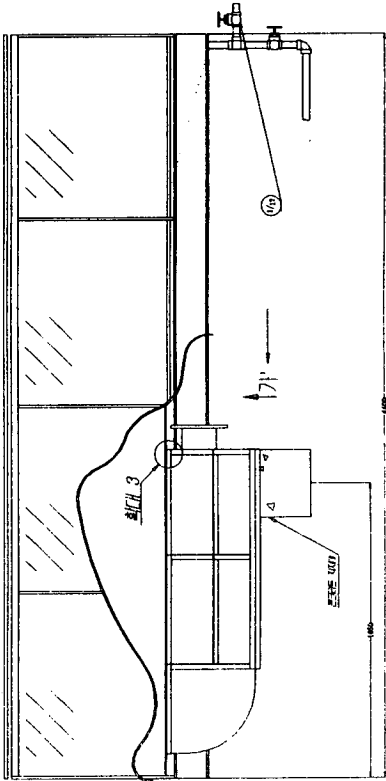
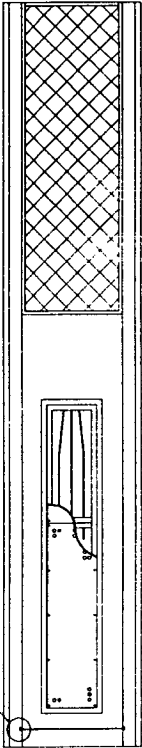
회차 1

1/20 mm  
 K O R D I  
 19.6.10.560-10058  
 LARECULAR WAVE GENERATOR

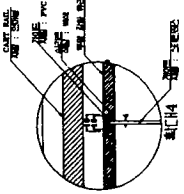
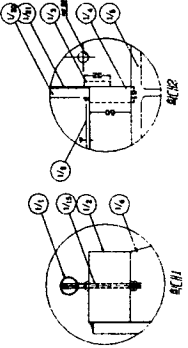
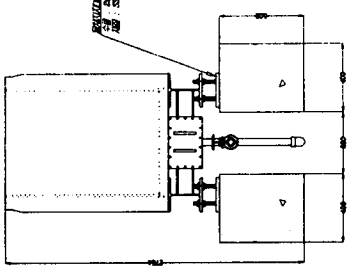




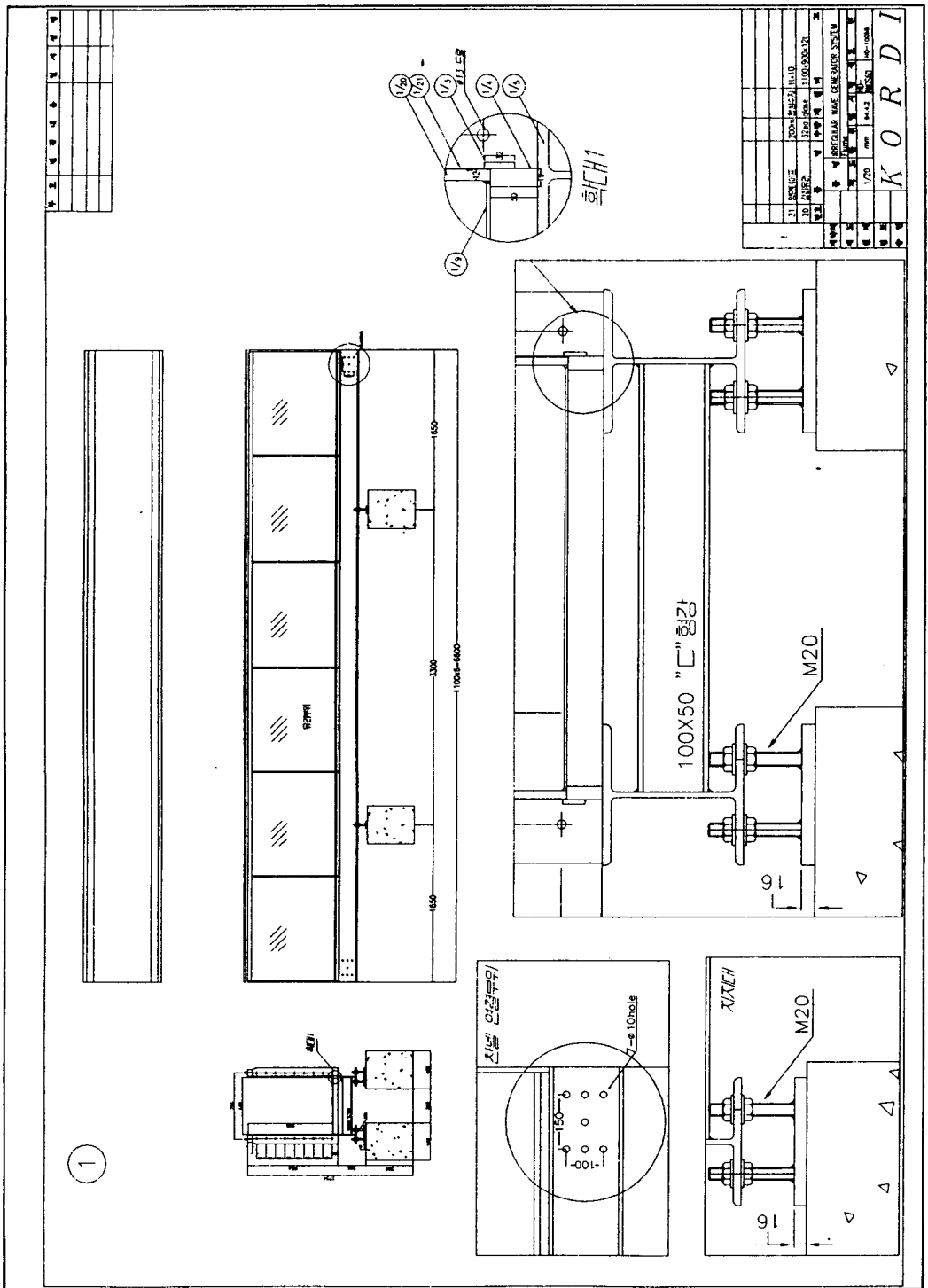

1

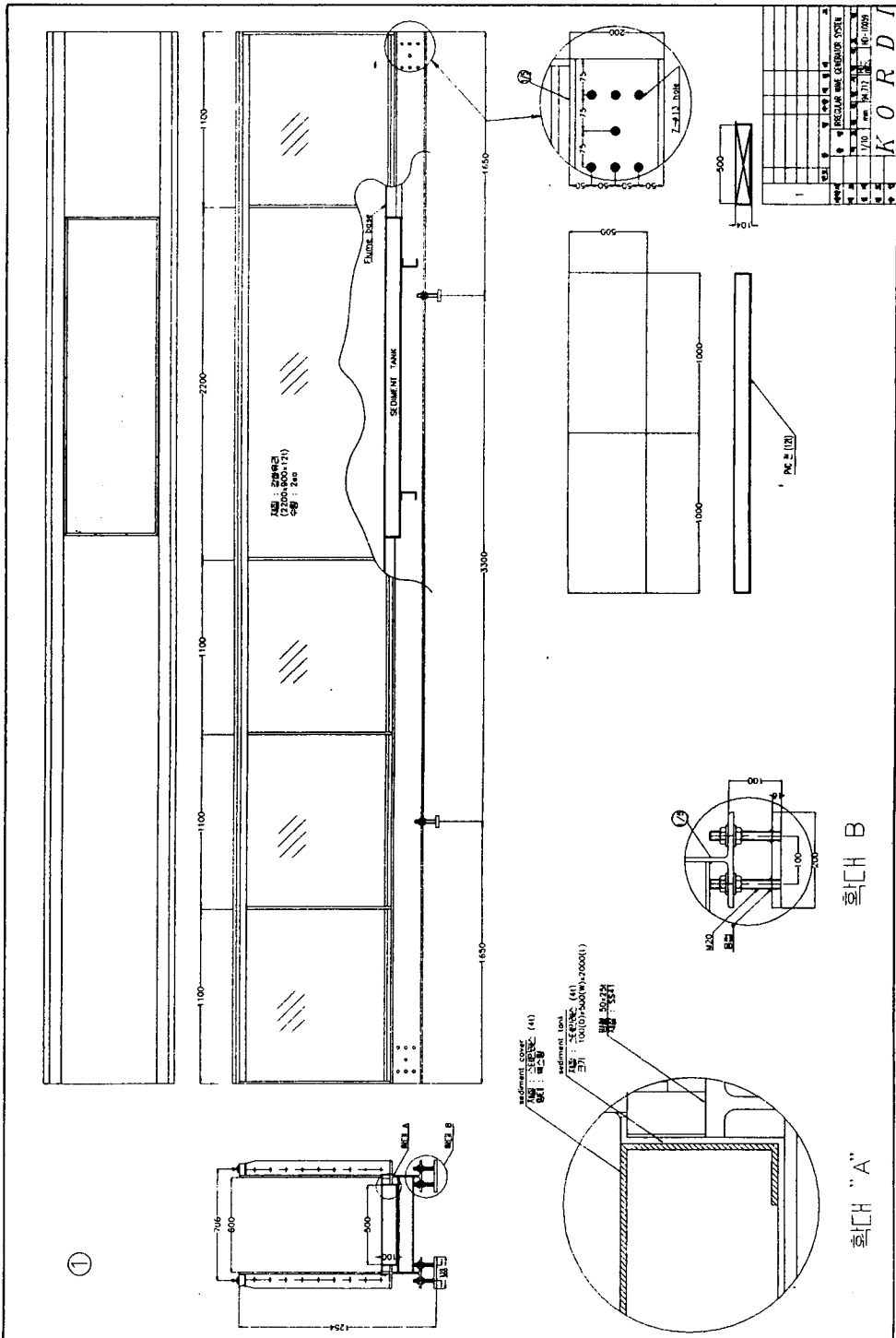


단면가-가



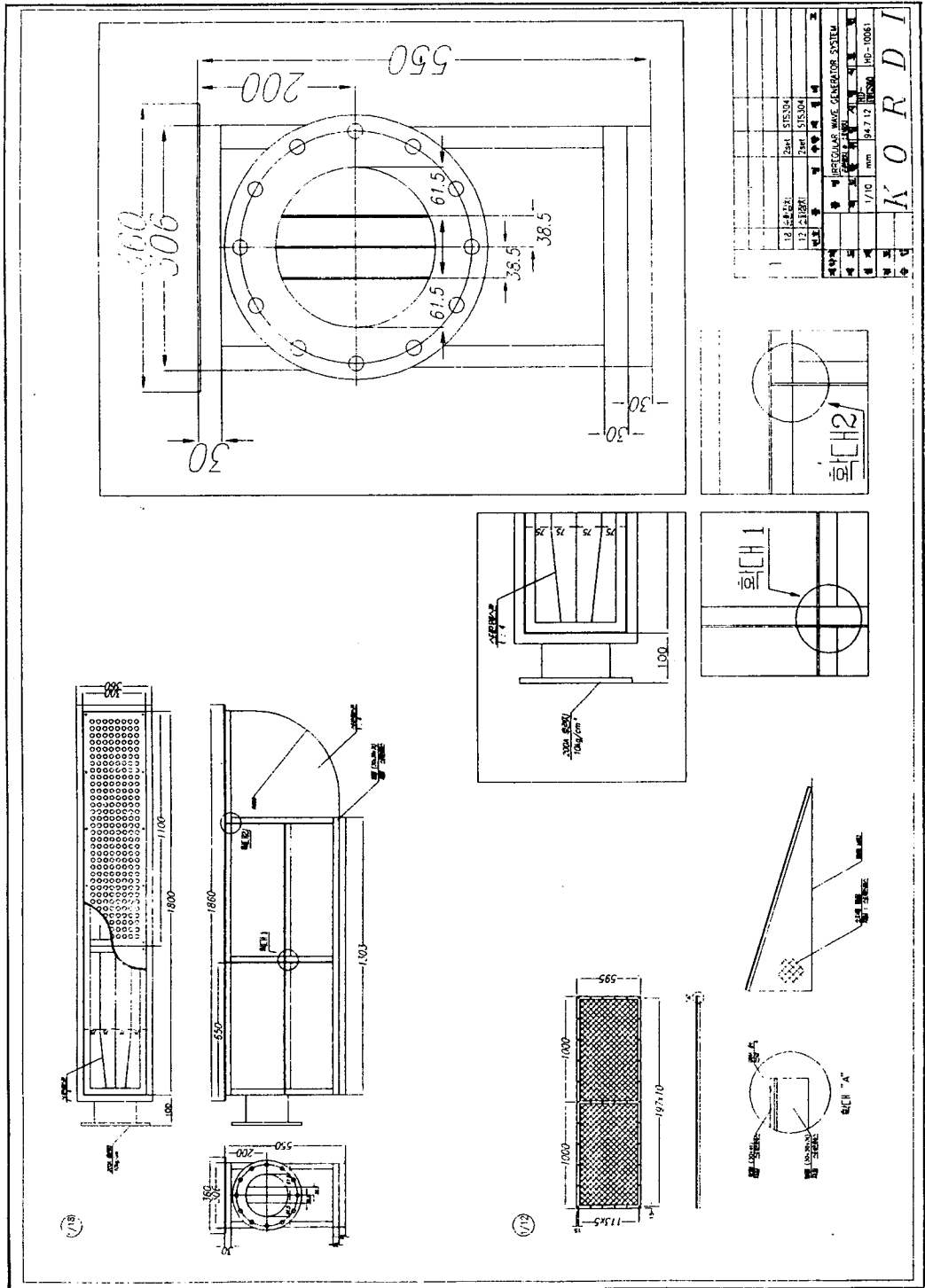

KORDI





品名	矩形鋼製沈澱槽
数量	4台
寸法	1000x1000x500
材質	鋼製
仕様	仕様書 (1)
図番	10-1009
製図	10-217
承認	
作成	
検査	
施工	
竣工	
完成	
納品	
備考	

K O R D



부호 견본 내 용 및 시 견본

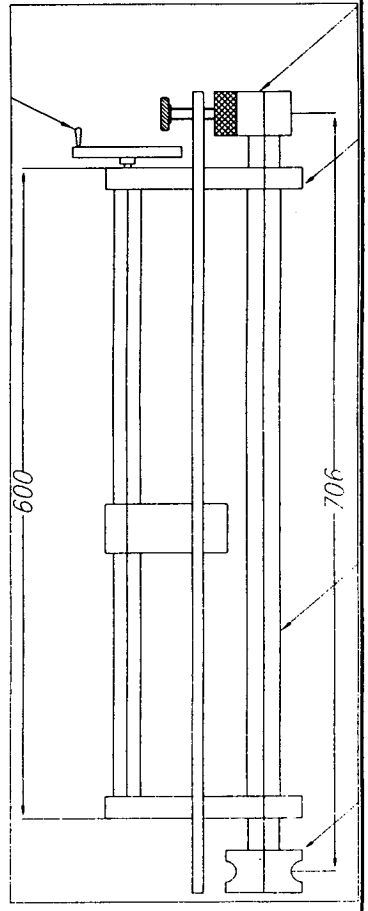
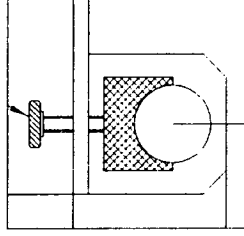
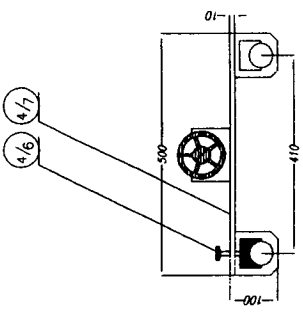
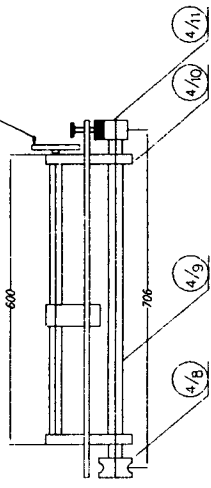
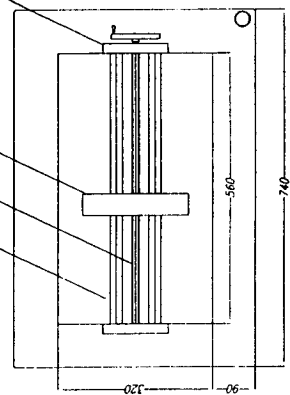
4

4/1

4/2

4/3

4/4



11	외경	φ12.7	1개
10	외경	φ16	1개
9	외경	φ18	1개
8	외경	φ20	1개
7	외경	φ22	1개
6	외경	φ25	1개
5	외경	φ28	1개
4	외경	φ32	1개
3	외경	φ36	1개
2	외경	φ40	1개
1	외경	φ45	1개

4

제출일	1954.11.13
제출처	국립중앙도서관
제출인	정인하
제출번호	1954.11.13.000001
제출비율	100%
제출비율비율	100%
제출비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%
제출비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율비율	100%

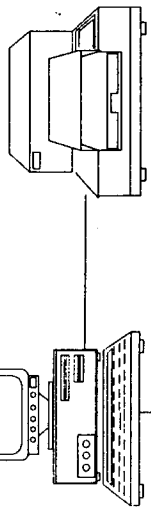
K O R D I



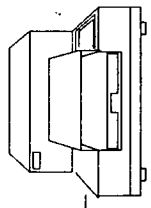
부	호	번	계	내	용	일	시	성	번

PERSONAL COMPUTER

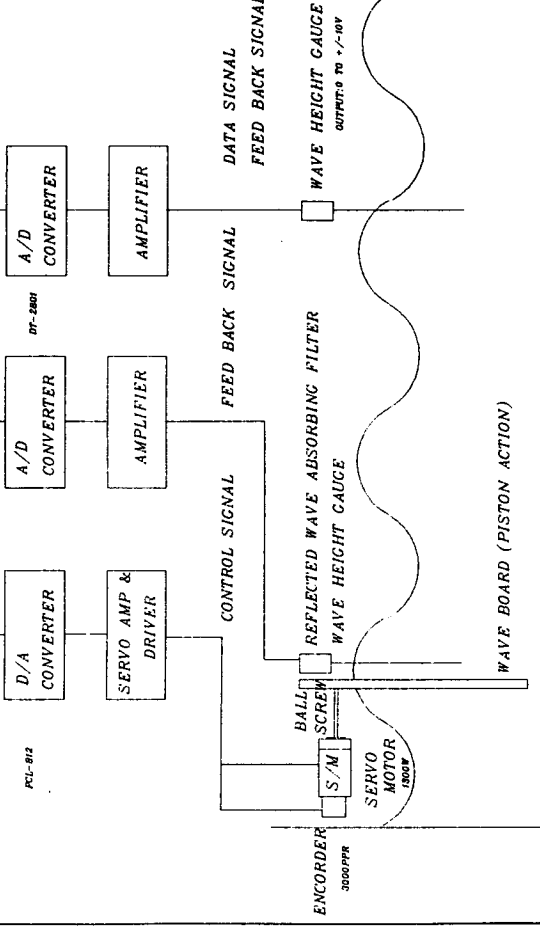
CPU : 486DX2-66  
 FDD : 3.5", 5.25"  
 HDD : 250MB  
 RAM : 8MB  
 CRT : 14" COLOR  
 SYCA  
 K/B : 103KEYS



PLOTTER



\*SETTING OF SPECTRUM OF IRREGULAR WAVE  
 - PIERSON - MOSKOWITZ  
 - NEUMANN  
 - BRETSCHNEIDR  
 - JOHNSWAP



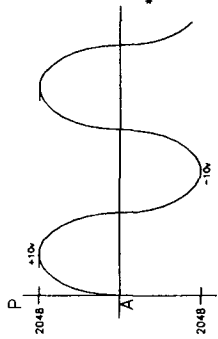
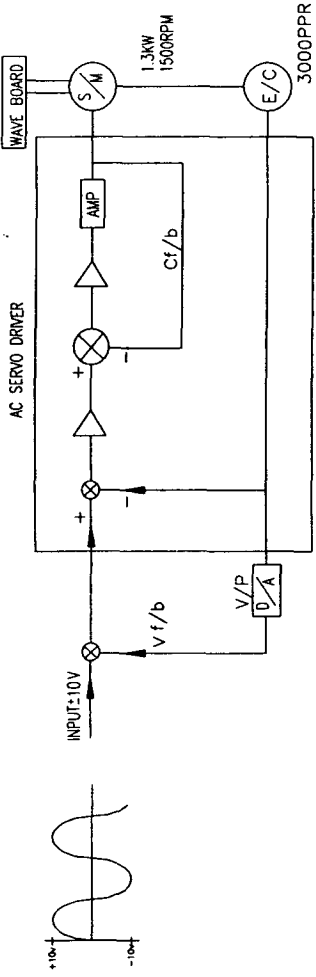
IRREGULAR WAVE GENERATOR

계약처	LYS
제조사	NS
설계처	LYS
검토회사	LYS
종류	IRREGULAR WAVE GENERATOR
모델명	HD-TM HD-10075
수량	94.7.11
제조업체	GS600
제작일자	
검토회사	
설계자	
검토회사	
검토회사	

世元技研

SEWON ENGINEERING COMPANY

부호변경배용일서설명



\*속도 및 위치 피드백 (전압을 디지털 신호로 변경)

- \*조피점치의 이송거리 = 300mm
- \*블록스피드의 피치 = 20mm
- \*모터의 회전 = 15회전
- \*15데퀴 회전시의 pulse는
  - 15x3000 = 45,000
  - 2048 : 10v = 1406 : Xv
  - Xv =  $\frac{1406 \times 10}{2048} \approx 687v(f/b \text{ 전압})$

제약제	
제도	
참석	
검교	
승인	
종별	
과목	
통계	NON
종류	블록구축 제어블록 diagram
필비고	

世元 技 研  
SEWON ENGINEERING COMPANY