

BSPE 00199-376-2

波浪-흐름 複合水槽 및 計測器機의 性能試驗

Performance Test of Wave-Current Flume and Instruments

1991. 7.

韓國海洋研究所



提出文

韓國海洋研究所長 貴下

本 報告書는 “波浪-트류 複合水槽 및 計測器機의 性能試驗” 課題의 最終報告書로 提出합니다.

1991年 7月

韓國海洋研究所

研究責任者: 宋 源 吾

研 究 員: 廉 器 大

研 究 員: 安 熙 道

研 究 員: 鄭 景 太

研 究 員: 蔡 璋 源

研 究 員: 全 仁 植

研 究 員: 朴 佑 善



要約文

I. 題目

波浪-흐름 複合水槽 및 計測器機의 性能試驗

II. 研究開發의 重要性 및 目的

1. 최근 국내 산업의 고도한 발전과 인구의 급속한 증가로 말미암아 효율적인 해안 및 해양개발의 필요성이 증대되고 있으며, 인위적인 구조물의 설치 및 개발에 따른 환경변화의 예측 등에 관련된 연안공학적 문제해결의 필요성이 증가하고 있다. 이러한 문제의 해결은 수치기법, 수리실험과 현장관측 등 세 가지 수단의 적절한 운용에 의해서 달성되며, 특히 수리실험은 수치모델을 검증하고 현장조건을 실험실내에 효과적으로 재현하여 여러 대안을 시험할 수 있는 매우 중요한 역할을 담당한다. 국내의 기존 연안공학은 주로 수치모델의 개발에 치중하여 왔으나, 향후 수리실험을 그 해결기법에 포함시킴으로써 보다 균형있는 발전을 기할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 본 사업에서는 1989년도 기본연구사업으로 건설된 파랑-흐름 복합수조를 차후 수리실험에 효율적으로 적용하기 위하여, 이의 보정 및 성능시험을 수행하였으며, 현재 보유하고 있는 다수의 정밀 계측기기의 검·교정을 수행하였다. 또한, 조파

기 및 계측장치의 가동을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 할 수 있는 제어시스템을 구축하였으며, 데이터의 효율적인 획득 및 분석시스템도 아울러 확립하였다.

III. 研究開發의 內容 및 結果

1. 수조의 보정 및 성능시험

- 규칙파 및 불규칙파의 발생에 대한 성능시험
- 반사파 흡수필터의 성능시험
- 수조 소파기의 성능시험
- 조류발생장치의 보정 및 성능시험

2. 실험계측기기의 검·교정

- 파랑계측기기 (wave gauge)
- 프로펠라 유속계 (propeller current meter)
- 압력변환기 (pressure transducer)
- 하중측정장치 (load cell meter)

3. 자동 제어 및 계측시스템 구축

- 실험제어실 건설
- 중앙집중적인 자동 제어 및 계측시스템 구축

Summary

I. Title

Performance Test of Wave-Current Flume and Instruments

II. Significance and objectives of the study

1. As the domestic industry is developed and the population is increased rapidly, the demands for the development of costal and ocean resources has been increased. Applications of costal and ocean engineering to the construction of man-made structures and to the prediction of environmental changes caused by the development has been recognized very important. There are three different application techniques for solving those problems. They are the numerical approaches, experiments, and field observations. In particular, the experimental techniques can verify the performance of the numerical one and reproduce the field condition in laboratory scales in order to several alternatives. The present status of costal and ocean engineering in the country has put emphasis on the numerical modellings only. Therefore, the experimental modellings should be incorporated in the solution techniques to achieve the balanced development of the expertise in the country.

2. In the present study, it is carried out the calibration and performance test of the 2-dimensional wave-current flume with available analog sensors, for the efficient applications of the flume to the problems of the coastal and ocean engineering. The flume was constructed by the 1990 endowment project (BSPE 00166-276-2) in KORDI. The automatic control system of the wave making devices and analog sensors is constructed, and the efficient data acquisition and analysis system is also established.

III. Contents and results of the study

1. Calibrations and performance tests of the flume

- Regular and irregular waves
- Reflected wave absorbing filter
- Inclined absorbing system of the flume
- Current making system

2. Calibrations of the analog sensors

- Wave gauge
- Propeller current meter
- Pressure transducer
- Load cell meter

3. Establishment of the control and data acquisition system

- Construction of control room

- Establishment of the center-oriented automatic control and data acquisition system



目 次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 요 약 문 | 3 |
| 목 차 | 9 |
| 도 목 차 | 17 |
| 사진목차 | 21 |
| 표 목 차 | 23 |
| | |
| 제 1 장 서 론 | 25 |
| | |
| 제 2 장 피랑-흐름 복합수조의 보정 및 성능시험 | 27 |
| | |
| 제 1 절 수조제원 및 특성 | 27 |
| 제 2 절 실험실 전원체계 | 36 |
| 2.1 주 제어반 | 37 |
| 2.2 원격제어반 | 37 |
| 2.3 UPS 전원반 | 38 |
| 2.4 조파기 S/₩ PNL | 40 |
| 2.5 급수펌프 5 Hp S/₩ | 40 |

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 2.6 | 순환펌프 40 Hp S/W..... | 40 |
| 2.7 | 일반전원 | 41 |
| 제 3 절 | 실험용수의 급배수 | 41 |
| 3.1 | 급수시설 | 41 |
| 3.2 | 환수시설 | 43 |
| 3.3 | 배수시설 | 43 |
| 제 4 절 | 파랑발생장치 | 44 |
| 4.1 | 조파기 가동절차 | 44 |
| 4.2 | 발생가능 파랑 | 46 |
| 4.3 | 파랑발생장치의 보정 | 48 |
| 4.4 | 반사파 흡수필터 | 48 |
| 제 5 절 | 일방향성 흐름 발생장치 (조류기) | 73 |
| 5.1 | 정향류 발생절차 | 73 |
| 5.2 | 역향류 발생절차 | 74 |
| 5.3 | 유속계측 결과 | 74 |
| 제 3 장 | 계측기기의 보정 및 성능시험 | 79 |
| 제 1 절 | 아날로그 센서의 사용 | 79 |
| 1.1 | ADC의 보정 | 80 |
| 1.2 | 사용절차 | 88 |

| | |
|---|-----|
| 1.3 데이터 분석 | 89 |
| 제 2 절 프로펠러 유속계(Propeller Current Meter)의 사용 | 90 |
| 제 3 절 압력변환계(Pressure Transducer)의 사용 | 98 |
| 제 4 절 하중측정장치(Load Cell Meter)의 사용 | 102 |
| 4.1 보정절차 | 102 |
| 4.2 하중 측정 센서의 사용 | 105 |
| 4.3 센서의 사용 | 107 |
| 4.4 측정결과 | 108 |
| 제 5 절 CHURCHILL Wave Monitor의 사용 | 111 |
| | |
| 제 4 장 결 론 | 115 |
| | |
| 참 고 문 헌 | 117 |



Contents

| | |
|--|----|
| Summary | 5 |
| Contents | 13 |
| List of Figures | 17 |
| List of Photos | 21 |
| List of Tables | 23 |
| | |
| Chapter 1 Introduction | 25 |
| | |
| Chapter 2 Calibration and performance test of wave-current flume | 27 |
| | |
| Section 1. Wave-current flume | 27 |
| Section 2. Electric power system | 36 |
| 2.1 Main control box | 37 |
| 2.2 Remote control box | 37 |
| 2.3 UPS electric power box | 38 |
| 2.4 Wave maker S/W PNL | 40 |
| 2.5 Water supply pump S/W | 40 |

| | | |
|------------|--|----|
| 2.6 | Circulation pump S/W | 40 |
| 2.7 | Common electric power | 41 |
| Section 3. | Water supply and drain | 41 |
| 3.1 | Water supply system | 41 |
| 3.2 | Water circulation system | 43 |
| 3.3 | Water drain system | 43 |
| Section 4. | Wave making system | 44 |
| 4.1 | Operation of wave maker | 44 |
| 4.2 | Capability of wave maker | 46 |
| 4.3 | Calibration of wave making system | 48 |
| 4.4 | Reflected wave absorbing filter | 48 |
| Section 5. | Uni-directional current generation system | 73 |
| 5.1 | Positive flow generation | 73 |
| 5.2 | Negative flow generation | 74 |
| 5.3 | Measurement of current velocity | 74 |
| Chapter 3 | Calibration and performance test of analog sensors | 79 |
| Section 1. | Usage of analog sensors | 79 |
| 1.1 | Calibration of ADC | 80 |

| | |
|--|-----|
| 1.2 Procedure of measurements | 88 |
| 1.3 Analysis of measured data | 89 |
| Section 2. Propeller Current Meter | 90 |
| Section 3. Pressure Transducer | 98 |
| Section 4. Load Cell Meter | 102 |
| 4.1 Calibration procedure | 102 |
| 4.2 Procedure of measurements | 105 |
| 4.3 Usage of sensors | 107 |
| 4.4 Measured results | 108 |
| Section 5. Churchill wave monitor | 111 |
| | |
| Chapter 4 Conclusions | 115 |
| | |
| References | 117 |



圖 目 次

(List of Figures)

| | | |
|-----------|---|----|
| Fig.2.1.1 | Two dimensional wave-current flume | 28 |
| Fig.2.1.2 | Integrated system of wave generation and data acquisition | 35 |
| Fig.2.2.1 | Electric power system | 36 |
| Fig.2.2.2 | Locations of electric power switches | 36 |
| Fig.2.2.3 | Main control box | 37 |
| Fig.2.2.4 | Remote control box | 38 |
| Fig.2.2.5 | UPS electric power box | 39 |
| Fig.2.3.1 | Pipe networks for water supply and drain | 42 |
| Fig.2.4.1 | Integrated control system of wavenaker | 45 |
| Fig.2.4.2 | Contour of limiting wave heights within linear waves | 47 |
| Fig.2.4.3 | Contour of limiting wave heights including nonlinear waves | 47 |
| Fig.2.4.4 | Wave probe calibration | 49 |
| Fig.2.4.5 | Banded white noise spectra for flume calibration | 54 |
| Fig.2.4.6 | Measured power spectral density for WHITE1 | 57 |
| Fig.2.4.7 | Measured power spectral density for WHITE2 | 58 |
| Fig.2.4.8 | Measured power spectral density for seastate 1 | 63 |

| | | |
|------------|---|----|
| Fig.2.4.9 | Measured power spectral density for seastate 2 | 64 |
| Fig.2.4.10 | Measured power spectral density for corrected seastate 1 | 67 |
| Fig.2.4.11 | Measured power spectral density for corrected seastate 2 | 68 |
| Fig.2.4.12 | Wave heights without reflected wave absorbing filter in regular wave conditions | 71 |
| Fig.2.4.13 | Wave heights with reflected wave absorbing filter in regular wave conditions | 71 |
| Fig.2.4.14 | Significant wave heights without reflected wave absorbing filter in irregular wave conditions | 72 |
| Fig.2.4.15 | Significant wave heights with reflected wave absorbing filter in irregular wave conditions | 72 |
| Fig.2.5.1 | Open channel test | 75 |
| Fig.2.5.2 | Velocity profile in the vertical direction ($Q = 7.08$) | 76 |
| Fig.2.5.3 | Velocity profile in the vertical direction ($Q = 3.66$) | 76 |
| Fig.2.5.4 | Velocity profile in the lateral direction ($Q = 7.08$) | 77 |
| Fig.2.5.5 | Velocity profile in the longitudinal direction ($Q = 7.08$) | 77 |
| Fig.3.1.1 | Calibration curve for channel 3 | 81 |
| Fig.3.1.2 | Calibration curve for channel 4 | 81 |
| Fig.3.1.3 | Calibration curve for channel 5 | 82 |
| Fig.3.1.4 | Calibration curve for channel 6 | 82 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig.3.1.5 | Calibration curve for channel 7 | 83 |
| Fig.3.1.6 | Calibration curve for channel 8 | 83 |
| Fig.3.1.7 | Calibration curve for channel 9 | 84 |
| Fig.3.1.8 | Calibration curve for channel 10 | 84 |
| Fig.3.1.9 | Calibration curve for channel 11 | 85 |
| Fig.3.1.10 | Calibration curve for channel 12 | 85 |
| Fig.3.1.11 | Calibration curve for channel 13 | 86 |
| Fig.3.1.12 | Calibration curve for channel 14 | 86 |
| Fig.3.1.13 | Calibration curve for channel 15 | 87 |
| Fig.3.1.14 | Calibration curve for channel 16 | 87 |
| Fig.3.2.1 | Calibration curve for propeller current meter(Model 3634) | 94 |
| Fig.3.2.2 | Calibration curve for propeller current meter(Model 3635) | 95 |
| Fig.3.2.3 | Calibration curve for propeller current meter(Model 3636) | 96 |
| Fig.3.2.4 | Calibration curve for propeller current meter(Model 3637) | 97 |
| Fig.3.4.1 | Test for a taut moored buoy system | 109 |
| Fig.3.4.2 | Test results for a taut moored buoy | 110 |



寫真目次

(List of Photos)

| | | |
|-------------|--|-----|
| Photo 2.1.1 | Two dimensional wave-current flume | 29 |
| Photo 2.1.2 | Piston type wavemaker and feed back sensor | 31 |
| Photo 2.1.3 | Wave absorber at the end of the flume | 33 |
| Photo 2.4.1 | Wave probes in test section | 51 |
| Photo 3.2.1 | Propeller current meter and amplifier | 91 |
| Photo 3.3.1 | Pressure transducer and amplifier | 99 |
| Photo 3.4.1 | Load cell meters and amplifier | 103 |
| Photo 3.5.1 | Wave gauges and amplifier | 113 |





表 目 次

(List of Tables)

| | | |
|-------------|--|-----|
| Table 2.4.1 | Calibration factors for wave probes | 49 |
| Table 2.4.2 | Spectral density for two white noises | 54 |
| Table 2.4.3 | Correction factor (C_{f1}) for WHITE1 | 59 |
| Table 2.4.4 | Correction factor (C_{f1}) for WHITE2 | 59 |
| Table 2.4.5 | Correction factor (C_{f1}) for wave flume | 60 |
| Table 2.4.6 | Correction factor (C_{f2}) for seastate 1 | 65 |
| Table 2.4.7 | Correction factor (C_{f2}) for seastate 2 | 65 |
| Table 3.1.1 | Analog sensors | 80 |
| Table 3.1.2 | Calibration factor for data acquisition channels | 80 |
| Table 3.4.1 | Characteristics of analog sensors | 106 |



제 1 장 서 론

수리실험은 연안공학적 제문제들 해결하는데 있어서, 수치모델을 검증하거나 수학적 모형회가 곤란한 현상을 규명하는데 아주 중요한 역할을 담당하여 왔다. 따라서, 수리실험장치의 건설은 필수적이라 할 수 있다. 일반적으로, 모든 수리실험장치는 설계시 예상성능을 미리 지정하게 되고, 또 그에 따라서 시공을 하게 된다. 그러나, 시공후에 나타나는 성능은 설계시에 지정된 성능과는 다소의 차이를 보이게 된다. 따라서, 건설된 수리실험장치를 효과적으로 이용하기 위해서는 반드시 이의 보정과 성능시험이 행해져야 한다. 또한, 수리실험에서 나타나는 여러가지 현상을 계측할 수 있는 계기도 겸 교정을 거쳐야 차후 계측에 보다 정확을 기할 수 있다.

본 연구실에서는 2차원 파랑에 관련된 실험 및 개수로의 흐름, 또는 이의 복합적인 실험을 수행할 수 있는 파랑-흐름 복합수조를 1989년도 기본연구사업으로 건설한 바 있다. 또한, 수조내의 파랑 및 흐름에 관련된 여러가지 현상, 즉, 수면의 변화, 수중의 임의 위치에서의 유속 및 압력, 물체에 작용하는 파압 및 하중, 바닥과의 경계층에서의 유속변화 등을 정밀하게 측정할 수 있는 여러가지 계측기기도 보유하고 있다.

본 사업에서는 이 2차원 파랑-흐름 복합수조의 효율적인 운용을 위하여, 수조의 보정 및 성능시험, 여러가지 계측기기의 교정을 수행하였다. 즉, 차후의 수리실험의 입력변수 범위를 설정하는데 필요한 기초자료의 마련을 위한 수조보정, 파랑발생장치 및 흐름발생장치의 성능시험을 수행하였으며, 여러가지 계측기기의 성능파악

을 위한 실험도 수행하였다. 또한, 조피기 및 계측장치의 가동을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 할 수 있는 중앙집중적인 제어시스템을 확립하였으며, 독위 데이터의 효율적인 분석시스템도 아울러 구축하였다.

제 2 장 파랑-흐름 복합수조의 보정 및 성능시험

제 1 절 수조제원 및 특성

본 연구실에 보유하고 있는 2차원 수조는 파랑과 흐름을 동시에 발생할 수 있는 복합수조로서, Fig. 2.1.1에 보인 바와 같이 길이 53.15 m, 높이 1.25 m, 폭 1.0 m로 국내 최대 규모의 2차원 수조이다(Photo 2.1.1 참조). 수조의 좌측 13 m, 우측 7 m 구간은 양측벽을 철재로 구성하였으며, 나머지 33.15 m의 양측벽은 강화유리로 되어 있다. 조파기는 유입펌프에 의해 작동되는 피스톤형으로 최대 이격거리가 50 cm이다(Photo 2.1.2 참조). 수조의 끝단에는 경시식 소파장치가 설치되어 있다(Photo 2.1.3 참조).

본 수조는 규칙파랑 및 임의의 스펙트럼으로 특징되는 불규칙파랑을 발생시킬 수 있으며, 실험시 모형구조물로부터 반사되어 조파기로 다시 돌아 오는 반사파를 흡수할 수 있는 철단의 흡수필터를 조파기 제어시스템에 포함하고 있다. 일반적으로, 종래의 2차원 수조는 반사파 흡수필터를 가지고 있지 않기 때문에, 실험위치에서 원하는 파를 유지시키기 위하여, 이 반사파가 조파판에서 다시 반사되어 구조물에 도달하기 전에 실험을 끝내는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 불규칙파를 대상으로 실험할 경우에는 여러 주기의 성분파들이 합성된 것으로 볼 수 있으므로, 각 성분파별로 전파속도가 다르며 합성형태에 따라 순간파력의 크기가 변하므로 실험을 규칙파 1개를 대상으로 할 경우보다 장시간 지속하여야 하기 때문에 이 문제를 피하기는 사실

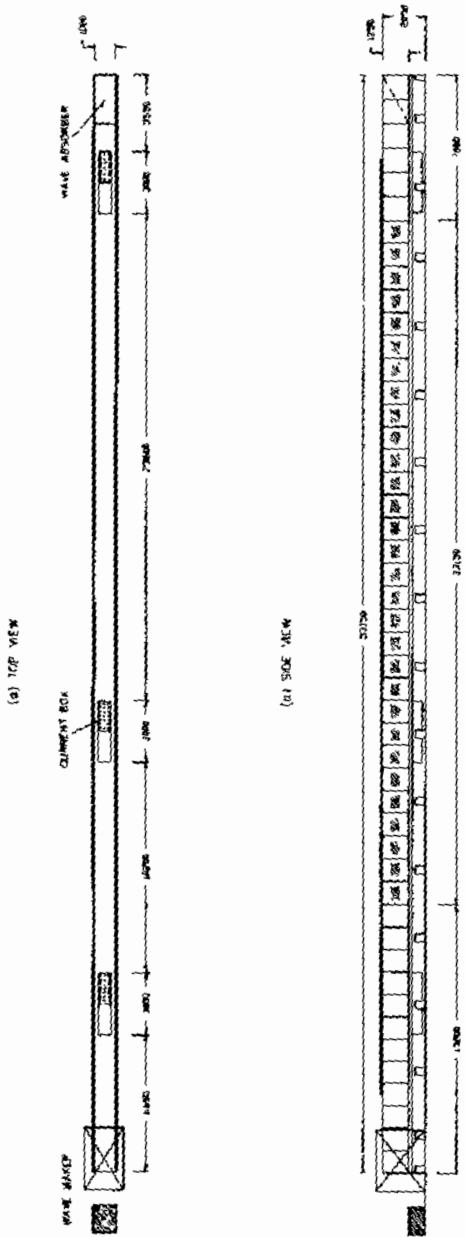


Fig.2.1.1 Two dimensional wave-current flume

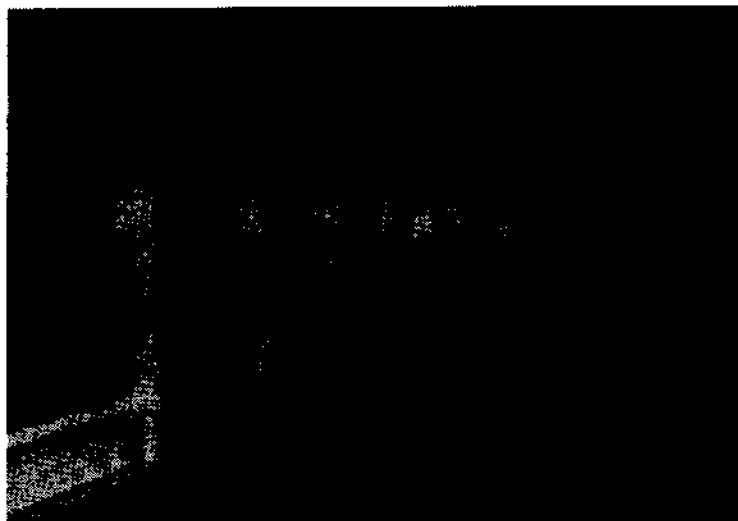


Photo 2.1.1 Two dimensional wave-current flume.



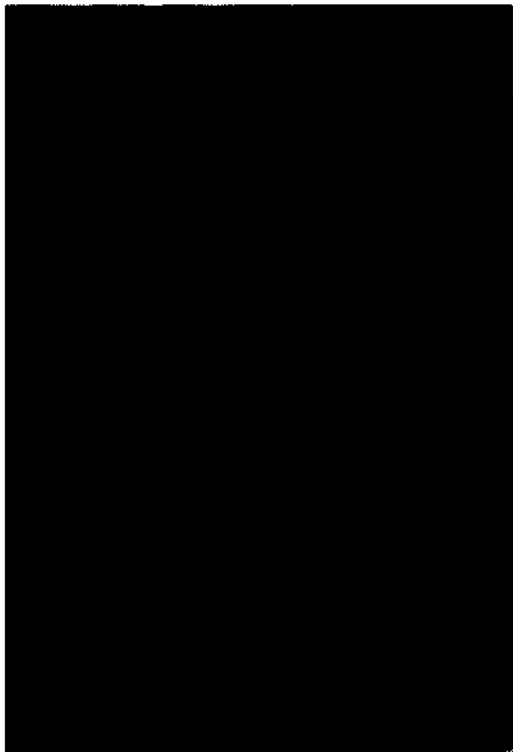


Photo 2.1.2 Piston type wavemaker and feed back sensor.



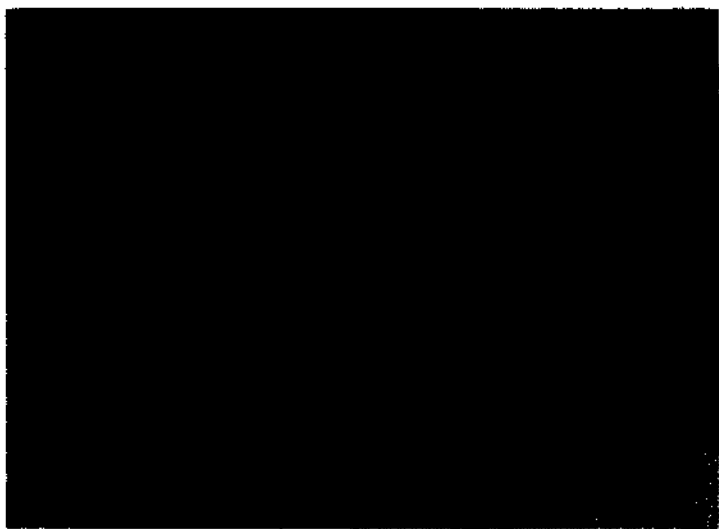


Photo 2.1.3 Wave absorber at the end of the flume.



상 불가능하다. 반면, 반사파 흡수필터를 조파기 제어시스템내에 포함하고 있는 본 수조는 실험위치에서 항상 원하는 입력파랑을 유지시킬 수 있다.

실험자료의 수집 및 분석시스템은 32비트 개인용 컴퓨터와 16 채널의 Analog-Digital Converter(ADC), 4개의 Digital-Analog Converter(DAC)로 구성되며, 4개의 ADC와 1개의 DAC는 조파기 가동 전용으로 할당되어 있다. 나머지 3개의 DAC와 12개의 ADC는 추후 예상되는 기계장치의 가동과 수리실험 계속기기의 연결을 위한 것이다(Fig. 2.1.2 참조).

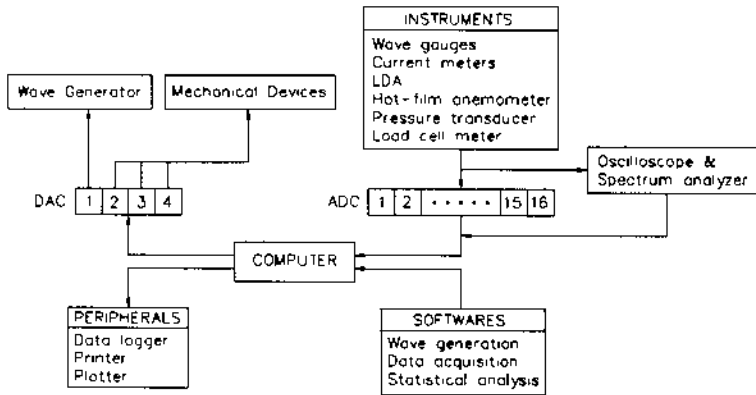


Fig.2.1.2 Integrated system of wave generation and data acquisition.

제 2 절 실험실 전원체계

실험실 전원체계는 Fig. 2.2.1에서 보인 바와 같이 주 제어반(Main Control Box)과 조파기, 펌프의 가동 및 컴퓨터, 계측기기의 가동 전원으로 구성되어 있으며, 각 전원 위치는 Fig. 2.2.2에 보인 바와 같다.

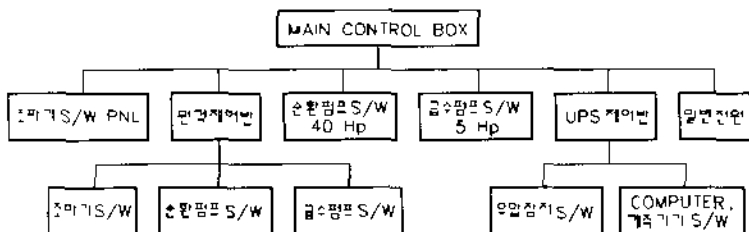


Fig.2.2.1 Electric power system

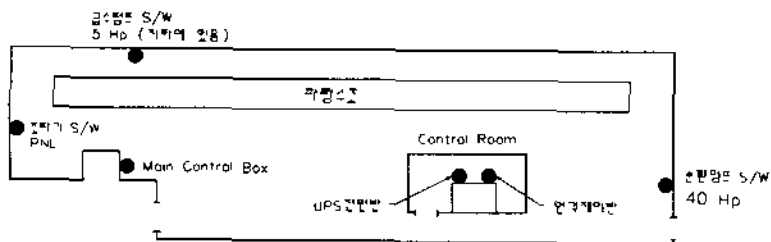


Fig.2.2.2 Locations of electric power switches

2.1 주 제어반(Main Control Box)

주 제어반은 실험실에 220 Volts의 전기를 공급해주는 일차 전원이며, 그 내부는 Fig.2.2.3과 같이 여러 On-Off 스위치로 구성되어 있다. 따라서, 각 기계장치와 계측기기를 가동시키기 위해서는 주 제어반의 스위치들을 최초로 켜야한다. 제어반의 뚜껑 전면에는 각 스위치에 연결된 기기들의 소요전압과 전류를 나타내주는 계기판이 붙어 있으며, 좌우 하단의 스위치들은 3상 주 전원의 전압과 전류를 나타내 주기 위한 것이다.

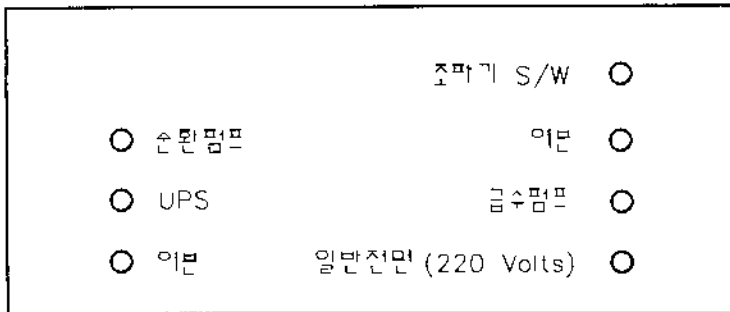


Fig. 2.2.3 Main control box.

2.2 원격제어반

실험제어실(Control Room) 안에 위치하고 있으며, 제어실 안에서 각 장치 및 기기의 조작편의를 위한 것이다. 형상은 Fig.2.2.4와 같다.

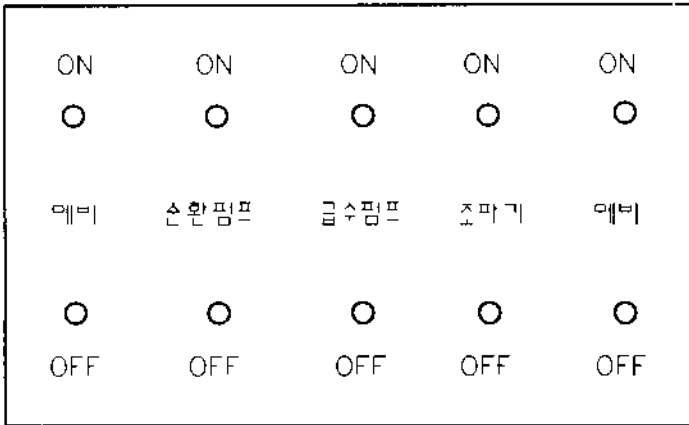


Fig. 2.2.4 Remote control box.

2.3 UPS 전원반

UPS 전원반은 주 제어반로부터 220 Volts의 전원을 받아 115 Volts의 일정한 전압을 내며, 또한, 전기를 저장할 수 있는 UPS의 입·출력을 조정하기 위한 것이다. 내부 스위치의 형상은 Fig.2.2.5와 같다.

200 Volts 콘센트의 컴퓨터 스위치에 연결된 115 Volts 콘센트는 UPS 전원반 밑에 설치되어 있으며, Hydraulic System S/W에 연결된 115 Volts 콘센트는 조파기 S/W PNL 밑에 설치되어 있다. PNL 밑에는 두 종류의 콘센트가 있으며, 전면에서 보았을 때 오른쪽이 115 Volt, 왼쪽은 주 제어반의 일반전원 스위치에 연결된 것이다. 일반전원 콘센트는 UPS의 작동 불능시 유압 시스템에 전원을 공급하기 위한것이다. 200 Volts 콘센트 S/W는 또한 실험 제어실의 조명도 담당하기 때문에 조명 S/W(출입문 옆에 위치)를 키기전에 200 Volts 콘센트 S/W가 켜져 있는지 확인해야 한다.

UPS는 실험제어실 밖에 설치되어 있으며, 1KVA의 전기를 저장하여 정전시 30분간 전기를 공급해 주는 기능을 가진다. UPS 내부는 AC N.F.B, DC N.F.B, 출력 스위치와 전기 Fuse등이 있다. AC N.F.B는 UPS에 AC전원(220 Volts) 공급용 스위치이며, DC N.F.B는 전기 저장 배터리에 전기(120 Volts)를 공급하기 위한 스위치 이다. 이 스위치를 동시에 On 시켰을 때에는 UPS 전기출력은 일단 배터리를 거쳐 나오는 전기 (115 Volts)이나, AC N.F.B. 만을 ON 시켰을 때에는 배터리를 경유하지 않고 그냥 220 Volts의 입력 전기에서 강압된 120 Volt가 출력되게 된다. 따라서, AC N.F.B.와 DC N.F.B를 동시에 ON 시키는 것이 원칙이다. 그러나, 총 사용부하가 배터리의 용량 (1KVA)를 초과할 때는 DC N.F.B를 Off시켜 단순히 강압된 전기(120 Volts)를 사용할 수도 있다.

UPS를 가동시키는 절차는 먼저 UPS 전원반내의 UPS 전원 200 Volts S/W를 On으로 하고 UPS 내부의 OUTPUT S/W를 On으로 한다. 이때, UPS의 여닫이 문 전면에서 "Main

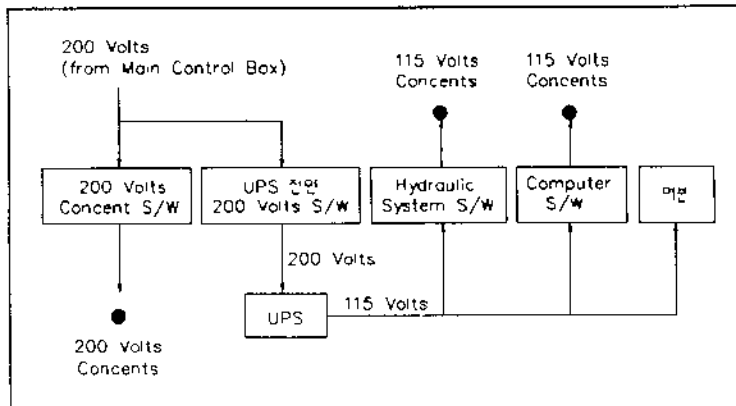


Fig. 2.2.5 UPS electric power box.

On"과 "Charging"에 불이 들어 오는데, 이때, On S/W를 누르면 UPS가 가동된다. On S/W를 계속누르면 강압전압(120 Volts)과 배터리 출력전압(115 Volts)이 교차하여 나타남을 알 수 있다. UPS 내부의 OUTPUT S/W는 두개가 있다. 전면에서 보았을때 왼쪽 S/W는 UPS 전원반 내부의 Hydraulic System S/W와 컴퓨터 S/W에 연결된 것이며, 오른쪽은 여분의 OUTPUT S/W이다.

2.4 조파기 S/W PNL

조파기의 유입펌프(25 Hp)를 가동시키기 위한 220 Volts의 전원으로, 버튼식 스위치로 되어 있다. 또, 이 펌프는 원격제어반의 조파기 S/W 로도 가동이 가능하다.

2.5 급수펌프 5 Hp S/W

수조에 물을 공급하는 펌프(5 Hp)를 가동하기 위한 전원이며, 펌프는 지하의 물탱크 옆에 위치하고 있다. 펌프 S/W는 가동의 편의를 위하여 펌프 근방에 위치하고 있다. 또한, 펌프 가동은 원격제어반안의 급수펌프 S/W를 이용할 수도 있다.

2.6 순환펌프 40 Hp S/W

파랑-흐름 복합수조의 40 Hp 원심력 펌프를 가동시키기 위한 스위치로, 가동의 편의를 위하여 펌프근방에 위치하고 있다. 또한, 원격제어반 안의 순환펌프 S/W를 사용할 수도 있다. 220 Volts의 전원이다.

2.7 일반전원

주 제어반내의 일반전원 S/W는 조파기 S/W PNL 밑에 설치되어 있는 두개의 콘센트 중에 왼쪽 콘센트에 연결 된 것으로서, 과부하로 인한 UPS의 작동 불능시(오른쪽 콘센트에 전원차단) 조파기의 제어 시스템에 전원을 계속 공급하기 위한 것이다.

제 3 절 실험용수의 급·배수

실험용수의 급 배수 시설은 급수시설, 환수시설과 배수시설로 구분되며, 급·배수 관 및 각 밸브의 위치는 Fig.2.3.1에 보인 바와 같다.

3.1 급수시설

급수시설은 지하 탱크(125 m)로부터 수조로 물을 공급하기 위한 시설이며, 가동 절차는 다음과 같다.

- 1) 순환밸브 V1, V2, V3, V4, V5, V6 를 개방한다.
- 2) 순환펌프 상단의 공기토출 밸브를 개방한다.
- 3) 배수 밸브와 환수밸브가 잠겨 있는지 확인한다.
- 4) 주 제어반 및 원격 제어반 내의 급수 펌프 S/W를 On 시킨다.
- 5) 급수밸브를 연다. 완전히 개방후 밸브 핸들을 7 바퀴 정도 반대로 돌려준다.
- 6) 수조에 물이 공급되는 것을 반드시 계속적으로 관찰하여야 하며(넘침 방지), 순환펌프 상단의 공기 토출구에서 물이 나오면 공기토출 밸브를 잠근다.
- 7) 수조에 원하는 깊이 만큼 물이 차면 급수 밸브를 신속히 잠근다
- 8) 급수 펌프 S/W를 Off 시킨다.

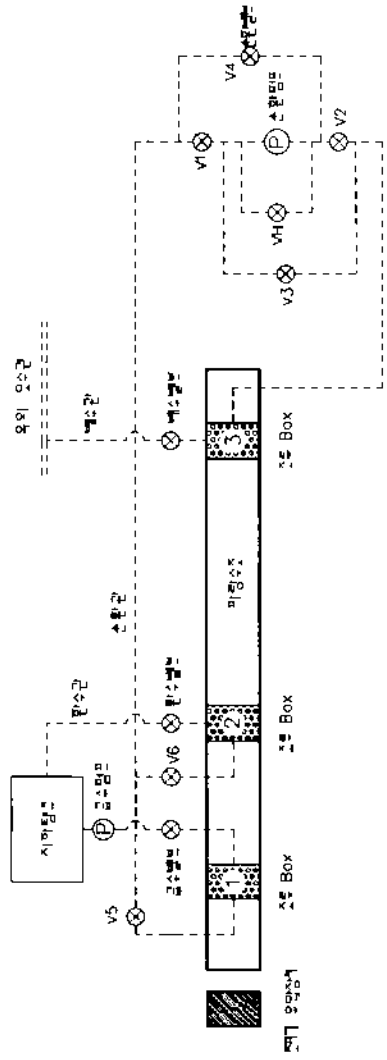


Fig. 2.3.1 Pipe networks for water supply and drain

현재 급수시설의 문제점은 급수펌프의 흡입관의 재질이 단단하지 않아 펌프 가동 시 수축하여 관의 통수능을 저하시키는 것이다. 따라서, 급수밸브를 부분적으로 개방하여야 하며, 필요시 최초 펌프가동시 지하로 내려가서 펌프흡입관을 관찰하여야 한다. 급수밸브 S/W는 지하의 급수펌프 옆에도 설치되어 있어 펌프의 가동을 조종할 수 있다. 수조에 물을 채우고 나서 피랑실험을 수행할 경우에는 순환밸브 V2, V5, V6은 잠그는 것이 좋다.

3.2 원수시설

실험수의 상태가 양호한 시점에서 수조의 물을 배수시킬 경우, 이 물을 다시 지하 물탱크에 환수시킬 수 있다. 그 절차는 다음과 같다.

- 1) 순환밸브 V2, V5, V6가 닫혀 있으면 개방한다.
- 2) 순환펌프의 공기토출 밸브를 개방한다.
- 3) 원수밸브를 개방한다.

3.3 배수시설

오염된 실험수를 배수시킬때 사용하며 육의 오수관에 연결되어 있다. 작동절차는 다음과 같다.

- 1) 순환밸브 V2, V5, V6가 닫혀 있으면 개방한다.
- 2) 순환펌프의 공기 토출 밸브를 개방한다.
- 3) 오수밸브를 개방한다.

제 4 절 피항발생장치

4.1 조파기 가동절차

조파기 제어 시스템은 Fig. 2.4.1에 보인 것처럼 컴퓨터를 비롯한 여러 제어장치와 유압펌프등의 기계장치로 구성되어 있다. 이들의 상호연결은 가동전원(110 또는 220 Volts)과 자료전송선에 의해서 이루어지며 정확한 조파기의 가동은 이들 전송선의 정확한 설치에 의해서 만 가능하다. 조파기의 최초 가동절차는 다음과 같다.

- 1) 각 전원 연결과 자료전송선의 연결이 정확히 되어 있는지 확인한다. 특히, 자료 전송선과 Data Control Box와의 연결은 BNC Connector로 되어 있으며, 이들 Connector들은 전송선의 장력에 의하여 기능이 마비되는 수가 있으므로, 자료 전송선을 취급할때 상당한 주의가 요한다. Servo Control Box와 조파기 Control Box의 150 또는 110 Volts 전원이 Fig.2.4.1에 명기된 바와 같이 적정한 콘센트에 연결되어 있는지 반드시 확인한다. 각 전원선과 자료전송선은 각각 이음표가 부착되어 있다.
- 2) 주 제어반내의 조파기 S/W와 원격 UPS 제어반 S/W를 On 시킨다.
- 3) UPS를 On시키고, UPS 전원반 내의 OUTPUT S/W(UPS #1, UPS #2)를 On 시킨다.
- 4) Data Control Box와 컴퓨터를 On 시킨다. Data Control Box의 On 상태는 Box 전면면에 있는 Balance Knob 위의 불빛에 의하여 확인할 수 있다.
- 5) 컴퓨터의 조파 소프트웨어를 가동한다. ACQSYS.BAT 회일을 실행시켜 Main Acquisition Menu가 화면에 나타나도록 한다. 이 과정은 컴퓨터내의 Data Translation 28이 D/A Converter를 적절히 초기화시켜 주는 역할을 하며, 조파기 펌프를 가동하기 전에 필수적으로 거쳐야 한다. 만약, 이틀 어길 경우에는

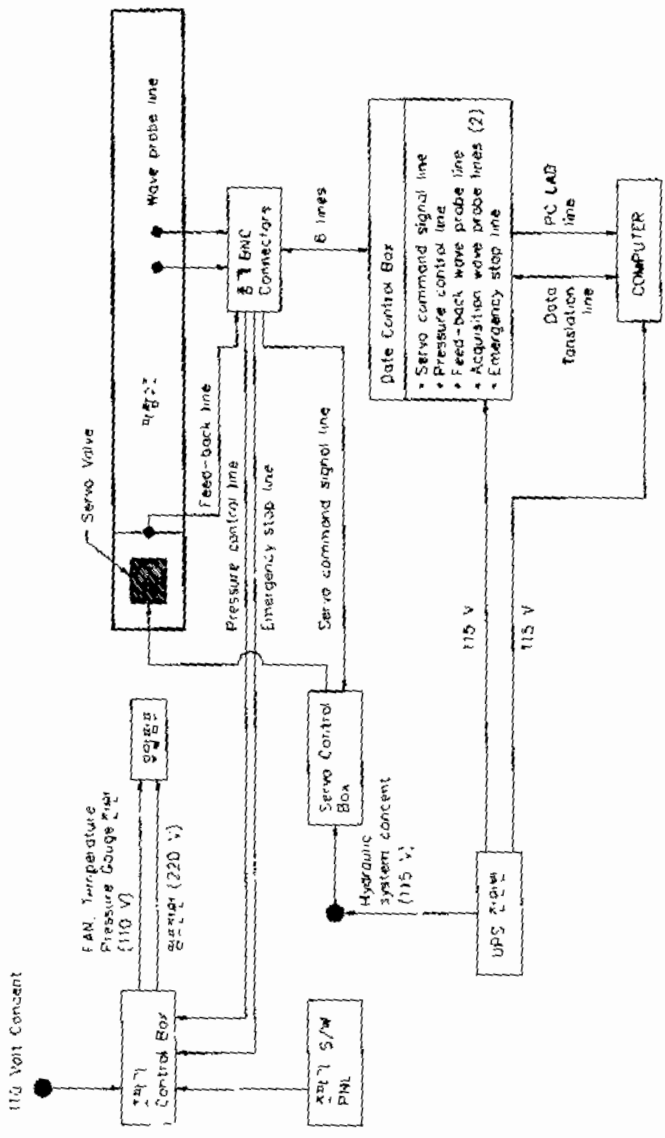


Fig.2.4.1 Integrated control system of wavestacker

조파판의 돌발적인 이동을 초래하여 펌프의 가동장치 및 타 기계장치의 손실을 야기시킬 수 있으니 각별히 조심하여야 한다.

- 6) 조파기 S/W PNL을 On 시키거나 원격 제어반의 조파기 S/W 를 On 시킨다.
- 7) 조파기 Control Box의 PUMP, SYSTEM INITIALIZATION, ACCUMULATOR PRESSURE 버튼을 차례로 누른다. 이 때, 펌프 소음이 발생하며, 압력계기에 나타나는 압력은 약 200 psi 정도로 된다(Stand-by 상태).
- 8) 컴퓨터 내의 조파 소프트웨어를 실행시켜 파랑을 발생시킨다. 파랑 발생시 유압은 약 2000 psi 정도이며, 파랑의 발생과 동시에 펌프 소음이 갑자기 커지는 것이 정상이다. 파랑 발생중 Keyboard의 ESC key를 누르면 유압 시스템은 다시 Stand-by 상태로 복귀한다. 단, Data를 독취(F1 key를 누름) 할때는 사전에 입력된 독취시간후에 자동적으로 Stand-by 상태로 복귀한다.
- 9) 유입펌프를 끄때는 상기 조파기 Control Box의 세 버튼을 오른쪽에서 왼쪽으로 차례로 누른다. 또는, 조파기 Control Box의 Emergency Stop 버튼이나 Control Room안의 Data Control Box의 Emergency Stop 버튼을 누를수도 있다. 그러나, 컴퓨터가 Signal을 출력시키고 있는 동안 조파기 Control Box의 Emergency Stop 버튼(한번 누르면 원상 복귀를 위하여 다시 5배 주어야 함)의 원상복귀는 조파기의 훼손을 초래할 수 있으므로 가능한한 사용하지 않는 것이 좋다.

4.2 발생가능 파랑

본 연구실에서 보유하고 있는 조파기는 피스톤형으로 최대 이격거리가 50 cm이다. 이를 고려하면 발생가능한 파랑을 이론적으로 구할 수 있다. 선형파내의 조건과 파가 부서지는 조건(비선형 파랑 포함)에 대해 구한 결과를 Fig. 2.4.2와 Fig. 2.4.3에 수심 및 주기변화에 따라 나타내었다.

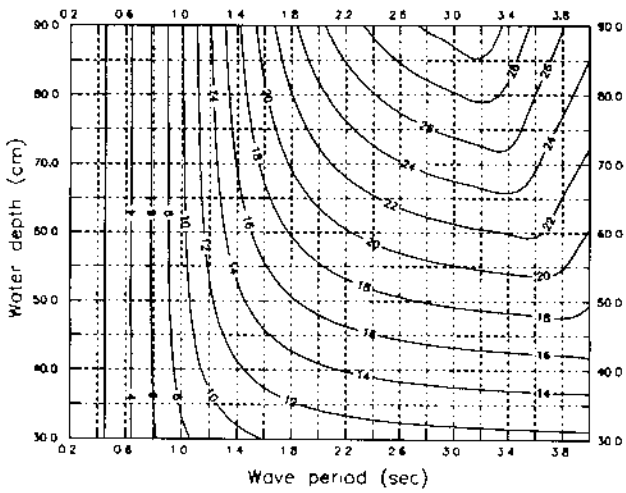


Fig. 2.4.2 Contour of limiting wave heights within linear waves.

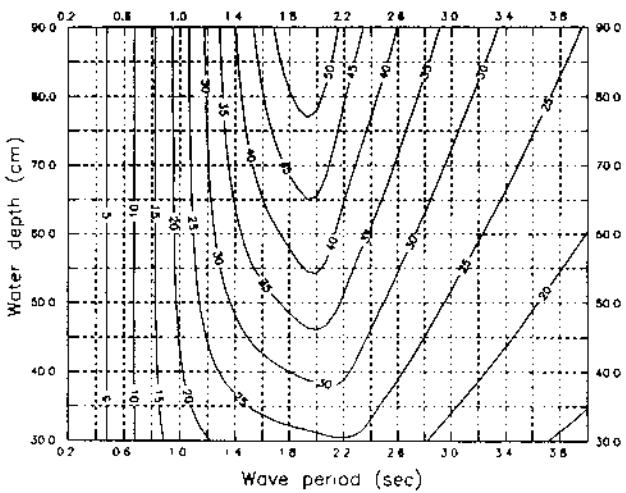


Fig. 2.4.3 Contour of limiting wave heights including nonlinear waves.

4.3 파랑발생장치의 보정

수조내에 원하고자하는 파랑을 발생시키기 위해서는 먼저 파랑계속센서(Wave Probe)를 보정, 수조보정(System Calibration) 및 발생파랑 스펙트럼 보정등 3단계를 거쳐야 한다.

4.3.1 파랑계속센서 보정

파랑발생에 이용되는 계속센서는 조파판 전면에 부착되어 있는 센서(Feed-Back Sensor)와 수조 중의 실험구간(test section)에 적절한 간격을 가지고 설치되어 있는 두개의 센서가 있다(Photo 2.1.2, Photo 2.4.1 참조). 이들 센서들은 실제 사용에 앞서 센서의 침수 깊이와 ADC(Analog-Digital Converter)의 출력전압을 상용시키는 보정작업을 해야 한다. 보정작업은 Fig.2.4.4에 보인 바와 같이 일정한 수위를 갖는 원통형 용기에 센서의 연직위치를 조정하는 식으로 진행한다. 센서의 연직위치 조정봉은 5cm 간격으로 표시가 되어 있으며 조정봉 위치 0cm, 즉 센서의 최소 침수 깊이로부터 보정작업을 시작한다. Table 2.4.1에 보정결과를 나타였다.

Feed Back Sensor의 보정

조파판에 부착되어 있는 센서들의 의미하며 조파기 제어 시스템에 속해 있는 반사파 흡수필터의 가동에 기억한다. 조파기 제어 소프트웨어를 개발하면 DATA ACQUISITION UTILITY가 나오는데 이중에 "PERFORM CALIBRATIONS"를 선택한다. 다음에 "CALIBRATE INSTRUMENT"를 선택하면 Acquisition Channel 번호를 묻는 질문이 나오는데, 이때 No.1을 선택하여야 한다. 당 조파기의 Feed-Back Sensor는 본래 2개

Table 2.4.1 Calibration factors for wave probes

| Wave probe | Calibration factor |
|------------------|--------------------|
| Probe-1 | 0.00019649 |
| Probe-2 | 0.00027009 |
| Feed back sensor | 0.00008952 |

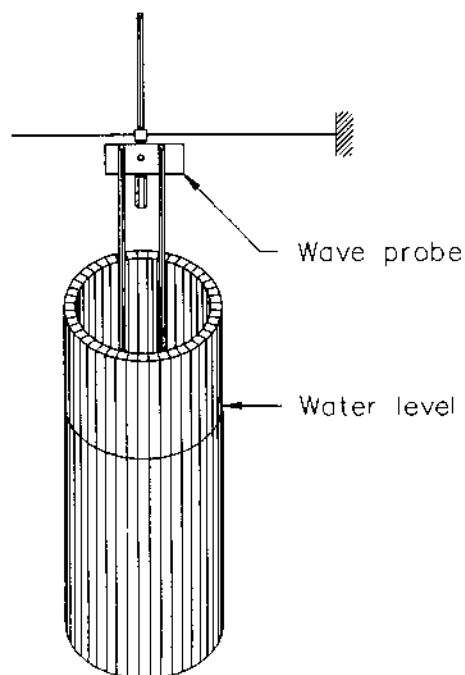


Fig. 2.4.4 Wave probe calibration.

가 부착되어 있었으나, Stability상 No.2를 제거하고 No.1만을 사용하고 있다. 이 Feed-Back 센서는 Test Setup과는 무관하다.

보정절차는 다음과 같다.

- 1) 보정기 연직조정봉의 위치를 영(0)점에 고정시킨다.
- 2) Data Control Box 후면의 Probe 3 BNC Connector에 센서 케이블을 연결시킨다.
- 3) Data Control Box 전면의 Balance Knob(PROBE 3)를 돌려 센서의 영점을 맞춘다 (Knob 위의 불빛이 녹색에서 적색으로 바뀌는 찰라).
- 4) 연직조정봉의 눈금을 증가시키면서 각 값을 소프트웨어의 요구대로 입력한다.
- 5) 보정이 끝나면 결과를 화면 또는 프린터에 출력시켜 정밀도를 확인한다.
- 6) 정밀도가 양호하면 보정커브의 보정계수(calibration factor)와 영점을 기입하고 보정을 완료한다.

실험구간 센서의 보정

실험구간내에는 통상 두개의 센서를 위치시키는데, 이는 조파기에 의해 발생된 파장을 하류쪽으로 진행하는 입사파와 수조 끝단 또는 실험 구조물에 의해 반사되는 반사파를 구별해 내기 위하여 설치하는 센서이다. 이 두 센서는 각각 probe-1과 probe-2로 호칭되며, 조파기 쪽에 설치되는 센서를 probe-1으로 한다. 이들 센서와 Data Control Box와의 연결은 Box의 후면에 설치된 BNC Connector에 의하여 이루어진다(각 번호가 명시되어 있음). 이들 센서를 보정하기 전에 Channel Name, Unit, Scan rate 등을 TEST SETUP에서 설정하여야 한다. TEST SETUP은 DATA ACQUISITION UTILITY에서 1.ACQUIRE TEST DATA를 선택하면 나오는 TEST UTILITY Menu의 2.EDIT TEST SETUP을 선택하여 수행할 수 있다. 센서의 보정을 위한 소프트웨어는 두 센서

를 동시에 보정할 수 있게 되어 있으나, 각각 수행하는 것이 바람직하다. 보정절차는 Feed-Back Sensor와 동일하며 보정이 끝나면, "INSTRUMENT CALIBRATION UTILITY" 상의 "LIST PARAMETERS"와 상기 "TEST SETUP" Menu들을 선택하여, 보정결과가 제대로 입력이 되어 있는지 확인한다.

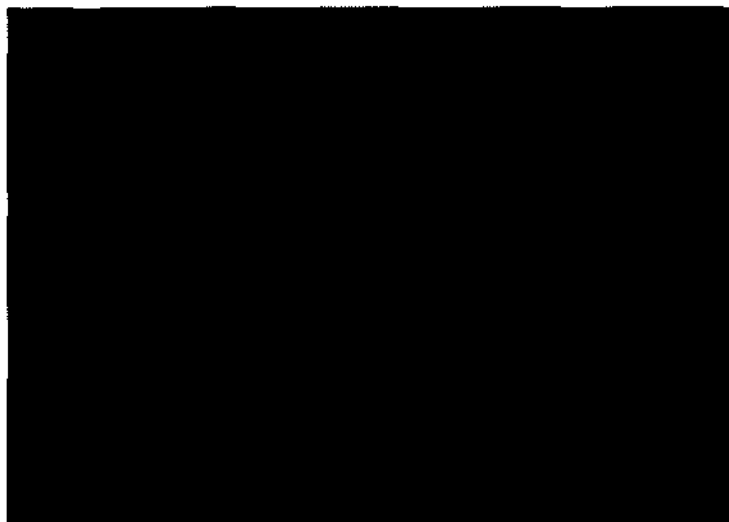


Photo 2.4.1 Wave probes in test section.



4.2.2 수조보정 (System Calibration)

조파기 입력 시그널이 조파기에 의하여 완벽하게 파랑으로 변환되었다 하더라도 발생파랑은 수조의 길이 방향으로 진행하면서 변형하는 것이 일반적이다. 따라서, 실지 실험구간내에서 계속된 시그널은 조파기 입력 시그널과는 다소의 차이를 보이게 된다. 이는 파랑 자체의 비선형 상호작용 등 파랑 자체의 속성에도 관계되나 수조 폭 및 길이의 변화, 수조 바닥의 불균형 등에 의하여 초래되는 경우가 많다. 따라서, 조파기 입력 시그널은 이와 같은 수조의 고유한 특성을 사전에 감안하여 제조하여야 한다. 이는 다음의 수조보정(System Calibration) 절차를 수행함으로써 달성할 수 있다.

- 1) 실험구간내에 최소 1개의 파랑계측센서를 설치한다.
- 2) 수조 하류쪽 끝단에 설치된 경사식 소파기를 이용한다.
- 3) 두개의 White Noise를 설정한다(WHITE1, WHITE2; Fig.2.4.5 참조). White Noise의 스펙트럼값은 수심을 고려한 파랑의 쇠파한계를 고려하여 설정한다. Fig.2.4.5는 0.7 m 수심에 대한 것이다. 규칙파를 사용할 수도 있으나, 여러 주리수성분에 대해 각각 실험을 수행하여야 하므로 White Noise 스펙트럼을 갖는 불규칙파를 사용하는 방법이 권장된다.
- 4) 컴퓨터의 DATA ACQUISITION UTILITY → 6.MAKE WAVE FILES → 2.RANDOM SEAS → 6.CUSTOM SPECTRUM을 선택한다.
- 5) "Please enter wave duration(Mod. sec):"에는 적절한 시간을 선정하여 입력하여야 하는데 가능하면 "TEST SETUP"에서 결정하는 파랑자료의 독취시간과 같게 결정하는 것이 권장된다. Fig.2.4.5에 대해서는 210초로 하였다.
- 6) "Use existing basin calibration file?"라는 질문과 "Single Spiked Spectrum?" 이라는 질문에 N을 친다.

7) 주파수에 상응하는 스펙트럼값을 입력한다. Fig. 2.4.5에 대해서는 Table 2.4.2와 같다. 스펙트럼값의 입력이 끝나고자 할 때는 음수인 주파수를 입력한다.

Table 2.4.2 Spectral density for two white noises.

| | Frequency (Hz) | Spectral Value ($m^2 \text{ sec}$) |
|--------|----------------|--------------------------------------|
| WHITE1 | 0.09 | 0.00 |
| | 0.10 | 0.03 |
| | 1.30 | 0.03 |
| | 1.31 | 0.00 |
| WHITE2 | 0.99 | 0.000 |
| | 1.00 | 0.005 |
| | 2.00 | 0.005 |
| | 2.01 | 0.000 |

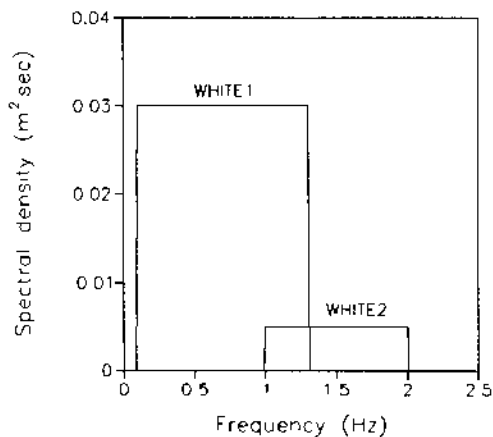


Fig. 2.4.5 Banded white noise spectra for flume calibration.

8) 단계 7에서 만들어진 파랑시그널을 이용하여 파랑을 발생시킨다. 조파기를 Stand-by 상태로 하고(4.1 조파기 가동절차 참조) DATA ACQUISITION UTILITY → 1.ACQUIRE TEST DATA → 1.RUN TEST를 선택하여 파랑을 발생시킨다. 이때 필요하면 TEST SETUP을 수정한다 (파랑자료의 독취시간은 단계 5의 파랑지속시간과 같게 결정하는 것이 권장된다). Data Acquisition Steady State Screen에서 A/D Value을 Zero에 근접하게 Data Control Box의 Balance Knob를 조정하여 실험구간의 파랑계측센서의 영점을 맞춘 후 파랑을 발생시킨다. 파랑이 정상상태에 이룬 후 F1 Key를 눌러 파랑자료를 읽는다. 이때, 반사파 흡수필터는 가동하지 않는데 이것은 RUN TEST Menu의 추가 option에서 "Do you want to change PID parameters or probe calibration?" 질문에 Y를 Type 한다음 4번 "Change wave probe cal factor"를 선택하여 Cal. Factor를 영으로 함으로써 달성할 수 있다.

9) 단계 8에서 얻어진 파랑데이터를 DATA ACQUISITION UTILITY → 5.DATA REDUCTION → 3.PSD PLOTS을 선택하여 스펙트럼을 구하고, 이것을 입력 White Noise와 비교하여 각 주파수에 대한 보정계수를 결정한다. 스펙트럼의 계산과정에서 Smoothing point는 15점으로 하고 Path number는 2로 한다. 스펙트럼의 비교는 가급적이면 좁은 주파수에 대해서 수행하는 것이 좋으나 편의상 10 - 15 점 정도에 대해서 수행하면 충분하다. 임의 주파수에 대한 보정계수 (C_{f1})는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$C_{f1}(\text{Hz}) = \left[\frac{\text{White Noise Spectral Value (Hz)}}{\text{측정된 Spectral Value (Hz)}} \right]^{1/2}$$

Fig. 2.4.6과 Fig. 2.4.7에 두 White Noise에 대해 얻어진 스펙트럼을 나타내었으며, Table 2.4.3 및 Table 2.4.4에 각 경우에 대한 보정계수를 나타내었

다. 수조에 대한 전체 주파수영역에 대한 보정계수는 두 White Noise에 대한 보정계수에 의해 결정된다. 즉, 중복되지 않은 주파수 영역에 대해서는 그대로 사용하고 중복된 부분에 대해서는 두 경우의 평균값을 사용하거나 보정계수가 급격히 변하지 않게 적절히 결정한다. Table 2.4.5에 두 White Noise에 대한 보정계수를 비팅으로 결정한 수조의 보정계수를 나타내었다.

- 10) DATA ACQUISITION UTILITY → MAKE WAVE FILES → 4. INPUT SYSTEM CALIBRATION
- 을 선택하여 단계 9에서 구한 각 주파수에 대한 보정계수를 입력한다. 입력이 끝나면, 이 값들을 바탕으로 각 입력주파수사이의 값을 선형보간하여 조밀한 주파수 간격으로 "TEST" Directory 내에 BASIN.CAL로 자동적으로 저장된다. 따라서, 수조보정을 다른 수심에 대해서 새로 실시할 경우에 기존의 BASIN.CAL은 다른 이름으로 저장해 두어야 한다. 보정계수를 입력할 때 주의할 사항은 입력이 된 주파수 중 제일 낮은 주파수와 높은 주파수 사이는 선형보간하여 보정계수를 결정하지만, 이외의 주파수에 대해서는 항상 보정계수 값을 1로 간주하게 된다는 점이다.

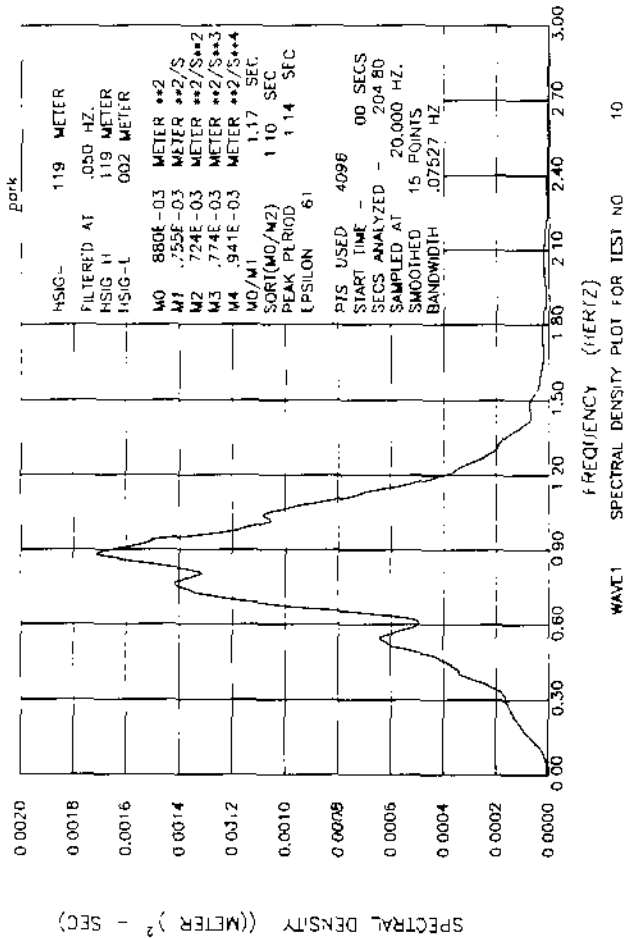


Fig.2.4.6 Measured power spectral density for W1TE1

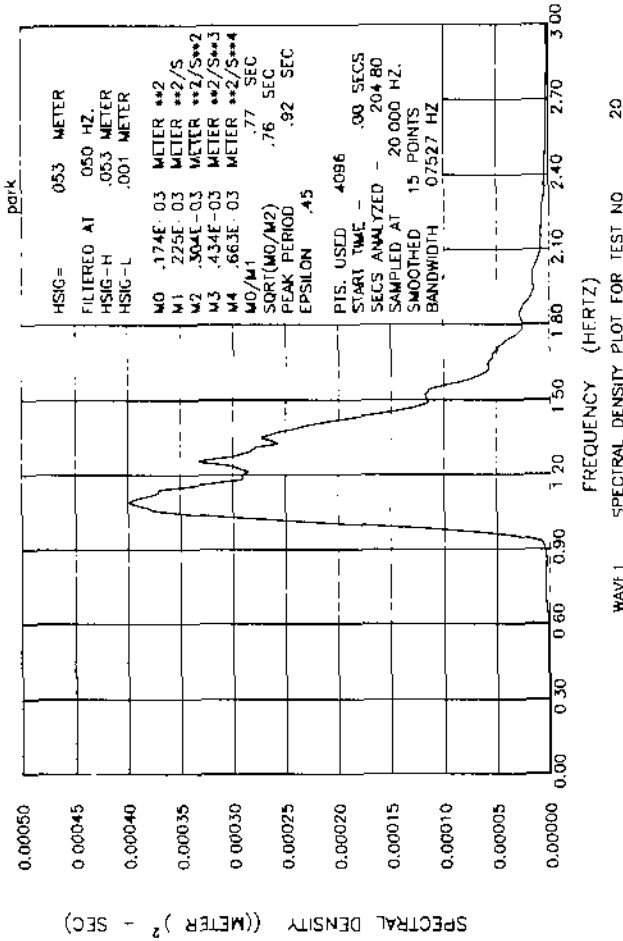


Fig.2.4.7 Measured power spectral density for WHITE

Table 2.4.3 Correction factor (C_{f1}) for WHITE1

| Freq. (Hz) | Spectral Density (m^2/sec) | | Correction Factor C_{f1} |
|------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|
| | Measured | Target | |
| 0.1 | 0.00003 | 0.03 | 31.6 |
| 0.2 | 0.00010 | | 17.3 |
| 0.3 | 0.00015 | | 14.1 |
| 0.4 | 0.00032 | | 9.7 |
| 0.5 | 0.00054 | | 7.4 |
| 0.55 | 0.00065 | | 6.8 |
| 0.6 | 0.00050 | | 7.7 |
| 0.7 | 0.00116 | | 5.1 |
| 0.77 | 0.00140 | | 4.6 |
| 0.8 | 0.00132 | | 4.8 |
| 0.87 | 0.00170 | | 4.2 |
| 0.9 | 0.00160 | | 4.3 |
| 1.0 | 0.00106 | | 5.3 |
| 1.1 | 0.00080 | | 6.1 |
| 1.2 | 0.00040 | | 8.7 |
| 1.3 | 0.00020 | | 12.2 |

Table 2.4.4 Correction factor (C_{f1}) for WHITE2

| Freq. (Hz) | Spectral Density (m^2/sec) | | Correction Factor C_{f1} |
|------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|
| | Measured | Target | |
| 1.0 | 0.00016 | 0.005 | 5.6 |
| 1.1 | 0.00039 | | 3.6 |
| 1.2 | 0.00029 | | 4.2 |
| 1.3 | 0.00027 | | 4.3 |
| 1.4 | 0.00022 | | 4.8 |
| 1.5 | 0.00012 | | 6.5 |
| 1.6 | 0.00006 | | 9.2 |
| 1.7 | 0.00005 | | 10.0 |
| 1.8 | 0.00003 | | 12.9 |
| 1.9 | 0.00002 | | 15.8 |
| 2.0 | 0.00002 | 15.8 | |

Table 2.4.5 Correction factor (C_{f1}) for wave flume

| Freq. (Hz) | Correction Factor C_{f1} | Freq. (Hz) | Correction Factor C_{f1} |
|------------|-------------------------------|------------|-------------------------------|
| 0.1 | 31.6 | 1.0 | 5.5 |
| 0.2 | 17.3 | 1.1 | 4.9 |
| 0.3 | 14.1 | 1.2 | 4.2 |
| 0.4 | 9.7 | 1.3 | 4.3 |
| 0.5 | 7.4 | 1.4 | 4.8 |
| 0.55 | 6.8 | 1.5 | 6.5 |
| 0.6 | 7.7 | 1.6 | 9.2 |
| 0.7 | 5.1 | 1.7 | 10.0 |
| 0.77 | 4.6 | 1.8 | 12.9 |
| 0.8 | 4.8 | 1.9 | 15.8 |
| 0.87 | 4.2 | 2.0 | 15.8 |
| 0.9 | 4.3 | | |

4.2.3 발생파랑 스펙트럼 보정

수조내에 파랑을 발생시키기 위해서는 먼저 원하는 파랑에 상응하는 파랑 시그널을 발생시켜야 한다. 이는 DATA ACQUISITION UTILITY의 6.MAKE WAVE FILES을 선택함으로써 가능하다. 이때 작성된 파랑 시그널은 상기의 수조보정에서 얻어진 BASIN.CAL에 의하여 컴퓨터내에서 1차 수정된 것이다. 수정된 시그널은 DAC를 거쳐 조파기 유압 시스템의 Servo-Valve에 전달되며, 최종적으로 피스톤식 조파판을 가동시킨다. 수조보정이 이상적으로 되었다면 조파판의 이동에 의하여 발생한 파랑은 실험구간에서 목표했던 파랑과 완전히 일치되어야 한다. 그러나, 일반적으로 상기의 수조보정을 완벽하게 한다는 것은 거의 불가능하고, 또 쇄파 등에 의해 약간의 차이가 나타나게 된다. 따라서, 이에 대한 보정작업을 실시하여야 한다. 예로 보인 보정작업은 Jonswap 스펙트럼으로 특징지워지는 두개의 불규칙파(seastate 1과

seastate 2)를 사용하였다. Seastate 1은 $H_s=0.1m$, $T_s=1.5sec$, $A=0.07$, $B=0.09$, $\gamma=3.4$ 인 경우이고, Seastate 2는 $H_s=0.1m$, $T_s=2.0sec$, $A=0.07$, $B=0.09$, $\gamma=3.4$ 인 경우이다. 보정작업의 절차는 다음과 같다.

- 1) DATA ACQUISITION UTILITY → 7.MAKE WAVE FILES → 2.RANDOM SEAS를 선택하여 불규칙파의 시그널을 작성한다. 이때 BASIN.CAL을 적용한다("Use Existing Basin Calibration File?"에 Y를 입력).
- 2) 조파기를 Stand-by 상태로 놓는다.
- 3) DATA ACQUISITION UTILITY → 1.ACQUIRE TEST DATA → 2.EDIT TEST SETUP을 선택하여 Setup 사양에 단계 1에서 작성한 파랑의 특성과 계측 사양을 입력한다.
- 4) 수조의 실험구간에 두개의 파랑계측센서를 설치한다. 하류에 경사식 소파기가 설치되어 있을 때에는 probe-1 만을 사용하며, 직립벽 또는 모형 구조물이 설치되어 심한 반사파가 예상될 경우 probe-1과 probe-2를 적당한 간격을 두고 설치한다. 간격은 조파시스템 사용설명서를 참조하여 결정하되, 불규칙파의 경우 한계 저주파수에 해당하는 파장(L_{max})을 구한 후, 다음 관계식을 이용하여 결정하는 것이 권장된다.

$$\Delta X \geq 0.05 L_{max}$$

결정된 ΔX 는 고주파수 성분의 파랑도 포괄될 수 있는지 다음 관계식을 이용하여 검토한다.

$$L \geq \Delta X / 0.45$$

- 5) ACQUIRE TEST DATA → 1. RUN TEST를 선택하여 파랑을 발생시킨다. 이때 수조 하류쪽 끝단에 경사식 소파기가 설치되어 있으면 반사파 흡수필터를 가동하지 않으며, 반대로 직립벽 또는 수리모형구조물이 실험구간에 설치되어 있을 경우에는 반사파 흡수필터를 가동한다.
- 6) 실험구간의 파랑계측센서(채널 1, 채널 2)에 의하여 계속된 시그널에 대해서 스펙트럼 분석을 한다(Smoothing point: 15, Pass number: 2). 경사식 소파기가 설치되었을 경우에는 5. DATA REDUCTION → 3. PSD PLOTS를 선택하여 스펙트럼을 구하고(Fig. 2.4.8, Fig. 2.4.9 참조), 이것을 입력 스펙트럼과 비교하여 각 주파수별로 보정계수(Cr_2)를 결정한다. Fig. 2.4.8과 Fig. 2.4.9에 나타난 두 경우에 대한 보정계수는 Table 2.4.6과 Table 2.4.7에 나타내었다. 보정계수 Cr_2 는 다음과 같이 결정된다.

$$Cr_2(\text{Hz}) = \frac{\text{입력 스펙트럼 값(Hz)}}{\text{계측 스펙트럼 값(Hz)}}$$

이 때의 Cr_2 값은 수조보정시 Cr_1 값과는 계산방식이 다를 것을 유의해야 한다. 수조에 직립벽 또는 모형구조물에 의하여 심한 반사파가 발생할 경우(반사파 흡수필터 가동)에는 5. DATA REDUCTION → 6. SPECTRAL DECOMPOSITION을 선택하여 입사파와 반사파를 분리한 후, 입사파의 Spectrum을 입력 스펙트럼과 비교하여 Cr_2 값을 결정한다.

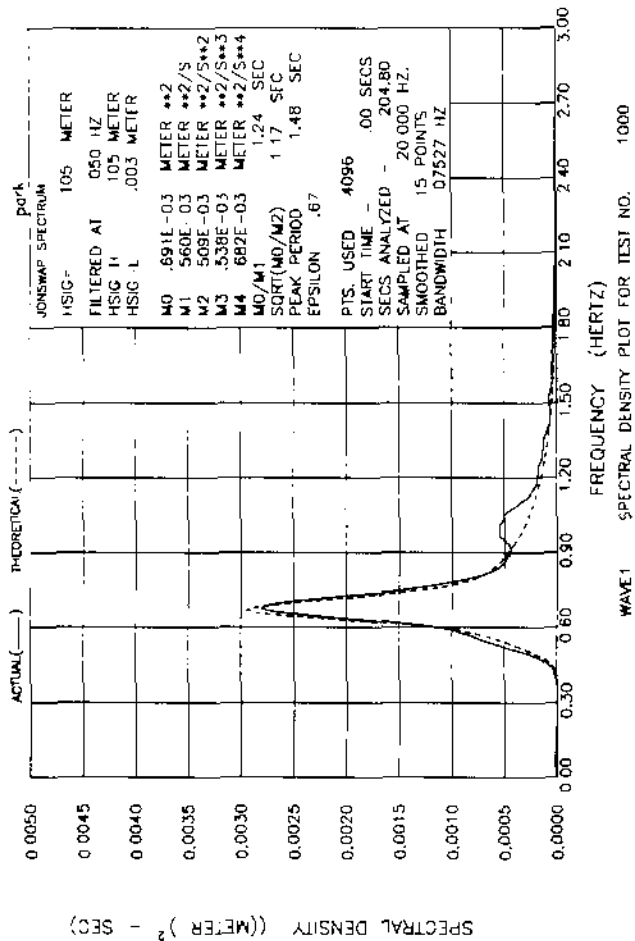


Fig. 2.4.8 Measured power spectral density for sea state 1

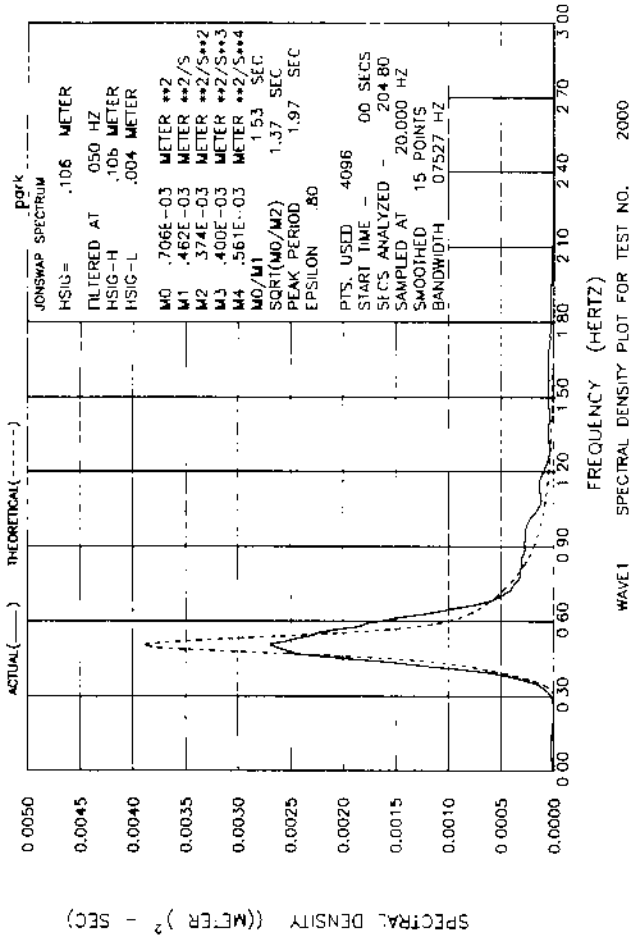


Fig. 2.4.9 Measured power spectral density for seastate 2

Table 2.4.6 Correction factor (C_{f2}) for seasstate 1

| Freq. (Hz) | Spectral Density (m^2/sec) | | Correction Factor C_{f2} |
|------------|--------------------------------|---------|-------------------------------|
| | Measured | Target | |
| 0.9 | 0.00042 | 0.00042 | 1.0 |
| 1.0 | 0.00055 | 0.00300 | 0.545 |
| 1.2 | 0.00020 | 0.00020 | 1.0 |

Table 2.4.7 Correction factor (C_{f2}) for seasstate 2

| Freq. (Hz) | Spectral Density (m^2/sec) | | Correction Factor C_{f2} |
|------------|--------------------------------|--------|-------------------------------|
| | Measured | Target | |
| 0.45 | 0.0024 | 0.0024 | 1.0 |
| 0.5 | 0.0027 | 0.0038 | 1.41 |
| 0.54 | 0.0024 | 0.0024 | 1.0 |
| 0.6 | 0.0017 | 0.0010 | 0.59 |
| 0.7 | 0.0006 | 0.0006 | 1.0 |

- 7) MAKE WAVE FILES를 선택하여 RANDOM SEAS Menu로 간다음 단계 6에서 구한 C_{f2} 값들을 입력한다. 파랑 시그널을 만드는 과정에서 입력 스펙트럼과 계측스펙트럼을 컴퓨터가 자동적으로 C_{f2} 값을 계산하여 보정할 수 있도록 프로그램이 되어 있으나, 현재 소프트웨어 상에 약간의 문제점이 있으니 이 문제점이 해결 되기 전까지는 사용하지서는 안된다.
- 8) 단계 7에서 보정된 파랑 시그널을 이용하여 파랑을 발생시켜 새로운 계측시그널을 구하고 스펙트럼을 결정한 다음 입력 스펙트럼과 비교한다. 차이가 미소하면 스펙트럼 보정 작업은 사실상 완료되나 차이가 현저하면 단계 7의 과정을

반복한다. 이때는 단계 7에서 이미 얻어진 C_{f2} 값을 이용해야 하며 차이가 현저한 주파수성분에서의 C_{f2} 값들만 새로이 계산하여 입력하면 된다. 기존 C_{f2} 값을 이용할 경우 그 C_{f2} 값들을 내포하고 있는 화일명을 컴퓨터에서 요구하는 대로 입력하면 된다. 이 과정을 거쳐 재 발생된 파랑에 대해 얻어진 스펙트럼을 Fig. 2.4.10과 Fig. 2.4.11에 나타내었다. 두 경우 모두 입력 스펙트럼과 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

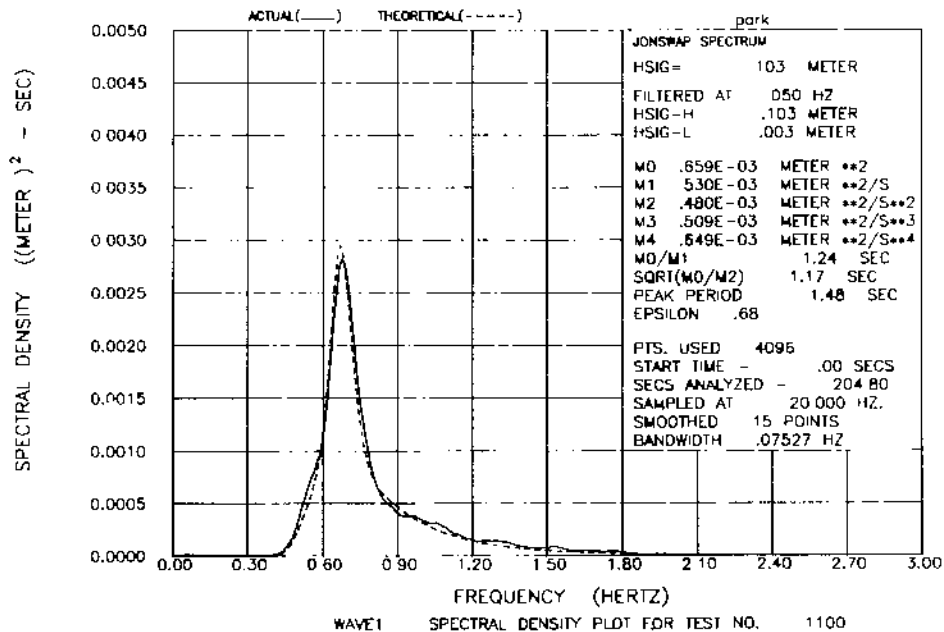


Fig. 2.4.10 Measured power spectral density for corrected seastate 1

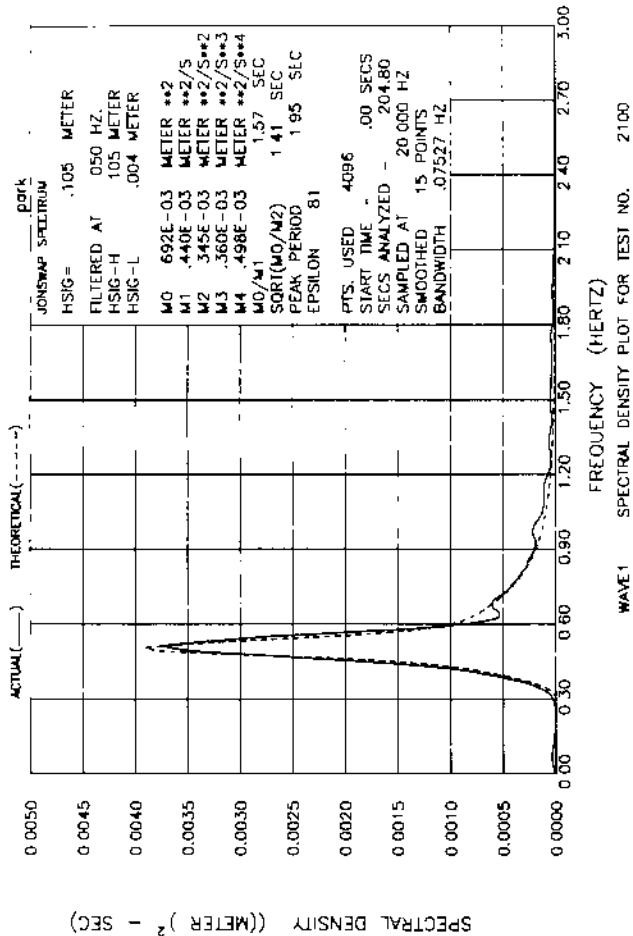


Fig. 2.4.11 Measured power spectral density for corrected sea state 2

4.3 반사파 흡수필터

반사파 흡수필터는 실험시 모형구조물로부터 반사되어 조파기로 다시 돌아오는 반사파를 흡수시켜 수조내에 오랜 시간동안 원하는 입력파랑을 유지시키기 위한 것으로, 본 조파기의 제어시스템에 포함되어 있다. 4.2.1절에서 언급한 바 있는 조파판 전면에 부착되어 있는 Feed Back Sensor에 의해 감지된 시그널을 이용하여 반사파를 흡수하게 된다.

4.3.1 흡수필터의 가동

반사파 흡수필터의 가동은 파랑을 발생시킬 때에 사용하는 RUN TEST중에 나타나는 "Do you want to change PID parameters or probe calibration?"이라는 물음에 Y를 입력하고 4번 "Change wave probe cal factor"를 선택하여 Cal. Factor를 입력함으로써 가능하다. 이 값을 영(0)으로 입력하면 흡수필터는 가동되지 않게 된다. 이 Cal. Factor는 수심에 따라 적절히 선정해 주어야 하는데, 최적의 Cal. Factor는 그 값을 변경시켜 가며 시행착오에 의해서 결정하여야 한다. 즉, 조파판이 떨지 않는 범위내에서 가장 큰 값이 최적의 Cal. Factor라 생각하면 된다. 현재, 수심 0.5 m인 경우에 대해서는 0.00005 정도, 0.7 m에 대해서는 0.00008정도가 적절한 것으로 판명되었다. 이 Cal. Factor를 다시 결정할 때 또는 다른 수심에 대한 Cal. Factor를 결정할 때는 항상 작은 값(상기 두 경우의 값을 참조)으로부터 조금씩 증가시켜 가면서 수행하여야 한다. 조파판에서 심한 마찰음이 발생하거나 심하게 떨리면 재 벨리 Esc Key를 눌러 실험을 중단하여야 한다.

반사파 흡수필터를 가동할 경우의 발생파의 에너지는 가동하지 않을 경우의 절반 정도이다. 예를 들면, 규칙파를 발생시켰을 경우, 반사파를 가동시키면 파고가 가동시키지 않았을 경우의 0.707($1/\sqrt{2}$)배 정도로 작게 나타난다.

4.3.2 흡수필터의 성능시험

반사파 흡수필터의 필요성 및 성능을 알아 보기 위하여, 흡수필터를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대한 실험을 수행하였다. 수조 끝단의 경사식 소파기 앞에 직립벽을 설치하고 규칙파와 불규칙파에 대해서 시간이 경과함에 따라 실험 구간내에서 파랑이 어떻게 변하는가를 관찰하였다. 즉, 조파를 시작한 이후, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300초 지난 후, 데이터를 Scan rate 20 Hz로 60초간 독취하였다. 수심조건은 0.7 m이고, 반사파 흡수필터의 Cal. Factor는 0.0000825로 하였다.

Fig. 2.4.12와 Fig. 2.4.13에 규칙파에 대한 실험결과로 얻어진 시간에 따른 입사파 및 반사파의 파고변화를 나타내었다. 반사파 흡수필터를 가동한 경우 (Fig. 2.4.13)는 시간이 지남에 따라 입력파랑조건에 근접하게 일정하게 나타난 반면, 흡수필터를 가동하지 않은 경우는 입력파랑조건 보다 큰 파고가 커졌다 작아졌다하는 현상이 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다. Fig. 2.4.14와 Fig. 2.4.15에는 불규칙파에 대한 실험결과를 나타내었다. 이 경우 역시, 같은 현상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 흡수필터를 가동하지 않은 경우에 입사파랑조건 보다 크게 파고가 나타나는 것은 수조 끝단의 직립벽에서 반사된 파가 빠져 나가지 못하고 다시 조파면에 부딪쳐 수조내에 에너지가 계속 누적되기 때문이다. 이론상 에너지가 계속 누적되면 파고가 점차 커져야 할 것으로 생

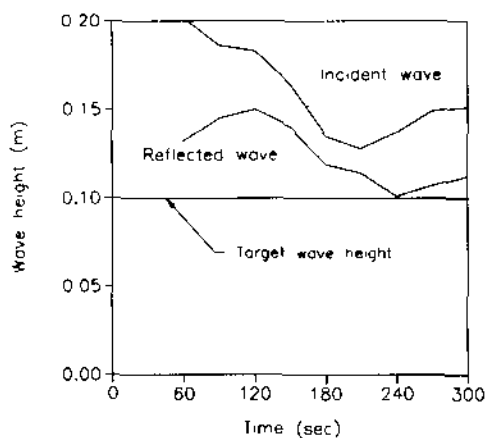


Fig. 2.4.12 Wave heights without reflected wave absorbing filter for regular wave conditions.

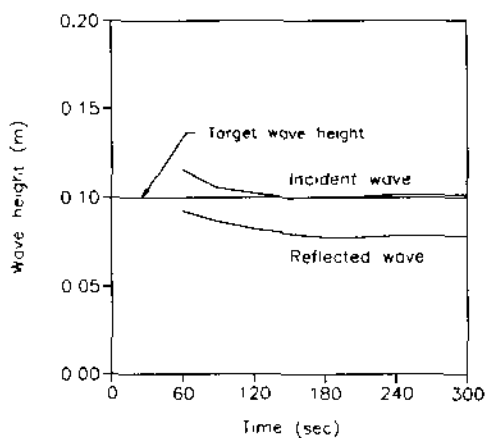


Fig. 2.4.13 Wave heights with reflected wave absorbing filter for regular wave conditions.

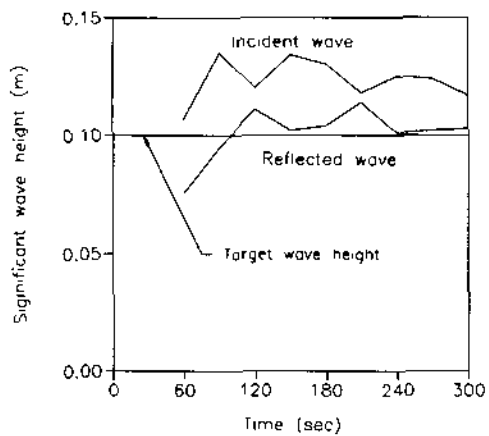


Fig. 2.4.14 Significant wave heights without reflected wave absorbing filter for irregular wave conditions.

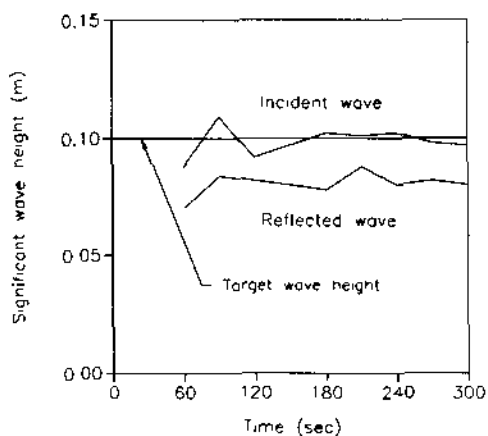


Fig. 2.4.15 Significant wave heights with reflected wave absorbing filter for irregular wave conditions.

각이 되나, 어느 정도 이상은 커지지 않고 시간이 지남에 따라 파고가 변하는 것은 조파판이 자연적으로 흡수기능을 담당하기 때문이다. 즉, 조파판이 후진할 때, 반사파가 조파판에 부딪치는 경우는 자연적으로 반사파가 흡수되게 된다.

제 5 집 일방향성 흐름 발생장치 (조류기)

일방향성 흐름은 조류 Box, 순환관과 원심력 펌프(45 Hp)를 사용하여 수조내에 좌측에서 우측으로, 또는 우측에서 좌측으로 흐름을 발생시키는 것을 의미한다. 편의상, 좌측에서 우측으로 흐르는 흐름을 정향류, 우측에서 좌측으로의 흐름을 역향류라고 칭하기로 한다. Fig. 2.3.1에 보인 바와 같이 조류 Box는 3개로 구성되어 있는데 파랑과 흐름을 동시 발생시켜 실험 유황을 형성할 경우에는 조류 Box 2와 3을 이용하고 흐름 단독의 유황을 형성할 시에는 조류 Box 1과 3을 사용한다. 여기에서는 조류 Box 2와 3을 사용하는 경우를 전제하여 정향류 또는 역향류의 발생절차를 기술하기로 한다.

5.1 정향류 발생절차

- 1) 조류 Box 1의 뚜껑을 폐쇄하고 밸브 V5를 닫는다.
- 2) 조류 Box 뚜껑 2와 3을 개방하고 밸브 V6를 개방한다.
- 3) 순환펌프 V1, V2를 폐쇄하고 V3, V4를 완전히 개방한다.
- 4) Water Hammer 방지용 밸브 V8를 개방한다.
- 5) 펌프를 가동시킨다(실험실 제어실 내의 원격 스위치 또는 순환펌프 옆의 스위치 이용). 20초 정도 후에 밸브 V8를 닫는다.
- 6) 순환펌프 옆의 관류 유속계의 눈금을 주시하면서 수조내에 원하는 유속이 발생

할 때까지 밸브 V3와 V4의 개폐를 조절한다. 관류 유속계의 눈금은 수시로 변하므로 5초 간격으로 10번 순간치를 기록하여 이들의 평균값을 이용하는 것이 좋다.

5.2 역항류 발생질차

정항류에서 개방하였던 밸브 V3와 V4를 폐쇄한다. 나머지는 정항류 발생질차와 같다. 밸브 V1과 V2의 개폐정도를 조작하여 흐름을 조절한다.

5.3 유속계측 결과

역항류를 발생시켜 조류 Box 2와 3의 중간지점(Fig.2.5.1)에서 유속의 연직 분포를 프로펠러 유속계(propeller current meter)를 이용하여 계측하였다. Fig.2.5.2와 Fig.2.5.3은 관류유속계의 평균값이 각각 7.08과 3.66일때의 유속의 연직분포를 나타낸다. 수면 근처에서의 유속강하는 수면에서 프로펠러의 부분적 침수로 인한 것이다. 이점을 고려하면 전체적인 유속분포는 바다에 근접할 수록 감소현상을 보이며, 자연적인 유속분포에 근사함을 알 수 있다. Fig.2.5.4와 Fig.2.5.5는 각각 0.2m 깊이에서의 유속의 횡방향과 종방향 분포를 나타내 주며 상당한 정도의 균등성을 보여주고 있다(관류 유속계의 평균값 7.08).

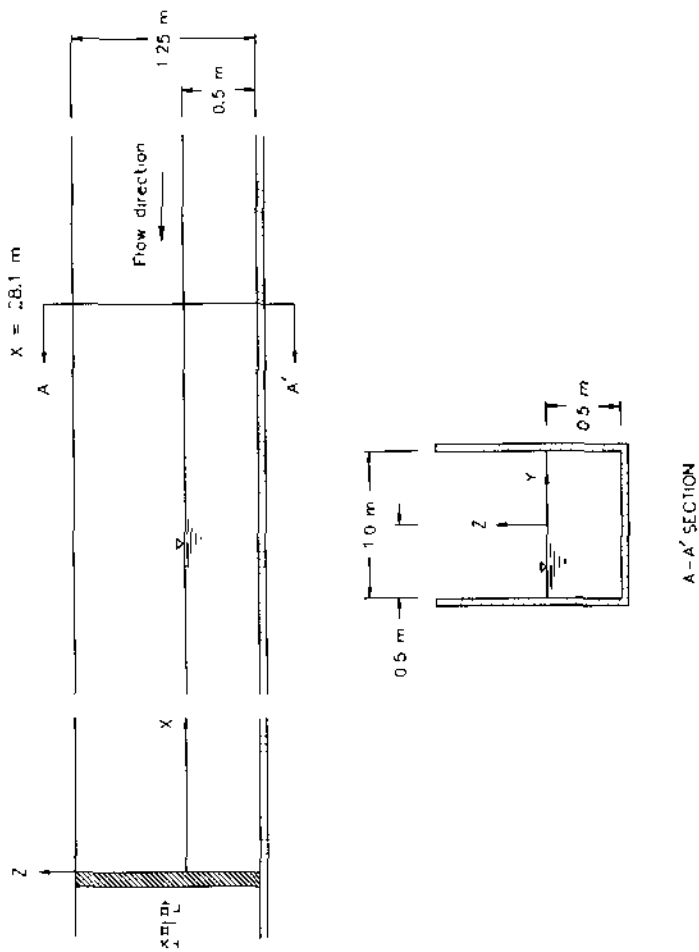


Fig. 2.5.1 Open channel test

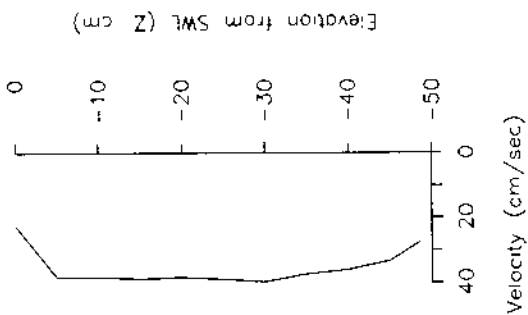


Fig. 2.5.2 Velocity profile in the vertical
direction (0 = 7.08)

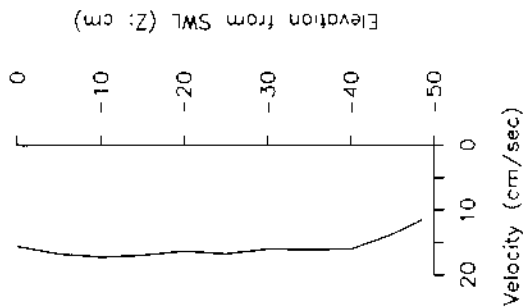


Fig. 2.5.3 Velocity profile in the vertical
direction (0 = 3.66)

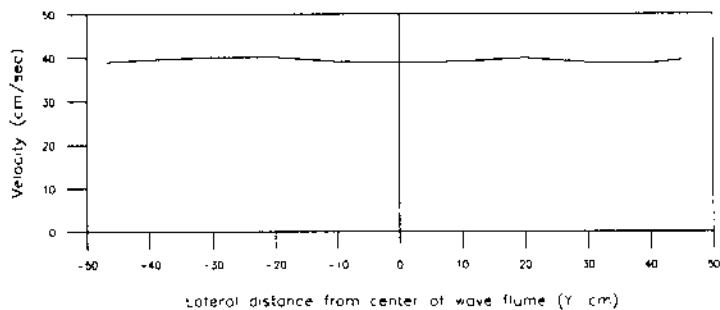


Fig. 2.5.4 Velocity profile in the lateral direction ($Q = 7.08$).

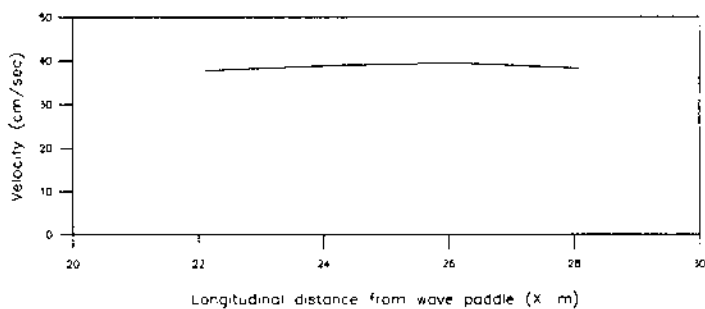


Fig. 2.5.5 Velocity profile in the longitudinal direction ($Q = 7.08$).



제 3 장 계측기기의 보정 및 성능시험

제 1 절 이날로그 센서의 사용

현재 본실에서 보유하고 있는 이날로그 센서는 Table 3.1.1에서 나타낸 것과 같이 Propeller Current Meter, Pressure Transducer, Load Cell Meter, Wave Gauge, Hot-film Anemometer, Laser Doppler Anemometer(LDA) 등이다. 이 중에 Hot-film Sensor와 LDA는 자체 Data Acquisition System을 구성하고 있으며, 타 기종들은 조파기 가동 소프트웨어에 병합된 Data Acquisition Utility를 사용하도록 되어 있다.

조파기 가동 소프트웨어에 병합되어 있는 Data Acquisition System은 총 16 채널로 구성되어 있으며, 이 중에 두 채널(1, 2)은 컴퓨터 내의 Data Translation Card와 연결되어 조파시스템 전용의 파고계를 담당하도록 설계 되어 있으며, 나머지 14 채널은 이날로그 센서를 연결하여 데이터를 독취할 수 있도록 되어 있다. 이 14 채널은 컴퓨터 내의 PC LAB Card에 연결되어 있고, 각 센서로부터의 이날로그 시그널은 PC LAB Card에 의하여 디지털 값으로 변환된다(Analog-Digital Conversion). 현재 Analog-Digital Conversion(ADC)는 $\pm 10V$ 의 이날로그 입력에 대하여 - 2048 에서 + 2047 까지의 정수를 출력할 수 있게 되어 있다. 그러나, ADC는 온도, 습도등에 따라 성질이 변하며, 장시간 사용할 경우 입력전압과 출력 ADC 값 사이의 관계가 변하는 것이 상례이므로 주기적으로 이들을 보정해 주어야 한다. 일단, 입력전압-ADC 값의 관계가 설정되면 임의 ADC 값으로부터 전압을 쉽게 계산할 수 있다. 현재 Data Acquisition System은 이 계산을 자체적으로 수행하도록 되어 있으며, 이를

위해서는 사전에 입력전압-ADC 값의 관계를 각 채널 별로 입력시켜 주어야 한다.

1.1 ADC의 보정

Power Supply Unit을 Data Control Box에 연결하여 0 - 10 Volt의 직류전압을 임의의 간격으로 입력시킨다. 이때 Data Acquisition Software의 "INSTRUMENT CALIBRATION UTILITY"를 선택하여 "Engineering Value?"라는 물음에 직류전압을 입력하여 보정을 실시한다. 이와 같은 과정을 채널 3에서 채널 16 까지 반복하여 보정결과를 기록하여 둔다. 1991. 6. 17에 행한 보정결과는 Table 3.1.2와 같으며, 각 채널에 대한 보정결과를 Fig.3.1.1-Fig.3.1.14에 나타내었다.

Table 3.1.1 Analog sensors

| Sensor | 규격 | 용도 |
|---------------------|--------------|-----------|
| Current Meter | 4 channel | 유속측정 |
| Pressure Transducer | 12 channel | 수압측정 |
| Load Cell Meter | 4 channel | 하중계측 |
| Wave Gauge | 16 channel | 파고계측 |
| Hot-film Sensor | 3 components | 난류 및 온도계측 |
| LDA | 3 components | 난류계측 |

Table 3.1.2 Calibration factor for data acquisition channels

| Channel No. | Calibration factor | Channel No. | Calibration factor |
|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
| 3 | 0.004885517 | 10 | 0.004875554 |
| 4 | 0.004878734 | 11 | 0.004884325 |
| 5 | 0.004875006 | 12 | 0.004882753 |
| 6 | 0.004869131 | 13 | 0.004879811 |
| 7 | 0.004884944 | 14 | 0.004881985 |
| 8 | 0.004875022 | 15 | 0.004880180 |
| 9 | 0.004876214 | 16 | 0.004879335 |

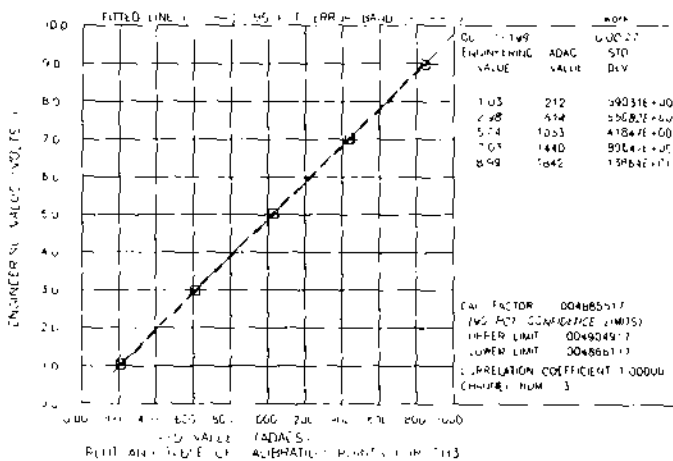


Fig. 3.1.1 Calibration curve for channel 3.

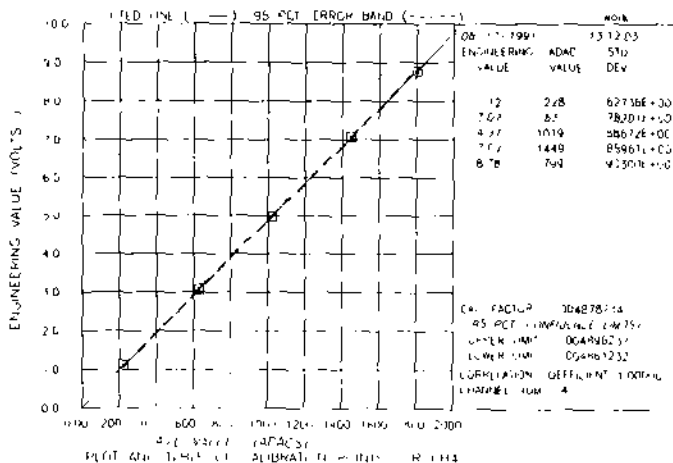


Fig. 3.1.2 Calibration curve for channel 4.

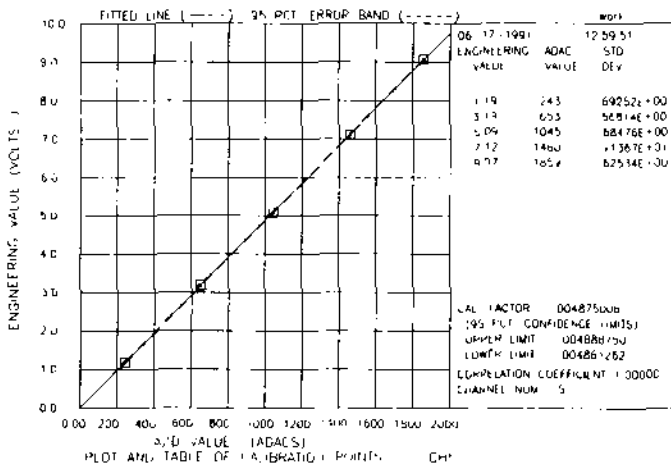


Fig. 3.1.3 Calibration curve for channel 5.

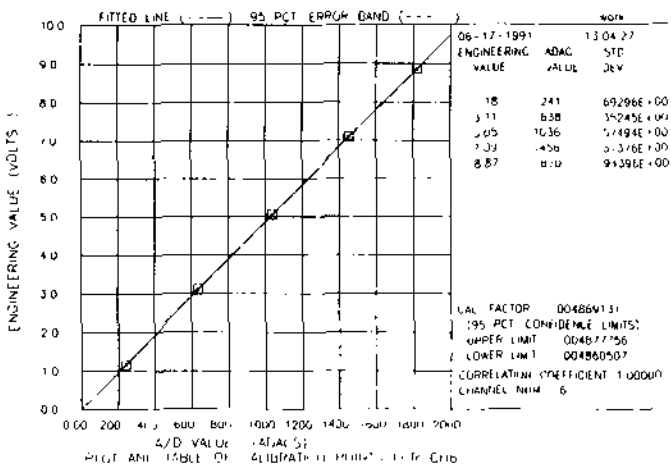


Fig. 3.1.4 Calibration curve for channel 6.

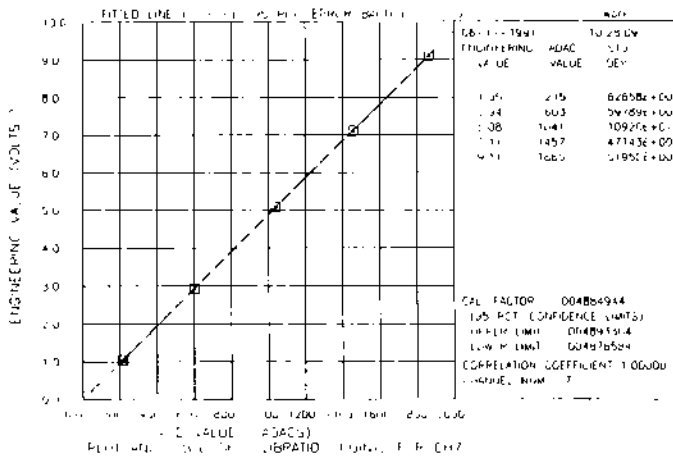


Fig. 3.1.5 Calibration curve for channel 7.

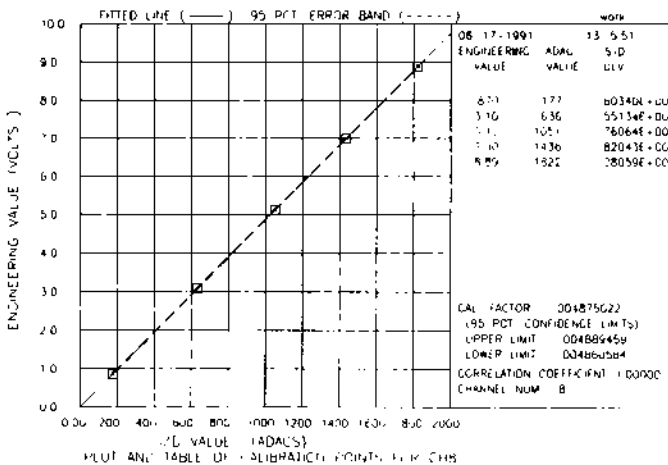


Fig. 3.1.6 Calibration curve for channel 8.

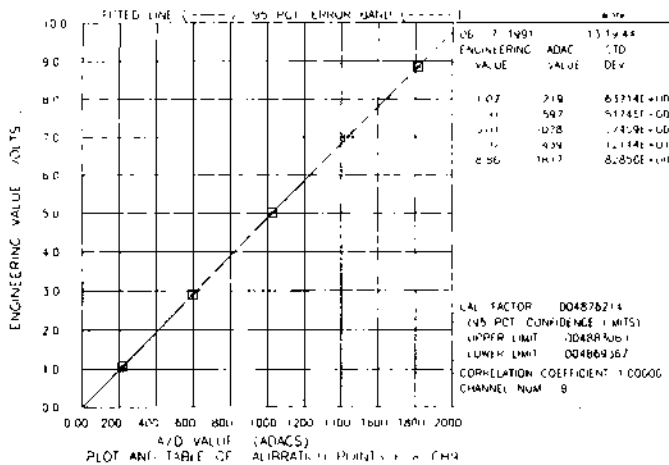


Fig. 3.1.7 Calibration curve for channel 9.

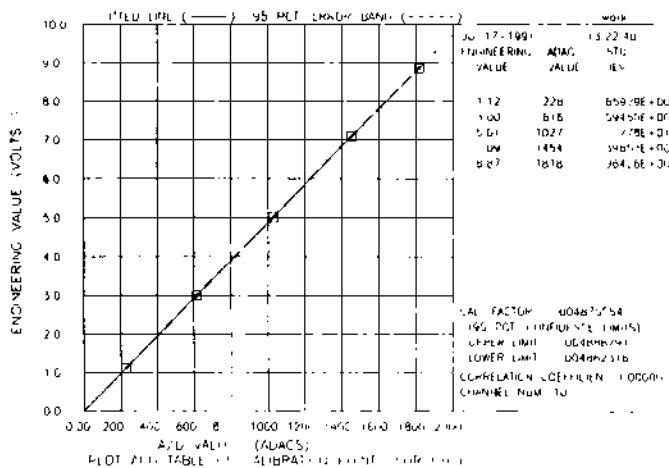


Fig. 3.1.8 Calibration curve for channel 10.

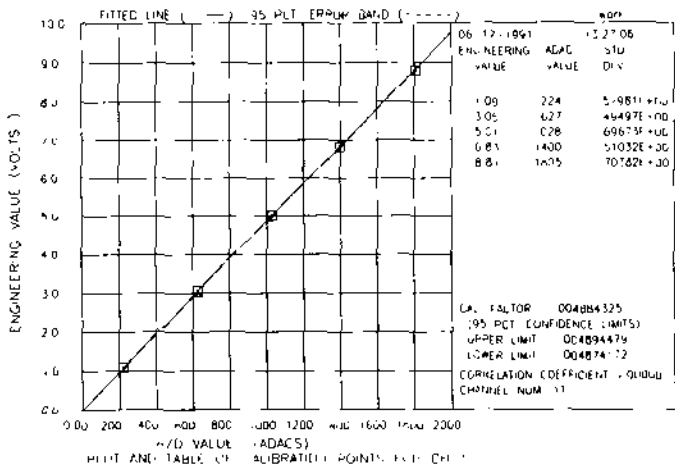


Fig. 3.1.9 Calibration curve for channel 11.

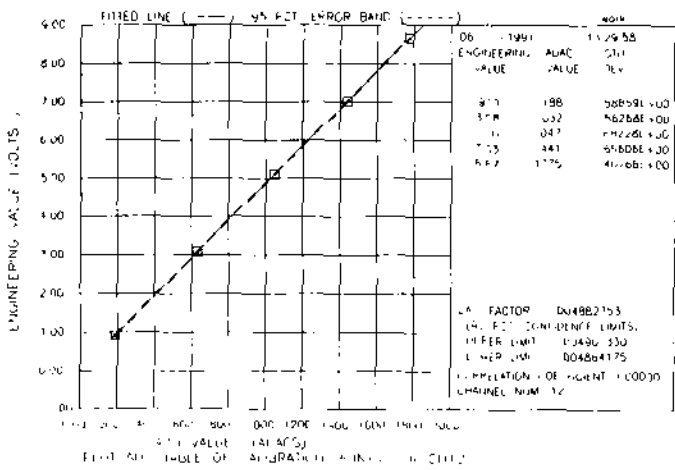


Fig. 3.1.10 Calibration curve for channel 12.

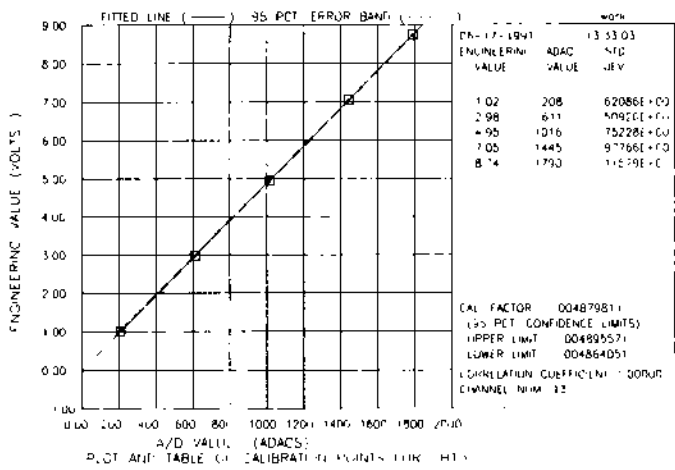


Fig. 3.1.11 Calibration curve for channel 13.

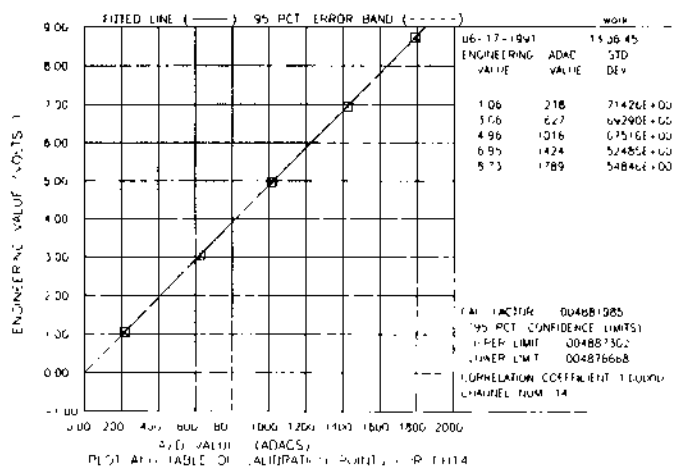


Fig. 3.1.12 Calibration curve for channel 14.

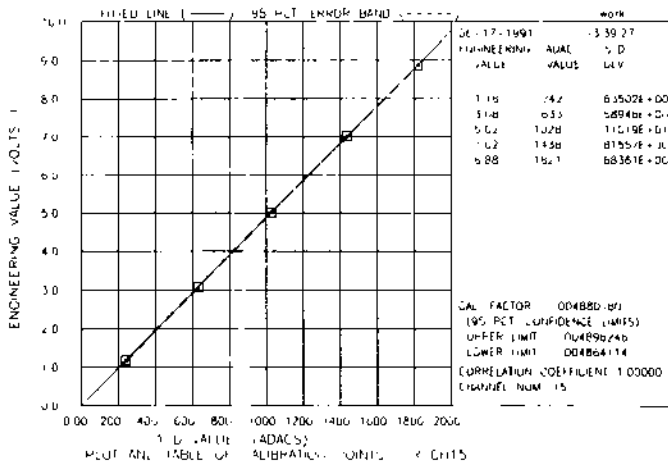


Fig. 3.1.13 Calibration curve for channel 15.

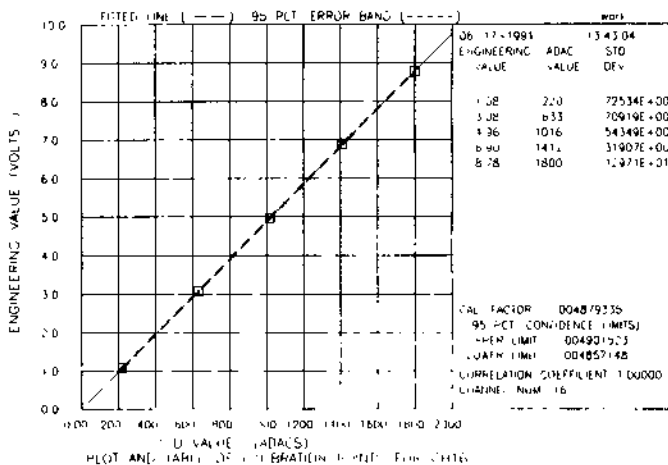


Fig. 3.1.14 Calibration curve for channel 16.

1.2 사용절차

임의의 아날로그 센서로 부터 데이터를 독취하기 위해서는 Data Acquisition System을 사용해야 하며 다음의 절차에 따른다.

- 1) 아날로그 센서를 Data Control Box 전면의 BNC Connector에 연결한다.
- 2) 컴퓨터 소프트웨어에서 DATA ACQUISITION UTILITY → TEST UTILITY Menu → EDIT TEST SETUP을 선택하여 채널 1, 채널 2, 그리고 단계 1에서 선택한 아날로그 채널에 대한 여러가지 사항을 설정한다. 채널 1과 채널 2는 조파 전용 파고계에 대한 것으로 조파의 유무에 관계없이 이를 파고계의 보정계수를 입력시킨다. 이때 Base Channel은 채널 1이 되며, Channel Unit는 "Meter"로 한다. 각 아날로그 채널의 보정계수를 입력시키며, "zero" 값은 별도로 입력시킬 필요는 없다. 각 채널의 Scan Rate는 최고 200 Hz까지 할 수 있으나, 파고계를 위한 채널 1과 채널 2는 20 - 30 Hz정도면 충분하다.
- 3) 조파기를 사용하지 않을 경우에는 조파기 S/W를 Off로 유지한다. 그러나, DATA ACQUISITION SOFTWARE가 조파를 전제로 하기 때문에 조파의 유무에 관계없이 현재 수행중인 Project directory에 파라미터 파일을 만들어 놓는다. 파라미터 파일의 제조절차는 제 2장에서 언급한 "발생 파라미터 스크립트 보정" 절차와 동일하며, 조파를 하지 않는 경우에는 "NONE" 이라고 명명하는 것이 편리하다.
- 4) DATA ACQUISITION UTILITY → 1. ACQUIRE TEST DATA → 1. RUN TEST를 선택하여 독취 데이터를 저장할 Test No. 를 입력하고(숫자로), 파라미터 파일 "NONE"을 지정한다. Data Acquisition Steady State Screen에서 A/D Value가 영에 근접할 수록(Stand-by 상태에서) 좋으며, 이를 위하여 Data Control Box의 Balance Knob를 조정한다(녹색에서 적색으로 바뀌는 순간).

5) 아날로그 센서를 "RUN" 상태로 놓고 실지 측정하고자 하는 데이터를 득취한다.

이때 데이터는 사전에 지정된 Test No.에 자동적으로 기록된다.

1.3 데이터 분석

Data Acquisition System에 의하여 득취된 데이터는 전압(Voltage)이며, 이 값은 실지 아날로그 센서가 측정하고자 했던 물리량으로 변환되어야 한다. 출력전압-물리량의 관계는 아날로그 센서의 종류에 따라 다르며, 사전에 이 관계를 설정할 수 있다. 현재 보유하고 있는 Data Acquisition Software는 이들 출력전압을 사전 입력된 보정자료를 이용하여 실지 물리량으로 환산할 수 있도록 되어 있으며, 아울러, 이들 물리량들의 통계분석을 가능하도록 구성되어 있다. 그 절차는 다음과 같다.

- 1) Directory TEST - SOURCE - FORTRAN - DERIVE를 선택한다.
- 2) DERIVE.FOR를 수정한다. 즉, 프로그램 내의 출력전압-물리량의 관계를 수정하여 재입력 한다.
- 3) MAKE DER.MAK을 집행하여 DERIVE.EXE를 만든다.
- 4) DERIVE.EXE를 수행하여 임의 Test No.의 Derived channel을 만든다. 이 과정에 의하여 출력전압의 시계열은 실지 물리량으로 변환되어 Derived Channel 번호를 갖는 파일에 저장된다.
- 5) "C:\TEST" Directory에서 "ACQSYS.BAT"를 수행한 후, DATA ACQUISITION UTILITY → 5.DATA REDUCTION을 선택하여 Derived Channel의 통계분석을 실시한다.

제 2 절 프로펠라 유속계(Propeller Current Meter)의 사용

양쪽 방향의 유속을 측정할 수 있는 계측기기로서, 현재 4 채널로 구성되어 있다 (Photo 3.2.1 참조). ± 10 Volts의 전압을 출력할 수 있으며, 각 센서의 보장은 센서가 돌아 갈때, Probe끝의 전극을 차단하는 수는 유속에 비례한다는 점을 이용하면 가능하다. 현재 보유하고 있는 4개의 센서는 공장에서 보정되었으며, 각 센서에 대한 Calibration sheet는 Fig.3.2.1-Fig.3.2.4에 보인 바와 같다.

측정하고자 하는 유속의 범위에 따라 증폭기의 주파수 범위 조정 Knob를 조절해야 한다. 200 Hz, 500 Hz, 1 KHz, 2 KHz의 측정 범위가 있으며, 측정 모드(Bi, Uni, 0, 100 Hz)의 Knob를 100 Hz에 위치 시켰을 경우, 각각 5 Volts, 2 Volts, 0.5 Volts의 출력을 나타낸다. 유속의 측정절차는 다음과 같다.

- 1) 센서를 Probe에 연결한다. 센서의 보호 프레임은 외력에 변형을 일으키기 쉬우므로, 센서를 probe에 결합할 때는 반드시 센서의 지지 패드 부분을 이용해야 한다. 센서의 보호프레임이 변형을 이르면, 센서의 특성이 변할 수 있으므로 주의하여야 한다. Probe 역시 끝의 전극쪽이 충격에 민감하므로 상당한 주의를 요한다. 센서와 probe 공히 사용전에 phosphate 용액에 잘 세척 하여야 한다. 절대로 센서를 입김으로 불거나, 수중에서 급격히 이동시켜서는 안 된다.
- 2) 증폭기를 오실로스코프에 연결하여 출력 전압을 관찰하면서, 적절한 주파수 범위를 선택한다(통상 1 KHz가 적당함).
- 3) 컴퓨터의 Data Acquisition Menu를 개방하여 제 2장에서 언급한 절차에 따라 데이터를 취득한다. 이때, Steady state를 획득할 때는 측정 모드를 "0"에 위치시키고(Stand-by 상태) 한다.

(a) Sensor



(b) Amplifier

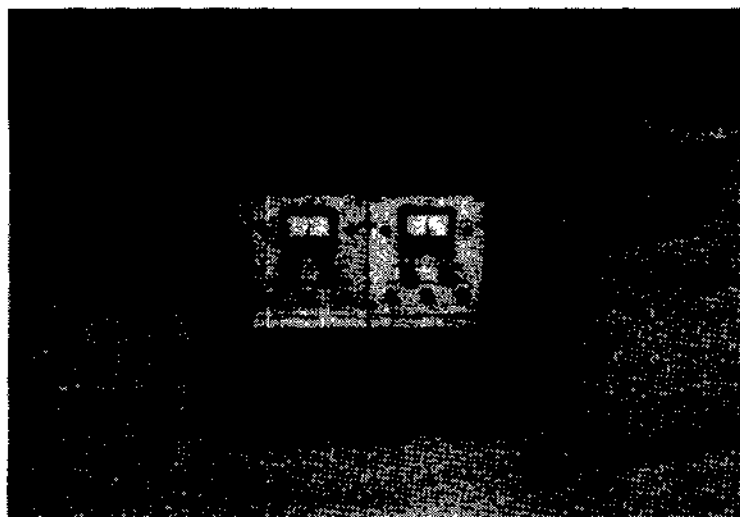
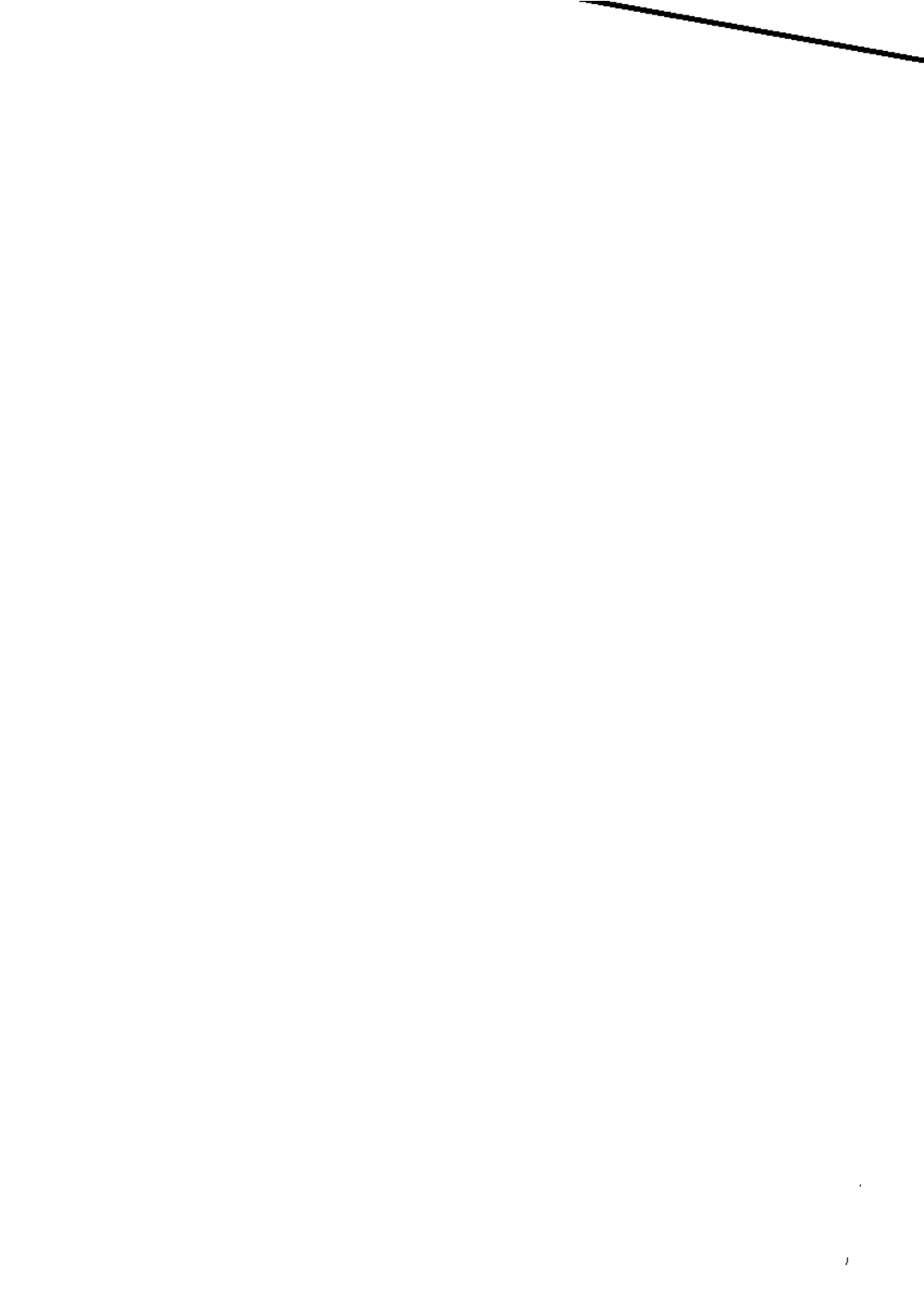


Photo 3.2.1 Propeller current meter and amplifier.



- 4) Steady state를 저장 한 후, 측정모드를 필요에 따라 Uni 또는 Bi로 전환한다.
- 5) 측정된 전압 시계열을 유속의 시계열로 변환한다. 이는 DERIVE.FOR를 개량하여 주파수-전압 및 주파수-유속의 관계를 프로그램에 반영시켜 구할 수 있다. 예를 들어 주파수를 1 KHz로 선택하였을 경우, 3 Volts는 300 Hz에 해당하며 300 Hz에 해당하는 실제 유속은 사용센서의 보정식으로 부터 계산할 수 있다 (Fig. 3.2.1-Fig. 3.2.4 참조).
- 6) 유속의 시계열을 이용하여 통계분석을 실시한다(Data Acquisition Menu내의 Data Reduction Menu 선택).
- 7) 센서를 사용한 후에는 센서에 부착된 이물질들을 제거하기 위하여, 센서와 probe를 phosphate 용액(3-10%)에 1일 정도 담가 놓았다가 완전히 물기를 제거한 후 보관한다.

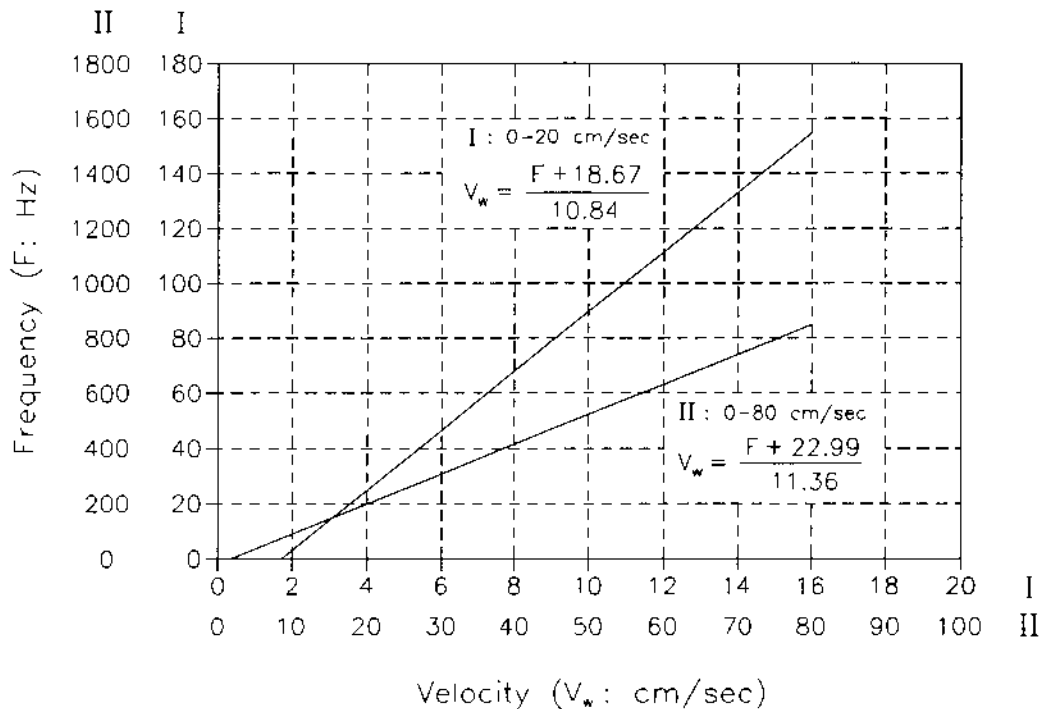


Fig.3.2.1 Calibration curve for propeller current meter (Model 363A)

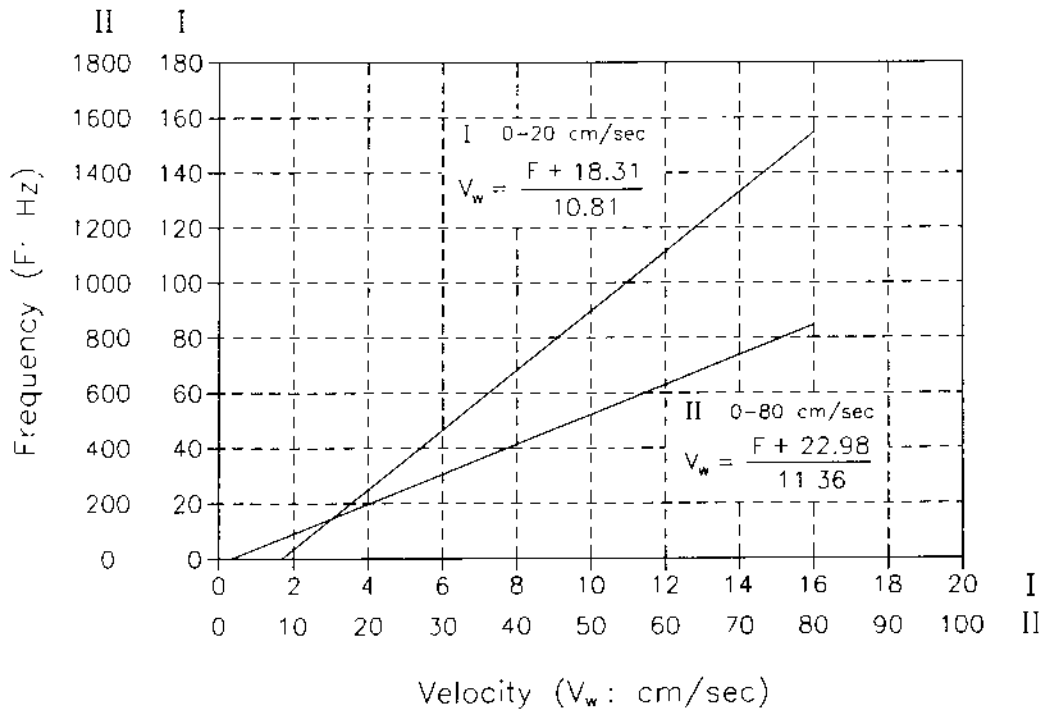


Fig.3.2.2 Calibration curve for propeller current meter (Model 3635)

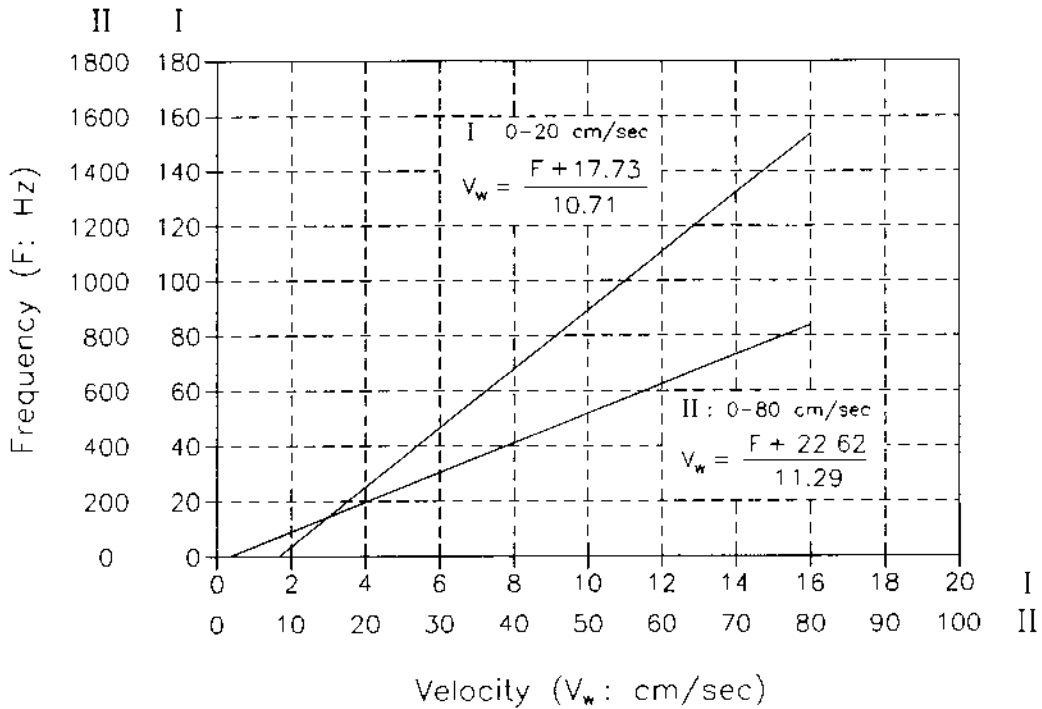


Fig.3.2.3 Calibration curve for propeller current meter (Model 3636)

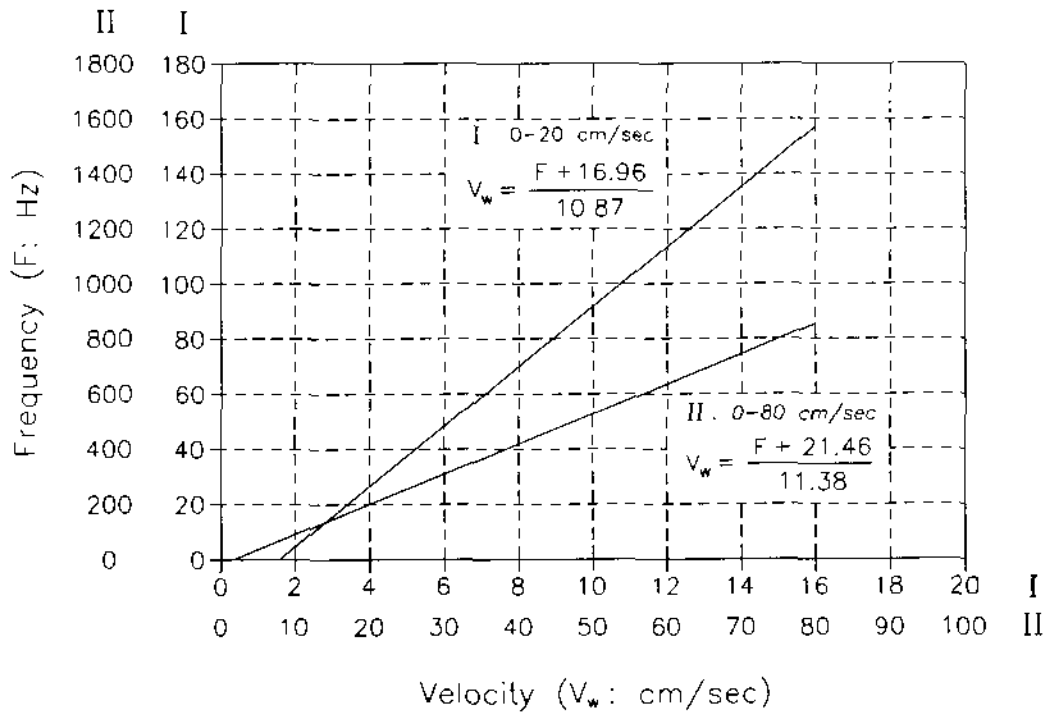


Fig.3.2.4 Calibration curve for propeller current meter (Model 3637)

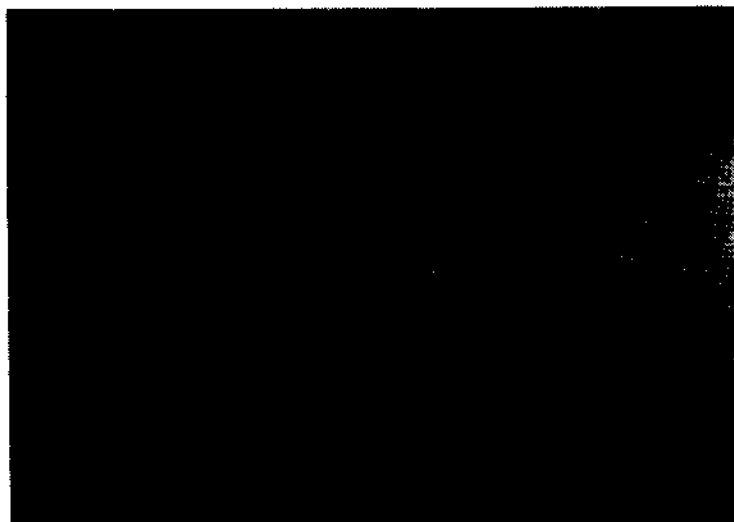
제 3 절 압력변환계(Pressure Transducer)의 사용

본 입력 측정용 기기는 영국 Druck 사의 제품으로 Strain gauge 형식으로 구성되어 있다 (Photo 3.3.1 참조). 현재 보유하고 있는 센서는 최대 측정 압력범위가 200 Kpa - 3500 Kpa 로 모형실험용으로는 사용이 곤란하며, 주로 현장의 실물에 부착하여 사용할 수 있다. 증폭기는 총 15 채널의 아날로그 시그널을 출력할 수 있으며, 출력 전압은 채널에 관계없이 ± 2 Volts이다. 이론상 본 계기는 실험실에서 방파제 모형실험시 발생하는 10 - 30 Kpa의 압력의 측정이 가능하다. 그러나, 출력전압이 미세하기 때문에 증폭기의 주변장치에서 발생하는 전자 간섭과의 영향으로 인하여 계측 데이터의 해상도(Resolution)가 떨어진다는 문제점이 있다.

본 계기는 센서와 데이터 전송 케이블사이의 연결부분이 방수처리가 되어 있지 않기 때문에, 실험실 모형실험이나 현장계측에 사용할 때 주의하여야 한다. 만약에 연결부분 사이로 물이 스며들 경우, 센서의 특성이 변하게 되어 사용이 불가능하게 된다. 따라서, 본 센서를 수중에서 사용할 때는 센서 연결 부분에 특수한 방수처리를 해야만 한다. 방수는 Silicon glue를 사용하는 것이 좋다. 강력접착제용 방수처리제와 같이 센서 자체에 잔여용력을 기할 수 있는 것은 절대적으로 피해야 한다.

본 센서는 센서를 보호하고 있는 보호대가 비교적 크기 때문에(직경 약 2cm) 보호대의 외부 자극에 대해서 센서의 출력 시그널이 받는 영향은 매우 미세하다. 센서의 실험 구조물에 부착은 센서 끝의 볼트에 의해서 가능하며, 볼트 부착의 토오크의 강약에 대해서 출력 시그널이 받는 영향은 미세하다. 이와 같은 점은 일반적으로 압력 측정등 센서에서 발견되는 센서 보호대에 인위적 압력에 의한 출력의 심한 변화 성향을 배제할 수 있어 매우 유리하다. 반면에 센서의 보호대가 크기 때문에 모

(a) Sensor



(b) Amplifier

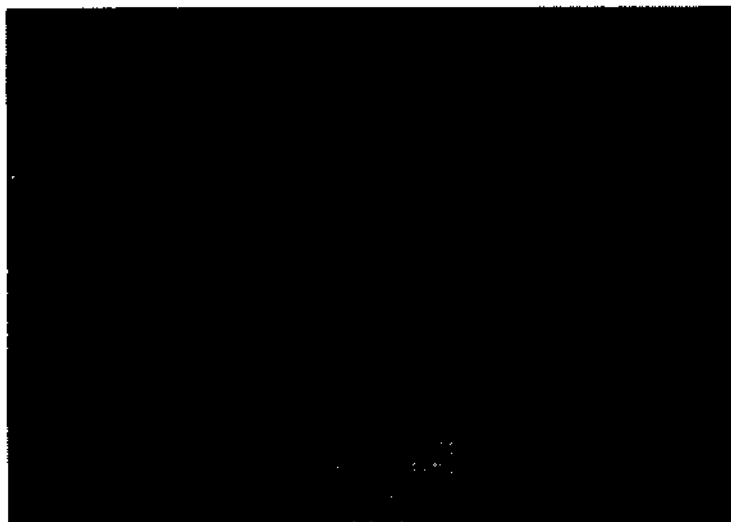


Photo 3.3.1 Pressure transducer and amplifier.



형질업에는 사용의 제약이 따른다. 즉, 모형구조물의 중량과 크기가 비교적 커야 된다는 문제점이 있다. 모형구조물의 크기가 작을 경우에는 센서 자체의 크기에 의한 주변 유황의 변화로 인접 센서의 압력감응에 영향을 줄 수도 있다. 센서와 증폭기는 납땜이전에 공장 보정이 되어 있으며, 최대측정 범위에 대하여 ± 2 Volts의 출력을 내게 되어 있다. 그러나, 장기간 사용후에는 센서의 특성이 변할 수 있다. 따라서, 센서의 특성이 변한 경우에는 보정장치 또는 수조의 정수압을 측정하여 새로운 보정 작업을 수행하여야 한다. 본 계기는 모든 Strain Gauge 형의 계기와 마찬가지로 압력과 출력 전압은 선형관계에 있으며, 3점 내지 4점에 대해 보정작업을 수행하면 적당하다.

본 입력계기의 사용절차는 다음과 같다.

- 1) 센서를 증폭기에 연결하고 공기중에서 증폭기의 우하단에 위치한 영점 조정장치를 이용하여 증폭기에 나타나는 수치가 영이 되도록 조정한다.
- 2) DATA ACQUISITION UTILITY \rightarrow 1. ACQUIRE TEST DATA \rightarrow 1. RUN TEST를 선택하고 Steady State 조절 화면에서 센서가 연결되어 있는 채널에 해당하는 A/D 값이 영에 근접하도록 증폭기의 영점 조정나사를 조절한다. Steady State 값을 저장한다.
- 3) 센서를 수중의 모형구조물에 부착한다. 이 때 센서의 출력전압은 센서의 부착 수심에 해당하는 정수압을 포함하게 된다. 파랑에 의한 동수압만을 측정하고자 할 때는 단계 1과 단계 2에서의 영점 조절을 센서가 수중의 모형구조물에 부착된 상태에서 수행하면 된다.
- 4) DATA ACQUISITION UTILITY의 사용에 의한 센서 출력은 전압으로 나타나며, 출력전압을 실제 압력으로의 환산은 본 장의 제 1절에서 언급한 방법에 준한다 (각 압력 센서의 최대측정 범위는 ± 2 Volts에 해당함).

제 4 절 하중측정장치(Load Cell Meter)의 사용

하중측정장치는 현재 Strain Gauge 형과 Inductance 형의 센서들을 연결할 수 있는 Alph-3000 증폭기(독일 HBM 사 제품)와 센서로는 인장력 또는 압축력을 측정할 수 있는 Load Cell 4개, 압력 변화를 측정할 수 있는 Piezoelectric Pressure Transducer 8개와 구조물 변형을 측정할 수 있는 다수의 Strain Gauge로 구성되어 있다(Photo 3.4.1 참조). 이 증폭기는 센서의 브리지 전압을 1, 2.5, 5 Volts로 선택할 수 있는 AC 증폭기 2 채널과 1, 5, 10 Volts로 선택할 수 있는 DC 증폭기 4 채널로 구성되어 있다. 이 증폭기의 가장 큰 특징은 센서의 측정범위를 조절할 수 있으며, 측정범위에 출력전압을 ± 10 Volts로 조절하여 임의 측정범위의 해상도를 극대화할 수 있다는 점이다. 따라서, 사용 센서의 최대 측정범위가 사용 측정범위를 훨씬 상회한다 하더라도 정밀한 측정을 기할 수 있다. 자세한 조작법은 사용자 편람을 참조하면 되며, 여기에서는 증폭기의 보정방법에 대해서 기술하기로 한다.

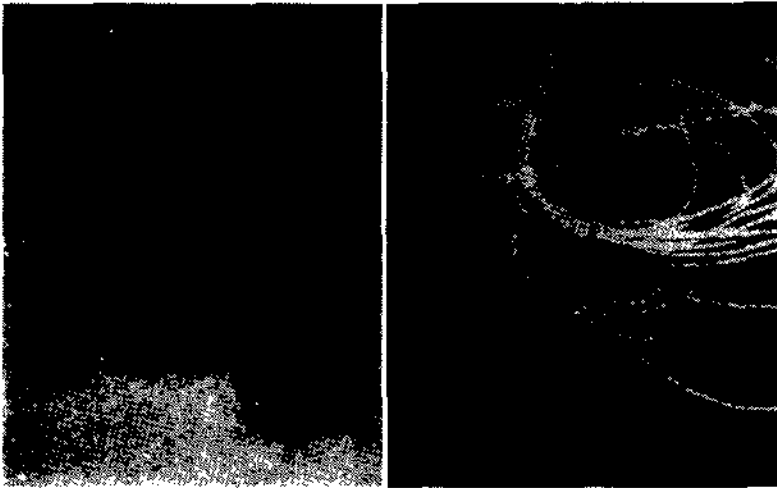
4.1 보정절차

보정하는 방법으로는 내부의 보정 시그널을 이용하는 방법과 직접 하중을 이용하는 방법 등 두가지가 있다. 이 두 방법의 보정절차는 다음과 같다.

내부의 보정 시그널을 이용하는 방법

- 1) 증폭기의 CAL key를 누른다. 이 때 증폭기는 1.0mV/V의 자체 시그널을 발생시킨다.
- 2) RANGE FINE potentiometer를 조정하여 사용 센서의 감도(Sensitivity: mV/V)와 CAL 시그널 1.0mV/V의 비율에 해당하는 Digital indication 값을 얻는다.

(a) Sensors



(b) Amplifier

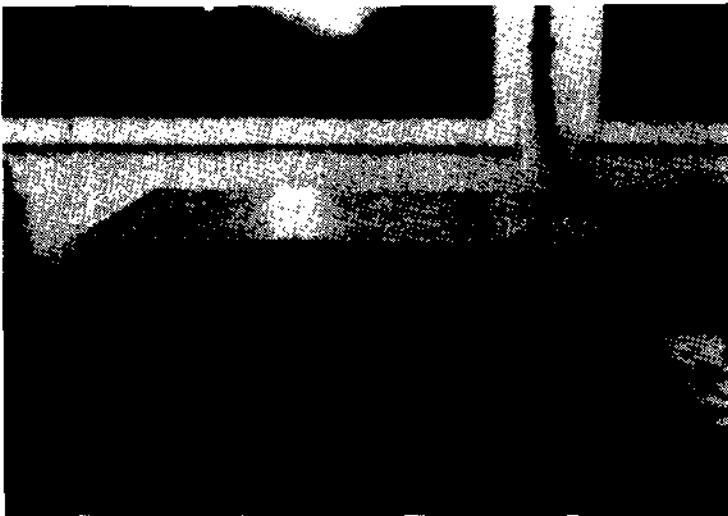


Photo 3.4.1 Load cell meters and amplifier.



직접 하중을 이용하는 방법

- 1) 사용하중에 대하여 Indication 값이 최대로 되도록 측정범위(Measuring Range)를 선택한다.
- 2) 센서에 Calibration 하중을 가한다.
- 3) 사용하중이 Indication 값과 상응하도록 FINE 조정나사를 조작한다.

상기 두 보정절차는 센서에 가해지는 하중과 출력전압 또는 Digital indication 값 사이에 선형관계가 존재하는 Strain Gauge 또는 Inductive transducer의 고유한 성질에 근거를 두고 있으며, 수리모형실험의 경우, 이 두가지 방법중 어느 방법을 사용하여도 무방하다. 그러나, 전자는 센서와 증폭기 사이의 데이터 전송 케이블에 의한 저항이 고려되지 않았기 때문에 케이블 길이가 비교적 짧은(약 10m 이내) 경우에 적절한 방법이며, 후자의 방법은 전자에 비하여 노력이 훨씬 많이 드는 단점이 있기는 하지만, 케이블 길이가 긴 경우에 적합한 방법이다.

4.2 하중 측정 센서의 사용

하중측정 센서로는 Load Cell, Pressure Transducer와 Strain Gauge 등이 있으며 이들 센서들이 공히 Strain Gauge 형식으로 구성되어 있기 때문에 사용방법은 똑 같다. 개략적인 사용방법은 다음과 같다.

- 1) 센서에 하중이 가해지기 전에 증폭기의 Auto - tare key를 사용하여 Digital indication 값이 영이 되도록 한다.
- 2) 센서에 하중이 가해진 상태에서 증폭기의 range dial을 조절하여 증폭기의 출력전압이 ± 10 V 이내에 들어가도록 한다. 출력전압의 해상도를 가능한한 최대로 하기 위하여 최대 출력전압이 가급적이면 ± 10 V에 근사하도록 한다.

- 3) DATA ACQUISITION UTILITY 소프트웨어를 이용하여 출력전압을 득취한다.
- 4) 출력전압을 DERIVED Channel Utility를 사용하여 측정하고자 하는 하중으로 변환한다. 변환식은 다음과 같다.

$$\text{측정하중} = \frac{\text{측정범위 (mV/V)}}{\text{센서의 감도 (mV/V)}} \times \frac{\text{출력전압 (V)}}{\text{공칭전압 (V)}} \quad \text{공칭 최대측정하중}$$

Table 3.4.1 Characteristics of analog sensors

| Sensor | Serial No. | Sensitivity (mV/V) | Nominal load | Bridge voltage (Volts) |
|---|--|--|--|------------------------|
| Load Cell: UZA | D77718 D77719 D77720 D77721 | 2.00 | 100 kgf | AC/DC 5 |
| Pressure Transducer (Entran): EPX series | 89L89L13-D02 89L89L13-D03 89L89L13-D06 90B89L13-D04 90B90A19-C01 90B90A19-C02 90B90A19-C03 90B90A19-C04 | 1.70 1.41 2.01 1.37 1.35 1.09 0.88 0.61 | 5 psi | DC 10 |
| Pressure Transducer (Druck): PDCR 911 | 284875 284876 290469 290470 292062 292063 280763 280764 | 10.00 | 200 Kpa 200 Kpa 350 Kpa 350 Kpa 1500 Kpa 1500 Kpa 3500 Kpa 3500 Kpa | DC 10 |

4.3 센서의 사용

현재 보유하고 있는 센서의 감도, 공칭 최대 측정하중, 요구 브리지 전압은 Table 3.4.1 같다.

Table 3.4.1에서 보인 것처럼 Load Cell Meter는 요구 브리지 전압이 5 Volts이기 때문에 Aipec-3000의 AC 및 DC 증폭기를 모두 사용할 수 있으며, ENTRAN Pressure Transducer는 DC 10 Volts이므로 DC 증폭기만을 사용할 수 있다. Load Cell Meter의 보정은 임의 중량의 물체를 정밀한 저울을 사용하여 중량을 측정한다. 이 물체를 Load Cell Meter에 연결하여 그 중량에 해당하는 증폭기의 Digital Indication이 나타나도록 RANGE FINE Dial을 조절하면 된다. Load Cell은 원칙적으로 측방향으로 작용하는 압축력 또는 인장력을 측정할 수 있도록 설계되어 있기 때문에 측방향에서 벗어나는 하중을 작용시키면 센서의 파기를 초래할 수 있으므로 조심해야 한다. 이 Load Cell은 방수처리되어 있으나, 반일의 사태를 대비하여 Silicon Glue를 사용하여 센서 및 센서와 데이터 전송 케이블의 연결부위를 추가적으로 방수처리를 하는 것이 좋다.

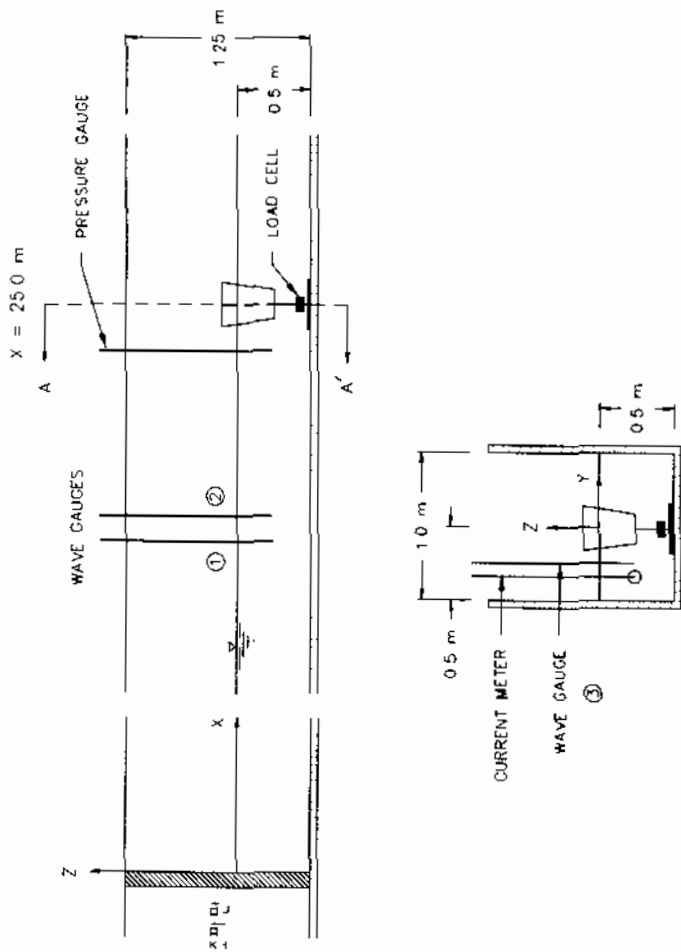
ENTRAN Pressure Transducer는 piezoelectric type 으로, 끝이 볼트로 되어있다. 볼트연결을 할때 사용자 편함에 명시되어 있는 토크를 기하는 것이 바람직하며, 과도한 조임은 센서의 영구변형을 일으킬 수 있기 때문에 피해야 한다. 또한, 강력 접착제는 센서의 영구변형을 초래할 수 있으므로 이와 같은 물질을 사용하여 센서를 거치하는 방법은 사용하지 말아야 한다. 이와 같이 센서의 출력전압은 볼트조임에 정도에 따라 변하므로, 실험중에 임의 볼트조임 상태에서 센서의 영점조정을 한 이후에는 센서의 조임정도를 변화 시키지 말아야 한다. 현재 보유중인 센서는 방수를 위하여 센서와 약 2 m 정도의 데이터 전송 케이블을 일루미늄 튜브로 둘러 싸는 형

식으로 되어 있다. 알루미늄 튜브의 과도한 휨은 튜브의 파손을 야기할 수 있기 때문에 주의할 요한다. 또한, 알루미늄 튜브는 데이터 전송 케이블의 Shield screen 과 연결되어 있어야 하며, 비 연결시에는 중폭기의 접지 코드와 튜브를 연결하는것이 바람직하다.

앞서 언급한 것처럼 Alpha-3000은 Strain Gauge Type의 센서들을 수용할 수 있기 때문에 본 장 3절에서 소개한 Druck pressure transducer도 Alpha-3000에 연결해서 사용할 수 있다. 이 경우에 Alpha-3000의 측정범위(Measuring range)를 조정하여 측정의 정밀도를 높일 수 있다. 다만, 이 경우에는 Druck Transducer의 연결 plug를 Alpha-3000에 맞도록 변경시켜야 한다.

4.4 측정결과

Load cell과 Pressure transducer의 적용성을 조사하기 위하여, 파링-흐름 복합수 조내에 긴장 계류된 부유체를 설치하여 실험을 수행하였다. Fig.3.4.1에 보인 바와 같이 파고계, 유속계, Load cell, Pressure transducer를 설치하였다. Load cell은 남으로 된 바다 앵커에 연결하고 cell의 반대편을 실험 부유체의 계류라인에 연결하여 계류라인에 가해지는 인장력을 측정하였다. 실험파장은 수심 50cm, 파고 15cm, 주기 2초인 규칙파이며, 실험결과는 Fig. 3.4. 2에 나타내었다.



A-A' SECTION

Fig. 3.4.1 Test for a taut moored buoy system

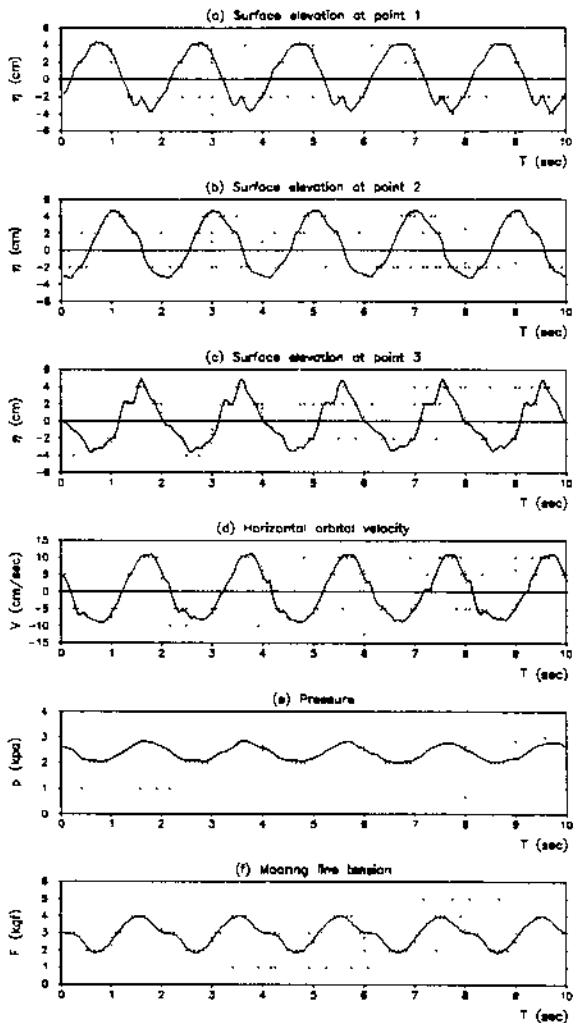


Fig. 3.4.2 Test results for a taut moored buoy.

제 5 절 CHURCHILL Wave Monitor의 사용

본 기기는 일종의 Capacitance type의 파고계로서 16 Channel의 Wave Monitor와 길이 50 cm의 probe 8개, 길이 100 cm의 probe 8개로 구성되어 있다(Photo 3.5.1 참조). Probe는 두개의 wire로 구성되어 있으며, Power Supply Unit에서 공급되는 DC 15 Volt에 의하여 침수된 두 wire 간에 흐르는 전류를 Monitor가 감지하여 Voltage로 변환하여 출력한다. 두 wire 간의 전류는 probe가 물속에 잠기는 깊이에 비례한다.

본 기기의 사용 절차는 다음과 같다.

- 1) Zero Sensitivity: Wave Monitor Module을 Case에서 분리하여 Sensitivity Switch를 조정한다. 50 cm의 probe를 사용할때는 Switch를 "S"에, 100 cm의 probe를 사용시는 "L"에 맞춘다. 이 Switch는 Monitor Module의 "SET DATUM"의 Sensitivity 를 조절하기 위한것이다.
- 2) Lead Compensation: Probe의 침수 깊이와 출력 Voltage간의 완벽한 선형성을 확보하기 위하여 probe와 Monitor 사이의 Data Cable 자체의 저항을 보상한다 (Lead Compensation). Probe cable은 probe에서 분리하여 Amplifier의 TEST socket에 연결하고 Toggle switch를 TEST 의치에 놓는다. SET OUTPUT dial을 시계방향으로 끝까지 돌린다. SET DATUM dial을 돌려 Indicator의 바늘이 정중앙에 위치하도록 한다. Push button을 눌렀을때 Indicator의 눈금이 변하지 않을 때까지 COMP control 나사를 조절한다. 조절이 완료되면 cable을 probe에 연결한다.

3) Calibration: 측정하고자 하는 파고를 고려하여 Wire의 침수깊이를 결정한다. 침수 깊이가 극소할때는(약 10cm 미만) 침수깊이와 출력 Voltage 사이에 약간의 비선형성이 존재할 수 있기 때문에 가능하면 15cm 이상의 침수깊이를 정수면 하에서 확보하는 것이 좋다. SET DATUM 다이얼을 사용하여 정수면에서 probe의 zero를 맞춘다. 측정 파랑의 진폭에 해당하는 연직 길이를 zero 점에서 상.하로 일정한 간격으로 나누어 축차적으로 Calibration을 실시한다. Calibration을 별도의 용기에서 행한후 수조에 설치하여 zero 점을 맞추고 실지측정을 수행할 수도 있으나 실험의 정밀을 기하기 위하여 수조에서 실험계획 정수면에서 Calibration을 행하고 그 정수면과 probe의 침수깊이를 보게하여 실험에 착수하는 것이 좋다. Calibration 시에는 Out voltage를 probe의 최대 변화폭내에서 ± 10 Volts에 최대한로 근접하도록 SET OUTPUT dial을 조절한다.

4) 파고측정: 정수면에서 SET DATUM 다이얼을 조절하여 probe의 zero를 맞춘다. Calibration 시 사용하였던 Output scale을 변화시키지 않고 실험을 수행한다. SET OUTPUT dial은 rock 장치가 부착되어 있어 Calibration시 Setting한 값을 고정시킬 수 있으며 이후에는 Calibration 을 다시 수행할 경우를 제외하고는 절대로 rock을 풀어서는 안된다. Wire probe는 두 wire가 파랑의 진행방향에 평행하게 설치되어야 한다. 왜냐하면 probe 끝에 위치한 두 wire의 연결 부분의 저항을 최소화하기 위해서이다.

Probe를 장시간 사용하여 probe 표면에 기름층 또는 이물질 막이 형성될 경우 probe 간의 전류흐름이 방해될 받게 되므로 probe의 보관시에는 Alcohol로 wire를 청소해 두는 것이 좋다. 본 probe를 소금물에서 사용하는 것은 원칙적으로 금지하는 것이 좋다.

(a) Sensor



(b) Amplifier

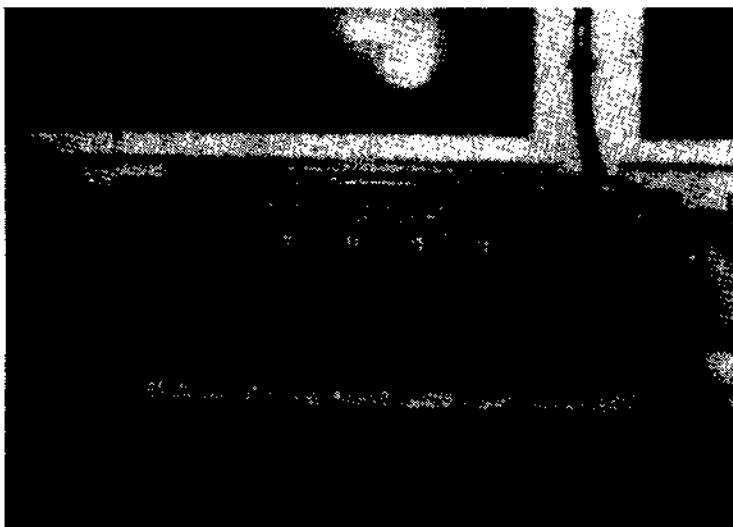


Photo 3.5.1 Wave gauges and amplifier.



제 4 장 결 론

본 연구에서는 1989년도 기본연구사업으로 건설된 파랑-흐름 복합수조의 효율적인 운용을 위한 수조의 보정 및 성능시험을 수행하였으며, 보유하고 있는 다수의 계측 기기의 검·교정을 수행하였다.

본 수조의 성능시험결과, 만족할 만한 결과를 얻었다. 즉, 수조 끝단에 설치한 경사식 소파기는 파 에너지를 효과적으로 흡수하는 것으로 나타났으며, 실험시 모형구조물로부터 반사되어 조파기로 다시 돌아 오는 반사파를 흡수하기 위해 설치한 반사파 흡수필터의 성능시험결과, 완벽하다고는 볼 수 없으나 거의 대부분의 반사파를 흡수하는 것으로 나타났다. 또, 본 수조를 개수로 실험에 사용 가능성을 여부에 대한 실험결과, 이 역시 충분히 가능성을 알 수 있었다. 본 연구실에서 보유하고 있는 다수의 정밀 계측기기에 대한 시험결과도 만족할 만한 것으로 나타났다. 또한, 이와 같은 실험을 효율적으로 수행할 수 있도록 조파기 및 계측장치의 가동을 컴퓨터를 이용하여 자동으로 할 수 있는 중앙집중적인 제어시스템 및 득취 데이터의 분석시스템을 구축하였다.

본 수조는 장치 연안공학에 관련된 기초 및 응용연구, 즉, 현장용 계측기기의 검증, 개수로의 흐름, 피랑과 흐름이 동시에 존재하는 경우, 파랑의 변형 등에 관련된 기초연구와 유공식 방파제의 단면실험, 부유식 소파제의 실험 등의 응용연구에 심분 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 수리실험 부재의 국내 연안공학 발전에 많은 공헌을 하리라 전망된다.



참 고 문 헌

해양연구소, 1990, 2차원 피랑-흐름 복합수조 건설 및 운용, BSPE 00166-276-2.

Arctec Offshore Corporation, 1990, Wavemaker System Hardware/Software Reference Manual.

Churchill Controls, 1986, Wave Monitor Manual.

Druck Limited, 1986, Multichannel Digital Pressure Indicator Handbook.

Entran Devices Inc., 1989, Pressure Transducer Instruction and Selection Manual.

Delft Hydraulics Lab., 1987, Manual for Water Current Meter (W.V.M.).

Hottinger Baldwin Messtechnik, 1988, Operating Manual: U2A, C2.

Hottinger Baldwin Messtechnik, 1988, Operating Manual: Alpha 3000.

