

천흘수 부유식 해양 구조물의 유탄성 모형시험 기법 개발에 관한 연구

신현경*, 박인규**, 신현수**, 김성겸*, 양영수*

A Study on the Development of Hydroelastic Experimental Techniques of Very Large Box-shaped Floating Structures with Shallow Draft

by

H. Shin*, I.K. Park*, H.S. Shin**, S.K. Kim* and Y.S. Yang*

요 약

본 논문에서는 해상공항 등 그 길이가 수 km에 달하는 초대형 부유식 해양구조물의 대모형 실험기법을 제시하고, 제시된 모형실험 기법을 바탕으로 한 실제 실험을 수행하여 초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 운동특성을 파악하였다. 모형실험의 구조물로는 일본의 메가플로트 구조물($L \times B \times D = 300m \times 60m \times 2m$)을 대상으로 7m급의 모형을 제작하여 실험을 수행하였다. 모형실험에서는 모형의 유탄성 거동을 측정하기 위하여 3행 9열의 지점에 포텐서미터를 설치하였으며, 선수, 선미, 중앙부의 양 끝단에 8개 스트레인 게이지를 부착하였다.

Abstract

In this paper hydroelastic experimental techniques of very large floating offshore structures are suggested based on the model test carried out in the UOU Ocean Engineering Wide Tank. The prototype is a box-shaped floating structure with length of 300m, breadth of 60m, depth of 2m and draft of 0.5m and longitudinal bending rigidity as $4.87 \times 10^{10} \text{kgm}^2$. The scale ratio is 1/42.857. The model is realized by aluminum square pipes with the section dimension of 20mm×20mm. The numbers of longitudinal and transverse pipes are 7 and 35 respectively. Heave motions at selected points are measured with potentiometers and bending moments with strain gages.

발 표 : 1998년도 대한조선학회 추계연구발표회 ('98. 11.13)

접수일자 : 1999년 3월 12일, 재접수일자 : 1999년 9월 10일

*정회원, 울산대학교 수송시스템공학부

**울산대학교 수송시스템공학부

***정회원, 현대중공업 선박해양연구소

1. 서론

해상 공항과 같은 부유식 해상 구조물 등을 천수만에 건설하려는 노력이 미국 및 일본에서는 구체적으로 진행 중이다. 해상에 공항과 같은 초대형 부유식 구조물을 건설하기 위해서는 구조물에 대하여 이론적인 해석이 이루어져야 한다. 이론적인 해석 결과를 검증하는 방법으로는 모형을 사용한 시험법과 실제 구조물을 사용한 시험법이 있다. 이 두 방법 중 시간적, 경제적인 문제로 모형 시험법을 많이 실시하고 있다. 본 연구는 초대형 부유식 구조물의 국내최초의 해양공학광복수조를 이용한 유탄성 응답 모형시험과 자료처리 기법을 정립하는 것을 목표로 하였다. 정립된 모형시험 기법에 따라 일본의 메가플로트를 실험 대상으로 하여 7개의 종 부재와 35개의 횡 부재를 가지는 격자모양의 모형 구조물을 상사비(S)에 따라 만들었다. 중앙의 종 부재에 등 간격으로 배치된 8개의 스트레인게이지를 사용하여 알루미늄 파이프의 굽힘 변형을 계측하였으며, 3행 9열로 배치된 27개의 포텐서미터를 사용하여 파도중 모형의 유탄성 응답을 계측하였다. 또한 본 논문에서는 위 실험에 있어서의 데이터 취득방법 및 취득된 데이터 처리에 관한 일련의 과정을 제시하였다[1], [2],[5].

2. 모형시험 과정

초대형 부유식 해양 구조물 모형시험은 Fig.1 을 따라 이루어진다. 각 단계별 상세 흐름도는 Fig.2, Fig.3, Fig.4와 같다.

각 단계별로 고려하거나 결정해야 할 사항은 아래와 같다.

1) 구조물 선정

구조물의 크기, 형상 및 강성과 설치 지역의 해양 환경상태 등의 자료 수집

2) 모형 디자인

구조물이 실제로 설치될 장소의 해상 상태를 고려하여 실 해역의 유의 파고 및 파도의 주기를 확인한다. 실험을 수행할 장소를 고려하여 모형의

축척비를 결정하고, 조파해야 할 파도의 주기를 식 (1)에 의해 결정한다.

$$\left(\frac{L_s}{L_m}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{T_s}{T_m}\right) \tag{1}$$

조파 할 파도의 파장, 진동수는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\frac{\omega^2}{g} = \frac{2\pi}{\lambda} \tanh \frac{2\pi}{\lambda} h \tag{2}$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g} \tanh^{-1} \frac{2\pi}{\lambda} h} \tag{3}$$

모형의 크기, 형상, 부재의 재질, 구매 및 제작 방법 등을 최종 결정한다.

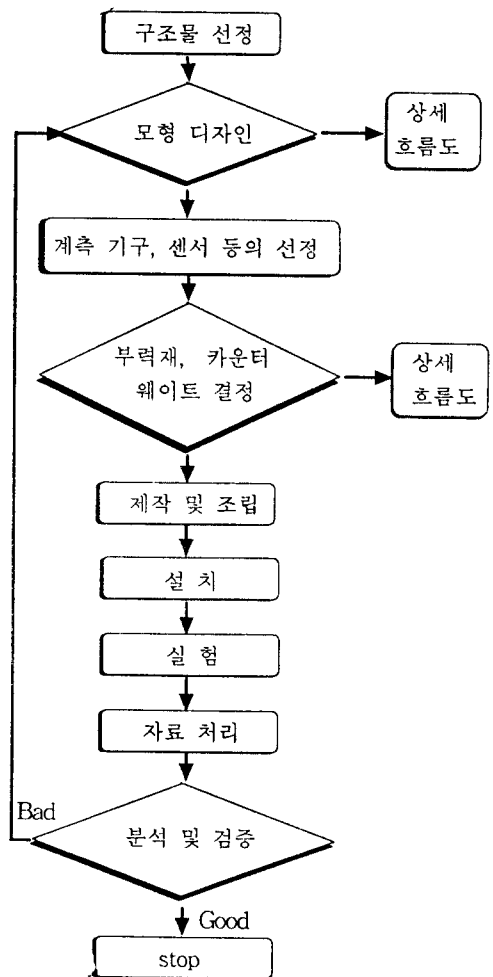


Fig.1 Flow chart of model test

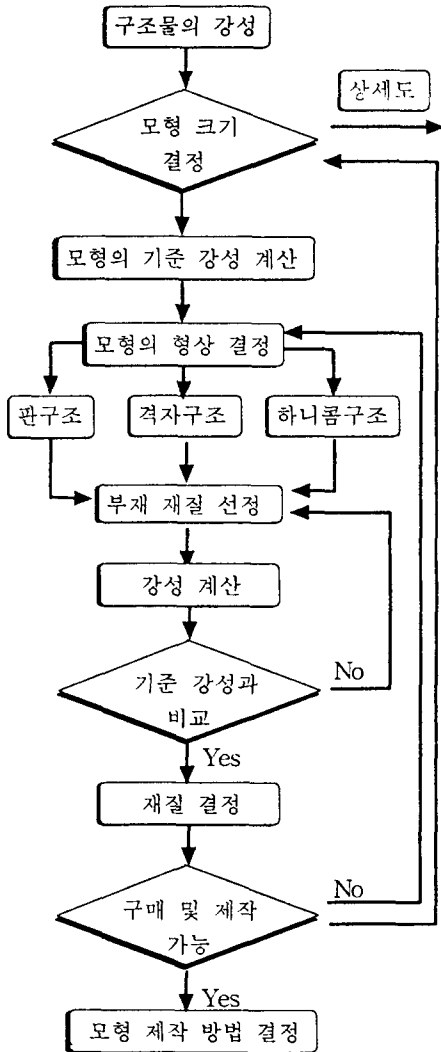


Fig.2 Flow chart of model design

3) 계측 기구, 센서 등의 선정

계측 기구의 동작 특성 및 성능, 사용할 센서의 종류 및 개수, 센서의 설치 지점, 신호의 계측 방법, 사용할 채널의 수, 센서의 캘리브레이션 방법 등을 결정한다.

4) 부력재, 카운터웨이트 결정

부력재, 카운터웨이트 결정 과정은 Fig.4에 따라 결정한다. 흡수 시험용 유닛은 유닛이 충분히 물을 먹은 상태로 무게를 측정한다. 모형의 무

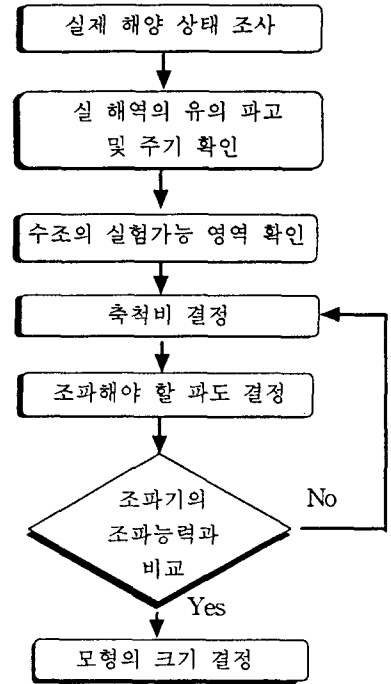


Fig. 3 Flow chart of model size determination

계 = 단위 유닛의 무게 × 유닛 수 - 카운터웨이트 무게이다. 단위 카운터웨이트의 무게는 100g ~ 400g 이내에서 결정한다.

5) 조립 및 제작

재료 가공 방법, 부재의 조립 방법, 방수 방법, 센서 설치 및 배선 방법 등을 결정하고, 모형 및 상부 프레임을 제작한다.

6) 설치

진수 방법, 모형의 고정 방법, 모형의 이동 방법, 계측 장치의 배치 방법 등을 결정한다.

7) 실험

파도의 종류, 실험의 회수, 샘플링 시간과 간격 등을 결정한다.

8) 자료 처리

자료 분석 방법, 필터링 방법 등을 결정한다.

9) 분석, 검증

실험의 신뢰도 확인 방법, 이론 결과와 비교 방법 등을 결정한다.

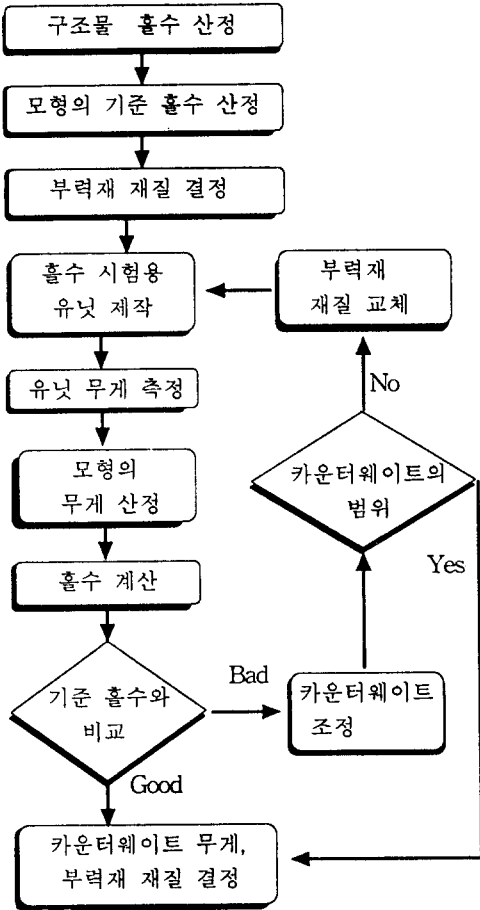


Fig. 4 Flow chart of buoyancy and counter weight

3. 모형 디자인

3.1 실선

$L \times B \times D \times d = 300m \times 60m \times 2m \times 0.5m$ 인 상자형의 부유식 구조물이다. 실선의 강성은 $(EI) = 4.87 \times 10^{10} kgm^2$ 이며, 일본의 실험 해역 실험 모형인 메가플로트를 실험 대상으로 하고 있다.

3.2 모형 디자인

UOU 탱크의 크기와 실험 여건 등을 고려하여 적절한 모형의 길이를 7m로 결정하였다. 이 때

축적(S)는 다음과 같다.

$$S = \frac{Ls}{Lm} = \frac{300}{7} = 42.857$$

이 비율에 따라 나머지 치수를 결정하면 $L = 7m$, $B = 1.4m$, $d = 0.01167m$ 이다.

다음으로 모형을 구성할 알루미늄 사각 파이프의 치수와 개수를 결정한다. 상사법칙에 따른 모형의 강성 근거식

$$\frac{EI_{sL}}{EI_{mL}} = S^5$$

에서 EI_{mL} 을 구한다.[1],[5]

$$EI_{sL} = 4.87 \times 10^{10} kgm^2$$

$$EI_{mL} = \frac{EI_{sL}}{S^5} = \frac{4.87 \times 10^{10}}{42.857^5} = 336.83 kgm^2$$

EI_{mL} 에 근접하게 알루미늄 사각 파이프의 치수를 20mm X 20mm X 1.5t로 결정하였다. $E = 7.2 \times 10^9 kg/m^2$, $h = 20mm$, $t = 1.5mm$ 로 계산하면

$$I_m = \frac{bh^3}{12} = \frac{h^4}{12} = \frac{(h_1^4 - h_2^4)}{12}$$

$$= \frac{20^4 - 17^4}{12} = \frac{76479}{12} = 6.37325 \times 10^{-9} m^4$$

$$EI_{mL} = 45.8874 kgm^2$$

1) 종 부재의 개수 결정

앞에서 구한 EI_{mL} , EI_{mL} 의 값을 이용한다.

$$\frac{EI_{mL}}{EI_{mL}} = 7.3425$$

그러므로 종 부재는 7개이다.

2) 횡 부재의 개수 결정

종 방향의 방법과 같이 구하면

$$EI_{sB} = 2.322 \times 10^{11} \quad EI_{mB} = 1,606.059 kgm^2$$

$$EI_{mB} = 45.8874 kgm^2$$

$$\frac{EI_{mB}}{EI_{mB}} = \frac{1,606.059}{45.8874} = 35$$

그러므로 횡 부재의 개수는 35개이다.

3) 부력모듈의 크기설정

부력모듈은 제작 가능한 범위에서 가장 작은 크기로 결정하여 유탄성응답을 잘 반영하도록 하였다. Fig.6과 Fig.7에서와 같이 5개의 종부재와 35개의 횡부재의 교차점에 한 개의 부력모듈이

위치하도록 하였다. 교차점간의 간격은 가로 세로 20cm 이며 유닛 사이에 3mm의 유격을 주었으므로 부력모듈의 크기는 $L \times B \times D = 198.5 \times 198.5 \times 35\text{mm}$ 이다.

4. 제작

4.1 재료

- 알루미늄 파이프(20mm×20mm×7m)14개
- steel 파이프(30mm ×30mm ×6m) 5개
- 합판 5t 4장
- 부력재 (polyethylene 수지 : 2m×1m) 5장
- 알루미늄 앵글(30mm×30mm×10m) 1개
- 실리콘, M5bolt, $\phi 5$ 너트, 사각워셔 등

4.2 가공 및 조립

4.2.1 재료 가공

- 1) 알루미늄 부재의 볼트 구멍 표시 및 가공 작업
 - 종 부재 : 200mm 간격, $\phi 5.2$ hole×35개 가공
 - 횡 부재 : 200mm 간격, $\phi 5.2$ hole×7개 가공

2) 센서 부착 위치 표시

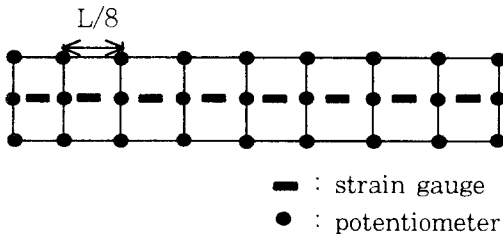


Fig. 5 Position of sensors

- 3) 포텐서미터 부착용 앵글 절단
- 4) 앵글 고정용 볼트 구멍 가공 작업
- 5) 부력재 및 합판의 절단 가공
- 6) 상부 프레임 가공
 - 상부 프레임의 너트와 연결봉의 볼트를 연결
- 7) 구조물 고정용 조인트 제작

- 유니버설조인트와 볼트를 사용해서 제작

4.2.2 유닛 제작

- 1) 부력재($L \times B \times D = 198.5 \times 198.5 \times 30\text{mm}$)와 M5 볼트를 결합
- 2) 1)번의 부재와 합판(5t)을 공업용 본드를 이용하여 결합
- 3) 방수 처리
 - 유닛의 전체 면을 호마이카로 방수 처리

4.2.3 조립

- 1) 종 부재와 횡 부재, 유닛의 결합
 - 연결 부위의 사각 너트를 순간 접착제로 부재와 결합
- 2) 부력재의 유기적 움직임과 삼투압 효과를 방지하기 위해 실리콘으로 부력재 하부를 연결 밀폐
- 4) 홀수 표시
 - 부력재 바닥으로부터 홀수 0.01167m 표시
- 5) 센서의 부착
 - 포텐서미터와 스트레인게이지 부착

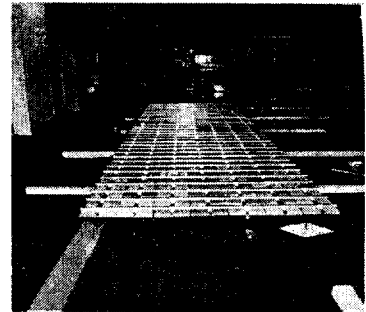


Fig. 6 Final model

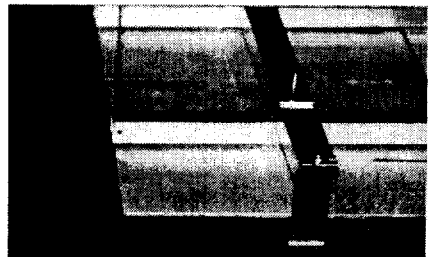


Fig. 7 Draft line

5. 설 치

5.1 케이블

실험에 사용된 케이블은 아래와 같다.

- * 포텐서미터의 신호선으로는 5p 실드(Shield) 케이블 총 3선을 사용
- * 포텐서미터의 전원선으로는 220V 용 연선 비닐 피복선을 사용
- * 스트레인게이지에는 4p 실드(Shield) 케이블을 사용하여 2p는 사용하고 2p는 접지
- * 앰프로부터 PC내의 A/D 카드까지의 케이블은 5p 실드(Shield) 케이블을 사용

모든 케이블은 덕트를 사용하고, 잡신호(noise)를 줄이기 위해서 신호선과 전원선은 분리하여 가급적 멀리 배선하고, 케이블의 연결 부분에는 알루미늄 호일로 감아준다.

5.2 진수

모형이 아주 연한 재료로 되어 있기 때문에 초기 변형이 가해지지 않도록 진수 각을 최소화하며, 종 방향으로 트리밍 탱크에서 진수한다.

5.3 모형과 상부 프레임 결합

5.3.1 상부 프레임의 고정 작업 순서

- 1) 모형을 수조 중앙으로 옮김
- 2) 상부 프레임을 트리밍 탱크로 옮김
- 3) 캐리지를 트리밍 탱크로 이동
- 4) 캐리지에 상부 프레임을 고정
- 5) 캐리지의 움직임을 확인
- 6) 캐리지에 상부 프레임의 양 끝단을 고정

5.3.2 옆 지지 말뚝 및 포텐서미터 풀리 연결

- 1) 상부 프레임의 옆 지지 말뚝의 위치에 맞추어서 모형을 이동
- 2) 상부 프레임과 모형을 연결
- 3) 포텐서미터 풀리(Pulley)에 히브(Heave) 측정용 줄을 감음
- 4) 스트레인게이지 선을 상부 프레임의 브리지 박스에 연결

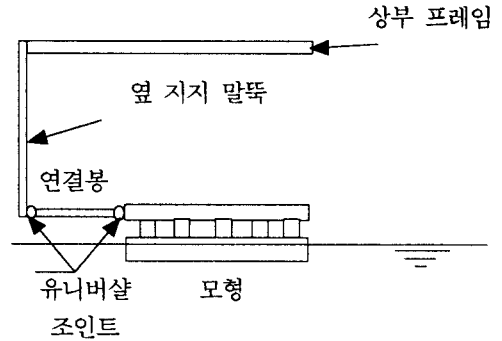


Fig. 8 Transverse motion control system

5.4 그 외의 작업

- 1) 모형을 실험 위치로 이동
- 2) 각 센서의 전원선 및 앰프의 전원선을 연결
- 3) 모형의 앞 지지점에 지지봉을 연결

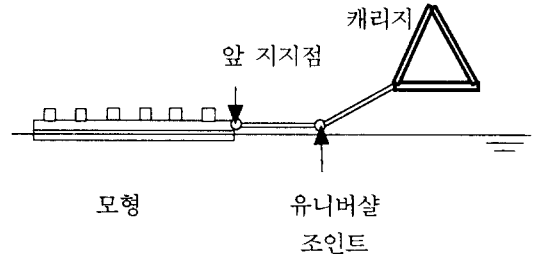


Fig. 9 Longitudinal motion control system

- 4) 포텐서미터 풀리의 영점 조절
- 5) 앰프의 사전 예열
- 6) 신호가 PC에서 샘플링이 되는지 확인

6. 자료처리(Data Acquisition)

6.1 스트레인게이지

6.1.1 데이터 취득 과정

스트레인게이지의 신호는 브리지를 지나면서 위치 및 온도 보정을 한 후 앰프에서 증폭과 필터링을 거친 후 A/D 보드를 통해 PC에 저장된다[4].

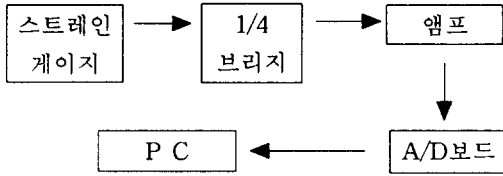


Fig. 10 Signal process of strain gauge

6.1.2 앰프

사용된 앰프에는 잡음을 제거하기 위한 고 영역 및 저 영역 통과 필터가 있다. 각 필터는 2차 버터워스 필터(Butterworth-filter)이다. Table 1 은 사용된 앰프의 사양이다.

Table 1 Amplifier specification

제조국	한 국
제조 회사	고려 전자 시스템
모델 명	KRE - 10A
Filter	HPF - 100 ~ 0.1Hz LPF - 10 ~ 10,000Hz
Gain	100 ~ 5,000 배

6.1.3 스트레인게이지 배선

저항이 모이는 각 지점마다 하나의 선을 이어서 일정하게 타지미(Tajimi) 플러그의 핀과 연결한다.

6.1.4 A/D 보드

조파 시스템에 설치되어 있는 것으로 파고계 데이터를 샘플링하기 위한 것이나, 여기서는 스트레인게이지의 데이터 샘플링에 사용한다. Table 2 는 A/D보드의 사양이다.

Table 2 A/D board specification

제조국	대 만
모델명	PCL-818L
성 능	16ch single-ended or 8 analog input 12-bit A/D, up to 40kHz sampling rate 16 digital input and 16 digital output one 12-bit analog output ch.

6.2 포텐서미터

6.2.1 데이터 취득과정

앰프의 AUX단자에서 +5V, -5V를 뽑아서 포텐서미터의 전원 단자에 연결한다. 이 때 포텐서미터의 출력 전압은 1회전에 -5V ~ +5V 까지를 나타낸다. 그리고, 포텐서미터의 출력단자를 PC와 연결된 신호선과 연결하여 신호가 A/D 보드를 거쳐 PC에 저장된다.

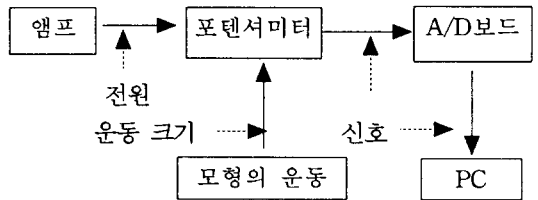


Fig. 11 Signal process of potentiometer

6.2.2 A/D 보드

모델의 히브 운동 계측용 보드이다. 포텐서미터의 데이터는 파장당 256개 또는 파장당 512개가 필요하다. 사용된 보드는 자료 취득, 제어, 신호처리, 영상 처리 등에 적합하다. Table 3은 A/D 보드의 사양이다.

Table 3 A/D board specification

제조국	한 국
제조회사	I.D.S. 시스템
제품명	TMS320C25 PC PLUG-IN CARD
성능	40MHz clock speed 32ch A/D 변환, 4ch D/A parallel I/O 확장 인터페이스
메모리 구성	Satic RAM Dual-port RAM

6.3 파도

6.3.1 데이터 취득 과정

파고계에서 나온 신호는 앰프를 거치면서 증폭되어 2곳에서 샘플링된다. 취득된 데이터를 같은 시간대로 분석하기 위해서는 기준이 되는 신호가 필요하다. 그 기준 신호로 파도를 사용한다.

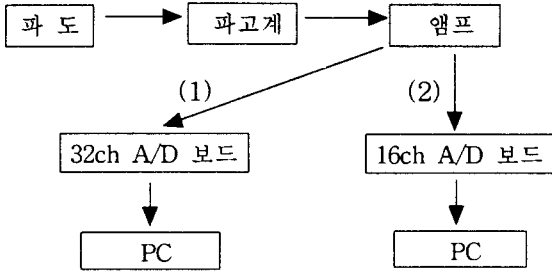


Fig. 12 Signal process of wave

7. 센서

7.1 포텐서미터

파도 중에서 모형의 상·하운동(Heave)을 측정하기 위해서 사용한다. 포텐서미터의 원리는 가변 저항과 같이 포텐서미터 축이 회전하는 각에 따라 저항 값이 달라지고, 이에 따라 출력 단자에서 나오는 전압이 달라진다. 포텐서미터의 축에 연결된 풀리는 외경-φ45이다. 전원은 ±5V를 공급하고, 실험 준비 시 영점조정(Zero setting)을 쉽게 하기 위해서 풀리에 영점의 위치를 표시한다.

포텐서미터의 원리는 Fig.13과 같다.[2] 사용된 포텐서미터의 사양은 Table 4와 같다

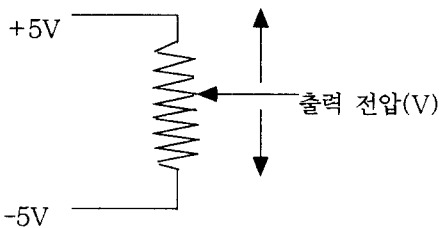


Fig. 13 Diagram of potentiometer

Table 4 Potentiometer specification

제조국	일본
제조 회사	MIDORI
Type	CP-2FCB(M)
저항치	5KΩ
특징	10턴

7.2 스트레인게이지

모형의 중앙 중 부재에 설치하여 파도 중에서 모형에 작용하는 굽힘 응력을 측정하는데 사용된다. 사용된 스트레인게이지의 사양은 Table 6과 같다.

Table 5 Strain gauge specification

제조국	일본
제조 회사	교와(Kyowa)
Type	KFW-5-C1-11 L500
Gage Lenge	5 mm
Gage Resistance	120.0 ±0.3Ω
Gage Factor	2.11 ±1.8%
Thermal Output	±1.8 με/c

7.3 파고계

7.3.1 기본동작원리

저항식 파고계는 파고계의 프루브(Probe)가 물에 잠기는 깊이에 따라서 저항이 달라진다. 이 저항 값에 의해서 파고를 측정할 수 있다.

8. 캘리브레이션(Calibration)

8.1 포텐서미터

포텐서미터를 앵글에 고정하고, φ45풀리를 연결하고, 전원 단자에 +5V와 -5V를 가하고, 줄을 풀리에 건다. 줄의 한쪽 끝에는 추를 달고, 다른 쪽 끝에는 하이트미터(Heightmeter)를 연결한다. 하이트미터를 영점 세팅한 후 아래 위로 5cm 씩 이동시킨다. 이 때 출력단자에서 나오는 전압을 측정한다. 이것으로 측정된 전압과 움직인 거리의 비를 구한다. 이것이 그 포텐서미터의 mm/V상수이다.

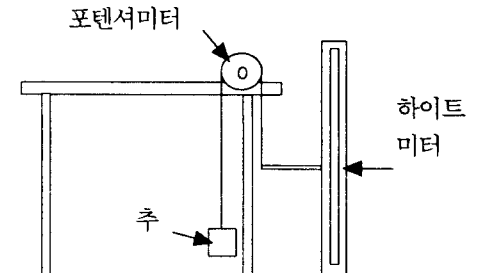


Fig. 14 Potentiometer calibration

8.2 스트레인게이지

7m 종 부재의 자중에 의한 처짐을 이용하여 캘리브레이션한다. 먼저 평평한 바닥에서 양쪽에 높이가 같은 책상을 놓고, 부재에 초기 처짐이 없도록 한다. 이 때 스트레인게이지에서 나오는 전압을 측정한다. 가운데 받쳐 두었던 책상을 제거하고, 자중에 의해서 완전히 처졌을 때 스트레인게이지의 전압과 각 스트레인게이지 설치 지점에서의 처짐량을 측정하여 기록한다.

$$\delta = -\frac{w}{24EI}(x^4 - 2Lx^3 + L^3x)$$

$$M = \frac{wx}{2}(x-L) = z\sigma = zE\epsilon$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M}{zE}$$

여기서, L : 종 부재의 길이

w : 종 부재의 단위길이당 자중

$z = \frac{I}{y}$: 종 부재의 단면계수

y : 종 부재 중심에서 상단까지의 거리

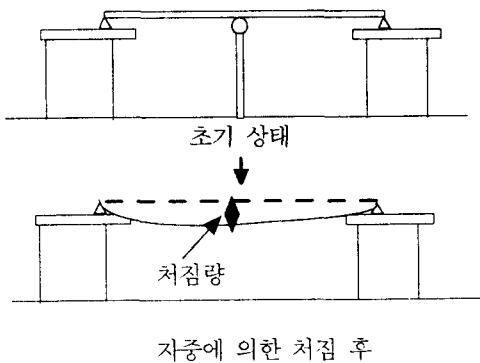


Fig.15 strain gauge calibration

8.3 파고계

8.3.1 캘리브레이션 방법

- 1) 파고계를 정 위치에 설치한다
- 2) 앰프의 전원을 켜고 <gauge select>를 캘리브레이션하고자 하는 파고계의 <Gauge> 번호와 맞춘다
- 3) 오른쪽의 <units/v>를 50으로 조정한다
- 4) 파고계의 중간지점이 수면에 놓이도록 맞춘

신현경, 박인규, 신현수, 김성겸, 양영수

후 <offset> 스위치로 영점 조정한다

- 5) 파고계를 10cm 잠גיע 한 후 <gain> 스위치로 값이 100이 되도록 조정한다
- 6) 다시 4)번에서의 위치로 파고계를 이동시킨 후 <offset> 스위치로 값이 0이 되도록 조정한다.
- 7) 5), 6)방법을 2 ~ 3회 반복하여 0점을 정확히 맞춘다.
- 8) 캘리브레이션용 데이터를 샘플링(Sampling)한다.
- 9) 샘플링 시간동안 파고계를 아래위로 15cm를 움직인다. 이때 5cm씩 3회 움직인다.
- 10) 샘플링이 끝나면 결과 데이터를 이용해서 그래프를 그린다.

8.3.2 캘리브레이션 결과

아래의 식에서 파고계의 캘리브레이션 상수 값 즉, K 를 구할 수 있다.

$$K_1 = \frac{\text{Amplitude}(m)}{\text{volt.}} = 0.04975$$

9. 실험 및 데이터 취득

9.1 실제해상환경 및 실험환경



Fig. 16 Model of VLFS

수심 8m 해상에서 길이 300m인 구조물이 만날 수 있는 파주기는 2~14초이며 파장은 식 (2), (3)에 의해 6.25~121m로 구해진다. 이 때의 값과 축척비(1/42.857)를 사용하여 모형에서의 주기를 식 (1)에 의해 구하면 모형에서의 파주기는 0.31~2.12초이고 이 때의 파장은 0.15~

7.5m이다. 이 중 현재 울산대학교 해양공학광복 수조(L×B = 30m×20m , 수심 2.5m)에서 정확하게 생성가능한 파주기(0.6~2.0초)를 고려하여 실험범위를 $\lambda/L=0.1\sim1.0$ 의 값으로 결정하고 이 때의 파장, 주기, 진동수를 결정하였다.

9.2 입력데이터

Table 6에 각 λ/L 값 별로 파장, 주기, 주파수, 초당 취득데이터 수, 데이터 취득시간을 나타내었다.

Table 6 Input data table

λ/L	λ (m)	T(주기) (sec)	Freq. (Hz)	Sampling rate(Hz)	Measuring time(sec)
0.1	0.7	0.669	1.495	383	6.69
0.2	1.4	0.947	1.056	270	9.47
0.3	2.1	1.159	0.863	221	11.59
0.4	2.8	1.339	0.747	191	13.39
0.5	3.5	1.497	0.668	171	14.97
0.6	4.2	1.639	0.610	312	8.20
0.7	4.9	1.768	0.566	290	8.84
0.8	5.6	1.886	0.530	271	9.43
0.9	6.3	1.995	0.501	257	9.975
1.0	7.0	2.093	0.478	245	10.465

10. 분석, 검토

10.1 데이터 분석

취득된 데이터 분석은 다음의 순서를 따른다.

① 원형 데이터

총 37개 채널을 통해 들어오는 데이터 양은 방대 하여 체계적인 넘버링을 통해 관리한다. 매 실험시 데이터를 확인하여 모든 채널에서 데이터가 들어오는지 확인하고 데이터가 안 들어오는 센서에 대해서는 수정 후 다시 실험을 수행한다.

② 원형데이터 ×캘리브레이션 상수

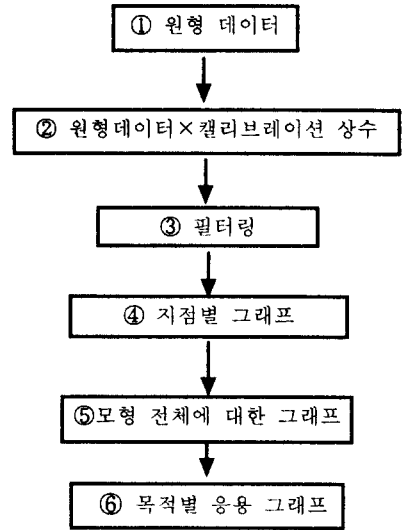


Fig. 17 Data process

전압값으로 들어온 데이터 값에 캘리브레이션 상수값을 곱해서 변위나 모멘트와 같은 물리량로 바꾸어 실험결과를 확인한다. 이 때 예상보다 크거나 작은 값이 나왔을 때는 입력전압, 앰프의 설정값의 이상유무를 확인한다.

③ 필터링

모형에서 측정된 상하운동의 전압값은 앰프에서 버터워스(Butterworth) 필터링을 거친후 취득된다. 하지만 장비와 데이터선에서 생기는 노이즈의 영향이 데이터에 포함되어 측정되는데 이를 메디안 필터링(median filtering)을 이용해 제거한다.[6]

i) 버터워스 필터링:

실험에 사용된 앰프에는 2차 버터워스 필터가 내장되어 있으며 하이패스(high pass) 필터와 로우패스(low pass) 필터를 동시에 사용하여 노이즈를 제거하였다. Fig.17에 회로도를 나타내었다 [4].

ii) 메디안 필터링(중위수 선택방법): 버터워스 필터링 후에도 Fig.18의 a)와 같은 노이즈 성분이 측정되는데 이와 같은 노이즈 성분을 제거하기 위한 최적의 필터링방법이다. 이는 영상인식분야에서 화상의 선명한 외곽선을 찾기위해 주로 사

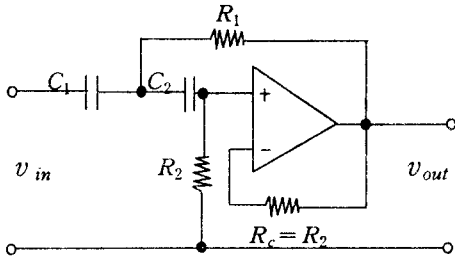
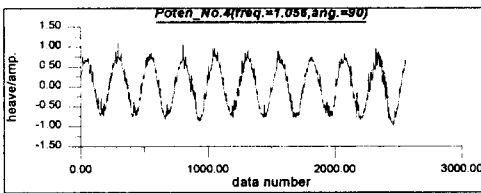
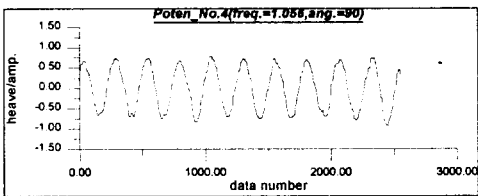


Fig. 18 Two pole active high pass filter

용되는 인근평균방법(neighborhood averaging)을 개선시킨 방법이다. 국소영역의 데이터 집합에서 중위수를 취하여 데이터 값을 대치하는 과정을 반복하면서 한 단계씩 전진해가는 방법이다. 이때 국소영역의 데이터 집합을 너무 작게 잡으면 노이즈가 제거되지 않고 너무 크게 잡으면 원 신호까지 제거될 수가 있으므로 그 범위를 노이즈 신호의 한 파장에 해당하는 데이터 수의 집합으로 잡는 것이 좋다[7].



a) Before Filtering



b) After Filtering

Fig. 19 Median Filtering

④ 지점별 그래프

Fig.19에서와 같은 각 지점별(Fig.5) 그래프를 그려서 다음과 같이 그 데이터의 이상유무를 확인한다.

- i) 노이즈 : 노이즈가 크면 계측장비가 접지가 되었는지, 데이터 선이 접힌 곳이 있는지 확

신현경, 박인규, 신현수, 김성겸, 양영수

인한다.

- ii) 계측불능 : 몇 개의 센서에 대한 데이터 값이 계속이 안되는 경우가 있는데 이는 단선이나 센서의 고장이 원인이다.

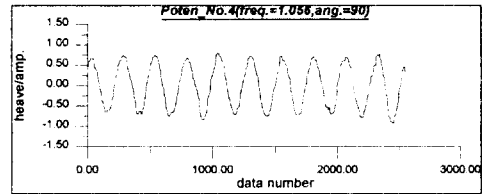


Fig. 20 Vertical motion time history at a position

⑤ 모형전체에 대한 그래프

Fig.19에서의 데이터 값의 피크값(peak value)의 평균을 각 지점별로 구하여 모형전체에 대한 피크값의 분포를 Fig.20과 같은 형식으로 그린다.

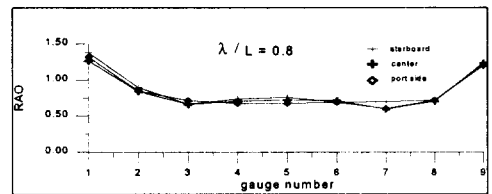


Fig. 21 Vertical Motion RAO (2D display)

⑥ 목적별 응용 그래프

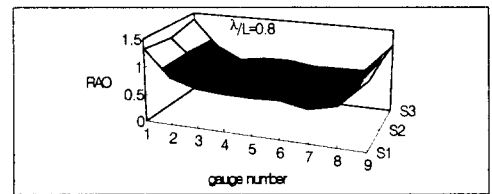


Fig. 22 Vertical Motion RAO (3D display)

Fig.21은 전체 모델의 움직임의 한 눈에 볼 수 있도록 3차원으로 표현한 그래프이다.

위와 같은 데이터분석 과정별로 원형데이터를

원하는 물리량으로 바꾸고 각 그래프를 그리기 위해서는 상용프로그램(EXCEL, Grapher 등)을 이용할 수 있다. 하지만 데이터화일이 크고 양이 많은 반복작업을 위해서 먼저 FORTRAN이나 C++을 이용한 데이터의 변환을 통해 상용프로그램에 적합한 데이터 포맷으로 변환하여 사용했다. 가령 Fig.20와 Fig.21의 그래프를 그리기 위해서는 EXCEL에서는 7×3 행렬로 데이터의 피크값들을 입력하며 Grapher에서는 3×7의 형태로 입력한다.

10.2 데이터 검토

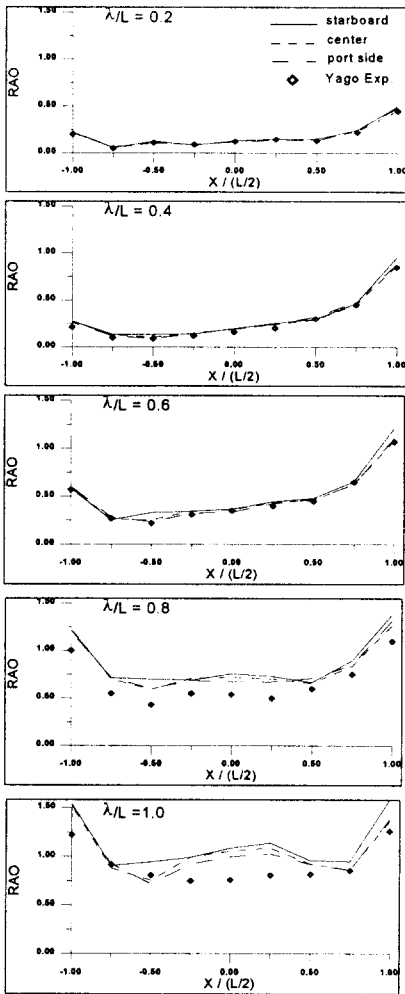


Fig. 23 Vertical motion RAO(2D) (Angle=0° , H=2cm)

파고 2cm 일 때 모형의 RAO값을 Yago의 실험결과와 비교하여 Fig.22에 나타내었으며, 위 그래프는 Yago의 시험결과와 비교하기 위해 선수가 그래프의 오른쪽에 위치하도록 그렸다.[2] λ/L 값이 작을 때는 두 실험결과가 잘 일치하였고, λ/L 값이 클 때는 약간의 차이가 있으며, 이는 수심 조건이 일치하지 않은 결과로 판명된다.

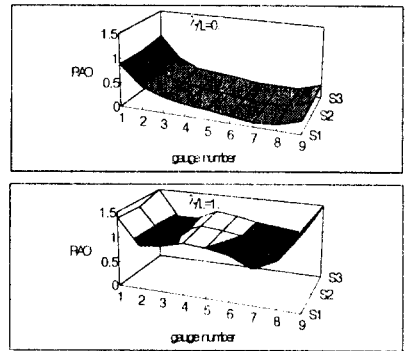


Fig. 24 Vertical motion RAO(3D)

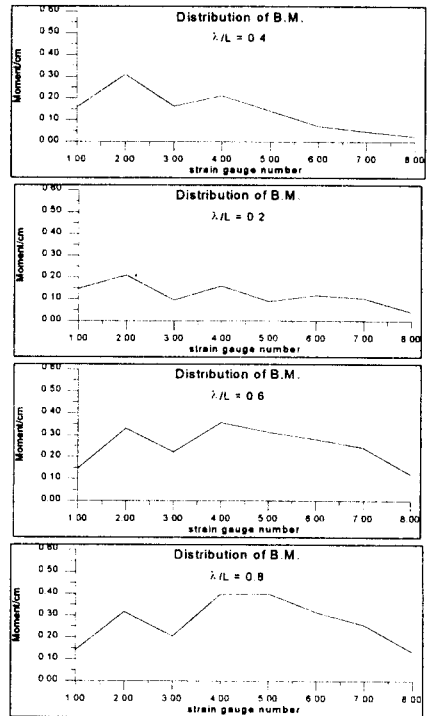


Fig. 25 Bending Moment Distribution (Angle=0° , Wave Height = 2.0cm)

Fig.24는 종부재에 걸리는 굽힘모멘트의 분포를 보여준다.

11. 결 론

초대형 부유식 해양 구조물의 유탄성 모형시험 기법을 제시하였으며, 제시된 기법에 따라 7m급 모형을 제작하여 국내최초로 해양공학광폭수조를 이용한 모형시험기법을 개발하였다. 또한 Yago의 실험결과와의 비교를 통해 제시된 모형시험기법의 유효성을 보였다. 정리하면

1. 모형의 치수 결정 및 제작과정을 흐름도와 사진을 통하여 상세히 제시
2. 실험에 사용된 계측장비 사용법 및 캘리브레이션 방법과 사양의 소개
3. 버터워스, 메디안 필터링을 통해 계측된 신호값에서 노이즈를 제거하는 방법의 제시
4. 데이터 취득 및 처리과정 제시

모형의 상하운동은 파의 진동수가 저차일 때 크고 고차로 갈수록 그 운동이 작아졌다. 저차 진동수의 입사파에서 상하운동의 크기는 선수와 선미에서 거의 같고 중앙부에서는 작으며, 고차진동수에서는 선수에서 크고 점차 운동의 크기가 감소하다가 선미에서 다시 약간 증가하는 경향을 보인다.

또한 고차진동수보다 저차진동수의 입사파에서 굽힘모멘트가 크고, 저차진동수일 때는 모델의 중앙부에 최대굽힘모멘트값이 나타났으며, 고차진동수일 때는 모델의 선수와 중앙부 사이에서 최대 굽힘모멘트값이 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] Kiyokazu Yago & Hisayoshi Endo, "On the Hydroelastic Response of Box-Shaped Floating Structure with Shallow Draft-Tank test", 일본조선학회논문집 제 180호.
- [2] Kiyokazu Yago & Shoichi Hara, "On the Hydroelastic Response of Box-Shaped Floating Structure with Shallow Draft - 3rd Report", 일본조선학회논문집 제183호.
- [3] KYOWA, "Strain gage and Temperature Sensor", Instruction manual, Revised, 1984.
- [4] Robert G. Irvine, "Operational Amplifier", Prentice Hall, 1994.
- [5] 신현경 외, "부유식 해양구조물에 관한 연구-초기설계지침서", 울산대학교, 과학기술처, 3차년도 연구보고서, 1996년 9월.
- [6] 이문호, "디지털 필터설계", 대영사, 1997.
- [7] 김희승, "영상인식", 생능출판사, 1994.