

방파제를 고려한 초대형 부유식 해상구조물의 유탄성 응답 특성에 관한 실험적 연구

신현경^{†*}, 이형락^{*}, 유경훈^{**}, 윤명철^{**}, 강정문^{**}, 김화수^{**}

울산대학교 수송시스템공학부^{*}
현대중공업(주)^{**}

Experimental Study of Hydroelastic Behaviors of VLFS Considering Breakwaters

H. Shin^{†*}, H. L. Lee^{*}, K. H. Yu^{*}, M. C. Yoon^{*}, J. M. Kang^{**} and W. S. Kim^{**}

School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan^{*}
Hyundai Heavy Industries Co., LTD.^{**}

Abstract

In this paper, an experimental study on the hydroelastic behaviors of a VLFS with $L=5,000\text{m}$ was made considering a breakwater. The principal dimensions of the VLFS model were $9\text{m}\times 1.8\text{m}\times 0.0108\text{m}(L\times B\times D)$ and the length of breakwater was $12.6\text{m}(1.4L)$. The distance between the VLFS and the breakwater varied from $B/2$ to $2B$. The wide tank test results were compared with the numerical predictions and the comparison showed a little gap along its longitudinal axis, in spite of using the very small model size due to the scale $1/555.5$.

※key words: VLFS(초대형 부유식 해상구조물), Breakwater(방파제), shunt calibration(셧트 캘리브레이션), hydroelastic response(유탄성 응답), source-dipole distribution (소오스-다이폴 분포)

1. 서론

1999년부터 2001년에 수행된 “초대형 부유식 해상기지 개발사업” Phase 1 (울산대-현대중 2001)에서 제시된 5,000m급 부유식 해상공항을

기본 모델로 하여, 방파제가 전면에 설치된 부유식 해상공항의 유탄성 운동 응답 특성을 실험적으로 규명하였고(신현경 등 1999; Shin et al. 2001) 이미 개발된 프로그램을 사용한 수치해석 결과와 실험결과를 비교함으로써 수치해석 프로그램 (울산대-현대중 1999-2001; 신현경 등 2000a,b)를 재검증하였다. 본 논문에서는 길이 5,000m, 폭 1,000m, 깊이 6m, 흘수 1.5m인 실제 구조물에 대해 울산대학교 해양공학광복수조의 크기와 조파

접수일: 2003년 9월 29일, 승인일: 2004년 2월 4일

†주저자, E-mail: hkshin@mail.ulsan.ac.kr

†주저자, Tel: 052-259-2696

능력을 고려하여 상사비 1/555.55로 모형을 결정하였고, 수심 0.13m인 천수상태에서 방파제가 있는 경우와 없는 경우에 대해 규칙파에 대한 실험을 수행하였다.

2. 모형 시험

2.1 모형의 구성

결정된 상사비에 따라 모형의 크기는 길이 9m, 폭 1.8m, 흘수 2.7mm로 결정하였다. 모형의 강성을 결정하기 위해 ITTC 2002 'Loads and Responses Committee' 에 의해 추천된 Quasi-computed Method를 이용하였으며, 최종 결정된 실선과 모형의 강성 EI는 다음과 같다.

$$EI_{pL} = 4.763 \times 10^{14} \text{ kgf m}^2 \quad (1)$$

$$EI_{mL} = 9 \text{ kgf m}^2 \quad (2)$$

모형은 알루미늄 판과 부력재로 제작되었으며, 접착재를 이용해서 결합시켰다. 모형의 주요재원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions of VLFS model

	Prototype	Model
L×B×d	5,000m×1,000m ×1.5m	9m×1.8m ×0.0027m
EI(kgfm ²)	4.763×10 ¹⁴	9

2.2 모형 시험의 수행

2.2.1 파랑조건

길이 5,000m인 구조물이 실제 해상 상태에서 만날 수 있는 파의 주기를 6~28초라 가정할 때 조파해야 할 파의 파장과 주기는 식 (3)~(5)에 의해 구해진다. 현재 울산대학교 해양공학광복수조에서 정확하게 생성 가능한 파주기를 고려할 때, 규칙파의 파주기를 Table 2에서와 같이 $\lambda_\infty/L = 0.05 \sim 1.0$ 의 값으로 결정하고 이 때의 파장, 주기,

진동수를 결정한다.

$$\frac{L_p}{L_m}^{\frac{1}{2}} = \frac{T_p}{T_m} \quad (3)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \omega^2 \tanh \frac{2\pi}{\lambda} h \quad (4)$$

$$T = \sqrt{\frac{\lambda}{g} \frac{1}{\tanh \frac{2\pi}{\lambda} h}} \quad (5)$$

여기서 L_p 와 L_m 은 각각 실선과 모형선의 길이이고, T_p 와 T_m 은 각각 실제 해상과 수조에서의 파도의 주기이다. λ 와 ω 는 파장과 파의 진동수이다.

천수 중에서 파장과 주기를 결정하기 위해서 심수에서의 파장과 주기 중의 한 가지를 기준으로 하여야 하는데 만약 심수 중의 파장을 기준으로 천수 중의 주기를 계산하면 0.21초에서 0.95초 사이의 값이 되며, 울산대학교 해양공학광복수조에서 생성할 수 있는 기준 0.5초(2Hz)를 벗어남으로 파도 주기를 기준으로 하여 천수 중의 파장을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Input data table in regular wave

λ_∞/L	Real sea		Model (Deep)		Model (Shallow)	
	λ_∞ (m)	T(sec.)	λ_∞ (m)	T(sec.)	λ_∞ (m)	T(sec.)
0.05	250	12.66	0.45	0.53	0.43	0.53
0.1	500	17.90	0.90	0.76	0.76	0.76
0.2	1000	25.32	1.80	1.07	1.19	1.07
0.3	1500	31.01	2.70	1.32	1.5	1.32
0.4	2000	35.81	3.60	1.52	1.76	1.52
0.5	2500	40.04	4.50	1.70	1.99	1.70
0.6	3000	43.86	5.40	1.86	2.19	1.86
0.7	3500	47.37	6.30	2.01	2.38	2.01
0.8	4000	50.64	7.20	2.15	2.55	2.15
0.9	4500	53.71	8.10	2.28	2.71	2.28
1.0	5000	56.62	9.00	2.40	2.86	2.40

2.2.2 계측 장비 및 계측 위치

모형시험에서 취득할 데이터는 상하운동을 측정하기 위한 57채널의 포텐서미터(Potentiometer) 신호와 굽힘모멘트 측정을 위한 51채널의 3방향 스트레인게이지(Rosette) 신호이며, 파고계 2개를 설치하여 파고를 측정하였다. Fig. 1에 포텐서미터의 위치를 나타내었고 스트레인게이지 위치는 Fig. 2에 나타내었다. 파고계 신호는 구조물 전방과 측면에서 측정하였다.

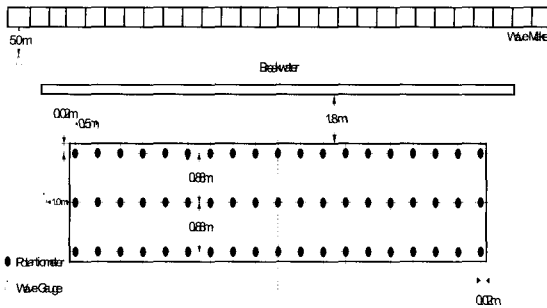


Fig. 1 Position of potentiometers



Fig. 2 Position of strain gauges

3. 수치해석

본 연구에서는 일반화된 방사문제(Utsunomiya et al. 1998)를 해석하기 위하여 방파제를 포함한 소로스-다이플 분포를 사용하였다. 방파제의 산란 효과는 방파제 전면 및 후면에 입사하는 파랑을 해석하기 위해 속도포텐셜 접속법(Ohmatsu 1999)

을 사용하였고, 유체영역을 방파제 전면 및 후면의 두 부분으로 나누어 수치 정합하는 방법을 사용하였다. 또한 속도포텐셜 접속법에 의해 계산된 방파제 후면의 입사파랑을 특이점 분포법에 의한 계산에 입력으로 사용하여 모형 주위의 산란 포텐셜을 계산하였다. 구조물의 응답은 고유 모드를 이용한 판 방정식을 도입하여 계산하였다(이호영 등 2002).

계산 예로 길이가 5,000m인 부유식 해상공항에 입사하는 파랑의 주파수와 해상공항과 방파제 사이의 간격을 바꾸어 계산을 수행하였고, 방파제가 설치된 경우의 실험과 비교하였다.

4. 상하운동

규칙파 중의 상하운동 RAO는 포텐서미터에서 계측된 신호에 캘리브레이션 상수를 곱하여 각 위치별 상하운동진폭을 구하고 입사파의 진폭으로 나누어 그 결과를 나타내었다.

4.1 방파제의 위치에 따른 천수에서의 상하운동

파고가 4cm이고, 입사각이 90°인 11가지 규칙파 중에서 0.53s(1.87Hz), 1.70s(0.59Hz) 및 2.40s(0.42Hz)의 규칙파에 대해 방파제와 모델간의 거리가 0.9m, 1.8m, 3.6m 떨어진 각각의 경우에 계측된 상하운동을 수치해석 값과 비교하여 Fig. 3, 4, 5에 나타내었고, 방파제가 없는 경우의 상하운동 RAO도 함께 포함되었다.

5. 굽힘모멘트

굽힘모멘트는 실험 전 Shunt 캘리브레이션(Dally 1993)을 수행하여 변형도를 계산하고, 이를 이용하여 캘리브레이션 상수를 계산하여 모멘트를 구한다. 구조물을 보로 가정하면 아래의 식들이 성립된다.

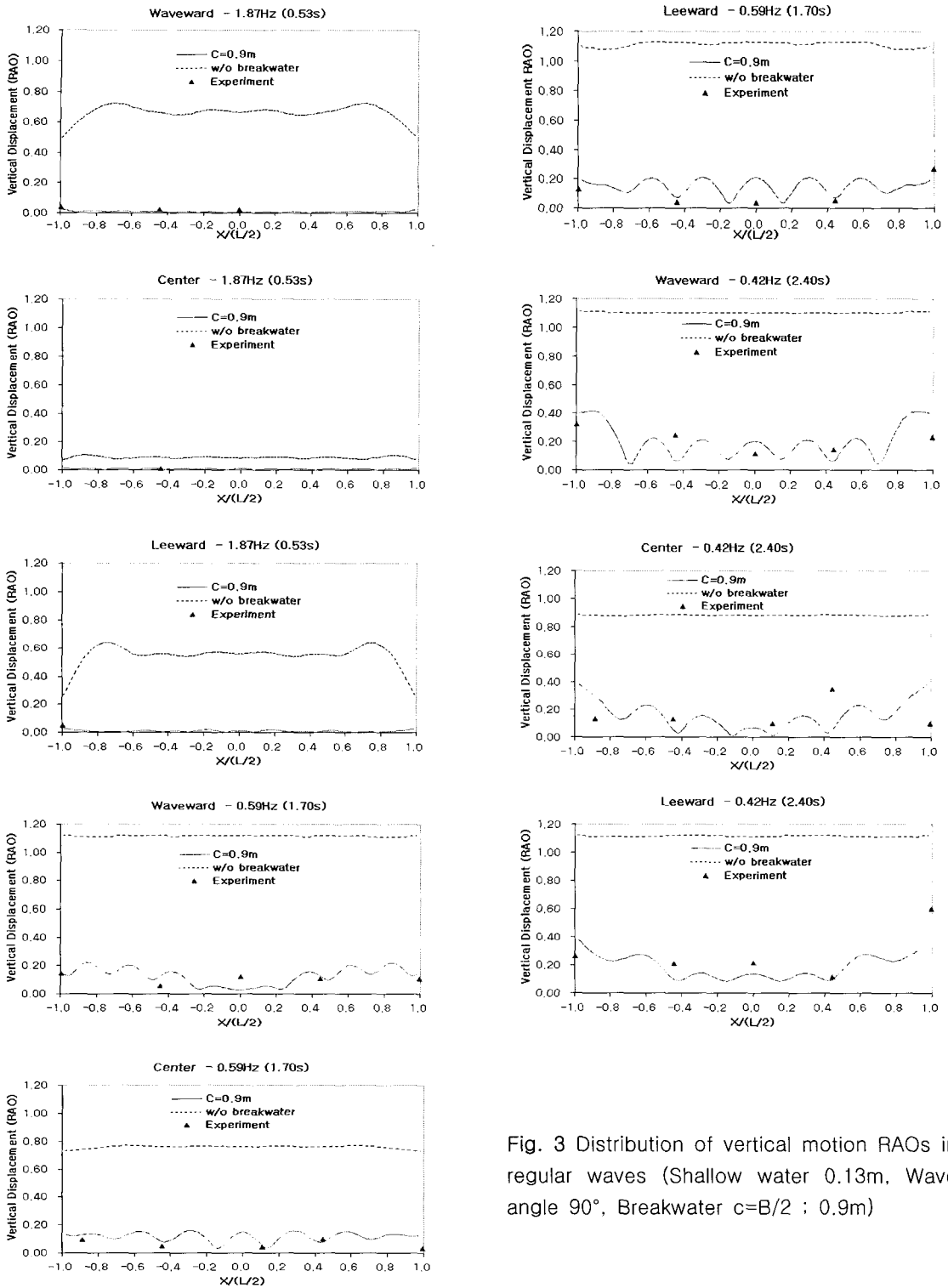


Fig. 3 Distribution of vertical motion RAOs in regular waves (Shallow water 0.13m, Wave angle 90°, Breakwater $c=B/2 ; 0.9m$)

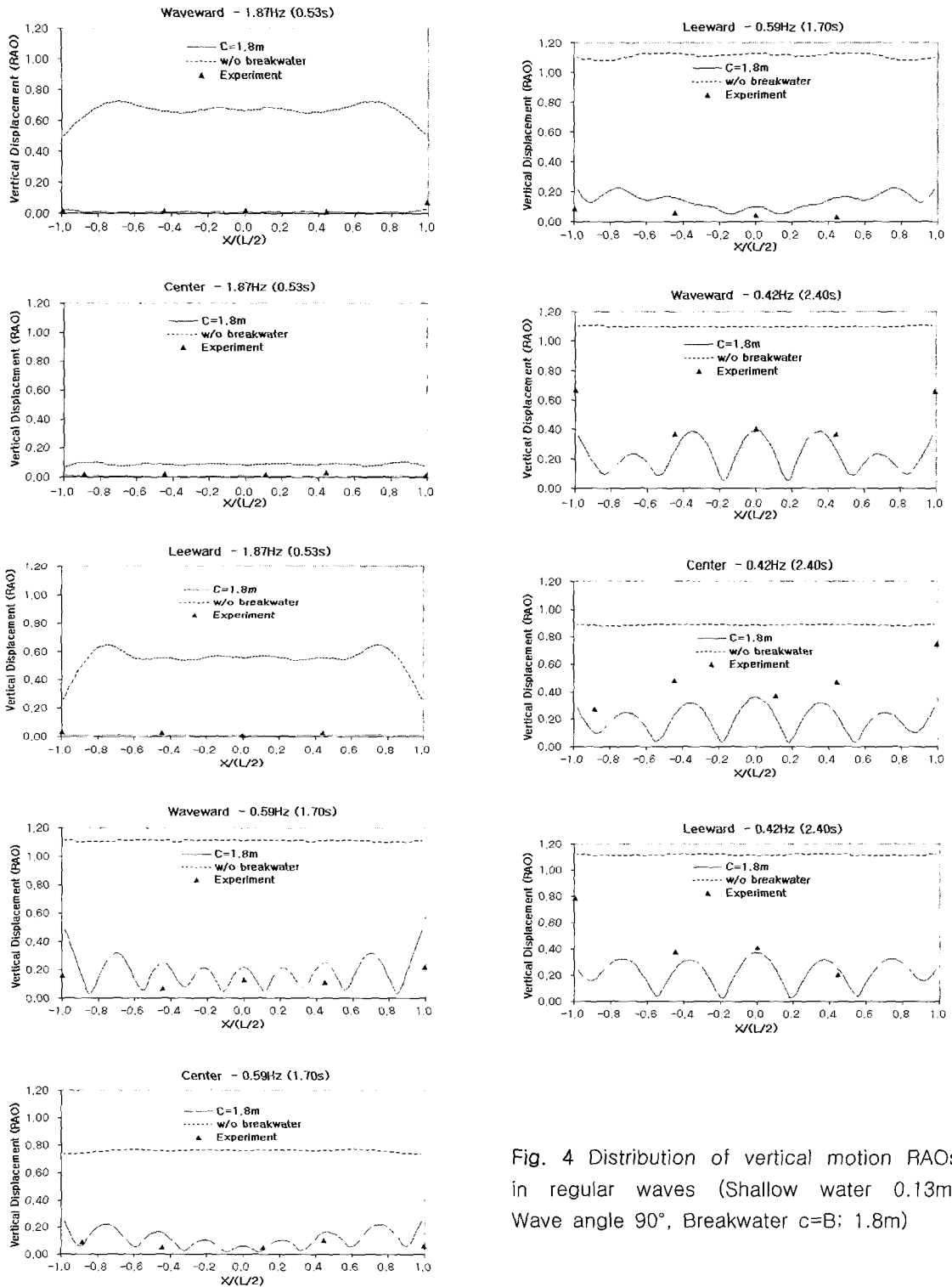


Fig. 4 Distribution of vertical motion RAOs in regular waves (Shallow water 0.13m, Wave angle 90°, Breakwater $c=B$; 1.8m)

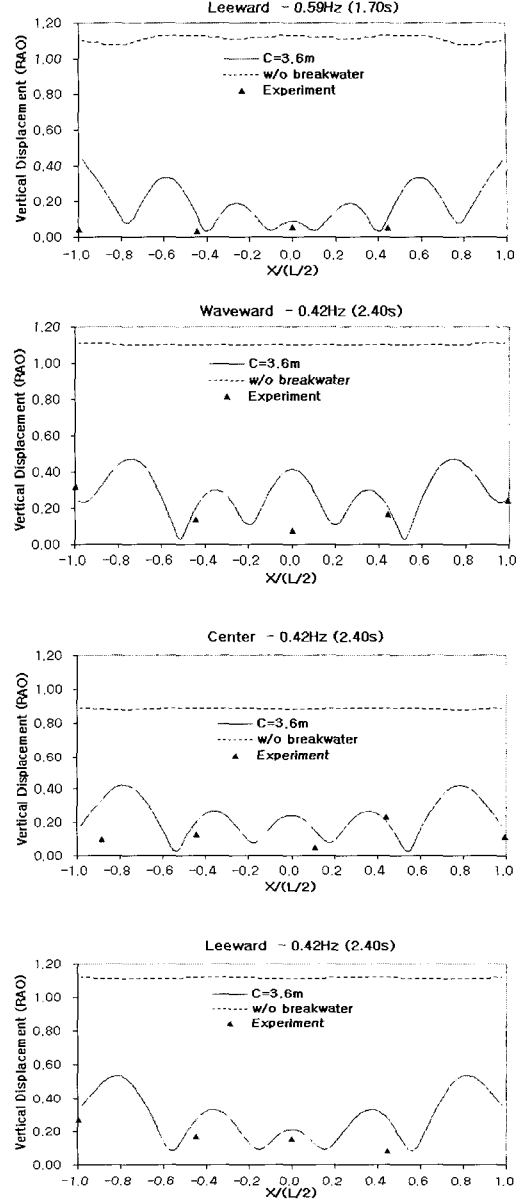
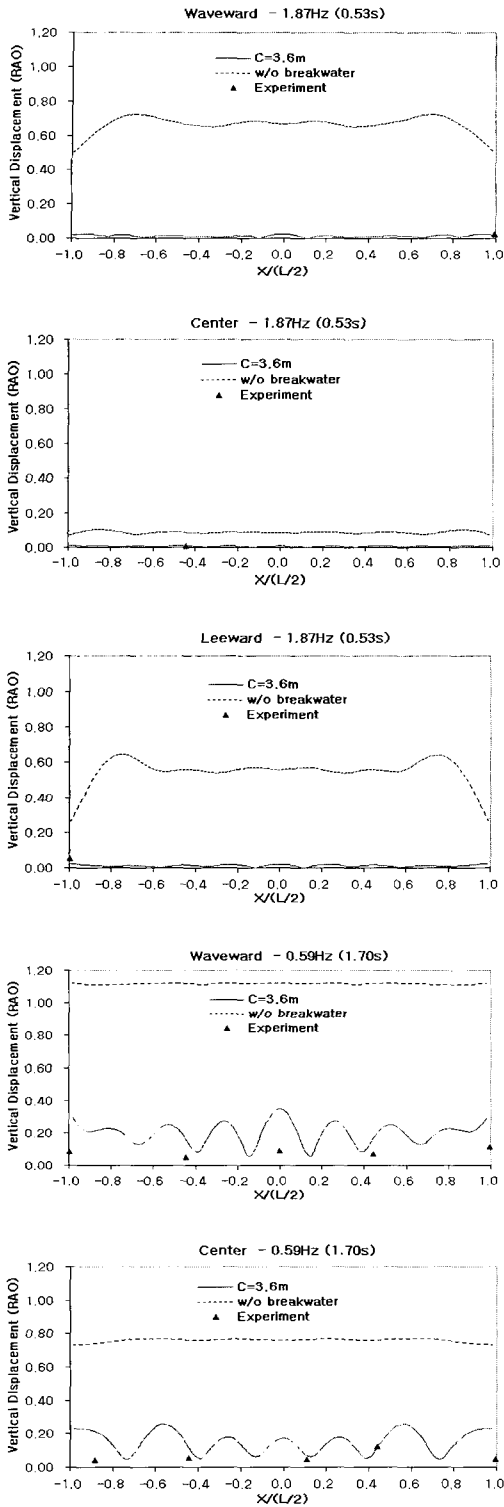


Fig. 5 Distribution of vertical motion RAOs in regular waves (Shallow water 0.13m, Wave angle 90°, Breakwater $c=2B$; 3.6m)

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} \tag{6}$$

$$M(x) = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma y b dy = \frac{2a}{h} I \tag{7}$$

$$\sigma = E\varepsilon, \quad M(x) = \frac{2EI}{h} \varepsilon \tag{8}$$

- where, M : 굽힘모멘트
- E : 탄성계수
- I : 구조물 면적의 2차 모멘트
- h : 구조물의 높이
- b : 구조물의 폭
- y : 구조물의 높이 방향의 임의의 위치
- ρ : 하중에 의한 구조물의 처짐 시 생기는 곡률
- σ : 스트레스
- ε : 스트레인

따라서 스트레인게이지로부터의 신호에 의해 구해지는 스트레인(ε)을 위의 모멘트를 구하는 식에 대입하여 각 지점에서의 모멘트를 구한다.

5.1 천수에서의 굽힘모멘트

파고가 4cm이고, 입사각이 90°인 11가지 규칙파 중에서 0.53s(1.87Hz), 1.70s(0.59Hz) 및 2.40s(0.42Hz)의 규칙파에 대해 방파제와 모델간의 거리가 0.9m, 1.8m, 3.6m 떨어진 각각의 경우에 예측된 굽힘모멘트를 수치해석 값과 비교하여 Figs. 6, 7, 8에 나타내었고, 방파제가 없는 경우의 굽힘모멘트도 함께 포함되었다.

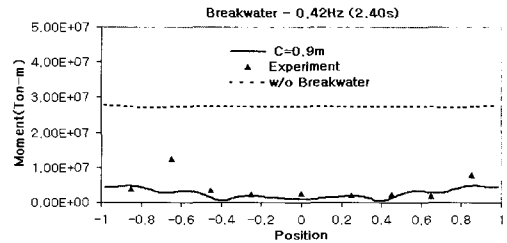
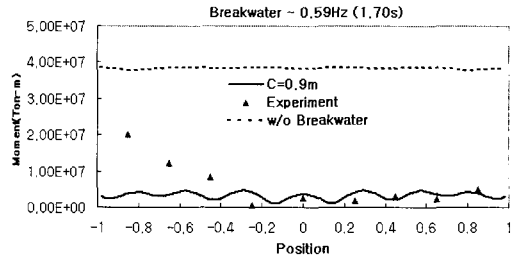
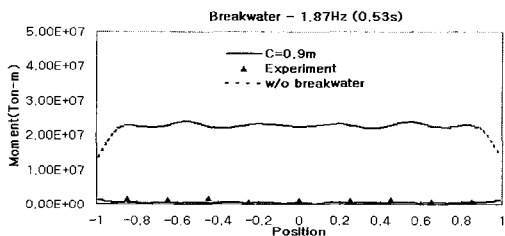


Fig. 6 Distribution of bending moment in regular waves(Breakwater c=B/2 ; 0.9m)

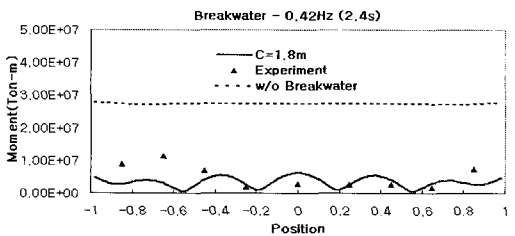
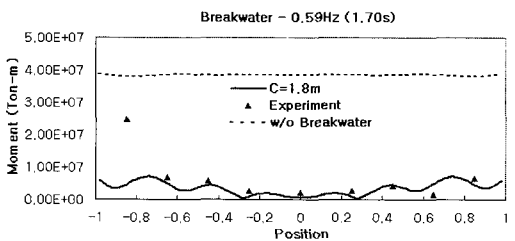
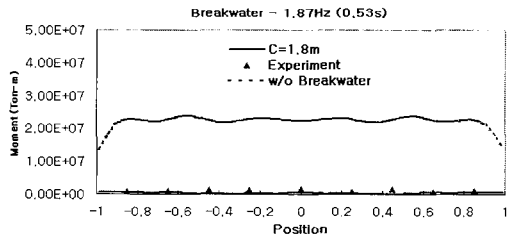


Fig. 7 Distribution of bending moments in regular waves(Breakwater c=B ; 1.8m)

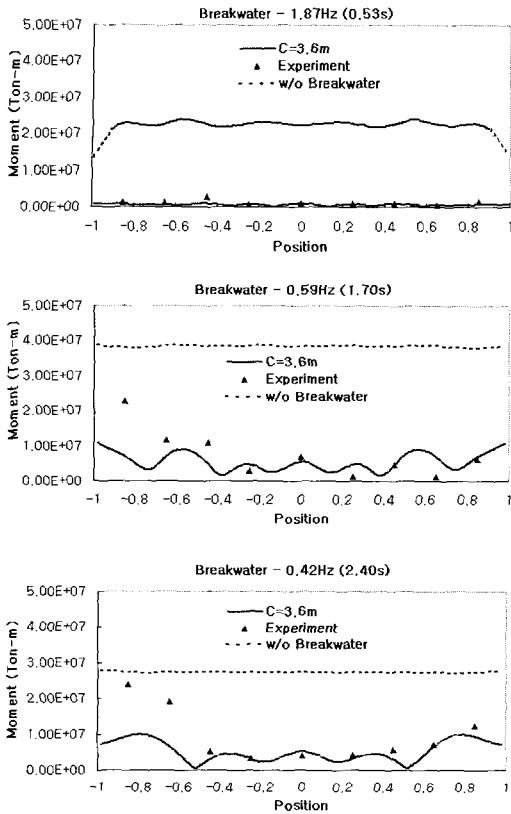


Fig. 8 Distribution of bending moments in regular waves(Breakwater $c=2B$; 3.6m)

6. 실험 결과 및 수치해석 결과의 고찰

방파제가 있는 경우의 상하운동 RAO는 방파제가 없을 때의 RAO와 비교해 볼 때, 모형의 길이로부터 외부 입사파에 의한 교란이 모형 전면에 위치한 방파제에 의해 상당 부분 차단됨을 알 수 있었다. 특히 짧은 파장 ($f=1.87\text{Hz}$)의 규칙파에서는 포텐셔미터가 감지하기 어려운 미약한 신호만이 계속되어 응답이 거의 전무할 정도였으나, 장파장으로 갈수록 산란 및 회절의 영향이 점점 증대하여 응답 신호가 강하게 계속되었다.

계측된 실험 결과와 수치해석 결과를 비교하면 전 파장 범위에 걸쳐서 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 이미 1,000m급 해양구조물을 통해

서 검증된 프로그램의 5,000m급 초대형 부유식 해상공항에의 적용 결과는 축적비 등을 고려할 때 일반적으로 예상 결과를 훨씬 뛰어 넘는 정도를 보여주고 있었다.

7. 결론 및 향후 연구 방향

2000년부터 2003년에 수행된 실험적 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같으며 향후 연구방향은 유탄성해석시 비선형성 고려가 요망된다.

- 1) 전면에 방파제가 놓인 5,000m급 초대형 부유식 해상공항의 국내 최초의 성공적인 모형 시험 수행
- 2) 유탄성 응답 특성인 상하운동 RAO와 굽힘 모멘트의 측정 결과와 수치해석 결과의 비교
- 3) 5,000m급 초대형 부유식 해양구조물 적용에 의한 기 개발된 수치해석 프로그램의 재검증
- 4) 1/555.1라는 스케일로 아주 작게 만들어진 모델임에도 불구하고 비교적 오차가 작음을 보여준다.

후 기

본 연구의 수치해석 과정에서 많은 자문을 하여 준 목포대 이호영 교수에게 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 신현경, 박인규, 신현수, 김성경, 양영수, 1999, "천흡수 부유식 해양구조물의 유탄성 모형기법 개발에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제36권, 제4호, pp. 64-76.
- 신현경, 이호영, 신현수, 박인규, 2000a, "초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 응답에 대한 해석 방법," 한국해양공학회 논문집, 제14권, 제2호.
- 신현경, 이호영, 임춘규, 신현수, 박인규, 2000b, "불규칙파 중 초대형 부유식 해양구조

물에 대한 운동,” 대한조선학회 논문집, 제 37권, 제4호, pp. 75-81.

- 이호영, 곽영기, 박종환, 2002, “속도포텐셜 접속법과 특이점 분포법에 의한 방파제에 근접한 부유식 해상공항에 대한유탄성 응답 해석,” 대한조선학회 논문집, 제39권, 제2호, pp. 11-18.
- 울산대학교-현대중공업(주), 2001.7, “초대형 부유식 해양기지 개발 사업 (1) 연구 보고서”.
- 울산대학교-현대중공업(주), 1999-2001, “천출수 부유식 해양구조물의 유탄성 연구 (1), (2) (3) 연구 보고서”.
- Dally, James W., 1993, “Instrumentation for Engineering Measurement,” John Wiley, p227.
- ITTC, 2002, “Loads and Response Committee”, Proceedings of 23rd International Towing Tank Conference,” Venice, Italy.
- Shin, H., Lee, H.Y., Lim, C.G., Lee, H.L., Shin, H.S., Park, I.K., 2001, “Experimental Analysis of Hydroelastic Behaviors of a Large Floating Structure with Shallow Draft,” The 16th Ocean Engineering Symposium, Tokyo.

- Ohmatsu, S. 1999, “Numerical Calculation Method of Hydroelastic Response of Pontoon-type VLFS close to a Breakwater, Pro. of the 3rd VLFS, Hawaii, Vol.II, pp. 805-811.
- Utsunomiya, T. 1998, “Wave Response Analysis of a Box-like VLFS Close to a Breakwater,” Pro. of 17th OMAE, MAE98-4331.



< 신 현 경 >



< 이 형 락 >



< 유 경 훈 >



< 윤 명 철 >



< 강 점 문 >



< 김 화 수 >