

부유식 안벽 제어 펜더와 계류선의 현장실험

In-situ Experiment of Fender and Mooring Cables controlling Floating Quay Wall

한상훈¹, 박우선², 채장원³, 김진하⁴

Sang Hun Han¹, Woo Sun Park², Jang Won Chae³ and Jin Ha Kim⁴

1. 서 론

항만부지확보의 어려움이나 환경부하의 최소화, 또한 항만효율의 극대화를 위해 부유식 안벽에 대한 연구가 진행되어왔다(박우선 et al., 2008; 채장원 et al., 2009). 현재 사용중인 부유식 안벽으로는 미국 알래스카의 발데즈 항의 컨테이너 터미널이다. 본 터미널은 지진에 의한 액상화, 현장건설의 어려움, 상대적으로 큰 조차 등의 요인을 해결하기 위해서 부유식 형태로 구조물을 제작하였다(Zinserling et al., 1982). 최근에 미국 육군에서는 노후화된 전세계 군용항만을 대체하기 위해 MHP(Modular Hybrid Pier)에 대한 연구에 박차를 가하고 있다(BERGER/ABAM, 2001). 현재에는 연구가 잠정적으로 중단된 상태이지만 해상군사기지인 MOB(Mobile Offshore Base)에 대한 연구도 활발히 진행된 적이 있다(Rognass et al., 2001).

대형 부유식 안벽의 상용화를 위한 중요한 기술적 요인 중의 하나가 거대 부유체의 계류이다. 부유체의 안정성과 사용성을 확보하기 위한 수단으로 계류는 매우 중요하다. 태풍시와 같은 극한 조건에서는 부유체의 이탈을 방지하기 위해서 계류선의 장력을 설계하는 것이 필요하다. 또한, 부유체와 장력선에 의한 상호작용으로 펜더에 걸리는 반력을 파악하는 것도 중요하다. 펜더반력이 기존 안벽의 설계치를 초과한다면 기존 안벽의 보강이 필요하다.

본 연구에서는 실구조물의 1/6규모로 제작된 모형 부유체를 이용하여 실험역에서 현장실험을 실시하였다. 이러한 현장 실험을 바탕으로 부유체의 계류선과 펜더에 걸리는 하중을 측정하고 이를 수치 예측결과와 비교하였다.

2. 실험

2.1 실험개요

현장실험은 거제의 삼성중공업(주)에서 제작한 50 x 30 x 3 m의 부유식 P.C. 콘크리트 구조물에 대해서 실시하였다. 실험은 가동시 작업조건과 피항시 생존조건으로 나누어 실험을 실시하였다.

2.2 실험방법

반력을 측정하기 위해서는 Fig. 1(a)와 같이 펜더에 hole형 하중계를 설치하였다. 큰 강철판을 바닥에 대고 그 위에 하중계와 펜더를 놓고 볼트로 부유체와 펜더를 고정하였다.

가동시 작업조건 실험에서는 총 8개의 계류라인과 2개의 펜더가 설치된다. 이 때, 계류장력을 측정하기 위해서 각 라인별로 한 개씩의 50톤 용량의 장력계를 설치하였다. 피항조건 1인 경우는 총 12개의 장력계, 피항조건 2인 경우는 총 8개의 장력계를 설치하여 실험을 수행하였다.

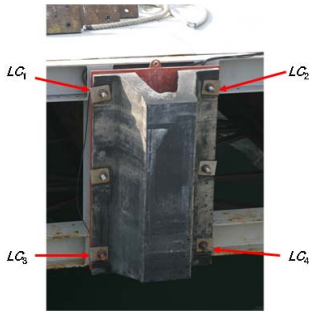
현장에서 파랑하중을 부유체에 가하기 위해서 선박을 이용한 항주파를 발생시켰다. 선박의 변화에 따라 항주파의 유의파고는 0.14서 0.38m로

1 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 선임연구원

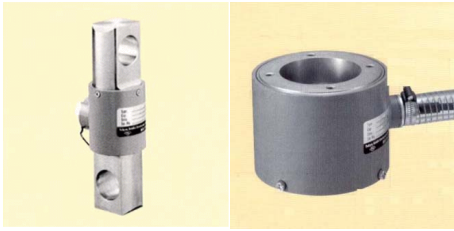
2 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 책임연구원

3 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부 책임연구원/선임연구본부장

4 한국해양연구원 해양시스템연구부 책임연구원



(a) Fender



(b) Tension meter and load cell

Fig. 1. Installation of gage

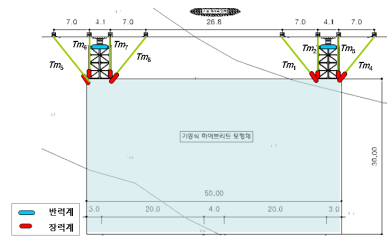
변화하였다. 모형의 규모가 실제 구조물의 1/6수준이므로 실구조물에서는 0.8에서 2.4 m 정도의 파랑이 작용한 것으로 간주할 수 있다. 실제 구조물의 설계에서 가동 시에는 0.7m, 피항 시에는 2.0m의 유의파고를 파랑하중으로 적용할 예정이다. 따라서, 항주파에 의해 발생한 유의파고의 수준은 현장실험을 위한 충분한 조건으로 사료된다.

2.3 실험결과

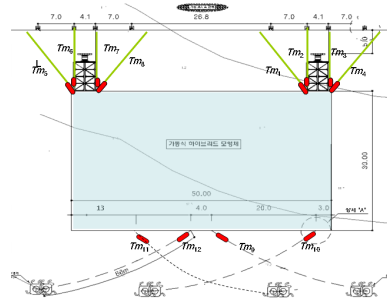
Fig. 3은 항주파에 의한 유의파고의 변환에 따른 펜더 반력을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 펜더반력은 유의파고의 증가에 따라 선형적으로 증가함을 관찰할 수 있다. 펜더가 설치된 가동조건인 경우에 장력계에서는 최대 2.03 tonf의 힘이 관측되었다. 또한, Case II의 피항 조건 1에서는 최대 0.75 tonf, Case III의 피항 조건 2에서는 최대 1.75 tonf의 힘이 작용하였다. 이렇게 작은 장력이 발생한 것은 파랑하중을 부유체의 관성력이 대부분 부담한 것으로 사료된다.

3. 해 석

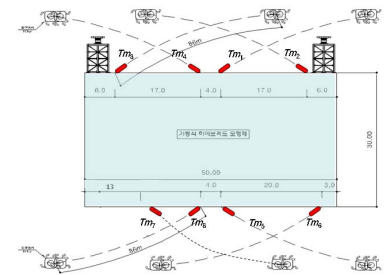
현장실험과 동일한 조건에 대한 수치모델링을 수행하고 이러한 수치해석결과와 현장실험에 의한



(a) Case I (in operation)



(b) Case II (in storm)



(c) Case III (in storm)

Fig. 2. Experimental Cases

Table 1. Ship driven wave characteristics

Wave Direction	Ship speed (km/h)	T_p (sec)	$H_{1/3}$ (m)
Normal ($\beta=90^\circ$)	12	3.0	0.14
	15	2.8	0.18
	18	3.3	0.30
	22	3.7	0.36
Inclined ($\beta=67.5^\circ$)	24	3.9	0.38
	12	1.9	0.16
	15	1.7	0.20
	18	3.3	0.29
	22	3.7	0.37
	24	3.7	0.38

결과를 비교해 보고자 하였다.

Fig. 4는 해석에 의한 입사파고 2 m일 때 가동 시 조건에서의 Surge, Sway, Yaw 운동에 의한 환산력을 나타내고 있다.

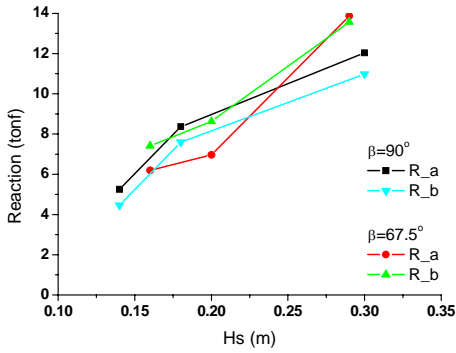


Fig. 3. Reaction force with Hs

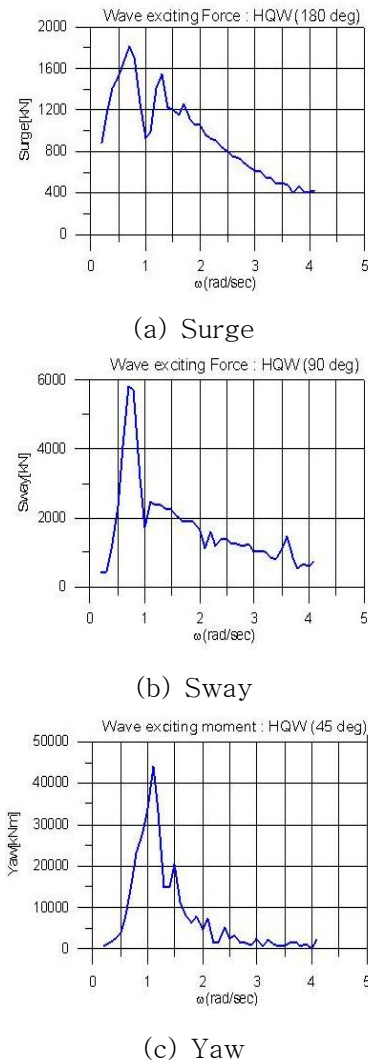


Fig. 4. Wave exciting force by numerical analysis

항주과 실험에서 입사 유의파고 0.14 m일 때의 주기가 3.0초이므로 2.1rad/s로 재환산할 수 있다. 반력은 부유체의 직각방향으로 작용하는 Sway에 해당되므로 Fig. 4(b)에 의하면 150톤에 해당된다. 해석의 입사파고는 2 m이고 실험에 의한 값은 0.14 m이므로 선형비례를 가정하면 해석에 의한 현장실험체의 횡방향력(Sway)은 10.5톤으로 판단된다.

Fig. 3에 의하면 직각입사와 조건에서 0.14 m의 유의파고일 때, 각 펜더에 작용되는 힘은 5.3톤과 4.5톤이다. 두 힘의 합력이 9.8톤으로 해석에 의한 10.5톤과 큰 차이가 없다.

4. 결 론

대형 부유체의 안정성과 사용성을 확보하기 위한 중요 수단인 펜더와 계류선에 대한 거동을 파악하기 위해서 현장실험을 실시하고 이를 수치해석결과와 비교하였다. 측정된 펜더반력은 수치해석결과와 거의 유사하여 기존 개발된 수치해석을 통해 펜더반력을 충분히 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 계류선에 걸리는 장력은 정적계산에 의한 장력보다는 상당히 작는데, 상당한 부분의 외부하중을 부유체의 관성력이 저항하기 때문인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 “지능형 항만물류시스템 기술개발-초대형 컨테이너선용 하이브리드 안벽 기술 개발” 사업의 연구비 지원(PM54651)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

박우선, 박영현, 김동현, 채장원 (2008) 하이브리드 안벽 성능 평가를 위한 수리실험, 2008년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회
 채장원, 이진학, 정원무, 김진하 (2009) 부유식 컨테이너 부두 개발을 위한 실험역 현장실증실험, 2009년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회

BERGER/ABAM Engineers, Inc, Final Report, Phase II - Modular Hybrid Pier (MHP), Naval Facilities Engineering Service Center, 2001.

Girard, A. R. Empey, D.A., Webster W.C. and Hedrick, J.K. (2003). An Experimental Test-bed for Mobile Offshore Base Control Concepts. *Journal of Marine Science and Technology*, 7(3), 109-118.

Rognaas, G., Xu, J., Lindseth, S. and Rosendahl, Fi. (2001). Mobile Offshore Base Concepts. *Marine Structures*, 14(1), 5-23.

Zinserling, M.H. and Cichanski, W.J. (1982). Design and Functional Requirements for the Floating Container Terminal at Valdez Alaska. *Offshore Technology Conference*, 229-238.