유공부유식방파제의 방파성능에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Functional Improvement of Porous Floating Breakwaters

윤재선*, 한새종, 조용식*****

Jaeseon Yoon, Sae-Jong Han, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 구조물 상치에 에어챔버를 설치하여 챔버 내부의 공기주입량에 따라 흘수심을 조절 할 수 있는 유공 및 투수성부유식방파제를 사용하였으며, 부유식방파제의 흘수심구간에 유공을 두어 내부의 흐름에 따른 에너지소산 효과를 수리모형실험을 통하여 분석하였다. 기존 연구에 의하여 선행되어진 부유식방파제의 형상은 구조물 제체의 입사면과 투과면이 막힌 형태의 연구가 대다수였으나, 계류라인의 장력에 따른 부체의 안정성을 고려하여 본 수리모형실험에서는 입사면 흘수심구간과 투과면 흘수심구간에 유공 및 투수층을 두어 진행하는 입사파랑을 일부 흡수하도록 하였다. 또한, 부유식방파제 흘수심단면의 내부에서 흐름변화에 의한 에너지소산 효과와 입사면과 투과면의 유공률 변화에 따른 방파성능을 무공 부유식방파제와 비교하며 효율성을 분석하였다.

핵심용어 : 유공부유식방파제, 수리모형실험, 파랑에너지 전달계수

1. 서론

해양 공간 활용의 한 방편으로써 부유체에 대한 관심이 급증하였으며, 전 세계적으로 부유식구조물에 대한 연구가 증가하고 있다. 그동안 선진국에서는 부유식구조물을 활용한 부유식교량 및 부유식방파제 등 사회기간시설을 구축한 바 있으며, 일본에서는 Mega-Float 프로젝트(1995~2000)를 통해 수km 규모의 해상공항을 설계하고 건조하는 등 높은 기술력을 보유하게 되었다. 반면에 국내에서는 2007년 시공되어진 마산원전항의 부유식방파제를 제외한 현장적용 실적이 미비한 상태이며, 조선공학기술에 기반을 둔 “초대형 부유식해상구조물 기술개발(1999~2007, 한국해양연구원)” 연구가 수행되어 설계 및 해석기술의 기반이 확보되었으나, 국내 연안개발의 주체가 되는 토목분야에서는 이에 대한 연구가 아직은 초보 단계에 불과한 실정이다. 활용적인 방편으로 부유식구조물은 여러 가지 기능들을 수행 할 수 있으며, 그 중 부유식방파제는 파랑에너지가 집중되어 있는 해수면 부근에서 입사파랑의 에너지를 제어하므로 기존 중력식(고정식)방파제보다 시공단가가 적으며, 설치수심의 증가에 따라 건설비가 급격히 증가하는 중력식방파제에 비하여 대수심 해역에 적합하다는 장점을 가진 구조물이다. 또한, 계류기초의 대책을 수립한다는 전제로 연약지반 해역에 적합하며, 시공기간이 짧고 해수소통이 원활하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 부유식

* 정회원·한양대학교 건설환경공학과 박사과정·E-mail : yjs77@hanyang.ac.kr
** 한양대학교 건설환경공학과 석사과정·E-mail : sjhan19@hanyang.ac.kr
*** 정회원·한양대학교 건설환경공학과 교수(교신저자)·E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

방파제는 장주기파랑의 제어가 힘들고, 50년~100년의 내구성을 갖는 중력식방파제보다 약 30년 정도의 짧은 내구성과 유지관리를 필요로 한다는 단점이 있다.

국내외 연구동향으로는 조일형(2002)이 계류된 사각형 부유식방파제의 성능에 대하여 검토하였으며, 이정우 등(2005)은 파랑과 계류라인 복원력의 비선형성을 반영할 수 있는 비선형수치모델을 확립하고, 설계조건에 따른 비선형파동장에 놓인 부유식방파제의 운동변화특성과 파랑제어기능을 분석하였다. 또한, 윤종성 등(2005)은 부유식방파제 설치 시 유동 및 난류문제에 대한 메커니즘을 해석하기위해 PIV 시스템을 이용한 수리모형실험과 RANS방정식에 기초한 연구를 수행하였다. Mani(1991)는 부유식방파제의 유형별 성능특성에 대한 매개변수를 고려하여 과거의 실험들을 토대로 투과율에 관한 실험 결과를 비교 분석 하였고, Grinyer(1995)는 요트들이 정박할 수 있는 작은 항구의 효과적인 보호를 위해서 홀리스틸렌 주위에 얇은 섬유 콘크리트 벽을 씌운 구조의 부유식방파제를 설치하였다. 또한, Tsinker(1995)는 부유식방파제에 대한 공학적 이론들을 책으로 기술한 바 있다.

본 연구에서는 구조물 상치에 에어챔버를 설치하여 챔버 내부의 공기주입량에 따라 흘수심을 조절 할 수 있는 투수성 부유식방파제를 사용하였으며, 부유식방파제의 흘수심구간에 유공을 두어 방파제내부의 흐름변화에 따른 파랑에너지 전달계수 및 반사계수를 수리모형실험을 통하여 분석하였다. 기존 연구들에 의하여 선행되어진 부유식방파제의 형상은 구조물 제체의 입사면과 투과면이 막힌 무공형상이 대다수였으나, 계류라인의 장력에 따른 부체의 안정성을 고려하여 본 수리모형실험에서는 입사면 흘수심구간과 투과면 흘수심구간에 유공 및 투수층을 두어 진행하는 입사파랑을 일부 흡수하도록 하였다. 또한, 유공부유식방파제와 투수성부유식방파제의 입사면과 투과면에서의 유공률에 따른 방파성능을 비교하며 효율성을 분석하였다.

2. 수리모형실험

본 연구는 유공부유식방파제의 유공율 변화에 따른 부유식방파제의 방파효율성을 파악하기 위하여 2차원 수리모형실험을 수행하였다. 실험에 사용된 단면수로의 길이는 32.5m, 폭은 0.6m, 높이 1.1m이며, 사용된 조파기는 피스톤형이다. 구조물의 폭( )은 수로의 폭에 꽉 차는 0.595m를 사용하였고, 수심( )은 0.75m로 동일시 적용 하였다. 방파제의 흘수(D)는 0.13m로, 파고에 따른 흘수심의 비(H/S)가 0.15~0.35에 해당하며, 파장에 따른 구조물 제체의 폭의 비인 L/S_W는 1.87~10.56에 해당하는 규칙파에 해당한다.

입사파용으로 2개(wave gage 1, 2), 투과파용으로 2개(wave gage 3, 4)의 파고계를 사용하였고, 2점법을 적용하여 입·반사 분리에 따른 파랑에너지 전달계수를 산정하였다. 파고계의 위치는 방파제 전·후면으로부터 각 파장의 두 배인 지점에 각각 설치하였으며, 계류라인은 직경이 3.18mm인 스테인레스 와이어를 사용하였다. 계류기초는 중력식 매립의 형식으로 수로바닥에 단단히 고정하여 부유식방파제의 탄성거동에 따른 영향을 받지 않도록 설치하였다.

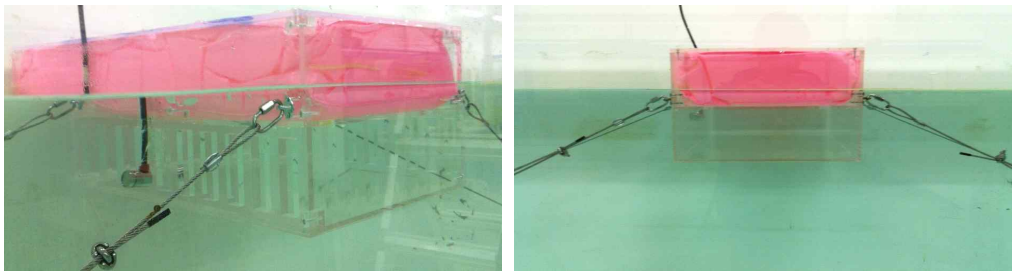

그림 1. 투수성부유식방파제 설치 및 수리모형실험

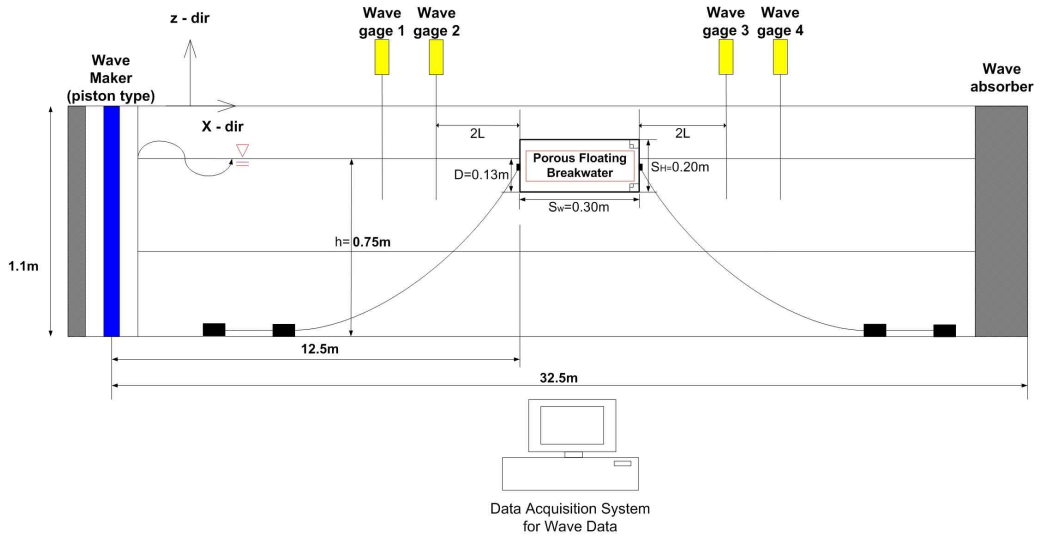

그림 2. 수리모형실험 단면도

실험에 사용된 파랑의 특성은 파장( ) 약 0.56 ~3.17m, 파고(H_m) 0.03m~0.07m 정도의 규칙파에 해당한다. 표 1은 수리모형실험에 사용된 부유식방파제의 제원 및 파랑계측 결과를 보여주고 있다.

표 1. 부유식방파제의 제원 및 파랑계측 결과

	축척	수심(D) (m)	제 체			구조형식
			길이(S) (m)	폭(S_W) (m)	높이(S_H) (m)	
원형	1:1	15	11.8	6	4	강재
모형	1:20	0.75	0.59	0.3	0.2	아크릴

Case No.	수리모형실험조건(1/20)			현지환산조건				
	주 기 T_m (sec)	파 고 H_m (cm)	파 장 L_m (cm)	주 기 T_p (sec)	파 고 H_p (cm)	파 장 L_p (cm)	L/S_W	H/S_H
1	0.6	3	56.15	2.68	0.6	11.23	1.87	0.15
2	0.7	3	76.43	3.13	0.6	15.29	2.55	0.15
3	0.8	4	99.81	3.58	0.8	19.96	3.33	0.20
4	0.9	4	126.19	4.02	0.8	25.24	4.21	0.20
5	1.0	5	155.25	4.47	1.0	31.05	5.18	0.25
6	1.1	5	186.34	4.92	1.0	37.27	6.21	0.25
7	1.2	6	218.65	5.37	1.2	43.73	7.29	0.30
8	1.3	6	251.46	5.81	1.2	50.29	8.38	0.30
9	1.4	7	267.89	6.26	1.4	53.58	8.93	0.35
10	1.5	7	316.84	6.71	1.4	63.37	10.56	0.35

2.1. 파랑에너지 전달계수

파랑에너지 전달계수(wave transmission coefficient)는 방파제의 성능을 나타내는 중요한 요소 중의 하나로 입사파의 파고(H_I)와 방파제 후방의 전달파의 파고(H_T)의 비로 표시된다.

$$\frac{H_T}{H_I}$$

수리모형실험을 통한 유공 및 투수성부유식방파제의 파랑에너지 전달계수를 그림 3.~그림 4.에 나타내었다. 그림 3.~그림 4.의 종축은 전달계수( )를 의미하며, 횡축은 /S 를 적용하였다. 이것은 전달파랑의 파장과 구조물의 비로써, 값이 증가할수록 부유체 제체길이에 비해 파장이 상대적으로 긴 장주기 영역이 됨을 의미한다.

전반적으로 유공부유식방파제가 투수성부유식방파제에 비하여 낮은 투과성향을 나타내었으며, 유공부유식방파제의 경우, 유공율이 커질수록 높은 방파효율성을 나타내었다. 투수성부유식방파제의 경우 L S_W가 2.55인 비교적 단파 영역에서 최소 전달계수를 보이고, L/S_W가 8.93인 영역에서 최대 전달성향을 나타내었다. 또한, L/S_W가 큰 장주기 영역대로 갈수록 일정하게 투과성향이 높아지며 상대적으로 방파성능이 저감됨을 알 수가 있다. 이는, 상대적으로 주기가 긴 파랑의 진행이 투수성부유식방파제 구조물 전면에서 일부 쇄파되고 나머지는 상당수가 구조물의 흘수심단면적을 지나 투과면으로 전달되기 때문이라 판단된다. 무공부유식방파제의 경우 비교적 장주기 영역대에서 유공부유식방파제에 비하여 투과성향이 높게 측정되었으며, 이는 유공부유식방파제의 유공률에 따른 입사파랑의 에너지소산이 방파제 내부 흘수심단면적에서 발생하였다는 것을 의미한다.

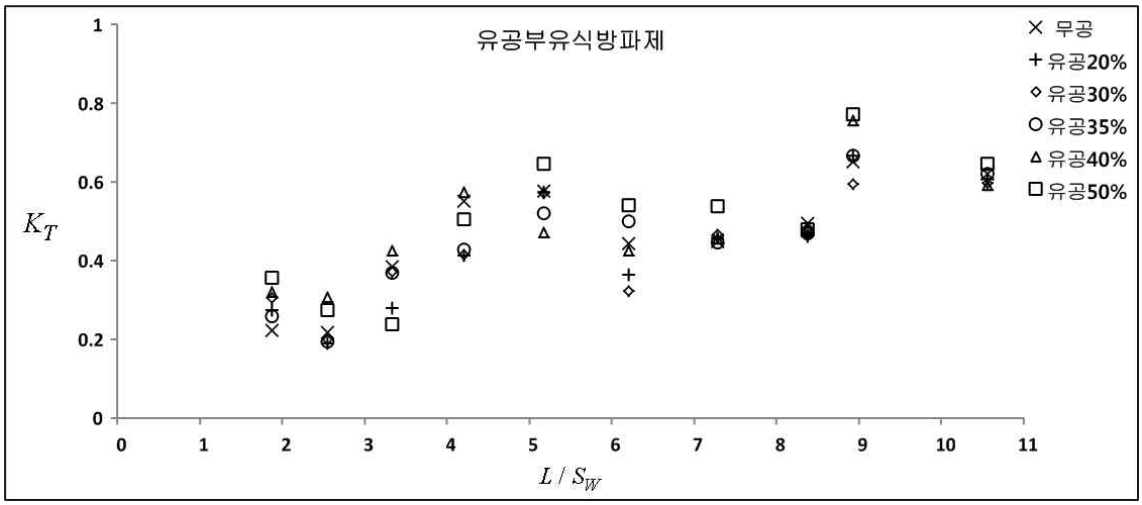

그림 3. 유공부유식방파제의 파랑에너지 전달계수

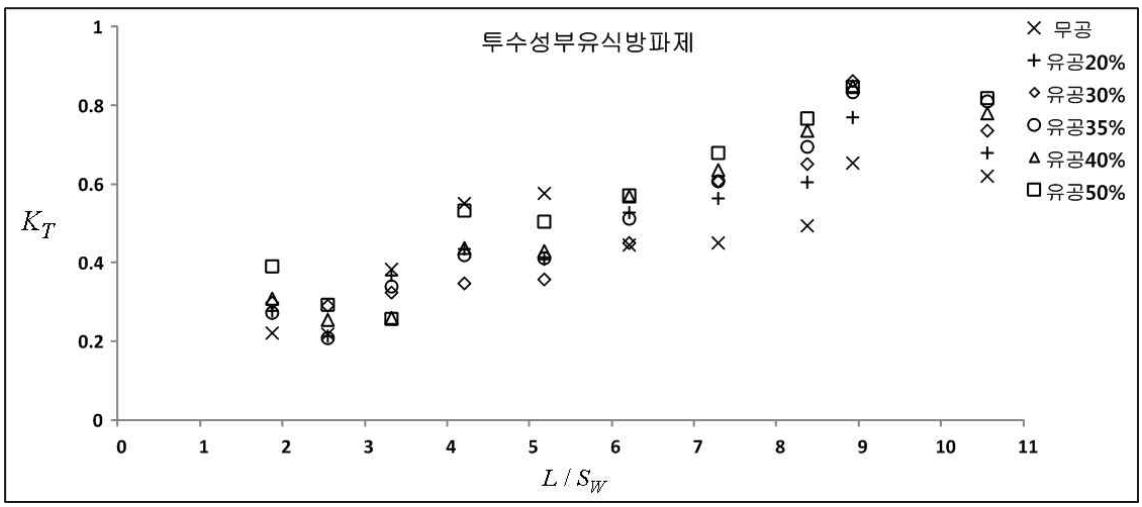

그림 4. 투수성부유식방파제의 파랑에너지 전달계수

3. 결 론

유공부유식방파제가 무공 및 투수성부유식방파제에 비하여 높은 방파성능을 나타내었으며, 유공율이 커질수록 장주기 영역대에서 낮은 투과성향을 나타내었다. 투수성부유식방파제의 경우 S 가 2.55인 비교적 단파 영역에서 최소 전달계수를 보이고, L/S_W가 8.93인 영역에서 최대 전달성향을 나타내었다. 또한, L/S_W가 큰 장주기 영역대로 갈수록 일정하게 투과성향이 높아지며 상대적으로 방파성능이 저감됨을 알 수가 있었다. 이는, 상대적으로 주기가 긴 파랑의 진행이 투수성부유식방파제 구조물 전면에서 일부 쇄파되고 나머지는 상당수가 구조물 흘수심단면적을 지나 투과면으로 전달되기 때문이라 판단된다. 무공부유식방파제의 경우 비교적 장주기 영역대에서 유공부유식방파제에 비하여 투과성향이 높게 측정되었으며, 이는 유공부유식방파제의 유공률에 따른 입사파랑의 에너지소산이 방파제 내부, 흘수심단면적에서 발생하였다는 것을 의미한다. 추후 유공 및 투수성부유식방파제의 계류라인의 장력 및 흘수심단면적에서의 유동장분석을 통하여 입사파랑에 따른 에너지소산에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 산학연 공동기술개발사업(과제명: 부유식구조물 안전성 평가 기술개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 윤종성, 이민규, 정황교 (2005). 부유식방파제의 설치에 따른 유동 및 난류구조 해석, 대한토목학회 논문집, 제25권, 제5B호, pp. 375-383.
2. 이정우, 조원철 (2005). 약비선형 파랑하중에 대한 부유식방파제의 동적거동해석, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 2,023-2,026.
3. 조일형 (2002). 계류된 사각형 부유식방파제의 파랑제어성능, 한국해양환경공학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 35-44.
4. Grinyer, A. W. (1995) Fixed and floating breakwaters for small craft harbours: experience at Town Quay Southampton, Haslar Marina, Portsmouth and Parkstone Yacht Haven, Poole. in BLAIN, W.R. (Ed), *Marina III - Planning, Design and Operation.* Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 339-350.
5. Mani, J. S. (1991) Design of Y-frame floating breakwater. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering,* Vol. 117, No. 2, pp. 105-119.
6. Tsinker, G. P. (1995) *Marine Structures Engineering Specialized Applications*, Chapman & Hall, New York, pp. 269.