

부소파제의 부체 개발을 위한 기초적 실험 연구

정동호 · 김현주 · 김진하 · 문덕수
한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

A Preliminary Experiment Study for Development of Floater of Floating Breakwater

DONG-HO JUNG, HYOUN-JOO KIM, JIN-HA KIM, DEOK-SU MOON
Ocean Development System Laboratory, KORDI / KRISO

KEY WORDS : Floating breakwater 부소파제, Experimental Study 실험적 연구, P.E Pipe 폴리에틸렌 파이프, Breaking efficiency 소파성능

ABSTRACT : New designed floating breakwater made of Polyethelener with considering the introduction of new material for being harmony with environment and stability of the floater is developed for a marine ranching. Model experiment in order to test its capability is performed for the regular and irregular waves in ocean engineering basin. Good capability to break the incident wave within the 6 second of period and 1 m of height is shown. Breaking efficiency for long period wave is not so good in regular and irregular wave. The results of this study will contribute to the design and construction of the floating breakwater.

1. 서 론

소파제는 해역 보호를 위하여 파랑에너지를 소산시키는 구조물을 의미하는 것으로써, 일반적으로 방파제로 알려져 있다. 소파제는 크게 고정식 소파제 (중력식 소파제) 와 부유식 소파제 (이하 부소파제) 로 나뉘어진다. 고정식 소파제는 소파용 구조물이 해저면에 직접적으로 고정되어 있는 경우이며, 부소파제는 방파제 기능을 수행하는 구조물이 해수면 위에 떠 있는 경우를 의미한다.

Fig. 1 에서는 부소파제의 전체적인 모양 및 구성을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 부소파제는 소파기능을 담당하는 부체와 부체를 일정위치에 유지시키는 계류시스템으로 구성된다. 계류시스템은 다시 계류라인과 앵커로 구성된다.

부소파제는 다양한 분야에서 활용될 수 있는데, 양식장 보호, 어항 및 항만 보호, 그리고 해양공공간 파랑제어 등에 많이 이용되고 있다.

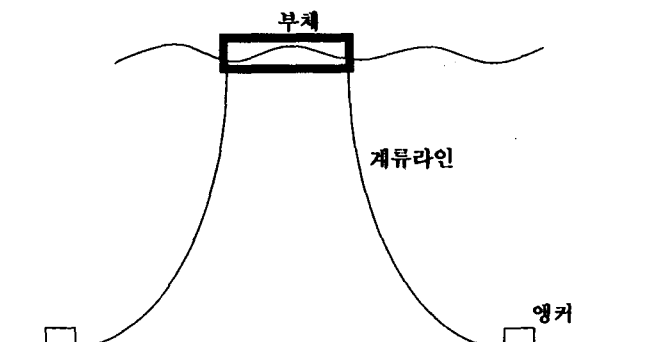


Fig. 1 Schematic configuration of floating breakwater

제1저자 정동호 연락처: 대전광역시 유성구 장동 171

042-868-7518 dhjung@kriso.re.kr

소파제의 시설 비용은 소파제의 설치 수심이 점점 깊어짐에 따라서 증가하게 되었는데, Fig. 2에 그 근거를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 소파제의 설치 수심이 약 10m 이상이 되면 고정식 소파제의 설치비용은 급격히 증가하는 반면에 부소파제는 수심이 깊어지더라도 건설비용이 완만하게 증가하게 있는 것을 알 수 있다.

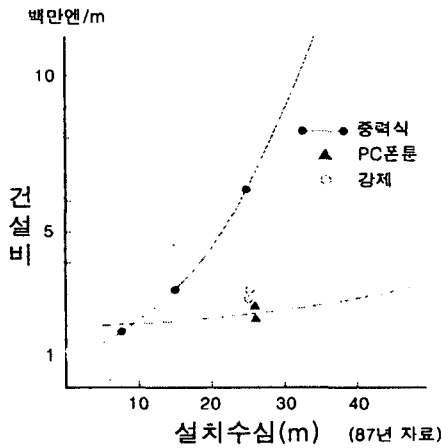


Fig. 2 Comparison of construction cost between a fixed breaker and float breaker with water depth

부소파제는 수심에 따른 경제 비용면에서 본 장점 외에도 다음과 같은 다양한 장점을 가지고 있다.

- 1) 대수심 및 연약지반에 적용가능하다.
- 2) 해수교환형으로 친환경적이다.
- 3) 지진에 대한 피해가 적으며, 넷째는 고정식 소파제에 비하여 시공이 간단하다.
- 4) 이동이 가능하다는 것이다.
- 5) 소파제 외의 다양한 용도로 이용할 수 있다.

이상과 같이 부소파제는 다양한 장점을 가지고 있음에도 불구하고 현재까지 우리나라에서 시공된 사례는 없다. 단지 경남 마산시 원전항에 부소파제 건설을 위한 설계를 하고 있는 중에 있다 [2]. 원전항은 수심 14m 정도 이지만, 해저지반이 약 20m 정도가 연약한 해성점토층으로 이루어져 있다. 따라서 고정식 방파제를 설치한다면 약 40m 높이의 대형 방파제 설치가 불가피 하기 때문에 부소파제를 계획하고 있다. 이 부소파제의 부체는 강제로 이루어져 있으며, 입사하는 면에 특정 형상의 강제를 설치해서 입사파랑을 소파시키고자 설계되어졌다.

한국에서는 부소파제의 개발 사례가 없는 반면에 일본에서는 다양한 목적과 형상의 부소파제가 개발 및 설치되어져 왔다. 일본에서는 주로 민간회사를 중심으로 개발되어 왔으며, 어항뿐만 아니라 해역파랑조건이 보다 악조건인 해역에도 설치 가능한 새로운 형식의 부방파제 연구 및 개발에 많은 투자를 하고 있다. 현재 일본에는 전국 21개 지자체, 100여개소 이상에 설치하고 있다. 1990년대부터는 일본 전국어항협회에서 부소파제 모델 5종을 발표하여 표준화하여 왔다 [1]. Table 1에서는 일본에서 표준화하여 사용하고 있는 5가지 모델과 그 특징을 보여주는데, 소파원리, 사용재질, 그리고 기본형식에 따라서 5가지 형태로 나누어졌다. 이러한 부소파제는 방파제 역할 외에 낚시터 등 관광목적으로도 활용되고 있다. 또한 부소파제를 개발하여 일본 각 지역에 보급해 온 부소파제 제작사들은 '일본부소파제협회'를 조직하여, 다목적 용도로 적용될 수 있고 한층 성능이 개선된 부소파제를 제작하고 있다.

본 연구에서는 부소파제 개발을 위한 새로운 개념의 부체 개발을 하였으며, 성능 특성을 파악하기 위하여 수리모형 실험을 수행하였다. 부체는 폴리에틸렌(P.E) 파이프를 연결하여 제작하였으며, 입사하는 파랑이 파이프를 통과하면서 에너지가 감소되는 개념을 적용하고자 하였다.

Table 1 Configuration and properties of commercial float breaker in Japan

형식	A	B	C	D	E
개요도					
소파원리	반사방식	쇄파방식	반사방식	공명방식	공명방식
기본형식	삼중Barrier형	경사판형	폰톤형	동요제어형	공기제어형
사용재질	강재	강재	Hybrid (PC+강재)	강재	강재

2. 본 론

본 절에서는 개발된 신형 부체에 대해서 소개하며, 성능 특성을 파악하기 위한 실험에 대해서 다룬다.

2.1 신형 부체 형상

부체의 형상은 앞에서 언급한 바와 같이 소파 원리에 따라서 반사형, 경사형, 공기제어형 등 다양한 종류가 있는데, 본 연구에서는 경사형 소파제를 응용하여 입사파랑의 에너지를 소산시킬 수 있는 형상을 개발하였다. Fig. 3은 새롭게 고안되는 부소파제의 전체적인 형상을 보여준다. 부소파제는 외경 60mm 파이프를 연결시켜서 제작하였으며, 파이프가 연결된 내부 공간에는 시트(sheet)를 입사되는 파랑에 대하여 경사지게 설치하여 입사되는 파랑을 차단할 수 있도록 설계하였다. 내부 공간에 설치되는 시트는 각각 교차되도록 제작하여 소파 성능을 높이고자 하였다. 부체는 폭 1m, 높이 0.72m, 길이 4.5m 재원으로 하였으며, 상부 3단은 홀수 조정을 위하여 캡을 부착하여 홀수는 0.55m가 되도록 하였다.

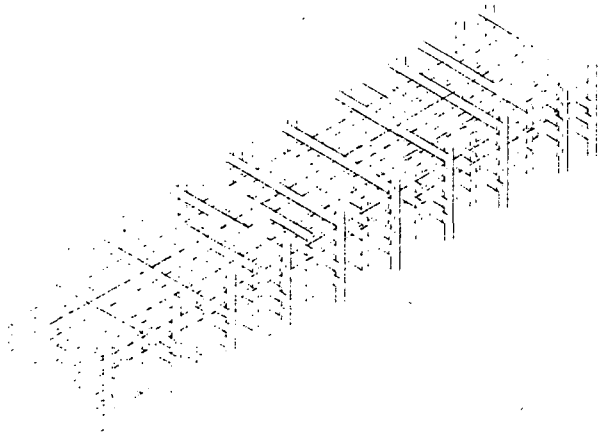


Fig. 3 Model of new designed floating breakwater in 3-D

Fig. 4에서는 시트의 연결 상태를 보다 자세히 확인할 수 있도록 신형 모델의 확대된 모양을 보여주고 있다.

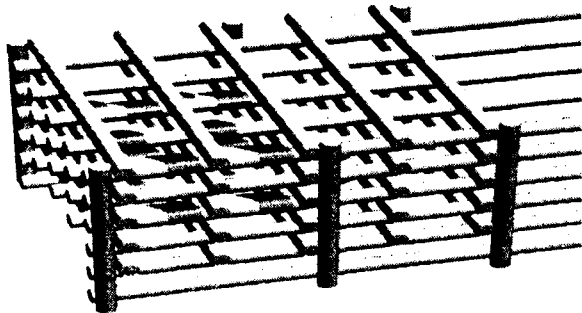


Fig. 4 Magnified configuration of new designed model

수리실험을 위하여 1/10의 축척으로 모형을 제작하였다. 따라서, 실험의 부체는 전체 길이가 45m, 폭이 10m, 전체 높이가 7.2m가 된다. 파이프는 외경 60cm 재원을 사용하게 되며, 시트는 폭 80cm 재원을 사용하게 된다.

모형 제작에서 PE 파이프가 연결되는 지점에는 스텐서스를 이용하여 포인트 용접을 하여 충분한 접합강도를 가질 수 있도록 하였다. Fig. 5에서는 실험을 위하여 제작된 부체를 보여주고 있다.

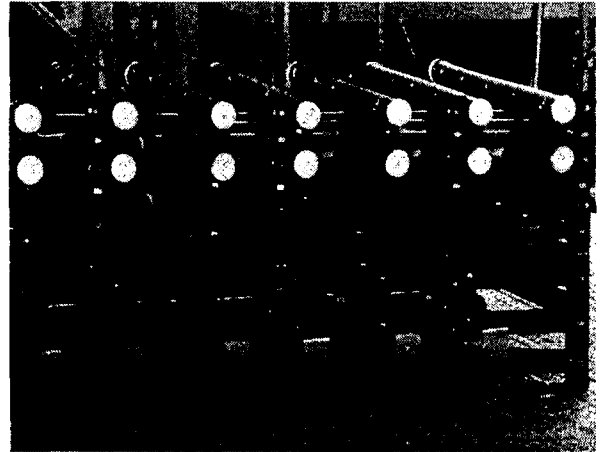


Fig. 5 Model of new designed floating breakwater

2.2 수리모형실험 조건

본 실험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 보유하고 있는 3차원 해양공학수조에서 수행되어졌다.

실험은 개발된 모형을 구속장치에 의해서 일정 위치에 계류시킨 후, 파랑을 작용시켜서 개발된 부체의 성능을 평가하였다. 파랑 조건은 크게 2가지로 나누어지는데, 부체의 기본 운동특성을 파악하기 위하여 규칙파와 실제 소파성능을 평가하기 위한 불규칙파로 구성된다. 규칙파는 일정주기와 파고로 구성된 파랑을 여러 가지 경우로 구성하였으며, 불규칙파는 2가지의 운용조건에 대하여 구동시켰다. Table 2에서는 규칙파와 불규칙파 구동조건을 보여주고 있다. 규칙파에서는 3.14초의 단주기에서부터 약 15.7초의 장주기까지 다양한 주기에 대한 실험을 수행하여 개발된 부소파제의 소파특성을 얻고자 하였다. 불규칙파에서는 2가지 경우를 실험하였는데, 유의주기 5.4초 유의파고 1m인 경우와 유의주기 8.64초와 유의파고 2m인 경우에 대해서 수행하였다. 불규칙 조건에 대해서도 생존조건(survival condition) 실험을 수행하고자 하였으나, 본 해양공학수조 특성상 파랑 재현이 불가능하였다.

수리모형실험의 구성은 Fig. 6에서 보여진다. 입사파와 반사파의 성분을 분해하기 위해서 부소파제 전면에 3개의 파고계(#1 ~ 3)를 설치하였으며, 투과파 성분을 측정하기 위하여 부소파제 후면에 3개의 파고계(#4 ~ 6)를 설치하였다. 또한

1개의 파고계를 따로 측면에 설치하였다. 부체의 계류는 해수면 상에서 수평으로 강제 수속시켰으며, 계류선 중간에 스프링을 설치하고 끝단에 20kgf 용량의 하중측정장치(load cell)를 설치하여 파랑 하중을 측정하고자 하였다. 또한 부체의 거동을 측정하기 위하여 부체 가운데 부분에 운동센서를 설치하였다.

Table 2 wave condition

No	Wave Height[m] [proto/model]	Wave Period[sec] [proto/model]	Wave length[m] L[proto/model]
1	2 / 0.2	15.71 / 4.97	385.08 / 38.51
2	2 / 0.2	10.47 / 3.31	171.2 / 17.12
3	1 / 0.1	7.86 / 2.49	96.3 / 9.63
4	2 / 0.2	7.86 / 2.49	96.3 / 9.63
5	3 / 0.3	7.86 / 2.49	96.3 / 9.63
6	2 / 0.2	6.28 / 1.99	61.6 / 6.16
7	2 / 0.2	5.24 / 1.66	42.8 / 4.28
8	2 / 0.2	4.49 / 1.42	31.45 / 3.145
9	2 / 0.2	3.93 / 1.24	24.09 / 2.409
10	2 / 0.2	3.49 / 1.10	19.01 / 1.901
11	2 / 0.2	3.14 / 0.993	15.39 / 1.539
No	Wave Height[m] [proto/model]	Wave Period[sec] [proto/model]	Wave length[m] L[proto/model]
SP1	1 / 0.1	5.4 / 1.706 (0.586Hz)	TP = 1.08Ts (by Goda)
SP2	2 / 0.2	8.64 / 2.732 (0.366Hz)	

2.3 실험 결과

규칙파와 불규칙파로 나누어서 실험을 수행하였는데, 규칙파에 대한 실험에서는 개발된 부소파제의 성능특성을 파악하고자 하였으며, 불규칙파에 대한 실험에서는 실제 파랑 현상과 유사하게 재현하는 실험을 수행하였다.

먼저 Fig. 7에서는 규칙파 중의 실험결과를 정리한 것을 보여주고 있는데, 파장에 대한 효과를 소파제 폭에 대한 무차원 변수로 나타내었다. 종축은 입사파에 대한 부과파의 평균파고를 무차원화하여 나타내었다. 단파장에서는 비교적 소파성능이 양호하다는 것을 알 수 있다. 약 70%의 부과파를 본다면 실제 파랑주기는 약 8초 정도가 된다. 즉, 8초 이내의 파랑 주기에 대해서는 입사파고(100%)를 약 70%까지 소파시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 약 5초의 파랑에 대해서는 입사파의 50%를 소파시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 두 가지 파고계에 대한 투과율을 살펴본다면 4번 파고계에 관측된 결과보다 6번 파고계에 관측된 결과보다 소파율이 높은 것으로 관측되는데, 이것은 4번 파고계가 소파제 바로 뒤쪽에 붙어 있기 때문이다. 즉, 6번 파고계는 소파제에서 약 4m 떨어져서 설치되어 있기 때문에 회절파에 의한 효과에 의해서 소파효과가 줄어든 것처럼 보인다. 이 문제는 여러 개의 소파제를 직렬로 설치한다면 해결될 문제이라고 판단된다. 한 가지 특이한 점은 7.86초 파랑에서 소파효율이 다시 증가한다는 것이다. 파랑주기가 길어짐에 따라서 소파효율이 감소하다가 이 지점에서 다시 증가하게 된다.

다음은 불규칙파랑 실험결과를 살펴보도록 한다. Fig. 8은 각 파고계에 관측된 파랑 자료를 RMS(root mean square) 값으로 나타낸 값이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 유의주기 5.4초 파랑에 대해서는 소파성능이 양호한 것을 알 수 있으나, 유의주기가 8.64초이고 유의파고 2m인 경우에는 소파성능이 그다지 좋지 못하다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 다음에 나오는 스펙트럼 결과에서도 볼 수 있다. Fig. 9는 유의주기 5.4초, 유의파고 1m 파랑에 대한 파랑자료를 스펙트럼으로 나타낸 것으로, 소파효율이 대부분 양호하게 나타난다는 사실을 확인할 수 있으며 약 6초 주기 이하의 입사 파랑에 대해서 소파효율이 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 반면에 Fig. 10에서는 유의주기 8.64초, 유의파고 2m 파랑에 대한 소파성능을 보여주고 있는데, 소파성능이 양호하지 못하다는 사실을 확인할 수 있다.

일반적인 부소파제의 소파성능에서도 알 수 있듯이 장주기 입사파랑 성분에 대해서는 소파성능이 떨어진다는 사실을 확인하였다. 향후 장주기 파랑에 대한 소파성능 향상을 위하여 부체의 형상 및 단면 변화에 대한 연구가 요구되어 진다.

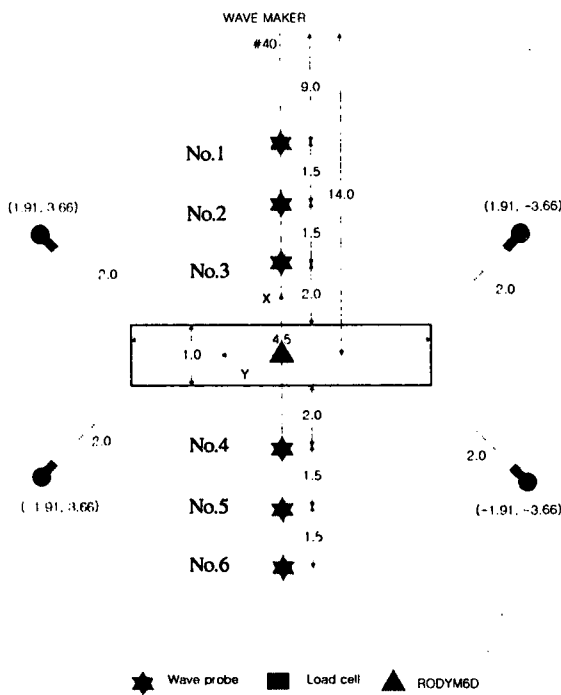
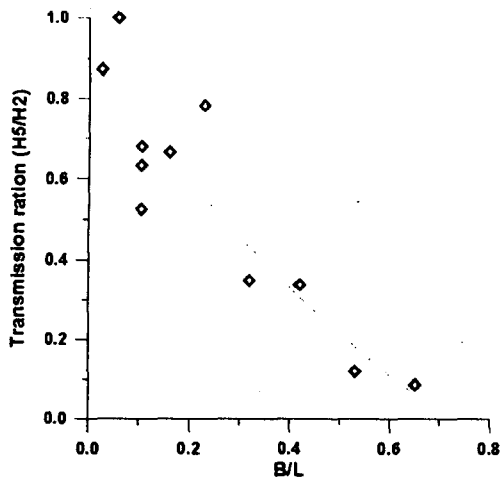
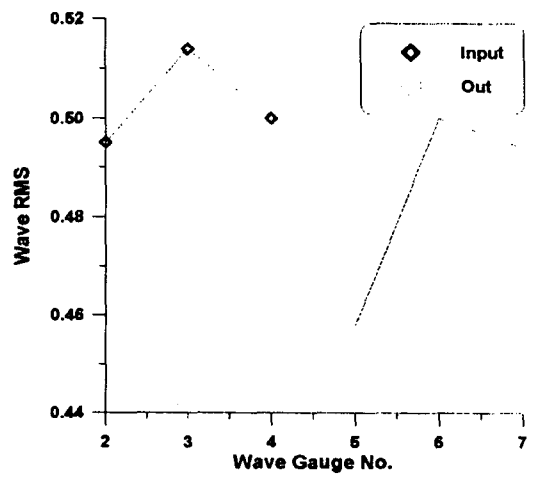


Fig. 6 Experiment scheme

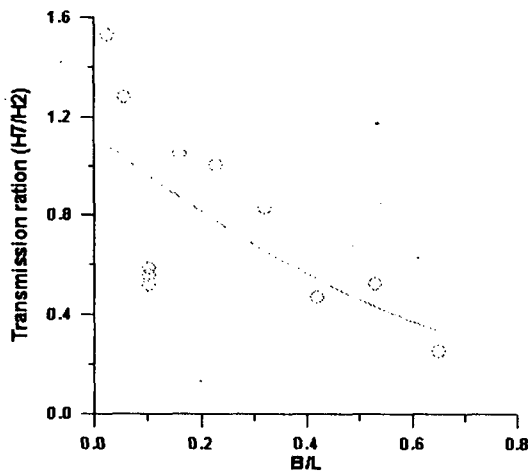


(a) No. 4 wave sensor



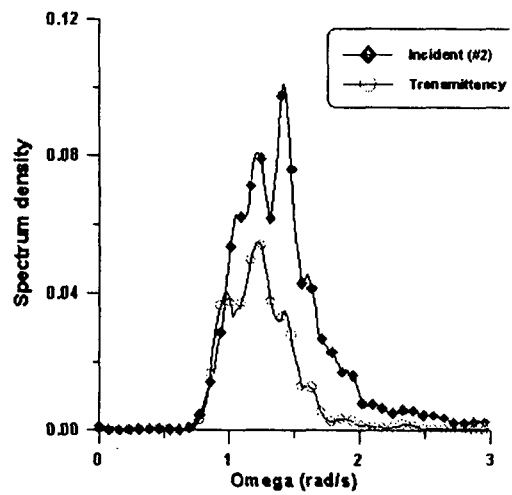
(b) $T_s : 8.64s, H_s : 2m$

Fig. 8 Wave RMS in irregular wave

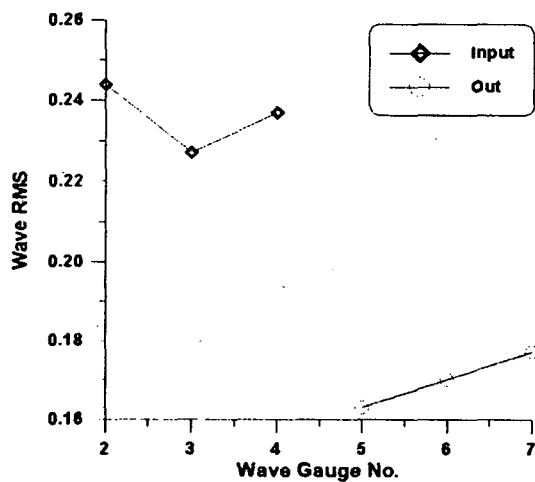


(b) No. 6 wave sensor

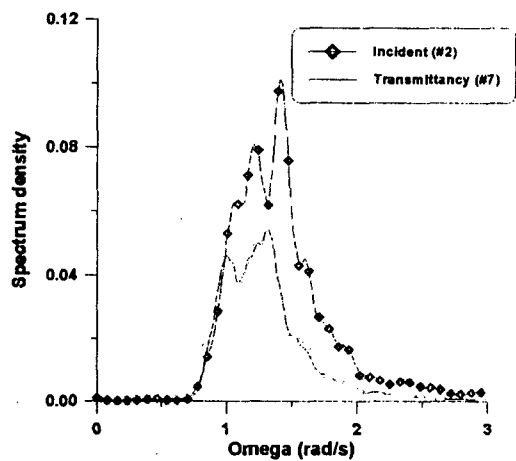
Fig. 7 Breaking efficiency of floating breakwater for wave length



(a) No. 4 wave sensor

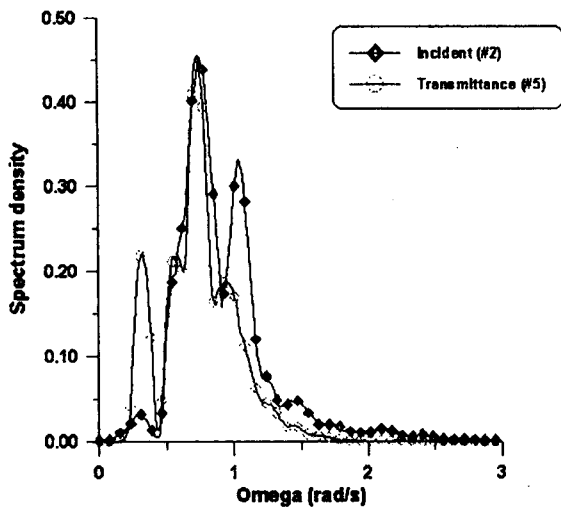


(a) $T_s : 5.4s, H_s : 1m$

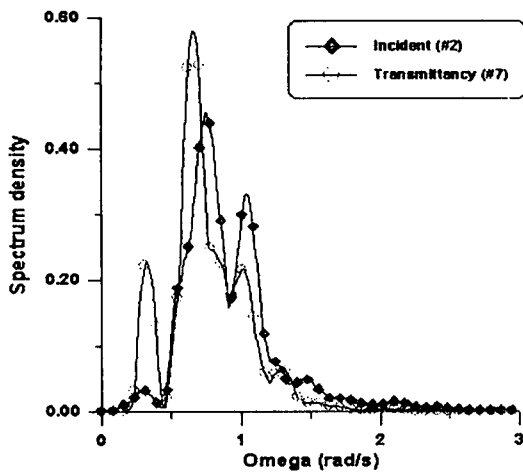


(b) No. 6 wave sensor

Fig. 9 Spectrum density for incident and transmittant waves in irregular wave ($T_s 5.4s, H_s 1m$)



(a) No. 4 wave sensor



(b) No. 6 wave sensor

Fig. 10 Spectrum density for incident and transmittant waves in irregular wave (Hs 8.64s, Ts 2m,)

3. 결 론

부소파제를 P.E 재질로 만든다는 가정 하에 P.E 재질에 적합한 형상 연구를 수행하였으며, 이에 근거하여 수리실험을 수행하였다. 수리모형실험은 해양시스템안전연구소 해양공학수조에서 수행되었으며, 실험의 주된 관심은 입사파의 에너지 감소에 있었다. 규칙파에 의한 신행 부체 모델의 기본 특성을 파악하였으며, 실제 현상과 유사하게 나타나는 불규칙파 중의 부체 소파 성능을 파악하였다. 규칙파 실험에서는 파랑주기 8초 이내의 파랑은 약 입사파의 약 30%를 소파할 수 있으며, 5초 이내의 파랑주기에 대해서는 약 50%까지 소파할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 파랑주기가 10초 이상인 경우에는 입사파를 소파할 수 없다는 것을 알 수 있었는데, 이것은 지금까지 알려진 일반적인 부소파제의 문제점을 보여주고 있다. 이 문제에 대해서는 향후 보다 깊은 연구가 요구되어 진다. 불규

칙파 역시 유의주기 5.4초 유의파고 1m에 대해서는 소파성능이 양호하였으나, 유의주기 8.64초 유의파고 2m에 대해서는 입사파에 대한 소파성능이 떨어진다는 것을 알 수 있었다. 향후 이에 대한 보다 많은 경우의 실험과 형상 변형을 통하여 성능을 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행된 '해양심층수 다목적 이용 개발' 및 '전남 다도해형 바다복합 사업'의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] ECOR일본위원회, 1980, "부소파제개발에 관한 케이스 스터디의 현황"
- [2] 포스코건설, 2003, "부소파의 파랑제어 해석법과 기술개발사례 및 설치현황조사"
- [3] (주)해강 부설해강기술개발연구소, 1996, "부소파제의 설계를 위한 수치모형개발연구"