

잠제의 소파효과에 관한 실험적 연구

이현진* · 신문섭*

*군산대학교 토목공학과

Study of Wave Absorbing Effect of Submerged Breakwater

Hyun-Jin Lee* and Moon-Seup Shin*

*Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan, Korea

KEY WORDS: Submerged breakwater 잠제, Porosity 공극, Crest width 천단폭, Horizontal plates 수평판(층)

ABSTRACT: Various types of coastal structures have been constructed to prevent coastal disasters. Among these coastal structures, submerged breakwaters have been used more widely than all of the other coastal structures because of their excellent advantages in scenery effects, construction efficiency, and environmental benefits. This study investigated the potential of the horizontal plate submerged breakwater model. Usually, it is necessary for a submerged breakwater to minimize and compensate for the negative impacts on the marine environment and ecosystem caused by the marine construction. Thus, the prevention of coastal disasters was verified for this submerged breakwater model, regardless of its function as a fish reef. The purpose of this study was to investigate the hydraulic characteristics with changes in the crest width and porosity of a horizontal plate submerged breakwater and compare the results of this study with the results of other studies on permeable and impermeable submerged breakwaters.

1. 서 론

현대는 경제의 눈부신 발전과 생활의 향상으로 관광과 여가 가지 레저 스포츠가 발달하여 보다 나은 환경의 필요성이 점차 커지고 있다. 하지만 기상 상황은 점차 악화되고 있으며 지구온난화와 같은 환경의 변화로 인하여 매년 해수면 수온은 상승하고 있다. 또한 매년 해안 지역에 내습하는 태풍의 강도는 점차 커지고 있는 실정이다. 그 중 한 예로 2003년 태풍 매미가 내습 시 고조가 발생하여 부산과 마산 지역에 심각한 연안재해를 가져왔다. 이와 같이 태풍에 의한 재해의 위험도는 매년 점차 증가하고 있다. 현재 서해안에서는 방조제 길이 33km, 개발면적 40,100ha의 새만금 심해간척사업이 시행되고 있다. 이러한 심해간척사업은 태풍이나 폭풍 등의 자연재해로부터 방조제의 붕괴와 같은 피해를 입을 수 있는 확률이 높다. 이러한 자연적 재해가 발생하였을 때 이에 대한 피해를 감소시킬 수 있는 방법을 찾아야 한다.

최근 김도삼(2000)은 여러열 잠제에 의한 영향을 연구하였고, 김도삼 등(2001)은 VOF법을 사용하여 불투과성 잠제에 의한 영향을 연구하였다. Hur and Mizutani(2001)은 잠제 주변 구조물에 대한 실험적 연구를 하였으며, Krystian and Rijkswaterstaat(2003)은 낮은 천단수심의 수중구조물 디자인에 대해 연구하였다. 또 Johnson(2006)과 Johnson, et al.,(2005), 그리고 허동수 등

(2009), 허동수와 이우동 (2007), 허동수, 이우동 (2008)등은 잠제 주변의 파와 흐름에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 이러한 해안지역에 발생하는 재해를 감소시키기 위하여 잠제라는 소파 구조물을 제안하였다. 잠제란 연안역에 도달하는 파랑의 규모와 에너지를 줄여 연안역의 피해를 최소화하는 구조물이다. 잠제는 다른 소파구조물보다 경제적이고 친환경적이며 또한 어초의 기능을 겸할 수 있어 주변 생태계 등 해양환경 개선에도 도움이 된다. 특히 Hamaguchi et al.(1991), Hiyoshi and Takao(1996), 신문섭(1999a).등은 인공리프와 어류의란 확산에 관한 연구를 실시하였고, 신문섭(1999b)은 "새만금 간척에 따른 어기능 보원에 관한 연구"에서도 잠제를 활용하였다. 제안한 잠제는 친환경적이면서도 효과적이 소파효과를 기대할 수 있는 구조물로써 기존의 잠제 형태와는 다르게 수평판을 여러층으로 설치하여 소파효과에 관한 실험을 하였다. 수평판 실험은 수평판에 구멍을 뚫어 공극의 변화에 대한 소파효과와 천단폭의 변화에 대한 소파효과를 알아보았다. 실시한 실험결과와 선행된 잠제모형의 실험결과를 비교하여 얼마만큼 소파효과에 대한 기대를 가질 수 있는지도 알아보았다.

본 연구의 목적은 이러한 새로운 형태를 가진 잠제를 제시하여 기존의 잠제가 보여주는 소파효과와 비교해 보다 나은 소파효과를 기대해 보고, 또한 여기에 잠제형 어초의 기능을 더해 친환경적인 잠제의 개발로 추후에 새로운 형태를 가지는 잠제 연구에 대한 초석으로 삼을 수 있는 데에 그 의의가 있다.

교신저자 이현진: 군산시 미룡동, 010-9253-5911, 063-469-4755, 1004devilkin@hanmail.net

2. 실험

2.1 조파장치

실험에 사용된 수로는 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 해안공학실험실에서 보유하고 있는 길이(30m), 너비(7m), 깊이(1.5m)의 3차원 평면수로를 이용하였다. 조파장치는 Table 1의 제원을 가지며 조파수로 내부에는 조파기 후면과 수로말단부에 파의 반사를 막아주는 경사식 소파장치 시설을 갖추고 있어 최소한의 오차가 발생하도록 해준다. 조파장치는 피스톤 형으로 Servo motor 구동 방식이며, 파를 직접 발생시켜 주는 조파판에는 파고계가 설치되어 있어 직립구조물의 반사파를 흡수하는 기능을 가지고 있다.

Table 1 Specifications of wave generator

Specifications	
Size of basin	Length (30m), Width (7m), Depth (1.5m)
Wave paddle	7.0(W)m×1.4(H)m App.
Maximum water depth	1.0m
Maximum water height	0.3m
Period	0.5~5 sec
Running formula	AC Servo Motor
Wave generating type	Piston type regular & Irregular

2.2 실험방법

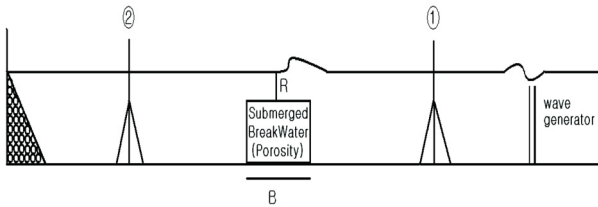


Fig. 1 Submerged breakwater model and measurement equipments are the arrangement of models in the wave channel.

본 실험에서는 파고계와 잠제 등의 자리 배치를 Fig. 1과 같이 설정하여 실험을 실시하였다. 수조안에 2차원의 실험이 가능하게끔 내부에 폭 1m의 수로를 제작하여 주변에서 입사하는 파를 막아주고 보다 정확한 데이터를 얻기위해 반사파를 쇠파시켰다. 여기서 R은 천단고, B는 천단폭을 나타낸다. 천단폭(B)은 잠제의 소파특성에 크게 영향을 미치는 요소이며 천단수심(R)에 비해 그 길이의 비가 크므로 비용적인 측면에서도 중요한 요소이다. 이러한 천단폭(B)에 대한 잠제의 소파특성은 Goda(1966)에 의해 실험적으로 정리되어졌으며 이후에도 많은 연구가 진행되었다. 또 그림에서 ①은 입사파고를 측정하기 위한 파고계이고, ②는 잠제에 의해 전달된 전달파고를 측정하기 위한 파고계이다. 각 파고계의 위치선정은 잠제를 위치해 놓고 ①은 잠제모형에 의한 반사파의 영향을 거의 받지 않는 위치를 측정하여 위치시켰으며,

②는 쇠파된 파가 일정한 파 크기를 형성하고 반사파의 영향을 적게 받는 위치에서 측정하였다.

파고계에서 발생된 입사파고와 잠제배후의 전달파고와의 관계를 통해 파고 전달률을 측정하여 소파효과를 파악하는데, 그 식은 다음 (1)과 같다.

$$\text{파고전달률} = \frac{H_t}{H_i} (\%) \quad (1)$$

3. 수평층 잠제의 실험

3.1 수리실험개요

수평층 잠제의 실험에서 잠제의 형태는 Fig. 2와 같은 모형으로 설치하여 해수의 순환이 이루어질 수 있어 어초의 기능을 겸할 수 있도록 수평판을 수직 배치한 형태의 잠제 모형을 만들었다. Fig. 2는 이러한 잠제모형을 공극의 유무에 따라 보여주고 있다. (a)는 공극이 없는 완전한 모형이며, (b)는 수평판에 공극이 있는 모형이다. 수평판의 천단폭의 변화에 대한 소파효과를 알아보기 위해서 30.0cm, 45.0cm, 60.0cm의 천단폭에 대한 전달파를 측정한다.

공극이 있는 경우 (d)에 그려진 것처럼 위에서부터 1번판과 3번판에 같은 모양의 구멍을 만들고, 2번판과 4번판은 1번과 3번의 구멍과 서로의 공극이 겹치지 않도록 구멍을 만들어 수직흐름의 급격한 흐름은 막고, 어류의 유영이 가능하게끔 만들어 실험을 실시하였다. 이때 각 판의 공극률은 일정하도록 제작하였고, 천단폭이 변화할 때 각판의 공극률도 일정하도록 하였다.

3.2 수리실험조건

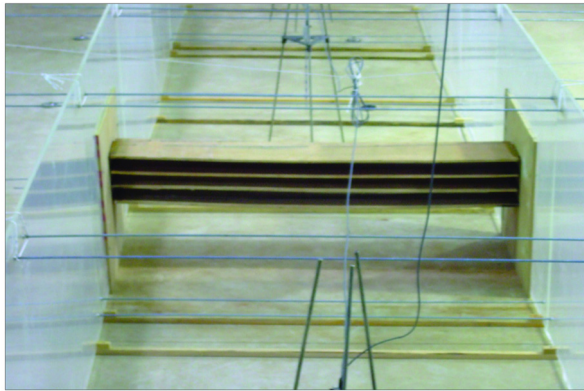
Table 2 Experiment conditions of regular wave

Crown width B(cm)	30cm	45cm	60cm			
H(cm)	10					
T(sec)	0.8	0.8	0.8			
	1.0	1.0	1.0			
	1.2	1.2	1.2			
	1.4	1.4	1.4			
	1.6	1.6	1.6			
Porosity(%)	0.0	14.8	0.0	14.8	0.0	14.8

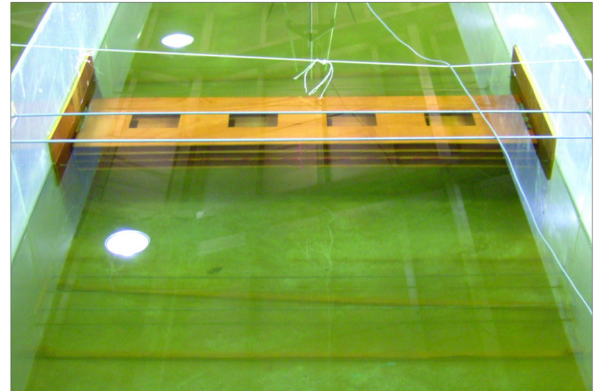
Table 3 Experiment conditions of irregular wave

Crown width B(cm)	30cm	45cm	60cm							
H(cm)	10	17.5	10	17.5	10	17.5				
T(sec)	1.22	2.25	1.22	2.25	1.22	2.25				
Porosity(%)	0.0	14.8	0.0	14.8	0.0	14.8	0.0	14.8	0.0	14.8

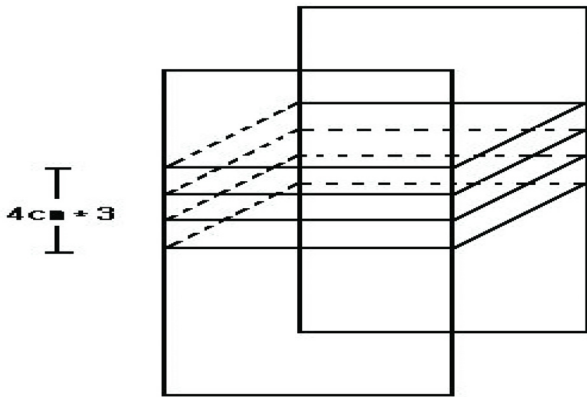
실험의 조건으로는 이후 본 연구의 결과와 비교대상이 되는 유대성(2004)의 논문에서 사용한 새만금지구 수리실험 및 파랑



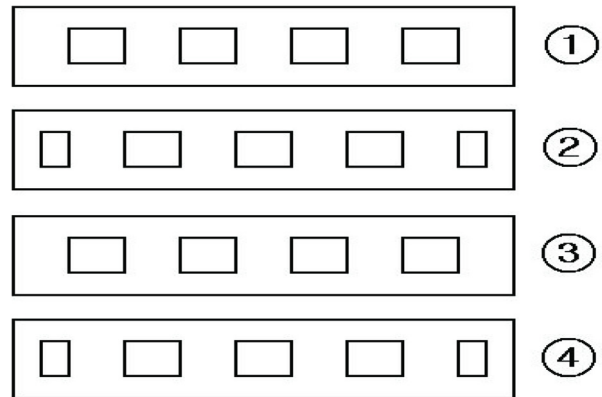
(a) Solid model



(b) Perforated model



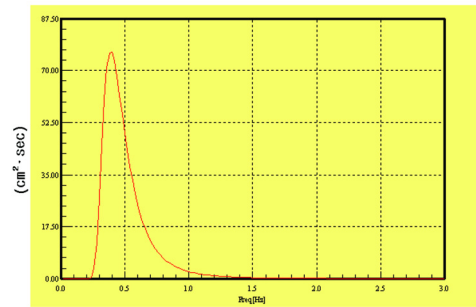
(c) A perspective plan of solid model



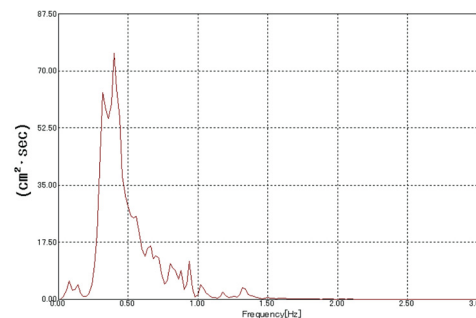
(d) Perforated model's porosity form

Fig. 2 Submerged breakwater of horizontal plates

관측 보고서(1990~2002)의 파랑조건을 참고하여 실험을 실시하였다. 천단폭(B)는 공극의 유무에 따라 각각 30.0cm, 45.0cm, 60.0cm의 조건으로 실험을 실시하였다. 천단고 및 수평판 사이의 간격은 8.0cm로 하였다. 규칙과의 경우 파고의 변화보다 파장의 변화에 따른 소파효과의 변화가 더 영향이 클 것으로 생각되어 파고(H)는 10.0cm, 주기(T)는 0.8sec, 1.0sec, 1.2sec, 1.4sec, 1.6sec로 주기를 변화시켜 실험을 실시하였다. 불규칙과의 유의파고($H_{1/3}$)와 유의파주기($T_{1/3}$)는 $H=10.0\text{cm}$, $T=1.22\text{sec}$ 와 $H=17.5\text{cm}$, $T=2.25\text{sec}$ 의 두 가지 경우로 하였다. Table 2와 Table 3은 각각규칙과와 불규칙과의 실험조건이다. Table 2와 Table 3에서 주어진 공극률은 수평판의 구멍을 뚫어 제거된 부분의 부피를 총 부피로 나누어 주어 얻은 값이다. Fig. 3(a)와 Fig. 4(a)는 조파장치에서 발생시켜야하는 목적스펙트럼이며 Fig. 3(b)와 Fig. 4(b)는 입력해준 유의파고와 유의주기를 이용하여 조파장치에서 발생시킨 불규칙과의 발생 스펙트럼이다. 여기서 발생한 스펙트럼의 결과 값은 $H=10.0\text{cm}$, $T=1.22\text{sec}$ 인 경우 $H=9.7\text{cm}$, $T=1.21\text{sec}$ 와 $H=17.5\text{cm}$, $T=2.25\text{sec}$ 인 경우에는 $H=17.7\text{cm}$, $T=2.33\text{sec}$ 로 목적 스펙트럼과 발생 스펙트럼이 매우 유사하게 발생되었고 또한 그래프도 목적 스펙트럼과 발생 스펙트럼이 비슷하게 나타났으므로 발생한 불규칙과는 주어진 파고와 주기에 맞게 잘 재현되었다고 할 수 있다.



(a) Target spectrum



(b) Generated spectrum

Fig. 3 Target spectrum and Generated spectrum [$H=17.5\text{cm}$, $T=2.25\text{sec}$]

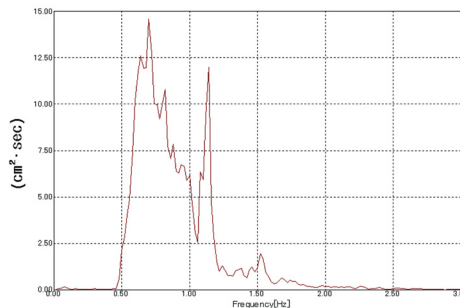
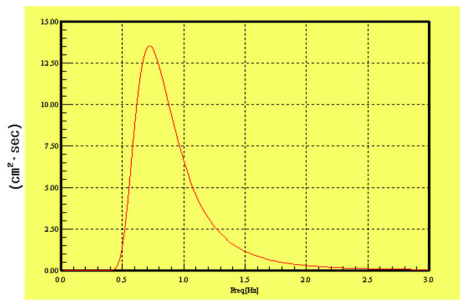


Fig. 4 Target spectrum (left) and generated spectrum (right) [H=10.0cm, T=1.22sec]

4. 수평층 잠제의 실험결과

4.1 천단폭의 변화와 공극유무에 따른 전달률의 변화(규칙파)

Fig. 5는 규칙파를 발생시켜 얻은 실험데이터를 이용해 만든

그래프이다. x축은 파고전달률을 나타내며, y축은 천단폭/파장을 나타낸다. 공극의 유무에 따라 파고 전달률을 비교해 보면 천단폭이 30cm인 경우 공극이 있는 경우보다 공극이 없는 경우의 파고 전달률이 약 10%정도 낮았다. 또 천단폭이 45cm인 경우에는 공극이 있는 경우보다 공극이 없는 경우의 파고 전달률이 약 15%정도 낮았다. 천단폭이 60cm인 경우에는 공극이 있는 경우보다 공극이 없는 경우의 파고 전달률의 차이가 약 5%내외의 차이를 보였다.

천단폭의 변화에 따라 파고 전달률의 변화를 비교해 보면 천단폭이 30cm인 경우에는 약 67%의 파고 전달률을 보이고 천단폭이 45cm인 경우에는 이보다 약 25%정도 파고 전달률이 낮아졌다. 그리고 천단폭이 45cm에서 60cm로 변화했을 때에는 파고 전달률의 변화가 거의 없었다.

또 각 주기의 변화에 따라 파고 전달률의 변화를 비교해 보면 천단폭이 30cm에서 45cm로 증가한 경우 주기 T=1.6, 1.4, 1.2, 1.0, 0.8 일 때 0.21, 0.27, 0.5, 0.03, 0.22의 변화를 보였으며, 천단폭이 45cm에서 60cm로 증가한 경우에는 -0.02, 0.09, 0, 0.03, -0.16의 변화를 보였다. 이 중에서 주기 T=1.2인 경우 파고 전달률 변화가 가장 큰 변화를 보였고, 주기 T=1.0과 T=0.8인 경우에는 파고 전달률 변화가 가장 작게 나타났다.

4.2 천단폭의 변화와 공극유무에 따른 전달률의 변화(불규칙파)

Fig. 6은 불규칙파를 발생시켜 얻은 실험데이터를 이용해 만든 그래프이다. Fig. 6(a)는 유의파고 H=10cm, 유의주기 T=1.22인 경우의 결과 그래프이며 Fig. 6(b)는 유의파고 H=17.5cm, 유의주기 T=2.25인 경우의 결과 그래프이다. 천단폭의 변화에 따라 파고 전달률을 비교해 보면 (a)에서 공극이 없는 경우에 천단폭이

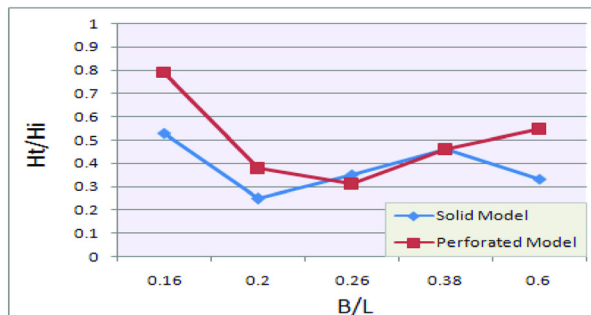
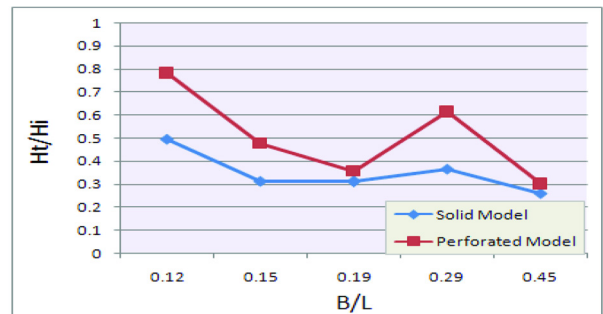
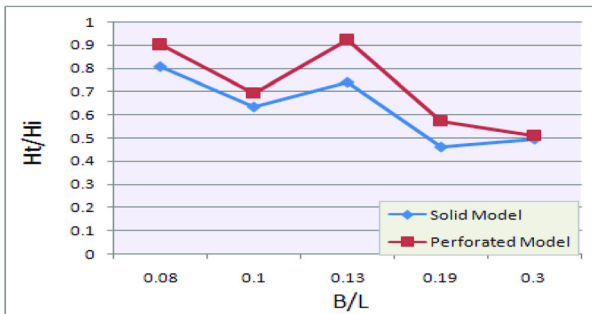
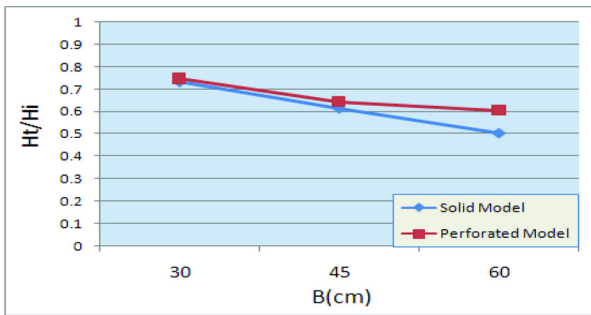
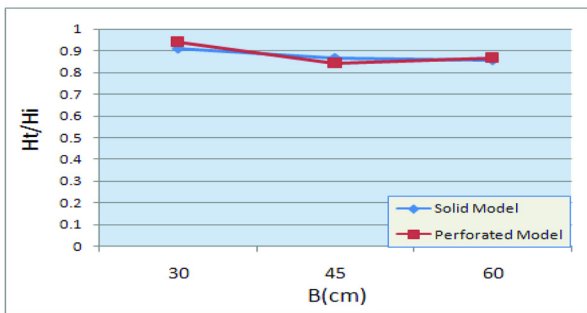


Fig. 5 Wave height transmission rate due to porosity in regular wave



(a) $H=10\text{cm}$, $T=1.22\text{sec}$



(b) $H=17.5\text{cm}$, $T=2.25\text{sec}$

Fig. 6 Wave height transmission rate due to crown width in irregular wave

30cm에서 45cm로 넓어졌을 때 약 8%정도 전달률이 낮아졌으며, 45cm에서 60cm로 넓어졌을 때는 약 9%정도 전달률이 낮아졌다. 그리고 공극이 있는 경우에는 천단폭이 30cm에서 45cm로 넓어졌을 때 약 10%정도 전달률이 낮아졌으며, 45cm에서 60cm로 넓어졌을 때는 약 4%정도 전달률이 낮아졌다. “Fig. 6(b)에서 공극이 없는 경우에 천단폭이 30cm에서 45cm로 넓어졌을 때 약 5%정도 전달률이 낮아졌으며, 45cm에서 60cm로 넓어졌을 때는 약 1%정도 전달률이 낮아졌다. 그리고 공극이 있는 경우에는 천단폭이 30cm에서 45cm로 넓어졌을 때 약 10%정도 전달률이 낮아졌으며, 45cm에서 60cm로 넓어졌을 때는 약 1%정도 전달률이 높아졌다.

공극의 유무에 따라 파고 전달률을 비교해 보면 “Fig. 6(a)에서는 천단폭이 30cm일 때는 공극이 있는 경우에 비해 공극이 없는 경우의 파고 전달률이 1.3% 낮아졌고, 천단폭이 45cm일 때는 2.7%, 천단폭이 60cm일 때는 10%정도 낮아졌다. “Fig. 6(b)에서는 공극의 유무에 따라서는 전달률의 차이가 거의 없었다. “Fig. 6(a)와 “Fig. 6(b)에서 공극의 유무로만 비교해 보면 공극의 유무가 파고 전달률에 큰 변화를 보이지는 않으므로 공극을 만들어 어류 유평등에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되어 MITIGATION의 효과가 있을 것이라고 생각한다.

5. 실험결과의 효용성

5.1 선행된 잠제실험과의 소파효과 비교

선행된 유대성(2004) ‘친수환경 조성을 위한 잠제의 수리특성에 관한 연구’중에서 불투과성 잠제의 파고 전달률과 공극률이 약

50%인 투과성 잠제의 파고 전달률의 결과, 그리고 본 논문에서 실험한 수평층 잠제의 파고 전달률의 결과를 Table 4에 제시하였다. 유(2004)의 논문에서 투과성, 불투과성 잠제와 본 논문에서 비교된 수평층 잠제의 파고와 주기는 같으며, 천단폭은 비슷한 크기를 가지는 잠제를 선정하여 비교하였다.

Table 4 Wave height transmission rate comparison of the horizontal plate and 유대성(2004) result

Period(sec)	유대성(2004) Result		This study's result Horizontal plate
	Permeable (Porosity=50.9%)	Impermeable	
0.8	51.1%	34.8%	26.0%
1.0	51.0%	30.3%	36.5%
1.2	46.4%	37.4%	31.0%
1.4	58.4%	50.6%	31.4%
1.6	73.2%	50.7%	49.5%

Table 4를 보면 공극률이 약 50%인 투과성 잠제보다 불투과성 잠제의 파고 전달률이 약 12%정도 낮은 것을 확인하였고, 수평층 잠제는 그보다 6%정도 낮은 파고 전달률이 나타남을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 수평층 잠제의 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 수평판을 이용하여 새로운 형태의 잠제모형을 제시해 보았다. 실험에서는 공극과 천단폭의 변화에 따른 파고 전달률의 변화를 알아보았고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수평층 잠제의 실험에서 규칙파의 실험 결과, 파고 전달률은 공극이 없는 경우에 공극이 있는 경우보다 좀 더 나은 소파효과를 보였다.

(2) 수평층 잠제의 규칙파 실험에서 천단폭에 변화를 주었을 때, 천단폭이 30cm에서 45cm로 변화할 때에는 파고전달률이 약 10~30% 감소하였고, 천단폭이 45cm에서 60cm로 변화할 때에는 파고 전달률이 약 6.6%이었다. 전반적으로 천단폭이 증가함에 따라 소파효과는 증가하지만 천단폭이 증가할수록 소파효과의 증가가 둔화되는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 수평층 잠제의 불규칙파 실험 결과, 파고 전달률은 공극의 유무에 의한 변화는 작았다. 천단폭에 변화를 준 경우에는 천단폭이 30cm에서 45cm로 변화할 때에는 파고전달률이 10%정도 감소하였다. 그러나 천단폭이 45cm에서 60cm로 변화할 때에는 파고 전달률의 변화가 작았다.

(4) 수평층 잠제의 불규칙파 실험 결과, 공극의 유무에 의한 파고 전달률 변화는 미미하였지만 공극이 있는 경우 어류의 유평이 가능하여 어장형성에 도움이 될 수 있다고 판단된다.

(5) 수평층 잠제와 불투과성 잠제, 그리고 공극률이 약 50%인 투과성잠제의 소파효과를 비교한 결과 투과성 잠제보다는 불투과성 잠제와 수평층 잠제의 소파효과가 약 12%정도 더 좋음을 알 수 있었고, 불투과성 잠제와 수평층 잠제를 비교해보면 수평층

잠제의 경우가 불투과성 잠제보다 약 6% 더 나은 소파효과를 보였다. 이를 통해 수평층 잠제의 활용 가능성을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2010년 군산대학교 환경건설연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- Hamaguchi, T., Uda, T., Inoue, C., Igarashi A. (1991). "Field Experiment on Wave-Dissipating Effect of Artificial Reefs on the Niigata Coast".
- Hiroshi, H.G. and Takao, S.M.(1996). New concept of Breakwater Structure More Suitable to Fishery Resource Propagation
- Hur, D.S., Mizutani, N. (2001) "Experimental Study on Wave Forces Acting on a Structure Installed on a Submerged Breakwater", Asian and Pacific Coastal Engineering
- Johnson, H.K. (2006). "Wave Modelling in The Vicinity of Submerged Breakwaters", Coastal Eng., 53, pp 39-48.
- Johnson, H.K., Karambas, T.V., Avgeris, I., Zanuttigh, B., Gonzalez-Maroco, D. and Caceres, I. (2005). Modelling of waves and currents around submerged breakwaters. Coastal Eng., 52, pp 949-969.
- Krystian W. Pilarczyk and Rijkswaterstaat (2003). "Design of Low-Crested Submerged Structures", International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries.
- 김도삼 (2000). "Wave Scattering by Multi-Rowed Submerged Breakwaters", 대한토목학회 논문집 20(1-B), pp 85-94.
- 김도삼, 이광호, 허동수, 김정수 (2001). "Numerical Simulation of Wave Fields Due to the Impermeable Submerged Breakwater Using VOF Method", 대한토목학회 논문집 21(5-B) pp 551-560.
- 새만금지구 수리실험 및 파랑관측 보고서 (1990~2002). 농어촌공사, 농림수산부
- 신문섭 (1999a). "새만금 간척에 따른 미티게이션", 한국농공학회 지 44(5).
- 신문섭 (1999b). "새만금 간척에 따른 역기능 보완에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 19(3), pp 317-327.
- 유대성 (2004). 친수환경 조성을 위한 잠제의 수리특성에 관한 연구, 군산대학교 석사학위 논문.
- 허동수, 이우동 (2007). "잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART I -해빈이 없을 경우", 대한토목학회논문집, 27(6B), pp 689-701.
- 허동수, 이우동 (2008a). "잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART II -해빈이 있을 경우" 대한토목학회논문집, 28(1B), pp 115-123.
- 허동수, 이우동, 염경선 (2009). "잠제 설치 연안역의 파동장에 미치는 해안곡률의 영향", 대한토목학회논문집, 29(5B), pp 463-472.

2010년 10월 12일 원고 접수

2011년 11월 22일 심사 완료

2011년 12월 23일 게재 확정