

수평형 타공판에 의한 소파성능의 실험적 연구

정학재⁽¹⁾, 조일형⁽²⁾

Experimental Study of Wave-Absorbing Performance by Horizontal Punching Plates

by

H. J. Jung⁽¹⁾ and I. H. Cho⁽²⁾

요 약

해양공학과 관련된 모형실험을 위하여 많이 사용되고 있는 조파수조(2차원수조, 장수조, 사각수조)에 소파장치는 필수적인 장치이다. 본 논문에서는 새로운 개념의 소파장치의 소파성능을 실험을 통하여 살펴보았다. 새로 고안된 소파장치는 소파성능이 우수하고 가법기 때문에 설치가 용이하다. 또한 넓은 설치공간이 필요치 않아 수조공간 활용에 있어 효과적이며 조파기로부터 발생된 파장에 큰 영향을 받지 않기 때문에 아주 큰 장파만 피한다면 거의 완벽하게 파를 소멸시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 소파장치는 일정한 크기의 구멍이 균일하게 배열된 타공판을 입사파의 진행방향과 수평으로 수면 밑에 잠기게 설치한 형태로 파가 수평형 타공판을 통과하면서 타공판의 구멍을 통하여 강한 제트 흐름이 형성되면서 파 에너지가 소멸되는 특징을 가지고 있다. 모형실험 결과 수평형 타공판의 소파성능은 타공판의 잠긴 깊이와 판의 전체면적과 뚫린 부분의 면적의 비로 표현되는 공극율에 밀접한 관련이 있으며, 각각의 값은 최대 소파성능을 발휘하는 최적의 값을 가지고 있음을 규명하였다. 수평형 타공판의 앞쪽을 뒤쪽보다 약간 기울게 설치하는 방법도 특정한 주파수 범위내에서는 수평형에 비하여 우수한 소파성능을 보이며, 이때 타공판의 경사각도도 소파장치 성능을 결정하는데 중요한 변수임을 밝혔다.

Abstract

Wave absorbing system is needed at various kinds of wave basins (wave flume, towing tank, square tank) for the model test related to the ocean engineering. In this paper, the performance of wave absorbing system with new concept is estimated

(1) 학생회원, 홍익대학교

(2) 정회원, 선박해양공학연구센터

throughout the experiments. Herein, the wave absorbing system is designed by punching plate with a given porosity which is installed horizontally and submerged near the water surface. As the incident wave generated by a wave maker advances above a punching plate, the strong jet flow is formed near a hole of punching plate. As a result, wave energy is dissipated into heat energy. Systematic model tests were conducted at KRISO to verify the performance of the wave absorber using a punching plate. It was found that the reflection coefficient of wave absorber is deeply dependent on both the porosity and the submerged depth of a punching plate. Inclined installation of a punching plate shows better performance than a horizontal one within a certain inclined angle.

Keywords : wave absorbing system, punching plate, reflection coefficients, wave basin, porosity

1. 서론

해양공학에 관련된 문제를 접근하는 방법은 이론 해석, 수치실험, 수리모형실험으로 정리될 수 있다. 이들 각 기법은 상호보완적인 수단으로 사용될 뿐만 아니라 각 기법을 정립하고 검증하기 위한 수단으로 사용된다. 최근 컴퓨터의 발달로 수치실험기법이 급격한 발전을 보이고 있으나, 실험역의 복잡한 환경특성을 모두 고려하는 수치모델은 아직 개발되지 못한 상태이므로 수리모형실험은 여전히 중요한 기법의 하나이다. 이때, 필요한 외력환경을 실험수조 내에 정확히 재현하는 것은 매우 중요한 기술이며 이를 위해 다양한 형태의 장치들이 사용되고 있다. 조파수조에서 발생된 파는 수조의 벽들로부터 반사되어, 관측영역에서의 파랑 및 물 입자 운동은 시간이 경과될수록 복잡한 양상을 보이며, 이는 다방향 또는 불규칙파의 경우 더 심하게 나타난다. 따라서 발생파의 안정화 및 가용 영역의 극대화를 위한 효율적인 소파장치의 개발이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 수면과 평행하게 설치된 타공판(Punching Plate)을 이용한 소파장치의 소파성능을 실험적으로 살펴보았다. 이를 위하여 KRISO에서 보유하고 있는 2차원 수조에서 일련의 체계적인 실험을 수행하였다. 실험모델은 수직벽 앞에 수면과 평행하게 설치된 타공판으로 잠긴 깊이를 조절할 수 있도록 하였다. 입사파의 주파수와 타공판의 공극률(Porosity)과 잠긴 깊이(Submergence

Depth), 그리고 경사각도(Inclined Angle)를 바꿔가면서 반사율의 변화를 살펴보았다.

2. 소파장치

2.1 소파장치의 종류 및 특성

소파장치는 조파수조의 중요설비로서 크게 2가지 목적으로 설치된다. 첫째는 조파장치에 의해 생성된 파가 수조의 반대쪽 끝에서 반사되어 생기는 반사파를 감소시켜 파의 왜곡을 방지하는 것이고 둘째는 모형실험 종료후의 수면의 교란을 짧은 시간 내에 소멸시켜 실험의 능률을 증가시키는 것이다. 조파수조에서 조파장치 다음으로 중요한 장치인 소파장치의 제작에는 매우 다양한 형태와 재료가 사용되고 있다. Ouellet과 Datta[1986]는 세계각지에 설치 운용되고 있는 58개소의 조파수조를 대상으로 소파장치 현황을 조사한 바 있으며, 그 결과를 바탕으로 기존의 소파장치의 종류 및 특성을 간략히 살펴보고자 한다.

소파장치는 크게 능동형과 수동형으로 구분할 수 있다. 능동형 소파장치는 파 운동에 따라 소파판을 움직여 반사파를 줄이는 조파-소파장치라 할 수 있다. 아직까지는 파도가 한 방향으로만 진행되는 조파수조에 사용이 국한되어 있는 실정이며 비용이 많이 들어 세계적으로 4개소(이스라엘의 Coastal and Marine Engineering Research, 네덜란드의 Delft Hydraulics Lab., 일본의 Port and

Harbor Research Institute, 영국의 University of Newcastle)의 조파수조만이 능동형 소파장치를 사용하고 있다. 다른 대부분의 조파수조에서는 수동형 소파장치가 사용되고 있으며, 수동형 소파장치의 형식은 크게 비치형과 직립형으로 나눌 수 있다.

2.2 비치형 소파장치

비치형은 모래, 자갈, 돌등을 사용하여 바다까지 일정한 경사를 이루게 한 것이 가장 많이 쓰이나, 가로 봉이나 철망등 다른 재료를 이용하기도 하며, 경사면 하단을 개방시키거나 경사면을 곡선형 또는 다중 경사면으로 구성하는 경우도 많다. 비치형 소파장치의 소파원리는 다음과 같다. 경사진 사면에 입사하는 파는 천수파(Shallow water waves)가 되고 경사면에 의해 파의 파장이 감소하고 파고는 증가하는 현상이 일어난다. 수심이 감소함에 따라 파의 기울기는 점점 증가하여 결국 파는 깨지게 되고 파가 가지고 있던 에너지는 소멸되어 소파가 이루어지는 것이다. 따라서 비치형 소파장치의 소파성능은 입사파의 파장 및 파고에 따라 크게 변화한다. 또한 경사판 자체의 경사각, 길이 및 표면의 조도 등도 중요한 설계항이 된다. 비치형 소파기의 경사는 매우 완만해야 하는데, 일반적으로 높이 대 밑변의 길이비가 1:10보다 작아야 좋은 에너지 손실 효과를 얻을 수 있으며, 이것은 소파기가 수조의 많은 면적을 차지하게 되는 것을 의미한다. 경사판 위에 와이어나 격자(Grating)를 붙여 표면을 거칠게 하여 파를 좀더 교란시킴으로써 파 에너지 소멸을 더욱 촉진시키는 방법들이 최근 시도되고 있다. 그러나 수심이 깊거나 장파를 대상으로 하는 경우 비치형 소파장치는 너무 많은 공간을 차지하고 이것은 비치형 소파기의 큰 약점으로 남아있다.

2.3 직립형 소파장치

사각형수조에서는 직립형 격자판(Mesh Plate)을 배열하여 파를 줄이는 형태를 주로 사용하고 있다. 직립형 격자판을 이용한 소파장치는 주로 수심의 변화가 많은 조파수조에 사용되고 있다. 직립형 격자판을 가지고 원하는 소파성능을 얻기 위해서는 여러개의 격자판을 파의 진행방향에 따라 적절히 배열해야 하며 보통 공극율이 큰 것에서부터 작은 것으로 순차적으로 배열해야 우수한 소파 효율을 얻을 수 있다. 따라서 많은 양의 격자판이

필요하며 잘못 배열된 경우 교체 및 수정이 어려운 단점을 가지고 있다. 격자판은 파의 에너지나 음파의 에너지를 감소시키는 특성을 가지고 있어 방파제나 무항실의 벽에 많이 이용되고 있다. 직립형 소파장치의 소파원리는 다음과 같다. 입사파가 격자판을 통과할 때 격자판의 뚫린 부분을 통해 강한 제트가 형성되어 점성에 의한 박리(Separation)가 일어나고 이 때 파 에너지의 일부분이 소멸된다. 격자판의 작은 구멍을 통과하면서 발생하는 물리적 현상은 음향학 분야에서 많은 연구가 이뤄졌다. Madsen[1983]는 직립형 격자판을 해양수조에 설치될 소파기에 적용한 문제를 다뤘는데, 공극율이 다른 여러 개의 격자판을 설치했을 때의 반사율의 차이를 실험을 통하여 구하였고, 공극율이 다른 격자판을 효과적으로 배치하면 전체 시스템의 반사율을 5%이내로 유지할 수 있음을 밝혔다. 효과적인 격자판 배치방법으로는 파를 처음으로 만나는 격자판은 공극율이 상대적으로 큰 것을 사용하고 그 후의 격자판은 점차적으로 공극율이 작은 판을 설치해야 반사파의 에너지를 최소화할 수 있다는 사실을 이론 계산을 통하여 밝혔다. 이러한 직립형 격자판을 이용한 소파장치는 캐나다 NRC, 미국의 OTRC, KRISO의 해양공학수조에서 현재 운용 중에 있다.

3. 수평형 타공판의 소파성능 모형 실험

모형실험은 KRISO의 2차원 조파수조(길이 20m, 폭 0.6m, 깊이 1.0m)에서 수행되었다. 벽면이 유리 되어있는 이 수조는 규칙파 및 불규칙파를 만들어 낼 수 있는 피스톤식 조파기를 가지고 있다. 전체적인 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 규칙파는 조파기 서보모터에 입력되는 주파수-전압 입력신호에 의해 발생된다. 파의 주파수는 0.4에서 1.4Hz 범위에서 안정적으로 선형파 특성을 보이는 파 경사도(Wave Steepness)범위의 것을 사용하였다. 파고는 정확도 $\pm 0.1\text{cm}$ 의 저항식 파고계를 통해 측정하였고, 입사파와 반사파를 분리하기 위하여 Mansard & Funke[1980]가 제안한 최소자승법을 사용하였다. 수평타공판 전면에 4개의 파고계를 설치하였는데, 설치위치는 가장 조파기 쪽에 가까운 것이 소파구조물로부터 4m, 나머지는 첫 번째 파고계로부터 각각 40cm, 69.7cm, 86.4cm지점에 위치시켰다. 파고계 사이의 상대 위치는 반사파 분리를 위한 계산에 사용된다. 파고계로부터

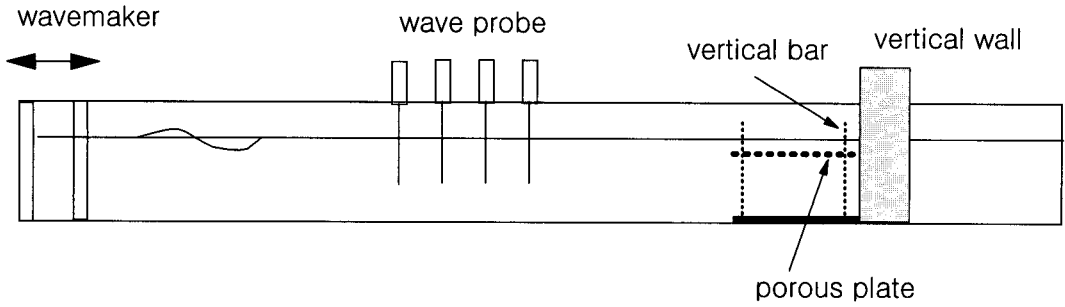


Fig. 1 Experimental set-up for measuring the reflection coefficients of horizontal punching plate with a vertical wall

전달된 신호는 소파기로부터 반사되어 나오는 파가 계측지점에 도달하여 입사파와 충분히 성숙된 반사파가 동시에 계측될 수 있는 시점으로부터 0.05sec 간격으로 약 26초 정도 받았다.

시간이 경과함에 따라 반사파는 조파기에 도달하여 다시 반사되어 오는데, 이 실험에서 사용한 반사파 분리기법에서는 이렇게 입사파와 섞여 들어오는 조파기쪽 반사파는 고려하고 있지 못하므로 이러한 조파기 반사파가 계측된 영역은 데이터에서 제거되어야 한다. 계측된 값들을 우선 그래프로 그려서 아직 소파기로부터의 반사파가 충분히 도달하지 않은 처음 부분이 있거나 끝부분에 비정상상태로 판단되는 부분이 있으면 이부분의 데이터를 삭제하였다. 이렇게 한번 가공된 데이터를 반사파 분리 프로그램에 입력하여 계산하였다.

타공판의 모양은 Fig. 2와 같다. 일정한 직경의 원형 구멍이 정삼각형 형태로 일정한 간격을 갖고 배열된 형태로 판의 길이는 60cm, 두께는 1.6mm

로 하였다. 타공판의 공극율은 뚫린 부분의 면적을 전체면적으로 나눈 값으로 정의되며, 7개의 서로 다른 공극율에 대하여 잠긴 깊이와 기울기를 바꿔가면서 실험을 수행하였다. 수행된 실험의 경우를 Table 1에 정리하였다.

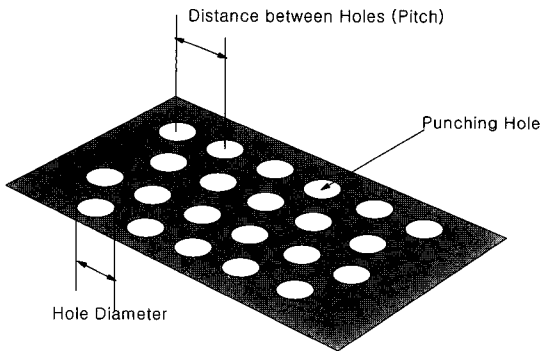
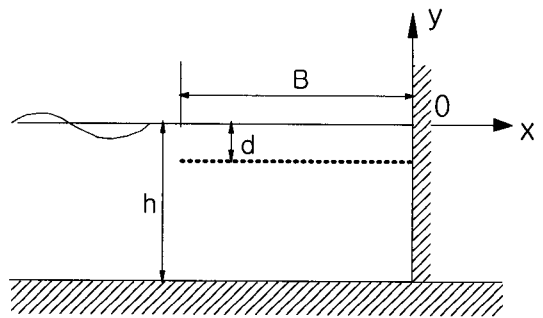
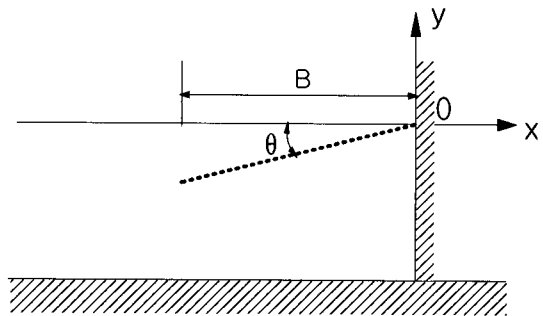


Fig. 2 Punching plate



a) Exp. #1



b) Exp. #2

Fig. 3 Experimental set-up of the punching plates

Table 1 Experimental conditions for punching plates

	Exp.#1	Exp.#2
Number of Plates	1	1
Length of Punching Plate	60cm	
Width of Punching plate	60cm	
Submergence Depth	1.5cm 2.0cm 5.0cm 10.0cm	Rear : 0cm Front: 3cm 5cm 8cm 10cm 17cm
Water Depth	60cm	
Porosity	0.0567 0.0740 0.1008 0.2267 0.2799 0.3000 0.4031	0.1008
Inclined Angle of Plate	0 degree	2.9 4.8 7.7 9.6 16.5 degree
Wave Frequency	0.4 - 1.4Hz	

타공판은 4개의 수직 기둥에 의해 원하는 잠긴 깊이를 갖고 수조에 고정된다.

Fig. 3의 (a),(b)는 각 실험에 대한 타공판의 설치 형태를 보여준다. 타공판 후면에는 수직벽을 설치하였다. Table 2는 실험에 사용된 타공판 모형의 주요 제원을 요약한 것이다.

4. 결과 및 해석

실험에서 측정된 반사율은 타공판의 길이를 입사파의 파장으로 나눈 값(B/λ)에 대하여 나타내었

다. 무차원화된 파장인 B/λ 값이 클수록 단파를 나타내며 B/λ 값이 작을수록 장파를 의미한다. Fig. 4와 5의 그림들은 1장의 타공판을 수면과 수평으로 설치하고 잠긴 깊이를 1.5cm로 고정시킨 경우들로, 공극율의 변화에 따른 반사율의 변화를 살펴보았다.

Fig. 4는 서로 다른 3개의 공극율($P=0.0567, 0.0740, 0.1008$)을 가진 타공판을 수면과 평행하게 설치한 경우 측정된 반사율을 B/λ 값에 따라 보여주고 있다. 이때 구멍의 직경은 2mm로 고정시켰고, 구멍간의 거리를 바꿔 공극율을 맞췄다. B/λ

수평형 타공판에 의한 소파성능의 실험적 연구

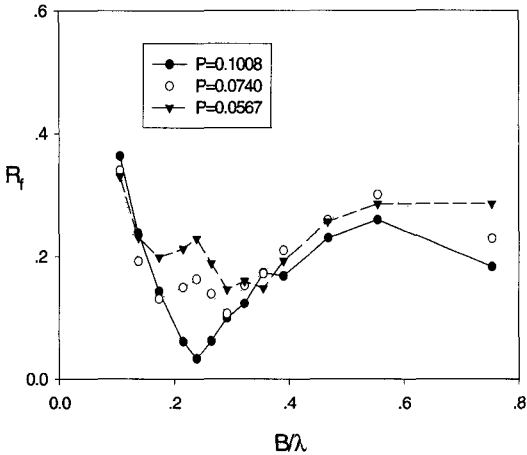


Fig. 4 Comparison of reflection coefficient for horizontal punching plate with different porosities ($d=1.5\text{cm}$)

값이 작은 저주파수 영역에서는 예상대로 큰 반사율을 나타내고 있으며 특히 $P=0.1008$ 인 타공판을 설치한 경우 $B/\lambda=0.24$ 까지 급격히 감소하여 $B/\lambda=0.24$ 에서 가장 작은 반사율을 보이다가 $B/\lambda=0.55$ 까지는 서서히 증가하다가 $B/\lambda=0.75$ 에서의 반사율은 $B/\lambda=0.55$ 와 비교하여 약간 작아진다. 3가지 종류의 타공판만을 비교할 때 공극율이 클수록 반사율이 감소하는 경향이 있으며 특히 $0.2 < B/\lambda < 0.3$ 주파수영역에서 감소 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 전반적으로 짧은 길이의 타공판으로도 우수한 소파성능을 보여 주고 있음을 알 수 있다

Fig. 5는 공극율이 0.1008보다 큰 3가지 타공판 ($P=0.2267, 0.3000, 0.4031$)에 대하여 주파수 변화에 따른 반사율 특성을 살펴본 것이다. 구멍의 직경과 구멍간의 거리는 Table 2에 정리하였다. 세 경우 모두 공극율 $P=0.1008$ 인 경우와 같이 특정 주파수($B/\lambda=0.24$)에서 반사율이 갑작스럽게 줄어드는 특징은 나타나지 않고 있다. 주파수가 증가함에 따라 반사율은 감소하는 경향을 보여주며

Table 2 Dimension of punching plates

Plate NO.	Diameter of hole(mm)	Center to center distance of hole(mm)	Porosity
1	2	8	0.0567
2	2	7	0.0740
3-1	2	6	0.1008
3-2	4	12	
3-3	8	24	
3-4	12	36	
4-1	2	4	0.2267
4-2	5	10	
5	2	3.6	0.2799
4	4	7	0.3000
6	4	6	0.4031

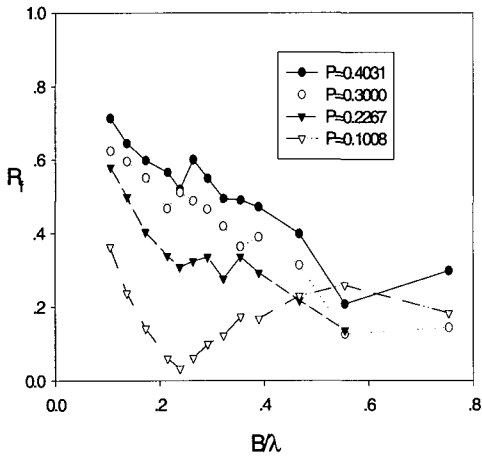


Fig. 5 Comparison of reflection coefficient for horizontal punching plate with different porosities ($d=1.5\text{cm}$)

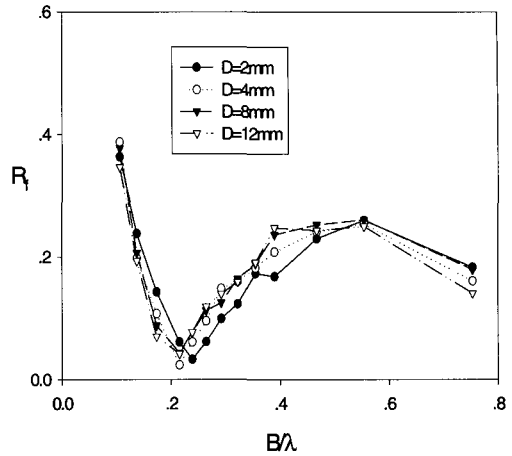


Fig. 6 Comparison of reflection coefficient for horizontal punching plate with different hole sizes ($P=0.1008$)

B/λ 가 0.5보다 큰 고주파수 영역에선 공극율이 상대적으로 큰 타공판에서 오히려 더 낮은 반사율을 보여준다, 그러나 고주파수 영역을 제외한 나머지 주파수에서는 공극율이 증가할수록 반사율이 증가하는 경향을 확연히 알 수 있다. 지금까지 같은 잠긴 깊이에서 공극율 변화에 따른 반사율 특성을 고찰한 결과 입사파 파장에 대한 반사율 특성은 각각의 타공판의 공극율에 따라 다르나 공극율이 0.1008일 때 평균적으로 최대의 소파성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 이상에서 최적의 소파성능을 얻기 위해서는, 다시 말하여 최소의 반사율을 갖기 위해서는 공극율이 너무 크거나 너무 작지 않는 적절한 값을 가져야 한다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 6은 공극율은 같지만 구멍의 직경이 달라질 때 반사율의 특성이 어떻게 달라지는 가를 보여주는 그림이다. 여기서 사용한 공극율은 0.1008이며 잠긴 깊이는 1.5cm이다. 타공판 구멍의 직경은 각각 2mm, 4mm, 8mm, 12mm이며 공극율 0.1008을 맞추기 위해 구멍간의 간격을 차례로 6mm, 12mm, 24mm, 36mm로 하였다. 그림에서 보듯이 비록 서로 다른 크기의 구멍을 갖는 타공판이지만 공극율이 서로 같으면 거의 같은 반사율을 보여주는 것을 볼 수 있다. 그러나 공극율이 같아도 구멍의 형태가 다르거나 구멍이 균일하게

배열되지 않으면 반사율이 서로 같지 않을 수도 있을 것이다.

Fig. 7은 같은 공극율($=0.2799$)에 대하여 잠긴 깊이($d=2\text{cm}, 5\text{cm}, 10\text{cm}$)를 바꿔가면서 반사율의 변화를 살펴본 것이다. 잠긴 깊이가 얕을수록 반사율이 작아지는 것을 볼 수 있다. 감소 폭은 $B/\lambda=0.1$ 주위의 저 주파수 영역에서는 작지만 주파수가 증가할수록 커지고 있다. 이러한 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 파도가 진행함에 따라 물 입자는 단혀진 원 궤적을 따라 이동하며 수심방향으로 지수 함수적으로 감소하여 수심이 증가함에 따라 그 운동반경은 작아진다. 따라서 에너지의 대부분은 수면 주위에 존재하기 때문에 파 에너지가 집중된 지역에 타공판이 설치되었을 때 소파 효과가 더 크게 나타나는 것이라 볼 수 있다.

Fig. 8은 타공판을 수면에서 약간 경사지게 설치하였을 때 계측된 반사율들을 비교한 것으로 지금까지 최대의 소파성능을 나타내었던 공극율 0.1008의 타공판에 대한 결과를 나타낸 그래프이다. 타공판의 뒤끝은 수면상에 놓이게 설치하고 앞쪽 끝을 수면에 3cm, 5cm, 8cm, 10cm, 17cm에 잠기도록 설치하였다. 각각의 경우 경사각도는 $2.9^\circ, 4.8^\circ, 7.7^\circ, 9.6^\circ, 16.5^\circ$ 가 된다. 여기서 동그라미는 경사각을 주지 않고 수평으로 설치한 경우를 나타낸다. B/λ 이 0.3보다 작은 저 주파수영역에서

수평형 타공판에 의한 소파성능의 실험적 연구

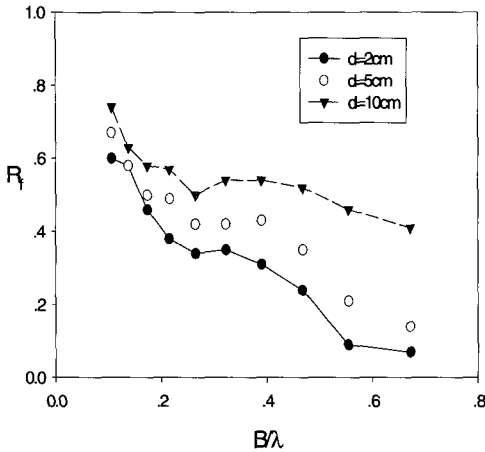


Fig. 7 Comparison of reflection coefficient for horizontal punching plate with different submerged depths ($P=0.2799$)

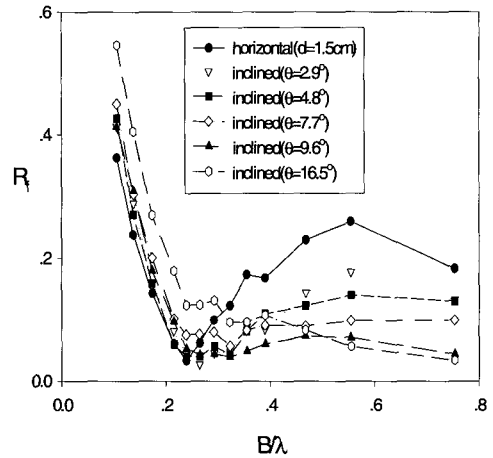


Fig. 8 Comparison of reflection coefficient for horizontal punching plate and inclined punching plates ($P=0.1008$)

는 미소한 차이지만 타공판을 경사지게 설치한 경우가 수평으로 설치할 때 보다 더 큰 반사율을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 B/λ 가 0.3 보다 큰 고 주파수영역에서는 경사진 타공판의 반사율이 더 낮음을 알 수 있다. 앞의 4가지 경사각에 대한 결과만 살펴본다면 경사각이 클수록 반사율은 감소된다고 할 수 있으나, 마지막 16.5° 인

경우에서 일부 알 수 있듯이, 경사각을 더 증가시켜 직립판에 가까워지면 소파효율은 오히려 떨어진다.

5. 설치와 활용

Fig. 9는 수평형 소파기 설치 개념도를 보여주고

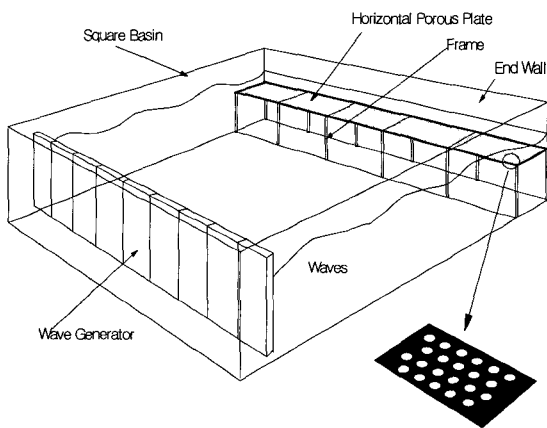


Fig. 9 Horizontal punching plate applied to a square basin

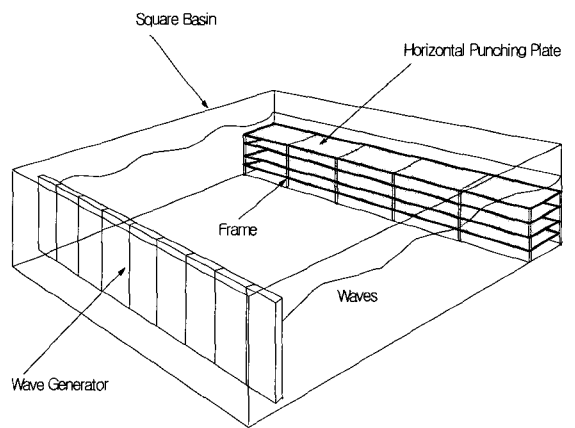


Fig. 10 Array of punching plate for various water depth

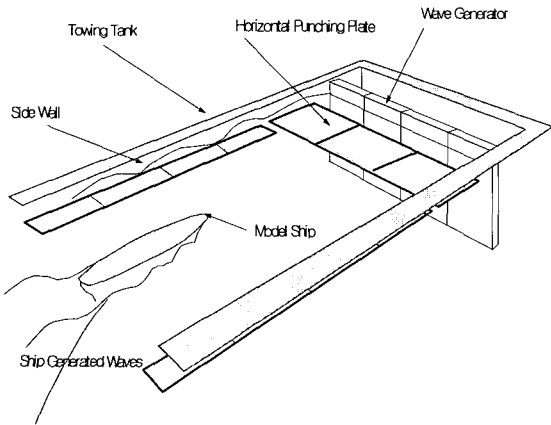


Fig. 11 Horizontal punching plate applied to a towing tank

있다. 실험이 수행되는 다양한 수위에서 최대의 효과를 발생하도록 하기 위해 타공판은 Fig. 10처럼 같은 공극율을 가진 여러 개의 타공판을 일정한 간격으로 설치할 수도 있는데, 이 경우 타공판들 사이의 거리가 너무 작으면 타공판 사이의 간섭효과로 소파 효율이 감소할 수 있으므로 적절한 거리를 유지해야 하며, 실험은 최대 효율을 얻을 수 있는 몇 가지 정해진 수위에서 수행되어야 한다.

Fig. 11은 예인수조의 조파기 앞과 양 측벽에 타공판을 설치한 경우이다. 예인수조에서의 실험은 대부분의 경우 일정한 수심에서 행해지므로 수평 타공판을 이용한 소파장치를 적용하는 것은 매우 합리적이다. 예인수조에서의 실험은 일반적으로 수면이 완전히 안정된 후에 가능하므로 소파기 성능은 능률적인 실험을 위해 대단히 중요하다. 조파기 앞쪽의 소파장치는 조파기를 이용하는 실험 시에는 위쪽으로 올려지고 조파실험이 끝난 후, 또는 단순한 예인실험 시에는 내려지도록 설계할 수 있으며, 이것은 한 장의 수평 타공판으로 이루어진 단순한 구조의 소파기가 아니라면 거의 불가능한 일이다. 수조 측벽에 역시 특히 작은 면적의 소파기가 필요하며 조파실험시 제거할 필요도 있어, 이 부분에 대한 수평 타공판의 적용은 매우 유용할 것으로 보인다.

6. 결론

이상의 모형실험의 결과로 다음과 같은 결론을 내

릴 수 있다.

1) 기존의 개발된 소파장치와는 다른 수평형 타공판을 사용한 소파장치는 짧은 설치길이도 불구하고 우수한 성능을 보여줄 수 있음을 실험적으로 규명하였다.

2) 수평형 타공판을 이용한 소파장치의 소파성능은 타공판의 공극율과 잠긴 깊이 그리고 길이에 따라 달라짐을 실험적으로 밝혔다. 대체적으로 잠긴 깊이가 얕을수록 공극율이 작을수록 소파성능은 향상되나 너무 작은 공극율을 가진 타공판을 사용하면 오히려 소파성능이 떨어진다. 즉, 최대 소파성능을 갖는 최적의 공극율 값이 존재한다.

3) 타공판의 구멍 직경이 달라도 구멍간의 간격을 조정하여 공극율을 서로 같게 맞추면 거의 같은 반사율을 보여주고 있음을 실험적으로 증명하였다. 그러나 타공판의 구멍의 크기가 너무 크거나 배열이 균일하지 못하면 다른 결과를 줄 수 있다.

4) 특정한 주파수 범위내에서는 타공판을 수평으로 설치할 때 보다 약간 경사지게 설치할 때의 소파효율이 우수하다. 그러나 타공판의 경사각을 너무 크게 주면 반사율이 오히려 증가한다. 즉, 공극율과 마찬가지로 최대의 소파성능을 보이는 적절한 경사각이 존재한다.

참고 문헌

- [1] 조일형, 김현주, 최학선, 1996, "직립타공판 배열에 따른 소파 성능 해석", 한국항만학회지, Vol. 10, 15-23.
- [2] 1996, "타공판재를 이용한 소파장치 설계 연구", 한국기계연구원 연구보고서, UCE580-1562-D
- [3] Madsen, P.A., 1983, "Wave reflection from a vertical permeable wave absorber", Coastal Engineering, Vol. 7, 381-396.
- [4] Mansard, E.P.D. and Funke, E.R., 1980, "The measurement of incident and reflected spectra using a least squares methods", Proc. of Coastal Eng., 154-172.
- [5] Ouellet, Y. and Datta, I., 1986, "A survey of wave absorbers", Journal of Hydraulic Research, Vol. 24, No. 4, 265-280.