

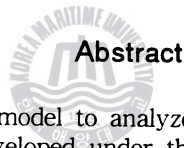
## 직립 타공판 배열에 따른 소파 성능해석

조 일 형\* · 김 현 주\* · 최 학 선\*

### On the Efficiency of a Wave Absorber Using the Arrays of Upright Perforated Plates

*I. H. Cho\* · H. J. Kim\* · H. S. Choi\**

**Key Words** : 타공판(Perforated Plate), 항력계수(Drag Coefficient), 부가질량계수(Added Mass Coefficient), 소파장치(Wave Absorber), 공극율(Porosity), 선형 포텐셜이론(Linear Potential Theory), 반사율(Reflection Coefficient), 투과율(Transmission Coefficient), 해양공학수조(Ocean Engineering Basin)



#### Abstract

In this paper, the numerical model to analyze the wave absorbing performance of upright perforated plates is developed under the linear potential theory. If the drag force is dominant to the inertia force in passing perforated plate, the characteristics of perforated plates are determined by a nondimensionlized real-value of  $G$  or a length scaled real-value of  $a$ . The parameters ( $G, a$ ), which depend on the drag coefficient, porosity and local shape of plates, can be readily obtained by simple experiments. We investigated the reflection coefficients over a wide frequency range according to the arrays of perforated plates with different values of  $G$  and  $a$ . We found that the wave absorbing system using the arrays of upright perforated plates is sufficient to install in the ocean engineering basin.

#### 1. 서 언

타공 구조물은 파의 에너지나 음파의 에너지를 감소시키는 특성을 가지고 있어 방파제나 무향실의 벽에 많이 이용되고 있다. 타공판의 작은 구멍을 통해 강한 제트가 형성되어 점성에 의한 박리(Separation)가 일어나 에너지의 일부분이 소멸된다. 발생하는 가속도에 비례하는 부가질량이 발생한다. 타공판의 작은 구멍을 통과하면서 발생하는 물리적 현상은 음향학

분야에서 많은 연구가 이뤄졌으며 이러한 해석 방법을 해안공학에 적용한 연구로는 Mei, Liu, Ippen (1974)의 논문이다. 이들은 타공판의 앞뒤의 파형의 차이를 속도에 제곱에 비례하는 항력항과 가속도에 비례하는 질량항의 합으로 표현하였고, 각 항에 포함된 경험계수( $f, L$ )들은 실험이나 간단한 계산을 통하여 구하는 방법을 제시하였다. 이때 질량계수  $L$ 의 물리적 의미는 선체운동론에서 많이 이용되는 Blockage 계수와 유사하다[5]. 타공판에 의한 반사계수와 투

\* 정회원, 한국기계연구원 선박해양공학연구소

과계수는 Chwang(1984)에 의하여 계산되었다. 한 끝에 벽이 있는 2차원 반 무한(Semi-Infinity) 수조내에 타공판이 설치되어 있을 때 타공판에 의한 반사율을 계산하였다. 그는 질량항을 무시하였고, 한 개의 타공판을 사용하였다. 그들의 계산결과에 의하면 입사파의 파장 ( $\lambda$ )과 타공판과 벽면사이의 거리 ( $L$ )사이의 관계가  $\lambda = \frac{4L}{1+2m}$  ( $m=0,1,2,3,\dots$ )일 때 타공판에 의한 반사율이 최소가 됨을 간단한 수치계산을 통하여 밝혔다. Madsen(1983)는 타공판을 해양수조에 설치될 소파기에 적용한 문제를 다뤘는데, 공극율이 다른 여러개의 타공판을 설치했을 때 반사율을 실험을 통하여 구하였다. 공극율이 다른 타공판을 효과적으로 배치하면 전체 시스템의 반사율을 5%이내로 유지할 수 있음을 밝혔다. 실제로 타공판을 이용한 소파기는 캐나다 NRC의 해양공학수조에서 현재 운용중에 있다. 여러개의 타공판에 의한 반사율 계산은 Twu, Lin(1990)에 의하여 선형포텐셜 이론을 가정하여 수행되었다. 이때 점성에 의한 항력계수는 간단한 실험을 통하여 얻었으며, 타공판에 의한 부가질량은 무시되었다. 실험으로부터 얻어진 계수들을 이용하여 공극율이 다른 타공판 배치에 따른 반사율을 계산하였다. 그들의 결론에 의하면 파를 처음으로 만나는 타공판은 공극율이 상대적으로 큰 것을 설치하며 그 후의 타공판은 점차적으로 공극율이 작은 타공판을 설치해야 반사율이 적어진다는 사실을 계산과 실험을 통하여 밝혔다.

본 연구에서는 KRISO에서 현재 건설중에 있는 해양공학수조에 설치될 소파기를 여러개의 타공판을 이용한 시스템으로 구성할 때 공극율이 서로 다른 타공판에 의한 반사율과 타공판 배치에 따른 반사율을 수치계산을 통하여 살펴 보았다. 계산결과와 Twu, Lin이 수행한 실험결과와 잘 일치함을 볼 수 있었다. 이러한 계산결과를 이용하여 2차원 수조에서 기초적인 실험을 수행할 것이며 이를 토대로 해양수조에 설치될 소파기를 설계할 예정이다.

## 2. 문제의 정식화

Fig.1과 같이 2차원 수조내에 직립형 타공판이 입사파의 진행방향과 수직으로 놓여 있다고 생각하자. 입사파는 규칙파로 가정하고 주파수  $\omega$ 를 갖고 타공판에 수직으로 들어온다. 입사파의 파장에 비하여 타공판의 두께는 아주 작고, 타공판은 파에 의하여 변형되지 않는다고 가정하였다.

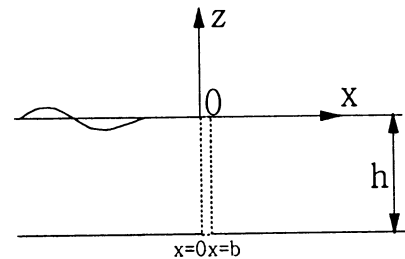


Fig. 1 Definition Sketch of Perforated plates

타공판 내부에서의 유동을 구하기 위하여 아래와 같은 연속방정식과 Euler 방정식을 풀어야 한다.

$$\begin{cases} \nabla \cdot U = 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\nabla P}{\rho} - f\omega U - C_m \frac{1-\epsilon}{\epsilon} \frac{\partial U}{\partial t} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $U$ 는 타공판 내부에서의 침수속도(Seepage Velocity)를,  $P$ 는 동압력(Dynamic Pressure)을,  $\omega$ 는 파의 주파수를 나타낸다. 계수  $\epsilon, f, C_m$ 은 각각 공극율(Porosity), 박리에 의한 항력계수(Form Drag Coefficient), 부가질량계수(Added Mass Coefficient)를 뜻한다.  $f, C_m$ 은 실험을 통하여 얻어지며, 유체의 점성, 타공판의 국부형상(Local Shape), 거칠기 정도(Roughness), 공극율에 따라 변한다.

침수 속도와 압력이 주파수  $\omega$ 를 갖고 조화운동을 한다고 가정하면  $U, P$ 는 다음과 같이 시

간함수와 공간함수로 분리할 수 있다.

$$\begin{aligned} U &= \text{Re}\{ue^{-i\omega t}\} \\ P &= \text{Re}\{pe^{-i\omega t}\} \end{aligned} \quad (2)$$

식(2)을 식(1)에 대입하여 정리하면

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \nabla p + \rho\omega R\mathbf{u} = 0 \\ R = f - i[1 + C_m(1 - \epsilon)]/\epsilon \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $\rho$ 는 물의 밀도이다. 타공판의 특성을 나타내는  $R$ 의 실수부와 허수부는 각각 속도에 비례하는 항력항과 가속도에 비례하는 질량항을 나타낸다.

속도와 압력의 수평방향 변화율이 수직방향 변화율에 비하여 크므로 윗식은 다음과 같이 1차원 문제로 바뀐다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} + \rho\omega R u = 0 \quad (4,5)$$

식(4)로부터 침수속도  $u$ 는  $x$  방향에 따라 변하지 않는다는 사실을 알 수 있다. 이를 이용하여 식(5)를  $x$ 에 따라 적분하면

$$u = -(p_{b-} - p_{o+})/(\rho\omega bR) \quad (6)$$

이다. 여기서  $p_{o+}, p_{b-}$ 는  $x=0, b$ 에서 타공판 내부의 압력을 나타낸다. 식(6)으로부터 타공판 내부의 침수속도는 압력차에 비례한다는 사실을 알 수 있다. 이때 침수속도는 압력과 위상차를 가지며 그 위상차는 항력항과 질량항의 크기에 따라 정해진다. 항력항이 질량항에 비하여 아주 크다면 위상차는 0도이며 이를 Darcy법칙이라 부른다.

타공판 안과 밖에서의 속도, 압력의 관계식을 유도하기 위하여  $x=0$ 과  $x=b$ 에서 정합조건들을 적용하자.

$$u_{0-} = u_{b+} = \epsilon u \quad (7)$$

$$p_{0-} = p_{0+} \quad p_{b+} = p_{b-}$$

여기서  $+, -$ 는 타공판의 안과 밖의 위치를 나타낸다. 윗식을 식(6)에 대입하여 정리하면 아래와 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} u_{o-} &= -\frac{\epsilon}{\rho\omega bR}(p_{b+} - p_{0-}) \quad \text{at } x=0- \\ u_{b+} &= -\frac{\epsilon}{\rho\omega bR}(p_{b+} - p_{0-}) \quad \text{at } x=b+ \end{aligned} \quad (8)$$

타공판의 두께( $=b$ )가 작다고 가정하여 타공판이  $x=0$ 에 놓여 있다고 하면 식(8)로부터 타공판에서의 경계조건식을 얻을 수 있다.

$$u_{o+} = u_{0-} = -\frac{kG}{\rho\omega}(p_{0+} - p_{0-}) \quad \text{at } x=0 \quad (9)$$

여기서  $G$ 는  $R$ 과 마찬가지로 타공판의 종류(형상, 공극율, 항력)와 주파수에 따라 달라지는 특성 변수로 아래와 같이 정의된다.

$$G = \epsilon/Rkb = G_r + iG_i \quad (10)$$

$\epsilon=0$   $R \rightarrow \infty$ 일 때  $G=0$ 이며 이때 타공판은 직립벽이 되며  $G \rightarrow \infty$ 는 투명한 판을 뜻한다. 본 연구에서는 Darcy법칙을 따랐다. 따라서  $G$ 은 실수이며 판에 작용하는 항력과 밀접한 관계가 있다. Chwang(1983)은 본 연구와 다른 새로운 무차원 공극율  $G = \frac{\rho\omega a}{\mu k}$  ( $\mu$ =물의 점도)를 도입하여 반사율을 계산하였다. 우리의 결과와 비교하면  $a (= \frac{\epsilon\mu}{\rho\omega fb})$ 는 길이 차원을 가지며 마찰계수와 타공판의 형상과 관련된 변수임을 알 수 있다.

### 3. 타공판 배열에 따른 소파성능 해석

타공판의 소파성능은 타공판의 종류( $G$ 의 값)와 배열에 따른  $G$ 의 분포에 따라 달라진다. 대

체적으로 첫 번째 타공판은 공극율이 큰 것을 사용하고 끝으로 갈수록 격자 간격이 촘촘한 공극율이 작은 타공판을 사용한다. 따라서 G는 끝으로 갈수록 작은 값을 갖는다. 여기서는 타공판이 N개 설치되었을 때 여러 가지 G분포 함수에 대한 반사파와 투과파의 특성을 살펴보았다.

Fig.2와 같이 N개의 타공판들에 의하여 나눠진 유체영역을  $D_0, D_1, \dots, D_{N-1}, D_N$ 로 하자. 각 영역에서는 아래와 같이 2차원 Laplace방정식과 자유표면 경계조건 그리고 바닥 경계조건을 공통으로 만족한다.

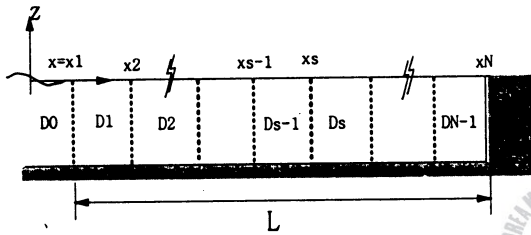


Fig. 2 Array of Perforated plates

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \phi^s}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi^s}{\partial z^2} = 0 \quad \text{at fluid domain} \\ \frac{\partial \phi^s}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi^s = 0. \quad \text{at free surface} \\ \frac{\partial \phi^s}{\partial z} = 0 \quad \text{at } z = -h \quad s = 0, 1, \dots, N-1 \\ \frac{\partial \phi^{N-1}}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x = x_N \end{array} \right. \quad (11)$$

또한  $x \rightarrow -\infty$ 에서 아래와 같이 방사조건 (Radiation Condition)을 만족한다.

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} \left( \frac{\partial}{\partial x} + ik \right) (\phi^0 - \phi_I) = 0 \quad (12)$$

일정한 수심 h에서 진폭 A를 갖고 x축의 양의 방향으로 들어오는 입사파에 대한 속도포텐셜은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi_I = -\frac{igA}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} e^{ikx} \quad (13)$$

위에 주어진 지배방정식과 경계조건들을 만족하는 각 영역에서의 속도포텐셜을 쓰면 다음과 같다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi^0 = -\frac{ig}{\omega} (Ae^{ikx} + R_0 e^{-ikx}) f(z) \\ \quad \text{at } x < x_1 \\ \phi^1 = -\frac{ig}{\omega} (T_1 e^{ikx} + R_1 e^{-ikx}) f(z) \\ \quad \text{at } x_1 < x < x_2 \\ \vdots \\ \phi^s = -\frac{ig}{\omega} (T_s e^{ikx} + R_s e^{-ikx}) f(z) \\ \quad \text{at } x_s < x < x_{s+1} \\ \vdots \\ \phi^{N-1} = -\frac{ig}{\omega} T_{N-1} (e^{ikx} + e^{2ikx_s} e^{-ikx}) f(z) \\ \quad \text{at } x_{N-1} < x < x_N \end{array} \right. \quad (14)$$

여기서  $f(z) = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$  이며, 파수(Wave number)  $k$ 는 선형분산식  $\omega^2 = gk \tanh kh$ 를 만족한다. 부족한 경계조건들로부터 생기는 미지수는 타공판이 놓여진 위치에서 앞절에서 유도한 물체경계조건들을 적용하여 구해진다.

$$\frac{\partial \phi^{s-1}}{\partial x} = \frac{\partial \phi^s}{\partial x} = -ikG^s (\phi^s - \phi^{s-1}) \quad \text{at } x = x_s \quad s = 1, 2, \dots, N-1 \quad (15)$$

식(15)을 식(14)에 대입하여 정리하면  $2N \times 2N$  대수방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} & (1+G^1)e^{-ikx_1} R_0 - G^1 e^{-ikx_1} R_1 - G^1 e^{ikx_1} T_1 \\ & = (1-G^1)e^{ikx_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & G^1 e^{-ikx_1} R_0 + (1-G^1)e^{-ikx_1} R_1 - (1+G^1)e^{ikx_1} T_1 \\ & = -G^1 e^{ikx_1} \end{aligned}$$

$$(1+G^s)e^{-ikx}R_{s-1}-G^se^{-ikx}R_s$$

$$+(G^s-1)e^{ikx}T_{s-1}-G^se^{ikx}T_s=0$$

$$G^se^{-ikx}R_{s-1}+(1-G^s)e^{-ikx}R_s$$

$$+G^se^{ikx}T_{s-1}-(1+G^s)e^{ikx}T_s=0$$

$$(1+G^{N-1})e^{-ikx_{N-1}}R_{N-2}+(G^{N-1}-1)e^{ikx_{N-1}}T_{N-2}$$

$$-G^{N-1}(e^{ikx_{N-1}}+e^{2ikx_{N-1}}e^{-ikx_{N-1}})T_{N-1}=0$$

$$G^{N-1}e^{-ikx_{N-1}}R_{N-2}+G^{N-1}e^{ikx_{N-1}}T_{N-2}$$

$$+[-(1+G^{N-1})e^{ikx_{N-1}}$$

$$+(1-G^{N-1})e^{2ikx_{N-1}}e^{-ikx_{N-1}}]T_{N-1}=0$$

(16)

이 방정식을 풀어 각 영역에서의 미지수들인  $R_0, R_1, T_1, \dots, R_{N-2}, T_{N-2}, T_{N-1}$ 을 구한다. 전체 시스템의 반사율과 투과율은

$$R = \frac{|R_0|}{A} \quad T = \frac{|T_{N-1}|}{A} \quad (17)$$

이다.

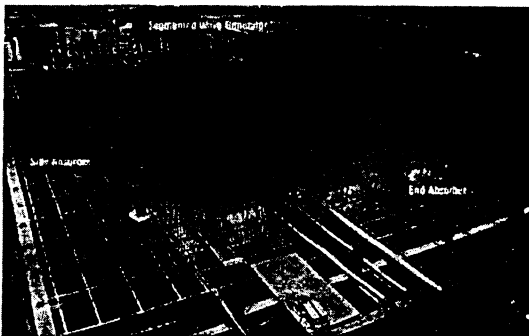


Fig. 3 Photograph of Wave Absorber in NRC Collection @ hhu

#### 4. 계산결과 및 고찰

Fig.4는 타공판 1개가 설치되었을 때의 계산결과와 Twu의 실험결과를 비교하였다. 이때 타공판의 특성 계수  $a$ 는  $1.01 \times 10^{-6}m$ 이다. 타공판과 벽면사이의 거리와 수심의 비( $L_1/h$ )는 0.88이다.  $x$  축은  $\frac{\omega^2 h}{g}$ 이며  $y$ 축은 반사계수이다. 계산결과와 실험결과는 잘 일치함을 볼 수 있다. 두 결과 모두  $\frac{\omega^2 h}{g} = 1.7$ 까지는 주파수가 증가함에 따라 반사계수가 감소하다가 1.7 이후 부터는 반사계수가 점차 증가하는 것을 보여준다. Fig.5는 타공판이 두 개 설치되었을 때 계산과 실험결과를 보여주고 있다. 같은  $a = 1.01 \times 10^{-6}m$  타공판을 사용하였고 특성계수는 이다. 타공판 1개를 설치했을 때와는 다른 곡선을 보여주고 있다. 즉, 주파수 범위의 중간영역 ( $1 < \frac{\omega^2 h}{g} < 2.5$ )에서 반사계수가 커졌다가 감소하는 붐우리가 생긴다. 이러한 현상은 타공판들이 놓여진 거리( $L = L_1 + L_2$ )에서 발생하는 공진현상으로 설명할 수 있다. 타공판 1개와 비교하여 저주파수와 고주파수 영역에서는 반사계수는 상대적으로 작은 값을 준다. 그러나 공진주파수 부근에서는 상대적으로 큰 반사계수를 준다.

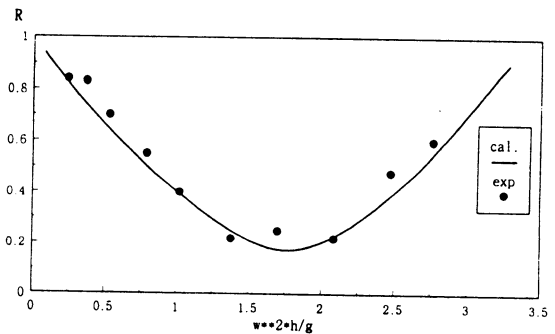


Fig. 4 Reflection Coefficient of Single Perforated Plates( $a_1=1.01 \times 10^{-6}m, L_1/h=0.88$ )

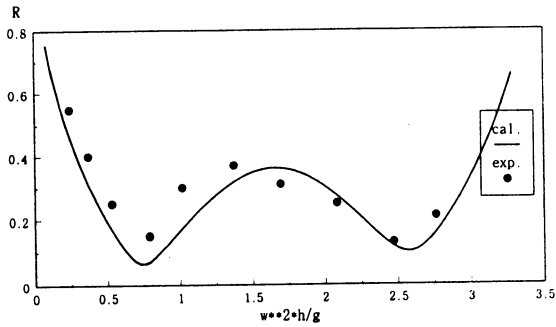


Fig. 5 Reflection Coefficient of Two Perforated Plates( $a_1=a_2=1.01 \times 10^{-6}m$ ,  $L_1/h=L_2/h=0.88$ )

Fig.6은 같은 특성을 갖는 타공판을 3개 설치하였을 때 반사계수를 보여주고 있다. 계산 주파수 범위내에서 2개의 봉우리가 나타나는데 앞선 그림과 같이 공진현상으로 설명할 수 있다. 유체영역이  $x=0$ 와  $x=L(=L_1+L_2+L_3)$

에 의해 막혀 있을 때 공진주파수는  $\frac{\omega_m^2 h}{g} = m\pi \frac{h}{L}$  ( $m=0, 1, 2, 3, \dots$ )이다. 여기서  $\frac{h}{L} = 0.378$ 이다. 첫번째 공진주파수는  $\frac{\omega_1^2 h}{g} = \pi \frac{h}{L} = 1.19$ 이며 두번째 공진주파수는  $\frac{\omega_2^2 h}{g} = 2\pi \frac{h}{L} = 2.38$ 이다. 이 값들은 그림에서 봉우리들의 최대값을 나타내는 주파수들과 일치한다. 계산과 실험결과는 고주파수영역을 제외하곤 비교적 잘 맞는 것을 볼 수 있다.

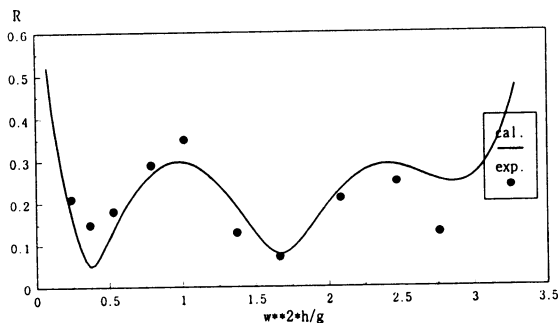


Fig. 6 Reflection Coefficient of Three Perforated Plates( $a_1=a_2=a_3=1.01 \times 10^{-6}m$ ,  $L_1/h=L_2/h=L_3/h=0.88$ )

Fig.7은 서로 다른 타공판 2개를 설치하였을 때의 계산과 실험결과이다. 실선은 파의 진행방향에 따라 특성계수 ( $a_1=3.25 \times 10^{-7}m$ ,  $a_2=1.01 \times 10^{-6}m$ )가 커지는 타공판을 설치한 경우이며 점선은 그 반대의 경우이다. 파의 진행방향에 따라 특성계수가 감소하도록 타공판을 배치한 경우가 반사율이 훨씬 줄어드는 것을 볼 수 있다. 실험결과는 고 주파수 영역을 제외하곤 계산결과를 잘 따라 가고 있다. Fig.8은 서로 다른 3개의 타공판을 설치하였을 때의 결과들이다. 실선은 a가 증가하도록 타공판을 배치한 반사계수의 결과이며 점선은 a가 감소하도록 타공판을 배치하였을 때의 계산결과이다. Fig.7과 마찬가지로 파의 진행방향으로 공극율이 작은

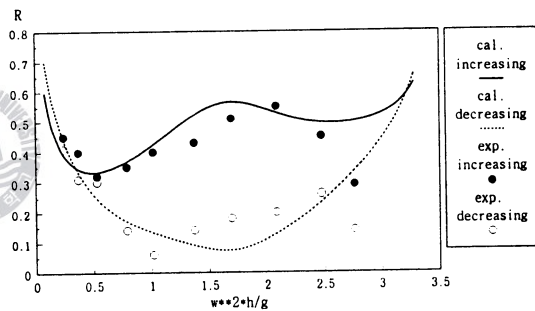


Fig. 7 Reflection Coefficient of Two Perforated Plates( $a_1=1.01 \times 10^{-6}m$ ,  $a_2=3.25 \times 10^{-7}m$ ,  $L_1/h=L_2/h=0.88$ )

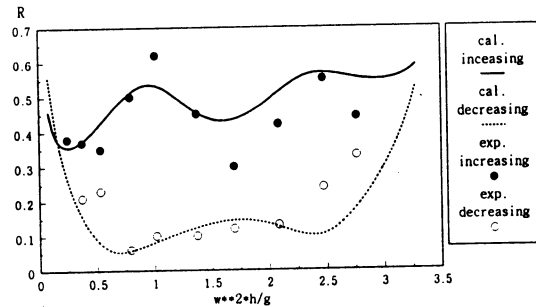


Fig. 8 Reflection Coefficient of Three Perforated Plates( $a_1=1.49 \times 10^{-6}$ ,  $a_2=1.01 \times 10^{-6}$ ,  $b_3=3.25 \times 10^{-7}m$ ,  $L_1/h=L_2/h=L_3/h=0.88$ )

층층한 타공판을 설치하는 것이 반사율을 감소시키는데 유리하다.

Fig.9-16에서는 입사파의 주기는 1초부터 5초까지이며, 수심  $h$ 는 3.5 m로 고정시켰다. Fig.9는 타공판의 숫자( $N$ )를 바꿔가면서 반사율을 계산하였다. 소파기의 한끝단은 벽으로 막혀있다고 생각하였다. 여기서  $x$ 축은 파장과 수심의 비를 나타낸다. 타공판이 설치된 거리는 4m이며 무차원된 공극율  $G$ 는 16부터 1까지 선형적으로 변한다고 가정하였다.  $N$ 을 5개, 10개, 15개에 대하여 계산을 수행하였다. 타공판의 수가 증가할수록 반사율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나 10개와 15개의 경우 저주파수 영역에서의 약간의 차이를 제외하곤 비슷한 반사율을 보여주고 있다.

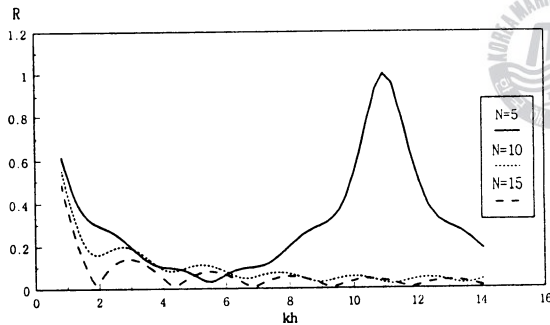


Fig. 9 Reflection Coefficient of Perforated Plates (Linear Distribution G, L=4m, Gmax=16)

Fig.10은 소파기의 한끝단에 벽이 있는 경우와 벽이 없는 경우를 비교하였다. 정량적인 값은 비슷하다. 그러나 벽이 없을 때 곡선이 오른쪽으로 약간 이동한 것을 볼 수 있다. Fig.11은 타공판의 배치에 따른 반사율 차이를 보여주고 있다. 여기서 실선은 파의 진행방향으로 점차적으로 공극율이 작은 판을 설치한 결과이며, 실선은 파의 진행방향으로 공극율이 큰 판을 설치한 결과이다. 두 결과를 비교하면 파의 진행방향으로 공극율이 감소하는 판들을 설치했을 때 훨씬 작은 반사율을 보여주고 있다.

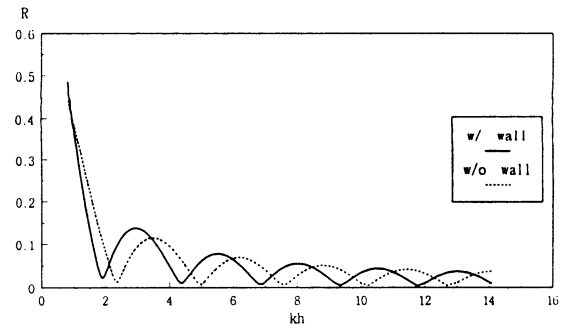


Fig. 10 Reflection Coefficient of Perforated Plates(N=15, Linear Distribution G, L=4m, Gmax=16)

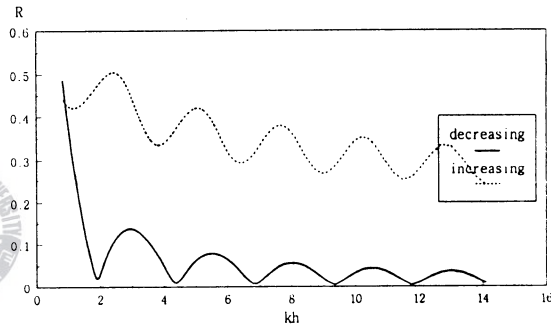


Fig. 11 Reflection Coefficient of Perforated Plates(N=15, Linear Distribution G, L=4m, Gmax=16)

Fig.12는 길이방향으로 공극율이 선형적으로 변하는 경우와 로그분포를 갖고 변하는 경우를 비교하였다. Fig.17에서 살펴보듯이 로그분포는 선형분포인 경우와 비교하여 중간부근에서 공극율이 작은 판을 설치한 경우이다. 전반적으로 로그분포를 갖는 판을 사용하였을 때 반사율이 상대적으로 떨어지는 것을 볼 수 있다. Fig.13은 공극율  $G$ 가 선형분포함수와 멱급수 분포함수를 갖을 때 반사율의 차이를 살펴보았다. Fig.17에서 보듯이 멱급수 분포는 첫 번째 타공판으로부터 공극율이 급격히 변하며 끝으로 갈수록 천천히 변한다. 또한 선형분포인 경우와 비교하여 전체적으로 공극율이 작은 판들을 설치한 경향을 보여주고 있다. 저주파수 영역에서는 멱급수 분포를 갖는 타공판이 선형분포를 갖는 타공판



에 비하여 반사율이 크며 고주파수 영역으로 갈수록 멱급수 분포를 갖는 소파 시스템이 효과적임을 보여주고 있다. Fig.14는 지수분포와 선형 분포를 갖는 타공판의 반사율을 비교하였다. 파의 진행방향으로 곡선의 변하는 정도가 로그분

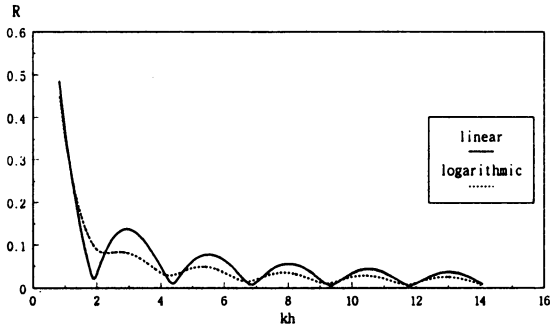


Fig. 12 Reflection Coefficient of Perforated Plates(N=15, L=4m, Gmax=16)

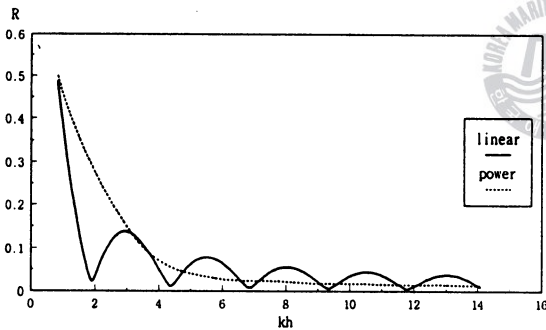


Fig. 13 Reflection Coefficient of Perforated Plates(N=15, L=4m, Gmax=16)

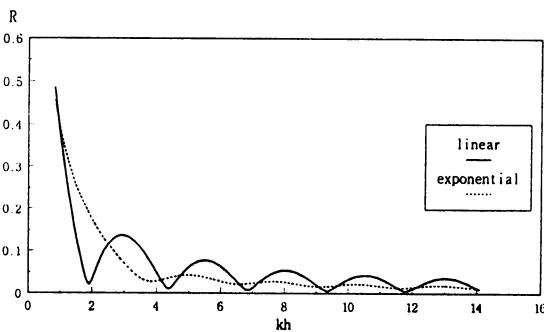


Fig. 14 Reflection Coefficient of Perforated Plates(N=15, L=4m, Gmax=16)

포와 멱급수분포의 중간정도이다. 전체적으로 멱급수 분포와 비슷한 경향을 보여주고 있으나 저주파수 영역에서 선형분포 보다는 크지만 멱급수 분포보다는 작은 반사율을 갖는다. 4가지 분포함수를 비교한 결과 고 주파수 영역에서는 멱급수 또는 지수분포가 효과적이며 저 주파수영역에서는 선형 분포와 로그분포가 바람직하다.

Fig.15는 전체적으로 공극율의 큰 판과 작은 판을 설치하였을 때 반사율을 비교하였다. 첫번째 판의 공극율이 각각 16과 8이며 마지막 판의 공극율은 1이다. 두 곡선 모두 공극율은 길이방향으로 선형적으로 변한다. 공극율이 큰 판을 사용했을 때가 반사율이 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 공극율이 작은 판을 설치한 경우 kh=2부터 곡선의 변화가 완만하다. Fig.16은 타공판

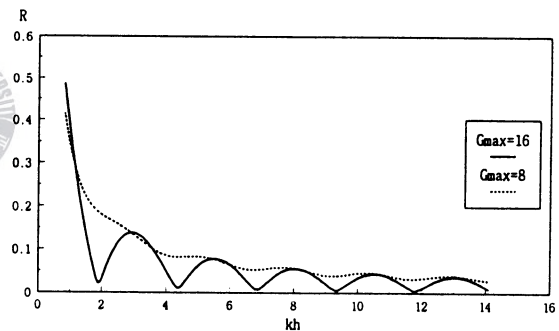


Fig. 15 Reflection Coefficient of Perforated Plates (N=15, Linear Distribution G, L=4m)

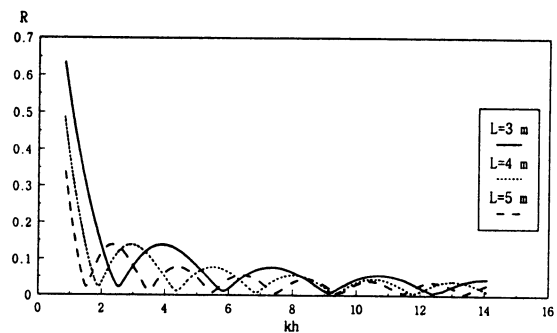


Fig. 16 Reflection Coefficient of Perforated Plates (N=15, Linear Distribution G, Gmax=16)



의 설치 거리를 바꿔가면서 반사율을 계산하였다. 타공판의 설치 거리가 증가할수록 미세하지만 반사율이 작음을 알 수 있었고 그 차이 정도는 고주파수 영역으로 진행할수록 감소한다.

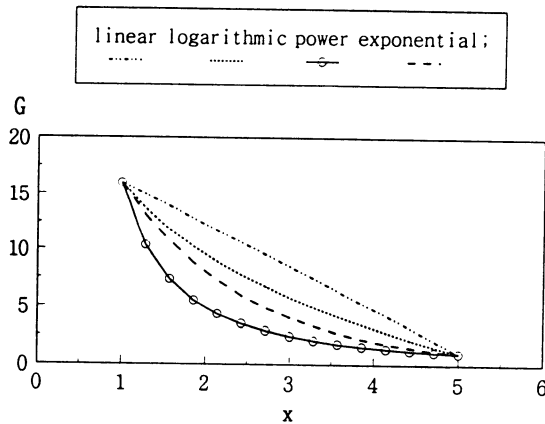


Fig. 17 Distribution of  $G(N=15, G_{max}=16, L=4m)$

## 5. 결 언

이상의 계산결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 계산결과와 실험결과는 고주파수 영역을 제외하곤 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 그 차이 정도는 타공판의 갯수가 증가할수록 커진다.
- 2) 타공판의 숫자가 증가할수록 반사율은 떨어지나 타공판의 숫자가 어느 정도 이상이 되면 비슷한 반사율을 보여준다.
- 3) 파의 진행방향으로 공극율이 점차 감소하도록 판들을 설치했을 때가 공극율이 증가하도록 판들을 설치했을 때 보다 우수한 소파성능을 보여주고 있다.
- 4) 여러 가지 공극율 분포함수를 사용하여 반

사율을 비교한 결과 저주파수 영역에서는 선형 분포와 로그분포로 배치했을 때 소파성능이 우수하며 고주파수 영역에서는 역급수분포와 지수분포를 갖을 때 소파성능이 우수하다는 사실을 알았다.

5) 전체적으로 공극율이 큰 판을 사용하는 것이 공극율이 작은 판을 사용했을 때 보다 반사율은 떨어진다.

## 참고문헌

- 1) Chwang, A.T. & Dong, Z. N. (1984) 'wave trapping due to a porous plate' Proc. 15th ONR Symp. Naval Hydrodynamics, Washington DC, pp. 409-417
- 2) Madsen, P.A. (1983) 'wave reflection from a vertical permeable wave absorber' Coastal Engineering, Vol. 7, pp. 381-396
- 3) Mei, C. C., Liu, Philip L-F., Ippen, A.T. (1974) 'quadratic loss and scattering of long waves' J. of the Waterways Harbors and Coastal Engineering Vol. 100, pp. 217-239
- 4) Mei, C. C. (1985) 'THE APPLIED DYNAMICS OF SURFACE WAVES' JOHN WILEY & SONS
- 5) Newman, J. N. (1965) 'propagation of water waves past long two dimensional obstacles' J. Fluid Mech. , Vol. 23, pp. 23-29
- 6) Twu, S. W. & Lin, D.T. (1990) ' wave reflection by a number of thin porous plates fixed in a semi-infinity long flume' Proc. 22nd Coastal Engineering, 15 Elsevier, pp. 389-405

