

## 경사파중 수중평판에 의한 파랑변형

조 일 형\* · 김 현 주\*

### Wave Diffractions by Submerged Flat Plate in Oblique Waves

*I. H. Cho\* · H. J. Kim\**

**Key Words** : 수중 평판(Submerged Flat Plate), 파랑제어(Wave Control), 입사파향 효과(Effect of Incident Wave Direction), 경계요소법(Boundary Element Method), 수리모형실험(Hydraulic Model Test)

#### Abstract

This paper describes the effect of wave control using submerged flat plate by the numerical calculation and the hydraulic model test. The boundary element method is used to develop a numerical solution for the flow field caused by monochromatic oblique waves incident upon an infinitely long, submerged flat plate situated in arbitrary water depth. The effect of wave blocking is examined according to the change of length, submerged depth of flat plate and incident angles. Numerical results show that longer length, shallower submergence of flat plate and larger incident angles enhance the effect of wave blocking. To validate numerical analysis method, hydraulic model test was conducted in 2-D wave flume with 60 cm metal sheet. Reflected waves are extracted from water surface elevation in front of the location of a submerged plate by least square method with 3 wave gages. From comparing experimental results with numerical results, efficiency of numerical analysis method by this study could be confirmed well within wide ranges of wave frequencies.

#### 1. 서 론

해양개발에 대한 관심이 높아지면서 현재 국내에서도 다양한 형태의 해양구조물에 대한 설계 및 설치기술에 대한 다각적인 연구가 진행되고 있다. 설치될 해양구조물은 목적에 따라 여러 가지로 분류될 수 있다. 예를 들면 해양박

물관, 해양위락시설, 산업폐기물 처리공장, 탈수화공장, 발전소 등이 있다. 이러한 해양구조물은 파도와 조류가 공존하는 지역에 설치되므로 구조물에 작용하는 해양의력과 운동응답이 중요한 설계변수가 된다. 특히 부유식 구조물인 경우에 파도에 의한 운동응답이 적어야 이루어진 작업수행이 용이하다. 따라서 안전한 해

\* 정희원, 한국기계연구원 선박·해양공학연구센터 해양기술연구부

양구조물을 설계하기 위해서는 해양구조물에 작용하는 파의 에너지를 감소시키는 방파제의 설치가 반드시 필요하다.

방파제는 연안에 설치된 해양구조물 및 항만 내 계류된 선박 그리고 연안 양식장을 보호하기 위하여 해안으로 입사하는 파를 막는 시설이다. 기존의 방파제는 돌이나 콘크리트를 사용한 고정식 방파제가 대부분이다. 이러한 방파제는 수면에 발생하는 파도뿐만 아니라 수면밑의 흐름을 완전히 차단하므로 해양생태계 파괴와 연안 내의 물의 오염을 가속시킨다. 고정식 방파제가 갖는 단점인 해수의 원활한 순환을 해결하기 위하여 수면에 띄운 부유식 방파제나 몰수형 방파제가 있다. 그러나 부유식 방파제는 높은 파도에 의하여 방파제가 손상을 입거나 계류삭이 끊어지는 문제점을 가지고 있다. 또한 고정식과 부유식 방파제 모두 수면 위로 노출되어 있기 때문에 해양경관을 해치며 선박의 운항을 방해한다.

본 연구에서는 연안내 해수의 순환을 허용하면서 해양경관을 해치지 않는 몰수형 평판 구조물에 대한 파랑제어 효과를 평판의 길이와 잠긴 깊이, 입사파의 주파수 그리고 입사각을 변화시키면서 살펴보았다. 계산모델인 평판은 폭방향으로 무한히 길며 두께는 무시하였다. 수치 계산방법으로 속도포텐셜과 Helmholtz방정식을 만족하는 Green 함수에 Green정리를 적용하여 유도되는 적분방정식으로부터 해를 구하는 경계요소법(Boundary Element Method)을 사용하였다. 물체로부터 멀리 떨어진 위치에서 만족하는 방사조건(Radiation Condition)대신 유체영역을 내부영역과 외부영역으로 나눈 뒤 각 영역에서 해를 구하여 두 영역이 만나는 정합면에서 각 영역의 해를 정합시키는 Hybrid 수치계산 방법을 사용하였다. 내부영역을 유체영역 1과 유체영역 2로 다시 나누어 각 영역에서 적분방정식을 유도하고 두 영역이 만나는 정합면에서 정합하여 연성된 방정식을 얻는다. 연성된 방정식을 풀어 각 영역에서의 속도포텐셜을 구한다. 여러가지 설계변수(평판의 형상, 입사각)들을 변

화시키면서 반사율(Reflection Coefficient)과 투과율(Transmission Coefficient) 그리고 평판에 작용하는 동유체력을 계산하였다.

## 2. 문제의 정식화

Fig.1과 같이 y축방향으로 무한히 길고 길이가 2a인 두께가 없는 평판이 수면 밑으로 b만큼 잠겨있다고 생각하자. 이때 수심은 y축방향으로 일정하다고 가정한다. 입사파는 규칙파로 가정하고 주파수  $\omega$ 를 가지며 구조물과  $\theta$ 의 각도를 갖고 들어온다. 유체는 비점성, 비압축성이며 유동은 비회전성이라 가정하면 속도포텐셜을 도입할 수 있다. 유동이 y축을 따라 균일하므로 속도포텐셜은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi(x, y, z, t) = \text{Re}\{\phi(x, z)e^{i(\beta y - \omega t)}\} \quad (1)$$

여기서  $\beta = k \sin \theta$ 로 입사파의 파수의 y방향 성분이다. 속도포텐셜  $\Phi$ 를 3차원 Laplace방정식에 대입하여 정리하면 속도포텐셜  $\phi(x, z)$ 는 아래와 같이 Helmholtz방정식을 만족한다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \beta^2 \phi = 0 \quad \text{in the fluid} \quad (2)$$

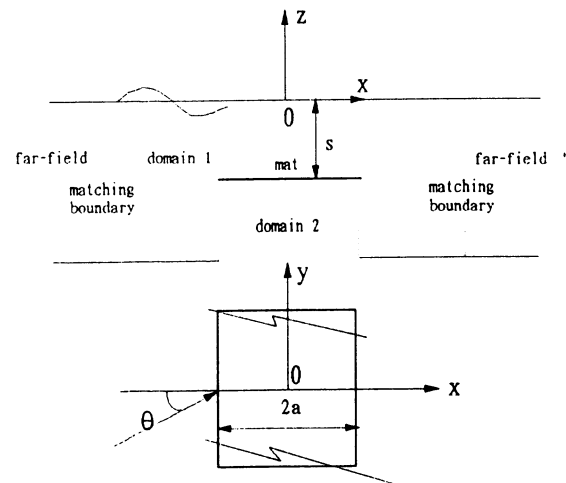


Fig. 1 Definition Sketch of Flat Plate

지배방정식과 함께  $\phi$ 는 다음과 같은 경계조건들을 만족해야 한다.

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \phi = 0 & z=0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 & \text{on the plate} \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 & \text{on the sea bottom} \end{cases} \quad (3)$$

일정한 수심  $h$ 에서 진폭  $A$ 를 갖고  $x$ 축의 양의 방향으로 들어오는 입사파에 대한 속도포텐셜은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi_I = -\frac{igA}{\omega} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} e^{iax} \quad (4)$$

여기서  $\omega^2 = gk \tanh kh$ ,  $(k)^2 = (\alpha)^2 + \beta^2$ 이며  $\alpha$ 는 입사파의 파수의  $x$ 방향 성분이다.

식(3)에 주어진 경계조건 뿐만 아니라 구조물에 의하여 회절된 파(Diffracted Waves)는 방사 조건을 만족하여야 한다.

$$\lim_{\alpha x \rightarrow \pm \infty} \left( \frac{\partial}{\partial x} \mp i\alpha \right) (\phi - \phi_I) = 0 \quad (5)$$

## 2.1 외부영역

지배방정식과 물체표면 경계조건을 제외한 경계조건식들을 만족하는 일반해는 변수분리법에 의하여 다음 식과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} \phi^{\pm} = & A_0^{\pm} e^{\mp i\alpha x} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} A_n^{\pm} e^{\mp \gamma_n x} \frac{\cos K_n(z+h)}{\cos K_n h} + \begin{pmatrix} 0 \\ \phi_I \end{pmatrix} \begin{matrix} x > x^+ \\ x < x^- \end{matrix} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $k$ 와  $K_n$ 는 분산식(Dispersion Relation)의 실근과 허근을 의미하며,  $x^{\pm}$ 은 정합면을 나타낸다.

$$\omega^2 = gk \tanh kh, \quad \omega^2 = gK_n \tan K_n h \quad (7)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\gamma_n$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha = \sqrt{k^2 - \beta^2}, \quad \gamma_n = \sqrt{K_n^2 + \beta^2}, \quad (8)$$

여기서  $A_0^{\pm}$ 와  $A_n^{\pm}$ 는 미지수로 내부영역의 해와 정합시켜 구한다.

내부영역과 정합을 위하여 식(6)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi^{\pm} = & A_0^{\pm} W_0^{\pm}(x, z) + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^{\pm} W_m^{\pm}(x, z) \\ & + \begin{pmatrix} 0 \\ \phi_I \end{pmatrix} \begin{matrix} x > x^+ \\ x < x^- \end{matrix}, \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,  $W_0^{\pm}(x, z)$ ,  $W_m^{\pm}(x, z)$ 는 다음과 같다.

$$W_0^{\pm}(x, z) = e^{\mp i\alpha x} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

$$W_m^{\pm}(x, z) = e^{\mp \gamma_m x} \frac{\cos K_m(z+h)}{\cos K_m h}$$

## 2.2 내부영역

내부영역에서의 속도포텐셜  $\phi$ 와 식(2)에 주어진 Helmholtz방정식을 만족하는 Green함수를 Green정리에 적용하면 다음과 같은 적분방정식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \left( \frac{2\pi}{\sigma_i} \right) \phi(x_i, z_i) = & \int_s (\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n}) ds, \\ & \begin{pmatrix} \text{if } (x_i, z_i) \text{ is an interior point} \\ \text{if } (x_i, z_i) \text{ is a boundary point} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 Green함수  $G(x, z, x_i, z_i) = -K_0(\beta r)$ ,  $r = \sqrt{(x-x_i)^2 + (z-z_i)^2}$ 이며, 법선벡터는 유체영역 바깥방향을 양의 방향으로 잡았다.  $K_0$ 는 제2종 Bessel 함수이며,  $r$ 은 특이점의 위치  $Q(x, z)$ 와 기준점  $P(x_i, z_i)$ 사이의 거리를 나타낸다.  $\sigma_i$ 는 P점에서의 경계면이 이루는 각도이다. 경계면을 여러개의 선분으로 분할하여 각

요소에서 속도포텐셜과 법선방향의 속도값이 일정하다고 가정하면 식(10)에 주어진 적분방정식은 아래와 같은 대수방정식으로 변형된다.

$$\begin{aligned} \sigma_i \phi^i + \sum_{j=1}^N \left( \int_{s_j} \frac{\partial K_o(\beta r)}{\partial n} ds \right) \phi^j \\ = \sum_{j=1}^N \left( \int_{s_j} K_o(\beta r) ds \right) \frac{\partial \phi^j}{\partial n} \end{aligned} \quad (11)$$

편의상 Bessel함수의 적분항을 다음과 같이 정의하자.

$$H^{ij} = \begin{cases} \widehat{H}^{ij} & \text{when } i \neq j \\ \widehat{H}^{ij} + \sigma_i & \text{when } i = j \end{cases} \quad (12)$$

여기서,  $\widehat{H}^{ij}$ 는 다음과 같다.

$$\widehat{H}^{ij} = \int_{s_j} \frac{\partial K_o(\beta r)}{\partial n} ds \quad G^{ij} = \int_{s_j} K_o(\beta r) ds$$

윗 식을 식(11)에 대입하면 아래와 같은 대수방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{j=1}^N H^{ij} \phi^j = \sum_{j=1}^N G^{ij} \frac{\partial \phi^j}{\partial n} \quad (13)$$

여기서 N는 경계면에 분포된 특이점의 개수이다.

내부영역을 Fig.1과 같이 유체영역 1과 유체영역 2로 나누어 고려한다. 유체영역 1에서는 자유표면 경계조건, 외부영역과 만나는 정합면에서 정합조건, 해저면 경계조건, 유체영역 2와의 정합면에서의 정합조건, 그리고 평판에서의 물체경계조건을 만족한다. 윗식에 유체영역 1에 대한 경계조건을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum^F \left( H^{ij} - \frac{\omega^2}{g} G^{ij} \right) \phi^{1j} + \sum^{\tau^1} H^{ij} \phi^{1j} + \sum^{B^1} H^{ij} \phi^{1j} \\ + \sum^{\tau^{1,2}} H^{ij} \phi^{1j} + \sum^S H^{ij} \phi^{1j} \\ = \sum^{\tau^1} G^{ij} \frac{\partial \phi^{1j}}{\partial n} + \sum^{\tau^{1,2}} G^{ij} \frac{\partial \phi^{1j}}{\partial n} \end{aligned} \quad (14)$$

$F, S, \tau^1, B^{1,2}, \tau^{1,2}$ 는 각각 자유표면, 물체표면, 외부영역과 정합면, 해저면, 유체영역 2와의 정합면을 뜻한다.

같은 방법을 사용하여 유체영역 2에 경계조건을 대입하여 정리한다. 유체영역 2에 적용할 경계조건은 유체영역 1과의 정합조건, 평판에서의 물체경계조건 그리고 해저면 경계조건이다. 식(13)에 유체영역 2에서의 경계조건을 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum^S H^{ij} \phi^{2j} + \sum^{\tau^{1,2}} H^{ij} \phi^{2j} + \sum^{B^2} H^{ij} \phi^{2j} \\ = \sum^{\tau^{1,2}} G^{ij} \frac{\partial \phi^{2j}}{\partial n} \end{aligned} \quad (15)$$

유체영역 1과 유체영역 2가 만나는 정합면에서 두 영역의 압력과 법선속도는 서로 같아야 한다.

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} = \frac{\partial \phi^1}{\partial n} = -\frac{\partial \phi^2}{\partial n} \\ \bar{\phi} = \phi^1 = \phi^2 \quad \text{at } \tau^1 \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} = \frac{\partial \phi^1}{\partial n} = -\frac{\partial \phi^2}{\partial n} \\ \bar{\phi} = \phi^1 = \phi^2 \quad \text{at } \tau^2 \end{cases}$$

여기서 윗첨자 -는 두 영역의 경계면에서의 속도포텐셜을 뜻한다.

식(14)와 식(15)를 행렬식으로 바꾼 뒤 식(16)를 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \left( [H] - \frac{\omega^2}{g} [G] \right) [\phi^1] |_{NF} \\ + [H] [\phi^1] |_{N\tau^1} + [H] [\phi^1] |_{NB^1} \\ + [H] [\bar{\phi}] |_{N\tau^{1,2}} + [H] [\phi^1] |_{NS} \\ - [G] \left[ \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n} \right] |_{N\tau^{1,2}} = [G] \left[ \frac{\partial \phi^1}{\partial n} \right] |_{N\tau^1} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned}
 & [H][\bar{\phi}]|_{N\tau^{1,2}} + [H][\phi^2]|_{NS} \\
 & + [H][\phi^2]|_{NB^2} \\
 & + [G][\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n}]|_{N\tau^{1,2}} = 0
 \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}
 & [\phi^1] = [\phi^+] \\
 & [\frac{\partial \phi^1}{\partial n}] = [\frac{\partial \phi^+}{\partial x}]
 \end{aligned} \tag{21}$$

식(18)에서  $NF, Nx^-, NB^1, N\tau^{1,2}, NS$  유체영역 1의 경계면인 자유표면, 외부영역과 정합면, 해저면, 유체영역 2와의 정합면, 물체경계면에 분포된 특이점의 갯수로 그 합은  $N$ 이다. 유체영역 2에 분포된 특이점 갯수는  $M(=NS+N\tau^{1,2}+NB^2)$ 이다.

### 2.3 정합조건

정합면  $x=x^+$ 에서의 속도포텐셜은 식(9)로부터 다음과 같은 쓸 수 있다.

$$[\phi^+] = [C^+][a^+] \tag{19}$$

$$[\frac{\partial \phi^+}{\partial x}] = [D^+][a^+]$$

여기서,  $[a^+], [C^+], [D^+]$ 는 다음과 같다.

$$[a^+] = \{A_0^+, A_1^+, A_2^+, \dots\}^T$$

$$[C^+] = \{W_0^+, W_1^+, W_2^+, \dots\}$$

$$[D^+] = \{\frac{\partial W_0^+}{\partial x}, \frac{\partial W_1^+}{\partial x}, \frac{\partial W_2^+}{\partial x}, \dots\}$$

식(19)에서  $[a^+]$ 를 소거하면

$$[\frac{\partial \phi^+}{\partial x}] = [D^+][C^+]^{-1}[\phi^+] \tag{20}$$

정합면  $x=x^+$ 에서의 정합조건식은 다음과 같다.

식(20)과 (21)로부터  $x=x^+$  정합면에서의 속도포텐셜과 법선방향의 속도와의 관계식은 다음과 같다.

$$[\frac{\partial \phi^1}{\partial n}] = [D^+][C^+]^{-1}[\phi^1] \tag{22}$$

같은 방법을 사용하여 정합면  $x=x^-$ 에서의 법선방향의 속도와 속도포텐셜사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & [\frac{\partial \phi^1}{\partial n}] = -[D^-][C^-]^{-1} \\
 & \times ([\phi^1] - [\phi_I]) - [\frac{\partial \phi_I}{\partial x}]
 \end{aligned} \tag{23}$$

식(22)과 (23)를 앞에서 유도한 식(17), (18)에 대입하여 정리하면 최종적으로 풀어야 할 방정식을 유도 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & ([H] - \frac{\omega^2}{g}[G])(\phi^1)_F \\
 & + ([H] + [G][D^-][C^-]^{-1})(\phi^1) \\
 & + [H][\phi^1]_{B^1} + [H][\bar{\phi}]_{\tau^{1,2}} \\
 & + [H][\phi^1]_S \\
 & + ([H] - [G][D^+][C^+]^{-1})(\phi^1)_x \\
 & - [G][\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n}]_{\tau^{1,2}} \\
 & = ([G][D^-][C^-]^{-1}[\phi_I] \\
 & - [G][\frac{\partial \phi_I}{\partial n}]_x)
 \end{aligned} \tag{24}$$

$$\begin{aligned}
 & [H][\bar{\phi}]_{r,1,2} + [H][\phi^2]_s \\
 & + [H][\phi^2]_{B^+} + [G]\left[\frac{\partial \bar{\phi}}{\partial n}\right]_{r,1,2} = 0
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

식(24)와 식(25)에 주어진 연성된 대수방정식들을 동시에 풀어 경계면에서의 속도포텐셜을 구한다. 외부영역에서의 미지수  $A_o^-, A_n^-$ 는 다음 식으로 부터 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 [a^-] &= [C^-]^{-1}([ \phi^1 ] - [ \phi^1 ]_x^-) \\
 [a^+] &= [C^+]^{-1}[ \phi^1 ]_x^-
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

물체에 작용하는 힘과 모우멘트는 Bernoulli 방정식을 사용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F &= i\omega\rho \int_S (\phi^1 - \phi^2) n_z ds \\
 M &= i\omega\rho \int_S (\phi^1 - \phi^2) n_4 ds
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

여기서  $n_4 = xn_z - zn_x$ 이며, 투과율과 반사율은 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{|A_o^-|\omega}{gA} \\
 T &= \frac{|A_o^+|\omega}{gA}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

### 3. 계산결과 및 고찰

Fig.2는 수중평판에 의한 반사율을 계산한 결과를 나타낸 것으로,  $2a/h=1.0$ 에 대해 입사각 0도로 파랑이 입사할 경우이다.  $x$ 축은 입사파의 파장과 수심의 비인  $kh$ 를 나타내며  $y$ 축은 반사파의 파고를 입사파의 파고로 나눈 반사율이다. 여기서 무차원 설치수심을 0.1 (실선), 0.2 (일점쇄선), 0.3 (점선)에 대해 나타낸 것이다.

설치수심이 얇을수록 반사율은 커짐을 볼 수 있다. 또한 상대적으로 저주파수영역에서 파랑에 어효과가 커지는 것을 알 수 있다.

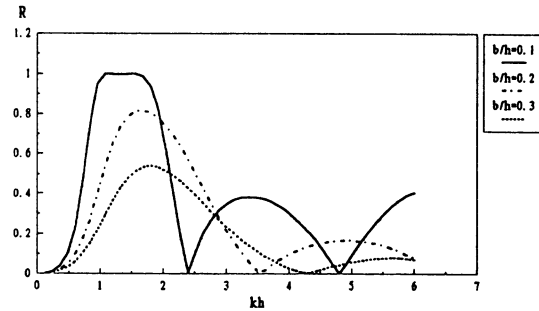


Fig. 2 Reflection Coefficient according to Submerged Depth ( $2a/h=1.0$ , incident angle=0)

Fig.3은 동일한 경우에 대해  $\rho gh$ 로 무차원시킨 수직방향의 힘을 주파수변화에 따라 나타낸 것이다. 수직방향의 힘은 설치수심이 얇을수록 저주파수영역 ( $kh < 1.5$ )에서는 커지나, 고주파수영역 ( $kh > 1.5$ )에서는 설치수심에 따른 변화는 거의 없었다.

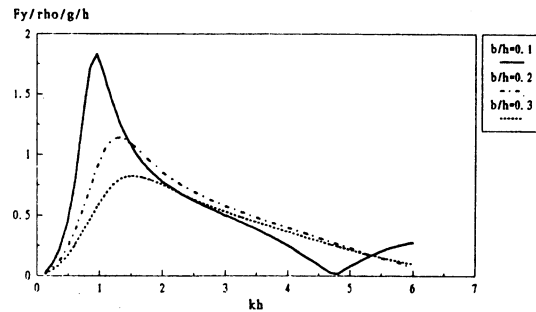


Fig. 3 Vertical Force according to Submerged Depth ( $2a/h=1.0$ , incident angle=0)

Fig.4는 설치수심  $b/h=0.1$ 에 대해 수중평판의 길이를 변화시킨 경우에 대한 반사 특성을 해석한 결과이다. 그림에서  $2a/h$ 를 0.5 (실선), 1.0 (일점쇄선), 1.5 (점선)로 변화시켰을 경우에 대한 반사특성을 나타내고 있다. 평판의 길이가

길어질수록 반사율 변화곡선의 변화가 큰 것을 알 수 있고, 저주파수 영역 ( $kh < 1.2$ )에서 파랑제어 효과가 좋아짐을 볼 수 있다. 그러나  $2 < kh < 5$  영역에서는 평판의 길이가 작을 때 반사율이 상대적으로 증가하는 양상을 보였다.

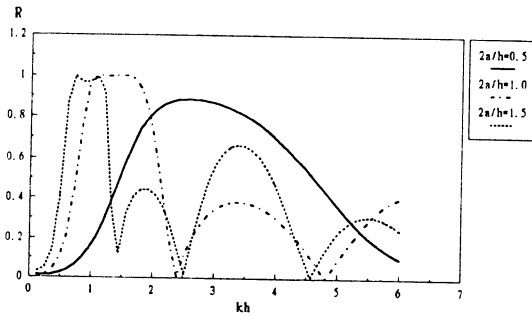


Fig. 4 Reflection Coefficient according to Plate Length ( $b/h=1.0$ , incident angle=0)

수중평판의 설치수심 및 길이를  $2a/h=1.0$ ,  $b/h=0.1$ 로 두고 입사각의 변화에 따른 반사율의 변화를 해석하여 Fig.5에 나타내었다.  $kh < 1.5$ 의 저주파수영역에서는 입사각과 무관하게 유사한 반사율을 보였으나  $kh > 2.0$ 에서는 입사각이 커질수록 반사율이 증가함을 볼 수 있었다. 동일한 경우에 대한 무차원된 수직방향의 힘은 Fig.6에 나타낸 바와 같다. 그림으로부터 입사각이 증가할수록 수중평판에 작용하는 유체력은 감소함을 볼 수 있다. 이로부터 입사각이 커지도록 방파제를 배치하는 것이 반사율을 높이고 평판에 작용하는 힘을 줄인다는 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있다.

Fig.7은  $2a/h=1.0$ ,  $b/h=0.1$ 의 수중평판에 대해 무차원 파수 ( $kh$ )와 입사각에 따른 반사율 변화특성을 나타낸 것이다. 입사각이 커질수록 반사율이 증가하는 양상을 볼 수 있다.

본 연구에서 구축한 해석모델의 적용성 평가를 위해 수리모형 실험은 실시하였다. 수리실험은 길이 20m, 폭 0.6m, 깊이 0.8m인 2차원 조파수조에서 수행하였다. 수중평판 모형은 0.3cm의 강판으로 폭 60cm, 길이 60cm로 제작하였고, 55cm의 일정수심에서 평판을 수심 10cm, 20cm

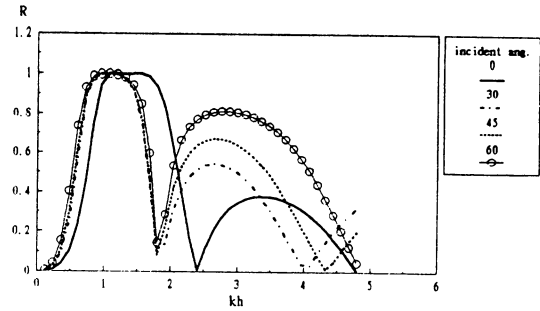


Fig. 5 Reflection Coefficient according to Incident Angle ( $2a/h=1.0$ ,  $b/h=1.0$ )

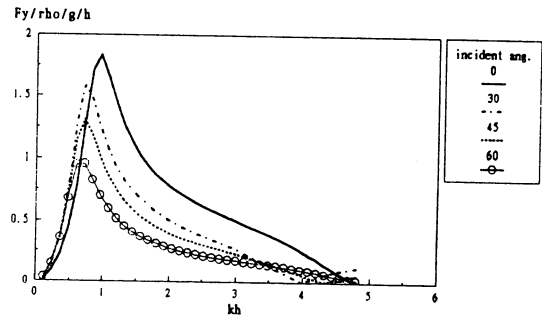


Fig. 6 Vertical Force according to Incident Angle ( $2a/h=1.0$ ,  $b/h=0.1$ )

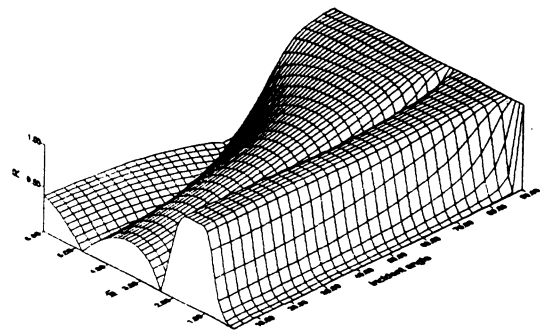


Fig. 7 Surface Plot of Reflection Coefficient ( $2a/h=1.0$ ,  $b/h=0.1$ )

에 설치하여 파랑제어 특성을 실험하였다. 파랑제어 특성을 정리하기 위해 수중평판 전면부에 3대의 파고계를 설치하여 수면변위 신호를 취

득한 후, 최소자승법에 의한 입반사파 분리기법을 이용하여 입사파와 반사파를 분리하였다. 수리모형실험 결과를 Fig.8과 9에 수치계산(입사각 0도,  $2a/h=1.1$ ,  $b/h=0.182, 0.364$ ) 결과와 비교하여 나타내었다. 그림으로 부터 전 주파수에 걸쳐 계산결과는 실험결과와 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 또한 설치수심이 깊어질수록 반사율은 감소하는 것을 알 수 있다.

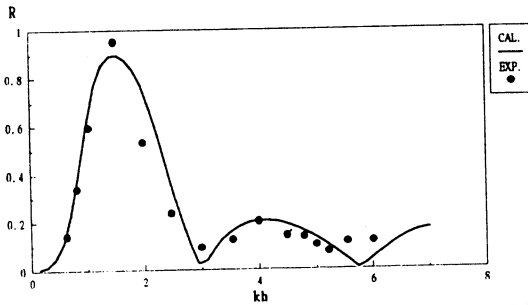


Fig. 8 Comparison between Numerical and Experimental Results ( $2a/h=1.1$ ,  $b/h=0.182$ , incident angle=0)

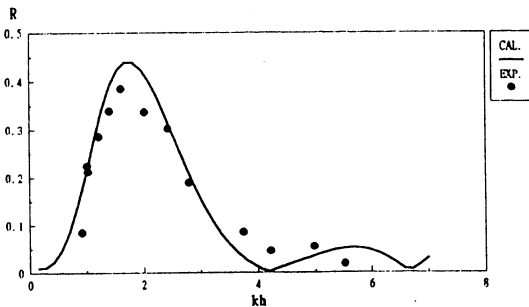


Fig. 9 Comparison between Numerical and Experimental Results ( $2a/h=1.1$ ,  $b/h=0.364$ , incident angle=0)

#### 4. 결 론

수중평판의 파랑제어 특성을 해석하기 위하여 수치계산과 수리실험을 수행하였다. 이로 부터 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 수중평판의 설치수심이 얕을수록 파랑제어

효과는 커지며, 평판의 길이가 길수록 같은 주파수 범위내에서 반사율 곡선의 변화는 증대하였다. 수중평판을 파랑제어구조물로서 활용하고자 할 경우 대상해역의 설계주파수를 고려하여 적합한 평판길이를 산정할 수 있을 것이다.

- 2) 파랑의 입사각은 평판에 작용하는 수직방향의 힘과 반사율에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 즉, 입사파와 평판이 이루는 각도가 클수록 반사율은 커지며, 수직방향의 힘을 작아진다. 따라서 입사각이 커지도록 평판을 배치하는 것이 파랑을 제어한다는 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

- 3) 수리모형실험 결과와 수치계산 결과를 비교한 결과, 전 주파수에 걸쳐 비교적 잘 일치하였다. 이로부터 수중평판의 파랑제어 특성에 대한 BEM 수치계산방법의 타당성과 정확성을 입증할 수 있었다.

#### 후 기

본 논문은 95년부터 과학기술처의 후원하에 진행중인 “해양공간이용 대형 복합플랜트 개발” 사업중 “해역정온화 기술”과제의 연구결과의 일부를 밝히고 연구비 지원부처에 심심한 사의를 표합니다.

#### 참고문헌

- 1) Abul-Azm, A.G. 1993. "Wave Diffraction through Submerged Breakwater" J. Waterway, Port, Coastal Ocean Engineering, Vol. 119, pp.587-605.
- 2) Abul-Azm, A.G. 1994. "Diffraction through Wide Submerged Breakwaters under Oblique Waves" Ocean Engineering Vol. 21, No. 7, pp.683-706.
- 3) Bai, K.J. 1975. " Diffraction of Oblique Waves by an Infinite Cylinder" J. of Fluid Mech. Vol.68.
- 4) Liu, P.L-F. & Abbaspour, M. 1982. "An



경사파중 수중평판에 의한 파랑변형

- Integral Equation Method for the Diffraction of Oblique Waves by an Infinite Cylinder" Int. J. for Numerical Method.
- 5) Mansard, E.P.D. and Rosen, Dov S. 1986. "The Measurement of Incident and Reflected Spectra Using a Least Square Method" Proc. 17th Coastal Engineering Conference, pp. 191-206.
- 6) Mei, C.C. 1983. "THE APPLIED DYNAMICS OF OCEAN SURFACE ENGINEERING" JOHN WILEY & SONS.
- 7) Patarapanich, M. 1984. " Maximum and Zero Reflection from Submerged Plate" J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 110, No. 2, pp.171-181.
- 8) Siew, P.F. and Hurley, D.G., 1977. " Long Surface Waves Incident on a Submerged Horizontal Plate" J. Fluid Mech. Vol. 83 pp. 141-151.
- 9) Wu, J. and Liu, P. L-F. 1988. "Interaction of Obliquely Incident Water Waves with Two Obstacles" Applied Ocean Research Vol. 10, No. 2.
- 10) 조일형, 홍석원 1995. " 유연막 방파제에 의한 경사파의 산란" 한국해안·해양공학회지 Vol.7, No. 3, pp.219-226.



