

유한수심에서의 부유식 소파구조물의 유체역학적 특성에 관한 연구

박노식* · 안재광**
조선 및 해양공학과

<요 약>

본 연구는 유한수심 영역에서 안정성과 소파성능이 우수한 쌍동형 부유식 소파구조물을 계획하기 위하여 단면형상의 변화, 부체간의 간격 변화 및 부가판 취부에 따른 유체역학적 특성을 쌍동형 모형선을 택하여 검토하였다.

본 연구결과 부체의 폭(a)에 대한 부체간의 간격(b)이 3, 즉 $b/a=3$ 일 때 보다 간격이 넓은 4일 때의 소파성능이 전반적으로 우수하게 나타났으며 부체의 형상변화에 대해 단면형상이 사다리꼴 모양으로 바깥쪽을 경사지게 한 경우가 소파성능이 우수하였다. 또한 수평 부가판이 설치된 구조물의 소파성능이 전반적으로 좋아졌음을 알 수 있었다.

A Study on Hydrodynamic Characteristics of Floating Wave-Breakers in Finite Depth

Ro-Sik Park* · Jae-Kwang Ahn**
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering

<Abstract>

Recently Floating breakwaters have been used for wave control because it have advantages of sea water exchange function and so on. But we haven't had a exact solution about its performances yet, we also have a negative part of it - floating

* 수송시스템 공학부교수
** 조선 및 해양공학과 대학원

breakwaters must allow partial transmission of wave.

In this paper, three dimensional source distribution method to be applied in finite depth was developed and also experiments were carried out in order to know the performance of floating breakwaters.

Measured and computed studies were made in order to investigate the performance of breakwaters to various waves and several parameters, spacing of pontoons, geometry of structure, appendage plate.

It is found that transmission coefficients of floating breakwaters depend on the spacing of the pontoons, geometry of structure and appendage plate.

1. 서론

오늘날 전 세계는 급격한 인구증가로 인하여 '거주공간부족', '공해문제', '식량문제' 등이 심각한 문제로 대두되고 있고 선진 해양국가들은 이러한 문제들을 해결하기 위하여 무한하고 광활한 해양산업 분야에 많은 관심을 기울이고 있다.

해양산업 분야 중 해양구조물은 종래에는 매립식이나 해저지반에 고착시키는 방법이 주를 이루었다. 그러나 최근 해양구조물은 기존의 매립식이나 고정식에서 수심이 점점 깊은 곳에 적합한 부유식으로 계획되고 있으며 대형화되는 추세이다. 부유식 해양구조물은 비교적 짧은 기간에 설치가 가능하며 지진, 해저지형 등에 영향을 적게 받고 해양환경 보존에 이점이 있어, 최근에는 거대한 해상공항, 해상기지 및 해상도시에 대한 계획들이[1]~[3] 정책적으로 연구 개발되고 있다. 이러한 해양시설의 기능성과 안정성을 보장하기 위하여 구조물의 동요를 감소시키는 소파장치들이 필요하다. 일반적으로는 고정식 소파제를 설치하여 사용하고 있으나 생태계에 변화를 줄 수 있으며 예정지의 수심, 지질 및 육지로부터의 이동거리 등의 제약을 많이 받는다. 이를 해결하기 위하여 여러 가지 방법들이 연구되고 있으나 아직까지 완전한 해결은 이루지 못하였으며 부정적인 면도 가지고 있다.[4] 즉 소파구조물의 성능을 소파능력과 안전성으로 평가한다고 보면, 부유식 소파구조물은 파의 부분적인 투과를 허용할 수밖에 없으며 파장과파장의 관계에 따라 표류 및 돌발적인 거동을 하여 예측하기 어려운 피해가 일어날 수도 있다.[5]山下 他등은[6] 다수의 단면형상을 공시모형으로 하여 부소파제의 소파성능을 검토한 결과 평행사변형의 투과율의 영점은 구형(矩形)보다 단파장 영역에 있으며, 단파장 영역의 투과율은 구형단면이 평행사변형 단면보다 작음을 보였다. 그러나 파장과 구조물의 크기에 따라 소파효율이 변하기 때문에 소파성능의 우열을 판단하기는 곤란하다.藤野 他등은[7] 투수가 가능한 파랑제어용 다공식 소파구조물을 제안하여 소파효과가 있음을 발표하였다. 그 외에도 해양공간 이용을 위한 구조물의 계획과 소파효율 증대를 위하여 최근 많은 연구 결과가 발표되고 있다.[8]~[14]

본 연구에서는 수심 및 파장에 따라 성능이 우수한 부유식 소파구조물의 형상을 계획할 목적으로 단면형상의 변화, 부체간의 간격 변화 및 부가판 취부에 따른 파강제력 및 운동 응답, 소파효율의 변화 등을 수치해석 하였으며 2차원 조파수조를 이용하여 상하요의 동요 및 투과파계수에 대한 모형실험을 하였다. 그 결과 형상변화 및 부가판의 취부 유·무

(有·無)에 따라 보다 효율이 좋은 구조물을 계획할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 이론의 정식화

2.1 기본가정 및 좌표계

유체는 비압축성, 비점성이고 자유표면의 파고 및 부체에 의한 유체 교란은 미소하다고 가정한다. 또한 유체영역은 유한수심이며 수심이 일정(바닥이 수평)이다. 좌표계는 Fig. 1에 표시한 것과 같이 $x-y$ 평면을 정지수면으로 하고 연직상방을 z 축의 정 방향으로 하는 직교좌표계를 사용한다. 입사파는 주기 운동을 하며 그림과 같이 x 축의 정 방향으로부터 α 의 각도로 입사되고 있다고 한다. 수치계산은 3차원 특이점분포법을 이용하여 계산하였으며 이에 대하여 주요사항만 설명한다.

2.2 지배조건 및 지배방정식

부체가 x 축의 정 방향으로부터 α 의 각도로 입사하는 파에 의하여 동요 진동수 ω 로 정현운동하고 있을 경우 유동장은 전체 속도 포텐셜 $\phi = \text{Re}[\phi e^{i\omega t}]$ 로 나타낼 수 있으며 시간항을 생략한 전체 속도 포텐셜 ϕ 는 입사파 속도 포텐셜 ϕ_0 , 반사파 속도 포텐셜 ϕ_1 및 방사파 속도 포텐셜 ϕ_R 과 다음의 관계가 성립한다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + \phi_R \quad (2.1)$$

이 속도 포텐셜 ϕ , ϕ_0 , ϕ_1 , ϕ_R 은 다음의 방정식 및 경계조건을 만족해야 한다.

1) Laplace 방정식

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad , \quad \text{In fluid} \quad (2.2)$$

2) 자유표면조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} - K\phi = 0 \quad , \quad \text{at } Z = 0 \quad (2.3)$$

3) 바닥경계조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad , \quad \text{at bottom} \quad (2.4)$$

4) 방사조건

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \sqrt{R} \left(\frac{\partial \phi'}{\partial R} - iK\phi' \right) \rightarrow 0 \quad , \quad \text{as } R \rightarrow \infty \quad (2.5)$$

여기서 $R = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\phi_1 + \phi_R = \phi'$

5) 물체표면조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -f_n, \quad \text{on } S \text{ (hull surface)} \quad (2.6)$$

식 (2.3)~(2.5)을 만족하는 Laplace 방정식의 기본 해를 Green 함수 $G(x, y, z : x', y', z')$ 라 부르며 이 함수를 쓰면 속도 포텐셜 $\phi'(P)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\phi'(P) = - \int \int_S \sigma(Q) G(P, Q) dS(Q) \quad (2.7)$$

여기서, $P(x, y, z)$ 는 유체중의 임의의 점이며, $Q(x', y', z')$ 는 물체표면상 S 위의 한 점이다. 또한 $\sigma(Q)$ 는 물체표면 S 상에 분포시킨 소오스의 세기(source strength)이다. 식 (2.7)에서 양변을 물체표면 S 의 법선 방향으로 미분하고 점 P 를 물체표면 S 상의 점 Q 에 접근시키면 $\sigma(Q)$ 가 미지수인 다음의 적분방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial \phi'(P)}{\partial n} = -2\pi\sigma(P) + \int \int_S \sigma(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) dS(Q) \quad (2.8)$$

적분은 물체의 접수표면 S 에 대하여 적용하며, 식 (2.8)에서 구한 $\sigma(Q)$ 를 식 (2.7)에 대입하여 속도 포텐셜 $\phi'(P)$ 를 구한다.

한편, 유한수심의 경우 Green 함수는 다음과 같이 표시된다.[15]~[17]

$$\begin{aligned} G(P, Q) &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1'} \\ &+ 2 \int_0^\infty \frac{(\mu + K)e^{-\mu h} \cosh\{\mu(z+h)\} \cosh\{\mu(z'+h)\} J_0(\mu r_1)}{\mu \sinh \mu h - K \cosh \mu h} d\mu \\ &+ i \frac{2\pi(k^2 - K^2) \cosh\{k(z+h)\} \cosh\{k(z'+h)\} J_0(kr_1)}{k^2 h - K^2 h + K} \end{aligned} \quad (2.9)$$

또는

$$\begin{aligned} G(P, Q) &= \frac{2\pi(K^2 - k^2)}{k^2 h - K^2 h + K} \cosh\{k(z+h)\} \cosh\{k(z'+h)\} \\ &\quad \times \{Y_0(kr_1) - iJ_0(kr_1)\} \\ &+ 4 \sum_{m=1}^\infty \frac{\mu_m^2 + K^2}{\mu_m^2 h + K^2 h - K} \\ &\quad \times \cos\{\mu_m(z+h)\} \cos\{\mu_m(z'+h)\} K_0(\mu_m r_1) \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.3 부가질량 및 조파감쇠계수

부유체가 j 모드(mode)의 동요를 하고 있을 때 i 방향의 부가질량 AD_{ij} 및 조파감쇠계수 DA_{ij} 는 단위진폭속도 포텐셜 ϕ_j ($j = 1, 2, \dots, 6$)를 이용하여 다음 식으로부터 구하여진다.

$$AD_{ij} = -\rho \operatorname{Re} \left[\int_S \phi_j n_i dS \right] \quad , \quad DA_{ij} = \rho \omega \operatorname{Im} \left[\int_S \phi_j n_i dS \right] \quad (2.11)$$

2.4 파강제력

규칙파 중에서 부체가 고정되어있을 때 반사파의 속도 포텐셜 ϕ_7 은 물체표면조건 식 (2.6)에 있어서 $\partial\phi_7/\partial n = -\partial\phi_0/\partial n$ 라 할 때의 해이다.

여기서, 유한수심에서의 입사파의 속도 포텐셜 ϕ_0 는 다음 식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \phi_0 e^{i\omega t} &= -\frac{ig\zeta_a}{\omega} \frac{\cosh\{k(z+h)\}}{\cosh(kh)} e^{i(kx\cos\alpha + ky\sin\alpha + \omega t)} \\ &= -\frac{ig\zeta_a}{\omega} \phi_0 e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (2.12)$$

여기서, ζ_a : 입사파의 진폭 , α : 입사파의 입사각

$$\phi_0 = \frac{\cosh\{k(z+h)\}}{\cosh(kh)} e^{i(kx\cos\alpha + ky\sin\alpha)}$$

반사파의 속도 포텐셜 ϕ_7 이 구해지면 파강제력은 Haskind-Newman의 정리에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$F_i = \rho g \zeta_a \int \int_S \left(\phi_0 \frac{\partial \phi_j}{\partial n} - \phi_j \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \right) dS \quad (2.13)$$

2.5 운동방정식

파랑중 부유체의 6자유도 선형 운동방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^6 \left[(M_{ij} + AD_{ij}) \ddot{x}_j + DA_{ij} \dot{x}_j + K_{ij} x_j \right] = F_i \quad (2.14)$$

($i = 1, 2, \dots, 6$)

여기서, x_j : 부유체의 중심에 있어서 j모드(mode)의 동요에 대한 운동진폭

M_{ij} : 부유체의 질량 및 관성모멘트

AD_{ij} : 부유체의 부가질량 및 부가관성모멘트

DA_{ij} : 조파감쇠계수 , K_{ij} : 복원력계수 , F_i : 파강제력

2.6 투과 계수 및 반사 계수

Fig.1 처럼 부유체에 입사파가 x축의 정방향으로 부터 α 의 각도로 입사하는 경우에 발생하는 반사파와 투과파는 입사파의 진폭(ζ_a)으로 각각의 진폭을 나누어 소파성능(투과계

수, 반사계수)[14]을 계산한다. 이러한 반사파 및 투과파는 Kochin 함수[14] $H_7^\pm(k, a)$ 를 이용하여 진폭을 표시하면 아래와 같다.

반사파 진폭(ζ_R)의 경우

$$\zeta_R = i\zeta_a H_7^+(k, a) \quad (2.15)$$

으로 표시하며, 투과파 진폭(ζ_T)의 경우 입사파 진폭에 산란파 진폭을 더하여

$$\begin{aligned} \zeta_T &= \zeta_a + i\zeta_a H_7^-(k, a) \\ &= \zeta_a (1 + iH_7^-(k, a)) \end{aligned} \quad (2.16)$$

으로 표시한다.

또한, 파의 대칭성과 반대칭성을 도입하면 투과파의 진폭 및 반사파의 진폭은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\zeta_R = \frac{1}{2} (\zeta_R + \zeta_T) + \frac{1}{2} (\zeta_R - \zeta_T) \quad (2.17)$$

$$\zeta_T = \frac{1}{2} (\zeta_R + \zeta_T) - \frac{1}{2} (\zeta_R - \zeta_T) \quad (2.18)$$

즉, 반사파 진폭은 대칭파 진폭성분과 반대칭파 진폭성분의 합으로 계산되며, 투과파 진폭은 대칭파 진폭성분과 반대칭파 진폭성분의 차로 계산한다.

한편, Kochin 함수 $H_7^\pm(k, a)$ 는

$$H_7^\pm = \frac{H_{3s}^+}{H_3^+} \pm \frac{H_j^+}{H_j^-} \quad (j = 1 \text{ or } 2) \quad (2.19)$$

이며 이를 이용하여 대칭파 진폭성분 및 반대칭파 진폭성분을 정리하여 나타내면, 대칭파 진폭성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (\zeta_R + \zeta_T) &= \frac{1}{2} [i\zeta_a H_7^+ + \zeta_a (1 + iH_7^-)] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} [1 + i(H_7^+ + H_7^-)] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} [1 + 2i \frac{H_{3s}^+}{H_3^+}] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} \frac{H_3^+}{H_3^+} \end{aligned} \quad (2.20)$$

또한 반대칭파 진폭성분은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (\zeta_R - \zeta_T) &= \frac{1}{2} [i\zeta_a H_7^+ - \zeta_a (1 + iH_7^-)] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} [-1 + i(H_7^+ - H_7^-)] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} [-1 + 2i \frac{H_j^+}{H_j^-}] \\ &= \frac{\zeta_a}{2} \frac{H_j^+}{H_j^-} \end{aligned} \quad (2.21)$$

여기서 $\overline{H_j^+}$ 는 H_j^+ 의 공액함수를 의미한다.

좌우요 운동에 대한 반사파 진폭 및 투과파 진폭은 식 (2.20)와 (2.21)을 각각 식 (2.17)와 (2.18)에 대입하면

$$\zeta_R = \frac{\zeta_a}{2} \left[-\frac{H_3^+}{H_3^+} + \frac{H_2^+}{H_2^+} \right] \quad (2.22)$$

$$\zeta_T = \frac{\zeta_a}{2} \left[\frac{H_3^+}{H_3^+} - \frac{H_2^+}{H_2^+} \right] \quad (2.23)$$

으로 나타낼 수 있다.

다음으로 위상차를 이용하면 좌우요와 상하요에 대한 Kochin 함수 $H_7^+(k, a)$ 는

$$H_2^+ = i \frac{1}{k} \overline{A_S} e^{i\epsilon_S}, \quad H_3^+ = i \frac{1}{k} \overline{A_H} e^{i\epsilon_H} \quad (2.24)$$

$$\text{여기서 } \overline{A_S} = \left| \frac{\zeta_2}{X_2} \right| : \text{좌우요의 진행파계수}$$

$$\overline{A_H} = \left| \frac{\zeta_3}{X_3} \right| : \text{상하요의 진행파계수}$$

이다. 그러므로

$$\begin{aligned} \frac{H_3^+}{H_3^+} &= i \frac{1}{k} \overline{A_H} e^{i\epsilon_H} \cdot \frac{k}{-i \overline{A_H} e^{-i\epsilon_H}} \\ &= -e^{2i\epsilon_H} \end{aligned} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{H_2^+}{H_2^+} &= i \frac{1}{k} \overline{A_S} e^{i\epsilon_S} \cdot \frac{k}{-i \overline{A_S} e^{-i\epsilon_S}} \\ &= -e^{2i\epsilon_S} \end{aligned} \quad (2.26)$$

이 되며, 식 (2.25), (2.26)을 식 (2.22), (2.23)에 대입하고 투과계수와 반사계수를 정리하면

$$\begin{aligned} C_R &= \frac{\zeta_R}{\zeta_a} \\ &= \frac{1}{\zeta_a} \left[\frac{\zeta_a}{2} \left(\frac{H_3^+}{H_3^+} + \frac{H_2^+}{H_2^+} \right) \right] \\ &= -\frac{1}{2} (e^{i2\epsilon_H} + e^{i2\epsilon_S}) \end{aligned} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} C_T &= \frac{\zeta_T}{\zeta_a} \\ &= \frac{1}{\zeta_a} \left[\frac{\zeta_a}{2} \left(\frac{H_3^+}{H_3^+} - \frac{H_2^+}{H_2^+} \right) \right] \quad (2.28) \\ &= -\frac{1}{2} (e^{i2\epsilon_H} - e^{i2\epsilon_S}) \end{aligned}$$

으로 나타낼 수 있다.

3. 모형실험

3.1 공시모형

본 연구에서는 보다 소파효율이 우수한 구조물을 설계하기 위하여 구조물의 단면형상, 부체 치수 및 부가물에 따른 유체역학적 특성을 검토하였다. 이의 공시모형은 Fig. 2의 (a), (b), (c)에서 보듯이 (a)는 단면 형상이 단순 사각 단면의 쌍동형(A-Type), (b)는 사다리꼴 모양으로 안쪽을 경사지게 한 경우(B-Type), (c)는 바깥쪽을 경사지게 한 C-Type형을 선정하여 나타내었다. 또한 A, B, C-Type 모형의 중앙에 부가판(appendage plate)을 부착하였다. 실험은 부가판이 없는 기본형 및 모형의 중앙에 수직부가판(appendage plate)을 부착한 모형들에 대해 부체간의 간격을 변화시켜가며 실험하였다. 부유식 구조물은 부체간의 간격이 조절되게 제작하였으며 모델 B, C-Type의 부체는 Fig. 2의 (b), (c)에서 보듯이 위치를 바꾸어 놓은 형상이며 부체의 치수는 같다. 구조물과 부체 및 부가판은 모두 두께가 5mm인 아크릴 판으로 제작하였다.

3.2 실험조건 및 실험방법

모형실험은 울산대학교 광복수조내의 길이, 폭, 깊이가 각각 35m×0.5m×0.6m인 2차원 조파수조에서 수행하였으며 모형실험 설치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에 나타낸 것처럼 실험에 있어 조파기의 성능을 검토하기 위하여 조파판 전방 4m 부근에 1개의 저항식 파고계를 설치하여 10초 동안 측정하였으며, 이 Data는 필터링(filtering)한 후 FFT로 분석하였다. 실험에 사용한 입사파도의 주기는 0.7sec~4.0sec 범위였으며, 파고는 6mm~51mm 범위였다. 파장은 주기와 수심을 각각 분산관계식(dispersion relation) $\omega^2 = gk \tanh kh$ 에 대입하여 구하였다.

투과파 효율의 계측실험은 저항식 파고계를 모형 후방 1m(조파판 전방 6m)에 설치하여 파고를 측정하였으며 수심은 0.35m로 고정하여 실험하였다.

4. 수치계산

수치계산에 있어서 $kr_1 < 0.2$ 인 경우 0차의 제 2종 변형 Bessel 함수(K_0)의 발산에 대한 문제를 고려하여 식 (2.9)를 사용했으며, $kr_1 \geq 0.2$ 인 경우는 (2.10)의 식을 사용하였다. 소파성능(반사계수, 투과계수)의 수치계산은 상하요와 좌우요의 위상차를 이용한 식 (2.27)와 (2.28)을 사용하였다.

본 계산에서는 소파효율이 좋은 부유식 소파구조물을 계획하기 위하여 쌍동형 소파구조물의 계통적인 모형을 택하고 규칙파 중에서의 파강제력, 운동응답의 진폭 및 소파효율에 대한 수치계산을 행하였다.

수치계산에 사용한 모형의 주요치수 및 개형은 Table. 1과 Fig. 2와 같으며 표에서 'V'는 수직부가판이 부착된 경우이며 'V'가 없는 모형은 수직부가판이 없는 것을 나타낸다. 또한 A-Type들 중, AVH3은 수직부가판에 수평부가판(폭=5cm)을 부착한 모형이며(Fig. 2(a)), 각 모형의 숫자 3은 부체사이의 간격 $b/a=3$ 이고, 4는 $b/a=4$ 를 의미한다. 또한 A, B, C는 각각의 공시모형의 기본형을 의미한다. 수치계산은 전체 구조물에 대해 요소(mesh) 분할을 하여 이산화 하였으며, 요소는 가능한 정사각형이 되도록 계획하고 단부(端部)에서는 요소의 크기를 작게 하여 수치계산의 정도를 높이려하였다. 각 모형에 대한 요소의 분할은 Fig. 6에 나타난 것처럼 A-Type의 경우 360개이며 B, C-Type의 경우 396개, 또한 수직 부가판 및 수직부가판에 수평부가판을 부착한 부가판은 각각 92개와 124개로 분할하였다. 따라서 A3, A4의 요소의 수는 총 360개, AV3, AV4는 총 452개, AVH3은 총 484개, B3, B4, C3, C4는 총 396개, BV3, BV4, CV3, CV4는 총 488개이다.

5. 결과 및 고찰

공시모형에 대하여 규칙파 중에 있어서 구조물에 작용하는 유체력, 운동응답 및 투과효율에 대하여 계산 및 실험 결과를 Fig. 5 ~ Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 5는 파강제력에 대한 결과이며 좌우 방향의 경우는 그림(a)~(d)에서 알 수 있듯이 단파영역에서 부체간의 간격이 작은 $b/a=3$ 일 때 파강제력이 커짐을 알 수 있다. 상하 방향에 있어서는 그림(e)~(h)에서 보듯이 형상에 따라 파강제력의 값이 큰차이가 있음을 알 수 있다. 또한 그림 (b)와 (f)에서 알 수 있듯이 상하 방향의 경우수평부가판의 영향이 단파영역에서 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 단파장에서는 수평부가판의 영향이 현저함을 알 수 있었고 판의 크기의 조절을 통하여 더욱 효율 좋은 구조물 계획의 기초를 정리하였다.

Fig. 6은 공시모형들의 운동진폭에 대한 결과이다. 좌우동요에 있어서는 형상의 변화가 동요에 별 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 상하동요에 있어서는 A-Type의 경우 부체간의 간격변화에 대한 영향이 나타남을 알 수 있으며 상하요에 대한 운동진폭의 결과는 부체의 형상 변화에 민감함을 알 수 있다. 또한 수평부가판(Fig.2 (a))은 그림 (f)에서 알 수 있듯이 단파영역에서 상하요의 진폭을 크게 함을 알 수 있다.

Fig. 7은 공시모형들의 반사계수와 투과계수의 결과이다. 그림 (a)~(d)에서 알 수 있듯이 부체의 형상변화에 반사계수가 민감함을 알 수 있으며 수평부가판의 결과는 그림 (b)에서 알 수 있듯이 단파영역에서 수평부가판이 반사계수를 높임을 알 수 있다. 그림 (e)~(h)는 투과계수에 대한 결과이고 점들은 실험의 결과이며 선들은 수치계산의 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 부체의 형상 변화에 따라 투과계수가 민감하게 변화하며 부체간의 간격이 $a/b=3$ 보다 간격이 넓은 $a/b=4$ 일 때 작은 투과계수의 값을 보이고 있다. 또한 C-Type의 투과계수가 A, B-Type보다 작게 나타나고 있다. Fig. 8은 $b/a=3$ 이고 수직부가

판이 없을 때의 단순 사각단면을 가진 A-Type(A3)에 대한 투과계수의 결과이고 수심의 영향을 비교한 결과이다. 수심(h)이 0.35m에서 0.21m로 얕아질 때 장파영역에서 수심에 대한 투과계수의 변화는 수치계산 값의 변화가 거의 없었고 단파영역에서는 수심이 얕아질 때 투과계수가 감소와 증가를 반복함을 알 수 있다.

6. 결론

부유식 소파구조물의 성능에 관한 기초 연구로서 부체간의 간격변화, 부체의 형상변화, 부유식 소파구조물의 중앙에 설치한 부가판의 유·무(有·無)에 대하여 연구를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부체간의 간격에 대한 영향은 본 실험 범위에서는 부체간의 간격이 부체폭의 3배($b/a=3$)일 때보다 간격이 넓은 4배($b/a=4$)일 때 소파효율이 좋았다.

(2) 수직부가판은 소파효율 향상에는 영향이 거의 없는 것으로 나타났으나, 수평부가판의 효과가 나타났다. 따라서 수평부가판의 크기, 위치 등을 조절한다면 효율을 극대화 할 수 있을 것으로 생각된다.

(3) 부체의 형상변화에 대한 영향은 단면형상이 사다리꼴 모양으로 바깥쪽을 경사지게 한 경우가 전 파장 영역에서 소파효율이 좋았다.

유한수심에 있어서의 유체력 추정 수치계산 프로그램이 완성됨으로 계통적인 모형을 택하여 수치계산 한다면 연안영역에 보다 적합하고 소파효율이 우수한 부유식 소파구조물을 계획할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 울산대학교 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 寺井精英, “海洋情報都市”, 1986, pp. 9~99
- [2] 朴魯植, “초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정에 관한 근사계산법의 연구”, 韓國海洋工學會誌 第 11卷 第 11號, 1997.2, pp 74~83
- [3] 윤재돈, “거대부유식 해양구조물의 유탄성 거동에 대한 기초연구”, 서울대학교 공학석사 학위논문, 1996
- [4] 박노식, 엄병섭, “쌍동형 부유식 소파제의 소파성능에 관한연구”, 韓國海洋工學會

- 誌 第 12卷 第 1號, 1998, pp. 128~134
- [5] 김도영, 이현엽, “부유식 방파제에 대하여”, 韓國海洋工學會 秋季學術大會 講演論文集, 1995, pp. 371~379
- [6] Seiya Yamashita, Masaaki Sai, “A Study on Wave Transmission and Motions of Pontoon Type Floating Breakwaters”, Third Symposium on Ocean Wave Energy Utilization, JAMSTEC, 1991, pp. 239~249
- [7] Masataka Fujino 他, 透水性海洋構造物の流體力特性に関する研究, 1992, pp. 93~103
- [8] 近藤倣郎, 竹田英章, “消波構造物”, 1983, pp. 220~244
- [9] Makoto Ohkusu, et al, “Study on Performance of Floating Breakwaters Utilizing the Relative Motion of Inside Water”, 日本造船學會 春季講演會, 1991, pp. 215~222
- [10] A. N. Williams, A. G. Abul-Azm, “DUAL PONTOON FLOATING BREAKWATER”, Ocean Engineering. Vol. 24, No. 5, 1997, pp. 465~478
- [11] Yoshiyuki INOUE, Xuangang ZHANG, “Numerical Study of the Behavior of Multiple Floating Breakwater”, 關西造船協會誌 第 227号, 1997, pp. 145~153
- [12] A. N. Williams, “DUAL FLOATING BREAKWATER”, Ocean Engineering. Vol. 20, No. 3, 1993, pp. 215~232
- [13] 山下 誠也 他, “浮体の 能動形動搖制御の一實驗”, 日本造船學會, 1992, pp. 271~277
- [14] 柏木正, “造波理論 前編”, 1982, pp. 63~69
- [15] 杉浦正憲, “半潛水式浮遊構造物に働く流体力について”, 關西造船協會誌, 第 164号, 1978
- [16] Turgut Sarpkaya, Michael Isaacson, “Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures”, 1981, pp. 396~407
- [17] S.K.Chakrabaiti, “Hydrodynamics of Offshore Structures”, 1987, pp. 301~312

도표 및 그림

단위[cm]

	A-Types					B-Types				C-Types			
	A3	AV3	A4	AV4	AVH3	B3	BV3	B4	BV4	C3	CV3	C4	CV4
길이(L)	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
폭(B)	35	35	42	42	35	30	30	37	37	30	30	37	37
깊이(D)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
홀수(T)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
부체의폭 (a)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
수선면적 [cm ²]	672	696	672	696	696	432	456	432	456	432	456	432	456
배수용적 (▽)[cm ³]	5538	5570	5538	5570	5678	5140	5330	5140	5330	5140	5330	5140	5330
b/a	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4

Table. 1 Principal Dimensions

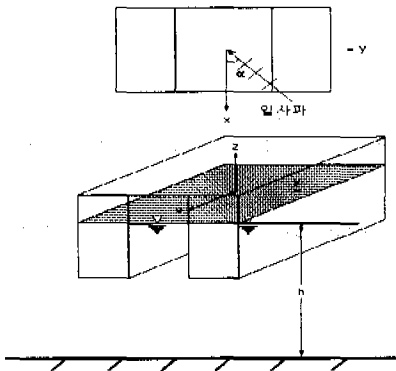
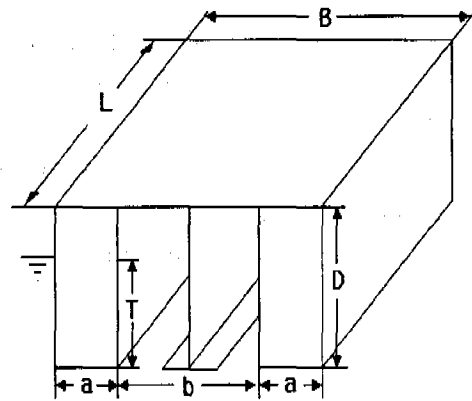
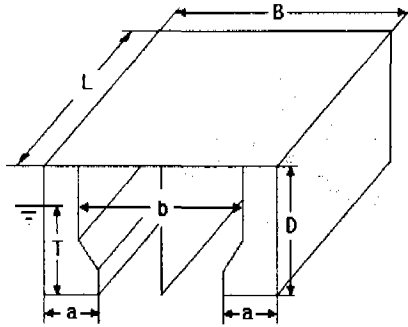


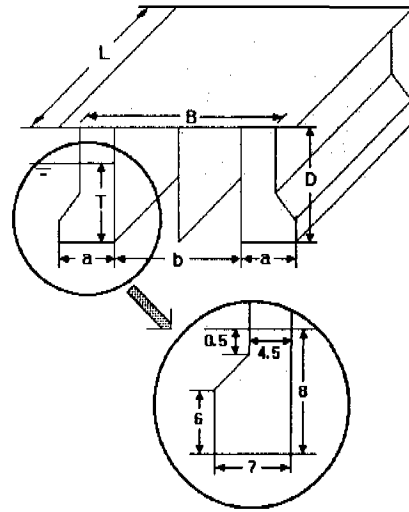
Fig. 1 Coordinate System



(a) Configuration of A-Type with the Vertical Appendage Plate



(b) Configuration of B-Type with the Vertical Appendage Plate



(c) Configuration of C-Type with the Vertical Appendage Plate

Fig. 2 Configurations of Wave-Breakers

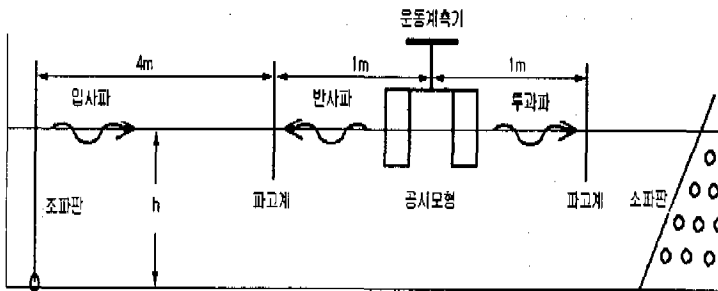
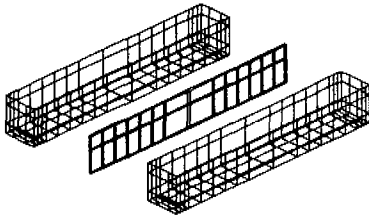
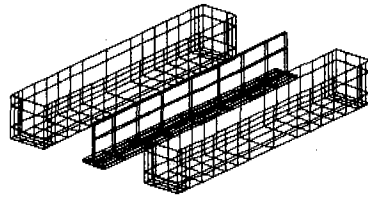


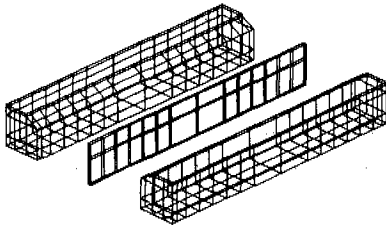
Fig. 3 Equipments of Experimental System



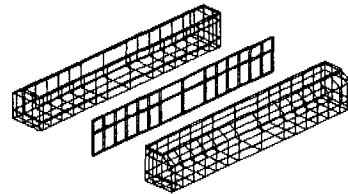
(a) Mesh Subdivision of A-Type with the Vertical Plate(요소수=452개)



(b) Mesh Subdivision of A-Type with the Vertical and Horizontal Plate(요소수=484개)

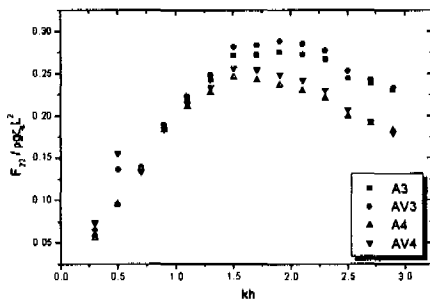


(c) Mesh Subdivision of B-Type with the Vertical Plate(요소수=488개)

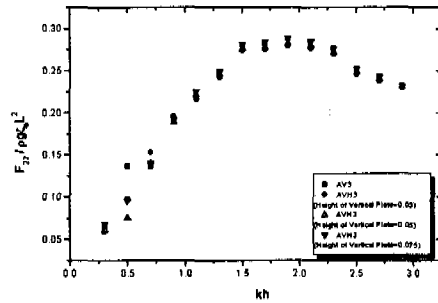


(d) Mesh Subdivision of C-Type with the Vertical Plate(요소수=488개)

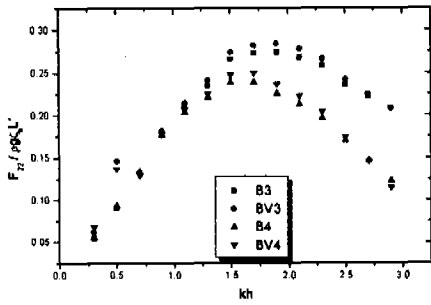
Fig. 4 Mesh Subdivisions of Wave-Breakers



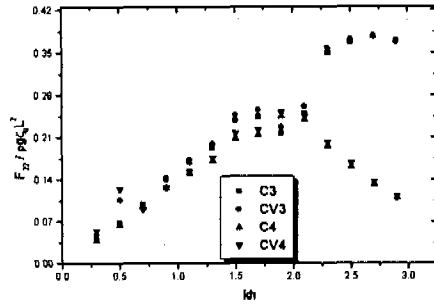
(a) Wave Exciting Forces for Sway on A-Type Wave-Breakers



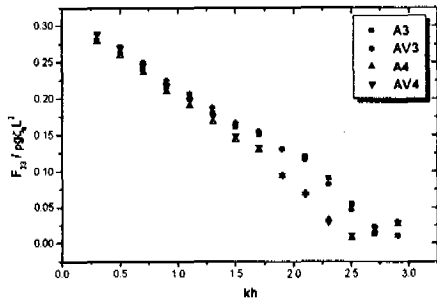
(b) Wave Exciting Forces for Sway on AV3 and AVH3 Wave-Breakers



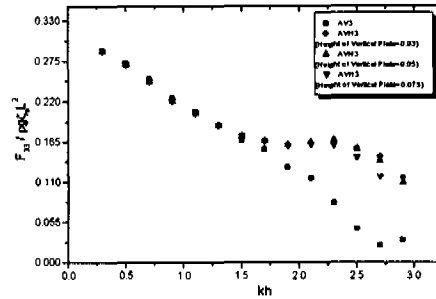
(c) Wave Exciting Forces for Sway on B-Type Wave-Breakers



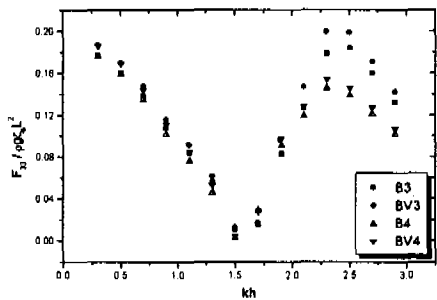
(d) Wave Exciting Forces for Sway on C-Type Wave-Breakers



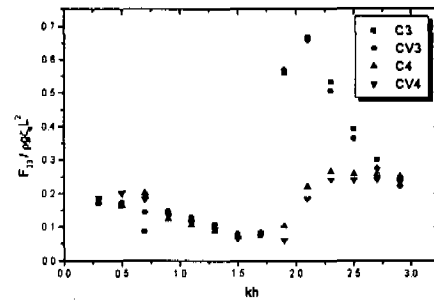
(e) Wave Exciting Forces for Heave on A-Type Wave-Breakers



(f) Wave Exciting Forces for Heave on AV3 and AVH3 Wave-Breakers

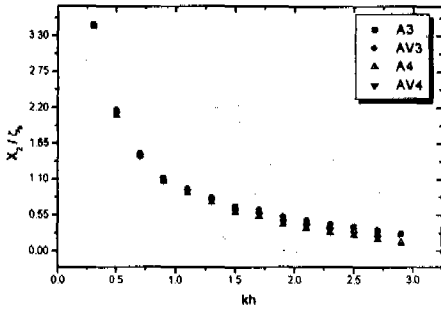


(g) Wave Exciting Forces for Heave on B-Type Wave-Breakers

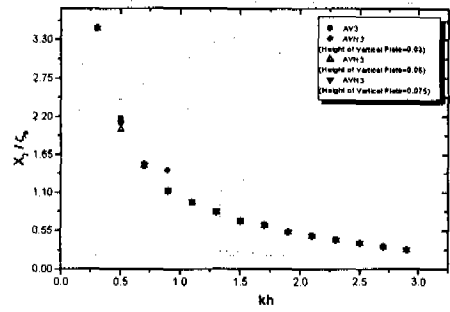


(h) Wave Exciting Forces for Heave on C-Type Wave-Breakers

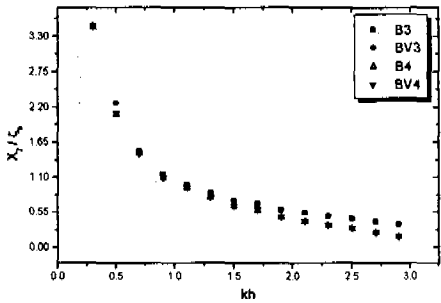
Fig. 5 Wave Exciting Forces on Wave-Breakers



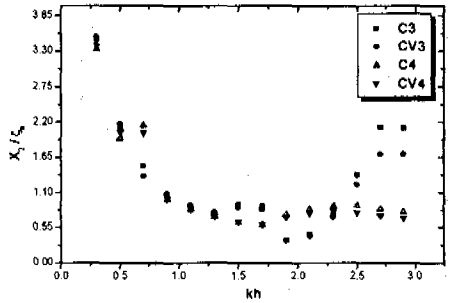
(a) Sway Amplitudes for Motion on A-Type Wave-Breakers



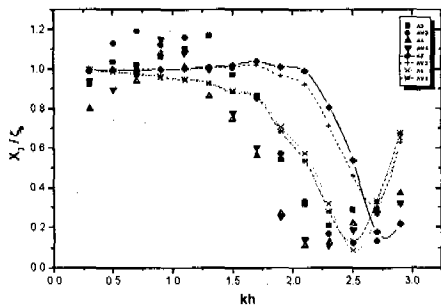
(b) Sway Amplitudes for Motion on AV3 and AVH3 Wave-Breakers



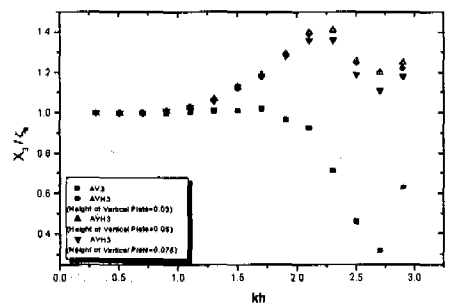
(c) Sway Amplitudes for Motion on B-Type Wave-Breakers



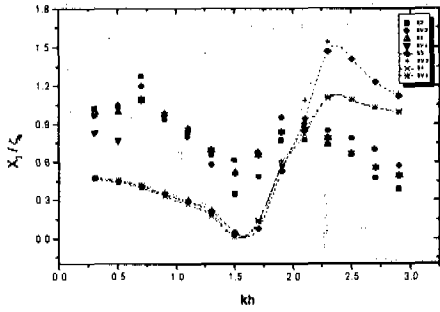
(d) Sway Amplitudes for Motion on C-Type Wave-Breakers



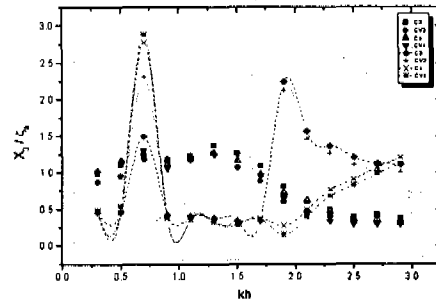
(e) Heave Amplitudes for Motion on A-Type Wave-Breakers



(f) Heave Amplitudes for Motion on AV3 and AVH3 Wave-Breakers

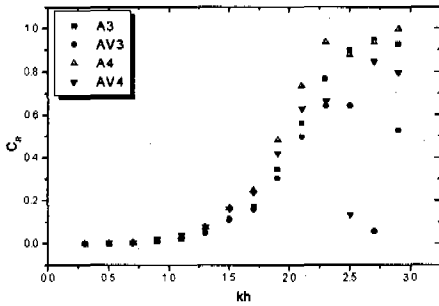


(g) Heave Amplitudes for Motion on B-Type Wave-Breakers

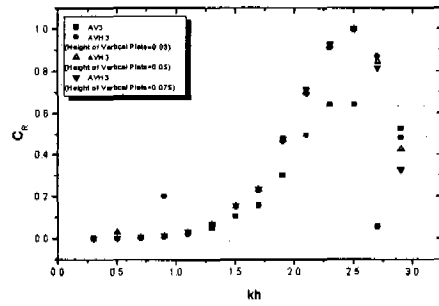


(h) Heave Amplitudes for Motion on C-Type Wave-Breakers

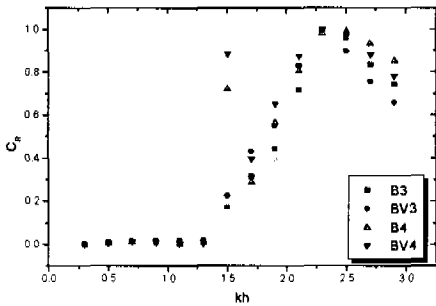
Fig. 6 Amplitudes for Motion on Wave-Breakers



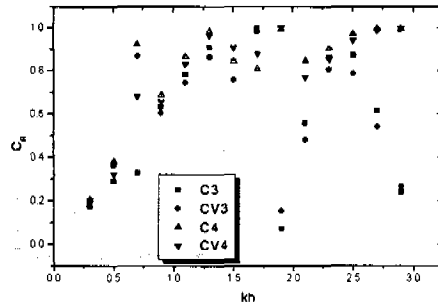
(a) Reflection Coefficients on A-Type Wave-Breakers



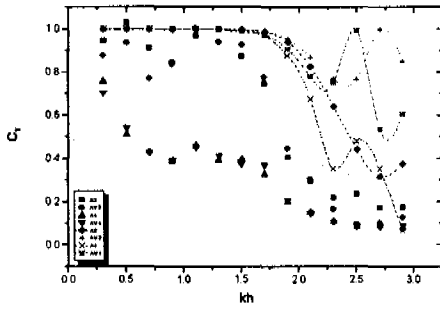
(b) Reflection Coefficients on AV3 and AVH3 Wave-Breakers



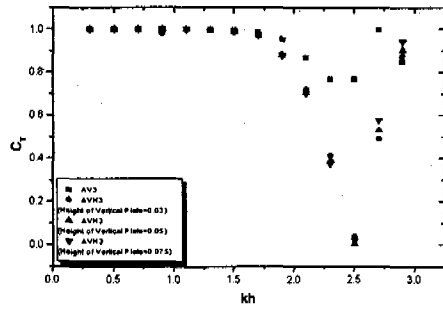
(c) Reflection Coefficients on B-Type Wave-Breakers



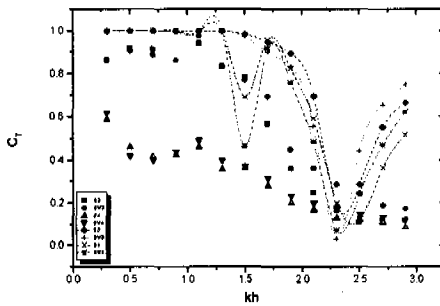
(d) Reflection Coefficients on C-Type Wave-Breakers



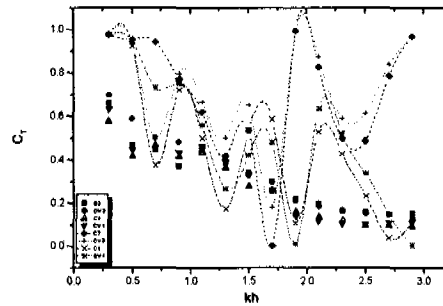
(e) Transmission Coefficients on A-Type Wave-Breakers



(f) Transmission Coefficients on AV3 and AVH3 Wave-Breakers



(g) Transmission Coefficients on B-Type Wave-Breakers



(h) Transmission Coefficients on C-Type Wave-Breakers

Fig. 7 Reflection and Transmission Coefficients on Wave-Breakers

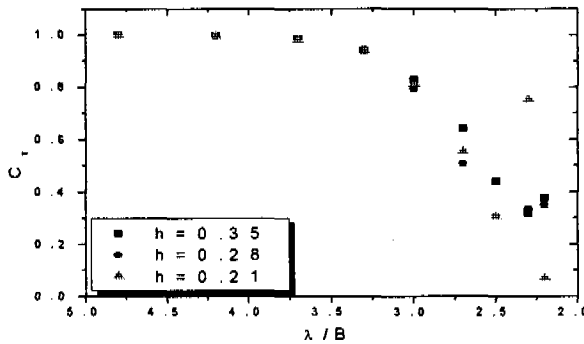


Fig. 8 Transmission Coefficients on the A3 for Different Water Depths (b/a=3, without the Appendage Plate)