



공학석사 학위논문

돌핀계류 부소파제 모형실험을 통한 성능해석

Analysis Efficiency of Model Experiment on Floating Breakwater at Mooring Dolphin



2012년 2월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템 공학과

허 균

本 論文을 許 筠의 工學碩士 學位論文으로 認准함



2012년 2월

한국해양대학교 대학원



Analysis Efficiency of Model Experiment on Floating Breakwater at Mooring Dolphin

Heu Kyun

Department of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering Graduate School, Korea Maritime University



A study analyze on motion responses and examine wave-breaking performances to measure heights of incident wave, reflected wave, transmission wave in according with the conditions that model experiment on floating breakwater at mooring dolphin of waves and depth of water. It execute to change while the experiment present each cases pursuant to experimental methods and similarity conditions that changing step-by-step by breakwater of wave height, period, depth. Therefore, The study analyses performances of motion, wave-breaking in according to results of experiment .



Contents

Abstract
Nomenclatures
List of Figures
List of Tables
1. 서론 ···································
1.1 부소파제의 발전과정1
1.2 국내외 기술개발 현황
1.3 연구개발의 목표 및 내용4
2. 이론
2.1 지배방정식
2.2 경계조건 ~~~~ 5
2.2.1 압력일정조건
2.2.2 자유표면조건 ~~~~~ 6
2.2.3 바닥조건 ~~~~ 6
3 식헌방법 및 부수파제 모형
31 신허기기
311 2차워 조파수조 ··································
3.1.2 용량식 파고계
3.1.3 4자유도 거동측정용 운동 계측장비 ····································
3.2 상사조건 ~~~~~~ 12
3.2.1 구조물상사
3.2.2 파의 상사15
3.3 실험모형17
3.3.1 부소파제의 단면제원



3.3.2 부소파제의 계류방식	····· 17
3.3.3 부소파제의 실험모형	18
3.4 실험방법	····· 21

	25
	20
4.1 모형실험을 통한 부소파제의 소파성능	25
4.1.1 수식변화에 따른 비교	25
	20
4.1.2 파고변화에 따른 비교	27
4.2 모형실험을 통한 부소파제의 운동특성	29
4.1.1 수심변화에 따른 비교	29
4.1.2 파고변화에 따른 비교	30

5. 결론		MARIIME		
ਟ ਸੋਦ				00
0. 결혼		S III		
찬 고 문	허			
	Ľ	1945 카 양 다	61.54	



Nomenclature

ϕ	속도 포텐셜
u	x축 방향의 유체입자 속도
w	z축 방향의 유체입자 속도
p	유체 압력
ρ	유체 밀도
t	시간
g	중력가속도
η	수면 변위
h, d	수심
O-xy	2차원 공간좌표계
ζ	파면의 높낮이
ζ_0	파의 진폭
Н	파고
С	파속, 파형의 전파속도
T	파주기 양 내
α	파경사
$lpha_0$	파경사
$H\!/\lambda$	파고·파장비
k	파의 개수
L_S	실제 모형의 길이
L_M	실험 모형의 길이
C_T	투과계수



List of Figures

Fig.2.2_1 2-dimensional coordinate system and the terms of the regular
wave 7
Fig 3.1.1_1 Schematic of 2 Dimensional Ocean Engineering Basin10
Fig 3.1.2_1 Capacity type wave height meter(L)와 Amp(R) 11
Fig 3.1.3_1 Measurement equipment for motions on 4 degrees of freedom \cdots 11
Fig 3.1.3_2 Coordinate system of measurement equipment for 4degrees motion
Fig.3.2.1_1 Breakwater is installed in order experiment in the basin · · · · · · 14
Fig.3.3.1_1 The section for breakwater17
Fig.3.3.2_1 The plan for breakwater(L) and the side plan for breakwater(R) $\cdot \cdot 18$
Fig.3.3.3_1 The plan of production for breakwater model19
Fig.3.3.3_2 The experiment model of floating breakwater at mooring Dophin \cdots 20
Fig.3.4_1 The plan of model and equipments depend on length in basin23
Fig.3.4_2 Equipments for measurement and making wave in 2-dimensional
basin
Fig.3.4.2 The gragh of measured incident wave after making wave in
2-dimensional basin ·······24
Fig.4.1.1_1 The graph of transmission coefficient due floating breakwater at
mooring Dolphin to change in water depth26
Fig.4.1.2_1 The graph of transmission coefficient due floating breakwater at
mooring Dolphin to change in water height (top picture at water depth50cm,
under picture at water depth50cm)27
Fig.4.2.1_1 The graph of heave-motion characteristics due floating breakwater
at mooring Dolphin to change in water depth $\cdots 29$
Fig.4.2.2_1 The graph of heave-motion characteristics due floating breakwater
at mooring Dolphin to change in water height (top picture at water depth50cm,
under picture at water depth50cm) 30



List of Tables

Table 1.2_1 Models and Characteristics standardized for floating breakwater in
Japan (ECOR, 1980)3
Table 2.2_1 Equations for characterize for 2-dimensional regular wave $\cdots 9$
Table 3.2.1_1 Dimensions of basin ·····14
Table 3.2.1_2 Dimensions of floating breakwater at mooring Dolphin14
Table 3.2.2_1 The waves for actual sea16
Table 2.2.2_2 The waves for similarity sea16
Table 3.3.3_1 The material for model18
Table 3.4_1 The experimental Case for floating breakwater $\cdots 22$
Table 3.4_2 The experimental Case for floating breakwater





1. 서 론

1.1 부소파제의 발전과정

최근 육지면적의 부족과 육상에서의 자원고갈문제가 심각하게 대두되면서, 생산 및 산업공간으로서의 해양공간의 개발이 활발해지고 있다. 특히 최근에는 매립을 통한 개 발이 비약적으로 증가하여 육상 용지난부족 등은 해결하였으나, 해양의 오염 및 자연 해안의 상실 등 사회문제를 야기하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로서, 인근 주민의 반대로 육상에 입지하기가 어 려워지는 폐기물처리장, 발전소 등과 같은 기피시설을 부유식 해양 구조물 등의 인공 섬 위에 설치하는 일이 검토되고 있다[대한조선학회(1996)]. 또한 요트, 윈드써핑, 모 터보트 등 해양 레저도 점차 보급 될 것이며 이에 따라 마리나(marina)의 설치가 늘어 나게 될 전망이다.

A BITIME UN

해안 및 해양에 설치되는 시설물들을 파도로부터 보호하기 위하여 방파제 또는 소파 구조물의 설치가 필요하나, 기존 방파제(경사제, 직립제)는 설치에 많은 시간과 경비가 소요되고 환경 및 생태계에 원치 않는 변화를 주며, 설치 예정지의 수심, 지질 그리고 육지로부터의 거리등에 많은 제약을 받는다[Tsinker(1995)]. 이를 해결하기 위하여 적 정한 계류시스템에 의지하는 부유식방파제가 최근 많이 고려되고 있다[Grinyer(1995), Mani(1991), Nekado(1980), Sugawara(1984)]. 그러나 부유식 방파제는 고정식에 비 하여 방파 효율이 떨어지는 단점이 있으며, 이를 극복하기 위하여 부유식 방파제의 방 파성능의 개선을 위한 연구도 진행되고 있다[송무석(1996), 김도영(1997, 1998)]. 방파제의 종류는 크게 착저식과 부유식으로 나눌 수 있다. 착저식 방파제는 방파성능 이 우수하여 많이 사용되고 있으나, 해수교환의 방해로 환경에 좋지 않은 영향을 미친 다. 따라서 해수가 일부 교환되는 형태의 방파제 개발이 시도되고 있으나, 효과를 기대 하기 힘들다.

최근 세계적 이슈인 환경 오염방지, 환경 및 생태계의보호를 위하여 부유식방파제의 중요성이 더해 갈 것이다. 부유식 방파제는 해수순환을 방해하지 않고, 설치 해역에서 발생한 오염물질이 자연적으로 정화되는 작용을 방해하지 않으며, 어류들이 방파제 밑 으로 통과할 수 있으므로 해양환경 서식처에 최소의 영향을 준다. 이러한 점이 향후 해양개발이 본격화됨에 따라 가장 큰 강점으로 부각될 것이다. 또한 기존의 방파제는



수심이 깊어짐에 따라 건설비용의 급격한 증가를 가져오나, 부유식 방파제는 계류가 가능한 수심까지 설치할 수 있어, 수심의 증가에 따른 건설비용의 증가가 크지 않다 [Grinyer(1995)]. 부유식방파제의 종류와 종류별 특성에 대한 것은 McCartney(1985) 에 잘 정리되어있다.

그러나 부유식방파제는 장주기파랑에서 방파효율이 착저식에 비하여 떨어지기 때문에 실용화하기 위해서는 부유식방파제의 효율을 극대화하는 것이 중요하다.

1.2 국내외 기술개발 현황

최근 해안환경과 건설비 측면 등에서 많은 이점을 가지는 부방파제에 관한 연구가 국 내·외적으로 많이 수행되고 있다. 부방파제는 부체에 의한 회절산란파와 동요시의 부체 에 의한 발산파와의 위상차로 파랑을 제어하는 것이 일반적인 제어형식(반사형식)이다. 부방파제는 해수흐름을 방해하지 않아 항내오염을 줄일 수 있고, 지진의 피해를 최소 한으로 줄일 수 있으며, 연약지반상에서도 쉽게 건설될 수 있다는 이점이 있다. 따라서 국내에서도 마산시 원전어항에 부방파제를 처음으로 도입·시공하게 되었으며[마산지방 해양수산청(2002)], 남해안에서도 어장의 조성 및 확장을 위해 부방파제를 계획하고 있다.

원전항의 수심은 14m정도 이지만, 해저지반이 약 20m 정도가 연약한 해성점토층으 로 이루어져 있다. 따라서 고정식 방파제를 설치한다면 약 40m 높이의대형 방파제 설 치가 불가피 하기 때문에 부소파제를 계획하게 되었다. 이 부소파제의 부체는 강제로 이루어져 있으며, 입사하는 면에 특정 형상의 강제를 설치해서 입사파랑을 소파시키고 자 설계되어졌다.

부방파제의 형식으로는 제작이 용이하고, 내파안정성이 뛰어난 푼툰형이 널리 이용되 고 있으나, 푼툰형 부방파제는 내습파를 외해로 반사시킴으로써 투과파를 저감하기 때문에 충분한 크기의 자중이 요구되고 부방파제 폭의 3배 정도 이하의 비교적 단파장 의 파에 대해서만 유효한 것으로 알려져 있다. 따라서 원전어항의 경우에는 푼툰형부 방파제의 단점인 고반사성 및 장주기파에 대한 고투과성을 효과적으로 제어할 수 있



고, 와류 등에 의한 파랑에너지의 소한을 도모하는 커튼식 부방파제를 적용하고 있다. 한국에서는 부소파제의 개발 사례가 그다지 많지 않은 반면 일본에서는 다양한 목적과 형상의 부소파제가 개발 및 설치되어져 왔다. 일본에서는 주로 민간회사를 중심으로 개발되어 왔으며, 어항뿐만 아니라 해역파랑조건이 보다 악조건인 해역에도 설치 가능 한 새로운 형식의 부방파제 연구 및 개발에 많은 투자를 하고 있다. 현재 일본에는 전 국 21개 지자체, 100여 개소 이상에 설치하고 있다.

1990년대부터는 일본 전국어항협회에서 부소파제 모델 5종을 발표하여 표준화하여 왔다[ECOR 일본위원회(1980)]. Table 1.2_1에서는 일본에서 표준화하여 사용하고 있 는 5가지 모델과 그 특징을 보여주는데, 소파원리, 사용재질, 그리고 기본형식에 따라 서 5가지 형태로 나누어졌다. 이러한 부소파제는 방파제 역할 외에 낚시터 등 관광목 적으로도 활용되고 있다. 또한 부소파제를 개발하여 일본 각 지역에 보급해 온 부소파 제 제작사들은 '일본부소파제협회'를 조직하여, 다목적 용도로 적용될 수 있고 한층 성 능이 개선된 부소파제를 제작하고 있다.

형식	개요도	소파원리	기본형식	사용재질
A	A CONTRACTOR OF THE OWNER	반사	삼중 Barrier	강재
в		194 到 到 到 9 人	5 경사관	강재
ç		신	폰툰	Hybrid (강제+PC)
D	E. P. S.	공명	동요제어	강재
E		र उष	공기제어	강재

Table 1.2_1 Models and Characteristics standardized for floating breakwater in Japan (ECOR, 1980)



국내해양연구원에서는 부소파제 개발을 위한 새로운 개념의 부체의 개발을 위하여, 소파 성능특성을 파악하기 위한 모형 실험을 수행하였다. 부체는 폴리에틸렌(P.E.)파이 프를 연결하고 시트(sheet)를 경사지게 설치하여 제작하였으며, 입사하는 파랑이 시트 를 통과하면서 쇄파되고 파이프를 통과하면서 와류유기(Vortex shedding)가 발생하여 파랑에너지가 감소되는 개념을 적용하고자 하였다.[정동호 등(2006), "부소파제의 부체 개발을 위한 기초적 실험 연구"]

또한 박재현 등(2000)은 "상자형 부유식 방파제의 소파성능 개선을 위한 실험적연구" 를 통하여 체인과 스프링을 계류장치로 사용하여 체인의 무게와 방파제의 흘수에 따른 방파효율을 살펴보고 스프링형과의 특성을 비교하였으며, 송무석 등(2004)은 "2차원 부방파제 모듈의 소파특성 수치해석"에서 수치해석을 통한 부방파제 2차원 단면을 연 구하여 효과적인 단면형상을 제안하였다. 김도삼 등(2004)은 "신형식 부방파제의 파랑 제어에 관한 연구"에서 원전어항에서 채용하고 있는 부방방파제에 비해 소요재료량의 변화가 크지 않은 범위에서 커튼판의 위치와 형식의 변화 및 수평판의 부착 유무에 따 른 여러 형식의 부방파제에 대해 투과율과 반사율을 Green함수법으로 계산하였다. 안 용호 등(2000)은 "장주기파에 효율적인 부유식방파제 단면 형상에 대한 연구"에서 투 과계수가 최저치가 파장/부유체의 폭이 되도록 큰 곳에서 발생하는 형태의 단면을 개 발하고자 하였다.

1.3 연구개발의 목표 및 내용

본 연구는 모형실험을 통하여 콘크리트 부소파제의 파랑, 수심조건에 따른 입사파고, 반사파고, 투과파고를 평가·분석함으로써 부소파제의 소파성능을 검토하고, 그에 따른 운동특성을 분석하는데 그 목적이 있다.

따라서 수리실험 Case에 대한 실험방법 및 상사조건을 제시하고, 그에 따른 부소파제 의 파고, 주기, 수심 등을 단계적으로 변화시키면서 수리실험을 수행한다. 수리실험의 측정결과, 즉 입사파고, 반사파고, 투과파고로부터 부소파제의 소파성능을 분석하고, 더 불어 운동성능도 측정 분석한다.



2. 이 론

선박이나 해양구조물의 내항은 해양환경과 직접적인 관계가 있다. 해양에는 정도의 차이는 있으나 항상 파도가 형성되어 있으며, 파도 중에서 선박이나 해양구조물은 끊 임없이 운동을 하고 있다. 본 연구에서 다루고 있는 부소파제의 파랑중 거동과 소파효 율을 체계적으로 이해하기 위해서는, 먼저 해양파의 역학적 구조와 파면 형상의 통계 학적 성질에 관한 지식을 필요로 한다.

2.1 지배방정식

유체는 비점성 비압축성인 이상유체라 가정하였고, 표면장력도 무시하였다. 속도 포텐 설은 유체영역 내부에서 라플라스방정식과 베르누이 방정식을 만족해야 한다. 여기서 비점성이라 함은 유체 유동 내부의 인접한 두 유선(stream line)사이에 속도차이가 없 음을 의미한다. 따라서 유동 내부에 접선응력이 나타나지 않는다. 비압축성 유체는 밀 도가 일정불변인 유체를 의미한다. 그리고 표면장력이란 액체 표면의 막면 단위 길이 의 선에 수직방향으로 작용하는 액체 분자의 인장력 또는 응집력을 의미한다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} = u, \frac{\partial \phi}{\partial z} = w\right) \tag{2.1}$$

$$\frac{p}{\rho} + gz + \frac{1}{2}q^2 + \frac{\partial\phi}{\partial t} = 0 \quad (q^2 = u^2 + w^2) \tag{2.2}$$

(φ: 속도포텐셜, x: 수평방향거리, z: 연직방향거리, u = 수평방향유속
 w: 연직방향유속, p: 압력, ρ: 밀도, t: 시간, g: 중력가속도)

2.2 경계조건

경계조건은 다음과 같이 압력 일정 조건, 자유표면 조건 그리고 해저면 조건을 만족 하고 있다.

2.2.1 압력일정 조건

동역학적 자유표면 경계조건(Dynamic Free Surface Boundary Condition)이라하고 이는 수면의 압력과 수면과 접해있는 대기압과의 관계를 규정짓는 것으로서 베르누이



방정식으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

2.2.2 자유표면조건

운동학적 자유표면 경계조건(Kinematic Free Surface Boundary Condition)이라 하는데 이것은 수면변동 속도와 포텐셜에 의해 산정되는 수면의 속도 관계에 의해 규정 되는데, 이것은 다음과 같이 전개 된다. 수면변동은 공간과 시간에 따라 변하기 때문에 2차원인 것을 가정하여 자유 수면을 나타내면 F(x,z,t) = 0이 되고, F(x,z,t) = z - n (x,t)가 된다. 이때 F의 실질 미문 dF/dt = 0이 되므로 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + u\frac{\partial F}{\partial x} + w\frac{\partial F}{\partial z} = -\frac{\partial \eta}{\partial t} - u\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$$
(2.4)

위 식을 속도포텐셜을 도입하여 나타내었다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (at \, z = \eta) \tag{2.5}$$

2.2.3 바닥조건

자유 수면에 관한 운동학적 조건을 유도한 방법과 동일한 방법으로 해저면에 있어서 경계조건을 유도할 수 있다. F(x,z) = z + h(x)로서 해저면을 임의의 곡면형으로 고려 하면, 이의 실질미분은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + u\frac{\partial F}{\partial x} + w\frac{\partial F}{\partial z} = \frac{\partial h}{\partial t} + u\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$$
(2.6)

∂h/∂t = 0의 경우를 고려하고, u, w를 속도포텐셜로 나타내면, 다음과 같은 바닥에 관 한 불투과 조건을 얻는다.

$$u\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (z = -h)$$
(2.7)

위 식과같이 되고 수심의 변화가 없는 경우 $\partial h/\partial t = 0$ 이므로 위 식은 다음과 같이 간 략화 된다.



$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (z = -h) \tag{2.8}$$

O-xy : 2차원 공간좌표계 ζ : 파면의 높낮이 ζ_0 : 파 진폭 H : 파고(H = $2\zeta_0$) λ : 파장 c : 파속, 파형의 전파속도(celerity, phase velocity) T : 파주기 α : 파경사 α_0 : 최대파경사 H/λ : 파고·파장비(wave steepness) d : 수심

Fig.2.2_1 2-dimensional coordinate system and the terms of the regular wave

Fig.2.2_2는 수심d이고 x축의 양(+)의 방향으로 진행하는 2차원 규칙과의 파형과 좌표 계 및 용어를 간략히 설명하고 있다. Table.2.2_1 는 2차원규칙과의 특성을 나타내는 관 계식들 정리하였다.



Quantity	In term s of	Any depth	Deep water $(d > 0.5\lambda)$	Shallow water $(d > 0.03\lambda)$
	T	$\frac{2\pi}{T}$	$\frac{2\pi}{T}$	$\frac{2\pi}{T}$
w	λ	$\sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda} tanh(\frac{2\pi d}{\lambda})}$	$\frac{\sqrt{g\kappa}}{\sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}}}$	$\frac{2\pi\sqrt{gd}}{\lambda}$
	c		$\frac{g}{c}$	
	In		Deep water	Shallow water
Quantity	term	Any depth	$(d > 0.5\lambda)$	$(d > 0.03\lambda)$
	s of	2-	2–	2–
	w	$\frac{2\pi}{w}$	$\frac{2\pi}{w}$	$\frac{2\pi}{w}$
	k	$\frac{2\pi}{\sqrt{gk\tanh(kd)}}$	$\frac{2\pi}{\sqrt{gk}}$	$\frac{2\pi}{k\sqrt{gd}}$
T	λ	$\frac{\sqrt{2\pi\lambda}}{\sqrt{g\tanh{(\frac{2\pi d}{\lambda})}}}$	$\sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$	$rac{\lambda}{\sqrt{gd}}$
	c	rol 194	$\frac{2\pi c}{g}$	
	In		Deep water	Shallow water
Quantity	term	Any depth	(d > 0.5))	(d > 0.02)
	s of		$(a \ge 0.5\lambda)$	$(u > 0.03\lambda)$
	w		$\frac{w^2}{g}$	$\frac{w}{\sqrt{gd}}$
k	T		$rac{4\pi^2}{gT^2}$	$\frac{2\pi}{T\sqrt{gd}}$
	λ	$\frac{2\pi}{\lambda}$	$\frac{2\pi}{\lambda}$	$\frac{2\pi}{\lambda}$
	c		$\frac{g}{c^2}$	



Quantity	In term	Any depth	Deep water	Shallow water
	s of		$(a \ge 0.5\lambda)$	$(a \ge 0.03\lambda)$
	w		$\frac{2\pi g}{w^2}$	$\frac{2\pi\sqrt{gd}}{w}$
	T		$\frac{gT^2}{2\pi}$	$T\sqrt{gd}$
λ	k	$\frac{2\pi}{k}$	$\frac{2\pi}{k}$	$\frac{2\pi}{k}$
	c		$\frac{g}{c^2}$	

Table 2.2_1 Equations for characterize for 2-dimensional regular wave





3. 실험방법 및 부소파제 모형

3.1 실험기기

3.1.1 2차원 조파수조

본 실험에 사용된 수조는 Fig 3.1.1_1에 나타낸 바와 같이 25m × 1.0m × 0.8m(L × B × D)의 조파수조로 조파기(wave maker)는 피스톤 형식으로 파형생성가능한 주파 수범위(Frequency range)는 0.5/s ~ 2.0/s, 파고생성가능 범위는 약0.07m ~ 0.22까 지 생성가능하다. 그리고 다종의 선형파는 물론이고 ISSC, ITTC, JONSWAP 등을 적용한 불규칙파형이 생성가능하다.



Fig 3.1.1_1 Schematic of 2 Dimensional Ocean Engineering Basin

3.1.2 용량식 파고계

용량식 파고계는 물의 전기를 띠는 성질을 이용하여 측정하는 장비이며, 측정원리는 수중으로부터 해면상에 연직으로 설치되어있는 전선과 유체 사이의 전기적 용량이 수 위의 상하에 따라서 변화하는 것을 기초로 한다. 장점은 출력 값의 대한 선형성과 응 답성이 좋다는 것이다. 즉, 갑작스런 파고가 증가에도 정확하게 파형을 측정할 수 있 다. 단점으로는 여러 대의 파고계를 근접하여 관측할 경우 상호간섭이 생겨 관측 값에 오차가 생길 수 있으며 케이블의 길이에 한계가 있을 수 있으며 유체에 대한 저항이



나쁘게 관측 값이 달라질 수 있다는 것이다. 본 실험에서는 4 대의 파고계를 설치하여 파고를 관측하였고 파고계들의 거리는 충분히 멀어 상호간섭영향은 없었고, 사용된 파 고계와 엠프(KENEK의 CH401)는 Fig 3.1.2_1와 같다.



Fig 3.1.2_1 Capacity type wave height meter(L)와 Amp(R)

3.1.3 4자유도 거동측정용 운동 계측장비

2차원조파수조에서 다양한 해양 구조물 모델시험의 파랑 중 거동측정실험용 운동 계 측장비로 Heave, Sway, Roll, Pitch에 대하여 측정이 가능하며 본 실험에서는 Heave 의 운동을 측정하는데 이용하였다. Fig 3.1.3_1 장비의 모습이고, Fig 3.1.3_2는 장비 측정 좌표계이다.



Fig 3.1.3_1 Measurement equipment for motions on 4 degrees of freedom





Fig 3.1.3_2 Coordinate system of measurement equipment for 4degrees motion

3.2 상사조건

3.2.1 구조물의 상사

모형시험결과를 실선으로 확장하기위해서는 기하학적상사(Geometric similarity), 운 동학적상사(Kinematic similarity), 역학적상사(Dynamic similarity)로 정의 되는 3가지 상사법칙을 따라야 한다.

기하학적상사란 모형선-실선의 생긴 모습이 닮은꼴이면 상응되는 모든 점에서 접선의 기울기가 같다는 것이며, 표면의 조도(roughness)는 모형선에서 그대로 재현할 수 없 으므로, 모형선의 표면은 매끈하게(smooth)하고, 나중에 필요한 수정을 한다. 축척비는 식(3.1)로써 나타낼 수 있으며, 여기서 L_S 는 실선의 길이, L_M 는 모형선의 길이이다.

$$\frac{L_S}{L_M} = \frac{20}{1} = 20 \tag{3.1}$$

운동학적상사란 모형선과 실선 주위의 유동의 모습이 닮은꼴이면 상응되는 모든 점에

- 12 -



서의 속도 벡터의 방향이 같으며, 모형선과 실선의 상응되는 점에서 2점의 속도의 비 가 동일하다는 것이다.

$$\left(\frac{V_A}{V_B}\right)_M = \left(\frac{V_A}{V_B}\right)_S \tag{3.2}$$

역학적상사란 모형선과 실선에 작용하는 힘이 닮은꼴이면 상응되는 모든 점에서 힘 벡터의 방향이 같다는 것으로 기준 축에 대한 힘의 방향도 닮은꼴이란 것이다.

$$\left(\frac{F_t}{F_n}\right)_M = \left(\frac{F_t}{F_n}\right)_S \tag{3.3}$$

수조실험을 위하여 기하학적 상사법칙에 따라 길이(m)로 축척하여 상사하였으며, 단 위는 SI단위계를 사용하였다. Fig.3.2.1_1은 실제 조파수조에 설치된 돌핀계류방식의 부소파제로서 조파수조와 부소파제 구조물의 L(길이), B(폭), D(높이) 관계를 보여주고 있다. Table 3.2.1_1은 조파수조의 상세제원이며, Table 3.2.1_2는 돌핀계류방식의 부 소파제에 대한 제원을 나타내고 있다. Fig.3.2.1_1과 Table 3.2.1_1, 3.2.1_2에서 보여 지는 바와 같이 2차원실험을 위하여 조파수조의 폭(B)방향이 부소파제의 길이(L)가 되 도록 하였으며, 조파기에서 생성된 파는 부소파제의 측면에서 조우하여 소파되도록 설 계하였다.

따라서 축척비는 20이며, 부소파제의 형태는 Table 3.2.1_2과 같고, 각 재료의 비중 들은 콘크리트 무게:ton/m3, 아크릴비중:g/cm3 이다.





Fig.3.2.1_1 Breakwater is installed in order experiment in the basin

L길이	B폭.	D높이	d흘수
(m)	(m)	(m)	(m)
25	1	1.1	0.8

Table 2.2.1_1 Dimensions of basin

Ls	L길이 (m)	B폭 (m)	D1높이 (m)	d흘수 (m)	각모서리	무게중심	총중량 (kN)
	20	7	3.5	2.5	0.25	1.585	3460
Lm	L길이 (m)	B폭 (m)	D1높이 (m)	d흘수 (m)	각모서리	무게중심	총중량 (kN)
	1	0.35	0.175	0.125	0.0125	0.07925	0.4325

Table 3.2.1_2 Dimensions of floating breakwater at mooring Dolphin



3.2.2. 파의 상사

Table 3.2.2_1은 부소파제의 모형 실험을 위하여 발주처에서 의뢰한 실해역파이며, Table 3.2.2_2는 여러 제약조건에 따라 재현할 수 있는 주기에 대하여 검토한 후 그에 따라 수조에서 실험할 수 있는 파로 상사된 파를 나타낸 것이다.

파의 상사는 먼저, 구조물의 상사와 마찬가지로 의뢰된 파(Table 3.2.2_1)에 대하여 축 척비로 파장에 관하여 상사하고, 수조에서 재생 가능한 파들을 선정하여 수조시험을 수행하였다.

이때 주기는 Froude Number로 수식 (3.4)에서 (3.6)까지를 따라 상사하였다.





파고(m)	수심(m)	주기(sec)	파장(m)		파고(m)	수심(m)	주기(sec)	파장(m)
		3	14.05			0.8	0.7	0.76
		4	24.98				0.9	1.26
	16	5	39.03				1.1	1.87
		6	56.07				1.3	2.52
		7	75.47				1.6	3.40
		8	96.05				1.8	3.84
		9	116.82				2	4.16
		3	14.05				0.7	0.76
		4	24.68			0.9	1.25	
	10	5	36.59			1.1	1.76	
1		6	48.41		0.05	0.5	1.3	2.19
		7	59.82				1.6	2.62
		8	70.9				1.8	2.79
		9	81.73				2	2.90
		3	13.93			0.3	0.7	0.75
		4	23.13				0.9	1.14
	6	5	32.19				1.1	1.44
		6	40.87				1.3	1.62
		7	49.27				1.6	1.76
		8 🗸	57.5		3	1.8	1.80	
		9	65.61				2	1.83
	16	3	14.05			0.8	0.7	0.76
		4	24.98				0.9	1.26
		5	39.03				1.1	1.87
		6	56.07	2	5		1.3	2.52
		7	75.47		101		1.6	3.40
		8	96.05	0	: [L]		1.8	3.84
		9	116.82				2	4.16
	10	3	14.05			0.7	0.76	
		4	24.68			0.9	1.25	
		5	36.59			1.1	1.76	
2		6	48.41		0.1	0.5	1.3	2.19
		7	59.82				1.6	2.62
		8	70.9				1.8	2.79
		9	81.73				2	2.90
	6	3	13.93				0.7	0.75
		4	23.13				0.9	1.14
		5	32.19				1.1	1.44
		6	40.87				1.3	1.62
		7	49.27				1.6	1.76
		8	57.5				1.8	1.80
		9	65.61				2	1.83

Table 3.2.2_1 The waves for actual sea Table 2.2.2_2 The waves for similarity sea



3.3.1 부소파제의 단면제원

부소파제의 기본제원은 Fig.3.3.1_1에 나타낸 바와 같이 길이 20m, 폭 7m, 높이 3.5m, 흘수 2.5m이고, 구성 재질은 콘크리트로서 그에 따른 무게중심(CG) 위치는 단 면 특성상 좀 더 아래 측에 위치한다.



Fig.3.3.1_1 The section for breakwater (Total weight 3,460kN)

3.3.2. 부소파제의 계류방식

부소파제의 계류방식은 Fig.3.3.2_1에서 나타낸 바와 같이 돌핀계류로 고려될 것이다. 돌핀계류는 수평방향 병진운동은 고정시키고, 수직방향 운동을 고려한 계류방식이다.





Fig.3.3.2_1 The plan for breakwater(L) and the side plan for breakwater(R)

3.3.3. 부소파제의 실험모형

실험모형은 Table 3.2.1_2에서 언급한 부소파제의 기본제원을 바탕으로 실물의 <u>1</u> 축척하였으며, 실제 모델에서는 콘크리트 재질로 제작되었으나 실험의 조건을 고려하 여 실험모델은 아크릴로 제작하였다. Table 3.3.3_1는 콘크리트와 아크릴의 재질을 나 타내고 있다.

1945				
콘크리트무게	아크릴무게			
(ton/m ³)	(ton/m ³)			
2.3	1.19			
콘크리트단위중량	아크릴			
(kN/m^3)	(kN/m^3)			
23	11.9			

Table 3.3.3_1 The material for model (1m3=1000kg)

Fig.3.3.3_1는 축척비로 스케일을 줄인 부소파제의 실험모형제작도(박스형_돌핀계류) 이다. 윗판(Plate1)을 제외한 6개 판(Plate)은 모두 수밀되어 결합되고 윗판은 탈부착 이 가능하게 만들었으며, Plate6,7은 구조물의 앞·뒤판이다.



Fig.3.3.3_2은 Fig.3.3.3_1의 모형제작도를 바탕으로 아크릴로 제작된 부소파제의 실 험모형이며, Fig.3.2.1_1에서 보았듯이 부소파제의 실험모형이 실제로 수조에 실험을 위하여 설치된 모습이다. 무게중심을 실선과 상사되도록 하기위하여 각 부재들을 모멘 트원리를 적용하여 분포하였다.



Fig.3.3.3_1 The plan of production for breakwater model





Fig.3.3.3_2 The experiment model of floating breakwater at mooring Dophin

3.4 실험방법

본 연구에 사용된 조파수조는 길이 25m, 폭 1m, 높이 1.1m이며, 피스톤 형식의 조파 기와 비치형식의 소파장치를 이용하고 있다. 실험에 사용된 파의특성은 주기(T) 0.7~2.0(sec), 파고(H) 5cm~11.6cm, 최대파경사(maximum wave steepness) 1.44~23.53° 정도의 규칙파이다. Table 3.4_1, Table 3.4_2은 이번 연구에서 요구되 는 실선에 대한 실험 case에 대한 모형선-실선 상사를 통하여 결정된 모형실험 case 이다.

실험case는 수심에 따른 소파성능계측(수심 30cm, 50cm, 80cm)실험이 수행되었다. 또한 파고변화에 따른 소파성능 계측을 위하여 수심별로(30cm, 50cm, 80cm) 파고 5cm, 10cm에 대한 실험을 수행하고, Table 3.4_2에 나타낸 실험case 중 수심30cm일 때 파고 10cm에 대한 실험은 물리적 재현이 불가능한 범위로 실험에서 제외 되었다.

Fig. 3.4_1은 모형실험구조물의 수조 길이별 배치도를 Fig. 3.4_2은 조파수조와 실험 에 사용된 장비들과 보여주고 있다. 모델의 길이(L)는 100cm이고 폭(B)은 35cm, 흘



수(d)는 12.5cm, 높이(D)는 17.5cm, 파고계는 조파수조의 조파기로부터 순서대로 파고계1(WD1)~파고계4(WD4)까지 일정 간격으로 설치하였으며, 입사파 계측은 WD1, 반사파 계측은 WD2,3, 투과파 계측은 WD4로써 측정하였다.





단면	계류 방식	파고 (m)	수심 (m)	주기 (sec)	파장 (m)
				0.7	0.76
				0.9	1.26
			0.8	1.1	1.87
				1.3	2.52
				1.6	3.40
				1.8	3.84
				2	4.16
				0.7	0.76
				0.9	1.25
				1.1	1.76
박스형	돌핀	0.05	0.5	1.3	2.19
	10 MAR			1.6	2.62
			0.3	1.8	2.79
				2	2.90
				0.7	0.75
				0.9	1.14
				1.1	1.44
				1.3	1.62
				1.6	1.76
				1.8	1.80
			LI	2	1.83

Table 3.4_1 The Experimental Case for floating breakwater



단면	계류 방식	파고 (m)	수심 (m)	주기 (sec)	파장 (m)
				0.7	0.76
				0.9	1.26
				1.1	1.87
			0.8	1.3	2.52
				1.6	3.40
				1.8	3.84
				2	4.16
				0.7	0.76
				0.9	1.25
				1.1	1.76
박스형	돌핀	0.1	0.5	1.3	2.19
				1.6	2.62
		ARIT	FIL.	1.8	2.79
				2	2.90
	Knar			0.7	0.75
				0.9	1.14
				1.1	1.44
			0.3	X	1.62
		10/		1.6	1.76
			6	1.8	1.80
		₩ Q		2	1.83

Table 3.4_2 The Experimental Case for floating breakwater



Fig.3.4_1 The plan of model and equipments depend on length in basin





Fig.3.4_2 2 Equipments for measurement and making wave in 2-dimensional basin



Fig.3.4.2_3 The gragh of measured incident wave after making wave in 2-dimensional basin

Fig.3.4_3는 2차원 조파수조에서 만들어진 파를 파고계로 계측한 값을 나타내고 있다. 조파기(wave maker)로 만들어진 파가 가속구간과 과도구간을 거쳐 회색으로 색칠 된 준정상상태에 이른 이후의 안정화된 파를 입사파로 계측하였으며, 상당히 안정화된 정도 높은 파가 생성되는 것을 확인 할 수 있다.



lection

4. 실험결과 및 고찰

부유식방파제의 성능은 투과계수(CT : wave transmission coefficient), 반사계수(CR : wave reflection coefficient), 부유체에 작용하는 힘과 계류력, 부유체의 운동 등의 복합적인 요소들로 이루어진다.

이중 투과계수(CT)는 방파제의 성능을 나타내는 중요한 요소로 입사파의 파고(Hi)와 방파제의 후방의 투과파의 파고(Ht)의 비로 식(4.1)과 같다.

$$C_T = \frac{H_t}{H_i} \tag{4.1}$$

투과계수가 1이면 입사파가 모두 투과되어 방파효율이 0이라는 것을 의미하고, 투과 계수가 0이면 완전 방파된 것을 뜻한다. 일반적으로 부유식방파제의 경우 투과계수의 허용치를 0.5로 잡고 있으며[Tsinker(1995)], 이것은 입사파의 파고를 반으로 줄인 것 을 의미한다. 파의 투과율은 입사파의 주기의 함수이며 방파제의 형상과 계류 특성에 따라 변화한다.

본 실험결과에서 투과계수 및 운동특성을 주기와 파장비(Length of ratio, 입사파의 파장 / 구조물의 길이)에 대하여 분석하였고, 파장비에 의한 비교는 주기에 의한 비교 와 같은 내용이기에 그에 따른 부가설명 없이 그래프로 나타내었다.

4.1 모형실험을 통한 부소파제의 소파성능

4.1.1 수심변화에 따른 비교

d Collection

Fig.4.1.1_1은 돌핀계류시 박스형 모형의 수심변화에 따른 투과계수(Ct)를 나타내고 있다. 횡축은 파주기(T), 종축은 소파율(Ct)이며 종축은 1번파고계(WD1)에서 측정한 값인 입사파(Hi)에 대한 4번파고계(WD4)에서 측정한 투과파(Ht)의 평균파고 비(Ct)로 나타내었다.

일반적으로 알려진 바와 같이 파주기가 단주기, 즉 0.9초 이하(실선에서 4초에 해당)

- 25 -

에서는 소파율에서 양호한 결과를 보여주고 있으며, 장주기, 즉 1.3초 이상(실선에서 6 초에 해당)에서는 투과계수가 부소파제의 설계기준인 0.5이상으로 좋지 않게 나오는 것을 확인할 수 있다. 그리고 수심을 30cm, 50cm, 80cm로 변화시키면서 실험을 수행 하였다. 비교적 바닥의 영향이 적은 수심 50cm(실선에서 10m)이상 에서는 투과율이 거의 유사하지만, 수심30cm(실선 6m)로 낮아짐에 따라 상대적으로 소파효과는 우수한 것으로 나타나고 있다.



Fig.4.1.1_1 The graph of transmission coefficient due floating breakwater at mooring Dolphin to change in water depth

이는 낮은 수심(30cm)에서는 바닥효과에 의한 영향과 부소파제의 수직운동으로 인하 여 소파율에 영향을 주는 것으로 사료된다. 좀 더 상세한 검증은 유동을 따라 흐르는 입자를 레이저 등을 이용하여 가시화하고 이를 연속적으로 촬영하고 해석하여 유동장 의 속도분포를 파악하는 입자영상유속계(PIV : Particle Image Velocimetry)장치를 이 용한 실험을 추가 실행하여 실제 유동장에서의 바닥효과를 관측할 필요가 있어 보인 다.



4.1.2 파고변화에 따른 비교

Fig.4.1.2_1은 돌핀계류시 박스형 모형에 대하여 입사파의 파고 변화에 따른 투과계 수(Ct)를 타나내고 있다. 횡축은 파주기(T), 종축은 투과계수값(Ct)이며 종축은 1번파 고계(WD1)에서 측정한 값인 입사파(Hi)에 대한 4번파고계(WD4)에서 측정한 투과파 (Ht)의 평균파고 비(Ct)로 나타내었다.



Fig.4.1.2_1 The graph of transmission coefficient due floating breakwater at mooring Dolphin to change in water height (top picture at water depth50cm, under picture at water depth50cm)



파고는 5cm, 10cm(실선 1m, 2m)로 변화시켰으며, 이때 수심의 변화에 따른 소파율 의 영향도 조사하기 위하여, 수심을 50cm, 80cm(실선 10m, 16m)로 변화시키면서 실 험을 수행하였다.

비교적 수심이 깊은 경우, 즉 80cm(실선 16m)의 경우에는 단주기파에서 파고가 낮으 면 소파효율이 다소 좋아지지만 장주기 파가 되면서 파고와는 관계없이 유사한 소파율 을 가진다는 것을 알 수 있다. 그러나 바닥의 영향을 받는 수심 50cm(실선 10m)의 경 우에는 입사파의 파고가 높아짐에 따라 장주기영역에서 소파율이 다소 좋아진다는 것 을 알 수 있다. 이는 장주기파에서 바닥의 영향을 크게 받게 되고, 파고가 높게 됨에 따라 낮은 파고에 비하여 바닥의 영향으로 인한 반사율이 크게 된다는 것을 추정할 수 있다.





4.2 모형실험을 통한 부소파제의 운동특성

4.2.1 수심변화에 따른 비교

먼저 Fig.4.2.1_1은 돌핀계류시 박스형의 수심변화에 따른 운동특성을 나타내고 있다. 수심을 30cm, 50cm, 80cm(실선에서 6m, 10m, 16m)로 변화시켰을 때, 파고 5cm(실 선에서 1m)에 관하여 실험을 수행하였다. 횡축은 파주기(T), 종축은 파진폭에 대하여 Heave값을 무차원하여 나타내었다.



Fig.4.2.1_1 The graph of heave-motion characteristics due floating breakwater at mooring Dolphin to change in water depth

단주기일 때는 수심에 관계없이 Heave 운동이 거의 비슷하게 나타나고, 이 영역에서 는 소파효율도 유사한 값을 준다는 것을 앞에서 볼 수 있었다. 그러나 심수역에서 천 수역으로 옮겨 감에 따라 Heave의 공진점이 장주기로 옮겨가고, 수심 80cm(16m)에서 의 Heave의 고유주기는 약 1.1초(실선에서 5초)에 해당하는 것을 알 수 있다. 수심 30cm(6m)에 비해서 상대적으로 수심 깊어짐에 따라 Heave 운동이 증가하는 것을 알 수 있고, 수심30cm(실선 6m)와 같이 Heave 운동이 작은 만큼 소파효율은 상대적으로 크다는 것을 앞에서 보여 주었다.



4.2.2 파고변화에 따른 비교



Fig.4.2.2_1 The graph of heave-motion characteristics due floating breakwater at mooring Dolphin to change in water height (top picture at water depth50cm, under picture at water depth50cm)



먼저 Fig.4.2.2_1은 돌핀계류시 박스형의 파고변화에 따른 운동특성을 나타내고 있다. 수심 50cm, 80cm(실선에서 10m, 16m)에서 파고5cm, 10cm(실선에서 1m, 2m)로 변 화시키며 실험을 수행하였다. 횡축은 파주기(T), 종축은 파진폭에 대하여 Heave값을 무차원하여 나타내었다.

여기서는 수심에 관계없이 공진점 부근에서는 낮은 파고, 즉 5cm(실선 1m) 파고에서 무차원 Heave 변위는 상대적으로 큰 값을 가지고 장주기파가 되면서 파고와는 관계없 이 일정한 값으로 수렴한다는 것을 알 수 있다. 이는 파고가 높게 되면 상대적으로 비 선형 값은 크게 되고, Heave 응답 또한 상대적으로 크게 되어 무차원 Heave 값이 일 정한 값에 갖는 것으로 추정된다.





5. 결론

돌핀계류 부소파제의 모형실험을 통한 성능해석을 통하여 내릴 수 있는 결론은 크게 다음과 같다.

 돌핀계류 부소파제는 수심에 따른 소파성능 분석에서는 수심 50cm(실선에서 10m)이상 에서는 투과율이 거의 유사하지만, 수심 30cm(실선 6m)로 낮아짐에 따라 바닥효과의 영향으로 상대적으로 소파효과는 우수한 것으로 나타나고 있다.

2) 일반적으로 알려진 바와 같이 파주기가 단주기, 즉 0.9초 이하(실선에서 4초에 해당)에서는 소파율이 양호하며, 장주기, 즉 1.3초 이상(실선에서 6초에 해당)에서는 투과계수가 부소파제의 설계기준인 0.5이상으로 소파효율이 좋지 않다.

3) 비교적 수심이 깊은 경우, 즉 80cm(실선 16m)의 경우에는 단주기파에서 파고가 낮으면 소파효율이 좋아지지만, 장주기파가 되면 파고와는 관계없이 일정한 소파율을 가진다. 그러나 바닥의 영향을 받는 수심 50cm(실선 10m)의 경우에는 입사파의 파고 가 높아짐에 따라 장주기영역에서 소파율이 다소 좋아진다.

4) Heave 운동특성은 천수영역, 즉 수심 30cm(실선 6m에 해당)에서 상대적으로 작 아지고 공진점에서의 최대값도 줄어든다.

5) 파고가 높아지게 되면 무차원 응답은 줄어드는 경향이 있으나, 장주기에서는 일정 한 값을 수렴한다.



6. 향후 과제

부유식 방파제의 설계에서 가장 중요한 요소는 소파성능과 경제성이며, 고효율의 소 파성능을 위해서는 낮은 투과계수의 값을 가져야하고, 경제성이 있으려면 적정 규모의 구조물의 크기로 제작 되어야할 것이다. 이러한 두 가지 조건을 동시에 만족시키기 위 해서는 적은 치수의 구조물로 고효율의 소파성능을 가져야 가능하다.

일반적으로 부유식 방파제의 성능은 입사파의 주기에 큰 영향을 받으며, 주기가 짧은 파도에 대해서는 효율이 좋으나 긴 주기의 파에 대해서는 부유식 방파제의 설계를 잘 하지 못할 경우 대부분의 파를 투과시킬 수 있다. 따라서 적절한 설계를 위해서는 부 유식방파제가 설치되는 해역에서의 유의파고와 평균주기에 대한 정확한 파의 분석과 지형의 분석이 이루어 져야하며, 부유식소파제가 최적으로 소파하기를 바라는 파주기 와 파고에 대한 목표치가 필요하다.

또한 기본형인 박스형에서 향상된 소파율을 위한 하부흘수판형같은 구조물단면의 형 상변화, 또 다른 계류방법, 하부판의 형태와 두께, 길이에 따른 운동특성(Roll, Heave, Sway)에 대한 다각도의 평가가 이루어 져야한다. 특히 구조물의 안정성을 높이기 위해 서 Roll에 대한 면밀한 분석이 이루어 져야한다. 이러한 형상변화에 따른 운동특성을 분석하기 위해서는 구조물 주변에서의 세밀한 유동분석이 병행되어야하며, 이를 통한 적합한 형상의 선택이 필요하다 하겠다.

향후에 수심에 따른 구조물의 소파성능과 운동특성 파악을 위한 실험이 수행될 때에 는 저수심에서의 바닥효과를 무시할 수 없으므로, 정확한 파악을 위해서 구조물에 파 가 입사되었을 때 바닥과 구조물사이의 유체흐름의 유동구조 변화를 관찰이 추가로 이 루어 져야 할 것이다.



6. 참 고 문 헌

[1] 대한조선학회편, << 해양공학개론 >>, 동명사, 1996

[2] 손경호 저, << 해양파역학 >>,효성출판사, 2010.

[3] Grinyer, A.W., 「Fixed and floating breakwater for small craft habours: experience at Town Quay Southampton, Haslar Marina, Portsmoith and Parkstone Yacht Haven, Poole」, 3rd Int. Conf. Planning Design and Operation Marina III, 1995.

[4] Mani, J.S., 「Design of Y-frame floating breakwater」, J.Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, No.2, pp.105-119, 1991.

[5] Nekado, Yukiharu & Kokumai, Akihisa, ⁷A Study on Air Controlled Floating Breakwater J, J.KSNJ, 177, pp.1-9, 1980.

[6] Sugawara, Tadao & Yoshimura, Tadashi, Development of PC Hybrid Floating Breakwater, Mitsui Technical Review Tokyo, Mitsui Heavy 'industries, Ltd., n 124, Feb 1984.

[7] Tsinker, G.P. 「Marine Structure Engineering」, Specialized Applications, Chapman & Hall, NY, 1995

[8] 김도삼, 이광호, 최낙훈, 윤희면, 「선형식 부방파제의 파랑제어에 관한 연구」, 해 양공학회지, 제26권, 제1호, pp.1-9, 2004.

 [9] 박재현, 안용호, 김도영, 「상자형 부유식 방파제의 소파성능 개선을 위한 실험적 연구」, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.3, No.2, pp.41-48, May. 2000.



- [10] 송무석, 김도영, 김민, 조윤태, 엄호섭, 「2차원 부방파제 모듈의 소파특성 수치해 석」, Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK, Chungmu, pp.554-562, April, 2004.
- [11] 안용호, 류황진, 김도영, 「장주기파에 효율적인 부유식방파제 단면 형상에 대한 연구」, 한국해양공학회, 춘계학술대회 논문집, pp.133-138, 2000.
- [12] 정동호, 김현주, 김진하, 문덕수, 「부소파제의 부체 개발을 위한 기초적 실험 연 구」, 한국해양환경공학회지, Vol.9, No.3, pp.141-147, August. 2006.
- [13] 안경모, 천제호, 「장기 파랑측정자료를 이용한 평상파 산정 방법론」, 한국해안· 해양공학회지, 제 16권, 제3호, pp.178-189, 2004.
- [14] 정현, 오태원, 남궁성, 김상배, 조철희, 「해상 부유식 마리나의 초기 설계」, 한 국해양공학회, 추계학술대회 논문집, pp.108-113, 2004.
- [15] 신승호, 홍기용, 문재승, 「Freak Wave 특성 파악을 위한 파랑관측 자료의 분
 석」, 한국항해항만학회지, 제 31권, 제6호, pp.471-478, 2007.
- [16] 홍기용, 에스똘히오 메자, 「다방향 쇄파 발생 전후의 파랑 성분간 에너지 전이 및 소산」, 한국해양공학회지, 제 17권, 제6호, pp.1-6, 2003.

