



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

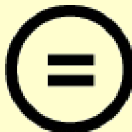
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

소파블록 내장케이슨의 수리특성



부경대학교 대학원

해양공학과

김 건 우

공 학 석 사 학 위 논 문

소파블록 내장케이슨의 수리특성

지도교수 류 청 로

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2009년 2월

부경대학교 대학원

해양공학과

김 건 우

김건우의 공학석사 학위논문을
인준함.



주 심 공학박사 김 헌 태 ㉮

위 원 공학박사 윤 길 수 ㉮

위 원 공학박사 류 청 로 ㉮

목 차

List of Figures.....	ii
List of Tables.....	iv
List of Symbols.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. 서 론	1
1.1 연구배경.....	1
1.2 연구사.....	4
1.3 연구목적.....	5
1.4 연구내용.....	5
2. 수리모형실험	7
2.1 단면 수리모형실험의 개요.....	7
2.2 상사법칙 및 차원해석.....	10
3. 구조물 Parameter의 수리특성	15
3.1 실험의 개요.....	15
3.2 투수성 실험.....	19
3.3 구조물 형상에 따른 수리특성.....	20
3.2.1 폭에 따른 반사특성.....	20
3.2.2 경사에 따른 반사특성.....	21
3.3 블록에 따른 수리특성.....	23
3.3.1 블록 종류에 따른 반사특성.....	23
3.3.2 블록 크기에 따른 반사특성.....	24
3.4 슬릿 형상에 따른 수리특성.....	27
4. 소파블록 내장케이슨의 수리특성	30
4.1 실험의 개요.....	30
4.2 케이슨 전면의 수위변화.....	34
4.3 소파블록 내장케이슨의 내부수위.....	39
4.4 소파블록 내장케이슨의 반사특성.....	50
4.5 Slit 케이슨과의 반사특성 비교.....	54
5. 결론	55
참고문헌.....	57
부록.....	58

List of Figures

- Fig. 1.1 Caisson with dissipation block(left) and slit caisson(right).
- Fig. 1.2 Dissipation block caisson.
- Fig. 1.3 Flow chart of study.
- Fig. 2.1 Wave flume.
- Fig. 2.2 Irregular wave generating system.
- Fig. 2.3 Photo of wave generator and wave probes.
- Fig. 3.1 Photo of wire net.
- Fig. 3.2 Effect of H/B on K_r for different wave steepness(Block = TTP 72 g).
- Fig. 3.3 Effect of H/L on K_r for different slope type(Irregular wave).
- Fig. 3.4 Effect of H/L on K_r for different slope type(Irregular wave).
- Fig. 3.5 Effect of H/L on K_r for different block type($B/h = 0.67$, regular wave).
- Fig. 3.6 Effect of H/L on K_r for different block size($B/h = 0.44$).
- Fig. 3.7 Effect of H/L on K_r for different block size(Vertical type, $B/h = 0.89$).
- Fig. 3.8 Effect of H/L on K_r for different block size(Slope type, 1 : 1.5).
- Fig. 3.9 Effect of h/L on K_r for different slit condition.
- Fig. 4.1 Protection spring of water level gauge.
- Fig. 4.2 Photo of internal water level gauge.
- Fig. 4.3 Photo of internal water level gauge(front side).
- Fig. 4.4 Time series of structure front water level (a)(b)(c)(d).
- Fig. 4.5 Time series of internal water level (a)(b)(c)(d).
- Fig. 4.6 Wave spectrum of internal wave level (a)(b)(c)(d).

Fig. 4.7 Effect of h/L on internal relative wave height for difference structure condition.

Fig. 4.8 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 0.44$.

Fig. 4.9 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 0.67$.

Fig. 4.10 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 0.89$.

Fig. 4.11 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 1.1$.

Fig. 4.12 Comparison of slit caisson and dissipation block caisson.



List of Tables

Table 2.1 Specification of the instruments

Table 3.1 Experimental wave

Table 3.2 Structure condition

Table 3.3 Measured flux and water permeability rate

Table 4.1 Experimental wave

Table 4.2 Structure condition

List of Symbols



H	: Wave height
L	: Wave length
T	: Wave period
B	: Structure width
β	: Structure slope
D	: Percent damage to armor layer
n	: Porosity
g	: Gravitational acceleration
h	: Water depth
e	: Void ratio
d_{50}	: Diameter of the sand at bottom
μ	: Dynamic viscosity of water in vicinity of breakwater
ξ	: Surf similarity parameter
η_i	: Internal water depth
K_r	: Wave reflection coefficient
T_w	: Wave transmission coefficient
P_r	: Water permeable rate

Hydraulic Characteristics of Slit Caisson with Dissipation Block

Gun-Woo Kim

*Department of Ocean engineering, Graduate School
Pukyong National University*

ABSTRACT

Breakwater is a coastal structure for protection of the coast. And this structure is one of ancient structures. So it many was performed to related study.

Breakwater is designed the caisson with dissipation block and the slit caisson in the Republic of Korea. The caisson with dissipation block has advantage that is good wave dissipation effect but caisson with dissipation block needs many establishment expenses because this structure needs foundation improvement. So this structure has problems that are not design at deep sea. Slit caisson usually builds at deep sea but this structure is weak in strong wave, the wave period is longer, structure get out of control wave reflection. Dissipation block caisson is designed to make up for the weak points of caisson with dissipation block and slit caisson. Dissipation block caisson is used easily at deep sea because this structure has the dissipation block in caisson. And this structure has stability. And this structure control effectively wave reflection because it have wave dissipation effect to dissipation block. Dissipation block caisson can recycle already used dissipation block.

Therefore, we conducted hydraulic experiment to investigate hydraulic characteristics of structure. In this experiment, important hydraulic characteristics are wave coefficient K_r and internal water depth η_i .

First, experiment is conducted to structure parameter(structure width and slope, block size and type and slit condition). And then we conduct to consummation structure.



1. 서 론

1.1 연구배경

방파제는 파랑, 고조, 쓰나미, 해일 등 해양외력이 항내로 침입하는 것을 방지하거나 최소화하는 것을 목적으로 설치되는 연안구조물이다. 방파제는 또한 선박의 안정한 정박과 선박의 승객과 화물을 안전하게 이송을 위하여 요구되는 항내정온도의 유지를 위해 설치되어진다. 방파제는 해안역의 개발과 이용에 있어 해안재해방지와 항내정온도 유지를 위한 여러 구조물 형태 중 가장 중요한 구조물이라 할 수 있다.

방파제는 일반적으로 경사식 방파제와 직립식 방파제로 분류 되어 지며 최근에는 기타 여러 가지 형태의 방파제가 해안에 설치되어 지고 있다. 경사식 방파제의 경우 방파제에 내습하는 파랑을 전면 경사에서 감쇠시켜 파랑에너지를 소산시키므로 반사 파랑을 줄일 수 있다. 직립식 방파제는 입사 파랑의 대부분이 소산되지 않고 반사되므로 반사 파랑이 크게 나타난다. 그리고 경사식 방파제와 직립식 방파제를 혼합한 형태의 혼성방파제는 수위가 낮을 때는 경사식 방파제의 효과를 가지며 수위가 높을 때는 직립식 방파제의 기능을 한다.

우리나라에서 주로 설치되어지는 일반적인 방파제의 형태는 중력식 방파제중 경사식 방파제 형태인 사석 방파제, 소파블록 피복 방파제가 있으며 최근에는 혼성제 역시 일부 해안에서 건설되어지고 있다.

사석 경사제와 소파블록 피복 방파제의 경우 우 방파제 전면의 경사로 인하여 파랑 에너지 감쇠에 뛰어난 효과를 가지고 있으며 이는 많은 연구를 통하여 검증 되어졌다. 하지만 이들 방파제는 경사를 가지고 있기 때문에 수심이 깊은 지역에서 설치 시에는 방파제가 불필요하게 커져야 되는 단점을 가지며 그로 인한 지반 개량비용의 증가로 인하여 방파제의 설계비용이 늘어나는 단점을 가지고 있다.

경사식 방파제, 직립식 방파제, 혼성 방파제 이외에도 여러 가지 형태의 방파제가 있으며, 특수한 형태의 방파제 중 하나인 유공케이슨 방파

제는 직립의 형태를 가지고 있어 깊은 수심에 유용하게 설치 될 수 있는 방파제이다. 유공케이슨 방파제는 일반적인 직립식 방파제와 달리 전면부에 유공이 존재하며 내부가 빈 공간으로 이루어져 있어 파랑이 드나들 수 있도록 되어 있는 구조이다. 유공 방파제는 1961년 캐나다의 Jarlan이 음파의 반사이론을 방파제 설계에 적용하여 개발하였으며, 그 후 현재까지 유공방파제에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 유공 방파제의 장점은 직립형태의 단면을 가지고 있으면서 유공에 의한 반사율 저감효과로 방파제 전면의 파고가 직립식에 비하여 작다는 것이다. 이것은 유공방파제의 유공부를 통과하면서 수두손실이 발생하고, 유수실 내에서도 추가로 에너지가 감쇠되어 반사율이 저감되기 때문이다. 최근에는 유공 방파제 중 유공이 Slit형태로 되어 있는 유공 Slit 케이슨이 많이 설치되고 있다. 유공 Slit 케이슨은 대수심에서 유용하게 설치될 수 있는 방파제로서 파랑 반사율의 값은 일반적인 직립제의 0.7에서 0.9의 범위보다 낮은 0.4에서 0.8의 범위를 가진다. 유공 Slit 케이슨은 평상 파랑에서는 낮은 파랑 반사를 나타내지만 장주기의 파랑에서는 파랑 반사의 저감 효과를 거의 가지지 못하는 것으로 알려져 있다. 그리고 유공 Slit 케이슨의 경우 고파랑이 내습 할 시에는 가벼운 중량으로 인하여 안정성의 문제를 가지고 있다.

본 논문에서 소개되어지는 소파블록내장 케이슨(Fig. 1.2)은 유공 Slit 케이슨의 단점들을 보완하기 위하여 설계 되었다. 소파블록내장 케이슨은 유공 Slit 케이슨을 응용한 방파제로서 블록을 유공 Slit 케이슨의 내부에 저장한 형태의 방파제이다. 이 방파제는 직립 형태의 방파제로서 내부에 소파블록을 가지고 있기 때문에 장주기의 파랑이 입사하는 경우에도 유공케이슨 보다 더 큰 반사율 저감을 나타낼 것이라 생각된다. 그리고 이 구조물은 또한 블록의 중량으로 인해 유공 케이슨의 안정성 문제 역시 해결할 수 있을 것이라 생각되어진다.

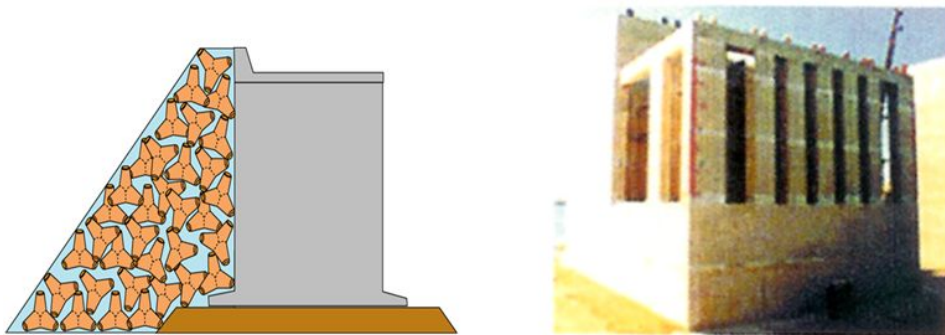


Fig. 1.1 Caisson with dissipation block(left) and slit caisson(right).



Fig. 1.2 Dissipation block caisson.

1.2 연구사

1961년 캐나다의 Jarlan이 케이슨 방파제의 전면벽을 유공형태로 구성한 새로운 형식의 방파제를 고안하여 직립식 방파제에 비해 반사율과 방파제 전면에서의 파고가 감소됨을 수리모형실험을 통해 밝힌 이후, 여러 연구자들에 의해 다양한 형태의 유공케이슨 방파제가 제안되었다. Bovin(1964)은 유공방파제 전면의 파고를 측정하여 유공방파제의 효용성을 확인하였다. 그리고 유공율, 유수실 폭의 형태를 달리한 다양한 경우에 대한 비교실험을 통해 원형, 수평홈, 연직홈 등과 같은 유공부의 형태보다는 유공율과 유수실 폭이 반사율을 감소시키는데 더 중요한 요인이 됨을 밝혔다. 그리고 Marks(1966)는 모형실험으로 유공벽식 방파제는 유수실 폭에 비해서 파장이 긴 경우보다 짧은 경우에 더 효과적이라는 것을 밝혔다. 井田과 久保(1975)는 Slit형 유공벽에 대해 일련의 실험을 시행한 결과, 동일 유공율로서 Slit폭이 다를 경우 폭이 큰 쪽이 전달파고가 크고 반사율이 적으며, 파형경사(H/L)가 증가할수록 전달파고가 감소하고 반사율이 증가함을 밝혔다. 小川과 時川(1976)은 반사율과 통과율은 유공율의 변화에 의해 차이가 크게 나타나며, 유공부의 크기와는 관계가 없고 유공율의 영향이 절대적이라는 것을 연구하였다. 특히 유공율이 50% 이상인 경우에는 에너지 손실을 기대하기 어려우므로 공학적으로 가치가 없음을 보고하였다. 또한 14개의 개량형 소파 방파제에 대한 실험을 시행한 결과, 상부 상판의 구조는 양압력의 발생방지와 후벽에서의 작용파압 경감 및 반사파의 저감을 위해 개방구조로하는 것이 유리함을 밝혔다. 山口 등(1979)은 종 Slit식 유공케이슨 방파제에 있어서 전면 유공부의 마루높이, 하단고, 유공율, 유수부 상판 개방 등의 요소에 변화를 주어 월파량과 반사율을 측정하였다.

宇多 등(1987)은 소파효과에 영향을 미치는 요소에 따라 8종류의 투과성 소파구조물로 분류하였으며, 파랑조건, 구조물 형상치수와 소파효과의 상호관계를 정립하였다.

1.3 연구목적

본 연구는 수리 모형실험을 이용하여 소파블록 내장 케이슨 구조물의 parameter(구조물 폭, 구조물 경사, 블록 크기 및 종류, Slit 특성)의 특성의 수리학적 영향을 분석한 후 분석 결과에 기초하여 최종적으로 완성된 소파블록 내장 케이슨의 수리학적 특성을 조사하여 해안에서의 적용성에 대하여 검토하고자 하였다.

1.4 연구내용

본 연구의 목적을 위하여 단면 수리 모형실험을 이용하였으며 모든 실험은 무월파 조건에서 수행되었다. Postma(1989)는 반사율은 파고의 영향보다 주기의 영향이 크게 작용된다는 것을 조사하였다. 그래서 본 연구에서는 파고의 영향보다는 주기의 영향을 중점적으로 실험을 수행하였다.

먼저 구조물 폭, 구조물 경사, 블록 크기, 블록 종류, Slit 특성에 따른 실험을 진행하였다. 실험은 동일한 수심의 조건에서 수행 되었고 각각 다른 파고와 주기를 조파하여 가장 뛰어난 효과를 가지는 조건들을 파악 하였다. 실험을 통하여 각 조건들의 파랑 반사 특성을 조사하였고 비디오 모니터링을 이용하여 내부 수위를 측정하였다.

그리고 완성된 소파블록 내장 케이슨을 제작하여 각각의 조건에 대하여 반사율 및 내부수위를 측정하였다

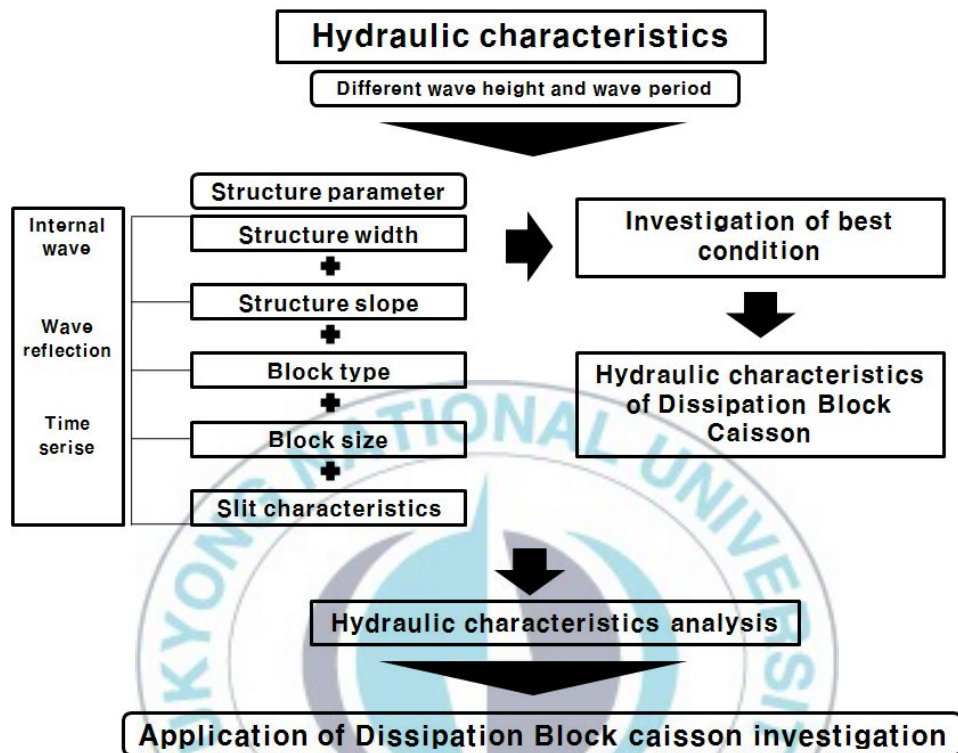


Fig. 1.3 Flow chart of study.

2. 수리모형실험 방법

2.1 단면 수리모형의 개요

본 실험은 부경대학교 해양수리실험소 2차원 수조에서 수행되었으며 Fig. 8에서 보는 바와 같이 수조의 제원은 길이 36 m, 폭 1 m, 높이 1 m이며, 한 쪽 면에 전기서보모터를 이용한 피스톤식 조파기 시스템이 설치되어 있으며, 최대수심 0.7 m, 최대파고 0.3 m, 주기 0.3 sec ~ 3.0 sec 의 파랑을 재현할 수 있으며, 일방향 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 실험에 사용된 수조는 ABS Servo motor에 의해 가동되는 피스톤형 조파기로 기존의 조파시스템과는 달리 조파기의 제어기 스스로가 초기 조파판의 위치를 기억하여 조파판의 초기위치 설정시의 오류를 최소화 하였다.

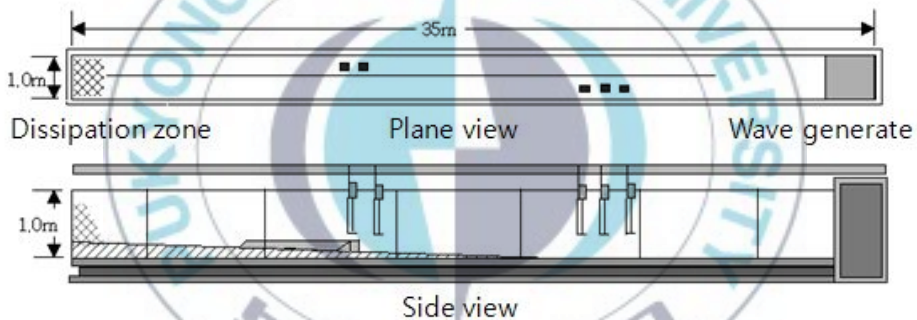


Fig. 2.1 Wave flume.

Table 2.1 Specification of the instruments.

Instrument	Specification	
Wave probe	Model name	CH-401A (KENEK)
	Measuring range (mm)	500
	Measuring error	0.5% full scale
2D-wave generating system	Dimension (m)	1.0×1.0×35
	Makable waves	Regular wave, Irregular wave
	Generating range (Irregular wave)	$H_{1/3} = 25 \text{ cm}$ $T_{1/3} = 0.7 \sim 3.5 \text{ sec}$

조파기의 배후와 끝단에는 금속 용수철을 이용한 경사형 소파제가 설치되어 반사파에 의한 파랑장의 교란을 최소화하도록 되어있다.

불규칙 파랑의 조파는 구조물을 설치하지 않은 경우에 가장 양호한 재현 조파영역을 파악하여 유효영역을 결정하였으며, 이 영역에서 구조물을 설치하지 않은 조건에 대해서 입사파랑을 재현하였다. 이때의 조파된 입사파랑의 변수를 확인하여 구조물 설치 후에 적용하였으며 이러한 파랑의 재현 및 검증을 위해서 Goda의 삼점법을 이용한 입사파랑과 반사파랑을 분리하여 확인하였다. 본 실험에 사용된 관측 기기들은 다음과 같다. 파고계는 KENEK사의 용량식 파고계를 사용하였으며, 수조는 불규칙 파랑이 조파 가능한 2차원 불규칙파랑 조파수조이다.

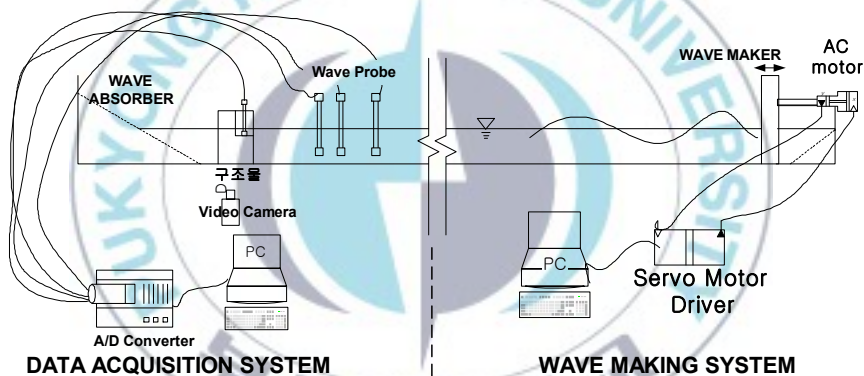
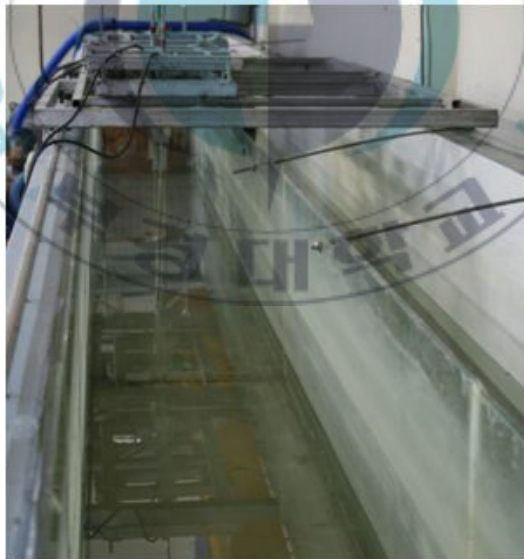


Fig. 2.2 Irregular wave generating system.



a)



b)

Fig. 2.3 Photo of wave generator and wave probes.

2.2 상사법칙 및 차원해석

(가) 모형이론

본 실험과 같이 원형의 특성을 사전에 파악하고 가장 우수하고 경제적인 원형의 구조와 크기를 결정하고자 할 때 원형을 축소시켜 만든 축소 모형 통한 현상의 예측방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 올바른 모형실험과 실험자료의 해석을 위해서는 해당 모형을 지배하는 수리학적 이론에 대한 깊은 이해가 전제되어야 한다.

원형과 모형에서의 역학적인 관계는 수리학적 상사성이 보장되어야 하며 이를 수리학적 상사법칙이라 한다. 따라서 수리모형실험은 이를 근거로 하여 실행되고 분석되어야만 올바른 의미를 가지게 된다. 물론 모형과 원형의 크기 차, 즉 축척의 영향으로 인해 모형과 원형간의 완전한 상사를 유지한다는 것은 불가능하나, 모형을 가능한 한 크게 만듦으로써 축척의 영향은 어느 정도 극복할 수 있으며, 또한 흐름을 지배하는 힘의 요소에 따라 특정한 상사법칙으로 실험결과를 분석함으로써 원형에서의 흐름의 거동을 더욱 정도 높게 예측할 수 있는 것이다.

수리학적 상사는 원형과 모형간의 기하학적 상사, 운동학적 상사 및 동역학적 상사가 모두 만족될 때에 비로소 달성된다. 완전한 기하학적 상사를 위해서는 길이와 면적 및 체적뿐만 아니라, 원형과 모형의 표면 조도도 상사성을 가져야 한다. 동역학적 상사를 이루기 위해서는 필연적으로 기하학적 상사와 운동학적 상사가 이루어져야 한다. 결국 수리학적 상사란 원형과 모형의 수리현상에서 대응점에 작용하는 모든 힘 성분의 크기비와 방향이 같을 때 성립된다.

일반적인 유체의 흐름문제에 포함되는 힘의 성분은 유체의 기본질량으로 인한 관성력, 압력, 중력, 점성력, 표면장력 및 탄성력 등이며 이들 힘의 크기 비가 원형과 모형에서 전부 동일하면 동역학적 상사가 성립된다. 모형과 원형에서 흐름의 완전한 상사를 얻는다는 것은 실질적으로는 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 실제의 수리현상에서는 하나 혹은 몇 개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이며 흐름을 주로 지배하는 힘 하나만을 고려해도 충분한 것이 보통이다. 이와 같은 전제조건 때문에 실제적인 수리현상에 대한 모형실험을 통한 해석이 가능한 것이며, 현상을 지배하는 힘이

무엇인가를 정확하게 판단하여 그 힘에 대한 상사법칙을 해당실험의 모형제작 및 자료분석의 기준으로 선정하게 되는 것이다. 수리 현상을 주로 지배하는 힘이 점성력이면 Reynolds 모형법칙, 중력이면 Froude 모형법칙, 표면장력이면 Weber 모형법칙, 그리고 탄성력이면 Cauchy 모형법칙을 따르게 되며, 수리현상에 따라서는 1개 이상의 지배력을 고려해야 할 경우도 있다.

본 실험에서는 물의 점성과 표면장력의 역할은 크지않고, 관성과 중력이 지배적인 요소로 작용한다. 이 경우에 대한 상사법칙은 Froude 상사법칙이며 이것은 시간과 속도의 축척이 길이 축척의 평방근과 같아야 한다는 것을 의미한다.

Froude 법칙에서는 다음 식이 성립한다.

$$F_{rp} = F_{rm} \quad (1)$$

여기서 F_r 은 Froude수로서, $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ 로 주어진다. 여기서 V 는 유속, g 는 중력가속도, 그리고 L 은 거리의 차원이다. 따라서

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} \quad (2)$$

이므로 다음식이 성립한다.

$$V_r = \frac{V_p}{V_m} = L_r^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

모형의 축척을 결정할 때에는 우선 과업의 목적을 충실히 달성 할 수 있도록 모형을 충분히 크게 만들어야 하며, 실험실의 제반 조건(펌프 용량, 실험수조의 크기 등)을 고려하여 적정한 모형의 크기를 결정하게 된다. 본 실험에서는 이러한 조건들을 고려하여 수평축척과 연직축척 모두 각 구조물의 크기에 최대한의 축척을 적용하여 모형의 축척을 결하였다.

나. 차원해석

수리실험에 있어서 차원해석은 실험에서 논의하고자 하는 물리량들의 상호관계를 무차원화 하여 비교하고, 변수간의 상호관계를 예측하기 위해 사용된다. 현상 및 환경에 대한 물리적인 관계는 물리량들의 차

원해석을 통한 상사법칙을 만족하는 검증이 필수적이다. 먼저 상사법칙에는 관성력 항이 지배적일 때 사용하는 Froude 상사법칙, 점성항을 고려하는 Reynolds 상사법칙, 표면장력이 클 경우에 사용하는 Weber 상사법칙, 그리고 압축성유체의 경우에는 Cauchy의 상사법칙 등을 사용한다. 본 연구에서는 점성항의 영향보다 관성항의 영향이 지배적인 중력식 방파제에 대한 수리실험에 적용되는 Froude 상사법칙을 적용하고, 버킹엄 π 정리에 따라 차원해석을 하고자 한다. 차원해석을 위한 본 연구에서의 물리량들은 다음과 같이 고려하였다.

$$f [H_{1/3}, L_{1/3}, T_{1/3}, f_p, \beta, \Delta_T, \xi, B, h_s, h_c, l_s, \Theta, T, V_{\max}, g, \rho_w, \mu, e, D, d_{50}, Q_{\max}, Q_{mean}, q, \beta_B] = 0 \quad (4)$$

입사파랑 조건에 대한 변수

$H_{1/3}$: 파고(wave height)

$L_{1/3}$: 파장(wave length)

$T_{1/3}$: 주기(period)

f_p : 피크 주파수(peak frequency)

구조물의 기하학적 특성에 관한 변수

β : 사면경사(seaside slope angle measured from the horizontal)

W_t : 피복 Tetrapod의 중량(weight of tetrapod)

B : 구조물의 폭(width of core unit)

Δ_T : Tetrapod의 형상계수(sharpe of tetrapod)

ξ : 쇄파지수(surf similarity parameters)

수리현상에 대한 변수

K_r : 반사율(Wave reflection coefficient)

T_w : 전달파고(Wave transmission coefficient)

η_i : 내부수위(Internal water depth)

기타 물리적 성질 및 외력환경을 표현하는 변수

ρ_w : 물의 밀도(density of seawater)

g : 중력가속도(gravitational acceleration)

e : 공극률(%) (void ratio)

β_B : 해저면 경사(bottom slope seaward of the structure)

위의 변수들을 버킹엄 π 정리를 사용하여 차원해석을 하면 다음과 같다. 여기서 반복변수는 일반적으로 수리학에서 사용되는 반복변수인 입사파랑의 특성을 나타내는 파고(H)와 저면 수렴자 속도(V), 밀도(ρ)를 사용하였고, 종속변수의 지수는 1을 사용하였다.

$$f \left[\frac{L_{1/3}}{H}, \frac{T_{1/3} V^2}{H}, \frac{f_p h}{V^2}, \beta, \Delta, \xi, \frac{B}{H}, \frac{h_s}{H}, \frac{h_c}{H}, \frac{l_s}{H}, \Theta, \frac{V^2 T}{H}, \right. \\ \left. V_{\max}, g, \rho_w, \mu, e, D, \frac{d_{50}}{H}, Q_{\max}, Q_{mean}, \frac{q}{H^3}, \beta_B \right] = 0 \quad (5)$$

각 무차원량들은 관성력이 지배적이므로 Froude 상사법칙을 만족한다.

$$\left[\frac{B}{H} \right]_M = \left[\frac{B}{H} \right]_P$$

$$\left[\frac{L}{H} \right]_M = \left[\frac{L}{H} \right]_P$$

$$\left[\frac{h_s}{H} \right]_M = \left[\frac{h_s}{H} \right]_P$$

$$\left[\frac{h}{H} \right]_M = \left[\frac{h}{H} \right]_P$$

$$\left[\frac{l_T}{H} \right]_M = \left[\frac{l_T}{H} \right]_P$$

$$[\beta]_M = [\beta]_P$$

$$\left[\frac{W_T}{H^3 \rho} \right]_M = \left[\frac{W_T}{H^3 \rho} \right]_P$$

$$\left[\frac{W_c}{H^3 \rho} \right]_M = \left[\frac{W_c}{H^3 \rho} \right]_P$$

$$\left[\frac{V_{\max} T}{H} \right]_M = \left[\frac{V_{\max} T}{H} \right]_P \quad (6)$$

$$[\frac{Hg}{V_{\max}^2}]_M = [\frac{Hg}{V_{\max}^2}]_P$$

$$[\frac{\mu}{HV_{\max}\rho}]_M = [\frac{\mu}{HV_{\max}\rho}]_P$$

$$[e]_M = [e]_P$$

$$[D]_M = [D]_P$$

$$[d_{50}]_M = [d_{50}]_P$$

$$[Q]_M = [Q]_P$$

$$[\frac{h_c}{H_0}]_M = [\frac{h_c}{H_0}]_P$$

$$[Q_{\max}]_M = [Q_{\max}]_P$$

$$[Q_{mean}]_M = [Q_{mean}]_P$$

$$[\frac{R}{H_{1/3}}]_M = [\frac{R}{H_{1/3}}]_P$$

본 연구의 주된 목적은 각각의 다른 파고와 주기에 대한 구조물 전면에서의 반사율 및 전달파고 그리고 내부수위의 측정이다. 이에 따른 주요 무차원수는 다음과 같다.

$$K_r, T_w, \frac{H}{L}, \frac{H}{B}, \frac{d_{50}}{H}, \frac{h}{L}, \frac{B}{h} \quad (7)$$

위의 무차원수를 이용하여 구조물 전면에서의 파랑 반사특성을 다음과 같이 나타내고자 한다.

$$K_r = \phi(\frac{H}{L}, \frac{B}{H}, \frac{d_{50}}{H}, \beta, \frac{L}{h}, \frac{B}{h}) \quad (8)$$

3. 구조물 parameter의 수리특성

3.1 실험의 개요

실험은 구조물의 폭 및 경사, 블록의 종류 및 크기 그리고 Slit의 형상에 대한 실험으로 구분되어 진다.

실험에 사용된 파랑은 규칙파와 불규칙파를 사용하였다. 규칙파의 경우 H 의 범위는 7.7 ~ 8.7 cm이며 T 의 범위는 1.1 ~ 1.7 sec로 두었다. 실험에 사용된 불규칙파의 $H_{1/3}$ 의 범위는 3.87 ~ 10.15 cm 이며 $T_{1/3}$ 은 0.9 ~ 1.7 sec로 실험을 진행하였다.

실험에서 사용된 파고와 주기는 규칙파 실험에서는 평균파고 평균주기이며 불규칙파 실험에서는 유의파고와 유의 주기를 사용하였다. 모든 실험은 무월파 조건에서 진행 되었으며 반사율 산정은 3점법에 의한 입반사 분리법을 이용하였다.

구조물의 폭에 대한 실험의 경우 구조물의 직립형상이 유지되면서 최대한 블록에 대한 효과만을 고려하기 위하여 얇은 철망을 이용하였다. 철망은 넓이 0.5 m, 높이 0.7 m로 구성 되어 있으며 구조물의 수리특성에 영향을 미치는 인자인 폭의 경우 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m 의 3가지 종류가 제작 되었다.

경사 조건에 대한 실험은 폭 0.4 m의 직립 구조물과 경사가 1 : 1.5 인 경사 구조물을 비교하였고 2가지 구조물의 부피는 동일하게 제작 되었다. 실험은 규칙파와 불규칙파에 대하여 수행하였다.

블록의 형상에 대한 실험에서 사용된 블록은 TTP, Sealock, Riprap 3종류를 사용하였고 3가지 블록을 폭 0.3 m의 철망에 넣어 실험을 진행하였다. 각 블록의 공극률은 TTP : 0.5, Sealock : 0.5, Riprap : 0.44 이며 중량은 TTP : 72 g, Sealock : 75 g, Riprap : 0.65 g 이며 블록의 크기는 3종류 모두 동일하였다. 실험의 파랑은 규칙 파랑을 사용하였다.

블록의 크기를 위한 실험에서 사용된 블록은 TTP를 사용하였고 투

수 비(P_r)는 각 0.844(72 g), 0.978(265 g), 0.1(380 g)이었다. 3가지 크기의 블록을 0.2 m의 폭에 넣어 블록 크기에 대한 수리특성을 비교하였고 0.4 m의 직립 구조물과 경사 구조물에 대한 실험은 72 g, 380 g의 2가지 블록의 경우에 대하여 수행 하였다. 블록 크기에 대한 실험은 불규칙 파랑을 사용하여 수행 되었다.

Slit은 4가지 종류를 사용하였고 4가지 Slit 모두 종방향 슬릿으로 제작 되었다. Slit 실험은 Slit 전면의 반사 파랑을 계측하여 Slit의 전달과 반사되는 파랑을 나타내었다. Slit형상의 실험은 불규칙파에 대하여 실험을 수행하였다.

2.2절의 차원해석 부분에서 언급된 무차원수 이외의 실험에 사용되어진 변수 폭(B)과 블록의 공칭직경(d_{50})을 수심(h)을 이용하여 무차원화 하였다.

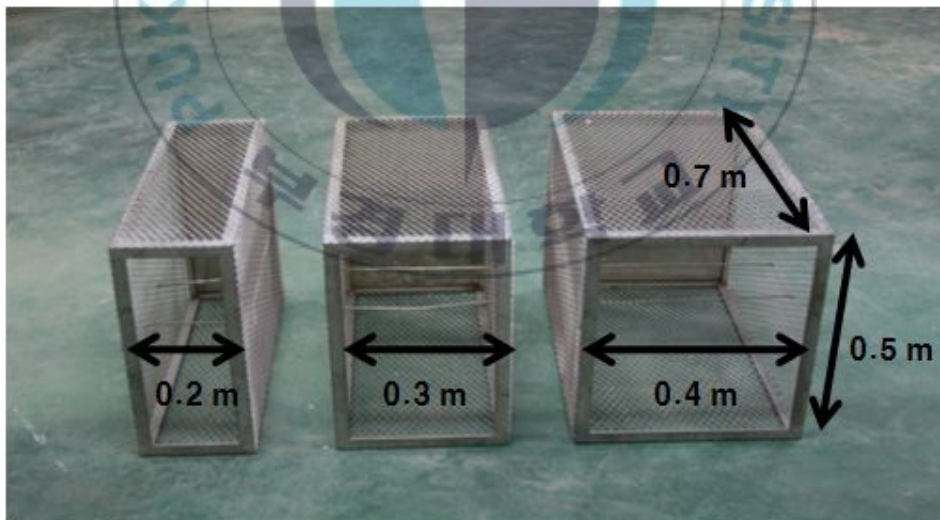


Fig. 3.1 Photo of wire net.

Table 3.1 Experimental wave

$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	Breaking	Irregularity
4.45	0.9	×	Regular
5.89	0.9	×	Regular
7.42	0.9	×	Regular
9.01	0.9	×	Regular
4.64	1.1	×	Regular
6.00	1.1	×	Regular
7.70	1.1	×	Regular
9.34	1.1	×	Regular
5.01	1.3	×	Regular
6.39	1.3	×	Regular
8.10	1.3	×	Regular
9.54	1.3	×	Regular
5.18	1.5	×	Regular
6.60	1.5	×	Regular
8.28	1.5	×	Regular
10.16	1.5	×	Regular
5.40	1.7	×	Regular
6.85	1.7	×	Regular
8.92	1.7	×	Regular
10.83	1.7	×	Regular
3.40	0.9	×	Irregular
4.54	0.9	×	Irregular
6.25	0.9	×	Irregular
6.81	0.9	×	Irregular
3.83	1.1	×	Irregular
5.40	1.1	×	Irregular
6.62	1.1	×	Irregular
8.00	1.1	×	Irregular
4.16	1.3	×	Irregular
5.44	1.3	×	Irregular
6.96	1.3	×	Irregular
8.05	1.3	×	Irregular
4.26	1.5	×	Irregular
5.71	1.5	×	Irregular
7.44	1.5	×	Irregular
9.03	1.5	×	Irregular
4.58	1.7	×	Irregular
6.17	1.7	×	Irregular
7.85	1.7	×	Irregular
9.98	1.7	×	Irregular

Table 3.2 Structure condition

Structure width	Block	Slope type	Irregularity
0.2 m	TTP 72 g	Vertical	Irregular
	TTP 265 g	Vertical	Irregular
	TTP 380 g	Vertical	Irregular
0.3 m	Riprap 65 g	Vertical	Regular
	Sealock 75 g	Vertical	Regular
	TTP 72 g	Vertical	Regular
0.4 m	TTP 72 g	Vertical	Irregular
	TTP 380 g	Vertical	Irregular
-	TTP 72 g	Slope	Irregular
-	TTP 380 g	Slope	Irregular



3.2 투수성 실험

일반적으로 같은 종류의 블록은 같은 공극률을 가지고 있다. 하지만 블록의 크기가 작아질수록 블록의 접수 면적이 증가하게 되고 면적의 증가에 의한 마찰력 또한 증가하게 된다. 블록의 크기에 따른 마찰력의 변화는 블록의 투수성에도 영향을 미치게 된다. 그러므로 본 연구에서는 실험을 진행하기에 앞서 실험에서 사용되는 블록의 투수성을 투수 비를 이용하여 알아보려고 하였다.

실험에서 사용된 블록의 투수성을 파악하기 위하여 투수성 실험을 수행하였다. 실험에서 사용된 블록은 사석 65 g, Sealock 75 g, 그리고 TTP 72 g, 265 g, 380 g이다.

실험은 투수계수 실험 장치(부록)를 설치하여 펌프의 수압을 일정하게 한 후 10초 동안의 역류하여 넘치는 물의 양을 측정하였다 그리고 측정된 유량을 비를 이용하여 각 블록의 투수 비를 결정하였다. 각 블록의 투수 비는 가장 많은 유량이 계측 되어진 TTP 380 g의 투수 비를 1로 정한 후 각 유량에 따라 블록의 투수 비를 결정하였다.

각 블록에서 계측되어진 유량과 투수 비는 Table 2.2에 나타나 있다

Table 3.3 Measured flux and water permeability rate

Block type	Q (kg)	Water permeability rate
Riparap 70 g	23.17	0.837
Sealock 75 g	23.36	0.844
TTP 72 g	23.34	0.844
TTP 265 g	27.16	0.978
TTP 380 g	27.68	1.000

3.3 구조물 형상에 따른 수리특성

3.3.1 폭에 따른 반사특성

실험의 과량은 규칙파를 이용하였다. 주기가 커질수록 반사율은 증가하는 모습을 보이고 폭이 넓은 구조물일수록 작은 반사율 값을 나타낸다. 각 구조물의 폭에서 주기에 따른 반사율의 변화는 B/h 가 0.44인 조건에서 0.444에서 0.55이고 B/h 가 0.67인 조건의 경우 0.455에서 0.673 그리고 B/h 가 0.89에서는 0.511에서 0.721로 변화 하였다.

반사율은 B/h 가 0.89인 경우 B/h 가 0.44인 조건에 보다 가장 짧은 주기인 $H_{1/3}/L$ 이 0.0408의 조건에서 13.12 % 작았고 가장 긴 주기 조건인 $H_{1/3}/L$ 이 0.02인 조건에서 23.72 % 작았다. 주기가 증가 할수록 폭에 의한 감소효과가 커짐을 보인다.



Fig. 3.2 Effect of H/B on K_r for different wave steepness(Block = TTP 72 g).

3.3.2 경사에 따른 반사특성

구조물이 경사를 가지는 경우 직립형식 보다 반사율 감소효과는 크게 나타난다. Fig 2.7은 규칙파를 조파하였을 경우 직립형식과 경사형식의 반사율을 비교한 그래프이다. 그래프에서 직립형식과 경사형식의 반사율의 증가는 H/L 이 0.0408에서 0.02로 감소할 때 직립형식의 경우 19.28 % 증가하였고 경사형식의 반사율은 60 % 증가 하였다.

불규칙파를 실험의 반사율 값은 Fig 2.8과 Fig 2.9에 나타내었다. 블록을 나타내는 변수 값은 투수 비를 이용하였다.

$d_{50}/h = .016$ 의 투수성이 큰 블록에서의 파형경사에 따른 직립형식의 최대 반사율과 최소 반사율은 0.606과 0.33이었으며 경사형식의 최대 반사율과 최소 반사율은 0.578과 0.259였다. 그리고 최대 반사율의 차이는 $H_{1/3}/L$ 이 0.0359에서 0.162로 나타났으며 반사율 차의 평균은 0.041로 나타났다. 투수성이 작은 $d_{50}/h = 0.092$ 의 블록에서 파형경사에 따른 직립형식의 최대 반사율과 최소 반사율은 0.621과 0.382이었으며 경사형식의 최대 반사율과 최소 반사율은 0.478과 0.191이었다. 그리고 최대 반사율의 차이는 H/L 이 0.0305에서 0.236으로 나타났으며 반사율 차의 평균은 0.176으로 나타났다. $d_{50}/h = 0.092$ 투수성이 큰 블록의 경우 파형경사가 0.0121, 0.0158, 0.0203, 0.0206의 구간에서 직립 형태의 반사율이 경사형태의 반사율보다 작게 나타났다.

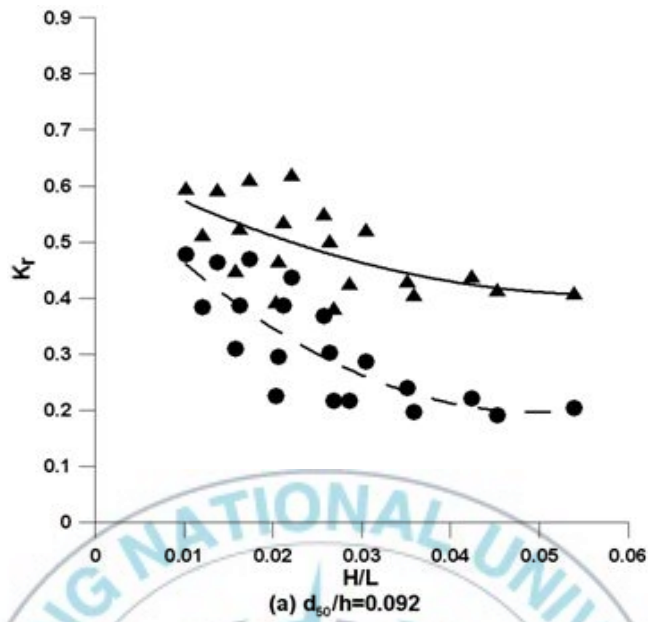


Fig. 3.3 Effect of H/L on K_r for different slope type(Irregular wave).

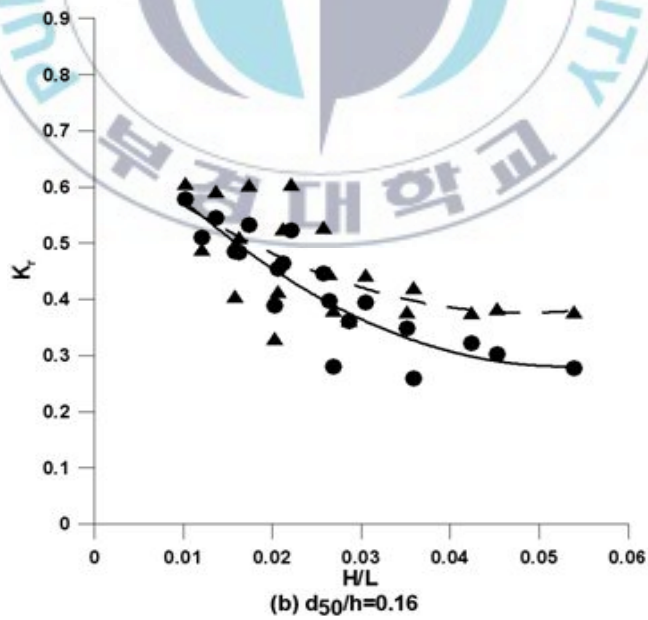


Fig. 3.4 Effect of H/L on K_r for different slope type(Irregular wave).

3.4 블록에 따른 수리특성

3.4.1 블록의 종류에 따른 반사특성

블록의 종류(사석, Seacock, TTP)에 따른 반사율의 차이는 크게 나타나지 않았다. 반사율이 가장 큰 차이를 나타내는 $H_{1/3}/L$: 0.053인 경우 각 블록의 반사율은 0.455, 0.472, 0.506으로 0.05 이내의 차이를 보였으며 가장 긴 주기인 $H_{1/3}/L$: 0.022의 경우 0.673, 0.65, 0.657로 거의 차이를 나타내지 않았다. H/L 의 감소에 따른 반사율의 증가율은 TTP 32.4 %, Seacock 27.39 %, 사석 22.99 % 로 3종류 모두 유사하게 나타났다.

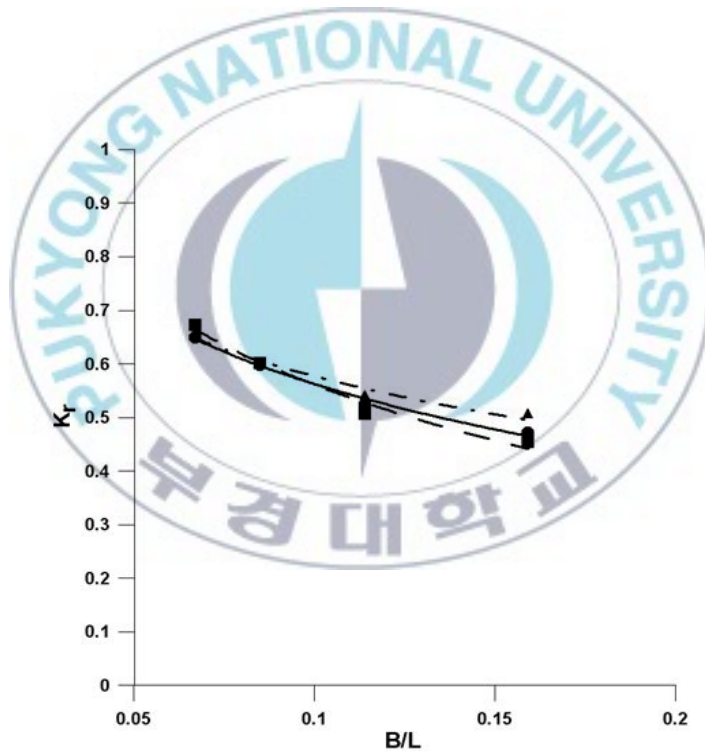


Fig. 3.5 Effect of H/L on K_r for different block type($B/h = 0.67$, regular wave).

3.4.2 블록의 크기에 따른 반사특성

각 블록의 크기에 따른 반사율의 차이는 전체적으로 크게 나타나지 않았다.

Fig 2.14는 구조물 폭이 0.2m인 경우의 3가지 크기를 가지는 블록의 반사율 파고 0.06 m ~ 0.12에 따라 나타내었다. 거의 모든 주기에서 가장 작은 블록인 $d_{50}/h=0.092$ 에서 작게 나타났으며 블록이 클수록 반사율 값은 크게 관찰 되었다. 각 블록에서의 파고별 반사율의 증가율은 $H_{1/3}=0.06m$ 의 경우 $d_{50}/h=0.092$ 에서 48.71 %, $d_{50}/h=0.14$ 에서 44.39 %, $d_{50}/h=0.16$ 에서 49.63 %이며 $H_{1/3}=0.08m$ 의 경우 $d_{50}/h=0.092$ 에서 42.11 %, $d_{50}/h=0.14$ 에서 48.64 %, $d_{50}/h=0.16$ 에서 39.35 %이고 $H_{1/3}=0.10m$ $d_{50}/h=0.092$ 에서 44.62 %, $d_{50}/h=0.14$ 에서 49.62 %, $d_{50}/h=0.16$ 에서 47.54 %이며 $H_{1/3}=0.12m$ 의 경우 $d_{50}/h=0.092$ 에서 48.05 %, $d_{50}/h=0.14$ 에서 47.94 %, $d_{50}/h=0.16$ 에서 42.51 %로 나타났다. B/L (주기)에 따른 반사율의 증가율은 모든 파고와 블록에서 큰 차이를 보이지 않았다. 가장 큰 반사율의 차이는 $H_{1/3}=0.12m$ 이며 $B/L=0.1582$ 인 조건에서 0.058로 나타났으며 평균은 0.015로 나타났다. 본 실험에서 파고에 따른 반사율의 차이가 크지 않음을 보였고 구조물 폭이 0.2 m인 경우 블록의 크기에 따른 반사율 차이가 크게 나타나지 않음을 보였다.

Fig 2.15와 Fig 2.16은 각각 0.4 m의 직립형식과 경사형식에서의 반사율을 2가지 블록에 대하여 나타내었다. 0.4m의 직립형식인 경우 반사율의 값은 $d_{50}/h=0.16$ 인 큰 블록의 반사율이 $H_{1/3}/L=0.0305$ 에서 최대 0.175로 작게 나타났으며 평균적으로 0.0307 작게 나타났다. 경사형식의 반사율은 $d_{50}/h=0.092$ 를 가지는 작은 크기의 블록의 반사율이 $H_{1/3}/L=0.0158$ 에서 최대 0.078로 작게 나타났고 평균적으로 0.104 작게 나타났다.

요약하면 경사형식과 0.2 m의 폭을 가지는 직립형식의 반사율은 투

수성이 작은 블록에서 작게 나타나지만 $B/h=0.89$ 의 직립형식의 경우 투수성이 큰 블록에서 작은 반사율이 관찰 되었다.

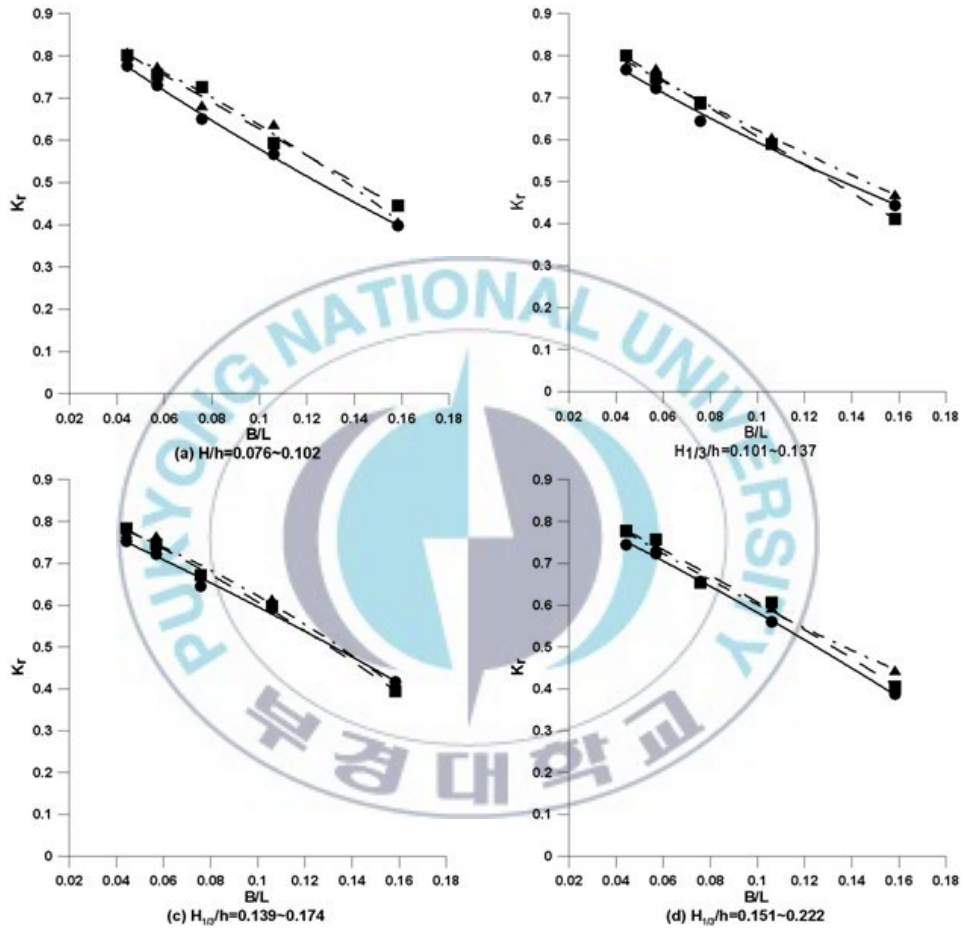


Fig. 3.6 Effect of H/L on K_r for different block size($B/h=0.44$).

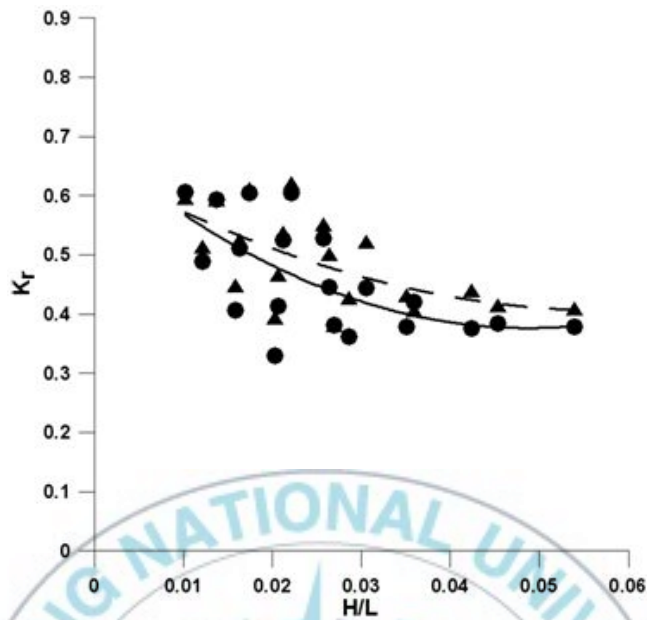


Fig. 3.7 Effect of H/L on K_r for different block size (Vertical type, $B/h = 0.89$).

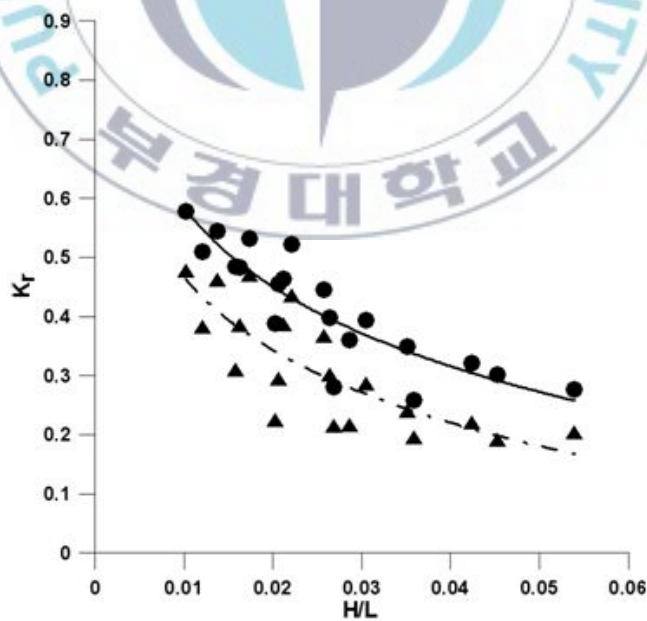


Fig. 3.8 Effect of H/L on K_r for different block size (Slope type, 1 : 1.5).

3.5 Slit 형상에 따른 수리특성

Slit의 유공율과 단위 Slit의 폭의 변화에 따라 Slit을 투과하는 파랑이 변화하게 된다. Slit 케이슨 구조물과 본 논문에서 다루어지는 소파블록 내장케이슨의 특성상 많은 양의 파랑이 투과되어질수록 입사하는 파랑의 소산에 유리하게 작용 되어질 것이라 판단되어 4가지 형태의 Slit에 대한 전달파고 실험을 수행하였다.

실험에서 사용된 각 Slit 구조의 Slit폭은 Slit 1 : 0.4 cm, Slit 2 : 0.8 cm, Slit 3: 1 cm, Slit 1: 2 cm이며 유공율은 Slit 1: 0.3, Slit 2: 0.4, Slit 3: 0.5, Slit 1: 0.5이다.

Fig. 3.9는 각 Slit의 형태에 따른 전달파고를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 원과 짧은 파선은 Slit 1, 사각형과 긴 파선은 Slit 2, 삼각형과 일점 쇄선은 Slit 3 그리고 크로스와 실선은 Slit 4를 나타낸다.

각 파고에 대한 전달파고의 실험 결과 모든 파고에서 유공율과 Slit의 폭이 가장 큰 Slit 4의 전달파고가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리고 가장 작은 전달파고는 유공율과 Slit의 폭이 가장 작은 Slit 1에서 나타났다.

실험에서 상대파고가 $H/h=0.076-0.102$ 일 때 전달파고는 $h/L=0.356$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 29.42 % 크게 계측 되었고 Slit 3 보다 5.44 % 크게 나타났다. $h/L=0.1$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 32 % 큰 전달파고가 계측되었고 Slit 3과 비교하여 6.12 % 큰 전달파고가 나타났다. Slit 2에서 $h/L=0.356$ 일 때 전달파고가 가장 크게 계측 되어졌지만 상대수심이 작아질 수 록 전달파고는 줄어드는 결과를 나타낸다. 상대파고가 $H/h=0.101-0.137$ 일 때 전달파고는 $h/L=0.356$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 18.04 % 크게 계측 되었고 Slit 3 보다 2.2 % 크게 나타났다. $h/L=0.1$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 30.48 % 큰 전달파고가 계측되었고 Slit 3과 비교하여 11.03 % 큰 전달파고가 나타났다. 상대파고가 $H/h=0.101-0.137$ 인 경우의 전달파고는 $h/L=0.356$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 26.66 % 크게 계측 되었고 Slit 3 보다 11.36 % 크게 나타났다. $h/L=0.1$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 31.23 % 큰 전달파

고가 측정되었고 Slit 3과 비교하여 11.62 % 큰 전달파고가 나타났다. 가장 긴 주기를 가지는 상대파고 $H/h=0.101-0.137$ 인 경우의 전달파고는 $h/L=0.356$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 25.6 % 크게 측정되었고 Slit 3 보다 4.1 % 크게 나타났다. $h/L=0.1$ 에서 Slit 4는 Slit 1보다 31.7 % 큰 전달파고가 측정되었고 Slit 3과 비교하여 11.3 % 큰 전달파고가 나타났다.

실험 결과 전달파고는 Toida와 Kubo(1975)의 연구 내용과 같이 유공율이 크고 Slit의 폭이 넓어질 수록 커지는 결과를 나타내었다. 그리고 주기가 길어질 수록 유공율과 Slit 폭의 효과는 커지는 결과를 나타내었다.



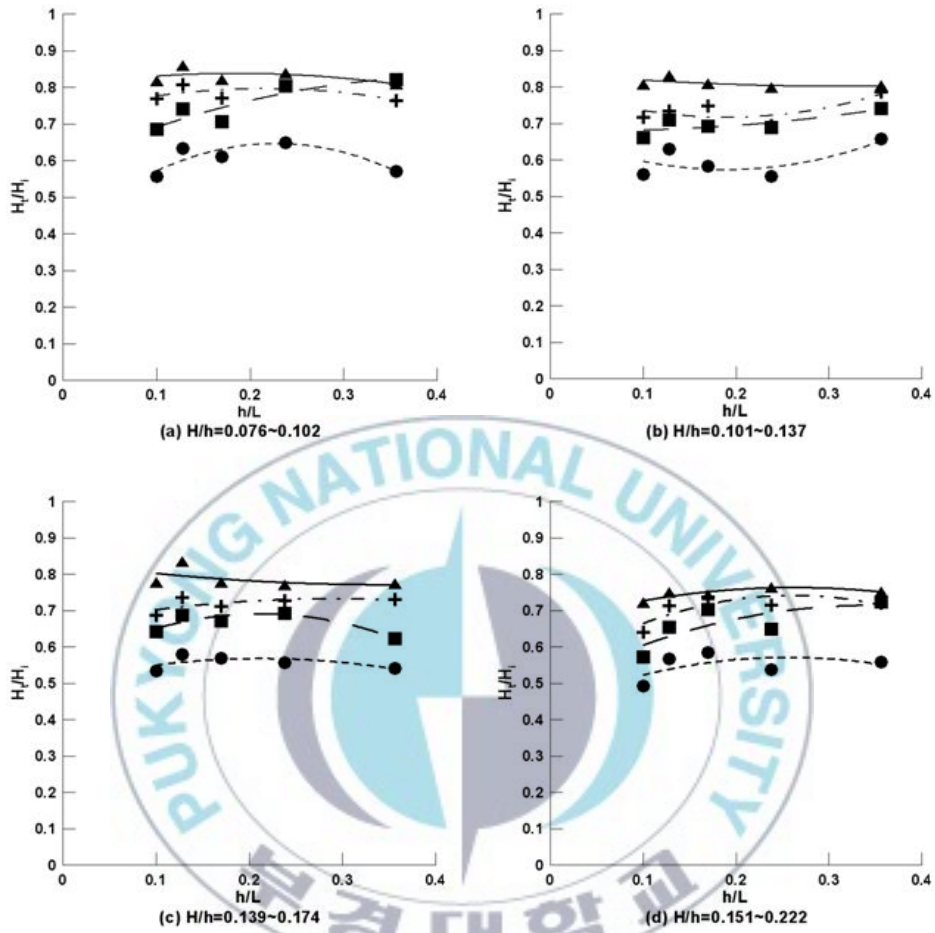


Fig. 3.9 Effect of h/L on K_r for different Slit condition.

4. 소파블록 내장 케이슨의 수리특성

4.1 실험의 개요

실험은 3장의 결과에 기초하여 블록 내장 케이슨 구조물의 조건을 결정하였다. 반사특성에 큰 영향을 미치는 구조물 폭에 대한 실험은 반사특성 및 내부수위에 유효한 폭을 나타내기 위하여 0.2 m에서 0.5 m까지 0.1 m 간격의 4가지 경우에 대해 실험을 수행하였고 이때의 B/h 는 0.44 ~ 1.11로 나타난다. 블록의 투수성의 변화에 의해 반사특성의 차이가 나타나므로 $d_{50}/h=0.092$ 와 $d_{50}/h=0.16$ 2가지 조건 블록에 대하여 실험을 수행하였다. Slit 조건은 가장 전달이 크게 일어나는 Slit 4 하나의 조건만을 고려하였다. 경사는 파랑의 소산에 가장 큰 영향을 나타내지만 블록 내장 케이슨의 실험에서는 고려하지 않았다.

블록 내장 케이슨 내부의 내부수위는 케이슨 주위의 수리특성에 큰 영향을 미칠 것이라 생각되어 케이슨 내부의 수위를 측정하였다. 측정 방법은 용량식 파고계를 Fig. 4.1과 같은 스프링으로 보호하여 케이슨 내부의 Slit면과 벽면에 2개의 파고계를 설치하여 내부 수위를 계측하였다.

실험에 사용된 파랑은 주기 0.9 ~ 2.3 sec를 사용하였고 주기에 따른 파고는 5.73 ~ 9.99 실험 수심은 0.45 m이다.



Fig. 4.1 Protection spring of water level gauge.

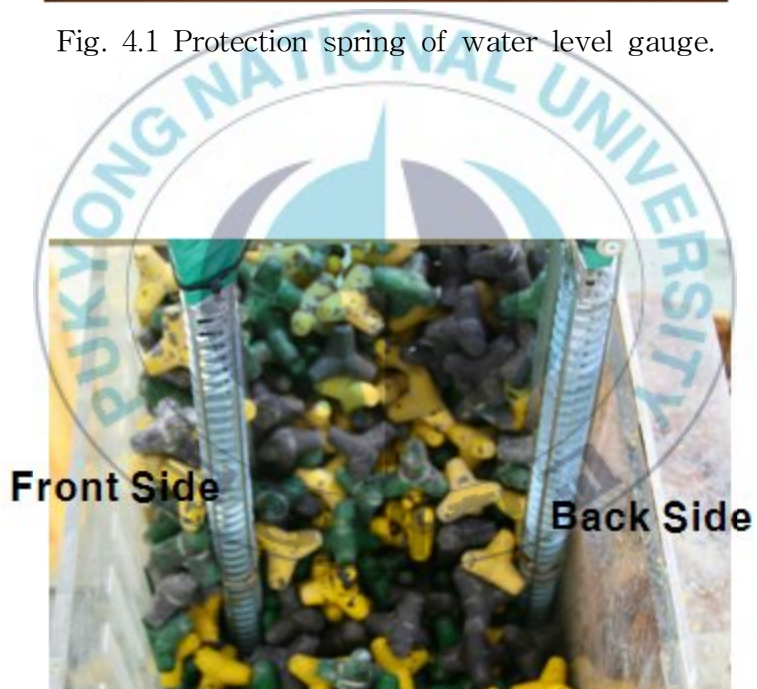


Fig. 4.2 Photo of internal water level gauge.



Fig. 4.3 Photo of internal water level gauge(front side).

Table 4.1 Experimental wave

$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	Breaking	Irregularity
5.73	0.9	×	Irregular
8.24	0.9	×	Irregular
6.62	1.1	×	Irregular
9.16	1.1	×	Irregular
6.96	1.3	×	Irregular
9.63	1.3	×	Irregular
7.44	1.5	×	Irregular
11.57	1.5	×	Irregular
7.85	1.7	×	Irregular
11.92	1.7	×	Irregular
9.35	1.9	×	Irregular
13.31	1.9	×	Irregular
9.78	2.1	×	Irregular
13.63	2.1	×	Irregular
9.99	2.3	×	Irregular
13.88	2.3	×	Irregular

Table 4.2 Structure condition

Structure width	Block	Slit	Irregularity
0.2 m	TTP 72 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
	TTP 380 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
0.3 m	TTP 72 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
	TTP 380 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
0.4 m	TTP 72 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
	TTP 380 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
0.5 m	TTP 72 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
	TTP 380 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular
0.2 m (Slope)	TTP 72 g	Slit 4	Regular
		Slit 4	Irregular

4.2 케이슨 전면의 수위변화

구조물 전면의 파고계를 이용하여 규칙 파랑에 대한 수위 변화의 시계열을 계측하였다. 수위변화는 블록의 투수성과 관계없이 같은 주기에서 모두 유사하게 나타났으며 주기 1.7 sec의 경우 $d_{50}/h=0.092$ 의 조건에서 파고가 크게 나타나는 모습을 보였다. 주기 0.9 ~ 1.9 sec의 경우 폭에 따른 전면 수위가 유사하게 나타나지만 2.1과 2.3 sec의 경우 수위변화가 비교적 불규칙적이며 폭이 넓은 $B/h=1.11$ 의 구조물에서 수위변화가 작게 나타나는 모습을 보였다. 전면 파고 변화는 주기의 변화에 따라 진폭이 증가하는 모습을 보이거나 주기가 0.9 ~ 1.7 sec의 경우에서 구조물에 따른 변화는 크게 나타나지 않음을 보였다. 규칙파로는 전면 파고의 변화를 정확히 나타내지 못하였기 때문 불규칙 파랑 실험으로부터 파고 변화를 알아보고자 하였다. 불규칙 파랑의 스펙트럼은 주기 0.9 sec, 1.7 sec, 2.3 sec에 나타내었고 Fig. 4.5에 나타내었다. 스펙트럼은 Band pass filtering에 의해 필터링 되었고 불규칙 파랑의 실험을 통한 파랑 스펙트럼에서 역시 구조물에 의한 변화에 따른 스펙트럼의 변화가 크게 나타나지 않았다.

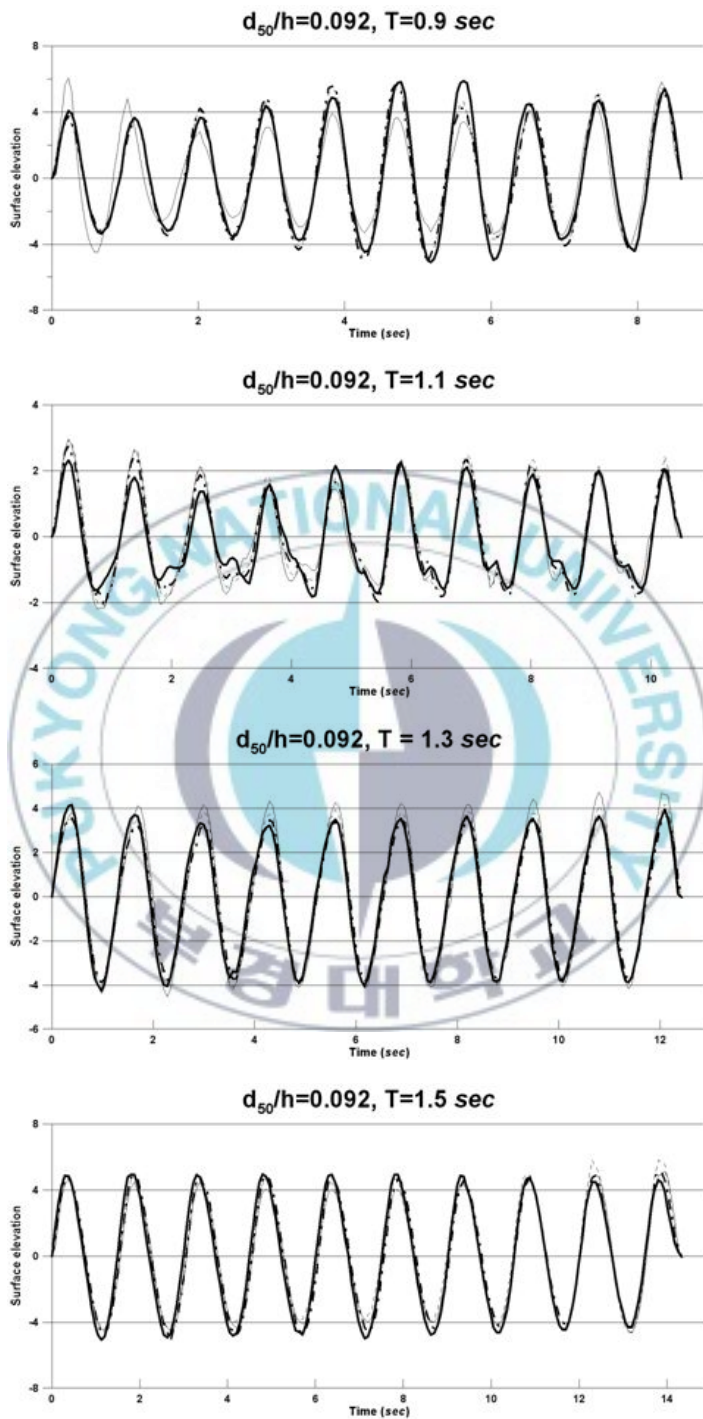


Fig. 4.4 Time series of structure front water level
(a).

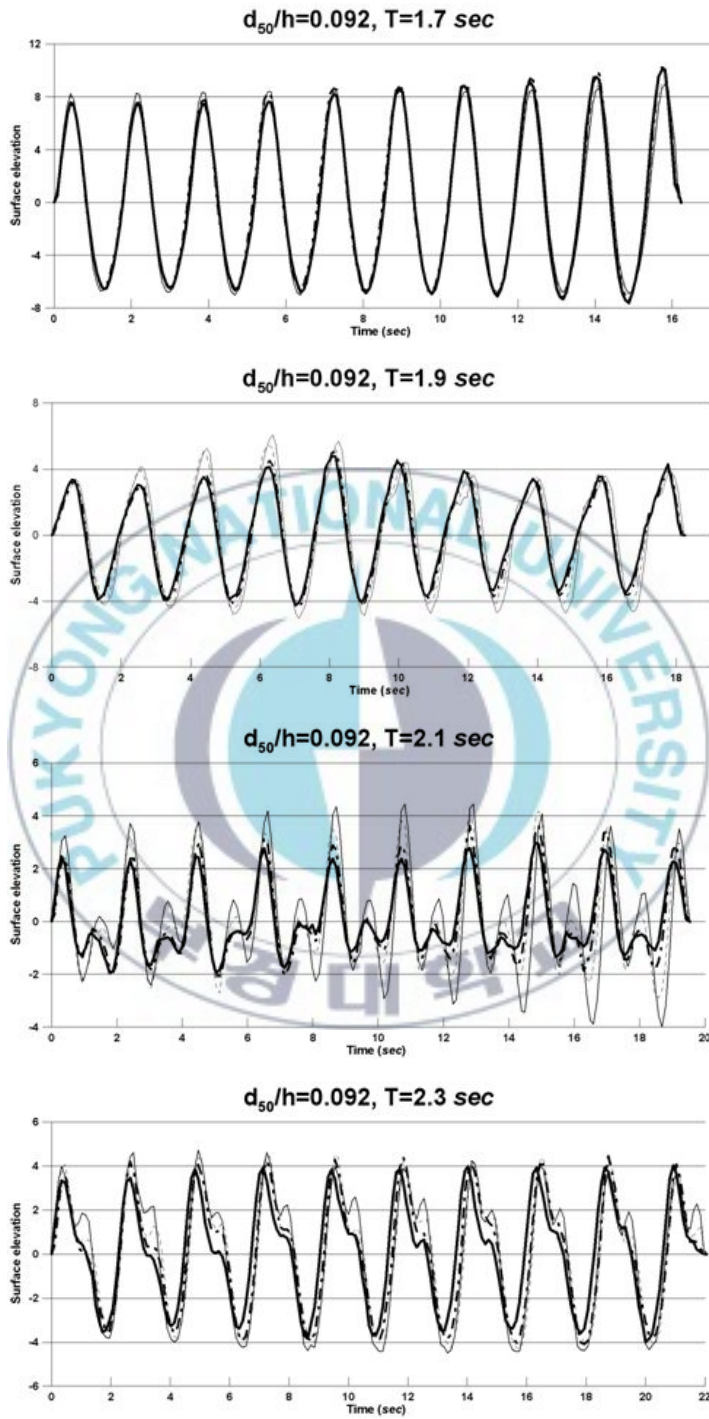


Fig. 4.4 Time series of structure front water level (b).

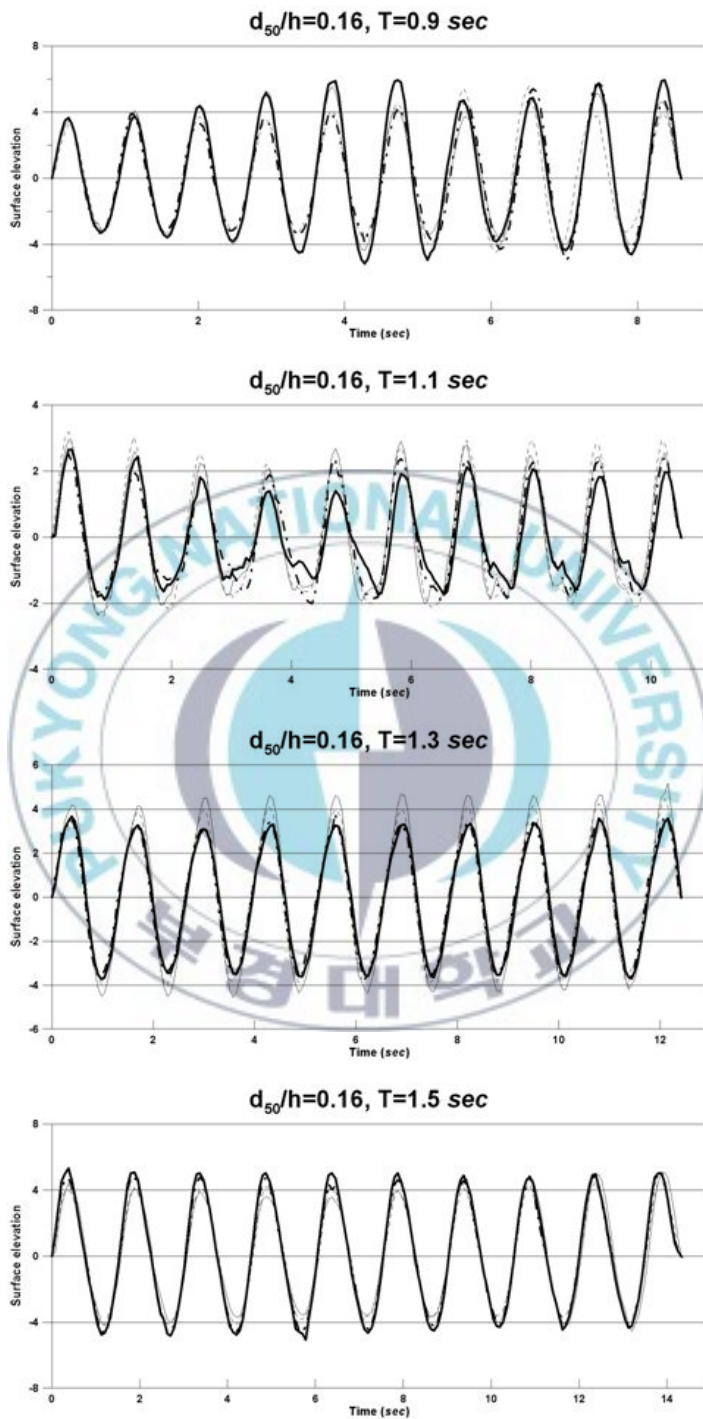


Fig. 4.4 Time series of structure front water level (c).

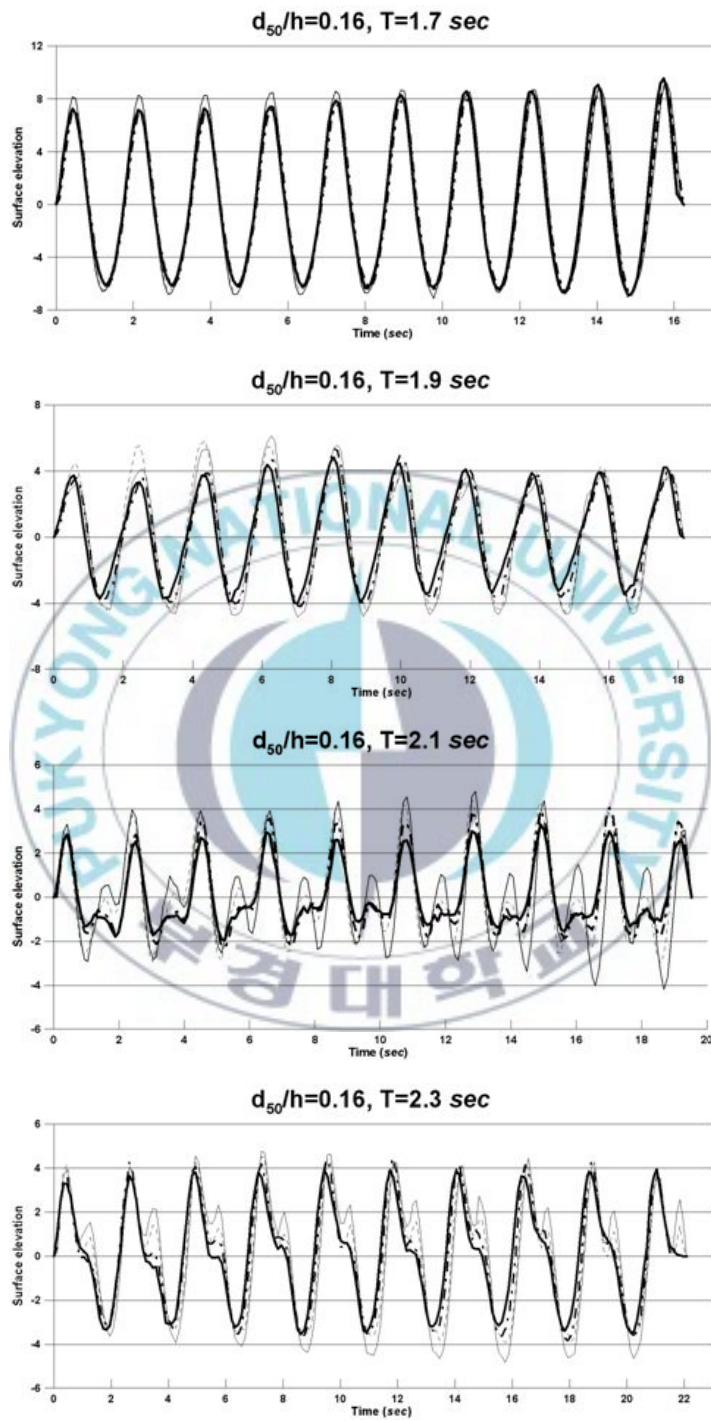


Fig. 4.4 Time series of structure front water level (d).

4.3 소파블록 내장 케이슨의 내부수위

내부수위가 증가하는 구조물 전면의 Run-up을 증가하게 만드는 중요한 인자이다. 그러므로 본 연구에서는 각 구조물 조건에서의 내부수위를 측정하였다.

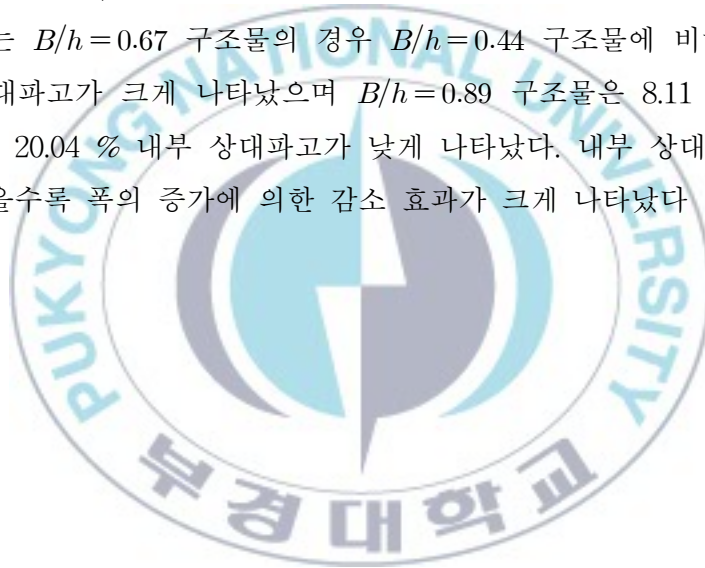
규칙파랑을 이용하여 내부수위의 시계열을 측정하였다. 시계열에서 내부수위는 주기가 증가할수록 증가하며 구조물의 폭이 넓어질수록 내부수위가 감소하는 모습을 나타내었다.

불규칙 파랑을 이용하여 파랑 스펙트럼으로 나타내었다. 파랑 스펙트럼에서 피크주기에 대한 에너지 밀도는 작은 블록에서 대부분 작게 나타났으며 구조물의 폭이 커질수록 작게 나타났다.

내부수위를 이용하여 케이슨 내부의 $H_{1/3}$ 에 대한 케이슨 내부 상대 파고를 구하였다. Fig. 4.9 그래프에서의 각 조건은 다음과 같다. 사각형; $B/h=0.44, d_{50}/h=0.092$, 삼각형; $B/h=0.44, d_{50}/h=0.16$, 크로스; $B/h=0.67, d_{50}/h=0.092$, 엑스; $B/h=0.67, d_{50}/h=0.16$, 빈 원; $B/h=0.89, d_{50}/h=0.092$, 빈 사각형; $B/h=0.89, d_{50}/h=0.16$, 빈 마름모; $B/h=1.1, d_{50}/h=0.092$, 빈 삼각형; $B/h=1.1, d_{50}/h=1.6$ 을 나타낸다.

내부수위의 유의파고는 주기가 길어질수록 증가하였고 짧은 주기인 $h/L=0.356$ 에서 가장 크게 나타나는 내부 상대파고는 0.136으로 폭이 가장 좁고 블록이 큰 $d_{50}/h=0.16, B/h=0.44$ 의 조건에서 나타났으며 최소 내부수위는 0.052로 $d_{50}/h=0.092, B/h=1.1$ 의 조건에서 나타났다. 긴 주기인 $h/L=0.55$ 에서 가장 큰 케이슨 내부원 상대파고는 0.240으로 $d_{50}/h=0.16, B/h=0.67$ 의 조건에서 나타났으며 최소 내부 상대파고는 0.159로 $d_{50}/h=0.092, B/h=1.1$ 의 조건에서 나타났다. 본 실험에서 사용되어진 파랑의 모든 주기에서 폭이 가장 넓고 블록이 작은 $d_{50}/h=0.092, B/h=1.1$ 인 조건의 내부 상대파고가 가장 낮게 조사 되었다. 블록의 투수성이 작은 $d_{50}/h=0.092$ 의 경우 짧은 주기 $h/L=0.356$

에서 경사에 의한 내부 상대파고의 감소율은 8.47 %이며, 0.1 m의 폭 증가에 따른 감소율은 14.08, 34.03, 50.42 %였다. 긴 주기 $h/L=0.55$ 에서 경사에 의한 내부 상대파고는 직립 조건에서 8.36 % 작게 나타났으며, 0.1 m의 폭 증가에 따른 내부 상대 파고의 변화는 0.3 m 구조물의 경우 0.2 m 구조물에 비해 3.34 % 내부 상대파고가 크게 나타났으며 0.4 m 구조물은 20.98 %, 0.5 m 구조물은 27.56 % 내부 상대파고가 낮게 나타났다. 블록의 투수성이 큰 $d_{50}/h=0.16$ 의 경우 짧은 주기 $h/L=0.356$ 에서 0.1 m의 폭 증가에 따른 감소율은 15.82, 38.5, 31.81 %였다. 긴 주기 $h/L=0.55$ 에서 0.1 m의 폭 증가에 따른 내부 상대 파고의 변화는 $B/h=0.67$ 구조물의 경우 $B/h=0.44$ 구조물에 비해 0.46 % 내부 상대파고가 크게 나타났으며 $B/h=0.89$ 구조물은 8.11 %, 0.5 m 구조물은 20.04 % 내부 상대파고가 낮게 나타났다. 내부 상대파고는 블록이 작을수록 폭의 증가에 의한 감소 효과가 크게 나타났다



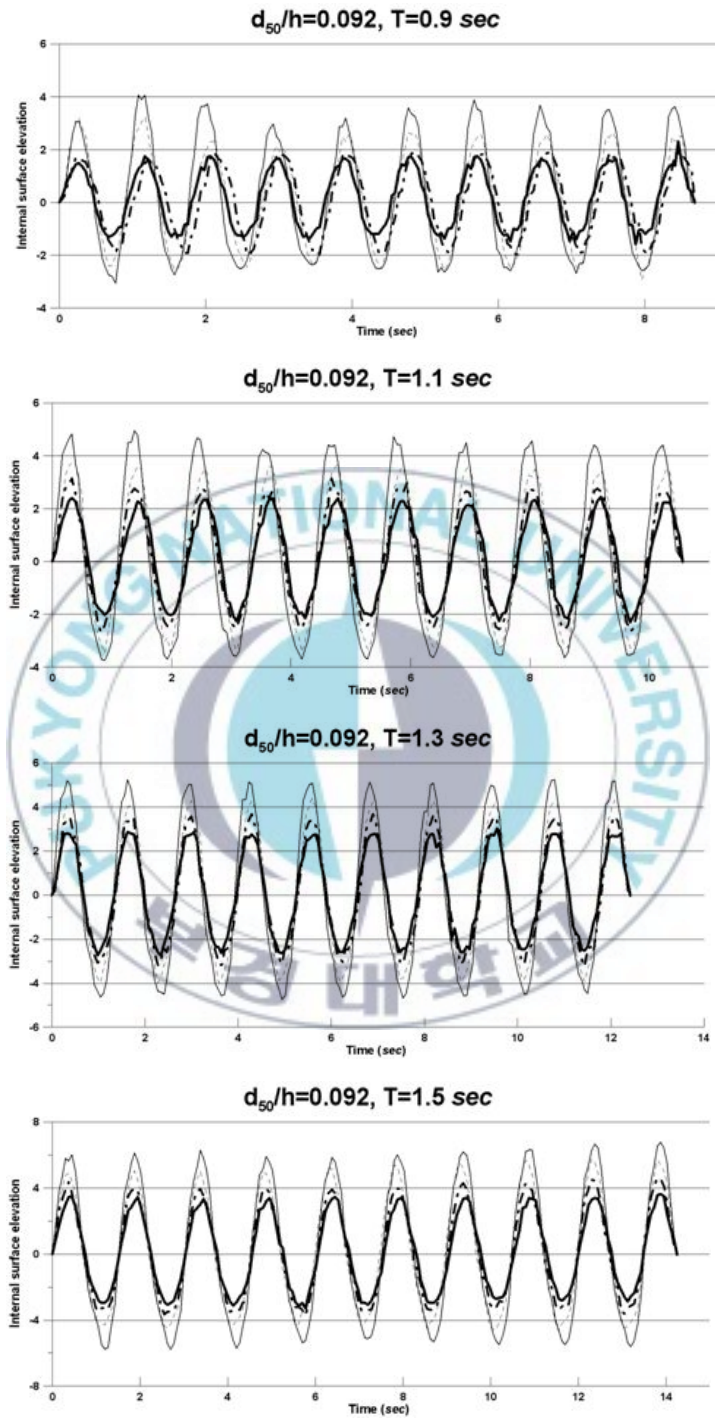


Fig. 4.5 Time series of internal water level (a).

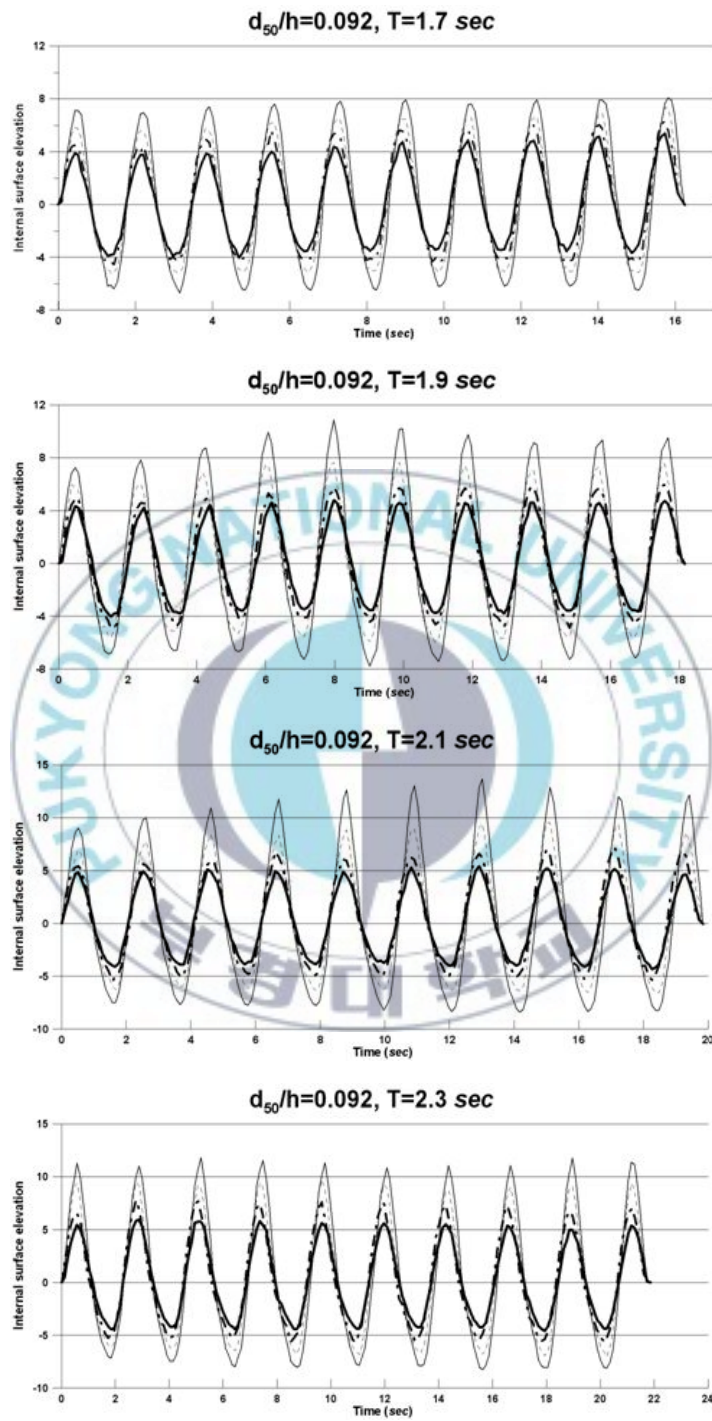


Fig. 4.5 Time series of internal water level (b).

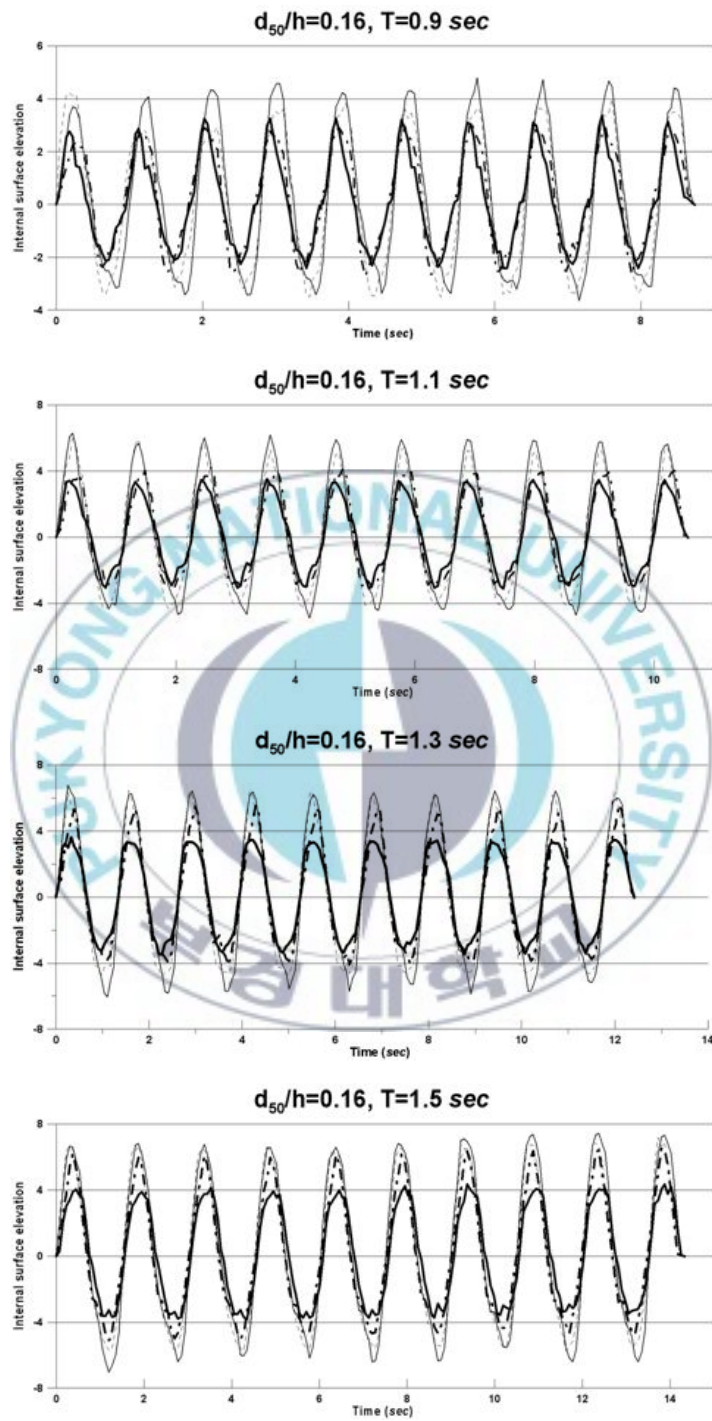


Fig. 4.5 Time series of internal water level (c).

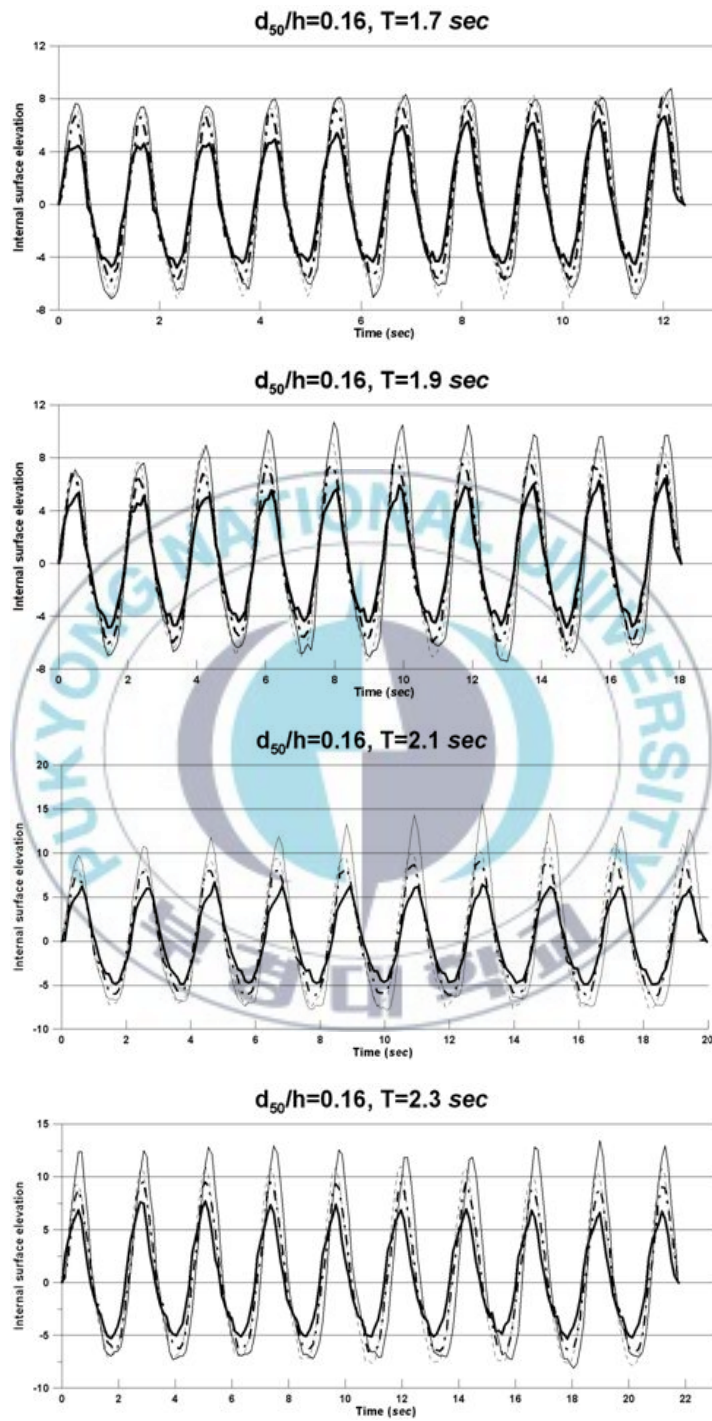


Fig. 4.5 Time series of internal water level (d).

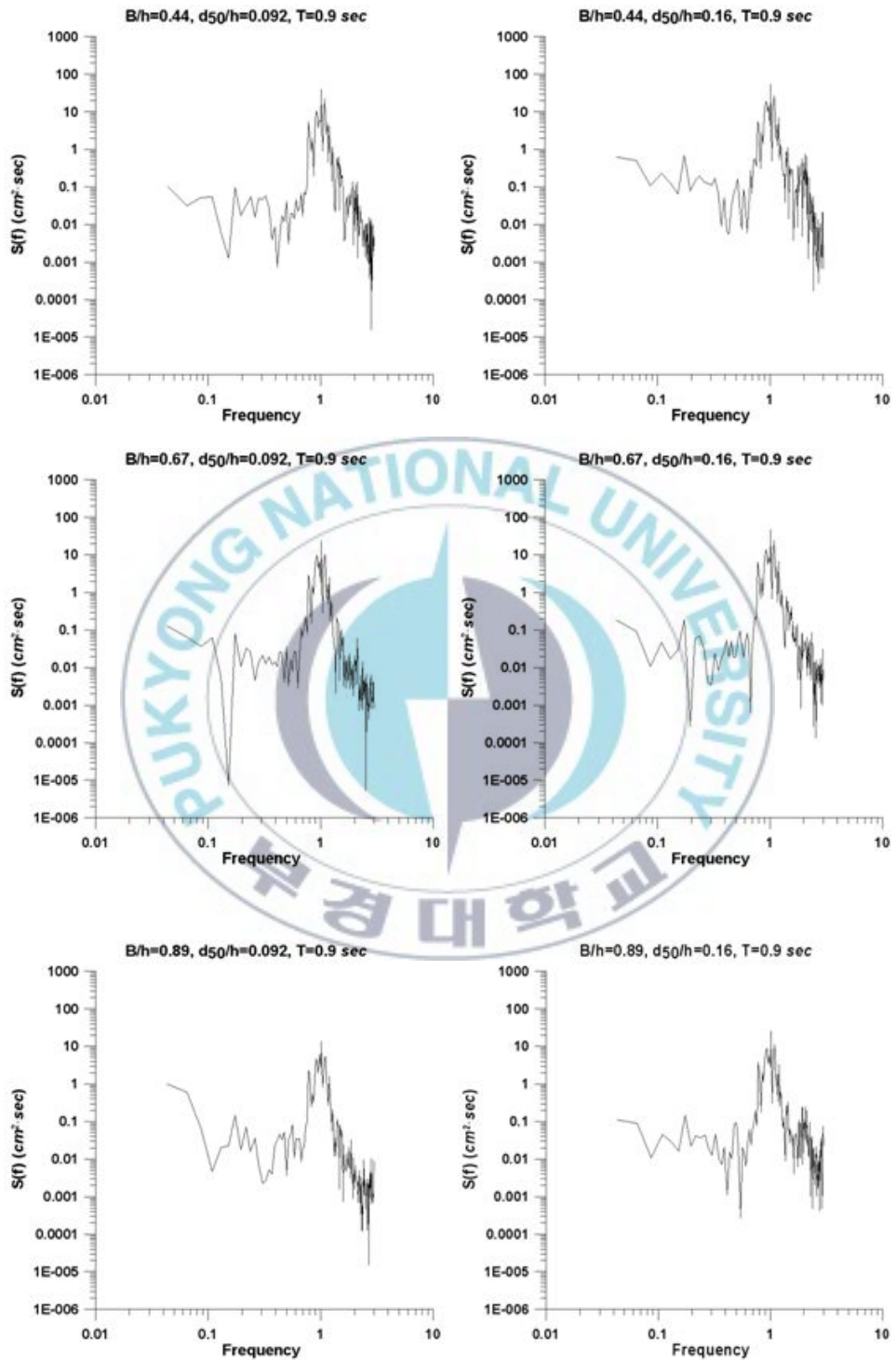


Fig. 4.6 Wave spectrum of internal wave level (a).

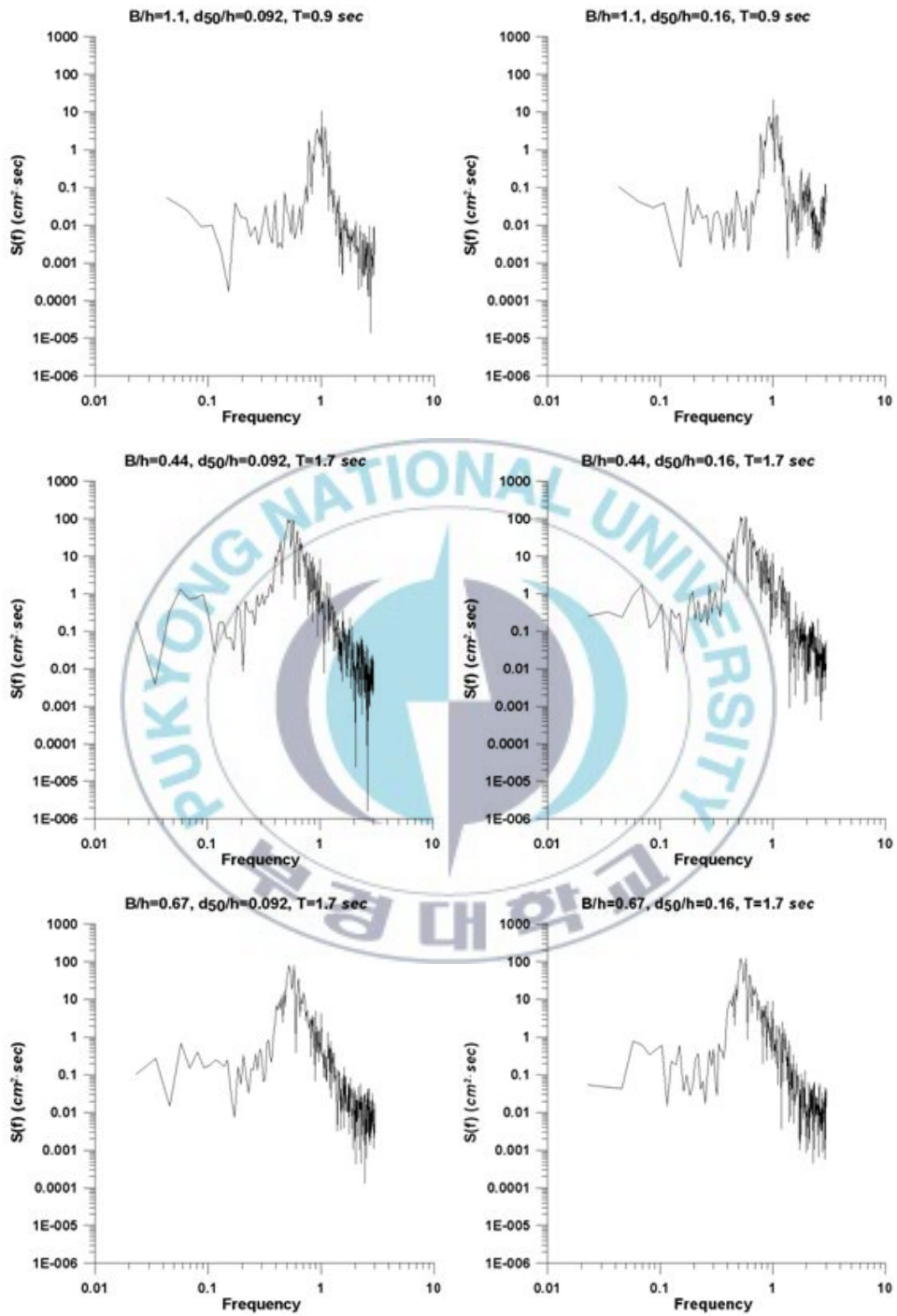


Fig. 4.6 Wave spectrum of internal wave level (b).

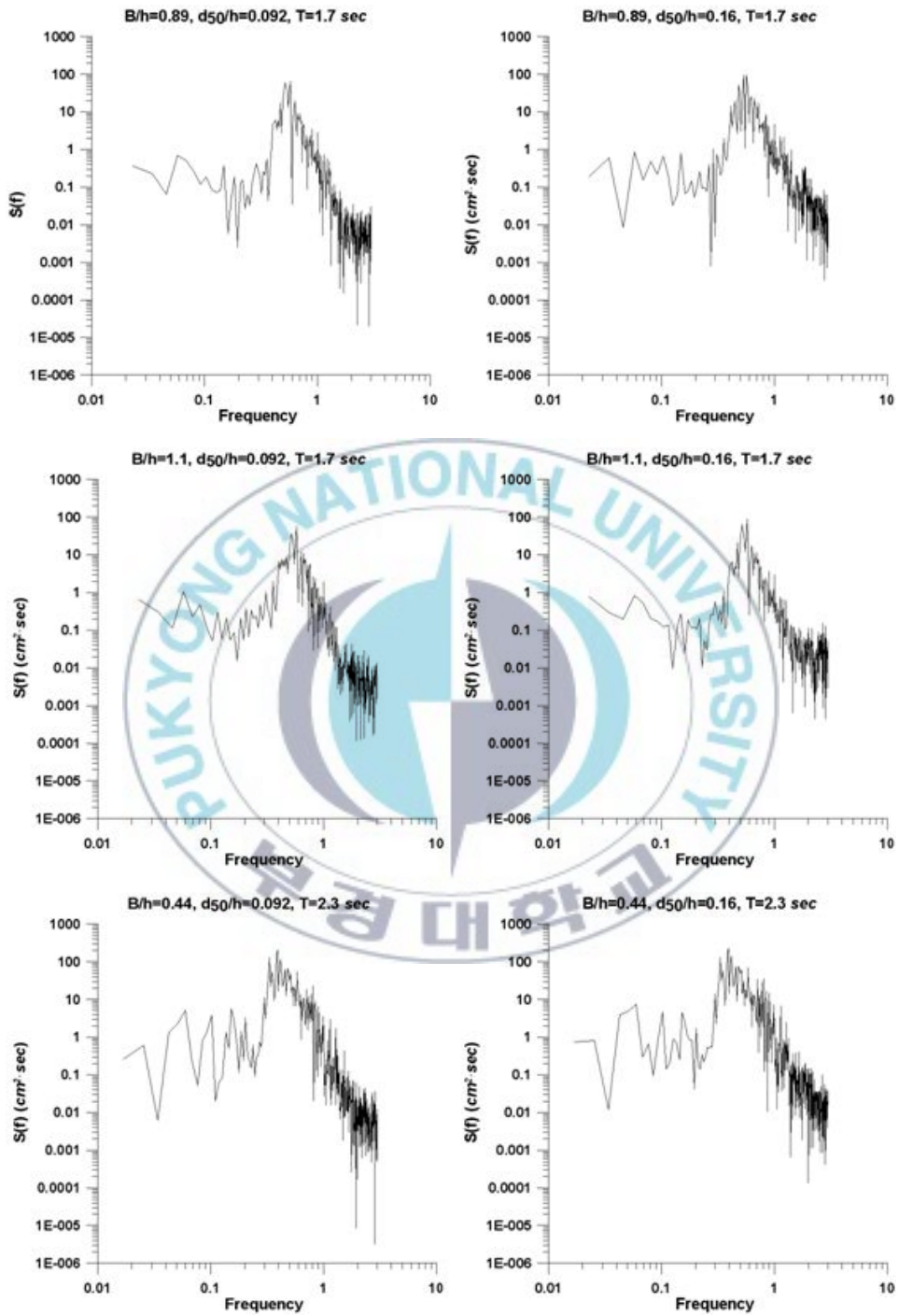


Fig. 4.6 Wave spectrum of internal wave level (c).

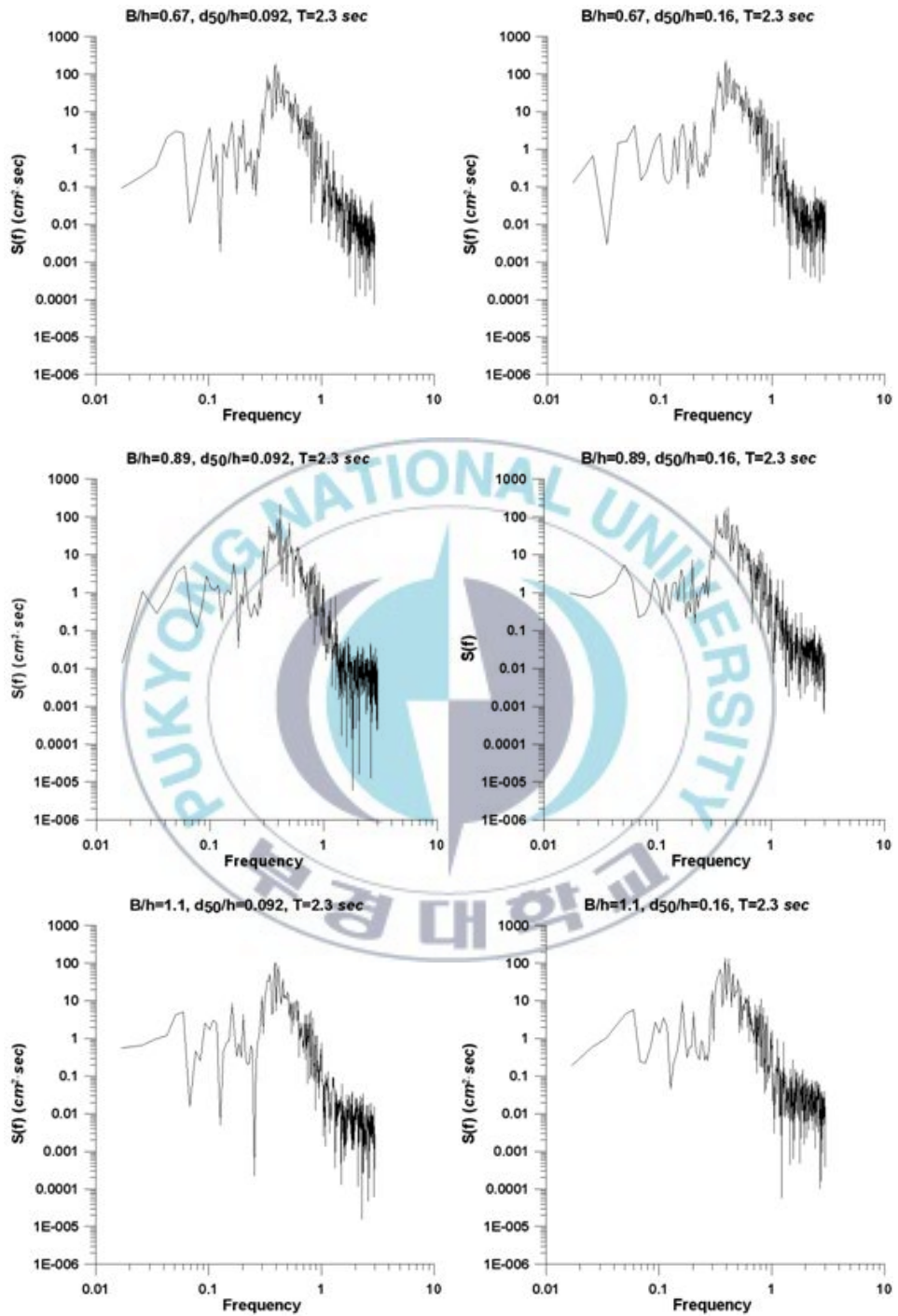


Fig. 4.6 Wave spectrum of internal wave level (d).

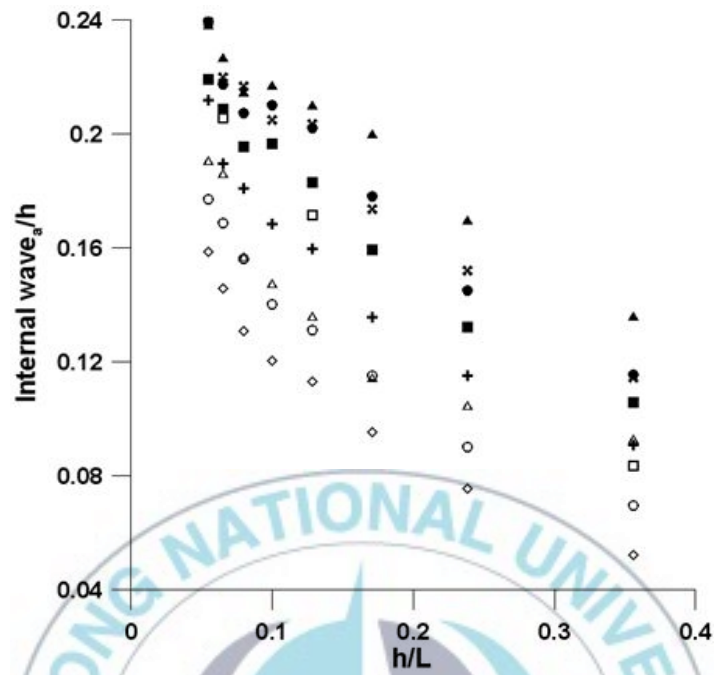


Fig. 4.7 Effect of h/L on internal relative wave height for difference structure condition.

4.4 소파블록 내장케이슨의 반사특성

4.4.1 $B/h=0.44$ 구조물의 반사특성

반사율 실험에 사용된 파고는 각 주기에 따라 $H_{1/3}=0.0573 \sim 0.099m$ 의 범위를 가지는 파랑에 대하여 실험을 수행 하였다.

대부분의 주기에서 반사율은 투수성이 큰 블록에서 작게 나타났다.

$d_{50}/h=0.092$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L=0.158$ 에서 0.465, $B/L=0.024$ 에서 0.755를 나타냈었고 증가율은 38.41 %였다. 그리고 최대 반사율은 $B/L=0.036$ 에서 0.768로 나타났다.

$d_{50}/h=0.16$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L=0.158$ 에서 0.343, $B/L=0.024$ 에서 0.751를 나타냈으며 증가율은 54.33 %였다. 그리고 최대 반사율은 $B/L=0.036$ 에서 0.765로 나타났다.

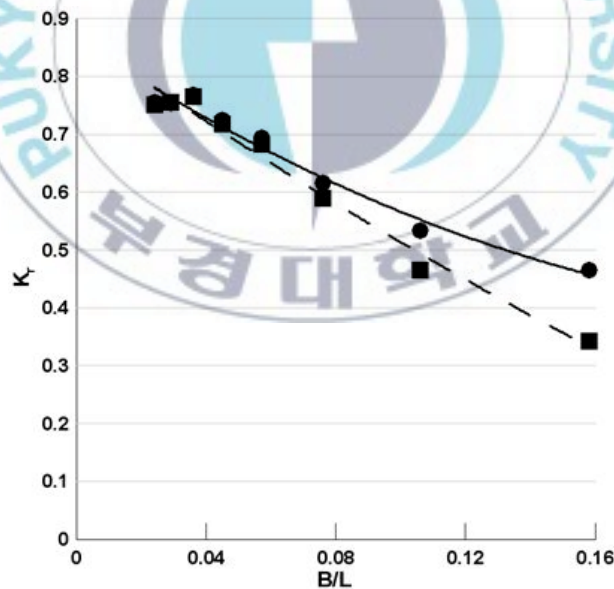


Fig. 4.8 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h=0.44$.

4.4.2 $B/h = 0.67$ 구조물의 반사특성

$d_{50}/h = 0.092$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L = 0.237$ 에서 0.448, $B/L = 0.036$ 에서 0.673로 관찰되었고 증가율은 33.44 %였다. 그리고 최대 반사율은 $B/L = 0.044$ 에서 0.681로 나타났다.

$d_{50}/h = 0.16$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L = 0.237$ 에서 0.392로 관찰되었고 $B/L = 0.036$ 에서 0.649로 최대값을 나타내었다. 이때 주기에 따른 반사율의 증가율은 39.6 %였다.

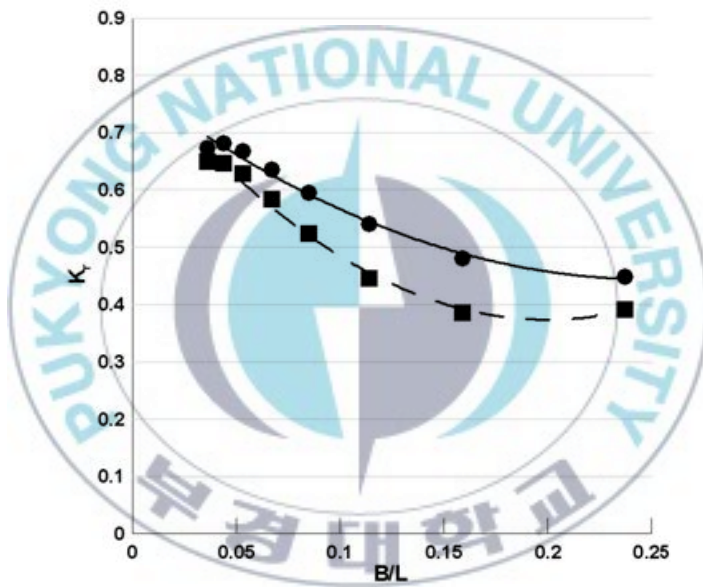


Fig. 4.9 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 0.67$.

4.4.3 $B/h = 0.89$ 구조물의 반사특성

$d_{50}/h = 0.092$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L = 0.317$ 에서 0.518, $B/L = 0.048$ 에서 0.632로 관찰되었고 증가율은 18.04 %였다. 그리고 최대 반사율은 $B/L = 0.058$ 에서 0.632로 나타났다.

$d_{50}/h = 0.16$ 인 블록에서의 반사율은 $B/L = 0.317$ 에서 0.486로 관찰되었고 $B/L = 0.048$ 에서 0.592로 최대값을 나타내었다. 이때 주기에 따른 반사율의 증가율은 17.91 %였다.

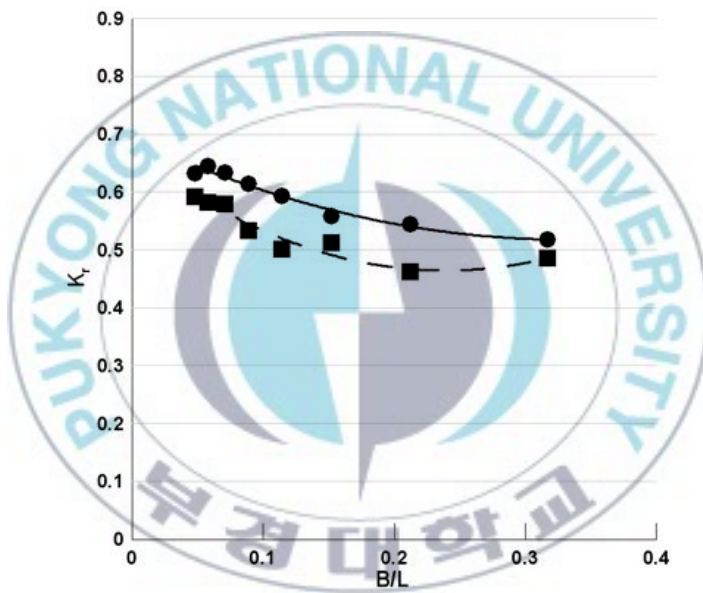


Fig. 4.10 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 0.89$.

4.4.4 $B/h = 1.11$ 구조물의 반사특성

$B/h = 1.1$ 의 조건의 반사율은 증가 폭이 상당히 낮은 모습을 보였다. $d_{50}/h = 0.092$ 조건의 B/L 에 따른 반사율의 증가율은 17.31 %였으며 $d_{50}/h = 0.16$ 의 증가율은 3.58 %의 상당히 낮은 모습을 나타내었다. 같은 조건에서 $B/h = 0.44$ 의 증가율 54.33 %와 비교하여 상당히 낮은 증가율을 나타낸다.

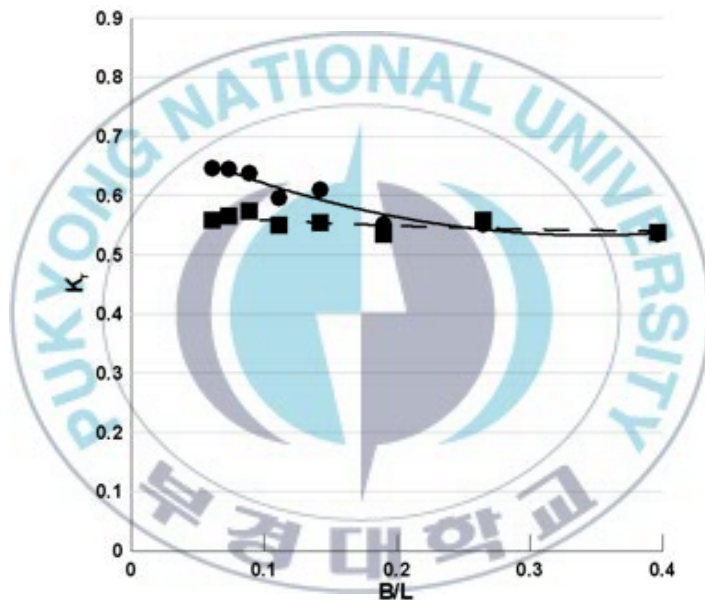


Fig. 4.11 Effect of B/L on K_r for difference d_{50}/h ; $B/h = 1.1$.

4.5 Slit 케이슨과의 반사특성 비교

본 연구에서 사용되어진 소파블록 내장 케이슨의 반사율 실험 결과와 Lee와 An(2000)의 Slit 케이슨의 반사율 결과를 비교하였다.

Slit 케이슨 구조물은 높은 B/L 의 값에서 반사율이 크게 나타나지만 본 연구의 구조물의 경우 $d_{50}/h=0.092$, $d_{50}/h=0.16$ 에서 B/L 이 큰 경우에도 상대적으로 낮은 반사율의 값을 보였다.

일반 Slit 케이슨은 반사율이 0.6 아래로 떨어지는 영역은 B/L 이 0.198 ~ 0.084 였으며 $d_{50}/h=0.092$ 의 블록을 내장한 소파블록 내장 케이슨은 B/L 이 0.396 ~ 0.085이고 $d_{50}/h=0.16$ 의 블록을 내장한 케이슨의 영역은 0.396 ~ 0.058로 나타났다.

본 결과를 통하여 소파블록 내장 케이슨은 일반 Slit 케이슨과 비교하여 더 넓은 소파영역을 가지고 있음을 확인하였다

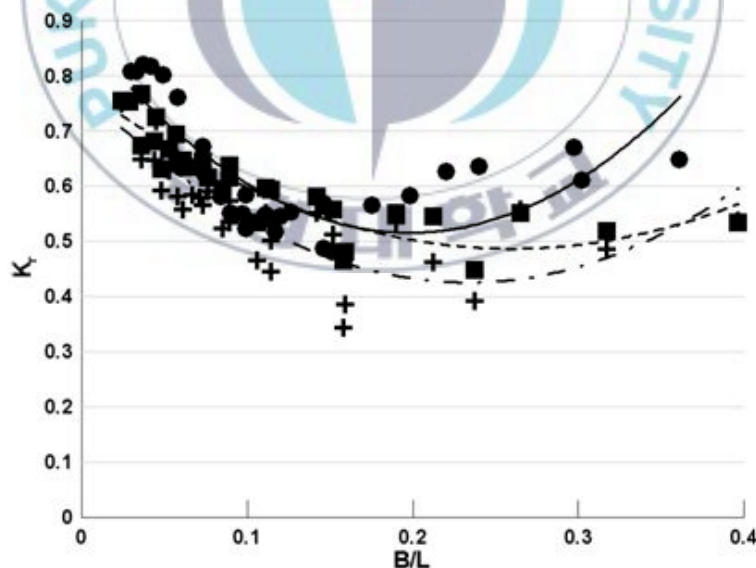


Fig. 4.12 Comparison of slit caisson and Dissipation block caisson.

5. 결론

본 연구는 Slit 케이슨의 소파영역의 확대 방안으로 Slit 케이슨 내부에 소파블록을 내장한 소파블록 내장 케이슨을 제안하여 구조물의 수리특성을 확인 하고자 하였다.

본 연구에 앞서 소파블록의 상대 통과속도를 측정하였다. 상대 통과속도는 유량의 비로 나타내었고 상대 통과 속도비는 사석($d_{50}/h=0.089$): 0.837, Sealock($d_{50}/h=0.094$): 0.844, TTP($d_{50}/h=0.092$): 0.844로 공극률이 같은 블록에서 큰 블록의 상대 통과속도가 크게 측정되었다.

1) 구조물 parameter의 영향은 구조물이 1:1.5의 경사를 가질 때 $d_{50}/h=0.092$ 블록에서 53.98 %의 최대 반사율 감소 효과가 나타났다. 감소율은 파형경사가 작아질 수록 줄어들었다. $d_{50}/h=0.16$ 의 블록에서는 경사에 따른 반사율의 차이가 $d_{50}/h=0.092$ 의 블록과 비교하여 줄어들었으며 파형경사가 작아 질수록 그 차이는 더욱 줄어드는 모습을 보였다. 투과층의 폭에 의한 반사율의 감소는 폭이 $B/h=0.44 \sim 0.89$ 로 커질 때 최대 감소율은 $H/L=0.024$ 에서 26.53 %로 나타났다.

$B/h=0.44$ 에서 블록의 크기에 따른 반사율의 차이는 작은 블록에서 평균 3.17 %의 감소 효과를 보였다. $B/h=0.89$ 의 실험에서 반사율은 큰 블록에서 평균 6.98 %의 감소를 나타내었고 경사 형식에서는 작은 블록의 반사율 감소 효과가 더 크게 관찰 되었다.

2) Slit 실험에서 Toida와 Kubo(1975)의 연구와 같이 같은 유공율의 조건에서는 Slit의 폭이 넓을 때 전달율이 크게 나타났으며 유공율 50 % Slit 폭 0.02 m의 Slit에서 가장 큰 전달율이 측정 되었다.

3) 소파 블록 내장 케이슨의 실험에서 반사율은 모든 구조물 폭의 조건에서 $d_{50}/h=0.16$ 의 큰 블록일 경우의 반사율이 평균적으로 낮게 측정 되었다. 특히 $B/h=1.1$ 의 조건의 경우 주기에 따른 반사율의 증가는 3.58 %로 아주 낮은 증가율을 보였다.

4) 일반적인 Slit 케이슨의 반사율과 소파블록 내장케이슨의 반사율을

비교하였을 때 소파 블록 내장 케이슨은 전체 적으로 낮은 반사율을 보이며 0.6 이하의 반사율을 가지는 B/L 의 영역이 확대 되었다.

소파 블록 내장 케이슨은 일반 Slit 케이슨과 비교하여 실험에서 주어진 모든 B/L 의 영역에서 더 나은 반사율 감소 효과를 보였다.

블록의 투수성이 반사율의 감소에 영향을 미친다는 것을 고려하였을 때 내장 블록의 유효율이 큰 블록을 사용한다면 소파블록 내장 케이슨의 효과는 더 커질 것이라 판단된다.

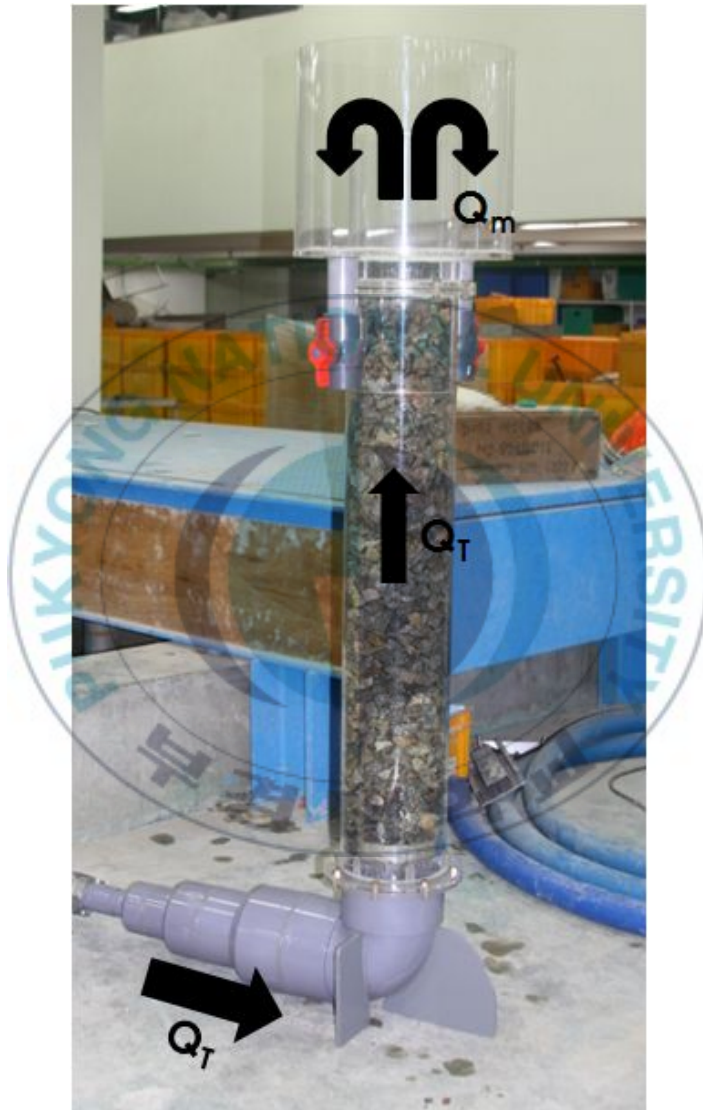


참 고 문 헌

- 김홍진(2005). 태풍에 의한 사석경사제의 수리학적 안정성에 관한 연구, 부경대학교 박사학위논문, pp 82-94.
- 이종인, 조지훈(2001). 종 SLIT형 케이슨 방파제의 반사특성 한국해양해양공학회지 13권 4호. pp 263-272.
- 손병규, 김홍진, 안희춘(2005). 경사식 방파제의 형상에 따른 월파량 및 반사율 실험 연구 한국해양공학회지 19권 2호. pp 34-39.
- 전충녕(2005). 유공 slit 케이슨의 수리학적 특성연구 석사학위논문, pp 52-61.
- Madsen, P.A. (1983). Wave reflection from a vertical permeable wave absorber. Coastal Engineering, Volume 7, pp 381-396
- Mallayachari, V. and Sundar, V.(1994). Reflection characteristics of permeable seawalls. Coastal Engineering, Volume 23, pp 135-150
- Neelamani, S. and Sandhya N.(2002). Wave reflection characteristics of plane, dentated and serrated seawalls. Ocean Engineering, Volume 30, pp 1507-1533.
- Suh, K.D. and Park W.S.(1995). Wave reflection from perforated-wall caisson breakwaters. Coastal Engineering, Volume 26, pp 177-193.
- Suh, K.D. and Park W.S.(2006). Wave reflection from partially perforated-wall caisson breakwater. Ocean Engineering, Volume 33, pp 264-280.
- Tanimoto, K. Haranaka, S and Takahashi, S., Komatsu, K., Todoroki, M. and Osato, M., (1976). An experimental investigation of wave reflection, overtopping and wave forces for several types of breakwaters and seawall. Tech. Note of port and Harbour.Res.Inst., Ministry of Transport, Japan, No. 246, pp 38 .

부 록

Experiment snapshot



Transmission velocity experiment set-up.



B=0.2m, TTP 72 g (nonslit)



B=0.2m, TTP 265 g (nonslit)



B=0.2m, TTP 380 g (nonslit)



B=0.3m, TTP 72 g (nonslit)



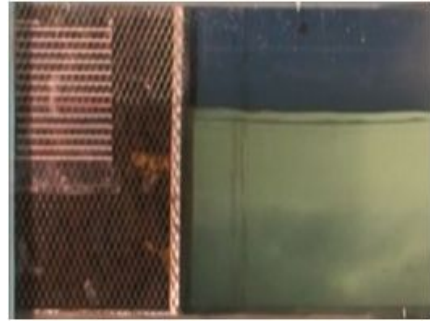
B=0.3m, Riprap 65 g (nonslit)



B=0.3m, sealock 75 g (nonslit)



B=0.4m, TTP 72 g (nonslit)



B=0.4m, TTP 380 g (nonslit)



Slope 1: 1.5, TTP 72 g
(nonslit)



Slope 1: 1.5, TTP 380 g
(nonslit)



Dissipation block caisson, $B=0.2$ m,
TTP 72 g



Dissipation block caisson, $B=0.2$ m,
TTP 380 g



Dissipation block caisson, $B=0.3$ m,
TTP 72 g



Dissipation block caisson, $B=0.3$ m,
TTP 380 g



Dissipation block caisson, $B=0.4$ m,
TTP 72 g



Dissipation block caisson, $B=0.4$ m,
TTP 380 g



Dissipation block caisson, $B=0.5$ m,
TTP 72 g



Dissipation block caisson, $B=0.5$ m,
TTP 380 g

감사의 글

해양공학이라는 분야에서의 6년의 기간 동안 많은 일들이 있었고 학위를 마치기까지 큰 힘을 주신 분들이 너무나도 많습니다.

먼저 지금까지 저에게 큰 가르침을 주시고 언제나 저에게 힘이 되어 주신 류청로 교수님께 진심으로 감사드리고 싶습니다. 그리고 짧지 않은 기간 동안 유체, 해양 분야에서 큰 가르침을 주신 김헌태 교수님, 이인철 교수님, 윤한삼 교수님 감사합니다. 그리고 구조 및 재료 분야에서 많은 가르침을 주신 류연선 교수님, 김정태 교수님, 나원배 교수님 그리고 해양과 토질분야에서 가르쳐주신 윤길수 교수님, 김운태 교수님께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

연구실을 처음 들어와 지금까지 도움을 주시고 마지막까지 관심을 가지고 도움을 주시며 김홍진 박사님께 감사합니다.

연구실에서 항상 도움을 주시는 류승우 선배, 전용호 선배, 이경선 선배에게 감사드리고 언제나 격려를 해주시는 유창일 선배, 박효봉 선배, 정철훈 선배에게도 고마움을 전하고 싶습니다.

연구실에 들어와 언제나 저에게 큰 힘이 되어준 최진휴 군이 없었다면 지금의 제가 없었을 것이라 생각합니다. 그리고 석사2년 동안 함께 생활하며 의지가 되어준 박 순 선배님과 정종철 군에게도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 이제 2년차가 되는 연구실 후배 김준호 군, 박정현 군, 이재훈 군에게도 그동안의 고마움을 전하고 싶습니다.

늦은 밤까지 마지막 실험을 도와준 이승택 군과 최창열 군에게 고맙다는 말을 전합니다. 그리고 연구실에 들어와 지금까지 함께 고생해온 모든 실험실 후배에게 고마움을 전하고 싶습니다. 또한 해양공학과의 모든 선후배 분들께 감사드립니다.

마지막으로 본 논문을 완성하기까지 늘 지켜 봐주신 부모님과 동생 그리고 모든 가족 분들께 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.