

# 플랩형 부유 방파제의 파랑 반사 및 전달 특성

## Wave Reflection and Transmission Characteristics of Flap-type Floating Breakwaters

정신탉\*, 박우선\*\*, 김정대\*\*\*

Shin Taek Jeong, Woo Sun Park, Jeong Dae Kim

### Abstract

Three kind of system composed with buoyant flap hinged at the sea floor are modeled experimentally. The mechanically coupled system provides shelter by reflecting incident waves and by attenuating wave energy through structural and viscous damping. The characteristics of wave reflection, transmission and dynamic angle of the flap oscillation for various conditions were investigated. The structure can minimize wave transmission by attaching offshore wing wall.

*Key words:* buoyant flap, structural and viscous damping, wave reflection and transmission, angle of the flap oscillation, offshore wing wall

### 요 지

저면에 힌지로 연결된 3종류의 부유 플랩 시스템을 대상으로 수리모형실험을 실시하였다. 이 시스템은 입사파를 반사시키고, 구조적 감쇄 및 점성 감쇄를 이용하여 파랑에너지를 감소시켜 차폐 해역을 제공한다. 다양한 파랑조건에 대하여 파랑의 반사, 전달, 플랩의 회전각 등을 분석하였다. 외해 날개벽을 부착한 형태가 파랑의 전달을 최소화시킬 수 있다.

**핵심용어 :** 부유 플랩, 구조적 감쇄 및 점성 감쇄, 파랑의 반사 및 전달, 플랩의 회전각, 외해 날개벽

### 1. 서론

Sollitt 등(1986)은 해저 바닥에 힌지로 연결된 부유식 구조물의 거동에 대한 수치 및 수리모형 실험을 실시하여, 구조물의 거동 및 반사파와 전달파의 관측 및 분석 등을 실시한 바 있다. 한편, 서와 지(2006)는 고유함수전개법을 이용하여 다열 커튼월 파일 방파제로부터의 규칙파의 반사율과 투과율을 산정하고, 조와 고(2007)는 Bennett et al.(1992)가 제안한 방법을 이용하여 원형 파일 방파제에 의한 반사율과 투과율을 산정하였다.

본 연구에서 검토한 플랩형 부유방파제는 평상시에는 해저면에 가라 앉아 있다가 고조가 발생하면 공기압을 이용하여 부상시켜 만 또는 항을 외해로부터 차단할 수 있도록 고안된 형태로서,

\* 정회원 · 원광대학교 토목환경도시공학부 교수 · E-mail : [stjeong@wonkwang.ac.kr](mailto:stjeong@wonkwang.ac.kr)

\*\* 정회원 · 한국해양연구원 항만·연안공간연구사업단 책임연구원 · E-mail : [wspark@kordi.re.kr](mailto:wspark@kordi.re.kr)

\*\*\* 정회원 · 원광대학교 토목환경도시공학부 공학박사 · E-mail : [coastal@wonkwang.ac.kr](mailto:coastal@wonkwang.ac.kr)

내외 수위차를 부력으로 평형을 이루도록 구상된 작동원리를 이용하였다. 이 구조물의 작용원리는 다음과 같다. 정상시에는 구조물내에 물이 채워진 상태로 해저에 가라 앉혀 두었다가, 태풍이나 저기압에 의한 고조 발생이 예상되면 구조물내의 물을 압축공기를 이용하여 배수시킨다. 구조물내 물이 밖으로 배출되고 공기로 채워지면 부력이 커져서 구조물이 자립하게 된다. 이어서 외해로부터 고조가 진입하면 외해측 수위가 증가하게 되고 이에 의해 구조물이 회전하게 되어 부력이 변화하게 되고 결국 구조물에 작용되는 부력과 평형을 이루게 된다. 고조가 물러간 후 구조물내측의 물을 채워 넣게 되면 해저로 원위치하게 된다. 이 구조형식은 구조물에 작용하는 단주기 파랑 하중을 구조물의 회전 관성력과 회전에 따른 부력변화 및 감쇠력 등으로 지지하게 된다.

본 연구에서는 플랩형 부유 방파제 본체와 날개벽 등으로 구성된 3가지 형상의 모형을 제작하여 수리모형 실험을 실시하였다.

## 2. 수리모형실험

### 2.1 실험수조 및 조파기

수리모형실험은 한국해양연구원 평면 수조실에 설치된 개수로 시스템에서 수행되었다(그림 2. 참조; 수로의 길이는 53.15 m, 높이 1.25 m, 폭 1.0 m).

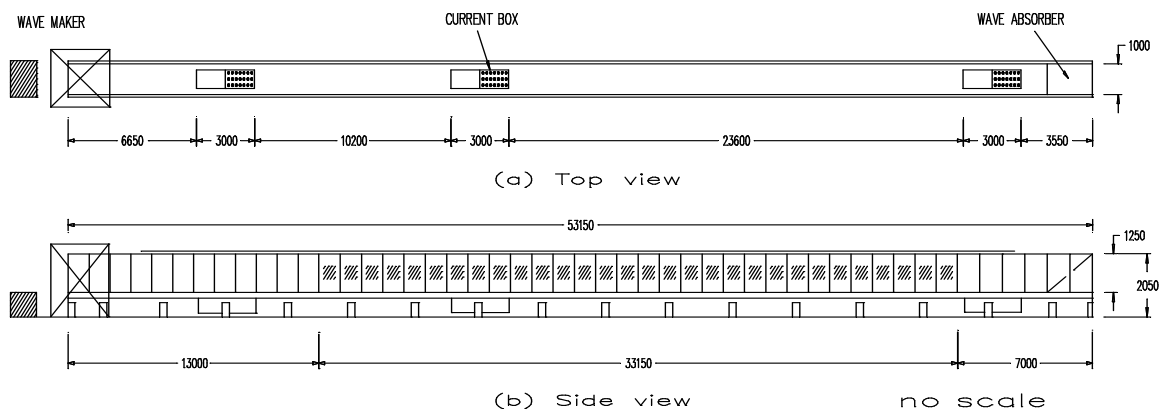


그림 2. 실험수조의 모식도

### 2.3 모형 제작 및 설치

플랩형 부유 방파제는 3mm철판을 이용하여 제작하였으며 Case 1에서 3가지 그림 3에 나타내었다.



그림 5 플랩형 부유 방파제 모형

## 2.5 실험조건 및 계측

표 1은 실험에 이용된 36종류의 규칙파 제원을 나타내고, 표 2는 4종류의 불규칙파 제원을 나타낸 것이다. 수심은 50cm로 고정하였다.

표 1. 실험에 이용된 규칙파 제원

파고(cm)	주기(s)											
	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

표 2. 실험에 이용된 불규칙파 제원

$H_{1/3}$ , 파고(cm)	$T_{1/3}$ , 주기(s)			
	1.0	1.4	1.8	2.2
2	○	○	○	○

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 정적 평형위치

정적 평형위치는 구조물의 자중과 방파제 내외측 수압차에 의한 회전모멘트가 서로 평형을 이루는 조건을 사용하여 결정할 수 있다. 임의의 구조형상과 수심 조건에 대해서 평형위치를 찾아낼 수 있는 프로그램을 FORTRAN과 MATLAB을 이용하여 개발하였다. 3가지 형상의 모형에 대하여 이 프로그램을 이용하여 해석한 결과와 모형실험시 관측한 결과를 표 3.에 제시하였다. 관측치와 계산치가 잘 일치하고 있다.

표 3. 정적 평형위치 비교

경우	수심(m)		회전각(도)		비 고
	내측	외측	관측치	계산치	
Case 1	0.5	0.5	40.0	39.6	연직선에서 시계 방향으로 관측한 회전각
Case 2	0.5	0.5	37.5	39.0	
Case 3	0.5	0.5	41.5	41.4	

### 3.2 반사 특성

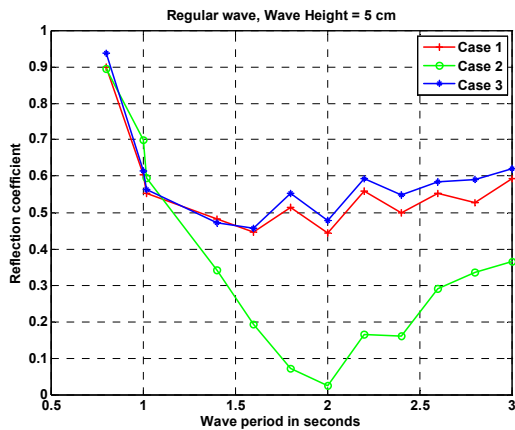


그림 6. 반사계수(규칙파, 파고= 5 cm)

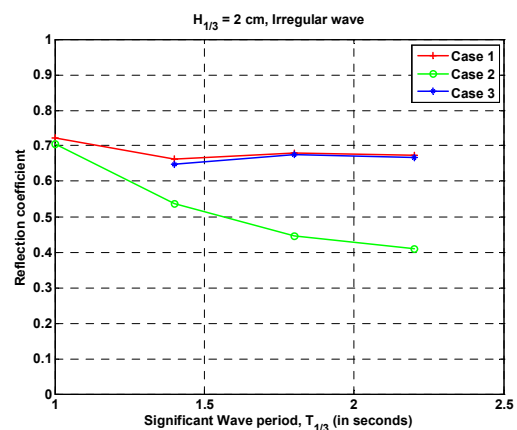


그림 7. 반사계수(불규칙파)

### 3.3 전달 특성

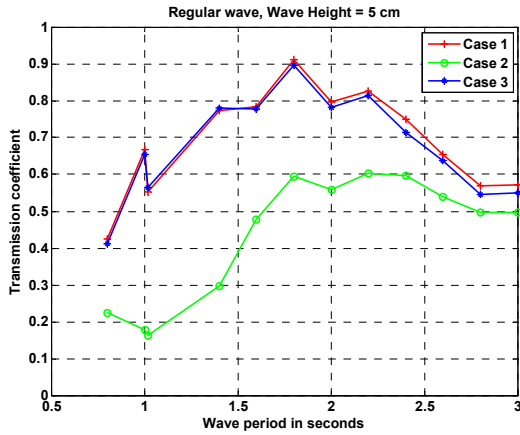


그림 8. 전달계수(규칙파, 파고= 5 cm)

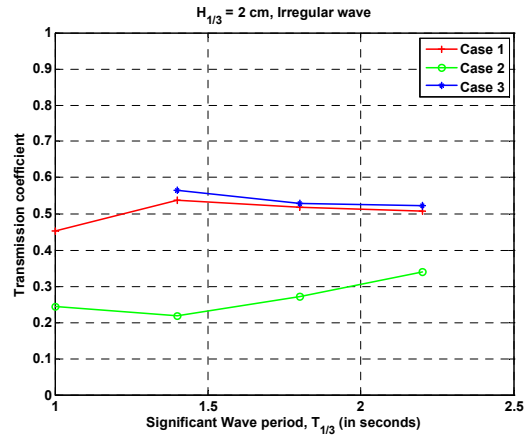


그림 9. 전달계수(불규칙파)

### 3.4 회전 응답 변위 특성

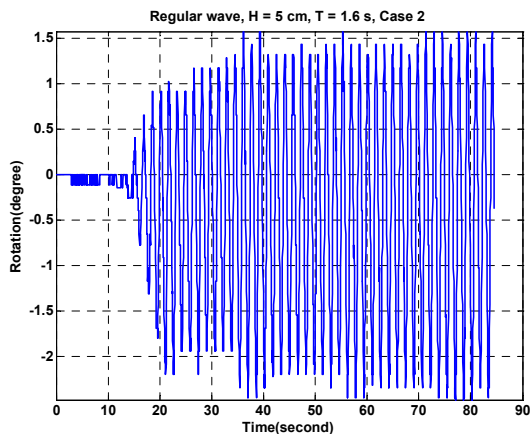


그림 10. 회전응답 변위(Case 2 규칙파, 파고=5 cm, 주기=1.6 s)

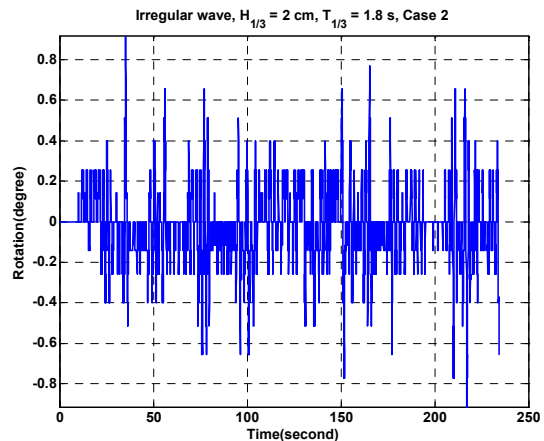


그림 11. 회전응답 변위(불규칙파, Case 2)

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 저면에 힌지로 연결된 부유 플랩 시스템을 대상으로 수리모형실험을 실시하였다. 모형은 부유형 플랩 본체만 설치한 Case 1, 본체와 외해쪽 날개판을 설치한 Case 2, 본체와 내해쪽 날개판을 설치한 Case 3 등 3종류를 제작하였다.

수리모형실험은 한국해양연구원 평면 수조실에 설치된 53.15 m 개수로 시스템에서 수행되었다. 조파기는 유압펌프에 의해 작동하는 피스톤형으로 최대 이격거리가 ±50cm이며, 조파기의 후면과 수조의 하류 쪽 끝에는 경사식 소파장치가 설치되어 있다.

임의의 구조형상과 수심 조건에 대해서 평형위치를 찾아 낼 수 있는 프로그램을 개발하였다. 수조에서 관측한 모형의 정적 평형위치를 계산치와 비교한 결과 양호한 결과(표 3 참조)를 얻었다.

3종류의 모형을 대상으로 36종류의 규칙파와 4종류의 불규칙파를 이용하여 모형실험을 실시하였다(표 1, 2 참조). 규칙파에 의한 반사 특성을 검토한 결과 입사 파고 변화와 방파제 구조형식 변화(Case 1, 2, 3)에 대한 결과를 비교해 보면, 입사파고가 증가할수록 반사율이 감소하는 경향이

있음을 알 수 있으며, 외해측에 날개판을 부착한 Case 2의 경우 Case 1과 3에 비하여 상당히 다른 경향을 보임을 알 수 있다. 선형 거동을 하는 경우 파고에 따라 반사특성이 동일하게 유지되어야 됨을 고려해 볼 때, 본 Flap 형 구조물은 비선형성이 비교적 강한 구조형식으로 판단할 수 있다. 본 시스템의 비선형성으로는 부력에 의한 회전강성의 변화, 비교적 큰 회전각 등을 생각할 수 있다. 파고가 클수록 반사계수가 작아지는 원인중의 하나로 베어링으로 구성된 힌지 부분에서의 마찰력에 의한 추가적인 저항력을 생각하고 있다. 외해측에 날개판을 부착한 Case 2의 반사특성이 두 경우와 많이 다른 것은 내해 측에 날개판을 부착한 Case 3의 경우 Case 1의 경우와 크게 다르지 않은 경향을 보임으로 판단해 볼 때, 주로 날개판에 작용하는 파압에 기인된 것으로 볼 수 있다(그림 6 참조). 불규칙파에 대한 반사계수를 비교한 결과, 전체적인 경향은 규칙파의 경우와 같으나 장주기 파 조건으로 갈수록 Case 1과 3은 0.67, Case 2는 0.4 부근으로 수렴하였다(그림 7 참조).

규칙파에 대한 전달계수를 분석한 결과, 입사파고가 증가할수록 전달율이 증가하는 경향이 있음을 알 수 있으며, 외해측에 날개판을 부착한 Case 2는 다른 경우에 비하여 반사특성에서와 같이 비선형 특성이 강하게 나타났다. 파고가 작을수록 전달계수가 작은 것은 반사계수의 경우와 동일한 원인으로 평가된다. 전달특성에 기초하여 판단해 볼 때 외해측에 날개판을 부착한 Case 2가 파랑 차단면에서 성능이 가장 우수한 것으로 평가된다(그림 8 참조). 불규칙파에 대한 전달계수를 비교한 결과, 전체적인 경향은 규칙파의 경우와 같으며, 불규칙파 조건에서도 마찬가지로 외해측에 날개판을 부착한 경우가 가장 우수한 파랑 차단효과를 보이는 것으로 평가되었다(그림 9 참조).

회전응답 변위에 대한 시계열을 분석한 결과, 파고 및 주기의 증가에 따라 응답 변위가 커지는 현상이 잘 재현되었다(그림 10 ~ 그림 11 참조).

차후 수학적 모형을 개발하는 경우, 외해쪽에 부착된 날개판에 의한 에너지 손실을 충분히 고려하여야 할 것으로 사료되며, 또한 이들 모형실험결과는 수치모형결과의 검증용으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역특성화연구개발사업(C105E1020001-06E020200210)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 서경덕, 지창환 (2006). 다열 커튼월 파일 방파제에 의한 규칙파의 반사 및 투과. 한국해양·해양공학회지, 18(2), 97-111.
- 조일형, 고희준 (2007). 원형 파일 방파제에 의한 반사율과 투과율. 한국해양·해양공학회지, 19(1), 38-44.
- Bennett, G.S., Meiver, P. and Smallman, J.V. (1992). A Mathematical model of a slotted wavescreen breakwater. Coastal Engineering. 18, 231-249.
- Sollitt, C.K., Chung-Pan L., William, G.N., and Thomas, J.P. (1986). Mechanically Coupled Buoyant Flaps: Theory and Experiment. Coastal Engineering, 2445-2459.
- 畠田良實 (1987). 수치 simulation에 의한 파랑의 표준 spectral과 통계적 성질. 제34회 해안공학강연회 논문집, 131-135.