

S-소단 경사식 방파제에서의 처오름에 대한 실험연구

Experimental study on Run-up of S-berm-Typed Rubble Mound Breakwaters

안태준*, 박승현**, 장원재***, 조용식****

Tae Jun Ahn, Seung Hyuun Park, Won Jae Jang, Yong Sik Cho

Abstract

In this study, the run-up of water waves on slopes of s-berm breakwaters was investigated by performing a series of hydraulic experiments. The run-up height was analyzed in detail by using the effects of wave steepness and surf similarity parameter.

In general, the run-up heights were decreased as the height and the width of berm were increased. However, the variation of run-up height was small for change of wave steepness and surf similarity parameter.

Keywords : s-berm, run-up height, hydraulic experiment, wave steepness, surf similarity parameter

1. 서론

심해에서 발생하여 해안으로 접근한 파랑은 항만구조물 및 연안에 건설되어진 해안구조물과 접촉하면서 처오름, 월파, 반사, 전달 등의 여러 가지 물리적 현상을 발생시킨다. 그 중 파랑의 처오름높이는 호안이나 방파제, 제방 등의 해안구조물의 설계 시 중요한 자료 중 하나이다. 처오름높이는 항만시설 뿐만 아니라 연안에 건설되는 화력발전소와 원자력발전소 등과 같은 해안구조물의 높이를 결정하고 해안선 근처에서의 범람구역 설정, 방파제의 높이 결정, 안전성을 검토하는데 반드시 고려되어야 한다. 방파제의 처오름높이에 관한 연구는 수리모형실험과 수치모형실험에 의한 방법 등을 통한 여러 연구가 진행되어 왔다. 국내에서는 대부분 테트라포드를 피복재로 이용한 사석경사식 방파제를 많이 사용하고 있다. 또한 Hudson 식과 Van der Meer 식을 사용한 사석경사식 방파제의 설계는 물리적, 이론적 연구가 뒷받침해 주고 있다. 하지만 s-소단 방파제의 연구는 미비한 실정이다. 여러 연구를 통해 전형적인 경사식 방파제보다 s-소단 방파제가 더욱 안정하며 기능 또한 우수함을 증명하고 있다.

본 연구에서는 테트라포드로 피복한 s-소단 경사식 방파제에 소단의 높이와 폭을 변화시키며 구조물에 의한 불규칙파랑의 처오름높이를 측정하였다. 측정결과를 파형경사, 쇄파계수(surf similarity parameter) 등의 수리학적 요소들과 처오름높이와의 관계에 대하여 분석하였다.

* 정회원 · 세광종합기술단 해안기술연구소 E-mail : atjguy@hanmail.net

** 정회원 · 한양대학교 · 석사과정 · E-mail : pshaq@hanmail.net

*** 정회원 · 한양대학교 · 석사과정 · E-mail : guccio888@nate.com

**** 교신저자 · 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

2. 실험장비 및 실험조건

본 수리모형실험은 한양대학교 해안공학실험실에 위치한 단면실험수로에서 수행하였다(그림. 1). 단면실험수로는 폭 0.6m, 높이 1.1m, 길이 32.5m의 수로와 전기서보 피스톤식 조파기로 구성되어 있으며, 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 또한, 조파판 전면에 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 독취된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장치가 설치되어져 있다.

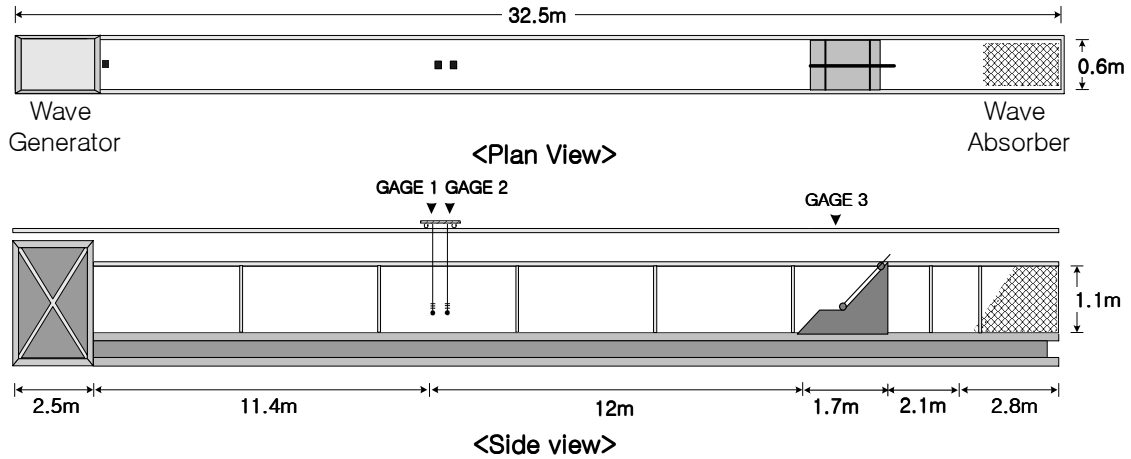


그림 1. 단면수로

수리모형실험에 사용된 일방향 불규칙파는 식 (1)과 같은 Bretschneider-Mistuyasu 스펙트럼(Goda, 2000)을 목표 스펙트럼으로 설정하여 일방향 불규칙파를 재현하였다.

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^4 f^{-5} \exp[-0.75 (T_{1/3} f)^{-4}] \quad (1)$$

여기서, $S(f)$ 는 주파수 스펙트럼, $H_{1/3}$ 는 불규칙파의 유의파고, $T_{1/3}$ 는 유의주기이며, f 는 주파수를 나타낸다. 불규칙파의 특성을 나타내기 위해서는 충분한 시간동안 조파되어야 하기 때문에, 수리모형실험에서는 최소 500파 이상의 자료를 사용하였다. 또한 정확한 처오름높이의 계측을 위해서 위의 그림 1의 Gage3을 설치하였다. 파고계를 두 개의 수평지지봉과 한 개의 수직지지봉을 이용하여 사면경사에 근접시켜 사면에서의 수면변화 측정의 오차를 최소화하였다.

본 수리모형실험에서 경사식 방파제의 조파판으로부터 약 23.4m 떨어진 곳에 설치되었으며, 사면 경사는 1:1.5로 일정하게 유지시켰다. 체체사면은 테트라포드(T.T.P.), 중간 피복석 및 속채움 사석으로 이루어져 있으며, 테트라포드와 중간피복석의 피복 두께는 각각 0.08m와 0.02m이다. 테트라포드의 중량은 모형상 220g이며, 중간 피복석의 중량은 21.8g이며, 평균입경 0.015m이다. 속채움 사석은 평균중량 1.4g, 평균입경 0.01m의 쇄석이다.

s-소단 경사식 방파제의 소단 높이(h)는 0.35~0.45m의 범위로 0.05m씩 변화시켰으며, 소단의 폭(B)은 0.2m에서 0.6m까지 0.2m씩 변화시키며 실험을 실시하였다. Fig. 3은 방파제의 모식도이다.

본 수리모형실험에 적용된 입사파는 불규칙파이며, 입사파랑의 유의주기는 1.2~2.2초 범위로 0.2초 간격으로 변화시켰으며, 유의파고는 0.01~0.08m 범위로 0.01m 간격으로 변화시켰다. 수심은 0.5m로 동일하게 적용하였으며, 마루높이를 충분히 높게 하여 월파는 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 또한 s-소단이 stable berm이라는 가정 하에 실험을 실시하였다(표 1 참조).

표1. Case별 실험조건

No.	Variable	Expression	Range
1	Wave height	H	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8cm
2	Wave period	T	1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2sec
3	Berm Width	B	20, 40, 60cm
4	Berm Height	h	35, 40, 45cm
5	Water depth	d	50cm
6	Crest height		90cm
7	Crest width		60cm
8	Initial slope above the berm		1:1.5

3. 실험결과

그림 2~그림 5는 단순사면과 S-berm 방파제의 실험결과를 나타낸 것이다. 실험에서 얻어진 결과를 쇄파계수 (ξ), 반사계수에 따른 처오름높이에 대하여 도시하였다. 분석결과는 처오름값을 유의파고로 나누어 무차원화 시킨 후, 그 값을 상위 2%와 상위 33.33%에 대하여 비교 분석하였다. 상위 2%의 분석은 방파제의 설계시 최악조건인 설계 기초자료가 되며, 33.33%의 분석은 경제적 방파제 설계의 기초자료가 된다.

파형경사는 파고와 파장의 비를 나타낸 변수로서 파고를 파장으로 나눈 값 H/L 으로 정의되며, 파형경사는 입사파의 특성을 나타내는 중요한 변수이다. 파형경사 H/L 은 입사파가 불규칙파이므로 $s = \frac{H_s}{L} = \frac{2\pi}{g} \frac{H_s}{T^2_m}$

을 사용하였다. 여기서, T_m 은 평균파주기이며, H_s 는 유의파고이다. 그림. 2~그림. 4는 파형경사에 대한 각각 소단의 폭(B)과 높이(h)에 따른 상대 처오름높이 실험결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이, 파형경사 변화에 따른 처오름높이의 변화 관계는 적은 것을 볼 수 있다. 즉, 동일 구조형상에서 파형경사가 증가하여도 처오름높이의 증가는 크지 않았다. 파형경사가 증가할수록 어느 한계이후는 상대처오름높이가 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는 파랑과 구조물 사이의 복잡한 상호작용과 구조물의 다공성의 영향으로 인하여 처오름높이의 변화에 대하여 거의 인지할 수 없기 때문으로 보인다. 특히, 본 수리모형실험과 같은 소단의 형식에서는 파랑이 소단을 따라 이동하는 동안 소단에 의한 마찰력과 파랑의 에너지 감소로 인하여 처오름높이의 증가가 크지 않다. 소단의 폭이 증가할수록 처오름높이가 감소함을 볼 수 있으며, 소단의 높이가 증가할수록 처오름높이가 낮아짐을 볼 수 있다.

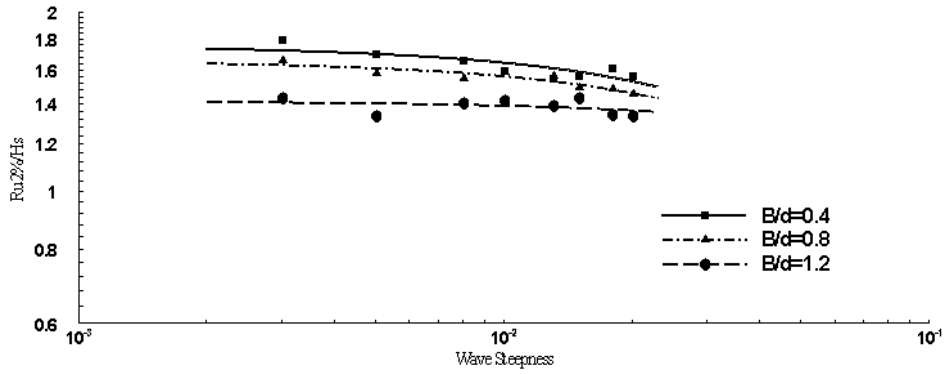


그림 2. Result for upper 2% relative runup ($h/d=0.8$)

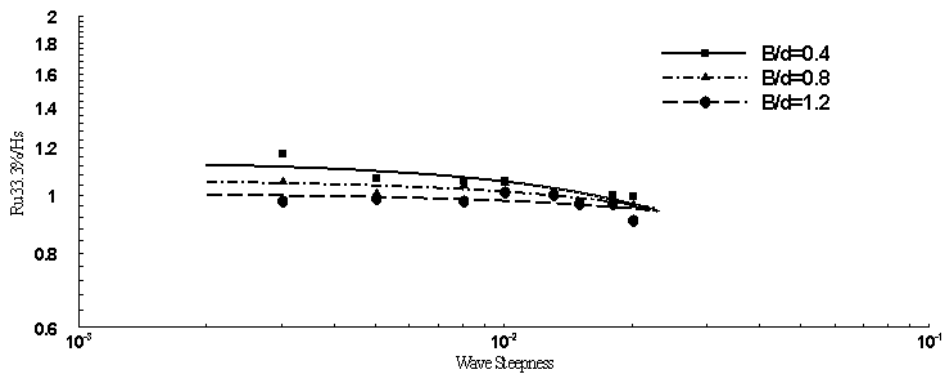


그림 3. Result for upper 33.3% relative runup ($h/d=0.8$)

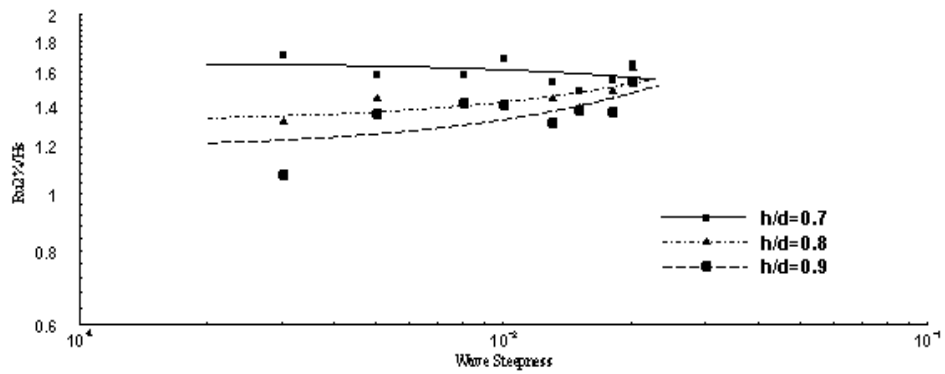


그림 4. Result for upper 2% relative runup ($B/d=0.8$)

처오름높이에 영향을 주는 다른 요소로 쇄파계수(surf similarity parameter, ξ)가 있다. 쇄파계수는 사면에 발생하는 쇄파의 형태를 정의하는 계수로서, 사면에서 발생하는 파랑운동에 대한 주기 영향을 나타내며 식 (2)로 구할 수 있다.

$$\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{(s)}} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{(2\pi H_s / (g T_m^2))}} \quad (2)$$

여기서, α 는 구조물의 경사각, s 는 파형경사, H_s 는 유의파고이며 T_m 은 각각의 입사파(불규칙파)의 평균파의 주기이다(Battjes, 1974).

그림. 5과 그림. 6는 쇄파계수에 대한 각각 소단의 폭(B)과 높이(h)에 따른 상대 처오름높이 상위 2%의 실험 결과이다. 파형경사에 따른 상대처오름 높이 결과에서와 같이 유사한 결과를 보이고 있으나, 쇄파계수가 증가할수록 상대처오름 높이는 일부 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 소단의 폭이 짧아지고, 소단의 높이가 낮을수록 상대처오름높이는 증가함을 알 수 있다.

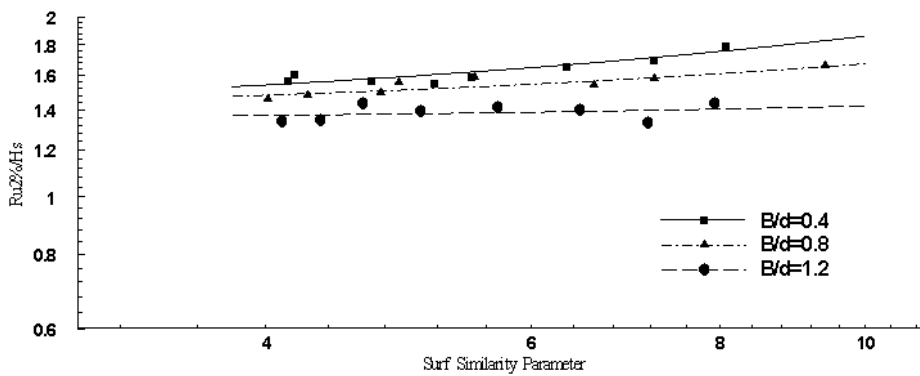


그림 5. Result for upper 2% relative runup ($h/d=0.8$)

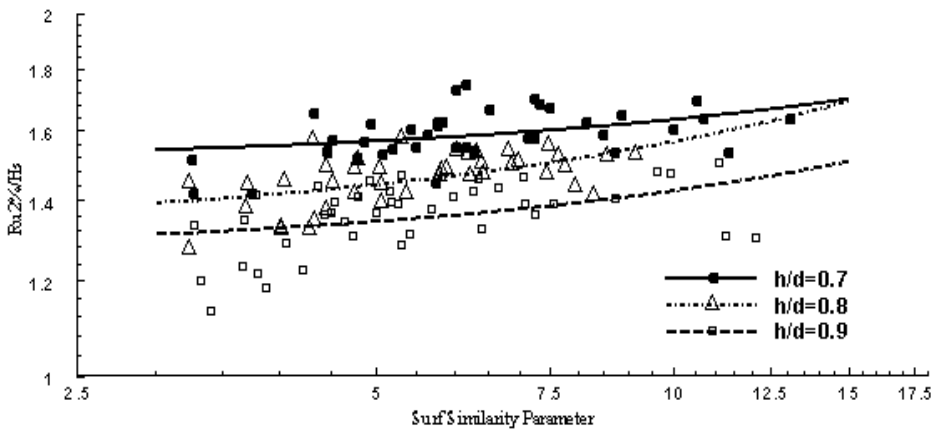


그림 6. Result for upper 2% relative runup ($B/d=0.8$)

4. 결론

본 연구는 테트라포드를 이용한 s-소단방파제의 높이와 폭에 따른 처오름높이에 대한 실험을 수행하였다. 그 결과 소단의 폭이 증가하고 높이가 수면에 가까울수록 처오름높이가 감소함을 알 수 있었다. 또한, 파형경사 및 쇄파계수에 따른 처오름높이의 변화는 크지 않을 것으로 나타났다. 본 연구에서 도출된 결과를 이용하여 s-소단 방파제 설계시 소단의 폭 및 높이에 따른 처오름높이의 예측을 통하여 구조물 마루높이를 산정

하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후 소단 전면에서 발생하는 쇄파의 유형에 대하여 연구를 수행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부(KGSP)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. 이승협(2004). 테트라포드를 이용한 사석경사식 방파제에서의 파랑의 처오름과 월파, 석사학위논문, 한양대학교.
2. 한국건설기술연구원 (2000). 직립유공케이슨 방파제의 반사특성분석. 연구보고서
3. Goda, Y.(2000). Random seas and design of marine structures, University of Tokyo, pp.28.
4. Battjes, J.A.(1974). Surf similarity, Proc. 14th Coast. Engrg. Conf. Vol. 1. ASCE, Reston, VA, pp. 466-480.
5. Shore Protection manual(1984). U.S. Army Coastal Engineering Research Center, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., Vol. II.