

테트라포드를 이용한 S-berm 경사식 방파제의 처오름과 반사

Wave Run-up and Reflection on Slopes of S-berm Breakwaters Armored with Tetrapods

안태준*, 이승협**, 조용식***

Tae Jun Ahn, Seung Hyeob Lee, Yong Sik Cho

Abstract

In this study, the run-up height and reflection property on slopes of S-berm and smooth slopes breakwaters are investigated by laboratory experiment. The run-up height analyzed the effect of reflection coefficient, surf similarity parameter. Measured reflection coefficients of smooth slope breakwaters are compared with those of S-berm breakwater with variable widths. In general, measured coefficients of S-berm breakwaters are smaller than those of smooth slope breakwaters.

Keywords : run-up height, reflection property, wave steepness, reflection coefficient, surf similarity parameter

1. 서론

외해에서 입사하는 파랑은 지형적인 영향으로 인해 파랑의 특성이 변하게 된다. 특히, 해안선 근처의 방조제나 방파제 및 연안구조물을 건설하기 위해서는 파랑의 처오름높이와 반사율의 산정이 매우 중요하다. 처오름높이는 방파제의 천단고의 결정에 중요하며, 반사율은 선박의 안전한 항해와 항내 정온도 유지에 매우 중요한 요소이다. 처오름높이와 반사율에 대한 연구는 현재 우리나라에서 많이 사용하는 단순사면 방파제에 대하여 많은 연구가 이루어졌다. 하지만, 단순사면 방파제는 처오름높이와 반사율의 저감에 한계가 있어 이의 저감을 위한 연구가 수행되어졌다. 최근에는 Bragg 반사에 의한 수중방파제의 반사특성에 관한 연구가 수행되었지만, 그 외의 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 일정수심상에서 투과성 S-berm 방파제와 단순사면 방파제를 설치한 후 파랑의 처오름높이와 반사율을 수리모형실험을 통하여 측정하였다. 입사파는 불규칙파를 사용하였으며 S-berm 방파제에서 berm의 폭을 변화시켜가며 측정한 처오름높이를 쇄파계수, 반사계수 등과 같은 매개변수를 이용하여 단순사면 방파제의 결과와 비교 및 분석하였다.

2. 실험장비 및 실험조건

수리모형실험은 한양대학교 해안공학실험실에 위치한 단면실험수로에서 수행되었으며, 사용한 장비는 그림 1과 같다. 폭 0.6m, 높이 1.1m, 길이 32.5m의 수로와 전기서보 피스톤식 조파기로 구성된 단면 조파장치로서 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있으며, 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있다. 또한,

* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : atjguy@hanmail.net

** 정희원 · 대영엔지니어링 향만부 · E-mail : pachen33@empal.com

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

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.

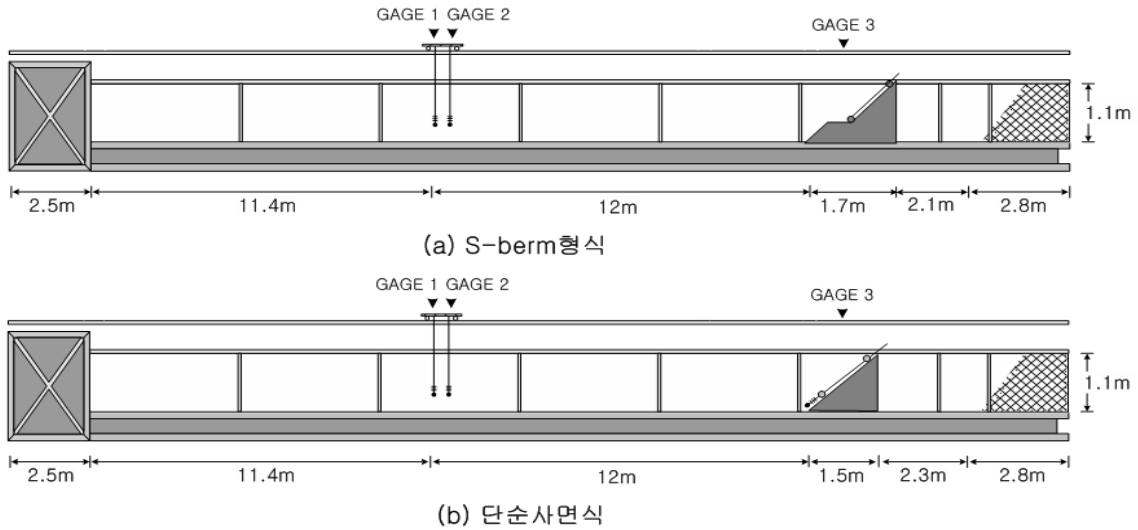


그림 1. 단면수로 개념도

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 500 파 이상의 자료를 사용하였다. 또한, 반사율 측정에서는 수심별, 유의파의 입사주기별로 파고계 간격을 조정하여 실시하였으며 반사율은 제체 전면에 임의 간격으로 설치된 두 개의 파고계로부터 독취된 자료를 바탕으로 Goda 와 Suzuki(1976)에 의해 제안된 2점법을 사용하여 해석하였다. 또한 정확한 처오름높이의 계측을 위해서 위의 그림 1의 Gage3을 설치하였다. 파고계를 두 개의 수평지지봉과 한 개의 수직지지봉을 이용하여 사면 경사에 근접시켜 사면에서의 수면변화 측정의 오차를 최소화하였다. 실험에 사용된 실험조건은 표 1과 같다.

표1. Case별 실험조건

Case	형식	파랑조건	수심
1	단순사면	주기 1.2sec ~ 2.2sec 파고 0.01m ~ 0.08m	수심0.5m
2-1	S-berm(소단폭0.6m)		수심0.5m
2-2	S-berm(소단폭0.4m)		수심0.5m
2-3	S-berm(소단폭0.2m)		수심0.5m

단순사면 방파제의 제원은 경사가 1:1.5이고, Tetrapod(TTP), 피복재와, 사석으로 이루어져 있으며, TTP와 피복재의 두께는 각각 0.08m, 0.02m이다. TTP의 중량은 모형상 220g이며, 피복석은 평균입경 0.04m, 중량 21.8g의 쇄석이다. 방파제 속채움 사석은 평균입경 0.016m, 평균중량 1.4g의 쇄석이다. S-berm 경사식 방파제에서 berm의 높이는 0.45m로 고정시켰으며, berm의 폭은 0.6m부터 0.2m까지 0.2m씩 줄여가며 실험을 실

시하였고, 나머지 구조물의 제원은 단순사면 방파제의 제원과 같게 하였다.

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.

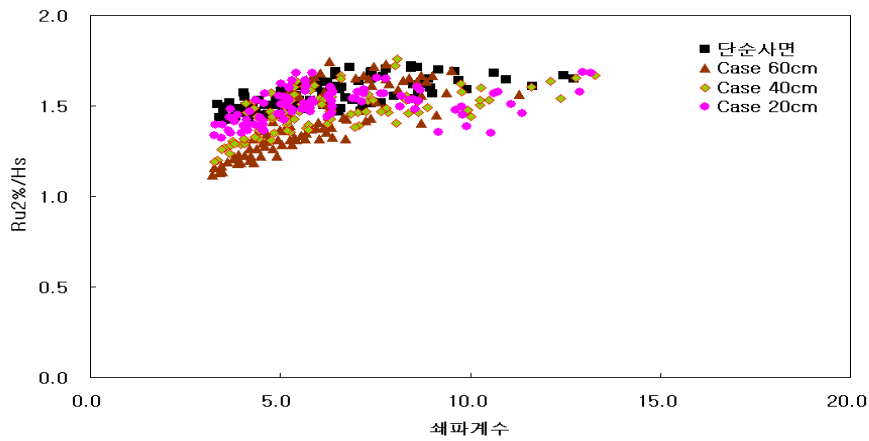


그림 2. 쇄파계수에 따른 처오름높이(Ru2%)

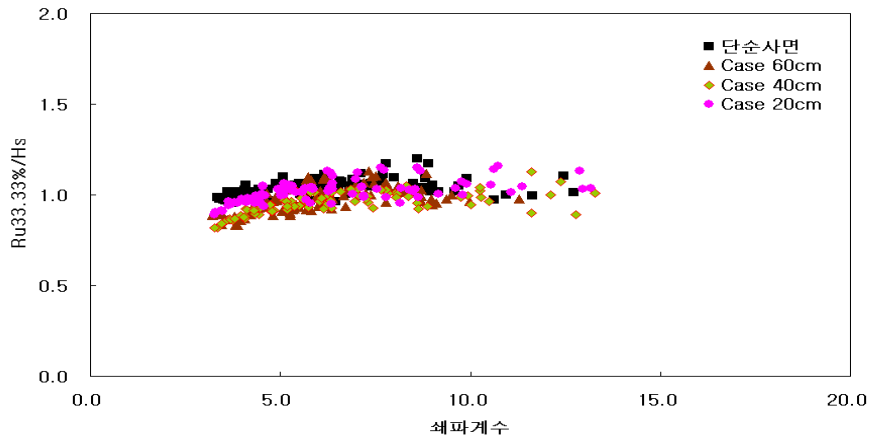


그림 3. 쇄파계수에 따른 처오름높이(Ru33.33%)

쇄파계수는 사면에 발생하는 쇄파의 형태를 정의하는 계수로서, 사면에서 발생하는 파랑운동에 대한 주기 영향을 나타내며 다음의 식 (2)로 구할 수 있다.

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

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

그림에서와 같이 berm의 길이가 증가할수록 처오름높이가 감소됨을 알 수 있다. 또한, 쇄파계수의 값이 3.0에서부터 5.0까지 증가되면 처오름높이가 어느 정도 일정하게 유지됨을 보여주고 있다. 이는 berm의 거친 투과성 표면에서의 에너지 분산과 테트라포드를 이용한 피복의 다공성으로 인해 파랑의 처오름높이가 더 이상 증가되지 않는 것으로 판단된다.

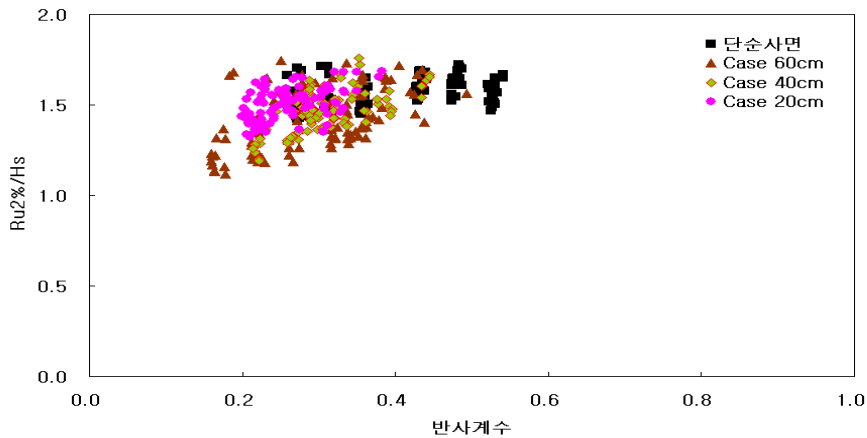


그림 4. 반사계수에 따른 처오름높이(Ru2%)

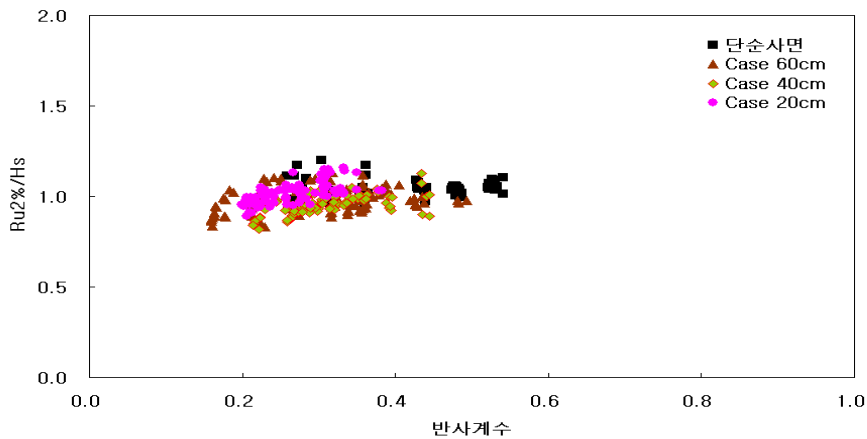


그림 5. 반사계수에 따른 처오름높이(Ru33.33%)

파랑의 반사는 심해에서 발생한 파랑이 해안으로 접근한 후 해안구조물(coastal structure)에 반사되어 나가는 현상을 의미한다. 이러한 반사는 처오름높이에 많은 영향을 주는 매개변수 중 하나이다.

반사계수는 K_r 로 나타내며 이는 반사파고(H_r)에 대한 입사파고(H_i)의 비로 정의된다.

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (3)$$

그림에서와 같이 각 Case의 변화에 따라 반사계수가 전체적으로 감소하며, 그에 따른 처오름높이도 감소

하는 경향을 보이고 있다. 특히, berm의 폭이 증가할수록 반사계수가 감소되는 것을 알 수 있으며, 반사계수 값이 0.2 이하로 내려가면서 반사율의 저감에 큰 효과를 내고 있음을 알 수 있다. 이는 berm의 설치로 인하여 파랑이 입사할 때 쇄파가 발생하며, 그에 따른 파랑의 에너지 감소로 반사율이 현저히 감소되는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 단순사면 방파제와 S-berm 경사식 방파제의 처오름높이 및 반사특성을 검토하기 위해 수리모형실험을 실시하였다. 수리모형 실험에서 얻어진 결과는 쇄파계수와 반사계수의 영향에 대하여 비교 및 분석하였다. 그 결과 berm의 폭이 증가할수록 단순사면에 비해 처오름높이가 감소하였으며, 반사율 또한 감소되어짐을 알 수 있었다. 이는 berm의 설치로 인하여 쇄파가 발생하며, 그에 따른 파랑의 에너지감소로 처오름높이 및 반사율의 저감이 일어났다고 판단된다. 본 실험의 결과는 방파제 설계 시 기초자료로서 사용가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이승협(2004). 테트라포드를 이용한 사석경사식 방파제에서의 파랑의 처오름과 월파, 석사학위논문, 한양대학교.
2. 조용식, 이종인, 김영택(2002). 사각형형상 수중방파제의 반사에 관한 수리실험, 한국수자원학회논문집, 제 35권 제6호, pp.563-573.
3. 이종인, 함장호, 안춘성, 조지훈(2000). 직립유공케이슨 방파제의 반사특성분석, 연구보고서, 한국건설기술연구원.
4. Goda, Y.(2000). Random seas and design of marine structures, University of Tokyo, pp.28.
5. Battjes, J.A.(1974). Surf similarity, Proc. 14th Coast. Engrg. Conf. Vol. 1. ASCE, Reston, VA, pp. 466-480.
6. Shore Protection manual(1984). U.S. Army Coastal Engineering Research Center, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., Vol. II.