호안 경사와 인공사석의 배열이 파랑에너지에 미치는 영향 분석

Analysis of the Wave Energy Reduction Effect by Varying Coastal Slopes and Artificial Riprap Arrangements

김하룡* · 정태화** · 정상만*** · 김기동****

Kim, Hayong · Jung, Taehwa · Jeong, Sangman · Kim, Keedong

Abstract

The occurrence of beach erosion has been considered as a significant problem in many countries, which poses a great threat and should be addressed accordingly to avoid further complications. Existing revetment structures for coastal protection are insignificant in reducing the wave energy in coastal areas, in addition, generate collapsing of the revetment structures by bed scouring, and form gravel layers with beach erosion by reflected waves. Various types of pervious structures are used to reduce wave energy, but studies on the influence of both the friction area and void fraction of riprap arrangements on the reduction of wave energy are insufficient. Therefore, this study analyzed the wave energy reduction effects of varying coastal slopes and artificial riprap arrangements. It was observed that the artificial riprap arrangements yield to the increase of varying friction area and void fraction. The results of this study showed that the coastal slope is inversely proportional to the wave energy reduction effect. Furthermore, the riprap arrangement portrays a significant role to reduce the wave energy.

Key words : Wave energy, Hydraulic model test, Friction area, Voids rate, Artificial shore protection, Reflexibility, Wave run-up

요 지

해안침식(Beach erosion)은 많은 나라에서 중요한 해안공학적인 문제로 취급되어져 왔다. 현재 국내 연안에 시공된 호안구조물은 파랑에너지 감소 효과가 미미하며 호안 구조물의 저면 세굴로 인한 구조물 붕괴, 반사파에 의한 주변해빈 침식으로 자갈층이 형성되는 문제점 등을 발생시키고 있다. 파랑의 에너지를 제어하기 위하여 다양한 형태의 투수성 구조물들이 사용되지만 구조물의 제원과 사석의 배열이 파랑에너지 저감에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 수행된 사례가 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 마찰면적과 공극률을 증가시킨 인공사석들에 대하여 구조물 경사와 배열을 달리하여 수리모형실험을 수행하여 이러한 요소들이 파랑에너지에 미치는 영향을 검토해보았다. 그 결과, 완경사에서 파랑에너지 감소 효과가 좋으며 사석의 배열이 파랑에너지 감소에 중요한 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 파랑에너지, 수리모형실험, 마찰면적, 공극률, 인공사석, 반사율, 처오름

1. 서 론

해안침식(Beach erosion)은 최근에 발생한 문제가 아니며 미국, 일본, 네덜란드 등의 선진국들에서는 과거 수십년 전부터 중요한 해안공학적인 문제로 취급되어져 왔다. 현재 우리나라도 역시 국내 연안에 시공된 호안구조물의 파랑에너지가 감소 효과가 미미하며 호안 구조물의 저면 세굴로 인한 구조물 붕괴, 반사파에 의한 주변해빈 침식으로 자갈층이 형성되는 문제점 등이 빈번하게 발생하고 있다(국토해양부, 2010).

연안을 따라 인구밀집과 국가기반 시설물들이 건설되고 있는 여건상 각종 재해로부터 연안지역을 보호하는 문제는 국가적으로 매우 중요한 문제이며 파랑에너지를 효율적으로 제어하여 연안시설을 보호하는 방법에 관한 연구가 필히 선행되어야 한다. 사석구조물의 안정성에 대한 연구는 Thompson and Shuttler(1975)가 최초로 수행했으며 Anderson et al.(1992), Van djik(2001), verhagen et al.(2003), van gent and pozueta (2004) 등이 월파의 거동을 고려하지 않은 상황에서 파랑조건에 따른 배후면 피복재의 이탈 여부를 확인하여 안정성을

*정회원. 공주대학교 건설환경공학과 박사과정(E-mail: civilkhy@kongju.ac.kr)

Member. Ph.D Candidate, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

**정회원. 한밭대학교 건설환경공학과 교수

Member. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanbat National University

***정회원. 공주대학교 건설환경공학부 교수

Member. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

****교신저자. 정회원. 공주대학교 건설환경공학부 교수(Tel: +82-41-521-9306, Fax: +82-41-568-0287, E-mail: kkkim@kongju.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

검토하였다. 김선우(2000)는 소파블록의 처오름에 의한 월파량에 대한 수리특성을 도출하였고, Shankar and Jayarathe (2003)는 월파량과 처오름에 미치는 입사파고와 주기의 결합 효과의 설명은 파형경사가 중요한 지표가 된다는 것을 보였다. 이원(2008)은 경사식 사석 호안구조물의 월파특성을 분석하여 월파 발생량에 대해 연구를 수행하였으며 박진국(2003)은 해안 침식 방지를 위해 BMS 공법에 대한 해외사례 연구를 통해 국내 적용성 여부에 대해 분석하였다. 또한 한재명 등(2005, 2006)은 환경친화형 해안보호 호안블록을 개발하여 해안침식 저감 효과에 대해 분석하였으며 김광진(2007)은 자연친화형 CE블록을 개발하여 그 적용성을 분석하였다. 김하룡(2012)은 다양한 마찰면적과 공극률을 갖는 인공사석들을 제작하여 규칙과 조건에서 마찰면적과 공극률이 파랑에너지에 미치는 영향을 수리모형실험을 통하여 분석하였다. 사석의 배열 및 형상이 파랑에너지 저감에 미치는 영향에 관한 연구는 수행된 사례가 거의 없는 실정으로 본 연구에서는 규칙과 조건에서 기 수행한 수리모형 실험에서 파랑에너지 감소 효율이 가장 좋은 사석모형을 선택하여 사석의 배열과 호안 구조물의 경사가 파랑에너지에 미치는 영향을 수리모형실험을 통하여 분석하였다

2. 수리모형실험

2.1 실험시설

수리모형실험에 사용된 단면조파실험장치는 폭 1.0 m, 높이 1.5 m, 길이 50.0 m의 직사각형 수로와 전기서보피스톤식 조파기로 구성되어 있으며 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 주어진 파고와 주기에 대응하는 규칙파 재현이 가능하다. 단면수조에서의 실험결과는 파고계, 파압계 및 유속계 등을 연결하여 동시에 16채널에서 저장할 수 있다. 수로의 양면은 강화유리로 처리하여 실험장면 관찰이 용이하도록 되어 있다. 또한 조파판 전면에 용량식 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 측정된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고 조파판 반대 끝 부분은 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장지가 설치되어 있다. 본 연구의 수리모형실험에 사용된

Table 1. Specific of the wave flume

구 분		실험시설 및 장비
수로 제 원		1.0m(폭) × 1.5m(높이) × 50.0m(길이)
조파기 성능	수량 및 폭	0.98m × 1 wave boards
	최대파고	0.4m
	재현주기	0.5 ~ 5.0sec
	최대수심	1.0m
	구동방법	전기서보피스톤식

단면수로의 제원 및 기능은 Table 1과 같다.

2.2 모형제작

일반적으로 어떤 물리량(힘, 에너지, 속도)에 대해 마찰(저항)이 커질수록 손실은 커진다. 따라서 단위 부피안에 마찰면적이 가장 큰 형상(마찰면적/부피)의 인공사석이 파랑에너지 감소에 가장 효율적일 것이다. 원기둥의 경우 직경(d)과 높이(h)의 비가 1에 가까울수록 표면적/부피 비가 작지만 $d/h > 1$ 인 얇은 원판의 경우에는 직경은 크게 두께는 얇게 할수록, $d/h < 1$ 인 가느다란 원기둥의 경우에는, 직경은 줄이고 길이를 길게 할수록 마찰면적에 대한 부피 비를 크게 할 수 있다. Fig. 1과 같이 구형과 똑같은 부피를 갖는 원기둥과 얇은 판의 길이(d)를 늘려가면서 비교한 결과 마찰면적이 증가하였다. 이론상으로 원기둥의 길이와 얇은 판의 직경이 커질수록 마찰면적은 무한대로 증가하겠지만 실제 구조물로 적용시키기 위해서는 적절한 크기를 선정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 구형 사석과 같은 부피에서 마찰면적이 증대되어 파랑에너지에 영향을 줄 것으로 기대되는 원기둥과 얇은판 捨石形狀에 대해 제작성과 강도 등을 고려하여 사석의 크기 및 간격을 적절하게 조정하여 모형을 제작하였다. 특히 얇은 판형은 배열에 따른 효과를 분석하기 위해 가로, 45°, 세로 3가지 배열로 제작하였으며 또한 같은 마찰면적과 공극률을 가질 때 호안 구조물의 경사가 파랑에너지에 미치는 영향을 분석하기 위하여 1:1.5와 1:2.0 경사를 갖는 호안 구조물을 제작하였다. 금회 연구에서 수리모형실험은 無捨石形, 얇은판형 3가지, 원기둥형 총 5가지 사석모형을 1:1.5와 1:2.0의 2

Fig. 1. Friction area variation of configuration type

Table 2. Riprap characteristics

경사	1 : 1.5					1 : 2.0				
형상	무사석	얇은판 (가로)	얇은판 (45°)	얇은판 (세로)	원기둥	무사석	얇은판 (가로)	얇은판 (45°)	얇은판 (세로)	원기둥
계략도										
단위부피당 마찰면적 (m ²)	2.24	16.3	16.3	16.3	21.7	2.24	16.3	16.3	16.3	21.7
단위부피당 공극률 (%)	-	44.9	44.9	44.9	44.8	-	44.9	44.9	44.9	44.8

가지 경사에 대해 적용하여 총 10가지 호안 모형에 대하여 수행하였다. 사석 모형별 특징은 Table 2와 같다.

2.3 실험조건

실제의 바다의 파랑은 그 파형이 일정하지 않고 시시각각으로 변화한다. 높은 파고와 낮은 파고, 그리고 긴 주기와 짧은 주기가 혼합하여 발생하고, 파봉선도 연속적이지 않고 각각의 방향도 일정하지 않다. 이와 같이 파고, 주기 및 진행방향이 모두 일정하지 않고 시시각각으로 변화하는 파랑을 불규칙파(Irregular wave)라고 하며 실제의 바다의 파랑은 모두 불규칙파이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 실제 현상을 고려하기 위하여, 불규칙파를 이용한 수리모형실험을 수행하였다. 수심은 규칙파 조건과 동일하게 0.5 m를 사용하였다. 불규칙파는 일반적으로 널리 사용되는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용하였다.

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

여기서, $S(f)$ 는 파랑의 에너지 밀도, $H_{1/3}$ 는 유의파고, $T_{1/3}$ 는 유의주기, f 는 주파수를 의미한다.

다양한 파고에 대한 영향을 분석하기 위하여 5가지 유의파고($H_{1/3}$)(2, 4, 6, 8, 10 cm)에 대해서 실험하였으며 천해영역과 중간수심영역을 적절히 고려할 수 있도록 4개의 유의주기($T_{1/3}$)(2, 4, 5, 6 초)를 사용하였다. 주기가 6초인 경우에는 상대수심이 0.239가 되며 주기가 2초인 경우에는 상대수심이 0.775가 된다. 이상의 결과를 바탕으로 본 연구의 수리모형실험의 실험과 제원을 Table 3에 정리하였다. 실험과 산정 결과 실험모형 1가지에 5가지 유의파고($H_{1/3}$), 4가지 유의주기($T_{1/3}$)로 총 20회의 실험조건을 결정하였으며 수리모형실험시 측정에 대한 오차를 줄이기 위하여 각 경우에 대해 3회씩 측정하여 평균값을 사용하였다. 표에서 k값은 파장의 역수인 파수를 의미하며 다음과 같이 선형분산관계식을

이용하여 구할 수 있다.

$$\sigma^2 = gk \tanh(kh) \quad (2)$$

$$\sigma = 2\pi T \quad (3)$$

여기서, σ 는 각 주파수, h 는 수심, T 는 주기를 의미한다.

2.4 실험방법

1.0 m×1.5 m×50.0 m의 직선수로 35 m 지점에 Table 2에 도시된 10가지의 사석모형을 위치시키고 4대의 용량식파고계를 설치하여 처오름 및 반사율을 측정하였다. 1번 파고계는 조파판 전면에 부착하여 수면상태를 파악하고 모형 구조물에서 반사되어 조파판으로 돌아오는 반사파를 측정하여 반사파 흡수장치의 입력자료 측정에 사용하였고 반사율은 2번과 3번 파고계를 이용하였다. 반사율은 제체 전면에 임의 간격으로 설치된 두 개의 파고계로부터 독취된 자료를 바탕으로 Goda와 Suzuki(1976)가 제안한 이점법 방법으로 계산하였다. Goda와 Suzuki(1976)의 입·반사 분리기법은 주어진 거리 내에서 중복파의 각 성분과 위상차가 일정하다는 점에서 동시 파형을 이용하여 성분과 에너지 사이의 비를 산출하는 방법으로 수심과 주기에 따라 2개의 파고계를 주기에 따라 간격을 조정하여 각각의 위치에서 파형을 독취한 후 파형자료로부터 반사율을 계산하는 것이다. 이 경우 파고계의 간격이 파장의 절반의 정수배가 되면 반사율이 발산하므로 파장의 절반의 정수배가 되지 않도록 주의하여야 한다. 4번 파고계는 제작한 모형의 사면과 나란히 설치한 후 정수면상의 처오름을 측정하였다. 보조 측정방법으로 동영상을 이용한 화상해석법을 이용하여 측정된 데이터에 오류가 있을시 비교 데이터로 이용하였다. 또한 호안구조물과 수로 바닥의 접합부에 2차원 유속계를 설치하여 측정된 유속을 분석하여 사석의 배열 및 호안 구조물의 경사가 유속에 미치는 영향도 분석하였다. 호안에 요구되는 기능에서 월파량을 측정하고 분석하는

Table 3. Results from the calculation of wavelength (L), wavenumber (k), and relative depth based from the wave period (T)

주기 [T] (sec)	수심 [h] (m)	파장 [L] (m)	파수 [k] (1/m)	상대수심 [kh] (무차원)	해역
6	0.5	13.16	0.477	0.239	천해영역
5	0.5	10.92	0.575	0.288	천해영역
4	0.5	8.67	0.725	0.363	중간수심
2	0.5	4.06	1.549	0.775	중간수심

것 역시 중요하지만 월파를 허용하였을 경우 파랑에너지가 그만큼 소산되어 반사율이 낮게 예측되므로 본 연구에서는 월파는 허용하지 않는 것으로 실험하였다. 다만 실험 모형별 처오름 관측값으로 월파에 대한 정성적인 분석이 가능할 것으로 사료된다.

3. 실험결과 및 분석

파고(H)가 커질수록 최대처오름이 커지기 때문에 측정값을 그대로 이용하여 분석하는 것은 한계가 있다. 따라서 수리모형실험을 통해 측정된 최대처오름 높이는 입사파의 파고로 무차원화하여 분석하였다.

3.1 無捨石形과 捨石形 호안구조물의 실험 결과 비교

Fig. 2와 Fig. 3은 1:1.5 경사와 1:2.0 경사의 주기에 따른 파고별 무차원 최대처오름비 측정 결과이다. 같은 주기에서 파고가 커질수록 처오름도 높아지는 경향을 보였으며 두 가지 경사 모두에서 원기둥형의 처오름이 낮게 측정되어 마찰면적과 공극률을 증가 시켰을 때 파랑에너지 저감에 효율적인 것으로 측정되었다. 그러나 얇은판형 사석모형은 경사에 따라 無捨石形 보다 처오름이 높거나 낮은 것으로 측정되어 마찰면적과 공극률을 증가시키더라도 사석의 배열에 따라 파랑에너지 저감 효과가 달라지는 것으로 분석되었다.

無捨石形 모형의 실험결과에 대한 사석모형의 최대처오름 저감 비율이 Table 4와 같다. 얇은판형-가로 배열의 경우

Fig. 2. Dimensionless wave run-up ratio of varying wave periods (1:1.5 slope)

Fig. 3. Dimensionless wave run-up ratio of varying wave periods (1:2.0 slope)

Table 4. Comparison of the reduction effects of dimensionless wave run-up between models with riprap and no ripraps (%)

주기(T) (sec)	파고(H) (cm)	1:1.5 경사				1:2.0 경사			
		얇은판형			원기둥형	얇은판형			원기둥형
		가로	45°	세로		가로	45°	세로	
2	2	13.9	15.1	22.4	22.4	32.5	49.7	57.8	53.7
	4	-1.2	7.2	19.8	18.2	30.7	43.7	55.9	54.5
	6	-22.3	-7.4	8.4	15.6	43.6	56.7	58.2	62.6
	8	-19.2	-8.9	6.6	13.4	32.3	46.1	50.6	56.8
	10	-27.5	-15.8	2.6	6.2	25.8	39.7	49.4	53.2
4	2	5.5	5.6	8.3	12.9	-14.6	11.2	-4.4	-4.2
	4	2.1	3.1	3.0	7.5	19.3	26.7	28.5	23.3
	6	-5.8	-0.5	1.2	5.6	18.4	32.3	25.8	29.7
	8	-8.7	-2.1	6.3	14.9	13.0	18.4	29.5	31.5
	10	-9.7	-4.3	0.4	7.4	16.4	16.5	24.9	35.5
5	2	10.0	4.4	0.2	4.3	14.1	22.2	19.4	13.4
	4	2.9	6.9	5.9	7.7	16.4	29.6	38.9	30.7
	6	1.4	8.0	7.9	17.3	5.3	29.2	29.8	37.5
	8	-21.5	-10.5	-1.5	8.7	9.9	15.8	24.8	28.5
	10	-12.2	-6.2	-1.7	16.8	17.2	17.5	27.0	38.0
6	2	12.5	9.1	9.3	4.0	9.6	17.6	12.2	15.2
	4	6.8	11.6	7.0	8.2	-11.5	5.9	-2.1	12.3
	6	7.4	7.1	11.1	14.8	7.4	25.2	23.2	31.7
	8	-15.1	-2.8	6.3	15.1	3.0	4.3	22.8	28.9
	10	-16.6	-6.6	-6.4	14.0	-11.1	-12.0	1.5	19.3
Average		-4.9	0.6	5.9	11.8	13.9	24.8	28.7	32.6

Table 5. Comparison of the reduction effects of reflection coefficient between models with riprap and no ripraps (%)

주기(T) (sec)	파고(H) (cm)	1:1.5 경사				1:2.0 경사			
		얇은판형			원기둥형	얇은판형			원기둥형
		가로	45°	세로		가로	45°	세로	
2	2	44.9	51.1	49.0	56.9	51.7	60.4	66.0	70.7
	4	40.7	47.3	46.1	54.1	50.0	57.0	66.2	66.6
	6	37.8	44.5	44.8	50.7	47.1	54.3	63.1	62.4
	8	35.0	41.9	43.5	47.2	43.2	50.7	59.5	57.3
	10	31.2	38.7	41.1	42.5	38.0	45.9	55.2	51.0
4	2	23.9	19.3	14.9	19.6	33.5	31.3	24.6	30.0
	4	19.5	15.7	10.2	15.9	27.1	26.1	22.6	27.7
	6	18.8	17.5	11.8	16.5	25.0	26.0	25.2	29.3
	8	18.1	19.6	15.6	19.1	25.3	27.4	29.8	31.1
	10	14.2	18.2	16.8	15.8	16.2	20.2	26.0	22.5
5	2	12.0	6.9	4.3	11.0	21.6	18.6	11.4	14.6
	4	13.8	9.9	6.2	18.0	20.1	18.6	12.5	18.0
	6	14.6	13.1	9.8	14.9	20.9	20.6	18.1	21.6
	8	17.7	18.3	15.2	19.9	22.9	23.7	23.4	26.4
	10	19.6	22.2	20.2	23.3	23.3	25.4	27.8	28.4
6	2	8.8	4.5	3.0	4.9	15.9	13.2	7.8	10.5
	4	10.4	7.7	4.7	8.8	15.8	14.6	10.8	13.8
	6	12.9	11.8	9.3	13.3	18.0	17.6	15.2	18.2
	8	14.9	15.2	13.5	16.7	21.0	20.8	19.8	22.4
	10	15.7	17.1	16.1	18.2	21.7	22.1	21.9	23.8
Average		21.2	22.0	19.8	24.4	27.9	29.7	30.3	32.3

1:1.5 경사에서 최대처오름이 無捨石形의 경우 보다 높게 측정되었으며 얇은판의 배열이 45°, 세로로 변화할수록 최대처오름이 낮아지는 것으로 관측되었다. 이것은 얇은판형의 판과 판 사이의 공극에 저류된 물이 배수되지 않아 물을 저류할 공간(공극)이 없는 상태에서 다음 파가 도달하여 파가 판에 부딪혀 휘돌아 올라가기 때문인 것으로 분석되었다. 주기가 길수록 그리고 같은 주기에서 파고가 높을수록 파랑에너지 감소 효과가 좋은 것으로 분석되었으며 이는 파고가 낮으면 그만큼 호안 구조물에 닿는 면적이 작기 때문에 증가된 마찰 면적과 공극물의 효율성이 작아지기 때문이다. 같은 주기에서 파고가 높아짐에 따라 호안구조물에 의한 파랑에너지 감소 효과가 좋아지는 것을 Table 4를 보면 알 수 있다. 1:1.5 경사에서는 얇은판형은 최대처오름 저감 효율이 좋지 못하지만 1:2.0 경사에서는 13.9~28.7%의 저감율을 보였으며 원기둥형의 경우 두 가지 경사에서 최대처오름 저감 효율이 11.8%와 32.6%로 가장 좋은 저감율을 보였다.

Table 5는 無捨石形 모형에 대한 사석형들의 반사율 저감 비율 표이며 Fig. 4와 Fig. 5는 1:1.5 경사와 1:2.0 경사의 주기에 따른 파고별 반사율 측정 결과이다. 주기 2 sec에서 사석 모형들의 반사율 저감 비율이 50% 이상으로 주기가 짧을수록 반사율이 낮으며 주기가 길어질수록 반사율이 높아지는 경향을 보이는 것으로 관측되었다. 또한 같은 주기에서 파고가 높아짐에 따라 반사율은 증가 또는 감소하는 경향을 보여 반사율은 파고보다는 주기에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

Fig. 4. Reflection coefficient of varying wave periods based from a 1:1.5 slope

Fig. 5. Reflection coefficient of varying wave periods based from a 1:2.0 slope

마찰면적과 공극률을 증가시킨 사석 모형들은 모두 無捨石形에 비해 최대처오름 및 반사율이 낮게 측정되어 파랑에너지 감소효과는 있는 것으로 판단되지만 최대처오름의 경우 마찰면적 및 공극률과 함께 호안 구조물의 배열이 파랑에너지 감소에 큰 효과를 미친다는 것에 유의해야 한다. 수리모형실험결과 無捨石形에 비해 최대처오름 저감 비율이 평균 11.8%, 36.9%, 반사율 저감 비율이 평균 24.4%, 32.3%로 원기동형이 파랑에너지 감소효과가 가장 좋은 호안구조물 형상인 것으로 분석되었다.

3.2 사석의 배열이 파랑에너지에 미치는 영향 분석

마찰면적과 공극률이 같은 얇은판형 호안구조물을 배열을 달리하여 4가지 주기와 5가지 파고에 대해서 3회에 걸쳐 실험을 수행하였으며 Fig. 6과 Fig. 7은 얇은판형의 경사에 따른 무차원 최대처오름비 측정 결과이며 Fig. 8과 Fig. 9는 얇은판형의 경사에 따른 반사율 측정 결과이다. 두 가지 경사 모두 가로 배열이 모든 주기에서 최대처오름이 높게 측정되었으며 45°배열, 세로배열 순으로 낮아졌다. 짧은 주기에서 가로 배열의 최대처오름이 상대적으로 높게 측정되었으며 주기가 길어질수록 차이는 줄어들었다. 짧은 주기에서는 공극에 저류된 물이 배수되기 전에 다음파가 도달하여 처오름을 가중 시키며 주기가 길어짐에 따라 이런 현상이 약화되나 입사파가 판에 부딪힌 후 판과 판 사이의 공극에서 휘돌아 올라가는 특성을 보이기 때문인 것으로 분석되었다. 짧은 주기에

서는 처오름과 마찬가지로 가로배열, 45°배열, 세로배열 순으로 높게 측정되었지만 주기가 길어짐에 따라 세로배열, 45°배열, 가로배열 순으로 높게 측정 되어 사석의 배열에 따라 반사율은 최대처오름과 다른 양상을 보였다. 주기가 길어질수록 다음 파가 도달하기 전에 가로배열의 공극에 저류된 물을 시간차를 두고 천천히 배수할 수 있기 때문에 배수 효과가 좋은 45°배열, 세로배열에 비해 상대적으로 반사율이 낮게 측정된 것으로 분석되었다. 또한 1:1.5 경사보다 1:2.0 경사에서 반사율이 낮게 측정되어 경사가 완만할수록 파랑에너지 저감에 효과적인 것으로 평가되었다.

3.4 유속 분석

1:1.5 경사와 1:2.0 경사 각각 구조물에 5가지 사석모형을 적용하여 불규칙과 실험을 수행하면서 호안구조물과 수조 바닥이 접하는 부분에 2차원 유속계를 설치하여 유속을 측정하였다. 파가 입사하는 방향을 X방향 그리고 직각 방향을 Y방향으로 120 sec동안 10 Hz씩 1200회 측정하였으며 wave 특성을 감안하여 최대유속을 분석에 사용하였다. Fig. 10과 Fig. 11은 1:1.5 경사와 1:2.0 경사의 주기(T)에 대한 파고별 X방향 유속 측정 결과이며 Fig 12와 Fig 13은 1:1.5 경사와 1:2.0 경사의 주기(T)에 대한 파고별 Y방향 유속 측정 결과이다. X방향 유속 측정 결과 마찰면적과 공극률을 증가시킨 사석모형이 無捨石形 보다 낮게 측정되었으며 대체적으로 반사율 측정 결과와 비슷한 경향을 보였다. Y방향 유속

Fig. 6. Dimensionless wave runup ratio of varying wave periods based from a thin plate type (1:1.5 slope)

Fig. 8. Reflection coefficient of varying wave periods based from a thin plate type (1:1.5 slope)

Fig. 7. Dimensionless wave runup ratio of varying wave periods based from a thin plate type (1:2.0 slope)

Fig. 9. Reflection coefficient of varying wave periods based from a thin plate type (1:2.0 slope)

Fig. 10. X-axis velocity of varying wave periods based from a 1:1.5 slope

Fig. 11. X-axis velocity of varying wave periods based from a 1:2.0 slope

Fig. 12. Y-axis velocity of varying wave periods based from a 1:1.5 slope

측정 결과 얇은판형-45°배열의 유속이 가장 크게 측정되었으며 무捨石形과 얇은판형-가로배열도 대체적으로 높게 측정되어 Y방향 유속은 파랑에너지 저감과 함께 배열의 영향이 가장 큰 것으로 분석되었다. 파랑에너지 저감 효율이 좋으며 물의 흐름을 교란시키지 않는 배열인 원기둥과 얇은판형-세로배열의 Y방향의 유속이 낮게 측정된 것이 이를 뒷받침하며 흐름을 교란시키지 않는 형태의 호안 모형이 침식방지에 유리한 호안 모형이라고 사료된다.

호안 경사와 인공사석의 배열이 파랑에너지에 미치는 영향 분석

Fig. 13. Y-axis velocity of varying wave periods based from a 1:2.0 slope

4. 결 론

본 연구는 파랑에너지 저감을 위해 사석의 배열과 형상 그리고 호안구조물의 경사가 파랑에너지에 어떠한 영향을 주는지를 평가하기 위하여 마찰면적과 공극률을 증가시킨 5가지 형태의 捨石形狀을 제작하여 2가지 경사에 대해 수리모형실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 무捨石形을 기준으로 2가지 경사에 대해 최대처오름 저감 비율이 평균 11.8%, 36.9%, 반사율 저감 비율이 평균 24.4%, 32.3%로 원기둥형이 파랑에너지 감소효과가 가장 좋은 호안구조물 형상인 것으로 분석되었다.
- 2) 같은 사석모형에 대해 1:1.5 경사보다 1:2.0 경사의 최대처오름 및 반사율 측정 결과가 낮아 급경사보다는 완경사가 파랑에너지 감소에 효과적인 것으로 분석되었다.
- 3) 마찰면적과 공극률이 같을 때 파도의 진행방향과 연직방향으로 접촉 면적이 작은 사석 배열이 파도의 진행방향과 연직방향으로 접촉 면적이 큰 사석 배열보다 파랑에너지 감소에 효과적인 것으로 분석되어 사석의 배열이 파랑에너지 감소에 중요하다고 평가되었다.
- 4) 2차원 유속 측정 결과 파랑에너지 저감 효과가 좋을수록, 급경사보다는 완경사에서 X방향 유속이 낮게 측정되었으며 Y방향 유속은 얇은판형-45°배열이 가장 크게 측정되어 최대처오름 및 반사율 저감 효과가 좋더라도 흐름을 교란시키는 사석 배열은 해안 침식에 효과적이지 않을 것으로 분석되었다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 #‘09지역기술혁신 B-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Anderson, O.H., Juhl, J., and Sloth, P (1992) Rear side Stability of Berm Breakwaters, *Proc. 23rd Coast. Engrg. Conf., ASCE*, pp. 1020-1029.
- Choi, D.S. (2008) *Wave Transformation and Overtopping Charac-*

- teristics due to the Shape of Permeable Coastal Structures, Master thesis, Gyeongsang University, Jinju city, Gyeongsangnam-do, Korea.
- Goda, Y. and Suzuki, Y. (1976) Estimation of incident and reflected waves in random Wave experiments. *Proc. of 15th Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE*, New York, pp. 828-865.
- Han, J.M., Kim, Y.M., Park, M.G., and Lee, J.S. (2006) Development of Wave Dissipation Block for Nature Friendly Structures, *Korean Society of Civil Engineers regular workshop presentation file*, pp. 245.
- Han, J.M., Lee, J.S., Kim, H.S., and Sin, J.W. (2005) Development of Environmental Preservation Structures for Protection of Shoreline Erosion, *Korean Society of Civil Engineers regular workshop presentation file*, pp. 703-705.
- Kim, H.Y., Han, K.J., Jeong, S.M., and Kim, K.D. (2012) Analysis of the Wave Energy Reduction Effect by Different Artificial Riprap Arrangement, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 5, pp. 241-249.
- Kim, I.C., Park, Y.W., Yoo, C.H., and Kweon, H.M. (2003) Experimental Study on Hydraulic Characteristics of Wave Dissipating New Armor Unit, *International Journal of Ocean Engineering and Technology*, 14, pp. 87-97.
- Kim, K.J. (2010) *Analysis of Efficiency and Improvement for Eco-Friendly Coastal Environment Block*, Ph D. dissertation, Joongbu University, Geumsan county, Chungcheongnam-do, Korea.
- Kim, S.W. (2000) *Study on the Characteristics of Armor Block in Coastal Structure : In the Basis of Sloping Type Breakwaters*, Master thesis, Yonsei University, Seoul, Korea.
- Lee, W. (2008) *Wave Overtopping Characteristics of Rubble Mound Revetment*, Master thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *Green construction technology for the Coastal Zone*.
- Park, J.K. (2003) *Overseas Case Study for Protection from Coastal Erosion with Beach Management System*, Master thesis, Choon-gang University, Seoul, Korea.
- Ryu, Y.U., Lee, J.I., and Kim, Y.T. (2009) Behavior of Overtopping Flow of Caisson Breakwater with Dissipating Block: Regular Wave Conditions, *International Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 21, No. 1, pp. 54-62.
- Shankar, N.J. and Jayaratne, M.P.R. (2003) Wave run-up and overtopping on smooth and rough slopes coastal structure. *Ocean Eng*, pp. 221-238.
- Tompson, D.M. and R.M. Shuttler (1975) *Riprap design for wind wave attack, A laboratory study in random waves*. Willingford, EX 707.
- Van Dijk, B. (2001) *The Rear slope stability of Rubble Mound Breakwaters*. Ms thesis, Delft U of Tech.
- Van Gent, R.A. and Pozueta, B. (2004) Rear-side stability of Rubble Mound Structures, *Proc 29th Coast. Engrg. Conf., ASCE*. pp. 3481-3493.
- Verhagen, H.J., Van Dijk, B., and Nederpel, A. (2003) Riprap Stability on the Inner Slopes of Medium-Height Breakwaters. *Proc. Coast. Struc. Portland*. pp. 213-222.

© 논문접수일 : 2013년 01월 22일
 © 심사의뢰일 : 2013년 01월 22일
 © 심사완료일 : 2013년 01월 28일