

http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.4.266 ISSN 2288-0089(Print) / ISSN 2288-081X(Online)

한국해양환경 · 에너지학회지 J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy Vol. 19, No. 4, 266-273, November 2016

Original Article

인공식생을 이용한 해빈침식방지에 관한 수리실험

김범모¹·전용호²·윤한삼^{3,†} ¹(주)지오시스템리서치 ²연안수공학연구소 ³부경대학교 생태공학과

A Hydraulic Experiment Using Artificial Seaweed for Coastal Erosion Prevention

Beom Mo Kim¹, Yong Ho Jeon² and Han Sam Yoon^{3,†}

¹Geosystem Research Corporation, Geumjeon, Gunpo, Kyeonggi-do 15807, Korea ²Coastal Hydro-Engineering Institute, Busan 48039, Korea ³Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

본 연구는 인공식생에 의한 파 에너지 저감과 해빈침식방지를 평가하기 위해서 2차원 수리모형실험을 수행하였다. 실 험에서는 인공식생 유무 및 평상파/폭풍파 입사 조건의 규칙파 영향하에서 해빈단면 변화와 파고 반사율을 조사하였다. 주 요 연구 결과로는 1) 인공식생이 없는 조건에서는 파 조건에 의해서 연안사주 높이가 증가하고 해안선의 후퇴가 나타 났으나 2) 1B(폭=0.8 m) 또는 2B(폭=1.6 m)의 인공식생을 설치한 조건에서는 해안선의 전진 및 퇴적현상이 발생하였다. 이를 통해 인공식생이 해빈 단면에 영향을 줄 수 있으며 해빈침식방지공법으로써 적용가능함을 알 수 있었다.

Abstract – Two-dimensional hydraulic experiments were performed to assess the impact of artificial seaweed on wave energy attenuation, and coastal erosion prevention. In this experimental study, erosion geometry and wave reflection coefficients were determined for normal and stormy incident waves, with and without artificial seaweed. The coastline of beaches without artificial vegetation was observed to retreat, and the longshore bar height increased in normal and stormy conditions. Through the introduction of artificial seaweed (of widths 0.8 m, and 1.6 m), the coastline was found to advance in the offshore direction due to material deposition. From these results, it is shown that artificial seaweed alters the cross-section of beaches, such that it is possible to prevent coastline erosion.

Keywords: Artificial seaweed(인공식생), Hydraulic experiment(수리모형실험), Reflection coefficient(반사율), Coastal erosion prevention(해안침식방지)

1.서 론

해빈의 지형변화를 방지하기 위해 파 에너지를 저감시킬 목적으로 돌제(Groin), 이안제(Detached breakwater), 잠제(Submerged breakwater) 등의 구조물을 적용해 인위적으로 모래의 이동을 차단하기 위한 시 도가 지속되어 왔다. 그러나 이는 공사비용 과다, 해수소통 제한, 수 질 및 해양생태계 변화 등 2차적인 해양환경 변화를 초래하게 되었 다(Park[2001]). 상술한 문제를 해결하기 위해 최근 양빈과 친환경 적인 연성 또는 강성공법을 병행하는 복합공법을 선호하는 추세이 며 특히, 인공식생을 이용한 해빈침식방지에 관한 공법에 관심이 높 아지고 있다(Kobayashi *et al.*[1993]; Asano *et al.*[1998]; Lee *et al.* [2009]).

인공식생(Artificial seaweed)은 수중에 해초(Seagrass), 조류 (Macroalgae), 나무(Tree) 등 자연식생 또는 이와 유사한 환경을 조 성하여 파가 인공식생 영역 통과시 식생에 의해 발생하는 항력으로 인해 파 에너지가 소산되는 효과를 고려하여 파 및 흐름에너지를 저감시키는 것이다(Kobayashi *et al.*[1993]; Dubi *et al.*[1994]; Harris L.E.[2009]). 기존 연구로서는 대규모 다시마(kelp)에 의한 에 너지 소산(Jackson and Winant[1983]), 밀집도가 높은 식생군과 침 수 삼림과 같은 수중구조물 등에서의 파의 회절(Dalrymple *et*

[†]Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr

al.[1984]), 식생의 Sway motion을 고려하여 식생항력에 관한 해석해 연구(Kobayashi et al.[1993]), 인공식생의 적정 설치 밀도(Park [2001]) 및 수심 1/2의 인공식생 상층에서의 파고 변화(Asano et al.[1998])에 대한 수리실험 연구, 인공식생에 의한 해빈 방재의 실험 연구(Price et al.[1968]), 해빈 침식에 대한 수치실험 연구(Karambas et al.[2012]) 등이 수행된 바 있다. 따라서 파 에너지 저감 효과는 식생의 운동특성 및 밀도, 수심에 대한 상대길이에 의해 결정되며 해빈류 등의 연안류를 감소시켜 표사이동을 억제하는 기능(연안침 식방지)이 있는 것으로 알려져 있다(Méndez and Losada[2004]; Park[2001]; Lee et al.[2009]).

최근 대형 태풍 내습 빈도 및 강도가 증가하여 연안시설물의 피 해와 더불어 해빈 모래 유실 피해가 급증하고 있다. 특히 우리나라 연안은 기존 태풍 내습에 따른 고파랑 등의 영향으로 많은 피해 사 례가 보고되고 있는 실정이므로 현장 특성에 맞는 인공식생을 이용 한 연성공법의 적용 및 효과 분석에 관한 기초 연구가 필요하다고 할 수 있다(Kim[2016]). 예로 들면, 수산자원조성을 목적으로 초기 인공어초를 조성하고 그 주변에 인공식생을 조성할 경우 파 에너지 저감 및 표사제어와 같은 효과를 동반하여 어초 주변의 자연식생이 성장할 수 있는 초기 기반환경을 조성할 수 있다. 따라서 본 연구에 서는 친환경적이고 저비용의 연성공법으로서 인공식생(해조)이 있 는 경우와 없는 경우에 대한 조건으로 수심의 1/2 높이를 가지는 인 공식생에 대해서 인공식생 영역 폭의 영향을 중심으로 수리모형실 험을 통해 해빈침식 방지 효과를 평가하고 그 특성을 고찰하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 수리모형실험은 2차원 조파수조(Fig. 1)에서 수행되었 다. 단면수조는 폭 1.0 m, 높이 1.0 m, 길이 35 m이며 전기서보피스 톤식 조파기가 설치되어 있으며 규칙과 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 단면수조의 제원 및 기능은 Table 1에 기술하였다. 실험에 사용된 장비로는 파고 계측을 위한 용량식 파고계(인공식생 전면 3개, 후면 1개), 파 작용 전·후 사면변화 계측을 위한 사면측정기, 실험 과정의 모니터링, 촬영, 편집 및 결과분석을 위해 Camcorder와 Camera를 사용하였다. 조파판에서 발생한 실험파의 안정적인 유도를 위해 조파판에서부터 16 m까지는 경사가 없이 제작되었으며 이후 8 m는 1/20의 경사를 설치하고 그 위에 0~25 cm 두께의 이동상 (모래)을 포설하였다. 실험에 사용한 모래는 평균입경 d_{50} =0.264 mm 로서 중립사(Medium sand)에 해당하며 입경가적곡선은 Fig. 2와 같다.

실험에 사용한 인공식생은 잎 부분에는 폴리프로필렌(polypropylene, Nylon-66, 비중 0.91)을 사용하였으며 폭은 약 2 cm, 설치간격은 약 4 cm 이다. 특히, 본 실험은 자연 식생에 대한 관점보다 인위적으로 만들어진 인공해조장을 조성할 경우 파 에너지 저감 효과를 증대시 키기 위해 식생의 재질/구성을 보다 hard한 형태로 제작할 필요가 있기 때문에 가는 철사를 사용해 식생의 줄기로 제작하였다(철사를 포함하는 인공식생의 비중은 1.14).

Asano *et al.*[1988]과 Lee *et al.*[2009]의 방법과 같이 식생의 높 이(10cm)는 수심의 1/2로 설치하였으며, 모든 실험은 인공식생이 시작되는 지점의 수심을 0.2 m로 고정하였다. 실험은 인공식생 모 형의 유·무 그리고 식생의 폭(B) 변화에 따라서 사면상의 해안선 위치(*l*), 최대 연안사주의 발생 위치(*L*₁) 및 그 높이(*D*)를 살펴보고자 하였다. Fig. 3은 수리모형 실험에서 계측되어진 각 변수들을 도식 화하여 나타낸 그림이다.

수리모형실험에 적용한 파 제원은 Sunamura and Horikawa[1974] 가 제안한 아래 식 (1)의 상수 *C*, 값이 침식형 값을 가질 수 있도록 입사파의 제원을 설정하였다.

$$\frac{H_o}{L_o} = C_s (\tan\beta)^{-0.27} \left(\frac{d_{50}}{L_o}\right)^{0.57}$$
(1)



Bottom slope and sand beach in wave tank

Artificial seaweed used to this study

Fig. 1. Experimental configuration of the 2-D wave basin (1/20 bottom slope) for beach erosion prevention using artificial seaweed, and a sectional view of the artificial seaweed placed in the wave basin.

김범모 · 전용호 · 윤한삼

	~			~ .					
Division			Conditions						
Wave tank	Dimension	35 (L)×1.0 (W)×1.0 (H) m							
	Max. water depth	0.8 m							
Wave maker	Size	1.0 (W)×1.0 (H) m							
	Max. wave height	0.25 m							
	Wave period	$0.5 \sim 2.5 \text{ sec}$							
	Туре	Electric-servo motor of piston type							
Artificial seaweed	Total depth	0.5 m							
	Artificial seaweed depth (h)	0.2 m							
	Artificial seaweed height	0.1 m (h/2)							
	Artificial seaweed width (B)	B, 2B (B=0.8 m)							
	Artificial seaweed material	polypropylene (Nylon-66)							
Wave conditions	Case No.	Ch-1	Ch-2	Ch-3	Ch-4	Ch-5	Ch-6		
	Wave period (T)	0.85 sec			1.41 sec				
	Wave length (L)	97 cm			184 cm				
	Wave height (H)	about 6 cm			about 12 cm				
	Width of artificial seaweed (B)	-	1B	2B	-	1B	2B		
	B/L	-	0.825	1.649	-	0.435	0.870		

Table 1. Experimental conditions of the 2-D wave basin, wave maker, and the hydraulic model test parameters



Fig. 2. Passing particle size distribution.

여기서, *H*[°]는 심해파고, *L*[°]는 심해파장, tanβ는 저면경사 그리고 *C*[°] 는 침식퇴적 한계를 나타내는 무차원 상수이다. 본 연구에서는 Table 1과 같이 평상파(Ch-1~Ch-3)과 태풍 내습 시의 폭풍파(Ch-4~Ch-6)의 2가지 입사파 조건으로 구분하였으며, 규칙파를 대상으로 하였다. 평상파(Ch-1~Ch-3)의 파 주기는 0.85 sec, 파고는 약 6 cm, 폭풍파(Ch-4~Ch-6)의 주기는 1.41 sec, 파 고는 약 12 cm이다. 입사파는 인공식생 전면 1파장 거리 앞에 설치 된 3개의 용량식 파고계를 이용하여 해저 경사 및 인공식생에 따른 반사 성분을 분리하였으며 인공식생 후면에 설치된 1개의 용량식 파고계를 이용하여 투과파고를 관측하였다. 해저경사 및 인공식생 에 따른 입사파고(*H*_i)와 반사파고(*H*_i)는 입반사 분리 프로그램을 이 용하여 조파후 2~5개 파랑이 입사할 때 계측한 수면 시계열을 사 용하여 입반사 분리하였다.

해빈단면 변화를 살펴보기 위한 조파실험시간은 예비실험을 통 하여 저질이동의 안정상태와 저질유실을 고려하여 50분간 조파하 였다(평상파는 약 3,500파, 폭풍파는 약 2,100파). 하지만 수조 특 성상 반사파 흡수형 조파기 기능을 반영하지 못한 상황에서 충분히 수조내 중복파 발생에 따라서 초기 파 특성과 해빈 변화에 영향을 주는 파는 차이를 보일 수 있다고 판단된다. 파 작용이 그친 후 조



Fig. 3. Characteristic factors related to beach erosion and artificial seaweed defined in this experimental study.

파수조 상단에 설치된 대차에 사면측정기를 거치하여 2 cm 측정간 격으로 수조 중앙부의 수심 변화를 측정하였다. 이후 조파전 측정 된 수심과의 차이를 계산하고 측정간격 2 cm를 곱하여 해빈단면 변 화량(=지반고(D)×측정간격 2 cm)을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인공식생이 없는 조건의 해빈변화

인공식생이 없는 경우에 대하여 파가 입사할 때 해안에 미치는 영향 및 지형 변화에 대하여 Fig. 4(a) 및 Fig. 5(a)에 각각 도시하 였다.

Fig. 4(a)의 평상파 조건에서 해안선 위치(*l*)는 6 cm 후퇴하였으 며 쇄파(Wave breaking)는 연안사주의 위치와 동일한 지점에서 발 생하였다. 연안사주는 *L*₁=122 cm 지점에서 발생하였으며, 연안사 주의 최대 높이 *D*=1.85 cm로 나타났다. Fig. 5(a)의 폭풍파 조건에 서 해안선 위치(*l*)는 8 cm 후퇴하였으며 쇄파(Wave breaking)는 약 *L*₁=200 cm 지점에서, 연안사주는 *L*₁=212 cm지점에서 발생하였으 며, 연안사주의 최대 높이 *D*=3.35 cm로 나타났으며, 모든 실험 Case 에서 가장 큰 값을 나타내었다. 폭풍파의 경우 높은 파 처오름에 의해 평상파 조건에 비해 초기 해빈의 해안선 후면부에 많은 양의 해빈을 침식시켰다.

결과적으로 인공식생이 없는 경우 연안사주의 발달 및 초기해안과 비교하였을 때 해안선의 후퇴 등 침식형 해안의 물리적인 특성을 잘 나타내었다.

3.2 인공식생이 있는 조건의 해빈변화

3.2.1 인공식생 폭이 작은 경우(1B)

인공식생 폭이 1*B*(*B*=60 cm)인 경우에 대하여 평상파 및 폭풍파 조건에 대하여 수리모형 실험을 실시하여 해안에 미치는 영향 및 지형 변화에 대하여 Fig. 4(b)와 Fig. 5(b)에 각각 결과를 도시하였다.

평상파 조건(Ch-2)인 경우 해안선의 이동이 없었으며 연안사주의 위치는 약 *L*₁=78 cm지점에서 발생하였으며 Wave breaking 또한 유 사한 지점에서 발생하였다. 또한 연안시주의 최대 높이 *D*=1.1 cm로 나타났다. 인공식생이 없는 조건(Ch-1)인 Fig. 4(a)와 비교하였을 때 해안선 위치(*I*)는 6 cm 전진하였으며 연안사주의 위치(*L*₁)는 해안 선으로 근접하고 최대 높이도 감소하는 결과를 보여준다. 폭풍파 조 건(Ch-5)인 경우 해안선 위치(*I*)가 12 cm 전진하였으며 초기 단면의







Fig. 5. Comparison of the variation of measured beach profiles with and without vegetation (in stormy conditions).

8

해안선에서 약 1.8 cm 퇴적이 발생하였다. 연안사주의 위치(*L*₁)는 약 115 cm 지점에서 발생하였으며 Wave breaking 또한 유사한 지 점에서 발생하였다. 또한 연안사주의 최대 높이 *D*=1.7 cm로 나타 났다. 인공식생이 없는 조건의 Fig. 5(a)와 비교하였을 때 해안선 위 치(*l*)는 20 cm 전진하였으며 해빈 단면은 평상과 조건(Ch-2)과 유 사한 변화를 보였다.

결과적으로 인공식생 폭이 1*B*(*B*=60 cm)인 경우 평상파와 폭풍 파의 2가지 입사파 조건 모두 연안사주의 형성 위치(*L*₁)가 인공식 생이 없는 경우에 비해 해안선 방향으로 이동하였으며 그 최대 높 이(*D*)도 작아지고 있는 것으로 관측되었다. 이는 인공식생의 설치에 따른 파 에너지 저감 효과라고 할 수 있다.

3.2.2 인공식생 폭이 큰 경우(2B)

인공식생 폭이 2*B*(*B*=120 cm)인 경우에 대하여 평상파 및 폭풍 파 조건에 대하여 수리모형 실험을 실시하여 해안에 미치는 영향 및 지형 변화에 대하여 Fig. 4(c)와 Fig. 5(c)에 각각 결과를 도시하 였다.

평상파 조건(Ch-3)인 경우 해안선의 이동이 없었으며 연안사주의 위치는 약 *L*₁=56 cm지점에서 발생하였으며 연안사주의 최대 높이 (*D*)는 약 1.0 cm 크기로 매우 작게 나타났다. 인공식생이 없는 조건 (Ch-1)인 Fig. 4(a)와 비교하였을 때 해빈단면의 변화가 거의 나타 나지 않았다. 폭풍파 조건(Ch-6)인 경우 해안선 위치(*l*)가 25 cm 전 진하였으며 초기 단면의 해안선에서 약 2.4 cm 퇴적이 발생하였다. 연안시주는 형성되지 않았으며 인공식생 후면부에서 비교적 많은 양의 퇴적이 일어나는 결과를 나타내었다. 인공식생이 없는 조건의 Fig. 5(a)와 비교하였을 때 해안선 위치(*l*)는 33 cm 전진하였으며 연 안사주는 형성되지 않았다.

결과적으로 인공식생 폭이 2B(B=120 cm)인 경우 평상파 조건에 서는 연안사주가 형성되나 그 크기가 앞서 다른 2가지 실험결과에 비해 작게 형성되며 해빈의 변형이 거의 나타나지 않았다. 폭풍파의 경우에도 연안사주의 형태가 나타나지 않으며 인공식생 후면부에 퇴적 현상이 발생하였다. 이에 대해 Lee et al.[2009]은 인공식생이 쇄파에 의한 난류와 undertow를 부분적으로 감소시켜 초기 단면 변 화에 크게 영향을 주지 않기 때문이라고 주장한 바 있다.

3.3 인공식생의 파 에너지 저감

전술한 바와 같이 인공식생의 파 에너지 저감 효과는 식생의 운 동특성 및 밀도, 수심에 대한 상대길이에 의해 결정된다고 알려져 있다(Méndez and Losada[2004]). Asano *et al.*[1992]은 수심 1/2의 길이에 해당하는 인공식생을 2차원 조파수조내에 설치하여 인공식 생이 닿지 않는 상층에서 파고 변화를 측정하여 아래 식 (2)와 같은 지수적 파고 저감식을 제안하였다.

$$\frac{H}{H_o} = \exp(-k_i x) \tag{1}$$

여기서, H는 파의 각 수평방향 진행거리에서의 파고, H 는 인공식

In front of vegetaion **Behind vegetation** 6 Waterlevel elevation(cm) 4 2 0 -2 -4 -6 -8 2 3 5 0 1 4 6 Time(sec)

Fig. 6. Time serial of waterlevel elevation at the location of in front and behind vegetation (Case Ch-5).



Fig. 7. Comparison of data of Asano et al.(1992) and this study (Case Ch-5 and Ch-6).

생 통과 전의 입사파고, k,는 지수적 감쇠계수(주기 1.4 sec일 때 평 균 0.031 m⁻¹, 주기 2.0 sec일 때 평균 0.05 m⁻¹), x는 파의 수평방향 진행거리를 나타낸다.

Fig. 6은 인공식생 전면과 후면에서 계측되어진 실험안 Ch-5의 파 시계열을 나타내고 있다. 입사파가 인공식생을 지나면서 파고가 약 41% 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 Fig. 7은 본 실험을 통해 얻어진 투과파고를 앞서 Asano *et al.*[1992]의 식(2)의 지수적 파고 저감식과 비교하여 제시하였다(주기가 비슷한 1.4sec 인 경우만을 고려). 기존의 파고 저감식에 비해서 인공식생을 설치 하고 실험한 Ch-5 및 Ch-6의 경우가 전달파고가 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

3.4 인공식생 폭의 영향

본 연구에서는 수심 1/2의 높이를 가지는 인공식생에 대해서 인 공식생 폭의 영향을 중심으로 살펴보고자 하였다.



Fig. 8. The relationship between the wave reflection coefficient K_r and the relative wave height (H_i/h) .



Fig. 9. Variation in the relative horizontal distance from shoreline to longshore bar as a function of the relative wave height (H/h).

인공식생 유무 및 폭(B)의 차이에 따른 상대파고(H/h)에 대한 반 사율(K,=H,/H)을 나타낸 것이 Fig. 8이다. 인공식생이 없을 경우 반 사율이 약 0.14의 값을 가지나 인공식생이 있을 경우 약 0.22의 값 으로 증가함을 알 수 있다. 그러나 인공식생 폭(B)의 변화에는 큰 차이를 보이지 않았다. 결과적으로 인공식생이 외해 방향으로의 파 에너지 반사를 일으켜 배후사면으로 파 에너지 전달을 감소시키고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 9는 인공식생 유무 및 폭(B)의 차이 에 따른 상대파고(H/h)에 대한 연안사주의 위치(L,/L)를 나타낸 것 이다. 인공식생이 없을 경우 연안사주의 위치(L₁/L)는 입사파 조건 과 무관하게 일정한 위치에서 발생하였으나 인공식생이 있고 그 폭 (B)이 증가할 수 록 물가선(정선)으로 접근하여 발생되고 있음을 알 수 있다. 더구나 파고가 클수록 연안사주의 위치(L,/L)는 더욱 줄어 드는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 인공식생 유무 및 폭(B)의 차이에 따른 상대파고(H/h)에 대한 연안사주의 최대 높이(D/H)를 나타낸 것이다. 전체적으로 인공식생의 설치 폭(B)이 클수록 연안사주의 최 대 높이(D/H)가 감소한다. 또한 Fig. 11에서 입사파 조건과 인공식 생의 설치 길이(B)에 따른 해안선 위치(l) 변화를 파악하였다. 인공



Fig. 10. The variation of the relative maximum height of the longshore bar as a function of the relative wave height (H/h).



Fig. 11. The variation in the relative horizontal location of the longshore bar as a function of the relative wave height (H/h).

식생이 설치되지 않은 경우에는 파 내습에 따라 해안선 위치(*l*)가 후퇴(-)하였으나 인공식생이 설치된 모든 경우 해안선에서 퇴적(+) 현상이 나타났다.

이상의 결과를 살펴보면 인공식생이 없는 경우 수면상의 쇄파점 아래의 해저경사면에 연안사주가 발생하였다. 또한 입사파 조건(평 상파 또는 폭풍파) 및 인공식생의 폭(1B 또는 2B)에 따라서 사면상 에 연안사주가 발견되는 현상이 차이를 보였는데 대체적으로 인공 식생의 폭(B)이 클수록 최대 연안사주 위치 L₁이 감소하고 그 높이 (D)도 감소하였다. 하지만 폭풍파 조건인 Ch-6에서는 정선에서 퇴 적 현상이 나타나고 사면상의 파 처오름 현상에 의해 연안사주는 발견되지 않았다.

사면측정기를 이용하여 파 작용 전후의 지반 변화를 계측하고, 물가선(정선)으로부터 인공식생까지의 거리(*L*₂)에서의 해빈단면 변 화량을 계산하였다. 그 결과는 Table 2에 기술하였다. 인공식생이 없을 경우 평상파 조건에서는 해빈단면 변화량이 -46.9 cm², 폭풍파 조건에서는 -492.1 cm²이며, 결과적으로 해빈단면의 변화는 인공식 생이 없을 경우 전반적으로 외해로 유출되고 고파 내습시 그 변화

Table 2. The measured wave reflection coefficients, and the net quantity of bottom change for each test condition

	Normal wave condition				Storm wave condition				
	Incident wave	Reflected	Wave reflection	Net quantity of	Incident	Reflected	Wave reflection	Net quantity of	
	(a, cm)	wave (b, cm)	coefficients (b/a)	D value (cm ²)	wave (a, cm)	wave (b, cm)	coefficients (b/a)	D value (cm ²)	
Without vegetation	6.300	0.877	0.139	-46.9	11.450	1.386	0.121	-492.1	
1B vegetation	5.631	1.292	0.229	-0.4	12.758	2.521	0.198	-11.4	
2B vegetation	6.155	1.385	0.225	5.4	12.951	2.850	0.220	50.3	

량도 약 10배에 달하는 것을 알 수 있다. 하지만 인공식생이 있을 경우 그 값이 (+)의 값을 가지게 되어 초기 사면이 퇴적되는 결과를 나타내고 있다.

결과적으로 평상과 및 폭풍파 조건에서의 모든 해빈단면 침퇴적 현상을 살펴보았을 때 인공식생이 없는 조건에서는 침식 현상이, 인 공식생 폭 1B 조건에서는 평형상태를 유지하고 있었다. 또한 인공 식생 폭 2B 조건에서는 평상과의 경우 퇴적 현상이 발생하지만 그 총량이 5.4 cm²로 매우 적은 양이므로 정상상태로 판단되며 폭풍파의 경우 퇴적이 우세하게 일어났다.

최종적으로 평상과 조건에서 식생너비가 증가함에 따라 해빈단 면의 변화(최대 연안사주 위치 L₁ 및 그 높이 D)가 점점 감소하는 것을 알 수 있다. 폭풍과 조건에서 해빈단면은 식생너비가 증가할 수록 해안선이 점점 전진하고 있으며 초기단면의 해안선에서 퇴적 량이 커지고 있는 것으로 판단된다. 이는 평상파에 비해 파고가 높고 주기가 길어 비교적 에너지를 더 많이 전파하고 많은 양의 모래를 이동시켜 해빈단면을 변화시키기 때문인 것으로 판단된다.

4.결 론

본 연구에서는 친환경적이고 저비용의 연성공법으로서 인공식생이 있는 경우와 없는 경우에 대한 조건으로 수심 1/2 높이를 가지는 인 공식생에 대해서 인공식생 폭(*B*)의 영향을 중심으로 수리모형실험 을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

4.1 인공식생이 없는 조건의 해빈 변화

인공식생이 없는 경우 해빈 파고 반사율이 약 0.14로서 해안선의 후퇴, 연안사주의 발달 등 침식해빈의 물리적인 특성을 잘 나타내 었다. 인공식생이 있을 경우 반사율은 약 0.22로 증가하였으나 인 공식생 폭(*B*)의 변화에는 큰 차이를 보이지 않았다.

4.2 인공식생 폭이 작은 경우(1B)의 해빈 변화

평상파 조건에서 해안선의 변화는 나타나지 않았으나 앞서 (4.1) 의 해빈단면에 비해 연안사주의 크기가 감소하였으며 해안선 방향 으로 더 가까운 지점에 형성되었다. 폭풍파 조건에서는 초기단면의 해안선에서 약 1.8 cm의 퇴적이 발생하며 해안선이 12 cm 전진하 였다. 연안사주의 크기 및 형성위치는 평상파와 동일한 경향을 나 타내었다.

4.3 인공식생 폭이 큰 경우(2B)의 해빈 변화

평상파 조건에서 앞서 (4.1),(4.2)보다 크기가 작은 연안사주가 형 성되며 전체적으로 해빈의 변화는 거의 나타나지 않았다. 폭풍파 조 건에서는 초기단면의 해안선에서 약 2.4 cm의 퇴적이 발생하며 해 안선이 25 cm 전진하였다.

최종적으로 앞서 결과를 종합해 보았을 때 인공식생이 없는 조건 에서는 해안선이 후퇴하고 연안사주는 연안에서 가장 먼 지역에서 형성되며 연안사주의 퇴적 높이도 가장 높게 나타났다. 하지만 인 공식생이 있는 조건에서는 이와 반대로 해안선이 전진하며 연안사 주의 형성위치가 연안방향으로 이동하고 연안사주의 퇴적 높이도 낮아진다. 또한 식생이 없는 조건에 비해 인공식생 전면에서의 파 고 반사율이 약 2배 높게 나타나는데 이는 인공식생이 설치된 배후 사면으로의 파 전달에너지가 감소하는 것이라 할 수 있다.

이상의 연구결과를 통해 인공식생이 해빈단면의 변화에 영향을 미치며 해빈침식방지 공법으로의 적용가능성을 가지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서 수리모형 실험은 평상파와 폭풍파 등 6가지의 case에 한정되어 있다. 따라서 보다 세밀화된 수리모형 실험(현장 파랑조건, 해저경사 및 저질, 인공식생의 재료 및 재질 등)이 요구된다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(CD20151170) 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Asano, T., Tsutsui, S. and Sasaki, T., 1988, "Wave damping characteristics due to seaweed", Proc. 35th Coastal Eng. Conf. in Japan, JSCE, 138-142.
- [2] Asano, T., Deguchi, H. and and Kobayashi, N., 1992, "Interactions between water waves and vegetation", Proc. 23rd Coastal Eng. Conf., ASCE, 2710-2723.
- [3] Dubi, A., and Tørum, A., 1994, "Wave damping by kelp vegetation", Proc. 24th Coastal Eng. Conf., ASCE, 142-156.
- [4] Dalrymple, R.A., Kirby, J.T. and Hwang, P.A., 1984, "Wave diffraction due to areas of energy dissipation", J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., ASCE, Vol. 110, No. 1, 67-79.
- [5] Jackson, G.A. and Winant, C.D., 1983, "Effect of a kelp forest

on coastal currents", Conf. Shelf Res., Vol. 20, 75-80.

- [6] Karambas, Th., Koftis, Ch., Koutandos, E. and Prinos, P., 2012, "Innovative Submerged Structures/Vegetation Effects on Coastal Erosion: Numerical Modeling of Hydro-Morphological Processes", Proc. of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference, 1328-1334.
- [7] Kim B.M., 2016, "A study on the beach erosion prevention using the artificial seaweed", Ms thesis, Pukyong National Univ.
- [8] Kobayashi, N., Raichle, A.W. and Asano, T., 1993, "Wave Attenuation by Vegetation", J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., ASCE, Vol. 119, No. 1, 30-48.
- [9] Harris L.E., 2009, "Artificial Reefs for Ecosystem Restoration and Coastal Erosion Protection with Aquaculture and Recreational Amenities", Reef Journal, Vol. 1, No. 1, 235-246.
- [10] Lee, S.D., Park, J.C. and Hong, C.B., 2009, "Hydraulic experiment on the effects of beach erosion prevention with flexible

coastal vegetation", J. Ocean Eng. Technol., Vol. 23, 31-37.

- [11] Méndez, F.J. and Losada, I.J., 2004, "An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields", Coastal Eng., Vol. 51, No. 2, 103-118.
- [12] Park, I.H., 2001, "Hydraulic experiments of beach erosion prevention using the artificial seaweed", Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Nat'l Univ., Vol. 10, 100-106.
- [13] Sunamura, T. and Horikawa, K., 1974, "Two-dimensional beach transformation due to waves", Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE, 920-938.

Received 22 June 2016

1st Revised 19 July 2016, 2nd Revised 12 September 2016 Accepted 21 September 2016