

# 현장관측에 의한 친환경 해안조성을 위한 침식방지 호안공 개발에 관한 기초적 연구

## Basic Research on Revetments Development of Erosion Protection for Coastline Creation of Hydrophilic Environment by Field Observation

이 종 석\* / 한 재 명\*\*

Lee, Jong-Seok / Han, Jae-Myung

### Abstract

In recent times, sea level increasing caused by abnormal weather and global warming, sea-sand dredging and complex development causes various kind of erosion damages onto the coastal area in the world. The various types of erosion control and protection methods are applied but there are no signs of fruitful effectiveness. The PC concrete protection block for shore protection structure is practically installed in globally but most of structures in the present day became villainous because of bad accessibility. In this study, hydrophilic revetments for control and protection of coastline erosion will be developed in order to make up for a faculty of the shore erosion protection block with better accessibility and excellent protection ability. Experimental measurements were researched to insure for the capacity and facility on reflection coefficient, overtopping volume, and overtopping height characteristics of newly developed shore erosion protection block in model tests. As the result, hydraulic model tests show much excellent than the general step block. Field tests were carried out also to verify through vegetative test on an affinity and construction work test of control-protection on coastline erosion with actual utilization. In the latter case, deposition of sand accumulation occurred in fairly short time at the established reaches and then we can be confirmed to utilize for newly developed block as the revetments for control and protection of coastline erosion.

**keywords** : hydrophilic environment, coastline creation, erosion protection, revetments, vegetative and field experiment

### 요 지

근래에 이상기상과 지구 온난화로 인한 해수면 상승과 해사채취, 난개발에 의해 국내외 연안역에 여러 형태의 침식피해가 발생되고 있다. 이에 대한 침식방지 및 보호대책 공법이 적용되고 있으나 큰 실효를 거두지 못하고 있다. 연안보호 구조물로 PC 콘크리트 호안블럭이 국내외 연안에 시공되고 있으나 대부분의 기존 구조물들은 사람의 접근성이 어려운 구조물로 시공되어 있어 친수성이 부족한 실정이다. 본 연구에서는 이런 점들을 보완하여 사람들의 접근성이 좋으면서 연안침식 방지·보호 능력이 우수한 친수성 호안공을 개발하고자 한다. 개발한 호안공의 성능과 기능의 확보를 위해 모형실험이 반사율, 파랑, 월파고에 대해 수행되었다. 그 결과는 일반 계단형 보다 훨씬 좋은 결과

\* 교신저자, 한밭대학교 토목공학과 교수  
Professor. Dept. of Civil Engrg., Hanbat National University, Daejeon, 305-719, Korea  
(e-mail: [ljs96@hanbat.ac.kr](mailto:ljs96@hanbat.ac.kr))

\*\* (주)한길 기술고문  
Technical Adviser, Hangil Co.

를 나타냈다. 또한 호안공의 실용화를 위해 현장실험은 노출부 일단면의 식생실험과 해안역의 침식구간에 시공실험을 실시하였다. 후자의 경우는 실험구간에서 많은 양의 모래가 짧은 시간에 퇴적되어 연안침식 방지 및 보호용 친수 호안공으로서의 현장 적용성을 확인하였다.

**핵심용어** : 친환경, 해안조성, 침식방지, 호안공, 식생 및 현장실험

## 1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러 싸여있고, 그 주변에는 3,418개의 섬이 있으며, 섬을 포함한 해안선의 총 길이는 17,361km에 달한다. 이와 같이 긴 해안선을 갖고 있는 우리나라는 매년 지구 온난화 현상에 의한 해수면 상승과 해사채취, 치산치수의 선행개발, 난개발 등에 의한 공급토사의 수지불균형으로 인해 연안침식 피해가 전 해안에 걸쳐 확대 진행되고 있다. 침식 방지를 위한 대책으로 양빈, 직립 호안제, 사석제, 테트라포드, 이안제 등의 구조물을 시공하고 있으나, 특별한 효과가 입증되지 않았으며 심지어 예상치 못했던 다른 피해를 유발시키고 있는 실정이다(해양수산부, 2005a). 그 결과 우리나라는 물론 세계의 여러 해안이 이러한 침식현상으로 많은 피해가 발생되고 있다. 이는 단순한 국토의 손실 외에 연안침식으로 인해 백사장 등이 사라짐으로써 파의 내습속도가 빨라지게 되고, 그 결과로 배후지역 등의 시설피해가 보다 심각하게 발생될 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 해안침식 현상의 정확한 이해와 그 원인을 파악하여 예방 및 방지대책을 강구해야 할 것이다.

해양 선진국들은 해안침식의 방지와 예방을 위해 양빈과 친환경적 연성공법 및 이 두 공법을 병행하는 복합공법을 선호하는 추세이며, 대규모 콘크리트호안과 돌제 등을 이용한 강성공법은 배제하는 경향이다. 하지만 양빈 등과 같은 친환경적 연성공법 또한 영구적 공법제공이 불가능하고 주기적으로 모래를 인위적으로 공급하여야 하는 등 비경제적 요소가 많이 발생되고 있다. 또한 종래의 강성공법에 적용되는 콘크리트 호안블럭은 사람의 접근성이 전무한 테트라포드와 개량형 테트라포드 등이 시공되고 있다. 이는 시공 후 세굴에 의한 제체의 유실, 반사파 발생에 의한 침식, 월파량 증가에 의한 배후지 피해, 비환경 친화적 구조물의 획일적인 시공으로 인한 생태계 파괴 및 조망권 상실 등의 여러 가지 문제점들로 인하여 최근에는 콘크리트 호안공법의 적용을 기피하고 있다.

Reeve(1998)는 해안 보호의 위험도를 평가할 때 파와 조위자료를 이용해 통계적 기법으로 월파량을 계산

하였으며, Balas and Ergin(2002)은 터키에서 항만계획을 수립할 때 해안에 관한 과제 수행의 위험도 평가를 신뢰성에 기초하였다. Mori and Cox(2003)는 고정된 구조물에 극치파가 작용으로 인한 월파량을 통계적 모형으로 해석하였고, Duclos *et al.*(2004)은 수중방파제의 파반사와 이송 및 에너지 소산에 대해 연구하였다. 최근 수년전부터 워터프론트 개념의 확산에 따라 환경사 호안제가 연안침식 방지 및 연안 호안용으로 연구 개발되어 보급되고 있다. 이는 1:3~1:5인 환경사 호안제의 보급으로 백사장 해빈이 콘크리트화 되어 생태계의 파괴와 해빈의 감소 등 환경적 문제, 구조상 경사면 끝에서 속채움 토사가 쉽게 유출되어 재해의 발생이 쉬운 결점이 있다. 또한 직립호안에 비해 월파량이 증대되어 방호효과가 떨어지므로 환경사 호안구조물을 신규 현장에 적용할 때에는 많은 주의가 요구되고 있다(宇多高明, 2004). Ding *et al.*(2006)은 복잡한 해안의 변화과정을 모의하기 위해 준3차원 해안 형태학 모형을 개발하여 구조물을 포함하는 해안의 형상적 변형을 모의하였으며, Headland *et al.*(2007)은 해안보호와 토사퇴적에 관련된 방파제·돌제·방조제 등 해안구조물의 최적설계에 대해 연구하였다.

국내의 해안침식 방지에 관한 연구는 권혁민과 이달수(1999)가 신형 중간 피복블럭의 개발이전부터 이루어져왔고, 류택규와 이대호(2001)는 사구를 고정하고 수립을 조성하는 해안침식방지에 대해 연구하였으며, 박상길과 강경욱(2001)이 3차원 수리실험을 통해 트렌치 설치에 의한 해안선 보존방안을 제안하였다. 김규한과 유형석(2003)은 동해안의 침식해안에서 표사관련 인자를 현장 관측하여 표사이동의 경향을 분석하였고, 김인철과 위현철(2003)은 송도해수욕장의 해안침식방지 대책공법을 수치 연구하였으며, 신은철과 오영인(2003)은 수리모형실험을 통해 지오텍스타일 튜브의 특성을 분석하였다.

또한, 김호용과 최철용(2005)은 해안관련 측정장비를 이용한 장기간의 관측자료를 사용하여 해빈의 지형변화 패턴을 정량적으로 분석하였고, 장용채와 이승은(2005)은 토목섬유를 이용한 연안침식 방지기술에 대해 연구하였으며, 한재명 등(2005, 2006)은 소파성능이 우수한

자연친화형 호안구조물을 개발하여 항내 정은 유지와 해안호안용으로 적용할 때 기존 직립옹벽에 의한 반사파 발생으로 연안침식이 발생되었던 것을 방지할 수 있는 연구를 하였다. 김남형과 문지원(2007)은 수중에 인공리프를 설치하여 해빈의 침식거동을 수치 해석하였고, 허동수와 이우동(2007)은 투수층 매설에 의한 해빈안정화에 관한 연구로 사빈내부에 투수층을 매설하여 해빈의 침식제어 및 퇴적촉진 등의 효과를 기대할 수 있는 공법을 제안하였다. 이종석과 한재명(2007)은 자연친화형 침식방지 구조물의 안정성에 관한 연구를 수행하여 양빈으로 해결할 수 없는 지형 등에도 시공이 가능하고 반사파 기능이 우수한 친수호안 블럭을 연구하였으며, 한재명(2008)은 환경친화형 친수 호안블럭의 수리특성에 관한 연구를 하였다.

본 연구에서 개발한 호안공은 연안침식 보호 및 방지용으로 친수 해수유통 호안공을 근교블럭과 기본블럭으로 구성하고, 이를 서로 교호시켜 시공함으로써 부등침하에 대한 저항성이 향상된 구조물이다. 블럭의 외측면에는 전단키를 설치하여 파력에 의한 체체 변위가 생기지 않도록 결속시킬 수 있게 하였고, 계단형 구조로 시공할 수 있어 친수성과 접근성이 용이하도록 하였다. 상부 노출면에는 식생을 식재할 수 있는 공간을 두어 자연 친화적인 특성을 갖도록 하였는바, 이는 기존 연안 호안구조물들의 많은 문제점들을 해소시킬 수 있을 것이다. 또한 본 연구는 연안침식 방지용 호안구조물의 장기적인 거동과 반사율, 월파랑, 월파고 등에 대한 수리특성을 평가함으로써 기존 해안 호안구조물보다 경제성, 시공성 환경성에서 우수함을 검증할 수 있도록 실내 및 현장실험을 실시하였다. 실내실험은 개발한 해수유통 호안공의 수리특성 분석을 위해 수리모형실험을

수행하였고, 현장실험은 노출부 일단면의 식생실험과 침식지점 일부구간의 시공실험을 실시함으로써 개발한 연안침식 방지 및 보호용 친수 해수유통 호안공의 활용성을 확인하고자 한다.

## 2. 호안공 및 모형실험

### 2.1 해수유통 호안공

Fig. 1과 같은 기존의 호안 구조물은 해안에 사석 경사제나 단순구조물 설치로 해수의 순환방해에 의한 해안침식과 항내오염을 발생시킬 뿐만 아니라, 폐쇄적으로 항내 해수유통 기능 저하로 수질오염 상태가 심각하고, 단순 사석이나 구조물 시공에 의한 친수성 부족 및 친환경성의 고려가 아주 미미한 실정이다(John, 2000). 이들 구조물은 최근까지 개발되어 항만의 경사진 해안벽·제방, 방파제, 하천과 호수 등의 제방에 많이 사용되었으며, 파랑을 차단하여 항내의 정은유지, 항만시설물 보호 등의 단순기능을 위주로 하여 설치되었다.

본 연구에서는 기존 구조물과의 차별화를 위해 Fig. 2와 같은 해수유통 호안공을 개발하였으며, 이들 구조물은 시공성·경제성·환경성 면에서 다음과 같은 차이점을 갖는다. 전자의 경우는 ①수심 깊을 때 사석제 사용 많고, 파고에 따라 천단고가 커지고, ②해수 순환기능이 미흡해 항내 수질오염 심각하며, ③해수의 흐름방해로 해안침식 발생이 심각하다. 반면에, 후자는 ①마운드·피복사석량의 획기적 저감 및 조립구조에 의한 시공성 탁월하고, ②안정적 구조에 의한 제반 비용 저감 및 유지보수 용이하며, ③현장여건에 따라 다양한 순환기능 제공으로 항내수질 개선 효과 탁월, ④해수의 원활한 순환에 의한 해안침식 방지효과가 탁월하다.

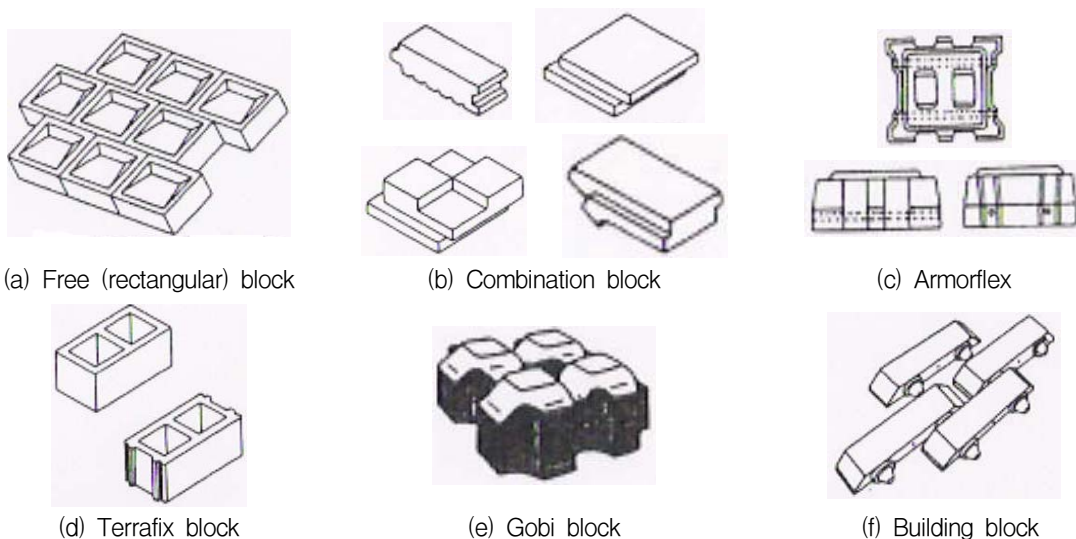


Fig. 1. Configuration in Existing Revetments

## 2.2 상사이론과 모형

모형과 원형 사이의 상사율은 Froude 법칙(Michale, 1972)을 사용하였으며, 친수 호안블럭의 적용현장과 실험실의 규모를 고려하여 축척은 1/10로 하였다. 미소진 폭과 이론에 근거하여 모형의 축척(Horikawa, 1978)은 연직 및 수평방향 공히 1/10로 하였다. 중력이 유체의 운동을 주로 지배하므로 유체의 점성이나 표면장력 등의 영향은 무시할 수 있을 정도로 작아 모형과 원형사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배된다(Teng, 1984; Sorensen, 1997). 기하학적 상사를 만족시키는 축척 1/10의 모형에서 시간-속도 상사율과 모형-원형간에 동일유체의 밀도와 단위중량에 대한 상사율은 다음과 같다.

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{1/2} = \frac{1}{3.16} \quad (1)$$

$$\frac{W_m}{W_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3 = \frac{1}{1000} \quad (2)$$

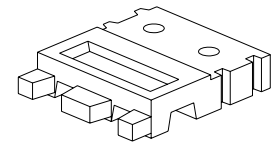
여기서  $L$ 은 길이이고,  $T$ 는 시간이며,  $V$ 는 속도,  $W$ 는 중량, 첨자  $m$ 과  $p$ 는 각각 모형과 원형에서의 물리량이다.

실험과는 불규칙과로서 반사파 흡수필터를 가동하여 파가 재반사 되는 것을 방지하였고, 호안블럭의 전면 해저면이 평탄한 구간에서 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼에 맞도록 다음 식과 같이 보정한다(Bretschneider, 1968; Chin and Chiew, 1993; 차영기 등, 2003).

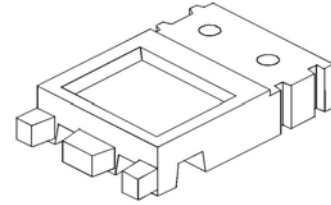
$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (3)$$

여기서  $S(f)$ 는 파랑에너지 밀도이고,  $f$ 는 주파수이며,  $H_{1/3}$ 과  $T_{1/3}$ 은 각각 유의파의 파고와 주기이다.

친환경 해수유통 호안공의 모형은 항만 및 어항설계 기준(해양수산부, 2005b)을 적용하여 Fig. 2(a)와 같은 급경사(1:1.5) 유공형과 Fig. 2(b)와 같은 완경사(1:2.6) 유공형으로 각각 제작하였다. 실험용 블럭은 시멘트와 모래의 무게비를 1:2로 하고, 적당량의 물과 배합하여 거푸집에 넣은 후 진동시켜 기포를 제거하며, 약 24시간정도 상온의 공기 중에서 경화시켜 거푸집을 제거한 후 수중 양생으로 제작하였다.



(a) Steep Slope(1:1.5)



(b) Mild Slope(1:2.6)

Fig. 2. Models in Model Experiment

## 2.3 모형실험 및 결과분석

모형실험은 수로 길이 53m, 높이 1.25m, 폭 1m인 다목적 수리실험장치가 사용되었는데, 수로의 상류쪽 13m와 하류쪽 7m 구간은 양측벽이 철재로 되어 있고, 나머지 중앙부분 33m의 양측은 강화유리로 되어있어 거의 모든 실험구간이 관찰할 수 있다. 또한 수조폭 1.0m를 6:4로 분할하고 넓은 쪽에 구조물을 설치하여 반사율을 측정할 수 있도록 하였으며, 조파기는 크기 0.995m(폭)×1.25m(높이), 최대파고 0.3m, 재현주기 0.8~2.8s, 최대수심 1m이다.

Table 1의 파랑조건을 이용한 모형실험은 급경사(1:1.5)형과 완경사(1:2.6)형 및 이들의 통수구 유무에 따라 구분하여 4가지 방법이 수행되었다((주)한길, 2005). 모형실험은 친환경 호안공의 기능과 성능파악을 위해 파 에너지의 흡수정도를 나타내는 입사파고에 대한 반사파고의 비인 반사율을 측정하여 안정성을 검토하였다. 또한 배후지의 안정성 확보를 위한 월파량과 월파고 측정이 주어진 실험조건에서 최대 파랑을 재현하여 실험용 모형블럭에 적용되었다.

반사율 실험에는 24.2cm(가로)×20cm(세로)×8cm(높이)의 급경사 모형과 33.2cm×20cm×8cm인 완경사 모형의 동일한 크기의 해수유통 호안공과 일반블럭이 각각 사용되었다. 이들 두 경우 모두 블럭 정면에 사다리꼴 모양의 1차 쇄파대가 3개소 형성되어 있고, 쇄파대 사이에는 2개소의 유입구가 형성되어 블럭의 내부에 형성된 T형 분쇄구와 연결되어 1차 쇄파대를 통과한 잔여 파 에너지를 흡수·분산시키는 구조이다. 최종적으로 블럭의 상하로 연결되는 직경 25cm의 통수구(circulation hole)가 2개소 설치되어 블럭의 내부로 유입된 파 에너지를 최대한 분산·흡수시키도록 구성하였다. 실제 블럭은 측면에 수직으로 2개의 전단키가 있으나 모형제작

Table 1. Conditions of Incident Wave in Model Experiment

Ts (s)	Open-Circulation Hole				Closed-Circulation Hole			
	Steep Slope(1:1.5)		Mild Slope(1:2.6)		Steep Slope(1:1.5)		Mild Slope(1:2.6)	
	Hs=5.0 (cm)	Hs=10.0 (cm)	Hs=5.0 (cm)	Hs=10.0 (cm)	Hs=5.0 (cm)	Hs=10.0 (cm)	Hs=5.0 (cm)	Hs=10.0 (cm)
0.9	○	-	○	-	○	-	○	-
1.0	○	-	○	-	○	-	○	-
1.1	○	○	○	○	○	○	○	○
1.2	○	○	○	○	○	○	○	○
1.4	○	○	○	○	○	○	○	○
1.6	○	○	○	○	○	○	○	○
1.8	○	○	○	○	○	○	○	○

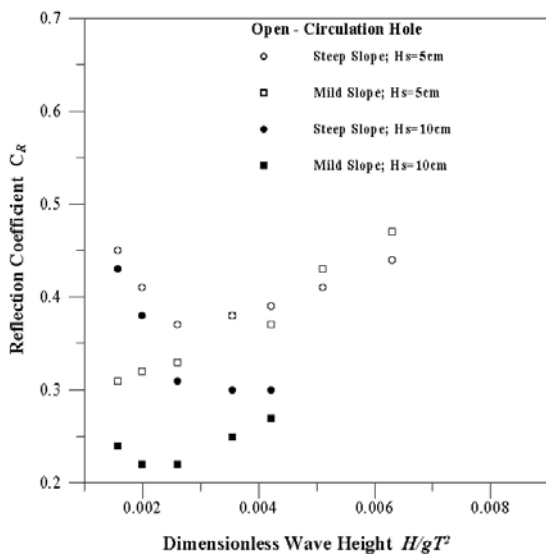
시 복잡성을 고려하여 그 부분은 제외된 모형으로 실험을 수행하였다. 호안블럭 모형은 수리특성을 효율적으로 평가하기 위하여 수조의 종방향으로 연직분할관을 설치하여 수조를 폭 0.4m의 협수로와 0.6m의 광수로로 분리하고 호안블럭 모형은 폭 0.6m의 광수로에 설치하였다.

월과량은 최상부 호안블럭 위에 월류 수로를 배치하고 월류 수로의 끝에는 플라스틱 용기를 설치한 후 조파 시간 동안 용기에 모인 유량을 측정하여 평가하였다. 또한 월과 특성을 파악하기 위해 모형은 수심 42.5cm에 5단으로 설치하고, 모형 뒤쪽에는 뒷채움 사석을 쌓았으며, 호안블럭의 4단까지는 정수면 아래에 위치하며 가장 윗 블럭은 정수면 위에 위치한다.

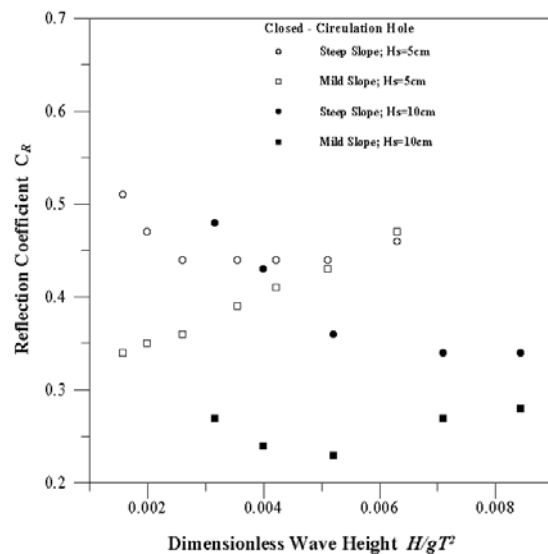
입사파랑 스펙트럼은 구조물에서 조파기 방향으로 8.2m의 위치에서 측정한 파고좌표로부터 계산하였다. 관측기는 용량식의 길이 100cm 파고계와 AD 및 D/A 컨버터, 16채널의 ADC와 4채널의 DAC파고계 등을 사

용하였다. 수심측정은 현장의 설치조건을 고려해 40cm에서 이루어졌고, 해저경사는 구조물에서 조파관 방향으로 7.8m는 2/100 경사와 입사파고 및 반사율 측정구간으로 7.2m의 수평구간을 가지며, 이후의 5.3m는 4/100로 구축하였다.

Fig. 3은 무차원 파고에 대한 반사율을 Fig. 3(a)와 같이 블럭내부의 통수구를 개방한 경우와 Fig. 3(b)와 같이 폐쇄한 경우 및 이들의 급경사와 완경사 사면에 대해 각각 실시한 실험결과이다. 그 결과 반사율은 모든 경우에서 0.5미만으로 작게 나와 해안침식 방지용 호안블럭으로 사용하기에 무리가 없을 것으로 판단된다. 전반적으로 급경사 호안보다는 완경사 호안이 블럭내부의 통수구가 막힌 무공보다는 열린 유공의 반사율이 낮았다. 완경사와 급경사 간의 반사율 차이는 주기가 길어질수록 많이 커지는 것으로 나타났고, 반사율면에서 유공과 무공과의 차이는 상대적으로 적게 나타났다.



(a) Open-Circulation Hole



(b) Closed-Circulation Hole

Fig. 3. Comparison of Reflection Coefficient with Dimensionless Wave Height

월파량은 Table 2와 같이 유의파의 주기가 같을 때는 파고가 커짐에 따라 모든 경우에서 월파량이 증가하는 것으로 나타났고, 파고가 같을 때에는 주기가 커짐에 따라 모든 경우에서 월파량이 증가하였다. 이것은 유의파의 파고가 같다고 하더라도 주기가 크면 월파량에 영향을 미치는 큰 파의 발생 빈도가 더 높아지기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 침식방지용 블럭보다 일반 계단블럭에서 월파량이 더 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 침식방지용 블럭의 경우는 블럭내부의 구멍을 통해 파 에너지가 소산되어 월파량이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 유의파의 파고와 주기가 작을수록 침식방지용 블럭의 월파량에 대한 일반 계단블럭의 월파량 비가 더 커지는 것으로 나타났는데, 이때 월파량은 월파 지속기간동안 측정된 유량을 방파제의 단위길이 · 시간당 체적( $\text{cm}^3/\text{cm} \cdot \text{s}$ )로 환산하였다.

Fig. 4는 침식방지 친수호안 블럭 Fig. 4(a)와 일반 계단블럭 Fig. 4(b)의 월파고를 비교한 결과이다. 모든 실험조건에서 연안침식방지 친수호안 블럭보다 일반 계단블럭의 월파고가 크게 나타났다. 평균적으로 일반 계단블럭의 월파고가 연안침식방지 친수호안 블럭에 비해

75% 정도 증가하였다.

### 3. 현장 실험

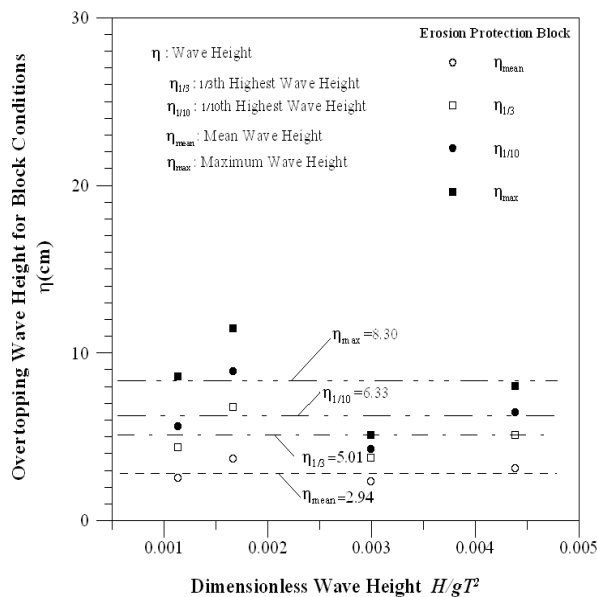
#### 3.1 조석 특성

조석자료는 진도조위관측소에서 해수유통 호안공이 시공된 2006년 7월부터 2008년 5월까지 측정된 조석자료를 분석한 결과 Table 3과 같이 나타났다.

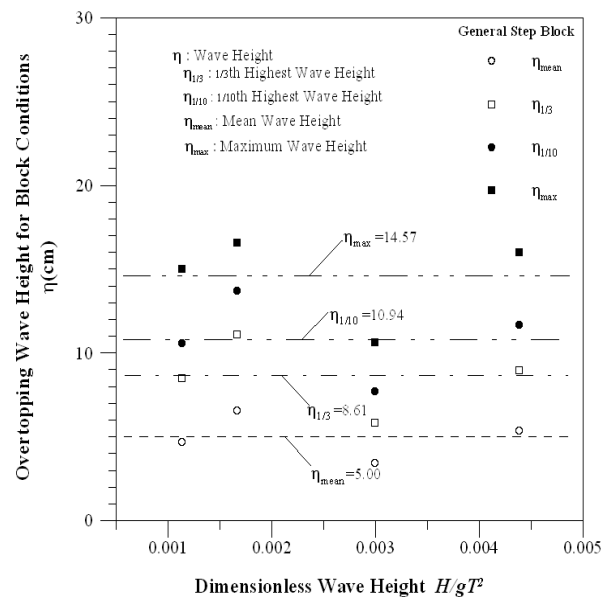
Table 3의 자료로부터 해수유통 호안공이 설치된 Fig. 7의 전남 진도군 가계 해수욕장 구간의 조위변화로 인한 해안선의 침식 및 퇴적양상은 2006년 7월부터 약 3개월 후의 일최대 조차는 약 4m 정도였고, 그 뒤 약 5개월이 지난 2007년 3월에도 거의 같은 값을 갖는 것으로 나타났다. 설치후 15개월이 경과된 2007년 10월에는 일최대 조차가 약 4.3m로 약 30cm 정도 증가되었고, 그 후 7개월이 지난 시공후 22월이 경과된 2008년 5년에는 일최대 조차가 약 4.4m로 증가되었다. 이렇게 시공후 약 22개월간의 파랑작용과 조위변화에 따른 해안의 침식과 퇴적의 반복작용 하에서도 최근의 사진에서 볼 수 있는 것처럼 해수유통 호안공의 설치로 인

Table 2. Comparison of Revetments with Block in Wave Overtopping per Unit Length per Unit Time

Hs(cm)	Ts(s)	Hydrophilic Revetments	General Block	Unit
7.5	1.6	1.12	3.43	$q(\text{cm}^3/\text{cm}/\text{s})$
7.5	2.6	2.72	5.93	
11.0	1.6	11.22	15.74	
11.0	2.6	19.23	22.53	



(a) Hydrophilic Revetments



(b) General Block

Fig. 4. Comparison of Hydrophilic Revetments with General Block in Overtopping Height

Table 3. Tidal Data on 2006.07~2008.05 in Jin Do-Tidal Station

Date	Tide Level(cm)			Tide Level(cm)			Tide Level(cm)			Tide Level(cm)		
	Time	Tide	Hight	Time	Tide	Hight	Time	Tide	Hight	Time	Tide	Hight
2006.07.13	00:27	High	404	07:02	Low	103	12:13	High	324	18:54	Low	14
14	01:08	High	402	07:43	Low	94	13:00	High	328	19:40	Low	22
15	01:49	High	393	08:25	Low	88	13:51	High	328	20:28	Low	42
2006.10.08	05:43	Low	2	11:34	High	396	18:10	Low	18	23:42	High	353
09	06:19	Low	-1	12:14	High	396	18:52	Low	42			
10	00:15	High	330	06:54	Low	9	12:55	High	384	19:36	Low	75
2007.03.17	03:53	Low	15	10:09	High	344	16:37	Low	52	22:07	High	310
18	04:39	Low	-12	10:42	High	362	17:12	Low	18	22:49	High	342
19	05:22	Low	-29	11:16	High	369	17:47	Low	-7	23:29	High	365
20	06:04	Low	-30	11:50	High	365	18:23	Low	-22			
21	00:10	High	376	06:46	Low	-16	12:24	High	350	19:00	Low	-23
2007.10.26	04:49	Low	-5	10:47	High	395	17:22	Low	19	22:52	High	347
27	05:28	Low	-20	11:28	High	408	18:06	Low	28	23:29	High	335
28	06:07	Low	-21	12:11	High	406	18:52	Low	47			
29	00:07	High	315	06:48	Low	-8	12:57	High	390	19:39	Low	75
2008.05.04	04:18	Low	42	09:53	High	323	16:27	Low	-12	22:27	High	388
05	05:02	Low	34	10:30	High	324	17:05	Low	-31	23:10	High	406
06	05:47	Low	37	11:09	High	318	17:46	Low	-36	23:54	High	410
07	06:32	Low	52	11:50	High	306	18:29	Low	-26			
08	00:44	High	399	07:23	Low	75	12:33	High	288	19:15	Low	-4

해 퇴적현상이 지속되고 있는 것을 알 수 있다.

### 3.2 식생 실험

식생 현장실험은 Fig. 5와 같이 경남 하동군 중평항 해안도로 신축공사 현장에 2006년 5월 7일부터 2006년 5월 25일까지 총연장 150m 구간에 1,600mm(가로)×400mm(세로)×200mm(깊이) 크기의 식생부가 형성된 호안블럭을 시공함으로써 이루어졌고, 사각형 단면에는 직경 20mm의 배수구를 설치하였으며, 블럭 계층별 1단의 높이는 70cm이다.

Fig. 5의 ①구간은 항시 파가 내습하는 구간이고, ②

구간은 만조일 때 파가 닿는 구간이며, ③구간은 태풍 시 외에는 파의 큰 영향이 없는 구간, ④구간은 예상 설계과 이상의 구간으로서 파의 영향이 거의 없는 구간이다. 식생실험은 ②구간에 자연석을 설치하고, ③과 ④구간에는 잣나무, 철쭉, 잔디를 심었다. 또한 콘크리트가 낫 동안 흡수한 잠열과 갈수기 동안 토질의 건조로 인하여 식물이 수분부족으로 고사하는 것을 방지하기 위하여 버섯 재배농장에서 일정기간동안 버섯재배에 사용한 후 버려지는 흙을 시공현장 흙과 약 1:1로 배합하여 성토하였다. 버섯재배농장에서 버려지는 흙속에는 보통 흙과 석회, 벗짚, 벤토나이트(bentonite) 등의 성분이 있

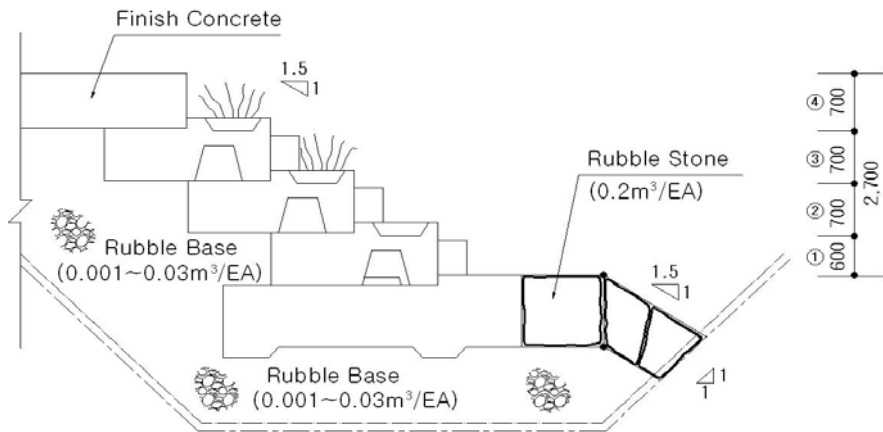


Fig. 5. Layout for Vegetative Experiment

어 수분을 장기간 동안 저류할 수 있으므로 버섯 재배 농가에서 쓰고 버려지는 흙을 재활용하였다.

Fig. 6(a)는 식재 직후의 경관이고, Fig. 6(b)는 식재 후 약 1년이 경과된 것으로 관리를 하지 않는 상태에서도 식물들이 잘 성장하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5의 ③과 ④구간은 시공할 때 심었던 육상식물들이 ④구간에서는 피, 쑥, 질경이, 갯씀바귀 등 여러 종류의 새로운 식물들이 자생해 공존하였고, ③구간에서는 바닷물의 영향에 의해 시공할 때 심었던 육상식물은 모두 사라지고 염생식물인 함초, 칠면초, 지채 등이 번식하는 것을 확인하였다.

### 3.3 침식방지 실험

침식방지 현장실험은 Fig. 7과 같이 2006년 7월 26일부터 2006년 7월 31일까지 전남 진도군 가계해수욕장 구간의 연안침식 지점에 방지용 호안블럭을 4단으로 50m를 시공하였다.

Fig. 7(a)와 같이 이 구간은 매년 침식이 발생되어 종래에 사석재를 설치하였던 호안이 붕괴되어 가계해수욕장 백사장의 모래가 유실되었을 뿐만 아니라, 일부 구간에서는 토사포락도 발생되고 있었다. 이 구간에 개발한 호안공을 시공한 후 3, 8, 15, 22개월이 각각 경과된 뒤에 현장을 조사한 결과가 Fig. 7(b)~(e)와 같이 나타났다. 15개월의 시간이 경과된 후의 현장조사에서 Fig. 7(d)는 블럭의 한 계단이 모래로 거의 덮여 있는 것이 확인되었다. 이 블럭의 높이는 80cm이나 하단블럭과 상부블럭의 중첩높이가 10cm인 것을 고려하면, 최소 70cm 이상의 모래가 퇴적된 것을 확인하였다. 22개월이 경과

된 Fig. 7(e)는 가장 최근인 2008년 5월에 그 반대쪽 방향에서 조사한 결과인 데, 두 계단 정도가 모래로 덮여 있는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4 결과 분석

친환경 호안공의 현장 적용성 검토를 위한 현장실험 결과 식생실험은 식생부 단면결정시 식물들이 근착할 수 있는 최대한의 공간조성을 위해 블럭에 구조적 문제가 발생하지 않는 깊이인 20cm의 식생부 깊이를 설정하였다. 보통 흙이 아닌 영양토인 버섯재배 농장의 흙을 활용하여 초기에 빠른 식생과 안정적으로 식생의 생장이 이루어지는 것을 확인하였다. Fig. 6의 ③구간에서는 바닷물의 영향에 의해 육상식물은 모두 사라지고 염생식물들이 새롭게 자생하였고, ④구간에서는 여러 종류의 새로운 식물들이 자생하는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험구간은 해안도로 공사 현장으로서 대형 태풍이나 설계과 이상의 큰 파가 내습하지 않는 기간 중에는 여러 종류의 식물들이 잘 생육되어 콘크리트로 인한 비환경친화적 문제점들을 해결할 수 있을 것인바, 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 침식방지 실험은 시공위치가 가계해수욕장 끝 지점으로부터 침식이 발생되어 백사장 전체가 유실될 수 있었으나 현재 호안공이 설치된 지점부터 다시 퇴적이 진행되고 있는 것을 보면 백사장의 사빈이 안정성을 회복되는 것으로 분석된다. 기존의 완경사 호안블럭은 구조상 경사면 끝에서 속채움 토사가 쉽게 유출되고 직립호안에 비해 월파량이 증대하여 방호효과가 떨어진다는 지적이 있듯이 속채움 토사의 유실은 결국에는 호안



Fig. 6. Field Experiment for Vegetation Culture in Shore





(a) Before Construction (2006.07)



(b) 3-Months After Construction (2006.10)



(c) 8-Months After Construction (2007.03)



(d) 15-Months After Construction (2007.10)



(e) 22-Months After Construction (2008.05)

**Fig. 7. Field Experiment for Erosion and Deposition in Shore**

붕괴의 직접적인 요인이 된다.

친환경 호안공은 기초단에 사용되는 근고블럭의 하단형상을 지면과의 마찰력 증대와 세굴방지를 위해 요철을 설치하였다. 그래서 기초단부터 입사하는 파의 에너지를 완충시켜주는 구조로 시공함으로써 근본적인 침

식의 발생원인중 하나인 세굴현상을 억제하고 반사파와 월파랑 및 월파고의 저감효과가 우수하여 짧은 시간에 많은 양의 모래가 퇴적된 것으로 판단된다. 계절성 요인에 의하여 퇴적되었는지의 여부를 확인하기 위하여 시공 후 2년 가까이 관찰한 결과를 고려할 때, 계절적

요인에 의한 일시적인 퇴적현상은 아닌 것으로 판단된다. 이 구간은 전남 진도군이 매년 실시해 오던 양빈을 개발한 호안공을 시공한 이후부터는 추가적으로 실시하지 않아도 백사장의 모래가 유실되지 않고 쌓여 있는 것을 볼 때, 본 연구에서 개발한 해수유통 호안공이 현장 적용성을 갖고 있다는 것을 확인해주는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 이상기후로 인한 해수면의 상승과 해사채취, 난개발 등에 의해 발생되고 있는 해안의 침식 문제를 해결하기 위해 침식방지 및 보호용 친환경 호안공을 개발하고, 이들 호안공에 대한 수리특성 실험과 식생 및 현장적용 실험을 실시하여 실용성을 검증한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모형실험결과 반사율은 모든 실험조건에서 0.5미만으로 급경사 보다는 완경사 호안에서, 블록 내부 통수구가 없을 때보다 있을 때에 작은 값을 보였고, 최대 유의과고 25cm, 유의과주기 2.0s와 2.6s에서 블록의 움직임이나 상하이동이 없었으며, 월과고는 일반계단 블록보다 개발한 해수유통 호안공에서 75% 이상 낮게 나타났다.
- 2) 현장식생 실험결과는 파가 닿지 않는 구간에서 육상식물이 자라고, 파가 닿는 구간에서는 염생식물이 자생하고 있는 것을 확인할 수 있었는데, 이것은 해수유통 호안공의 식생공간에 새로운 식물들이 자라서 주변경관과 조화를 이루는 것을 볼 때 자연친화적인 구조물로서의 기능이 있음을 확인하였다.
- 3) 현장시공 실험결과는 근고블럭과 기본블럭의 세굴에 대한 방지효과와 최저단부터 입사파의 파 에너지를 흡수·소산시키는 구조로 시공함으로써 반사파에 의한 침식발생 없이 퇴적상태가 유지되고 있는 것을 확인하였다. 또한 시공 후 일년 여 기간 동안에 약 70cm 이상 모래가 퇴적되어 해수욕장의 사빈이 회복되는 것으로 나타났는데, 이는 설치 1년여가 지난 후에도 퇴적상태를 유지하고 있는 것으로 보아 계절적 요인에 의한 일시적 현상은 아닌 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

권혁민, 이달수 (1999). “신형 중간피복 블록의 개발.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제19권, 제2-2호, pp. 183-194.

김남형, 문지원 (2007). “인공리프에 의한 해빈의 침식해석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제4B호, pp. 455-460.

김규한, 유형석 (2003). “현장관측에 의한 침식해안의 표사이동분석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제2B호, pp. 115-121.

김인철, 위현철 (2003). “송도해수욕장의 해안침식방지 대책 공법에 관한 수치적 연구.” **대한토목학회 정기학술대회 발표논문**, 대한토목학회, pp. 4982-4987.

김호용, 최철웅 (2005). “광안리 지역의 장기 지형변화에 관한 연구.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제1-D호, pp. 203-211.

류택규, 이대호 (2001). “해안침식 방지 공법 연구.” **생명자원과학연구**, 제26집, pp. 92-97.

박상길, 강경욱 (2001). “3차원 수리실험에 의한 트렌치 배후의 해빈안정에 관한 연구.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제2권, 제6-B호, pp. 656-666.

신은철, 오영인 (2003). “수리모형 실험을 통한 지오텍스타일 튜브의 특성분석.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제1C호, pp. 23-33.

이종석, 한재명 (2007). “자연친화형 해안침식방지 구조물의 안정성.” **한국콘텐츠학회 논문지**, 한국콘텐츠학회, 제7권, 제9호, pp. 212-219.

장용채, 이승은 (2005). “토목섬유 Two-bag을 이용한 연안침식 방지기술 개발.” **한국산학연논문집**, 한국산학연, 제5권, 제4호, pp. 37-43.

차영기, 이종석, 이대철, 김진규, 맹봉재, 김이현 (2003). **항만공학**, 도서출판 새론, pp. 137-151.

한재명 (2008). “연안침식 방지를 위한 친수호안 블록의 개발.” 석사학위논문, 한밭대학교.

한재명, 김영민, 박만교, 이종석 (2006). “자연친화형 소파블럭의 개발.” **대한토목학회 정기학술대회 발표 논문집**, 대한토목학회, pp. 245-248.

한재명, 신재욱, 이종석 (2005). “환경친화형 해안보호 호안블럭에 관한 연구.” **대한토목학회 정기학술대회 발표 논문집**, 대한토목학회, pp. 215-218.

해양수산부 (2005a). **연안침식방지기술 연구 용역 보고서**.

해양수산부 (2005b). **항만 및 어항 설계기준(상·하권)**.

허동수, 이우동 (2007). “투수층 매설에 의한 해빈안정화에 관한 고찰.” **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 626-629.

- (주)한길 (2005). **환경친화형 친수호안블럭 수리모형 실험결과 보고서**, 한국해양연구원.
- 宇多高明 (2004). *海岸侵食の實態と解決策*, pp. 27-32.
- Balas, C.E., and Ergin, A. (2002). "Reliability-Based Risk Assessment in Coastal Projects: Case Study in Turkey." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 128, No. 2, pp. 52-61.
- Bretschneider, C.L. (1968). "Significant Wave and Wave Spectrum." *Ocean Industry*, Feb., pp. 40-46.
- Chin, C.O., and Chiew, Y.M. (1993). "Effect of Bed Surface Structure on Spherical Particles Stability." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 119, No. 3, pp. 231-242.
- Ding, Y., Wang, S.S.Y., and Jia, Y. (2006). "Development and Validation of a Quasi-Three-Dimensional Coastal Area Morphological Model." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 132, No. 6, pp. 462-476.
- Duclos, G., Josset, C., Clément, H.A., Gentaz, L., and Colmard, C. (2004). "Hydrodynamic Efficiency of a New Design of Half-Submerged Breakwater Compared to a Rectangular Caisson." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 130, No. 3, pp. 127-133.
- Headland, J.R., Alfageme, S.R., Smith, E., and Kotulak, P. (2007). "Coastal Structure Design for Shore Protection and Sand Retention: Practical Aspects." *Coastal Sediments 2007, Conference Proceeding*, pp. 2432-2445.
- Horikawa, K. (1978). *Coastal Engineering An Introduction to Ocean Engineering*, Univ. of Tokyo Press.
- John, B.H. (2000). *Handbook of Coastal Engineering*. McGraw-Hill.
- Michael, E.M. (1972). *Ocean Engineering Wave Mechanics*, John Wiley & Sons.
- Mori, N., and Cox, D.T. (2003). "Statistical Modeling of Overtopping for Extreme Waves Fixed Deck." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 129, No. 4, pp. 165-173.
- Reeve, D.E. (1998). "Coastal Flood Risk Assessment." *J. Wtrwy. Port Coast. and Ocn. Engrg., ASCE*, Vol. 124, No. 5, pp. 219-228.
- Sorensen, R.M. (1997). *Basic Coastal Engineering*, 2nd ed., Chapman & Hall.
- Teng, H.H. (1984). *Applied Offshore Structural Engineering, Practical Design Methods, Formulas, and Data*, Gulf Publishing Company, pp. 37-45.
- (논문번호:08-76/접수:2008.06.29/심사완료:2008.08.06)