

인공 Bio-reef에 의한 해변침식방지

이 훈* · 이종우** · 이학승* · 김강민*

*한국해양대학교 대학원

**한국해양대학교 토목환경공학부 교수

Coastal Protection with the Submerged Artificial Bio-reefs

Hun Lee* · Joong-Woo Lee** · Hak-Sung Lee* · Kang-Min Kim*

*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 바다와 육지의 경계에 있는 해변은 매우 동적인 해역으로 여기에 해수의 운동이 퇴적물, 육지의 바위 또는 인공구조물과 상호 작용한다. 심한 태풍이나 폭풍이 야기한 파랑의 영향으로부터 해변의 침식을 막거나 지연시키기 위해 영구적인 구조물을 설치하지만 해양경관을 해치는 물론 이의 파급효과로 또 다른 침식현상이 일어나기도 한다. 파가 부수지는 쇄파대와 쇄파선 밖의 외해에서 표사의 이동 및 침식을 가속시키는 관련 에너지를 고려할 때에는 파고 및 파의 주기를 고려하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 부차적인 영향을 나타내지 않으면서 파력을 줄일 수 있는 해저 구조물로 인공 Bio-reef를 도입하고 이를 통한 해양생태계의 복원의 예와 아울러 수치모델을 도입하여 가장 근원이 되는 파랑의 저감효과를 분석하여 적용가능성을 제시하고자 하였다. 해변을 보호하기 위한 새로운 기술은 인공적 및 자연적 켈프 또는 해양식물을 식생시킨 해저리프에 의한다. 연안리프의 형상을 공학적으로 접근하여 각각의 파랑저감력을 최적화할 수 있다. 높고 넓은 긴 인공 리프는 파랑에너지를 막을 수 있는 좋은 장벽이 되나 공사재료의 양, 항해위험, 건설방법 및 다른 인자에서 리프의 전체 설계에 대해 공학적인 고려가 필요하다.

핵심용어 : 태풍이나 폭풍, 쇄파선, 표사, 침식, 경관, 수치모델, 해변보존

ABSTRACT: The beach, a margin between the sea and the land, is an extremely dynamic zone, for it is here that the motion of the sea interacts with the sediment, rock of the land or the artificial barriers. In order to prohibit or retard erosions due to the extreme Typhoon or storm induced waves, man has constructed these of temporary or more permanent nature, but they caused problems of other erosions from the secondary effect of them and a bad influence on the seascape. In considering the energy available to accelerate sediment transport and erosion in the surf zone, where the waves are broken, and offshore beyond the breaker line, the wave height and the wave period should be taken account. Hence, we tried to present an applicability of the submerged artificial Bio-reefs analyzing waves by a numerical model such that they could reduce the wave power without the secondary effect and restoration of marine ecologies. A new technique of beach preservation is by artificial reefs with artificial and/or natural kelps or sea plants. By engineering the geometry of the nearshore reef, the wave attenuation ability of the feature can be optimized. Higher, wider and longer reefs provide the greatest barrier against wave energy but material volumes, navigation hazards, placement methods and other factors require engineering considerations for the overall design of the nearshore reefs.

KEY WORDS : Typhoon or storm, Breaker line, Sediment transport, Erosion, Seascape, Numerical model, Beach preservation

1. 서 론

점차 해안에서 해양공간의 이용은 하나의 집단에 국한되지 않는다. 해안에서의 활동은 해양스포츠, 레저 및 위락, 생산활동, 주거지, 교통 등 다양하다. 이에 대해 자연력도 점차 커지고 해

안을 점유하고 있는 제반시설은 태풍, 해일 등의 재해에 쉽게 노출되어 있다. 최근 태풍이 남해안을 강타하여 연안시설에 막대한 피해를 가져온 것은 물론 해수욕장에서 사빈의 침식으로 그 기능에 위협이 되고 있으며, 이를 극복하기 위한 노력이 곳곳에 이루어 지고 있다. 관련 지방자치 단체는 나름대로의 대책을 수립하기에 급급하고 있지만 일시적인 양빈공(beach nourishment), 무분별하게 건설된 호안(revetment), 허안제방(enbankment), 돌체(groin), 이안제(detached breakwater)의 설치로 경관을 해치는 물론 2차적 침식과 매물이 다른 해역에 발생하게 되어 고질적인 분쟁과 수많은 피해보상의 요구에 시달리

* vulcan98@hanmail.net

051)410-4981

** jwlee@hanara.hhu.ac.kr

051)410-4461

* y2kace2020@hanmail.net

051)410-4981

* kikami@seileng.com

051)840-5182

기도 한다. 특히, 지난해 태풍 매미의 내습으로 우리나라 남해안을 강타한 것은 물론 태풍권에 속한 남동해 해안선의 피해는 심각했고 특히, 부산의 해수욕장에서 침식은 컸다. 따라서, 이 시점에 자연재해를 경감시켜 해안선 활용을 높이고, 해변을 보호하기 위한 기법의 제시는 방재의 관점에서 의미가 크다고 본다. 본 연구는 이러한 관점에서 해안역에 Fig. 1(CERC, 1984; WES, 1993)의 인공 리프(reef)와 같은 친환경적인 구조물을 해변아래에 설치하여 경관을 제약하지 않으면서 파랑의 억제로 해안선을 보호하는 것은 물론 그 구조물에 해조류의 성장을 가속화하여 해조류의 숲을 이루게 하고, 여기에 해양생태계를 유인하기 위한 시도로 수행되었다.

인공적으로 수중에 언덕을 만드는 것은 바다에 인간이 만든 구조물을 넣어서 바다생태계의 한 부분을 이루도록 하는 것이다. 특히, 해양생태계는 쉽게 인공 리프를 순응시킨다. 선박이 난파하는 경우에도 바다 생태계는 곧 이를 받아들인다. 특히, 자연적인 켈프(kelp)숲은 수온이 낮으나 영양염이 풍부한 해역에서 가장 아름답고 생물학적으로 생산활동이 강한 해양환경이다. 대규모 켈프숲은 주로 수심이 얇은 연안해역에서 수온이 20℃ 이하에서 잘 형성되는데 광합성 활동이 이루어지도록 빛의 조건이 양호한 해중이나 때로는 수심 15~40m 이상의 깊이에도 자란다. 잘 자라는 경우는 하루에도 30cm씩 성장한다. 켈프의 이용은 바이오매스로 활용도가 연료, 비료, 의약 등의 용도로 활용되고 있지만 무엇보다 해저밀렵과 같은 식생으로 해저의 세계를 푸르게 만들어 해양생태계를 건강하게 하고 해저 동식물을 모이게 한다. 당연히 인간의 활동도 이러한 곳에 이끌리게 된다.

Reef Ball Foundation, Inc.(Harris, 2001)은 1000개의 모듈을 제작하여 투입한지 2개월 만에 파랑제어의 역할은 물론 어초의 기능 및 산호초의 복원을 성공적으로 완수하였다. 콘크리트 복합재로 1.5 - 2.5m 정도의 모듈로 허리케인으로 파괴 및 손실된 자연산호를 복원하였다. Maiden Island, Antigua 등에서는 콘크리트 구조물로도 가능하지만 이와는 달리 폐차, 냉장고, 폐선, 기타 건설자재 등을 사용하는 경우는 바다를 쓰레기장 또는 폐차장과 같이 슬럼화를 가속시킬 우려가 있다.

2. 이론적 접근 및 사례

2.1 공학적 접근

해변의 침식을 방지하기 위한 공학적 접근방법에는 Fig. 1과 같이 해안제방(호안), 돌제(군), 이안제, 양빈공, 인공리프 등이 있다(SPM, 1984). 이들의 공법은 외력을 직접 차단하거나 채워 넣는다는 점에서 신속한 효과를 가져 올 수 있으나 경관을 해치고 부차적 환경영향을 가져온다는 점에서 최근에는 양빈공을 제외하고 설치를 재고하거나 원상복귀 시키고 있다. 인공리프의 경우에는 비교적 수심이 깊은 곳에 어초를 투하하여 바다목장화 사업으로 국한하여 추진되고 있다. 그러한 점에서 해변침식의 문제는 여전히 남아있다고 하겠다.

수중 인간의 해류활동 중에서 체험활동으로 이와 밀접한 것이 스낵 스쿠버이다. 해변에서 쉽게 체험활동을 접할 수 있게 하려면 수심이 얇은 해역에서도 스낵 스쿠버를 즐길 수 있는 공간자원화를 병행할 필요가 있는 것이다. 플로리다 해역에서

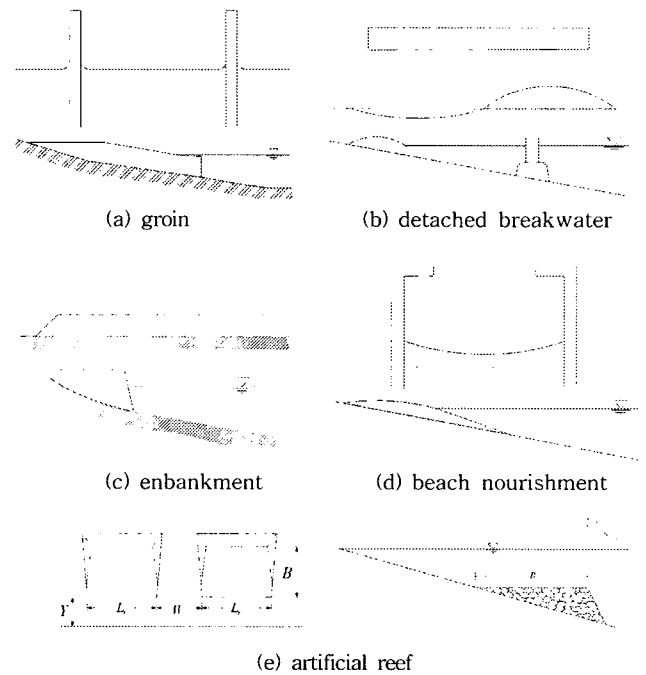


Fig.1 Permanent structures and measure for coastal protection

는 특히 인공리프를 통해 소파효과를 높이는 것은 물론 해안 침식보호, 용승류를 증가시켜 신선한 바다의 유지 및 산호를 복원하고 생태환경을 조성하는데 앞장서고 있다. Fig. 2는 인공리프에 의한 해변단면의 변화를 나타낸 것(Harris, 2001)으로 1999년에 도미니카의 남부카리브 해안에서 허리케인의 피해 이후 투입하여 2001년에 모니터링한 결과로 기초 직경이 1.8m가 되는 Ball reef로 3열의 reef를 설치하였을 때 해안선이 10m 정도 넓어진 것으로 침식방지는 물론 해변을 안정시키는데 기여하였음을 나타내고 있다.

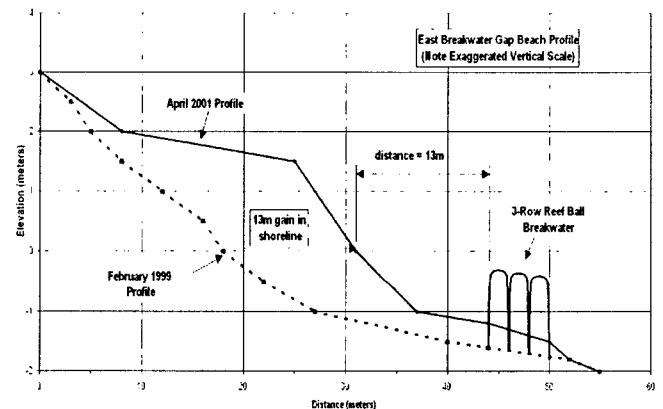


Fig.2 Beach profile changes due to artificial submerged reefs

특히 인공리프를 설치하는 의도는 산호초의 아름다움과 환경의 다양성을 재현하는데 있으나 심해역이 아닌 쇄파대역에서는 인공리프에 몇 가지 격한 제약조건이 따르게 된다.

1) 구조적 인자 - 쇄파대에서 쇄파는 심해역에 비해 구조물에 거대한 파력을 가지므로 적절한 강도를 확인하기 위해서는

건설비용이 높아진다.

2) 기초 - 단순히 중력기초만으로는 구조물을 고정시키기에 부족하며, 파일기초가 적절하나 시공을 위해서는 증장비가 동원되어야 한다.

3) 해저 모래층 - 단단한 구조물주위에는 저면 침식이 발생하며 규모가 크게 할지라도 쉽게 저면에 매몰되며 나중에 폭풍이나 태풍이 오면 구조물을 파헤쳐서 해안쪽 또는 외해쪽으로 이동시키게 된다.

4) 표사 - 저면의 구조물이 연안표사 또는 외해표사를 차단하여 또다른 해안선의 침식을 야기할 수 있다.

5) 의도하지 않은 영향 - 해안에서 아주 작은 파랑에도 수중활동을 하는 인간에게는 파랑의 움직임에 따라 진동하여 해저구조물에의 접촉을 피할 수 없으며 다칠 수 있는 여건을 가지게 된다.

따라서 유연성 구조 또는 마디형 구조 등이 이러한 제약요인에 대해 효과적이다. 강한 파랑의 파봉이 고정구조물에 쇄파될 때 유연성구조는 단순히 휘어지고, 체인과 같은 마디형 구조도에 따라 휘어지므로 표면력은 크게 감소되어 파랑에 따른 해저요란이 급격히 줄어들어 해저 쇄갈 및 해안선 침식을 저감시키게 된다. 이러한 유연성구조 중에 하나가 인공켈프 (Artificial kelp)이다.

2.2 인공 Geo-reef

인공리프를 설치하는 방법으로는 Fig. 3 (Hall et al., 1993) 과 같이 해면에 노출형과 해중 잠제형으로 나뉜다. 노출형은 경관의 관점에서 잠제형은 안전의 관점에서 각각 단점을 가지고 있으나 대상해역이 방향이 빈번하지 않는 해역에서는 잠제형 인공리프를 계획하는 것이 합리적이라 하겠다. 잠제형 인공리프에서도 사석을 이용한 제방과 Geo-reef 또는 부채구조를 이용한 경우로 대별할 수 있다 (Fig. 4 참조).

2.3 유연성 구조의 종류

비교적 비싸지 않으면서 합성섬유 또는 재질로 만든 담요형 막이나 수심이 깊은 곳에 관 부근에는 나뭇가지 형태로 하여 연결할 수도 있다. 로프처럼 연결할 때에는 그루터기와 줄기 및 가지 형상으로 하여 파랑이나 흐름을 저감시킬 수 있게 된다. 마치 수중에서 부유물질로 채워진 공간이 아니고 수중의 밀밭이나 정원처럼 유동에 따라 자유롭게 움직이는 것이다.

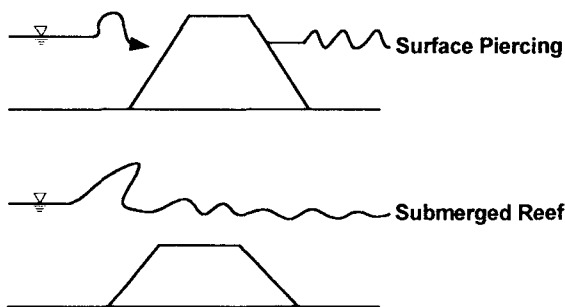
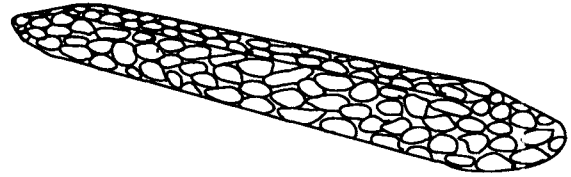
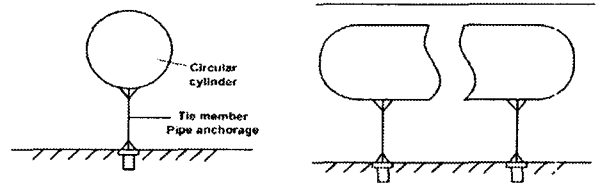


Fig. 3 Type of artificial reefs



(a) Rubble mound reef



(b) Floating Geo-reef

Fig. 4 Rubble mound reef and Geo-reefs

1) 인공켈프

인공켈프는 산호초에 설치하는 것이 아니라 바닥면에 켈프 숲을 형성토록 하는데 있다. 켈프의 바닥은 수중 정글처럼 생태계의 활동이 활발하며, 이는 해양환경에서 가장 생산적이고 아름다운 것 중에 하나가 되는 것이다. 인공켈프는 부력을 가진 폴리프로필렌 (polypropylene)과 같은 합성수지로 만들며 해저 바닥에 심는다. 이를 적용하는 수심역은 다양하지만 특히 1m에서 4m의 깊이에 적합하다.



Fig.5 Artificial kelps on Geo-reef

2) 인공 숲

유연성 구조의 다른 디자인으로는 특별히 제작한 밀랑말랑한 산호형상을 하였으나 마치 수중에 대나무로 만든 정감형상에 가깝다. 이러한 구조는 3m에서 7m 정도의 다소 깊은 곳에 적합하다.

3. 개념설계에 대한 수치실험

인공리프의 설치안에 대한 실험을 위해 해안침식에서 가장 중요한 외력으로 파력을 고려하고자 하였다. 물론 해빈쿠와 조석 및 조류, 바람의 영향을 고려할 수 있지만 우선 단계적인 접근을 위해 자연해변과 인공리프 설치 후의 해변에 대한 파

력변화를 분석하여 개념설계에 대한 타당성을 평가하고자 수치모델을 수립하였다. 이를 위해서 파랑의 침수효과, 굴절, 회절, 부분반사, 해저마찰, 쇄파의 영향까지를 고려한 파랑모델을 도입하여 파랑변환과정에서 복잡한 연안역의 해저변화 및 해안선 변화의 제 조건을 만족시킬 필요가 있다.



Fig.6 Artificial bamboo on Geo-reef

3.1 지배방정식

이에는 식 (1)과 같이 2차원 타원형 환경사 파랑방정식을 활용할 것이나 해저면의 마찰 및 쇄파 조건을 고려하여 식 (2)의 확장환경사방정식을 사용하기로 한다.

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \hat{\eta}) + \frac{C_g}{C} \sigma^2 \hat{\eta} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left(\frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\omega w + iC_g \gamma \right) \hat{\eta} = 0 \quad (2)$$

여기서 $\hat{\eta}(x, y) =$ 복소해면변동함수, $\sigma =$ 각주파수 (radians/sec), $C(x, y) =$ 위상속도(phase velocity) $= \sigma/k$, $C_g(x, y) =$ 군속도 (group velocity) $= \frac{\partial \sigma}{\partial k} = nC$, $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$, $k(x, y) =$ 수심 $d(x, y)$ 에서 선형분산관계식 $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$ 를 만족하는 파수 ($= 2\pi/L$)를 가리킨다. 또한, w 는 가찰항이고, 식 (3)과 같이 진폭감쇄계수를 사용한 Dalrymple et al.(1984)의 식을 적용한다.

γ 는 쇄파파라미터 $\left(= \frac{0.15}{d} \left(1 - \frac{0.16d^2}{4a^2} \right) \right)$ 이다. 한편, $a(=H/2)$ 는 파랑의 진폭, f_r 은 마찰계수이다.

$$w = \left(\frac{2n\sigma}{k} \right) \left[\frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right] \quad (3)$$

비선형파의 시뮬레이션은 진폭의존 파랑분산을 고려한 비선형 산란관계식으로 정리하여 적용한다.

$$\sigma^2 = gk \left[1 + (ka)^2 F_1 \tanh^5 kd \right] \tanh \{ kd + ka F_2 \} \quad (4)$$

$$\text{이 때 } F_1 = \frac{\cosh(4kd) - 2 \tanh^2(kd)}{8 \sinh^4(kd)},$$

$$F_2 = \left(\frac{kd}{\sinh(kd)} \right)^4 \text{ 이다.}$$

지배방정식과 경계조건을 고려한 수치모델의 기법, 수치모델의 구성, 제반 식의 유도, 모델의 검증은 황(2004)을 참조한다.

3.2 복합요소법에 의한 모델의 구성

모델실험을 위해 선택한 해역은 현재 모래의 침식이 가속화되고 있는 부산 해운대 해수욕장으로 매년 엄청난 규모 예산으로 양빈과 해안선 보수가 이루어지고 있으며, 장기적으로는 해중 인공리프의 계획도 고려 중에 있다. 앞에서 기술한 확장 환경사방정식에 기초한 파랑모델을 부산 남구 이기대에서 청사포에 이르는 광안리를 포함한 해운대 해변에 태풍과 폭풍의 조건으로 설계 파가 도래시 해운대 해안선 인근해역에서의 파랑변화를 파악하고 개념설계를 통한 인공리프를 3가지 안과 각기 다른 인공리프의 마루깊이를 적용하여 그 효과를 알아보려고 한다. 모델은 복합요소법(HEM)을 통해 삼각요소로 대상역을 구성하고 쇄파조건 및 비선형 조건의 상태에서 시뮬레이션을 수행하였다. 수치모델실험을 위한 수심자료는 이 해역에 대한 해양조사원 간행 수치해도(Chart No. 202)를 이용하여 입력하였다.

Table 1은 수치모델실험을 위한 입사파의 조건을 나타낸 것이다. 기존의 태풍자료에 의한 설계파랑으로 파고 5.4m, 주기 13초 및 파고 3m, 주기 10초와 파향 S 및 SE를 각각 적용하였다. Table 2는 수치모델실험을 위해 구축한 모델의 유한요소망과 격자수 및 수치모델계산시간을, Fig. 7 및 Fig. 8은 유한요소망 중에서 해운대 해변역 부분과 이에 대한 수심도를 각각 나타낸 것이다.

Table 1. Incident wave condition for extreme wave calculation

Wave			
Direction	Height	Period	Remark
S	5.4m	13.0 sec	Typhoon induced Significant Wave
	3.0m	10.0 sec	
SE	5.4m	13.0 sec	Storm induced Significant Wave
	3.0m	10.0 sec	

Table 2. Characteristics of numerical model and simulation

Number of Nodes	Number of Elements	Calculation Time (P4 2.8Gh 512Mb)
31,030	60,018	20 Min.

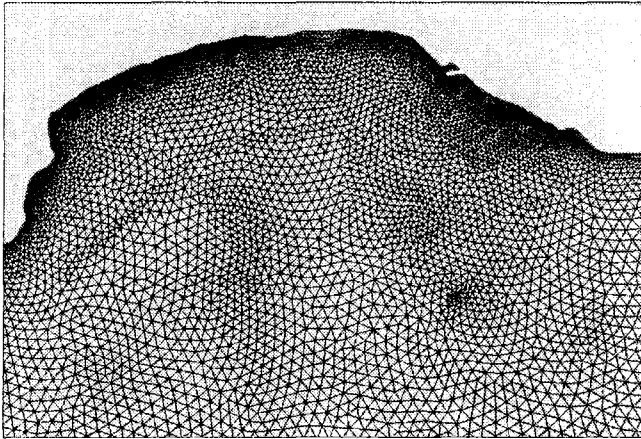


Fig. 7 Finite element mesh for Haeundae Beach



Fig. 8 Depth profile at Haeundae Beach

4. 실험 및 분석

본 연구에서는 확장 환경사 방정식을 기초로 하는 파랑모형을 적용하여 해운대 해변 일원에 인공 reef를 설치함으로써 해안 침식에 주된 요인이 되는 파랑을 예측하고자 한다.

아래 Table. 3에서 보는 바와 같이 파향, 주기 및 파고를 각기 다르게 입력하고 인공 reef가 설치되지 않았을 때와 Fig. 9에서와 같이 3가지 type으로 나누어 실험하였으며, Fig. 10에서처럼 해변에서부터 인공 reef 천단까지의 높이를 1~4m로 조정하여 어떠한 변화가 생기는지 실험하였다. 이때 조성한 인공 reef의 상단에는 인공켈프, 또는 자연켈프를 식생시켜 투과파랑의 에너지를 감쇄시키는 것을 목표로 한다.

Table. 3 Incident waves and reef types for model simulation

Case	Storm Intensity	Wave Direction	Height(m)/Period(sec)	Reef type
CASE1	Typhoon	S	5.4 / 13	1~3
CASE2	Storm		3.0 / 10	1~3
CASE3	Typhoon	SE	5.4 / 13	1~3
CASE4	Storm		3.0 / 10	1~3
CASE5	Typhoon	S	5.4 / 13	1

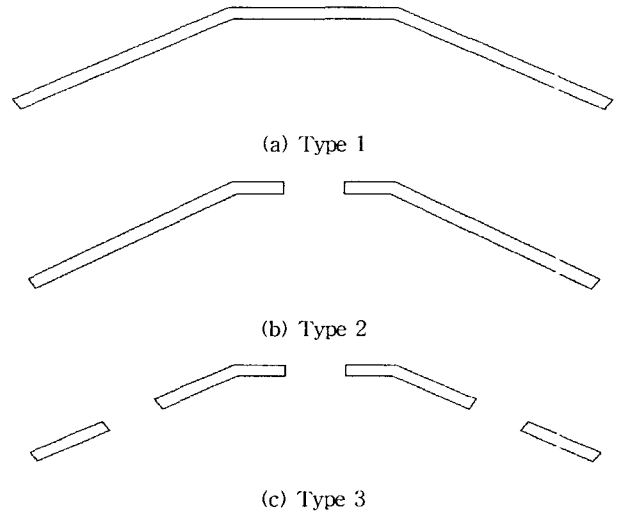


Fig. 9 Selected types of submerged artificial reefs (Plan)

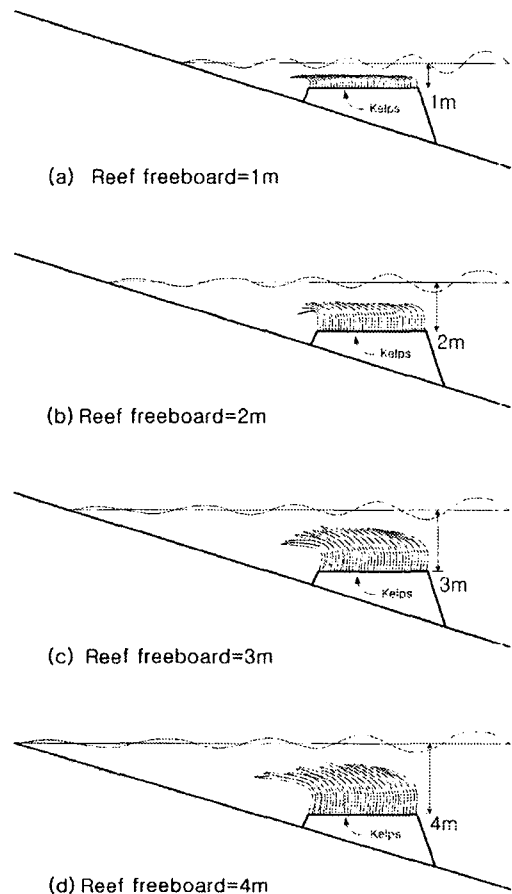


Fig. 10 Selected types of submerged artificial reefs (Section)

각각의 입사파랑 및 구조물 설치 조건들을 대상으로 수치실험한 결과를 Fig. 11과 같이 인공 reef가 설치되지 않았을 경우와 Fig.12~14처럼 인공 reef의 형상을 변형시켰을 경우로 정리하였다.

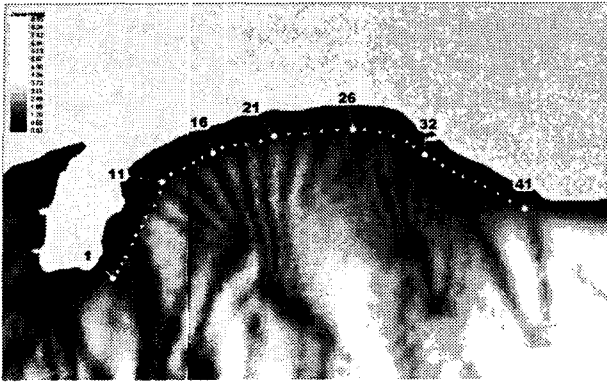


Fig. 11 Wave height distribution without reef (Storm case).

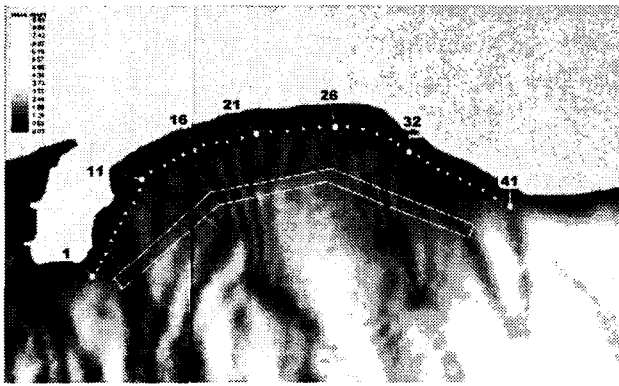


Fig. 12 Wave height distribution with Type-1 (Storm case).

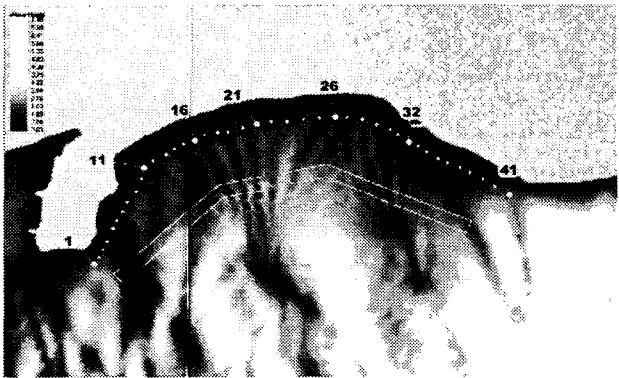


Fig. 13 Wave height distribution with Type-2 (Storm case).

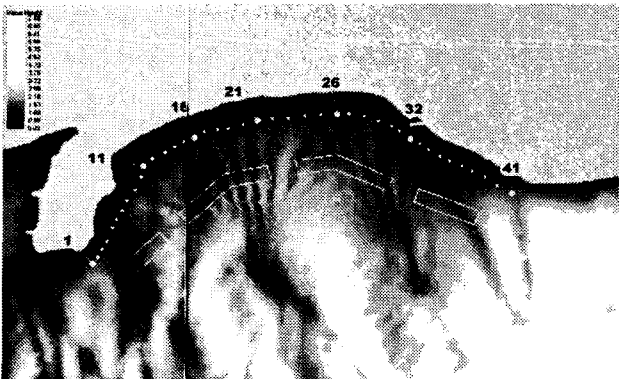


Fig. 14 Wave height distribution with Type-3 (Storm case).

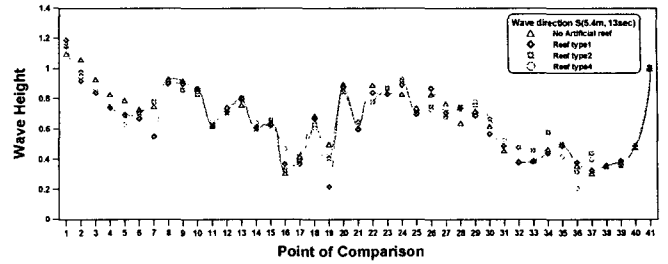


Fig. 15 Cross sectional wave height distribution (Typhoon, S).

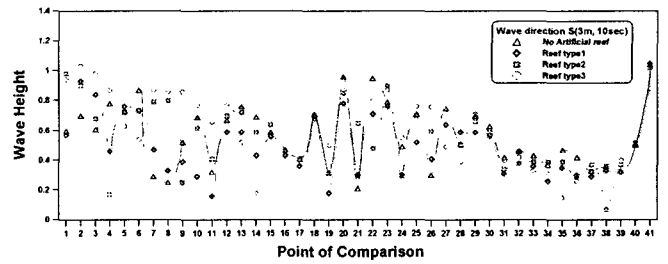


Fig. 16 Cross sectional wave height distribution (Storm, S).

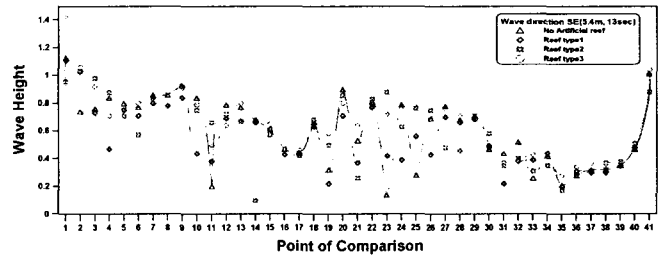


Fig. 17 Cross sectional wave height distribution (Typhoon, SE).

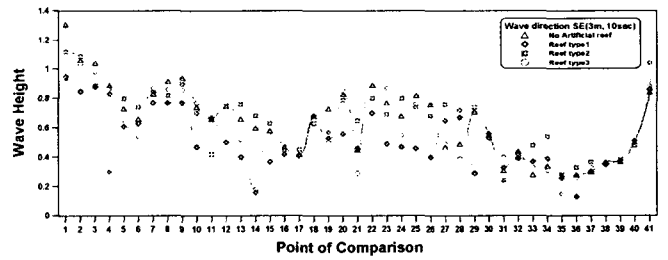


Fig. 18 Cross sectional wave height distribution (Storm, SE).

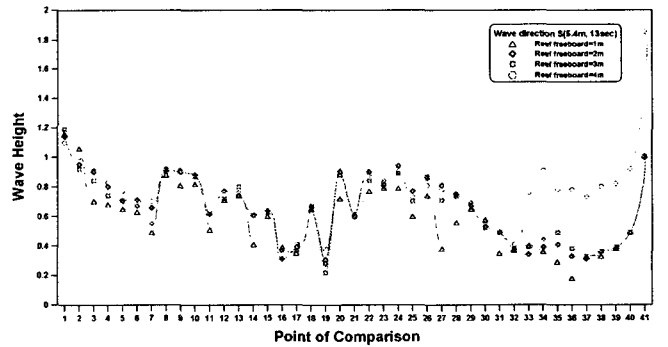


Fig. 19 Cross sectional wave height distribution with respect to freeboard of reefs (Storm, SE).

Fig. 11~14는 파향 S, 파고 5.4m, 주기 13초의 태풍시 조건으로 수중에 인공 reef를 설치하지 않았을 때는 해운대 해변쪽으로의 파고가 0.31m~1.10m로 비교적 해수욕장에서는 높게 나타났으며, Type-1 인공 reef를 선택한 경우에는 reef를 통과하면서 파랑 감쇠 현상으로 인하여 파고가 0.30m~0.9m로 나타났으며 그 분포가 대체적으로 안정적으로 나타났다. 또한 Type-2 인공 reef 수치실험시 reef 사이의 공간으로 파랑이 집중되며 파고는 0.3m~0.79m로 다소 낮은 값을 보여준다. Type-3의 인공 reef에서의 수치실험 결과 파고가 0.15m~0.98m로 이 경우에도 비교적 낮은 파고가 발생하였다. 한편, 파향 S, 파고 3m, 주기 10초의 폭풍의 조건으로 인공 reef를 설치하지 않았을 때에는 해변에서 0.29~0.96m의 파고가 나타났으며, Type-1 인공 reef를 설치시 0.16~0.83m로 전 조건보다 낮은 파고가 발생하였다. Type-2의 경우 0.17~0.98m의 파고가, Type-3의 경우에는 0.23~0.89m의 파고가 발생하여서 인공 reef가 설치되지 않은 상태보다 파고가 다소 저감이 되는 것으로 나타났다. 또한, 파향 SE, 파고 5.4m, 주기 13초의 태풍조건에서는 인공 reef를 설치하지 않았을 때가 0.14~0.93m의 파고가 발생하였고, Type-1의 인공 reef로는 0.20~0.80m, Type-2로는 0.10~0.98m, Type-3는 0.15~0.98m의 비교적 높은 파고가 발생하였다. 이때, 국지적이기는 하나 비교적 높은 파고가 발생하는 것은 인공 reef 사이에 벌어진 부분을 통해 파랑이 집중되기 때문인 것으로 사료된다.

마지막으로 파향 SE, 파고 3.0m, 주기 10초 폭풍의 조건에서 인공 reef를 설치하지 않았을 때에는 0.27~1.04m의 파고가 발생하였으며, Type-1이 0.16~0.83m의 비교적 낮은 파고가, Type-2 와 Type-3가 각각 0.10~0.98m 와 0.15~0.98m로 비교적 높은 파고가 발생하였는데 파랑의 집중현상에 기인한 것으로 사료된다. 이들의 결과는 Fig. 15~18에 비교하였다.

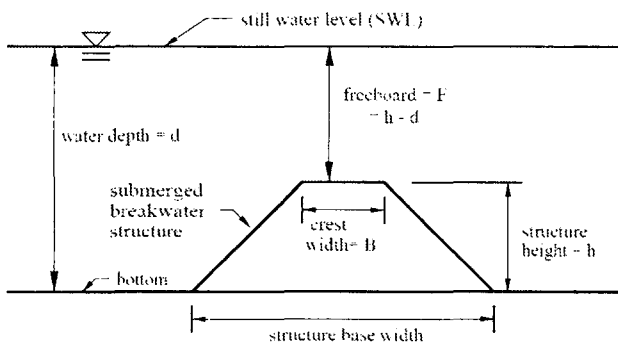


Fig. 20 Definition sketch for a submerged artificial reef

또한 Fig. 19는 Fig. 10 및 Fig. 20에서와 같이 수면으로부터 reef까지의 깊이에 대한 파고분포도의 변화를 해안선과 나란한 방향으로 예측한 것이다. 결과적으로 reef의 마루와 해변과의 간격이 1m일 경우에는 파고가 0.41~0.91m, 2m일 경우에는 0.31~0.95m, 3m일 경우에는 0.37~0.92m, 4m일 경우에는 0.29~1.06m로 분포하여서 reef 마루가 해변에 가까울 때가 가장 효율적임을 알 수 있다.

파랑의 에너지를 저감시키기 위한 인공 reef의 효율은 구조물 배후로 통과한 파랑에너지의 양으로 계측할 수 있다. 파의 투과계수(Transmission coefficient, K_t)가 크면 클수록 파랑의 감쇄효과는 줄어든다. 보통 투과계수로는 구조물 배후에서 구조물 상단을 통과한 파고 H_t 를 입사파고 H_i 로 나눈 값($K_t = H_t/H_i$)으로 하고 있으나, Ahrens (1987)은 이와는 달리 투과파고를 해서 reef가 없는 상태에서 투과파고를 계측한 지점의 파고 H_c 로 나눈 값($K_t = H_t/H_c$)으로 정의하였다. Ahrens (1987)의 정의에 따른 파랑에너지 투과율을 산정한 결과는 Table 4 및 Table 5에 정리하였다. Table 4는 각 입사파의 조건 및 구조물의 형상에 따라 선택한 지점별 투과율을 나타낸 것으로 Type-1의 경우가 가장 효과적인 것으로 구분이 된다. 또한, Table 5는 인공 reef의 건현(freeboard),F에 따른 지점별 투과율로 역시 건현이 작은 경우가 투과율이 가장 작아 효율적임을 알 수 있다.

Table 4. Calculated K_t for Reef type at each station

		St.1	St.11	St.16	St.21	St.26	St.32	St.41
Case 1	Type 1	1.08	1.00	1.19	0.98	1.05	0.97	1.00
	Type 2	1.05	1.02	1.06	1.07	0.90	1.23	1.01
	Type 3	1.05	1.05	1.52	1.07	0.88	1.23	1.01
Case 2	Type 1	0.95	0.50	0.91	1.43	1.37	1.00	1.01
	Type 2	1.63	1.28	0.98	3.10	2.00	0.83	0.98
	Type 3	1.57	2.06	1.00	1.38	2.53	0.91	0.85
Case 3	Type 1	0.98	1.90	0.91	0.70	0.62	0.73	1.00
	Type 2	0.85	3.30	1.00	0.49	1.09	0.77	0.87
	Type 3	1.26	2.50	1.00	1.21	1.00	0.75	1.03
Case 4	Type 1	0.73	1.02	0.89	1.02	0.53	0.89	1.02
	Type 2	0.85	0.64	0.96	1.44	0.89	0.91	1.24
	Type 3	0.72	1.00	1.00	0.64	1.00	0.95	1.05

Table 5. Calculated K_t for Reef freeboard at each station

	St. 1	St. 11	St. 16	St. 21	St. 26	St. 32	St. 41
TB 1	1.00	0.82	0.95	1.02	0.89	0.95	1.01
TB 2	1.04	1.00	1.00	0.98	1.04	0.95	1.00
TB 3	1.08	1.00	1.19	0.98	1.05	0.97	1.00
TB 4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.05	1.86

5. 결론

현대사회의 여가시간을 이용한 해양공간의 이용이 늘어남에 따라 그것에 병행하여 자연의 훼손도 빠르게 일어나고 있다.

해안에서의 각종 구조물 설치 등으로 해안이 빠르게 침식이 되고 있는 것이다. 따라서 본 연구에서는 인공 Bio-reef와 같은 친환경적인 구조물을 해면아래에 설치하여 경관을 제약하지 않으면서 침식의 주된 원인인 파랑을 제어할 수 있는 방안을 다루었다. 또한 해양생태계를 유인하기 위한 시도로 수행되었다. 이 인공 Bio-reef의 수치실험 시 해안변에 아무것도 놓이지 않았을 때보다 Type-1의 인공 reef가 놓였을 때 파랑의 감쇠가 커졌으며, 하면에서 인공 reef의 마루높이가 4m일 때보다 1m일 때가 파랑을 감쇄시키는 효율이 높은 것으로 나타났다. 또한 reef의 마루폭과 설치수심의 변화에 따른 에너지 감쇄특성도 분석하여 평가를 시행할 필요가 있다. 인공 또는 Bio-kelp를 설치하여 수치실험을 병행하지 못했지만 추후에 모형실험 및 실제해변조건에 부합되는 제반 파라메타를 적용하여 이를 연계해 나갈 생각이다. 또한, 이러한 친환경적인 구조물에 대한 샘플의 현장 내설, Bio-reef의 설치 및 종묘배양, 구조물의 표준화 등 여러 가지 조사 및 설계가 많이 수행되어 해안침식 방지에 많은 관심과 지속적인 투자가 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 황호동 (2004), “만에서 대규모 항만건설로 인한 항만반응 특성”, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문(원고).
- [2] Ahrens, J. P. (1987), “Characteristics of Reef Breakwaters”, TR CERC-87-17, CERC, US Army Corps of Engineers, WES, MS.
- [3] CERC (1984), “Shore Protection Manual”, US Army Corps of Engineers, WA, Vol. 1.
- [4] Dalrymple, R. A., Kirby, J. T., and Hwang, P. A. (1984), “Wave Diffraction due to areas of high energy dissipation”, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, Vol. 110 pp.67-79.
- [5] Hall, K. R. (1993), “Accommodation of Sea Level Rise in the Design of Shore Protection”, *Proc. the Hilton Head Island South Carolina U.S.A. Int. Coastal Symposium*, Vol. 1, pp.668-684.
- [6] Harris, L. F. (2001), “Submerged Reef Structures for Habitat Enhancement and Shoreline Erosion Abatement”, US Army Corps of Engineers, CHETN
- [7] Pollock, C. E., Allison, M. C., and Williams, G. L. (1993), “Designing nearshore berms to optimize wave attenuation”, *Proc. the Hilton Head Island South Carolina U.S.A. Int. Coastal Symposium*, Vol. 1, pp.162-167.
- [8] WES, “Engineering Design Guidance for Detached Breakwaters as Shoreline Stabilization Structures”, US Army Corps of Engineers, TR CERC-93-19, WA.