

생태계제어 구조물의 파랑제어 효과에 관한 연구

김 현 주* · 류 청 로** · 손 원 식*
(96년 8월 16일 접수)

A study on the Wave Control Function of Ecosystem Control Structures

Hyeon-Ju Kim* · Cheong-Ro Ryu** · Won-Sig Son*

Key Words : Ecosystem Control Structure(생태계제어 구조물), Wave Control(파랑제어),
Dimensional Analysis(차원해석), Hybrid Model(복합모델)

Abstract

Multipurpose development of the coast and ocean can be considered as multifunction construction combining the functions of coastal protection, waterfront amenity and creation or rehabilitation of habitats. Multifunction development of coastal and ocean spaces can be accomplished by applying the ecosystem control structure of artificial habitats which will cultivate fishing ground with ecological harmony to the coastal protection system. To evaluate the applicability of ecosystem control structures as a fundamental coastal protection structure, wave control function of the structure is studied by numerical and physical analyses.

Dimensional analysis and hydraulic experiment point out the importance of width and crest depth of ecosystem control structure, construction water depth and wave steepness. Wave control efficiency is estimated by the attenuation coefficient (K_H) according to wave steepness (H_w/L_o), relative constructed water depth (h_i/H_o), relative berm width (B/L_o) and relative crest depth (h_B/H_o) of ecosystem control structure. Empirical formulas are suggested based on the results of model test by applying the multiple regression method, and compared with previous works on other coastal structures. A hybrid model based on this experimental results and numerical wave shoaling-dissipation-breaking model appears to be valid for the analysis of wave transformation around ecosystem control structure in the coastal waters.

* 한국기계연구원 선박해양공학연구센터

** 부경대학교 해양과학대학 해양공학부

1. 서 론

해안역의 이용에 대한 다양한 수요는 해안역의 다목적·다기능 개발을 요구하고 있다. 최근, 이러한 관점에서 해안역의 고도 이용 및 개발의 기초 연구로서 투과잠제 및 인공 reef를 이용한 면적방어공법¹⁾이 활발하게 연구되어 왔다. 이러한 공법은 기본적으로 해안 경관과 방재적인 관점에서의 개발 및 보전 대책이라고 할 수 있다. 본 연구는 이러한 해안 개발 관점에 수산자원의 보호, 육성을 고려한 생태계 제어 개념^{2)~4)}을 새로이 도입하여 생태계제어 구조물의 대표적인 수산시설물인 인공어초를 이용한 해역 개발에 대한 검토를 실시하고자 하였다. 인공어초의 수산자원 조성효과 및 설계·배치에 대해서는 많은 연구 결과^{5)~7)}로부터 그 성과가 발표되어 있으나, 인공어초와 같은 생태계제어 구조물을 이용한 해안공간 이용·개발에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 인공어초를 이용한 해안방재 및 보전효과 등을 평가하기 위해서는 생태계제어 구조물의 파랑제어 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 천해역에 산란초 및 치어의 보육초를 시설함으로써 수산자원 조성 효과를 얻고, 파랑제해 위험이 적은 천수성 해안공간 확보를 위한 파랑제어공법으로서 생태계제어 구조물의 적용성을 검토하고자 한다.

본 연구에서는 해안방재 및 해안역의 발전적 다기능화를 도모하기 위한 종합연구의 제 1 단계로서 생태계제어 구조물 주위의 파랑변형모델 개발을 위한 기초적 연구를 실시하였다. 천해역에서의 2차원 파랑변형모델에 관한 종래 연구결과의 적용성을 검토하여 도입하고, 생태계제어 구조물에 의한 파랑에너지 감쇠 효과를 실험결과를 이용하여 복합시킨 하이브리드 모델로 구축하고자 하였다. 이를 위해 수리실험결과를 정리하고, 생태계제어 구조물에 의한 파고저감효과를 파랑 및 구조물 조건과 설치수심을 대상으로 정식화하여 하이브리드 모델에 도입하고, 실험결과와의 비교를 통해 적용성을 검토하였다. 또한, 생태계제어 구조물 배후에서의 파고변화 특성과 이와 관련한 평균수위의 변화특성을 논의하였다.

2. 생태계제어 구조물 주위의 파고변화 계산을 위한 복합모델

2.1. 종래 연구결과 및 문제점

생태계제어 구조물에 대한 종래 연구는 주로 생태환경의 개량 수단으로서의 기능에 대한 연구가 주를 이루어 왔으며, 생태계제어 구조물의 하나인 인공어초의 파랑제어효과에 대한 연구 필요성은 柳 等⁶⁾에 의해 강조된 바 있으나 그에 관한 연구는 찾아 보기 힘들다. 한편, 투과성 잠제에 대한 파랑제어 효과 및 그에 따른 해안침식방어라든지 월파저감 등에 관한 연구는 다수 수행된 바 있다. 이들 연구는 크게 해석적 연구, 수리모형실험, 수치모델 연구 및 현장관측 연구 등으로 구분할 수 있다. 해석적 연구에는 井島 等⁸⁾의 일정수심역에서의 사각체형에 대한 영역분할법(포텐셜접속법)이 있으나 일정수심 및 형상에 대한 제약이 있고, 수리모형실험에는 高山 等^{9),10)}, 加藤¹¹⁾ 등의 연구가 있으나 이들 연구는 테트라포드나 쇄석 등을 대상으로 한 것으로 배열이나 공극의 형상 등의 특성상 이들 결과를 생태계제어 구조물에 적용 가능할 것인지의 검토가 필요하며, 실험 조건에 따른 적용의 한계가 있는 것 등이 문제점으로 지적될 수 있다. 수치모델의 경우 Rojanakamthorn et al.¹²⁾, Izumiya^{13),14)} 등의 연구가 있으나 취급이 쉽지 않고 구조물 상부에서의 쇄파, 배후에서의 재생 등에 대한 평가 및 고려 등에 난점이 있다. 현장관측연구로는 일본의 Niigata에 건설한 인공reef(천단높이 넓은 잠제)에 대한 건설 전후의 파랑변형 비교 등이 보고된 바 있으나 현장공사와 관련한 자료를 구하기가 쉽지 않은 문제 등이 있다. 따라서, 이러한 연구는 수치모델에 수리실험 결과를 조합하여 발전시켜 나가고 조정하는 복합모델이 적절할 것으로 고려된다.

2.2. 파랑변형계산 모델의 개요

자연해빈에서의 천해파랑은 지형 및 수심변화와 함께 천수, 굴절, 회절 및 쇄파변형을 일으키게 되며, 일정경사면상의 2차원 변형은 천수 및 쇄파변형으로 고려할 수 있다. 그러나, 이 자연해빈에 생태계제어 구조물과 같은 구조물이 설치될 경우 이

에 의한 파랑 에너지의 감소에 의한 변형을 고려하여야 하며, 그 계산절차 및 모델구성은 Fig. 1과 같이 생각할 수 있다.

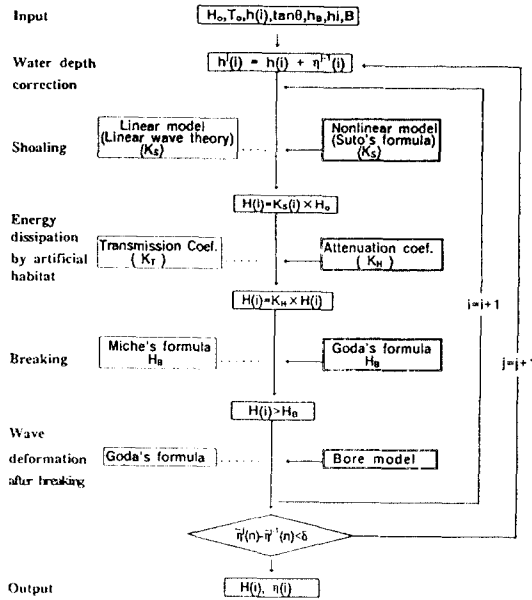


Fig. 1 Flow of calculation by shoaling-dissipation-breaking model

2.3. 자연해빈상에서의 파고변화 특성

파랑은 천해로 진입함에 따라 수심 감소와 함께 파 에너지의 전파속도(군속도)의 차이에 의한 천수 변형(wave shoaling)을 일으킨다. 일정경사의 자연 해빈에 파가 직각으로 입사해 들어오는 경우의 1차원 파랑변형은 이러한 천수변형과 전절의 쇄파변형을 고려하여야 하며, 미소진폭의 규칙파에 대한 쇄파 이전의 파고변화는 식(1)로 계산할 수 있다.

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C_0}{2nC}} = \left(\sqrt{\left(1 + \frac{4\pi h}{L} / \sinh \frac{4\pi h}{L}\right) \tanh \frac{2\pi h}{L}} \right)^{-1} \quad (1)$$

여기서, H는 임의 수심에서의 파고, H₀는 심해 파고, C는 파속, n은 군속도와 파속의 비, C₀는 심해파의 파속, h는 수심, L은 파장을 나타낸다.

그러나 미소진폭파이론을 가정한 식(1)을 실제 해양에 직접 적용하는 것은 두가지 문제가 있음을 지적할 수 있다. 해양파는 불규칙하며, 파고가 미소하지 않기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 노력은 비선형 파동이론과 불규칙파의 변형 계산법으로 확장되고 있다. 불규칙 해양파의 천수변형 계산방법은 규칙파에 대한 결과를 대표파와 연관시켜 고려하거나 불규칙파 스펙트럼의 주파수 성분별 분할 계산의 중첩이나 불규칙파열을 이루는 개별파의 계산 결과를 선형 중첩하는 방법 등이 이용되고 있다. 한편, Goda¹⁵⁾는 불규칙파의 스펙트럼을 고려하여 계산한 결과와 규칙파 계산 결과는 2-3% 정도의 차이를 나타내며 실무 사용상 큰 문제는 없음을 지적하였다.

해양파의 미소진폭 가정을 해결하기 위한 시도는 여러 연구자들에 의해 비선형 파동이론으로 시도된 바 있으며, 비선형 장파 이론에 기초한 首藤¹⁶⁾의 파고변화 계산법은 사용이 간편하기 때문에 일반적으로 범용되고 있는 방법으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$\frac{H}{H_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{4\pi h}{L}\right) \tanh \frac{2\pi h}{L} \sinh \frac{4\pi h}{L}}}, \quad \frac{gHT^2}{h^2} < 30$$

$$HH^{2/7} = const., \quad 30 < \frac{gHT^2}{h^2} < 50$$

$$Hh^{2/5} \left(\frac{\sqrt{gHT^2}}{h^2} - 2\sqrt{3} \right) = const., \quad 50 < \frac{gHT^2}{h^2} \quad (2)$$

여기서 T는 주기, g는 중력가속도를 나타낸다.

쇄파대내의 파랑 특성은 매우 복잡하며 종래 제안된 쇄파후의 파고변화 계산방법에는 Bore model^{17,18)}, Turbulence model¹³⁾, 수심제약식¹⁵⁾ 등이 있다. 쇄파고 및 쇄파수심은 해저경사 및 상대수심에 의해 좌우되는 것으로 알려지고 있고, 일정경사면에서의 쇄파구분은 쇄파지표(surf similarity parameter)에 의해 분류되고 있다. 종래 많은 쇄파한계식이 제안되어 있으나, 일정 경사면의 자연해빈에서는 Goda¹⁵⁾가 정리한 쇄파파고/쇄파수심 및 쇄파수심/심해파장의 관계 곡선군을 수식화한 식(3)과 같은 쇄파한계식이 일반적으로 이용되고 있

며, 규칙파와 불규칙파에 대한 많은 검증 및 적용 예를 찾아볼 수 있다.

$$\frac{H_b}{L_o} = A \left[1 - e^{-1.5 \frac{\pi h}{L_o} (1 + 15 \tan^{4.5} \theta)} \right] \quad (3)$$

여기서, H_b 는 쇄파고, θ 는 해저경사이며, A 는 상수로서 0.12-0.17의 값이며 규칙파의 경우 0.17, 불규칙파의 경우 0.16을 사용하는 것이 일반적이다. 쇄파후 파고계산방법중 Bore model은 입사파 및 지형 특성 등을 잘 고려할 수 있어 일반적으로 많이 사용되고 있는 계산방법이다. Bore model은 에너지 평형식을 도입하고 쇄파대 내에서는 파가 bore상으로 진행하며 감쇄한다는 계산모델로서 Battjes¹⁷⁾에 의해 제안되었고, 間瀬¹⁸⁾에 의해 파형경사 및 사면경사의 효과를 도입한 수정 Bore model로 개선되었으며, 그 개요는 다음 식과 같다.

$$\frac{dP}{dx} + D = 0 \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 \sqrt{gh} \quad (5)$$

$$D = \frac{B}{4 \gamma^3} \frac{\rho g H^2}{T} \left(\frac{H}{h} \right)^4 \quad (6)$$

$$\gamma = 0.7 + 5 \tan \theta \quad (0.01 < \tan \theta < 0.1) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tan \theta > \frac{1}{20} \quad B=1 & \quad (0.9 < \frac{h}{h_b} < 1.0) \\ B=13-13.33 \frac{h}{h_b} & \quad (0.6 < \frac{h}{h_b} < 0.9) \\ B=5 & \quad (\frac{h}{h_b} < 0.6) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \tan \theta < \frac{1}{20} \quad B=11-10 & \quad (0.6 < \frac{h}{h_b}) \\ B=5 & \quad (\frac{h}{h_b} < 0.6) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, h_b 는 쇄파수심을 나타낸다.

2.4. 자연해빈상에서의 평균수위 변화

쇄파대내에서는 해안선 쪽으로 거의 선형적으로 수위가 증가하는 양상이 나타난다. 이를 평균수위상

승(set up)이라 부르며, 이는 파의 전파에 따른 운동량의 수송과 함께 수면에 radiation stress가 작용하기 때문이다. 입사파의 천수변형 및 쇄파변형에 의해 파고가 변화하고 그에 따른 radiation stress의 장소적 변화의 영향으로 수면의 경사가 변화하게 된다. 평균수위의 상승량($\bar{\eta}$)은 다음 식을 심해에서 해안선측으로 수치적분하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{\eta}}{dx} = - \frac{0.6}{h + \bar{\eta}} \\ \frac{d}{dx} \left[\frac{H^2}{8} \left(\frac{1}{2} + \frac{4\pi(h + \bar{\eta})/L}{\sinh 4\pi(h + \bar{\eta})/L} \right) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 0.6은 이론식이 평균수위 상승을 과대평가한다는 Battjes¹⁹⁾의 지적을 실험결과를 토대로 반영한 것이다.

천수, 쇄파변형에 의한 파고와 평균수위의 변화에 대한 천수·쇄파모델을 적용하고자 하였고, 수리실험 결과와 비교함으로써 그 적용성을 검토하고자 하였다. 계산은 유한차분법으로 실시하였고, 해안선에서의 수위가 0.01% 이내로 수렴할 때까지 반복계산하여 안정된 해를 구하고자 하였다.

진술한 각종 천수변형, 쇄파 및 쇄파후의 파고변화식의 적용성을 검토하였다. 쇄파한계식은 Goda¹⁵⁾의 식을 준용하고, 미소진폭파 이론을 이용한 선형 모델 및 首藤¹⁶⁾의 파고변화식을 이용한 비선형 모델과 쇄파후 파고변화 계산을 수직제약식, Turbulence model 및 수정 Bore model을 사용한 경우에 대해 실시하였다. 1/20 해저경사를 기준으로 비교한 경우, 쇄파후의 파고변화계산모델인 Turbulence model과 수정 Bore model의 계산결과는 거의 일치하였다. Fig. 2는 실험결과를 기준으로 쇄파후 파고변화는 수정 Bore model을 사용하고, 쇄파 전 파고변화는 선형 및 비선형모델을 사용한 경우를 비교한 것이다. 그림으로부터, 상대수심이 얇은 곳으로부터 두 모델에 의한 계산 결과는 차이를 나타내며, 선형에 비해 비선형에 의한 파고가 비교적 크게 나타남을 볼 수 있다. 또한 실험결과와 비교하여 선형 및 비선형 모델과 실험결과는 정확히 일치하지는 않았지만, 비선형 모델의 경우가 비교적 실험결과에 가깝다는 것을 알 수 있다. 이로부

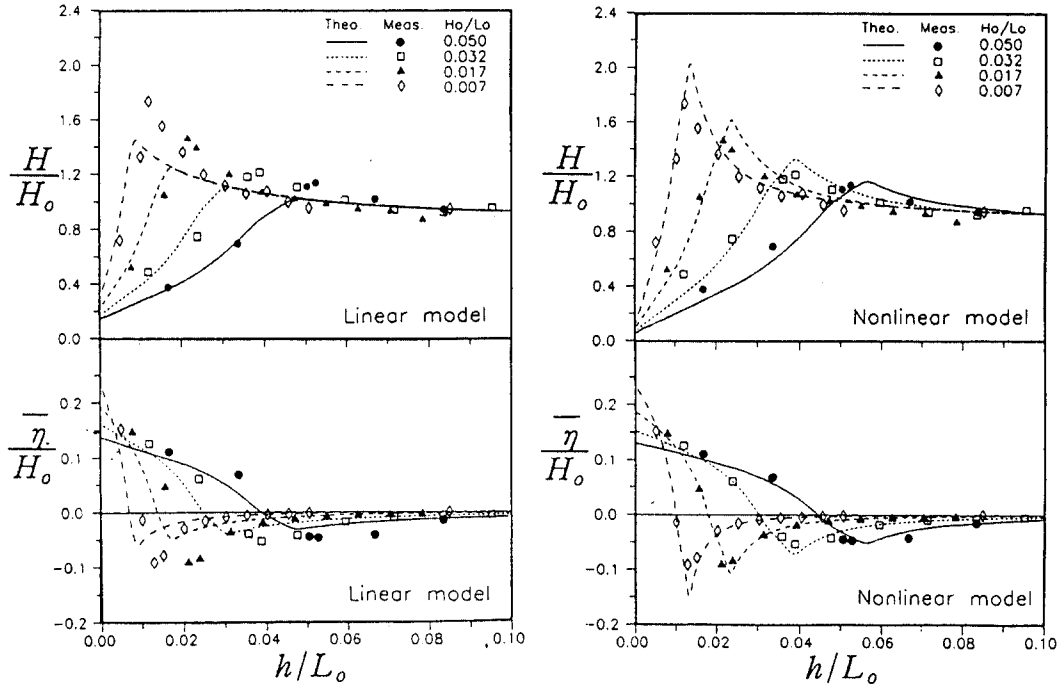


Fig. 2 Comparisons of wave height and mean water level elevation between linear and nonlinear models to experimental results

터, 후술하는 생태계제어 구조물의 파랑제어 실험 결과 해석시의 자연해빈상에서의 파고변화 계산은 비선형모델을 사용하고자 하며, 이들 결과를 조합하여 Fig. 1과 같은 생태계제어 구조물 주위의 파고변화 계산모델을 구축하고자 한다.

3. 생태계제어 구조물의 파랑제어 효과에 관한 차원해석 및 수리실험

3.1. 생태계제어 구조물 주변의 2차원 파랑변형 개념

생태계제어 구조물에 의한 파랑변형 특성은 Fig. 3에 모식되어 있는 것처럼 심해파(H_0)가 생태계제어 구조물로 입사(H_i)하여 파랑 에너지는 일부가 반사(H_R)되어 나가고, 생태계제어 구조물에 의한 마찰 및 난류에 의해 감소된 후 투과(H_T)하거나, 그 결과로서 저감(H_A)되어 전파해 가는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 파랑에너지 감소는 생태계제어 구조물의 종류 또는 형상, 규모 및 배치와 밀접

할 것으로 생각된다. 한편, 현상적으로는 생태계제어 구조물의 기능 척도의 하나인 후류장 규모와 관련이 있을 것으로 생각된다. 후류장의 규모에 대해서는 단체 어초에 대한 실험 결과가 柳等⁽⁶⁾에 의해 제시된 바 있으나 군체 어초에 대한 후류장 규모를

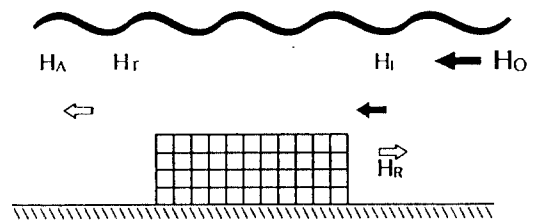


Fig. 3 Schematic diagram of wave transformation around ecosystem control structure

파소평가할 것으로 고려된다. 또한 후류장의 분기형상도 감소할 것으로 고려되며 군체어초 실험 결과와 비교하여 어초기능과 파랑제어를 검토할 필

요가 있으나, 그에 대한 연구는 차후로 미루고 본 연구에서는 생태계제어 구조물에 의한 파랑변형 특성에 대해서 검토하고자 한다.

3.2. 기본 수리량의 특성과 차원해석

생태계제어 구조물에 의한 파랑변형에 영향을 주는 제 영향요소를 해안수리학적으로 고려하고 차원해석을 통해 고찰함으로써 합리적인 해석과 실험 조건 정립을 도모하였다. 일정경사의 자연해빈상에 설치된 생태계제어 구조물의 규모에 따른 파랑에서 천수효과와 생태계제어 구조물에 의한 파랑감쇠 효과를 동시에 고려하여 쇄파대 이전의 생태계제어 구조물 배후 임의 수심에서의 파고(H)를 다음과 같이 가정한다.

$$H = K_s K_H H_o \quad (11)$$

여기서, K_s 는 천수계수, K_H 는 생태계제어 구조물에 의한 파고 감쇠율, H_o '는 환산심해파고¹⁵⁾이다. 이 생태계제어 구조물 배후의 파고변화에 영향을 미치는 각종 물리량은 다음과 같이 생각할 수 있다. ①파랑 특성에 대한 물리량: 환산심해파고(H_o) 및 주기(T), ②생태계제어 구조물의 특성에 관한 물리량: 생태계제어 구조물설치수심(h_i), 생태계제어 구조물의 상부폭(B), 생태계제어 구조물 상부수심(h_B), 생태계제어 구조물의 공극율(ϵ), 생태계제어 구조물의 형상(S), ③유체특성에 관한 물리량: 점성계수(μ), 유체밀도(ρ), 중력가속도(g) 등을 고려할 수 있다.

$$\phi_1 (H_o, T, h_B, B, h_i, \epsilon, S, \rho, g, \mu) \quad (12)$$

생태계제어 구조물 배후에서의 파고저감율 K_H 를 종속변수로 하고, H_o, g, μ 를 반복변수로 하여 Buckingham의 π 정리를 이용하여 차원해석하고, 각 무차원량을 물리적 해석이 용이하도록 조정하면 파고저감율에 대한 영향인자는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} K_H &= \frac{H}{K_s H_o} \\ &= \phi_2 \left(\frac{h_i}{H_o}, \frac{h_B}{H_o}, \frac{B}{H_o}, \frac{gT}{H_o}, \frac{\sqrt{gH_o^3 \rho}}{\mu}, \epsilon, S \right) \\ &= \phi_2' \left(\frac{h_i}{gT^2}, \frac{h_B}{H_o}, \frac{B}{gT^2}, \frac{H_o}{gT^2}, \frac{\sqrt{gH_o^3}}{\nu}, \epsilon, S \right) \\ &= \phi_2'' \left(\frac{h_i}{L_o}, \frac{h_B}{H_o}, \frac{B}{L_o}, \frac{H_o}{L_o}, \frac{\sqrt{gH_o^3}}{\nu}, \epsilon, S \right) \end{aligned} \quad (13)$$

파랑문제에 있어서 중력에 비해 점성의 영향은 무시할 만 하고, 형상(S)과 공극율($\epsilon=0.68$)이 일정한 사각어초를 이용하면, 파고저감 특성은 식(13)에서 볼 수 있는 것처럼 $h_i/L_o, h_B/H_o, B/L_o, H_o/L_o$ 와 밀접한 관계를 가짐을 알 수 있다.

한편, 高山 等⁹⁾은 테트라포드를 이용한 불규칙 파 실험 연구로부터 투과장애 배후의 파고 및 평균수위 변화는 상대 장애폭(B/L_o), 상대 장애상부수심(h_B/H_o), 파형경사(H_o/L_o)와 밀접하며 투과장애 배후의 파고는 쇄파 전까지는 거의 파고변화 없이 진행함을 보고하였다.

3.3. 수리실험 조건 및 방법

전술한 차원해석 결과인 식(13)을 기초로 생태계제어 구조물 배후의 파고 및 평균수위 특성을 실험적으로 구명하기 위하여 수리실험 조건을 조파기의 조파 특성과 모형의 제원을 고려하여 Table 1과 같이 설정하였다. 생태계제어 구조물의 모형은 1/50로 축소하여 3, 4층을 12, 24열로 생태계제어 구조물을 형성하였다. 실험은 Fig. 4와 같은 2차원 조파수조에서 실시하였고, 여러 규모의 생태계제어

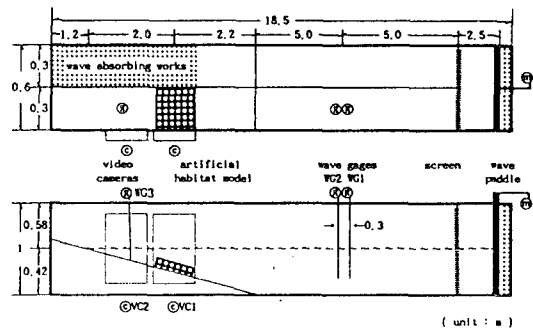


Fig. 4 Layout of hydraulic experiment flume

구조물을 대상으로 파고 3cm-11cm, 주기 1.0초-1.6초의 실험파랑을 이용하여 실험하였다. 파랑은 그림에서 볼 수 있는 것처럼 생태계제어 구조물 전후에서 용량식 파고계로 측정하였고, 입사파는 Goda¹⁵⁾의 방법으로 분리하였다. 또한 쇄파대를 포함한 생태계제어 구조물 배후의 파고는 수심 12.5, 10, 7.5, 5.0 cm 지점에서 비디오카메라로 촬영하여 1/30초로 재생시켜 해석하였다.

Table 1. Experimental conditions

Wave	case	W1	W2	W3	W4	W5	W6
	H(cm)	7.5	5.0	3.5	10.0	8.4	4.0
	T(sec)	1.0	1.37	1.8	1.13	1.3	1.6
Artificial habitat	case	S1		S2	S3	S4	
	story(ea)	3		4	3	4	
	row(ea)	12		12	24	24	
	installation depth(cm)	20.0		22.0	24.0	26.0	

4. 생태계제어 구조물에 의한 파랑변형 특성

4.1. 생태계제어 구조물 배후에서의 파고변화 및 쇄파 특성

심해로부터 입사한 파랑은 생태계제어 구조물을 통과하며 에너지의 감쇠를 일으키게 되고, 투과된 에너지에 의해 전파되며 재생성되기도 하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 高山 等⁹⁾은 잠제에 대한 실험결과로부터 투과파는 쇄파전까지 거의 변화 없이 진행하여 쇄파한다고 보고하였다. 그러나, 본 연구의 대상인 생태계제어 구조물의 경우는 투과파의 천수변형 특성을 볼 수 있었다. 따라서 생태계제어 구조물 배후의 파고변화 계산에 투과파의 천수·쇄파변형을 고려할 필요가 있다.

생태계제어 구조물 배후에서의 쇄파 특성은 심해로부터의 입사파가 생태계제어 구조물에 의해 그 에너지가 저감된 후 해안선으로 진입한 파랑의 제원과 해저지형의 함수로 설명될 수 있다. 그러나 일반적으로 입사파는 잠제구조물을 통과하며 주기가 변화하는 특성이 있는 것으로 지적되어 오고 있

으나 그 정량적인 평가는 아직 확립되어 있지 않은 상태이다. 따라서, 이러한 효과를 고려한 파고 및 평균수위의 변화와 쇄파변형의 연구가 필요하며, 그 기초적인 연구로서 기존의 계산방법 즉, 주기변화를 고려하지 않은 계산 모델의 적용성에 대한 검토를 행할 필요가 있다. 그러나, 본 연구에서는 종래의 대표적인 Goda¹¹⁾의 쇄파한계식을 준용하였다.

4.2. 생태계제어 구조물에 의한 입사파 저감 특성

심해로부터 입사해 온 파랑은 해안 및 구조물에 의해 반사되며 그 전면에서의 파랑 특성은 그 복합장으로 설명될 수 있다. 따라서 파와 구조물의 상호작용을 입사파의 특성에 따라 논의하고자 할 때에는 입반사파를 분리하여야 할 필요가 있다. 이로부터 생태계제어 구조물 주위의 파고변화를 측정하여 입사파와 비교, 해석하여야 한다.

생태계제어 구조물에 의한 파고의 변화 특성에 대한 논의는 투과율 및 저감율로 설명할 수 있다. 생태계제어 구조물 설치 후의 파랑변형 계산모델을 구축하기 위해서는 투과계수보다는 아래와 같은 파고 감쇄계수의 적용이 편리하다. 高山 等⁹⁾은 테트라포드를 이용한 투과잡제에 대한 파고 감쇄율 산정식을 아래와 같이 제안하였다.

$$K_H = -0.92 \frac{B}{L_o} + 0.42 \frac{h_B}{H_o} + 3.8 \frac{H_o}{L_o} + 0.51 \quad (12)$$

이러한 종래연구는 인공reef라고 하는 폭이 넓은 잠제에 대한 실험결과로서 생태계제어 구조물에 의한 파고저감 효과에 직접 적용하는 것은 문제가 있을 수 있고, 그에 대한 검토가 필요하다. 또한 공극율이 다른 상기 결과들과 본 연구를 종합하여 공극율의 변화에 대한 검토가 요망되며 이로부터 파, 흐름 등을 포함한 유체장의 기술과 생태환경 등을 종합적으로 고려하는 최적설계기법이 요망된다.

본 연구에 의한 실험결과를 이들 파라미터에 대해 정리한 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. Fig. 5의 (a)는 생태계제어 구조물 상부수심에 따른 파고 저감계수를 폭을 파라미터로 하여 나타낸 것이고, (b)는 상부폭에 따른 저감계수를 상부수심을 파라미

터로 하여 나타낸 것이다. 그림으로 부터 생태계제어 구조물의 규모에 따른 파고변화는 상부수심이 알아질수록 상부 폭이 클수록 입사파의 에너지 저

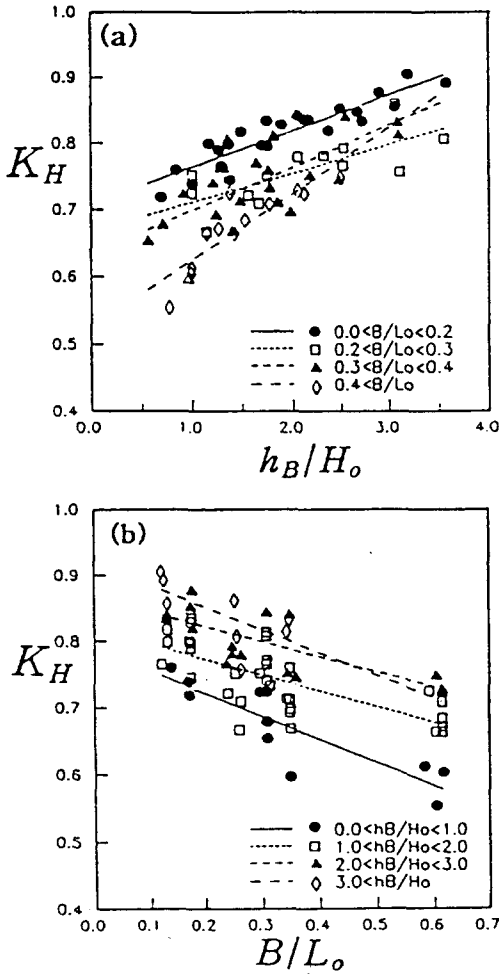


Fig. 5 Wave attenuation characteristics by (a) crest depth and (b) width of ecosystem control structure

감율이 좋아짐을 알 수 있다. 또한 高山等⁹⁾과 마찬가지로 각 파라미터들이 선형적인 관계를 가진다고 가정하면 다중회귀분석에 의해 다음 식과 같이 나타낼 수 있다. 식(13)은 생태계제어 구조물의 폭과 상부수심, 파형경사를 고려한 경우이며, 식(14)는 여기에 상대수심을 추가하여 고려한 경우이다. 두

식에 의한 적용성이 Fig. 6에 비교되어 있으며, 3변수식에 비해 4변수식이 보다 적합함을 알 수 있다.

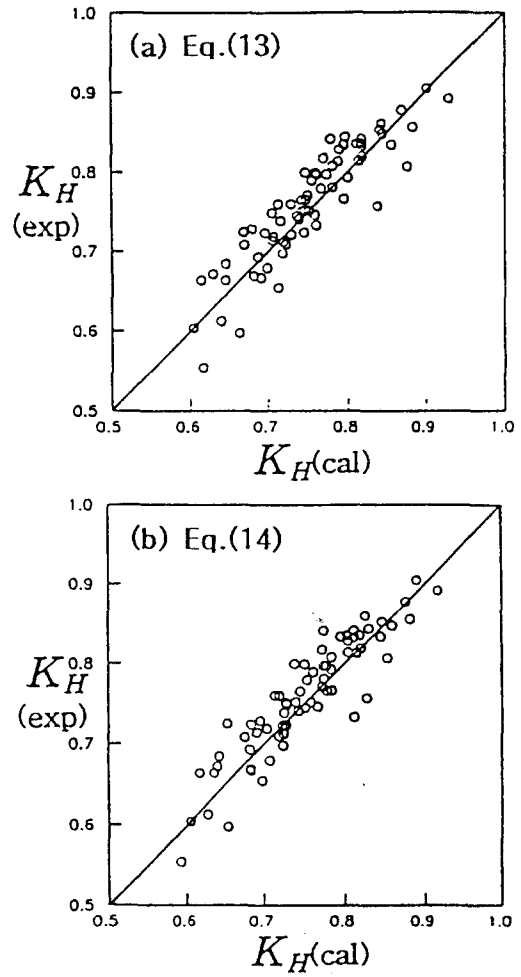


Fig. 6 Comparisons between calculated and experimental values

$$K_H = -0.385 \frac{B}{L_o} + 0.085 \frac{h_B}{H_o} + 1.846 \frac{H_o}{L_o} + 0.658 \quad (13)$$

$$K_H = -0.447 \frac{B}{L_o} + 0.070 \frac{h_B}{H_o} + 0.066 \frac{H_o}{L_o} + 0.991 \frac{h_i}{L_o} + 0.652 \quad (14)$$

4.3. 생태계제어 구조물 배후의 평균수위 변화 특성

생태계제어 구조물에 의한 파고의 저감은 그 배후에서의 수위상승을 유발시키는 것으로 알려지고 있으며, 高山等¹⁷⁾은 잠제에 대한 실험결과를 정리하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$\begin{aligned} \frac{\bar{\eta}}{H_o} &= 0.085 \frac{B}{L_o} + 0.16 \frac{h_B}{H_o} - 0.38 \frac{H_o}{L_o} \\ &+ 0.125, \quad 0 < \frac{h_B}{H_o} < 0.5 \\ &= 0.048 \frac{B}{L_o} + 0.056 \frac{h_{RT}}{H_o} - 0.21 \frac{H_o}{L_o} \\ &+ 0.076, \quad 0.5 < \frac{h_{RT}}{H_o} \end{aligned} \quad (15)$$

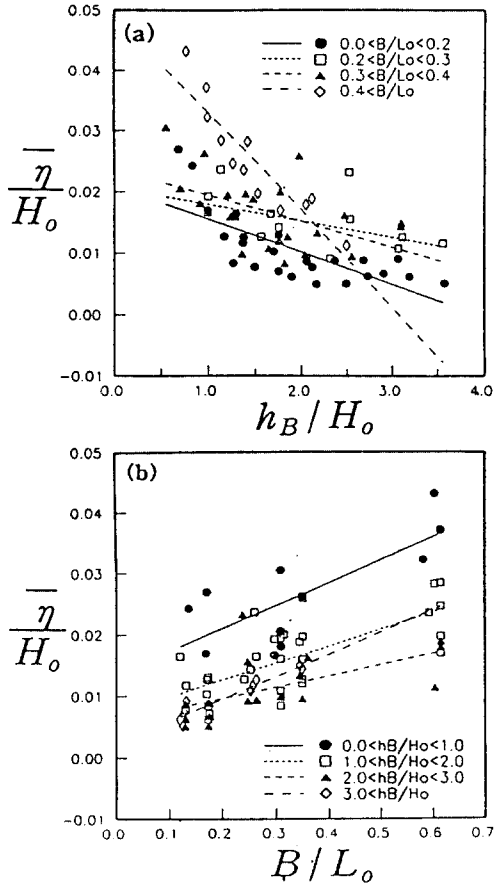


Fig. 7 The characteristics of mean water level elevation by (a) crest depth and (b) width of ecosystem control structure

한편, 생태계제어 구조물에 대해서도 마찬가지로 정리할 수 있었으며, 생태계제어 구조물 상부수심 및 폭에 따른 평균수위 변화 특성을 Fig. 7에 나타내었다. 그림으로 부터 유사한 폭에 대해 상부수심이 얕아질수록 평균수위는 증가하며, 유사한 상부수심에 대해 상부 폭이 넓어질수록 평균수위가 증가함을 볼 수 있다. 이를 다중회귀분석에 의해 정리하면 다음 식과 같이 정리될 수 있다. 식 (15)와 같이 정리한 것이 식(16)이며, 여기에 설치수심 효과를 고려하면 식(17)과 같이 개선될 수 있고, 그 결과는 Fig. 8에서 볼 수 있는 것처럼 양호한 결과를 보인다.

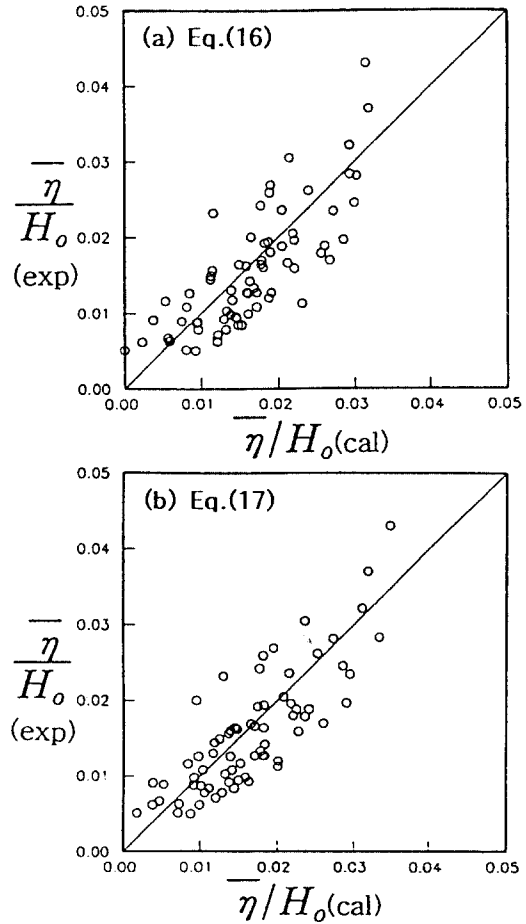


Fig. 8 comparisons between calculated and experimental values

$$\frac{\bar{\eta}}{H_o} = 0.039 \frac{B}{L_o} - 0.007 \frac{h_B}{H_o} - 0.984 \frac{H_o}{L_o} + 0.020 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\bar{\eta}}{H_o} &= 0.047 \frac{B}{L_o} - 0.005 \frac{h_B}{H_o} + 0.145 \frac{H_o}{L_o} \\ &- 0.134 \frac{h_i}{L_o} + 0.021 \end{aligned} \quad (17)$$

4.4. 생태계제어 구조물의 파랑제어 효과

종래의 천수·쇄파변형모델의 적용성을 실험결과를 이용하여 비교·검토하고 생태계제어 구조물에 의한 파랑에너지 저감효과를 실험결과로부터 도입하여 조합함으로써 생태계제어 구조물 주위의 파고변화 계산이 가능하였다. 그 개요는 Fig. 1과 같고, 그 계산 예를 Fig. 9에 나타내었다. 그림은 두가지의 파랑에 대해 생태계제어 구조물을 3, 4층을 12, 24열로 쌓았을 경우의 파고 및 평균수위 변화를 나타내고 있다. 그림으로부터 계산결과는 실험결과와 비교적 일치하며, 생태계제어 구조물에 의한 파랑제어 효과를 확인할 수 있다. 따라서, 생태계제어 구조물의 규모 및 배치설계에 있어서는 수산자원을 위한 어초기능 뿐 아니라 연안역의 다

목적·다기능 개발 및 이용을 고려한 합리적인 계획에 의해 개발 및 관리되어야 하며, 본 연구결과를 응용할 수 있을 것이다.

5. 결론

자연 해빈에서의 파랑변형에 대한 종래 계산모델의 적용성을 수리실험 결과를 이용하여 비교 검토하였다. 또한 생태계제어 구조물에 의한 파랑제어효과를 파고저감율로서 정리하여 그 산정식을 제안하였다. 이를 이용하여 생태계제어 구조물 배후에서의 파고변화 예측을 위한 복합모델을 구축하고, 파랑제어 특성을 논의하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 규칙파의 천수·쇄파변형 모델로서는 선형파이론에 의한 선형모델보다 비선형파이론에 의한 비선형 모델의 적용성이 좋았고, 수정 Bore model의 유용성을 확인하였다.
- 2) 수중구조물 배후의 파고는 거의 일정하다는 종래 연구결과와는 달리 고투과성 생태계제어 구조물 배후의 파고는 투과파의 천수·쇄파변형 특성이 나타났다.

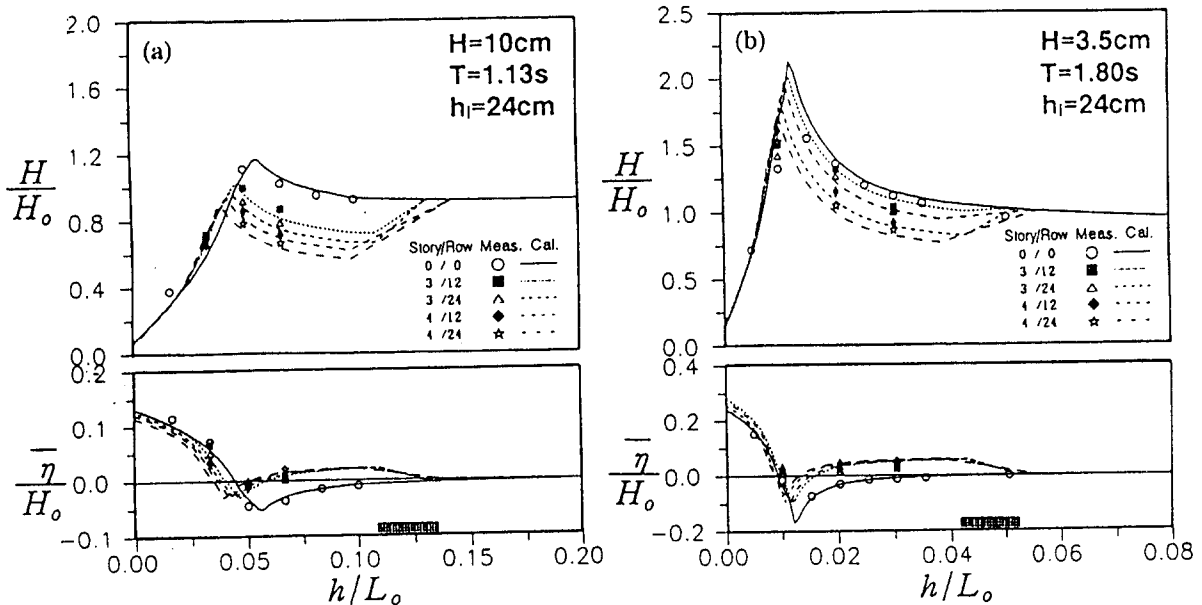


Fig. 9 Examples of the change of wave height and mean water level elevation according to the scale of ecosystem control structure

- 3) 생태계제어 구조물의 파고저감 특성과 배후에서의 평균수위 변화는 생태계제어 구조물의 상대 상부폭 및 상부수심, 파형경사와 상대 설치수심과 밀접하며, 상부폭이 넓을수록, 상부수심이 얇을수록 저감율은 높아지며, 이를 다중회귀분석으로 정리하여 생태계제어 구조물에 의한 파고저감계수와 평균수위변화 산정식을 제안하였다.
- 4) 천수·쇄파모델과 생태계제어 구조물에 대한 실험결과를 이용하여 수리·수치 복합모델을 구축하였고, 실험결과와 비교적 잘 일치하였다.
- 5) 생태계제어 구조물에 의한 파랑 및 생태계제어에 의한 연안역 개발의 최적화는 수산자원 조성의 효과를 포함한 다목적·다기능 해안 개발에 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 朴相吉, "面的防禦工法による海岸防災效果に關する基礎的研究", 日本大阪大博士學位論文, 151p., 1986
- 2) 김현주, "연안생태계 제어구조물의 안정성과 기능 극대화를 위한 기초적 연구", 부경대학교 박사학위논문, 145p., 1995
- 3) 류청로, 정귀석, 김현주, 손병규, "생태계 제어, 월파제어 그리고 연안역 개발의 최적화", '93 한국해양해양공학회 학술발표회 초록집, pp. 101-105, 1993
- 4) Ryu, C.R. and H.J. Kim, "A design concept of artificial habitat considering the function of wave control and coastal defence", Proc. of Int. Symp. on Coastal Ocean Space Utilization, pp. 347-356, 1995
- 5) 류청로, 김현주, "착저식 인공어초에 작용하는 파력특성에 관한 연구", 한국수산학회지, 27(5), pp. 605-612, 1994
- 6) 柳青魯, 張善德, 林琦瑋, "人工魚礁의 配置에 關한 研究", 水振研究報, pp.1-24, 1986
- 7) 국립수산진흥원, "한국연안 인공어초의 자원조성 효과에 관한 연구", 국립수산진흥원사업보고 95호, 89p., 1992
- 8) 井島武士, 田淵幹修, 湯村やす, "潛堤の效果に關する理論的研究(2)-透過潛堤-", 第19回 海岸工學講演會論文集, pp.177-183, 1972
- 9) 高山知司, 永井紀彦, 關口忠志, "廣天端幅潛堤の波浪低減效果に關する不規則波實驗", 第32回海岸工學講演會論文集, pp.545-549, 1985
- 10) 高山知司, 池田直太, 永井紀彦, 高山優, "廣天端幅潛堤の越波低減效果に關する不規則波實驗", 第35回海岸工學講演會論文集, pp. 587-591, 1988
- 11) 加藤 始, "透過潛堤による波高減衰效果と堤内水位上昇に關する研究", 第39回海岸工學講演會論文集, pp. 636-640, 1992
- 12) Rojanakamthorn, S., M. Isobe and A. Watanabe, "A mathematical model of wave transformation over a submerged breakwater", Coastal Engineering in Japan, JSCE, 32(2), pp. 209-234, 1989
- 13) Izumiya, T. and K. Horikawa, "Wave energy equation applicable in and outside the surf zone", Coastal Engineering in Japan, 27, pp. 119-137, 1984
- 14) Izumiya, T., "Extension of mild slope equation for waves propagation over a permeable submerged breakwater", Proc. 22nd Coastal Eng. pp. 306-315, 1990
- 15) Goda, Y., "Random sea and designs of marine structures", Univ. of Tokyo press, 323p., 1985
- 16) 首藤伸夫, "非線型長波の變形-水路幅,水深の變化する場合-", 第21回海岸工學講演會論文集, pp. 57-63, 1974
- 17) Battjes, J.A. and J.P.F.M. Janssen, "Energy loss and set-up due to breaking of random waves", Proc. 16th Coastal Eng. pp. 569-587, 1978
- 18) 間瀬 肇, "不規則波浪の波群特性と淺海變形特性に關する研究", 京都大學博士學位論文, 207p., 1986
- 19) Battjes, J.A., "Set-up due to irregular waves", Proc. 13th Coastal Eng. pp. 1993-2004, 1972