

사각형형상 수중방파제의 반사에 관한 수리실험

Hydraulic Experiments on Reflection of Regular Waves due to Rectangular Submerged Breakwaters

조 용 식* / 이 종 인** / 김 영 택***

Cho, Yong Sik / Lee Jong In / Kim Young Taek

Abstract

In this study, reflection of water waves over a train of rectangular submerged breakwaters is experimentally investigated. Measured reflection coefficients of regular waves are compared with predicted coefficients obtained from the eigenfunction expansion method. Although measured coefficients are slightly smaller than predicted ones, the overall agreement is very good.

keywords : submerged breakwater, reflection, eigenfunction expansion method, hydraulic model experiment, regular wave

요 지

본 연구에서는 일정수심상에 사각형형상의 불투과성 수중방파제를 설치한 후 파랑의 반사를 수리실험을 통해 조사하였다. 입사파는 규칙파를 사용하였으며, 고유함수전개법을 이용하여 예측한 반사율을 본 연구에서 수행한 수리 모형실험 결과와 비교하였다. 예측된 결과와 수리실험에서 관측한 결과는 비교적 잘 일치하였으며, 수리실험에 의한 반사율이 고유함수전개법에 의한 결과보다 다소 작았다.

핵심용어 : 수중방파제, 반사, 고유함수전개법, 수리모형실험, 규칙파

* 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, (e-mail) ysc59@hanyang.ac.kr

** 정희원, 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

Senior Researcher, Water Resources and Environmental Engineering Div., Korea Institute of Construction Technology

*** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원 (한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정)

Researcher, Water Resources and Environmental Engineering Div., Korea Institute of Construction Technology

1. 서 론

심해에서 발생한 파랑은 해안으로 전파해 오면서 구조물 및 해저지형의 영향으로 변형을 겪게 되며, 해안선의 침식과 퇴적 및 해안구조물의 안전과 설계에 영향을 미친다. 연안침식은 일반적으로 태풍 등과 같은 이상조건에서 발생한 후 평상시 다시 회복되는 양상을 가지며, 이와 같은 연안침식을 최소화하기 위해 이안제, 돌제 및 수중방파제 등과 같은 인위적인 구조물을 설치하고 있다. 최근에는 Bragg반사가 발생하도록 수중에 인위적인 구조물을 설치하여 내습파의 에너지를 차단하고 연안침식을 방지하고자 하는 연구가 진행되고 있다 (Kirby와 Anton, 1990; Bailard 등, 1990; Dong 등, 1997; Greenwoud 등, 1997; Tomasicchio, 1997).

Bragg반사는 파랑이 일정한 주기를 갖는 해저지형을 통과할 때 입사파의 파장이 해저지형 파장의 두 배가 되는 경우에 발생하는 일종의 공명현상(resonance)이다. 수중방파제는 해저면에서 수면 위까지 설치되는 구조물과는 달리 해양환경 및 생태계의 보전 등이 가능하고 주변의 경관과도 조화를 이룰 수 있는 장점이 있으며, 내습파의 쇄파, 구조물과의 마찰 등에 의한 에너지 감소로 해빈변형을 제어하는 기능을 가진다. 이러한 수중구조물을 설계하기 위해서는 구조물 안정성뿐만 아니라 수심 및 바닥지형의 형태에 따른 반사율의 산정이 필요하다.

Kirby와 Dalrymple(1983)은 고유함수전개법(EFEM, eigenfunction expansion method)을 이용하여 트렌치(trench) 지형에서의 반사율과 통과율을 계산하였으며, O'Hare와 Davies(1992)는 규칙파의 Bragg반사를, Liu와 Cho(1993)는 파군에서 생성되는 장파의 Bragg반사를, Zhang 등(1999)은 hybrid모형을 이용하여 파랑의 반사율을 해석하였다. 또한, Davies와 Heathershaw(1984), Francis와 Fredric(1986), Rey 등(1992), Guazzelli 등(1992)은 수리실험 및 수치실험을 통해 Bragg반사를 연구하였다. 특히, Guazzelli 등은 복합정현파형 지형을 통과하는 파랑의 Bragg반사를 수리실험을 이용하여 분석하였다. 아울러, Suh 등(1997)은 환경사방정식 및 확장형완경사방정식을 이용하여 파랑의 반사율을 계산하였으며, 조와 이(1998), 조 등(1999)은 고유함수전개법을 이용하여 파랑의 반사율을 계산하였다.

본 연구에서는 사각형형상의 불투과성 수중방파제에 의한 파랑의 반사특성을 수리실험을 이용하여 조사하였다. 수리실험 관측자료를 검증하기 위해 고유함수전개

법으로 반사율을 계산하여 관측자료와 비교하였다. 입사파는 규칙파를 대상으로 하였으며, 수중방파제의 배열 및 배치간격에 따른 반사특성을 관측하여 고유함수전개법에 의한 결과와 비교하였다. 비록, 사각형형상의 수중방파제는 현장 적용에는 시공상 문제나 유지보수 측면에서 많은 문제점을 가지고 있더라도 다양한 형상의 수중방파제중에서 가장 단순하고 또한 사다리꼴 또는 삼각형형상 수중방파제의 대표적 성격을 가지고 있어 본 연구에서 수중방파제의 형상으로 채택하였다. 더욱이, 사각형형상의 수중방파제는 해안공학 측면에서 매우 중요한 해저지형인 트렌지지형이나 선반형지형의 성격을 내포하고 있어 이에 관한 연구는 충분한 가치가 있을 것으로 판단된다.

다음 장에서는 수리실험에 사용된 장비, 실험과 실험조건에 관하여 기술하였다. 아울러, 실험에 이용된 반사율 산정기법에 대해서도 설명한다. 제3장에서는 고유함수전개법에 대하여 간략히 기술한다. 제4장에서는 수리실험에 관측자료와 고유함수전개법에 의해 산정된 반사율을 비교하여 수리실험의 정확성을 검증한다. 마지막으로, 제5장에서는 결론을 기술한다.

2. 실험장비 및 실험조건

2.1 실험장비 및 반사율측정

본 실험에서 사용한 장비는 폭 1.0m, 높이 2.0m, 길이 56m의 수로와 전기서보 피스톤식 조파기로 구성된 단면조파장치로서 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있으며, 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있고, 전면 30m 구간을 강화유리로 처리하여 실험장면의 관찰이 용이하도록 되어 있다(그림 1 참조). 그리고 조파관 전면에 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 독취된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장치가 설치되어 있다.

본 실험에 사용된 조파기는 스펙트럼함수에 의한 불규칙파와 각각의 성분파에 대해 임의의 스펙트럼 값을 입력하여 조파할 수 있으며, 단면수로는 파고계와 파압계, 유속계 등을 연결하여 동시에 32채널의 자료를 얻을 수 있다. 또한, 실험에 사용된 단면수로는 최대파고 0.8m의 파랑을 조파할 수 있으며, 조파된 파랑의 재현 주기는 0.5sec~6sec이다. 반사율 측정은 2대의 용량식 파고계로 구성된 장치를 이용하였으며, 반사율 측정을 위한 파고계의 최대 이격간격은 1.2m이다.

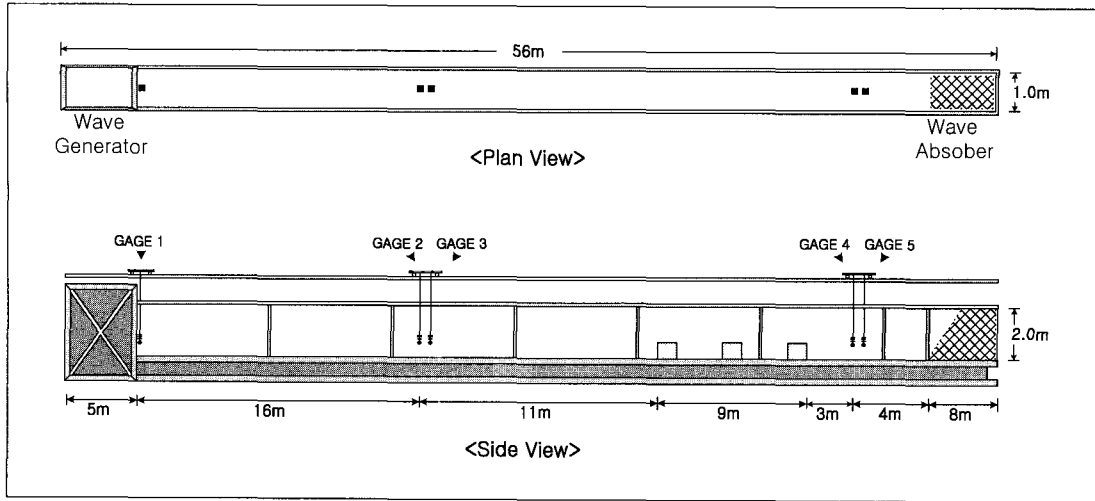


그림 1. 실험수로

반사율의 산정은 임의의 간격으로 설치된 두 개의 파고계로부터 독취된 자료를 바탕으로 Goda와 Suzuki (1976)의 방법으로 계산하였다. Goda와 Suzuki의 입반사 분리기법은 주어진 거리 내에서 중복파의 각 성분파 위상차가 일정하다는 점에서 동시파형을 이용하여 성분파 에너지 사이의 비를 산출하는 방법이다. 이 방법은 수심과 주기에 따라 2개 파고계의 간격을 조정하여 각각의 위치에서 파형을 독취한 후 파형자료로부터 반사율을 계산하는 것이다.

유효주파수 범위내에서 반사율 산정을 위한 자료계측에 필요한 파고계 간격(Δl)은 다음 식을 이용하여 구한다(Goda와 Suzuki, 1976).

$$\text{Upper limit } (f_{\max}): \Delta l / \lambda_{\min} \approx 0.45,$$

$$\text{Lower limit } (f_{\min}): \Delta l / \lambda_{\max} \approx 0.05 \quad (1)$$

식 (1)에서 λ_{\min} 과 λ_{\max} 는 각각 유효주파수 범위내의 상한값 f_{\max} 와 하한값 f_{\min} 에 대응하는 파장이다.

2.2 실험파 및 실험조건

수중방파제의 Bragg 반사에 대한 수리모형실험은 규칙파 및 불규칙파를 대상으로 수행되었으나, 본 논문에서는 규칙파를 대상으로 한 결과에 대해 검토하고자 한다. 실험파는 300sec를 조파한 후 90sec~300sec 사이의 205sec 동안의 자료를 zero-upcrossing 방법으로 분석하여 설정하였다. 실험에 사용된 파고계의 독취율은 20Hz로서 6,000개의 자료를 독취하고, 이 중 후반부 4,096개의 자료를 분석하였다. 그리고 본 실험에서는 구조물 설치로 인한 입사파의 증폭을 방지하기 위해 실험파 설정시와 실험시에 실험장비의 흡수식 기능을 이용하여 조파판에서의 제반사를 억제하였다. 실험

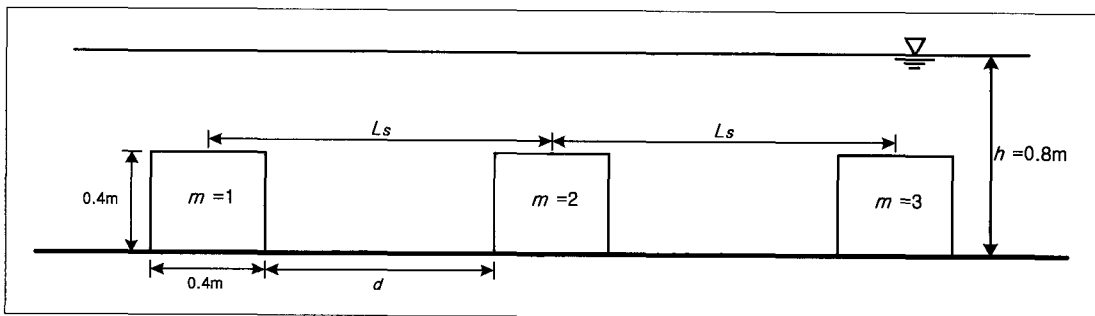


그림 2. 실험단면 형상

표 1. 수중방파제 실험안

수중방파제 배열(m)	수중방파제 간격(d)	입사파의 파수(k)	지형의 파수(k _s)	입사파고 (H)	수심 (h)
1	-	0.625~5	-	4cm, 8cm	0.8m
2	1m	0.625~4.375	4.488	4cm, 8cm	0.8m
	2m	0.625~3.125	2.618		
	3m	0.625~3.125	1.848		
3	1m	0.625~4.375	4.488	4cm, 8cm	0.8m
	2m	0.625~3.125	2.618		
	3m	0.625~3.125	1.848		

에 사용된 단면수로는 수로내에 구조물을 설치한 후 흡수식 제어를 통해 실험파를 생성하고, 조파신호를 수정하여 구조물 설치전의 실험파를 재현할 수 있는 시스템이 갖추어져 있다.

실험에 사용된 수중방파제의 형상은 사각형으로서 불투과성 재질로 제작하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 사각형 수중방파제의 제원은 폭과 높이가 0.4m이며, 수중방파제의 배열은 1열, 2열 및 3열을 대상으로 하였다. 그리고 수중방파제의 배치간격(d)에 따른 반사율의 변화를 검토하기 위해 d=1m, 2m 및 3m를 적용하여 실험을 수행하였다. 실험수심(h)은 0.8m를 적용하였기 때문에 구조물의 높이와 수심의 비는 0.5이다. 그림 2에서 m은 수중방파제의 배열 수를 의미하며, 구조물의 파장은 L_s로 정의하였다. 입사파의 파고는 4cm와 8cm를 사용하였으며, 입사파는 상대수심 kh=0.5~4의 범위에서 설정하였다. 여기서, k는 입사파의 파수이다. 표 1은 본 연구에서 수행한 실험안을 정리한 것이다.

3. 고유함수전개법

본 연구에서는 조 등(1999)이 사용한 고유함수전개법을 이용하여 수중방파제에 의한 규칙파의 반사율을 산정하였다. 본 절에서는 고유함수전개법에 대해 간략히 설명한다. 임의의 해저지형으로 입사하는 입사파, 해저지형에 의해 반사되는 반사파 및 해저지형을 통과하는 통과파를 해석하는 지배방정식은 미소진폭파이론에 의해 다음과 같이 주어진다. 식 (2)는 오른쪽으로 진행하는 파랑, 즉 통과파(transmitted wave)와 소멸파(evanescent mode)의 속도포텐셜이며, 식 (3)은 왼쪽으로 진행하는 파랑, 즉 반사파와 소멸파의 속도포텐셜을 나타낸 것이다.

$$\Phi_m = \left\{ A_m^r e^{+i l_m x} \cosh k_m (h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^r e^{-\lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n} (h_m + z) \right\} e^{i(k_y y - \omega t)} \quad (2)$$

$$\Phi_m = \left\{ A_m^l e^{-i l_m x} \cosh k_m (h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^l e^{-\lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n} (h_m + z) \right\} e^{i(k_y y - \omega t)} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서 위첨자 r과 l은 각각 오른쪽과 왼쪽방향을 나타내며, 아래첨자 m은 서로 다른 수심을 갖는 영역의 수, n은 소멸파의 수이며, A_m^r, B_{m,n}^r, A_m^l 및 B_{m,n}^l은 복소진폭함수이다. 그리고 진행파와 소멸파의 파수 k_m와 K_{m,n}은 실수이며, 식 (4)와 같은 분산관계식으로부터 계산된다.

$$\omega^2 = g k_m \tanh k_m h_m, \quad \omega^2 = -g K_{m,n} \tan K_{m,n} h_m \quad (4)$$

또한, 식 (2)와 식 (3)에 사용된 λ_{m,n}은 다음 식 (5)로부터 계산할 수 있다.

$$\lambda_{m,n} = (K_{m,n}^2 + k_y^2)^{1/2} \quad (5)$$

식 (2)와 식 (3)에서 진폭함수를 결정하기 위해서는 수심이 변하는 지점, 즉 서로 다른 수심을 갖는 두 지형이 만나는 지점에서 각각 두 개의 접합조건이 필요하다. 첫번째 접합조건은 x축 방향의 흐름율이 연속이 되도록 하는 것이며, 두번째 접합조건은 자유수면에서의 압력이 연속이 되도록 하는 것이다. 두 개의 접합조건에 식 (2)와 식 (3)을 대입하여 정리하면 미지수가 2(m-1)×(n+1)인 선형행렬식이 유도되며, 이를 해석하

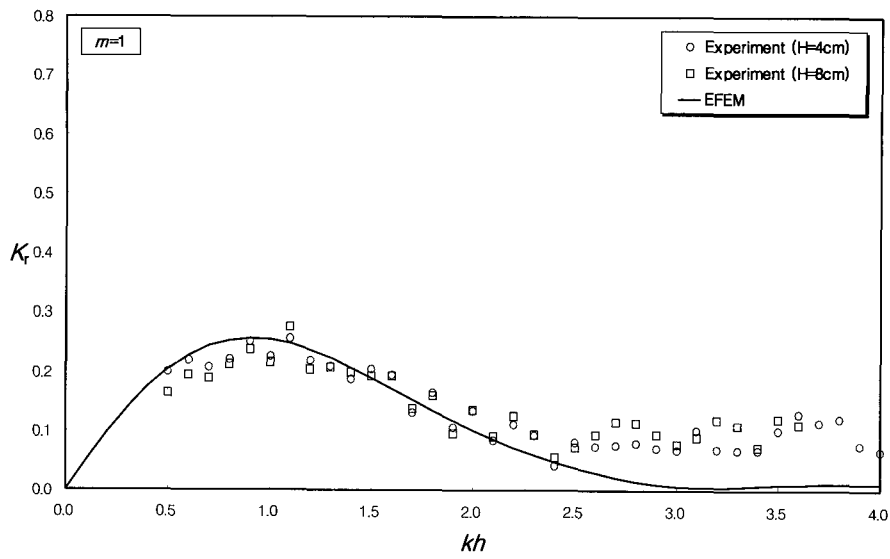


그림 3. 수중방파제의 반사계수 ($m=1$ 인 경우)

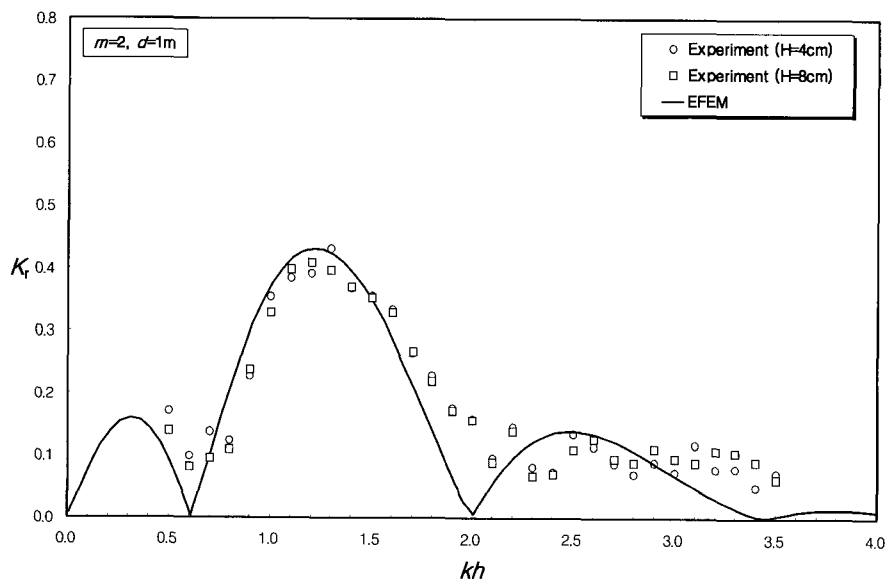


그림 4. 수중방파제의 반사계수 ($m=2, d=1\text{m}$ 인 경우)

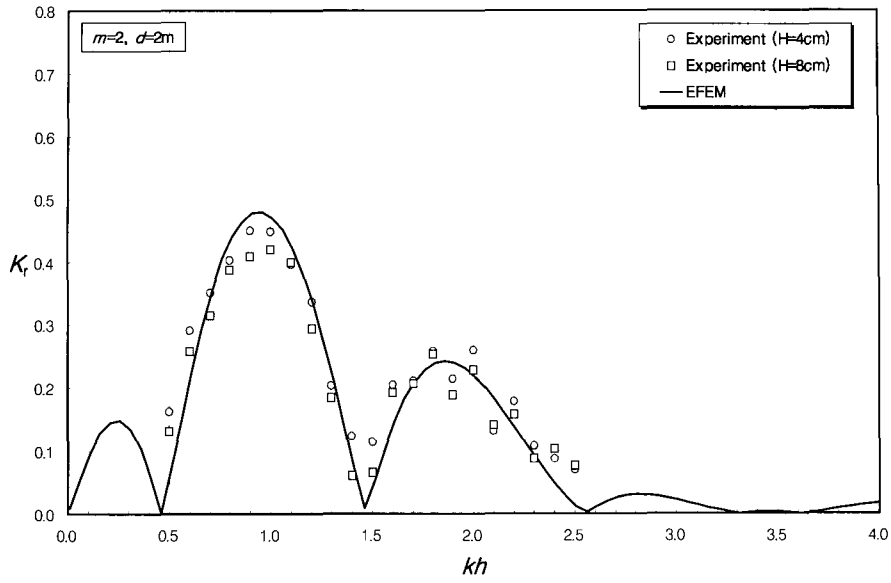


그림 5. 수중방파제의 반사계수 ($m=2$, $d=2m$ 인 경우)

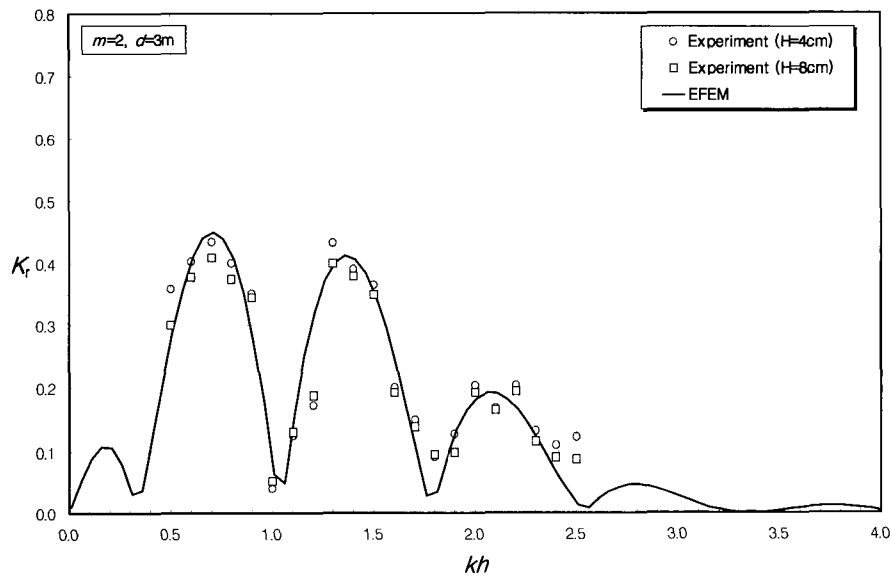


그림 6. 수중방파제의 반사계수 ($m=2$, $d=3m$ 인 경우)

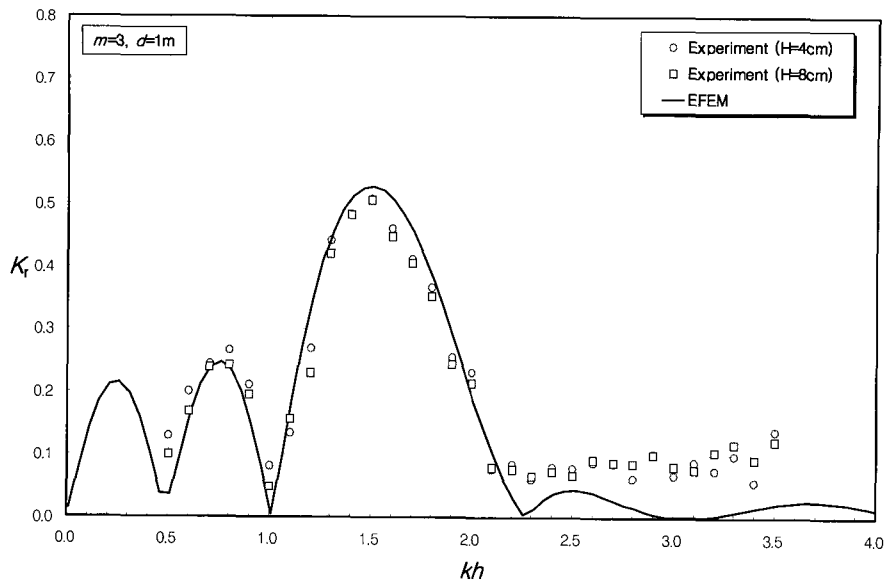


그림 7. 수중방파제의 반사계수 ($m=3$, $d=1m$ 인 경우)

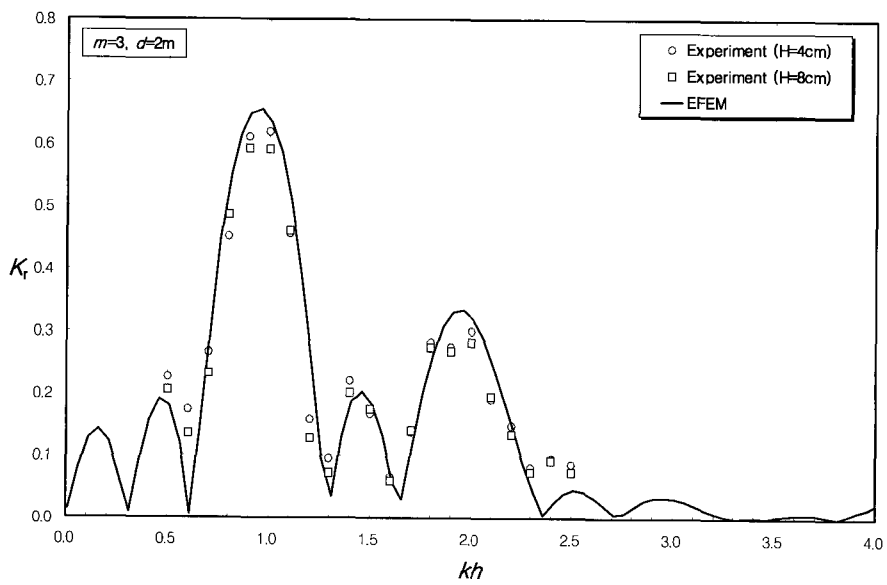


그림 8. 수중방파제의 반사계수 ($m=3$, $d=2m$ 인 경우)

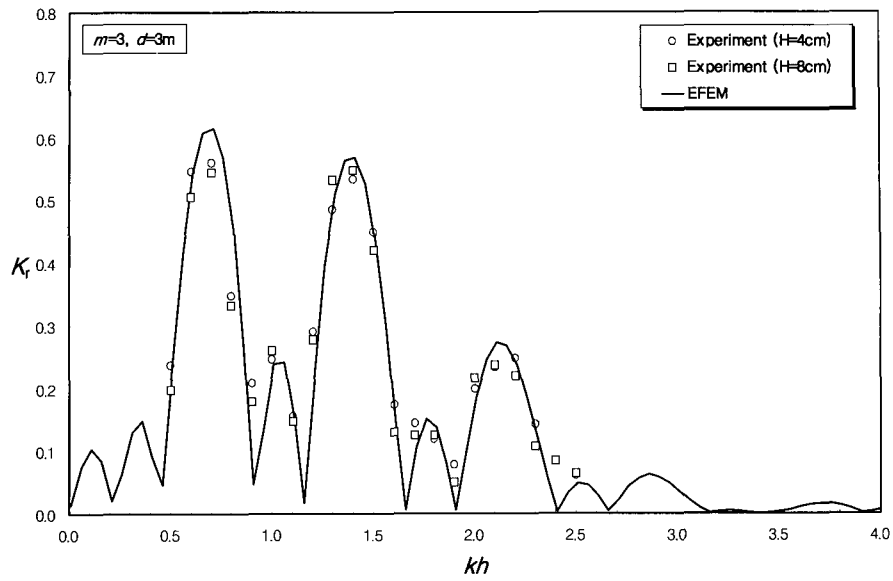


그림 9. 수중방파제의 반사계수 ($m=3$, $d=3m$ 인 경우)

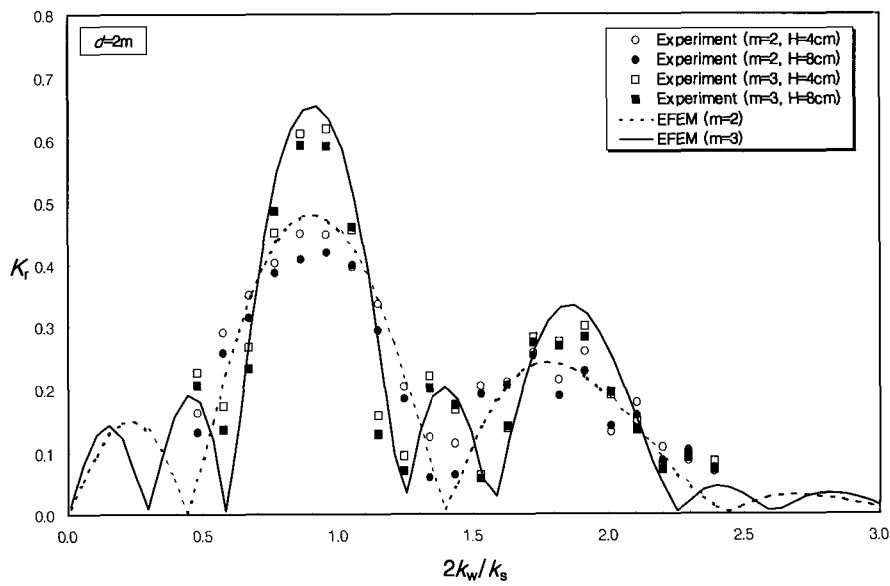


그림 10. 수중방파제의 배열에 따른 반사계수 ($d=2m$ 인 경우)

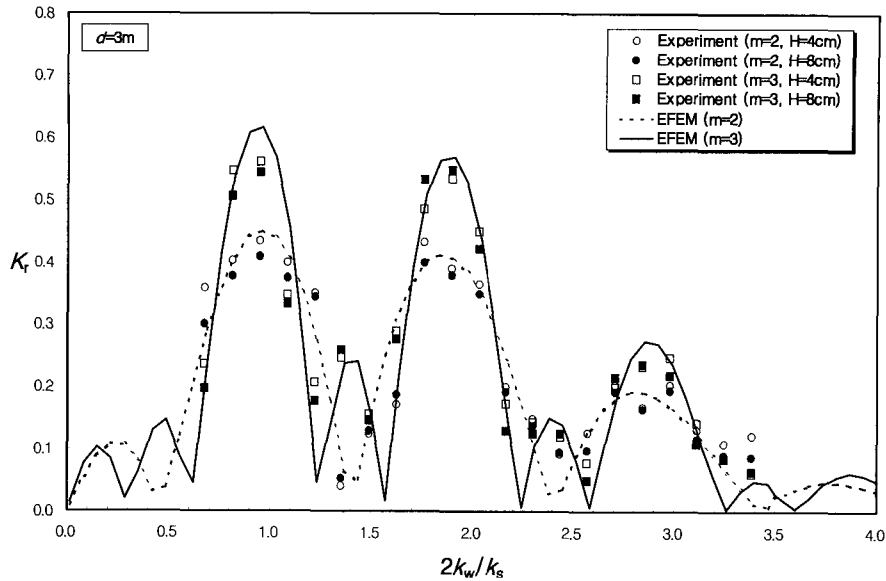


그림 11. 수중방파제의 배열에 따른 반사계수 ($d=3\text{m}$ 인 경우)

면 반사율과 통과율을 산정할 수 있다. 그러나, 접합조건에 식 (2)와 식 (3)을 직접 대입하면 선형행렬식이 매우 복잡하여 해석이 쉽지 않으므로 고유함수전개법에서는 접합조건에 삼각함수 또는 쌍곡선함수의 직교성을 이용한다. 고유함수전개법에 관한 보다 상세한 설명은 조와 이 (1998)를 참조할 수 있다.

4. 실험결과

그림 3~그림 9는 수중방파제의 배열 수, 배치간격에 따른 반사율(K_r)을 수리실험에 의한 관측 결과를 도시한 것이다. 아울러, 수리실험 관측 결과의 검증을 위하여 고유함수전개법에 의해 예측된 반사율을 비교하여 도시하였다 (조 등, 1999). 그림에서 EFEM으로 표시한 것은 고유함수전개법에 의해 계산된 반사율을 의미한다.

먼저, 그림 3은 사각형형상의 수중방파제가 1열로 배치된 경우로 방파제의 폭이 상대적으로 좁기 때문에 반사율이 낮게 관측됨을 알 수 있다. 고유함수전개법에 의해 예측된 반사율과 수리실험 관측결과가 비교적 잘 일치하고 있으나, 입사파가 단주기인 경우에는 실험결과가 다소 크게 관측되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 상대수심 kh 가 3.0 이상, 즉 상대적으로 단파인 경우로 입사파의 주기가 1sec 미만으로서 수리모

형실험에서 단주기파의 재현성이 다소 부족하기 때문으로 생각된다. 따라서 그림 3의 경우 이외에는 수리모형 실험시 상대수심 $kh=2.5$ 또는 3.0까지만 수행하였다.

그림 4~그림 6은 수중방파제가 2열($m=2$)로 배치되고 방파제간격(d)이 각각 1m, 2m 및 3m인 경우에 대한 실험결과를 도시한 것이다. 전체적으로 방파제 간격에 관계없이 최대 반사율이 0.4~0.45의 범위에서 발생하고 있음을 알 수 있으나, $d=2\text{m}$ 인 경우에 고유함수전개법 및 수리실험에서 반사율이 크게 나타났다. 이는 $d=2\text{m}$ 인 경우가 다른 경우와 비교하여 Bragg 반사 조건에 보다 더 근접하였기 때문으로 판단된다.

그림 7~그림 9는 수중방파제가 3열($m=3$)로 배치되고 방파제간격(d)이 각각 1m, 2m 및 3m인 경우에 대해 고유함수전개법에 의해 계산된 반사율과 수리실험에서 관측된 반사율을 비교하여 도시한 것이다. 방파제가 2열, 즉 $m=2$ 인 경우와 같이 두 결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 방파제가 3열, $m=3$ 인 경우에는 첫 번째 공진주기에서 반사율은 0.5~0.65의 범위에서 나타난다. 또한, $m=3$ 인 경우도 $m=2$ 인 경우와 같이 $d=2\text{m}$ 에서 반사율이 가장 크게 나타났다.

마지막으로, 그림 10과 그림 11은 각각 $d=2\text{m}$ 와 $d=3\text{m}$ 인 경우에 대해 사각형 수중방파제의 파장(L_s)에 대응하는 파수(k_s)를 이용하여 방파제의 배열에 따른

Bragg반사 조건을 검토한 것으로서 방파제 배열과 무관하게 첫 번째 공진주기의 발생위치는 비슷하지만 수중방파제의 배열이 증가할수록 반사율은 증대됨을 알 수 있다. 해저지형이 정현파형상일 때는 Bragg반사가 $2k_w/k_s \approx 1$ 에서 발생하며, 사각형형상 방파제의 경우에도 유사한 경향을 보인다.

전체적으로 고유함수전개법에 의해 예측된 반사율과 수리실험에서 관측된 반사율은 서로 잘 일치하고 있으나 고유함수전개법에 의해 결과가 관측된 반사율보다 다소 크게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 크게 두 가지에 기인한 것으로 판단된다. 첫째, 바닥마찰의 영향을 들 수 있다. 즉, 수리실험에 의한 반사율에는 바닥마찰이 포함되어 있으나 고유함수전개법에는 바닥마찰이 고려되지 않은 관계로 전체적으로 고유함수전개법에 의해 예측된 반사율이 관측 결과보다 크게 나타나 있다. 둘째로, 비선형효과(nonlinear effects)에 의한 영향을 들 수 있다. 수리실험에서는 비선형효과, 즉 입사파의 파고가 4.0cm일 경우 $\epsilon(=H/h)$ 0.05이며, 파고가 8.0cm일 경우에는 0.1이다. 그러나, 수리실험과는 달리 고유함수전개법에서는 비선형효과를 고려하지 않은 관계로 전체적으로 예측된 반사율이 관측 결과보다 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 일반적으로, 비선형성이 강할수록 파랑의 서로 다른 성분간의 상호작용(nonlinear interactions)이 활발해져 반사율, 특히 Bragg반사율이 다소 감소되는 것으로 알려져 있다(Liu와 Cho, 1993).

5. 결 론

본 연구에서는 불투과성 사각형형상 수중방파제의 설치로 인한 반사특성을 검토하기 위해 수리모형실험과 수치해석을 수행하였으며, 두 결과가 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다. 수리모형실험에 의하면 $m=3$ 인 경우에 최대 0.6 내외의 반사율이 나타났으며, 전반적으로 파랑의 비선형성이 작은 경우에 반사율이 약간 크게 나타났다. 수리실험결과가 수치실험결과보다 공진주기에서 작게 나타난 것은 바닥마찰, 수중방파제 형상에 의한 에너지손실 등에 기인하는 것으로 생각된다.

본 논문에서는 수중방파제의 적절한 제원을 찾는 연구의 기초단계로 사각형형상의 방파제만을 다루었으나 다양한 형상, 즉 사다리꼴 및 삼각형 등에 수리실험 또한 진행중이다. 추후 다양한 형상의 수중방파제에 대한 반사특성과 투과성 수중방파제의 설치에 따른 반사율의 특성 변화에 대한 수리실험 결과를 발표할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(한양대학교 해안공학연구실)으로 수행되었기에 이에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- 조용식, 이종인, 김영택, 이정규 (1999). "선반지형의 크기에 따른 반사율의 변화." **한국수자원학회는 문집**, 제32권, 제6호, pp. 675-683.
- 조용식, 이창훈 (1998). "수심이 변하는 지형을 통과하는 파랑의 반사율과 통과율 산정." **대한토목학회논문집**, 제18권, 제2-4호, pp. 351-358.
- Bailard, J.A., DeVries, J., Kirby, J.T. and Guza, R.T. (1990). "Bragg reflection breakwater: A new shore protection method." *Proc. of the 22nd Inter. Conf. on Coastal Eng.*, pp. 1702-1715.
- Davies, A.G. and Heathershaw, A.D. (1984). "Surface-wave propagation over sinusoidally varying topography." *J. of Fluid Mech.*, Vol. 144, pp. 419-443.
- Dong, L., Watanabe, A. and Isobe, M. (1997). "Nonlinear wave transformation over a submerged triangular breakwater." *Proc. of the 25th Inter. Conf. on Coastal Eng.*, pp. 2324-2337.
- Francis, C.K.T. and Fredric, R.F. (1986). "Wave interaction with a rectangular trench." *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 112, No. 3, pp. 454-460.
- Goda, Y. and Suzuki, Y. (1976). "Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments." *Proc. of the 15th Coastal Eng. Conf.*, pp. 828-845.
- Greenwoud, M.D., Graff, J., Claessen, E.W.M. and Biezen, S.C. (1997). "Effect of submerged breakwater on profile development." *Proc. of the 25th Inter. Conf. on Coastal Eng.*, pp. 2429-2441.
- Guazzelli, E., Rey, V. and Belzons, M. (1992). "Higher-order Bragg reflection of gravity surface waves by periodic beds." *J. of Fluid Mech.*, Vol. 245, pp. 301-317.

- Kirby, J.T. and Anton, J.P. (1990). "Bragg reflection of waves by artificial bars." *Proc. of the 22nd Inter. Conf. on Coastal Eng.*, pp. 757-768.
- Kirby, J.T. and Dalrymple, R.A. (1983). "Propagation of obliquely incident water waves over a trench." *J. of Fluid Mech.*, Vol. 133, pp. 47-63.
- Liu, P.L.-F. and Cho, Y.-S. (1993). "Bragg reflection of infragravity waves by sandbars." *J. of Geophysical Res.*, Vol. 98, pp. 22733-33741.
- O'Hare, T.J. and Davies, A.G. (1992). "A new model for surface-wave propagation over undulating topography." *Coastal Eng.*, Vol. 18, pp. 251-266.
- Rey, V., Belzons, M. and Guazzelli, E. (1992). "Propagation of surface gravity waves over a rectangular submerged bar." *J. of Fluid Mech.*, Vol. 235, pp. 453-479.
- Suh, K.D., Lee, C. and Park, W.S. (1997). "Time-dependent equations for wave propagation on rapidly varying topography." *Coastal Eng.*, Vol. 32, pp. 91-117.
- Tomasicchio, U. (1997). "Submerged breakwaters for the defence of the shoreline at Ostia Field experiences, comparison." *Proc. of the 25th Inter. Conf. on Coastal Eng.*, pp. 2404-2417.
- Zhang, L., Kim, M.H., Zhang, J. and Edge, B.L. (1999). "Hybrid model for Bragg scattering of water waves by steep multiply-sinusoidal bars." *J. of Coastal Res.*, Vol. 15, pp. 486-495.

(논문번호:02-50:접수:2002.7.30/심사완료:2002.09.19)