다원주 군파일의 침식방지효과에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Effect of Erosion Control by Multi-Cylinder Piles

이상화* · 장은철* · 이한승* · 정석재*

Sang Hwa Lee*, Eun Cheul Jang*, Han Seung Lee* and Seok Jae Jeong*

요 지 : 연안역 파랑제어 구조물의 설계와 연안역 관리에 있어서 안전성문제 뿐만 아니라 환경문제는 가장 중요한 요인 중 하나이다. 본 연구에서는 파랑을 효율적으로 제어할 뿐만 아니라 연안역 보존에도 유리한 구조물로써 다원주 군파일을 제안하였다. 이 구조물의 침식방지효과를 파악하기 위하여 수리모형실험을 수행하였다. 본 연구에서는 콘크리트를 사용한 기존의 파제체와 다원주 군파일을 이용한 구조물을 동일 평면배치 상에 두고 실험을 하여 침식방지효과를 분석하였다. 다원주 군파일 구조물을 설치했을 경우 구조물 양끝단에서의 침식현상은 줄어들었으며, 구조물 배후의 퇴적경향은 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 다원주 군파일, 수리모형실험, 파제체

Abstract : Environmental and safety problems are one of the most important factors in designing coastal wave control structures and maintaining facilities in coastal zone. This study suggests the multi-cylinder piles as a profitable structure for preserving coastal zone as well as controlling the wave effectively. The hydraulic model experiment was performed to investigate the effect of erosion control of the structure. The experimental study was carried out to research the effect of erosion control in the coastal zone for existing a concrete wave breaker and the structure with multi-cylinder piles placing at the same location. As a result multi-cylinder piles reduced erosion at each sides of structure and occurred sedimentation at front of structure.

Keywords : Multi-cylinder piles, Hydraulic model experiment, Wave breaker

1. 서 론

오늘날 연안역은 임해공업단지, 항만시설 등의 경제적인 측면과 동시에 휴식공간을 제공하는 해양공간자원으로 중요성이 더해지고 있을 뿐만 아니라 해양환경 보전에 대한 사회적 관심이 집중되고 있다. 이러한 연안개발 시에 해수유동이 용이하고, 연안연 침식방지도도 유용한 해안구조물을 개발하기 위해 다원주 군파일 형태의 구조물에 관심을 갖고 연구하게 되었다.

원주형태(원기둥) 구조물에 대한 연구는 McCamy and Fuchs (1945)에 의해 파의 산란에 대한 해석해가 구해지면서부터 활발히 진행되었으며, 여러개의 불투과성 원기둥의 배열에 따른 파도와 원기둥간의 상호작용에 대한 문제를 해석하는 많은 연구들이 이루어졌다(Linton and Evans, 1990; Kim, 1993; Kashiwagi, 2000; McIver, 2002). 또한 투과성 원기둥의 파랑변형에 대한 연구는 Williams and Li(2000)와 조(2003)에 의해 연구되었다. 불투과성의 원기둥의 연구는 다양한 해양 부유구조물의 부체 설계에 활용되어지고 있으며, 투과성 원기둥의 연구는 입사 파랑의 제어 및 해수교환율을 향상 시키는 것

에 주안점을 두고 지속적인 연구가 진행되고 있다. 이 등 (2007)은 다원주 파일군 구조물에 의한 항내 정온도 향상에 대해 연구한 바 있다.

기존의 원주구조물에 대한 수리실험은 대부분 하나 혹은 2개의 원주에 대한 국부세굴에 주안점을 둔 반면, 본 연구에서는 다원주군의 세굴뿐 아니라, 퇴적 경향에 초점을 두고 연구하였다. 그리고 연안침식 대상지를 선택하여 제시한 구조물의 연안역 보존의 기능을 검증하기 위하여 항만의 외곽시설 중 대표적인 파제체를 동일 평면에 배치하여 이동상 수리모형실험을 수행하였고 침식 및 퇴적의 효과를 비교분석 하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치

본 실험은 동아대학교 하천 및 항만 공학 연구실의 조파수조(10 m(폭) × 25 m(길이) × 0.8 m(높이))에서 수행하였다. 조파장치는 불규칙파, 규칙파 및 좌우 45°의 파향을 재현할 수 있으며 0.76 m (높이) × 4.5 m(폭)의 2개의 조파판으로 구성

*동아대학교 토목공학과 (Corresponding author : Eun Cheul Jang, Dept of Civil Engineering, Dong-A National University, Busan 604-714, Korea, jec1004@hanmail.net)

되어있다. 계측 및 분석시스템은 컴퓨터, 증폭기 및 A/D 보드 등으로 구성되어 있으며, 계측은 조파기에서 조파를 시작한 후 120초 동안 실시하였으며 영점상향법(zero up crossing method)을 이용하여 개개파랑의 파고 및 주기를 파악한 후 스펙트럼 분석을 통해 유의파고 값을 결정하였다. 불규칙파 조파기 통계 컴퓨터는 HP 모델로 조파기 제어 및 취득 자료의 저장과 파고계 취득자료의 유의파고분석 및 스펙트럼 분석에 사용되었으며, 불규칙파의 조파는 Bretschneider-Mitsuyasu의 스펙트럼을 적용하였다.

$$S(f) = 0.257H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^4] \quad (1)$$

여기서, $S(f)$: 파랑의 에너지 밀도

$H_{1/3}$: 유의 파고

$T_{1/3}$: 유의파 주기

f : 주파수

위의 식은 원래 Bretschneider가 제안한 형태이나, Mitsuyasu가 계수를 보완·수정한 것이므로 Bretschneider-Mitsuyasu (B-M) 스펙트럼이라 부르며, 풍파의 스펙트럼의 표준형으로 적당하다. 태풍시 천해역의 불규칙파는 비교적 넓은 주파수대를 가지며, Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼이 이와 같은 특성을 잘 나타내는 것으로 알려져 있다.

2.2 모형 제작

수리모형의 축척과 제작은 실험의 목적, 실험수조, 실험시설 및 실험장비 등의 규모와 성능을 종합적으로 고려하여 선택되지만 가장 중요한 것은 실험의 목적에 따라 원형에서의 수리현상이 모형에서 가장 잘 재현될 수 있어야 한다.

유체에 작용하는 힘으로는 표면장력, 탄성변형 등이 있으나 항만 수리모형실험 시에는 고려하지 않아도 되는 경우가 많으며, 일반적으로 축척이 클 경우, 즉 모형이 작을 경우에는 표면장력에 의한 영향이 커지므로 주의해야 한다. 항만 수리모형실험은 자유수면을 갖는 파랑실험이므로 중력이 유체의 운동을 지배하며, 모형과 원형사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의한다. 모형에서의 파고가 2 cm 보다 작을 경우, 파장이 약 2.5 cm 보다 작을 경우와 수심이 5 cm 보다 작을 경우에는 축척영향에 의하여 수리실험 결과치가 매우 작게 나타나며, 특히 수심이 2 cm 보다 작을 경우에는 점성에 의한 효과도 커지게 된다.

하천이나 항만 실험과 같은 넓은 면적을 대상으로 하는 경우 수심이 아주 작아지는 관계로 왜곡모형을 사용하기도 한다. 왜곡모형에서는 2차 흐름의 확대현상, 소용돌이의 왜곡, 경사도 증가로 인한 바닥에서의 흐름분리, 수직 및 수평방향의 힘의 비율의 상이함 등으로 전체적인 흐름의 상사가 중요한 경우에는 적절하지 않으나, 이동상 실험에서 현지 하상재료 선정에 문제로 인하여 하상재료를 약간 크게 하는 경우에 모래를 이동시키기 용이하게 하기 위해 쓰인다.

모형실험에서 적용 가능한 왜곡도의 한계를 단정하여 제시하는 것은 곤란하다. 해안모형의 경우 일반적으로 5~10범위의 왜곡 모형을 적용하게 된다. 그러나 대다수의 연구자들이 왜곡도의 한계를 6정도로 제안하고 있다(농업기반공사, 2007).

본 실험의 경우 수심, 조위, 해저경사, 설계파, 구조물의 높이, 실험수조의 크기 등을 종합적으로 고려하여, 수평 축척(N_x) 1/400, 수직 축척(N_y) 1/100, 왜곡도($G = N_x/N_y$) 4의 왜곡 모형을 사용하였다.

Table 1에 Froude상사에 의한 상사 관계를 나타내었다.

2.3 실험 조건

2.3.1 다원주 파일군 제원

본 실험에서의 다원주 파일의 배열을 결정함에 있어 기 연구된 이 등(2007)을 참조하였다.

이 등(2007)은 부산 감천항을 대상으로 현상태(Case1), 파제제(Case2), 정방형 다원주 군파일(Case3), 교차배열 다원주 군파일(Case4) 등 4종류의 배치에 대하여 S 파향 설계파 내습

Table 1. Law of similarity in distorted model

Data	Proto	Model
Length(m)	L_p	$L_m = L_p/L_x$
Height(m)	H_p	$H_m = H_p/H_y$
time(sec)	T_p	$T_m = T_p/(L_x \cdot L_y^{1/2})$

Fig. 1. Wave height observation zone(Lee et al., 2007).

Fig. 2. The sight of wave breaker (Case 2 ; Lee et al., 2007).

Fig. 3. The sight of multi cylinder piles (Case 3 or 4; Lee et al., 2007).

Fig. 4. The significant wave heights of 4 cases (Lee et al., 2007).

시 항내 파고분포를 검토하였다. Fig. 4의 결과를 비추어 실험 안별 감천항내 구역별 정온도 효과가 큰 것부터 나열해보면, Case2 > Case4 > Case3 > Case1 순으로 검토되었으며, 다원주의 경우 Fig 6의 배열에서 파랑제어 효과가 더 우수한 것으로 확인되어, 본 실험에서도 다원주의 배열을 교차배열로 하고 실험축척을 고려하여 다원주 군파일을 제작하여 실험하였다(Table 2 참조).

2.3.2 실험 장소 및 설계과 제원

실험의 대상 구간은 연안침식 모니터링 체계구축 보고서(국토해양부, 2007)의 내용을 참고하여 현재 연안침식지역을 파악하고 해역별로 다원주 군파일 형태의 연안침식방지 기술적용 대상지역을 부산광역시 기장군 장안읍 임랑해수욕장으로 선정하였다. 임랑해수욕장은 연안침식 현황 C등급(우려) 지역으로 백사장 침식현상이 우려되거나 심각한 상황으로 조사되어 도류제 정비공사를 실시하여 해변폭의 변화는 미미하나, 해

Fig. 5. Regular arrangement of multi cylinder piles (Case 3; Lee et al., 2007).

Fig. 6. Staggered arrangement of multi cylinder piles (Case 4; Lee et al., 2007).

Table 2. Dimension of multi-cylinder piles

Data	Model Size (cm)	Proto Size (m)
D(Diameter of Pile)	0.5	2.0
H(Height of Pile)	20.0	20.0
S(Distance of Piles)	1.5	6.0
Length of Multi-Cylinder Piles	96.0	384.0
Width of Multi-Cylinder Piles	4.5.0	18.0
Number of Piles	449 EA

Fig. 7. View of multi-cylinder piles.

빈도의 변화는 아직 우려되는 상황으로 항내 퇴적된 모래를 준설하고 양빈을 실시하여 해빈을 유지하고 있다.

설계파랑은 한국해양연구원에서 “해상 파랑관측 및 조사” 사업의 일환으로 한반도 주변 전해역에 대해 매 18 km 격자마다 매시간 연속 파랑산출 결과와 50년대 이후의 주요 태풍시의 이상 파랑 시뮬레이션 결과를 바탕으로 산정한 ‘전해역 심해 설계파 보고서II(한국해양연구원, 2005)’에서 본 과업대상 지역에 해당하는 부분을 선정하여 50년 빈도의 심해 설계파랑을 결정하였다.

본 실험대상지역인 임랑해수욕장의 실험조위는 약 최고만 조위인 D.L. 7.92 m(Approx H.H.W)을 기준하였으며, 실험과는 임랑해수욕장의 50년 빈도 설계파 중 가장 영향력이 큰 SSE파(파고 : 8.04 m, 주기 : 13.44 sec)로 하였다. 모형에서의 주기는 모형과장계산 후 파향경사를 유지시키기 위해 0.67초로 결정하였다(Table 3 참조).

2.3.3 모형사 선정

이동상 수리모형실험에서는 중력 이외에도 점성력의 영향을 고려하여야 한다. 압축력의 영향은 개수로 모형에서 무시해도 좋으며, 표면장력의 영향은 수면의 곡률이 매우 크거나 수심이 극히 작을 때만 고려의 대상이 되므로 모형에서 수심이 3~5 cm 이상이면 이러한 문제는 해결된다. 점성력의 상사를 위해서는 원형과 모형의 Reynolds 수의 상사를 만족하면 되지만 Froude 수의 상사와 Reynolds 동시에 이를 만족시키는 것은 실제로 불가능하다. 원형과 모형의 유체를 다르게 하여 문제를 해결할 수 있으나 대규모 모형의 경우 이것은 비현실적이다. 따라서 점성력의 상사성 문제는 Manning의 평균 유속공식의 비로부터 다음과 같은 점성력의 상사를 만족하는 식을 유도할 수 있다.

$$\Delta M = \frac{R_r^{2/3} S_r^{1/2}}{V_r n_r} \quad (2)$$

Table 3. Data of tidal and wave condition

Data	Proto Size	Model Size	
Tidal (D.L. m)	7.92 m	7.92 cm	
	Direction	SSE	SSE
Wave Condition	Height (m)	8.04 m	8.04 cm
	Period (sec)	13.44 sec	0.67 sec

여기서, S_r 은 경사축척으로서 Y_r/X_r 과 같고, R_r 은 동수반경비, X_r 은 수평길이비, 그리고 n_r 은 Manning 공식의 조도계수비로서 Strickler가 제안한 다음 식을 사용할 수 있다.

$$n_r = D_r^{1/6} \quad (3)$$

여기서, D_r 은 모형사와 원형사의 입경비이다. 위 식에서 ΔM 이 1이면 모형과 원형간에 정확한 점성력의 상사가 성립한 것을 의미하며, ΔM 의 값을 1 이외의 값으로 채택함으로써 점성력의 상사를 완화시킬 수 있다. 흐름의 상사를 만족하기 위해서는 Froude의 상사와 Manning의 평균 유속공식의 비 상사가 동시에 이루어져야 하는데, 수심에 비해 하폭이 상당히 큰 하천인 경우에는 Y_r 은 R_r 과 같게 되고 위의 식들을 결합하면 다음과 같은 흐름의 상사조건식을 유도할 수 있다.

$$\Delta F \Delta M = \frac{Y_r^{2/3}}{D_r^{1/6} X_r^{1/2}} \quad (4)$$

모형사의 흐름상사, 유사이동 상사, 하상변동 상사를 적용하여 결정하는 것이 원칙이나, 모든 상사에 정확히 일치되는 모형사를 구하는 것은 한계가 있다. 특히 모형사의 두 가지 특성인 입경과 비중은 모형에서 사용할 모형사를 선정하는데 제한적 요소로 작용한다.

실제 이동상 수리모형실험에서 실험실 공간 등의 제약 때문에 모형의 길이 축척들을 먼저 결정해야하는 경우가 많다. 그러므로 대하천 모형이나 항만 모형에 흐름의 상사 및 유사이동의 상사를 현실적으로 적용하기는 어렵다. 특히 국내의 경우, 대하천 모형이나 항만 모형에 적용할 수 있는 모형사가 다양하지 못하고 경제적인 이유 때문에 최적 모형사를 선정하는 것이 어려운 실정임을 감안하여 볼 때 이러한 조건을 완화하여 모형사 선정의 자유도를 확보할 필요가 있다. 이는 실험결과를 정성적으로 해석해야함을 의미하기도 한다.

본 연구에서는 모형사 선정은 낙동강 하구 대대포 비사를 사용하였으며, 체분석 및 비중계 실험을 통하여 입도를 분석 결과 중앙입경(D_{50})은 0.38 mm이다(Fig. 8 참조).

2.4 실험 방법 및 조건

실험방법은 구조물을 미설치시, 콘크리트 파제제 설치시 그리고 다원주 군파일 구조물 설치시에 대해 3가지 case로 실험하였다(Fig. 9~11 참조).

실험조건은 임랑해수욕장의 50년 빈도 설계파 중 가장 영향력이 큰 SSE파(파고 : 8.04 m, 주기 : 13.44 sec)에 대하여 0.6시간(실제 24시간) 동안 수행하였다.

구조물에 의한 세굴 및 퇴적경향을 분석을 위하여 실험구간은 세굴영향을 충분히 확보할 수 있는 범위로 모형상에서 구조물 전면 50 cm(원형 200 m), 후면 165 cm(원형 660 m), 좌우로 100 cm(원형 400 m)의 범위를 깊이 10 cm(원형 10 m)로 파내고 모형사를 포설하여 실험을 수행하였다(Fig. 12 참조).

실험결과 측정은 Fig. 12에 보이는 바와 같이 20 cm(원형

Fig. 8. Grain-size distribution curve.

Fig. 9. View of existing state.

Fig. 10. View of con'c wave breaker.

Fig. 11. View of multi-cylinder piles.

80 m)간격으로 KENEK사의 사면측정기(WHT-60, 측정오차 ± 0.5 mm) 이용하여 퇴적 및 침식 깊이를 측정하였다.

Fig. 12. Measure point of experimental area.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 안별 하상변동 결과

구조물 미 설치시에는 전반적인 세굴 및 퇴적경향은 세굴이 평균 0.07 m, 퇴적이 평균 0.18 m로 고르게 분포되어 측정되었다.

콘크리트 파제제 설치시에는 평균 퇴적고가 1.1 m, 평균 세굴심은 0.2 m로 구조물배후로 퇴적경향이 나타났으며, 구조물 양끝단에서는 평균 0.2 m의 세굴이 보인다.

다원주 군파일 구조물 설치시에는 구조물 배후 퇴적고는 평균 0.4 m으로 퇴적양상은 뚜렷하게 나타나지만, 콘크리트 파제제에 비해 퇴적량은 적은편이다. 구조물 양끝단에서의 침식은 세굴현상은 거의 나타나지 않고 있다.

Fig. 13~15에 실험 case별 세굴 및 퇴적결과 등고선도로 나타내었다.

3.2 실험 안별 세굴 및 퇴적 경향 분석

Fig. 16과 같이 해안선 방향으로로는 대문자 A, B, C, D로 파의 진행방향으로는 소문자 a, b, c, d, e로 단면을 나누어, Fig. 17, 18에 각 단면별 세굴 및 퇴적고를 비교하여 나타내었다.

(1) Fig. 17의 구조물 전면(A-A')

콘크리트 파제제와 다원주 군파일 구조물을 설치했을 경우 모두 세굴의 영향은 나타나지 않았으며, 이는 본 논문에서 제시한 구조물이 잠재의 형식이기 때문에 구조물 전면에서 세굴은 발생하지 않은 것이라 판단된다.

(2) Fig. 17의 구조물 배후(B-B'~D-D')

콘크리트 파제제 설치시 퇴적고는 구조물에 가까운 B-B' 단면에서 해안쪽인 D-D' 단면으로 최소 0.70 m에서 최대 1.85 m 까지 증가하고 있다. 다원주 군파일 구조물 설치시에는 구조물 배후의 퇴적고는 최소 0.3 m에서 최대 0.85 m로 콘크리트 파

Fig. 13. Scour & sedimentation of existing state.

Fig. 14. Scour & sedimentation of con'c wave breaker.

Fig. 15. Scour & sedimentation of multi-cylinder piles.

제 설치시 보다 퇴적량은 적으나 현상태의 양상보다 퇴적 경향은 뚜렷하게 나타나고 있다.

(3) Fig. 18의 구조물 양끝단(b-b', d-d' 단면)

콘크리트 파제제 설치시 양끝단(b-b', d-d' 단면)에서 최소 0.05m에서 최대 0.30m침식이 발생되고 있으며, 다원주 군파일

Fig. 16. Cross section of comparison.

Fig. 17. Cross section of scour & sedimentation-1.

구조물의 경우 침식은 최대 0.1m, 퇴적은 최대 0.2m까지 측정되었다. 이는 콘크리트 파제제에서 일어나는 회절현상이 투과성인 다원주 군파일 구조물에서는 현저히 줄어들었음으로 판단된다.

(4) Fig. 18의 구조물 중심(c-c' 단면)

콘크리트 파제제 설치시 구조물 중심(c-c'단면)으로 갈수록 최대 퇴적고 1.85m까지 퇴적되는 경향이 나타나 콘크리트 파제제 양 끝단에서의 회절로 인해 구조물 중심부로 톱보로 현상과 같은 유사의 이동이 발생하는 것으로 예측된다. 다원주 군파일 구조물 설치시에는 중심부의 퇴적의 경향은 보이나, 퇴적고가 0.2~0.5m정도로 자연상태에 비해 퇴적이 되고 있지만 콘크리트 파제제의 경우보다 퇴적량은 적은 것으로 확인되었다.

Fig. 18. Cross section of scour & sedimentation-2.

4. 결 론

본 논문에서는 연안역 보존에 초점을 맞추어 해안침식방지 구조물로 다원주 군파일 구조물을 제시하였고, 기존에 시공되고 있는 콘크리트 파제제와의 세굴 및 퇴적 양상을 비교분석하였다. 모형사 선정에서 언급한 바와 같이 이 연구결과는 정성적으로 해석해야한다.

첫째, 구조물 양끝단에서는 콘크리트 파제제 설치시에는 침식이 많이 되었으나, 다원주 군파일 구조물 설치 후에는 침식이 월등히 감소된 것을 볼 수 있다.

둘째, 다원주 군파일 구조물 설치시에는 콘크리트 파제제 설치시 보다 퇴적량은 줄어들었으나 퇴적경향은 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제시한 다원주 군파일 구조물은 콘크리트 파제제 설치시 보다 구조물 끝단의 침식의 방지에도 효과적이며, 구조물 배후의 퇴적효과도 있으므로 연안역 침식방지로 인한 연안역 보존에 유용할 것으로 판단된다. 그리고 기존의 콘크리트 파제제는 영구구조물로 경관에 있어 좋지 못하며, 해수순환에 악영향을 미치므로 해양환경 친화적 기능 관점에서

있어 좋지 않지만, 다원주 군파일의 구조물은 시공 및 철거가 가능하고 파랑이 투과됨으로 해수유동이 양호해 이러한 점을 보완할 수도 있다.

따라서 본 논문에서 제시한 다원주 군파일 구조물을 잘 활용한다면 연안역의 침식방지의 효과 뿐만 아니라 해양환경보존에도 효율적일 것으로 판단된다. 실제적용을 위해서는 침식방지 및 파랑제어의 효율을 높일 수 있도록 다양한 원주 직경과 원주간의 간격에 대한 추가적인 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 2010년도 특정기초연구(No.2010-0000194 “친 환경 소재를 이용한 다 군파일 형태의 연안침식방지 기술개발 연구”)의 지원으로 수행된 연구 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 교육기술부 (2009). 친 환경 소재를 이용한 다 군파일 형태의 연안침식방지 기술개발 연구 보고서 (1차년도).
- 국토해양부 (2007). 연안침식 모니터링 체계구축 보고서.
- 농업기반공사 (2004). 수리실험 기법 및 사례집.
- 이상화, 장은철, 정동화 (2007). 다원주 파일군 구조물에 의한 항내 정온도 향상에 관한 실험적 연구. 한국해양해양공학회지, 19(1), 66-72.
- 조일형 (2003). N개의 투과성 원기둥 배열에 의한 파랑제어. 한국해양해양공학회지, 15(4), 232-241.
- Kim, M.H. (1993). Interaction of waves with arrays of N vertical circular cylinders. J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASCE, 119, 671-689.
- Kashiwagi, M. (2000). Hydrodynamic interaction among a great number of column supporting a very large flexible structure. J. of Fluid and Structure, 1013-1034.
- Linton, C.M. and Evans, D.V. (1990). The interaction of waves with arrays of vertical circular cylinders. J. of Fluid Mech. 215, 549-569.
- MacCamy, R.C. and Fuchs, R.A. (1954). Wave forces on piles: A Diffraction Theory. Tech. Memo No.69, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board.
- McIver, P. (2002). Wave interaction with arrays of structure. Applied Ocean Research, 24, 121-126.
- Williams, A.N. and Li, W. (2000). Water wave interaction with an array of bottom-mounted surface-piercing porous cylinders. Ocean Engineering, 27, 841-866.

원고접수일: 2011년 2월 15일

수정본채택: 2011년 3월 2일(1차)

2011년 3월 2일(2차)

게재확정일: 2011년 3월 11일