

다원주 파일군 구조물에 의한 항내 정온도 향상에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the improvement of harbor tranquility by Multi-cylinder piles Structure

이상화* · 장은철* · 정동화*

Sang Hwa Lee*, Eun Cheul Jang* and Dong Hwa Jeong*

요 지 : 연안역의 파랑을 효율적으로 제어하고 경제적으로 유리한 구조물로서 다원주 파일군을 제안하고, 이 구조물의 수리학적 특성을 검토하기 위해 3차원 수리모형실험을 수행하였다. 이 실험에서는 콘크리트를 사용한 기존의 파체제와 아크릴로 제작된 다원주 파일 형태를 이용한 구조물을 동일 평면배치 상에서 파고분석을 통해 파랑제어 및 항내 정온도 향상 여부를 분석하였다. 결과적으로 동일 평면배치 상에서의 항내 정온도 효과는 파체제 설치 > 교차 배열 다원주 파일군 설치 > 정방형 배열 다원주 파일군 설치 순으로 나타났다.

핵심용어 : 다원주 군파일, 파랑제어, 항내 정온도, 3차원수리모형실험, 교차 배열, 정방형 배열

Abstract : In order to control waves in coastal zones effectively, multi-cylinder piles as the economical structures are suggested. A three dimensional hydraulic model experiment was performed to investigate the hydraulic characteristics of the structure. An experimental study was carried out research the effect of wave control and harbor tranquility through the wave height analysis for the existing concrete wave breaker and the structure with acrylic multi-cylinder piles type at the same location. In the results, the effective order of harbor tranquility is shown as the wave breaker > the staggered arrangement of multi-cylinder piles > the regular arrangement of multi-cylinder piles.

Keywords : multi-cylinder piles, wave control, harbor tranquility, three dimensional hydraulic model experiment, staggered arrangement, regular arrangement

1. 서 론

오늘날 연안해역은 수산자원의 획득, 임해공업 단지, 항만시설 등의 경제적인 측면과 동시에 휴식공간을 제공하는 해양공간자원으로 중요성이 더해지고 있다. 또한 해양환경 보전에 대한 사회적 관심이 집중되고 있다. 이러한 연안 개발시에 해양오염을 효율적으로 제어하고, 경제적으로도 유리한 해안구조물을 개발하기 위해 본 연구에서는 파체제 및 다원주 형태의 구조물을 제안하고 수리실험을 실시하였다.

본 논문은 다원주 군파일 구조물의 파랑제어 특성을 파악하고 검증하기 위하여 항만의 외곽시설 중 대표적인 파체제(또는 방파제)와 성능을 비교·분석하였다. 연구대상

은 부산 감천항으로 선택하였으며 대상지역의 3차원 수리모형실험을 통하여 외해 측에 콘크리트를 사용한 방파제를 설치하는 기존의 방법과 아크릴로 제작된 다원주 군파일을 설치하는 방법을 동일 평면배치 상에서 파고분석 실험을 하여 파랑제어 및 항내 정온도의 향상 여부를 비교·분석하는 것이 본 논문의 목적이다.

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 수행하였으며, 연구대상 지역은 최근 태풍의 피해로 인한 파랑제

*동아대학교 토목공학과 (Corresponding author : Sang Hwa Lee, Dept. of Civil Engineering, Donga National University, Busan 604-714, Korea, shlee@dau.ac.kr)

어 및 항내 정온도의 문제를 검토 중인 부산광역시 사하구 암남동 감천항을 대상으로 하였다. 조파장치는 불규칙파, 규칙파 및 좌우45°의 파향을 재현할 수 있으며 0.76 m (높이)×4.5 m(폭)의 2개의 조파관으로 구성되어있다. 계측 및 분석시스템은 컴퓨터, 증폭기 및 A/D 보드 등으로 구성되어 있으며, 계측은 조파기에서 조파를 시작할 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 통제 컴퓨터는 HP 모델로 조파기 제어 및 취득 자료의 저장과 파고계 취득자료의 유의파고분석 및 스펙트럼 분석에 사용되었으며, 일본 ISEYA 회사의 파랑 분석 프로그램을 이용하였다.

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 좋은 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. 본 실험의 경우 감천항 일대는 항내 폭이 좁고 길이 방향으로 긴 특성을 가지고 있으며, 수심, 조위, 해저경사, 설계파, 구조물의 마루높이, 모형제작 영역, 실험수조의 크기 및 항내 수심 등을 종합적으로 고려하여, 수평 축척(N_L) 1/250, 수직 축척(N_H) 1/150의 왜곡 모형을 사용하였다. 본 연구 대상지역인 감천항 전면해역의 수심 D.L.(-)18 m

~D.L.(-)21 m까지의 해저지형을 모형으로 제작하고, 연직 방향 축척(1/150)에 준하여 수심 D.L.(-)10 m는 모형수심이 6.7 cm이며, 약 최고만조위(129.8 cm)를 고려하면 7.6 cm 이다. 조파기 전면에서부터 동방파제입구까지의 거리를 3 m정도 유지하여 모형을 제작하였다.

동·서방파제는 기존 구조물로서 설계단면을 참조하여 제작하고, 감천항 내를 제외한 동·서방파제의 좌·우측 부분은 물을 뒤쪽으로 3~4 m정도 들어갈 수 있도록 하여 반사파의 영향을 최소화하였다.

2.3 실험 조건

2.3.1 실험 조위 및 파랑 조건

실험조위는 설계파일 때 감천항 약 최고만조위인 D.L. 1.298 m(Approx H.H.W)을 기준하였으며, 평상파일 때 평균해수면 D.L. 0.649 m(M.S.L)을 기준하여 실험하였다. 실험파랑을 심해파의 제원에 맞추어 파랑을 발생시키는 것은 실험 공간의 제한 등으로 불가능하므로 수치실험 결과에 의한 세부역에서의 입사파 제원을 그대로 재현하였다.

심해 파랑의 내습시 입사파의 제원은 50년 빈도의 심해 설계파를 토대로 하여 수행한 수치모델의 값을 이용하였다. 본 실험에 이용된 심해 설계파 및 실험 입사파의 제원은 Table 1에 수록하였다.

2.3.2 실험파 설정

실험파는 주파수 스펙트럼을 고려한 불규칙파를 적용하였다. 참조점의 위치는 수심 D.L (-)21 m인 감천항 동방파제 외해측 600 m 지점에 설정하고, 참조점에서의 파고 data를 입사파 스펙트럼과 비교하였다.

해양의 파의 주파수 스펙트럼에 있어서는 세계각지에서 매우 많은 파랑기록이 해석되어 있고, 그 특성이 비교적 잘 알려져 있다. 예를 들면, 풍파의 스펙트럼은 근사적으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$S(f) = 0.25H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (1)$$

여기서, $S(f)$: 파랑의 에너지 밀도

$H_{1/3}$: 유의 파고

Table 1. Data of design wave condition

source	wave conditions	wave direction	significant wave height($H_{1/3}$)	significant wave period($T_{1/3}$)
50년 빈도 심해설계파		S	10.1 m	14 s
구조물 전면 실험 입사파		S9°E	9.7 m	14 s

$T_{1/3}$: 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. 따라서, 본 실험에서는 Bretschneider - Mitsuyasu 스펙트럼을 적용하였다.

2.4 실험 방법

감천항내 설계파에 의한 정온도 분석을 위하여 본 연구에서는 현재 감천항의 기존 동방파제와 서방파제에 대한 경우(Case 1), 감천항 서방파제로부터 외해 측으로 350m 떨어진 지점에 파제체를 설치한 경우(Case 2), 파제체와 동일한 위치에 정방형 다원주 군파일을 설치한 경우(Case 3), 파제체와 동일하게 위치한 정방형 배열에서 대각선 교차지점인 중앙에 원주파일을 설치한 형상(이하 교차배열이라고 함)을 설치한 경우(Case 4)로 구분하여 항내 정온도 변화를 비교·분석하였다. 각 계측점 간격은 모형상 1m(실제 250m) 간격으로 총 97개를 설정하여 계측하였으며, 크게 17개(A-Q)로 구분(위치는 Fig. 9~12 참조)하여 각 구역별 평균 유의파고를 산정하였다. 본 실험의 Case별 평면안은 Fig. 1~2에 나타내었다.

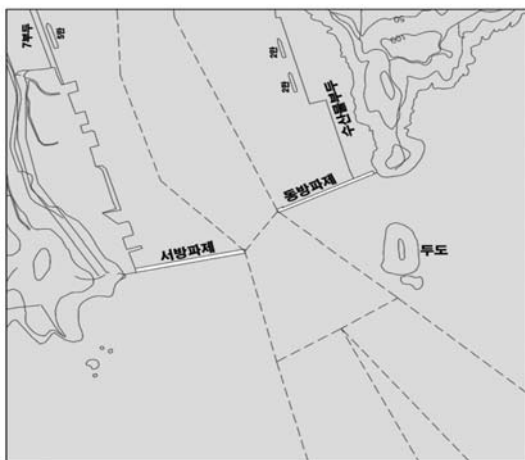


Fig. 1. The map of Ccase 1.

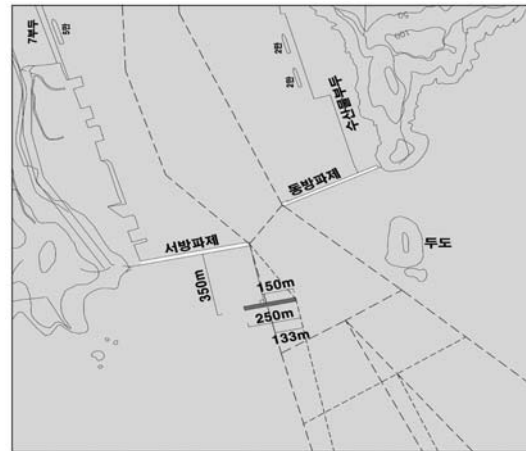


Fig. 2. The map of Ccase 2~4.

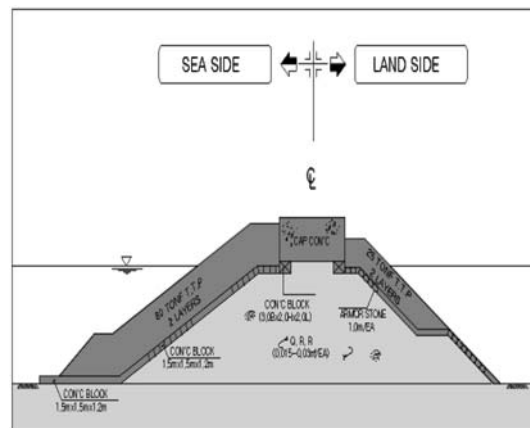


Fig. 3. The cross section of wave breaker.

2.4.1 파제체

현재 감천항은 서방파제(530 m)와 동방파제(500 m)를 이용하여 항내 정온도를 유지하고 있는 실정이다. 파랑 제어 및 감천항의 항내 정온 향상을 위한 방안으로 감천항의 외해 쪽으로 350 m 떨어진 지점에 길이 250 m, 폭 16.5 m의 사석 블록식 경사제 형식의 파제체를 설치하여 파랑 제어효과에 대해서 검토하였다. 본 실험에서는 파제체의 경사의 TTP에 대해 축적을 고려한 사석제를 사용하여 재현하였다. Fig. 3에는 파제체의 단면을, Fig. 4에는 동·서 방파제 및 파제체의 설치 형상을 제시하였다.

2.4.2 다원주 파일군

본 실험에서는 수리실험모형에서 축적을 고려하여 다원주 파일군을 아크릴로 제작하여 실험하였다. 다원주 파

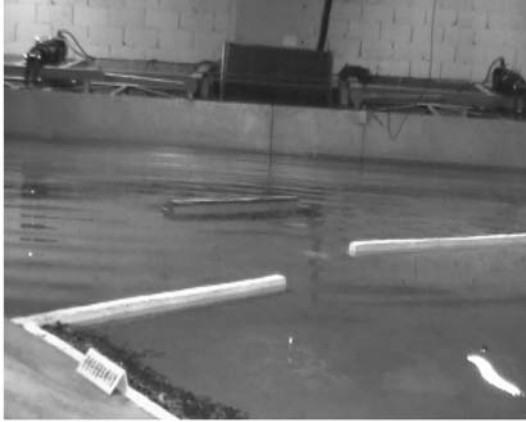


Fig. 4. The sight of wave breaker model (Case 2).

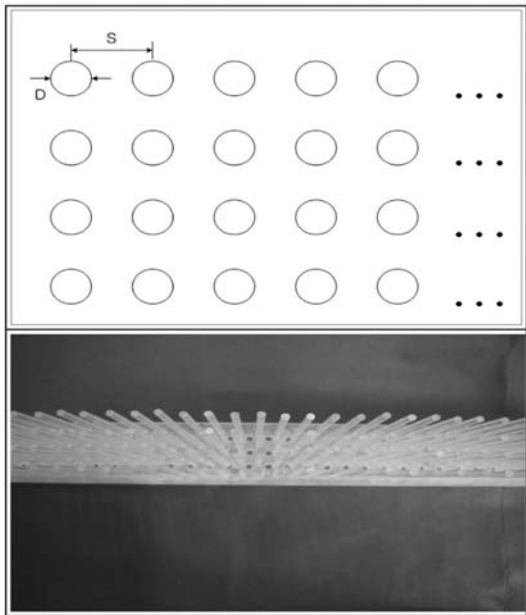


Fig. 5. Regular arrangement of multi cylinder piles.

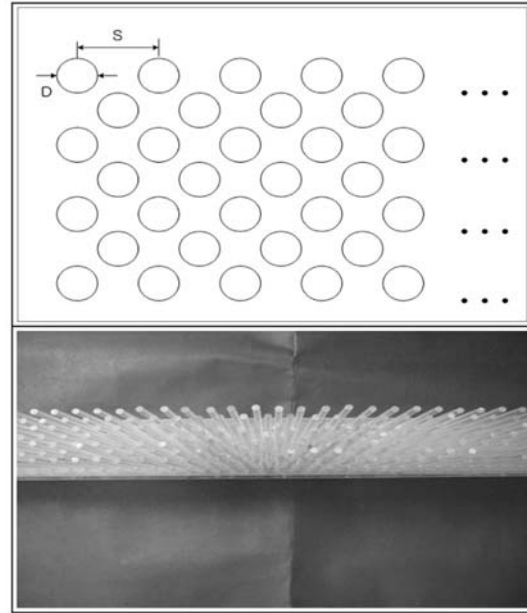


Fig. 6. Staggered arrangement of multi cylinder piles.

Table 2. Arrangement of multi-cylinder piles

구 분	실험제원 ($N_L=1/250, N_H=1/150$)(cm)	실제제원 (m)
D(봉의 직경)	0.5	1.25
H(봉의 길이)	20	30
S(봉의 중심간 거리)	1.5	3.75
군파일의 가로길이	96	240
군파일의 세로길이	4.5	11.25
군파일의 갯수	260개(정방향), 449개(교차배열)	

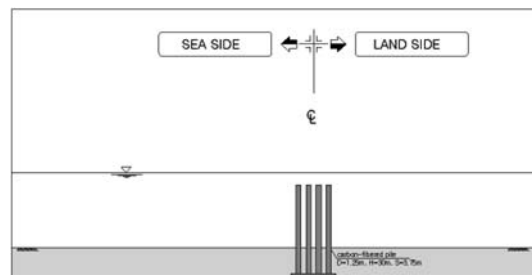


Fig. 7. The cross section of multi cylinder piles.

일군에 대한 파랑제어 실험을 위해 Fig. 5, 6과 같이 정방향 배열과 교차배열의 두 가지 방법으로 실험하였다. 다원주 파일군에 대한 제원과 배열은 Table 2와 같다. 원주봉의 간격은 봉의 직경에 따라 정방향 간격 $S/D=3$ (S : 봉의 중심간 거리, D : 봉의 직경)으로 결정하였다. 한편, Fig. 7은 다원주 파일군의 단면을, Fig. 8에는 동·서 방파제 및 다원주 파일군의 설치 형상을 제시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 안별 구역별 유의파고 결과

현 상태 감천항의 동·서 방파제만 건설되어 있는 평면 배치안(Case 1)에서 S 파향의 설계파 내습시 유의파



Fig. 8. The sight of multi cylinder piles (Case 3 or 4).

고 결과는 감천항내 중앙 부분에서는 2.2 m~2.4 m 내외의 파고가 분포하고, J~M 구역은 1.8 m~2.1 m 내외의 파고가 분포하고, C~E 구역에서는 1.8 m~2.0 m의 파고가 분포되고 있다. G 구역에서는 2.4 m로 다른 구역에 비해 다소 높은 파고가 분포되고 있으며, 이는 P 구역에서 반사되는 반사파가 영향을 미치는 것으로 예상된다. P 구역은 3.0 m 내외의 가장 높은 파고분포를 보이며, 이는 설계 파 내습시 직접적인 영향을 받기 때문이라 예상된다.

감천항의 동·서 방파제만 건설되어 있는 상태에서 서 방파제의 외해측 전면 350 m 떨어진 지역에서 방파제와 평행하게 250 m의 파제제를 배치한 경우(Case 2)의 S파향 설계파 내습시 유의파고 결과는 감천항내 중앙 부분에서는 1.9 m 내외의 파고가 분포하고, J~M 구역은 1.2 m~1.6 m 내외의 파고가 분포하고, C~E 구역에서는 1.7 m~2.0 m 내외의 파고가 분포되고 있다. G 구역에서는 2.07 m로 현 상태에 비해 다소 낮은 파고가 분포되고 있으며, P 구역은 2.1 m 내외의 파고분포를 보이고 있다.

정방향 배열 다원주 파일군의 경우(Case 3)에서 S파향 설계파 내습시의 유의파고 결과는 감천항내 중앙 부분에서는 2.0 m~2.3 m 내외의 파고가 분포하고, J~M 구역은 1.4 m~2.0 m 내외의 파고가 분포하고, C~E 구역에서는 2 m~2.1 m 내외의 파고가 분포되고 있다. G 구역에서는 2.5 m로 파제제에 비해 다소 높은 파고가 분포되고 있으며, P 구역에서는 2.6 m 내외의 파고분포를 보이고 있다.

교차배열 다원주 파일군(Case 4)에서 S파향 설계파 내습시의 유의파고 결과는 감천항내 중앙 부분에서는 1.9 m~2.2 m 내외의 파고가 분포하고, J~M 구역은 1.4 m~2.0 m 내외의 파고가 분포하고, C~E 구역에서는 1.9 m~2 m 내외의 파고가 분포되고 있다. G 구역에서는 2.4 m 내외의 파고가 분포되고 있다. P 구역에서는 2.5 m 내외의 파고분포를 보이고 있다. 교차배열 다원주 파일군은 정방향에 비해 전체적인 파고분포가 낮은 값을 나타내고 있다. 각

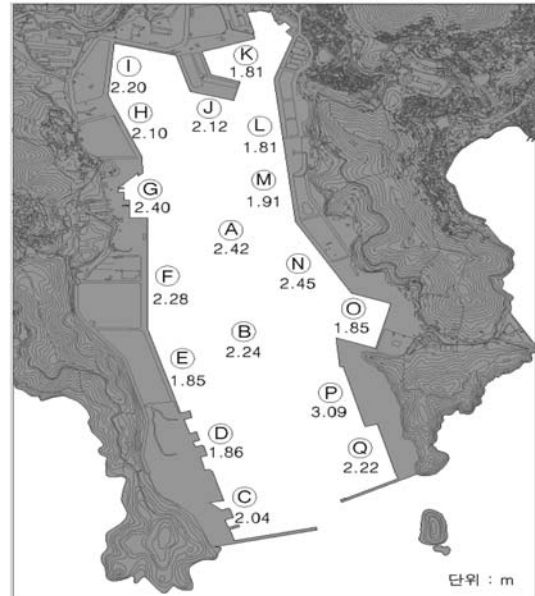


Fig. 9. The significant wave height of observation zone (Case 1).

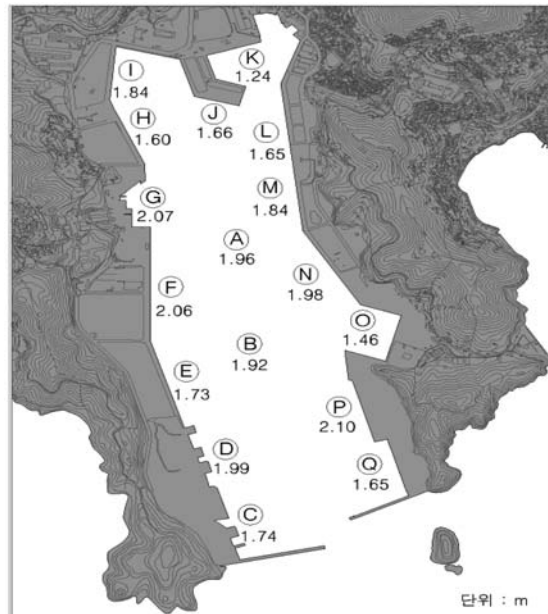


Fig. 10. The significant wave height of observation zone (Case 2).

각의 Case 1~4의 구역별 평균 유의파고는 Fig. 9~12에 도시하였다.

3.2 실험 인별 항내 정온도 효과 분석

평면 배치별 감천항의 항내 정온도 검토를 위해 현상

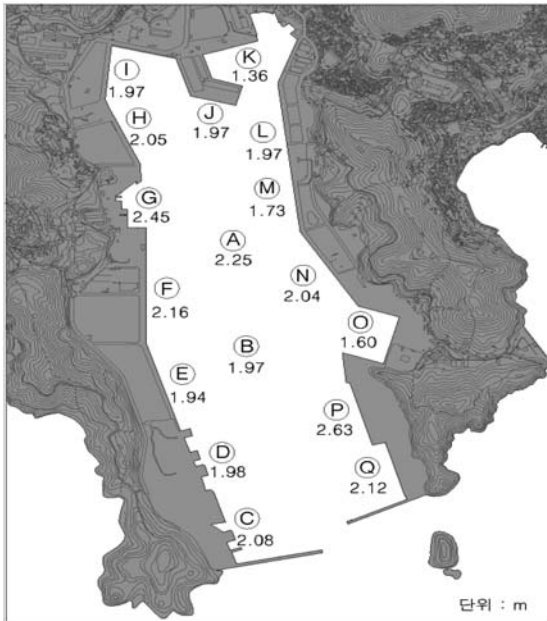


Fig. 11. The significant wave height of observation zone (Case 3).

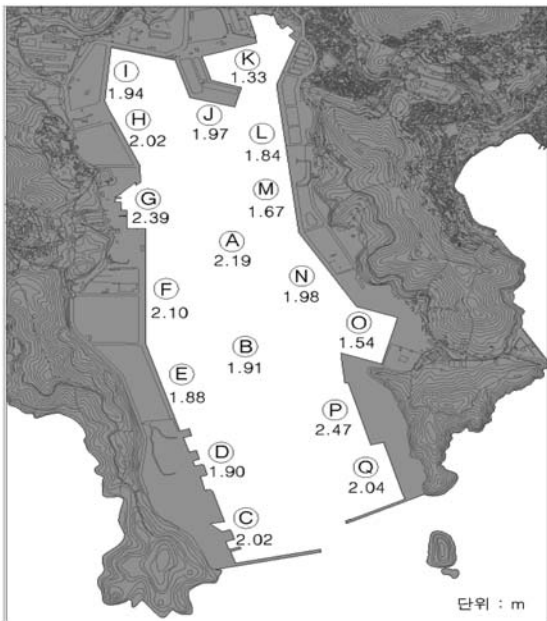


Fig. 12. The significant wave height of observation zone (Case 4).

태, 파제제, 정방형 다원주 군파일, 교차배열 다원주 군파일 등 4종류의 배치에 대하여 S 파향 설계파로 실험을 수행하였다. 각 배치안별로 비교한 결과를 보면 Case 2와 비교하였을 때 Case 3의 경우는 전체적으로 12.2% 평균

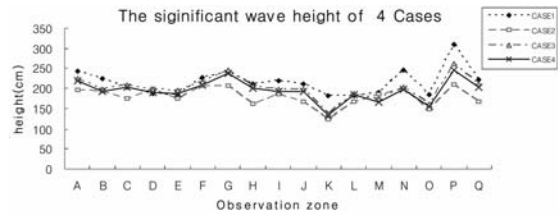


Fig. 13. The significant wave height of 4 Cases.

Table 3. Significant wave heights of 4 Cases

대안	Case 1 (m)	Case 2 (m)	Case 3 (m)	Case 4 (m)	증 감		
					Case 3 vs Case 2	Case 4 vs Case 2	Case 3 vs Case 4
구역							
A	2.42	1.96	2.25	2.19	0.29	0.23	0.06
B	2.24	1.92	1.97	1.91	0.05	-0.01	0.06
C	2.04	1.74	2.08	2.02	0.34	0.28	0.06
D	1.86	1.99	1.98	1.90	-0.01	-0.09	0.08
E	1.85	1.73	1.94	1.88	0.21	0.15	0.06
F	2.28	2.06	2.16	2.10	0.10	0.04	0.06
G	2.40	2.07	2.45	2.39	0.38	0.32	0.06
H	2.10	1.60	2.05	2.02	0.45	0.42	0.03
I	2.20	1.84	1.97	1.94	0.13	0.10	0.03
J	2.12	1.66	1.97	1.94	0.31	0.28	0.03
K	1.81	1.24	1.36	1.33	0.12	0.09	0.03
L	1.81	1.65	1.87	1.84	0.23	0.19	0.03
M	1.91	1.84	1.73	1.67	-0.11	-0.17	0.06
N	2.45	1.98	2.04	1.98	0.06	0.00	0.06
O	1.85	1.46	1.60	1.54	0.14	0.08	0.06
P	3.09	2.10	2.63	2.47	0.53	0.37	0.16
Q	2.22	1.65	2.12	2.04	0.47	0.39	0.08
평균	2.15	1.79	2.01	1.95	12.2%	8.9%	3.0%

파고가 증가하였고. Case 4의 경우는 8.9% 평균파고가 증가하였다. Case 3과 Case 4를 비교하였을 때 Case 3이 Case 4에 비해 평균적으로 약 3%정도의 큰 파고 분포를 나타내고 있다. 실험 안별 정온도 효과가 큰 것부터 나열해보면, Case 2>Case 4>Case 3>Case 1 순으로 나타나고 있다. 각 실험안별로 평균파고에 대한 비교는 Fig. 13과 Table 3에 제시하였다.

4. 결 론

본 논문은 기존에 시공되고 있는 파제제와 다원주 파일군을 파랑제어 구조물로서 비교하였다. 감천항의 현 상태인 동·서방파제에서 적절한 위치에 파제제 또는 다원

주 군파일을 배치하여 이를 검토해 본 결과는 요약하면 다음과 같다.

1. 동일 평면배치 상에서 파랑 제어를 통한 항내 정온도 효과는 파제제 설치 > 교차 배열 다원주 파일군 설치 > 정방향 배열 다원주 파일군 설치 > 현 상태 순으로 나타났다.

2. 동·서방파제만 설치된 현 상태보다 파제제 및 다원주 파일군을 추가로 설치하는 경우 항내 정온도를 충분히 향상시킬 수 있으며 동·서방파제 주변의 해역에서 파제제가 다원주 군파일보다 작은 파고분포를 보이지만 항내 및 중앙부에서는 비슷한 파고 분포를 보이고 있다.

사석 블록식 경사제 형식인 파제제는 많은 지반면적을 차지하고 시공 및 설비에 다량의 재료와 노력이 소요되고 해수순환에 악영향을 미치는 것과 해양환경 친화적 기능 관점에서 연안의 경관에 있어 좋지 않지만, 다원주군 파일의 구조물은 수면 아래에 있으며 해수교환이 양호해 이러한 점을 보완할 수 있다. 아울러 콘크리트 구조물에 비해 재료 가격 면에서 우수한 인장강도를 갖는 탄소 섬유강 파일에 해양을 오염시키지 않는 페타이어를 장착하여 파일 직경을 증대시킴으로서 파랑제어의 효과를 보다 극대화시킬 수 있고 공사비의 절감도 기대할 수 있다.

향후, 다원주 탄소 섬유강 파일 설치에 대한 해수교환 효과와 더불어 해저지형변화를 파악하기 위하여 추가적인 이동상 3차원 수리모형실험 및 연구가 요구되어진다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 2002년도 특정기초연구(과제번호: R01-2002-000-00590-0)지원으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 해양수산부 (2001). 전국연안 침식방지 종합대책.
부산지방해양수산청 (2005). 감천항 정온도 향상방안 검토
용역 보고서, 7-26.
이상화, 장은철 (2004). 다원주 주위의 유동에 관한 실험적
연구(I). 대한토목학회논문집, 24(2-B), 131-136.
박상우 (2004). 다원주 구조물에 작용하는 파력에 관한 연
구. 석사학위 논문, 동아대학교 대학원 토목공학과.
정동화 (2005). 연안역 파랑구조물에 대한 실험적 연구. 석
사학위 논문, 동아대학교 대학원 토목공학과.
Yoshimi Goda. (1996). 항만구조물의 내파설계. 구미서관,
33-37.
Chakrabarti, S.K. (1987). Hydrodynamics of offshore struc-
ture. Computational Mechanics Publications.
Arved, J. Raudkivi. (1996). Permeable pile groins. J. Water-
way. Port. Coastal and Ocean Engineering. 122(6), 267-272.
Sumer, B.M. and Fredsoe, J. (1998). Wave scour around group
of vertical piles. J. Waterway. Port. Coastal and Ocean
Engineering. 124(5), 248-256.
Williamson, C.H.K. (1985). Sinusoidal flow relative to circular
cylinders. J. Fluid Mech. 155, 141-174.

Received January 29, 2007

Accepted February 12, 2007