

가상경계법에 의한 부소파제의 소파효과

한일우*, 윤길수**, 이귀주***

*부경대학교 대학원

**부경대학교 해양공학과

***조선대학교 선박해양공학과

Wave attenuation effect of the floating breakwater using imaginary boundary element method.

IL-WOO HAN* AND GIL-SU YOON** AND KWI-JOO LEE***

*Graduate School, Pukyong National University

**Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University

***Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University

KEY WORDS: floating breakwater(부소파제), imaginary boundary element (가상경계), Catamaran(쌍동선), Dual catamaran

ABSTRACT: 최근 들어 해양개발에 관심이 고조되면서 심해저의 진출이 늘어날 것으로 보이며 또한 환경에 미치는 영향 등으로 부유식 소파제의 이용이 늘어날 것으로 생각된다. 이러한 부유식 소파제는 고정식 방파제의 문제점을 상당히 해소할 수 있는 반면 아직까지 완전히 이해되고 해결되지 못한 부정적인 면도 가지고 있다.

이에 본 연구는 부유식 소파제의 설계시 이용 가능한 정보를 얻고자 부유식 소파제의 형상과 파수에 따른 투과율에 대해 원형과 사각형 그리고 catamaran을 비교하였으며 사각형에 있어서는 계류식의 위치에 따른 차이점을 비교하였다. 또한 catamaran 부소파제의 후면에 catamaran 구조물이 있는 경우 즉, Dual catamaran의 운동에 대해서도 고찰하였다.

1. 서 론

육지면적의 부족과 육상자원의 고갈문제가 심각하게 대두되고 있는 현 시점에서, 해양개발은 이를 해결할 수 있는 가장 현실적인 방법으로 인정되고 있다. 최근 생산 및 산업공간으로서의 해양공간 이용이 활발해지고 있다. 공업용지로는 임해부 매립 조성이 행해져 왔으며, 특히 최근에는 그 규모가 비약적으로 증가하여 항만내 공유수면의 매립을 통하여 고도의 경제성장에 기여한 반면, 해양의 오염 및 자연 해안의 상실 등이 사회문제를 야기하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로서, 인근 주민의 반대로 육상에 입지하기가 점점 곤란해진 폐기물처리장, 발전소 등과 같은 시설을 부유식 해양 구조물 등의 인공섬 위에 설치하는 일이 검토되고 있다. 또한 요트, 윈드썬핑, 모터보트 등 해양 레저도 점차 보급될 것이며 이에 따라 마리나(marina)의 설치가 늘어나게 될 것이다.

이를 위하여 설치되는 해양시설의 기능성과 안전성을 효율적으로 극대화하기 위하여 일반적으로 주위에 소파제를 설치하는 것을 생각할 수 있다. 하지만 흔히 사용되어오던 고정식 방파제는 설치에 많은 시간과 경비가 소요되고 환경 및 생태계에 원치 않는 변화를 줄 수 있으며 설치 예정지의 수심, 지질 그리고 육지로부터의 거리 등의 여건에 많은 제약을 받는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 특정한 계류시스템에 의지하는 부유식 소파제에 대한 많은 연구가 진행중이다. 이러한 부유식 소파제는 고정식 소파제의 문제점을 상당히 해소할 수

있는 반면 아직까지 완전히 이해되고 해결되지 못한 부정적인 면도 가지고 있다.

이에 본 연구는 부유식 소파제의 설계시 이용할 수 있는 정보를 얻고자 부유식 소파제의 형상과 파수에 따른 투과율에 대해 원형과 사각형 그리고 catamaran을 비교하였으며 사각형에 있어서는 계류식의 위치에 따른 차이점을 비교하였다. 또한 catamaran 부소파제의 후면에 catamaran 구조물이 있는 경우 즉, Dual catamaran의 운동에 대해서도 고찰하였다.

2. 부유식 소파제

2.1. 부유식 소파제 개요

해안 및 해양에 설치되는 시설물들을 파도의 교란으로부터 보호하기 위하여 방파제 또는 소파 구조물을 설치하고 있다. 이러한 소파제는 지역적 특성, 작업의 종류, 그리고 경제적인 요인 등이 고려되어 대상 해역의 정온도를 확보하도록 설계되고 있다. 최근 해양개발에 관심이 고조되면서 심해저의 진출이 늘어날 것으로 보이며 또한 환경에 미치는 영향 등으로 부유식 소파제의 이용이 늘어날 것으로 생각된다.

2.2. 부유식 소파제의 장점과 단점

첫째, 환경 및 생태계에 미치는 영향이 작다. 부유식 소파제는 그 구조상 자연적인 조류 및 해수 순환을 방해하지 않으며, 어류들이 소파제 밑으로 통과할 수 있으므로 해양환경 서식처에

최소의 영향을 준다. 이러한 점은 인간이 해양을 개발함과 동시에 해양환경을 보존하여 자연과 더불어 조화를 이루어 나가 고자 하는 노력과 일치한다.

둘째, 수심의 제한을 덜 받는다. 기존의 방파제는 수심이 깊어짐에 따라 건설비의 소요가 과다해진다. 그러나 부유식 소파제는 계류의 허용범위까지의 수심에 설치할 수 있으며 수심의 증가에 따른 건설비용의 증가가 크지 않다.

셋째, 부유식 소파제는 이동성이 있다. 이동성이 있기 때문에 필요시 소파제의 형태를 재배치할 수 있으며 일정기간 사용 후 다른 장소에 이동 배치하여 사용할 수가 있으므로 재활용성이 있다.

넷째, 건설 및 공사기간이 짧다.

다섯째, 건설비용이 적게 든다.

여섯째, 해저 지질 조건에 영향을 많이 받지 않는다.

이상의 여러 가지 장점이 있으나 그에 따른 단점도 있다.

첫째, 파의 부분적인 투과

둘째, 일반적으로 부유식 소파제는 주기가 짧은 파랑에 대해서는 효율이 좋으나 긴 주기의 파랑에 대해서는 부유식 소파제의 설계를 잘하지 못할 경우 대부분의 파를 투과시킬 수 있다. 셋째, 파랑에 의해서 계류시스템의 손상이 발생할 경우 근처의 구조물에 피해를 입힐 수 있다.

3. 좌표계 및 기본사항

3.1 좌표계

유체를 비점성, 비압축성, 그리고 유체입자의 운동을 비회전으로 가정하며, 임의형상을 가지는 계류된 부유체가 입사파로 인해 작은 진폭의 운동을 한다고 가정한다. 좌표계는 그림 1 과 같이 임의의 형태의 정수면으로, Z축을 수직방향으로 택한다. 수심은 바다쪽 일정값 h 로부터 내륙쪽 일정값 h' 로 변화한다고 본다. 산란이론에 의하면, 산란파는 부유체 주위의 국소교란항과 진행성분의 반사, 투과파로 구성되어 있다. 따라서 국소교란항이 무시될 수 있을 만큼 부유체로부터 충분히 떨어진 위치에 가상경계면 또는 가상경계선을 두면 가상경계면 상에서는 진행성분만 존재하게 된다.

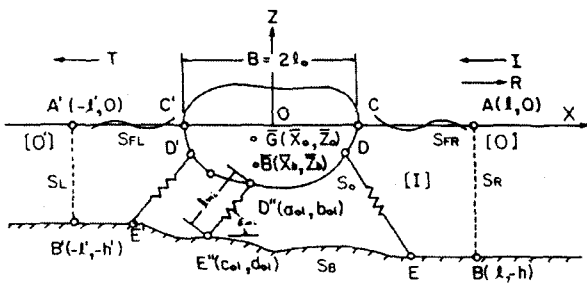


그림 1. Coordinates for moored floating body

부유체의 전면의 가상경계면을 수심 h 인 영역에 $x=l$ 의 위

치에 두고, 부유체 후면의 가상경계면을 수심 h' 인 영역에 $x=-l'$ 의 위치에 두면, 부유체 전면의 가상경계 상에서는 투과파만이 존재하게 된다.

유체 정역학적 상태에서 중심은 $\overline{G}(x_o, z_o)$, 부심은 $\overline{B}(x_b, z_b)$ 에 있다. 입사파는 $-X$ 방향으로 들어오고 있으며, 입사파 때문에 물체에 작은 진폭의 운동을 하게 된다. 주어진 어느 한순간에 물체의 중심의 위치 $G(x_o, z_o)$ 와 횡동요 θ 는 다음과 같이 주기적인 운동을 하게 된다.

$$x_o - \overline{x}_o = X e^{i\omega t}$$

$$z_o - \overline{z}_o = Z e^{i\omega t} \quad (3.1)$$

$$\theta = \Theta e^{i\omega t}$$

여기서 ω 는 입사파의 원진동수이며 X, Z 와 Θ 는 결정되어야 할 좌우, 상하 및 횡동요의 복소수 진폭이며, θ 의 +회전방향은 반시계방향이다. 이후 식(3.1)의 우변과 같은 표현에서 항상 실수부만을 취하기로 한다.

3.2 기본사항

우선 고정구조물이 설치되어 있는 해안을 향하여 진행되는 수파의 성질은 크게 다음과 같이 나눌 수 있다. 첫째로 등수심에 수직되게 파향을 유지하려는 굴절현상과 둘째로 구조물에 부딪치면 반사하는 반사현상(reflection), 셋째로 물체를 지나 교란되는 회절현상(diffraction)이 있고, 물체를 지나 상당한 거리에 이르면 투과현상(transmission)이 존재한다. 한편 부유체인 경우에는 부유체주위의 산란현상(diffraction)과 함께 입사파에 의해 야기된 부유체의 운동에 의해 발생하는 방사현상(radiation)이 존재한다. 여기서 굴절현상은 수심바닥의 지형에 따른 것이며 본 논문의 범위 밖이므로 제외한다.

파랑 중에 놓여있는 물체에 작용하는 파력 또는 파장제력을 추정하는 일반적인 방법으로서 Morison 식이 있으며, Hooff는 이를 사용하여 부유체의 운동특성을 해석하고 있으나 부유체의 특성장이 파장에 비해 1/5보다 작은 경우에만 가능하다. 따라서 부유체의 특성장이 파장의 1/5보다 크다면 부유체에 의한 산란효과(diffraction effect)를 고려해 주어야 한다.

산란효과는 가속유체장에 놓인 물체 주위에서는 유체입자의 가속운동으로 인한 부가된 동유체력의 효과인 투과효과로 구성되어 있는 바, 이를 기반으로 산란이론(diffraction theory)이 발전되었으며, 고정구조물인 경우에는 산란 또는 교란(scattering)으로 표현된다.

방사현상은 부유체의 가속운동에 비례하는 성분과 속도에 비례하는 성분으로 나누어지므로 부가절량과 감쇠계수라는 2차원유체력을 계산하는 방사문제가 된다.

방사, 산란문제로부터 유도되는 반사-투과문제는 산란효과에

기인하여 산란문제에 포함된 개념으로서 반사 및 투과를 나타내는 복소수를 K_r, K_t 라고 하면, 부유체가 고정되어 있을 때의 에너지 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$K_r \overline{K_r} + K_t \overline{K_t} = 1 \quad (3.2)$$

여기서 첨자 -는 공액복소수를 뜻한다.

부유체의 운동이 허용되면 방사문제에 따른 효과가 추가되므로, 부유체의 j 방향 운동에 따른 무한원방 발산파의 진폭을 Kochin 함수 $H_{j\pm}$ 로 표시하면, Bessho-Newman 관계식이 다음과 같이 얻어진다.

$$H_j^+ + \overline{H_j^+} K_r + \overline{H_j^-} K_t = 0 \quad (3.3)$$

여기서 H_j^\pm 는 Green 함수의 점근형태로부터 다음과 같이 표시된다.

$$H_j^\pm = \int_s \left(\frac{\partial \phi_j}{\partial n} - \phi_j \frac{\partial}{\partial n} \right) e^{k \eta_i \pm k \xi_i} ds \quad (3.4)$$

여기서 ϕ_j 는 j 방향 운동에 따른 속도포텐셜, s는 특이점 (ξ_i, η_i) 가 분포되어 있는 경계선을 뜻한다.

이것으로부터 알 수 있듯이 방사문제를 푸는 과정에서 각 운동형태에 대한 H_j^\pm 를 구하여 반사, 투과계수를 구할 수 있겠으나, 계산과정에서 복잡성과 함께 계류계에 포함되는 에너지 문제 등 검토되어야 할 사항이 많다. 따라서 본 논문에서는 방사, 산란문제로 구분하여 엄밀계산을 하는 대신, 입사파가 부유체에 부딪혔을 경우 일부는 반사되고 나머지는 모두 투과되는 반사-투과문제로 다루었다.

앞에서 설명된 산란현상으로부터 반사파와 투과파는 모두 물체의 근처에서만 존재하는 국소교란항(local disturbance terms)과 물체로부터 멀리 전파되어 나가는 진행파(progressive wave)성분으로 구성되어 있다고 할 수 있다. 이제 국소교란항성분이 거의 소멸되는 위치에 가상경계면을 택한다면 부유체 전면의 가상경계면 상에서는 입사파와 반사파만이 존재하게 되며, 부유체 후면의 가상경계면 상에서는 투과파만이 존재하게 된다. 따라서 들어온 입사파가 가지는 평균에너지 \overline{E}_I 는 반사파의 평균에너지 \overline{E}_R 와 투과파의 평균에너지 \overline{E}_T 의 합과 같게 된다.

$$\overline{E}_I = \overline{E}_R + \overline{E}_T \quad (3.5)$$

파고가 H_i , 파장이 L인 단위 폭을 가지는 입사파의 평균에너지는 다음과 같다.

$$\overline{E}_I = \frac{\rho g}{8} H_i^2 \quad (3.6)$$

H_r 이 반사파의 파고이고 H_t 가 투과파의 파고라고 할 때 양변을 $\frac{\rho g}{8} H_i^2$ 으로 나누면 다음 식이 성립한다.

$$1 = \left(\frac{H_r}{H_i} \right)^2 + \left(\frac{H_t}{H_i} \right)^2 = K_r^2 + K_t^2 \quad (3.7)$$

즉, 반사계수의 제곱과 투과계수의 제곱의 합은 1이 된다.

이와 같이 앞절을 통해 반사-투과문제는 부유체를 중심으로 상당한 거리가 떨어져 있는 전, 후파 사이의 관계를 나타내는 것으로 방사, 산란문제보다 엄밀하지는 못하나 부유체의 동적 거동과 함께 반사, 투과계수 등을 포함한 근사 해석이 가능하다.

4. 경계치 문제

유체를 비점성, 비압축성 그리고 유체입자의 유동을 비회전성으로 가정하면 전 유체장은 속도포텐셜을 가지게 되며 그 속도 포텐셜은 유체의 연속방정식을 만족하여야 하므로, Laplace 방정식의 해로 표현된다. 또한 그 속도포텐셜은 다음과 같은 자유수면의 조건, 물체표면의 경계조건, 바닥의 조건 및 무한원 발산의 방사조건을 만족하여야 한다.

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \Phi \Big|_{S_F} = 0 \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_{S_0} = \vec{V} \cdot \vec{n} \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_{S_B} = 0 \quad (4.4)$$

여기서 S_F, S_0, S_B 는 각각 자유수면, 물체표면, 바닥경계면을 뜻한다.

위의 식(4.2)-(4.4)에서 자유수면의 조건, 물체표면의 경계조건, 바닥의 조건은 주어졌지만 무한원 발산파의 방사조건은 주어지지 않았다. 여기서 방사조건 대신 외부 경계조건이라는 것을 도입하기로 하면, 현재 여기서 다루고 있는 속도포텐셜은 다음과 같이 입사파, 방사파 및 산란파의 속도포텐셜을 모두 합한 전체의 속도포텐셜로서 다음과 같이 표시되므로,

$$\Phi = \Phi_I + \Phi_R + \Phi_D \quad (4.5)$$

방사, 산란문제를 따로 구분함이 없이 동시에 방사조건을 적용하기로 한다. 이를 위하여 부유체 주위에 충분한 거리를 유지

할 수 있는 경우에는 국소교란항을 무시한 반사 및 투과파로 표현되는 외부경계조건을 적용한다.

한편, ω 를 시간조화해의 원진동수라고 하면 속도포텐셜은 시간과 위치의 분해에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi(x, z, t) = \frac{g \zeta_0}{\omega} \phi(x, z) e^{i\omega t} \quad (4.6)$$

여기서 ζ_0 는 입사파의 진폭, g 는 중력가속도, $\phi(x, z)$ 는 Laplace방정식을 만족하는 (x, z) 만의 복소포텐셜 함수이다.

5. 계산 결과 및 고찰

5.1. 형상에 따른 비교

부유식 소파제의 형상과 파수에 따른 투과율에 대하여 그림. 2, 3, 6 과 같이 원형, 사각형, 쌍동형 소파제를 비교하였다.

천해역영역에서 파랑의 운동은 비산란이고 부유체는 대칭구조이며 탄성계류방식으로 계류되어 있다고 가정하였다.

각각의 부방파제는 폭, 홀수, 계류점, 계류각 등이 같다는 가정 하에 계산되었다.

그림. 7 은 쌍동형 소파제의 좌표를 나타낸 것으로 파랑은 -X 방향으로 진행하며 각 좌표간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} AHL &= - AHR & AL1 &= - AR2 \\ AL2 &= - AR1 & AH2 &= - AH \end{aligned}$$

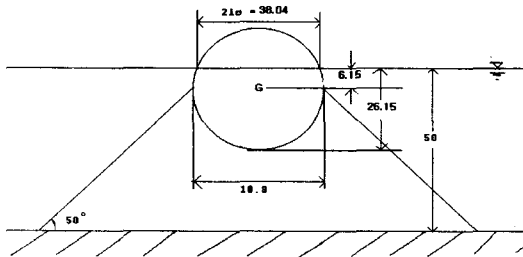


그림 2. 원형

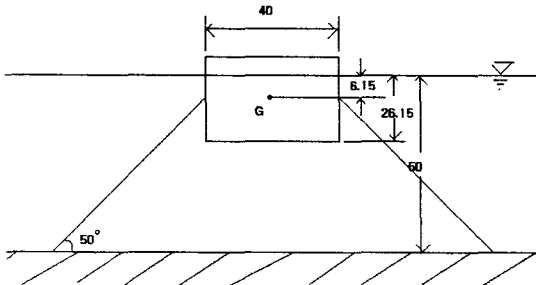


그림 3. 사각형(side)

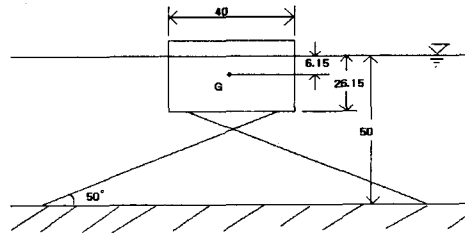


그림 4. 사각형(cross)

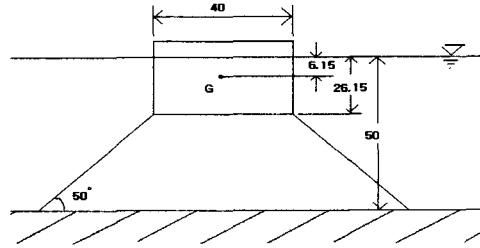


그림 5. 사각형(bottom)

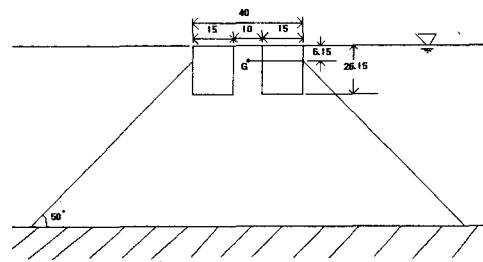


그림 6. 쌍동형

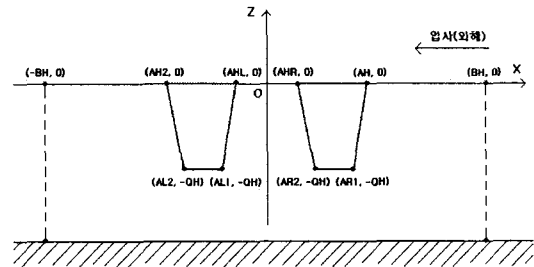


그림 7. Coordinates for catamaran

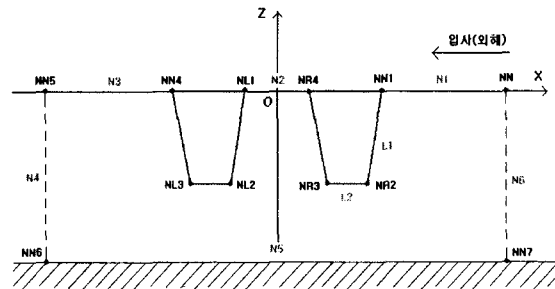


그림 8. Definition of boundary segments

그림 8 은 쌍동형 소파제의 경계를 나타낸 것으로 N1, L1, L2,, N5, N6 는 경계요소수에 해당하며 N1, N2, N3는 수 표면, L1, L2는 구조물 표면, N4, N6는 각각 좌우 경계면, N5 는 바닥경계를 나타낸다. 배정된 요소수는 N1=20, L1=5, L2=5, N2=10, N3=20, N4=20, N5=30, N6=20 이다.

그림 9 는 형태에 따른 비교결과를 나타낸 것으로 원형에 비해 사각형과 쌍동형 형태가 더 좋은 소파효과를 가짐을 쉽게 알 수 있다. 사각형과 쌍동형의 비교에서는 다른 경우에 대한 비교가 필요할 것이다.

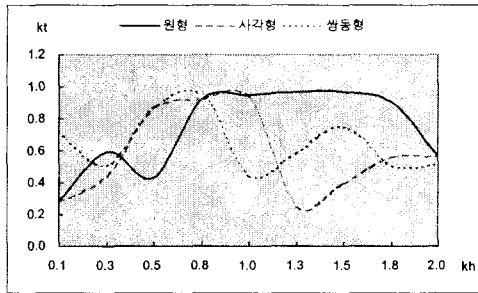


그림 9.

5-2 계류삭의 위치에 따른 비교

사각형 부소파제의 경우에 있어서 계류삭의 위치에 따라 그림 3, 4, 5 와 같이 side, cross, bottom 의 경우에 대해서 비교하였다. 그림 10 은 계류삭의 위치 변화에 대한 결과를 나타내고 있다. 그림 10 에서 중간 이전 영역에서 사각형 side와 사각형 bottom은 거의 비슷한 값을 보이고 중간 이후 영역에서 약간의 차이를 나타낸다. 사각형 cross는 중간 이후 영역에서 약간 큰 투과계수를 보이지만 중간 이전 영역에서 다른 경우에 비하여 좋은 소파효과를 나타내고 있다. 여기서 사각형 cross는 비교적 장파일 때 더 효과적임을 알 수 있다.

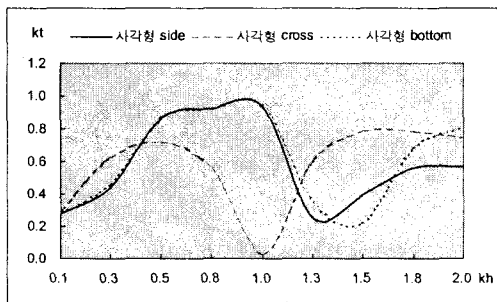


그림 10

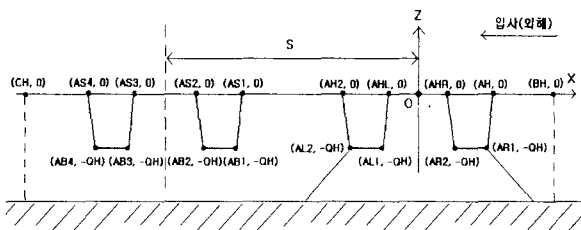


그림 11. Coordinate for Dual Catamaran

5-3 Dual catamaran의 경우

catamaran 부소파제의 후면에 catamaran 구조물이 있는 경우 즉, Dual catamaran의 운동에 대해서도 고찰하였다.

그림 11 에서 파랑은 -X 방향으로 진행하며 두 구조물 사이의 거리는 S 로 나타내었다. 그리고 각 좌표간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned}
 \text{AHL} &= -\text{AHR} & \text{AS1} &= \text{AH} - \text{S} & \text{AB1} &= \text{AR1} - \text{S} \\
 \text{AL1} &= -\text{AR2} & \text{AS2} &= \text{AHR} - \text{S} & \text{AB2} &= \text{AR2} - \text{S} \\
 \text{AL2} &= -\text{AR1} & \text{AS3} &= \text{AHL} - \text{S} & \text{AB3} &= \text{AL1} - \text{S} \\
 \text{AH2} &= -\text{AH} & \text{AS4} &= \text{AH2} - \text{S} & \text{AB4} &= \text{AL2} - \text{S}
 \end{aligned}$$

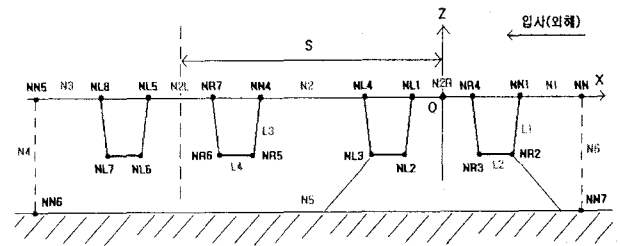


그림 12. Definition of boundary segments for Dual Cata.

그림 12 에서 N1, L1, L2,, N5, N6 는 경계요소수에 해당하며 N1, N2R, N2, N2L, N3는 수 표면, L1, L2, L3, L4 는 구조물 표면, N4, N6는 각각 좌우 경계면, N5는 바닥경계를 나타낸다. 배정된 요소수는 N1=20, L1=5, L2=5, N2R=10, N2=20, L3=5, L4=5, N2L=10, N3=20, N4=20, N5=40, N6=20 이다.

두 Catamaran 부소파제 중심간격 0.4에서 2.0 까지 0.2 간격씩 가지고 계산한 결과는 그림 13~17 과 같다.

그림 13의 Sway motion의 경우에는 간격 0.4~1.0 까지는 서서히 증가하는 경향을 보이고 간격 1.2~2.0 까지는 중간 영역에서 약간 감소하다가 다시 증가하는 양상을 띄고 있다.

그림 14의 Heave motion의 경우에는 모든 간격이 같은 peak 에서 서서히 감소하는 경향을 보이다가 간격 1.6~2.0 의 경우에 비교적 높은 frequency에서 다시 증가하려는 경향을 보인다. 그림 15의 Roll motion의 경우에는 모든 간격에서 일률적으로 감소하지만 1.6~2.0 의 경우 1.7 이후의 frequency 에서 약간 증가하는 경향을 보인다.

이상의 결과로부터 구조물간의 간격이 클수록 Sway 와 Roll 은 작은 간격보다 큰 진폭을 가지며 Heave의 경우 같은 peak 에서 간격이 클수록 작은 간격보다 더 큰 감소를 나타내고 있다.

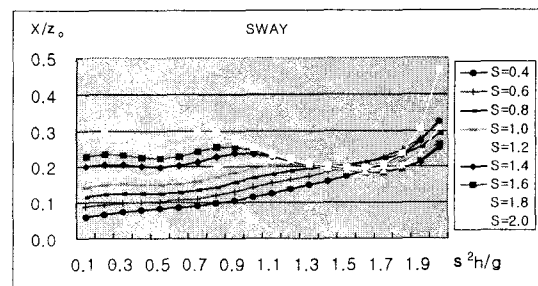


그림 13. Sway motion of Dual Cata.

6. 결론

본 연구는 안전성과 소파성능의 극대화가 보장되는 부유식 소파장치의 설계에 사용될 수 있는 정보를 얻고자, 원형, 사각형 및 catamaran 부유식 소파제를 중심으로 형태와 파수에 따른 소파성능과 수치해석의 결과를 비교하여 설계 가능성을 살펴 보았다.

이상에서 알 수 있듯이 원형 소파제보다는 사각형과 쌍동형 소파제의 효율이 더 좋음을 알 수 있다. 또한 사각형과 쌍동형에 대한 여러 경우에 대해서도 검토가 이루어져야 할 것이다. 같은 사각형의 경우에도 계류사의 위치에 따라 차이가 있는데 비교적 장파영역에서 cross 형태가 side와 bottom의 형태보다 더 좋은 소파효과를 보임을 알 수 있다.

Dual Catamaran 에서 구조물간의 간격이 클수록 Sway 와 Roll 은 작은 간격보다 큰 진폭을 가지며 Heave의 경우 같은 peak에서 간격이 클수록 작은 간격보다 더 큰 감소를 나타내고 있다. 투과 및 반사 계수는 high frequency 로 갈수록 각각 감소, 증가 하지만 Sway, Heave, Roll 에 비하여 간격의 차이에 관계없이 거의 균일한 값을 가진다. 단파에서는 반사가 크고, 장파에서는 투과가 크다는 일반적인 경향을 보이므로 효과적인 소파효과는 운동성능이 우수한 것에서 선택하는 것이 바람직할 것이다.

이상의 결과를 토대로 치수 및 형상변화에 대한 계통적 수치 계산이 이루어지면 소파효율이 좋은 소파구조물설계에 응용할 수 있을 것으로 기대되며, 항내 및 연안에 밀집해 있는 수산양식 시설에 응용하여 양식시설을 외해쪽으로 설치가 가능하게 되어 해양오염 방지도 효과가 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00315-0) 지원으로 수행된 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참고 문헌

1. A. N. Williams and H. S. Lee and Z. Huang, "Floating pontoon breakwater", Ocean Engineering, Vol. 27, 2000
2. Tokuo Yamamoto and Akinori Yoshida and Takesi Ijima, "Dynamics of elastically moored floating objects", Applied Ocean Research, 1980, Vol. 2, No. 2
3. A. N. Williams and A. G. Abul-Azm, "DUAL PONTOON FLOATING BREAKWATER", Ocean Engineering, Vol. 24, No. 5
4. D.Y. Kim and M, song and Y. S. Kim and H.J. , "규칙파 중 상자형 부유식 방파제 특성에 관한 연구", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 3, 2000
5. G.S. Yoon, 안벽전면에서의 2차원 부유체에 관한 동역학적 연구, 부산대학교 박사청구논문, 1987 8.

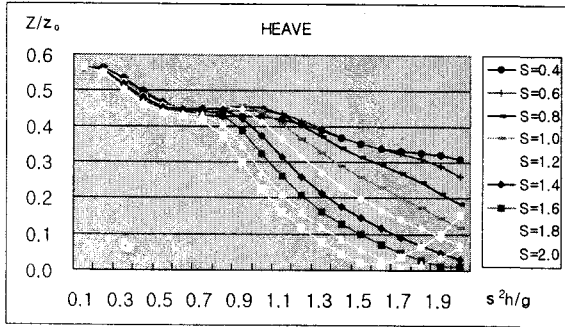


그림 14. Heave motion of Dual Cata.

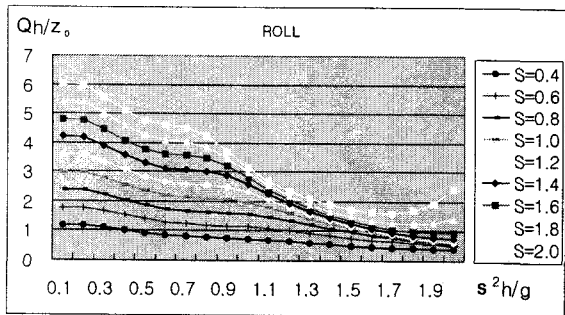


그림 15. Roll motion of Dual Cata.

그림 16 의 구조물간의 간격에 대한 투과계수에서는 비교적 장파에서 단파쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보이지만 1.6~2.0 의 경우에 다시 증가하는 경향을 띤다. 이것은 간격 1.6~2.0 에서 Heave와 Roll의 운동이 증가하는 경향과 관계가 있을 것이다. 그림 17 의 간격에 대한 반사계수에서는 비교적 장파에서 단파영역으로 갈수록 모든 간격에서 균일하게 증가하는 양상을 띄고 있다.

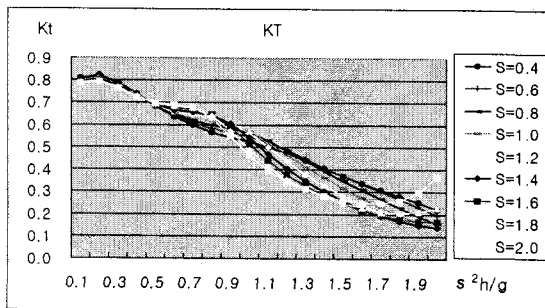


그림 16. Transmission coefficient of Dual Cata.

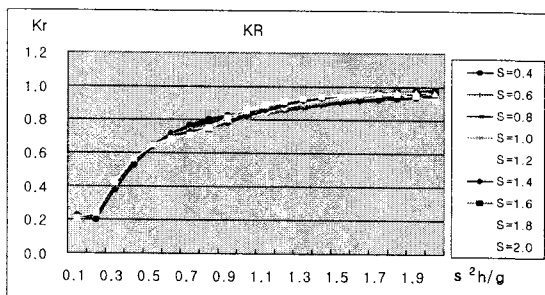


그림 17. Reflection coefficient of Dual Cata.