

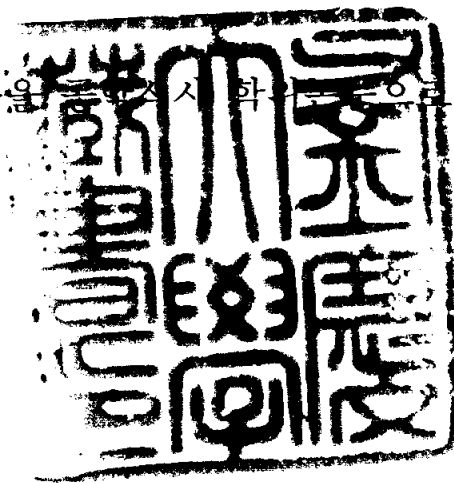
8246
12

공학석사 학위논문

Dual catamaran형 부유식 구조물의 운동특성

지도교수 윤 길 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2003년 2월

부경대학교 대학원

해양공학과

한 일 우

한일우의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월 26일

주 심 공학박사 김 헌 태



위 원 공학박사 이 인 철



위 원 공학박사 윤 길 수



목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iv
List of Symbols	v
Abstract.....	vii
 I. 서론	 1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 부유식 소파제	2
II. 기본가정 및 수치계산 방법	4
1. 기본가정	4
2. 수치계산 방법.....	10
III. 결과 및 고찰	19
1. 프로그램 검증	19
2. 형상에 대한 비교	24
3. 계류삭 배치에 대한 비교	30
4. Dual catamaran	33
4.1 거리에 대한 투과와 운동특성.....	33
4.2 수평 인장력에 대한 투과와 운동특성	43
IV. 결 론	47
부록	49
참고문헌	50

List of Figures

- Fig. 1. Coordinate system for moored floating body.
- Fig. 2. Definition of boundary segment and potential functions.
- Fig. 3. Configuration of moored circular cylinder for pre-modeling test.
- Fig. 4. Transmission coefficient for pre-modeling test.
- Fig. 5. Reflection coefficient for pre-modeling test.
- Fig. 6. Sway motion for pre-modeling test.
- Fig. 7. Heave motion for pre-modeling test.
- Fig. 8. Roll motion for pre-modeling test.
- Fig. 9. Hydrodynamic pressure force for pre-modeling test.
- Fig. 10. Mooring force for pre-modeling test.
- Fig. 11. Configuration of side-spring moored circular cylinder.
- Fig. 12. Configuration of side-spring moored rectangular cylinder.
- Fig. 13. Configuration of side-spring moored catamaran cylinder.
- Fig. 14. Coordinate system for catamaran.
- Fig. 15. Definition of boundary segments for Catamaran.
- Fig. 16. Comparison of K_t with floating breakwater.
- Fig. 17. Configuration of bottom-spring moored rectangular cylinder.
- Fig. 18. Configuration of cross-spring moored rectangular cylinder.
- Fig. 19. Comparison of mooring system for the same mooring angle.
- Fig. 20. Comparison of mooring system for the same mooring point.
- Fig. 21. Cross section of Catamaran.
- Fig. 22. Off-set table half breadth from C. L. of Catamaran.
- Fig. 23. Off-set table height above B. L. of Catamaran.
- Fig. 24. Coordinate for Dual Catamaran.
- Fig. 25. Definition of boundary segments for Dual catamaran.
- Fig. 26. Configuration of Dual catamaran.
- Fig. 27. Transmission coefficient of Dual catamaran with S' .

- Fig. 28. Sway motion of Dual catamaran with S.
- Fig. 29. Heave motion of Dual catamaran with S.
- Fig. 30. Roll motion of Dual catamaran with S.
- Fig. 31. Transmission coefficient of Dual catamaran with S.
- Fig. 32. Motion amplitude of Dual catamaran for $S = 1.0$.
- Fig. 33. Configuration of Dual catamaran with Tension.
- Fig. 34. Transmission coefficient of Dual cata. with tension for $S'=0.87$.
- Fig. 35. Sway motion of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.
- Fig. 36. Heave motion of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.
- Fig. 37. Roll motion of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.
- Fig. 38. Transmission coefficient of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.

List of Tables

- Table 1. Input data for pre-modeling test.
- Table 2. Input data of circular cylinder.
- Table 3. Input data of rectangular cylinder.
- Table 4. Input data of catamaran.
- Table 5. Input data for mooring system.
- Table 6. Data of catamaran(4m).
- Table 7. Input data of Dual catamaran.
- Table 8. Input data of horizontal tension.

List of symbols

$O-XZ$	cartesian coordinate system(Fig.1)
$X, Z, \textcircled{R}$	motion amplitude of sway, heave, roll
$\Phi_i(x, z, t)$	velocity potential as function of position and time
$\phi_i(x, z)$	velocity potential of complex number
h_o	water depth
$\vec{n}$	normal vector on boundary in the fluid domain
$\overline{\phi}$	normal differential coefficient of velocity potential on boundary { $= h_o \frac{\partial \phi}{\partial n}$ }
$P(\xi_j, \eta_j)$	center point of j factor (j=1,...,N)
$Q(\xi_i, \eta_i)$	center point of i factor (i=1,...,N)
$\phi(j)$	velocity potential on (ξ_j, η_j) { $= \phi(\xi_j, \eta_j)$ }
r_{ij}	distance from P to Q { $= \sqrt{(\xi_i - \xi_j)^2 + (\eta_i - \eta_j)^2}$ }
ΔS_j	length of j factor { $= \sqrt{(\Delta \xi_j)^2 + (\Delta \eta_j)^2}$ }
E_{ij}	integral value of ΔS_j
$\overline{E_{ij}}$	normal differential coefficient of ΔS_j
K_r	reflection coefficient of complex number
K_t	transmission coefficient of complex number
g	gravitational acceleration
T	wave period
ω	$2\pi/T$
l	distance from floating body to forward imaginary boundary
h	depth on forward imaginary boundary
l'	distance from floating body to backward imaginary boundary
h'	depth on backward imaginary boundary

k	wave number of incident or reflection wave
k'	wave number of transmission wave
λ_o	$\lambda_o = kh$
λ'_o	$\lambda'_o = k'h'$
λ'_n	$\lambda'_n = k'_n h'$
γ	$\gamma = \omega^2 h_o / g$
C_i	elasticity coefficient of i th mooring line
F_{mi}	initial tension of i th mooring line
l_{mi}	length of i th mooring line
f_{mi}	F_{mi} / l_{mi}
ε_i	mooring angle of i th mooring line
B	length of floating body on the surface of the water
l_o	half of B
L	wave length
ζ_o	wave amplitude
ρ	density
I	mass moment of inertia for floating body
ν_1, ν_2, ν_3	$\nu_1 = M / \rho h_o^2, \nu_2 = I / \rho h_o^4, \nu_3 = V / h_o^2$

Motion characteristics of Dual catamaran type floating bodies

Il-Woo Han

*Department of Ocean Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

As human activities in the ocean advance toward deeper water, the development of effective and economical moored floating structures become more important.

In order to protect the coastal and offshore structures from the attack of the waves, breakwaters are required. In recent years there has been increased interests in the use of floating breakwaters as a means of providing the required tranquility in the target sea area where the conventional fixed breakwaters are difficult to use due to various reasons.

The calculation results were compared with some numerical and experimental results for the pre-modeling test of this program. They generally showed acceptable agreement with the results.

In this study, we studied the wave attenuation effect of circular, rectangular and catamaran shape floating breakwater for consideration of wave attenuation effect according to the forms of floating breakwater. Secondly, we studied the wave attenuation effect of variation of mooring line arrangement in case of rectangular floating breakwater. Finally, the effect of the distance between catamaran type oil-skimmer and catamaran type floating breakwater was studied. The result showed relatively lower transmitted wave and better motion characteristics where the distance divided water depth, $S=1$. Furthermore, the effect of the horizontal tension on the surface in substituting for the mooring system on the bottom of the sea was studied. In case of higher horizontal tension, the oil-skimmer showed lower motion responses. But there were the range of specific non-dimensional wave numbers ($\omega^2 h/g$) which had higher transmission waves in case of higher horizontal tension. Therefore, it is desirable to select the appropriate horizontal tension considering the length of the incident wave.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

육지면적의 부족과 육상자원의 고갈문제가 심각하게 대두되고 있는 현 시점에서, 해양개발은 이를 해결할 수 있는 가장 현실적인 방법으로 인정되고 있으며 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.⁽²⁵⁾ 또한 요트, 윈드썬핑, 모터보트 등 해양 레저 인구가 증가하고 있으며 이에 따라 마리나(marina)와 해양 레저 시설의 설치가 늘어나게 될 것으로 보인다. 현재의 해양공간 이용은 대부분 연안에 집중되어 있지만 멀지 않은 미래에는 보다 먼바다로의 진출이 늘어날 것으로 생각된다.

해양시설의 기능성과 안전성을 효율적으로 극대화하기 위하여 일반적으로 주위에 소파제를 설치하는 것을 생각할 수 있다. 하지만 흔히 사용되어오던 착저식 방파제는 설치에 많은 시간과 경비가 소요되고 환경 및 생태계에 원치 않는 변화를 줄 수 있으며 설치 예정지의 수심, 지질 그리고 육지로부터의 거리등의 여건에 많은 제약을 받는 단점이 있다.⁽⁸⁾ 이에 반해 부소파제는 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있으며, 수심에 대한 영향을 많이 받지 않고, 설치 기간이 짧으며, 설치비용이 고정식보다 저렴한 이유 등으로 인해 최근 부소파제에 대한 다양한 연구가 진행중이다.^(11,26,27,28)

본 논문에서는 우선, 부소파제의 형상에 대한 소파효과를 비교·검토하기 위하여 원형, 사각형, catamaran형 부소파제의 성능을 비교하고, 다음으로, 계류식 배치의 변화에 따른 소파효과를 비교하기 위하여 동일한 사각형 부소파제의 경우에 대하여 side, bottom, cross 형태를 비교하고자한다.

마지막으로, 최근 연안역의 공업화와 유류 소비 증대에 따른 유조선 및 해상교통의 증대 그리고, 활발한 해상활동으로 인한 해양 유류오염사고가 날이 갈수록 증대되고 있다.⁽²⁵⁾ 이러한 유류오염사고의 발생시 파랑은 유류 방제작업에 악영향을 끼칠 수 있다. 따라서 파랑의 영향으로 생길 수 있는 유류 방제작

업의 난점을 최소화하기 위해 방제선 및 오일스키머의 전면에 부소파제 설치를 생각할 수 있다. 이에 본 논문에서는 유류오염 방제작업의 효율을 극대화하고자 catamara형 오일스키머의 전면에 catamaran형 부소파제를 설치할 경우에 대하여 부소파제와 오일스키머의 거리에 따른 투과와 운동에 대해서 고찰하였다. 그리고, 해양에서의 유류오염사고 발생시 부소파제와 계류시스템을 신속히 설치하는데는 많은 어려움이 있을 수 있다. 이에 본 논문에서는 해저면에 계류시스템을 설치하는 대신에 해수면에서 부소파제에 $\pm X$ 방향으로의 인장력을 주는 경우에 대해서 인장력에 따른 투과와 운동에 대해서 고찰하였다.

2. 부유식 소파제

소파구조물은 해안 및 해양에 설치되는 시설물들을 파도의 교란으로부터 보호하기 위하여 설치하고 있다. 이러한 소파구조물은 지역적 특성, 작업의 종류, 그리고 경제적인 요인 등이 고려되어 대상 해역의 정온도를 확보하도록 설계되어지고 있다. 부유식 소파제는 일반적으로 파고가 작은 해역의 항구나 호수 및 강의 선착장 또는 보조 방파제로 사용되어져 왔다. 그러나 최근 해양개발에 대한 관심이 고조되면서 심해로의 진출이 늘어날 것으로 보이며 또한 환경에 미치는 영향이 적은 부유식 소파제의 이용이 늘어날 것으로 생각된다.

부유식 소파제는 기본적으로 선박과 마찬가지로 부력에 의해 구조물의 자중을 버티어내는 형태로서 해저지반에 본체를 직접 설치하지는 않는다. 따라서, 부유식 소파제는 착저식 방파제에 비하여 다음과 같은 장점이 있다.^(12,13,27)

1) 환경 및 생태계에 미치는 영향이 작다. ; 부유식 소파제는 그 구조상 자연적인 조류 및 해수 순환을 방해하지 않으며, 어류 및 수생물이 소파제 밑으로 통과할 수 있으므로 해양환경에 최소의 영향을 준다. 이러한 점은 인간이 해양을 개발함과 동시에 해양환경을 보존하여 자연과 더불어 조화를 이루어나가고자 하는 노력과 일치한다.

2) 수심의 제한을 덜 받는다. ; 기존의 착저식 방파제는 수심이 깊어짐에 따라 건설비의 소요가 과다해져 아주 깊은 수심에서의 건설은 불가능하다. 그러나 부유식 소파제는 계류시스템 허용범위까지의 수심에 설치할 수 있다.

3) 부유식 소파제는 이동성 및 재활용성이 있다. ; 이동성이 있기 때문에 필요시 방파제의 형태를 재배치할 수 있으며 일정기간 사용 후 다른 장소에 이

동 배치하여 사용할 수가 있으므로 재활용성이 있다.

4) 건설 및 공사기간이 짧다. ; 구조물의 본체를 육상에서 제작이 가능하므로 공기를 줄일 수 있다.

5) 건설비용이 적게 든다. ; 착저식 방파제에 비하여 수심의 증가에 따른 건설 비용의 증가가 크지 않다.

6) 해저 지질 조건에 영향을 많이 받지 않는다. ; 착저식 방파제에서 발생하는 silting 과 scour 문제가 없다.

7) 다목적용으로 사용할 수 있다. ; 부유식 소파제를 저장 장소로 활용 또한 파력 발전 시설 내장 등 여러 가지 목적으로 사용할 수 있는 가능성이 있다.

이상의 여러 가지 장점이 있으나 다음과 같이 극복되어야 할 단점들도 있다.⁽²⁷⁾

1) 파의 부분적인 투과. ; 부유식 소파제는 착저식 소파제와는 달리 구조상 어느 정도의 투과파를 허용할 수밖에 없다.

2) 소파제의 성능이 입사파의 주기에 영향을 받는다. ; 일반적으로 부유식 소파제는 주기가 짧은 파도에 대해서는 효율이 좋으나 긴 주기의 파도에 대해서는 설계를 잘못하면 대부분의 파를 투과시킬 수 있다.

3) 계류시스템에 대한 의존성이 크다. ; 파랑에 의해서 부유식 소파제의 계류시스템에 유기된 계류하중과 이에 의한 계류시스템의 손상이 발생할 경우 근처의 구조물에 피해를 입힐 수 있다.

4) 바람, 파도에 의한 다소의 운동이 불가피하다.

II. 기본가정 및 수치계산 방법

1. 기본가정

유체를 비점성, 비압축성, 그리고 유체입자의 유동을 비회전으로 가정하며, 임의형상을 가지는 계류된 부유체가 입사파로 인해 작은 진폭의 운동을 한다고 가정한다. 좌표계는 Fig. 1과 같이 임의 형태의 부유체가 탄성계류삭에 의해 계류되어 있을 경우, O-XZ 좌표계의 X축을 정수면으로, Z축을 수직방향으로 택한다. 수심은 바다쪽 일정값 h 로부터 내륙쪽 일정값 h' 로 변화한다고 본다. 산란이론에 의하면, 산란파는 부유체 주위의 국소교란장과 진행성분의 반사, 투과파로 구성되어 있다. 따라서 국소교란장이 무시될 수 있을 만큼 부유체로부터 충분히 떨어진 위치에 가상경계면 또는 가상경계선을 두면 가상경계면 상에서는 진행성분만 존재하게 된다.

부유체의 전면의 가상경계면을 수심 h 인 영역에 $x=l$ 의 위치에 두고, 부유체 후면의 가상경계면을 수심 h' 인 영역에 $x=-l'$ 의 위치에 두면, 부유체 전면의 가상경계면 상에서는 입사파와 반사파만 존재하고, 부유체 후면의 가상경계면 상에서는 투과파만이 존재하게 된다.

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

$$\begin{aligned} x_o - \overline{x_o} &= X e^{i\omega t} \\ z_o - \overline{z_o} &= Z e^{i\omega t} \\ \theta &= \textcircled{H} e^{i\omega t} \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 ω 는 입사파의 원진동수이며 X, Z 와 $\textcircled{H}$ 는 결정되어야 할 좌우, 상하 및 횡동요의 복소수 진폭이며, θ 의 +회전방향은 반시계방향이다. 이후 식(1)의 우변과 같은 표현에서 항상 실수부만을 취하기로 한다.

고정구조물이 설치되어 있는 해안을 향하여 진행하는 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.

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

$$K_r \overline{K_r} + K_t \overline{K_t} = 1 \quad (2)$$

여기서 상첨자 -는 공액복소수를 뜻한다.

본 논문에서는 방사, 산란문제로 구분하여 엄밀계산을 하는 대신, 입사파가 부유체에 부딪쳤을 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 반사파 만이 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.

$$\overline{E}_I = \overline{E}_R + \overline{E}_T \quad (3)$$

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

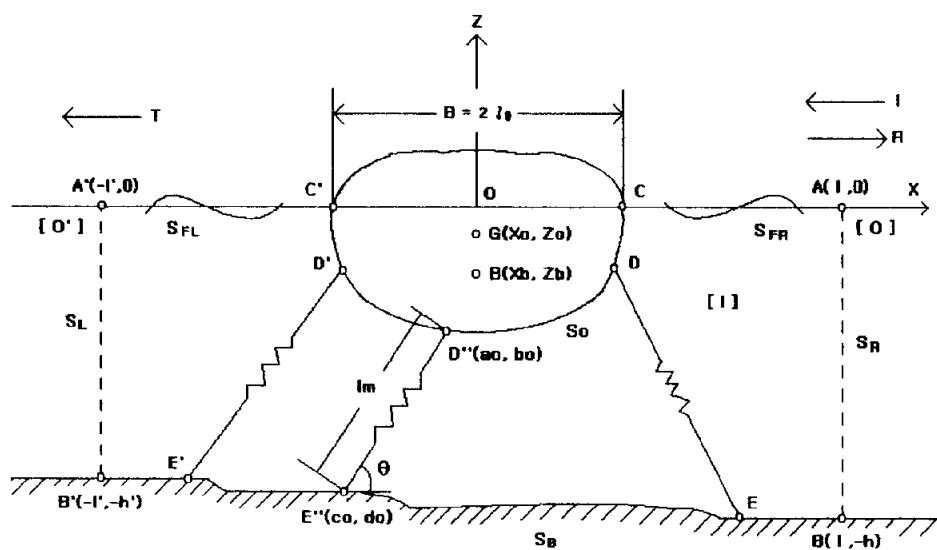


Fig. 1. Coordinate system for moored floating body.

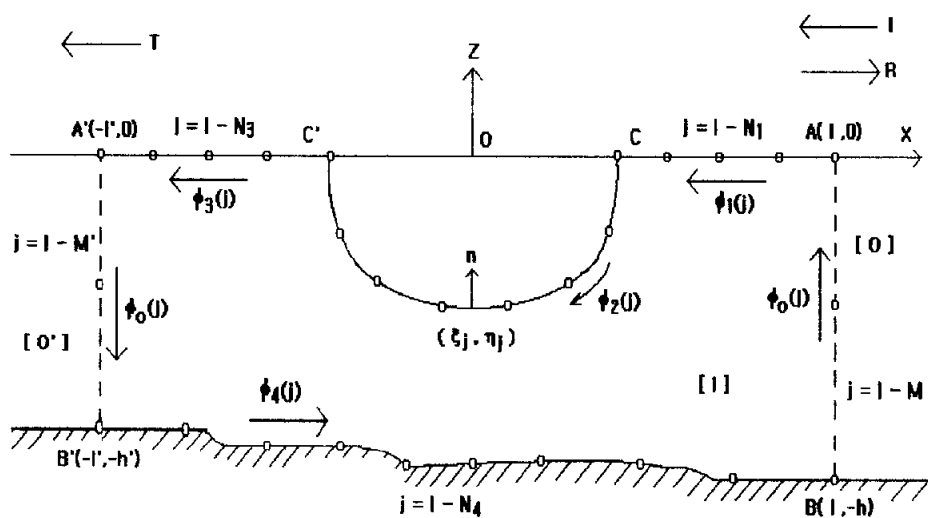


Fig. 2. Definition of boundary segments and potential functions.

$$\overline{E}_I = \frac{\rho g}{8} H_i^2 \quad (4)$$

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.

$$\begin{aligned} 1 &= \left(\frac{H_r}{H_i} \right)^2 + \left(\frac{H_t}{H_i} \right)^2 \\ &= K_r^2 + K_t^2 \end{aligned} \quad (5)$$

즉, 반사계수의 제곱과 투과계수의 제곱의 합은 1이 된다.

본 논문에서 사용된 반사-투과문제는 부유체를 중심으로 상당한 거리가 떨어져 있는 전, 후파 사이의 관계를 나타내는 것으로 부유체의 동적거동과 함께 반사, 투과계수 등을 포함한 근사 해석이 가능하다.

유체를 비점성, 비압축성 그리고 유체입자의 유동을 비회전성으로 가정하면 전 유체장은 속도포텐셜을 가지게 되며 그 속도 포텐셜은 유체의 연속방정식을 만족하여야 하므로, Laplace방정식의 해로 표현된다. 또한 그 속도포텐셜은 다음과 같은 자유수면의 조건, 물체표면의 경계조건, 바닥의 조건 및 무한원발산의 방사조건을 만족하여야 한다. 이것을 Fig. 1을 참조하여 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\omega^2}{g} \Phi \right|_{S_F} = 0 \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right|_{S_o} = \vec{V} \cdot \vec{n} \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right|_{S_B} = 0 \quad (9)$$

여기서 S_F , S_O , S_B 는 각각 자유수면, 물체표면, 바닥면을 뜻한다.

위의 식(6)~(9)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,

$$\Phi = \Phi_I + \Phi_R + \Phi_D \quad (10)$$

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

$$\Phi(x, z, t) = \frac{g \zeta_o}{\omega} \phi(x, z) e^{i\omega t} \quad (11)$$

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

Fig.1 에서 가상경계면으로 구분되는 유체영역 [O], [O'] 및 [I]에 있어서의 속도포텐셜 함수는 Green 정리와 부유체의 운동방정식으로부터 결정된다. 즉 앞의 경계치문제의 해는 적분방정식의 형태로 나오는데 이것은 유체경계만을 취급하면 된다.

여기서 Green 함수로서 2차원 기본해석함수인 $\log(1/r)$ 를 도입하면 파를 표현하는 종래의 맥동 소오스에 관련된 복잡한 Kernel함수를 다루는 일을 피할 수 있다.

이제 유체영역 안에 있는 임의점을 $P(x, z)$, 소오스분포점을 $Q(\xi, \eta)$ 라고 하자. ϕ 가 유체영역 내에서 연속인 함수라고 가정하고,

$$S = S_{FR} \cup S_O \cup S_{FL} \cup S_L \cup S_B \cup S_R$$

로 정의되는 경계 S 로 둘러싸여 있는 유체의 영역 안에서, 함수 ϕ 와

$\log(1/r)$ 를 Green's 2nd identity에 적용시키면, 그 영역에서의 포텐셜 $\phi(P)$ 는 경계치와 경계선 상에서의 법선미계수의 항으로 표현된다. 여기서 S_{FR} 은 오른쪽 자유수면, S_O 는 물체표면, S_{FL} 은 왼쪽 자유수면, S_L 은 왼쪽 가상경계면, S_B 은 바닥표면, S_R 은 오른쪽 가상경계면을 뜻한다.

$$2\pi\phi(P) = \oint_S \frac{\partial\phi(Q)}{\partial n} \log\left(\frac{1}{r}\right) ds(Q) - \oint_S \phi(Q) \frac{\partial}{\partial n} \log\left(\frac{1}{r}\right) ds(Q) \quad (12)$$

여기서 $r = \overline{PQ} = \sqrt{(x-\xi)^2 + (z-\eta)^2}$ 이다.

점 P를 경계선 S에 접근시키면, 식(14)는 S상에서 다음과 같이 표현된다.

$$\pi\phi(P) = \oint_S \phi(Q) \frac{\partial}{\partial n} \log r ds(Q) - \oint_S \frac{\partial}{\partial n} \phi(Q) \log r ds(Q) \quad (13)$$

이 적분방정식의 Kernel 함수는 간단한 함수인 소오스 $\log r$ 과 더블릿 $\frac{\partial}{\partial n} \log r$ 의 선형결합으로 구성되어 있으므로 S상의 적분에 의해 속도포텐셜 $\phi(P)$ 를 쉽게 구할 수 있다.

속도포텐셜 $\phi(P)$ 를 수치적으로 구하기 위하여 경계면을 따라 연속적으로 변하는 선소오스를 일정구간에서는 균일세기를 가지는 특이점을 분포하는 근사식으로 만들 필요가 있으며 이를 위하여 먼저 속도포텐셜을 알고자 하는 점에서 그 점에 미치는 전체 특이점들의 영향을 고려하여야 한다.

이제 계류된 부유체 근처에 아무런 제한이 없는 경우에는 국소교란항을 무시할 수 있는 위치에 가상경계면을 택할 수 있으므로, 국소교란항을 무시한 외부경계조건을 사용하여 내부경계조건을 만족하는 경계치문제를 다루어야 한다.

2. 수치계산 방법

Fig. 2 에서 영역 [I]로 둘러쌓여 있는 경계를 각 경계면 당 요소수인 N_i 의 합으로 표시되는 N 개의 작은 요소로 나누어 각 부분의 중심과 길이를 각각 (ξ_j, η_j) 및 Δs_j ($j=1 \cdots N$)로 하고, 포텐셜함수 $\phi(j)$ 를 $\phi(\xi_j, \eta_j)$ 로, 포텐셜함수의 법선미계수를

$$\overline{\phi(j)} = \frac{\partial \phi(\xi_j, \eta_j)}{\partial (n/h_o)} = \int_{h_o} \frac{\partial \phi(j)}{\partial n} \quad (14)$$

로 나타내면, 식(13)은 다음과 같이 쓸 수 있다. 여기서 h_o 는 주어진 문제의 특성장을 표시한다.

$$-\phi(j) + \sum_{j=1}^N [\overline{E_{ij}}\phi(j) - E_{ij}\overline{\phi(j)}] = 0 \quad (i,j=1, \dots, N) \quad (15)$$

E_{ij} 와 $\overline{E_{ij}}$ 는 j 번째 요소 Δs_j 에 걸쳐 적분된 값이며, θ_{ij} 는 점 i (ξ_i, η_i)의 위치에서의 j 번째 요소의 변의 대응각이다. E_{ij} 와 $\overline{E_{ij}}$ 는 경계의 기하학적 형상에 따라 다음과 같이 결정된다.

$$E_{ij} = \frac{1}{\pi} \int_{\Delta s_j} \log\left(-\frac{r_{ij}}{h_o}\right) \frac{ds}{h_o} = \frac{1}{\pi} \log\left(-\frac{r_{ij}}{h_o}\right) \frac{\Delta s_j}{h_o}$$

$$E_{ii} = \frac{1}{\pi} \left(\log \frac{\Delta s_i / h_o}{2} - 1 \right) \Delta \frac{s_i}{h_o}$$

$$E_{ij} = \frac{1}{\pi} \int_{\Delta s_j} h_o \frac{\partial}{\partial n} \log\left(\frac{r_{ij}}{h_o}\right) \frac{ds_j}{h_o} = \frac{\theta_{ij}}{\pi}$$

$$\overline{E_{ii}} = 0 \quad (16)$$

여기서

$$r_{ij} = \sqrt{(\xi_i - \xi_j)^2 + (\eta_i - \eta_j)^2}$$

$$\Delta s_{ij} = \sqrt{(\Delta \xi_i)^2 + (\Delta \eta_j)^2}$$

이다.

좌표계를 중심으로 양의 위치영역 [O]에서의 국소교란항을 무시한 속도포텐셜은

$$w^2 \frac{h}{g} = kh \tanh kh$$

$$A(kz) = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh}$$

일 때,

$$\phi_0(x, z) = e^{ikx} + K_r e^{-ikx} A(kz) \quad (17)$$

와 같이 표현할 수 있으며, 여기서 첫째항은 입사파의 속도포텐셜 성분이고 둘째항은 반사파의 속도포텐셜이다.

또한 음의 위치영역 [O']에서의 국소교란항을 무시한 속도포텐셜은

$$\phi'_0(x, z) = K_t e^{ik'x} A(k', z) \quad (18)$$

과 같이 표현되며 이것은 투과파 성분을 나타내며, 여기서

$$w^2 \frac{h'}{g} = k'h' \tanh k'h'$$

$$A(k'z) = \frac{\cosh k'(z+h')}{\cosh k'h'}$$

이다.

가상경계 내부영역의 포텐셜함수는 국소교란항을 포함하지 않는 외부경계조

건을 만족하여야 하는데, $AB(x=l)$ 와 $A'B'(x=-l')$ 상에서의 속도포텐셜과 법선방향의 미계수인 $\phi_0, \bar{\phi}_0$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_0(l, z) = \{e^{ikl} + K_r e^{-ikl}\} A(kz) \quad (19)$$

$$\bar{\phi}_0(l, z) = i\lambda_0 \{e^{ikl} - K_r e^{-ikl}\} A(kz) \quad (20)$$

$$\phi'_0(-l', z) = K_t e^{-ik'l'} A(k'z) \quad (21)$$

$$\phi_0(-l', z) = -i\lambda'_0 K_t e^{ik'l'} A(k'z) \quad (22)$$

여기서

$$\lambda_0 = kh, \quad \lambda'_0 = k'h'$$

이다.

식 (19)~(22)에서 보면, 가상경계면 AB 및 A'B'상에서의 유일한 미지수는 K_r 과 K_t 이다. 연립 1차 방정식 (26)에는 이들이 하나의 미지수로서 포함되지만, 깊이에 따른 E_{ij} 와 $\bar{E}_{ij}$ 의 영향은 포함하기 위하여 깊이방향의 요소를 세분하여야 할 필요가 있다.

자유수면의 경계조건인 식 (7)은 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{\phi}(x, z) = \gamma \phi(x, z) \quad (23)$$

여기서

$$\gamma = \frac{w^2 h_o}{g}$$

이다.

부유체의 물수표면상의 점 (x, z) 에서의 $\bar{\phi}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\bar{\phi}(x, z) = i\gamma \left\{ \frac{X}{\xi_0} \frac{dz}{ds} - \frac{\textcircled{H} h_0}{\xi_0} \left(\frac{x - \bar{x}_o}{h_0} \frac{dx}{ds} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{z - \bar{z}_0}{h_o} \frac{dz}{ds} \right) \right\}\end{aligned}\quad (24)$$

바닥경계의 법선속도 성분은 없으므로 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{\phi}(x, z) = 0 \quad (25)$$

이상과 같이 $\bar{\phi}$ 는 ϕ 자체를 포함하거나 다른 미지수 $X, Z, \textcircled{H}$ 로 표현되므로, 이것들을 식 (15)에 대입하면 식 (26)과 같은 일련의 연립 1차방정식을 얻게 된다. 여기서 각 경계선 $S_{FR}, S_O, S_{FL}, S_L, S_B, S_R$ 상에서의 속도포텐셜 함수는 각각 $\phi_1(j), \phi_2(j), \phi_3(j), \phi_0'(j), \phi_4(j), \phi_0(j)$ 로 표시되며 경계요소수는 각각 N_1, N_2, N_3, M, N_4, M 개로 분할한다. $\bar{\phi}_1$ 와 $\bar{\phi}_3$ 는 (23) 식을, $\bar{\phi}_2$ 는 (24) 식을, $\bar{\phi}_4$ 는 (25) 식을, ϕ_0 와 $\bar{\phi}_0$ 및 ϕ_0' 와 $\bar{\phi}$ 는 (19)~(22) 식을 사용하여 식 (15)에 대입하면 다음의 연립 1차방정식이 얻어진다.

$$\begin{aligned}& \sum_{j=1}^{N_1} (\delta_{ij} + \bar{E}_{ij} - rE_{ij}) \phi_1(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_2} (-\delta_{ij} + \bar{E}_{ij}) \phi_2(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_3} (-\delta_{ij} + \bar{E}_{ij} - rE_{ij}) \phi_3(j) \\ & + \sum_{j=1}^{N_4} (-\delta_{ij} + \bar{E}_{ij}) \phi_4(j) \\ & - i\gamma \left\{ \sum_{j=1}^{N_2} E_{ij} \frac{\Delta z_j}{\Delta s_j} \frac{X}{\xi_0} - \sum_{j=1}^{N_2} E_{ij} \frac{\Delta x_j}{\Delta s_j} \frac{Z}{\xi_0} \right\}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{j=1}^{N_2} E_{ij} \left(\frac{x_j - \bar{x}_o}{h_0} \frac{\Delta x_j}{\Delta s_j} + \frac{z_j - \bar{z}_o}{h_0} \frac{\Delta z_j}{\Delta s_j} \right) \oplus \frac{h_o}{\zeta_0} \Big\} \\
& + K_r e^{-ikl} \left\{ -\delta_{pi} A(kz_p) + \sum_{j=1}^M F_{ij} A(kz_j) \right\} \\
& + K_t e^{-ikl} \left\{ -\delta_{qi} A(k'z_p) + \sum_{j=1}^M F_{ij} A(k'z_j) \right\} \\
& = e^{ikl} \left\{ -\delta_{pi} A(kz_p) - \sum_{j=1}^M F_{ij}^* A(kz_j) \right\} \\
& \quad (i, j = 1, \dots, N) \tag{26}
\end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned}
F_{ij} &= \bar{E}_{ij} + i\lambda_o E_{ij} \\
F_{ij} &= \bar{E}_{ij} + i\lambda_o' E_{ij} \\
F_{ij}^* &= \bar{E}_{ij} - i\lambda_o E_{ij}
\end{aligned} \tag{27}$$

이며, δ_{ij} 는 Kronecker's delta 이다.

p 와 q 는 가상경계면 S_R 과 S_L 상의 외부경계조건을 만족시키는 대표점으로, 중심점을 택하였다.

식 (26)은 미지수로서 경계요소에 해당하는 포텐셜과 반사, 투과계수와 함께 부체의 3가지 운동성분을 포함하고 있는데 반하여, 방정식의 수는 가상경계를 제외한 경계요소와 양쪽 가상경계로부터의 두개의 식이 얻어진다. 따라서 부체의 좌우동요(sway), 상하동요(heave) 및 횡동요(roll)의 운동과 속도포텐셜의 관계가 필요하다.

부체의 좌우동요, 상하동요 및 횡동요의 운동형태에 대한 운동방정식은

Newton의 제 2 법칙으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M \frac{d^2 x_o}{dt^2} = P_x + \sum_{i=1}^n F_x^{(i)} \quad (28)$$

$$M \frac{d^2 z_o}{dt^2} = P_z + F_{sz} + \sum_{i=1}^n F_z^{(i)} \quad (29)$$

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} = M_{D\theta} + M_{s\theta} + \sum_{i=1}^n M_{\theta}^{(i)} \quad (30)$$

여기서 M은 질량이고, I 는 부체의 관성모멘트이다. 식 (28)~(30)의 좌변은 부체의 운동에 따른 힘이고, 우변의 F_{sz} , $M_{s\theta}$ 는 유체정역학적 복원력효과, P_x , P_z , $M_{D\theta}$ 는 유체동역학적 효과이다. $F_x^{(i)}$, $F_z^{(i)}$, $M_{\theta}^{(i)}$ 는 i 번째 계류삭의 효과이다.

부유체의 단위길이 당 질량 M, 관성모멘트 I, 침수용적 V를 유체의 밀도와 특성장으로 표시하면 다음과 같다.

$$M = \rho \nu_1 h_o^2$$

$$I = \rho \nu_2 h_o^4$$

$$V = \nu_3 h_o^2$$

여기서 ν_1 , ν_2 , ν_3 는 무차원상수로서 부체의 형상과 밀도분포, 계류삭의 초기인장에 의해 값이 달라진다.

유체정역학적 압력에 의한 수직복원력과 모우먼트는 다음과 같다.

$$F_{sz} = -2\rho g l_o Z \exp(i\omega t) \quad (31)$$

$$M_{s\theta} = W \cdot GM \cdot \cos \theta = W(BM - KG)\theta$$

$$= -\rho g V \frac{2}{3} \frac{l_o^3}{V} - (z_o - \bar{z}_b) \oplus \exp(i\omega t) \quad (32)$$

부체중심에 대한 유체동역학적 힘들과 모우먼트는 몰수면 상의 압력과 모우먼트 적분에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} P_x &= \int P \cos(n, x) ds \\ &= -i\rho g \zeta_o \exp(i\omega t) \int \phi(x, z) dz \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} P_z &= \int P \cos(n, z) ds \\ &= i\rho g \zeta_o \exp(i\omega t) \int \phi(x, z) dx \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} M_{D\theta} &= \int P - (x - \bar{x}_o \cos(n, z) + (z - \bar{z}_o) \cos(n, x) ds \\ &= i\rho g \zeta_o \exp(i\omega t) \int \phi(x, z) [(x - \bar{x}_o) dx + (z - \bar{z}_o) dz] \end{aligned} \quad (35)$$

Fig.1 에서와 같이 i 번째의 계류점이 D(a_{oi} , b_{oi})와 E(c_{oi} , d_{oi})에 묶여 있고, 스프링상수 C_i , 길이 l_{mi} , 초기장력 F_{mi} , 계류삭이 해저면과 만드는 계류각을 ε_i 라고 하면 계류삭이 부체 중심에 미치는 선형화 된 힘들과 모우먼트들은 계류삭의 관성력과 항력을 무시하면 다음과 같다.

$$F_x^{(i)} = \{ -C_{xx}^{(i)} X - C_{xz} Z + C_{x\theta}^{(i)} \oplus \} \exp(i\omega t) \quad (36)$$

$$F_z^{(i)} = \{ -C_{zx}^{(i)} X - C_{zz} Z + C_{z\theta}^{(i)} \oplus \} \exp(i\omega t) \quad (37)$$

$$M_{\theta x}^{(i)} = \{ C_{x\theta}^{(i)} X + C_{z\theta} Z - C_{\theta\theta}^{(i)} \oplus \} \exp(i\omega t) \quad (38)$$

여기서 S_{mi} , f_{mi} 를 다음과 같이 둘 때, C_{xx} 등은 선형스프링 상수로서

부체의 변위에 따른 기하학적 관계로부터 유도된다.

$$S_{mi} = b_{oi} - \bar{z}_o - (a_{oi} - \bar{x}) \tan \varepsilon_i$$

$$f_{mi} = F_{mi} / l_{mi}$$

$$C_{xx}^{(i)} = (C_i - f_{mi}) \cos^2 \varepsilon_i + f_{mi}$$

$$C_{xz}^{(i)} = C_{zx}^{(i)} = (C_i - f_{mi}) \cos \varepsilon_i \sin \varepsilon_i$$

$$C_{x\theta}^{(i)} = C_{\theta z}^{(i)} = (C_i - f_{mi}) S_i \cos^2 \varepsilon_i - f_{mi} (\bar{z}_o - b_{oi})$$

$$C_{zz}^{(i)} = (C_i - f_{mi}) \sin^2 \varepsilon_i + f_{mi}$$

$$C_{z\theta}^{(i)} = C_{\theta z}^{(i)} = [C_i S_i + f_{mi} (\bar{z}_o - b_{oi})] \cos \varepsilon_i \sin \varepsilon_i \\ + f_{mi} (\bar{x}_o - a_{oi}) \cos^2 \varepsilon_i$$

$$C_{\theta\theta}^{(i)} = S_i [C_i S_i - f_{mi} (b_{oi} - \bar{z}_o)] \cos^2 \varepsilon_i$$

$$+ f_{mi} S_i (a_{oi} - \bar{x}_o \cos \varepsilon_i \sin \varepsilon_i$$

$$+ f_{mi} (C_{oi} - \bar{x}_o) [(b_{oi} - \bar{z}_o) \tan \varepsilon_i$$

$$+ (a_{oi} - \bar{x}_o)] + f_{mi} S_i (b_{oi} - \bar{z}_o)$$

식 (31)~(38)을 식 (28)~(30)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$i \sum_{j=1}^{N_2} \phi_2(j) \frac{\Delta z_i}{h_o} + a_1 \frac{X}{\zeta_o} + C_{XZ} \frac{Z}{\zeta_o} - C_{x\theta} \frac{\textcircled{H} \zeta}{o} \frac{h_o}{o} = 0 \quad (39)$$

$$-i \sum_{j=1}^{N_s} \phi_2 \frac{\Delta x_j}{h_o} + C_{ZX} \frac{X}{\xi_o} + a_2 \frac{Z}{\xi_o} - C_{Z\theta} \frac{\textcircled{H} h_o}{\xi_o} = 0 \quad (40)$$

$$i \sum_{j=1}^{N_s} \phi_2(j) \left[\frac{x_j - \bar{x}_o}{h_o} \frac{\Delta x_j}{h_o} + \frac{z_j - \bar{z}_o}{h_o} \frac{\Delta z_j}{h_o} \right] + C_{\theta X} \frac{X}{\xi_o} \\ + C_{\theta Z} \frac{Z}{\xi_o} - a_3 \frac{\textcircled{H} h_o}{\xi_o} = 0 \quad (41)$$

여기서 a_1, a_2, a_3 및 $c_{XX}, c_{XZ}, c_{X\theta}$ 는 다음과 같다.

$$a_1 = c_{XX} - \nu_1 \gamma$$

$$a_2 = c_{ZZ} + \frac{2 l_o}{h_o} - \nu_1 \gamma$$

$$a_3 = c_{\theta\theta} + \frac{2}{3} \left(\frac{l_o}{h_o} \right)^3 - \nu_3 \frac{\overline{z - z_o}}{h_o} - \nu_2 \gamma$$

$$c_{XX} = \frac{1}{\rho g h_o} \sum_{i=1}^n c_{XX}^{(i)}$$

$$c_{X\theta} = \frac{1}{\rho g h_o} \sum_{i=1}^n c_{X\theta}^{(i)}$$

$$c_{\theta\theta} = \frac{1}{\rho h h_o} \sum_{i=1}^n c_{\theta\theta}^{(i)}$$

III. 결과 및 고찰

1. 프로그램 검증

가상경계법을 이용한 본 방법의 계류부유체의 운동특성의 재현검증을 위해 원형단면에 대하여 Ijima 등⁽²⁾의 것과 비교하였다. 검증을 위한 Input data는 Table 1이며 원형단면의 기하학적 형상은 Fig. 3에 나타내었다.

계산결과의 비교는 투과·반사계수, Sway, Heave, Roll motion, 동유체력, 계류력에 대해서 수행하였다.

투과계수 및 motion responses 에 대해서는 Ijima 등의 수치결과 및 실험결과에 대해서 비교하였고, 반사계수, 동유체력, 계류력에 대해서는 Ijima 등의 수치결과와 비교하였다.

Fig. 4의 투과계수의 경우 Ijima 등의 실험 및 계산치와 비교적 근사한 값을 나타내고 있다. Fig. 5의 반사계수의 경우 Ijima 등의 계산치와 잘 일치하고 있다. Fig. 6의 Sway motion의 경우 본 논문의 결과가 약간 큰 값을 나타내지만 Fig. 7 및 Fig. 8의 Heave와 Roll motion은 아주 근사한 값을 보이며, Fig. 9 및 Fig. 10의 동유체력이나 계류력도 두 결과가 전반적으로 잘 일치하고 있다.

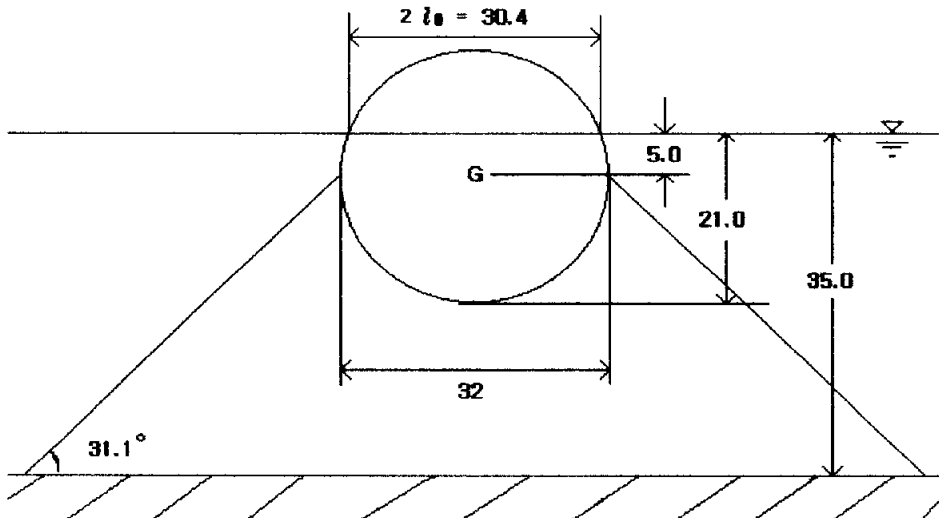


Fig. 3. Configuration of moored Circular cylinder for pre-modeling test.

Table 1. Input data for pre-modeling test.

Dimensions of open-spring moored Circular cylinder		Non-dimensions of open-spring moored Circular cylinder	
parameters	moored	parameters	moored
l_0	15.2 m	l_0 / h_0	0.4343
a_0	17.2 m	a_0 / h_0	0.5
b_0	-5.4985 m	b_0 / h_0	-0.1571
c_0	64.0 m	c_0 / h_0	1.8286
d_0	-35.0 m	d_0 / h_0	-1.0
spring constant(k)	80.9 t/m	$k / \rho g h_0$	0.2312
initial tension(f_0)	49.1 t/m	$f_0 / \rho g h_0$	0.1002
weight	341.04 t	weight for the unit length. v_1	0.2784
moment of inertia	$55223 \text{ t} \cdot \text{m}^2$	moment of inertia for the unit length. v_2	0.0368
volume	558.97 m^3	volume for the unit length. v_3	0.4563
ε	31.1°	ε	148.9
deep	35 m	h_0	35.0

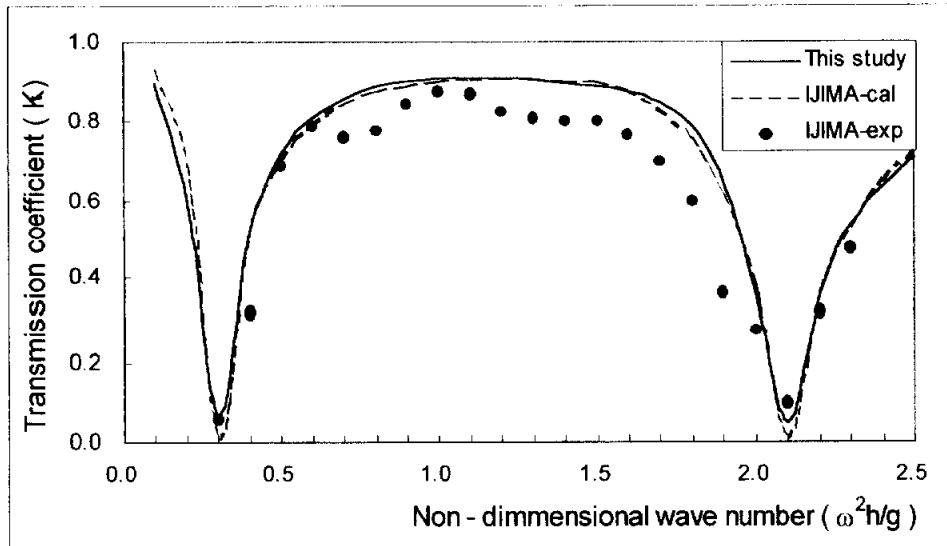


Fig. 4. Transmission coefficient for pre-modeling test.

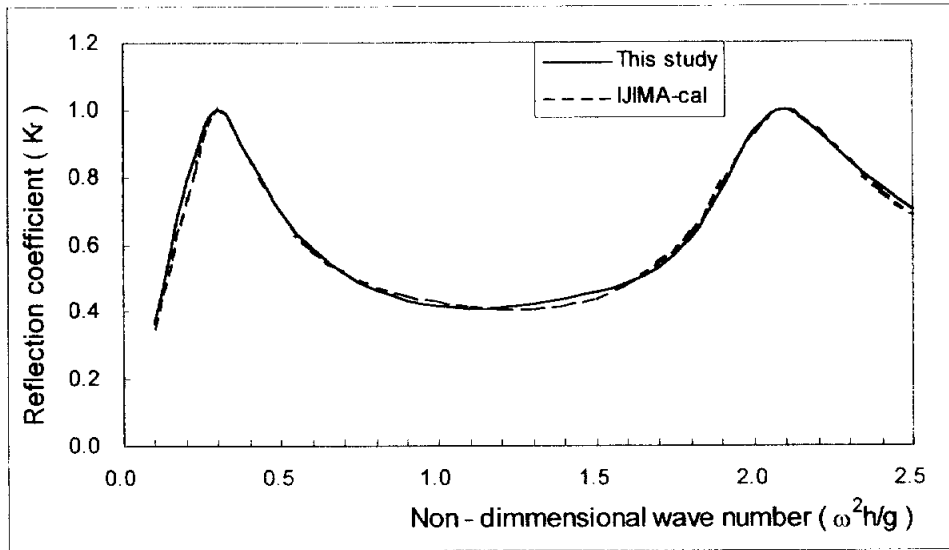


Fig. 5. Reflection coefficient for pre-modeling test.

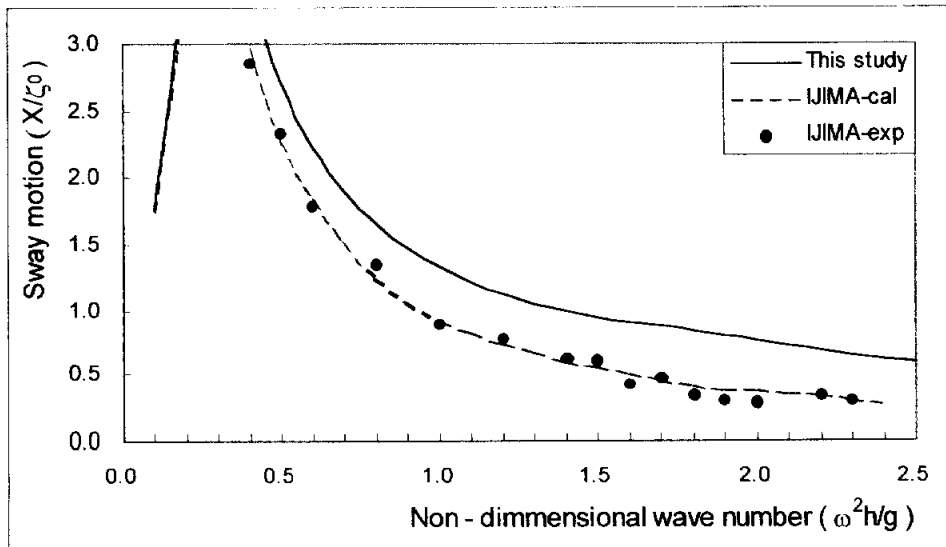


Fig. 6. Sway motion for pre-modeling test.

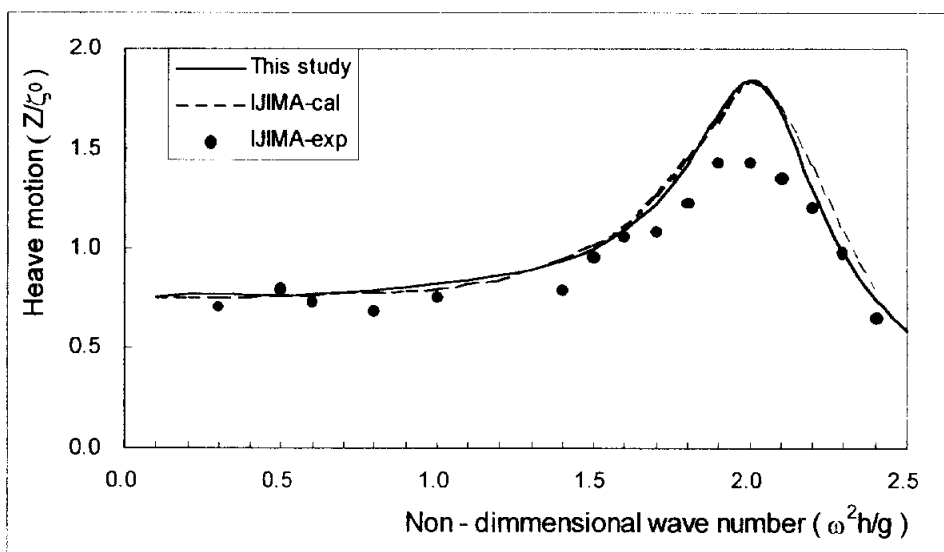


Fig. 7. Heave motion for pre-modeling test.

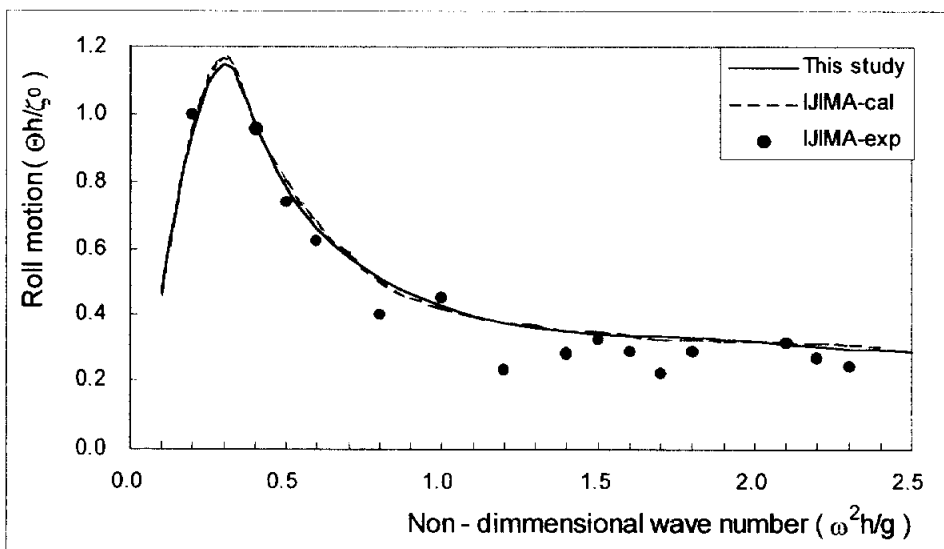


Fig. 8. Roll motion for pre-modeling test.

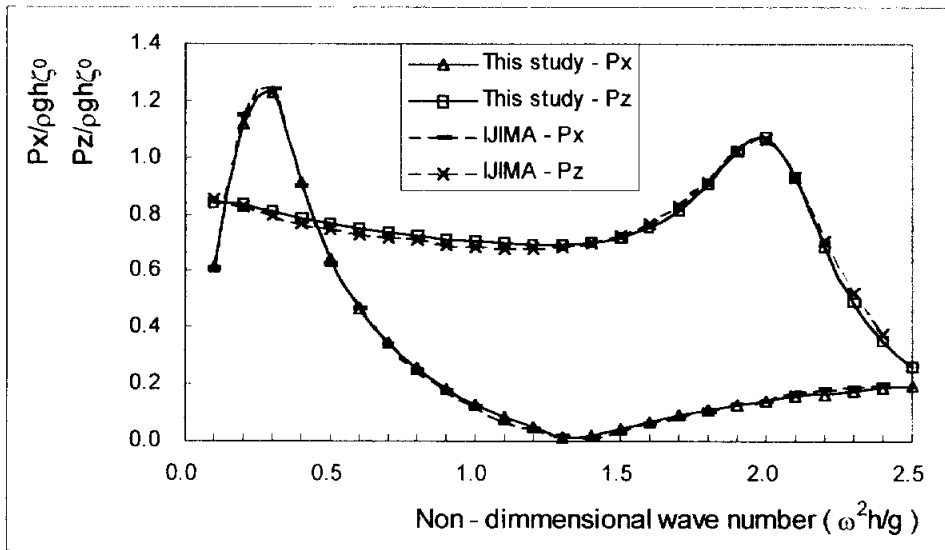


Fig. 9. Hydrodynamic pressure force for pre-modeling test.

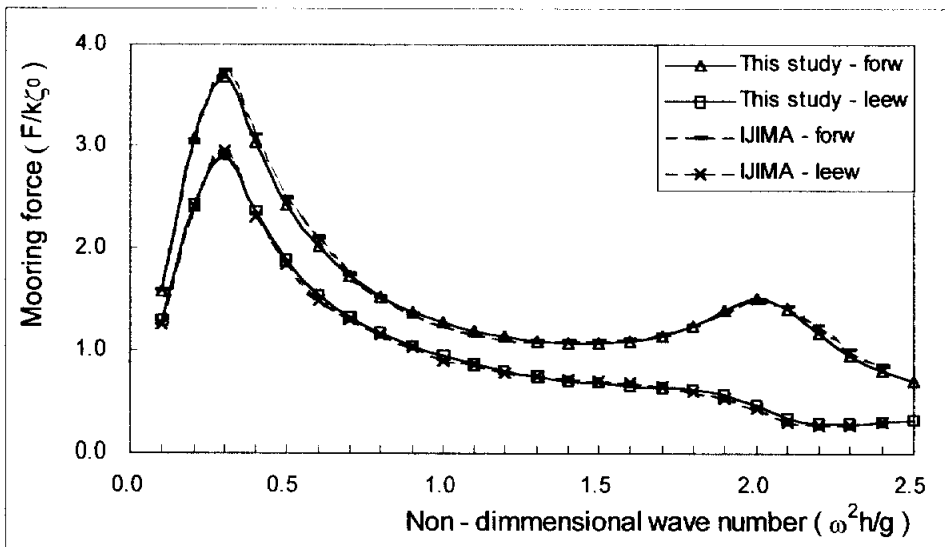


Fig. 10. Mooring force for pre-modeling test.

2. 형상에 대한 비교

부소파제의 형상과 $\omega^2 h/g$ 에 따른 투과율에 대하여 Fig. 11~13과 같이 원형, 사각형, 쌍동형 소파제를 비교하였다.

천해역영역에서 파랑의 운동은 비산란이고 부유체는 대칭구조이며 탄성계류방식으로 계류되어 있다고 가정하였다.

각각의 부소파제는 중량, 폭, 홀수, 계류점, 계류각 등이 같은 경우에 대하여 계산되었다.

Fig. 14는 쌍동형 소파제의 좌표를 나타낸 것으로 파랑은 -X 방향으로 진행하며 각 좌표간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$AHL = - AHR \quad AL1 = - AR2$$

$$AL2 = - AR1 \quad AH2 = - AH$$

Fig. 15는 쌍동형 소파제의 경계요소를 나타낸 것으로 N1, L1, L2,, N5, N6 는 경계요소수에 해당하며 N1, N2, N3 는 수표면, L1, L2는 구조물 표면, N4, N6는 각각 좌우 경계면, N5는 바닥경계를 나타낸다. 배정된 요소수는 N1=20, L1=5, L2=5, N2=10, N3=20, N4=3, N5=135, N6=3 이다.

원형, 사각형, 쌍동형에 대한 Input data는 각각 Table 2~4이다. Fig. 16은 형상에 대한 비교결과를 나타낸 것으로 $\omega^2 h/g$ 가 0.7~1.3 까지는 쌍동형이 좋은 소파효과를 보인다. $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후에서는 원형이 사각형과 쌍동형보다 좋은 소파효과를 보이며 $\omega^2 h/g = 2.7$ 이후에서는 원형과 쌍동형이 사각형보다 좋은 소파효과를 보인다.

수심 50m에 대한 $\omega^2 h/g$ 에 따른 주기(T) 및 파장(L)은 [부록 1]과 같다.

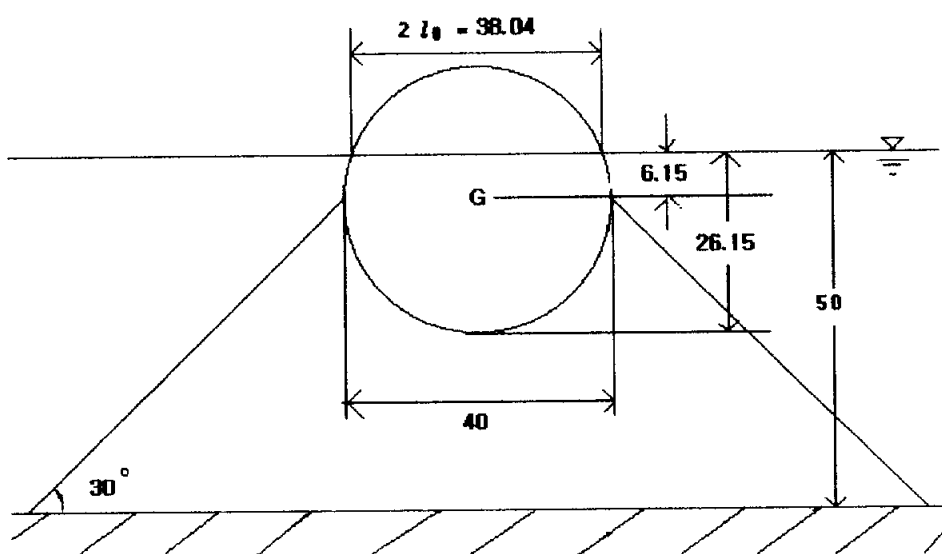


Fig. 11. Configuration of side-spring moored circular cylinder.

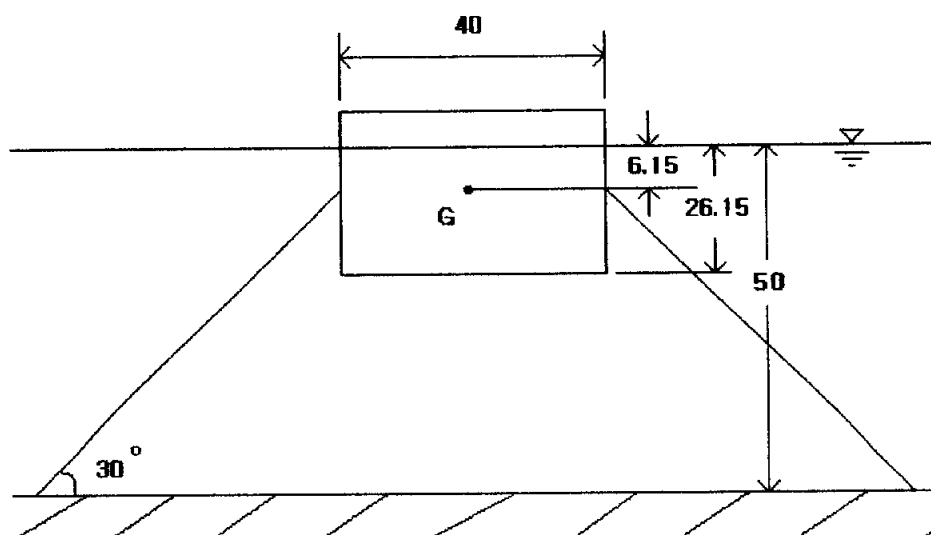


Fig. 12. Configuration of side-spring moored rectangular cylinder.

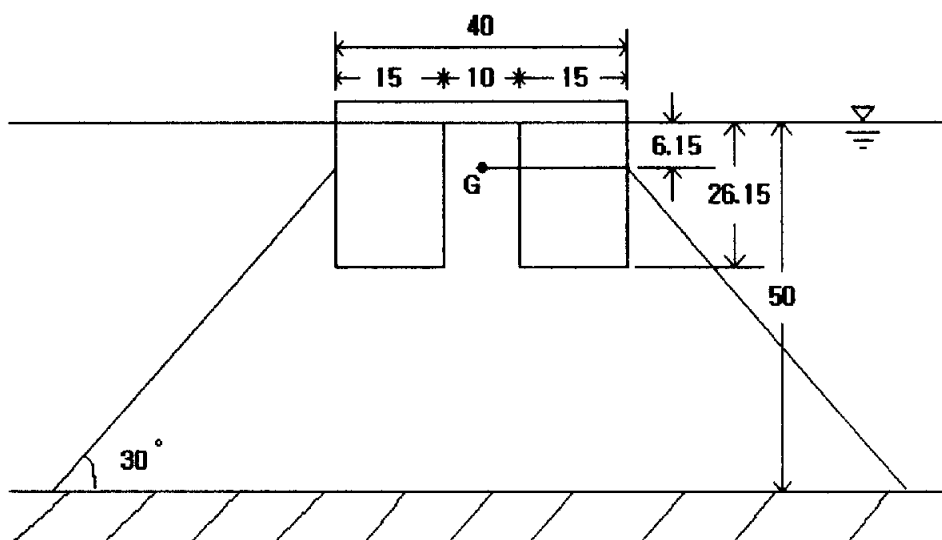


Fig. 13. Configuration of side-spring moored catamaran cylinder.

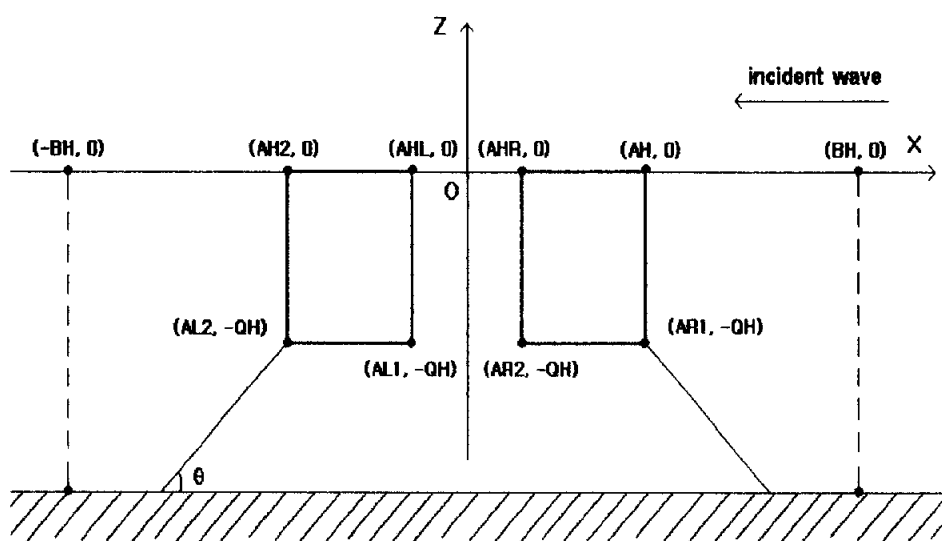


Fig. 14. Coordinate system for catamaran.

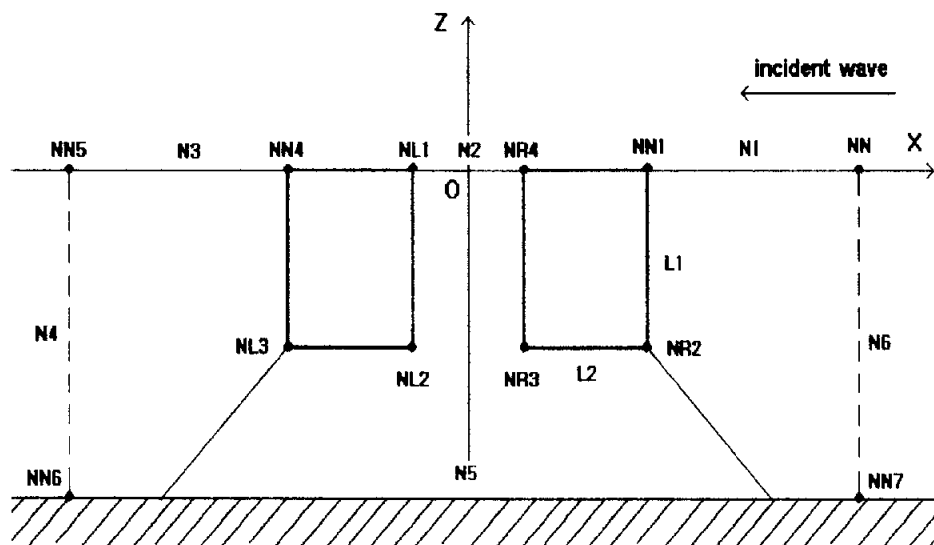


Fig. 15. Definition of boundary segments for catamaran.

Table 2. Input data of circular cylinder.

Dimensions of open-spring moored Circular cylinder		Non-dimensions of open-spring moored Circular cylinder	
parameters	moored	parameters	moored
l_0	19.02 m	l_0 / h_0	0.3804
a_0	20 m	a_0 / h_0	0.4
b_0	-6.15 m	b_0 / h_0	-0.123
c_0	95.95 m	c_0 / h_0	1.919
d_0	-50 m	d_0 / h_0	-1.0
spring constant(k)	70 t/m	$k / \rho g h_0$	0.1429
initial tension(f_0)	46.4 t/m	$f_0 / \rho g h_0$	0.0947
weight	1200 t	weight for the unit length. v_1	0.4800
moment of inertia	158125 t · m ²	moment of inertia for the unit length. v_2	0.0253
volume	753.5 m ³	volume for the unit length. v_3	0.3014
ε	30.0 °	ε	150.0
deep	50 m	h_0	50.0

Table 3. Input data of rectangular cylinder.

Dimensions of open-spring moored Rectangular cylinder		Non-dimensions of open-spring moored Rectangular cylinder	
parameters	moored	parameters	moored
l_0	20 m	l_0 / h_0	0.4
a_0	20 m	a_0 / h_0	0.4
b_0	-6.15 m	b_0 / h_0	-0.123
c_0	95.95 m	c_0 / h_0	1.919
d_0	-50 m	d_0 / h_0	-1.0
spring constant(k)	70 t/m	$k / \rho g h_0$	0.1429
initial tension(f_0)	64.386 t/m	$f_0 / \rho g h_0$	0.1314
weight	1200 t	weight for the unit length. v_1	0.4800
moment of inertia	205000 t · m ²	moment of inertia for the unit length. v_2	0.0328
volume	1046 m ³	volume for the unit length. v_3	0.4184
ε	30.0 °	ε	150.0
deep	50 m	h_0	50.0

Table 4. Input data of catamaran.

Dimensions of open-spring moored Catamaran cylinder		Non-dimensions of open-spring moored Catamaran cylinder	
parameters	moored	parameters	moored
l_0	20 m	l_0 / h_0	0.4
a_0	20 m	a_0 / h_0	0.4
b_0	-6.15 m	b_0 / h_0	-0.123
c_0	95.95 m	c_0 / h_0	1.919
d_0	-50 m	d_0 / h_0	-1.0
spring constant(k)	70 t/m	$k / \rho g h_0$	0.1429
initial tension(f_0)	48.265 t/m	$f_0 / \rho g h_0$	0.0985
weight	1200 t	weight for the unit length. v_1	0.4800
moment of inertia	177500 t · m ²	moment of inertia for the unit length. v_2	0.0284
volume	784.5 m ³	volume for the unit length. v_3	0.3138
ε	30.0 °	ε	150.0
deep	50 m	h_0	50.0

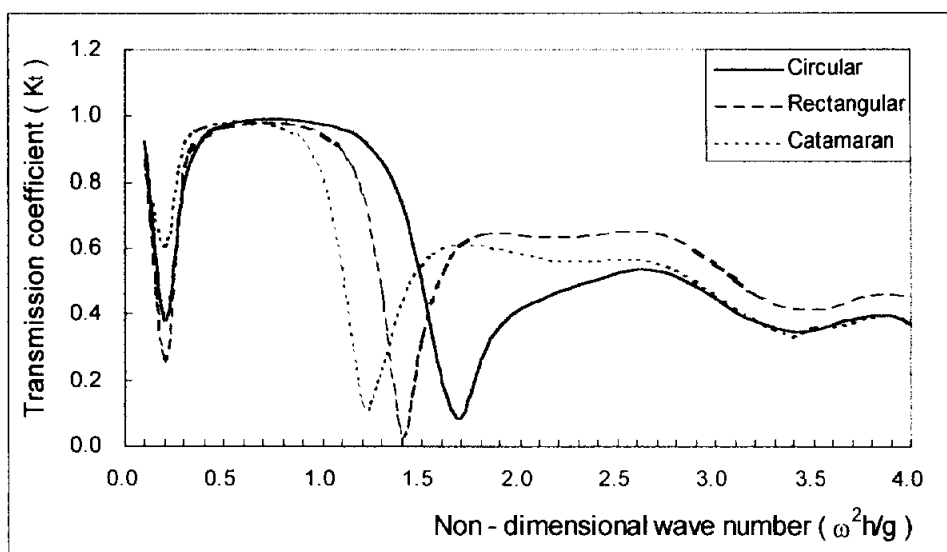


Fig. 16. Comparison of K_t with type of floating breakwater.

3. 계류삭의 배치에 대한 비교

사각형 부소파제의 경우에 있어서 계류삭의 배치에 따라 Fig. 12, 17, 18과 같이 side, bottom, cross 의 경우에 대해서 비교하였다. 각각의 부소파제는 중량, 폭, 흘수가 같은 경우이며, 계류각 및 계류점에 대한 Input data는 Table 5와 같다. Fig. 19는 계류각이 30° 로 동일한 경우에서의 비교결과이며, Fig. 20은 바닥 계류점이 동일한 경우의 비교결과를 나타낸다. Fig. 19에서 $\omega^2 h/g$ 가 0.3~1.3 까지는 side와 bottom에 비하여 cross가 좋은 소파효과를 보이고 $\omega^2 h/g = 1.4$ 이후에서는 bottom이 좋은 소파효과를 보인다. Fig. 20에서는 side, bottom, cross에 대한 투과율의 변화 양상이 거의 비슷하지만 Fig. 19에서와 마찬가지로 $\omega^2 h/g$ 가 0.3~1.3 까지는 side와 bottom에 비하여 cross가 좋은 소파효과를 보이고 $\omega^2 h/g = 1.4$ 이후에서는 bottom이 좋은 소파효과를 보인다.

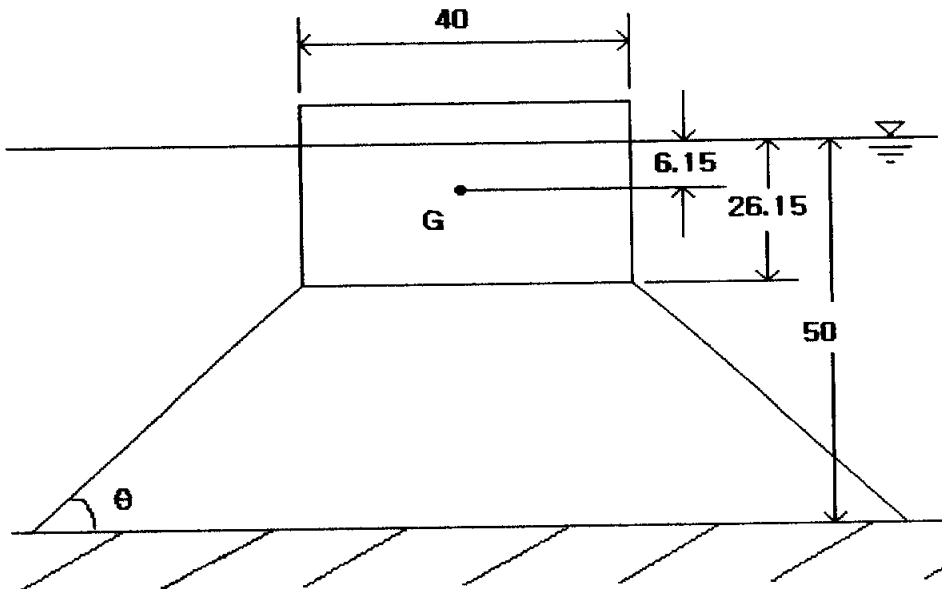


Fig. 17. Configuration of bottom-spring moored rectangular cylinder.

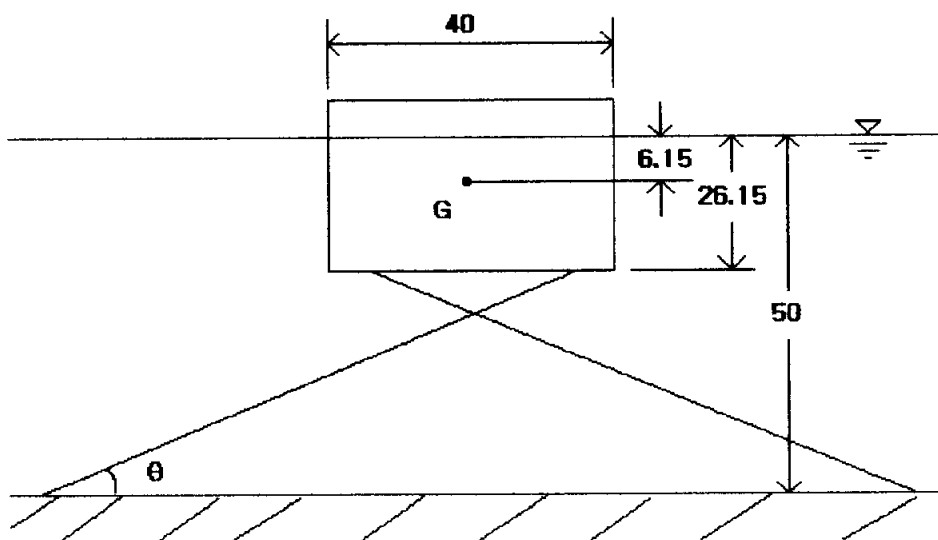


Fig. 18. Configuration of cross-spring moored rectangular cylinder.

Table 5. Input data for mooring system.

	case of the same mooring angle on the bottom of the sea			case of the same mooring point on the bottom of the sea		
type	Rectangular side	Rectangular bottom	Rectangular cross	Rectangular side	Rectangular bottom	Rectangular cross
mooring angle	30 ° (150)	30 ° (150)	30 ° (150)	30 ° (150)	17.43 ° (162.57)	11.62 ° (168.38)
a_0 / h_0	20 (0.4)	20 (0.4)	-20 (0.4)	20 (0.4)	20 (0.4)	-20 (0.4)
b_0 / h_0	-6.15 (-0.123)	-26.15 (-0.523)	-26.15 (-0.523)	-6.15 (-0.123)	-26.15 (-0.523)	-26.15 (-0.523)
c_0 / h_0	95.950 (1.919)	61.31 (1.226)	21.31 (0.426)	95.950 (1.919)	95.950 (1.919)	95.950 (1.919)
d_0 / h_0	-50 (-1)	-50 (-1)	-50 (-1)	-50 (-1)	-50 (-1)	-50 (-1)

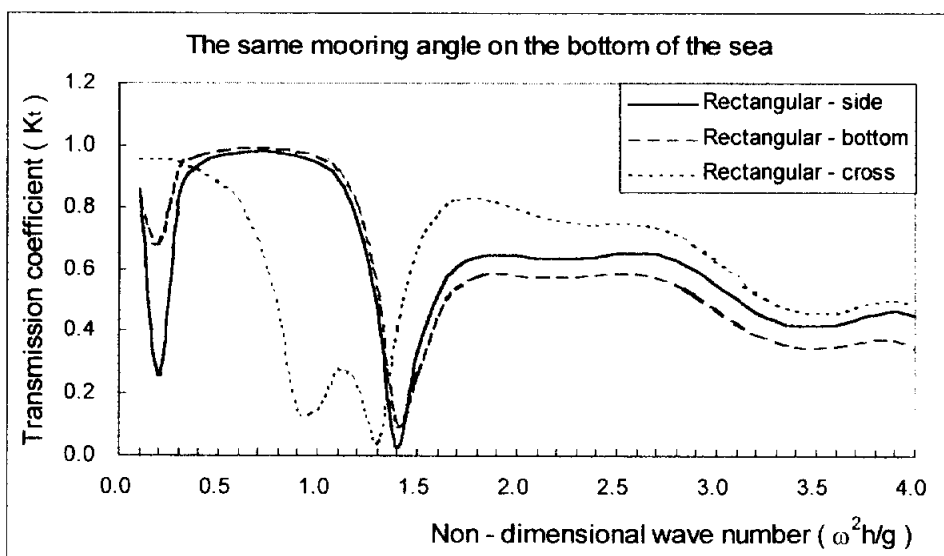


Fig. 19. Comparison of the mooring system for the same mooring angle.

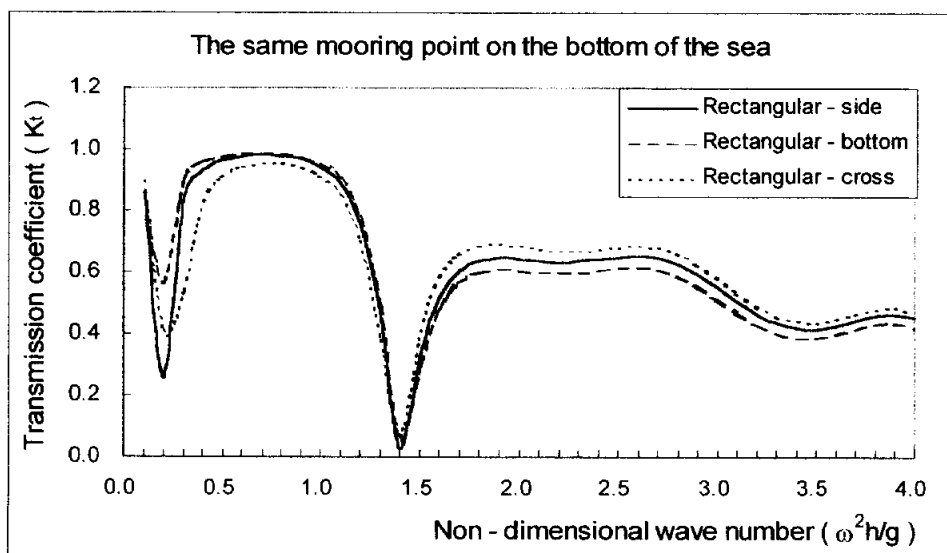


Fig. 20. Comparison of mooring system for the same mooring point.

4. Dual catamaran의 경우

4.1 거리에 따른 투과와 운동특성

해양에서의 유류오염사고 발생시 파랑의 영향으로 인한 누유수거 작업의 난점을 최소화하기 위하여 방제선 및 오일스키머의 전면에 부소파제 설치를 생각할 수 있다. 이에 본 논문에서는 누유 수거 작업능률의 최대화를 위하여 catamaran형 오일스키머의 전면에 catamaran형 부소파제를 설치할 경우 즉, Dual catamaran에 대하여 부소파제와 오일스키머의 거리에 따른 투과와 운동에 대해서 고찰하였다.

Dual catamaran의 data는 Fig. 21~23과 같은 off-set 으로부터 선체의 중간부분에 해당하는 5,6,7 frame의 data를 이용하였다. Water level 4m에 대한 각 frame의 data는 Table 6과 같다. 그리고 Dual catamaran의 투과와 운동계산을 위한 Input data는 Table 7과 같다.

Fig. 24에서 파랑은 -X 방향으로 진행하며 두 구조물의 중심간 거리는 S 로 나타내었다. 그리고 각 좌표간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

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

여기서 두 구조물의 중심간 거리 S는 20~100m로 하였으며 계산상에서는 수심으로 나눈 무차원화된 $S = 0.4 \sim 2.0$ 으로 입력된다.

Fig. 25에서 N1, L1, L2,, N5, N6 는 경계요소수에 해당하며 N1, N2R, N2, N2L, N3는 수표면, L1, L2, L3, L4 는 구조물 표면, N4, N6는 각각 좌우 경계면, N5 는 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.

먼저 부소파제 후면의 오일스키머에 미치는 파랑의 영향을 알아보기 위하여 Fig. 26과 같이 두 catamaran 구조물의 중심간의 거리 S에 대한 S' 즉, 거리 S에 따른 오일스키머의 0.25m 전면에서 투과를 계산하였으며 그 계산 결과는 Fig. 27과 같다.

Fig. 27에서 $\omega^2 h/g = 2.5$ 까지는 $S=0.4 \sim 2.0$ 에 해당하는 S'에서는 투과계수의 차이가 거의 없고 $\omega^2 h/g = 2.5$ 이후 S'에 따라 약간의 차이를 보인다.

두 catamaran 구조물의 중심간의 거리 20m에서 100m까지를 수심으로 나눈 무차원수 S 는 0.4로부터 0.2간격씩 늘려 2.0까지 9가지 경우에 대해 투과 및 운동성능은 계산되었다. 이에 대한 계산 결과는 Fig. 28~31과 같다.

Fig. 28에서 sway의 경우 S 가 0.4부터 2.0까지 $\omega^2 h/g = 1.5$ 와 1.6을 제외한 모든 $\omega^2 h/g$ 에서 sway 운동진폭을 입사파 진폭으로 나눈 무차원 sway값 즉, X/ζ_0 값이 1이하로 작으나 $\omega^2 h/g = 1.5$ 에서 $S=0.8$ 의 경우 X/ζ_0 값이 3.46으로 커지고, $\omega^2 h/g = 1.6$ 에서 $S=0.4$ 의 경우 X/ζ_0 값이 3.31로 커진다.

Fig. 29에서 heave의 경우 $\omega^2 h/g = 1.5$ 까지는 두 catamaran의 중심간의 거리 S 가 작을수록 heave 운동진폭을 입사파 진폭으로 나눈 무차원 heave값 즉, Z/ζ_0 값이 큰 값을 가진다. 이것은 두 catamaran 구조물의 중심간의 거리가 가까울수록 두 구조물간의 상호작용에 의한 파랑중첩효과로서 Z/ζ_0 값이 크게 나타나는 것으로 생각된다. 그리고 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후에 $S=0.4$ 를 제외한 간격들은 각각 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 Z/ζ_0 값이 커진다.

Fig. 30에서 roll의 경우 S 가 0.4부터 2.0까지의 모든 간격들은 전체적으로 감소하는 경향을 보인다. 하지만 roll의 경우에는 초기값이 $S=2.0$ 에서 $\Theta h/\zeta_0=5.82$ 로 가장 큰 값을 갖고 S 가 작아질수록 $\Theta h/\zeta_0$ 값도 작아지며 $S=0.4$ 에서 $\Theta h/\zeta_0=1.17$ 로 가장 작은 값을 갖는다. 또한 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후에 $S=0.4$ 와 1.0을 제외한 간격들의 경우 각각 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 $\Theta h/\zeta_0$ 의 값이 커진다. 이것은 heave의 경우와 비교해 볼 때 각 간격들에서 발생하는 운동변화 및 그 발생 $\omega^2 h/g$ 의 위치가 거의 일치하는 경향을 보인다.

Fig. 31에서 투과계수의 경우 $S=0.4\sim 2.0$ 즉, 부소파제와 오일스키머의 중심간 거리가 20m~100m의 경우에서 파장이 작아지면 투과가 적어지는 일반적인 경향과 일치한다. 그러나 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후에 $S=0.4$ 와 1.0을 제외한 간격들은 각각 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 투과가 커진다. 이것은 heave와 roll의 운동변화와 거의 일치하는 것으로서 투과계수에 미치는 heave와 roll의 영향이 큰 것으로 생각된다.

따라서, 오일스키머의 누유 회수시에 작업능률효과는 투과만 아니라 운동성능의 영향도 고려해야 할 것이다. 그러므로 본 논문에서 고찰한 catamaran형 부소파제와 오일스키머의 경우에 있어서는 운동성능 및 투과계수에서 비교적 안정된 결과를 보이는 간격 $S=1.0$ 즉, 부소파제와 오일스키머의 중심 간 거리를 50m의 경우로 유지하는 것이 누유 수거시 유리할 것으로 생각된다. 간격 $S=1.0$ 에 대한 운동성능의 결과는 Fig. 32와 같다.

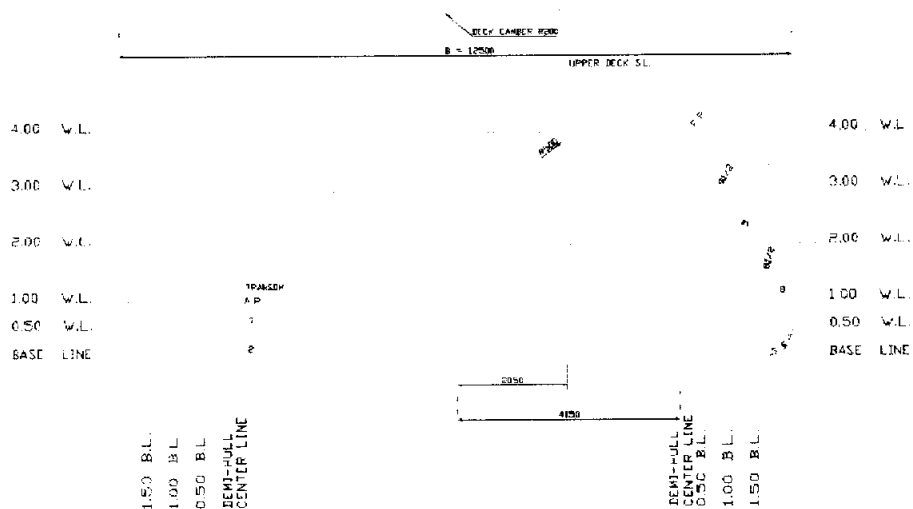


Fig. 21. Cross section of Catamaran.

OFF - SET TABLE									
HALF BREADTH FROM C. L.									
STA.	KEEL	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	UDK.	STA.	
NO.	LINE	W.L.	W.L.	W.L.	W.L.	W.L.	S.L.	NO.	
A.P.	-	-	1585	1837	1877	1917	1961	A.P.	
1	-	1620	1924	1954	1984	2013	2046	1	4.00 W.L.
2	-	2040	2045	2056	2067	2078	2090	2	
3	1250	2100	2100	2100	2100	2100	2100	3	
4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	4	3.00 W.L.
5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	5	
6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	6	
7	1250	2100	2100	↓	↓	↓	↓	7	2.00 W.L.
8	965	1621	1923	2100	2100	↓	↓	8	
8 1/2	485	1052	1393	1816	2020	2100	2100	8 1/2	
9	66	425	731	1205	1558	1837	2009	9	1.00 W.L.
9 1/2	-	-	43	412	856	1282	1704	9 1/2	
F.P.	-	-	-	-	-	336	1034	F.P.	0.50 W.L.

Fig. 22. Off-set table half breadth from C. L. of Catamaran.

		OFF - SET TABLE								
		HEIGHT ABOVE B. L.								
		STA.	KEEL	0.50	1.00	1.50	UDK.		STA.	
		NO.	LINE	B.L.	B.L.	B.L.	S.L.		NO.	
4.00	W.L.	A.P.	920	920	920	956	5100		A.P.	
		1	460	460	460	465			1	
		2	0	0	0	0			2	
		3							3	
3.00	W.L.	4							4	
		5							5	
		6							6	
2.00	W.L.	7			0	0			7	
		8			0	17	370		8	
		8 1/2		10	442	1213			8 1/2	
1.00	W.L.	9	0	615	1527	2819			9	
		9 1/2	850	2205	3326	4517			9 1/2	
0.50	W.L.	F.P.	3400	4274	5050	-	5100		F.P.	

Fig. 23. Off-set table height above B. L. of Catamaran.

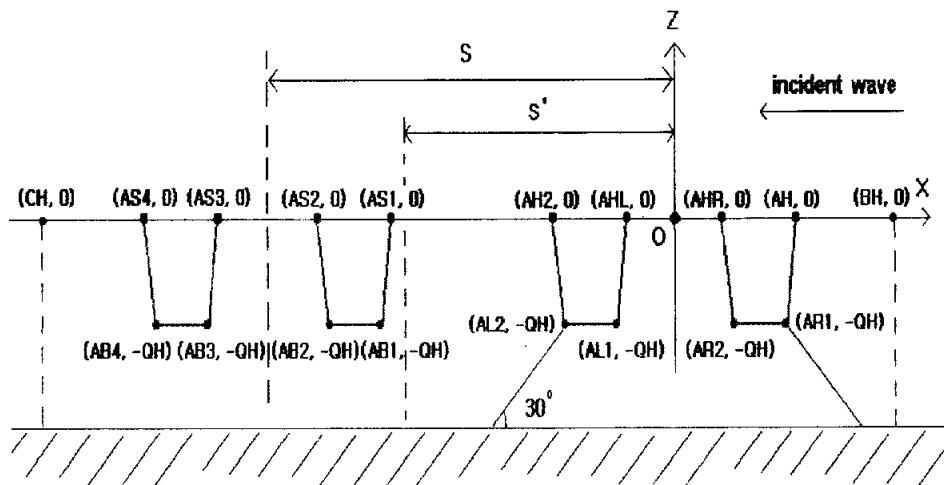


Fig. 24. Coordinate system for Dual catamaran.

Table 6. Data of catamaran(4m).

cord numbering of each frame															
9 1/2		9		8 1/2		8		7 6 5		4 3		2		1	
X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
5.432	0.000	5.987	0.000	6.250	0.000	6.250	0.000	6.250	0.000	6.250	0.000	6.228	0.000	6.163	0.000
5.150	-0.674	5.708	-1.000	6.230	0.400	6.220	-2.500	6.100	-3.820	6.240	-3.490	6.217	-1.000	6.074	-3.000
5.006	-1.000	5.366	-2.000	6.170	-1.000	6.073	-3.000	5.950	-3.910	6.100	-3.876	6.195	-3.000	5.900	-3.325
4.650	-1.795	5.150	-2.473	5.966	-2.000	5.771	-3.500	5.400	-4.000	5.400	-4.000	6.030	-3.880	5.570	-3.540
4.562	-2.000	4.881	-3.000	5.543	-3.000	5.650	-3.630	2.900	-4.000	2.900	-4.000	5.400	-4.000	2.730	-3.540
4.193	-3.000	4.650	-3.385	5.202	-3.500	5.115	-4.000	2.350	-3.910	2.200	-3.876	2.900	-4.000	2.400	-3.325
4.150	-3.150	4.216	-4.000	4.635	-4.000	3.185	-4.000	2.200	-3.820	2.060	-3.490	2.270	-3.880	2.226	-3.000
4.107	-3.000	4.084	-4.000	3.665	-4.000	2.650	-3.630	2.050	0.000	2.050	0.000	2.105	-3.000	2.137	0.000
3.738	-2.000	3.650	-3.385	3.098	-3.500	2.529	-3.500	0.000	0.000	0.000	0.000	2.083	-1.000	0.000	0.000
3.650	-1.795	3.419	-3.000	2.757	-3.000	2.227	-3.000	-2.050	0.000	-2.050	0.000	2.072	0.000	-2.137	0.000
3.294	-1.000	3.150	-2.473	2.334	-2.000	2.080	-2.500	-2.200	-3.820	-2.060	-3.490	0.000	0.000	-2.226	-3.000
3.150	-0.674	2.945	-2.000	2.130	-1.000	2.050	0.000	-2.350	-3.910	-2.200	-3.876	-2.072	0.000	-2.400	-3.325
2.868	0.000	2.592	-1.000	2.070	-0.400	0.000	0.000	-2.900	-4.000	-2.900	-4.000	-2.083	-1.000	-2.730	-3.540
0.000	0.000	2.313	0.000	2.050	0.000	-2.050	0.000	-5.400	-4.000	-5.400	-4.000	-2.105	-3.000	-5.570	-3.540
-2.868	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2.080	-2.500	-5.950	-3.910	-6.100	-3.876	-2.270	-3.880	-5.900	-3.325
-3.150	-0.674	-2.313	0.000	-2.050	0.000	-2.227	-3.000	-6.100	-3.820	-6.240	-3.490	-2.900	-4.000	-6.074	-3.000
-3.294	-1.000	-2.592	-1.000	-2.070	0.400	-2.529	-3.500	-6.250	0.000	-6.250	0.000	-5.400	-4.000	-6.163	0.000
-3.650	-1.795	-2.945	-2.000	-2.130	-1.000	-2.650	-3.630					-6.030	-3.880		
-3.738	-2.000	-3.150	-2.473	-2.334	-2.000	-3.185	-4.000					-6.195	-3.000		
-4.107	-3.000	-3.419	-3.000	-2.757	-3.000	-5.115	-4.000					-6.217	-1.000		
-4.150	-3.150	-3.650	-3.385	-3.098	-3.500	-5.650	-3.630					-6.228	0.000		
-4.193	-3.000	-4.084	-4.000	-3.665	-4.000	-5.771	-3.500								
-4.562	-2.000	-4.216	-4.000	-4.635	-4.000	-6.073	-3.000								
-4.650	-1.795	-4.650	-3.385	-5.202	-3.500	-6.220	-2.500								
-5.006	-1.000	-4.881	-3.000	-5.543	-3.000	-6.250	0.000								
-5.150	-0.674	-5.150	-2.473	-5.966	-2.000										
-5.432	0.000	-5.366	-2.000	-6.170	-1.000										
		-5.708	-1.000	-6.230	-0.400										

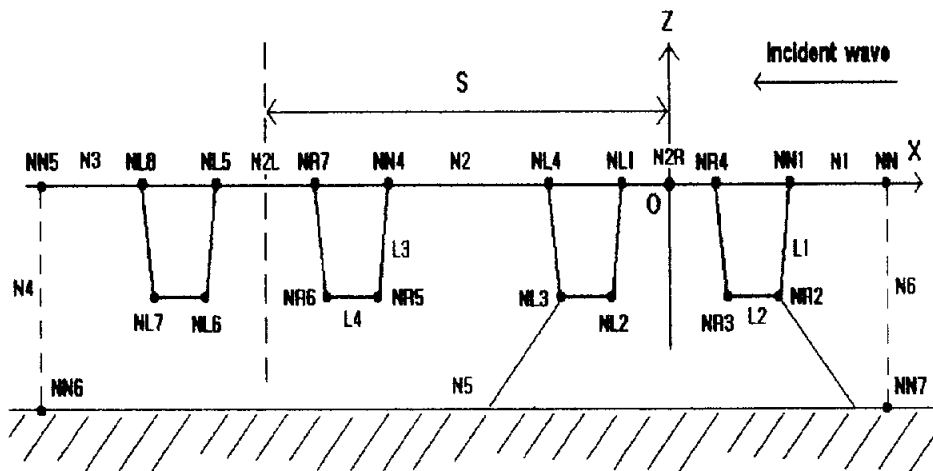


Fig. 25. Definition of boundary segments for Dual catamaran.

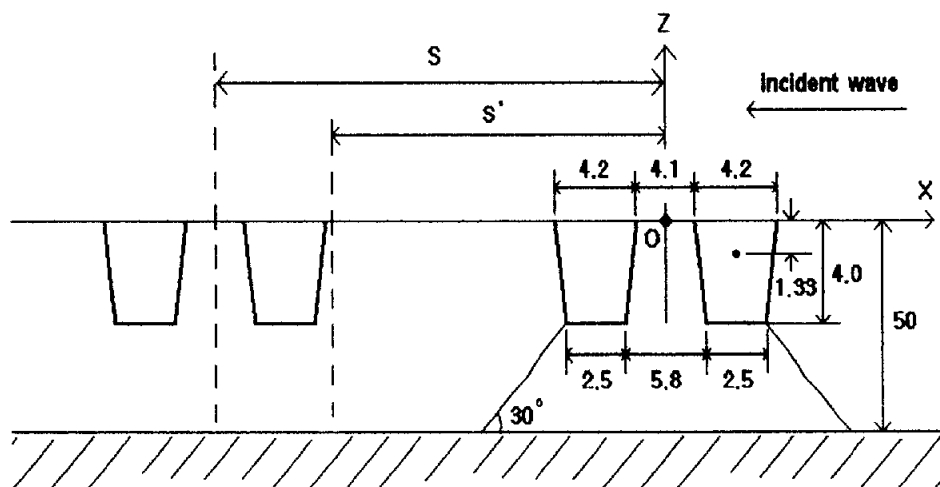


Fig. 26. Configuration of Dual catamaran.

Table 7. Input data of Dual catamaran.

Dimensions of open-spring moored Dual Catamaran cylinder		Non-dimensions of open-spring moored Dual Catamaran cylinder	
parameters	moored	parameters	moored
l_0	5.4 m	l_0 / h_0	0.108
a_0	5.4 m	a_0 / h_0	0.108
b_0	-40 m	b_0 / h_0	-0.8
c_0	85 m	c_0 / h_0	1.7
d_0	-50 m	d_0 / h_0	-1.0
spring constant(k)	70 t/m	$k / \rho g h_0$	0.1429
initial tension(f_0)	48.265 t/m	$f_0 / \rho g h_0$	0.0985
weight	379.25 t	weight for the unit length. v_1	0.1517
moment of inertia	1331.25 t · m ²	moment of inertia for the unit length. v_2	0.000213
volume	367.75 m ³	volume for the unit length. v_3	0.1471
ϵ	30.0 °	ϵ	150.0
deep	50 m	h_0	50.0

Table 8. Input data of horizontal tension.

f_0 (t/m)	25	50	75	100
$f_0 / \rho g h_0$	0.0510	0.1020	0.1531	0.2041

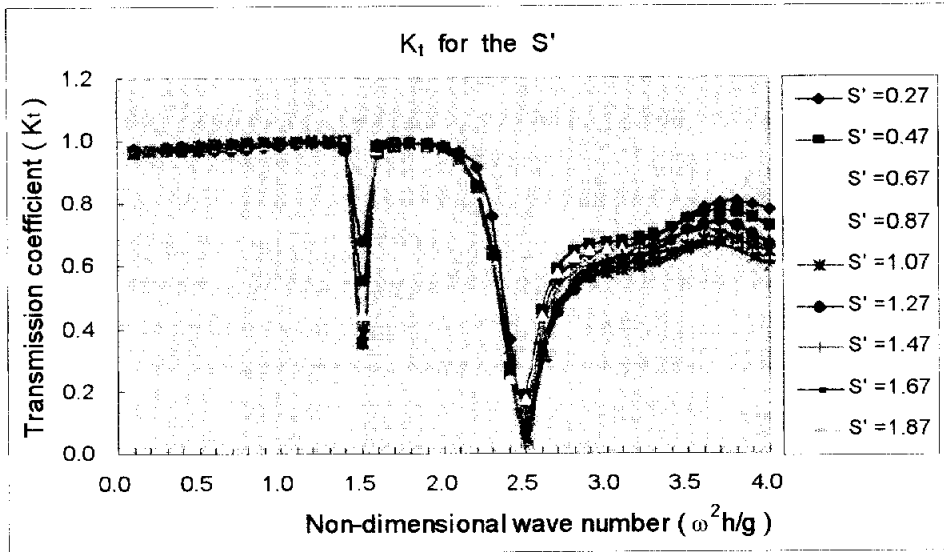


Fig. 27. Transmission coefficient of Dual catamaran with S' .

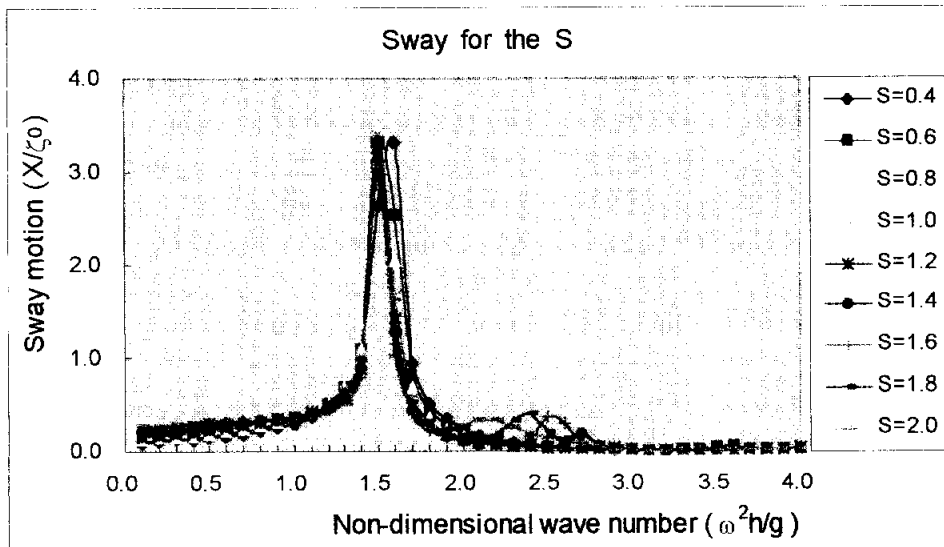


Fig. 28. Sway motion of Dual catamaran with S .

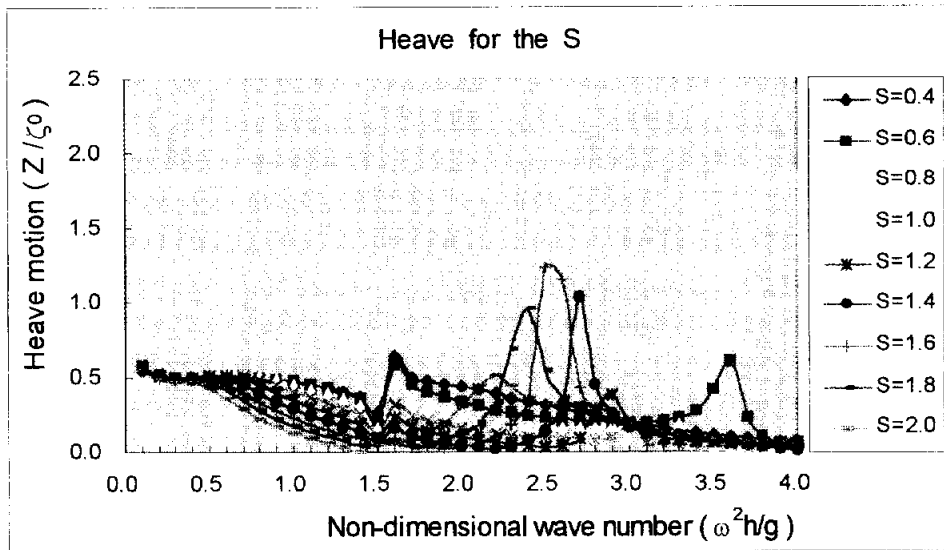


Fig. 29. Heave motion of Dual catamaran with S.

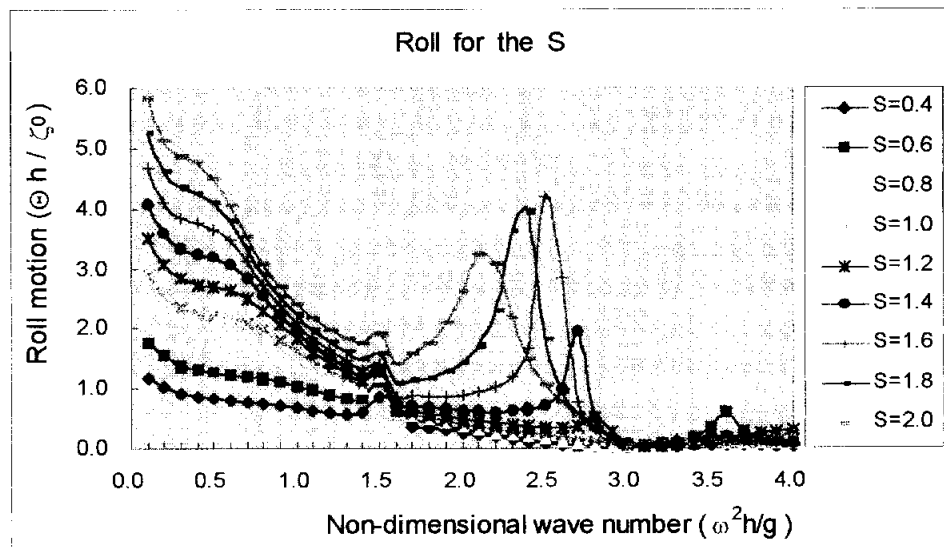


Fig. 30. Roll motion of Dual catamaran with S.

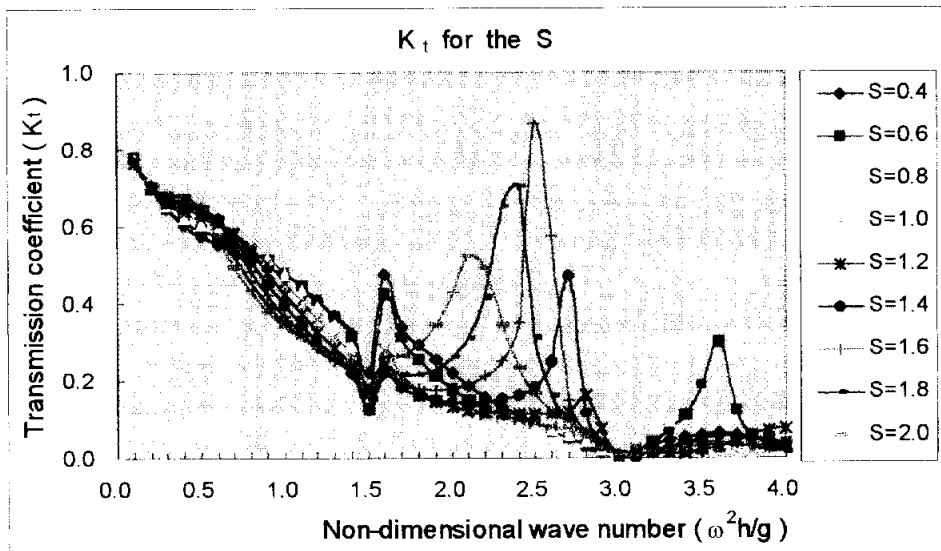


Fig. 31. Transmission coefficient of Dual catamaran with S.

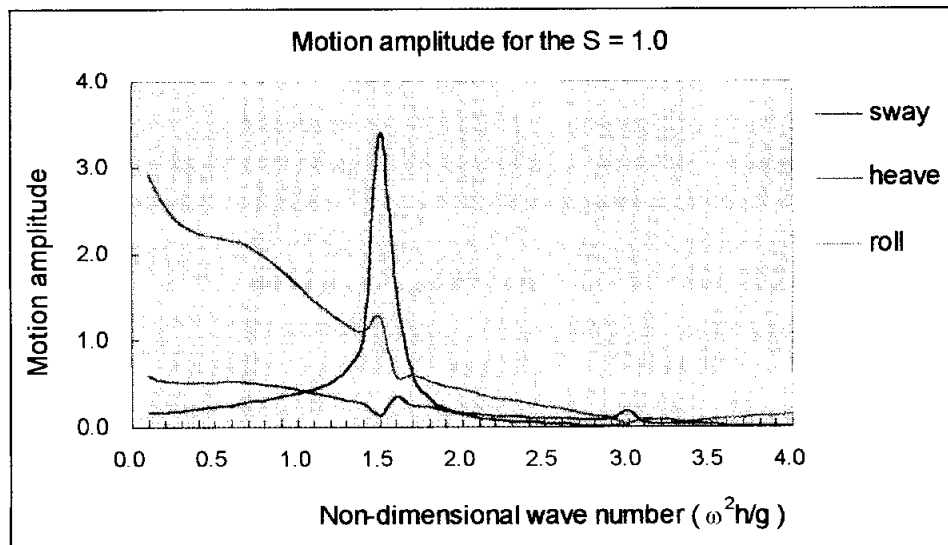


Fig. 32. Motion amplitude of Dual catamaran for $S = 1.0$.

4.2 수평 인장력에 대한 투과와 운동특성

해양에서의 유류오염사고 발생시 부소파제와 계류시스템을 신속히 설치하는데는 난점이 있을 수 있다. 이에 본 논문에서는 저면에 계류시스템을 설치하는 대신에 Fig. 33와 같이 수표면에서 부소파제에 $\pm X$ 방향으로의 인장력을 주는 경우에 대해서 고찰하였다.

두 catamaran 구조물의 중심간 거리는 $S=1.0$ 즉, 중심간 거리가 50m일 경우이며, 인장력은 25~100t/m로 하여 계산하였다. 인장력에 대한 input data는 Table 8과 같고 이에 대한 계산 결과는 Fig. 34~38과 같다.

먼저 오일스키머의 전면에서의 파랑을 알기 위하여 $S=1.0$ 에 해당하는 $S'=0.87$ 에 대하여 인장력 25~100t/m으로 계산하였으며 그 결과는 Fig. 34와 같다.

Fig. 34에서 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후 인장력이 클수록 최소투과계수를 나타내는 $\omega^2 h/g$ 의 위치가 단파쪽으로 이동하는 경향을 보인다.

Fig. 35에서 sway의 경우 전반적으로 인장력이 클수록 sway 운동진폭을 입사파 진폭으로 나눈 무차원 sway값 즉, X/ξ_0 값이 작으며 $\omega^2 h/g = 1.6$ 에서는 인장력 50t/m가 $X/\xi_0 = 30.8$ 로 가장 큰 값을 갖고 인장력 100t/m가 $X/\xi_0 = 2.25$ 로 가장 작은 값을 갖는다.

Fig. 36에서 heave의 경우 전반적으로 인장력이 클수록 heave 운동진폭을 입사파 진폭으로 나눈 무차원 heave 값 즉, Z/ξ_0 값이 작으며 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후 모든 각 인장력 25~100t/m에 따라 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 Z/ξ_0 값이 커진다.

Fig. 37에서 roll의 경우도 heave와 같이 전반적으로 인장력이 클수록 $\Theta h/\xi_0$ 값이 작으며 $\omega^2 h/g = 2.0$ 이후 각 인장력 25~100t/m에 따라 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 $\Theta h/\xi_0$ 값이 약간 커진다.

Fig. 38에서 투과계수의 경우 부소파제와 오일스키머의 중심간 거리가 20m~100m의 경우에 대한 투과계수의 결과와 마찬가지로 파장이 작아지면 투과가 작아지는 일반적인 경향과 일치한다. 그리고 $\omega^2 h/g = 1.5$ 이후 각 인장력 25~100t/m에 따라 각각 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 투과가 커지는데 이것은 오일스키머의 운동에 기인하며 특히 heave의 영향이 큰 것으로 생각된다.

본 논문에서 고찰한 수표면에서 X방향으로의 인장력에 따른 catamaran형 부소파제와 오일스키머의 경우에 있어서는 전반적으로 인장력이 클수록 motion responses가 작음을 알 수 있다. 또한 인장력이 큰 경우에서도 큰 투과를 보이는 $\omega^2 h/g$ 가 존재함을 알 수 있다.

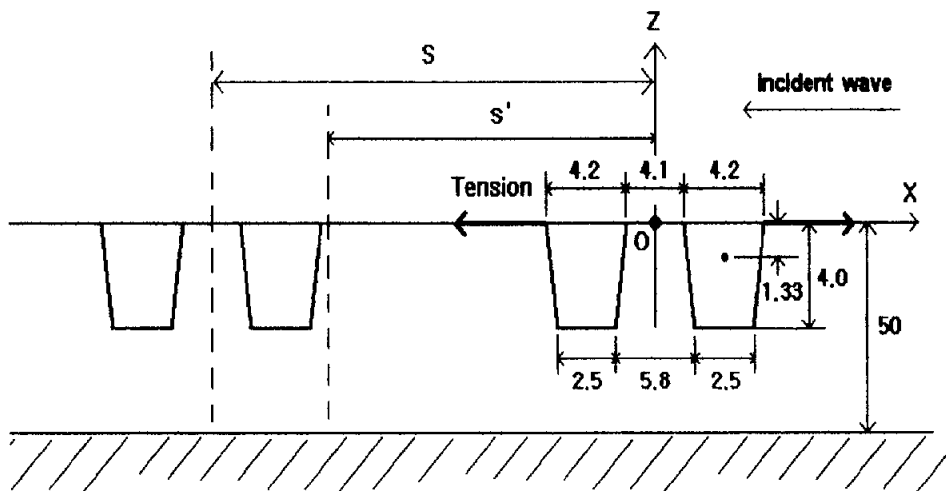


Fig. 33. Configuration of Dual catamaran with tension.

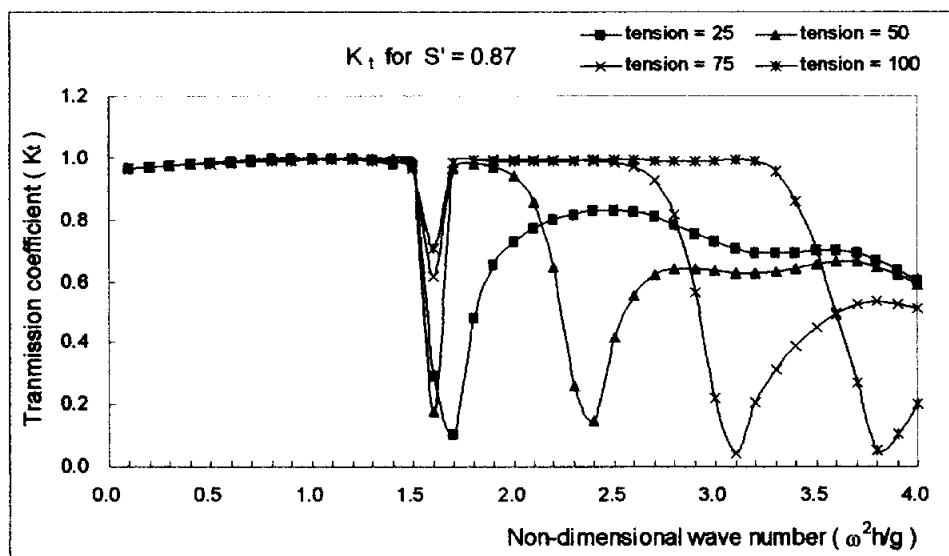


Fig. 34. Transmission coefficient of Dual cata. with tension for $S'=0.87$.

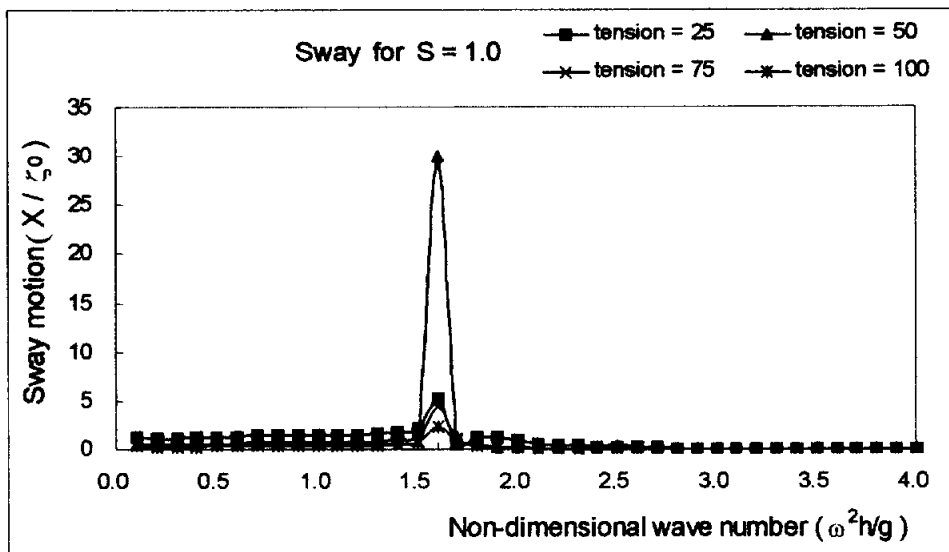


Fig. 35. Sway motion of Dual catamaran with tension for S=1.0.

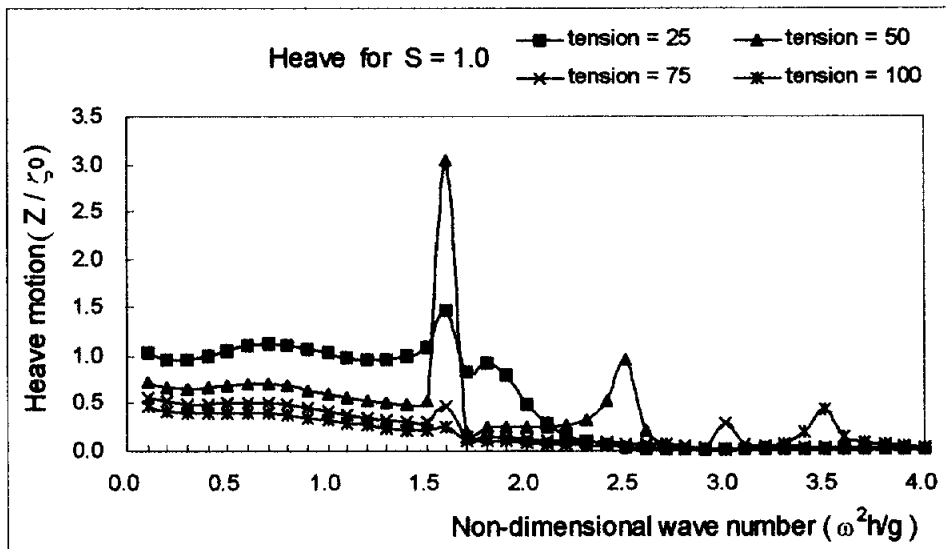


Fig. 36. Heave motion of Dual catamaran with tension for S=1.0.

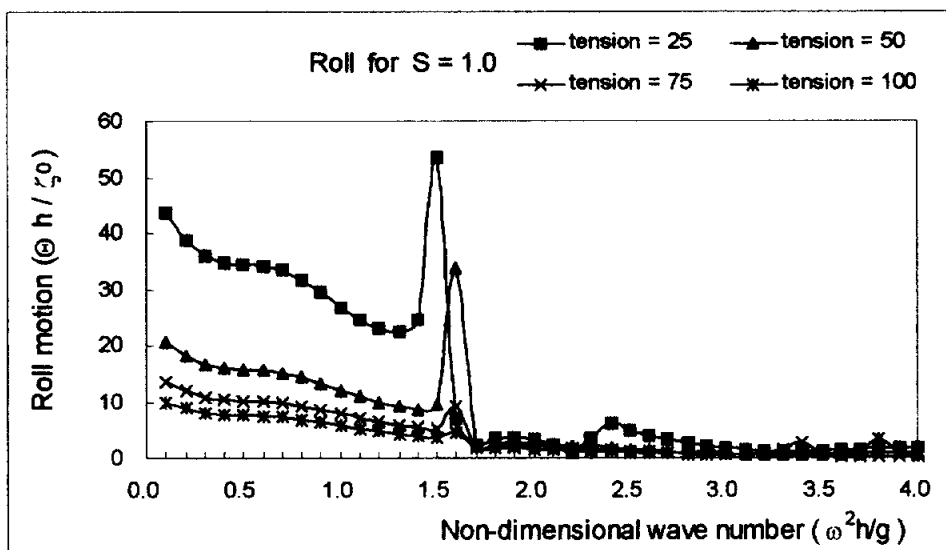


Fig. 37. Roll motion of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.

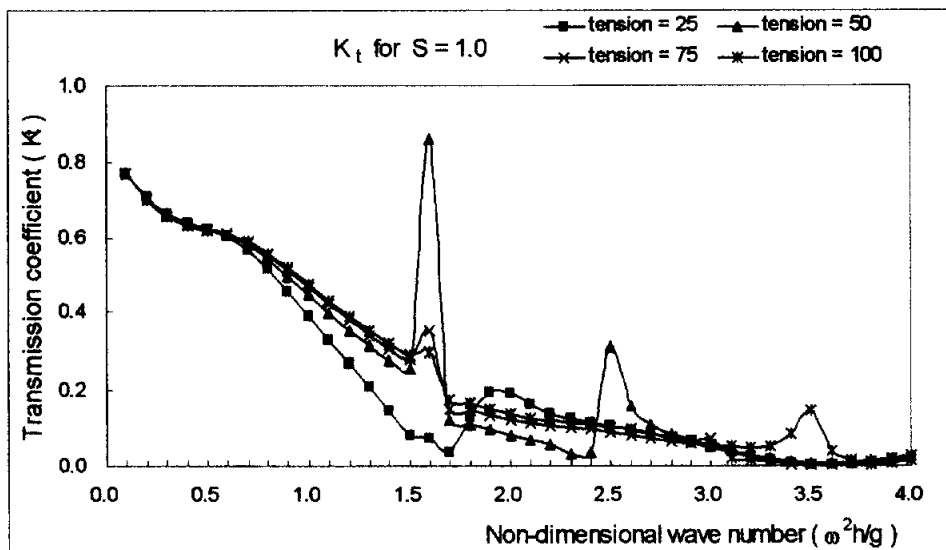


Fig. 38. Transmission coefficient of Dual catamaran with tension for $S=1.0$.

IV. 결 론

본 논문은 원형, 사각형 및 catamaran형 부소파제를 중심으로 형상 및 계류삭에 따른 소파효과에 대하여 고찰하고, 해양에서의 유류오염사고 발생시 catamaran형 오일스키머 전면에 catamaran형 부소파제를 설치할 경우 부소파제와 오일 스키머의 중심간 거리에 대한 투과 및 운동성능과 계류시스템 설치가 불가할 때 수표면에서 부소파제에 $\pm X$ 방향으로 인장력을 주는 경우에 대하여 인장력에 따른 투과 및 운동성능을 고찰하였다.

본 논문의 수치해석기법의 검증을 위하여 원형단면에 대한 투과 및 반사계수와 motion responses, 동유체력, 계류력에 대하여 Ijima 등⁽²⁾의 것과 비교하였다. Sway motion의 경우 본 논문의 결과가 약간 큰 값을 나타내지만 투과·반사계수, Heave와 Roll motion 및 동유체력이나 계류력에서는 Ijima의 수치 및 실험 결과와 전반적으로 잘 일치하였다.

부소파제의 형상에 따른 소파효과를 비교하기 위하여 중량, 폭, 흘수, 계류각이 같은 조건하에 원형, 사각형, 쌍동형 형상에 대하여 비교하였다. 비교적 장파영역인 $\omega^2 h/g$ 가 0.7~1.3 에서는 쌍동형이 좋은 소파효과를 보이고, $\omega^2 h/g = 2.7$ 이후에서는 원형과 쌍동형이 사각형에 비하여 좋은 소파효과를 보인다. 따라서 장파영역에서는 쌍동형 형상의 부소파제가 유리하며, 단파영역에서는 사각형보다 원형과 쌍동형 형상의 부소파제가 유리할 것으로 생각된다.

계류삭의 배치에 따른 소파효과를 비교하기 위하여 동일한 사각형 형상에 대하여 계류삭의 배치에 따라 side, cross, bottom에 대하여 비교하였다. 비교적 장파영역인 $\omega^2 h/g$ 가 0.3~1.3 까지는 side와 bottom에 비하여 cross가 좋은 소파효과를 보이고 $\omega^2 h/g = 1.4$ 이후에서는 bottom이 좋은 소파효과를 보인다. 따라서 사각형 형상의 경우 장파에서는 cross 형태의 계류삭의 배치가 유리하며, 단파에서는 bottom 형태의 계류삭 배치가 유리할 것으로 생각된다.

Catamaran 부소파제의 후면에 catamaran 오일스키머가 있는 경우의 부소파제와 오일스키머의 거리에 따른 소파효과와 운동에 대해서 고찰한 결과는 다음과 같다. Dual catamaran에 대하여 0.4~2.0 간격에서 즉, 부소파제와 오일스키머의 중심 간 거리가 20m~100m의 경우에서 파장이 작아지면 투과계수가 작아지는 일반적인 경향과 일치한다. 그러나 $\omega^2 h/g = 1.6$ 이후에 S=0.4와 1.0을

제외한 간격들은 각각 특정 $\omega^2 h/g$ 에서 투과가 커지는 경우가 발생하는데 이러한 결과는 heave와 roll의 운동과의 연관성에 기인한 것으로 판단된다. 따라서, 오일스키머의 누유 회수시에 작업능률효과는 투과뿐만 아니라 운동성능의 영향도 고려해야 할 것이다. 그러므로 본 논문에서 고찰한 catamaran형 부소파제와 오일스키머의 경우에 있어서는 운동성능 및 투과계수에서 비교적 안정된 결과를 보이는 간격 $S=1.0$ 즉, 부소파제와 오일스키머의 중심 간 거리가 50m의 경우를 유지하는 것이 누유 수거시 유리할 것으로 생각된다.

해양에서의 유류오염사고 발생시 제류시스템 설치가 불가할 경우에 대하여 해저면에 제류시스템을 설치하는 대신에 부소파제에 인장력을 주는 경우에 대하여 고찰하였다. 투과계수의 경우 부소파제와 오일스키머의 중심간 거리가 20m~100m의 경우에 대한 투과계수의 결과와 마찬가지로 파장이 작아지면 투과가 작아지는 일반적인 경향과 일치한다. 또한 본 논문에서 고찰한 수표면에서 $\pm X$ 방향으로의 인장력에 따른 catamaran형 부소파제와 오일스키머의 경우에 있어서는 전반적으로 인장력이 클수록 오일스키머의 motion responses가 작음을 알 수 있다. 하지만 인장력이 큰 경우에서도 큰 투과를 보이는 $\omega^2 h/g$ 가 존재한다. 따라서 무조건 인장력이 큰 것을 사용하기보다는 해상조건을 고려하여 적은 투과파와 운동성능이 작아지는 인장력의 경우를 선택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

이상의 결과는 부유소파제 설계 및 유류오염사고가 발생하여 부소파제를 사용하게 될 경우 유용한 정보로 이용될 수 있을 것으로 기대하며, 연근해에 밀집해 있는 수산 양식시설에 응용하여 양식시설이 외해쪽으로 설치된다면 해양 오염 방지에도 효과가 있을 것으로 기대한다.

[부록1]

$\omega^2 h/g$ 에 따른 주기(T)와 파장(L) ; 수심 h=50일 때

kh tanh kh	kh	T(주기)	L(파장)
0.1	0.32160	44.879	976.848
0.2	0.46270	31.733	678.947
0.3	0.57666	25.912	544.812
0.4	0.67784	22.440	463.476
0.5	0.77170	20.071	407.102
0.6	0.86107	18.322	364.843
0.7	0.94761	16.963	331.527
0.8	1.03242	15.867	304.277
0.9	1.11626	14.960	281.441
1.0	1.19968	14.192	261.860
1.1	1.28309	13.532	244.853
1.2	1.36680	12.956	229.860
1.3	1.45105	12.447	216.489
1.4	1.53601	11.995	204.540
1.5	1.62182	11.588	193.710
1.6	1.70854	11.220	183.876
1.7	1.79625	10.885	174.898
1.8	1.88495	10.578	166.658
1.9	1.97465	10.296	159.091
2.0	2.06534	10.035	152.097
2.1	2.15696	9.794	145.661
2.2	2.24948	9.568	139.646
2.3	2.34284	9.358	134.091
2.4	2.43697	9.161	128.912
2.5	2.53181	8.976	124.085
2.6	2.62730	8.802	119.584
2.7	2.72338	8.637	115.352
2.8	2.81997	8.482	111.418
2.9	2.91702	8.334	107.699
3.0	3.01448	8.194	104.219
3.1	3.11230	8.061	100.949
3.2	3.21043	7.934	97.863
3.3	3.30884	7.813	94.956
3.4	3.40747	7.697	92.201
3.5	3.50631	7.586	89.596
3.6	3.60532	7.480	87.138
3.7	3.70449	7.378	84.800
3.8	3.80378	7.280	82.581
3.9	3.90318	7.187	80.499
4.0	4.00267	7.096	78.484

$$\omega^2 h/g = kh \tanh kh \quad \omega = \sqrt{\frac{kh \tanh (kh) \times g}{h}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{kh \tanh (kh) \times g}{h}}} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kh$$

참고 문헌

1. G. S. Yoon, 안벽전면에서의 2차원 부유체에 관한 동역학적 연구, 부산대학교 박사청구논문, 1987 8.
2. Tokuo Yamamoto and Akinori Yoshida and Takesi Ijima, "Dynamics of elastically moored floating objects", Applied Ocean Research, 1980, Vol. 2, No. 2
3. Tokuo Yamamoto and Akinori Yoshida and Takesi Ijima, "Moored floating breakwater response to regular and irregular waves", Applied Ocean Research 3, 1981, pp. 114-123
4. A. N. Williams and H. S. Lee and Z. Huang, "Floating pontoon breakwater", Ocean Engineering, Vol. 27, 2000, pp.221-240
5. A. N. Williams and A. G. Abul-Azm, "Dual Pontoon Floating Breakwater", Ocean Engineering, Vol. 24, No. 5
6. A. G. Abul-Azm, M. R. Gesraha, "Approximation to the hydrodynamics of floating pontoons under oblique waves", Ocean Engineering, Vol. 27, 2000, pp. 365-384
7. Morey, B. J. et al., "Prediction of Floating Breakwater Performance", Third International Conference on the Planning, Design and Operation Marina 3 : Third International Conference on the Planning, Design and Operation, May 1995 Southampton, Computational Mechanics Publications, 1995, pp.351-358
8. Tsinker, G. P., "Marine Structures Engineering : Specialized Applications", Chapman & Hall, 1995, Chap 5. Floating Breakwaters(By J. R. Headland), pp.367-411
9. Mani, J. S. "Reflection characteristics of wave absorber-a case study." J. Inst. Eng. India, Part CI, 67(2), 1986, pp. 63-67
10. Mani, J. S. and Venugopal, C. R. "Wave transmission characteristics of floating barrier." Proc. Second Nat. Conf. on Dock and Harbour Engineering. IIT, Indian institute of Technology, Dec. 9-12, 1987, pp. 53-59
11. Mani, J. S, " Design of Y-frame Floating Breakwater", Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering New York, American Society of Civil Engineering : Waterway Port Coastal and Ocean Division,

- 1991 Vol. 117, No. 2, Mar-Apr 1991, pp.105-119
12. K. Nurali and J. S. Mani, "Performance of Cage Floating Breakwater", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*/July/August 1997, pp.172-179
 13. D. Y. Kim and M. song and Y. S. Kim and H.J. , "규칙파중 상자형 부유식 방파제 특성에 관한 연구", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 37, No. 3, 2000
 14. S. A. Sannasiraj, V. Sundar and R. Sundaravadivelu. "Dynamics of floating bodies subjected to regular waves. In Indian National Conference of Harbour and Ocean Engineering, pune, India, Vol. 2, 1994, pp. 111-120
 15. S. A. Sannasiraj, V. Sundar and R. Sundaravadivelu, "Mooring Forces and Motion Responses of Pontoon-Type Floating Breakwaters", *Ocean Engineering*, Vol. 25, No. 1, 1998, pp. 27-48
 16. Bishop, C. T. "Floating tire breakwater design comparison." *J. Waterway, Port, coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 108(3), 1982, pp. 421-426
 17. Seymour, R. J. and Hanes, D. M. "Performance analysis of tethered float breakwater." *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 105(3), 1979, pp.265-279
 18. Andersen. P. and Wuzhou. H. "On the calculation of two-dimensional added mass and damping coefficients by simple Green's function technique." *Ocean Engineering* 12. 1985, pp. 425-451
 19. Black. J. L. , Mei, C. C. and Bray, M. C. G. "Radiation and scattering of water waves by rigid bodies." *Journal of fluid Mechanics* 46, 1971, pp. 151-164
 20. Drimer, N., Agnon, Y. and Stiassnie, M. "Simplified analytical model for a floating breakwater in water of finite depth." *Applied Ocean Res.* 14. 1992. pp. 33-41
 21. Mullarkey, T. P., McNamara, J. E. and Farrell, K. J. "Semi-analytical Solutions for the Hydrodynamics of Submerged pontoons of Finite Length." In *Proceedings 11th International OMAE Conference*, I-A. 1992, pp. 135-142
 22. Isaacson, M. and Byres, R. "Floating breakwater response to wave action." in *proceedings of the 21st Coastal Engineering Conference*, Vol. 3,

- 1988, pp. 2189-2200
23. Isaacson, M. and Wu, S. R. "A numerical study of moored vessel response to beam waves." In Proceedings of the Fifth International Offshore and Polar Engineering Conference, The Netherlands, Vol. 3, 1995, pp. 499-506
 24. Miller, R. W. and Christensen, D. R. "Rigid body motion of a floating breakwater" In Proceedings of Coastal Engineering Conference, Chapter 179, 1984, pp. 2663-2679
 25. 대한조선학회편, "해양공학개론", 1996, 동명사
 26. Grinyer, A. W., "Fixed and Floating Breakwaters for Small Craft Habours : Experience at Town Quay Southampton. Haslar Marina, Portsmouth and Parkstone Yacht Haven. Poole." 3rd Int. Conf. Planning Design and Operation Marina III. 1995
 27. Nekado, Yukiharu and Kokumai, Akihisa. "A Study on Air Controlled Floating Breakwater." J. KSNJ. 177. 1980, pp. 1-9
 28. Sugawara, Tadao and Yoshimura, Tadashi. "Development of PC Hybrid Floating Breakwater." Mitsui Technical Review. Tokyo. Mitsui Heavy Industries. Ltd., No. 124, Feb. 1984