

몰수평판에 의한 폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력의 감소현상에 관한 연구

이상민* · 이원우**

*, **군산대학교 해양과학대학 해양생산학 · 동력기계시스템공학부

Study on the Reduction of Wave Exciting Forces Acting on a Pontoon Type Floating Structure by Submerged Plate

Sang-Min Lee* · Won-Woo Lee**

*, **Dept. of Marine Science and Production, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

요 약 : 폰툰형 초대형 부체구조물은 해양공간의 활용에 있어서 가장 많이 고려되고 또한 적극적으로 연구되어지는 분야이다. 폰툰형 부체구조물의 해상에서의 유탄성 변형은 입사하는 파와 접하는 풍상측에서 가장 큰 값을 나타내고 있다. 본 연구에서는 폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력을 감소시키고자 개발된 부유식 수평 몰수평판의 효과를 수치해석적인 방법에 의하여 그 특성을 파악하고자 한다. 유한차분법을 토대로 한 수치계산법을 적용하고, 적용된 수치계산법을 실험값과 비교함으로써 프로그램의 신뢰성을 확인한다. 검증된 수치계산법을 이용하여 본 연구에서 실시하고자 하는 폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력의 계산을 수행하고 그 결과에 대하여 논의한다.

핵심용어 : 유한차분법, 파랑강제력, 폰툰형 부유체, 몰수평판

ABSTRACT : Pontoon type very large floating structure has been considered and actively studied as one of the most important ocean space utilization. The hydroelastic displacement of the pontoon type floating structure in waves is the largest at its weather side. The purpose of this study is to investigate the characteristics and effects of the submerged horizontal plate which is developed to reduce the wave exciting forces acting on the pontoon type floating structure using numerical analysis. The numerical method based on the finite difference method has been adopted and compared with the experimental data to confirm the reliability of it.

We have performed the numerical computation of wave exciting forces acting on the pontoon type floating structure with/without submerged plate and discuss the results of simulation.

KEY WORDS : MAC, finite difference method, wave exciting force, pontoon type floating structure, submerged plate

1. 서 론

해양공간의 활용은 해양개발과 관련해서 매우 중요한 화제로서 부각 되어지고 있다. 일반적으로 초대형 부체구조물(Very Large Floating Structure, VLFS)이 해양공간을 보다 효율적으로 활용하고자 해상공항, 마리나 시설 등과 같은 여러 분야에서

연구 및 실용화 되어 가고 있는 상황이다. 초대형 부체구조물은 구조 형식상 Fig. 1과 같이 폰툰형과 반잠수식형으로 구분되어진다(Shigemitsu et al., 2001). 반잠수식형은 자체적으로 파랑 에너지를 분산시키는 형태를 취하여 내항성능이 우수하기 때문에 구조물 주위에 파랑을 막아주는 매립식 방파제와 같은 부가적인 시설물의 설치가 특별히 요구되지 않는다. 그러나 폰툰형 구조물은 파랑속에서 유탄성 변형이 크게 발생하기 때문에 파랑에너지를 억제시켜 주는 방파제의 부가적인 설치를 필요로 한다. 전체적인 구조물의 제작비용, 제작기간, 해상에서의 부체

*대표저자 : 정회원, smlee@kunsan.ac.kr, 063)469-1814

**비회원, wwlee@kunsan.ac.kr, 063)469-1818

구조물 연결 작업 등에 있어서 반잠수식에 비해 폰툰형이 많은 장점을 지니고 있다.

따라서 폰툰형 초대형 부유체는 해양공간의 활용에 있어서 가장 많이 채택되고 또한 적극적으로 연구 되어지는 분야이다. 폰툰형 부채 구조물의 해상에서의 유탄성 변형은 입사하는 파와 접하는 풍상측에서 가장 큰 값을 나타내고 있다. 유탄성 변형은 부유체의 구조 안정성에 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이러한 유탄성 변형은 입사파에너지, 반사파에너지, 분산파에너지로 구성되는 파랑에너지의 특성으로부터 추정해 낼 수 있다. 입사파에너지를 감소시키고 분산파에너지를 증가시키면 부유체에 미치는 파랑의 전파에너지를 줄일 수 있으며, 이것으로 인해 부유체의 파랑중 유탄성 변형을 대폭 감소시킬 수 있다. 본 연구에서는 폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력을 감소시키고자 개발된 부유식 수평 물수평판의 효과를 수치해석적인 방법으로 파악하고자 한다.

파랑중 유탄성 변형이 크게 일어나는 폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력의 특성을 파악하고, 부유체의 운동에 큰 영향을 미치는 파랑강제력을 감소시키기 위한 파에너지 흡수장치로서의 물수평판에 대해 수치적인 해석을 통하여 그 성능과 효과를 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 수중에 수평으로 고정되어 있는 물수평판에 의한 파랑강제력의 감소효과를 추정하기 위해서 MAC(Marker and Cell)법의 알고리즘을 토대로 한 유한차분법을 이용하여 수치계산법을 개발할 예정이다. 개발된 수치계산법을 실험데이터와 비교함으로써 프로그램에 대한 검증을 실시하고, 검증된 계산법을 토대로 하여 본 연구에서 실시하고자 하는 폰툰형 부유체에 작용하는 유체력(파랑강제력)의 계산을 실시하고 그 결과에 대한 논의를 하고자 한다.

2. 수치 해석

2.1 지배방정식

지배방정식은 2차원, 비압축성, 점성유체를 대상으로 다음과 같은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 채택하여 본 연구에서 수치계산을 실시하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial \phi}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g \tag{3}$$

여기서 u, w 는 각각 x, z 축에 대한 속도성분이며 ϕ 는 유체밀도로 나누어준 압력, ν 는 동점성 계수를 의미한다.

계산영역은 staggered grid system에 의하여 이산화 되며, 물체주위와 자유표면 부근에서는 계산의 정확도를 향상시키기 위해 세밀한 격자를 적용하여 수치계산을 실시하였다. 전체적인 계산 알고리즘은 차분법을 토대로 한 TUMMAC-Vwv법을 따르고 있다(Lee and Miyata, 1990). n번째 계산 순서에서의 압력장은 Poisson 방정식을 SOR(Successive Over Relaxation) 반복법에 의하여 해결하도록 한다. 계산 결과에 중요한 영향을 미치는 대류항은 3차 상류차분법을 사용하였으며, 확산항은 2차 중심차분법을 채택하여 계산을 실시하였다. 또한 시간차분을 위해서 2차 Adams-Bashforth법을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2 경계조건

자유표면의 역학적 조건과 운동학적 조건은 아래와 같이 부여된다.

$$\phi = \phi_0 = 0 \quad \text{on } z = \eta \tag{4}$$

$$\frac{D(\eta - z)}{Dt} = 0 \quad \text{on } z = \eta \tag{5}$$

여기서 η 는 파고, ϕ_0 는 공기밀도로 나누어준 대기압에 해당된다. 운동학적 조건은 Lagrangian 법에 의해 계산되어 진다. 즉 아래와 같은 Δt 시간 후에 새로이 이동한 입자들의 위치를 상호 연결한 선분과 셀과 만나는 선이 새로운 자유표면을 구현하도록 되어 있다.

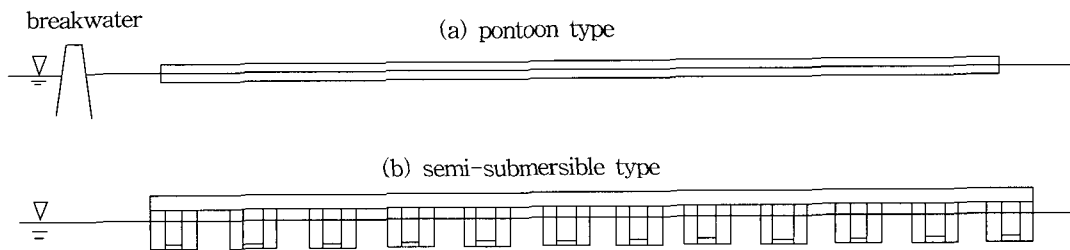


Fig. 1. Conventional two types of very large floating structure.

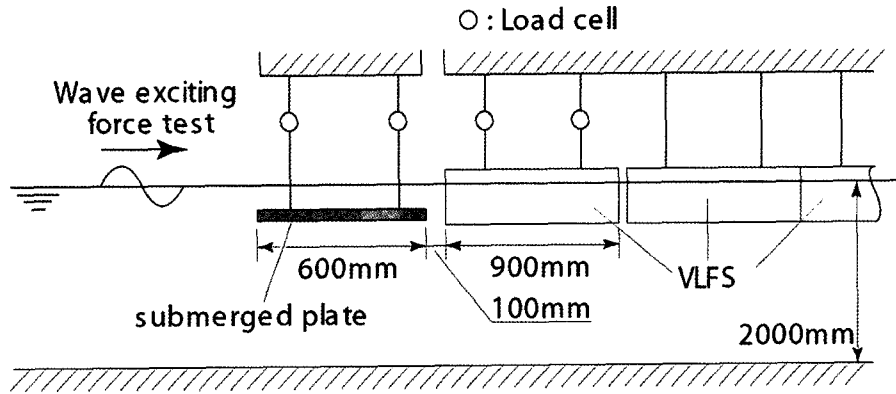


Fig. 2. Set up of 2D tank test for wave exciting force.

$$x^{n+1} = x^n + \Delta t \cdot u \quad (6)$$

$$z^{n+1} = z^n + \Delta t \cdot w \quad (7)$$

또한 식(4)의 역학적 조건은 irregular star법(Chan and Street, 1970)에 의해 압력을 계산하였다.

파랑의 유입조건으로서는 선형적인 규칙파를 생성시키기 위해서 전체 계산영역의 좌측에 수치조파기를 설치하였으며, 계산영역 우측에는 파 흡수를 위해 셀 간격을 점차 확대되도록 하고 인공적인 수치제동조건을 유출조건으로 부여하였다. 수저경계조건에는 속도항을 위해 free-slip 조건을, 압력을 위해 zero-normal gradient 조건을 사용하였다.

한 수치계산 모델은 Fig. 2와 같다. 몰수평판의 유무에 의한 유체력 특성을 조사하기 위하여 몰수평판이 부착된 경우와 부착되지 않은 2가지 경우에 대하여 수치계산을 실시하였다. 수평식 몰수평판에 의한 파에너지 분산 효과에 대한 이론적 및 실험적인 연구는 Takaki et al.(2001)에 의하여 실시되어졌다. 즉 Fig. 3에서 보여지는 것처럼 입사하는 파는 몰수평판 앞쪽에서 일부가 가속 되어지고 몰수평판 뒤쪽에서는 강한 반대 방향의 흐름이 발생하여 몰수평판 상부에서 서로 충돌하여 파분열 및 쇄파현상이 발생되어 파에너지를 분산시키게 된다. 이러한 현상은 본 연구에서 실시한 수치시뮬레이션 결과(Fig. 4)와 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 수치계산 조건 및 검증

폰툰형 부유체 구조물에 작용하는 파랑강제력을 추정하기 위

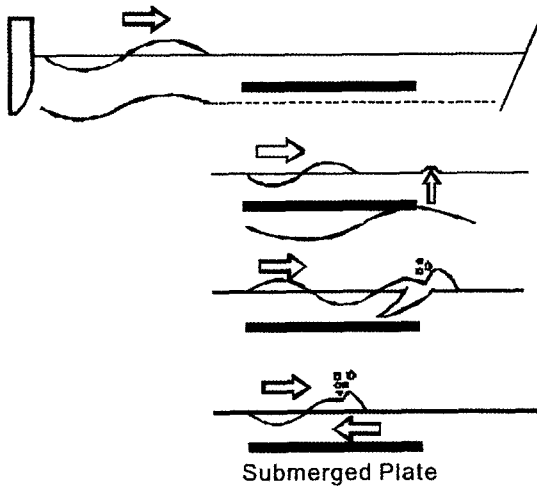


Fig. 3. Mechanism of wave energy dissipation by submerged plate(Takaki et al., 2001).

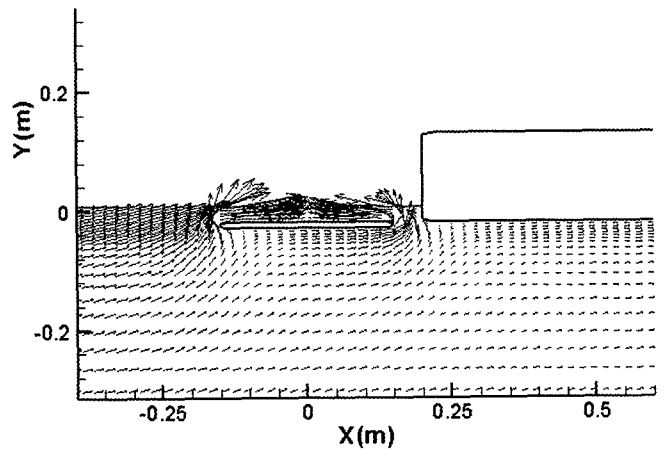


Fig. 4. Velocity vector field around submerged plate and floating structure.

다음으로 본 연구에서 사용되는 수치계산법의 정확도를 검증하기 위해서 실험 데이터(Takaki et al., 2002)와의 비교를 실시하였다. Fig. 2와 같은 조건에서 풍상측 폰툰형 부유체구조물(길이 900mm)에 작용하는 상하 파랑강제력을 추정하여 무차원화시킨 값을 Fig. 5에 나타내고 있다.

비선형 요소의 영향을 파악하기 위하여 푸리에 해석을 통한 고차성분을 함께 그래프에 표시하고 있다. 그래프에서 볼 수 있는 바와 같이 1차 성분이 지배적이지만 2차, 3차의 고차 성분도 나타나고 있으므로 몰수평판에 의해 발생된 비선형적인 쇄파의 영향이 폰툰형 부체 구조물에 작용하고 있는 것으로 판단되어진다. 또한 실험 데이터와 계산 결과를 비교해 보면, 1차 성분 뿐만 아니라 2차, 3차 성분도 실험값과 유사한 경향을 나타내고 있다. 즉 본 연구에 적용된 수치계산법이 비선형적인 요소까지

다음 장에서 논의하기로 한다.

4. 결과 및 고찰

파랑강제력 감소에 대한 몰수평판의 효과에 대하여 조사하기 위해서 폰툰형 부유체에 작용하는 유체력 계산을 위한 수치 시뮬레이션을 Fig. 6에서 보이는 바와 같이 몰수평판이 부착된 경우와 몰수평판이 없는 경우로 구분하여 실시하였다. 그리고 이러한 수치계산을 실시한 결과들을 Fig. 7에 나타내고 있다.

그래프의 횡축은 입사파의 파주기에 해당하며, 종축은 무차원화된 파랑강제력 값을 의미한다. (a)와 (b)는 각각 입사파의 파진폭이 10mm와 30mm인 경우에 해당되는 계산 결과이다.

먼저 몰수평판이 부착된 경우를 분석해 보면, 몰수평판은 폰툰형 부체구조물의 끝단에 설치된 일체화된 하나의 구조물로서 몰수평판에 미치는 상하유체력(●)이 폰툰 구조물에 작용하는 유체력(▲)보다 크게 작용하고 있음을 확인 할 수 있다. 이것은 몰수평판이 풍상측에 위치하기 때문에 직접적인 파랑에너지 영향을 받게 됨으로서 발생하는 현상으로 추정된다. 즉 풍상측에 위치한 몰수평판에 입사파의 파에너지가 일차적으로 작용하고, 여기서 분산되는 파랑강제력이 뒤쪽에 있는 폰툰형 부유체에 영향을 미치고 있다고 생각되어진다.

다음으로 몰수평판이 있는 경우와 없는 경우를 상호 비교하기 위해서 부체 구조물의 풍상 측으로 같은 거리만큼 떨어진 위치에 있는 내부 구조물(L2와 L3)에 미치는 유체력 특성을 분석해 본다. 몰수평판이 있는 경우(L2, ▲) 전반적으로 몰수평판이 없는 경우(L3, ▼)보다 파랑강제력이 감소되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이 특성은 파진폭이 10mm인 경우와 장주기 영역보다는 단주기 영역에서 효과가 증대하고 있음을 알 수 있다.

이상과 같은 수치계산 결과에서 이해 할 수 있는 바와 같이 폰

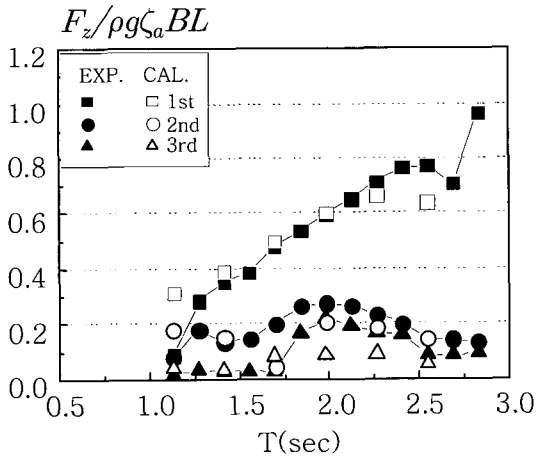


Fig. 5. Wave exciting forces on floating structure with submerged plate ($\zeta_a = 30mm$).

충분히 고려되어 폰툰형 부유체에 작용하는 유체력을 비교적 정확히 추정해 낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

쇄파현상 등으로 인해 실제 폰툰형 부유체에 작용하는 입사파에 의한 파랑강제력은 몰수평판에 의해 감소되어 작용할 것으로 추정할 수 있다. 수치계산을 통한 보다 정량적인 평가분석은

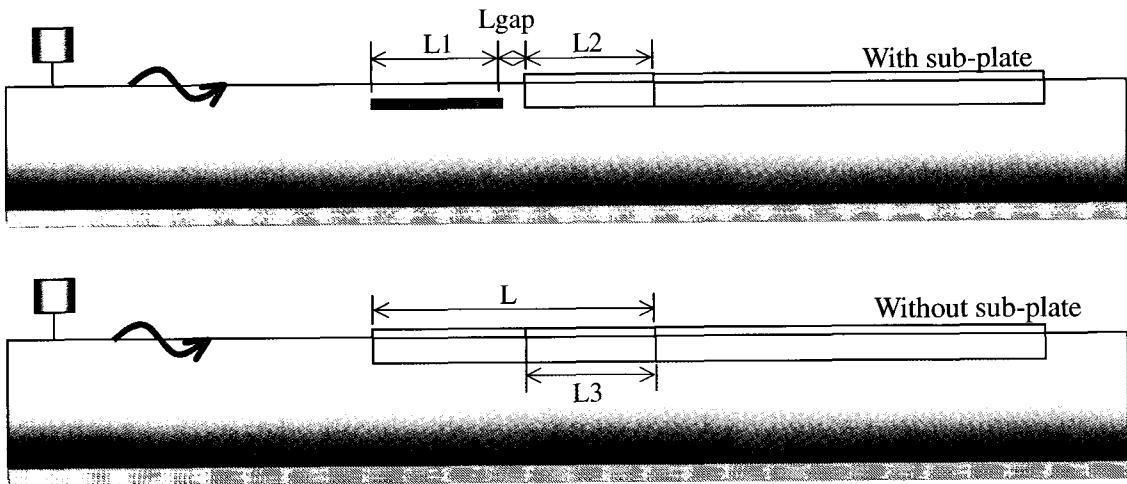


Fig. 6. Shapes of pontoon type floating structure with/without submerged plate.

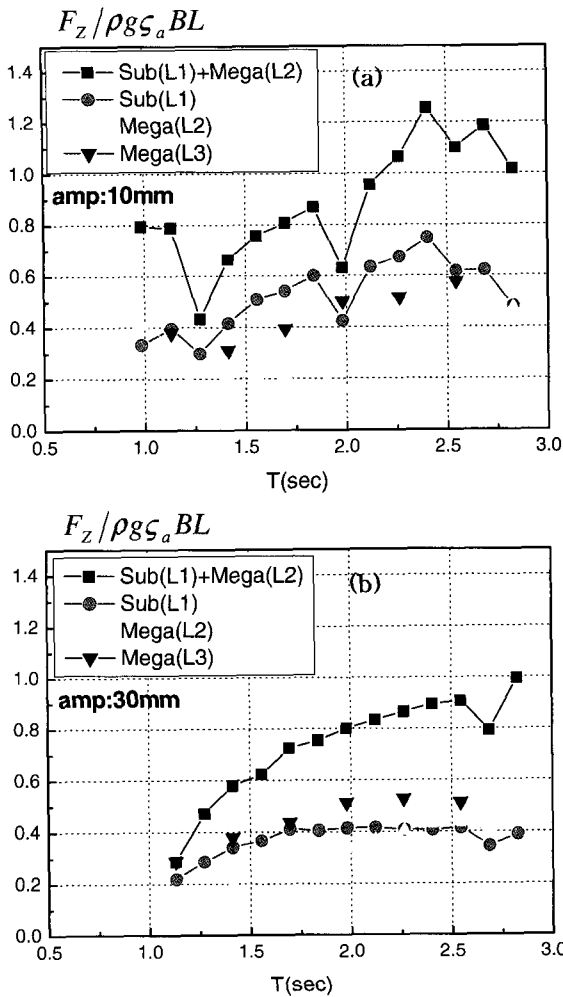


Fig. 7. Comparison of wave exciting force with/without submerged plate.

툰형 부체구조물의 끝단에 수평식 물수평판을 부가적으로 설치할 경우 파랑에너지를 분산시키는 효과에 의해 폰툰형 부체 구조물 전체에 미치는 파랑강제력을 감소시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력을 감소시키고자 개발된 부유식 수평 물수평판의 효과를 정량적으로 파악하기 위해서 유한차분법을 토대로 한 수치계산을 실시하였다. 수치계산 결과 수평식 물수평판은 대진폭 파랑보다는 소진폭에서, 장주기 영역의 파랑보다는 단주기 영역에서 파랑에너지를 보다 효과적으로 분산시키고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 수치계산법을 실험값과의 비교를 통해 검증을 실시하였으며, 그 결과 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 프로그램에 대한 신뢰성을 확인할

수 있었다.

폰툰형 부유체에 작용하는 파랑강제력을 감소시킬 수 있는 물수평판의 효과에 대해 연구를 실시함으로써 새로운 형태의 파에너지 분산시스템을 구축할 수 있는 기초연구가 될 수 있으리라 예상된다. 개발된 수치계산법의 정확성에 대해 확인함으로써 타 해상구조물 및 선박 등에 미치는 유체력 계산에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 군산대학교 수산과학연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Chan, R.K.C. and Street, R.L.(1970). "A Computer Study of Finite Amplitude Water Waves", J. Compt. Phys., Vol.6, pp. 68-94.
- [2] Lee, Y.G. and Miyata, H.(1990), "A Finite-Difference Simulation Method for 2D Flows about Bodies of Arbitrary Configuration", J. of Society of Naval Architects of Japan, Vol.167, pp. 1-8.
- [3] Shigemitsu et al.(2001), "Feasibility Study of Reducing Wave Load on Pontoon Type Mega-Float Structure", Proc. 20th OMAE, OMAE-01-5011 (CD-Rom).
- [4] Takaki, M. et al.(2001), "A New Type VLFS Using Submerged Plate ; SUB-PLATE VLFS-Part1. Basic Concept of Systems", Proc. 20th OMAE, OMAE-01-5017 (CD-Rom).
- [5] Takaki, M., Imai, Y. and Lee, S.M.(2002), "Reduction Effect of a Submerged-Plate toward Wave Exciting Forces Acting on a Very Large Floating Structure", Proc. 12th ISOPE, pp. 391-398.

원고접수일 : 2007년 08월 21일

원고채택일 : 2007년 09월 19일