

반잠수식 Rig의 형상 변화에 따른 운동 성능에 관하여

박 노식 · 이 옥규

울산대학교 수송시스템공학부

A Study on the Motion Responses about Shape Variety of Semi-submersible Rig

Ro-Sik Park · Ok-Kyu Lee

School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan

요 약

본 연구에서는 반잠수식 Rig의 형상에 따른 최적 형상을 검토하기 위하여 최근 건조되고 있는 4-Column과 2-Lowhull을 가진 원통형 Column과 4각 Column형을 공시모형으로 택하여 규칙과중 두 구조물에 작용하는 유체력과 유체력에 의한 운동 응답을 계산, 형상에 따른 유체 역학적 특성과 동요 진폭의 관계를 검토하였다. 수치계산은 3차원 특이점 분포법을 이용하여 정상상태에 대하여 실행하였다. 구조물의 형상과 역학적인 간섭의 영향을 이용, 보다 성능이 우수한 형상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

1. 연구 배경 및 중요성

점차 수심이 깊어지고 국제유가의 등락으로 인한 자원의 경제성 가치와 육상에너지 비 보유국들의 자원한계의 극복을 위한 노력으로 해양에서의 원유 시추를 위한 해양 구조물의 수요 증가로 심해에 적합한 다양한 부유식 해양구조물이 건조되고 있다. 이 구조물들은 설치구역 및 조건에 따라 가동효율이 좋은 구조물을 설치하는 것은 대단히 중요하며 많은 연구가 되어 오고 있다. [1][2][5][6]

이와 같은 반잠수식 해양구조물은 배수용적에 비해 수선 면적이 적기 때문에, 동적 복원력이 작고 파랑 중 안정성에 관한 문제가 제기 되고 있다. 특히, Numata[10]는 동요시 정상 유체력을 알 필요가 있다고 하였고, Takarada[11]는 파랑 표류력이 계류상태에서는 전도 모멘트가 발생하는 원인이 된다고 지적하였다.

본 연구에서는 반잠수식 해양구조물의 운동 성능과 안정성이 좋은 형상을 연구하기 위하여 4-Column과 2-Lowhull을 가진 원통형 Column과 4각 Column형의 반잠수식 해양구조물을 규칙과중 두 구조물에 작용하는 유체력과 유체력에 의한 운동 응답을 계산, 형상에 따른 유체 역학적 특성과 동요 진폭의 관계를 검토하였다. 또한 안정성을 평가하기 위하여 차후 손상시 상태를 가정 대 경사시의 동요진폭, air gap등을 검토안정성이 좋은 형상을 연구할 계획이다.

2. 기초이론

유체력 계산은 3차원 특이점 분포법을 이용하였으며 [2][3][5][6] 본 연구에 주요사항만 간단히 표기한다.

좌표계는 xy평면을 정지수면으로 하고 연직상방을 정(+)방향으로 하는 직교좌표계를 사용한다.

유체는 비압축성, 비점성 완전유체이고, 유체영역은 무한 수심으로 한다. 입사파는 원주기운동을 하며 x축에 대하여 α 의 각도로 입사된다고 생각한다.

2.1 유체력

x축의 정방향으로부터 입사하는 파에 의하여 부체가 동요원진동수 ω 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 부체주위의 유동장은 속도 potential로 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z, t) = Re[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (2.1)$$

ϕ 는 유체내부에서 Laplace방정식을 만족하며, 자유표면 경계조건, radiation 조건, 물체표면 경계조건 및 수저조건을 만족하고 있다.

이때의 속도 potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_7 + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2.2)$$

여기서,

$$\phi_0 = \frac{g\xi_a}{\omega} e^{Kz + iK(x\cos\alpha + y\sin\alpha)}$$

ξ_a : 파의 진폭

K : 파수

ξ_j : 부체의 운동진폭($j=1, \dots, 6$)

ϕ_0 : 입사파 속도 potential

ϕ_7 : diffraction 속도 potential

ψ_j : j 방향의 부체의 단위 진폭운동에 의한 radiation potential ($j=1, \dots, 6$)

또한, 각 경계조건을 만족하는 속도 potential ϕ 는 Laplace 방정식의 해를 Green함수 $G(x, y, z; x', y', z')$ 라 놓으면 다음과 같이 표시된다.

$$\phi(P) = \int \int_S \sigma(Q) G(P, Q) dS(Q) \quad (2.3)$$

여기서, $P(x, y, z)$ 는 유체 중의 임의의 점, $Q(x', y', z')$ 는 물체 표면(S) 상에 분포시킨 Source의 위치, $\sigma(Q)$ 는 점 Q의 위치에서 source의 강도, $G(P, Q)$ 는 다음 식으로 표시되는 Green함수이다.

$$G(P, Q) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + 2K \int_0^\infty \frac{e^{K(z+z')} J_0(kR)}{k-K} dk + i2\pi K e^{K(z+z')} J_0(KR) \quad (2.4)$$

여기서

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$$

$$r' = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2}$$

$$R = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}$$

K : 파수(Wave Number)

J_0 : 0차의 제 1종 Bessel Function

Y_0 : 0차의 제 2종 Bessel Function

H_0 : 0차의 Struve Function

을 의미한다.

2.1.1 유체력 계수

부유체가 i 모드(Mode)의 운동을 하고 있을 때 단위진폭 속도포텐셜을 ψ_j ($j = 1, 2, \dots, 6$)라 하면 j 방향의 부가질량계수 A_{ij} 와 조파감쇠계수 B_{ij} 는 다음식으로 부터 구하여진다.

$$A_{ij} = -\rho \operatorname{Re} \left[\int \int_S \psi_j n_i ds \right] \quad (2.5)$$

$$B_{ij} = \rho \omega \operatorname{Im} \left[\int \int_S \psi_j n_i ds \right] \quad (2.6)$$

2.1.2 파강제력

규칙파중에서 부체가 고정되어있을 때 반사파의 속도포텐셜, 즉 산란파 속도포텐셜을 ϕ_7 이라 하면 파강제력은

$$F_{7j} = i\omega\rho \int \int_S (\phi_0 + \phi_7) n_j ds$$

$$= \rho g \xi_a \int \int_S (\psi_0 + \psi_7) n_j ds$$

($j = 1, 2, \dots, 6$)

또한, Haskind - Newman의 관계를 적용하면 파강제력은 다음과 같이 표시된다.

$$F_{7j} = \rho g \xi_a \int \int_S \left(\psi_0 \frac{\partial \psi_j}{\partial n} - \psi_j \frac{\partial \psi_0}{\partial n} \right) ds \quad (2.8)$$

2.1.3 운동방정식

파랑중 부체의 6자유도 선형운동방정식은 일반적으로 다음과 같다.

$$[d_{ij}][Y_j] = [F_i(t)] \quad (2.9)$$

여기서

$$d_{ij} = (m_{ij} + M_{ij}) \frac{d^2}{dt^2} + N_{ij} \frac{d}{dt} + K_{ij}$$

m_{ij} : 부유체의 질량 및 관성모멘트

M_{ij} : 부유체의 부가질량 및 부가관성모멘트

N_{ij} : 조파감쇠계수

K_{ij} : 복원력계수

$F_i(t)$: 파 강제력

2.1.4 점성력 계수

부유체와 유체입자의 상대속도에 비례하는 힘으로 생각하는 MORISON 방법을 사용하였다.

$$F_{vj} = \frac{1}{2} \rho K_{vj} C_{di}(\xi_i - \dot{Y}_j) |\xi_i - \dot{Y}_j| \quad (2.10)$$

여기서

F_{vj} : 점성의 영향을 고려하여 얻어지는 j 방향의 감쇠력

K_{vj} : 부유체 단면에 의하여 결정되는 상수

C_{di} : j 방향의 항력계수

(2.10)식을 田才방법[1]을 이용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_{vj} = \frac{4}{3\pi} \rho K_{vj} C_{di} U_o(\xi_i - \dot{Y}_j) |\xi_i - \dot{Y}_j| \quad (2.11)$$

2.1.5 표류력

α 방향에서이 진폭 ζ_a 의 입사파에 의한 동요시 부유체에 작용하는 표류력은 Newman[3] 및 Maruo등[4]의 이론에 의한 방법을 이용하였으며 Drift force의 x 방향과 y 방향 성분을 아래와 같이 얻는다.

$$D_x = \frac{1}{8\pi} \rho K^2 \int_0^{2\pi} |H(\theta)|^2 (\cos \alpha - \cos \theta) d\theta \quad (2.12)$$

$$D_y = \frac{1}{8\pi} \rho K^2 \int_0^{2\pi} |H(\theta)|^2 (\sin \alpha - \sin \theta) d\theta \quad (2.13)$$

3. 수치 계산

3.1 공시모형

공시모형은 Fig.1, 2에서 보듯이 GVA4000과 RBS 8M을 모선으로 택하여 형상에 따른 유체 역학적 변화를 검토하기 위하여 가능한 한 Table.1에서 보듯이 기본 제원을 같게 하였다.

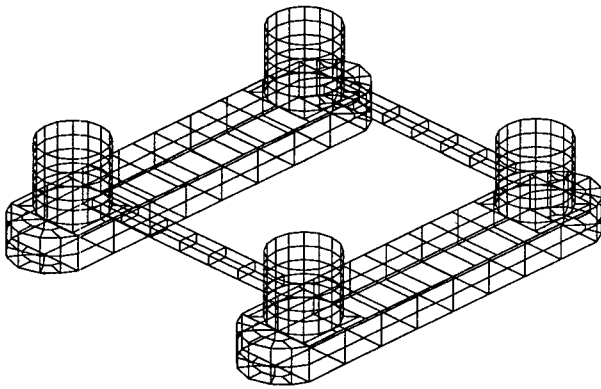


Fig. 1. model A

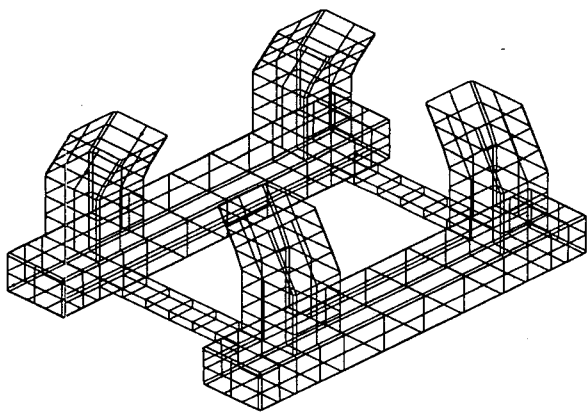


Fig. 2. model B

Table.1. Principle dimension [단위:m]

	model A	model B
Length	9	9
Breath	7	7
Height	7	7
Draft	3.5	3.5
Displacement[m^3]	52.4588	46.5106

3.2 수치계산

계산에 있어서 요소 분할은 각각 664개, 748개의 요소분할을 하였으며, 입사파각은 횡파(90°), 종파(0°), 사파(45°)의 상태에 대하여 $\lambda/L = 1 \sim 15$ 사이의 30개의 주파수 상태에 대하여 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 유체력 비교 분석

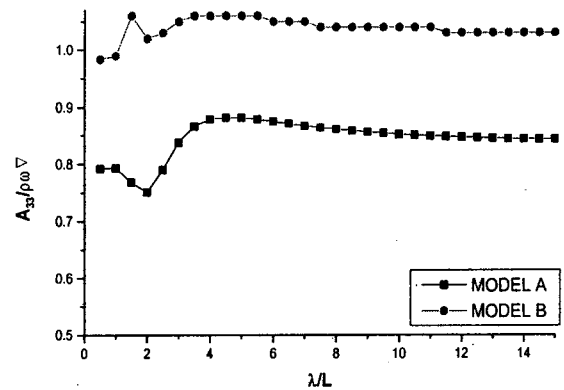


Fig. 3. Comparison of heave added mass

Fig.3에서 보듯이 added mass의 차이는 displacement의 차이뿐만 아니라 형상에 의한 차이가 많이 작용하여 위와 같은 결과가 나왔다고 생각된다.

4.2 운동 비교 분석

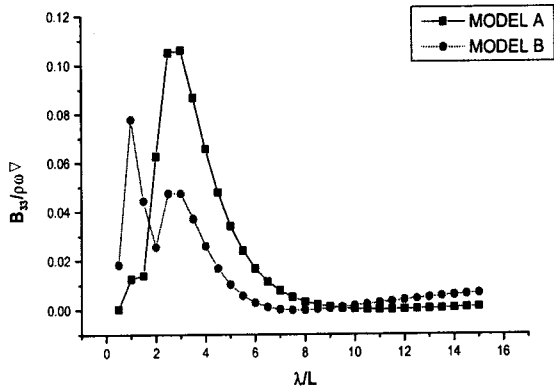


Fig. 4. Comparison of heave damping coefficient

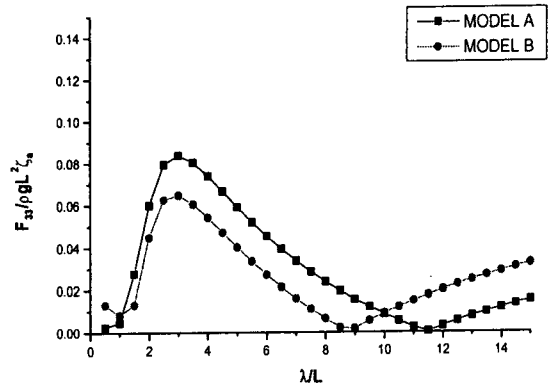


Fig. 7. Comparison of heave exciting force(0 °)

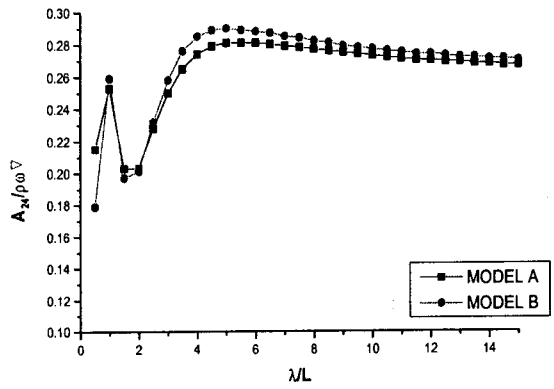


Fig. 5. Interference comparison of heave added mass

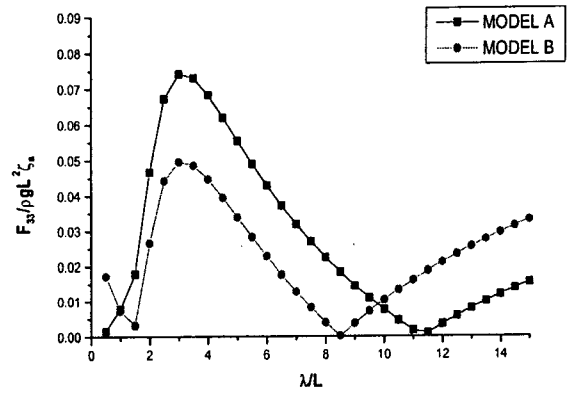


Fig. 8. Comparison of heave exciting force(45 °)

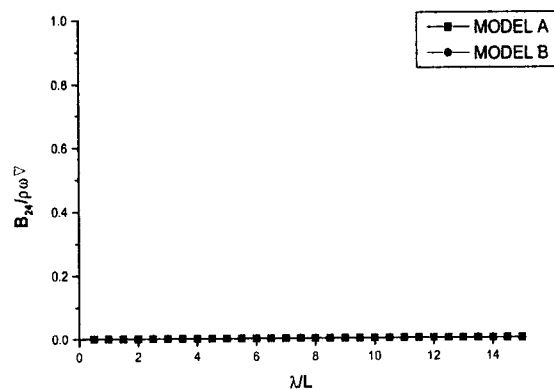


Fig. 6. Interference comparison of heave damping coefficient

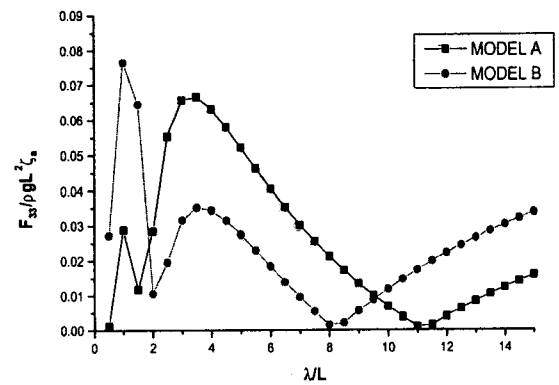


Fig. 9. Comparison of heave exciting force(90 °)

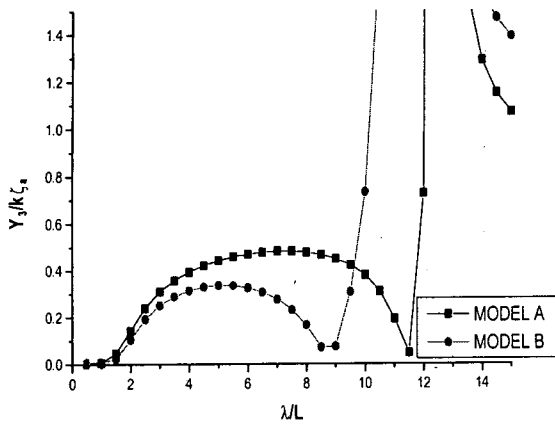


Fig. 10. Comparison of heave amplitude(0 °)

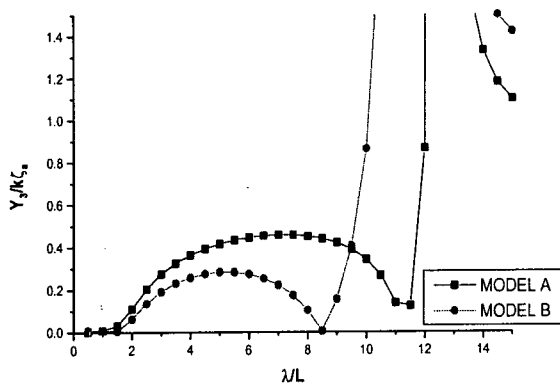


Fig. 11. Comparison of heave amplitude(45 °)

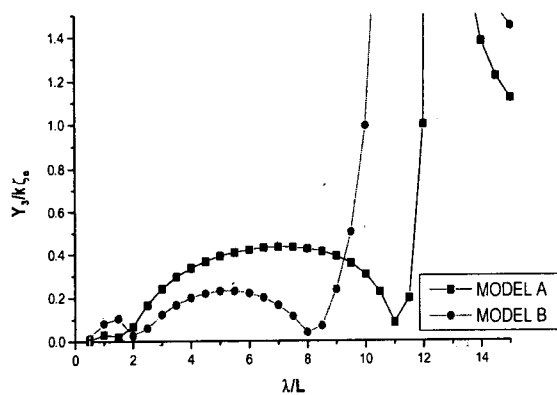


Fig. 12. Comparison of heave amplitude(90 °)

5. 결론

계산을 수행한 결과 Fig. 10, 11, 12에서 보듯이 4각단면의 column을 가지는 Model B의 경우가 원형 단면의 column을 가지는 Model A의 경우보다 더 좋은 운동성능을 보였다. 이러한 것은 형상에 따른 차이로 생각되어 진다.

차후에는 손상시 상태를 가정 대경사시의 동요진폭과 air gap 등을 검토하여 계산을 수행할 것이며, 이러한 결과를 이용하여 Series 형상에 응용하여 보다 좋은 형상을 결정하도록 연구할 계획이다.

참고 문헌

[1] 田才福造

: Semi-Submersible Catamaran Hull의 規則波中 の運動
 について, 西部造船學會. 第40號, 1970

[2] Faltisen, O. M. & Michelson, F. C

: Motion of large structures in waves at zero froude
 number, international symposium on the dynamics of marine
 vehicles and structures in wave , 1974

[3] J. N. Newman

: The drift force and moment on ship in waves, J. S.
 R.(1965)

[4] Hajime Maruo

: The drift of a body floating on waves, J. S. R.
 vol.4(1960)

[5] 朴魯植

: 半潛水式 海洋構造物に働く 流體力に 關する 研究, 日本
 廣島大學, 學位論文, 1984

[6] 野尻信弘

: 3次元浮體に働く變動壓力および波浪荷重の研究, 日本造船
 學會論文集, 第148號, 1980

[7] Kudo Kimiake

: The drifting force acting on a three-dimensional body
 in waves, J. society of naval archtects o japan,
 Vol.141(1977)

[8] Hess, J. L & Smith, A. M. O

: Calculation of nonlift on potential flow about arbitrary
 three-dimensional bodies, J. S. R(1964)

[9] 日本造船研究協會

: 海洋構造物の 設計外力扱び復原性た關 する研究(1984)

[10] Numata, E. et al

: Assessment of Stability Requirements for
 Semi-submersible Units, TSNAME(1976)

[11] Takarada, N. et al

: The Stability on Semi-submersible platform in waves
 2nd international conference on stability of ocean
 vehicle(1982)