

다방향 불규칙파중에서의 반잠수식 부체군에 작용하는 파강제력

조 효 제* · 구 자 삼** · 김 경 태***

(96년 10월 31일 접수)

Wave Exciting Forces on Multiple Floating Bodies of Semisubmersible Type in Multi-directional Irregular Waves

Hyo-Jae Jo* · Ja-Sam Goo** · Kyung-Tae Kim***

Key Words : Three Dimensional Source Distribution Method(3차원 특이점 분포법), Hydro-dynamic Interaction(유체역학적 상호간섭), Spectral Analysis Method(스펙트럴 해석법), Very Large Offshore Structure (초대형 해양구조물), One-Directional Waves(한방향파), Multi-directional Waves(다방향파), Semisubmersible Type (반잠수식)

Abstract

The hydrodynamic interaction characteristics between multiple floating bodies of semisubmersible type are examined to present the basic data for the design of huge offshore structures supported by a large number of the floating bodies in multi-directional irregular waves. The numerical approach is based on a combination of a three-dimensional source distribution method, the wave interaction theory and the spectral analysis method. The effects of wave directionality on the wave exciting forces acting on multiple floating bodies in multi-directional irregular waves also have been pointed out.

1. 서 론

최근 해양공간을 유효하게 이용하기 위해 제안되고 있는 해양구조물은 대형화·대수심화를 지향하고 있으며 대표적인 대형 해양구조물로서는 해양정보도시¹⁾, 부체인공도시²⁾, 해상공항도시^{3)~6)}, 중수심역 공간이용구조체^{7),8)} 등을 들 수 있으며, 현

재 일본에서는 關西 신공항의 제 2 터미널을 부유식 해상공항으로 건설하기 위해 이에 대한 이론 및 실험을 병행한 다양한 연구^{9)~11)}가 활발히 진행되고 있다. 또한 미국에서는 군사적 이용을 위한 이동식 해양기지^{12),13)}에 대한 연구가 진행되고 있다. 이와같은 초대형 해양구조물은 바이지식(Barge Type)과 반잠수식(Semisubmersible Type)으로 나

* 정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부

** 정회원, 부경대학교 공과대학 선박공학과

*** 부경대학교 대학원 선박공학과

눌 수 있다. 반잠수식의 일반적인 구조는 대형 상부구조와 다수의 지지부체 및 지지기초 혹은 계류부체 등으로 이루어져 있다. 다수의 요소부체로 지지된 대형 해양구조물의 거동해석을 정확히 평가하기 위해서는 먼저 파와 부체간의 유체역학적인 상호간섭에 의한 영향을 정확히 평가할 필요가 있기에 Goo는 3차원 특이점분포법과 Kagemoto & Yue¹⁴⁾의 상호간섭 이론을 결합하여 다수의 3차원 임의 형상 부체의 상호간섭 효과를 고려한 파강제력 및 운동응답을 계산하는 기법을 개발하였고¹⁵⁾, 해양공간이용구조물에 주로 이용되는 반잠수식 부체군에 대한 파강제력의 상호간섭특성에 대해서도 발표¹⁶⁾한 바가 있다.

그러나 이와같은 대형 해양구조물의 파랑응답에 대한 대부분의 연구는 파강제력을 취급할 때 한방향파(One-Directional Waves)로 가정하고 있으나, 실제 이들 구조물이 부유되거나 계류된 실험역의 파는 한방향파가 아닌 서로 다른 방향성을 갖는 다양한 성분파들로 구성된 다방향파(Multi-Directional Waves)이다. 그럼에도 불구하고 계측이나 해석의 어려움 때문에 해상상태를 한방향파로 흔히 가정하여 왔다.

따라서 보다 더 현실성 있는 결과를 얻기 위해서는 다방향파를 고려할 필요가 있다. 지금까지 행해진 다방향파중의 해양구조물에 대한 연구로서는 요소물체 혹은 부체에 대한 파력^{17),18)}, 선형응답^{19)~22)}, 비선형응답^{23)~25)} 및 다수부체에 대한 응답^{26)~28)} 등을 들 수 있다. 그러나, 다방향 불규칙파중에서 다수의 임의 형상 부체간의 유체역학적 상호간섭을 고려한 응답을 평가한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다방향 불규칙파중에서의 초대형 해양구조물에 대한 운동응답 및 구조응답을 정확히 평가하기 위한 전 단계로, 3차원 특이점분포법, 파의 상호간섭이론 및 스펙트럴 해석법을 결합하여 파의 상호간섭을 고려한 반잠수식 부체군에 작용하는 파강제력의 해석법을 개발하였다.

2. 이론 해석

이론해석을 위한 기본가정으로서, 유체는 비점성, 비압축성으로 하고, 유체의 운동은 비회전인

것으로 한다. 입사파의 유체운동은 미소진폭 주기운동을 하는 것으로 한다. 또한 자유표면은 모든 방향으로 무한히 펼쳐져 있는 것으로 하고, 유한수심의 경우에는 수심이 일정하다고 가정한다. 다수의 부체가 존재하는 경우의 부체 배치에 관한 가정으로 어떤 부체를 둘러싸는 최소반경의 가상연직 원주의 내측에는 다른 부체가 존재하지 않는 것으로 한다.

2.1 상호간섭을 고려한 파강제력¹⁵⁾

N 개의 부체가 해상에 배치되어 있을 때의 diffraction 문제를 생각한다. 이때 부체 j 의 모든 입사 포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_j^i(r_j, \theta_j, z) &= \phi_0(r_j, \theta_j, z) + \sum_{i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \{\psi_j^i\} \\ &= \left(\{a_j\}^T + \sum_{i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \{\psi_j^i\}, \end{aligned} \quad (j=1 \sim N) \quad (1)$$

여기서, (r_j, θ_j, z) 는 부체 j 의 국소원주좌표이고, $\phi_0(r_j, \theta_j, z)$ 는 부체 j 의 국소원주좌표계로 나타낸 평면입사파의 포텐셜이며, $\{a_j\}^T$ 는 $\phi_0(r_j, \theta_j, z)$ 의 계수벡터의 전치이다. $\{\psi_j^i\}$ 는 부체 j 에 입사하는 성분파를 요소로 하는 벡터이고, 부체 j 의 국소 원주 좌표계로 나타낸 것으로서 이 입사 성분파는 제1종 n 차 Bessel 함수 J_n 및 제1종 n 차 변형 Bessel 함수 I_n 의 항으로 표시된다. $[T_{ij}]$ 는 부체 i 의 국소원주 좌표계로 나타낸 부체 i 의 산란성분파와 부체 j 의 국소 원주 좌표계로 표시된 부체 j 의 입사성분파를 관계짓는 좌표변환 행렬이다. 그리고 $\{A_i\}^T$ 는 다음 식으로 표시되는 부체 i 를 둘러싸는 최소반경의 가상 연직원주 외측의 diffraction 포텐셜의 계수벡터의 전치이다.

$$\phi_i^D(r_i, \theta_i, z) = \{A_i\}^T \{\psi_i^D\} \quad (2)$$

단, $\{\psi_i^D\}$ 는 부체 i 의 산란성분파를 요소로 하는 벡터이며, 이 산란성분파는 진동성분파를 나

타내는 제1종 n 차 Hankel 함수 $H_n^{(1)}$ 및 단조감소 성분파를 나타내는 제2종 n 차 변형 Bessel 함수 K_n 의 유한급수항(이론적으로는 무한급수이지만 수치계산을 위해 유한 항수만 고려한 것)으로 나타내어 진다.

부체 j 의 전체 입사 포텐셜에 대한 diffraction 포텐셜은 부체 j 의 diffraction 특성을 나타내는 diffraction 전달행렬 $[B_j]$ 에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned} & \phi_j^D(\gamma_j, \theta_j, z) \\ &= \left(\{a_j\}^T + \sum_{i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) [B_j]^T \{ \phi_j^D \} \quad (3) \end{aligned}$$

여기서, $[B_j]^T$ 의 P 행의 요소는 $\{ \phi_j^D \}$ 의 P 번째의 요소의 입사성분파가 단독의 부체 j 에 입사한 경우의 부체 j 의 산란성분파의 계수로 이루어져 있으며 이 산란성분파의 계수는 diffraction 문제의 적분 방정식을 푸는 것에 의해 구해진다.

따라서, 식(2)의 부체 j 에 대한 표시식과 식(3)에서 다음 식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \{A_j\} &= [B_j] \left(\{a_j\} + \sum_{i \neq j}^N [T_{ij}]^T \{A_i\} \right) \\ (j &= 1 \sim N) \quad (4) \end{aligned}$$

식(4)를 풀어 계수벡터 $\{A_i\}$, ($i = 1 \sim N$)가 구해지면, 부체 j 의 파강제력을 $F_{kj} e^{-i\omega t}$ 로 하여, 파강제력의 복소진폭 F_{kj} 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} F_{kj} &= -i\rho\omega \int_{S_H} (\phi_j^I + \phi_j^D) n_{kj} dS \\ &= -i\rho\omega \left(\{a_j\}^T + \sum_{i \neq j}^N \{A_i\}^T [T_{ij}] \right) \\ &\quad \times \int_{S_H} \left(\{ \phi_j^I \} + \int_{S_H} \{ \sigma_j \} G_j dS \right) n_{kj} dS, \\ (k &= 1 \sim 6; j = 1 \sim N) \quad (5) \end{aligned}$$

여기서, i 는 허수단위, ρ 는 해수의 밀도, ω 는 평면입사파의 각진동수, n_{kj} 는 부체 j 의 k 방향의 일반방향여현, S_H 는 부체 j 의 침수표면, ϕ_j^D 는

부체 j 의 침수표면상의 총 diffraction 포텐셜이다. 그리고, 벡터 $\{ \sigma_j \}$ 의 P 번째의 요소는 $\{ \phi_j^I \}$ 의 P 번째의 요소의 입사 성분파가 단독의 부체 j 에 입사한 경우의 diffraction 문제의 적분방정식을 푸는 것에 의해 구해지는 부체 j 의 침수표면상의 source의 면밀도이고 diffraction 전달행렬의 전치행렬 $[B_j]^T$ 의 P 행의 요소를 구할 때 이미 구해진 것이고, G_j 는 부체 j 의 침수표면상의 Green 함수로서 단위 강도의 pulsating source에 의해 유기되는 포텐셜이다.

2.2 다방향파중의 파강제력 스펙트럴 해석

방향성을 갖는 불규칙파의 특성을 나타내는 다방향파의 스펙트럼 $S_{\chi\chi}(\omega, \chi)$ 는

$$S_{\chi\chi}(\omega, \chi) = D(\omega, \chi) S_{\chi\chi}(\omega) \quad (6)$$

와 같이 각 주파수 성분파의 방향 χ 에 따른 분포를 나타내는 주파수 성분파의 방향분포함수(Directional Distribution Function) $D(\omega, \chi)$ 와 주파수 ω 에 따른 파 에너지 분포를 나타내는 1차원 파 스펙트럼 $S_{\chi\chi}(\omega)$ 를 이용하여 표현할 수 있다. 방향분포함수 $D(\omega, \chi)$ 의 일반적인 모델은 주파수에 대해 독립인 여현분포함수로서 다음과 같이 표현된다²⁹⁾.

$$D(\chi) = \frac{\Gamma(S+1)}{\sqrt{\pi} \Gamma(S+\frac{1}{2})} \cos^{2S}(\chi - \theta_0) \quad (7)$$

여기서, θ_0 는 입사파의 주방향이고, $\chi - \theta_0$ 는 주방향과 성분파의 진행방향이 이루는 각을 나타내고 있다. S 는 파 에너지의 방향에 따른 분포의 분산된 정도를 나타내는 파라메타로서, $S \rightarrow \infty$ 일 때, 한방향파 즉, 장파장파가 된다.

본 연구에서 사용된 1차원 파 스펙트럼은 파고와 파주기의 정보를 알고 있을 때 사용하는 ISSC(Interaction Ship Structure Congress) 스펙트럼으로 다음과 같이 표현된다³⁰⁾.

$$\begin{aligned} S_{\chi\chi}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} 0.11 H_{1/3}^2 T_1 \left(\frac{T_1}{2\pi} \omega \right)^{-5} \\ &\quad \times \text{EXP} \left[-0.44 \left(\frac{T_1}{2\pi} \omega \right)^{-4} \right] \quad (8) \end{aligned}$$

여기서, $H_{1/3}$ 는 유의 파고(Significant Wave Height), T_1 는 평균 파주기(Mean Wave Period)이다.

주방향 θ_0 인 다방향파에 대한 주파수 응답 스펙트럼 $S_{rr}(\omega, \theta_0)$ 는 다음과 같이 주어진다²²⁾.

$$S_{rr}(\omega, \theta_0) = \int_{-\pi}^{\pi} |H_{r\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)|^2 \times S_{\zeta\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta) d\theta \quad (9)$$

단, $H_{r\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)$ 는 부체군의 주파수응답함수(단위진폭의 규칙파에 대한 파강제력의 응답)로서, 전 절에서 기술한 바와 같이 구해진다.

$S_{\zeta\zeta}(\omega, \theta_0 + \theta)$ 는 다방향파 스펙트럼을 나타내고, θ 는 $\chi - \theta_0$ 를 나타낸다.

이와같은 방법으로 파강제력의 응답 스펙트럼이 구해지면 다방향 불규칙파중에서의 파강제력 응답 진폭의 유의치 (significant value)는 다음과 같이 주어진다³¹⁾.

$$R_{1/3}(\theta_0) = 2.0 \sqrt{m_0(\theta_0)} \quad (10)$$

$m_0(\theta_0)$ 는 스펙트럼의 0차 모우멘트로서 분산을 나타내고 다음식에 의해 구해진다.

$$m_0(\theta_0) = \int_0^{\infty} S_{rr}(\omega, \theta_0) d\omega \quad (11)$$

3. 수치계산결과 및 고찰

Fig.1과 같은 Lowerhull형 반잠수식 부체가 Fig.2와 같이 7행 3열(21개)로 배치되어 있는 경우에 대하여, 다방향 불규칙파중의 반잠수식 부체군에 작용하는 파강제력을 생각한다. 21개의 지지 부체는 모두 동일하며, 부체 한개의 요소분할수는 500개로 하였다. 부체군의 행은 X 축에 평행하며 행간거리 D를 80, 160cm 의 2 종류로 하고, 열은 Y 축에 평행하며 열간거리는 160cm 로 하였다. 파입사각은 180°에서 270°까지 5°씩 증가시켜 19개로 하였으며 수심은 180cm 이다. 또한, diffraction 포텐셜의 무한급수의 항수로서 진동항을 5개, 단조 감소항을 10개로 계산했다.

사용된 일차원 스펙트럼은 유의파고 16cm, 평균

주기 1.1sec 인 ISSC 스펙트럼을 사용하였고, 한방향파와 다방향파의 전체 에너지는 일치하도록 하였다.

수치계산의 결과는 부체의 행간 거리가 80cm 인 경우에 대하여 주로 고찰하고 부체간 거리 변화에 따른 영향을 평가하기 위하여 행간거리가 160cm인 경우도 80cm와 비교·검토하였다.

3.1 상호간섭의 고려에 따른 파강제력 및 모멘트의 변화

한방향파(S=∞)의 유의치와 다방향파를 대표하여 ITTC에서 권장하는 방향분포²⁹⁾와 동일한 형으로 주어지는 S=2인 경우의 유의치에 미치는 상호간섭의 영향을 고찰한다.

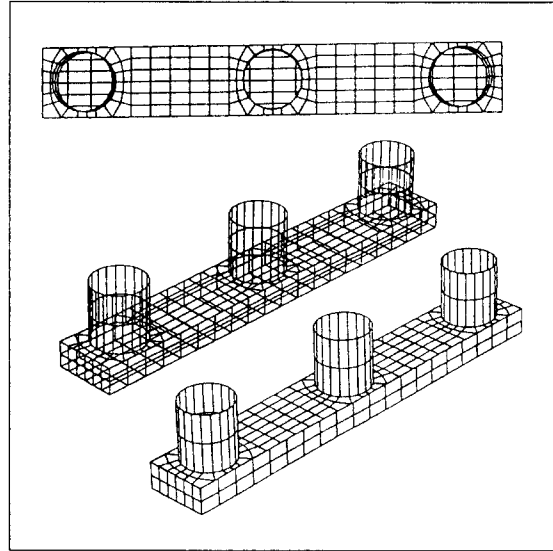
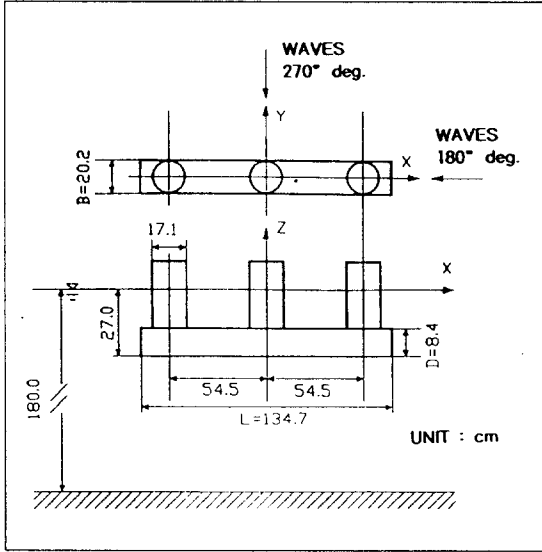
3.1.1 요소부체

Fig.3(a)~(f)는 Fig.2 와 같이 배치된 요소부체 2에 작용하는 파강제력 및 모멘트의 유의치를 나타낸다. 전반적으로 Fig.3 의 유의치는 Heave 강제력을 제외하고는 다방향파의 영향과 함께, 상호간섭의 효과도 나타나고 있다. 다방향파의 영향으로 인하여 한방향파의 유의치가 크게 나타나는 주방향에 대해서는 작게 나타나고, 한방향파의 유의치가 작게 나타나는 주방향에 대해서는 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 상호간섭의 효과는 Heave 강제력 및 Pitch, Roll 모멘트에 비하여 Surge, Sway 강제력과 Yaw 모멘트에서 두드러지게 나타난다.

Fig.3(a)의 Heave 강제력은 한방향파중에서는 입사각의 변화에 따라 상호간섭의 영향에 의한 유의치의 차이를 다소 보이고 있지만, 다방향파중에서는 상호간섭의 영향을 완화시키는 효과를 가져와 유의치의 차가 거의 없다.

Fig.3(b)의 Surge 강제력의 경우, 다방향파중에서는 입사각이 횡파(270°)인 경우에도 상당히 큰 Surge 강제력이 작용하는 것을 알 수 있고, 상호간섭효과도 파강제력에 최대 20% 정도의 차이를 보이고 있다.

Fig.3(c)는 Sway 강제력으로서, Fig.3(b)의 Surge 강제력과 유사하게 입사각의 변화에 따라 부체 2에 미치는 상호간섭효과가 두드러지게 나타나며, 다방향파를 적용하더라도 상호간섭효과가 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다.



(a) Sketch of a lowerhull type floating body

(b) Submerged surface of the lowerhull body represented by 500 panels

Fig.1 Configuration of a lowerhull type floating body

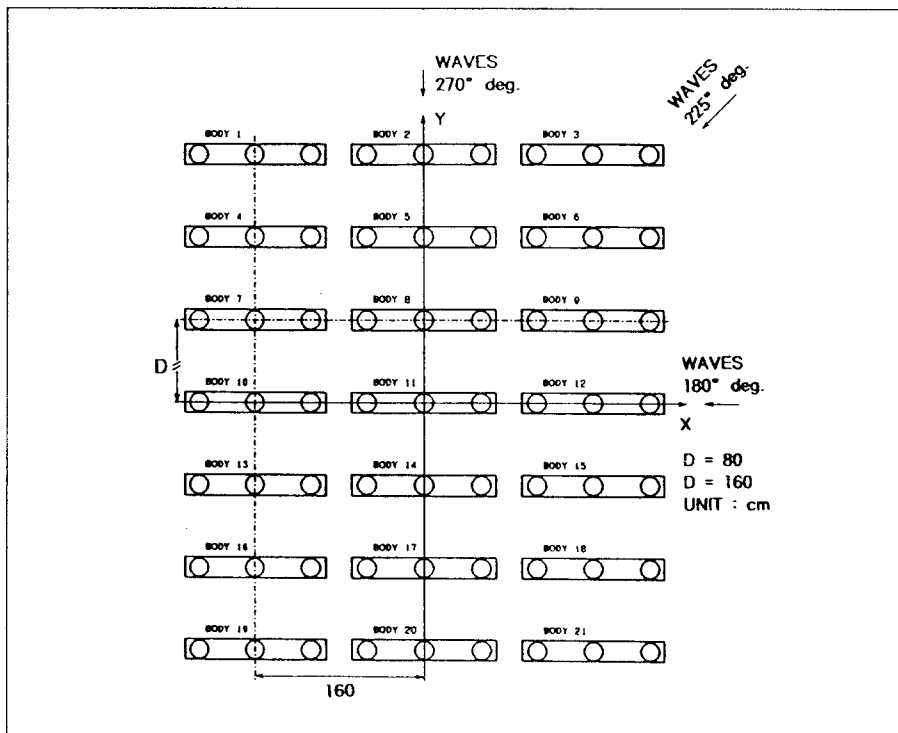


Fig.2. Sketch of arrays of 21(7 by 3) lowerhull type floating bodies.

Fig.3(d)의 Pitch 모멘트는 한방향파의 경우, 횡파에 가까워짐에 따라 상호간섭의 영향이 뚜렷하며, 부체에 따라서는(요소부체 10,12) 횡파의 경우에도 상호간섭효과로 인하여 미소한 크기의 Pitch 모멘트가 유발되는 것을 알 수 있다. 다방향파의 경우, 한방향파에 비하여, 입사각의 변화에 따른 상호간섭의 영향을 경감시키는 경향을 보이고 있다. 한편, 횡파일때에, 한방향파에서는 미소한 크기로 나타난 Pitch 모멘트가 다방향파에서는 최대 Pitch 모멘트의 60%에 상당하는 큰 모멘트로 작용하는 것을 볼 수 있다.

Fig.3(e)의 Roll 모멘트의 경우, 한방향파와 다방향파의 유의치가 일치하는 주방향을 기점으로 상호간섭의 영향은 Roll 모멘트의 크기를 반전시키고 있다.

Fig.3(f)는 Yaw 모멘트로써, 한방향파중에서는 예상대로 향파(180°)나 횡파에 비하여 사파중에서 Yaw 모멘트가 크게 발생하며, 상호간섭의 효과도 뚜렷하게 나타나고 향파쪽으로 Peak가 옮겨 가는 현상을 볼 수 있다. 다방향파중에서는 전반적으로 모든 입사각에 걸쳐 비슷한 값을 가지며, 향파나 횡파에서도 사파와 비슷한 크기의 Yaw 모멘트가 발생됨을 알 수 있다. 그리고, 상호간섭의 영향으로 Fig.3(e)의 Roll 모멘트에서 보여진 유의치의 반전이 Yaw 모멘트에서도 두드러지게 나타나고 있다.

3.1.2 부체군

Fig.4(a)~(f)는 Fig.2 와 같이 배치된 부체군 전체에 작용하는 파강제력 및 모멘트의 유의치를 나타낸다. 부체군 전체에 대한 유의치는 대체로 다방향파의 영향이 입사각의 변화에 따라서 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, Surge와 Sway 강제력은 각각 향파쪽과 횡파쪽으로 갈수록 상호간섭의 영향이 한방향파 및 다방향파에서 크게 나타나고 있으며, Yaw 모멘트도 입사각 전체에 걸쳐서 상호간섭의 영향이 크게 나타나고 있다.

Fig.4(a)의 Heave 강제력은 상호간섭의 영향이 대체로 적으며, 횡파와 향파쪽에서 미소하게 나타나고 있다. 부체군 전체에 작용하는 Heave 강제력은 한방향파에서는 향파와 횡파에서는 큰 값을 나

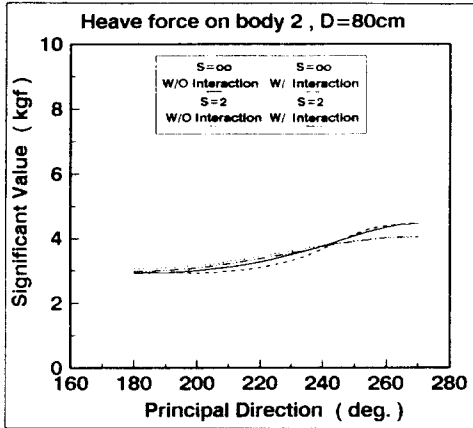
타내고 있지만, 사파중에서는 이 값에 비해 상당히 작은값을 나타낸다. 다방향파의 영향은 한방향파에서 보였던 횡파와 향파쪽의 큰 강제력을 상당량(50%) 감소시키는 효과를 가져오지만, 한방향파에서 그 값이 적게 나타났던 사파의 경우에는 현저하게 증대시키는 효과가 있음을 알 수 있다. 따라서, 주어진 파향에 부체군이 놓여질 경우, Heave 강제력의 평가에는 다방향파의 영향을 고려할 필요가 있음을 알 수 있다.

Fig.4(b)는 Surge 강제력을 나타내고, 한방향파중에서는 상호간섭의 효과가 두드러지게 나타나고, 동일하게 다방향파에서도 상당한 상호간섭효과가 나타남을 알 수 있다. 그리고, 다방향파의 영향으로, 향파에서의 Surge 강제력은 40% 정도 감소하지만, 그 외의 대부분의 입사각에서는 더 큰 Surge 강제력이 작용한다는 것을 보여주고 있다.

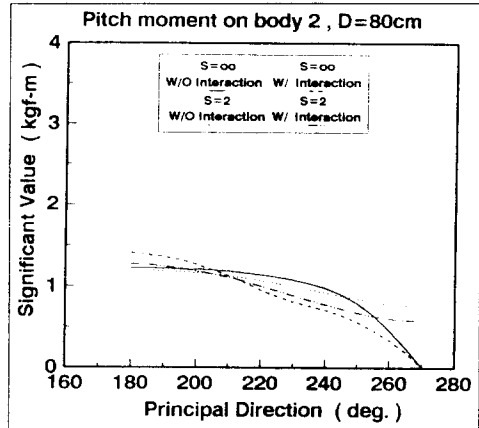
Fig.4(c)의 Sway 강제력에서는 한방향파와 다방향파에서 입사각 전반에 걸쳐 상호간섭의 효과가 크게 나타나고 있다. 특히, 한방향파에서는 횡파의 경우, 대략 40% 정도 크게 감소하고 있다. 또한, 다방향파에서도 횡파쪽의 입사각을 제외하면, 한방향파의 값에 비하여 대체로 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig.4(d)는 Pitch 모멘트를 나타내며, 입사각의 변화에 따른 상호간섭효과는 거의 무시할 수 있을 정도로 적게 나타나고 있다. 이것은 요소부체의 Pitch 모멘트뿐만 아니라 요소부체의 Heave 강제력도 부체군의 Pitch 모멘트에 크게 기여하기 때문인 것으로 생각된다. 한방향파에서, 거의 횡파에 가까운 입사각(265°)의 경우에도 Pitch 모멘트가 상당히 크게 (향파쪽 값의 40% 정도) 나타나는 흥미있는 결과를 보이고 있다. 다방향파에서는 향파의 유의치를 40% 가량 감소시키는 효과가 있지만 횡파가 되더라도 사파의 경우와 비슷한 크기의 큰 Pitch 모멘트가 유발될 수 있음을 보이고 있다. 따라서, 부체군에 의해 지지된 구조물이 임의 각도로 설치될 경우, 이와같은 다방향파의 영향을 고려해야 된다는 것을 알 수 있다.

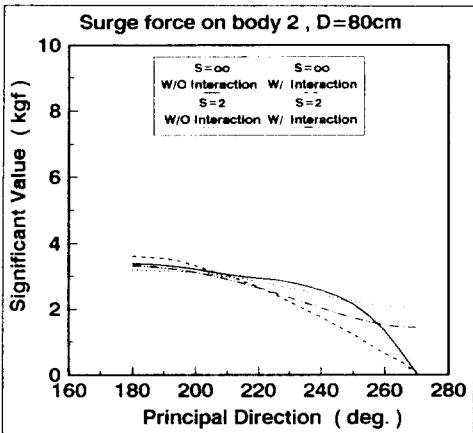
Roll 모멘트를 나타내는 Fig.4(e)는 상호간섭의 영향이 향파쪽에서 미소하게 나타나고 있다. 그리고, 한방향파에서 향파에 가까운 입사각 190°~



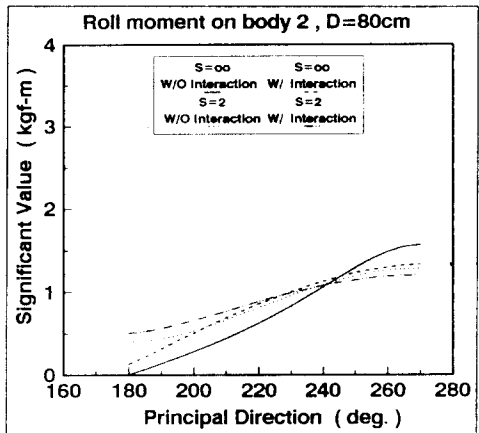
(a) Heave Forces



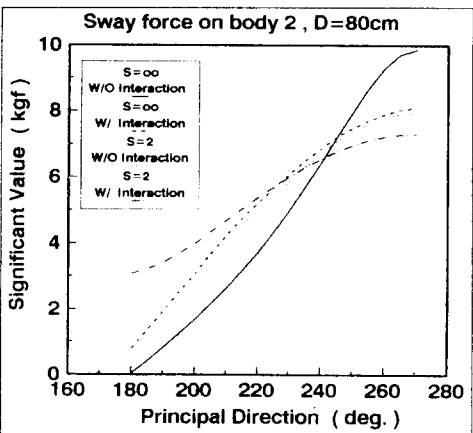
(d) Pitch Moments



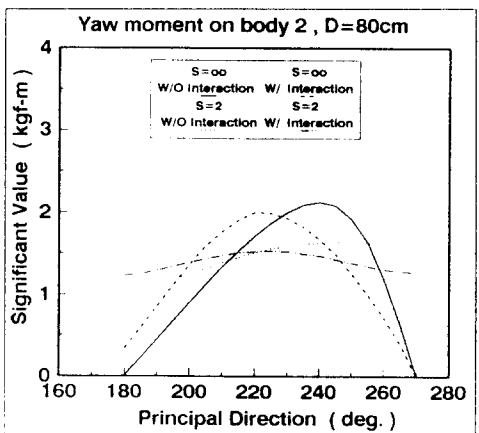
(b) Surge Forces



(e) Roll Moments

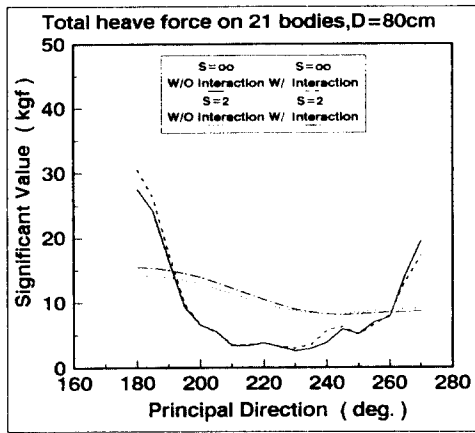


(c) Sway Forces

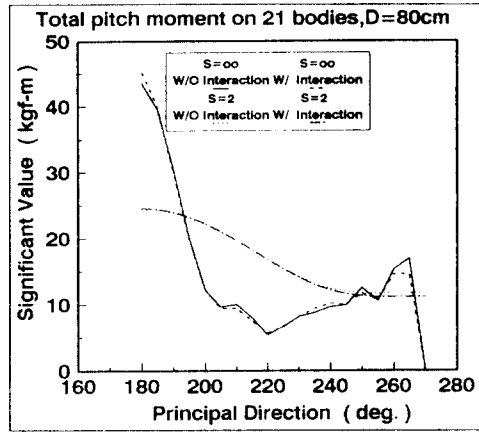


(f) Yaw Moments

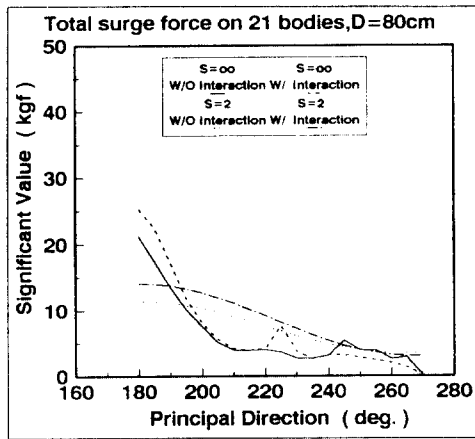
Fig.3 Significant values of wave exciting forces and moments on a lowerhull type floating body for various principal directions ($S = \infty, 2, D = 80\text{cm}$)



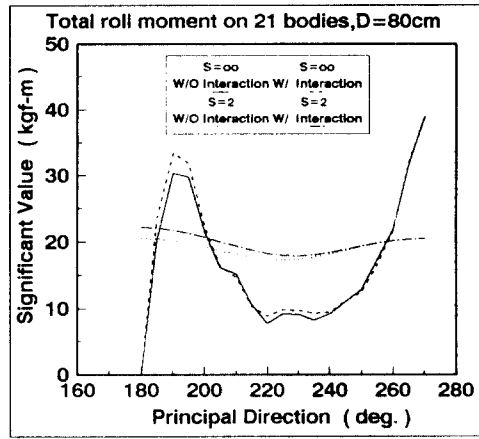
(a) Heave Forces



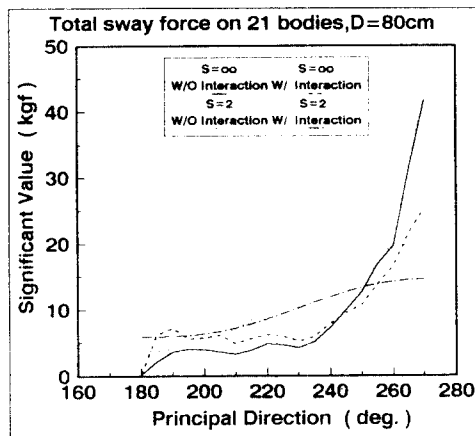
(d) Pitch Moments



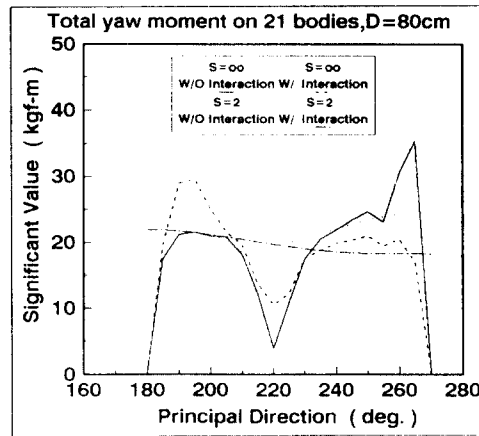
(b) Surge Forces



(e) Roll Moments



(c) Sway Forces



(f) Yaw Moments

Fig.4 Significant values of total wave exciting forces and moments on an array of 21 lowerhull type floating bodies for various principal directions ($S = \infty, 2$, $D = 80\text{cm}$)

195°에서 횡파에서의 Roll 모멘트와 비슷한 큰 모멘트를 발생시키는 흥미있는 현상을 볼 수 있다. 이 영향으로 인하여 다방향파의 경우, 입사각과는 무관하게 거의 같은 크기의 Roll 모멘트가 발생되고, 오히려, 횡파쪽에서 횡파쪽의 모멘트보다 더 큰 Roll 모멘트를 유발시킬 수 있음에 주의해야 한다.

마지막으로, Fig.4(f)로 표현되고 있는, Yaw 모멘트는 한방향파에서 횡파쪽과 횡파쪽에서 큰 값을 가지는 쌍봉현상을 보여 주고 있다. 특히 220° 사파중에서는 상호간섭을 고려하지 않는 경우, 극히 작은 Yaw 모멘트가 발생되나, 상호간섭을 고려할 경우, 그 값이 크게 증가하고 있다. 또한, 횡파와 항파 부근의 입사각에서는 최대의 모멘트가 발생하고 있다. 다방향파의 영향은 최대 Yaw 모멘트는 감소시키고있으나 입사각에 따라 거의 비슷한 Yaw 모멘트를 발생시키고 있다. 특히, 항파와 횡파의 경우에는 사파의 경우보다 더 큰 Yaw 모멘트가 발생할 수 있음에 주의를 기할 필요가 있다.

이상의 결과를 토대로 요소부체와 부체군에 작용하는 상호간섭의 영향 및 다방향파의 영향을 요약하면 다음과 같다.

상호간섭효과는 대체로, 사파 부근을 기점으로 하여 항파쪽의 파강제력을 증가시키고, 한방향파 및 다방향 파중에 있어서 횡파쪽의 파강제력을 감소시키는 방향으로 나타나고 있다. 이 영향으로 인하여 다방향파중에서도 한방향파의 유의치와 $S=2$ 인 다방향파의 유의치가 일치하는 주방향을 기점으로 하여 유의치의 반전이 보편적으로 나타나고 있다. 그리고 다방향파의 영향은 한방향파중에서 큰 유의치는 작게 하고, 작은 유의치는 크게 함을 알 수 있다. 그러나, 한방향파중에서는 파강제력 및 모멘트를 유발시키지 않는 입사각에 대하여 다방향파중에서는 상당한 파강제력과 모멘트를 유발시킬 수 있음에 주의를 요한다.

3.2 요소부체의 위치에 따른 파강제력 및 모멘트의 비교

여기서는, 요소부체의 위치에 따라 달라지는 파

강제력 및 모멘트를 고찰하기 위하여 Fig.2 와 같이 배치된 요소부체 2, 11, 20의 계산결과와 파랑중 부체 하나만 존재하는 단독부체의 계산결과를 서로 비교하여 상호간섭의 영향 및 다방향파의 영향을 검토한다.

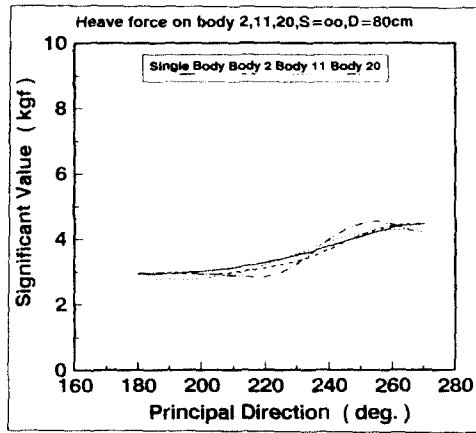
3.2.1 한방향파중의 요소부체 2,11,20과 단독부체

Fig.5(a)~(f)는 한방향파중의 단독부체와 부체 2, 11, 20에 작용하는 파강제력 및 모멘트를 나타낸다. Fig.5(a),(b)(d),(e)의 Heave, Surge 강제력과 Pitch, Roll 모멘트는 부체위치에 따른 상호간섭의 영향이 그다지 크지 않음을 나타내고 있다. Fig.5(c)의 Sway 강제력과 Fig.5(f)의 Yaw 모멘트의 경우, 부체의 위치에 따라서 부체가 받게되는 강제력 및 모멘트가 달라짐을 볼 수 있다. 특히 Yaw 모멘트에서는 상호간섭의 영향으로 인하여 사파부근에서 요소부체 11에 작용하는 Yaw 모멘트가 단독부체와 요소부체 2, 20 에 비해서 상당히 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. Pitch모멘트를 나타내는 Fig.5(d)에서, 사파중에서는 요소부체 2의 Pitch 모멘트가 가장 작게 나타나는 반면, 횡파쪽에서는 요소부체 11의 값이 가장 낮게 나타나는 등 입사각에 따른 각 요소부체의 유의치가 다양하게 나타나고 있다. 그리고, 항파쪽에서는 요소부체 20의 값이 가장 큰 것을 볼 수 있다. Fig.5(e)에서 요소부체 2의 Roll 모멘트도 입사각 250°부근을 제외하고는 가장 큰 값을 나타내고 있다.

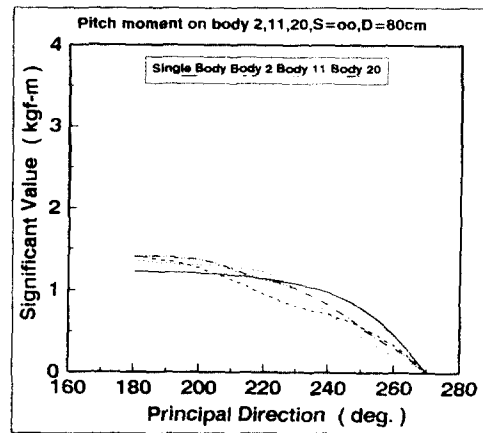
3.2.2 다방향파중의 요소부체 2,11,20과 단독부체

Fig.6(a)~(f)는 다방향파중의 단독부체와 부체 2, 11, 20에 작용하는 파강제력 및 모멘트를 나타낸다. 다방향파중에 배치된 부체의 경우, 부체의 위치와는 무관하게 거의 유사한 파강제력 및 모멘트 값을 나타내고 있다. 이 같은 이유는 다방향파중에서는 상호간섭의 영향이 완화되는 효과 때문이다. 그러나, 다방향파중이라도 Sway 강제력과 Yaw 모멘트에서는 상호간섭의 영향이 횡파쪽에서 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 Sway를 제외한 경우에도 입사각과 무관하게 거의 유사한 파강제력 및 모멘트가 나타나고 있다.

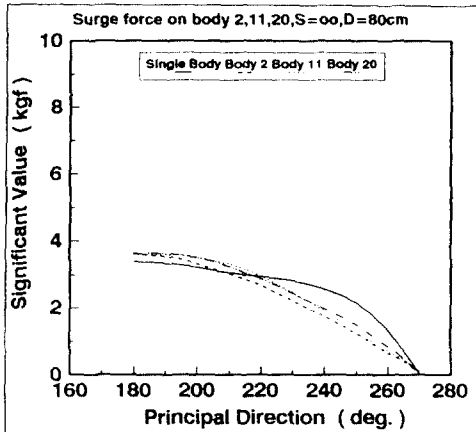
다방향 불규칙파중에서의 반잠수식 부채군에 작용하는 파강제력



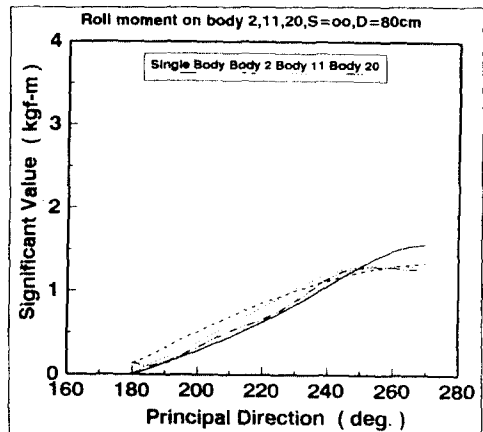
(a) Heave Forces



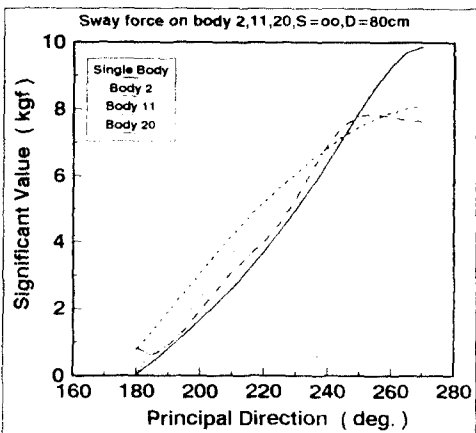
(d) Pitch Moments



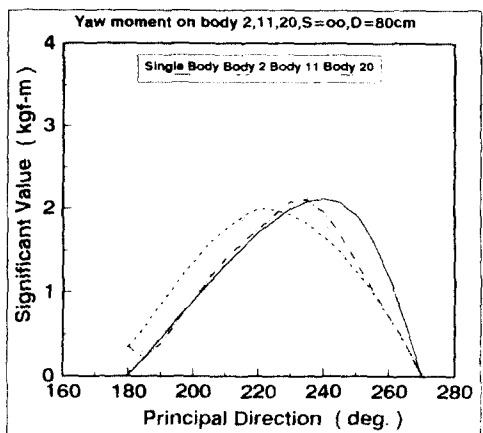
(b) Surge Forces



(e) Roll Moments

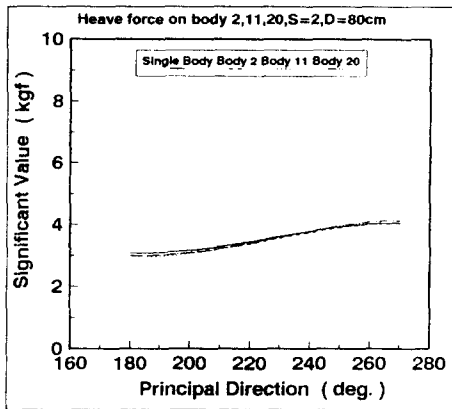


(c) Sway Forces

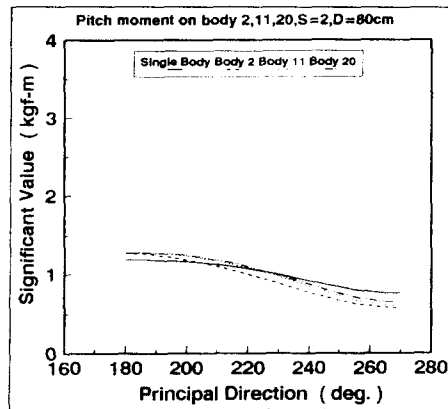


(f) Yaw Moments

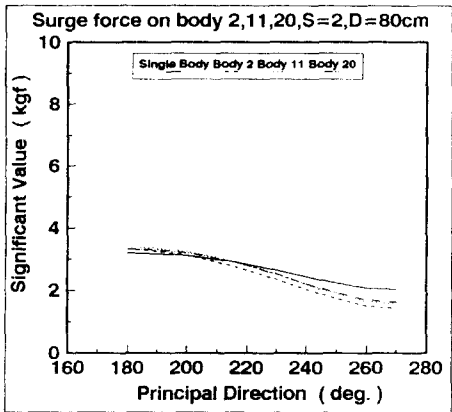
Fig.5 Significant values of wave exciting forces and moments on lowerhull type floating bodies for various principal directions ($S = \infty$, $D = 80\text{cm}$)



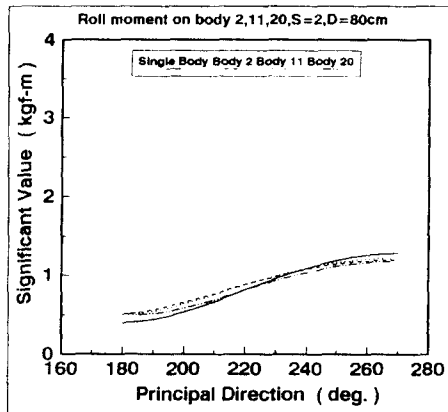
(a) Heave Forces



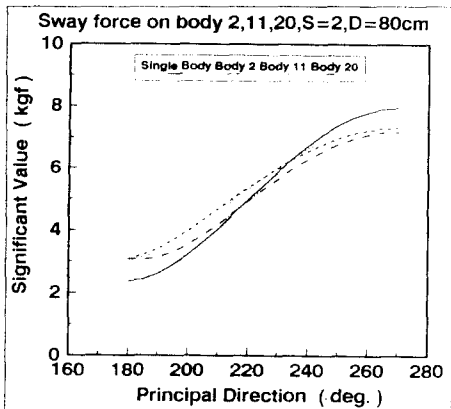
(d) Pitch Moments



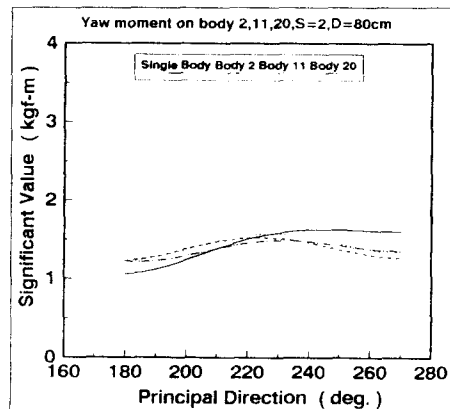
(b) Surge Forces



(e) Roll Moments



(c) Sway Forces



(f) Yaw Moments

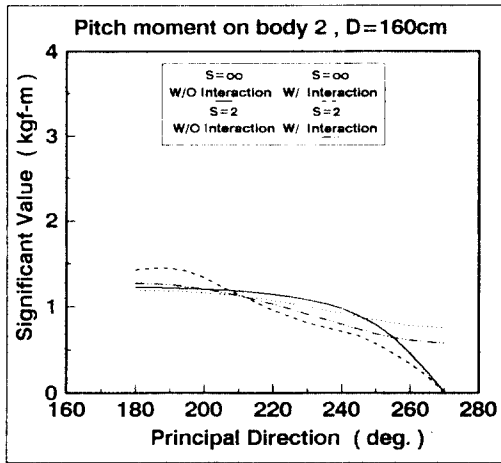
Fig.6 Significant values of wave exciting forces and moments on lowerhull type floating bodies for various principal directions (S = 2 , D = 80cm)

3.3 부체간 거리 변화에 따른 상호간섭 및 다방향파의 효과

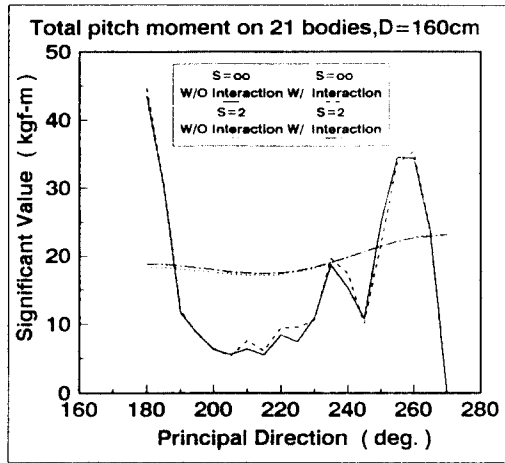
부체의 행간거리를 80cm에서 그 두배인 160cm로 하였을 때, Pitch 모멘트에 미치는 상호간섭 및 다방향파의 영향을 고찰한다.

Fig.7(a)~(d)는 부체의 행간거리를 160cm로 하였을 경우의 몇가지 Pitch 모멘트를 나타낸다. 앞

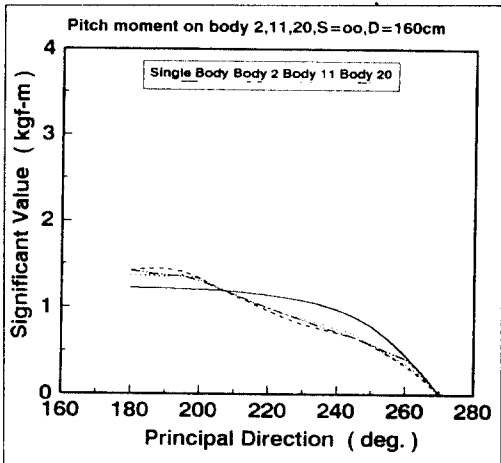
서 고찰한 부체간 거리가 80 cm 일때와 비교해 보면, Fig.4(d)와 Fig.7(b)의 부체군에 작용하는 Pitch 모멘트는 부체간의 거리 변화에도 불구하고 상호간섭의 효과의 거의 무시할 수 있을 정도로 작게 나타난다. 또한, 한방향파 중에서 부체간격을 160 cm로 했을 경우는 80 cm의 경우에 비하여 거의 횡파에 가까운 입사각(260°)에서 향파에 필적할 만큼 큰 Pitch 모멘트가 발생됨을 알 수 있다. 그



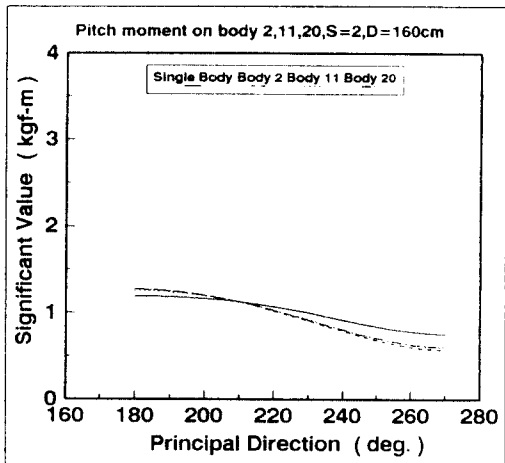
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.7 Significant values of pitch moments on lowerhull type floating body and bodies for various principal directions (S = ∞, 2, D = 80cm)

영향으로 인하여 다방향파 중에 있어서는 모든 입사각에 대하여 비슷한 값을 보일 뿐만 아니라 횡파의 경우가 오히려 더 큰 Pitch 모멘트가 나타나고 있다.

4. 결 론

본 논문에서 취급한 계산모델 및 계산조건하에서 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 다방향 파중에서 다수의 임의 형상 부체간의 유체역학적 상호간섭을 고려하여 파강제력의 유의치를 구할 수 있는 기법을 개발하였다.
- (2) 본 논문에서 취급한 계산모델에 대한 한방향파 및 다방향 파중에서의 상호간섭 효과는 대체로 사파 부근을 기점으로하여 항파쪽의 파강제력을 증가시키고, 횡파쪽의 파강제력을 감소시키는 방향으로 나타나고 있다.
- (3) 한방향 파중에서 파강제력이 큰 경우에는 다방향파의 영향으로 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나, 작은 경우에는 다방향파의 영향이 무시될 수 없을 정도로 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) 寺井精英, "海洋情報都市", TBSブリタニカ, 1986
- 2) 日本産業機械工業會, "浮體人工都市實現化の調査研究報告書", 1990
- 3) 日本海洋開發建設協會, "21世紀に向けてこれからの海洋開發", 山海堂, pp.26-33, 1988
- 4) 安藤定雄ほか, "浮體工法による海上空港建設に係わる評價のための技術調査研究", 船舶技術研究所報告別冊, 第4號, 1983
- 5) Chow, P.Y. et al., "Engineering Concepts for Design and Construction of Very Large Floating Structures", Proceedings of the First International Workshop on Very Large Floating Structures, pp.97-106, 1991
- 6) Baschieri, M. and Bellincioni, P., "Prestressed Concrete Floating Airport", Proceedings of the First International Workshop on Very Large Floating Structures, pp.421-436, 1991

- 7) 吉田宏一郎ほか, "中水深域空間利用構造體の開發", 半潛水式リング狀構造體の検討, 日本造船學會論文集, 第165號, pp.203-213, 1989
- 8) 吉田宏一郎ほか, "中水深域空間利用構造體の開發 (その2)", 礎着, 免震システムの開發と構造體の最適化, 日本造船學會論文集, 第170號, pp.619-629, 1991
- 9) 平山次清, ほか, "長壽命浮体海上空港の波浪中應答特性", 日本造船學會論文集, 第177, 178, 179號, 1995, 1996
- 10) Maeda, H. et al., "Hydroelastic Responses of Pontoon Type Very Large Floating Offshore Structure", Journal of the society of naval architects of Japan, Vol.178, pp.203-212, 1995
- 11) Murai, M. Kagemoto, H. and Fujino, M., "On the Predictions of Hydroelastic Behaviours of a Huge Floating Structure in Waves - A Pontoon-type Floating Structure -", Journal of the society of naval architects of Japan, Vol.178, pp.213-224, 1995
- 12) Hickey, E.I. et al., "Mobile Offshore Bases", Proceedings of the First International Workshop on Very Large Floating Structure", pp.133-148, 1991
- 13) Riggs, H.R. and Ertekin, R.C., "Approximate Methods for Dynamic Response of Multi-Module Floating Structures", Proceedings of the First International Workshop on Very Large Floating Structure" pp.333-354, 1991
- 14) Kagemoto, H. and Yue, D.K.P., "Interactions among Multiple Three-Dimensional Bodies in Water Waves, An Exact Algebraic Method", Journal of Fluid Mechanics, Vol.166, pp.189-209, 1986
- 15) 具滋三, 吉田宏一郎, "多數の三次元任意形狀物體間の相互干涉", 日本造船學會論文集, 第165號, pp.193-202, 1989
- 16) 구자삼, 홍봉기, "반잠수식 부체군의 상호간섭 특성", 한국어업기술학회, 제28권제1호 pp.93-103, 1992
- 17) Isaacson, M. and Nwogu, O., "Short-crested

- Wave Forces on a Vertical Pile", OMAE, pp.47-54, 1988
- 18) Aage,C. et al., "Wave Loads on a Cylinder in 2-D and 3-D Deep Water Waves", OMAE, pp.175-181, 1989
- 19) Jo, H.J.,Maeda,H. and Miyajima,S., "Effects of Directional Waves on the Behaviour of Semisub-mersible Rigs", PRADS, pp.116-129, 1992
- 20) Sand, S.E.,Romeling,J. and Kirkegaard,J., "Influence of Wave Directionality on Response of Semisub-mersible", OMAE, pp.239-245, 1987
- 21) 竹澤誠二,小林顯太郎, "方向スペクトル波中における海洋構造物の應答-その1線形一次應答-", 日本造船學會論文集, 第165號, pp.141-152, 1989
- 22) 구자삼, 조효제, 이창호, "다방향불규칙파중의 TLP의 동적응답해석", 한국해양공학회지, 제8권, 제1호, pp23-32, 1994
- 23) Maeda, H.,Jo,H.J. and Miyajima,S., "Effects of Directional Waves on the Low-frequency Motions of Moored Floating Structures", ISOPE, pp.489-495, 1992
- 24) Pinkster, J.A., "The Influence of Directional Spreading of Waves on Mooring Forces", OTC5629, pp. 129-140, 1988
- 25) 竹澤誠二,小林顯太郎, "方向スペクトル波中における海洋構造物の應答-その2非線形應答-", 日本造船學會論文集, 第166號, pp.139-150, 1989
- 26) Takezawa,S. et al. "Experiments on Responses of Very Large Floating Offshore Structures in Directional Spectrum Waves", Journal of the society of naval architects of Japan, Vol.171, pp.511-523, 1992
- 27) Takezawa,S. et al. "Experiments on Responses of Very Large Floating Offshore Structures in Directional Spectrum Waves (2nd report)", Journal of the society of naval architects of Japan, Vol. 172, pp.57-68, 1992
- 28) Takezawa,S. et al. "Experiments on Responses of Very Large Floating Offshore Structures in Directional Spectrum Waves (3rd report)", Journal of the society of naval architects of Japan, Vol. 173, pp.147-159, 1993
- 29) 高石敬史, その他, "海洋波の方向波スペクトルについて", 日本造船學會誌, 第740號, pp.94-113, 1991
- 30) 山内保文, "不規則現象論", 海文堂, pp.138-149, 1986
- 31) Price,W.G. and Bishop,R.E.D., "Probabilistic Theory of Ship Dynamics", John Wiley & Sons, pp.180, 1974