

半潛水式 海洋構造物의 要素部材에 作用하는 流體力

박 노 식*

(94년 9월 5일 접수)

A Study for Hydrodynamic Forces Acting on Structural Parts of Semi-submersible Units.

Park ro sik*

Key Words : Practical method (실용적 계산방법), Three-dimensional method (3차원 특이점 분포법), Hydrodynamic mutual interference (유체역학적 상호간섭), Very large floating structures (초대형 부유구조물)

Abstract

This paper compared with the hydrodynamic interference acting on the semi-submersible element model with 1-lowerhull and 2-columns. In this case, calculation are applying the strip method and 3-dimensional source distribution method. As the wave frequency and the distance between increase, the influence effects of parts upon each other decrease and approach the results calculated by using the strip method. Thus, it can be prepared for the investigation of new practical method of investigation of new practical method of hydrodynamic forces acting on huge structures.

1. 序 論

선진 해양 국가에서는 해양자원 및 해양공간을 유용하게 이용하기 위하여 각종 해양구조물들이 급속도로 개발 건조되고있다. 특히 국토면적이 적은 우리나라에 있어서는 해양공간의 이용은 점점 절실한 문제이다. 최근 일본에서는 연안개발구상¹⁾이 발표되어 실시단계이며, 석유비축기지²⁾등의 대형부유구조물이 설치되고 있는 실정이다. 또한 장차 해양공간의 이용을 생각한다면 심해역까지

의 진출이 예상되며 이들 중에는 해양도시등 광대한 갑판면적을 가지는 거대한 구조가 요구되므로 새로운 여러가지 문제점이 제기된다. 예를 들면 이제까지 선박이나 해양구조물에 작용하는 유체력 및 운동 응답추정에는 strip법³⁾등의 실용적 계산법이 이용되어 왔으나, 거대구조물에 작용하는 유체력은 3차원 간섭영향을 많이 받는것이 예상되어 종래의 방법으로는 문제가 있다고 생각한다. 최근 대형구조물에 작용하는 유체력추정 방법에 있어서 몇몇 연구가⁴⁻⁸⁾들에 의해 부재사이의 유체역학적 간섭영향을 고려하는 실용적 방법을

* 울산대학교 조선해양공학과

제안하고있다.

본 연구에서는 초대형구조물에 작용하는 유체력의 실용적인 계산방법을 연구하기 위하여 구조물 부재간의 유체역학적 상호간섭영향과 부재치수변화에 따른 추정방법의 차이를 비교하였다. 이를 위해 1-Lowerhull 과 2-Columm으로 구성된 반잠수식 요소구조물 모형을 이용하여 strip 법과 3차원 특이점 분포법을 적용 Radiation force와 파강제력을 계산하였다. 또한 원통형 cylinder을 이용하여 산란파의 영향을 검토하고 이들 결과들로부터 대형구조물의 실용적 유체력 계산방법을 연구하기위한 기틀을 마련하였다.

2. 理論의 概要

Fig.1에 표시한 것처럼 정지수면에 x-y 평면을 취하고 연직상방을 z축의 정방향으로 한다. 해양 구조물에 작용하는 유체력의 추정에는 여러가지 방법이 있으나 본론에서는 strip법과 3차원 특이점 분포법을 이용하였다. 이들 추정법의 정식화는 많은 문헌(11)에 나타나 있으므로 필요한 개요만을 기술한다.

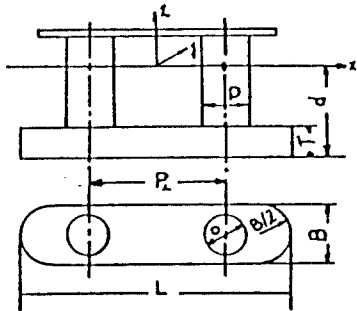


Fig. 1 Semi-Submersible parts model

2.1 Strip 법

구조물의 임의 단면에 작용하는 j 방향의 2차원 유체력을 f_j 라 하면 Strip법에 의한 구조물 전체에 작용하는 유체력은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$F_j = \int_L f_j dl \quad (1)$$

여기서 이들 단면에 작용하는 유체력 f_j 에 대하여는 DNV Rules⁹⁾에 의한 값과 2차원 특이점 분포법에 의한 값의 2종류를 이용하여 계산하였다.

2.2 3차원 특이점 분포법

유체는 비회전 이상유체라하고, 유체영역은 무한유체라 가정하며, 물체는 동요원주파수 ω 로 동요하고 있는 상태를 생각한다. 이때 물체주위의 유체의 속도 potential은 다음식으로 나타난다.

$$\Phi(x,y,z;t) = \text{Re}\{\phi(x,y,z) e^{i\omega t}\} \quad (2)$$

ϕ 는 유체내부에서 Laplace 방정식을 만족하고 자유표면조건, radiation 조건, 물체표면조건 및 수저조건을 만족하고 있다. 이때 각 경계에서 경계조건을 만족하는 속도 potential $\phi_j(j=1\sim 6)$ 은 선체표면상에 분포시킨 source 의 크기 $\sigma_j(Q)$ 를 이용하면

$$\phi_j(P) = \iint_s \sigma(Q) G(P,Q) ds(Q) \quad (3)$$

과 같이 표시된다. 여기서 P는 field point를 나타내며, Q는 source point를 나타낸다. $G(P,Q)$ 는 다음식으로 표시한 Green 함수이다.

$$\begin{aligned} G(P,Q) = & -\frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right) \\ & + \frac{K}{4} e^{K(z+z')} \{H_0(KR) + Y_0(KR)\} \\ & - \frac{K}{2\pi} e^{K(z+z')} \int_0^{z+z'} \frac{e^{k\xi}}{(R^2 + \xi^2)^{1/2}} d\xi \\ & + i \frac{K}{2} e^{K(z+z')} J_0(KR) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{aligned} r, r_1 = & \{ (x-x')^2 + (y-y')^2 + (z+z')^2 \}^{1/2} \\ R = & \{ (x-x')^2 + (y-y')^2 \}^{1/2} \end{aligned}$$

H_0 : 0차의 struve 함수
 J_0, Y_0 : 0차의 제1종, 제2종 Bessel 함수

또한 수선면적이 배수량에 비해 매우 작다고 가정하면 (4)의 국부 각란 및 파동의 영향이 작다고 생각할 수 있으며 다음과 같이 간단히 표시할 수 있다.

$$G(P,Q) \cong -\frac{1}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right) \quad (5)$$

(3)식에서 유체영역중의 점 P가 물체표면상에 있을때 ϕ_j 를 만족하는 적분방정식은 (3)식을 법선 방향으로 미분하면 다음식과 같이 된다.

$$\frac{\partial \phi_j(P)}{\partial n} = -2\pi\sigma(P) + \iint_s \sigma_j(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P,Q) ds(Q) \quad (6)$$

물체표면을 유한개의 평면 panel로 분할하고 각 panel 내에서 potential 의 값이 일정하다고 가정하여 (6)식을 이산화하면 물체표면상의 source의 크기를 미지수로하는 연립방정식이 된다. 이때에 각 유체력계산은 속도 potential ϕ_j 로부터 구할 수 있다. 즉 j mode 운동을 하고 있을 때의 단위속도의 속도 potential 을 $\phi_j(j=1\sim 6)$ 라 하면, 부가질량 M_{ij} , 조파감쇄계수 N_{ij} 는 각각 다음과 같이 구한다.

$$M_{ij} = -\rho \operatorname{Re}[\iint_s \phi_j n_i ds] \quad (7)$$

$$N_{ij} = -\rho\omega \operatorname{Im}[\iint_s \phi_j n_i ds] \quad (8)$$

단, Re : 실수부, Im : 수부
 n_i : 물체표면의 i 방향의 단위외향법선 vector

또한 부유체가 규칙과중에서 고정되어 있을때의 반사파의 속도 potential을 ϕ_7 라 하면 이는 (3)식에서 $(\partial \phi_7 / \partial n) = -(\partial \phi_0 / \partial n)$ 의 해이다. 단 ϕ_0 는 입사파의 속도 potential로 다음식으로 표시된다.

$$\phi_0 e^{i\omega t} = -\frac{i\omega a}{k} e^{kz + ik(x\cos\alpha + y\sin\alpha) + i\omega t} \quad (9)$$

단, a : 파진폭, α : 파의 입사각

j 방향에 작용하는 파강제력은 다음식으로 구한다.

$$F_j = i\rho\omega \iint_s (\phi_0 + \phi_7) n_j ds \quad (10)$$

여기서 대응하는 mode의 Radiation potential ϕ_j 를 이용하여 Haskind의 관계를 이용하면 다음과 같다.

$$F_j = i\rho\omega \iint_s (\phi_0 \frac{\partial \phi_j}{\partial n} - \phi_j \frac{\partial \phi_0}{\partial n}) ds \quad (11)$$

본계산에서는 (11)식을 이용하여 파강제력을 구하였다.

3. 數值計算

Fig.2 는 이제까지 연구되어온 column 중심 간격 P/D 와 홀수 d/D 와의 관계를 나타낸것이다. 이들로 부터 알수 있듯이 대부분의 반잠수식 해양구조물은 몰수심도와 중심간격이 비교적 큰것을 알수있다. 문헌 (10)에서 이미 발표한바 있듯이 2차원 유체력과 3차원 유체력 분포에는 영역에 따라 결과의 차이가 있는것이 판명되었다. 그러나 이들의 유체력 분포를 적분한 전체의 유체력은 큰 차이가 없는 경우도 있음을 알수 있었다. 본 논문에서는 3차원 간섭영향의 치수에 따른 변화를 조

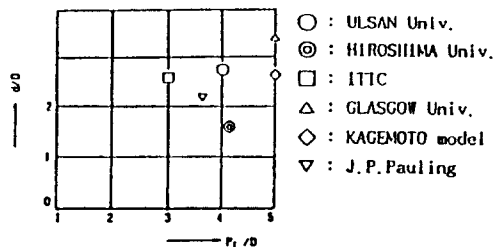


Fig. 2 Ratio of principle dimensions for Semi-Submersible model

사하기 위하여 Fig.2 에 나타낸것처럼 $P/D = 1.5 \sim 5$, $d/D = 1.5 \sim 4$ 의 영역에 대하여 전 후, 좌우 및 상하요의 유체력에 대하여 Strip 법 (2차원 특이점 분포법(이하 OSM 이라함)과 DNV Rule 에의한 값 (이하 NVM 이라함) 과 3 차원 특이점 분포법(이하 3DM 이라함)을 이용하여 계산하고 3DM을 중심으로 즉 OSM/3DM, NVM/3DM 를 각각 점선과 실선으로 표시하고 $KD=0.2$, $KD=0.6$ 개의 주파수에 대한 결과를 Fig.3~ 8 에 나타내었다. 그림에서 알수있듯이 당연히 예측되는 결과이나 주파수 KD 가 증가하고, column 중심간격 P/D 가 증가함에 따라 OSM 은 3DM 의 값에 접근하고있다. 부가질량분포에 있어서 2차원 값은 3차원 값에 비교하여 좌우요의 경우 과소평가 되었으며 상하요에 있어서는 과대평가 되었다. 또한 산란파의 영향을 비교하기 위하여 연직 원통형 cylinder에 대하여 원통의 직경(D)와 홀수(d)의 비가 1.0과 1.5의 경우에 대하여 (4)식 과 (5)식을 이용하여 계산한 유체력 결과를 Fig.9~11에 나타내었다. 그림에서

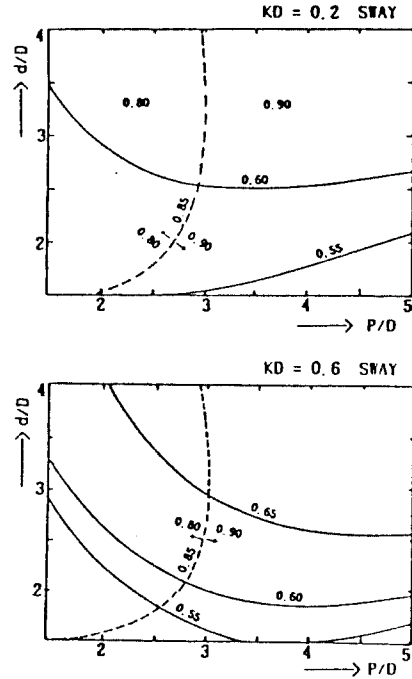


Fig. 4 comparison of added mass for sway by OSM and 3DM

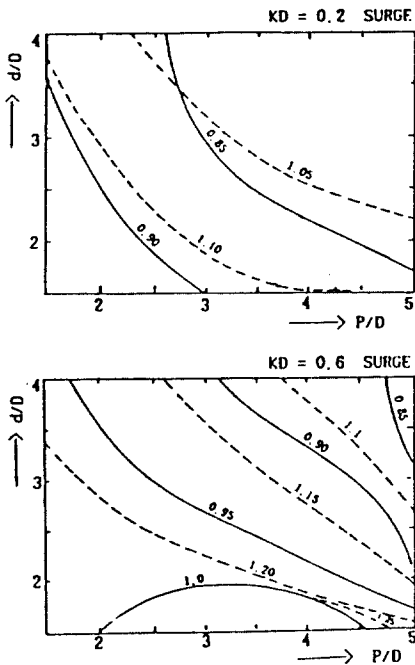


Fig. 3 Comparison of added mass for surge by OSM AND 3DM

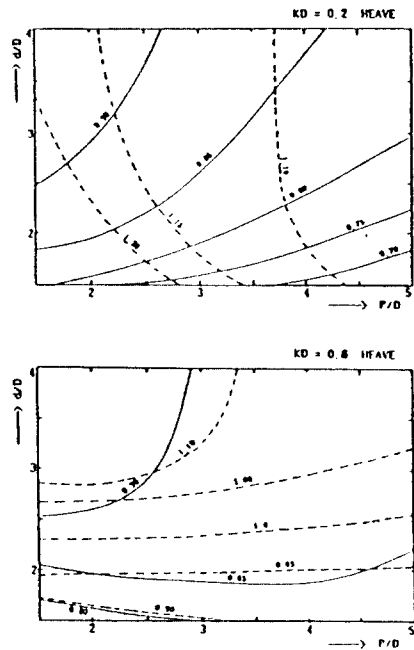


Fig. 5 Comparison of added mass for heave by OSM and 3DM

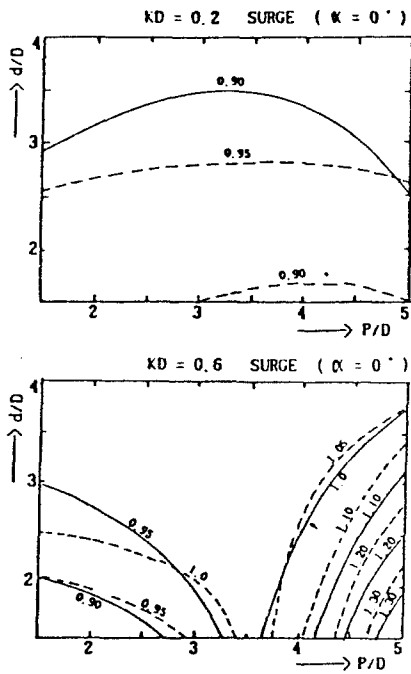


Fig. 6 Comparison of wave exciting force for surge by OSM and 3DM

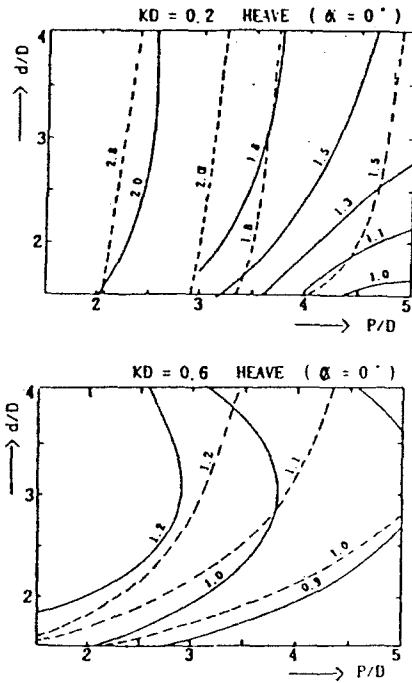


Fig. 8 Comparison of wave exciting force for heave by OSM and 3DM

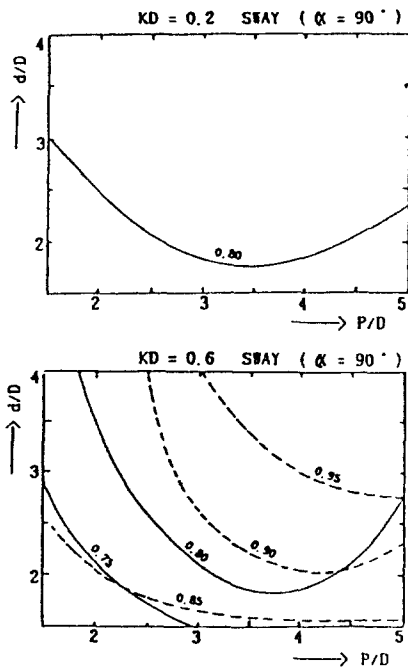


Fig. 7 Comparison of wave exciting force for sway by OSM and 3DM

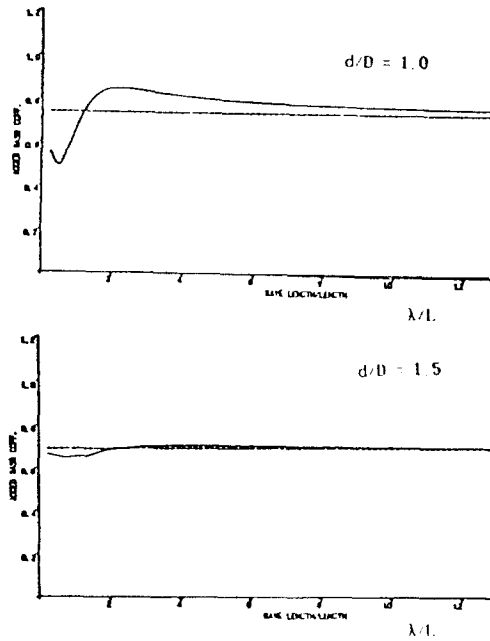


Fig. 9 Comparison of added mass for sway of vertical cylinder

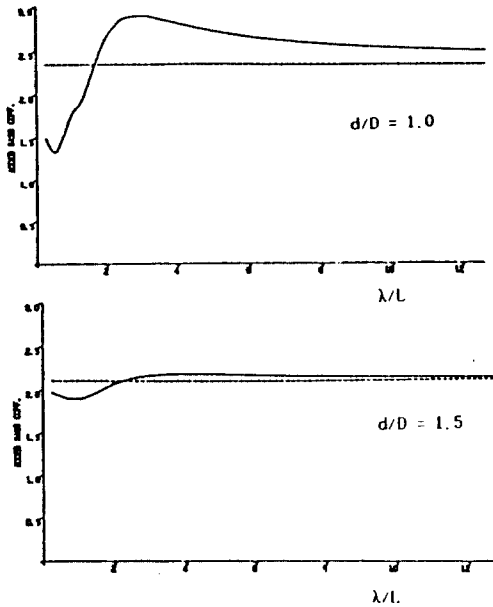


Fig. 10 Comparison of added mass of vertical cylinder

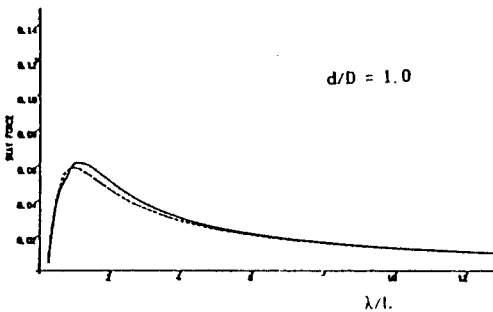


Fig. 11 Comparison of wave exciting force for sway

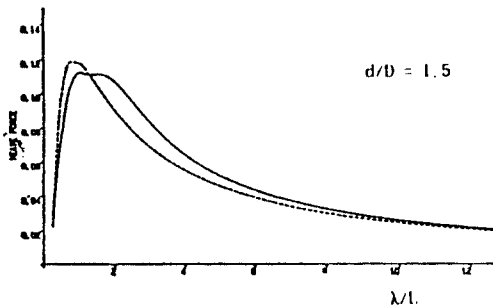


Fig. 12 Comparison of wave exciting force for heave

실선은 (4)식을, 점선은 (5)식을 이용한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 흘수가 크고 수선면적이 작은 $d/D \geq 1.5$ 이상에서는 부가질량 및 파강제력에 있어서 국부각란과 파동항의 영향은 매우 작은 것을 알 수 있다. 이상으로부터 자유표면의 영향이 비교적 적은 반잠수식 초대형구조물의 유체력계산에 있어서 3차원 영향을 고려하며 실용적인 방법을 연구할 수 있는 기초를 마련할 수 있었다. 수치계산은 2차원 계산방법에 있어서는 Lowerhull의 평행부를 20등분, 전후단의 반원부로 분할하고 또한 column부는 길이 방향으로 10등분 하였다. 3차원 특이점 분포법에서는 $1/4$ 영역을 120개의 요소로 분할하여 수치계산을 하였다.

4. 結 論

1-Lowerhull 과 2-column 의 반잠수식 요소 모형에 관하여 column의 중심간격, 흘수변화에 따른 유체역학적 간섭특성을 Strip법과 3차원 특이점 분포법을 이용 계산하였다. 또한 Green 함수중 국부각란과 파동의 영향을 조사하기 위하여 연직 cylinder를 사용하여 수치계산 하였다. 그 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

1) 동요주파수 및 column 중심간격($P/D \geq 1.5$)이 증가함에 따라 부재간의 유체역학적 상호간섭의 영향은 적게 나타나며 Strip 법에 의한 계산값에 근접한다.

2) 자유표면의 각란영향이 작은 물체에 작용하는 유체력은 가속도에 비례하는 성분이 지배적이다. 이 경우 유체력 국부각란항을 무시하는 근사 계산방법으로 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

3) 부가질량에 있어서 Strip 법에 의한 값이 3차원의 값에 비하여 좌우동요에서는 과소평가되며 상하동요에서는 과대평가 되고 있다.

후 기

본 논문은 1992년도 교육부의 특성학과 교수 해외연수 지원에 따라 이루어진 연구의 일부 결과

임을 밝히며 교육부 당국에 깊은 사의를 표하는 바이다.

5. 參考文獻

1. 寶田直之助 : 超大型海洋構造物のテクノロシ", アセスメントの一例(ソの1), 日本造船學會誌第638號, 1982.
2. Uki, k. et al : The Initial Planning of the Floating Oil Storage System. Proc. of TECHNO-OCEAN' 88, 1988.
3. Hooft, J.P : A Mathematical Method of Determining Hydrodynamically Induced Forces on Semisubmersible, SNAME, 1971.
4. Paulling, J.R. et al : Multi-module Floating Ocean Structures, Marine Structures 6, 1993.
5. Kagamoto. H, et al : Hydrodynamic Interaction Analyses of Very Large Floating Structures, Marine Structures 6, 1993.
6. Noblesse. F, et al : An Approach to the calculation of Wave Loads on Ships and Floating Structures, Marine Structures 6, 1993.
7. H.R. Riggs, et al : Approximate Methods for Dynamic Response of Multi-module Floating Structures, Marine Structures 6, 1993.
8. 高木幹雄, 他 : 多重連結浮體 波漂流力, 第12回 海洋工學 シンポジウム, 日本造船學會, 1994.
9. Rules for classification of Mobile Offshore Units, 1981. Det Norske Verites
10. 朴 魯植 : 半潛水式 海洋構造물에 작용하는 流體力에 관한연구, 日本廣島大學, 1984.
11. 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.