한국해양공학회지 제27권 제1호, pp 80-84, 2013년 2월 / ISSN(print) 1225-0767 / ISSN(online) 2287-6715

Journal of Ocean Engineering and Technology 27(1), 80-84, February, 2013
http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2013.27.1.080

유한 수심에서 반원형 부유체의 부가질량계수 약산식 개발

구원철 · 김준동
울산대학교 조선해양공학부

Development of Simplified Formulae for Added Mass of a 2-D Floating Body with a Semi-Circle Section in a Finite Water Depth

Weoncheol Koo and Jun-Dong Kim
School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Added mass 부가질량, Simplified formulae 약산식, Boundary element method 경계 요소법, Frequency domain 주파수 영역, Floating body 부유체, Finite water depth 유한수심, Correction factor 보정계수

ABSTRACT: *This study is to develop the simplified formulae for added mass coefficient of a 2-D floating body with a semi-circle section in a finite water depth. The semi-circle floating body may represent a simplified midship section transformed by Lewis form, which can be used for the ship motion analysis by strip theory. Since the added mass coefficient varies with motion frequencies and sea bottom effect, the correction factor representing the effect of water depth and frequencies is developed for accurate prediction of added mass. Using a two-dimensional numerical wave tank (NWT) technique based on the boundary element method (BEM) including sea bottom boundary the reference values of added mass are calculated to develop the correction factor. For verification and effectiveness of the formulae, the predicted added mass coefficients for various frequencies and water depth ratios are compared with the calculated values from NWT technique.*

1. 서 론

파랑 중 선박 또는 부유체의 운동 성능 평가 및 해석을 위해 동유체력 계수인 부가질량(Added mass)계수와 방사 감쇠 계수(Radiation damping coefficient)의 정확한 산정이 필요하다. 최근 들어 항만이나 운하 등 천해에서 선박 운항이나 해양구조물의 빈번한 이동 및 운용으로 인해, 파 주파수의 영향뿐만 아니라, 해저면의 영향까지 함께 고려된 동유체력 계수의 산정은 중요한 이슈가 되고 있다. 또한, 천해에서 선박 조종성 예측을 위한 수학적 모델 개발에서 일반적으로 조파 감쇠 계수는 고려하지 않지만, 부가질량은 여전히 중요한 유체력으로서 그 크기의 정확한 산정은 여전히 중요한 과제이다.

동유체력 계수의 계산은 전통적으로 포텐셜 이론을 이용한 방법으로 Ursell(1948) 및 Frank(1968)등에 의해 1940년대부터 개발되어 왔다. 하지만, 동유체력 계수는 부유체 형상과 파 주파수의 변화, 그리고 해저면의 영향에 따라 변화하기 때문에, 정밀한 해를 얻기 위해서는 통상적으로 주파수 영역의 경계 요소법(Boundary element method)등을 이용하여 해저 경계면이 포함된 복잡한 경계 적분 방정식을 풀어야 하는 어려움이 있다. 최근의 많은 연구들도 특정한 계산 조건하에서 부유체의 해양 동역학적 특성을 알아보기 위해 각각의 경계 적분 방정식을 해석한 것이 대부분이다.

따라서, 본 연구는 다양한 해양 환경에 따라 변하는 부유체의 부가질량 계수를 보다 간편하게 추정할 수 있도록, 단순 형상 부유체에 대한 파 주파수 및 해저면 영향이 고려된 부가질량 계수를 추정할 수 있는 약산식을 개발하고자 하였다. 무한 수심에서 단순 형상 부유체의 운동 주파수에 따른 부가질량 계수는 이미 많은 연구 결과를 통해 비교적 용이하게 그 값을 찾아 볼 수 있다(Lewis, 1989). 하지만, 해저면 영향에 따른 부가질량 계수의 변화를 간단한 식으로 추정할 수 있는 약산식 개발은 아직까지 연구된 바가 없다. 그러므로, 이같은 약산식 개발은 앞으로 보다 다양한 부유체 형상과 해저 조건에 따른 유체동역학적 계수를 간단한 식으로 추정하기위한 기초연구의 의미가 있다.

본 연구에서 고려된 반원형 구조물은 복잡한 선체의 단면을 Lewis form등으로 변형시킬 때 기본이 되는 형상으로, 파랑 중 선체운동을 간편하게 해석할 수 있는 스트립 이론 등에 주로 사용

Received 14 January 2013, revised 10 February 2013, accepted 14 February 2013
Corresponding author Weoncheol Koo: +82-52-259-2767, wckoo@ulsan.ac.kr
ⓒ 2013, The Korean Society of Ocean Engineers
It is noted that this paper is revised edition based on proceedings of KAOST 2012 in Daegu.

된다. 스트립 이론은 비록 2차원적인 해석법이지만, 선체의 복잡한 진동 현상(예를 들어 슬래밍에 의한 휘핑이나 스프링잉 현상)을 해석할 때 기존의 3차원 해석 기법의 복잡성과 수치적 불안정성을 피하면서도 매우 간편하게 해를 구할 수 있는 대안으로 새롭게 인식되고 있으며 해의 정확도도 상당히 우수하여 짧은 시간 내에 선체의 과도 운동 및 특성을 진단할 수 있는 장점이 있다.

파 주파수와 해저면 영향에 따른 단순 반원형 부유체의 부가질량 계수를 추정하기 위해서는 각 조건에 따른 부가질량의 변화량을 계수화 하기 위한 기준값들을 구해야 한다. 이를 위해 2차원 수치 파동 수조(Numerical wave tank)기법을 이용하여 주파수 영역에서 방사 문제(Radiation problem)를 풀어 2차원 반원형 부유체의 수직운동에 대한 동유체력 계수를 계산하였다. 수치해석을 통해 고주파수 운동 영역의 부가질량 계수값(기준값)을 이용하여 부유체의 홀수대 수심비와 주파수에 따른 부가질량 보정 계수를 보간법을 이용하여 산출하였다. 이 보정계수는 고주파수 영역에서 각 수심비에 따른 해저면 영향을 계수화한 값으로, 여기에 무한수심에서의 부가질량 계수를 대입하여 각 주파수와 수심 조건에 따른 반원형 부유체의 부가질량을 구할 수 있다. 무한수심에서 단순 형상 부유체의 부가질량은 이미 많은 연구 결과를 통해 알려져 있기 때문에, 본 연구를 통해 개발된 약산식을 이용하면 각 수심 조건 및 주파수에 따른 부가질량 계수를 매우 쉽게 구할 수 있다.

2. 기준값 계산을 위한 문제의 정식화

약산식 산출을 위한 기준값을 구하기 위해 본 연구에서 개발한 2차원 수치 파동 수조 기법은 경계 요소법을 근간으로 경계 적분 방정식을 사용하여 부유체 주변의 자유 표면뿐만 아니라, 해저면의 영향까지 고려할 수 있다. 또한 계산영역을 비압축성, 비회전성, 비점성의 포텐셜 유동(Potential flow)으로 간주하고 경계면을 랭킨소스(Rankine source)법을 이용하여 이산화한 경계 적분 방정식을 풀어서 방사 문제의 해를 계산 하였다. 개발된 수치 파동 수조 기법은 해저면이 포함된 모든 경계면 내의 계산 영역 유체를 속도 포텐셜로 나타내었고(식 (1)), 유체가 연속 방정식을 만족한다는 조건을 대입하여 계산 영역 내 지배방정식을 라플라스 방정식(Laplace equation) (식 (2))으로 하였다.

계산 유체 영역 각 경계면의 경계 조건들을 이용하여 지배방정식을 풀기 위해 2차원에서의 그린 함수(Green function) (식 (3))를 이용하여 라플라스 방정식을 경계 적분 방정식(식 (4))으로 변화시켰다.

$$\Phi(x,z;t) = Re[\phi(x,z)e^{-iwt}] \tag{1}$$

$$\nabla^2\phi = 0 \tag{2}$$

$$G_{ij}(x_i,y_i,x_j,y_j) = -(1/2\pi)\ln R \tag{3}$$

$$\alpha\phi_i = \iint_{\Omega}(G_{ij}\frac{\partial\phi_j}{\partial n} - \phi_j\frac{\partial G_{ij}}{\partial n})ds \tag{4}$$

여기서 α는 입체각(Solid angle)이며 R은 이산화된 각 경계면에서 소스(Source)점과 필드(Field)점 사이의 거리를 나타낸다. 자유 표면 경계 조건(Free surface boundary condition)은 운동학적(Kinematic) 경계 조건과 동역학적(Dynamics) 경계 조건으로 표현할 수 있고 두 경계 조건을 시간에 대한 항을 제거하고 주파수 영역 계산이 가능하도록 통합하여(식 (5)) 사용하였으며, 수면 아래의 해저면은 불 투과성 경계 조건을 적용하여 식 (6)과 같이 표현하였다.

$$\frac{\partial\phi}{\partial z} - \frac{w^2}{g}\phi = 0 \qquad on \quad z = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = 0 \qquad on \quad z = -h \tag{6}$$

2차원 수치 파동 수조에서 계산 영역 양 끝 수직 경계면의 방사 경계조건은 경계면이 부유체와 충분히 떨어져 있다는 가정하에 식 (7)과 같이 나타내었으며, 방사 문제를 통한 부가질량 계산을 위해 부유체의 강제 운동 조건은 식 (8)와 같이 나타내었다.

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = \frac{\partial\phi}{\partial x}n_x = ik\phi(\vec{x}) \tag{7}$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial n} = V \bullet n \qquad on \quad S \tag{8}$$

여기서 k는 방사파수(Radiated wave number)를, S는 부유체의 표면을 나타내며, V는 부유체를 강제 진동시키는 속도를 나타내며, n은 단위 법선벡터를 나타낸다. 본 연구에서는 부유체의 수직운동에 기인한 부가질량과 감쇠계수를 구하기 위해 강제 수직운동을 대입하였다.

경계면에 연속인 경계 적분 방정식(식 (4))을 풀기 위해 경계면을 이산화하고 각 요소의 대표값을 요소의 중심점으로 치환하는 일정요소법(Constant panel method)를 사용하였다. 연속 경계 적분 방정식을 각 요소로 구별된 이산화된 행렬 방정식으로 변화시키고, 여기에 각 요소의 경계 조건을 대입하여 유체 방사 문제를 풀어 아래와 같은 유체 동역학적 계수를 얻었다.

$$A_{ij} = Re[\rho\int_S \phi_i n_j ds] \tag{9}$$

$$B_{ij} = Im[\rho\int_S \phi_i n_j ds]w \tag{10}$$

여기서, i, j는 부유체의 각 운동모드를 나타내며 ϕ_i는 경계 적분 방정식에서 부유체 경계면의 해인 방사 속도 포텐셜이다. A_{ij}는 적분방정식의 가속도에 비례하는 실수 영역으로 각 운동모드에 따른 부가질량(Added mass)계수이며, B_{ij}는 속도에 비례하는 허수 영역으로 방사 감쇠(Radiation damping)계수이다.

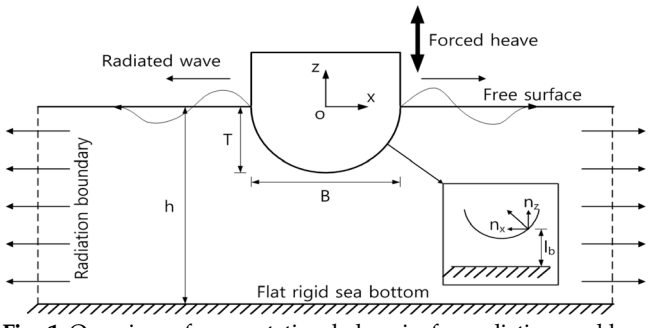

Fig. 1 Overview of computational domain for radiation problem of a semi-circle floating body in the numerical wave tank

Fig. 1은 단순 반원형 부유체가 포함된 2차원 수치 파동 수조의 계산 영역을 나타내는데, 부가질량과 감쇠계수를 계산하기 위한 방사문제를 풀기위해 부유체의 강제 수직 운동을 나타내었고, 해저면의 영향을 고려할 수 있도록 평탄 해저면을 계산 영역에 포함시켰다. 2차원 수치 파동 수조를 이용하여 고주파수 영역에서 해저면 영향이 거의 없는 심해조건(h/T=30, 여기서 h는 수심, T는 부유체 흘수)의 부가질량 계수와 특정 기준 수심에서의 계수값들을 계산하여 기준값으로 삼아, 해저면 영향에 따른 부유체의 부가질량 변화량을 비교함으로써 부가질량 변화에 작용하는 해저면의 영향을 계수화 하였다. 계산에 적용한 반원형 부유체의 형상은 폭(B)과 흘수(T)의 비가 2이고, 해저면의 효과를 고려하기 위해서 수심(h)과 흘수(T)의 비(h/T)를 변화시키면서 각 조건에 따른 부가질량 기준값을 계산하였다.

본 연구에서 개발한 2차원 수치 파동 수조 기법의 검증을 위해 무한 수심에서 반원형 부유체의 수직운동에 따른 부가질량과 감쇠 계수를 기존 문헌값들과 비교하였다. Fig. 2와 Fig. 3에서 경계요소법을 사용하여 계산한 본 연구결과와 Vugts(1968)의 실험값, 포텐셜 이론을 바탕으로 한 Ursell(1948)의 계산 결과, 그리고 Lewis form 근사치(Vugts, 1968)를 이용한 이론값과 비교하여 본 연구에 적용한 수치파동 수조 기법의 정확성을 입증하였다.

3. 부가질량 계수 약산식

3.1 부가질량과 방사 감쇠 계수 기준값 계산

반원형 부유체의 해저면의 영향에 따른 부가질량 변화량을 계수화하기 위해 각 수심비에서 부가질량 기준값을 계산하였다. 앞장에서 설명한 주파수 영역의 2차원 수치 파동 수조 기법을 이용하여 단순 반원형 부유체의 수직 운동에 의한 부가질량 계수와 방사 감쇠 계수를 각 대표 수심 조건에서 계산하고 이를 비교하였다. Fig. 4에서 반원형 부유체의 각 운동 주파수에 따라 심해 조건 (h/T=30)과 천해 조건 (h/T=1.5, 3)에서의 부가질량을 비교하였다. 이 비교를 통해 고주파수영역($\omega\sqrt{B/2g} \approx 2$)에서 부가질량 계수는 대체로 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 또한, 고주파수 영역에서 심해 조건의 부가질량 계수는 해저면

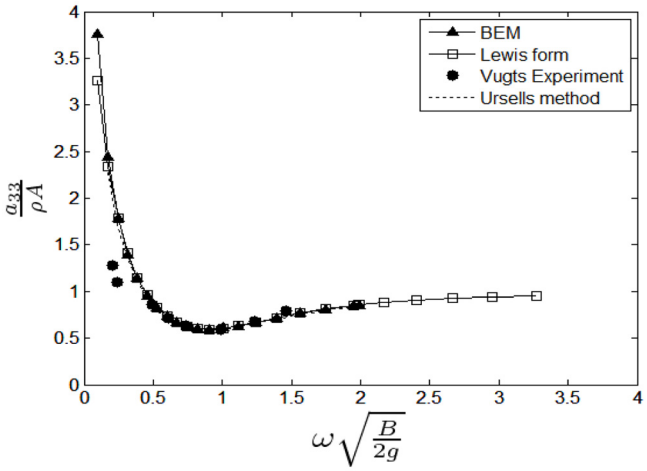

Fig. 2 Comparison of heave added mass coefficients of a semi-circle, A is wetted surface area

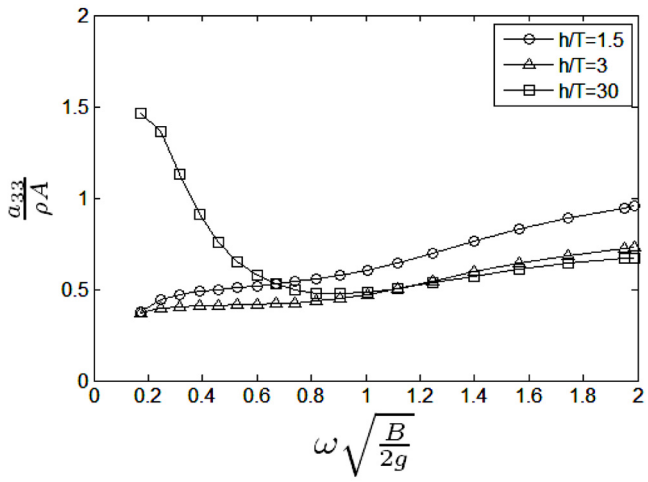

Fig. 4 Comparison of heave added mass of semi-circle body for various water depth ratios

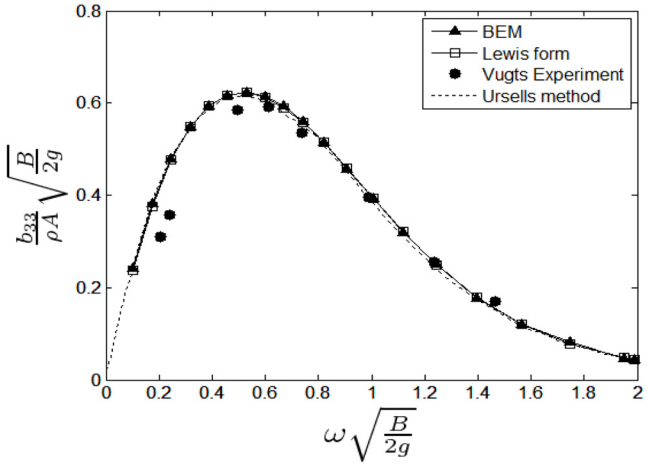

Fig. 3 Comparison of heave radiation damping coefficient of a semi-circle

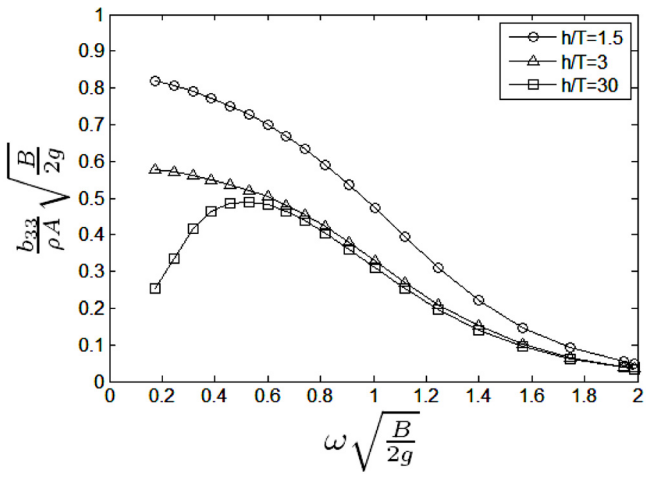

Fig. 5 Comparison of heave damping coefficient of semi-circle body for various water depth ratios

의 영향이 어느 정도 증가할 때까지 (h/T=3) 계수 변화가 크지 않지만, 본 계산의 최소 수심의 조건 (h/T=1.5)에서는 부가질량이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이는 부유체에 수직 운동에 작용하는 해저면의 영향이 수심이 어느 한계치를 넘어서면 급격하게 증가함을 의미한다. 한편, 같은 계산 조건하의 방사 감쇠계수의 비교를 Fig. 5에 나타내었는데, 고주파수 영역에서 감쇠계수가 대체로 0으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선박 및 해양 구조물의 운동 성능 해석에 필요한 유체동역학 계수 중 고주파수 영역에서 일정한 값으로 수렴하는 부가질량 계수를 기준값으로 하여 각 운동 주파수와 수심 변화에 따른 부가질량 계수의 변화를 추정하였다.

3.2 부가질량 보정 계수 산정

수심대 홀수비(h/T)에 따른 2차원 반원형 부유체의 수직 운동에 대한 부가질량 계수를 예측하기 위해 심해 조건(h/T=30)에서부터 수심비가 낮은 지점까지 부가질량 계수를 계산하고 이를 기본값으로 이용하여, 각 운동 주파수에서 해저면 영향을 계수화한 보정계수를 구하고 약산식을 개발하였다. 상대적인 고주파수 영역($\omega\sqrt{B/2g}=2$)에서 반원형 부유체의 수직 운동에 대한 부가질량이 일정한 값을 유지하는 점을 이용하여, 2차원 수치 파동 수조 기법을 사용하여 Table 1에서 제시한 홀수대 수심비(h/T) 조건에서의 부가질량 계수를 계산하고 이를 기본값으로 하여 보간법을 이용하여 해저면 영향을 계수화 하였다. 식 (11)은 본 연구에서 개발한 천해에서의 수직운동의 부가질량 약산식을 나타낸다. 심해조건의 고주파수 영역에서 수직운동의 부가질량 계수에 해저면 영향을 고려할 수 있는 보정계수 α_c(Correction factor)를 대입하여 원하는 수심에서의 부가질량을 간편하게 추정할 수 있다.

$$m_{as} = m_{ad} \times \alpha_c \tag{11}$$

이 때, m_{as}는 천해에서의 수직운동의 부가질량 계수이며, m_{ad}는 심해의 고주파수 영역에서의 부가질량을 나타낸다(Kim et al., 2012). 해저면 영향을 기준값 (Table 1의 각 수심별 수치해석 값)을 이용하여 계수화한 보정계수를 수심대 홀수비(h/T)의 함수로 개발하여 식 (12)에 나타내었다. 여기서 보정계수의 산출은 최소자승법을 이용하여 회귀분석 하였다.

$$\alpha_c = 1.093\left(\frac{h}{T}\right)^{-2.372} + 0.9976 \tag{12}$$

위에 제시된 식을 이용하면, 무한 수심 조건의 반원형 부유체의 고주파수 영역의 부가질량 계수에 식 (12)의 해저면 영향에 따른 부가질량 변화량을 대입하여 원하는 수심에서의 반원형 부유체의 수직운동에 따른 부가질량을 손쉽게 예측할 수 있다.

4. 약산식의 적용 및 검증

본 연구를 통해 개발된 반원형 부유체의 수직운동에 대한 부가질량 계수 약산식의 정확성을 검증하기 위해 경계 요소법(BEM, boundary element method)을 사용하여 계산한 부가질량 계수와 Table 1에서 비교하였다. Table 1은 반원형 부유체의 해저 각 수심비(h/T)에 따른 부가질량의 보정 계수, 약산식을 통한 부가질량 추정 값, 수치 파동수조를 이용한 수치계산 결과 및 추정치와 계산 결과의 오차(%)를 나타내었다. 수심대 홀수비(h/T)가 30인 경우는 부유체 홀수에 비해 수심이 30배 더 큰 경우로 심해조건을 의미하며, 비교한 결과들은 모두 고주파수 영역($\omega\sqrt{B/2g}=2$)에서 계산한 값이다. 약산식으로 계산한 부가질량과 수치파동 수조 기법을 이용하여 해저면 경계를 포함한 경계 적분 방정식을 푼 수치해석 결과와의 오차는 최대 0.5%정도로 나타났으며 이는 약산식에 포함된 보정계수가 해저면의 영향을 정확히 반영하고 있다고 판단할 수 있다.

Table 1 Comparison of heave added mass coefficients of a 2D semi-circle at $\omega\sqrt{B/2g}=2$

h/T	Correction factor (α_c)	Added mass (numerical calculation)	Added mass (simplified formula)	Error (%)
1.5	1.415365	0.954126	0.952735	0.146
2	1.208743	0.809528	0.81365	0.507
3	1.078303	0.728825	0.725846	0.410
5	1.021625	0.69135	0.687694	0.532
7	1.008416	0.679551	0.678802	0.110
10	1.002241	0.673329	0.674646	0.195
12	1.000612	0.672047	0.673549	0.223
14	0.999689	0.671616	0.672928	0.195
16	0.999122	0.671561	0.672546	0.147
18	0.998751	0.67167	0.672297	0.093
20	0.998497	0.671856	0.672125	0.040
30		0.673137	0.673137	

한편, 본 연구에서 개발한 보정계수는 고주파수 영역에서 수심에 따른 부가질량 변화량을 나타낸다. 따라서, 고주파수 영역에서 해저면 변화에 따른 부가질량 계수의 산정은 Table 1의 비교에서처럼 매우 성공적임을 알 수 있다. 하지만, 고주파수 영역에서 구한 보정계수가 중저 주파수 영역에서의 부가질량 산정에도 효과적인지 검증하기 위해, 모든 주파수영역에서 약산식을 이용하여 부가질량을 계산하고 이를 Fig. 6에서 비교하였다. 다양한 수심대 홀수비(h/T)의 변화에 따라, 반원형 부유체의 부가질량 계수는 주파수가 클수록 약산식 결과와 수치 계산 결과(경계 요소법 기반의 수치해석법)가 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 이미 Table 1에서 확인한 바와 같이 상대적으로 고주파수 영역에서 보정계수가 더 유효하기 때문이다.

반면, 부유체의 수직 운동 주파수가 작아짐에 따라 약산식을 통한 부가질량계수는 수치 계산 결과에 비해 점점 더 큰 값을 가지게 되고 그 오차가 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 해저면 영향에 대한 보정계수 산정이 고주파수에서 계산되었기 때문에 저주파수 영역에서는 그 정확도가 떨어지기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 부유체의 운동 주파수($\omega\sqrt{B/2g}$)가 1.0 이상인 경우에 약산식을 통한 부가질량 계수의 추정은 수치 계산 결과와 비교하여 최대 10% 이내의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이같은 오차는 수심비가 다른 경우에도 운동 주파수가 1.0 이상이면 대체로 동일한 오차(10%이내) 범위 내에 있음을 보여준다.

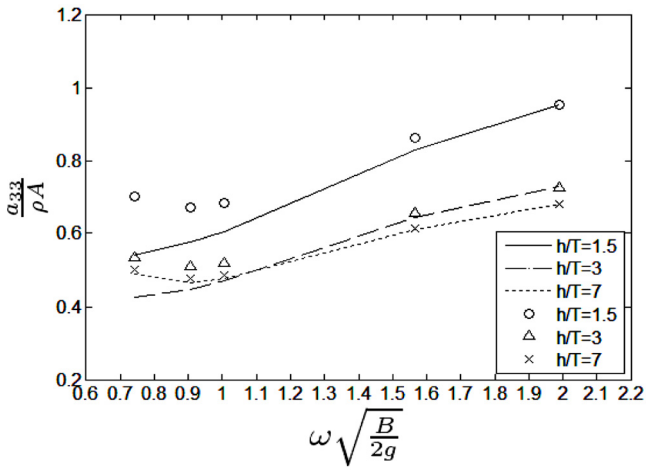

Fig. 6 Comparison of added mass coefficients of a semi-circle for various motion frequencies: numerical calculation (lines), simplified formulae (symbols)

또한, 계산하려는 부유체의 수직 운동 주파수가 1.0보다 작은 경우에는 추정된 부가질량 계수와 수치 계산 결과는, 본 연구에 적용한 저주파수($\omega\sqrt{B/2g}=0.7$)에서 최대 20%정도로 나타났다.

그러므로 본 연구를 통해 개발된 반원형 부유체의 수직운동에 따른 부가질량 계수 약산식은 무차원 운동 주파수가 1.0이상일 때 사용하는 것이 유효하며(오차범위 10% 이내), 운동 주파수가 1.0 이하인 저주파수 영역에서는 오차가 점점 증가함을 알 수 있다. 이는 Fig. 4의 주파수에 따른 부가질량 계수의 변화에서 볼 수 있듯이 고주파수 영역에서 부가질량이 대체로 일정한 값을 가진다는 것을 이용하여 해저면 영향도를 나타내는 보정계수를 산출하였기 때문에 부유체의 수직 운동 주파수가 클수록 약산식의 정확도가 향상됨을 알 수 있다. 따라서 본 약산식은 반원형 부유체의 수직 운동에 따른 부가질량 계수를 고주파수 영역에서 매우 정확하게 계산할 수 있으며, 중저 주파수영역에서도 상대적으로 정확한 값(오차범위 10% 이내)을 제시한다.

5. 결 론

본 연구는 최근 증가하고 있는 천해에서의 선박의 내항성능, 조종성 해석 및 부유체의 파랑중 운동 성능평가를 위해, 선체 해석의 기본 형상이 되는 반원형 실린더 부유체의 수직운동에 따른 부가질량 계수를 추정하는 약산식을 개발하는데 있다. 기존 연구 결과를 통해 알려져 있는 심해조건의 고주파수 영역에서 단순형상 부유체의 부가질량 계수에, 해저면 영향으로 인한 부가질량의 변화량을 계수화한 보정계수를 개발하여 대입함으로써 각 운동 주파수와 해저면 영향에 따른 부가질량 계수를 간편하게 계산하였다.

수심 변화에 따른 부가질량의 변화를 해저면의 상대적 영향력으로 계수화 시킨 보정계수를 산출하기 위해, 해저면 경계면을 포함한 2차원 수치 파동 수조 기법을 이용하여 고주파수 조건의 부가질량 계수를 기준값으로 계산하였다. 개발된 약산식을 사용하여 반원형 부유체의 각 운동 주파수에서 수심비 변화에 따른 부가질량 계수를 추정하고 그 정확성을 수치 계산 결과와 비교하여 추정치의 유효성을 분석하였다.

본 연구에서 개발된 부가질량 계수 약산식은 무차원 운동 주파수가 1.0이상일 때 유효함을 확인하였고, 운동 주파수가 1.0이하인 저주파수 영역에서는 추정치의 오차가 증가함을 알 수 있었다. 개발된 약산식을 통해 반원형 부유체의 수직 운동에 따른 부가질량 계수를 고주파수 영역에서 매우 정확하게 계산할 수 있으며, 중저 주파수영역에서도 상대적으로 정확한 값(오차범위 10% 이내)을 추정할 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 본 약산식은 수심의 영향이 큰 지역에서 선체의 과도 운동 및 특성을 알기위해 스트립 이론등을 사용한 비선형 시간 영역 해석을 빠르게 수행하고자 할 때, 매 순간 변화하는 2차원 선체 단면의 부가질량을 매우 간편하게 계산할 수 있는 유용한 방법이 될 수 있다. 이는 복잡한 해양 동역학 프로그램을 사용하지 않고도 천해에서 유체 동역학적 계수를 상당히 정밀하고 손쉽게 계산할 수 있다는 가능성을 제시한다.

본 연구에서 제시한 반원형 부유체의 수직운동에 따른 부가질량 계수의 약산식 산출방법과 유효성 확인은 차후 다양한 형상의 부유체 단면에 대한 수평 및 수직 운동에 따른 유체 동역학 계수를 간편하면서도 정확하게 추정할 수 있는 약산식 개발의 기초 연구로서 그 의미가 있다고 할 수 있다.

후 기

이 논문은 2012년 울산대학교 연구비(과제번호:2012-0176)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

Frank, W., 1968. Oscillation of Cylinders in or Below the Free Surface of Deep Fluids. Hydromechanics Laboratory Research and Development Report 2375.

Kim, J.D., Choi, M.G., Koo, W.C., 2012. Development of Simplified Formulae for Added Mass of a Floating Body in a Finite Water Depth, Proceedings of the Annual Meeting, KAOSTS, Daegu. Republic of Korea, 1171-1174.

Lewis, E.V., 1989. Principal of Naval Architecture. Second revision. The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Ursell, F., 1948. On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 2(2), 218-231.

Vugts, J.H., 1968. The Hydrodynamic Coefficients for Swaying, Heaving and Rolling Cylinders in a Free Surface. Netherlands Ship Res. Centre TNO. Report No. 112S, and Int. Shipbldg. Prog. 15.