

淺水域 船體 附加質量에 대한 推定 近似式에 관한 研究

이 윤 석* · 김 순 갑** · 조 익 순***

The Prediction of the Hydrodynamic Coefficients of Added Mass for Ship in Shallow Waters

Yun-Sok Lee · Soon-Kap Kim** · Ik-Soon Cho****

〈목 차〉	
Abstract	3.3 T/S Hannara호
1. 서 론	4. 천수역 선체부가질량에 관한 근사식
2. 3차원 포텐셜 계산 개요 및 계산 대상	4.1 선박의 전후 운동에 관한 근사식
2.1 계산 개요	4.2 선박의 횡 운동에 관한 근사식
2.2 계산 대상	4.3 근사식의 타당성 검토
3. 계산 결과	5. 결 론
3.1 Series 60 선형	참고문헌
3.2 SR 196 선형	

Abstract

In order to improve the ship maneuverability, It is important to estimate precisely the hydrodynamic coefficients of added mass forces acting on a ship especially in shallow waters, and simple methods for predicting such hydrodynamic forces is also very desirable. In the previous paper⁽¹⁾ using 3-Dimension potential flow theory, it has been demonstrated that potential calculation is available to estimate added mass coefficients.

The present work is aimed at the suggestion of the simplified formulas for predicting the translation and lateral motion of added mass coefficients in shallow water. So, 3-D potential flow theory is also used to calculate the added mass coefficients in deep and shallow waters for Series 60 model which has 5 different kinds of block coefficients (0.6-0.8), SR196 model and T/S HANNARA. After some series computation, simplified formulas for predicting the added mass force in shallow waters is suggested based on the computation results of Series 60 model. The formulas consist of the combination of

* 고베상선대학교 대학원 선박공학연구실

** 정희원, 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

*** 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과

principal dimensions and the water depth; d/B , C_b , d/H . The predicted results are compared with the Computation results for SR196 model and T/S HANNARA. The precision of predicted results by simplified formulas are good enough for the practical use.

(d/B : draft-Breadth ratio, d/H : draft-Water depth ratio, C_b : Block coefficients)

1. 서 론

최근 해난 사고의 빈번한 발생과 함께 선박의 조종성능에 관한 관심이 점차 증대되면서 선박의 건조 초기 단계에서부터 조종성능에 대한 정도높은 파악이 요구되고 있는 실정이다. 선박의 조종성능에 대한 평가 방법 중 가장 발전성이 높고 최근 활발히 연구⁽²⁾가 진행되고 있는 방법이 수학적 모델을 이용한 시뮬레이터에 의한 조종성능을 추정하는 방법이라 할 수 있다.

현재 조종운동에 대한 수학적 모델을 기초로 한 조선 시뮬레이터가 실용화되어 해기 관련 교육 기관에서 널리 운용되어지고 있으나, 선박의 통상적인 항행에 비해 항만내의 저속 항행, 제한수로, 천수역이나 협수로 항행, 예인선에 의한 조선 등과 같은 경우에는 실제의 조종운동과는 다소 거리감이 있어 조종운동 모델내에 포함되어 있는 유체력 계수들에 대한 연구 또는 검토가 요구된다. 이러한 유체력 계수들 중에서 가속도에 의한 유체력인 부가질량과 부가관성모멘트를 제외한 나머지 유체력 계수들에 대해서는 현재 이론적으로 정량적인 추정은 곤란한 실정이며 최근 들어 CFD(Computational Fluid Dynamics)법을 이용한 연구⁽³⁾⁽⁴⁾가 본격적으로 이루어지기 시작하고 있다.

선박의 부가질량에 관한 연구는 종래의 모형시험과 함께, 최근에는 CFD법과 포텐셜 계산법 등과 같은 이론 계산⁽²⁾⁽³⁾이 널리 행해지고 있고, 포텐셜 계산의 경우 비교적 단시간 내에 용이하게 부가질량이 산출 가능하며 계산 결과 또한 실험 결과와 비교하여 볼 때 실용상 문제가 없음이 보고된 바 있다⁽¹⁾. 또한 3차원 포텐셜 계산을 여러 선형에 적용하여 선박의 횡 운동에 관한 천수역의 부가질량을 모델화한 연구⁽⁵⁾ 등이 있다.

본 연구는 이러한 관점에서 가속도에 기인한 유

체력 성분인 부가질량을 계통적인 선형(Series 60 모델)을 대상으로 3차원 포텐셜 계산을 수심의 변화에 따라 수행한 후, 계산 결과를 기초로 선박의 전후 운동과 횡 운동에 상응하는 천수역 선체 부가질량 계수비를 추정하는 근사식을 제안하여 천수역 부가질량에 대한 종합적인 모델화를 하고자 한다. 아울러 제안한 근사식의 타당성을 검증하기 위하여 Series 60 선형 이외의 실선에 대해서도 포텐셜 계산을 수행하여 계산 결과와 근사식에 의한 추정치와의 비교 검토를 통해 근사식의 타당성을 검증한다.

2. 3차원 포텐셜 계산 개요 및 계산 대상

3차원 포텐셜 계산에 의한 부가질량 산출 방법에 관해서는 관련 논문⁽¹⁾에 선박의 전후 운동을 중심으로 구체적으로 논술하였으므로, 여기에서는 선박의 횡 운동을 중심으로 간단히 요약 기술하도록 한다.

2.1 계산 개요

선박의 선속이 충분히 작을 경우에는 수면상의 파에 의한 영향을 무시할 수 있으므로 계산상에는 $Fn=0$ 을 가정한 이중선체 모델을 이용하였다. 기초방정식으로는 운동량 보존의 법칙인 오일러 운동방정식과 질량 보존의 법칙인 연속방정식이며, 이를 대표속도 U (선체의 전후, 횡 운동시 일정 속력) 및 선체길이 L 을 이용하여 무차원화 한다. 압력 P 의 경우는 대표속력 U 와 밀도 ρ 를 이용하여 ρU^2 로 무차원화 하였다. 좌표계로는 이중모형의 선수미 방향을 x 축으로, 선폭 방향을 y 로, 연직상방을 z 축으로 하였다. 또한, 와도가 없는 비점성, 비회전 운동을 고려하여 속도 포텐셜 ϕ 개념을 도

입하면 오일러의 압력 방정식을 유도할 수 있다. 속도 포텐셜 ϕ 은 선형 이론임으로 무한 원방의 균일류 U_0 와 균일류 중에 위치한 선체로 기인되는 단위 교란 포텐셜 ϕ ($U_0 = 1$ 인 경우의 교란 포텐셜)을 이용하여 무한 원방에서의 조건 ($p=0, \phi=0$) 등을 고려하면 다음과 같은 무차원 압력 방정식이 유도된다.

(선박의 횡 운동의 경우)

$$\phi = U_0(y + \phi)$$

$$p = -\frac{dU_0}{dt} \phi + \frac{1}{2} U_0^2 [1 - (\frac{\partial \phi}{\partial x})^2 - (1 + \frac{\partial \phi}{\partial y})^2 - (\frac{\partial \phi}{\partial z})^2]$$

.....(1)

여기서, $-\frac{dU_0}{dt} \phi$: 무차원 가속도

상기의 압력 방정식의 우변 제1항이 가속도에 비례하는 부가질량에 대응하는 압력이며, 제2항이 유속에 의한 압력으로 포텐셜 계산의 경우 전체를 적분한 값은 항상 0이 된다. 계산상에서는 부가질량에 상응하는 제1항을 선체 전체에 적분함에 따라 부가질량을 산출하였다.

또한, 압력 방정식에서 미지수인 교란 포텐셜 ϕ 은 선체 형상을 다수의 Panel로 분할한 후 각 Panel 상에 특이점을 분포시켜 경계 조건 등을 이용하여 특이점의 강도(Source Density)를 결정하는 Hess & Smith법⁽⁶⁾에 의한 특이점 분포법(Singularity Distribution)을 이용하였다.

2.1.1 Hess & Smith법

3차원 교란 포텐셜 ϕ 의 경우 영역내의 임의의 두 점 P_i (Field Point), Q_j (Source Point)에 대하여 다음과 같은 기본해⁽⁷⁾가 알려져 있다.

$$\phi P = \int_{S_0} \sigma \phi dS_0, \quad \phi = -\frac{1}{4\pi R} \text{(2)}$$

여기서, R : P점과 Q점 사이의 거리
 σ : 용출점(Source Point)의 강도

교란 포텐셜 ϕ 또한 Laplace의 식을 만족하며 선체 표면에 관한 경계 조건 ($\partial \phi / \partial n = 0$) 등을 고려하면 다음과 같은 관계가 유도된다. 특이점 (P

= Q점)에 대한 수치계산 경우는 점 P가 점 Q의 미소 영역을 법선 방향의 외측에서 접근하는 것을 고려하여 두 점 사이의 거리에 극한을 취한 해석적인 해를 이용하였다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{1}{2} \sigma + \int_{S-s_0} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds \text{(3)}$$

여기서, n : Panel의 외향 방향의 법선 벡터

S_0 : 특이점 (P = Q)에서의 미소 영역

(3)식의 미지수인 용출점의 강도 σ 는 Panel수를 m 개로 분할할 경우 m 차 연립 일차 방정식의 해가 된다. 즉, 선체를 m 개로 분할했을 경우 ($i, j = 1, 2, 3, \dots, m$) 상기 식은 $f_{yi} = \sigma_i H_{ij}$ 로 표현되며 다음과 같은 연립방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{matrix} \rightarrow Q_j \\ \sigma_1 H_{11} + \sigma_2 H_{12} + \sigma_3 H_{13} + \dots + \sigma_m H_{1m} = f_{y1} \\ \sigma_1 H_{21} + \sigma_2 H_{22} + \sigma_3 H_{23} + \dots + \sigma_m H_{2m} = f_{y2} \\ \vdots \\ \sigma_1 H_{m1} + \sigma_2 H_{m2} + \sigma_3 H_{m3} + \dots + \sigma_m H_{mm} = f_{ym} \\ \dots \dots \dots \end{matrix} \text{(4)}$$

여기서, $H_{ij} = \frac{1}{2} (i = j)$

$$H_{ij} = \int \left(n_x \frac{\partial \phi}{\partial x} + n_y \frac{\partial \phi}{\partial y} + n_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) dS_0$$

($i \neq j$), $f_{yi} = -n_{yi}$

(4)식의 연립방정식을 풀어 각 Panel 상의 용출점의 강도가 결정되면 교란 포텐셜을 구할 수 있고, 압력 방정식에 의해 표면 압력이 구해지며, 이를 선체 표면 전체를 적분함에 의해 부가질량이 산출된다.

수심이 충분한 심수역(深水域)에서는 수저(水底)가 선체에 영향을 미치지 않으므로 선체 단독만을 계산 대상으로 하였고, 천수역의 경우에는 수심 홀수비 H/d 를 기준으로 천수역의 수심을 정한 후 수저(水底)에도 선체와 같이 Panel 상에 밀도가 일정한 용출점(Source Point)을 분포시켜 천수의 영향을 고려토록 했다.

수치 계산상에는 선체 형상이 좌우대칭인 점과 용출점의 대칭 조건(횡 운동 - 용출점 비대칭, 전후 운동 - 용출점 대칭)인 점을 이용하여 계산량을

경감하도록 하였고, 균일류 및 무차원 가속도에 1을 대입하여 계산을 수행하였다.

계산은 Tempest 3 (Alpha 21164A 633MHz)을 이용하여, 침수역의 경우에는 약 4 - 5분 정도가, 넓은 수저 영역을 추가한 천수역에서는 약 2 - 2.5시간 정도가 소요되었다.

2.2 계산 대상

본 호에서는 우선, 방형계수(C_b)가 다른 5 종류 (0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8)의 모델로 구성된 비교적 실선 형상에 가까운 Series 60 선형(d/B 0.4)을 기초로 홀수 선평비 d/B 를 변화시킨 Modified Series 60 I, II (d/B 0.3, 0.5) 시리즈를 추가하여 합계 15 종류의 선형에 대해 부가질량을 산출하도록 하였다. 또한, 주요 제원은 거의 같고 선미 형상만이 다른 SR196 A,B,C 선형을 대상으로 하여 선미 형상의 변화가 부가질량에 미치는 영향을 고찰하였다. 더불어 여객선 선형의 대표하여 실습선인 한나라호를 대상으로 하여 선박의 전후, 횡 운동시의 부가질량을 수심의 변화에 따라 파악하도록 하였다.

3. 계산 결과

3.1 Series 60 선형⁽⁸⁾

비교적 실용 선형에 가까운 Original Series 60은 방형계수 C_b 가 다른 5 종류(0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8)로 구성된 모델⁽⁷⁾이다. 그러나 Original Series 60 선형은 방형계수는 달라도 홀수 선평비 d/B 가

0.4로 같기 때문에 d/B 의 변화에 의한 부가질량의 변화는 파악하기 어렵다. 이와 같은 사항을 고려하여 본 계산에서는 Original Series 60 선형(d/B 0.4)을 기준으로 C_b 를 변형하지 않고 d/B 를 0.3, 0.5로 변형시킨 Modified Series 60 I, II 시리즈를 추가하여 계산을 수행하였다. Modified Series의 변형에 있어서는 L/B 와 d/B 를 기준으로 행하였기 때문에 배수량이 Original Series 60 선형에 비해 최대 5% 정도 다른 경우도 있다. 계산에 이용한 Series 60 선형의 주요 제원을 표 1에 나타낸다. 또한 Series 60 선형의 계산상의 형상을 C_b 가 0.6인 선형을 대표로 선체 형상을 Fig.1에 H/d 가 5.0인 수심에 관한 형상을 Fig.2에 제시한다.



Fig. 1 계산상의 선체 형상

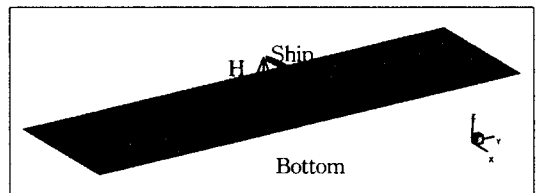


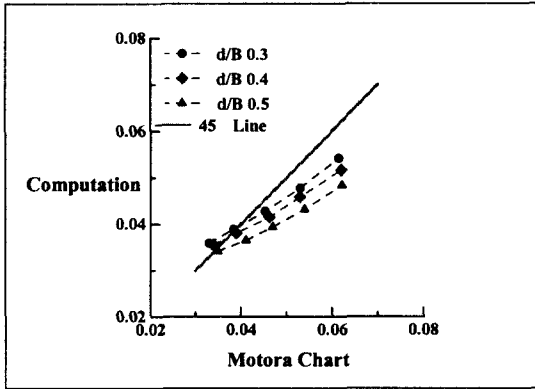
Fig. 2 천수역에 대한 계산상의 형상
(수심 홀수비 H/d 5.0)

Series 60 선형의 침수역 부가질량 계수의 계산 결과를 Motora Chart⁽⁹⁾ (Motora가 여러 선형에 대

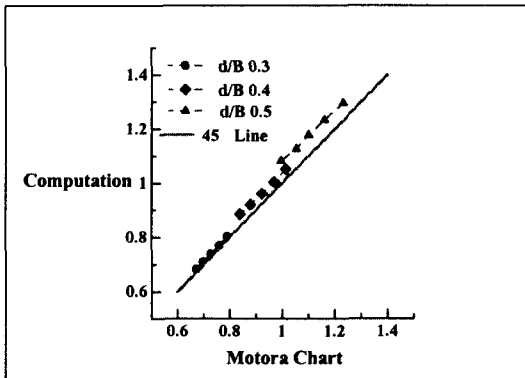
<Table 1> Series 60 선형의 주요 제원

Particulars	Original Series 60					Modified Series 60 I					Modified Series 60 II				
	A	B	C	D	E	AI	BI	CI	DI	EI	AII	BII	CII	DII	EII
LOA (ft)	406.68					406.68					406.68				
Lpp (ft)	400.00					400.00					400.00				
B (ft)	53.33	55.17	57.14	59.26	61.54	61.54	64.00	66.68	69.57	72.74	47.04	48.49	50.00	51.62	53.33
d (ft)	21.33	22.07	22.86	23.70	24.62	18.45	19.20	20.00	20.88	21.81	25.53	24.23	25.00	25.80	26.66
C_b	0.60	0.65	0.70	0.75	0.8	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
L/B	7.50	7.25	7.00	6.75	6.50	6.50	6.25	6.00	5.75	5.50	8.50	8.25	8.00	7.75	7.50
d/B	0.4					0.3					0.5				

해 부가질량을 실험적으로 산출하여 정리한 Chart)와 상관을 취하여 Fig.3에 제시한다. Fig.3은 상관 비교를 한 것이므로 45° 직선에 가까울수록 두 값이 같음을 의미하며, 여기서 말하는 부가질량 계수(m_x', m_y')란 부가질량(m_x, m_y)을 선박의 질량(m)으로 무차원화한 값이다. Fig.3의 상관 비교는 d/B 가 클수록 전후, 횡 운동에 대한 부가질량 계수가 다소 차이를 보이고 있으며 이는 Motora가 실험에 이용한 모형선과 Series 60 선형이 다르기 때문이라 할 수 있다. 그러나 전반적으로 거의 45° 직선 부근에 그 값이 분포하고 있어, 심수역의 부가질량의 경우 수치계산을 행하지 않고도 Motora Chart에 의해 그 값을 어느 정도 추정 가능함을 시사하고 있다.



(a) 전후 운동

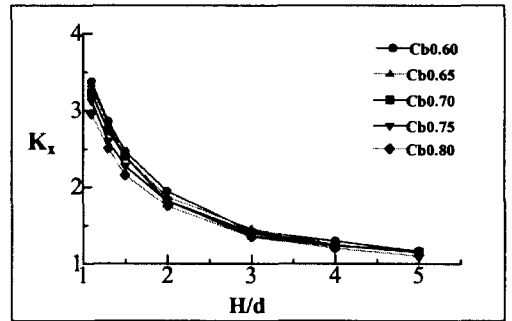


(b) 횡 운동

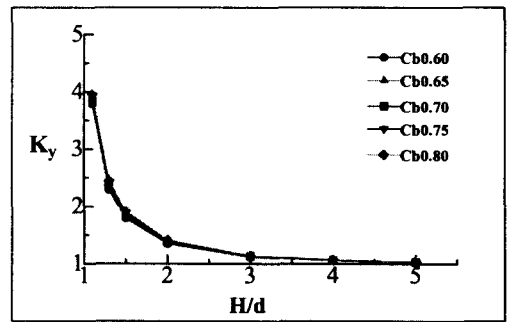
Fig. 3 심수역 부가질량 계수에 대한 상관

다음으로 수심의 변화에 따른 천수역의 계산 결과를 횡축에 수심 홀수비 (H/d)를, 종축에 천수역 부가질량 계수비 K_x, K_y 을 취하여 Fig.4에 Original Series 60 선형 (d/B 0.4)의 계산 결과만을 대표적으로 나타낸다. 종축에 천수역 부가질량 계수비 ($K_x, K_y =$ 천수역에서의 부가질량 계수 / 심수역에서의 부가질량 계수)를 정의하여 표현한 이유는 천수역에서의 부가질량 계수가 심수역에 비해 어느 정도 증가하는 지를 일목요연하게 파악할 수 있기 때문이다.

Fig.4 (a)는 전후 운동에 대한 천수역 부가질량 계수비 K_x 에 계산 결과로 C_b 가 클수록 계수비가 작은 값을 나타내며, 횡 운동에 대한 천수역 부가질량 계수비 K_y 의 계산 결과인 (b)의 경우는 C_b 가 클수록 계수비가 크게 나타나고 있으나 전후 운동에 비하여 그 값의 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 또한 수심이 얕아짐에 따른 계수비의

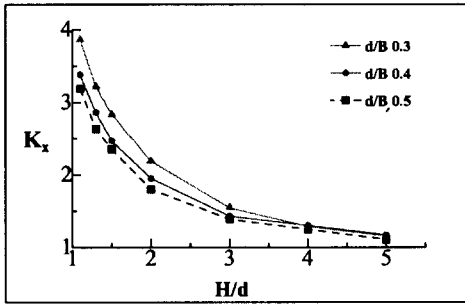


(a) 전후 운동

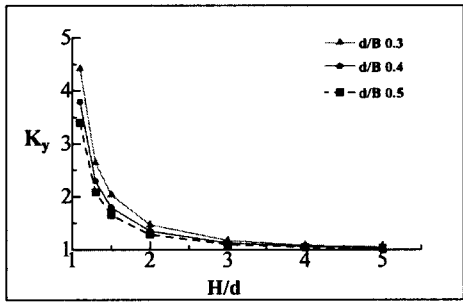


(b) 횡 운동

Fig. 4 Series 60 선형의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산 결과(홀수 선포비 d/B 0.4)



(a) 전후 운동



(b) 횡 운동

Fig. 5 Series 60 선형의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산 결과(방향 계수 C_b 0.6)

변화를 살펴보면, 전후 운동의 경우 그 값의 변화가 완만한데 비해 횡 운동의 경우는 H/d 가 2.0 이하에서 급격히 증가함을 알 수 있다. d/B 의 변화에 따른 천수역 부가질량 계수비의 변화를 C_b 가 0.6인 것을 대표적인 예로 Fig.5에 제시한다. Fig.5의 (a)는 전후 운동의 계수비, (b)은 횡 운동의 계수비를 나타낸 것으로 전후 운동, 횡 운동 모두 d/B 가 작을 수록 천수역 부가질량 계수비가 크게 나타나고 있으며 변화 폭도 d/B 의 커짐에 따라 점점 증대해 가는 것을 알 수 있다.

이와 같은 Series 60 선형의 계산 결과를 바탕으로 천수역 부가질량 계수비에 대한 모델화를 제4장에서 구체적으로 수심의 변화 및 선체 주요 제한등을 이용하여 검토하도록 한다.

3.2 SR 196 A,B,C 선형

SR 196 A,B,C 선형은 주요 제한이 거의 동일하며 선미 형상만이 조금 다른 선형이다. SR 196 B선

형은 선미 단면의 형상이 V자 형으로 흘수선에서 선체 폭이 넓고 선저 폭이 좁은 선형이다. 역으로 C 선형은 U형 선형이며, A선형은 B와 C의 중간형 선미 형상을 하고 있다. SR 196 선형은 선미 형상이 다르므로 인해 조종성능이 크게 상이함이 보고되어져 있고 현재에도 Tanker 선형의 선미 최적화나 선

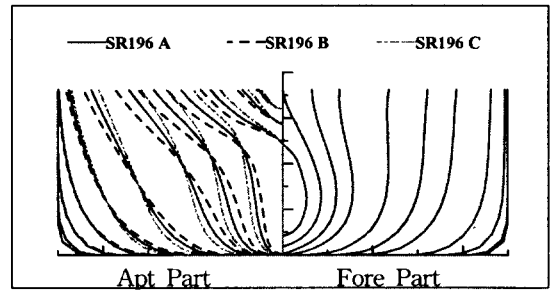
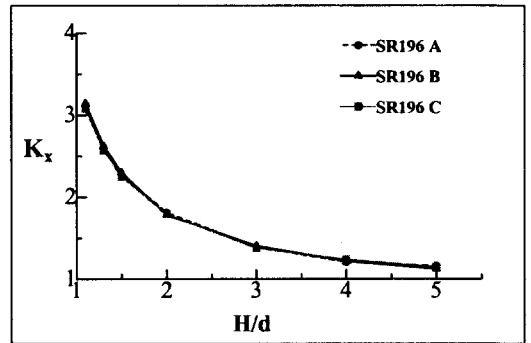
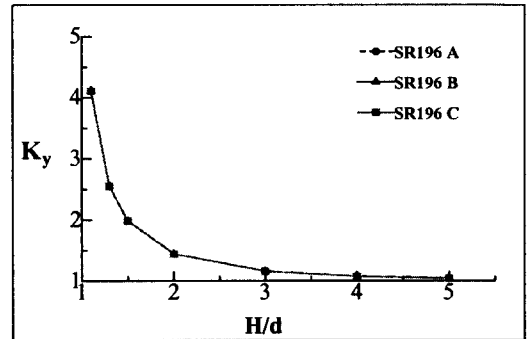


Fig. 6 SR 196 선형의 단면 비교



(a) 전후 운동



(b) 횡 운동

Fig. 7 SR 196 A, B, C 선형의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산 결과

<Table 2> SR 196 A, B, C 선형의 주요 제원

Particulars	SR 196		
	A	B	C
Model	A	B	C
L.D.W.L (m)	326.85		
Lpp (m)	320.00		
B (m)	53.00		
d (m)	19.30		
L/B	6.003		
d/B	0.362		
Cb	0.8021	0.8027	0.8017

<Table 3> 심수역에서의 부가질량 계수

Model	SR 196		
	A	B	C
Added mass Coefficients			
Translation	0.0510	0.0505	0.0516
Lateral	0.7929	0.7865	0.7990

미 후류의 반류 등에 관한 연구에 자주 인용⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾되고 있는 선형이다. SR 196 선형의 주요 제원을 표2에 나타내며, 선미 형상의 비교를 Fig.6에 제시한다.

심수역의 부가질량 계수(mx', my')의 계산 결과를 표3에 나타내며, 천수역에 대한 천수역 부가질량 계수비(Kx, Ky)의 계산 결과를 Fig.7에 나타낸다. 계산 결과로써 심수역의 부가질량 계수(표3) 및 천수역 부가질량 계수비(Fig.7)는 A, B, C 선형 모두가 거의 일치하는 경향을 보이고 있어 주요 제원이 거의 같으면 부가질량은 그다지 변동하지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 SR 196 A, B, C 선형에 대한 조종성능의 상이함은 부가질량 이외의 유체력 계수 즉, 점성에 의한 저항 성분 유체력으로 인해 기인된다고 사료된다.

3.3 T/S HANNARA

다음으로 여객선의 대표 선형으로 실습선 한나라호를 대상으로 전후, 횡 운동에 대한 심수역 및 천수역의 부가질량을 산출하였다. 실제 계산상에서는 한나라호의 선체 형상에 대해 Floor Rising 및

Stern Tube 등을 구체적으로 표현하여 정도 높은 계산을 수행하였다. 심수역의 부가질량 계수(mx', my')는 전후 운동의 경우가 0.0363, 횡 운동이 0.8112 이었으며, 천수역 부가질량 계수비(Kx, Ky)의 결과에 대해서는 제4장에서 논하기로 한다.

4. 천수역 선체 부가질량에 관한 근사식

계산에 이용된 Series 60 선형은 Cb가 0.6 - 0.8, d/B가 0.3 - 0.5까지의 모델로 이와 같은 선형의 천수역 부가질량 계수비의 계산 결과를 토대로 전후 운동 및 횡 운동에 대해 특정 수심에서의 부가질량 계수비를 추정하는 근사식에 대해 검토를 하였다.

4.1 선박의 전후 운동에 관한 근사식

전후 운동에 관한 천수역 부가질량 계수비에 대한 Series 60 선형의 계산 결과로서 계수비는 Cb가 클수록 작은 값을, 홀수 선평비 d/B가 작을수록 크며, d/B가 증가함에 따라 계수비의 증대 폭도 크게 나타났다. 또한 수심의 얕아짐에 따라 그 변화가 완만한 점과 H/d가 5.0에서 거의 1에 가까운 값을 나타내고 있어 H/d가 5.0을 심수역으로 보아도 무관하다고 사료된다. 이와 같은 사항을 고려하여 천수역 부가질량 계수비에 관한 근사식을 수립, 홀수, 선평, 방형계수를 변수로 하면 다음과 같은 근사식이 유도된다.

$$K_x = f(d, B, C_b, d/H) = \frac{1}{(1.5 - d/H)^\alpha} + \beta \times d/H \dots \dots \dots (5)$$

$$\alpha = 0.86 - 0.1 \times C_b + 1.28 \times (2)^{-10 \times d/B}$$

$$\beta = 2.654 - 2.0 \times C_b + 6.912 \times (2)^{-10 \times d/B}$$

4.2 선박의 횡 운동에 관한 근사식

횡 운동에 관한 천수역 부가질량 계수비의 경우 H/d가 2.0이하의 부분에서 급격히 증가하는 추세를 나타내며, d/B가 같은 경우에는 Cb의 변화가 계수비의 변동에 그다지 큰 영향을 미치지 않으나

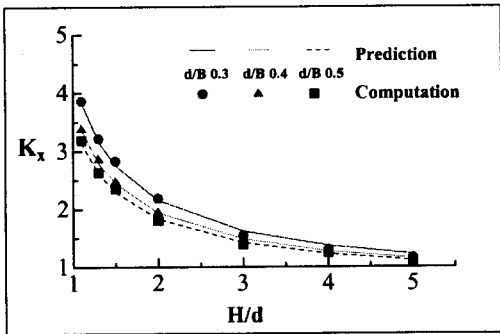
d/B가 작아질수록 계수비의 변화는 크게 나타났다. 횡 운동의 경우에 대해서는 수심의 변화에 따라 Cb와 d/B를 변수로 한 후 수정 계수로 두어 다음과 같은 근사식⁽⁵⁾을 유도할 수 있다.

$$K_y = f(d, B, C_b, d/H) = \frac{1}{(1.1 - d/H)^{\alpha \times \beta}} - 0.3 \times d/H \quad (6)$$

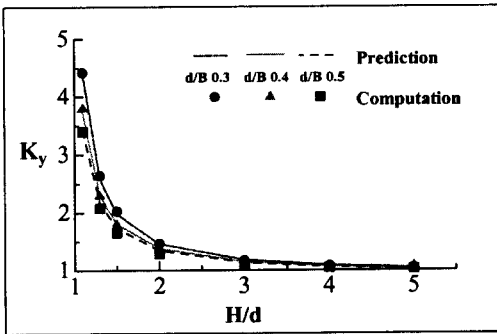
$$\alpha = 0.238 + 0.07 \times C_b$$

$$\beta = 2.65 + 5.504 \times (2)^{-10 \times d/B}$$

식(5)와 (6)은 천수역 부가질량 계수비를 추정하는 근사식으로, 구하고자 하는 특정 수심에서의 부가질량 계수는 선체 주요 제원 등을 이용하여 상기 근사식에 의해 부가질량 계수비를 정한 후 심수역의 부가질량 계수를 곱함으로써 간단히 추정 가능하다.



(a) 전후 운동

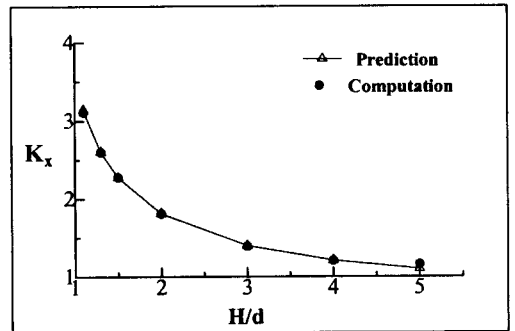


(b) 횡 운동

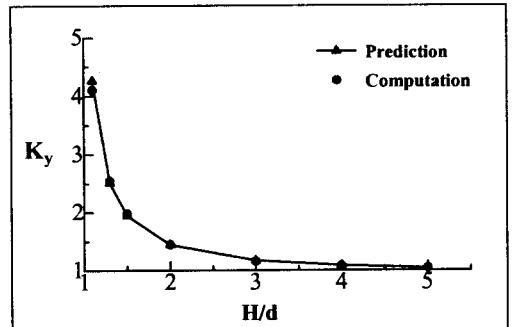
Fig. 8 Series 60 선형의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산치와 추정치의 비교 (방형계수 Cb 0.6)

4.3 근사식의 타당성 검토

전후, 횡 운동에 관한 천수역 부가질량 계수비를 추정하는 근사식에 관한 타당성을 검토하기 위하여 우선 Series 60 선형에 대한 포텐셜 계산 결과와 근사식에 의한 추정치를 비교하여 Fig.8에 Cb가 0.6인 경우를 대표하여 d/B의 변화에 따라 제시한다. 전후, 횡 운동에 대해 근사식이 매우 정확히 계수비를 추정하고 있음을 알 수 있다. 다음으로 Series 60 선형 이외의 선형의 예로서 SR 196 A 선형에 대한 포텐셜 계산 결과와 근사식에 의한 근사치를 비교하여 Fig.9에 나타낸다. SR 196 A 선형의 계산 결과와 근사식에 의한 추정치가 거의 일치하고 있어 근사식이 Series 60 선형 이외의 선형에 대해서도 천수역 부가질량 계수비를 잘 추정함을 알 수 있다. 또한 실습선 한나라호의 포텐셜 계산 결과와 근사식에 의한 추정치와의 비교를 Fig.10에

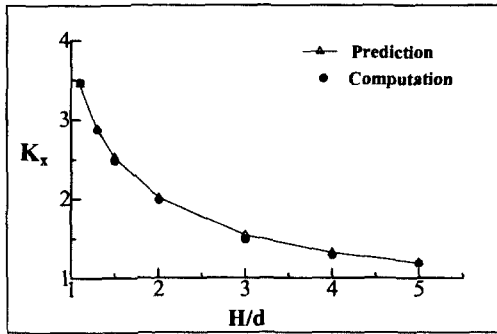


(a) 전후 운동

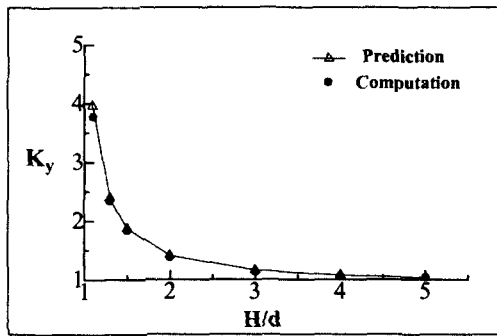


(b) 횡 운동

Fig. 9 SR 196 A 선형의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산치와 추정치의 비교



(a) 전후 운동



(b) 횡 운동

Fig. 10 T/S HANNARA호의 천수역 부가질량 계수비에 대한 계산치와 추정치의 비교

나타내었다. 횡 운동에 대한 근사치가 H/d가 1.1의 경우를 제외하고는 계산치가 거의 같은 경향을 나타냄을 알 수 있다.

이와 같이 근사식은 수치계산을 직접 행하지 않고서도 선박의 주요 제원 등을 기초로 선박의 전후, 횡 운동에 대한 천수역 부가질량 계수비를 정도 높게 추정할 수 있음을 잘 검증하고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 3차원 포텐셜 계산을 계통적인 선형(방형계수 C_b 가 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8로 구성된 3종류의 Series 60 선형)에 적용하여 심수역, 천수역의 부가질량을 산출하였다. 또한 계산 결과를 바탕으로 선박의 전후 운동, 횡 운동에 관한 천수역의 부가질량 계수비를 간단히 추정할 수 있는 천

수역 부가질량 계수비에 대한 근사식을 제안하였으며, SR 196 선형과 T/S HANNARA호의 포텐셜 계산 결과와 근사식에 의한 추정치를 비교 검토하여 근사식이 타당성을 입증하였다.

제안한 근사식은 선박의 주요 제원(홀수 수심비, 홀수 선폭비, 방형계수) 및 심수역의 부가질량 계수를 알 수 있으면 특정 수심에서의 부가질량 계수를 추정할 수 있는 방법으로, 시뮬레이터의 관리자 및 선박 유체역학에 특정 전문 지식을 가지지 아니한 사람이라도 손쉽게 천수역에서의 부가질량을 산출하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 또한 선박의 운항자에게는 항만내나 천수역에서 선박의 조종성능이 현저하게 저하된다는 사실을 천수역 부가질량 계수비라는 단편적인 유체력의 일례를 통해 이해의 폭을 넓히는 계기가 되었으면 한다. 물론 천수역의 부가질량을 산출하기 위해서는 심수역의 부가질량이 필요하나 이것은 Motora Chart나 포텐셜 계산 또는 실험치 등을 사용하여도 실용상 그다지 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

앞으로의 과제로서는 현재 운용중인 시뮬레이터의 부가질량과 관련한 데이터 베이스와 근사식에 의한 추정치와의 비교 검토가 요구되며, 부가관성 모멘트에 관한 근사식의 구축 및 선박의 Load Condition 이나 Trimming Condition 등이 부가질량에 미치는 영향 등에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 이 윤석, 김 순갑 : 저속 횡 이동하는 선체에 작용하는 유체력에 관한 연구, 한국항해학회지, 제64호, 1999.
- 2) 操縦性能研究の設計への應用, 運動性能技術研究委員會 第12回シンポジウム, 日本造船學會, 1995.
- 3) 烏野慶一, 野中晃二, 前川和義 : CFDを用いた定加速度斜航試験による附加質量の推定, 日本關西造船學會誌, 第232號, 1999.
- 4) 戶田保幸, 定兼廣行, 柳谷昌信, 李 允石 : 低速橫移動する船體に働く流體力に関する研究 -2

10 韓國航海學會誌 第24卷 第3號, 2000

次元CFDを用いた基礎的検討-, 日本航海學會誌, 第100號, 1999.

- 5) 李 允石, 定兼廣行, 戸田保幸: 低速横移動する船體に働く流體力に関する研究 - 非粘性流法を用いた浅水船體附加質量の計算-, 日本航海學會誌, 第102號, 2000.
- 6) John L. Hess and A.M.O. Smith: Calculation of Nonlifting Potential Flow about Arbitrary Three Dimensional Bodies, Journal of Ship Research, Vol.8, 1964.
- 7) 波多野修次: 三次元亂流境界法計算, 粘性抵抗シンポジウム, 1973.
- 8) F.H. Todd: Some Further Experiments on

Single-Screw Merchant Ship Forms - Series 60, The Society of Naval Architects and marine Engineers, Vol 65, 1953.

- 9) 元良誠三: 船體運動に對する附加質量及び附加慣性モーメント(1-5), 日本造船協會論文集, 第105, 106, 107號, 1959-1960.
- 10) 野中晃二, 原口富博, 上野道雄, 藤原敏文, 兒玉良明: 操縦運動時の船體まわり流場に関する研究, 船舶技術研究所報告 第34卷第5號, 1997.
- 11) 田原裕介, 齊藤奉夫, 松山博志, 姫野洋司: CFDによるタンカー船型の船尾形狀最適化, 日本關西造船學會誌, 第231, 232號, 1999.