

附加質量 3次元修正係數 分布法の 船體水平振動에의 적용에 관하여

金 正 濟
造船工學科

〈요 약〉

船體의 水平振動에 對한 부가 질량의 계산에 타원단면 주상체의 부가질량 3차원 수정 계수를 배의 각 단면에 분포시켜 계산하는 방법의 가능성 및 타당성 여부를 검토하는 동시에 기존 방법들과 비교하여 최적의 방법을 유도할 목적으로 實船船型에 대하여 3가지 방법으로 계산하고 부가 질량의 총방향 분포도근 도출하여 본결과 일반상선형의 수평 진동해석에는 본 방법이 적당치 않고 타원단면 주상체의 單一 3차원 수정계수 적용법이 보다 타당함을 확인하였다.

On the Application of Three-Dimensional Correction Factor Distribution Method for Calculation of Added Mass of Horizontally Vibrating Ship

Jeong Je Kim
Dept. of Naval Architecture & Shipbuilding Science

〈Abstract〉

To investigate the possibility and reliability of Three-dimensional correction factor distribution method for calculation of added mass of horizontally vibrating ship, the Author has carried out some calculation of added mass for actually existing ship by this proposed method and some other existing two methods as well.

The Author also has derived some distribution diagram of added mass along ship's longitudinal axis. The result shows the new proposed method is not applicable to horizontal vibration of ship meanwhile, the existing unique J_H of finitely-long elliptic cylinder has been proved more reasonable.

I. 서 론

선체 수평진동에 대한 부가질량은 일반 상선형선형에 있어서 상하 진동의 경우에 비하여는 다소 적은 값을 보여주고 있으나 아직 이 부가질량의 정확한 추정은 선체 진동해석에 중요한 과제도 남아 있다.

현재 통상 사용하는 이 부가질량의 계산 방법으

로서는 일반 대양항해선박의 선형에 대하여 Lewis Form 단면의 2차원적 부가질량계수를 적용하여 선체 각 횡단면에 대한 2차원적 부가질량을 계산한 후

1) A 방법 : J. L. Taylor (5)의 회전 타원체의 J_H 를 동일하게 전체 2차원 부가질량에 곱하여 적분하는 방법.

2) B 방법 : 김극철 등(7)의 유한장 타원단면 주상체의 J_H 를 동일하게 전체 2차원 부가질량에 곱하여 적분하는 방법.

능이 통용되고 있으나 제3의 방법으로 다음과 같은 방법을 적용하여 보았다.

3) C방법: 선체의 각 횡단면에 대하여 각 해당 횡단면은 가지고 길이가 선체 길이와 동일한 주상체에 대한 부가질량 3차원 수정계수(J_H)를 각 단면의 2차원 부가질량에 곱하여 3차원 부가질량을 계산하여 구한다.

그런 수정진동의 경우 방정비적계수가 적은 선형이더라도 수동부분의 profile형상이 회전타원체의 경우와는 많은 차이가 있으므로 회전타원주상체의 J_H 이 시용의 타방식 여부를 검토하기 위하여 부가 질량의 증방향 분포 curve를 도출 하였다.

II. 2차원 부가질량계수(C_H), 3차원 수정계수(J_H)의 정의

진동에 참여하여 수정 진동하는 선체의 임의의 횡단면이 가지는 단위길이당 부가질량은 다음과 같이 나타낸다.

$$m_a = \frac{1}{2} \cdot J_H \cdot C_H \cdot T^2 \dots \dots \dots (1)$$

- 단: m_a : 단위 길이당 부가질량
- C_H : 수정 진동에 대한 2차원 부가 질량 계수
- J_H : 부가질량의 3차원 수정계수
- T : 배의 횡단면의 수선면으로 부러의 길이

III. 2차원 부가질량계수(C_H) 계산

수정진동의 2차원적 부가질량의 계산에는 일반적으로 장타원체의 절형에는 Lewis Form의 것을 사용한다.

1. Lewis Form에 대한 C_H

Lewis Form 단면을 유도하는 등각상 장함수 $Z(\zeta) = R(\zeta - a_3\zeta^{-1} - a_5\zeta^{-3})$ 를 사용하여 유도된 C_H 계산식은 다음과 같다.

$$C_H = \frac{4}{\pi^2} \left\{ 1 - \frac{4b^2}{3} \left(1 + \frac{1}{P} - \alpha \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ 3 \left(1 + \frac{1}{P} \right) - \left(1 + \frac{10}{P} + \frac{1}{P^2} - \frac{32\sigma}{\pi P} \right)^2 \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{T} \right) \dots \dots \dots (4)$$

단: σ : 단면적 계수

B : 수선면폭

T : 흘수

2. 중앙단면적계수에 대한 C_H 수정

수정진동의 경우 중앙 단면적 계수에 의한 수정은 무시한다.

3. Bilge keel에 대한 C_H 수정

평행 중앙단면부에 Bilge keel이 있는 경우는 이에 대한 수정은 표-1에 의하여 수행한다.

表 1. Bilge keel에 대한 C_H 수정

k/B	0	0.05	0.123	0.228
C_H 증분(%)	0	6.7	19.0	39.5

단: k = Bilge keel의 길이

B = 횡단면의 수선면폭

IV. 3차원 수정계수 J_H 계산

수정진동에 대한 J_H 의 계산은 A방법의 경우에는 J. L. Taylor (5)의 회전타원체에 대한 자료 표-2를 사용하여 B방법 및 C방법에 있어서는 김득원(7)의 유한장 타원단면 주상체에 대한 자료 표-3을 사용한다.

表 2. 회전타원체의 J_H

L/B	6	7	8	9	10
2-Node진동	0.674	0.724	0.764	0.797	0.825
3-Node진동	0.564	0.633	0.682	0.723	0.760

表 3. 유한장타원단면주상체의 J_H

		nodes						
		L/T	2	3	4	5	6	7
1.0	B/T	8	0.823	0.787	0.747	0.705	0.665	0.627
		10	.858	.830	.797	.762	.726	.692
		12	.882	.860	.833	.803	.772	.741
		16	.912	.897	.878	.857	.833	.809
		20	.930	.919	.906	.889	.872	.852
4/3		10.67	.853	.824	.789	.752	.715	.679
		13.33	.882	.861	.833	.803	.771	.741
		16.0	.903	.885	.864	.839	.813	.786
		21.33	.928	.916	.902	.885	.866	.845
		26.67	.942	.934	.924	.912	.897	.882

2.0	10	.815	.776	.732	.687	.643	.603
	14	.869	.842	.809	.774	.739	.704
	18	.899	.880	.856	.829	.800	.771
	22	.919	.904	.886	.864	.841	.817
	26	.933	.920	.906	.889	.870	.850
	30	.941	.932	.921	.907	.891	.874
3.0	32	.944	.936	.927	.914	.899	.884
	16	.853	.824	.789	.752	.715	.679
	20	.882	.861	.833	.803	.771	.741
	24	.903	.885	.864	.839	.813	.786
	32	.928	.916	.902	.885	.866	.845
4.0	40	.942	.934	.924	.912	.897	.882
	16	.83	.787	.747	.709	.665	.627
	20	.858	.830	.797	.762	.726	.692
	24	.882	.860	.833	.803	.772	.741
	32	.912	.897	.878	.857	.833	.809
	40	.930	.919	.906	.889	.872	.852

V. 實船에 대한 부가질량 계산

1. J_H 의 분포적용 방법—C 방법

현재 조선소에서 건조중인 25,000 DWT級 Bulk Carrier의 선형(표-4)을 택하여 Full load condition, Ballast condition에 대한 진동질수 2~6에 대하여 아래와 같이 계산을 수행하였다.

① 선체를 길이 방향으로 20등분 하였다.

② 각 단면에서의 단면적계수(σ), 수선면폭—홀수비($B/2T$)에 대한 C_H 를 식(2)에 의하여 계산하였다.

③ 중앙단면 부분의 σ 값에 대한 수정은 무시하였다.

④ Bilge keel이 부착된 중앙부 75M 길이에 대해서는 표 -1에 의하여 C_H 를 수정하였다.

⑤ 각 단면의 수선면폭—홀수비 및 배의 수선간장—단면홀수비(L/T)에 대한 J_H 값을 표-3으로부터 구하였다.

⑥ 각 단면의 단위길이당 3차원적인 부가질량을 식 (1)에 의하여 계산하여 배의 전 길이에 대하여 Simpson 1st Rule을 적용하여 근사적분 하였다.

表 4. 25,000DWT級 Bulk Carrier의 주요 요목

건장	175.30M
수선간장	167.65M

폭	23.35M
깊이	14.20M
홀수(Full load cond.)	10.407M
(Ballast cond.)	5.624M
배수량(Full load cond.)	31,278 TONS
(Ballast cond.)	15,657 TONS
방향비치계수 (Full load cond.)	0.75
(Ballast cond.)	0.696
중앙단면적계수 (Full load cond.)	0.994
(Ballast cond.)	0.990
Bilge keel	0.35M×75M

2. 타원단면 추상체의 單— J_H 적용방법—B방법

본 방법은 위의 C방법과 동일하나 상기 방법중의 ⑤, ⑥의 J_H 값은 배의 중앙 단면에서의 수선면폭—홀수비 및 배의 수선간장—홀수비에 대한 J_H 를 표 -3으로부터 구하여 동일값을 배의 전단면에 적용하였다.

3. 회전타원체의 單— J_H 적용 —A 방법

본 방법은 위의 B방법과 동일하나 J_H 값을 중앙 단면에서의 수선 면폭—홀수비 및 배의 수선간장—홀수비에 대한 J_H 값을 표 -2로부터 구하여 배의 전 단면에 적용하였다.

4. 계산결과치의 정리.

진동질수 2~6에 대하여 상기 A, B, C방법에 의한 부가질량 계산치들을 표 -5 및 표 -6에 종합하였는데 이 값들을 각 계산방법에 대한 차이를 상호비교할 목적으로 Fig.1. 및 Fig.2.에 Graph로 표시 하였다.

5. 부가질량의 선체종방향 분포

實船型의 부가질량 계산에 위의 회전타원체의 3차원수정계수 적용의 타당성 여부를 검토하고 J_H 를 분포시키기 전과 후의 분포변화를 보기 위하여 각 단면의 2차원 부가질량 및 2-Node에 대한 타원 단면 추상체의 J_H 분포를 적용한 3차원 부가질량의 선체 종축에의 분포 curve를 작성하여 Fig.3, Fig.4 에 도시하였다.

VI. 진동수 계산 및 비교

물위에서의 선체진동수는 동일 선체조건과 동일

진동결수에 대하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$f_n \propto \frac{1}{\sqrt{J+J_0}} \dots\dots\dots(5)$$

단: J : 배의 배수량(중량)

J_0 : 부가질량(중량)

f_w : 선외에서의 진동수

表-5, 表-6의 부가질량치를 가지고 식(5)를 사용하여 각 계산방법간의 상대적인 진동수를 계산하였으며 C방법에 의한 계산치를 100으로 한 상대 진동수를 表-7, 表-8에 증감하였다.

表 5. Full load condition에서의 수평 진동에 대한 부가질량(단위: Tons)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법: 회전 타원체의 單- J_H 적용	9,306	8,178	—	—	—
B방법: 타원 단면 주상체의 單- J_H 적용	11,175	10,868	10,487	10,079	9,658
C방법: 타원 단면 주상체의 J_H 분포 적용	11,283	10,991	10,581	10,187	9,862

表 6. Ballast condition에서의 수평 진동에 대한 부가질량 (단위: Tons)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법: 회전 타원체의 單- J_H 적용	2,825	2,483	—	—	—
B방법: 타원 단면 주상체의 單- J_H 적용	3,489	3,420	3,335	3,242	3,137
C방법: 타원 단면 주상체의 J_H 분포 적용	3,570	3,515	3,445	3,366	3,270

表 7. Full load condition에서의 수평진동에 대한 진동수 대비 (단위: %, C방법에 의한 값 100% 기준)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법: 회전 타원체의 單- J_H 적용	99.18	100.2	—	—	—
B방법: 타원 단면 주상체의 單- J_H 적용	100.42	100.43	100.43	100.44	100.45
C방법: 타원 단면 주상체의 J_H 분포 적용	100	100	100	100	100

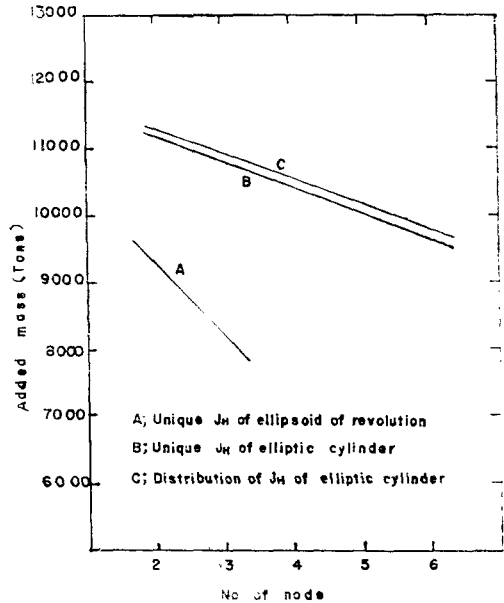


Fig.1. Comparison of Added Mass of horizontally vibrating ship-Full load condition

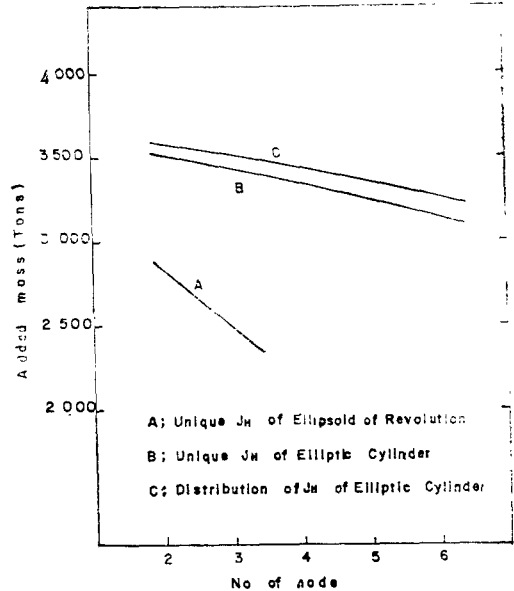


Fig.2. Comparison of Added mass of horizontally vibrating ship-Ballast condition.

表 8. Ballast Condition에서의 수평 진동에 대한 진동수 대비(단위: %, C방법에 의한값 100% 기준)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법: 회전타원체의 單- J_H 적용	100.2	101.8	—	—	—
B방법: 타원단면 주상체의 單- J_H 적용	100.5	100.5	100.6	100.7	100.7
C방법: 타원단면 주상체의 J_H 분포 적용	100	100	100	100	100

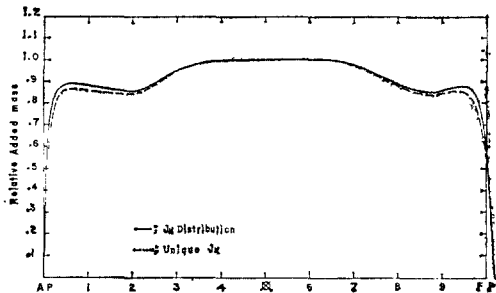


Fig. 3. Distribution of Added mass of horizontally vibrating ship-FHL load condition (2-nodes).

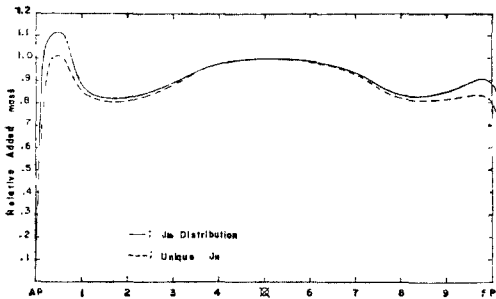


Fig. 4. Distribution of Added mass of horizontally vibrating ship-Ballast condition (2-nodes).

Ⅶ. 결과 및 고찰

위에서 계산하여 분석한 자료로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 본 방법(C방법)에 의하여 계산한 부가 질량값은 유한장 타원 단면 주상체의 單- J_H 를 사용한(B방법) 계산치 보다 소 Loading condition 및 소 진동수에 걸쳐 조금(1~4%)크며 회전타원체의 單- J_H 를

사용한(A방법) 계산치는 전체적으로 B방법에 의한 계산치 보다 매우 작으며 특히 Ballast condition에 있어서는 그 차이가 매우 현저하다. (28%의 차)

2) 수평진동에 있어서는 전체적으로 부가질량값이 선체 자체 질량(이수량)에 비하여 매우 작으며 특히 Ballast condition에 있어서는 그 비율은 약 22%정도밖에 되지않아 부가질량이 선체 질량에 미치는 영향은 그리 크지 않음을 알수있다.

3) 따라서 상기 계산방법의 차이에서 오는 부가 질량의 차이가 결과적으로 진동수에 미치는 영향을 보면 본 방법(C방법)과 B방법에 의한 계산치들간의 상대적인 차는 Full load condition에서 0.2%이며, Ballast condition에서는 0.4%이므로서 매우 근소한 차를 주고 있으며 본 방법과 A방법에 의한 계산치들 간에는 전체적으로 3.6% 이비의 차를 보이고 있다.

4) 한편 實船의 수평진동의 경우 특기할 것은 부가 질량의 선체 종방향분포를 보면 Fig. 3, 4에서 보는 바와 같이 상하진동의 경우와는 달리 부가 질량이 종방향으로 거의 균일하게 분포되어 있어 수평진동의 경우에도 분포치가 중앙부에서 최대치가 되고 선수, 선미 쪽으로 거의 uniform하게 감소하는 포물선형 curve를 형성하는 회전타원체의 경우와는 선체주위유체의 운동조건이 근본적으로 큰 차이가 있으므로 회전 타원체의 이론을 일반 선형에 그대로 적용하는 것은 적당치 않으며 특히 bulbous bow를 가진 선형에서는 그 profile이 선수, 선미에서 cut-off된 형상에 가까우므로 오히려 유한장 타원단면 주상체의 이론 계산치를 적용하는 것이 타당하다.

5) 다시 Fig. 3, 4에서 보면, 단일 J_H 를 적용한 결과에 의한 curve는 2차원적 부가질량의 분포를 나타내며 이 curve는 선수, 선미 끝단 부근에서 오히려 극대치를 형성하고 있으며 이것은 實船의 선수, 선미 형상이 Lewis Form형상의 범위를 많이 벗어나는 데서 유발되는 것이며 따라서 위에서 계산한 2차원 부가질량은 선수, 선미 끝단쪽이 과대한 계산이 포함되어 있음을 알 수 있다.

6) 또한, Fig. 3, 4에서 J_H 를 분포시켰을때의 부가 질량의 분포형상을 보면 2차원 부가질량을 다시 선수, 선미 끝단 부근에서 증가시켜 선수 선미 끝단 부근의 부가 질량치가 이중으로 확대되는 결과를 가져오고 있다.

VIII. 결 론

선체의 수평진동에 대한 부가질량의 계산에 있어서 본 연구의 타원단면 주상체의 J_H 를 선체 종방향으로 분포시켜 계산하는 방법은 2차원 부가질량을 Lewis Form 단면에 대한 계산식으로 산출할 경우에는 선수 선미 끝단 부근에서의 부가질량 분포치를 2중으로 과대 하게 확대시키는 결과를 초래하게 되므로 일반 상선형 선형에 적용하는 것은 Loading condition에 관계없이 타당치 않으며 타원단면 주상체의 單一 J_H 적용법이 보다 타당함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Landweber, L., "Added Mass of Two Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface". JSR, Vol.1, No.3, SNAME, (1957)
2. Prohaska, C.W., "Vibrations Verticales Du Navire," Bulletin de LTMA (1947). Also, Abstract in The Shipbuilder and Marine Engine Builder, October, (1947)
3. Kim, K.C., "Added Mass for both Vertical and Horizontal Vibration of Two Dimensional Cylinders of Curvilinear-element Sections with Chines in a Free Surface", Jour. of SNA, Korea, Vol.6, No.1, (1969)
4. Lewis, F.M., "The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Ship", Trans. of SNAME, Vol.37, (1929)
5. Taylor, J.Lockwood., "Some Hydrodynamical Inertia Coefficients. Phil. Mag., Vol.9, (1930)
6. Kumai, T., "On the Three Dimensional Correction Factor for the Virtual Inertia Coefficient in the Vertical Vibration of Ships I (J-Value of Elliptical Cylinder)", Jour. of SNA, Japan, Vol.112, (1962)
7. 金極天 등, "船體水平振動에 있어서의 附加質量 3次元 修正係數", 大韓造船學誌, 第11卷 第1號, (1974)
8. Townsin, R.L., "Estimates of Virtual Mass for Ship Vibration Calculation", Shipbuilder and Marine Engine Builder, March, (1962)