

船體의 上下振動에 對한 附加質量計算에 附加質量3次元修正係數 分布法

金 正 濟
造船工學科

〈요 약〉

船體의 上下振動에 대한 附加質量의 계산에 있어서 타원단면주상체의 부가질량 3차원수정계수를 배의 각단면에 분포시켜 계산하는 방법의 가능성 및 타당성을 검토하기 위하여 본 방법으로 實船에 대한 계산을 수행하였으며 현재 통용되는 두가지 방법, 즉 회전타원체의 單一 3차원수정계수 적용 방법 및 유한장 타원 단면 주상체의 單一 3차원 수정계수 적용법에 의한 계산치들과 비교검토 하였다. 본 방법은 결과적으로 기존방법에 비하여 진동수에는 큰 차이를 주지 않으나 보다 정확한 부가질량 계산방법으로서의 실용성이 있음을 확인 하였다.

Three Dimensional Correction Factor Distribution Method for Calculation of Added Mass of Vertically 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 vertically vibrating ship, the Author has carried out some calculation of added mass for actually existing ship by this proposed method. The Author also has calculated the same by applying existing two methods, application of unique 3-dimensional correction factor of ellipsoid of revolution and application of unique 3-dimensional correction factor of finitely long elliptic cylinder, and investigated the former result in comparison with these values.

The new proposed method was confirmed reasonable with more accuracy in calculation of added mass even though it does not give so significant difference in vibration frequency compared to existing methods.

I. 서 론

선체 상하진동에 있어서 부가질량의 추정은 부가 질량치가 선체의 형상과 재화상태에 따라 다르며 때로는 선체자체의 질량 보다도 훨씬 큰 값을 나타 내고 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

부가질량의 계산은 먼저 선체를 길이방향으로 소

정의 수로 분할하여 각 분할요소에 대하여 그 단면 의 2-차원적인 부가질량을 구하고 이에 선체의 3 차원적 형상 및 유체의 3차원적 운동을 감안한 3차 원수정계수 (J_v)를 곱하여 산출한다. (strip theory method)

현재 통상 사용하는 계산방법 으로서는 전통적인 일반 대양향해선박의 선형에 대하여는 일반적으로 Lewis Form 단면의 2차원적 부가질량 계수를 적용

선체에 각 횡단면의 세로 선의 부가질량을 계산한다.

1) A방법 : J. L. Taylor(8)의 회전타원체의 부가질량 3차원수정계수(J_V)를 동일하게 전체 2차원 부가질량에 곱하여 적용하는 방법.

2) B방법 : 김극천(12)의 수직상 타원판면 주상체의 부가질량 3차원 수정계수(J_V)를 동일하게 전체 2차원 부가질량이 곱하여 적용하는 방법.

본이 적용되고 있으며 일반적으로 방형비적계수(C_V)가 적은 선형에 대하여는 A방법, 평형중앙단면이 넓고 방형비적계수가 큰 선형에 대하여는 B방법을 적용하는 것이 타당한 것으로 되어 있으나 B방법은 實船型이 동일크기과 동일 형상의 단면이 全長에 걸쳐 분포된 주상체와는 많은 차이가 예상되어 이를 보완할 목적으로 B방법을 수정하여 다음과 같은 방법을 實船에 적용하여 본다.

3) C방법 : 선체의 각 횡단면에 대하여 각 해당 횡단면을 가지고 길이가 선체길이의 동일한 주상체에 대한 부가질량 3차원수정계수 (J_V)를 각 단면의 2차원 부가질량이 곱하여 3차원 부가질량을 계산하여 적용한다.

II. 2차원 부가질량계수(C_V), 3차원 수정계수(J_V)의 정의.

물속에 半몰입하여 상하진동하는 선체의 임의의 횡단면이 가지는 단위길이당 부가질량은 다음과 같이 계산된다.

$$m_e = \frac{1}{2} \cdot J_V \cdot C_V \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \dots\dots\dots(1)$$

단, m_e : 단위길이당 부가질량.

C_V : 상하진동에 대한 2차원 부가질량 계수.

J_V : 부가질량의 3차원 수정계수

B : 배의 수선편폭.

III. 2차원 부가질량계수(C_V)계산.

상하진동에 대한 2차원적 부가질량에 대하여는 F. M. Lewis(7), Landweber and Macagno (2) 등의 소위 Lewis Form에 대한 계산이 있고, 황종홀(5), 김극천(6) 등의 Chine Form, Prohaska(4), Wendel(3) 등의 특수단면형에 대한 계산이 있으나 전통적인 일반 대양향해선박의 선형에는 Lewis Form이 가장 근사하여 흔히 사용되고 있다.

I. Lewis Form에 대한 C

Lewis Form은 2-parameter families의 무극사상함수 $Z(\zeta) = R(\zeta + a_1\zeta^{-1} + a_3\zeta^{-3})$ 을 사용하여 원(circle)으로 부피 전개되는 단면으로 a_1, a_3 를 적당한 한의 최하여 여러가지 단면기수를 가지는 수직상형단면을 만들수 있으며 이를 사용한 C의 계산식은 다음과 같다.

$$C_V = 1 - \left(1 - \frac{1}{P} - \alpha\right) \left(\frac{1}{P} - \alpha\right) \dots\dots\dots(2)$$

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

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

단: σ : 단면적계수

B : 수선편폭

T : 흘수

2. 중앙단면계수에 대한 C_V 수정

式(2)의 계산에 있어서 $\sigma = 0.98 \sim 1.00$ 의 값이 대하여는 실제보다 낮은 C_V 값을 나타낸다는 것이 확인되었으니

따라서 이 범위의 횡단면에 대하여서는 Townsin(13)의 자료 $\sigma = 1$ 을 사용한다.

表 1 $\sigma > 0.98$ 단면의 C_V

p	1.667	1.250	1.00	0.714	0.556	0.400	0.200
$\sigma = 1.00$	1.41	1.46	1.51	1.60	1.67	1.77	1.97
$\sigma = 0.98$	1.27	1.31	1.36	1.44	1.50	1.59	1.77

3. Bilge keel에 대한 C_V 수정

다음에 평형중앙단면부에 Bilge keel이 있는 경우는 이에 대한 수정을 表-2에 의하여 수정한다.

表 2 Bilge keel에 대한 C_V 수정

k/T	0	0.05	0.123	0.228
C_V 증분(%)	0	6.7	19.0	39.5

단: k : Bilge keel의 길이

T : 흘수(수선면으로 부터의 길이)

IV. 3차원 수정계수 J_V 계산

상하진동에 대한 부가질량의 3차원 수정계수 J_V 에

대하여는 F. M. Lewis(7), T. L. Taylor(8)의 회전 타원체, kruppa(9)의 3축타원체, 다시 J. L. Taylor(8)의 유한장 원통주상체, kumai(10), 김득철(12)의 유한장 타원단면주상체에 대한 계산이 있으나 일반적으로 방형비척계수가 작은 일반선형에 대하여는 J. L. Taylor(8)의 회전타원체에 대한 J_v (表-3)를 사용하고, 방형비척계수가 비교적 큰 선형에 대하여는 김득철(12) 등의 유한장 타원단면 주상체에 대한 J_v (表-4)를 사용한다.

表 3. 회전타원체의 J_v

L/B	6	7	8	9	10
2-Node 진동	0.674	0.724	0.764	0.797	0.825
3-Node 진동	0.564	0.633	0.652	0.723	0.760

表-4. 유한장 타원단면주상체의 J_v

B/T	nodes L/B	nodes						
		2	3	4	5	6	7	
0.1	4.0	0.442	0.375	0.321	0.278	0.245	0.219	
	5.0	.500	.433	.376	.330	.293	.263	
	6.0	.547	.482	.424	.376	.336	.306	
	7.0	.590	.524	.466	.416	.375	.341	
	8.0	.621	.560	.503	.453	.410	.374	
	9.0	.650	.592	.536	.486	.442	.405	
	10.0	.675	.620	.565	.515	.472	.434	
2.0	4.0	.526	.458	.399	.351	.311	.279	
	5.0	.585	.520	.460	.409	.367	.332	
	6.0	.632	.571	.512	.460	.416	.379	
	7.0	.670	.612	.556	.504	.460	.421	
	8.0	.701	.648	.593	.543	.498	.459	
	9.0	.728	.678	.626	.577	.532	.493	
	10.0	.750	.703	.654	.607	.563	.524	
3.0	4.0	.557	.490	.429	.378	.337	.303	
	5.0	.616	.553	.493	.441	.396	.359	
	6.0	.663	.604	.546	.493	.448	.408	
	7.0	.698	.644	.589	.537	.492	.452	
	8.0	.730	.680	.628	.578	.533	.493	
4.0	4.0	.575	.508	.448	.397	.353	.317	
	5.0	.634	.571	.511	.457	.411	.373	
	6.0	.679	.621	.564	.510	.465	.424	
	7.0	.715	.663	.608	.557	.510	.470	
	8.0	.745	.697	.645	.596	.551	.510	

V. 實船에 대한 부가질량 계산

1. J_v 의 분포적용-C 방법

본 연구에서 시도하는 전술한 유한장 타원단면주상체의 J_v 를 배의 전길이에 분포시키는 계산방법을 적용하기 위하여 현지 현대조선소에서 건조중인 25,000 DWT級 Bulk Carrier의 선형을 택하여 Full-load condition과 Ballast Condition에 대한 근동인 수 2~6에 대하여 아래와 같이 계산을 수행하였다.

- ① 선체를 길이방향으로 20등분 하였다.
- ② 각 단면에서의 단면척계수(σ), 수선면폭~흘수비($B/2T$)에 대한 C_v 를 식(2)에 의하여 계산하였다.
- ③ σ 값이 0.98을 넘는 중앙단면 부분에 대하여는 Full load condition 및 Ballast condition 기타 表-1에 대한 C_v 수정치를 사용하였다.

④ Bilge keel이 부착된 중앙부 75M 길이에 대하여는 表-2에 의하여 C_v 를 수정하였다.

⑤ 각 단면의 수선면폭~흘수비 및 배의 수선간장~단면폭비(L/B)에 대한 J_v 값을 表-4로부터 구하였다.

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

2. 타원단면 주상체의 單- J_v 적용-B방법

본 방법에 의한 계산은 위의 C방법과 동일하나 상기방법중 ⑤, ⑥의 J_v 값은 배의 중앙단면에서의 수선면폭~흘수비 및 배의 수선간장~주대단면폭비에 대한 J_v 를 表-4로부터 구하여 동일값을 배의 전횡단면에 적용하였다.

3. 회전타원체의 單- J_v 적용-A방법

본 방법에 의한 계산은 위의 B방법과 동일하나 J_v 값은 중앙단면에서의 수선면폭~흘수비 및 배의 수선간장~회대단면폭비에 대한 J_v 값을 表-3으로부터 구하여 배의 전횡단면에 적용하였다.

4. 25,000 DWT 級 Bulk Carrrie의 주요요목

본 계산에 사용된 선박의 주요요목은 表-5와 같다.

表 5. 級의 주요요목

전장 175.30M

수선간장	167.65M
폭	23.35M
길이	14.20M
흘수(Full load cond.)	10.407M
(Ballast cond.)	5.624M
배수량(Full load cond.)	31.278 TONS
(Ballast cond.)	15.657 TONS
방형비척계수(Full load cond.)	0.75
(Ballast cond.)	0.699
중양단면척계수(Full load cond.)	0.994
(Ballast cond.)	0.990
Bilge keel	0.35M×75M

5. 계산결과치의 정리

진동절수 2~6에 대하여 상기 A, B, C 방법에 의한 부가질량 계산치들을 表-6 및 表-7에 종합하였으며 이 값들을 각 계산방법에 대한 차이를 상호 비교할 목적으로 Fig. 1. 및 Fig. 2.에 Graph로 표시 하였다.

IV. 진동수 계산 및 비교

물속에 떠돌하여 상하 진동하는 선체의 진동수는 다음식에 의하여 계산된다.

$$f_w = C_w \sqrt{\frac{gEI}{(A + \Delta_e)L^3}} \dots\dots\dots(5)$$

단: f_w : 물위에서의 진동수

C_w : 선형 및 진동절수에 따라 정해지는 상수

g : 중력가속도

EI : 선체의 상하 굽힘강성계수

L : 배의 배수량(중량)

Δ_e : 부가질량(중량)

(5) 식은 동일선체조건과 동일 진동절수에 대하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_w \propto \frac{1}{\sqrt{A + \Delta_e}} \dots\dots\dots(6)$$

A, B, C 방법의 차이에서 오는 부가질량 계산치의 차이가 실질적으로 최종 진동수 값에 미치는 영향을 보기 위하여 表-6, 表-7의 값을 가지고 식(6)을 사용하여 각 계산방법에 따른 상대적인진동수를 계산하였으며 그결과를 C방법에 의한 계산값을 100으로한 상대진동수로 表-8, 및 表-9에 종합 하였다

表 6. Full load Conition에서의 상하진동에 대한 부가질량(단위 : Tons)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법-회전 타원체의 單-J _v 적용	27,285	23,977	--	--	--
B방법-타원 단면추상체의 單-J _v 적용	25,515	23,348	21,330	19,388	17,745
C방법-타원 단면추상체의 J _v 분포 적용	25,769	23,822	21,669	19,745	18,150

表 7. Ballast Condition에서의 상하진동에 대한 부가질량(단위 : Tons)

No. of Node	2	3	4	5	6
계산방법					
A방법-회전 타원체의 單-J _v 적용	22,637	19,892	--	--	--
B방법-타원 단면추상체의 單-J _v 적용	22,409	20,828	19,154	17,573	16,117
C방법-타원 단면추상체의 J _v 분포 적용	22,763	21,216	19,607	18,065	16,587

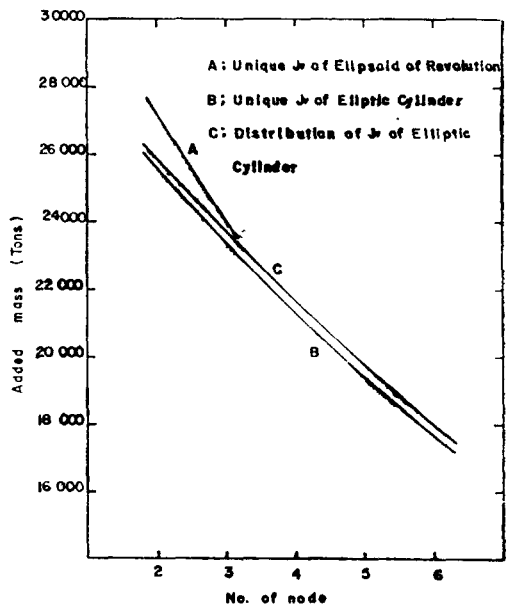


Fig. 1. Comparison of Added mass of Vertic-ally vibrating ship-Full load Condition

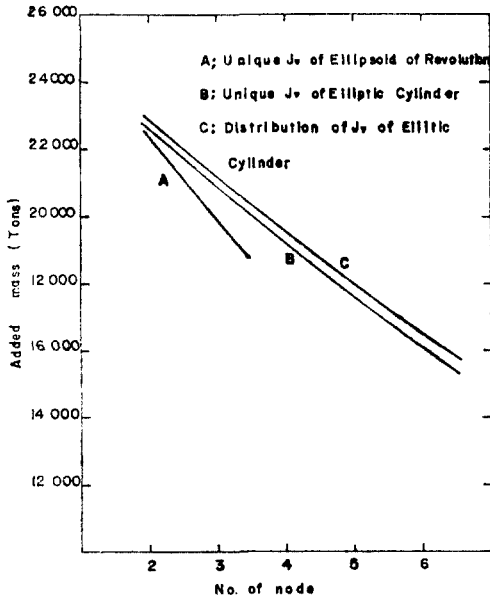


Fig. 2. Comparison of Added mass of Vertically Vibrating ship-Ballast Condition

表 8. Full load Condition에서의 상하진동에 대한 진동수 대비. (단위: %, C방법에 의한 값 100% 기준)

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

表 9. Ballast Condition에서의 상하진동에 대한 진동수 대비. (단위: %, C방법에 의한 값 100% 기준)

No. of Node	2	3	4	5	6
A방법 - 회전 타원체의 單- J_v 적용	100.2	101.8	-	-	-
B방법 - 타원 단면 주상체의 單- J_v 적용	100.5	100.5	100.6	100.7	100.7
C방법 - 타원 단면 주상체의 J_v 분포 적용	100	100	100	100	100

Ⅶ. 결과 및 고찰

선체 상하진동에 관한 부가질량의 계산방법에 대하여 실제로 계산하여 분석한 자료를 종합하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 타원단면 주상체의 J_v 를 분포시키는 본 방법(C방법)에 의한 부가질량 계산치는 Full load condition 및 Ballast Condition에서 공통 유한장 타원단면 주상체의 單-3차원 수정계수를 사용한(B방법) 값 보다 수 진동 절수에 걸쳐 항상 조금 높은 값을 준다.

2) Full load Condition에 있어서는 본 방법에 의한 부가질량은 낮은 진동절수(2~3Node)에서는 회전타원체의 單-3차원 수정계수를 사용한(A방법) 계산값 보다 다소 낮은 값을 보이는 동시에 A방법에 의한 계산값과 B방법에 의한 계산값의 사이에 옅을 보여 주고 있으며 A방법에 의한 결과값의 Curve의 추세로 보아 보다 높은 진동 절수 에서는 본 방법에 의한 계산값은 A방법에 의한 계산값들 보다도 높은 값이 될 것이 예상되어 최소한 낮은 진동 절수(2~3Node)에 대하여는 본 계산방법이 보다 정확한 결과값을 줄 것으로 보이며 높은 진동절수에 대하여는 A방법에 의한 계산자료가 없어 본 연구에서는 직접 비교할 수 없으나 Parallel Middle Body가 길고 Block coefficient가 큰 선형에 대하여는 본 계산방법의 적용이 타당 할 것으로 판단 된다.

3) Ballast condition에 있어서는 B방법에 의한 부가질량 계산값은 A방법에 의한 계산값 보다 다소 높으며 본 방법에 의한 계산값은 이들보다 수진동 Mode에 걸쳐 높은 값을 보여주고 있으나 부가질량의 2차원계수 (C_v)가 수선면폭-흘수비에 의하여 영향을 받고(Moullin), 3차원수정계수 (J_v)가 또한 수선면폭-흘수비에 따라 변한다는(Kumai) 것이 입증된 이상 수선면폭-흘수비가 4.152인 Ballast condition에 대하여는 수선면폭-흘수비가 2.0인 회전타원체의 이론치를 그대로 적용하는 방법은 현시점에서는 근본적으로 적합치 않으며 따라서 Ballast condition에 있어서는 수진동 절수에 대하여 본 방법을 적용함이 타당하다.

4) 각 계산방법에 의한 부가질량들간의 차이의 범위를 검토하여 보면 Full load condition 및 Bal-

last Condition에 있어서 본 계산방법에 의한 값들을 기준으로 비교할때 B방법에 의한 값들은 순진동률수에 걸쳐 2.8%이내, A방법에 의한 값들은 6.2%이내의 차이를 보인다.

5) 한편 각 방법에 의한 부가질량값의 차이가 최종적으로 진동수에 미치는 영향을 보면 본 방법에 의한 진동수 계산값을 기준으로 할 때 Full load condition 및 Ballast condition에 있어서 B방법에 의한 값들과의 차이는 순진동률수에 걸쳐 0.7%이내 A방법에 의한 값들과의 차이는 1.8%이내의 값을 보이고 있어 결과적으로 상기 계산방법들의 차이가 최종적인 진동수 계산에 미치는 영향은 과히 크지 않다.

VIII. 결 론

선체의 상하진동에 대한 부가질량의 계산에 있어서 본 연구의 타원단면 주상체의 J_v 를 선체의 종방향으로 분포시켜 계산하는 방법은 타 방법들에 비하여 결과적으로 최종적인 진동수에는 큰 차이를 주지 않으나 부가질량 자체 계산에 있어서는 일반상선형의 Full load condition과 Ballast condition에 대하여 공통 보다 높은 정확도를 가지고 적용할 수 있음을 확인 하였다.

參 考 文 獻

1. Kumai, T., "On the Apparent Mass of Cargo Oil in Vibration of a Tanker", Report of RIAM, Kyusu University, Vol. XIII, No.46. (1965).
2. Landweber, L., "Added Mass of Two Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface", JSR, 1. No.3. SNAME, (1957)
3. Wendel, K., "Hydrodynamische Massen und Hydrodynamische Massenträgheitsmomente", Jahrb. der STG, Bd. 44, 1950. Also, DTMB Translation 260, (1956).
4. Prohaska, C.W., "Vibrations Verticales Du Navire". Bulletin de LTMA, (1947). Also,

Abstract in The Abstract in The Shipbuilder and Marine Engine Builder, October. (1947).

5. Hwang, J.H., "Added Mass of Two Dimensional Cylinders with the Sections of Straight Frames Oscillating Vertically in a Free Surface," Jour. of SNA, Korea, Vol.5, No.2, (1968).
6. 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).
7. Lewis, F.M., "The Inertia of the water Surrounding a Vibrating Ship", Trans. of SNAME, Vol. 3, 1
8. Taylor, Lockwood., "Some Hydrodynamical Inertia Coefficients". Phil. Mag., Vol.9, (1930)
9. Kruppa, C., "Beitragzum Problem der Hydrodynamischen Trägheits-grossen bei elastischen Schiffsschwingungen", Schiffstechnik, Bd. 9, (1962)
10. Kumai, T., "On the Three Diensional Correction Factor for the Vertical Inertia Coefficient in the Vertical Vibration of Ships I (J-Value of Elliptical Cylinder)", Jour. of SNA Japan, Vol. 112, (1962)
11. 金極天, "船體水平振動에 있어서의 附加質量 3次元修正係數", 大韓造船學會誌, 第14卷 第1號 (1974)
12. Kim, K.C., "A Note on the Three Dimensional Correction Factor for the Virtual Inertia Coefficient of Ships in Vertical Vibration." Jour. of SNA, Korea, Vol. No.1.1 (1975)
13. Townsin, R.L., "Estimates of Virtual Mass for Ship Vibration Calculation", Shipbuilder and Marine Engine Builder, March (1962)
14. Kumai, T., "Added Mass Moment of Inertia Induced by Torsional Vibration of Ships", Jour. of SNA, Japan, Vol. 106, (1958)