

슬래밍 충격壓力 計算을 위한 船首船底의 形狀係數 推定에 關한 研究

鄭 碩 權 · 洪 奉 基

釜 山 水 產 大 學
(1986년 4월 30일 수리)

A Study on the Estimation of Hull Form Coefficient of Slamming Impact Pressure

Seok-Kweon JEONG and Bong-Ki HONG

National Fisheries University of Pusan.

(Received April 30, 1986)

On the slamming analysis of ship design the data for the impact pressure acted on the forward bottom of a ship are needed. Furthermore impact pressure is given by the function of both the hull form coefficient and relative velocity.

In this paper, a simplified method to estimate hull form coefficient by personal computer (p.c.) is studied. This numerical analysis was applied to the model of the Mariner type, and then the result by the p.c. was compared with that by IBM 7090 computer.

Main results obtained are as follows:

1. The result by the developed p.c. method had fairly good agreement with that by conventional large computer (IBM 7090) within 2% error.
2. This developed method by p.c. may be applied to the initial estimation of the K -value because of the close agreement between the ship lines by the results of p.c. and that of input.

기 호 설 명

a_1, a_3, a_5 : Coefficients of the transformation of the circle in the ζ -plane, Real number

b : Half beam (width) of profile

F_n : Froude number, v/\sqrt{gt}

H : Ship draft (depth) of profile

I : Moment of inertia about x -axis

K : Constant depending upon section shape and associated with impact pressure

K_1 : Nondimensional K -value

P : Slamming impact pressure

\dot{r} : Relative velocity between wave and ship bow at instant of impact

r : Distance from origin in ζ -plane

S : Sectional area of form

u : Scale ratio in conformal mapping

Z : Complex variable $Z=x+iy$

α : A parameter, $\alpha=2u/b$

σ : Dimensionless area ratio, $\sigma=S/2bH$

η : Dimensionless moment of inertia parameter,
 $\eta=I/bH^3$

ζ : Complex variable, $\zeta=re^{i\theta}$

θ : Angle in polar coordinate system in ζ -plane

ρ : Density of water

β : Constant

λ : Dimensionless ratio, $\lambda=H/b$

서 론

선박이 거친 해상을 항해할 때 선체의 심한 縱運動(pitching)과 上下運動(heaving)으로 인해 船體 前部가 수면으로부터 부상하게 되며 재 돌입하는 순간 수면을 급격하게 때린다. 이로 인해 前部 船底는 물로부터 과도한 충격압력을 받게 되어 全 船體를 통해 탄성진동(whipping vibration)이 발생되는데 이러한 현상을 슬래밍(slamming)이라고 한다.

이 현상은 선체에 구조적 손상, 속력의 손실, 격렬한 진동을 일으키게 되어 선박항해에 중요한 문제점으로 되고 있으며 이에 관해서는 1930년대 이래 Szebehely¹⁾, Todd¹⁾, Watanabe²⁾, Ochi^{3~12)} 등에 의해 많은 연구가 행해져 왔다.

이러한 슬래밍 현상에 관해 선박 설계의 초기 단계에서 필요로 하는 자료는 충격압력(loading)과 이에 대한 응답(response)으로서 충격압력은 선체운동, 波 속에서 부양된 속도 그리고 특히 前部 船底斷面 形狀에 의존하는 함수이고, 응답은 前部 船底 板 두께와 같은 배의 구조적 성격과 全 선각의 굽힘강성에 의존한다.

슬래밍에 대한 선체 단면형상의 영향을 고찰한 Ochi의 실험적 연구³⁾에 의하면 슬래밍 충격압력은 선체와 波面과의 상대속도의 제곱과 단면 형상계수와 의 곱으로 주어진다. 충격압력 계산을 위해 선행 되어져야 할 단면 형상계수 추정에 관한 자료는 현재로서는 충분치 못한 실정이며, 또 기존의 프로그램도 대형 컴퓨터용으로 개발되어 있어서 초기 추정을 위해서는 불편하다는 점을 감안, 본 연구에서는 현재 널리 보급되어 있는 퍼스컴용으로 프로그램을 개선하였다. 입력 자료로서는 Mariner 선형을 적용하였고 수치계산을 행한 후 그 결과치를 대형 컴퓨터 계산 결과치와 비교하였으며 실제선도와 계산선도를 비교, 그 신뢰도를 추정하였다.

이 론

1. 슬래밍 충격압력과 형상계수

슬래밍에 관해 선박 초기 설계단계에서 필요시 되는 자료는 충격압력의 크기로서 특히 임의의 선체형상의 前部 船底에 작용할 것으로 예견되는 충격압력의 최대치이다. 그러나 충격압력의 크기는 불규칙적인 것으로서 波의 격렬성, 선속, 침로, 선박의 하중 상태 등에 따라서 달리 나타나며¹¹⁾, 또 현재로서는

슬래밍 충격압력 평가를 위한 적절한 방법이 없기 때문에 내항력 실험(seaworthiness experiment)에서 얻어진 자료를 바탕으로 구해지며, 충격압력의 특성들을 요약하면 다음과 같다.

1. 슬래밍 충격압력은 충격순간 대략적으로 Fig. 1과 같이 선수와 파 사이의 상대속도의 제곱에 비례한다⁹⁾. 즉,

$$P = K\dot{r}^2 = \frac{1}{2}\rho K_1 \dot{r}^2 \quad (1)$$

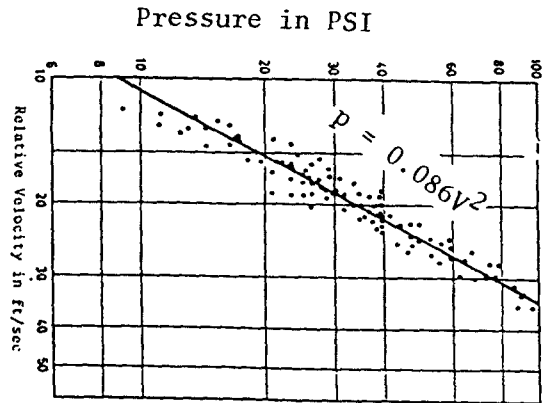


Fig. 1. Pressure on the keel plate as a function of impact velocity. (Mariner, station 2, light draft, ship speed 10 knots moderate sea state 7)

2. K 값은 $F_w = 0.2$ 까지는 선속에 대한 함수가 아니며 해상의 격렬성 및 파의 불규칙성과도 무관하다. 따라서 K 값은 규칙파나 불규칙파 어느 경우에도 모형시험에 의해 얻을 수 있다.

3. K 값은 선체단면 특히 선저부분 형상에만 의존한다. 실험적 연구 결과에 의하면 충격진행의 위험영역은 깊이의 $0.08H$ (H 는 설계흘수)까지이므로 편의상 $H/10$ 로 한다⁹⁾.

2. 등각사상법을 이용한 선형의 수식화

K 값과 단면형상 사이의 함수적 관계를 얻기 위하여 등각사상법을 이용하여 선저부의 형상을 임의의 변수항으로 수식화 해보면 그 과정은 다음과 같다¹⁴⁾.

Fig. 2의 ξ 평면상의 원점을 중심으로 한 단위 원을 z 평면상에 등각사상하는 기초변환식은

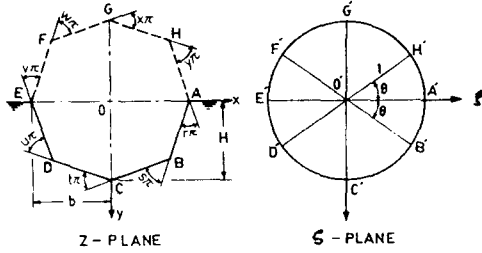


Fig. 2. Mapping of straight-framed section.

$$\frac{dz}{d\zeta} = u \left(1 - \frac{\zeta'A}{\zeta}\right)^r \left(1 - \frac{\zeta'B}{\zeta}\right)^s \left(1 - \frac{\zeta'C}{\zeta}\right)^t \dots \quad (2)$$

단, $0 \leq r, s, t, \dots < 1$, $r + s + t + \dots = 2$
 여기서, 반폭 b , 흘수 H 인 직선능골형 선체단면의 변환식을 유도하면

$$\frac{dz}{d\zeta} = u \left\{ \left(1 - \frac{\zeta'A}{\zeta}\right)^r \left(1 - \frac{\zeta'B}{\zeta}\right)^s \left(1 - \frac{\zeta'C}{\zeta}\right)^t \left(1 - \frac{\zeta'D}{\zeta}\right)^u \left(1 - \frac{\zeta'E}{\zeta}\right)^v \left(1 - \frac{\zeta'F}{\zeta}\right)^w \left(1 - \frac{\zeta'G}{\zeta}\right)^x \left(1 - \frac{\zeta'H}{\zeta}\right)^y \right\} \quad (3)$$

도형의 대칭성을 이용하고, ζ 평면상의 단위 원의 각 점들을 극좌표화하여 (3)식에 대입하면

$$\frac{dz}{d\zeta} = u \left(1 - \frac{1}{\zeta^2}\right)^r \left(1 + \frac{1}{\zeta^2}\right)^s \left(1 - \frac{2 \cos 2\theta}{\zeta^2} + \frac{1}{\zeta^4}\right)^t \quad (4)$$

$\frac{1}{\zeta^2} = x$ 라 두면

$$\begin{aligned} \frac{dz}{d\zeta} &= u \{(1-x)^r (1+x)^s (1-2 \cos 2\theta x + x^2)^t\} \\ &= u \{(1-x)^{r/2} (1+x)^s (1-x)^{r/2} (1-2 \cos 2\theta x + x^2)^t\} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서

$$\begin{aligned} u_1(x) &= (1-x)^{r/2}, \quad v_1(x) = (1+x)^s \\ u_2(x) &= (1-x)^{r/2}, \quad v_2(x) = (1-2 \cos 2\theta x + x^2)^t \\ f_1(x) &= u_1(x)v_1(x) \\ f_2(x) &= u_2(x)v_2(x) \end{aligned}$$

라 두면

$$\frac{dz}{d\zeta} = u f_1(x) f_2(x)$$

$f_1(x)$, $f_2(x)$ 를 Maclaurin 정리에 의하여 정리하면

$$\begin{aligned} f_1(x) &= f_1(0) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f_1^{(n)}(0)}{n!} x^n \\ f_2(x) &= f_2(0) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f_2^{(n)}(0)}{n!} x^n \end{aligned} \quad (6)$$

따라서

$$\begin{aligned} \frac{dz}{d\zeta} &= u \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n x^n \right\} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n x^n \right\} \\ &= u \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n \alpha_{n-i} \beta_i x^n \right\} \end{aligned}$$

$$= u \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n \alpha_{n-i} \beta_i \zeta^{-2n} \right\} \quad (7)$$

여기서, $\alpha_n = \frac{f_1^{(n)}(0)}{n!}$, $\beta_n = \frac{f_2^{(n)}(0)}{n!}$, $n-i \geq 0$,

$\alpha_0 = 1$, $\beta_0 = 1$ 이다.

(7)식을 ζ 에 관해 적분하면 직선 능골형 선체단면의 사상함수는

$$z = u \left\{ \zeta + \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \zeta^{-(2n-1)} \right\} \quad (8)$$

$$\text{단, } a_{2n-1} = - \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\alpha_{n-i} \beta_i}{2n-1}$$

$z = x + iy$, $\zeta = r e^{i\theta}$ 에서 $r = 1$ 이므로 z 평면상의 도형의 방정식은

$$x = u \left\{ \cos \theta + \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \cos (2n-1)\theta \right\}$$

$$y = u \left\{ \sin \theta - \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \sin (2n-1)\theta \right\} \quad (9)$$

가 된다. 이 식으로부터 폭과 흘수관계를 구해 보면

$$b = (x)_{\theta=0} = u \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \right\}$$

$$H = (y)_{\theta=\pi/2} = u \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n a_{2n-1} \right\} \quad (10)$$

한편 직선능골형 선형은 (8)식에서 12항까지 구하면 수렴된다는 것이 확인된 바 있고 완전한 선저부의 곡선은 4항까지만 고려하여도 가능하다는 것이 Landweber 및 Macagno의 연구¹³⁾에서 밝혀졌다. 슬래밍의 위험영역인 $H/10$ 이하의 단면형상은 대체적으로 완전한 곡선을가지므로 사상함수 및 도형의 방정식은 (8)식 및 (9)식으로부터 각각 다음과 같이 된다.

$$z = u \left\{ \zeta + a_1 \zeta^{-1} + a_3 \zeta^{-3} + a_5 \zeta^{-5} \right\} \quad (11)$$

$$x = u \left\{ (1 + a_1 - 3a_3 + 5a_5) \cos \theta + 4(a_3 - 5a_5) \cos^3 \theta + 16a_5 \cos^5 \theta \right\}$$

$$y = u \left\{ (1 - a_1 - 3a_3 - 5a_5) \sin \theta + 4(a_3 + 5a_5) \sin^3 \theta - 16a_5 \sin^5 \theta \right\} \quad (12)$$

3. 회귀 방정식

(11), (12)식에서 선형을 나타내는 변수 a_1 , a_3 , a_5 와 형상계수 사이의 상관관계는 Table 1에 있는 15개의 실험적인 K 값에 대해 회귀분석을 통한 20여개의 모델 가운데 적합성 여부에 대한 통계적 검증을 거친 후 다음과 같은 회귀방정식이 최적 모델로 선정되었다.

$$I_n K = \beta_0 + \beta_1 a_1 + \beta_2 a_3 + \beta_3 a_5 \quad (13)$$

여기서 계수 β_0 , β_1 등은 다음 관계에서 구할 수 있다.

Table 1. K-Value and coefficient a_1, a_3, a_5

Sample No.	K-Value	a_1	a_3	a_5
1	0.021	-0.0690	0.0899	0.0117
2	0.035	-0.0482	0.0940	0.0462
3	0.038	-0.0482	0.0940	0.0462
4	0.053	0.2740	0.1029	-0.0050
5	0.070	0.4840	0.0382	0.0092
6	0.077	0.4693	0.0644	0.0022
7	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
8	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
9	0.076	0.3369	0.0573	0.0300
10	0.100	0.5656	0.0308	0.0146
11	0.125	0.5223	0.0471	0.0304
12	0.137	0.5326	0.0438	0.0066
13	0.145	0.5373	0.0321	0.0361
14	0.155	0.6843	0.0118	0.0276
15	0.196	0.5563	0.0275	0.0146

$$b = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{pmatrix} = (X'X)^{-1}X'Y \quad (14)$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & a_{11} & a_{31} & a_{51} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & a_{1n} & a_{3n} & a_{5n} \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} l_n & K_1 \\ \vdots & \vdots \\ l_n & K_n \end{pmatrix}$$

여기서 a_{11}, a_{31}, a_{51} 등은 Table 1에서 주어진 값이며 첫 첨자는 독립변수 두번째 첨자는 sample 번호를 나타낸다. Table 1의 값을 사용하여 식(14)를 풀고 (13)식에 대입하면 형상계수 K 는

$$K = EXP\{-3.599 + 2.419a_1 - 0.873a_3 + 9.624a_5\} \quad (15)$$

가 된다.

4. 세 요소에 의한 선형해석

a_1, a_3, a_5 를 선도로부터 구하기 위해 폭과 홀수비, 단면적 및 면적 2차 모멘트의 세 요소로 표현해 보면 b 및 H 는 (10)식에 의해

$$b = u(1 + a_1 + a_3 + a_5) \\ H = u(1 - a_1 + a_3 - a_5) \quad (16)$$

이 되고, 수면하의 면적 S 는 Fig. 1에서 x 축을 물의 자유표면이라 하면

$$S = \int_0^\pi x \frac{dy}{d\theta} d\theta \\ = u^2 \left[\frac{\pi}{2} \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} (2n-1)a_2^{2n-1} \right\} \right] \\ = u^2 \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - a_1^2 - 3a_3^2 - 5a_5^2) \right\} \quad (17)$$

이 된다. Prohaska의 연구에 의하면 홀수에서의 횡축에 대한 회전반경이 선형에 영향을 미치는 중요 요소임이 밝혀졌으므로 이를 구해 보면

$$I = 2 \int_0^H x y^2 dy \quad (18)$$

x, y 는 θ 의 함수이므로 부분적분하면

$$I = -\frac{1}{6} \int_0^{2\pi} y^3 \frac{dx}{d\theta} d\theta \quad (19)$$

면적 S 및 면적 2차 모멘트는 Simpson rule에 의해 계산 가능하므로 (16), (17), (19)식을 연립으로 풀면 a_1, a_3, a_5 를 구할 수 있다.

이들 세 요소들을 도입하기 위해

$$\alpha = \frac{2u}{b}, \quad \sigma = \frac{S}{2bH}, \quad \lambda = \frac{H}{b}, \quad \eta = \frac{I}{bH^3}$$

로 두고 (16)식을 풀면

$$a_1 = \frac{1-\lambda}{\alpha} - a_5 \quad (20)$$

$$a_3 = \frac{1+\lambda}{\alpha} - 1 \quad (21)$$

이 되고, (17)식에 대입하면

$$S = \frac{\pi}{2} \{ u^2(-2 - 6a_5^2) - b^2(1 + \lambda + \lambda^2) + 3bu(1 + \lambda) + bu(1 - \lambda)a_5 \} \quad (22)$$

이 된다. 회귀분석 결과 a_5 의 영향이 극히 적으므로³⁾ 제곱항을 무시하고 (22)식을 풀면

$$a_5 = \frac{1}{u} \frac{A + b^2(1 + \lambda + \lambda^2) - 3b(1 + \lambda)}{b(1 - \lambda)} + \frac{2u}{b(1 - \lambda)} \quad (23)$$

따라서, u 를 구하면 a_1, a_3, a_5 의 계산이 가능하므로 식(12), (19)를 풀면

$$\eta = \frac{\pi \alpha^4}{128 \lambda^3} [2\{\beta^3 + \beta^2 a_3 + 2\beta(a_3^2 - a_3 a_5 + a_5^2) - a_3^2 a_5\} - \beta^4 - 2\beta^3 - 2\beta^2(4a_3^2 - 5a_3 a_5 + 6a_5^2) + 12\beta a_3^2 a_5 - (3a_3^2 + a_5^2)(a_3^2 + 5a_5^2)] \quad (24)$$

여기서, $\beta = 1 - a_1$

(20), (21), (23)식을 (24)식에 대입하여 풀고 u 에 관해 정리하면

$$w_1 u^5 + w_2 u^4 + w_3 u^3 + w_4 u^2 + w_5 u + w_6 = 0 \quad (25)$$

이 된다.

여기서

$$w_1 = -4TK_6 \\ w_2 = 2bTK_6 D_3 - 4TK_5 - 6 \\ w_3 = b[2(D_6 + TK_5 D_3) + bTK_6 D_1] - 4TK_4 \\ w_4 = b[2TK_4 D_3 + b(D_5 + TK_5 D_1 + 0.5bTK_6 D_2)] \\ w_5 = b_2[TK_4 D_1 + 0.5b(3D_4 + TK_5 D_2)] \\ w_6 = 0.5b^2(TK_4 D_2 + bD_7) - C_2$$

$$TK_1 = b^2(1 + \lambda + \lambda^2)$$

$$TK_2 = b(1 - \lambda)$$

$$TK_3 = -3b(1 + \lambda)$$

슬래밍 충격壓力 計算을 위한 船首船底의 形狀係數 推定에 關한 研究

$$TK_4 = \frac{A + TK_1}{TK_2}$$

$$TK_5 = \frac{TK_3}{TK_2}$$

$$TK_6 = \frac{2}{TK_2}$$

$$A = \frac{2}{\pi} \times S(\text{Area})$$

$$C_2 = \frac{8}{\pi} \times T_i (\text{Moment of inertia})$$

$$D_1 = \lambda^2 + 4\lambda - 7$$

$$D_2 = -\lambda^3 + \lambda^2 - 3\lambda + 3$$

$$D_3 = -\lambda + 5$$

$$D_4 = \lambda^3 + \lambda^2 + 3\lambda + 3$$

$$D_5 = -\lambda^2 - 9\lambda - 12$$

$$D_6 = 3\lambda + 7$$

$$D_7 = -1.75\lambda^4 - 0.5\lambda^3 - \lambda^2 - 1.5\lambda - 1.25$$

(25)식의 근을 Bairstow의 방법으로 구하여 (20), (21), (23)식에 대입하면 변수 a_1, a_3, a_5 가 계산되고 이를 (15)식에 대입, 형상계수 K 를 구한다.

수치계산 및 고찰

본 논문에서 입력자료로 사용한 선형은 Mariner 형이며 그 계원 및 선도는 각각 Table 2와 Fig. 3에 나타내었고, 슬래밍 위험영역은 $\frac{H}{10}$ 부분으로서 그 선도는 Fig. 4와 같다.

입력자료는 Fig. 4에서의 $\frac{H}{10}$ 이하 부분을 10등분 분할하고 선체 중심선을 기점으로 하여 각 station에 이르는 값들로서 Table 3과 같다.

Table 2. Principal dimensions

Length over all	563'7-3/4"
Length between perpendiculars	528'-0"
Length for calculations	520'-0"
Breadth molded	76'-0"
Depth, molded, To main deck at side (Sta. 5)	44'-6"
Draft, molded, To designed waterline (DWL)	27'-0"
Draft to load waterline (LWL)	29'-10"
Displacement Molded Salt water-27'DWL	18,674 Tons
Displacement, Loaded, Salt Water-29'-10" LWL	21,093 Tons

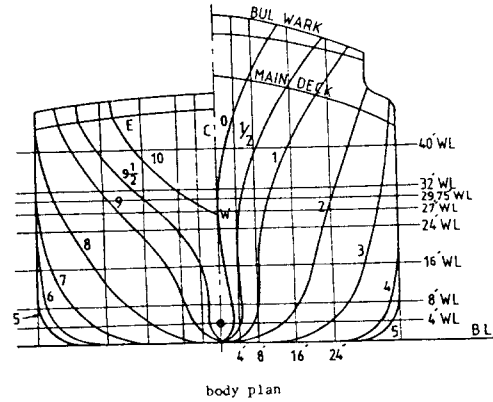


Fig. 3. Lines of Mariner.

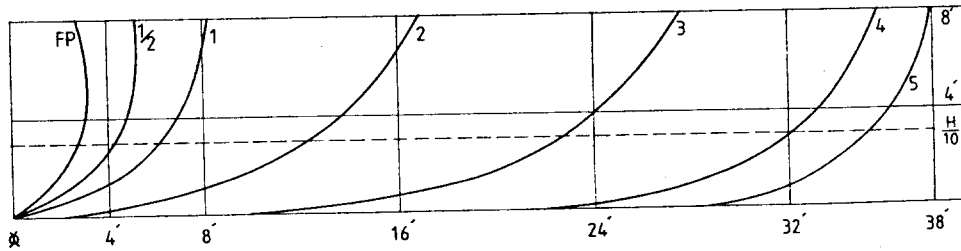


Fig. 4. Mapping of bottom portion (below 1/10 of design draft) of station F.P-5 of Mariner.

Table 3. Input data

ST.	H:2.9750						S:0.2975				
	B X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
F.P.	2.72	2.59	2.43	2.20	2.00	1.74	1.44	1.15	0.79	0.43	0
1/2	4.17	3.94	3.68	3.38	3.08	2.69	2.30	1.87	1.31	0.76	0
1	6.20	5.91	5.61	5.25	4.86	4.40	3.84	3.18	2.26	1.15	0
2	12.14	11.65	11.02	10.33	9.51	8.63	7.58	6.40	5.15	3.94	2.33
3	22.08	21.42	20.60	19.72	18.70	17.62	16.34	14.86	13.16	11.58	9.15

Table 4. Output data

ST.	a_1	a_3	a_5	u	K
F. P.	-0.080799	0.122361	0.031173	2.538420	0.027287
1/2	0.169908	0.116340	0.016359	3.198680	0.043682
1	0.380657	0.082085	-0.000251	4.239830	0.063807
2	0.629937	0.049339	0.006303	7.201680	0.127842
3	0.761522	0.011801	0.009997	12.381400	0.188209

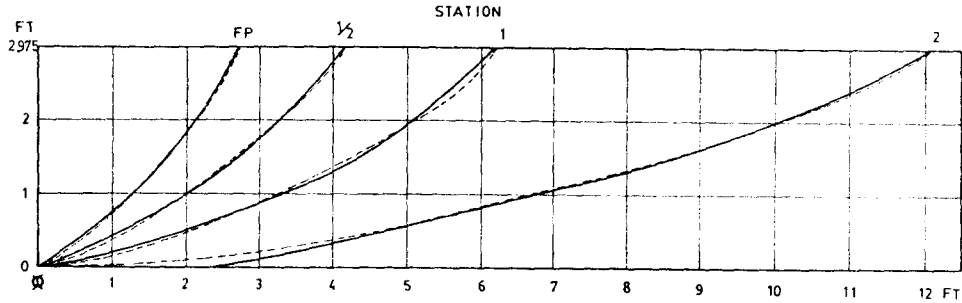


Fig. 5. Remapping of bottom portion (below H/10).

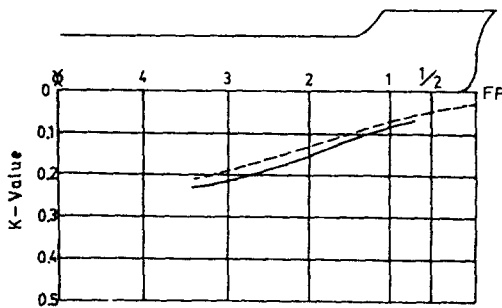


Fig. 6. Calculated K-value

계산은 퍼스컴(8 bit)으로 수행하였고, 입력자료에 대해 계산된 결과치는 Table 4와 같으며 슬래밍 현상이 선체 길이의 0.25 L 이내에서 발생되므로 3 station 까지의 값들만을 고려하였다.

Table 4에서 선형을 나타내는 변수 a_1 , a_3 , a_5 및 u 값들을 이용하여 그린 결과가 Fig. 5에 나타나 있으며 여기서 실선은 입력자료로 사용된 실제선도이고 점선은 계산된 결과로서 그런 선도이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 미소한 오차는 있으나 실제선도와 잘 일치하므로 계산된 a_1 , a_3 , a_5 및 u 값들은 신뢰할 수 있으며, 이들 값으로서 계산한 선체 형상계수 K 값이 각 station 별로 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에서 실선은 대형 컴퓨터로 계산된 값이며 점선은 퍼스컴으로 계산한 값으로서 前部에서 중앙 단면으로 갈수록 다소 큰 오차를 보이고 있는데

이것은 컴퓨터의 계산용량에 기인한 것으로 보여지며, 오차의 범위는 대략 2% 정도로서 그 경향은 근사하고 있으므로 초기 추정용으로는 실용성이 있다고 생각된다.

요 약

이상과 같이 Mariner 선형의 각 station 별 형상계수를 퍼스컴으로 계산해 본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 퍼스컴 계산치와 대형 컴퓨터로 계산한 결과를 비교해 보면 선체 형상계수 K 값은 前部에서는 거의 일치하고, 중앙단면으로 갈수록 다소 큰 오차를 나타내며, 그 범위는 대략 2% 정도로서 퍼스컴 계산치가 다소 낮은 값을 가진다.

2. 퍼스컴으로 계산된 선형을 나타내는 변수 a_1 , a_3 , a_5 및 u 의 값을 이용하여 그린 선도는 실제선도와 잘 일치하고 있으므로 이 값들은 신뢰할 수 있으며, 따라서, 이 값들로 계산된 K 값이 2% 정도의 오차는 있으나 초기 추정용으로는 실용성이 있다.

참 고 문 헌

1. Szebehely, V. G. and M. A. Todd(1955): Ship slamming in head seas. DTMB report 913.
2. Watanabe, Y.(1953): On the slamming of a ship. Journal of SNAJ, Vol.8, No.2.

슬래밍 衝擊壓力 計算을 위한 船首船底의 形狀係數 推定에 關한 研究

3. Ochi, M. K. and L. E. Motter (1971): A method to estimate slamming characteristic for ship design. Marine technology, Vol. 8, No. 2, 219.
4. Ochi, M. K. and L. E. Motter (1969): Prediction of extreme values of impact pressure associated with ship slamming. Journal of ship research, Vol. 13, No. 2, 85-91.
5. Ochi, M. K. (1960): Model experiments on the effect of bow form on ship slamming. David Taylor model basin report 1400.
6. Ochi, M. K. (1967): Performance of two hull forms (U and V) in irregular waves. SNAME, Symposium on some effects of hull form on ship performance in a Seaway.
7. Ochi, M. K. (1967): Ship slamming hydrodynamic impact between waves and ship bottom forward. ASME, Symposium on fluid-solid interaction.
8. Ochi, M. K. and L. E. Motter (1973): Prediction of slamming characteristics and hull responses for ship design. SNAME, Vol. 81, 144-165.
9. Ochi, M. K. (1964): Prediction of occurrences and severity of ship slamming at sea. Offices of naval research ACR 112, 545-593.
10. Ochi, M. K. (1973): On prediction of extreme values. Journal of ship research, Vol. 17, No. 1, 29-37.
11. Ochi, M. K. (1964): Extreme behavior of a ship in rough seas slamming and shipping of green water. Trans. SNAME, Vol. 69, 143.
12. Ochi, M. K. (1958): Model experiments on ship strength and slamming in regular waves. Trans. SNAME, Vol. 66, 345-367.
13. Landweber, L. and M. Macagno (1959): Added mass of three parameter family of two dimensional forces oscillating in a free surface. Journal of ship research Vol. 2, No. 4, 36-44.
14. 金士洙 (1975): 直線肋骨船型의 水平 및 비틀림 振動에 있어서의 2次元的 附加慣性係數. 造船學會誌 12(2), 4-5.