

Slamming에 관한 船體의 應答과 豫測

—前部船底의 충격력 중심으로—

洪 奉 基* · 金 士 洙**

Prediction and Response of Ship's Hull Girder for Slamming

—On the Impact Force of Forward Flat Bottom Plate—

Bong-Ki HONG* and Sa-Soo KIM**

This paper is on the prediction and reponse of the ship hull girder due to slamming of forward flat bottom plate.

The response with repect to forward flat dottom is divided two kinds by estimating method. One is the estimation of impact forces by slamming, Another is the response of hull girder due to impect forces, that is, displacment, velocity, accerleration, etc. must calculate the values for considered ship hull girder.

In this paper, therefore, was estimated only impact forces along ship ordinate of forward.

The analysis of data for estimation followed mainly papers of Ochi. These estimated data shall contribute for ship hull construction for basic optimum design. In particular, the estimated impact forces shall be given for the response of ship hull girder on the forward flat bottom plate with characteristics of external forces.

緒 論

배가 거칠은 바다를 航海할 경우 波浪에 의한 船首部 船底의 충격인 slamming 현상이 일어난다.

이 현상은 海面에 대한 船底의 충격으로 船底에 큰 힘을 유발 시킴으로서 船體의 構造의 損傷및 振動等を 일으키는 要因으로서 船用디젤機關의 출현과 함께 관심의 대상이 되기 시작하여 왔다. 船底板의 損傷이 일어날수 있는 船速을 포함해서 slamming特性의 究明과 slamming충격력에 의한 船體應答을 解析하는 方法을 船體의 初期設計를 爲한 側面에서 고찰되었다.

slamming충격에 관한 가장 중요한 문제점은 충격

압력의 크기를 究明하는 것이다. 이를 위하여는 여러方法이 利用되고 있지만 實船의 試運轉 성적이나 耐航性 모형시험에서 얻어진 결과가 가장좋은 資料로 판명되고 있다. 이것은 2次元 및 3次元의 충격理論에 근거한 값들이 初期設計段階의 推定值로서는 適合치 못하기 때문이다. 初期設計에 있어서 slamming에 관한 중요한 資料로는 하중과 응답인 것이다. 하중은 船體運動, 波속에서의 부양속도와 前部船底部의 斷面形狀의 函數이고, 應答은 船底部板의 두께와 같은 構造의 特性和 船體의 굽힘剛性에 依存하는 函數이나 이들의 特性은 分離處理될수 없는 性質을 갖고있다. 즉 slamming충격으로 因한 船底板의 損傷은 격랑에서 부양된 船速에 關聯되기 때문이다.

*釜山水產大學: National Fisheries University of Pusan

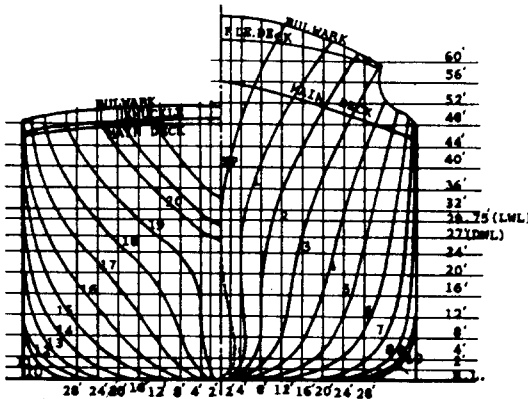
**釜山大學校: Pusan National University

그러므로 船底板의 두께와 같은 것을 결정하기 위하여는 우선 航海中에 豫期되는 速度및 耐航性을 추정하여야 한다. 이런 뜻에서 本文에서는 slamming에 관한 資料및 線圖에 의하여 初期設計를 위한 배의 前部의 충격력을 MARINER型 船型에 대하여 ochi等에 의하여 豫測된 資料들을 分析한 것이다.

資料의 選定

1. 船 型

解析 船舶의 船型은 MARINER型 標準船으로 Fig. 1과 같다.



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. 1. Lines of MARINER.

2. 航行海域¹⁾

航行海域으로서는 北大西洋과 北太平洋의 冬季航路를 基準으로 하였으며 標準船은 이 航路를 運航한 것으로 가정하였으며, 海上狀態의 基準은 다음과 같다.

가. 北大西洋

가장 격렬한 海上狀態는 冬季에서 station I(59N, 19W), J(52N, 20W)이고 station K(45N, 16W)는 I, J보다 낮다.

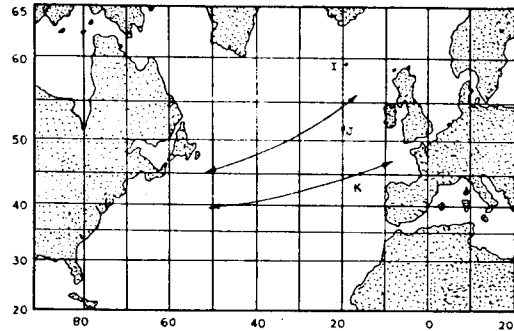


Fig. 2. Routes in the North Atlantic Ocean.

海上狀態의 격렬성은 Fig. 3에 표시하였다. 波高 13.72m(45ft.)의 가장 격렬한 海上은 13년동안(1954~1966) station I에서는 두번, station J에서는 한번 관측되었다. 이 航路로 航行이 豫상되는 船舶은 그 배의 일생을 통하여 한번쯤은 만난다고 보아서 設計되어야 한다. station K 부근의 南쪽航路에서는 波高 10.70m, (35.1ft.)와 10.90m, (33.1ft.)의 격렬한 海上이 1956년과 1959년에 각각 관측된 것이다.

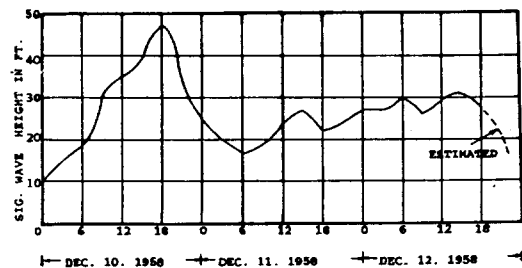


Fig. 3. Variation of significant wave height observed at Station J in December 1958.

나. 北太平洋

太平洋에서는 Fig. 4에서와 같이 30N, 150E와 40N, 140W로 폐위된 지역에서는 冬季에 海3日마다 한번은 저기압이 發生하는 해역이다. 1954년~1963년의 10년간에 걸쳐 관찰된 風力과 함께 波高와 頻度에 대한 資料²⁾에 의하던 Fig. 4의 1에서 7에 이르는 海域은 잠재적 폭풍海域으로 불리워지고 있다. 따라서 船舶이 太平洋을 橫斷하는 동안에 이 잠재폭풍지역에서 7일을 소비하며, 冬季에는 3個月에 6번을 만나게 되므로 20년동안에는 이 폭풍지역에서 840일을

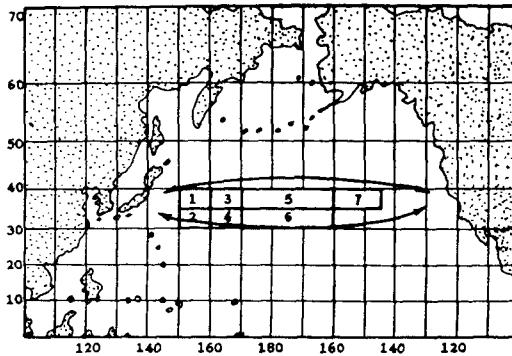


Fig. 4. Routes in the North Pacific Ocean.

消費하게 되는 셈이된다. 이때 風速이 每日 同一한 確率函數를 따른다고 가정하면 그때 잠재폭풍 海域을 지나는 동안 총240일에서 기대되는 가장 격렬한 풍속은 順序統計量의 適用에 의하여 推定할수 있다³⁾

推定된 風速의 最大值는 wind-wave의 상호관계라를 씀으로서 波高와 관측된 周기의 最大值로 부터 유도될 것이다. 관측자료로 부터 표준편차를 포함하는 상부부분 曲線은 Fig.5에서와 같이 확장된 部分이 된다. 즉, 관측된 波高의 最大值 12.28m(40.3ft.)와 9.78m(32.1ft.)에 대한것이 推定된다.

北太平洋에서의 가장 격렬한 海上은 modal 주기 16.7sec를 갖는 波高 12.19m(40.0ft.)의 海上과 modal 주기 16.2sec를 갖는 波高 9.97m(32.7ft.)의 海上이다.

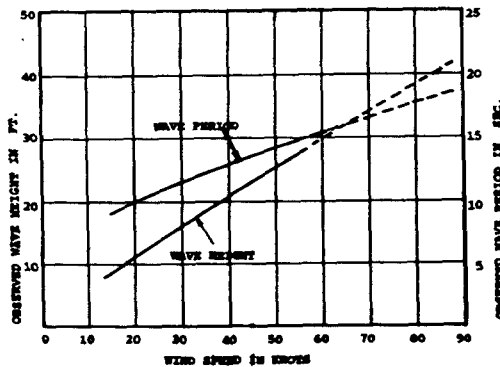


Fig. 5. Wave period and wave height as a function of wind speed in the North Pacific.

前者는 設計用으로 사용되고 後者는 잠재 폭풍海域에서 조우할수있는 격렬한 海上이다.

理論解析

初期設計에 있어서는 線圖만을 利用하여 slam에 대한 船體의 충격력 推定을 하게되는데 Fig. 6의 順序에 의하여 推定된다.

1. 線圖

線圖는 Fig. 1과 같은 MARINER型的 線圖를 사용하였다.

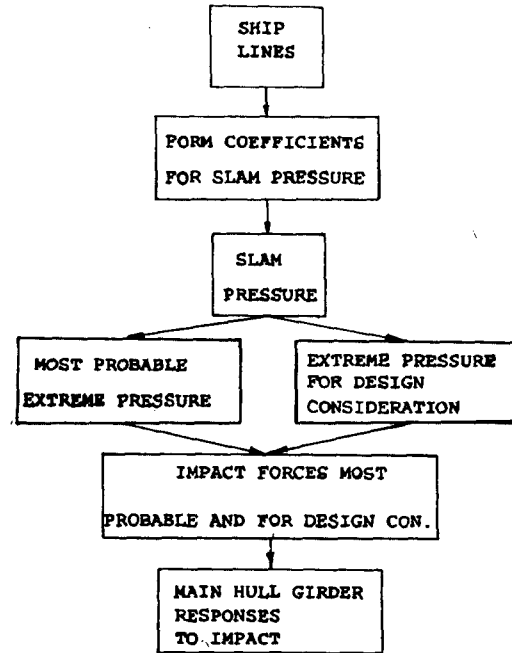


Fig. 6. Flow Chart for slamming Impact forces.

2. 形狀係數⁴⁾

初期設計에 있어서 slamming에 대하여 要求되는 事項은 배의 前部 船底에 作用하는 충격압력의 最大值이다. 壓力과 相對속도의 關係는 規則波와 不規則波중에서 行한 耐航性 實驗에서만 얻을 수 있고 2次元 낙하시험에 의한 slamming壓力은 만족스럽지 못함을 보이고 있다. 最大壓力值의 算出은 順序統計量의 應用으로 推定하며 slamming에 대한 배의 斷面 形狀의 影響에 대해서는 一般的으로 船形은 單재물수선 이하의 斷面形狀을 U型和 V型으로 나타내고 있으며 U型의 壓力의 크기가 同一한 환경속에서 V型보다 훨씬 크다고 관측되고 있다. 그러므로 船型의 適切한 變更, 특히 前部 船底의 構造 모양을 변

경함으로서 slamming特性에 대처할 수 있는 利點을 期待할 수 있다.

이를 위하여 slamming으로 인한 船底의 위험部分을 特定變數의 項으로 표현하고 충격압력에 대한 斷面形狀의 영향을 나타내는 因子를 算出하기 위하여 回歸方程式으로 유도하기로 한다. 충격압력의 最大値는 여러가지 海上狀態에서 배의 航行時間의 函數로서 MARINER의 前部位置에서 計算되었다. 回歸方程式의 實質的유도에 고려되는 事項은 slamming에 관한 충격압력의 特性이 될것이고 이는 다음과 같다.

가. slamming압력은 대략 충격 순간에 船首와 波 사이의 相對速度의 自乘에 比例한다.

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

- K : 斷面形狀에 따른 常數
- K₁ : K값의 無次元한 값
- ρ : 물의 밀도
- ṙ : 충격순간 船首와 波 사이의 相對速度

나. 波中의 船型試驗에서 얻어진 方程式 (1)에서 K값과 압력의 크기는 同一 충격속도에 대한 2次元 낙하시험에서 얻어진 값보다 작다⁵⁾.

다. K값은 Froude Number, F=0.2까지는 船速에 대한 函數는 아니고 海上의 격렬도와 波의 不規則性에도 無關하다. 그러므로 K값은 規則波나 不規則波 어느경우에도 모형시험에 의하여 얻을 수 있다.

라. K값은 船體斷面, 특히 船底部分의 形成단의 函數이다. 實驗的 研究는 충격과정의 위험部分은 그 斷面이 0.08H(H는 設計吃水)의 깊이로 몰입된 部分으로 나타나므로 一般的으로 H/10로 하고 있다.

K값과 斷面形狀사이의 函數的 關係를 얻기 위하여 斷面形狀은 H/10 以下에서 다음과 같은 變換된 式을 얻는다.

$$Z = U \left(\zeta + \frac{a_1}{\zeta} + \frac{a_3}{\zeta^3} + \frac{a_5}{\zeta^5} \right) \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서 Z=x+iy (coordinate for section)
- ζ=ξ+iη (coordinate for unit circle)
- U: scale ratio
- a₁, a₃, a₅: real numbers

方程式 (2)에서 a₁, a₃, a₅는 實數이고 그들의 값은 斷面의 Beam, Draft, Area 2次 모우멘트에 의하여 결정된다⁴⁾.

回歸解析은 Table 1에서와 같이 15個의 實驗的 K값에 대하여 K값을 위한 回歸方程式중에서 다음의 方程式이 最適의 方程式이므로 選定되었다.

$$l_n K = \beta_0 + \beta_1 a_1 + \beta_2 a_3 + \beta_3 a_5 \dots\dots\dots(3)$$

여기서

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

$$X = \begin{pmatrix} l & a_{11} & a_{31} & a_{51} \\ l & a_{12} & a_{32} & a_{52} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l & a_{1n} & a_{3n} & a_{5n} \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} l_n K_1 \\ l_n K_2 \\ \vdots \\ l_n K_n \end{pmatrix} \dots\dots(4)$$

a₁₁, a₃₁, a₅₁ 등은 Table 1, Table 2에 있고 첫번째 첨자는 독립변수, 두번째 첨자는 sample번호이다. Table 1을 사용하여 方程式(4)를 풀면 β₀=-3,599, β₁=2,419, β₂=-0.873, β₃=9,624 그러므로 形狀係數 K의 값은

$$K = \exp \{-3,599 + 2,419a_1 - 0.873a_3 + 9,624a_5\} \dots\dots(5)$$

Table 1. K-value and Coefficients a₁, a₃, a₅,

Sample No.	K-value	a ₁	a ₃	a ₅
1	0.021	0.0690	0.0899	0.0117
2	0.035	0.0182	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	0.1840	0.0382	0.0092
6	0.077	0.1693	0.0644	0.0022
7	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
8	0.077	0.4507	0.0660	0.0166
9	0.086	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	0.0448	0.0276
15	0.196	0.5563	0.0275	0.0146

Table 2. Correlation Matrix and Inverse Correlation Matrix

1	0.8609	-0.3311	-0.0124
	1	0.0265	-0.8574
		1	-0.0794
			1
14.330	4.867	3.933	-8.586
	5.455	1.495	0.355
		2.093	-2.140
			8.968

으로되며 方程式 (5)에 의한값과 sample값 사이의 比較는 Table 3에 표시하였으며 이를 無次元化하기 위하여 (5)식을 다음과 같이 변형하여 사용한다.

$$K_1 = \exp\{1,377 + 2,419a_1 - 0.873a_3 + 9,624a_5\} \dots\dots(6)$$

Table 3. Comparison between k-values obtained by Experiments and those by Regression equation

Sample No.	K-VALVE		$\left \frac{K_a - K_r}{K_r} \right $ in %
	Experiment K_a	Regression K_r	
1	0.021	0.024	12.5
2	0.035	0.035	0.
3	0.038	0.035	8.6
4	0.053	0.046	15.2
5	0.070	0.093	24.7
6	0.077	0.093	6.1
7	0.077	0.090	14.4
8	0.077	0.090	14.4
9	0.086	0.079	8.9
10	0.100	0.120	18.0
11	0.125	0.125	0.
12	0.137	1.102	34.3
13	0.145	0.138	5.1
14	0.155	0.185	16.2
15	0.196	0.148	66.1
Avg.			16.2

이 외에 形狀係數의 簡易 推定用으로서 Ochi¹⁾의 方法이 있음을 添언해 둔다.

3. slamming의 壓力²⁾

충격壓力的 크기를 推定하기 위해서는 壓力과 速度사이의 函數的 關係를 얻는것이 必要하다. 여기서 速度라는것은 波에 대한 船의 特定位置에서의 相對 垂直速度成分을 말한다. 波와 船首사이의 相對속도

의 크기에 關한 豫測을 하기 위해서는 slamming에 關한 相對速度의 확률밀도函數가 樹立되어야 하며 이것은 다음과 같이 주어진다.

$$f(\dot{r}) = \frac{2\dot{r}}{R'\dot{r}} e^{-\frac{1}{R'\dot{r}}(\dot{r}^2 - \dot{r}_*^2)}, \dot{r} \geq \dot{r}_* \dots \dots \dots (7)$$

$R'\dot{r}$: twice the variance of relative velocity

\dot{r}_* : threshold velocity

그러므로 相對速度의 확률分布는 truncated Rayleigh分布에 따르고, slamming에 關한 충격壓력은 大략 相對速度의 自乘에 比例한다는, 이들 2個의 條件으로부터 충격壓력의 확률밀도 函數가 유도된다.

slamming에 關한 충격壓력을 p 라 놓으면

$$p = 2c\dot{r}^2 = K\dot{r}^2 = \frac{1}{2}\rho K_1 \dot{r}^2 \dots \dots \dots (8)$$

c : 배의 단면형상에 따른 상수

ρ : 물의 밀도

K_1 : K 의 無次元化한 값

\dot{r} : 상대속도

Table 4. Threshold Velocity for Mariner type (520ft)

Bloc. coeff.	0.624
Draft	Light
Waves	Irregular
$\lambda/L, h/\lambda$	Severe Sea Stste 7
Ship speed(knots)	10.0
Location where the threshold velocity is evaluated	0.10L aft. of FP
Threshold velocity(ft/sec)	12.0

Table 5. Comparison of Prediction and Observed Probability and Number of Slams(Mariner)

Sea state	Mild 7 ← ————— Moderate 7 ————— → Severe 7						
	Wind velocity(knots)	35			39		
Wind duration(hours)	23.5			27.5			32.5
Significant wave height(ft)	23.4			31.2			35.0
Course angle(degrees)	0	0	25	.45	0	0	0
Ship speed(knot)	← ————— 10 ————— →						
Loading condition	Light	Light	Light	Light	Moderate	Full	Light
Draft at Station 2 (ft)	17.1	17.1	17.1	17.1	23.7	29.8	17.1
R'_r (ft ²)	276	505	439	314	492	463	605
$R'_\dot{r}$ (ft ² /sec ²)	145	238	207	145	208	181	305
Probability of slams per cycle of wave encounter							
Predicted	0.128	0.306	0.256	0.145	0.160	0.066	0.385
Observed	0.138	0.333	0.298	0.152	0.198	0.082	0.414
Number of slams in a 30 minute operation							
Predicted	27	60	50	29	30	12	78
Observed	28	66	57	29	40	16	84

이는 앞(1)식과도 같다. 方程式 (7), (8)과 Random變數에 대한 변환 정리의 응용으로서 truncated exponential 확률밀도函數는 다음과 같이 유도된다.

$$f(p) = \frac{1}{2cR'_{\dot{r}}} e^{-\frac{1}{2cR'_{\dot{r}}}(p-p_*)}, \quad p \geq p_*$$

$$= \lambda e^{-\lambda(p-p_*)}, \quad p_0 \leq p < \infty \dots (9)$$

p : slamming 壓力(random variable)

p_* , p_0 : threshold 壓力 = $2c\dot{r}^2_* = K\dot{r}^2_*$

c : constant

$$\lambda = \frac{1}{(KR'_{\dot{r}})} = \frac{2}{(\rho K_1 R'_{\dot{r}})}$$

$R'_{\dot{r}}$: twice the variance of relative velocity

方程式 (9)의 확률밀도함수로 부터 평균압력 P_{ave} 와 1/3, 1/10의 最大壓力에 對한 평균압력은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_{ave} = K(\dot{r}^2_* + R'_{\dot{r}}) = \frac{1}{2}\rho K_1(\dot{r}^2_* + R'_{\dot{r}}) \dots (10)$$

$$(P_{ave})1/3 = 2c(\dot{r}^2_* + 2.10R'_{\dot{r}}) = K(\dot{r}^2_* + 2.10R'_{\dot{r}})$$

$$= \frac{1}{2}\rho K_1(\dot{r}^2_* + 2.10R'_{\dot{r}}) \dots (11)$$

$$(P_{ave})1/10 = 2c(\dot{r}^2_* + 3.30R'_{\dot{r}}) = K(\dot{r}^2_* + 3.30R'_{\dot{r}})$$

$$= \frac{1}{2}\rho K_1(\dot{r}^2_* + 3.30R'_{\dot{r}}) \dots (12)$$

Table 4는 MARINER에 대한 threshold 속도이고 Table 5는 slam回數와 slam확률에 대한 豫測과 관측

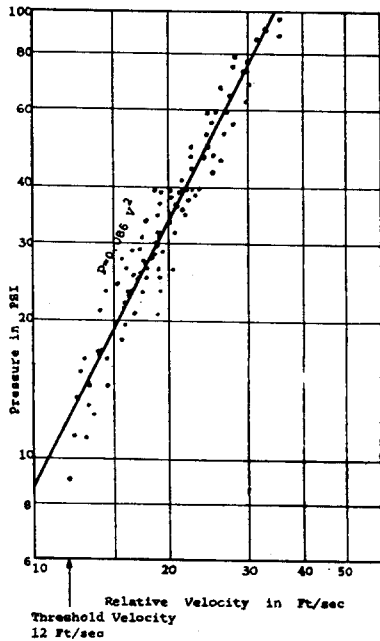


Fig. 7. Pressure on the keel plate as a function of impact velocity(MARINER, Station 2, light draft, ship speed 10 knots, moderate Sea State 7.

된 것을 比較한 것이다.

또한 충격압력과 상대속도사이의 관계는 Fig. 7에 표시하였다.

4. 충격壓力的 最大값¹⁾

충격壓力的 크기는 方程式(9)의 統計的 平均壓力에 따라 Random적으로 변한다. 設計를 고려한 最大값의 豫測은 船底의 構造的 損傷이나 船體에 대한 격렬한 振動을 유발하는 높은 충격에 견디어야 한다는 측면을 고려할때 특히 重要하다. 충격壓力的 最大값의 統計的 豫測은 확률分布에 대한 順序統計 量의 응용으로 豫測할 수 있다.⁷⁾

지금 p_n 을 충격의 n 번의 壓力에 관한 最大값으로 놓으면 p_n 의 확률밀도 함수는

$$f(p_n) = [nf(p)\{F(p)\}^{n-1}]_{p=p_n}$$

$$= n\lambda e^{-\lambda(p_n-p_0)} \{1 - e^{-\lambda(p_n-p_0)}\}^{n-1} \dots (13)$$

여기서 $F(p) = \int_{p_0}^p f(p)dp$

$$\lambda = 1/(KR'_{\dot{r}}) = 2/(\rho K_1 R'_{\dot{r}})$$

n 번 觀察에서 일어날 수 있는 最大壓力의 \bar{p}_n 는 方程式(13)에서 얻을 수 있으며 α 值 以上의 확률에 대한 最大壓力의 크기를 $\hat{p}_n(\alpha)$ 로 표시한 것이 Fig. 8과 같다. 이때 확률밀도함수에 관한 \bar{p}_n 값은 n 번 觀察에서 最大壓力의 peak를 갖는다. 이것은 p_n 가 방정식 (13)을 微分하여 零으로 놓으므로 얻을 수 있다.

即

$$\frac{df(p_n)}{dp_n} = 0 \dots (14)$$

方程式 (13)과 (14)에서 \bar{p}_n 은 다음과 같다.

$$\bar{p}_n = p_0 + \frac{1}{\lambda} \ln n = \frac{1}{2}\rho K_1(\dot{r}^2_* + R'_{\dot{r}}) \ln n \dots (15)$$

安全設計를 고려하면 α 의 값에 따라 最大壓力이 조정되어야 되므로 이때의 最大壓力은 $\hat{p}_n(\alpha)$ 는 다음과

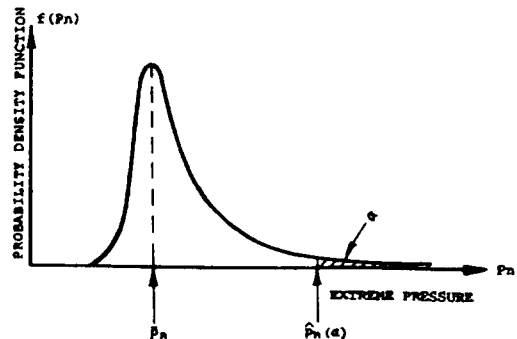


Fig. 8. Explanatory sketch of probability density function of extreme pressure.

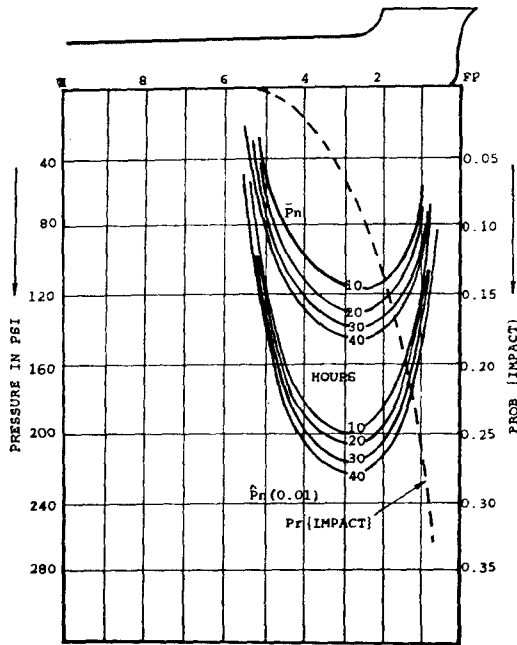


Fig. 9. Distribution of extreme pressure along the ship length; Mariner, Sea State 7, significant wave height 25ft. ship speed 10 knots, light draft.

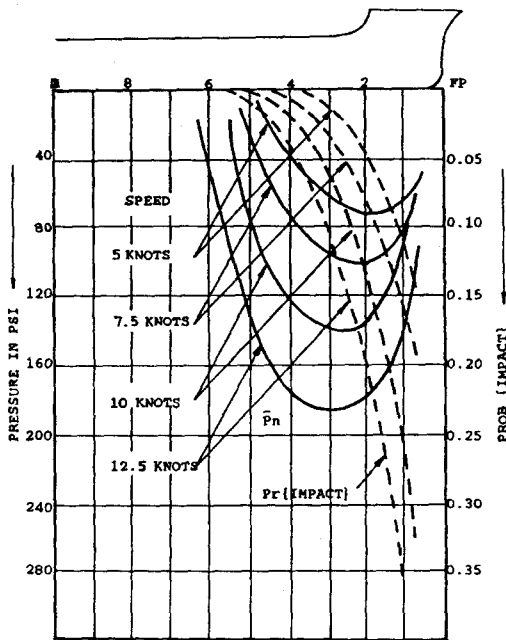


Fig. 10. Distribution of extreme pressure and frequency of impacts along the ship length; Mariner, Sea State 7, significant wave height 25ft. ship operation time 35hr. light draft.

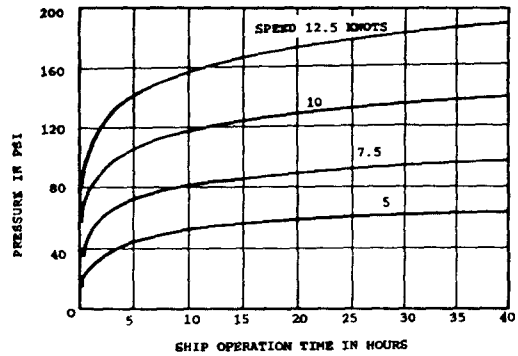


Fig. 11. Effect of ship operation time on most probable extreme pressure; Mariner, Station 3, Sea State 7, significant wave height 25ft light draft.

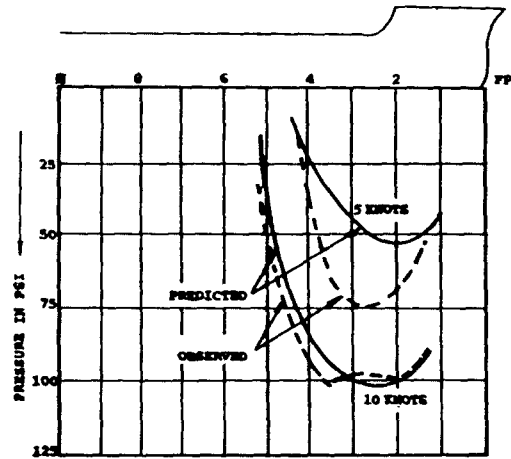


Fig. 12. Comparison between predicted and observed extreme pressure; Mariner, Sea State severe 7, significant wave height 35ft. light draft,

같이 된다.

$$\int_{\hat{p}_n}^{\infty} f(p_n) dp_n = \alpha \dots\dots\dots(16)$$

(13), (16)의 方程式에서

$$\hat{p}_n(\alpha) = p_0 - \frac{1}{\lambda} \ln\{1 - (1 - \alpha)^{1/n}\} \\ = \frac{1}{2} \rho K_i [f^2_* - R' f \ln\{1 - (1 - \alpha)^{1/n}\}] \dots\dots(17)$$

方程式 (15)와 (17)에 의하여 MARINER에 대한 충격壓의 最大값의 計算結果를 나타낸것이 Fig. 9 ~ Fig. 12이다.

5. slamming 충격력¹⁾

slam충격에 대한 船體應答을 추정하기 위하여는 前部船底에 作用한 충격력이 推定되어야 한다. 一般의 으로 slamming충격 壓力은 前部에 作用한후 時間이 경과함에 따라 變化된 크기로 後部로 移動 作用하게 된다. 即 船底에 대한 壓力分布는 時間의 函數이므로 壓力의 作用時間및 領域을 결정하여야한다.

가. 충격壓力의 작용시간과속도

배의길이 L 의 임의점에서의 壓力의 지속時間은 Froude의 法則을 사용한 다음 공식에 의하여 계산되었으며 이것은 길이 158.50m(520ft.)의 MARINER에 대하여 壓力의 平均지속시간이 0.1sec라는 것에 근거한 것이다.

$$t_1 = 0.1 \sqrt{\frac{L}{520}} \dots\dots\dots(18)$$

t_1 : 壓力의 지속時間

L : 배의 길이(ft.)

배의길이 方向의 前進壓力速度는 모형실험에서 관측된 520ft.의 MARINER에서 가장낮은 作用속도인 260fps를 取하면 다음식이 된다.

$$v = 260 \sqrt{\frac{L}{520}} \dots\dots\dots(19)$$

v : 배의 길이방향의 前進壓力 速度

배의 수직方向으로의 壓力의 作用속도는 충격하는 동안에는 一定하다는 가정하에 그 위치에서 船底와 波사이의 垂直相對속도의 크기로부터 결정하며 相對속도의 크기는 前部垂線으로 갈수록 감소한다. station 2와 같은 前部位置에서 壓力의 垂直方向으로의 作用속도는 後部에서의 作用속도보다 크다.

Fig. 13은 배의길이에 따른 相對속도의 分布를 보이고 있다.

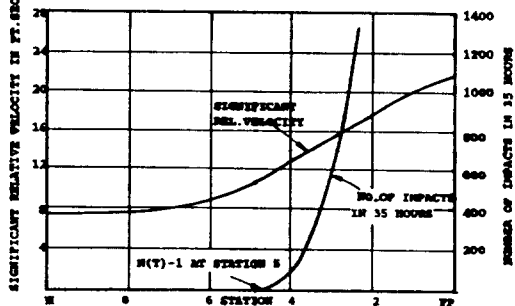


Fig. 13. Distribution of the significant relative velocity and number of slam impacts along the ship length; Mariner, Sea State 7, significant wave height 25ft. ship speed 7.7 Knots, light draft.

나. 충격壓力 작용영역

충격壓力의 船底의 작용영역을 결정하기 위하여는 길이방향과 垂直방향으로 각각 적분해야 한다.

충격壓力이 작용하는 배의 길이방향의 위치는 slam 충격수 $N(T)$ 를 평가하면 다음과 같은식을 얻을 수 있다.

$$N(T) = (3.6 \times 10^2) \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{R'_f}{R_f}} \cdot Pr\{\text{slam impact}\} \dots\dots\dots(20)$$

$$Pr\{\text{slam impact}\} = e^{-\left(\frac{H^2}{R_f} + \frac{v_*^2}{R'_f}\right)}$$

H : 고려된 위치에서의 배의흘수

v_* : threshold상대속도 520ft의 선박에 대해서는 12fps

R_f : 상대운동의 twice variance

R'_f : 상대속도의 twice variance

충격數 $N(T)$ 는 Fig. 13에서와 같이 前部垂線으로부터 船尾에 갈수록 감소된다. 배의 航行時間에 대하여 $N(T)=1$ 인 위치는 충격력을 감안한 制限點으로 생각할 수 있으며 충격의 수는 station 5에서 1과 같고 이 위치의 뒤에서는 1보다 작다. 이것은 이 점以後의 어떠한 위치에서도 충격이 없음을 가정할 수 있다. 충격력을 고려한 垂直制限깊이 h_1 는 계뢰흘수의 約 1/10로서 垂直방향으로의 압력 作用속도는 相對속도의 크기의 다름으로서 各斷面에서 자기 다르다. 압력은 station 5에서보다 station 2에서 1.7배나 빠르게 작용한다. 그러므로 slam 충격이 선저에 동시에 작용되었다 할지라도 station 5가 $0.1H$ 의 깊이로 몰입할때 station 2는 $0.17H$ 의 깊이로 몰입한다. 그러므로 주어진 斷面에 대한 충격력은 壓力을 垂直制限 높이까지 girth를 따라 積分함으로써 평가할 수 있다. 斷面에 作用되는 最大 충격력의 값은 Fig. 14

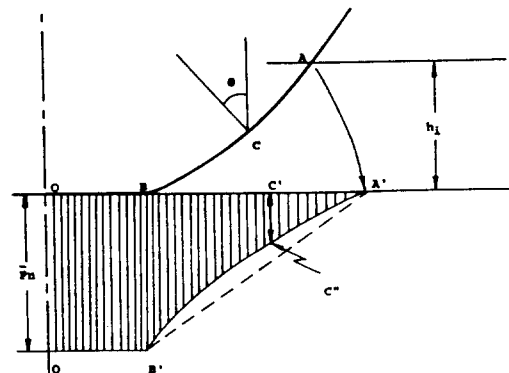


Fig. 14. Explanatory sketch of the distribution of extreme pressure along the section girth.

에 표시한 과정에 따라 평가되어진다.

평가의 순서는 다음과 같다.

① 충격력을 고려하기 위하여 制限높이까지 girth에 따른 거리(OBA)는 直線 OBA'로 확장한다.

② 최대 충격력 \bar{p}_n 은 O'B'에 표시한 것같이 船底板에 均一하게 작용한다.

③ 點 B'와 A'는 船底板을 除外하고 girth에 따라 선형적으로 감소한다고 가정하여 연결되었다.

④ Fig. 14에서 보인 각 θ 의 cos成分은 girth에 따른 各點에서 垂直壓力 成分을 얻기 위하여 ③항에서 얻은 壓力을 곱한다. 즉 girth위의 C點에 作用된 最大壓力는 C'C'로 주어진다.

⑤ 各點에서 계산한 壓力지속時間을 취함으로서 Fig. 14에서 O'B'C'A'의 곡선에 따라 주어진 壓力의 크기에 대한 적분은 時間의 函數로서 斷面에 作用된 最大 충격력을 주게 되는 것이다.

Fig. 15는 時間의 函數로서 作用한 最大충격력을 MARINER의 各 station에 對하여 나타낸 것이다.

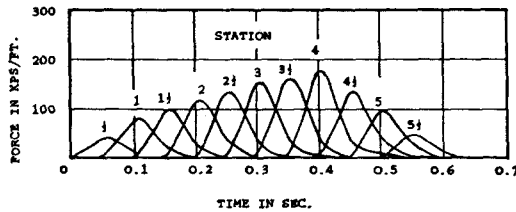


Fig. 15. Impact force applied at various stations as a function of time; Mariner, Sea State 7, significant wave height 25ft. ship speed 7.4 knots, light draft.

結果 및 考察

壓力은 Fig. 15와 같이 前部에서 後部로 作用하고 충격진행은 0.65sec범위 以內에 걸쳐 있으며 最大충격력은 最大중격壓力이 作用한 station 4에서 발생했다. 그 理由는 船底板이 이 station에서 가장 넓었기 때문인 것으로 볼 수 있다.

Fig. 10의 station 3에서 最大壓力는 98 psi이며 이것은 5.5ft의 width를 갖는 船底板에 대하여 78kps/ft.의 충격력이 作用한 결과가 된다. 따라서 Fig. 15에서 最大충격력이 station 3에서 150kps/ft.이나, 이 중 약 50% 정도의 힘이 船底板의 충격에 의해서 소비되었음을 推定할 수가 있다.

要 約

1. slam충격수 $N(T)$ 는 前部垂線에서 거리가 증가할수록 감소하며, $N(T)=1$ 인 위치가 制限點으로 되며, 制限點이 되는 位置以後에서는 충격의 영향을 고려치 않아도 무방할것으로 고려된다.

2. 충격력을 고려한 垂直制限깊이는 計劃吃水の 1/10로 잡았고, 충격壓力에 대해서는 고려된 斷面位置에서 壓力作用속도의 相異로 因하여, 各各의 斷面位置에서 前部船底의 물깊이에 따라 各各 推定되어야한다.

3. 주어진 斷面에 대한 충격력은 壓力을 垂直制限 높이까지 girth를 따라 계산함으로써 결정할 수 있다.

4. 최대충격력은 前部の 船底板의 형상에 따라 그 作用위치가 달라질 수도 있다.

5. 최대충격력의 약 50% 程度의 힘이 前部船底板의 충격에 소비됨으로, 이는 前部船底板의 各點지수 결정에 도움이 될 것으로 기대된다.

文 獻

- 1) Ochi, M.K, and L.F. Motter(1973): Prediction of Slamming Characteristics and Hull Response for Ship Design. SNAME Transactions.
- 2) Yamanouchi, Y. and A. Ogawa (1970): Statistical Diagrams on the Winds and Waves on the North Pacific Ocean. Ship Research Institute, Japan.
- 3) Ochi, M.K. (1973): On Prediction of Extreme Values. Journal of Ship Research. Vol. 17. No. 4.
- 4) Ochi, M. K. and L. E. Motter (1971): A Method to Estimate Slamming Characteristics for Ship Design. Marine Tech. vol.8, No.2.
- 5) (1973): Fourth International Ship Structures Congress
- 6) Ochi, M.K.(1954): Prediction of Occurrence and Severity of Ship Slamming at Sea. Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, office of Naval Research.
- 7) Ochi, M.K, and L. E. Motter (1969): Prediction of Extreme Values of Impact Associated with Ship Slamming. Journal of ship Research, Vol. 13, No.2.