

論 文

大韓造船學會誌
第15卷 第3號 1978年 9月
Journal of the Society of
Naval Architect of Korea
Vol. 15, No.3, September 1978

高速艇의 船底에 作用하는 衝擊荷重의 推定

任 尙 鏞*·辛 鍾 桂**

On the impact hydrodynamic load on the bottom of high-speed small craft
by
S.J. Yim, J.G. Shin

Abstract

The dynamic pressures on the bottom of high speed small crafts are studied. Using the dynamic load factor the dynamic pressure can be replaced by equivalent static pressure. Assuming that (1) the system is undamped with a single degree of freedom and (2) the load is applied triangularly, we obtained the max. value of the dynamic load factor of 1.455.

We believe that this method could provide a guide to the designer who has no data on the craft in the preliminary structural design stage.

1. 序 論

1.1. 高速艇에 作用하는 荷重의 特徵

高速艇에 作用하는 荷重은 一般 排水量型 船舶의 경우와는 달리 그 作用이 動的(dynamic)인 경우가 많으며, 그때의 狀態 또한 매우 複雜하여 流體力學의 理論 計算은 상당히 어렵다.

그동안 船底에 作用하는 波浪의 衝擊荷重을 理論적으로 計算하려는 努力이 많은 學者들에 의해 시도되어 왔으나 [10][12], 아직 만족할만한 값이 얻어지고 있지 않다. 따라서 이 荷重은 實驗이나 實測에서 얻어진 資料에 依存할 수 밖에 없는 實情이다. 그것은 從來의 排水量型船舶에 대한 設計荷重의 推定方法으로는 계산이 거의 不能한 複雜하고도 폭넓게 變化하는 動的 荷重을 船體가 받고 있기 때문이다. [9]

本 研究에서는 船體, 特히 船底에 作用하는 動的 荷重의 推定을 위해 과거의 實驗이나 實測資料를 토대로 하여 Dynamic load factor의 개념을 使用하여 動荷重을 等價靜荷重(Equivalent static load)으로 전환하여 構造 設計를 위한 設計荷重의 提示에 그 目的을 두고 있다.

1.2. 歷史的 考察

Heller and Jasper의 論文[1]은 75ft. YP110의 實船 計測資料를 解析하여 完全한 構造設計過程을 보여주고 있다. 그러나 이 方法은 高速艇의 航海中에 豫測되는 船 首·尾 加速度를 알아야 되므로 實船計測이나 模型 實驗의 資料가 없는 경우에는 물론이고, 보통 設計過程에서는 豫測하기 어려우므로 使用하는데 문제가 있다. 이 方法의 特徵은 dynamic load factor를 使用하여 動荷重을 等價靜荷重으로 바꾸어 解析하는 것이다.

Michigan大學에서 提案된 Silvia and Scott의 方法[2]은 荷重을 速度의 函數로 單純化시키고, 衝擊荷重도 動荷重이 아닌 最大靜荷重으로 보고 計算을 單純化시켰다.

Scott, R.J. [3]는 高速艇의 用途에 따라서 Yacht, 作業船, 外航船 등 세 種類로 나누어 각각의 경우에 대해 衝擊荷重을 提示하고 있는데, 이 方法에서는 靜水壓도 衝擊荷重으로 取扱되고 있다.

Gibbs and Cox, Inc.에서 發刊된 Manual[4]에서는 衝擊荷重을 길이와 速度의 函數로 다루고, 計算의 便易를 위해 nomograph를 提示하고 있다.

Danahy[6]는 超高速艇 즉 hydrofoil船과 Air cushion

接受: 1978年 9月 2日

* 正會員: 서울大學校 工科學院

** 正會員: 서울大學校 大學院

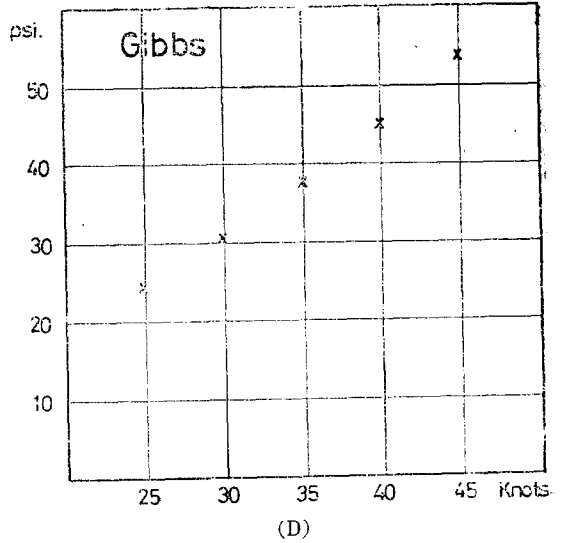
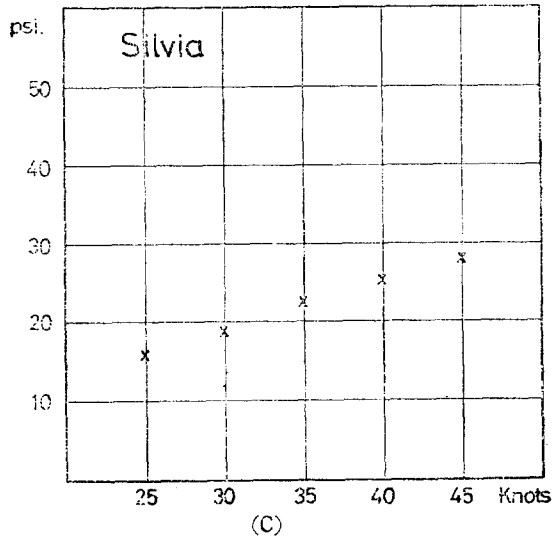
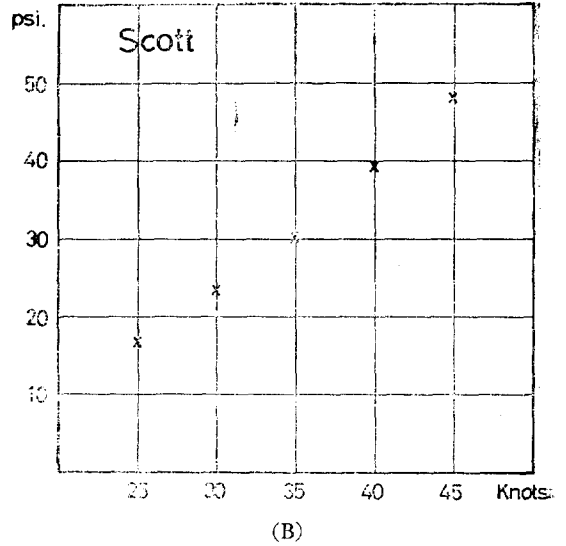
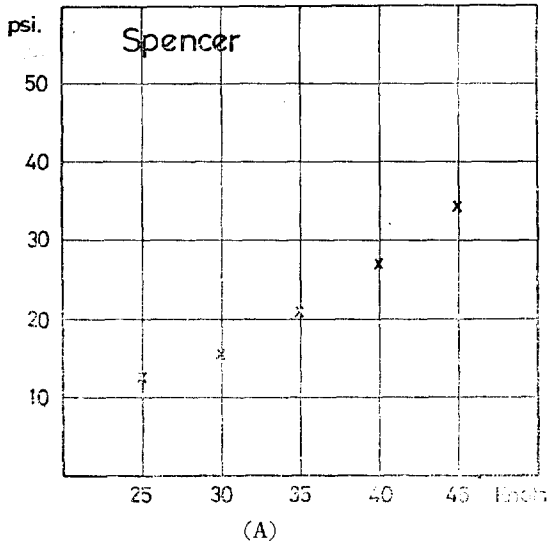


Fig. 1. Pressure vs. V

craft 등 40 knots 以上の 고속艇에 대해衝擊荷重은 速度의 函數로 表示하고 計算을 하고 있다.

Spencer[7]는 代表的인 標準船型 模型을 測定하여 船底가 받는 衝擊荷重을 排水量·速度·길이의 函數로 表示하였다. 이 方法에서는 또 NSRDC의 Jones and Allen의 實驗結果 즉 實際에 作用하는 荷重은 豫測되는 最大衝擊荷重 보다 작다라는 結果를 포함시켜 解析하고 있다.

대체로 대다수의 論文은 實測值를 分析해서 구한 Heller and Jasper[1]의 方法에 기초를 두고 各者의 調査에 의해 衝擊荷重만 다르게 取하고 있다. 船型에 關係없이 速度는 衝擊荷重에 큰 影響을 미치고 있으며,

그 傾向이 Fig. 1에 나타나 있다. 대체로 各論文의 경우 비슷한 추세 즉 대체로 線型的으로 變하고 있음을 알 수 있다.

2. 動的荷重(Dynamic load)

2.1. 概念

構造物에 荷重이 動的으로 作用해서 發生하는 變形度(strain)와 같은 크기의 荷重이 靜的으로 作用해서 發生하는 變形度の 比를 response factor이라고 하며 이 response factor의 最大值를 dynamic load factor라고 한다.

材料의 比例限度內에서는 同一한 變形度を 發生시키

는 最大 動的荷重에 대한 靜荷重의 比를 意味한다. 따라서 等價靜荷重(Equivalent static load)는 다음과 같이 된다.

$$ESL = DLF \times P_o \quad (1)$$

P_o : 最大 動荷重

2.2 Dynamic load factor(DLF)

가해주는 荷重의 一般式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P = P_o \cdot f(t) \quad (2)$$

P_o 는 最大値이며, $f(t)$ 는 時間에 따른 P 의 變化를 表示해 주는 函數가 된다. 생각하는 系를 非減衰 1自由度系(Undamped system with a single of freedom)로 取한다.

微分方程式은

$$\frac{W}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + kx = P_o f(t) \quad (3)$$

$\frac{W}{g}$: 系가 갖는 質量

k : 系의 彈性係數

여기에서

$$q = \frac{P_o \cdot g}{W}, \quad \omega^2 = \frac{k \cdot g}{W}$$

로 치환하면

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = q \cdot f(t) \quad (4)$$

(4)의 兩邊에 $\sin \omega t$ 를 곱하면

$$\frac{d^2x}{dt^2} \sin \omega t + \omega^2 x \sin \omega t = q \cdot f(t) \cdot \sin \omega t$$

$$\therefore \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \sin \omega t \right) + \frac{d}{dt} (-x \omega \cos \omega t) = q \cdot f(t) \sin \omega t$$

양변을 t_o 에서 t 까지 積分하면

$$\left[\frac{dx}{dt} \sin \omega t' \right]_{t_o}^t - \left[x \omega \cos \omega t' \right]_{t_o}^t = \int_{t_o}^t q \cdot f(t') \sin \omega t' dt'$$

여기에서 t' 는 t_o 와 t 사이의 값이다. 初期條件으로 變位 x_o 와 速度 \dot{x}_o 를 안다면

$$\frac{dx}{dt} \sin \omega t - \dot{x}_o \sin \omega t_o - x \omega \cos \omega t + x_o \omega \cos \omega t_o = \int_{t_o}^t q \cdot f(t') \sin \omega t' dt' \quad (5)$$

같은 方法으로 (4)의 兩邊에 $\cos \omega t$ 를 곱해서 計算하면

$$\frac{dx}{dt} \cos \omega t - \dot{x}_o \cos \omega t_o + x \omega \sin \omega t - x_o \omega \sin \omega t_o = \int_{t_o}^t q f(t') \cos \omega t' dt' \quad (6)$$

(5)와 (6)式에서 다음式이 얻어진다.

$$x = x_o \cos \omega(t-t_o) + \frac{\dot{x}_o}{\omega} \int \sin \omega(t-t_o)$$

$$+ \frac{q}{\omega} \int_{t_o}^t f(t') \sin \omega(t-t') dt' \quad (7)$$

그런데

$$\frac{q}{\omega_o} = \frac{P_o}{k} = x_{st}$$

即 이는 p_o 가 靜的으로 作用했을 때 생기는 static deflection을 表示한다. 따라서 (7)式은

$$x = x_o \cos \omega(t-t_o) + \frac{\dot{x}_o}{\omega} \sin \omega(t-t_o) + x_{st} \left[\omega \int_{t_o}^t f(t') \sin \omega(t-t') dt' \right] \quad (8)$$

로 쓸 수 있으며 (8)식은 全 dynamic displacement를 나타내며 그 系의 初期 變位나 速度의 影響을 받는 세項의 總稱으로 되어 있다. t_o 에서 變位나 速度를 갖지 않는 系에 대해 作用한 動的荷重 p 에 의해 생기는 dynamic response를 나타내는 項은 세번째 項이다.

即 $x_o = \dot{x}_o = 0$ at $t' = t_o$ 이면

$$x = x_{st} \left[\omega \int_{t_o}^t f(t') \sin \omega(t-t') dt' \right] = DLF \times x_{st}$$

따라서

$$DLF = \omega \int_{t_o}^t f(t') \sin \omega(t-t') dt' \quad (9)$$

여기에서 모든이 주어진 動荷重에 依해 생기는 dynamic response는 荷重이 作用할 때 그 系의 初期狀態와는 전혀 無關하다.

3. 船底 衝擊荷重의 推定

3.1. 假定

解析의 單純化를 위해 다음과 같이 假定한다.

- (1) 構造物은 非減衰 1自由度系이다.
- (2) 動荷重은 Fig. 2와 같이 作用한다.

Heller and Jasper [1]는 減衰力이 있는 1自由度系로 計算하였는데 1949年度의 Jasper의 實船計測에 의하면 減衰係數는 0.09인 것으로 測定되어 위 假定 (1)과 같이 非減衰系로 理想化하였다.

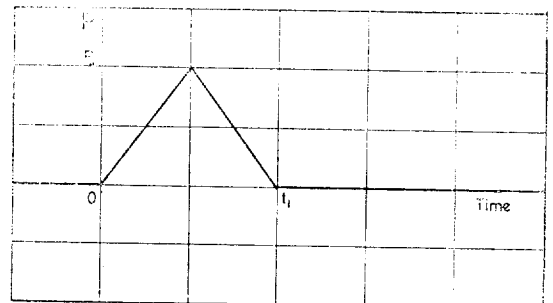


Fig. 2. Dynamic load

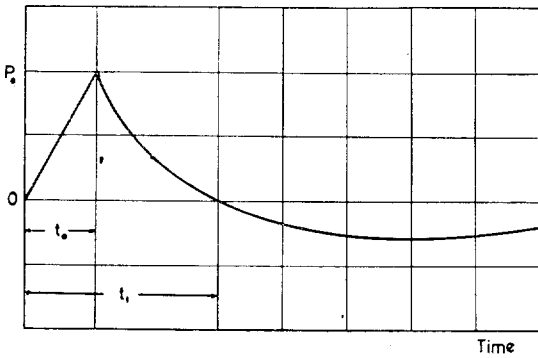


Fig. 3. Dynamic load Ref. [1]

또 論文[1]에서는 動的荷重의 作用狀態를 Fig. 3과 같이 假定하였으나, 荷重이 순간적으로 作用하고 난後 (t_1 以後)에는 荷重이 作用하지 않는다고 보아 本 研究에서는 (2)와 같이 單純化하였다.

3.2. Dynamic load factor

(9) 式에서 $t_0=0$ 로 놓고, 高速艇의 경우에서의 DLF 를 구한다.

(1) $0 \leq t \leq 0.5t_1$

$$p = 2 - \frac{t}{t_1} p_0 \quad f(t) = 2 - \frac{t}{t_1}$$

$$DLF = 2 - \frac{t}{t_1} - \frac{T}{\pi t_1} \sin \omega t$$

(2) $0.5t_1 \leq t \leq t_1$

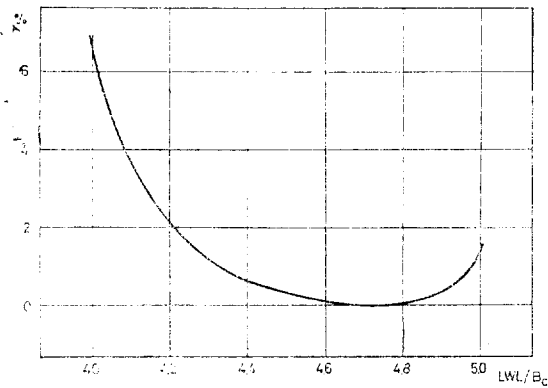
$$p = \left(2 - 2\frac{t}{t_1}\right) p_0 \quad f(t) = 2 - 2\frac{t}{t_1}$$

$$DLF = 2 - \frac{2t}{\pi t_1} + \frac{T}{\pi t_1} \left[2\sin \omega \left(t - \frac{t_1}{2}\right) - \sin \omega t \right]$$

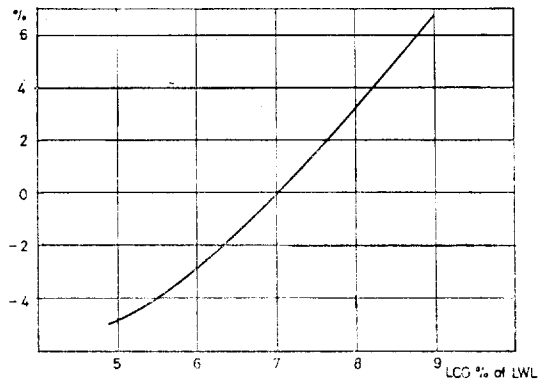
(3) $t_1 \leq t$

$$p = 0$$

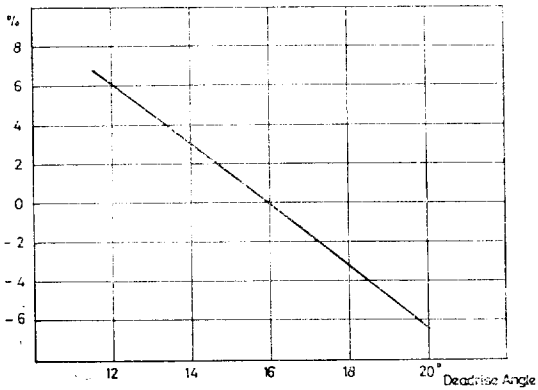
$$DLF = \frac{T}{\pi t_1} \left[-\sin \omega (t - t_1) + 2\sin \omega \left(t - \frac{t_1}{2}\right) - \sin \omega t \right]$$



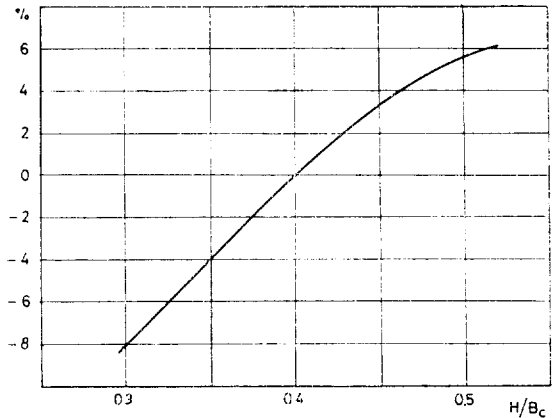
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4. Average % change in p_{01}

DLF의 最大值는 $\frac{T}{t_1}=1$ 일때 $t=\frac{3}{4}T$ 인 순간에서

1.455이다. (단, $T=\left(\frac{2\pi}{\omega}\right)$)

3.3. Initial impact load

船底에 作用하는 impact load는 다음과 같다. [7]

$$p_{o1}=6.4+6.32A^{1/3}-0.091L+0.023V^2-0.563\sqrt{V\cdot L} \quad (10)$$

A : 排水量 (ton)

L : 水線間 길이 (ft.)

V : 速度 (knots)

이 式은 model ship으로 $LWL/B_c=4.8$, deadrise angle $=16^\circ$, $LCG=7\%$ of LWL aft 處, $H/B_c=0.4$ 인 경우에 대해 얻어진 값이고 그와 다른 形狀을 갖는 船型에 對해서는 Fig. 4-a~Fig.4-d에 의해 變化幅을 얻어 修正을 하면 初期衝擊荷重이 決定된다.

$$p_{ini}=p_{o1} \text{의 形狀에 따른 修正} \quad (11)$$

3.4. 設計荷重

式(9)로부터 計算된 $DLF_{max}=1.455$ 를 使用하면 \bar{p} (ESL)가 얻어진다.

$$\bar{p}=p_{ini} \times DLF = 1.455p_{ini} \quad (12)$$

Jones and Allen의 實測[7]에 依하면 實際 波中에서 運行할 때 船體가 받는 荷重은 全部分에 作用하는 것이 아니라 極히 짧은 순간에 微小面積에 作用하기 때문에 實際 배가 받는 荷重은 그보다 작은 값이 되는데 그것은 그 荷重을 板面積全體에 걸쳐 支持하게 되기 때문이다. 따라서 實際作用荷重(Actual applied load) p_a 는 다음과 같이 된다.

$$p_a=ADF \times \bar{p} \quad (13)$$

여기서 ADF (Area Distribution Factor)는 面積分布 係數로 高速艇의 경우 임의의 瞬間, 任意 點에 荷重이 作用할 때 荷重을 받는 有效面積에 分布된 支持荷重의 作用荷重에 對한 比로 定義되며 다음 式으로 求한다. 荷重이 作用하고 있는 板의 面積을 S라 하면

$$A=S/(25\Delta/d) \quad (14)$$

$$ADF=0.1+1/(8.1A^2+15.6A+1.1)$$

배의 길이 方向에 따른 衝擊係數(Impact Factor)를 Station에 따라 나타낸 것이 Fig. 5이다.

따라서 船體 任意의 橫斷面에서의 最大有效荷重(max. effective load) p_e 는 다음과 같이 計算된다.

$$p_e=p_a \times F_i \quad (15)$$

또 배의 任意의 橫斷面에서 荷重分布關係를 나타내는 橫荷重分布係數(Transverse Load Distribution Factor) F_T 를 G의 函數로써 Fig. 6에 보이고 있다.

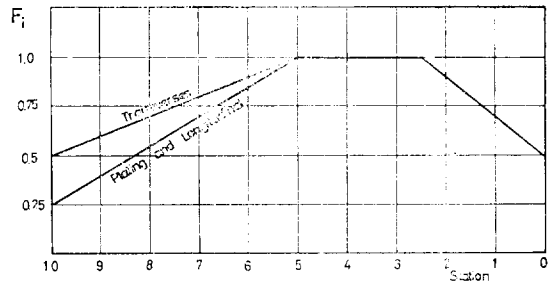


Fig. 5. Impact factor

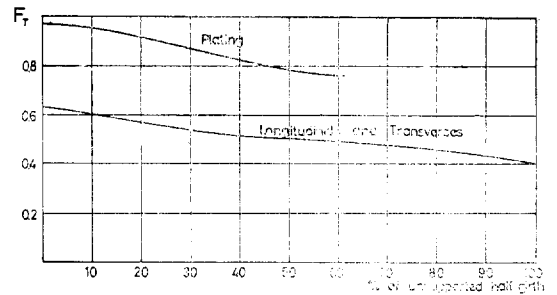


Fig. 6. Transverse Load Distribution factor

G는 half girth에 對한 支持部材가 없는 最大길이의 比로 船體의 構造形式에 따라 달라진다.

위와 같은 係數들의 概念을 使用하여 設計에 使用될 等價均一靜荷重(Equivalent uniform static load)를 求하면 다음과 같이 된다.

3.4.1. Bottom plating 計算을 위한 設計

$$P=P_a \times F_i \times F_T + P_h \quad (16)$$

P_h : 靜水壓

G를 Longitudinal framing間的 最大間격의 half girth에 對한 比의 값으로 Fig. 6에서 F_T 를 구한다.

3.4.2. Bottom Longitudinal framing 計算을 위한 設計荷重

$$P=P_a \times F_i \times F_T + P_h \quad (17)$$

F_T 는 bottom plating의 경우와 같은 값의 G에 대해 Fig. 6에서 구한다.

3.4.3. Bottom transverse framing 計算을 위한 設計荷重

$$P=P_a \times F_i \times F_T + P_h \quad (18)$$

Transverse framing이 Keel에서 Chine까지 連續되어 있는 경우, 그 中間에 Longitudinal Bulkhead등과 같이 transverse framing을 支持할 部材가 없으면 $G=100\%$ 로 取하고, 支持狀態로 고려할만한 큰 縱部材가

있으면 긴쪽 길이의 half girth에 對한 比의 값을 G로 하여 Fig. 6에서 F_r 를 求한다.

4. 數值計算

比較的 大型인 高速艇(LWL 50ft以上)에 使用되는 Deep Omega型 AH-06船에 對해 數值計算을해 보았다. AH-06船이 갖는 船型은 Fig. 7과 같고 그 主要 要目은 다음과 같다.[8]

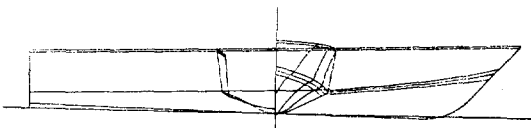


Fig. 7. Deep Omega

- LOA=82ft. LWL=73.8ft.
- Displacement=45.5ton Breadth=20.34ft.
- Breadth of chine=16.4ft. Depth=10.8ft.
- draft=2.95ft. Wave Height=7.4ft.
- deadrise angle=17.7° LCG=7.16% of LWL aft α
- half girth=10.3 in. V=40knots

Table 1. Calculated design pressure on each station

Station	Bottom plating	Bottom longi	Bottom trans
1	26.08	16.83	11.76
2	33.16	12.26	14.74
3	36.7	23.48	16.24
4	36.7	23.48	16.24
5	36.7	23.48	16.24
6	31.4	20.16	14.74
7	26.08	16.83	13.25
8	2.77	13.5	11.76
9	15.46	10.18	10.23
10	10.16	6.85	8.77

앞에 提示된 方法의 順序대로 計算을 進行하여 各 station別로 作用하는 船底에 對한 設計荷重의 값을 Table 1에 나타내었고

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10은 本 研究에서 推定한 荷重과 다른 方法과의 比較를 보여주고 있다.

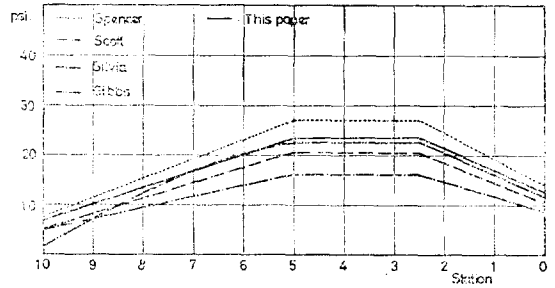


Fig. 9. Comparison of pressure on bottom longitudinals

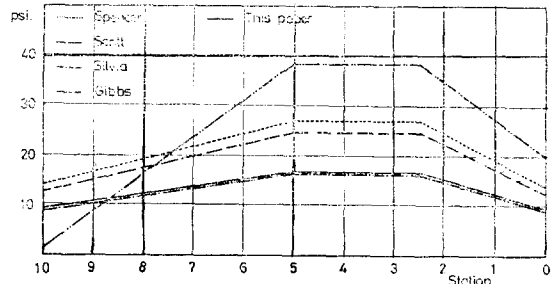


Fig. 10. Comparison of pressure on bottom transverses

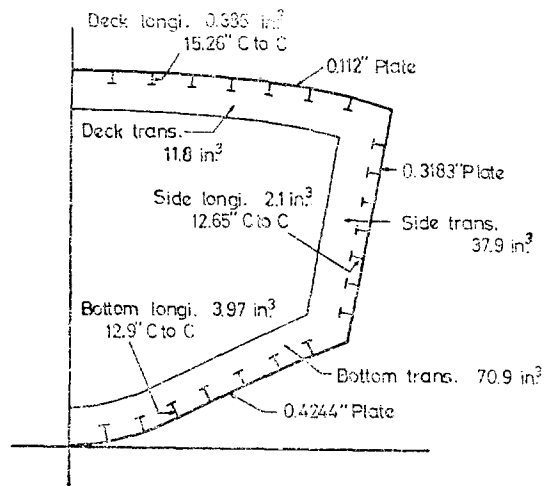


Fig. 11. Midship section

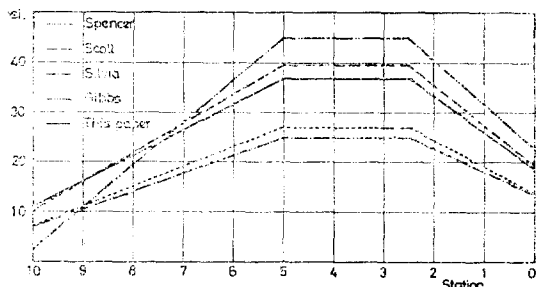


Fig. 8. Comparison of pressure on bottom plating

設計荷重 및 構造設計는 電算化하였으며 推定한 荷

重에 對해 얻어진 中央斷面圖는 Fig. 11과 같다.

여기에 나타난 數値는 必要한 最小크기를 나타내며 部材의 規格에 맞추어 實際 建造될 크기가 定해져야 한다.

5. 考察 및 結言

本研究에서 推定된 荷重은 대체로 다른 論文에서 얻어진 荷重들의 中間값보다 약간 큰 傾向을 보여 주고 있다. Bottom transverse framing計算을 위한 設計荷重이 比較的 작게 얻어진 것은, 本 研究에서 取한 小型高速艇의 構造形式은 longitudinal framing이 transverse framing을 뚫고 지나는 것으로 하였기 때문이다.

여기서 提示된 方法은 LWL 100ft.미만의 標準船型에 유사한 高速艇에 使用하면 좋은 結果를 얻을 수 있으며 더 큰 高速艇에도 같은 概念으로 확장될 수 있으므로 使用해도 좋을 것으로 기대된다. 高速艇의 船底에 作用하는 複雜한 動的荷重의 正確한 推定을 위해서는 더 많은 實驗과 實測資料의 蓄積이 要求된다.

參 考 文 獻

- [1] Heller, S.R. and Jasper, N.H., "On the Structural Design of Planing Craft", *Quart Transaction of Royal Institution of Naval Architecture*, July 1960.
- [2] Silvia, P.A., "Small Craft Design Structures", The University of Michigan, Oct. 1971.
- [3] Scott, R.J., "Fiberglass Boat Design and Construction"
- [4] Gibbs and Cox, Inc., "Marine Design Manual for Fiberglass Reinforced Plastics" McGraw Hill, 1960.
- [5] Swiftship, Inc., "Technical Proposal for a 105 foot Patrol Boat"
- [6] Danahy, P.J., "Adequate Strength for small high Speed Vessels", *Marine Technology*, 1968.
- [7] Spencer, J.S., "Structural Design of Aluminium Crewboats", *Marine Technology*, July 1975.
- [8] 舟羽誠一, "高速艇工學", 舵社 1977.
- [9] 日本モーターボート協會, "強化プラスチック製ボートの製造の研究報告書",
- [10] Chey, Y.H., "Hull Wave Impact Load on High Speed Marine Craft," *DTMB Report 1072*, AD 469862, May 1965.
- [11] Daniel Savitsky, "Hydrodynamic Design of Planing Hulls," *Marine Technology*, Vol. 1, No. 1, October 1964.
- [12] *The Society of Naval Architects of Korea*, "Small Craft Engineering Resistance, Propulsion, and Seakeeping" August, 1978.