

---

 論 文
 

---

大韓造船學會誌  
 第20卷 第3號 1983年 9月  
 Journal of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 20, No. 3, Sept. 1983

## 縱規則波中에서의 船舶의 附加抵抗 計算

金 曉 哲\*

## On the Added Resistance of a Ship in a Regular Head Sea

Hyochul Kim\*

**Abstract**

There have been many investigations of predicting the added resistance of a ship in seaway since Havelock discussed this topic in 1937. Among these researches, Maruo's theoretical approach is known as the most consistent mathematical representation for added resistance of a ship in regular head sea. In his theory, the hull form of a ship is represented under the slender body approximation. But the motion responses which were used for the calculation of the added resistance have been obtained by using the strip method which is based on an approximation that the hull form may be expressed as set of two dimensional cylinder sections in longitudinal direction. Therefore two different methods for hull form representation were implicitly used in Maruo's original work for the added resistance calculation.

Utilizing the characteristics that hull forms are usually slender, Kan expressed the hull form as two dimensional cylinder at each station by using the Taylor series expansion for the length wise direction. Putting this idea into Maruo's original work, the added resistance can be obtained with the explicitly unique representation of the hull form.

For the purpose of comparison the added resistance of a hull form (series 60,  $C_b=0.6$ ) was calculated by using the motion response obtained by Shintani. The numerical result shows a good qualitative agreement with the experimental result by Sibul.

## 1. 序 言

1937년에 Havelock〔1〕이 波浪中에서 船舶이 받는 抵抗을 取扱한 以來 많은 研究가 遂行되었으며, 이들 中에서 理論的 研究로서 數學的으로 가장 論理가 整然하다고 알려져 있는 것은 Maruo〔2〕에 依한 研究이다.

Maruo는 波浪中에서의 抵抗의 增加를 計算함에 있어서 船體의 形狀을 길이 方向으로는 細長하다고 보아 Michell의 近似를 適用하여 表現하고 있다. 그런데 抵

抗의 增加를 計算하기 爲하여 使用하게 되는 船舶의 運動應答은 strip理論에 依據하게 되어 있어 事實上 하나의 船形을 두가지 方法으로 나타내고 있는 셈이 된다.

한편 船形을 船體表面에 分布된 特異點系로 나타내는 Hess and Smith의 方法에서는 積分方程式의 解를 얻는데 많은 時間이 所要되는 것이 短點으로 지적되고 있다. Kan〔3〕은 이 點에 着眼하여 船體가 細長하다고 보아 길이 方向으로 船體를 Taylor 級數로 展開하고 있다. 展開된 結果의 order를 判定하여 各 station에서

接受日字：1983年 8月 4日, 再接受日字：1983年 8月 25日

\* 正會員, 서울大學校 工科大學造船工學科

는 區間的으로 船體가 2次元柱狀體로 나타나다록 簡易化하였으며, 그 有用性을 立證하였다.

이러한 Kan의 船體形狀表現을 Maruo의 抵抗增加計算에 導入하면 前述한 바의 Maruo理論에서의 船體表現 上에서의 不合理點을 없앨 수 있을 것이 기대된다.

Series 60  $C_b=0.6$ 船形에 對한 計算結果에 依하면 Maruo의 理論에 依한 計算結果에 比하여 Kan의 船體形狀表現方法을 使用하여 計算한 結果가 Sibul의 實驗結果와 더욱 잘맞는 것을 確認할 수 있었다.

### 2. 波浪中에서의 抵抗增加에 對한一般式

船體의 中心을 지나는 鉛直線과 平均 吃水가되는 水線面이 맞나는 交點을 原點으로 하며 船首方向이  $x$ 軸의 陽이되는 右手 直交座標系를 擇하자. 船體周圍의 流體流動이 理想流體流動이라고 하였을 때, 速度 포텐셜이 存在하게 된다. Maruo는 船體를 原點으로부터 無限遠方에서 돌리샤는 檢査面을 생각하고, 이 面을 통한 流體粒子가 갖는 에너지 時間變化率의 時間平均値로부터 抵抗增加를 求할 수 있다고 생각하였다. 規則波로 因한 포텐셜과 船舶의 運動으로 因한포텐셜을 사용하여 數學的 演算을 거쳐 (1)式으로 주어지는 波浪中에서의 抵抗增加를 얻었다[2].

$$D_A = \frac{\rho U^2}{2\pi} \left[ - \int_{-\infty}^{-\alpha} + \int_{-\beta}^{\infty} \right] \frac{(m+k_0\Omega)^2(m+k)}{\sqrt{(m+k_0\Omega)^4 - k_0^2 m^2}} |H(m)|^2 dm \quad (1)$$

단  $k_i \cos \theta = m \quad i=1, 2$

$$\alpha = \frac{1}{2}(1+2\Omega + \sqrt{1+4\Omega})$$

$$\beta = \frac{1}{2}(1+2\Omega - \sqrt{1+4\Omega})$$

$$k_0 = g/U^2$$

$$\Omega = U\omega_e/g$$

여기서 Maruo는 船體表面에서의 境界條件을 充足시키는 特異點 分布函數  $H(m)$ 을 얻기 위하여 Michell 近似를 使用하고 있다. 따라서 前述한 바와 같이 strip 理論에 依하여 船舶의 運動應答을 計算할 때 適用되 었던 것과는 다른 船體表現方式이 適用되게 된다는 問題點이 남게 된다.

### 3. 船體形狀의 表現

航海速度에서의  $F_n$ 가 크지 않으므로 二重模型 近似가 이루어질 수 있다고 하였을 때, 圆柱座標系를 使用

하여 船體表面에 分布된 特異點系로서 攪亂流動에 對한 포텐셜을 나타내던 (2)式이 된다.

$$\begin{aligned} \phi(x, r, \theta) &= -\frac{1}{4\pi} \iint_S \frac{q'}{\bar{R}} dS' \\ &= -\frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^{2\pi} \frac{q'R'F'}{\bar{R}} d\theta' dx' \quad (2) \end{aligned}$$

여기서  $q'$ 는  $(x', r', \theta')$ 을 중심으로 하는 面要素  $S'$ 에 分布된 特異點系의 세기를 나타내며,  $\bar{R}$ 는 流體中의 任意의 點  $P(x, r, \theta)$ 으로부터  $S'(x', r', \theta')$ 까지의 거리를 나타낸다. 또  $F'$ 은  $S'(x', r', \theta')$ 에서의 船體表面의 勾配  $\partial R'/\partial x'$ 과  $\partial R'/\partial \theta'$ 으로 표시되는 값이다. 즉  $S'$ 까지의  $r$ 좌표를  $R'=R(x', \theta')$ 으로 나타낼때

$$\bar{R} = (x-x')^2 + r^2 + R'^2 - 2rR' \cos(\theta-\theta') \quad (2)'$$

$$F' = \left[ 1 + \left( \frac{\partial R'}{\partial x'} \right)^2 + \left\{ \frac{1}{R'} \left( -\frac{\partial R'}{\partial \theta'} \right) \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (2)''$$

의 關係를 갖게 된다.

그런데 船體表面에 局限하여 생각하면 船體表面에서 誘起되는 法線方向으로의 포텐셜에 依한 速度成分은 (3)式으로 주어지게 된다.

$$v_n = -\frac{q}{2} + \frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^{2\pi} \frac{q'R'F'N}{\bar{R}^3 F} d\theta' dx' \quad (3)$$

여기서

$$N = R - R' \cos(\theta - \theta')$$

$$-(x-x') \frac{\partial R}{\partial x} - R' \sin(\theta-\theta') \frac{\partial R}{R\partial \theta}$$

$$\bar{R} = \{(x-x')^2 + R^2 + R'^2 - 2RR' \cos(\theta-\theta')\}^{1/2}$$

그런데 이 速度成分은 船體運動으로 因한 速度成分  $V_n$ 과 相衰되어 船體表面에서의 境界條件을 充足시켜야 된다. 즉 (4)式으로 주어지는 積分方程式의 解로부터 特異點의 세기를 決定할 수 있게된다.

$$P(x, \theta) = -2\bar{V}_n(x, \theta)$$

$$-\frac{1}{2\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^{2\pi} P(x', \theta') \bar{K}(x, \theta; x', \theta') d\theta' dx' \quad (4)$$

여기서

$$\bar{K}(x, \theta; x', \theta') = R' \left\{ R - R' \cos(\theta - \theta') \right.$$

$$\left. - (x-x') \frac{\partial R}{\partial x} - R' \sin(\theta-\theta') \frac{\partial R}{R\partial \theta} \right\} \frac{1}{R^3}$$

그런데 (4)式의 解를 얻는에는 많은 時間이 所要되는 問題點이 있게 된다.

(4)式의  $x=x'$ 에 對하여 Taylor series로 級數展開를 實施하고, 船體가 細長하다는 特徵에 依하여 微少項들을 省略하므로써 (5)式을 얻을 수 있게 된다[6].

$$P(x; \theta) = -2\bar{V}_* (x; \theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P(x; \theta') K_0(x; \theta, \theta') d\theta \quad (5)$$

여기서

$$K_0(x; \theta, \theta') = 2R^* \left[ R^* \cos(\theta - \theta') - R + R^* \sin(\theta - \theta') \frac{\partial R}{R \partial \theta} \right] \frac{1}{R_M} + \left[ R^* \cos(\theta + \theta') - R + R^* \sin(\theta + \theta') \frac{\partial R}{R \partial \theta} \right] \frac{1}{R_p} \quad (5')$$

$$R_M = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta - \theta') \quad (5'')$$

$$R_p = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta + \theta')$$

(5)식에 依하면 各 station에서의 特異點의 세기는 그 內에 存在하는 特異點들 만으로 表現되게 된것을 알수 있게 된다. 즉, 그 station에서는 區間的으로 船體를 柱狀體로 본것과 同一한 形態가 되게 된다.

따라서 船體의 表面形狀을 나타내는 特異點系를 決定함에 있어서 strip 理論에서와 같이 그 station內에 存在하는 表面要素만을 생각하게 되어 船形表現이 좀 더 一貫性있게 이루어지게 된다.

#### 4. 數值計算 및 考察

船舶의 縱規則波中에서의 上下動搖를  $z$ , 縱動搖를  $\theta$  그리고 縱規則波의 수직속도를  $V_w$ 라 할때 이들은 다음의 式들로 表示된다.

$$z = z_0 \exp [i\omega t + \varepsilon_z]$$

$$\theta = \theta_0 \exp [i\omega t + \varepsilon_\theta]$$

$$V_w = -K_c \xi_0 \exp [k(z + ix)] \exp [i\omega t] \quad (6)$$

이들로부터 船體 表面上의 任意點에서 法線方向으로 的 船體運動速度가 얻어지게 된다. 따라서 이들을 (5) 式에 代入하여 特異點의 세기를 積分方程式의 解로부

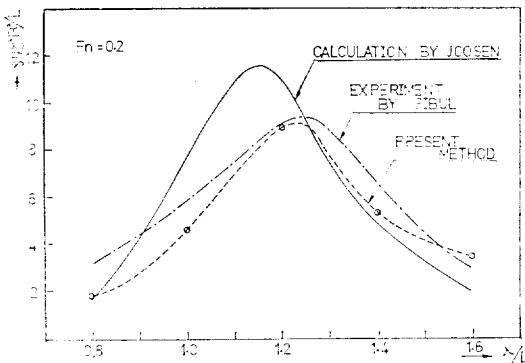


Fig. 1. Added Resistance

터 얻고, 이를 다시 (1)式에 代入하므로써 縱規則波中에서의 抵抗增加를 얻을 수 있게 된다.

Series 60  $C_b=0.6$  船形에 對하여 Shintani[5]가 求한 運動資料  $z_0, \varepsilon_z, \theta_0, \varepsilon_\theta$ 를 使用하여 上送한 바의 順序로 數值計算을 遂行한 結果 Fig. 1을 얻었다.

Fig. 1에 依하던 計算結果는 Sibul의 實驗實驗結果와 잘 一致되는 것을 確認할 수 있다. 같은 船形에 對하여 Joosen[4]이 漂流力에 關한 Maruo의 理論을 漸近 展開함으로서 抵抗增加에 對한 計算을 遂行한 結果와 比較하면 本 論文에서 求한 抵抗增加의 最大值가 나타나는 位置와 그 크기가 Sibul의 實驗結果에 더욱 잘 一致되는 것을 알수 있다.

#### 5. 結 言

提案된 方法에 依하여 波浪中에서의 抵抗의 增加를 計算하던가 提案한 簡易計算法보다. 船形表現에서 一貫性을 지니게 될뿐 아니라, 計算結果도 實驗値에 더욱 가깝게 改善되는 것으로 믿어진다. 그러나 數值計算에 使用한 船形 및 船速等의 變化에 따른 運動應答 및 抵抗增加에 關한 實驗資料가 制限되어 있는 關係로 一般的으로 結論을 내리기에는 充分치 못하다고 判斷된다. 따라서 多樣한 船形과 速度等에 對하여 確實한 運動應答資料를 確保하여 計算을 遂行함으로서 提案한 方法의 有用範圍等에 對하여 確認하고 檢證하는 것이 必要하다고 判斷된다.

#### 參 考 文 獻

- [1] Havelock, T.H., "The Resistance of a Ship among Waves", *Proc. Roy. Soc. A*, Vol. 161, 1937, pp. 299-308.
- [2] Maruo, H., H., "Resistance in Waves", *60th Anniversary Series*, Chap. 5, Vol 8, The Society of Naval Architects of Japan, 1963, pp. 67-102.
- [3] Kan, M., "Calculation of Non-lifting Potential Flow about Ship Hulls", *J. of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 128, 1970.
- [4] Joosen, W.P.A., "Added Resistance of Ships in Waves", *6th Naval Hydrodynamic Symposium*, Vol. 2, 1966.
- [5] Shintani, A., "Comparision of Computer Program Results and Experiments for Ship Behaviour in Regular Head Seas", *I.T.T.C.*, 1966, pp. 430-

- 432.
- [6] 金相久, “船體表面에 分布된 特異點系를 利用한 縱規則波中에서의 附加抵抗 計算”, 서울大學校 大學院 碩士學位論文, 1981.
- [7] Kim, H. and Lee, S.H., “On the Added Resistance of a Submerged Spheroid”, *Engineering Report*, Vol. 14, No. 2, Seoul National University, 1982.
- [8] Gerritsma, J. and Beukelman, W., “Analysis of the Resistance Increase in Waves of Fast Cargo Ship”, *I.S.P.*, Vol. 19, No. 217, 1972.
- [9] Takagi, M., Hosoda, R., Higo, Y., “An Investigation into Gerritsma’s Formula of the Resistance Increase by Energetics”, *J. West-Japan Soc. Naval Arch.*, Vol. 170, 1978.
- [10] Hosoda, R., “The Added Resistance of ship in Regular Oblique Waves”, *J. Soc. Naval Arch. Japan*, Vol. 133, 1973.