

---

 論 文
 

---

大韓造船學會誌  
 第23卷 2號 1986年 6月  
 Journal of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 23, No. 2, June 1986

## 선박의 파랑중 부가저항 계산법에 관한 연구

류 재 문\* · 김 호 철\*\*

On the Prediction Method of Added Resistance of Ships in Regular Head Waves  
by

Jae-Moon Lew\* · Hyochul Kim\*\*

## Abstract

Through the momentum considerations, added resistance of a ship in regular waves are studied within the framework of the linear potential theory for a ship moving with a constant mean forward speed. In this paper, added resistance in head waves with comparably small wave length is focused by modifying the Maruo's method.

The strength of the singularities for the Kochin function is modified by considering the diffraction potentials. Slender body theory is used to determine the diffraction potentials as Adachi did. The response of a ship motion is found by using new strip method. For the purpose of comparison with the present method, calculation was also conducted by Maruo's and Gerritsma-Beukelman's method.

Numerical calculations are performed for five different models, that is, Series 60( $C_b=0.6, 0.7, 0.8$ ), S7-175 container ship and blunt bow model. Numerical results obtained by the present method show relatively good correlations comparing with experimental results in the region under considerations.

## 1. 서 언

파랑중을 항해하는 선박이 정수중에서와 같은 속도로 항해하기 위해서는 기관마력을 증가시켜야만 하는 것이 알려져 있다. 이러한 원인으로는 파랑중 조파저항의 증가, 조류 및 바람으로 인한 저항증가등 다양한 요소가 있으나 이중 파랑중에서의 조파저항증가에 관하여서는 선체운동과 입사파와의 상호작용에 기인하는 것으로 보아 많은 연구가 이루어져 있다. 파랑중 조파저항에 미치는 점성의 영향은 아직 정확히 어느정도인가 하는 것이 규명되어 있지 않으나 대체로 점성의 영향은 작은 것으로 보아 무시되어 있다.

파랑중 부가저항을 계산하는 방법으로는 에너지-운동량보존법칙을 적용하여 선체주위의 복잡한 유동현상을 far field에서의 유체유동으로 비교적 간단히 표시하

여 계산하는 방법과 선체표면에 작용하는 압력을 직접 적분하여 계산하는 방법이 있다. Maruo[1], Hosoda[2], Lin-Reed[3], Kim[4] 등은 전자의 방법에 의해 부가저항을 계산하였고, Boese, Faltinsen[5] 등은 직접 압력 적분법을 이용하여 결과를 발표한바 있으며, Gerritsma-Beukelman[7], Salvesen[8] 등은 strip method에서 나타나는 운동방정식의 계수를 이용하여 간단히 부가저항을 계산하는 식을 발표하였다. 이렇게 계산되어지는 부가 저항은 일반적으로 파장이 비교적 짧은 구간에서 실험치 보다 낮게 나타나고 있는 것으로 알려져 있다.

한편 Fujii-Takahashi[8], Kwon[9] 등은 선박의 선수가 blunt 할때 선수에서의 reflection을 추가로 고려하는 실용적인 식을 제시하였다.

본 논문에서는 파장이 비교적 짧은 때의 부가저항계산 결과의 개선을 위해서 에너지-모우먼트 보존법칙을

接受: 1985年 10月 31日, 再接受日字: 1986年 5月 2日

\* 正會員, 충남대학교 공과대학 조선공학과(연구당시: 서울대학교)

\*\* 正會員, 서울대학교 공과대학

사용하고 있는 Maruo의 방식을 준용하여 파랑중 부가저항을 계산하였다. 이 계산에서는 Kochin 함수 계산에 필요한 특이점의 세기 결정에 diffraction potential의 영향을 추가로 고려하였다. diffraction potential을 계산하는데는 Faltinsen의 slender body theory 확장한 Adachi[10]의 결과를 이용하였다. 또한 Maruo의 방식에서는 특이점의 분포 위치를 정의함에 평균 함수의 개념을 도입하고 있으나 여기서는 선체표면에 특이점을 분포시켜 적분형태로 처리하였다. 수치계산은 Series-60선형, S7-175 Container ship 및 blunt bow model을 택하여 실험치가 알려져 있는 속도에서 수행하였으며, 이 계산결과와의 비교목적으로 Maruo의 식과 Gerritsma-Beukelman의 식으로도 함께 계산하여 보았다. 수치계산의 입력자료가 되는 선체 운동응답은 new strip method에 의해 계산하였다. 계산결과와 실험결과와의 비교로부터 본 논문에서 제안하고 있는 방법이 Maruo의 식과 Gerritsma-Beukelman의 식에 비해 관심을 두고 있는 파장이 비교적 짧은 구간에서 실험치에 보다 가까운 결과를 보이고 있음이 확인 되었다.

2. 파랑중 부가저항

기본적인 좌표계 Oxyz는 Fig. 1과 같이 교란되지 않는 자유수선면상 선체중앙에 원점이 놓여있으며, x축의 양의 방향으로 일정속도 U로 이동하고 있는 우수좌표계를 택하였다. 여기서 O<sub>s</sub>는 연직상방이 양이며, O<sub>xy</sub>면은 경수면을 표시한다. 선체가 일정속도로 평면진행파를 받으며, 진행하는 문제를 다루기 위해 다음과 같은 기본가정을 사용하였다.

- i) 유체는 비점성, 비압축성, 비회전성으로 포텐시얼 이론이 적용된다.
- ii) 선체는 평형위치로부터 미소변위운동을 하며,

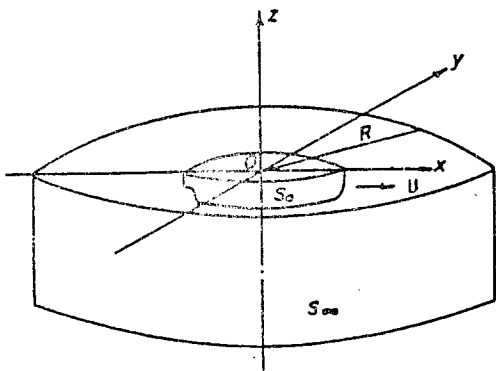


Fig. 1 Coordinate system

입사파와 선체로 인하여 발생하는 파는 미소하다.

iii) 선체는 충분히 세장하다.

iv) 선체는 일정속도 U로 진행하며, 입사파에 대한 선체의 응답은 선형(linear)이다.

Fig. 1과 같이 z축을 중심으로 하는 반경 R인 원주면을 설정하고 그 내부에서 운동하고 있는 선체의침수표면을 S<sub>0</sub>, 원점으로 부터 멀러 떨어진 위치에 있는 원주면을 S<sub>∞</sub>, 자유표면을 S<sub>F</sub>, 저면을 S<sub>B</sub>로 하는 체적 V 내의 유체운동량의 시간에 따른 변화율을 계산하여 x 방향으로 작용하는 힘을 생각하면 다음식이 얻어진다. [1], [16]

$$F_1 = \rho \int_0^{2\pi} R d\theta \int_{-\infty}^{\zeta} \left\{ -\frac{\partial \phi}{\partial R} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \cos\theta \left[ \frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 + gz \right] dz + (\text{linear terms in } \phi) \right. \quad (2.1)$$

식 (2.1)은 자유표면 높이를 포함하고 있는 exact한 식이다.

섭동 포텐시얼  $\phi$ 는 시간과 무관한 정상(steadystate) 부분  $\phi_S$ 와 시간에 관계되는  $\phi_T$ 로 나누어질 수 있으며, 다음식으로 표시된다.

$$\phi = \phi_S(x, y, z) + \phi_T(x, y, z, t) \quad (2.2)$$

여기서  $\phi_S$ : 경수중을 일정속도로 진행하는 정상운동을 나타내는 속도 포텐시얼

$\phi_T$ :  $\phi_S$ 를 제외한 모든 유동을 나타내는 속도 포텐시얼

선형이론에 따르면  $\phi_T$ 는 다음식과 같이 분해된다.

$$\phi_T = \phi_I + \phi_D + \phi_M = \phi_I + \phi_B = Re[(\Psi_I + \Psi_B)e^{i\omega t}] \quad (2.3)$$

여기서  $\phi_I$ : incident wave velocity potential

$\phi_M$ : forced oscillation velocity potential

$\phi_D$ : diffraction velocity potential

$\phi_B$ : ship generated wave velocity potential

$\Psi_I, \Psi_B$ : complex velocity potential

식(2.1)을 2차 order까지 정리하고 식(2.3)의 관계를 대입하면 다음식이 얻어진다.

$$F_1 = F_{1S} + F_{1ST} + F_{1T} + \{(\text{linear terms in } \phi)\} \quad (2.4)$$

여기서  $F_{1S}$ :  $\phi_S$ 만을 포함하는 항

$F_{1ST}$ :  $\phi_S, \phi_T$ 의 연성항

$F_{1T}$ :  $\phi_T$ 만을 포함하는 항

파랑중 선박에 작용하는 부가저항은 변동하는 저항의 시간 평균값에 해당하는 힘이므로 유체력에 대한 시간 평균을 계산하면 식(2.4)으로부터 다음식을 얻을 수 있다.

$$\Delta R = -\overline{\Delta F} = -(\overline{F_1} - \overline{F_{1S}}) = -\overline{F_{1T}} = -\rho \int_0^{2\pi} R d\theta \int_{-\infty}^0 dz \left\{ \frac{\partial \phi_T}{\partial R} \frac{\partial \phi_T}{\partial x} - \frac{1}{2} |\nabla \phi_T|^2 \cos\theta \right\} \quad (2.5)$$

$$+ \frac{\rho}{2g} \int_0^{2\pi} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_T}{\partial t} - U \frac{\partial \phi_T}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial \phi_T}{\partial t} + U \frac{\partial \phi_T}{\partial x} \right) \right\} \cos \theta R d\theta \quad (2.6)$$

식(2.6)을 계산하기 위해서는 far field에서의 ship generated wave velocity potential을 알아야 한다.

입사파의 속도포텐셜  $\phi_I$ 는 다음 식으로 주어질 수 있다.

$$\phi_I = \text{Re} \{ \Psi_I(x, y, z) e^{i\omega t} \} \quad (2.7)$$

여기서

$$\Psi_I = -\frac{g\zeta_0}{\omega} e^{kz} e^{-ik(x\cos\chi + y\sin\chi)} \quad (2.8)$$

$\zeta_0$ : 입사파의 진폭

$$k: \frac{\omega^2}{g}$$

$\chi$ : 입사파의 입사각

입사파의 속도 포텐셜과  $\phi_B$ 의 far field에서의 asymptotic form을 대입하여 정리하면 부가저항은 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \Delta R = & \frac{\rho}{8\pi} \left[ \left\{ \int_{-\pi/2}^{-u_0} + \int_{u_0}^{\pi/2} - \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \right\} |H(\lambda_1, \alpha)|^2 \cdot \frac{\lambda_1(\lambda_1 \cos\alpha - k \cos\chi)}{\sqrt{1-4\Omega \cos\alpha}} d\alpha \right. \\ & \left. + \int_{u_0}^{2\pi-u_0} |H(\lambda_2, \alpha)|^2 \frac{\lambda_2(\lambda_2 \cos\alpha - k \cos\chi)}{\sqrt{1-4\Omega \cos\alpha}} d\alpha \right] \quad (2.9) \end{aligned}$$

$$H(\lambda, \mu) = \iint_{S_{BS}} \left\{ \frac{\partial \Psi_B}{\partial n} - \Psi_B \frac{\partial}{\partial n} \right\} e^{i\lambda(x \cos\mu + y \sin\mu)} ds \quad (2.10)$$

$$u_0 = \begin{cases} 0, & \Omega \leq \frac{1}{4} \\ \cos^{-1}(\frac{1}{4}\Omega), & \Omega > \frac{1}{4} \end{cases} \quad (2.11)$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{k_0}{2} \frac{1-2\Omega \cos\alpha \pm \sqrt{1-4\Omega \cos\alpha}}{\cos^2\alpha} \quad (2.12)$$

식(2.9)에  $\lambda_i \cos\alpha = m (i=1, 2)$ 의 치환을 이용하여 수치 계산이 용이하게 변형한 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta R = & \begin{cases} \frac{\rho}{4\pi} \left\{ -\int_{-\infty}^{m_1} + \int_{m_3}^{\infty} \right\} \cdot \\ \frac{(m+k_0\Omega)^2(m-k\cos\chi)}{\sqrt{(m+k_0\Omega)^4-m^2k^2}} |H(m)|^2 dm, & \Omega > \frac{1}{4} \\ \frac{\rho}{4\pi} \left\{ -\int_{-\infty}^{m_4} + \int_{m_3}^{m_2} + \int_{m_1}^{\infty} \right\} \cdot \\ \frac{(m+k_0\Omega)^2(m-k\cos\chi)}{\sqrt{(m+k_0\Omega)^4-m^2k^2}} |H(m)|^2 dm, & \Omega \leq \frac{1}{4} \end{cases} \quad (2.13) \end{aligned}$$

여기서

$$H(m) = \sum_{i=1}^5 \alpha_i H_i(m) + H_D(m) \quad (2.14)$$

$\alpha_i$ 는  $i$ 방향의 동요진폭

$$m_{1,2} = \frac{k_0}{2} (1-2\Omega \pm \sqrt{1-4\Omega}) \quad (2.15)$$

$$m_{3,4} = \frac{k_0}{2} \{ -(1+2\Omega) \pm \sqrt{1+4\Omega} \} \quad (2.16)$$

$$\Omega = \frac{U\omega_e}{g} \quad (2.17)$$

$$k_0 = \frac{g}{U^2} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} H_i(m) = & \iint_{S_{BS}} ds \left\{ \frac{\partial \Psi_i}{\partial n} - \Psi_i \frac{\partial}{\partial n} \right\} \exp \left\{ \frac{(m+k_0\Omega)^2}{k_0} \zeta + im\xi + im^*\eta \right\} \quad (2.19) \end{aligned}$$

단  $i=3, 5$

$$\begin{aligned} H_D(m) = & \iint_{S_{BS}} ds \left\{ \frac{\partial \Psi_D}{\partial n} - \Psi_D \frac{\partial}{\partial n} \right\} \exp \left\{ \frac{(m+k_0\Omega)^2}{k_0} \zeta + im\xi + im^*\eta \right\} \quad (2.20) \end{aligned}$$

$$m^* = \frac{1}{k_0} \sqrt{(m+k_0\Omega)^4 - k_0^2 m^2}$$

### 3. 세장체 이론에 의한 diffraction문제

전절에서 도출된 부가저항 계산식은 diffraction potential을 알아야 계산되는 Kochin 함수로 표시되고 있다. 여기서는 맞파도를 받을 때의 diffraction potential을 계산함에 있어서 파장이 작다는 가정하에 구해진 Faltinsen의 세장체 이론을 확장한 Adachi의 방법을 활용하였다.

교란되지 않은 자유수선면상 선체 중앙에 원점이 놓여 있으며,  $x$ 축의 음의 방향으로 일정속도  $U$ 로 이동하는 우수직교좌표계를 택하고 선체는 조화운동이 구속되었다고 가정한다. (이 좌표계는 2절에서 취한 기본좌표계와 다르나 편의상 이를 이용하고 최종 결과를 2절의 좌표계로 바꾸기로 한다.)

전체 속도 포텐셜  $\Phi$ 는 다음 경계치 문제의 해이다.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0, \quad z \leq 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad \text{on hull surface} \quad (3.2)$$

$$g\zeta + \Phi_t + \frac{1}{2} |\nabla \Phi|^2 = \frac{1}{2} U^2 \quad (3.3)$$

$$\Phi_x \zeta_x + \Phi_y \zeta_y - \Phi_z + \zeta_t = 0 \quad \text{on } z = \zeta(x, y, t) \quad (3.4)$$

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \nabla \Phi = 0 \quad (3.5)$$

이외에 velocity potential은 radiation condition을 만족해야 한다. Faltinsen은 matched asymptotic expansion method를 이용하여 원형단면을 가지는 선체의 diffraction 포텐시얼을 계산하였고, Adachi, Skjördal은 Maruo-Sasaki[11]의 matching법을 적용하여 임의 단면의 선체에 대한 문제를 확장시켰다.

이 방법에서는 유체 영역을 선체로부터 멀리 떨어진 유체영역 (far field)과 선체 근방의 유체영역 (near field)으로 나누어 해를 얻게 된다. 즉 far field에서는 선체의 특성이 나타나지 않게 되므로 선체는 자유표면상의 line source로 표시될 수 있다는 가정하에 far field에서의 해를 구하고, near field에서의 포텐시얼은 길이방향의 변화율이 미소하다는 가정하에 입사파의 입사각을 고려하게 되는 2차원 Helmholtz 방정식을 풀어 구하였다. 이렇게 얻어진 해는 matching 경계면에서 등치된다는 조건으로부터 source strength를 결정할 수 있게 되어 유체전역에서 적용될 수 있는 diffraction 포텐시얼들이 얻어지게 된다.

식(2.13)의 부가저항 계산에서는 전진속도가 있을 때 선체 단면에서의 velocity potential이 필요하므로 여기서는 near field에서의 결과만을 인용하였다.

$$\phi_D(x, y, z) = -\Psi_D(x, y, z)e^{i(\omega_s t - kx)} \quad (3.6)$$

여기서  $\Psi_D(x, y, z)$ 는  $x$ 방향으로 서서히 변화하는 함수이며 다음식으로 얻어진다.

$$\Psi_D = -\frac{g\zeta\sigma}{\omega} e^{kz} + A(x) \cdot \Phi(k, y, z) \quad (3.7)$$

$$\Phi(k, y, z) = e^{kz} + \int_c k\gamma(s', k) \{G(ky, kz; k\eta, k\zeta) + G(ky, kz; -k\eta, k\zeta)\} ds' \quad (3.8)$$

$$G(ky, kz; k\eta, k\zeta) = K_0 \{k\sqrt{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}\} + \frac{1}{4} \left( \int_{-\infty}^{\infty} + \int_{-\infty}^{-\infty} \right) \frac{\cosh\mu + 1}{\cosh\mu - 1} e^{i\mu(y-\eta) + k(x+\zeta) \cosh\mu} d\mu \quad (3.9)$$

식(3.8)의  $\gamma$ 는 선체단면상에 분포된 Helmholtz wave source의 세기이며, 다음과 같은 제 2종 Fredholm integral equation의 해이다.

$$\pi k\gamma(s, k) + \int_c k\gamma(s', k) \left[ \frac{\partial}{\partial N} G_+ + \frac{\partial}{\partial N} G_- \right] ds' = -\frac{\partial}{\partial N} e^{k\zeta(s)} \quad (3.10)$$

미지함수  $A(x)$ 와 source strength  $\sigma(x)$ 는 다음식의 해로 얻어진다.

$$A(x) = -\frac{\sigma(x)}{4\pi \int_c k\gamma(s', k) e^{k\zeta(s')} ds'} \quad (3.11)$$

$$\sqrt{\frac{k\omega}{2\pi(\omega_s + kU)}} e^{-i\pi/4} \int_{-L/2}^x d\xi \frac{\sigma(\xi)}{\sqrt{x-\xi}}$$

$$+ \left\{ \frac{1}{2\sqrt{2}} - \frac{1}{4\pi \int_c k\gamma(s', k) e^{k\zeta(s')} ds} \right\} \sigma(x) - \frac{g\zeta\sigma}{\omega} = 0 \quad (3.12)$$

여기서 식(3.12)의 Volterra integral equation은 Skjördal[12]이 이용한 numerical quadrature를 사용하여 계산하였다.

식(3.7)~(3.12)을 이용하면 velocity potential은 다음 식으로 얻어지게 된다.

$$\phi_D(x, y, z) = -\frac{g\zeta\sigma}{\omega} e^{kz+ikx} - \frac{\Phi(k, y, z)}{4\pi \int_c k\gamma(s', k) e^{k\zeta(s')} ds'} \sigma(x) e^{-ikx} \quad (3.13)$$

이 결과를 2절의 좌표계로 바꾸어주면 diffraction potential은 다음식으로 얻어진다.

$$\phi_D(x, y, z) = -\frac{g\zeta\sigma}{\omega} e^{kz+ikx} - \frac{\Phi(k, y, z)}{4\pi \int_c k\gamma(s', k) e^{k\zeta(s')} ds'} \sigma(x) e^{ikx} \quad (3.14)$$

#### 4. 수치 계산 및 고찰

수치 계산은 실험치가 많이 알려져 있는 Series 60선형에 대하여서는  $C_b=0.6, 0.7, 0.8$ 을 택하였으며, ITTC 내항성 표준 선형인 S7-175 Container Ship, Nakamura 교수가 실험에 이용한 선수부 수선면이 반원형인 blunt bow model에 대해 계산하였다.

같은 선형에 대하여 Maruo의 이론식과 Gerritsma-Beukelman의 식으로도 계산하여 자기 다른 방법에 따른 차이를 비교 검토하였다. 이 계산에서는 선체를 길이방향으로 20등분하고 선체 각단면에서는 7구간으로

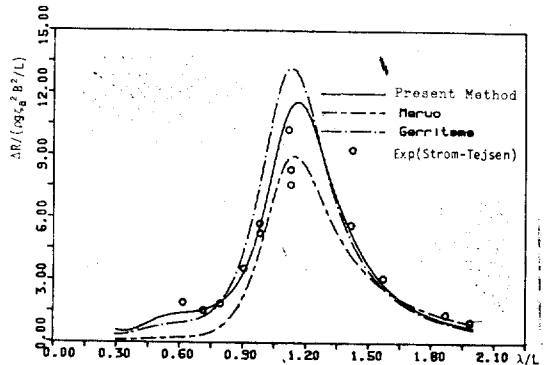


Fig. 2 Added resistance coefficients of series 60 model for  $C_b=0.6$  and  $Fn=0.266$

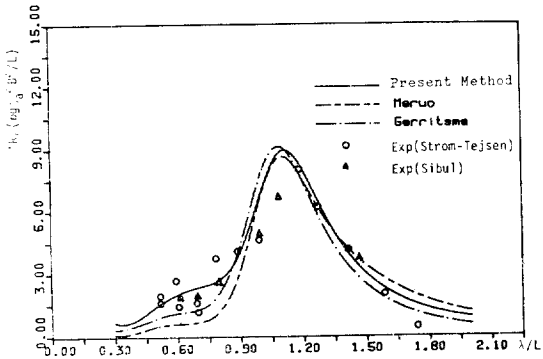


Fig. 3 Added resistance coefficients of series 60 model for  $C_b=0.7$  and  $F_n=0.2$

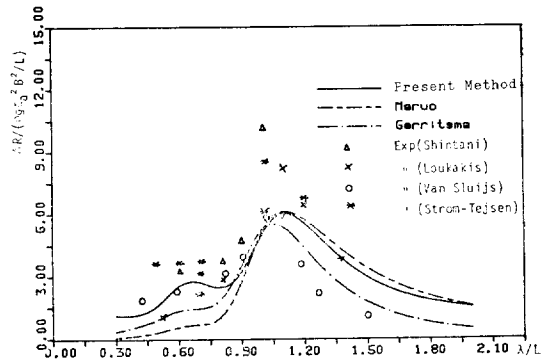


Fig. 4 Added resistance coefficients of series 60 model for  $C_b=0.8$  and  $F_n=0.15$

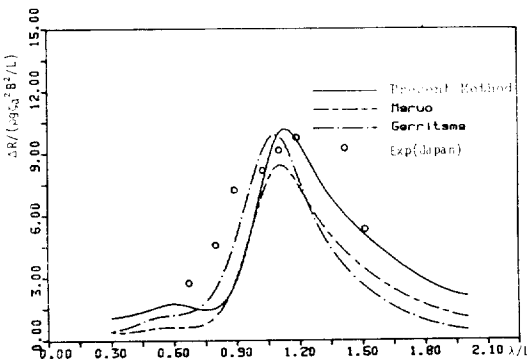


Fig. 5 Added resistance coefficients of S7-175 model for  $C_b=0.57$  and  $F_n=0.25$

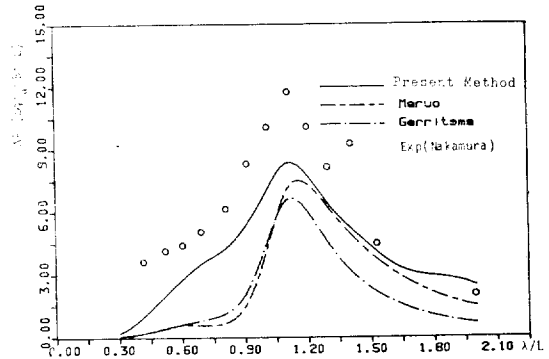


Fig. 6 Added resistance coefficients of blunt bow model for  $F_n=0.2$

나무어 그 단면에 작용하는 2차원 유체력을 계산한후 new strip method를 적용하여 선체운동응답을 계산하였다. Fig. 2는 Series 60,  $C_b=0.6$ ,  $F_n=0.266$ 에 대한 계산결과로서 Maruo의 계산식에 의한 계산 결과는 다른 방법에 비해 전반적으로 낮게 나타나고 있으며, Gerritsma-Beukelman식에 의한 계산결과는 Maruo식의 결과보다는 큰 값을 보이고 특히 Peak 부근에서 두드러짐을 볼 수 있다. 제안하고 있는 방법에 따라 파장이 짧은 구간에서 계산을 수행한 계산결과가 Maruo의 계산식이나 Gerritsma-Beukelman의 계산식에 의한 결과에 비해 실험치에 좀더 접근된 결과를 주고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 Series 60,  $C_b=0.7$ ,  $F_n=0.2$ 에 대한 계산결과로서  $\lambda/L$ 이 대략 1.2보다 클 때는 본 논문에서 제안하는 식 및 Maruo의 방법에 따른 결과는 거의 같은 값을 주나 Gerritsma-Beukelman의 식에 의한 결과만이 다소 낮은 값을 보인다.  $\lambda/L$ 이 대략 0.9보다 작은 때에는 계산결과가 Mauro의 계산식, Gerritsma-

Beukelman의 계산식, 본 논문에 의한 식순서로 크게 나타나고 있으며, 이중 본 논문에서 제안하는 방법이 가장 합리적인 결과로 생각된다. 실험치는  $\lambda/L$ 이 0.9보다 작을 때 안정된 결과를 주지 못하며 이것은 부가 저항이 2차동유체력에 기인하는 작은 양이므로 이러한 구간에서의 일사파는  $\lambda/L$ 이 작은 규칙파일뿐 아니라 파고 역시 작아지게 되므로 미소한 계측 오차도 부가 저항을 무차원화하는 과정에서 크게 나타나게 되기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 4는 Series 60,  $C_b=0.8$ ,  $F_n=0.15$ 에 대한 결과로서 Fig. 2 및 Fig. 3과 동일한 특성을 보이고 있으며, 실험치는 Fig. 3에 비해 더욱 안정된 값을 주지 못하고 있음을 알 수 있다. 이것은 선박이 비대해진 이유 외에 속도가 낮다는 이유가 첨가되어 나타나는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 S7-175,  $F_n=0.25$ 에 대한 결과로서 대체로  $\lambda/L$ 이 1.2보다 큰 곳에서는 방법에 따른 차이가 비교적 크게 나타나고 있는바 이것은 S7-175 선형이 bulb

를 가진 때문으로 생각된다.

Fig. 6는 blunt bow,  $F_n=0.2$ 에 대한 결과로서 Gerritsma-Beukelman의 계산식에 의한 결과가 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 본 논문에서 제안하는 방법에 의한 계산결과가 정성적으로 실험치의 특성을 가장 잘 나타내는 것으로 나타났으나 정량적으로는 아직도 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 부가 저항계산에 이용되었던 선체운동응답 및 위상각에 의한 차이도 있었으나 선수가 blunt 할 때 나타나는 비선형 효과로 인한 영향이라 생각된다. 이상의 계산결과와 실험치의 비교에 의해 실험치와 차이는 선박이 비대해 질수록 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. Maruo의 방법에 의한 계산결과는 파장이 비교적 짧을 때 가장 낮은 값을 주는 것으로 나타났으며, Gerritsma-Beukelman의 계산식에 의한 결과는  $C_b$ 가 커짐에 따라 작은 값을 주는 것으로 나타났다.

Maruo의 방법이 파장이 비교적 짧을 때 낮은 값을 주는 것은 Maruo의 식에서 사용하는 특이점의 세기가 단면의 평균흘수에 놓인 집중 특이점으로 표시되기 때문에 파장이 짧은 구간에서 작게 나타나는 것으로 생각 된다.

Gerritsma-Beukelman의 계산식에 의한 결과가  $C_b$ 가 커짐에 따라 작게 나타나는 것은 선박이 비대해 질수록 중앙평행부(parallel middle body)가 늘어나게 되므로 이식에서 나타나는 부가저항의 길이 방향변화율( $dM_H/dx$ )이 상대적으로 작게 계산되어지기 때문이라고 여겨진다.

## 5. 결 론

규칙파중을 일정한속도로 진행하는 선박에 작용하는 부가저항문제를 선형이론으로 다루었으며, 특히 파장이 비교적 짧을 때에는 실험치와 이론 계산치의 차이가 크게 나타나므로 이를 구명하는데 착안하였다. 수치계산결과 다음과 같은 사실을 확인하였다.

1. 세장체 이론을 적용하여 diffraction potential을 계산하고 이로서 특이점의 세기를 결정하여 이를 선체 표면에서 적분형태로 처리하는 본 논문에서의 방법이 관심을 두고 있는 파장이 비교적 짧은 구간에서 Maruo의 식이나 Gerritsma-Beukelman의 식에 의한 결과보다 실험치에 가까운 값을 주고 있다.

2. 부가저항 계산에서 diffraction potential에 의한 영향은 파장이 비교적 짧은 구간에서는 무시할 수 없을 정도로 중요하다는 결론을 얻었다.

## References

- [1] Maruo, H., "Resistances in waves", 60th Anniversary Series, Vol. 8, SNAJ., 1963.
- [2] Hosoda, R., "The added resistances of ship in regular waves", *J.S.N.A.*, Vol. 133, 1973.
- [3] Lin, W., Reed, A.M., "The second order steady force and moment on a ship moving in an oblique seaway", 11th Sympo. on Naval Hydrodynamics, 1976.
- [4] Kim, Y.H., "Computation of the second-order steady forces acting on a surface ship in an oblique waves", DTNSRDC/SPD 0964-01, 1981.
- [5] Faltinsen, O.M., "A rational strip theory of ship motions: Part II", Univ. of Michigan, Report No.113.
- [6] Gerritsma, J., Beukelman, W., "Analysis of the resistance increase in waves of a fast cargo ship", *I.S.P.*, Vol. 19, No.217, Sep., 1972.
- [7] Salvesen, N., "Second-order steady state forces and moments on surfaces ships in oblique regular waves", Sympo. Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, April, 1974.
- [8] Fujii, H., Takahashi, T., "Experimental study on the resistance increase of a ship in regular oblique waves", *Proc. 14th ITTC*(Ottawa), 1975.
- [9] Kwon, Y.J., "The effect of weather, particularly short sea waves on ship speed performances", Ph.D. Thesis, Univ. of Newcastle upon Tyne, 1981.
- [10] Adachi, H., "On the calculation of wave exciting forces on ship translating in head waves", *JSNA* Vol. 143, 1978.
- [11] Maruo, H., Sasaki, N., "On the wave pressure acting on the surface of elongated body fixed in head seas", *JSNA*, Vol. 136, 1974.
- [12] Skjoldal, S.O., "A rational strip approach for the evaluation of springing", Ph.D. Thesis, Univ. of Trondheim, 1978.
- [13] Ursell, F., "The expansion of water-wave potentials at great distances", *Proc. Camb. Phil. Soc.* Vol. 64, 1968.
- [14] Ursell, F., "On head seas travelling along a

horizontal cylinder", *J. Inst. Maths. Applics.*, 1968.

with blunt bow", *J. Kansai, S.N.A.*, Vol. 190, 1983.

[15] Nakamura et al., "Experimental study on resistance increase in regular head waves of a ship

[16] 柳在文, "船舶의 波浪中 附加抵抗 計算法에 關한 研究", 서울대 학교 공학박사학위논문, 1985.