

## 참치 선망 어선의 선형개발에 관한 연구

김 인 칠  
부경대학교  
(1999년 6월 28일 접수)

### A Study on the Development of Tuna Purse Seiner

In-Chul KIM  
Pukyong National University  
(Received June 28, 1999)

#### Abstract

The purpose of the present research is to develop an efficient numerical method for the calculation of potential flow and predict the wave-making resistance for the application to ship design of tuna purse seiner.

Havelock was considered the wave resistance of a post extending vertically downwards through the water from the surface, its section by a horizontal plane being the same at all depths and having its breadth small compared with its length. This enables us to elucidate certain points of interest in ship resistance.

However, the ship has not infinite draft. So, the problem which is investigated in detail in this paper is the wave resistance of a mathematical quadratic model in a uniform stream.

The paper deals with the numerical calculation of potential flow around the series 60 with forward velocity by the new slender ship theory. This new slender ship theory is based on the asymptotic expression of the Kelvin-source, distributed over the small matrix at each transverse section so as to satisfy the approximate hull boundary condition due to the assumption of slender body.

The numerical results using the panel shift method and finite difference method are compared with the experimental results for Wigley mono hull. There are no differences in the wave resistance.

However, it costs much time to compute not only wave resistance but also wave pattern over some range of Froude numbers. More improvements are strongly desired in the numerical procedure.

#### 서 론

국내 어선의 기술 개발 수준은 개발 차원보다는  
기존 기술 수준의 집약적인 형태를 보이고 있으

며, 현대화된 표준 어선의 개발 단계에는 아직 못  
미치고 있다. 특히 농수산물의 수입개방과 국제간  
의 어선 안전협약 발효에 따라 어업 경쟁력을 고  
려한 어선의 안전 및 성능 향상과 어업 생산성의

향상을 위한 표준 어선의 개발이 매우 절실히 요구되고 있다.

참치 선망어선의 선형개발에 관한 연구는 1990년에 들어서야 겨우 그 필요성을 느끼게 되어 한국형 참치 선망어선에 대한 설계 사업이 추진되어 왔다. 1200톤 급 한국형 참치 선망 어선은 원양업계와 중형 이상의 조선업계의 협조 아래 한국 해사기술이 경험적인 방법에 의하여 설계하였다. 그러나, 참치 선망어선의 기본 성능에 대해서는 체계적인 해석방법보다는 경험에 의한 변수들을 고려하여 설계하였으므로 이에 대한 선형결정 방법에 새로운 해석 기법을 도입해야 한다.

선박의 초기설계단계에서 가장 중요한 것은, 계획하고 있는 선형의 저항 및 추진성능을 신속히 파악하는 것이며, 나아가서는 저항이 최소가 되고 추진효율이 우수한 선형을 찾아내는 일이라 할 수 있다. 따라서 참치 선망 어선의 선형개발을 위하여 우선 최소 조파저항을 갖는 선형 결정을 위한 조파저항의 이론해석이 필요하고 이에 따른 실험적 검증이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 국내 원양 어업의 구조 개선과 어업 경쟁력 향상을 위한 참치 선망 어선의 개발을 위하여 주어진 선형 및 자유표면의 일부를 패널로 분할하고, 이 패널내에 Rankine source를 분포시켜 선체 주위의 유동 및 조파저항 성분을 계산하였다. 방사조건으로는 패널이동법과 4점 유한차분법을 만족하는 프로그램 코드를 개발하고, 이들에 대하여 Wigley의 선형에 적용하여 실험치와 비교하였다.

## 참치 선망어선의 저항 추진 성능 해석

### 1. 저항 · 추진 성능의 합리적 평가

원유자원이 전혀 없는 우리 나라 입장에서는 언제 도래할지 모르는 유류 파동에 항상 대비해야 하기 때문에 에너지 절약형 산업구조로 추진하지 않으면 안 된다. 어업도 전혀 예외일 수는 없으며, 에너지 절약형 어선이야말로 영세어민에게는 어선 어업의 경영적 수지를 호전시키고, 국가적 차원에서는 외화의 절약과 환경 오염을 줄여주는 효과를

가져올 것이다.

기존어선의 변화추이를 조선공학적 기술측면에서 보면 어선의 대형화와 고속화 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 이러한 경향을 뒷받침하는 원인들로는,

- ① 어로 기계화 및 어구증량의 증대
- ② 어장의 원격화에 따른 탑재 연료유 및 기타 소비성 증량
- ③ 속도증대에 의한 엔진마력증대로 주, 보기 증량 증가
- ④ 어획물 다획에 대비한 어창용적 증대 등을 생각할 수 있다.

이와 같은 어선의 대형화, 고속화 현상은 어선의 저항추진 성능을 불리하게 하고 또한 고속화를 위한 주기판 용량 증대로 어선의 대형화라는 연쇄고리를 형성하게 된다. 이와 같은 현상이 계속되면 투입하는 연료비 증가로 어업의 채산성 면에서 비경제적인 어선이 되어 버린다. 그러므로, 참치 선망어선의 기하학적 특성과 저항추진 성능을 합리적으로 평가할 수 있는 방법이 정립되어 이로부터 항해속력에 적합한 최적어선 규모와 주기판 크기를 결정할 수 있도록 되어야 한다.

어선의 저항, 추진성능을 평가하기 위한 방법은 일반적으로

- ① 계열모형 실험자료로부터 도출된 성능곡선도 이용
- ② 설계선형 하나 하나에 대한 개별 모형시험 실시

③ 실적선 모형시험 자료로부터 통계 해석적 방법을 사용하여 만든 추정방정식 이용과 같은 3가지 방법을 고려할 수 있으나, ①의 경우 업종별로 선형특성에 맞게 만들어진 다양한 성능곡선도가 없을 뿐 아니라, 전산화하기 어렵기 때문에 설계자에게는 사용이 불편하며, ②의 경우 모형시험에 투입되는 비용과 시간이 많이 들어가고 아울러 선형요소를 결정하는 초기단계에서는 시험을 할 수 없는 등 문제점이 있다. ③의 경우는 과거 모형 시험된 실적자료만 많이 확보되어 있다면 추진성능 추정식을 만들기가 용이하고, 전산화하기도 쉬워서 정도 있는 성능평가를 할 수 있다. 참치 선망어선에 적합한 고유의 추정식을 개발하는 것이 가장

좋으나, 많은 시간, 인력과 자금이 필요하기 때문에 현시점에서는 매우 힘든 형편이다.

## 2. 선형 주위의 유동장 평가

대용량 컴퓨터 보급이 최근 확산됨에 따라 모형 시험 혹은 소요동력 계산에만 의존하던 어선의 선형 개발이 최근에는 컴퓨터를 이용한 수치 시뮬레이션으로부터 선형 주위의 흐름의 특성, 즉 유속, 압력, 유선 등을 구하고 이 값들이 선형의 누골 형상 변화에 따라 어떤 경향성을 갖는가를 평가하므로써 결정될 수 있게 되었다.

이 방법에서는 선체 표면을 일정한 요소인 패널로 분할하고, 각 요소에 특이점을 분포시켜 선체 주위의 유동현상을 해석한다<sup>(1,2,3)</sup>.

이 방법은 점성이 무시된 포텐셜 이론임에도 불구하고 어선의 선형이 일반상선에 비해 날씬하며, 경계층 두께가 비교적 얇기 때문에 어선 선형설계에 유용하게 활용될 수 있다. 무한수심의 균일 흐름 속에 선체가 고정되어 있고, 선체 전방의 유체 유입속도를  $U$ 로 하고, Fig.1과 같은 우수직교좌표계를 취하기로 한다.

유체는 비점성, 비압축이고 유동은 비회전이라 가정하면 속도포텐셜(velocity potential)을 다음과 같이 정의할 수 있으며, Laplace 방정식을 만족한다.

$$\phi(x, y, z) = Ux + \Phi(x, y, z) \quad (1)$$

$$\nabla^2 \phi(x, y, z) = 0 \quad (2)$$

여기서,  $\Phi$ 는 선체에 의한 교란속도 포텐셜이며 Laplace 방정식을 만족한다.

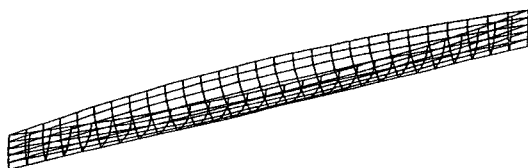
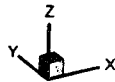


Fig. 1 Coordinate System.

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (3)$$

그리고, 교란속도 포텐셜  $\Phi$ 의 경계치 문제는 다음과 같다. 선형화된 자유표면 경계조건(linearized free surface condition) :

$$\Phi_{xx}(x, y, 0) + k_0 \Phi_z(x, y, 0) = 0 \quad (4)$$

여기서

$$k_0 = g/U^2 : \text{wave number}$$

선체표면 경계조건 (body boundary condition)

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = U_n x + \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \text{ on } S_H \quad (5)$$

여기서

$$n : \text{unit outward normal vector on } S_H$$

$$S_H : \text{Hull Surface}$$

무한 수심에서의 해저면 경계조건 (infinite depth condition)

$$\phi_z \rightarrow 0 \text{ as } z \rightarrow 0 \quad (6)$$

방사 조건 (radiation condition)

$$\phi = 0, x < 0 \quad (7a)$$

$$\phi = 0(1/r), x > 0 \quad (7b)$$

$$\text{as } r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow 0$$

이상의 경계치 문제는 조파저항 문제에서 전형적인 수학 모델로써 Neumann-Kelvin 문제로 잘 알려져 있다. 자유표면( $z=0$ )에서는 선형화된 경계조건을 만족하고 선체에서는 엄밀한 경계조건을 만족시키려는 것으로써 이론적으로 일관성이 다소 미흡하지만 널리 쓰이고 있다.

교란 속도포텐셜  $\Phi$ 는 Green 정리를 이용하고 수학적인 처리를 한 후에 선적분항을 무시하면 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>(4)</sup>.

$$\phi(P) = \int_{S_H} \alpha(q) G(P, q) ds \quad (8)$$

여기서

$$G(P, q) : \text{Green Function}$$

$$\alpha(q) : \text{Source Strength Distributed on } S_H$$

$P(x, y, z)$  : Field Point in Fluid Domain  
 $p(x', y', z')$  : Control Point on  $S_H$   
 $q(\xi, \eta, \zeta)$  : Source Point on  $S_H$

선체표면에 분포된 source의 세기  $\alpha(q)$ 는 선체표면 경계조건에 의해 구해진다.

즉, (8)식을 (5)식에 대입하면,

$$\frac{\partial \phi}{\partial n_p} = \frac{\alpha(p)}{2} + \iint_{S_H} \alpha(q) \frac{\partial G(p, q)}{\partial n_p} = -U_{nx}(p)$$

를 얻으며, 이식은  $\alpha(q)$ 에 관한 제2종의 Fredholm 적분방정식이다. (8)식에서의 Green함수  $(p, q)$ 는 앞에서 주어진 Laplace 방정식과 경계조건으로부터 구해지고, Havelock source로도 불리며 다음과 같이 표시된다.

$$G(x, y, z) : (\xi, \eta, \zeta) = G_1 + G_2 + G_3 \quad (10)$$

$$G_1 = -\frac{1}{4\pi} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (11a)$$

$$G_2 = R_e \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\pi \int_0^\infty \frac{k}{k - k_0 \sec^2 \theta} \exp \{ [(z + \zeta) + i\omega] \} \quad (11b)$$

$$G_3 = R_e \frac{1}{2\pi^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} k_0 \sec^2 \theta \exp [k_0 \sec^2 \theta (z + \zeta) + i\omega] d\theta \quad (11c)$$

$$\omega = (x - \zeta) \cos \theta + (y - \eta) \sin \theta, z + \zeta < 0$$

(10)식의 Green함수를 써서 (9)식의 적분방정식을 풀면 선체표면에 분포된 Source의 세기를 구할 수 있다<sup>6)</sup>.

### 3. 조파저항 해석

선체에 의한 조파저항을 구하는 가장 직접적인 방법은 선체표면상에서 압력을 적분하는 것인데, 일반적으로 선체 가까이에서는 유체운동을 나타내는 식이 매우 복잡하므로 이 적분을 실제로 수행하는 것은 쉽지 않다. 따라서, 선체를 적당한 폐곡면으로 둘러싸고 이 곡면의 내부의 유체에너지 혹은 운동량의 변화로부터 조파저항을 구하는 방법이 일반적으로 채용되고 있다.

Havelock의 결과를 이용하면, 선체의 교란속도

포텐셜이 (8)식과 같이 나타내어질 때, 선체로부터 멀리 떨어진 후방에서의 파형은 다음과 같이 구해지고,

$$\zeta = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} [S(\theta) \sin(k_0 \omega \sec^2 \theta) + C(\theta) \cos(k_0 \omega \sec^2 \theta)] \quad (12)$$

여기서

$$\frac{S(\theta)}{C(\theta)} = \frac{k_0}{\pi U} \sec^3 \theta \int_{S_H} \sigma_i \exp(k_0 \zeta \sec^2 \theta) \times \frac{\sin}{\cos} (k_0 \sec^2 \theta \xi \cos \theta + \sin \theta) ds \quad (13)$$

조파저항과 그 계수  $C_W$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$R_W = \rho \pi U^2 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} [S^2(\theta) + C^2(\theta) \cos^2 \theta] d\theta \quad (14)$$

$$C_W = R_W / \left( \frac{1}{2} \right) \rho S_W U^2 = \left( \frac{2\pi}{S_W} \right) \int_0^{\frac{\pi}{2}} [S^2(\theta) + C^2(\theta)] \cos^3 \theta d\theta \quad (15)$$

여기서  $S_W$ 는 침수 표면적이다

### 4. 수치계산 방법

적분방정식을 풀면 선체표면의 Source 세기  $\alpha(q)$ 를 구할 수 있는데, 이를 위하여 Hess & Smith의 방법을 이용한다. 선체표면을 많은 4각형 평면요소로 분할하여 근사화시키고, 각 4각형 평면요소상에서는 source의 세기가 일정한 것으로 가정하며, 선체가 좌우대칭인 경우에는 한쪽 선체만  $N$ 개로 분할한다<sup>6,7)</sup>.

선체표면상  $i$ 번째 4각형 평면요소에 대한 선체표면 경계조건식은 (9)식으로부터 다음과 같이 주어진다.

$$V_x n_x^i + V_y n_y^i + V_z n_z^i = -U n_x^i \quad (16)$$

여기서  $n_x, n_y, n_z$ 는  $i$ 번째 평면요소의 중심점에서의 단위의 방향성벡터 성분들이고,

$$V_x^i, V_y^i, V_z^i = \sum_{j=1}^N \sigma_j (u_{ji}, v_{ji}, w_{ji}) \quad (17)$$

여기서  $u_{ji}, v_{ji}, w_{ji}$ 는 각각 선체표면상의  $j$ 번째 평면요소에 단위세기의 source가 균일하게 분포

되었을 때,  $i$ 번째 평면요소의 중심점으로 유기 하는 속도성분들이다.

(17)식을 (16)식에 대입하고 양변을  $U$ 로 나누어 주면

$$\sum_{j=1}^N (u_{ji}, n_x^i + v_{ji}, n_y^i + w_{ji}, n_z^i) \frac{\sigma_j}{U} = n_x^i \quad (18)$$

이 되고,

$$\begin{aligned} A_{ij} &= u_{ji} n_x^i + v_{ji} n_y^i + w_{ji} n_z^i \\ B_j &= -n_x^i \\ m_j &= \sigma_j / U \end{aligned}$$

로 놓으면  $i$ 번째 평면요소의 경계조건은

$$\sum_{j=1}^N A_{ij} m_j = B_i \quad (19)$$

가 되어서, 무차원화된 source의 세기  $m_j$ 는 (19)식의 해로써 구해진다.

한편, (17)식에서의  $u, v, w$ (이하부터 첨자  $ji$ 는 생략)는 아래 그림과 같이 3차원 공간에서 임의의 4각형 평면상의 source가 임의의 점으로 유기 하는 속도성분을 나타내며, (9)식의  $\partial G(p, q) / \partial n_p$ 의 세 가지 속도성분을 나타낸다.

따라서, 유기속도  $u, v, w$ 는 (10)식의 Green함수를 미분하여 얻어지며 우변 첫째 항은 이중모형항, 두 번째 항은 파도항(국부파+자유파)에 대한 유기성분을 나타내며 다음과 같이 쓰기로 한다.

$$\begin{aligned} u &= u_1 (DM) + u_2 (FW) + u_3 (LW) \\ v &= v_1 (DM) + v_2 (FW) + v_3 (LW) \\ w &= w_1 (DM) + w_2 (FW) + w_3 (LW) \end{aligned} \quad (20)$$

이러한 유기속도 성분 중에서 이중모형항에 의한 유기속도성분은 Hess & Smith 방법으로, 파동항에 의한 유기속도성분은 Shen & Farell의 방법으로 각각 계산된다. 그런데, 파동항 계산 시에는 4각형 평면요소상의 면분포 특이점 계를 중심점에 집중시킨 점분포로 근사화하며, 직접적인 계산은 많은 계산시간을 소요하므로 미리 적당한 구간에서 계산하여 3차원 수표를 만들어놓고 보간법을 이용하여 계산하는 방법을 쓴다. 실제의 조파저항 계산에는 이중모형항과 자유파동항만을 고려해준 것이 좋은 결과를 보이고 있으므로 본

연구에서도 이에 따르기로 한다.<sup>10,9,10,11).</sup>

그리고, 진폭함수와 조파저항은 (18)식의 해로써 구해지는 선체표면의 source strength  $m_j$ 를 알면 (13)식과 (14)식으로부터 계산할 수 있는데, 이때 각 평면상의 특이점을 중심점에 집중시킨 점분포로 하여 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \frac{S^*(\theta)}{C^*(\theta)} &= \frac{k_0 \sec^{\frac{3}{2}} \theta}{\pi} 2 \sum_{j=1}^N a_j m_j \exp(k_0 \zeta_j \sec^2 \theta) \\ \frac{\sin}{\cos} (k_0 \zeta_j \sec \theta) \cos(k_0 \eta_j \sec^2 \theta \sin \theta) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} C_w &= R_w / \left( \frac{1}{2} \right) \rho S_w U^2 \\ &= \frac{2\pi}{S_w} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \{ [S^*(\theta)]^2 + [C^*(\theta)]^2 + [C^*(\theta)]^2 \} \cos^3 \theta d\theta \end{aligned} \quad (22)$$

(21)식에서  $N$ 은 반쪽 선체의 분할평면 개수이고,  $a_j$ 는 그들 각각의 면적이며, (22)식의 적분은  $\theta$ 를  $0^\circ$  부터  $80^\circ$  까지  $0.25^\circ$  간격으로 Simpson법칙에 따라 수치적분을 수행한다.

## 5. 패널 배치

패널이동법 혹은 계산점 이동(collocation point shift)법은 누가 최초로 도입하였는지는 참고문헌을 통하여 정확히 알 수가 없다. 다만 상류차분법과 계산점이동의 조합에 대한 계산 결과가 수치적 안정성을 향상시킨다는 논문들이 발표되었다<sup>[12,13,14]</sup>.

패널이동법은 첫 번째 패널요소에 분포한 소오스의 세기를 0으로 두어, 소오스의 상류부분에서 파가 안 생기고 하류방향으로만 파가 전파되어, 방사조건을 만족시키는 방법이다. 즉 자유수면을  $x$ 방향으로  $M+1$ ,  $y$ 방향으로  $N$ 개의 패널을 만들고,  $x$ 방향의 첫 번째 패널요소에 분포한 소오스의 세기는 0이 되도록 하고, 소오스를 2번째 패널요소부터 분포시켜서, 자유수면 조건을 1번부터  $M$  번째의 패널요소에 적용하여 방사조건을 만족시켜 주는 것이다. 이 방법을 사용하는 경우 자유수면 경계조건식에 포함되어 있는  $\Phi_{xx}, \Phi_{xy}, \Phi_{yy}$  및 자유표면에 분포한 소오스에 대한  $\phi_{xx}, \phi_{xy}, \phi_{yy}$ 를 해석적으로 구할 수 있다. 패널이동 방법에서 자

유수면의 속도 포텐셜  $\phi_{FS}(i, j)$ 을 다음과 같이 들 수 있다.

$$\phi_{FS}(i, j) = \sum_{k=2}^{M+1} \sum_{l=1}^N S_{Fkl} \int_{FS} \frac{1}{\gamma} ds \quad (23)$$

여기서  $M$  : 자유수면  $x$ 방향의 패널수

$N$  : 자유수면  $y$ 방향의 패널수

$$\gamma = \sqrt{(x-x_{kl})^2 + (y-y_{kl})^2}$$

식(23)과 같이 자유수면의 속도 포텐셜을 나타내면 모든 계산이 해석적으로 수행되고 이 계산과정을 수행하므로써 방사조건은 자동적으로 만족된다.

### 수치계산 결과 및 토론

개발된 프로그램의 검증을 위하여 발표된 계산 결과와 시험자료가 많이 있는 Wigley 선형에 대해

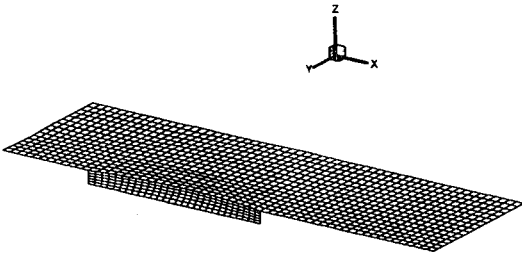


Fig. 2 Mesh Generation of the Wigley Hull.

서 계산을 수행하여 보았다. Fig.2는 패널의 배치를 보여주고 있다. 계산에 이용한 패널 수는 자유표면에 대하여  $48 \times 12$ 개로 하고 물체에 대해서는  $24 \times 5$ 개로 하였다. Fig.3에는 Froude수,  $F_n = 0.25$ 에서의 파형을 나타내었다. Fig.4에는  $F_n = 0.25$ 에서 자유표면의 상승 량을 나타내었다. 모형 시험 결과와 같은 모양의 파형을 보여주고 있다. 계산 값의 자유수면 영역은 선체길이를 무차원화했을 때, 선 수미 방향으로  $-1.5$ 에서  $2.5$ 까지, 횡방향으로는  $1.5$ 까지로 하였다. 자유수면에서의 패널 배치는 종방향과 횡방향에 대해 등 간격으로 분할하여 직각격자형이 되도록 하였다. 등 간격을 사용하지 않고 선체주위에서는 많이 분할하는 것

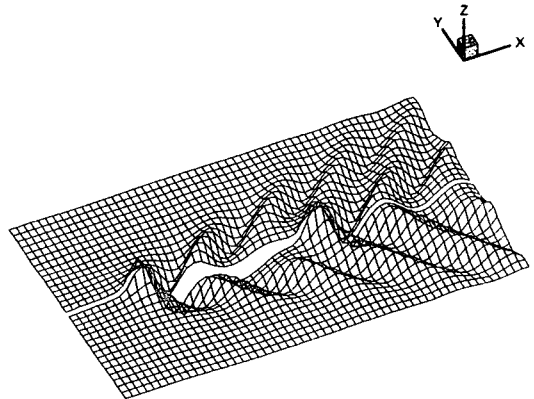


Fig. 4 Surface elevation due to the Wigley hull ( $F_n=0.25$ ).

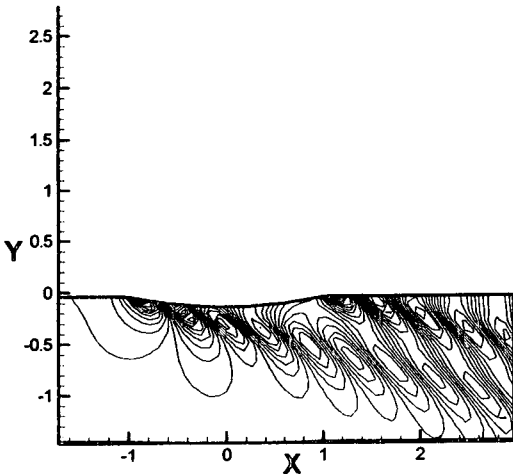


Fig. 3 Wave Pattern of the Wigley Hull ( $F_n=0.25$ ).

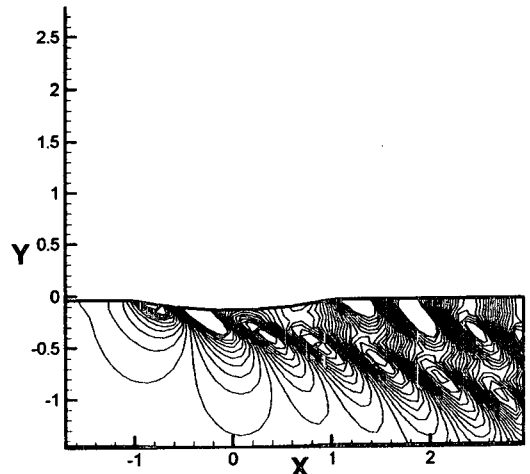


Fig. 5 Wave Pattern of the Wigley hull ( $F_n=0.30$ ).

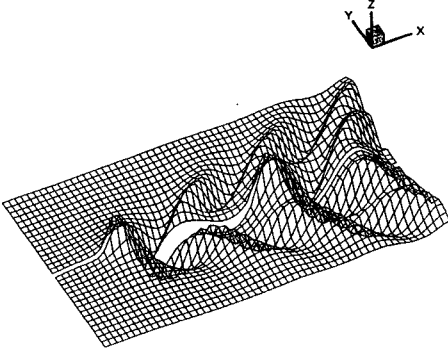


Fig. 6 Surface elevation due to the Wigley hull (Fn=0.30).

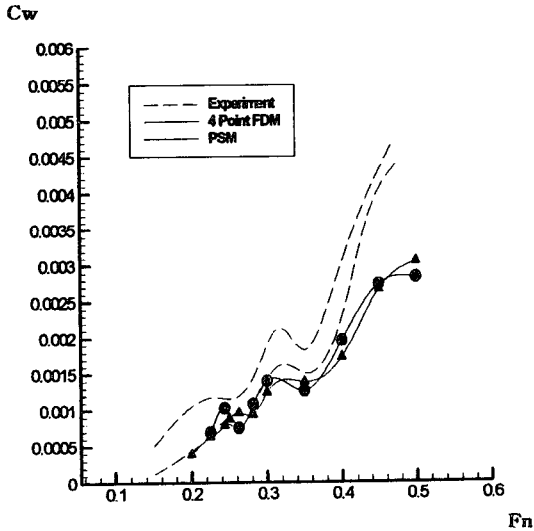


Fig. 7 Comparison of  $C_w$  by FDM/PSM.

으로 계산하여 보았으나 값의 차이는 거의 없었다. 또한 자유수면의 영역을 더 확장하여도  $C_w$  값의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

Fig.5에는 Froude수,  $Fn=0.30$ 에서의 파형을 나타내었으며, Fig.6에는  $Fn=0.30$ 에서 자유표면의 상승 량을 나타내었다. Fig.7에는 Wigley 선형에 대하여 유한차분법과 패널이동법으로 계산한 값들을 시험치와 비교하여 나타내었다. 시험치와 같은 경향을 보여주고 있다. 이로써 개발된 프로그램의 계산 결과가 타당함을 알 수 있다.

Fig.8에는 비선형항을 포함하여 Froude 수를 더욱 확장하여 계산을 수행한 결과를 나타내었다.

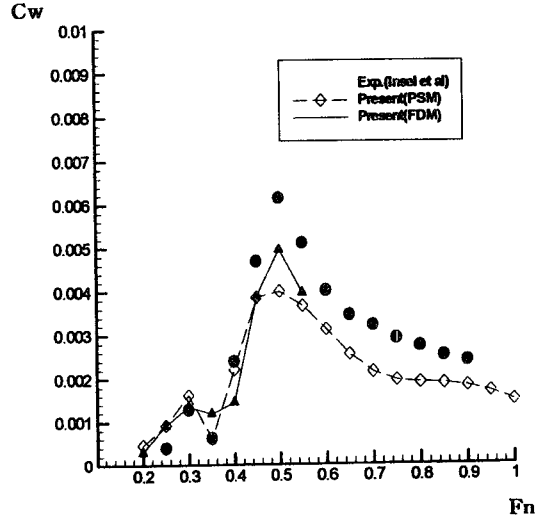


Fig. 8 Comparison of the Wave resistance.

실험치와 같은 경향을 보여주고 있다. 방사조건을 패널이동법과 유한차분법을 만족시킨 각각의 프로그램으로 계산한 결과  $C_w$  값이 모두 비슷함을 알 수 있다. 하지만 일반적으로 패널이동법으로 계산한 파의 모양이 유한차분법으로 계산한 결과보다 훨씬 뚜렷하였다.

## 결 론

1. 참치 선망어선은 일반 상선에 비하여 날씬하며, 경계층의 두께가 비교적 얇기 때문에 패널법을 이용하여 조파저항을 계산할 수 있고, 이를 참치 선망어선의 선형설계에 활용할 수 있다.
2. 선체주위에 패널을 많이 분할하는 것으로 계산하여 보았으나 저항값의 차이는 거의 없었다. 또한 자유수면의 영역을 더 확장하여도  $C_w$  값의 변화는 거의 없었다.
3. 방사조건을 패널이동법과 유한차분법에 만족시킨 결과  $C_w$  값이 거의 비슷하였으나, 일반적으로 패널이동법으로 구한 결과가 파의 양상이 더욱 뚜렷하였다.
4. 이상에서 개발된 프로그램을 이용하여, 앞으로는 선형의 늑골 형상 변화에 따른 조파저항을 해석해야 할 것이며, 참치 선망어선에 적합한 고유추정식을 개발해야 할 것이다.

사 사

이 논문은 동원학을재단 연구사업의 연구 결과  
이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Michell, J. H. (1898) : The Wave Resistance of Ship, Phil. Mag. 45, 106-123.
- 2) Havelock, T. H. (1951) : Wave Resistance Theory and It's Application to Ship Problem., SNAME.
- 3) Gadd, G. E., et al (1961) : An Appraisal of the Ship Resistance Problem in the Light of Measurement of the Wave Pattern, NPL Report No. 36.
- 4) Cumins, W. E. 1956 : The Wave Resistance of a Floating Slender Body, Ph. D Thesis, American Univ.
- 5) Vossers, G. (1962) : Some Applications of the Slender Body Theory in Ship Hydrodynamics, Dissertation, Delft Technological University.
- 6) Hess J. L. & Smith A. M. O. (1962) : Calculation of Non-Lifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies, Report No. E. S. 40622, Douglas Aircraft Co.
- 7) Brad, R. (1972) : The Representation of Given Ship Form by Singularity Distributions when the Boundary Condition on the Free Surface is Linearized, J, of Ship Res, 16, 79-92
- 8) Maruo, H. (1982) : New Approach to the Theory of Slender Ships with Forward Velocity, Bull. Fac. Eng. Yokohama Nat. Univ, Vol. 31.
- 9) Kim, I. C. (1987) : A Study of the New Slender Ship Theory in a Fluid of Finite Depth, Ph. D Thesis, Pusan Nat. Univ.
- 10) Jensen, P. S. (1987) : The Numerical Radiation Condition in the Steady State Ship Wave Problem, Journal of Ship Research, Vol. 31, 1. March, No. 14-22.
- 11) Jensen, G., Mi, Z. X. and Soding, H. (1986) : Rankine Source Methods for Numerical Solutions of the Steady Wave Resistance Problem, 16th Symposium on Naval Hydrodynamics, USA.
- 12) Raven, H. C. (1988) : Alternative Resistance Expression for Free Surface Panel Methods, MARIN Report No. 50700-2-RF.
- 13) Dawson, C. W. (1977) : A Practical Computer Method for Solving Ship-Wave Resistance, 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics.
- 14) Bertram V. and Tensen G. (1988), A Practical Method for Wave Resistance Prediction for SWATH Ships, Proc. of Int. Conference On High Performance Vehicles, Shanghai, China.