
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 1 號 1996年 2月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 33, No. 1, February 1996

복합지지형 고속선의 조파저항 계산

유재훈*, 김영기*, 류재문**

Calculation of Wave Resistance of a Hybrid Hydrofoil

by

J.-H. Yoo*, Y.-G. Kim* and J.-M. Lew**

요 약

3차원 날개면이 부착된 복합지지형 고속선의 정상상태에서의 조파저항을 포텐셜 기저 판요소법으로 해석하였다. 계산에 사용된 고속선은 물 속에 잠겨있는 몸체와 몸체의 중간 및 후방에 붙어 있는 3차원 날개면과 수면을 관통하는 앞, 뒤의 스트럿으로 구성되었다. 물체 표면(몸체, 날개면 및 스트럿)에는 쌍극자와 다이폴을, 자유표면에는 쌍극자를 분포하였고, 선형화된 자유표면 조건과 방사조건을 만족시키기 위해 4점 유한차분을 이용하였으며, 날개면의 유동해석을 위해 준압력 Kutta조건(semi-linear pressure Kutta condition)을 적용하였다. 패널사이의 틈새 문제를 개선하기 위해 비 평면성이 고려된 쌍곡면 판요소법을 적용하여 각 선체 표면에서의 수치 계산 정도를 높이고자 하였다. 수치 계산 결과는 회류수조에서 모형 시험을 수행한 결과와 비교하였으며, 이로부터 본 연구에서 개발된 수치 계산법은 고속선의 최적 선형 개발에 이용 가능한 도구가 될 수 있는 것으로 나타났다.

Abstract

A potential-based panel method has been developed for numerical computation of wave resistance on a hybrid hydrofoil. Hybrid hydrofoil is composed of a main body, two struts and two hydrofoils. The main body, which is assumed to be an axisymmetric body for the present analysis, is normally used to support displacement of a body with its buoyancy. Normal dipoles and the sources are distributed on the body(main body, struts, hydrofoils) and the sources are distributed on the free surface. Linearized free surface and the radiation conditions are satisfied using the fourth order finite difference operator and the semi-linear pressure Kutta condition is used for the

발 표: 1994년도 대한조선학회 춘계연구발표회('94. 4. 23)

접수일자: 1994년 5월 12일, 재접수일자: 1995년 12월 1일

* 정회원, 삼성중공업 중앙연구소

** 정회원, 충남대학교 선박해양공학과

numerical computation of the hydrofoils. Poisson type free surface condition has been used for the numerical computation and hyperboloidal panel method has been used for better numerical accuracy. To verify this numeric method, model tests are performed in circulation water channel. From the comparison of experimental results with numeric ones, the present method can be used as a useful tool for the design of high speed vessels.

1. 서 언

30노트 이상의 고속선은 비싼 소량 운송의 항공기와 값싼 대량 운송의 재래 선박의 단점을 보완할 수 있는 중간적 수송 수단으로서의 장점을 가지므로 국내외에서 그 개발을 서두르고 있다. 군사용으로 먼저 개발된 고속선은 80년대 말부터 본격적으로 노르웨이 등에서 여객선으로 상업화되기 시작했으며, 최근에는 수중익 카타마란선이 실용화되어 50노트의 속력으로 운항 가능한 선박이 개발되기에 이르렀다. 최근의 세계적인 고속선의 개발 동향은 초고속 여객선의 고성능화와 더불어 대량의 화물 운송이 가능한 초고속 화물선을 개발하고 있는 추세이며, 일본, 프랑스, 노르웨이, 이태리, 독일, 스페인 등 많은 나라에서 1,000톤의 화물을 적재하고 50노트 이상의 속력으로 운항 가능하며, 6미터 이상의 파고를 갖는 험한 해상 상태에서도 안전한 운항이 가능한 대형화된 고속선의 개발에 활발한 연구를 집중하고 있다.

고속선의 대형화에 따른 가장 큰 문제는 속력 증가에 따라 급격히 기관 마력이 증가하는 것이다. 이를 해결하기 위해서는 선체의 중량을 재래 선박과 같이 부력만에 의해 단일 지지하는 방법으로는 곤란하며 수중익에 의한 양력이나 공기압에 의한 부상력으로 지지하는 복합지지형 선형의 개발이 되어야 한다. 그러므로 고속선이 화물선으로 실용화되기 위해서는 복합지지형 선형의 개발 및 이와 관련한 저항, 추진 특성의 해석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 본격적인 고속선 개발에 앞서 비교적 대형화와 고속화에 이점이 많은 것으로 평가되고 있는 수중익형 복합지지선의 각종 유체 특성을 파악하는 기초 작업을 수행하였다.

수중익형 복합지지선형은 부력을 갖는 폰투온에 3차원 날개면을 부착하여 양력과 부력에 의해 지지되는 고속선을 의미한다. 이러한 선박은 항주중 겪게 되는 전체 저항 중 조파에 의한 저항성분이 차지하는 비중이 매우 높기 때문에 선형의 올바른 해석과 설계를 위해서는 보다 정확하고 신빙성 있는 유체력 및 조파저항 추정 프로그램의 개발이 우선되어야 한다. 특히 본 선형을 구성하게 되는 각 부분들은 각기 매우 특이한 유동현상을 유발하는 까닭에 각 특성에 맞는 유체력 계산법이 필요하게 되며, 선형의 최적화된 설계를 위해서는 복잡하게 구성되어 있는 수면하 구조물에 대한 각종 유체력의 추정 및 상호간의 간섭 및 양력을 발생하는 3차원 날개면의 유동해석을 위한 Kutta조건 등이 함께 고려된 수치계산법의 확보가 필요하다.

본 논문에서는 포텐셜을 기저로 하는 판요소법을 사용하여 자유수면하에서 일정 속도로 진행하는 복합지지형 고속선에 대한 정상유동해석을 수행하였다. 복합지지형 고속선은 물 속에 잠겨 있는 몸체와 양력을 발생하기 위한 주날개 및 보조날개, 그리고 수면을 관통하여 수면 하부의 구조물과 상부의 선실부를 연결 지지하는 스트러트로 구성되어 있다. 수치 계산을 위해 물체(몸체, 날개 및 스트러트)표면에 법선 다이폴과 Rankine 소오스를 분포하고 Ni[1]등이 사용한 수치계산법을 사용하여 선형화된 자유 표면 조건을 만족하도록 하였다. 이 방법을 사용함으로써 Dawson[2]의 계산에서 자유표면 경계조건을 적용하기 위해 필요했던 자유수면상의 유선 추적 계산이 불필요하게 되어 수치 계산을 다소 용이하게 할 수 있었다. 이때 전 속도포텐셜은 기본 유동인 균일류와 선체

에 의하여 교란되는 교란포텐셜과의 합으로 구해지는 것으로 가정하였다. 이는 기존 Rankine 소오스 분포법에서 Dawson이 이중모형 포텐셜을 기본유동으로 택한 것과 달리, 저속에서만 적용이 가능한 Dawson의 계산법과는 달리 비교적 고속인 경우에도 적용이 가능한 발전된 이론으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 물체 표면에 분포된 소오스와 다이폴 및 자유표면에 분포된 소오스의 세기는 일정한 것으로 가정하였으나, 이로 인해 생기는 이웃하는 판요소간의 연결이 부드럽지 않고 틈새가 발생하게 되는 leakage문제를 극복할 수 있도록 판요소의 비평면성이 고려된 쌍곡면 판요소법(Hyperboloidal panel method)을 사용하였다. 이 방법은 최근 C.S.Lee[3]에 의하여 선박용 프로펠러 해석에 적용되어 좋은 결과를 주는 것이 확인되었으며, 본 논문에서는 곡률 변화가 심한 3차원 물체에 대한 계산정도를 높이기 위한 목적으로 이 방법을 사용하였다.

양력을 발생하는 날개면의 유동 해석을 수행할 때는 날개의 뒷날에서 유속이 유한하다는 Kutta조건을 도입하여야 하는데, 여기서는 최근 정상 상태의 프로펠러 주위의 유동 해석에 적용하여 안정된 해를 얻은바 있는 준선형 압력 Kutta 조건을 사용하였다[4].

개발된 수치 계산 조직을 이용하여 날개가 달린 복합지지형 고속선의 조파저항 계산을 수행하였으며, 정성적으로 타당한 결과를 얻었다. 이 결과는 회류수조에서의 실험 결과와 비교하여 계산의 정량, 정성적인 신빙성을 검토하여 보았으며 아울러 고속선의 실험 기법에 관한 필요 경험을 축적하도록 하였다.

2. 경계치 문제의 정식화

2.1. 기본 가정 및 경계 조건

좌표계는 물체에 고정되어 이동하는 우수 직교 좌표계를 택하였다. 중심을 선체의 중앙에 잡고 선미방향을 +x축 방향, 연직 상방향을 +z축 방향

으로 취하고 $z=0$ 인 평면을 정지 수면으로 택하였다. 일정 속도 U_∞ 로 진행되는 고속선 주위의 정상 유동해석을 수행하는데 표면장력, 물보라(spray) 및 쇄파(wave breaking)의 영향을 무시하고, 비점성, 비회전성, 비압축성의 가정을 도입하면 유체의 유동을 나타내는 전 속도 포텐셜은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi = \phi_\infty + \phi = \vec{U}_\infty \cdot \vec{x} + \phi \quad (1)$$

여기서, ϕ 는 선체에 의해 교란된 성분을 표시하는 교란속도 포텐셜로 전 유체 영역에서 질량 보존 법칙이 성립하므로 지배 방정식으로 Laplace 방정식을 도입한다.

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

또한 지배방정식(2)을 풀기 위해 각 경계면에 다음과 같은 경계 조건을 부과하기로 한다.

A. 물체 표면(물체, 날개 및 스트러트면)의 운동학적 경계 조건

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\vec{U}_\infty \cdot \vec{n} \quad \text{on } S_B \quad (3)$$

B. 또한, 자유표면에서는 아래와 같은 기하학적 조건(kinematic condition)과 동역학적 조건(dynamic condition)을 만족하여야 한다.

$$\frac{D\Phi}{Dt} = 0 \quad \text{on } z=h \quad (4)$$

$$gh + \frac{1}{2}(\nabla \Phi \cdot \nabla \Phi - U_\infty^2) = 0 \quad \text{on } z=h \quad (5)$$

위 식들을 자유표면의 기울기가 작다는 가정 하에 선형화 하면,

$$\phi_{xx} + k_o \phi_z = 0 \quad \text{on } z=0 \quad (6)$$

가 되며, 여기서 $k_o (= g/U_\infty^2)$ 는 파수(wave number)이고, g 는 중력가속도를 나타낸다.

C. 해지면 경계조건

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \phi_z = 0 \quad (7)$$

D. 방사조건

$$\phi = \begin{cases} O(\frac{1}{r}), x < -\frac{L}{2} \\ O(\frac{1}{r}), x > L/2, \text{ as } r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty \end{cases} \quad (8)$$

E. 수중의 날개 끝에서의 Kutta조건

$$|\nabla \phi| < \infty \quad \text{at Trailing Edge} \quad (9)$$

F. 후류면에서의 운동학적 경계조건

$$\vec{n} \cdot (\vec{V}^+ - \vec{V}^-) = 0 \quad (10)$$

G. 후류면에서의 동역학적 경계조건

$$P^+ - P^- = 0 \quad (11)$$

2.2. 적분 방정식

Green의 세 번째 정리로부터 지배방정식 (2)를 만족하는 교란 속도 포텐셜 ϕ 는 유동장을 둘러싸고 있는 경계면에 대하여 나누어 표현하면 다음과 같다. 즉,

$$\phi = \int \int_{S_b} (-\phi) \frac{\partial G}{\partial n} dS + \int \int_{S_b} \frac{\partial \phi}{\partial n} G dS + \int \int_{S_w} (-\Delta \phi)_w \frac{\partial G}{\partial n} dS + \int \int_{S_f} \sigma_F G dS \quad (12)$$

여기서,

$$\begin{aligned} G &= -\frac{1}{4\pi} \frac{1}{R(\vec{p}, \vec{q})} \\ \vec{p}(x, y, z) &= \text{field point} \\ \vec{q}(\xi, \eta, \zeta) &= \text{singular point} \\ R(\vec{p}, \vec{q}) &= |\vec{p} - \vec{q}| \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 S_B, S_H 그리고 S_F 는 각각 물체 경계면, 전,후 날개의 후연 반류면 그리고 자유표면을 의미하고 물체 경계면 S_B 는 몸체, 전후 날개 그리고 스트럿트로 구성되어 있다. 또한 $(\Delta \phi)_H$ 는 날개의 후연 반류면에서의 법선 다이폴의 세기로서 날개 뒷날에서 Kutta조건을 만족하도록 정의되며, σ_F 는 자유표면에 분포된 쏘오스의 세기를 뜻한다. Kutta 조건은 날개 뒷날에 적용됨으로써, 수학적으로 양력 문제의 해에 대한 유일성을 확보하게 되며, 물리적으로는 날개 뒷날 근처의 특이한 유동을 피하게 하는 조건으로 여러 가지 수치 모형이 제안된 바 있다. 본 연구에서 채택하고 있는 포텐셜을 기저로 한 정식화 방법은 포텐셜을 미지함수로 하고 있으며, 적분방정식의 수치적 해석을 통하여, 날개 표면에서의 포텐셜 값을 먼저 구한 다음에 이로부터 날개표면에서 미분을 취함으로써 압력을 계산한다. 따라서 포텐셜 값이 정확하게 얻어졌다 하더라도, 이를 다시 미분하는 과정에서 오차가 발생되게 된다. 따라서 Kutta조건의 적용에 따라 해의 안정성에 영향을 주게 된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 안정된 해를 주는 것이 확인된 준선형 압력Kutta조건을 사용하였다[4]. 식(12)는 포텐셜을 기저로 한 패널법을 사용하여 물체주위의 유동을 해석하는데 있어서 매우 유용한 식으로, 물체표면 및 자유표면에 대해 경계조건을 적용하면 물체표면에 분포된 다이폴의 세기 및 자유표면상에 분포된 쏘오스의 세기를 구할 수 있는 적분 방정식을 얻을 수 있게 된다. 본 논문에서 택한 패널법에서는 물체표면에 법선 다이폴 및 쏘오스를 분포하게 되지만 식(3)의 경계 조건으로부터 물체 표면에 분포되는 쏘오스의 세기는 아는 값이 되므로 물체 표면에서는 다이폴의 시기만이 미지수가 되며, 자유 표면 상에서는 다이폴을 분포할 필요가 없어 쏘오스 세기만이 미지수가 된다. 한편, 자유 표면 경계조건식(6)을 만족시키기 위해서는 자유 표면상에서의 포텐셜을 정의하여 2계 미분을 취하여 만족시킬 수도 있으나, 본 연구에서 Dawson[2]의 계산법을 따라 자유 표면상의 속도에 대한 1계 미분을 구하여 자유 표면 조건을 만족시키는 방법을 택하였다. 따라서 자유 표면 조건의 적용을 위한 적분 방정식은 다음과 같이 표현 가능하다. 즉,

$$\begin{aligned}
 & (\phi_x)_x + k_o\phi_z + \frac{1}{2}k_o\sigma_F \\
 & = \left[\int \int_{S_b} (-\phi) \frac{\partial^2 G}{\partial n_q \partial n_p} dS \right. \\
 & + \int \int_{S_b} \frac{\partial \phi}{\partial n_q} \frac{\partial G}{\partial n_p} dS \\
 & + \int \int_{S_w} (-\Delta\phi)_w \frac{\partial^2 G}{\partial n_q \partial n_p} dS \\
 & \left. + \int \int_{S_f} \sigma_F \frac{\partial G}{\partial n_p} dS \right]_x \quad (15)
 \end{aligned}$$

식(15)의 속도에 대한 1계 미분은 Dawson[2]에 의하여 제안된 4점 유한 차분식을 사용하였다.

3. 수치 계산 결과 및 고찰

3.1. 물수 타원체의 조파저항 계산

본 수치 계산법에 의한 계산 정도를 확인하기 위하여 자유수면하에 잠겨 있는 회전 타원체에 대한 조파저항 계산을 수행하였다. 조파저항 계수 C_w 는 선체 표면에 위치한 각 판요소에서 압력의 전진 방향 성분들을 적분하여 구하였고 $1/2\rho S U_\infty^2$ 으로 무차원화 하였다. 여기서 S 는 물수체의 침수표면적을 뜻하며, 잠수깊이와 물수체 길이와의 비 (H/L)=0.16, 최대직경과 길이의 비 (D/L)=0.2인 회전타원체에 대해 계산을 수행하였다. 타원체 표면에 (30×10)개, 자유표면에 (60×20)개의 판요소를 분포하여 계산한 결과를 Farell[5]의 계산결과와 함께 Fig. 1에 보였다.

본 방법에 의한 계산 결과는 대체로 저속구간에서는 Farell의 해석해와 비슷한 결과를 보이고 있다. 고속 구간에서는 본 방법에 의한 결과가 다소 큰 값들을 보여주고 있는데 이는 자유표면 경계조건의 영향으로 보여지며 이에 대한 좀더 많은 연구가 필요하다고 여겨진다.

3.2. 복합지지형 고속선의 계산 및 실험

본 논문에서 택한 수치 계산 모델은 회류수조에

서 모형시험을 수행하기 위해 만든 가상의 선형으로 Fig. 2에 그 형상을 보였다.

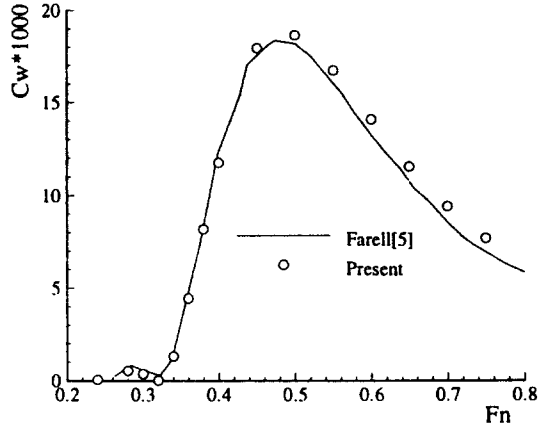


Fig. 1 Wave resistance of a submerged spheroid

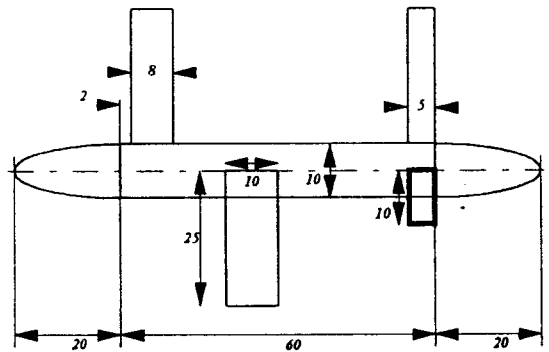


Fig. 2 Geometry of model (unit: centimeter)

설계속도는 50노트이며, 항주시 약 30% 이상의 양력을 날개로부터 얻는 것을 목표로 하였다. 몸체의 길이는 회전 타원체의 직경의 10배로 택하였고, 선수미 형상은 길이의 20% 위치까지 타원형상이 되도록 하였다. 주날개는 회전 타원체 중앙에 받음각

5°, 보조날개는 받음각 0° 가 되도록 설치하였다. 주날개 및 보조날개의 코오드 길이는 몸

체 길이의 10%, 5%로 하였고, 스펀의 길이는 25%, 5%로 하였다. 수면을 관통하는 스트럿트는 9% 두께를 가지는 아크형상을 택하였고, 코오드 길이는 각각 몸체 길이의 5%로 하였다.

본 논문에서 택한 복합 지지형 고속선은 정지시 주 선체의 일부분이 물에 잠겨 있게 되며, 이후 항주속도에 이를 때까지의 저항 특성은 대단히 복잡한 현상을 보일 것으로 예상된다. 그러나 본 논문에서는 이와 같은 비정상 상태의 조파 저항은 고려에서 제외하고, 일정한 항주 속도로 달리는 정상 유동에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 3에는 수치계산에 사용된 선체 표면상의 판요소 분포를 보였다. 몸체 위에 1000개의 판요소를 분포시켰으며, 앞쪽 날개에 440개, 뒤쪽의 보조날개에 120개, 앞쪽 스트럿트에 200개, 뒤쪽 스트럿트에 100개의 판요소를 각각 분포시켰다.

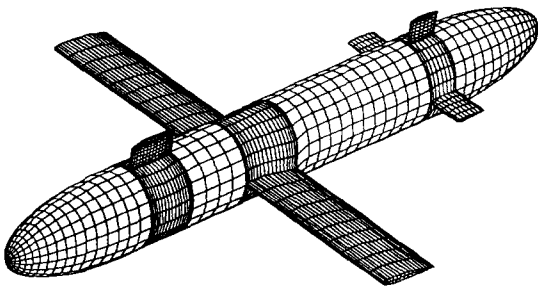


Fig. 3 Panel arrangement for calculations

조파저항을 계산하기 위해서는 자유수면상에도 판요소를 분포시켜야 하며, 본 계산에서는 3000개의 판요소를 분포시켰다. Fig. 4에는 잠수 깊이와 깊이와의 비(H/L)가 0.08인 상태에서 설계속도 50 노트로 달릴 때 선체 표면에 작용하는 압력의 분포와 속도 벡터를 표시하였다. Fig. 4를 살펴보면, 선수 부근에서는 통상의 압력 분포를 보이다가 주 날개의 끝단에 이르면 정체 압력이 걸리는 것을 알 수 있으며, 또한 주날개의 끝 단을 지난 유동은 변화가 심한 후류로 변화되면서 선체의 유동과 결합하여 복잡한 유동으로 나타남을 살펴볼 수 있다. 이러한 복잡한 유동 현상은 속도분포에서도 관찰할 수 있으며, 그림에 나타난 선체 표면에서의 유동을 살펴보면, 주날개를 지난 유동이 보조

날개에 이르게 되면 선속과 자유표면의 영향으로 인하여 교란된 유동과 만나게 됨으로써 더욱 교란되게 됨을 알 수 있다. 보조날개 관점에서 보면, 윗면에서는 음의 반음각으로 유동이 진입하게 되고, 아랫면에서는 주로 주날개에 의해 야기된 후류가 유입되므로 보조날개 부근에서는 매우 복잡한 압력 분포를 이루게 되는 것을 살펴볼 수 있다. 이러한 유동 현상으로 인하여 보조날개는 음의 양력을 받게 되는데, 이는 전체 양력의 손실 및 저항의 증가를 초래할 뿐 아니라 Trim Moment를 발생시킴으로써 운항의 안정성에도 많은 문제점을 야기시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있다. 이에 대한 보다 상세한 수치 계산은 주 날개의 반류면 형상을 실제와 유사하도록 가정함으로써 얻어질 수 있을 것이며, 앞으로 계속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

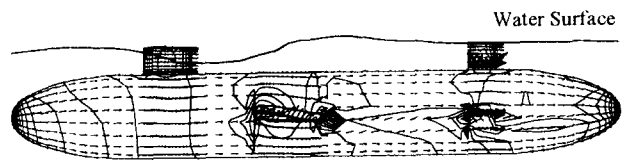


Fig. 4 Distribution of pressure and velocity vectors (calculated)

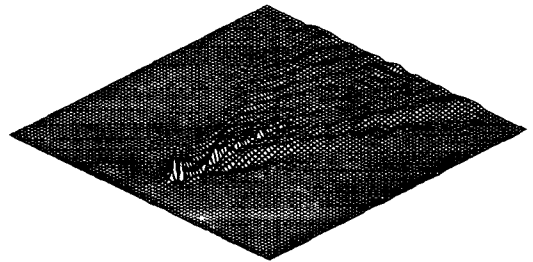


Fig. 5 Oblique view of free surface elevation (calculated)

Fig. 5 에는 같은 조건에서의 자유표면과의 형상을 보였다. 파형의 전반적인 모습을 살펴보면 통상의 배수량형 선박과는 다른 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 주날개의 영향으로 나타나는 파형이 뚜렷이 나타나고 있으며, 스트럿트의

영향으로 나타나는 파형이 함께 보이고 있다. 본 방법의 계산 결과로 얻어진 유동 현상은 정성적으로 타당한 것으로 생각된다. 계산 결과 주날개로부터 배수량의 약 30%에 해당하는 양력을 얻고 있어 설계 조건이 만족되고 있음을 알 수 있었으며, 본 계산 방법에 의해 주날개 및 보조날개의 크기 및 설치 위치, 받음각 선택 등이 가능함을 알 수 있다. Fig. 6 에는 계산에서 얻어진 유체력으로서 양력과 항력을 표시하였으며, 회류수조에서의 실험을 통해 얻어진 값을 비교 도시하였다. 조파에 의한 저항과 각 날개에서 유발되는 3차원 유기 항력으로 구성되는 항력의 경우 실험치와 좋은 일치를 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 양력의 경우는 실험치가 다소 높은 값을 갖고 있으며, 이는 양력 값에 큰 영향을 미치는 반류면의 형상이 실제 현상과 차이가 있기 때문이며, 이는 좀 더 많은 연구를 통하여 반류면 형상을 정확히 가정함으로써 개선되어 질 수 있다. 즉, 이를 위해서는 모형 실험시 유동을 세밀히 관찰할 수 있는 유동가시화법이 개발되어야 하며, LDV(Laser Doppler Velocity meter) 등에 의한 실제 반류면의 추적에 이루어져야 할 것이다. 또한 실험 조건 및 계산 조건이 가지고 있는 차이에 의해서도 위와 같은 오차가 나타난 것으로 판단된다. 즉, 실험에서 양력으로 계측되어지는 높이 방향 힘 성분에 선체가 위로 기울려 하는 트림 모멘트 성분이 포함되어 나타난 이유인 것으로 보여지며, 이러한 실험 오차는 계측동력계의 위치를 길이 방향의 모멘트 중심으로 이동시키면 해결될 수 있을 것으로 생각된다. 실험 결과와 계산 결과를 비교한 결과 정성적인 경향은 충분히 일치하고 있으며, 정량적인 면으로도 최적 설계를 위한 기초 계산으로는 만족할 만한 것으로 평가되어 진다.

4. 결 언

포텐셜을 기저로 하는 패널법을 이용하여 몸체, 날개 및 스트럿트로 구성된 고속선의 정상 상태에서의 조파저항을 계산하였으며, 이상의 논의를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있다.

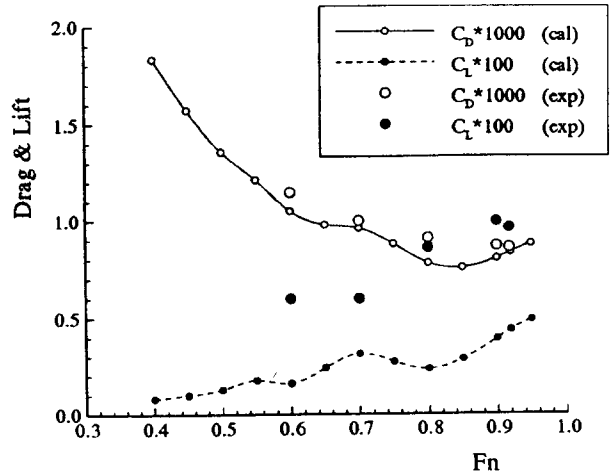


Fig. 6 Hydrodynamic forces (drag and lift)

- (1) 포텐셜을 기저로한 패널법을 적용하여 날개면이 달린 물체 주위의 자유수면 유동 해석을 비교적 정확히 추정할 수 있게 되었다.
- (2) 자유수면 아래에서 진행되는 날개면에 준 압력Kutta 조건을 사용하여 안정된 해를 얻을 수 있었으나, 정량적인 계산 결과의 개선을 위해서는 반류면의 형상의 가정에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 하겠다.
- (3) 최소 저항과 최대 양력을 갖는 최적 선형의 도출을 위해서는 날개면 형상의 최적화, 트림 모멘트 발생 등에 대한 계속적인 연구가 필요하며, 아울러 실험의 경우에도 좀 더 세밀한 유동 현상의 파악을 위한 유동 가시화법의 개발이 요구되어 진다.

후 기

본 연구는 한국과학재단이 지원한 1990년도 목 적기초연구 “선박의 조파저항에 미치는 점성 및 비선형 효과(KRSEF 90-0200-03)”의 제3세부과제 “조파저항에 미치는 점성의 영향”의 일환으로 수행하였으며, 이 기회에 상기재단에 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- [1] Ni, S. Y., "Higher Order Panel Methods for Potential Flows with Linear or Non-Linear Free Surface Boundary Condition", Phd Thesis, Chalmers Univ. of Technology, Gothenborg, Sweden, 1987.
- [2] Dawson, C. W., "A Practical Computer Method for solving Ship-Wave Problems", Proceedings of the second international Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, 1977
- [3] Lee, C. S. et al, "Analysis of Interaction between Stern Flows and Propeller (in Korean)", Chungnam National University, unpublished, 1990.
- [4] 이창섭, "프로펠러에 의한 선체표면 기진력의 해석 프로그램 개발 연구", 충남대학교 공과대학 산업 기술 연구소, 1994.
- [5] Farrell, C., "On the Wave Resistance of a Submerged Spheroid", JSR, Vol.17, 1973.