

## 선미 후류에서 작동하는 혼타의 압력분포에 관한 연구

공도성\*, 한재문\*\*, 유재문\*\*\*

### A Study on the Pressure Distributions of Horn Rudder Operating in Ship's Wake

Do-Sung Kong\*, Jae-Moon Han\*\* and Jae-Moon Lew\*\*\*

#### 요 약

선체-프로펠러-타의 상호작용 해석을 반복계산에 의해 수행하였다. 예측된 공칭속도를 입력자료로 하고 보오텍스 링 이론을 이용하여 유효속도를 계산함으로써 선체와 프로펠러사이의 상호작용을 고려하였고, 계산된 유효속도를 입력자료로 하여 프로펠러-타 상호작용을 계산할 수 있는 포텐셜 기저 패널법을 개발하였다. 프로펠러에 의해 타에 유기되는 속도와 반대로 타에 의해 프로펠러에 유기되는 속도는 수렴된 해가 얻어질 때까지 반복 계산하여 타 주위의 정상유동 해석을 수행하였다. 이와 함께 삼성중공업의 대형 캐비테이션 터널에서 L.D.V를 사용하여 프로펠러 및 타 주위의 유동장을 측정하였고 수치계산 결과와 비교하였다. 실선에 설치되고 있는 혼 타주위의 유동장 계산을 위해 gap flow 모델을 적용하였고, 여러 가지 타각에 대한 수치계산을 수행하여 대형 캐비테이션 터널에서 측정된 타 표면에서의 압력과 비교하였으며, 계산된 표면 압력 치는 실험 값과 비교적 일치되는 만족스러운 결과를 얻었다.

\*Keywords: Hull-propeller-rudder interactions(선체-프로펠러-타 상호작용), Vortex ring method(보오텍스 링 이론), Large cavitation tunnel(대형 캐비테이션 터널), Horn rudder(혼 타)

#### Abstract

Hull-propeller-rudder interactions are studied by the iterative computational procedures. Hull effects on the propeller are reflected through the effective velocities computed by the vortex ring method which used the measured nominal wake as input data. A potential based panel method has been developed to solve the propeller-rudder interactions using the obtained effective velocities. Steady flow characteristics around the rudder surface can be obtained by computing the induced velocities on the rudder by the propeller and vice versa are computed by the iterative manner until the converged solutions are obtained. Flow characteristics around the propeller and the rudder are measured by Laser Doppler Velocimetry(L.D.V.) in large cavitation tunnel at Samsung Heavy Industries. The gap flow model is adopted to solve the characteristics of the horn rudder. Numerical results are compared with the experimental values and the computed velocity fields and pressure

---

접수일자: 2001년 11월 14일, 승인일자: 2002년 3월 20일

\* 정회원, 삼성중공업(주) (E-mail: dskong@samsung.ac.kr)

\*\* 정회원, 삼성중공업(주) (E-mail: jaemhan@samsung.ac.kr)

\*\*\* 정회원, 충남대학교 선박해양공학과 교수(E-mail: jmlw@cnu.ac.kr)

distributions with rudder angle on the horn rudder surface show good agreement with measured ones in large cavitation tunnel.

## 1. 서언

대형 고속 컨테이너 또는 고속 여객선의 타에서 흔히 발생하고 있는 타 표면 캐비테이션 발생의 초기 추정과 추진기 후류 회전 에너지회수에 의한 연료절감 장치의 개발을 위해서는 선체와 추진기 및 타의 상호작용 해석이 필수적이다. 선미에서 작동하는 추진기와 타의 상호작용 해석을 수행하기 위해서 엄밀히는 비정상 유효반류의 계산과 이를 사용한 추진기의 비정상 해석과 추진기-타의 상호작용의 비정상 계산이 수행되어야 한다. 그러나 이러한 계산을 수행하는 데는 엄청난 계산이 필요하게 되므로 대부분의 계산에서는 선체의 영향을 무시하고 무한날개수의 단순화된 추진기이론과 보오텍스 분포나 패널법에 의한 정상 상태의 타 주위 유동해석을 반복계산 함으로써 수렴된 수치 해를 구하거나(Li et. al., 1995, 1996/Tamashima et. al., 1992, 1993) 추진기주위 유동해석 프로그램을 사용하여 타에 미치는 유속을 구한 후 타에 작용하는 정상 유체력을 구하는 문제(Jiang et. al., 1995/ Shen et. al., 1997)로 취급하고 있다. 또한 지금까지의 모든 수치계산에서는 수치계산상의 편의를 위해 전동타에 대한 계산만이 이루어 졌고 실제 선박에 사용되고 있는 혼타에 적용한 예는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 포텐셜 기저 패널법(공도성, 2000)을 확장하여 선미 후류에서 추진기가 작동할 때의 혼 타 주위의 정상 유동해석을 수행하는 수치계산법을 개발하였다. 보오텍스 링 이론(Lee et. al., 1990/ 공도성 등, 1997)을 이용하여 계산된 유효속도를 입력자료로 하여 추진기-타 상호작용을 계산할 수 있는 패널법을 이용하여 타에 유입되는 유동장을 계산하였으며, 삼성중공업의 대형 캐비테이션 터널에서 수행된 L.D.V 계측 결과와 비교하였다.

개발된 수치계산법을 이용하여 균일류 중에서 타 각을 가진 전동타의 타 단독 성능계산을 수행하고 타 표면에서의 압력 분포를 외국의 실험 결과(Goodrich et. al., 1979)와 비교하였다. 실제 선박에 사용되고 있는 혼타에 대해 여러 가지 타 각에 대한 수치계산을 수행하고 대형 캐비테이션 터널에서 계측된 타 표면에서의 압력과 비교하였다. 계산된 표면 압력 치는 실험값과 비교적 일치되는 만족스러운 결과를 보여 주었다.

## 2. 혼 타 단독특성의 수치 계산법

실제 선박에 사용되는 혼 타는 전동타와 달리 고정부와 가동부 사이에 간극이 존재하게 되고 이러한 간극으로 인하여 전동 타와 다른 유동 특성을 나타내게 된다. 이러한 간극 유동에 대해 강창구(1993)는 얇은 수중날개 이론을 적용하여 이차원 플랩 타에 대한 해석적 해를 구하였으며 표상우 등(1999)은 강창구의 식을 적용하여 플랩 타에서 물제트가 분출될 때 타에 작용하는 힘을 계산한 바 있다. 또한 Hughs(1994)는 간극이 존재하는 2차원 단면에서 간극부 상, 하면 패널에 존재하는 간극부 유동에 경험식을 사용하여 duct 추진기 계산을 수행한 바 있다.

본 연구에서는 표상우 등(1999) 및 Hughs(1994)의 방법을 준용하여 간극부에 가상의 패널을 분포하고 간극 사이에 존재하는 상, 하면의 패널에 새로운 경계조건을 부여하여 다음과 같은 간극유동 모형을 적용하였다. 즉,

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = -\hat{n} \cdot (\vec{U}_{\infty} + \vec{\beta}) \quad (1)$$

식(1)에서 간극사이에 존재하는 평균 유속을 나

타내는  $\vec{\beta}$  는 다음 식으로 계산하였다.

$$\vec{\beta} = \frac{(u_\theta)_m}{|U_\infty|} = \frac{12}{Re} \left( \frac{R_0}{h} \right) \times \left[ -\Delta\theta + \sqrt{(\Delta\theta)^2 + \left\{ \frac{Re}{12} \left( \frac{h}{R_0} \right) \left( \frac{|V_\infty|^2}{|U_\infty|^2} \right) \right\}} \right] \quad (2)$$

여기서  $(u_\theta)_m$ ,  $Re$ ,  $\Delta\theta$ ,  $R_0$ 는 Fig. 1에 보인 바와 같이 각각  $\theta$ 방향의 평균유속, 간극사이의 국부 레이놀드 수, 가동부 pivot 점을 중심으로 한 입구 및 출구 사이의 라디안 값 및 pivot 점을 중심으로 한 간극 사이의 평균 반경을 의미하며,  $h = R_2 - R_1$ 을 나타낸다.

이러한 간극 유동을 고려한 타 표면에서 적분 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\phi}{2} + \int_{S_r} \phi \frac{\partial G}{\partial n} ds + \int_{S_w} (\Delta\phi) \frac{\partial G}{\partial n} ds = \int_{S_r} (-\hat{n} \cdot (\vec{U}_\infty + \vec{\beta})) G ds \quad (3)$$

여기서,  $G$ 는 Green 함수로, 다음 관계식을 만족한다.

$$G = -\frac{1}{4\pi R(p, q)}$$

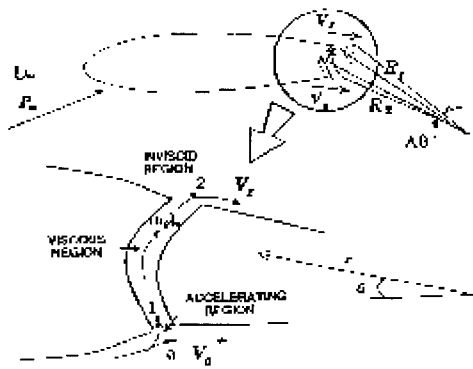


Fig. 1 Sketch of a rudder with gap

또한,  $S_r$ ,  $S_w$ 는 각각 타의 표면과 후류면을 각각 나타내며,  $p$ 는 임의의 유동장의 점,  $q$ 는 특이점의 위치를 나타낸다.

수치 계산에서는 먼저  $\vec{\beta}$ 를 0으로 가정하여 간극이 없는 타에 대한 계산을 수행하고, 식(2)로 계산되는 평균 유속을 사용하여 식(3)의 적분 방정식을 풀어  $\vec{\beta}$ 가 수렴할 때까지 반복계산을 수행하게 된다.

### 3. 혼 타 단독상태의 표면 압력

Molland(1979)는 tuft test를 통해 혼 타가 전동 타에 비해 양력계수가 현저히 감소하며 입사각 7.5° 부근에서 양력 곡선의 불연속이 일어나는데, 이는 혼 타의 간극부 주위 박리현상에 기인하는 것으로 설명하고 있다. 본 연구에서는 수치계산법의 검증에 위하여 Molland가 풍동 실험에 사용한 혼 타(Fig. 2)에 대하여 수치계산을 수행하고 실험 값과 비교하였다. 혼타의 패널 모델링은 하부 pintle 부위 형상이 복잡하기 때문에 계산상 편의를 위해 단순화된 형상에 대해 수행하였고, Fig. 3에 타각 10°일 때의 패널분포를 도시하였다. Fig. 4에는 타각 10°일 때의 양력과 항력의 계산결과를 Molland의 실험결과와 비교하였으며, Fig. 5에는 타각 10도일 때의 예측된 타 표면상의 압력분포를 Fig. 2에 나타난 예측위치별로 도시하였다. 계산과 실험 결과로부터 혼타의 양력곡선의 기울기는 타의 간극이 없는 경우에 비해 전체적으로 기울기는 감소하나 간극의 효과는 실제보다 작게 나타나는 것으로 보인다. 특히 혼 타에서 간극사이에 박리가 일어나기 시작한다고 알려져 있는 받음각 8도 이상에서의 차이는 더욱 두드러지게 나타난다. 이런 현상은 타 표면 압력에서도 동일하게 나타나는데 간극의 영향이 거의 없는 S1, S2, S3에서의 표면압력 계산치는 실험치와 거의 일치된 경향을 보이니 포텐셜 유동해석이 불가능한 간극부 주위 영역에는 다소 다른 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다

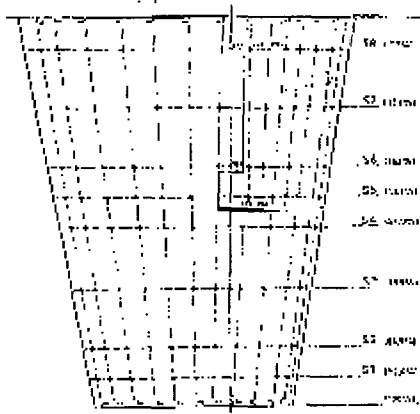


Fig. 2 Configuration of Molland's rudder and the location of pressure tap

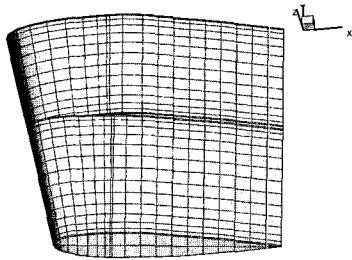


Fig. 3 Panel arrangement of horn rudder (rudder angle 10°)

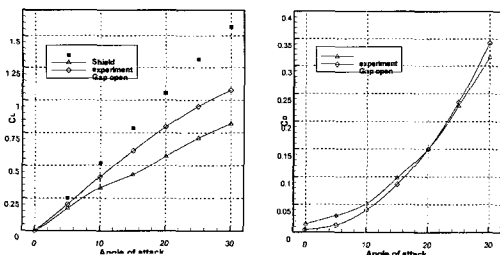


Fig. 4 Lift and drag coefficients of Molland's rudder (NACA 0020, taper ratio=0.59, aspect ratio=1.49, skeg depth/span=0.5, ballance=19%)

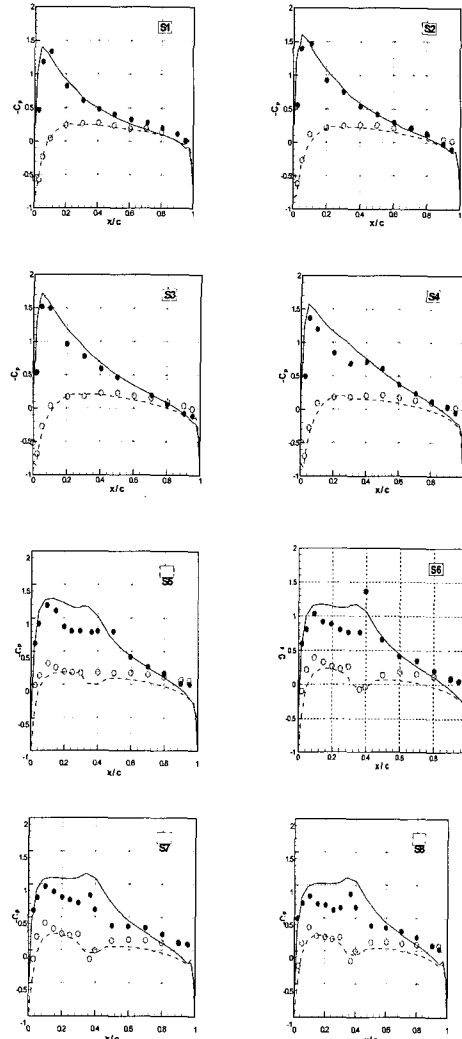


Fig. 5 Comparisons of numerical results with Molland's experiments (rudder angle 10°)

#### 4. 선체-추진기-타의 상호작용 계산

선미 후류에 놓인 타 주위의 유동해석을 수행하기 위해서는 추진기의 후류가 타에 미치는 영향이 고려된 타 표면에서의 유속분포를 구하여야 한다. 이를 엄밀히 계산하기 위해서는 선체와 추진기의 상호관계로 발생하는 불균일 유효속도를 수치계산하여야하며 추진기-타의 상호작용으로 발생하는

추진기 후류의 변형과 추진기와 타 상호 위치의 시간적 변화에 따른 비정상 해석 등 엄청난 수치 계산을 수행해야 한다.

지금까지 타에 미치는 힘을 계산하기 위해서는 선체의 영향을 제외하거나, 예인수조에서 계측된 공칭반류를 입력자료로 하여 추진기를 해석하고 추진기 후류 유동장에서 추진기에 의한 유기속도를 타의 경계치 문제로 해석하여 공칭반류에 더함으로써 타에 유입되는 속도를 계산하여 타에 작용하는 힘과 타 표면 압력을 계산하고 있다.(Jiang, 1995/ Shen, 1997) 일반적으로 추진기 후류에 타가 있을 때는 추진기-타 상호작용에 의해서 타가 없을 경우에 비해 동일 유속 및 회전수의 추진기에서 추력은 증가하고, 추진기에 유입되는 유효속도는 공칭속도에 비해 증가되는 것이 잘 알려져 있다(Lee et. al., 1990/ 박종우 등, 1999/ 공도성, 1998).

본 연구에서는 Fig. 6에 보인 계산 유통도와 같이 선체와 추진기 및 타의 상호작용을 고려하여 혼타 주위의 유동해석을 수행하였다. 이를 위해 먼저 선체와 추진기의 상호작용을 해석하고, 이 결과를 이용하여 추진기와 타의 상호작용을 해석하는 방법을 이용하였다.

선체와 추진기의 상호작용에 의한 유효속도의 계산은 Lee 등(1990)이 제안한 보오텍스 격자계법을 확장하여 유관 수축모형 대신 유선추적법에 의해 프로펠러 후류의 유관을 수치계산하여(Kong, D. S., 1998) 추진기 주위 유동해석의 입력자료로 사용하였다. 그러나 이 계산에서 타에 의한 추진기 후류의 변형은 고려하지 않았다. 한편, 추진기-타의 상호작용(공도성, 1997)은 추진기와 타의 경계치 문제를 정립하고 반복계산에 의한 수렴해로 구하였다. 최종 수렴해로 계산된 추진기 표면과 추진기 후류형상 및 타 표면상의 특이점 강도를 이용하여 추진기와 타 사이 유동장에서의 유기속도를 계산하였다. 계산된 유기속도와 선미에서의 유효속도와와의 합으로 타 표면상의 전속도를 계산하였고(공도성, 2000) 계산결과는 대형 캐비테이션 터널에서 계측된 전속도와 비교하였다(박종우 등, 1999).

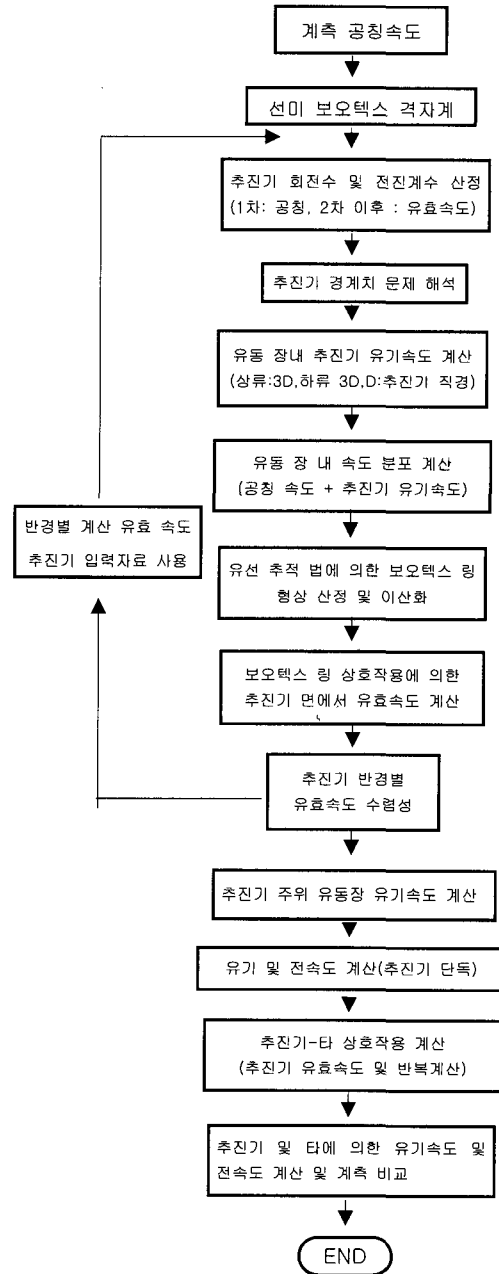


Fig. 6 Flow chart of computation of propeller-rudder interaction

5. 추진기-타 사이 유동장의 비교

Table 1 Principal characteristics of hull and propeller

Hull		Propeller	
L/B	6.97	Blade	6
B/T	3.17	(P/D)m	0.935
Cb	0.65	Ae/Ao	1.00

추진기-타 사이의 유동 특성을 조사하기 위해 삼성중공업의 대형 캐비테이션 터널에서 선미에 추진기와 타가 설치된 모형을 이용하여 모형시험을 수행하였다. 실험에 사용된 선박 및 추진기의 주요 재원을 Table 1에 보였고, Fig. 7에 프로펠러 앞과 뒤에서의 유속 측정 위치를 나타냈다. 측정 위치 D, E에서 추진기만 있을 작동할 때와 추진기와 타가 작동할 때의 축 방향 평균 유속 성분 측정결과를 수치계산 결과와 함께 Fig. 8과 Fig. 9에 도시하였다. 이와 함께 추진기 면에서 측정된 공칭 속도를 Fig. 10에 도시하였고 타가 설치된 경우에 대해 추진기 후류 유동장 D 및 E면에서의 추진기 반경 및 회전각에 대한 전 속도 측정 결과를 Fig. 11 ~ Fig. 12에 도시하였다. 측정 결과로부터 추진기 후류의 유동은 이미 잘 알려진 바와 같은 다음의 특성을 가지는 것을 확인하였다.

1) 추진기 후류 내의 속도 성분은 증가되나, 추진기 후류 밖의 속도는 증가되지 않는다.

2) 추진기 후류의 유동장에서 축 방향 불균일 성분은 상당 부분 감소되고, 추진기 유입 유동장의 접선과 반경방향 성분으로 인한 후류의 좌, 우면의 속도 성분에 차이가 발생하며 그 차이는 선속으로 무차원 시켰을 때 약 0.15 정도의 값을 가진다.

3) 타가 있을 때의 추진기 후류 유속은 타가 없을 때에 비해 약간 증가된다.

4) 비교적 작은 반경인 0.3R에도 유입속도 및 추진기에 의한 유기속도 증가가 많다.

수치계산과 실험결과와의 비교를 통해 축 방향

평균 전속도는 계산과 실험치 모두 추진기 후류 영역에서는 잘 일치되는 결과를 보여 주고 있으나 그 밖의 유동장에서는 오히려 유효속도와 잘 일치되는 경향을 보여주고 있음을 알 수 있었다.

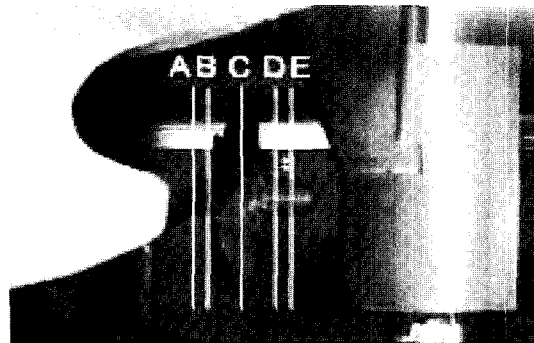


Fig. 7 Velocity measuring planes around propeller

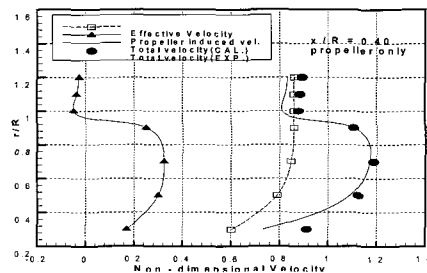


Fig. 8 Comparisons of measured and computed total velocities (propeller only)

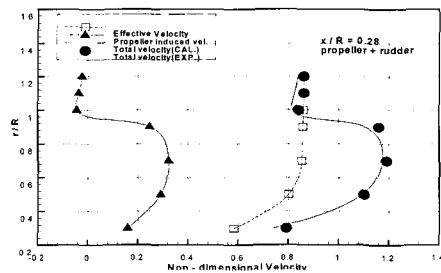


Fig. 9 Comparisons of measured and computed total velocities (propeller only)

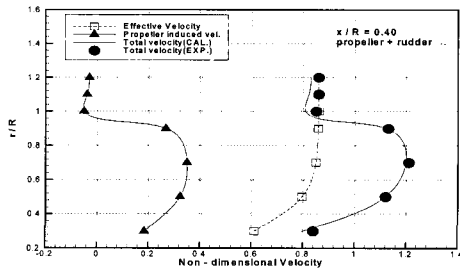


Fig. 9 Continue

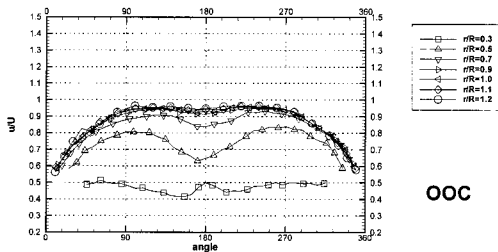


Fig. 10 Variations of nominal velocities along blade angular position

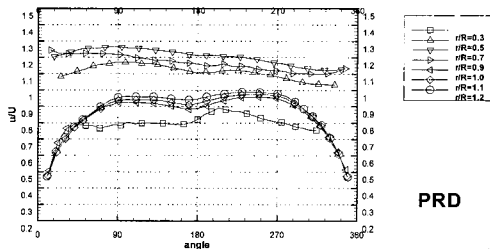


Fig. 11 Variations of total velocities on the plane D along blade angular position (propeller and rudder)

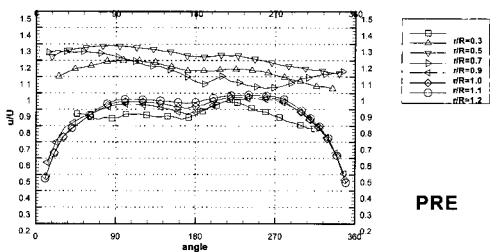


Fig. 12 Variations of total velocities on the plane E along blade angular position (propeller and rudder)

### 6. 추진기 작동시의 타 표면압력 비교

추진기가 작동될 때 혼 타 표면의 압력계측을 하였다. 모형 타는 알루미늄 재질을 사용하여 제작하였고, 48개의 압력계측용 홀의 제작을 위하여 타의 우현 쪽 부분의 일부를 분리하여 가공하였다. 타의 형상과 압력계측을 위한 홀의 위치를 Fig. 13에 도시하였다. 프로펠러 작동으로 인한 swirl 발생 때문에 프로펠러 축의 중심을 기준으로 타의 상부와 하부에서 타에 걸리는 받음 각이 방향이 반대가 되므로 압력계측용 홀을 상부에서는 타 우현 부분에, 하부에서는 타 좌현 부분에 조밀하게 배치하였다. Fig. 13의 A, B, C, D 위치는 타 표면에서의 캐비테이션 발생 범위를 고려하여 추진기의 중심선을 기준으로 추진기의 반경 0.6R 과 0.8R에 대응되는 타 표면의 상부와 하부에 해당한다.

타 표면에서의 압력 계측을 위한 압력변환기는 Validyne사 제품으로 계측 가능 최대 상대 압력은 140 kPa이다. 압력홀은 직경 1.6mm 깊이 50mm로 하였으며, 폴리비닐(polyvinyl)을 통하여 공동수조 외부에 설치된 Scannivalve로 연결하였다. 또한, 압력계의 교정시험은 Ametek사의 압력 교정기를 이용하여 수행하였다. 이 기기는 중량에 의해 압력을 발생시켜 주는 Deadweight Tester로 단순하게 중량(gravity weight)과 가압 면적의 기본적 단위만으로 발생압력을 결정해 주는 장치이다.

대형 캐비테이션 터널에서 고속 컨테이너 선박을 대상으로 추진기가 작동될 때의 혼 타 표면 압력 계측시험을 수행하였다. 실험은 유속, 약 6.85m/sec, 캐비테이션수,  $\sigma_n=1.544$ , 및  $K_T=0.21$ 의 상태에서 수행하였다.

여기서,  $\sigma_n = \frac{P_o - P_v}{0.5\rho n^2 D^2}$ ,  $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$  이며  $P_o$  는 터널내의 교란되지 않은 균일류의 압력으로 대기압의 1.3배이었고,  $P_v$ 는 물의 증기압을 나타낸다.

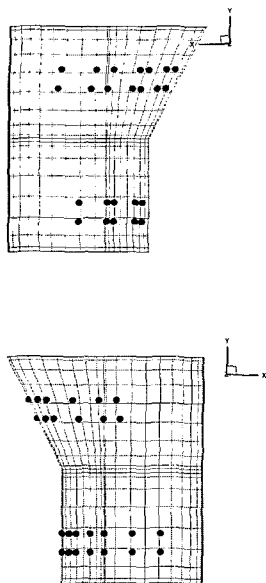


Fig. 13 Configuration of horn rudder and the locations of pressure hole

Table 2 Principal characteristics of hull, propeller and rudder

Hull		Propeller		Rudder	
L/B	8.32	Blade	6	Aspect ratio	1.63
B/T	2.57	(P/D)m	0.98	Balance ratio	0.25
Cb	0.67	Ae/Ao	0.90	Section	NACA0020

계산과 실험에 사용된 선박, 추진기 및 타의 주요 재원을 Table 2에 도시하였다. 타 주위 유동 해석은 공도성(2000)의 방법에 따라 계산된 유효 반류를 입력자료로 하고 정상상태의 가정 하에 추진기-타의 상호작용을 고려하여 계산하였다. 타 표면에서의 압력계산에서는 타의 계측위치에 따른 정수압의 영향을 고려하였다. 실험은 타각 0도 및 타각 좌, 우현 8도에 대해 수행하고 수치계산과의 비교하여 Fig. 15 ~ Fig. 17에 도시하였다. 그림에서  $K_p = \frac{P - P_\infty}{\rho n^2 D^2}$  와 같이 무차원화 하였고,

이때  $P_\infty$ 는 무한원방에서의 압력이며,  $P$ 는 타 표면에서의 압력을 나타내는데, 압력  $P$ 의 계산에는 타 위치에 대한 정수압을 포함되었다.

실험과 수치계산 결과와의 비교를 통해 타 공동 현상이 가장 현저한 타 표면 상의 A, B에 대한 수치계산과 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 간극유동의 영향이 나타나는 구역에서도 비교적 일치되는 경향을 보여 주는 것을 알 수 있다.

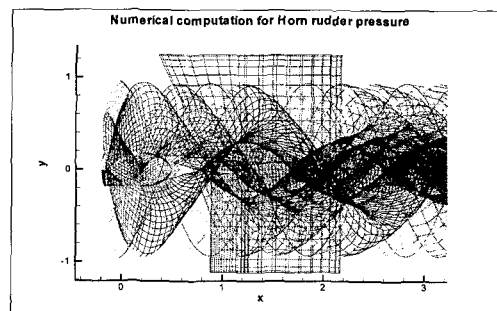


Fig. 14 Panel arrangement of propeller with wake and rudder (propeller 12x12, rudder 40x30)

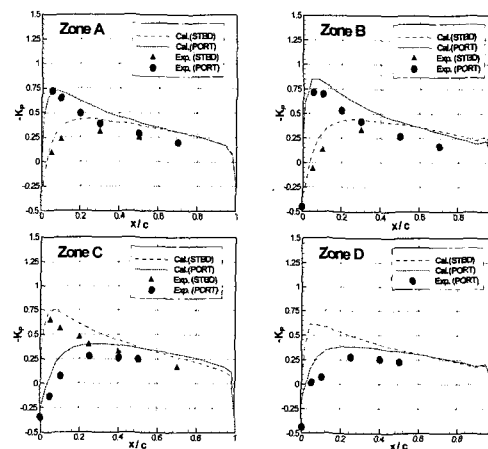


Fig. 15 Comparisons of measured and calculated pressure distributions on the rudder surface(propeller operating condition, rudder angle 0°)



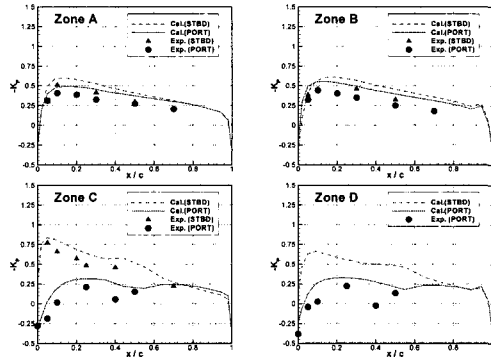


Fig. 16 Comparisons of measured and calculated pressure distributions on the rudder surface(propeller operating condition, rudder angle 8°)

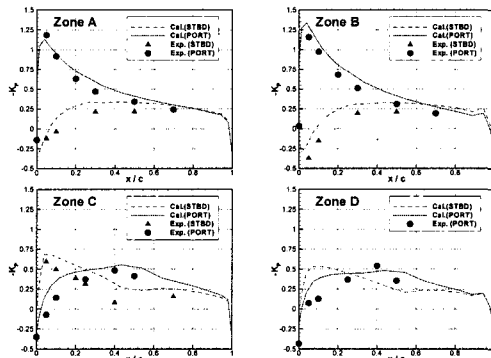


Fig. 17 Comparisons of measured and calculated pressure distributions on the rudder surface(propeller operating condition, rudder angle -8°)

### 8. 결론

공칭반류를 이용하여 유효반류를 계산하고 추진기-타 상호작용을 고려한 수치계산법을 이용하여 고속 컨테이너 선박의 타 캐비테이션 발생과 타 주위 유동장 해석의 가능성을 수치계산과 모형시험을 통하여 검증하였다. 비정상 상태에 대한 고려, 타에 의한 추진기 후류의 변형 및 모형선 설

치에 따른 터널의 축벽효과 등의 정확한 보정 등에 다소 미흡한 점이 있음에도 불구하고 계산값과 실험치는 잘 일치되는 경향을 보여주고 있다. 실험치와 계산치의 일정한 양의 압력 차를 보여주고 있는데 이는 비 정상상태에서 발생하는 추진기의 회전 시 좌, 우현의 추력 차이가 반영되지 않았던 결과로 보인다.

이상의 수치계산과 모형시험을 통해서 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 계측된 공칭반류를 이용하여 추진기-타 상호작용 계산함으로써 추진기-타 사이 유동장 해석의 가능성을 제시하였다.
- 2) 실제 선박에 사용되고 있는 혼 타 주위의 압력분포 등에 대해 엄밀한 수치계산을 수행함으로써 혼 타에 관련된 유체역학적 문제의 정량적 접근의 가능성을 제시하였다.

앞으로 본 연구 결과를 타 캐비테이션 계산에 적용하고 모형시험 결과와 비교하는 것이 필요하며, 추진기가 작동할 때의 3차원 유동장 계측을 통해 축방향과 반경방향의 유속에 대한 수치계산과의 비교 및 추진기가 작동될 때 추진기 좌, 우 방향의 추력 차이를 고려하기 위한 실용적 방법의 개발이 필요하다고 사료된다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단의 핵심전문 연구과제(981-1013-232-2)의 일부로 수행된 것으로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- Lee, C. S. and Lee, J. T., 1990, "Prediction of Effective Wake considering propeller-shear flow interaction," J. of Soc. of Naval Arch. of Korea., Vol. 27, No. 2
- 강창구, 1993, "2차원 플랩타의 간극이 양력에 미치는 영향," 대한조선학회논문집 제 30권 제4호

- 표상우, 서정천, 김효철, 1999, "표면 유체분출 수중날개의 유동해석," 대한조선학회 논문집, 제 36권 제 4호, pp. 21-27
- Kong, D.S., Kim, Y. G. and Lew, J. M., 1998, "On the practical computation of propulsion factors of ships," Practical Design of Ships and Mobile Units
- 공도성, 김영기, 유재문, 1999, "단순화한 수치 계산을 이용한 자항 요소 추정에 관한 연구," 1999 대한조선학회 추계연구 발표회
- 공도성, 김영기, 유재문, 1997, "타와 추진기의 상호관계 연구," 대한조선학회 추계연구발표회
- 박종우, 나윤철, 김영기, 1999, "대형캐비테이션 터널에서의 콘테이너선 선미반류계측," 대한 조선학회 추계연구발표회
- 공도성, 2000, "추진기-타 상호작용을 고려한 선박의 자항요소 추정에 관한 연구," 충남대학교 선박해양공학과 박사학위논문
- Li, Da-Qing and Dyne, G., 1995, "Study of Propeller -Rudder Interaction based on a linear method," I.S.P., Vol. 42, No. 431
- Li, Da-Qing, 1996, "A Non-Linear Method for the Propeller-Rudder Interaction with Slipstream Deformation taken into account," Computer methods in Applied Mechanics and Engineerings, Vol. 130
- Tamashima, M. , Yang, C.J. and Yamazaki, R., 1992, "A Study of the Flow around a Rudder with Rudder Angle behind Propeller," T. of West Japan Soc. of Naal Arch., No. 83
- Tamashima, M., Yang, C.J., Matsui, M. and Yamazaki, R., 1993, "The Method for Predicting the Performance of Propeller-Rudder System with Rudder Angle and Its application to the Rudder Design," T. of West Japan Soc. of Naval Arch., No. 86
- Goodrich, G.J. and Molland, A.F., 1979, "Wind Tunnel Investigation of Semi-Balanced Ship Skeg Rudders," T. of the Royal Institution of Naval Architect, Vol. 121
- Hughes, Michael. J., 1994, "Implementation of a Special Procedure for Modeling the Tip Clearance flow in a Panel Method for Ducted Propulsors," Propellers/Shafting '94 Symposium
- Jiang, C.W., Remmers, K. and Shen, Y.T., 1995, "Rudder Cavitation Studies at DTMB Large Cavitation Channel," Cav' 95
- Shen, Y. T. Shen, K. R. and Jiang, C.W., 1997, "Effect of Ship Hull and Propeller on Rudder Cavitation," J.S.R., Vol. 41, No. 3



< 공 도 성 > < 한 재 문 > < 유 재 문 >