프로펠러 및 선미반류에 의해 영향을 받는 혼-타의 캐비테이션 관찰 및 간극 유동에 대한 가시화 연구

백부근 **, 김경열 *, 안종우 *, 박선호 **, 허재경 **, 유병석 **

한국해양연구원 해양시스템안전연구소*
한진중공업(주) 기술연구소 선박해양연구팀**

Cavitation Observation and Visualization of the Gap Flows on a Rudder Influenced by Propeller Slipstream and Hull Wakes

Bu-Geun Paik **, Kyung-Youl Kim *, Jong-Woo Ahn *, Sunho Park **, Jaekyung Heo **
and Byeong-Seok Yu **

Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI*
Hanjin Heavy Industries & Construction Co. Ltd.**

Abstract

In the present study, the influences on the gap cavitation of the semi-spade rudder are investigated experimentally in the condition with propeller and hull wakes. To reduce the scale effect in the given experimental conditions, 1/28.5-scale-down models of propeller and rudder are manufactured. We have the propeller rotate ahead of the rudder, inducing the three dimensional effects originated from the propeller action. Experimental methods are composed of the cavitation observation using high speed camera, PIV (particle image velocimetry) measurements to visualize the cavitation and flows around the gap. The propeller slipstream affects both of the gap flows and cavitation of the rudder.

※Keywords: Semi-spade rudder(혼-타), Gap cavitation(간극 캐비테이션), High speed CCD camera(고속카메라), PIV(입자영상속도계), Horn(고정부), Movable part(가동부)

1. 서론

선박에 조종성과 제어 성능을 제공하는 타는 추진력을 양산하는 프로펠러에 비해 많은 관심을

받지 못하여 왔다. 그러나 최근 들어 선박이 대형화되고 고속화됨에 따라 프로펠러에서 발생하는 후류는 매우 높은 하류 방향 속도를 갖게 되었다. 이러한 후류에 의해 직접적으로 영향을 받게 되는 타는 양력이나 항력 뿐 만 아니라 캐비테이션 관점에서 많은 관심을 불러일으키고 있다. 타의 표면에서 과도하게 발생

접수일: 2007년 12월 3일, 승인일: 2008년 5월 6일

† 교신저자: ppaik@moeri.re.kr, 019-358-0255

하는 캐비테이션은 타의 표면에 침식을 일으켜 유지 보수 비용을 증가시키거나 심각한 수중 소음을 발생시킬 수 있다. 게다가 선박에 항력을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있기 때문에 세심한 관심이 필요하다.

타에 대한 연구는 실험적 또는 이론적 방법을 이용하여 수행되어 왔다. 이론적으로는 Li(1994)가 프로펠러와 타의 상호작용을 계산할 수 있는 선형 방법을 개발하였고 실험 결과와 비교하였다. 최근에는 Kim et al.(2006a)이 프로펠러 후방에서 작동하는 타에 대하여 양력면 이론과 포텐셜 기저 패널법을 이용하여 프로펠러의 영향을 받는 타에 대한 수치계산을 수행하였다. 또한 Choi et al.(2007)은 캐비테이션 모형과 점성이론을 이용한 수치적 방법으로 3차원 유동박리를 포함한 혼-타 주위의 복잡한 유동현상을 조사하였다.

이상과 같이 타의 캐비테이션 연구를 위해 다양한 이론적 방법이 동원되어 왔으나 계산 조건을 단순화하거나 생략하여 계산하였기 때문에 그 결과에 대한 신뢰성에 의문을 제기할 수 있다. 즉, 선체와 프로펠러의 상호작용 효과가 무시되거나 혼-타의 간극 형상을 고려하지 못한 수치계산, 프로펠러로부터 발생하는 축방향 모멘텀을 원주방향의 평균화된 힘으로 모사하는 등 실제 현상과는 다른 조건에서 계산을 수행하였기 때문에 신뢰성 있는 실험 결과를 통하여 계산 프로그램의 검증 및 계산 조건에 대한 수정 보완 작업이 필요할 수 있다.

Molland and Turnock(1992)는 풍동에서 프로펠러와 타 사이의 상호작용에 대한 연구를 실험적으로 수행하였고 예인 및 공동 수조에서 Kracht(1992)가 양력과 항력을 측정하여 프로펠러와 타의 상호작용을 연구하기도 하였다. Stierman(1989)은 예인수조에서 일련의 모형시험을 수행하여 타가 낮은 전진비에서 양의 추력을 발생할 수 있음을 보였다. 이상의 실험들은 타에서 만들어지는 양력이나 추력에 초점을 맞추어 선박의 조종성이나 안정성에 대한 연구가 주를 이루었다. 최근에는 Shen et al.(1997)이 미해군의 LCC(Large Cavitation

Channel)에서 비틀린(twisted) 타에 대하여 연구를 수행하여 타의 캐비테이션을 감소시킬 수 있음을 보였다. Paik et al.(2006)과 Kim et al.(2006b)은 대부분의 상선에 적용되고 있는 혼-타(semi-spade rudder)의 간극 부분을 1/10 척도로 제작하고 균일 유동 조건에서 캐비테이션 실험을 수행하여 캐비테이션 수의 변화에 따른 간극 유동 및 간극 캐비테이션에 대한 연구를 수행하였다. 이 결과를 이용하여 간극 캐비테이션을 감소시킬 수 있는 간극 입구 형상 설계에 대한 기초 자료를 마련하였다. 그러나 선미 반류 및 프로펠러가 혼-타 전방에 놓이게 될 경우 타에 입사각을 가지고 유동이 유입되어 흡입면과 압력면에 대칭적인 캐비테이션이 나타나지 않고 간극 유동의 특성이 바뀌게 되므로 간극 입구 형상에 대한 세심한 검토가 필요하다.

혼-타는 전가동타(full-spade rudder)와 달리 고정부(horn)와 가동부(movable part)로 나뉘기 때문에 필연적으로 고정부와 가동부 사이에 간극이 발생하게 되며 가동부의 움직임에 따라 유입 유동은 혼-타의 표면에 압력면과 흡입면을 형성시킨다. 또한 혼-타는 앞서 언급한 바와 같이 타의 전방에 선체와 프로펠러가 놓이기 때문에 복잡하고 불안정한 유입 유동을 경험하게 되고 프로펠러 회전 성분에도 의해 타의 상부와 하부로 유입되는 유동의 입사각이 달라진다.

본 연구에서는 혼-타에 영향을 주는 유입 유동의 특성을 자세히 조사하기 위하여 균일 유동 안에 존재하는 혼-타와 전방에 선미 반류와 프로펠러가 모두 존재할 경우의 혼-타 모형에 대하여 살펴보았다. 혼-타에 발생하는 캐비테이션을 관측하기 위해 고속카메라를 사용하였으며 간극 출입구 주위에서 유동의 속도장을 계측하여 유입 유동 조건이 간극 유동에 미치는 영향을 조사하였다. 이와 같은 조사를 통하여 프로펠러 후류가 타 캐비테이션에 어떻게 영향을 주는지 알아 보았고 간극에서 횡방향으로 유출된 간극 유동을 계측하여 간극 주위의 주유동과 프로펠러 후류면과의 관계를 살펴 보았다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

혼-타의 간극 캐비테이션의 특성을 살펴보기 위한 실험은 해양연구원 해양시스템안전연구소의 공동수조에서 수행되었는데 그 제원은 $2.6^L \times 0.6^B \times 0.6^D$ m³이다. Fig. 1은 시험이 수행된 공동수조를 나타낸다. 공동수조의 최대 유속은 12m/s이고 수조 내부 압력은 0.1 기압(Kgf/cm²)에서 2.0 기압까지 변화가 가능하다.

타 모델을 공동 수조의 관측부에 설치하였다. 본 연구에서는 타 캐비테이션에서 나타나는 척도 효과를 가능한 줄이기 위하여 공동수조에서 수용

Fig. 1 Propeller and rudder in the cavitation tunnel

Fig. 2 Semi-spade rudder

가능한 최대 척도 1/28.5로써 프로펠러와 혼-타 모델을 제작하였다. 프로펠러의 직경은 294.7mm이고 날개 수는 6개이다. 프로펠러의 설계 전진비는 0.75이고 평균 피치(pitch)비는 1.0320이다. 실험에 사용된 자유흐름 속도는 6.7 m/s, 프로펠러 회전수는 22 rps(초당 회전수)이었다. 혼-타는 고정부와 가동부로 이루어져 있으며 가동부의 회전각에 따른 캐비테이션을 관측하기 위하여 최대 10°까지 회전할 수 있도록 제작되었다. 사용된 타 모델의 스케치는 Fig. 2에 나타내었으며 타의 horn과 가동부(movable part)는 모두 NACA64421 단면을 사용하였다. 또한 horn 및 가동부의 최상단(top)의 후폭비는 21%이었다 (후폭비 = 단면두께 / 코드길이). 타의 간극(gap)이 놓여있는 위치 및 방향에 따라 Fig. 2와 같이 수평간극 H1, H2, 수직간극 V1, V2를 정의하였으며 축척비에 따른 모델 타의 실제 간극 크기(clearance)는 1.75mm이었다.

실제 혼-타는 균일 유동 안에 존재하지 않고 선미 반류와 프로펠러 후류 내에 존재하게 되므로 모형 실험 시 선미 반류와 프로펠러 후류가 어떻게 타 캐비테이션 또는 간극 유동에 영향을 미치는지에 대한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 프로펠러 및 선미 반류가 없는 균일유동(uniform flow), 프로펠러 및 선미 반류 모두 존재하는 경우

Fig. 3 PIV experimental set-up in the cavitation tunnel

에서 혼-타의 회전각을 변화시키면서 간극 캐비테이션의 거동을 관찰하여 각 요소들이 타에 주는 유체역학적인 특성을 조사하고 추후 형상개선을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

타에서 발생하는 캐비테이션은 비정상(unsteady)적이며 일정하지 않은 형상을 보이므로 높은 시간 분해능을 갖는 고속카메라를 사용하여 빠르게 변화하는 타 표면의 캐비테이션을 관찰할 수 있다. 가시화 시스템은 고속 CCD 카메라(Photron, FASTCAM APX-RS), 메탈 조명(Photron, HVC-SL) 1개, 영상처리 장치, 제어 및 계산용 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 사용한 CCD 카메라의 프레임 수는 4000 fps이었으며 해상도는 896 x 720 pixels이었고 관측면의 크기는 20 x 15 cm²이었다.

또한 간극 주위의 유동을 자세히 관찰하게 되면 간극 유동에 대한 정보를 얻을 수 있으므로 정량적인 가시화 기법인 PIV(particle image velocimetry)를 사용하여 간극 주위의 유동을 계측하였다. 속도장 측정을 위한 2차원 PIV 시스템은 Nd:Yag 레이저(펄스 당 200mJ), 한 대의 CCD 카메라, 카메라 이송장치, 영상처리 장치, 제어 및 계산용 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 사용한 CCD 카메라의 해상도는 1024 x 1024 pixels이다. 레이저 평면광을 Fig. 3과 같이 공동수조 옆에서 조사하고 아래 쪽에 카메라를 배치하여 5.5 x 5.5 cm² 크기의 측정단면에서 속도장을 측정하였다. 산란입자로서 TiO₂ (titanium dioxide)를 사용하였고 PIV 알고리즘을 이용하여 계산된 속도장의 유효 공간 해상도는 0.86 mm이었다. Fig. 3에는 본 연구에서 사용된 좌표계와 측정면이 나타나 있는데 타의 회전축을 원점이라고 할 때 X축은 타의 좌현방향, Y축은 상류방향을 나타내며 X 축은 타 단면의 최대 폭 크기로 무차원화 하였고 Y 축은 타의 코드길이를 무차원화 하였다. 캐비테이션 수 σ_v 는 일정하게 1.5로 고정시키고 타각 θ 의 변화가 간극 캐비테이션에 주는 영향을 살펴보기 위하여 타각을 -10°에서 10°까지 변화시켜가며 간극 캐비테이션의 특성을 조사하였다. 여기서 캐비테이션 수는

$$\sigma_v = (P_0 - P_v) / (0.5 \rho V_0^2) \quad (1)$$

이며 P_0 는 수조 관측부 내부의 압력이고 P_v 는 청수의 증기압을 의미한다. 또한 ρ 는 물의 밀도이며 V_0 는 프로펠러 전방 위치에서의 평균 유동속도를 의미한다.

3. 결과 및 토의

혼-타의 가동부의 코드선(chord line)이 혼-타의 중심선(centerline)과 나란한 경우를 타각 0°라고 정의하며 가동부의 뒷날(trailing edge)이 수조의 중심선에서 좌현(port) 방향으로 멀어질 때를 양(+)의 타각이라고 정의하였다. 또한 가동부의 뒷날이 수조의 중심선에서 우현(starboard) 방향으로 멀어질 때를 음(-)의 타각이라고 정의하였다.

타가 프로펠러 후류 안에 존재할 경우에는 프로펠러의 회전 유동에 의한 영향을 받게 된다. 타의 하부 핀틀 부위를 포함하는 프로펠러 축의 윗부분에서는 타의 좌현쪽으로 입사각을 가지고 프로펠러 후류가 유입되고 축의 아래쪽에서는 타의 우현쪽으로 입사각을 가지고 프로펠러 후류가 유입된다. Fig. 4를 통해 혼-타의 흡입면의 간극에서 발생하는 캐비테이션의 모습을 볼 수 있는데 혼-타가 -6°일 경우 좌현에는 V1 간극 주위에서 캐비테이션이 발생하지 않았으나 H1, V2, H2 간극에서 캐비테이션이 발생하고 있음을 알 수 있다.

혼-타가 ±6°일 때 타 주위의 유동은 Fig. 5와 같이 나타난다. 혼-타가 -6°에 위치할 경우 타의 고정부의 좌현으로 입사각을 가지고 입사된 프로펠러 후류는 좌현의 간극 및 가동부 주위의 유속을 증가시킨다. 반면에 압력면에서는 압력이 더욱 높아져 수직간극 V1 등으로 유동이 크게 유입된다. 유입된 간극 유동이 흡입면 간극으로 급속하게 빠져 나오면서 비정상적인 캐비테이션을 발생시키게 된다. 또한 좌현 고정부 표면을 따라 가속되는 타 주위 유동은 가동부의 V2 간극 주위 형상 변화로 인하여 박리되어 캐비테이션을 가중시킨다.

(a) -6° (port side) (b) $+6^\circ$ (starboard side)

Fig. 4 Cavitation observation on the suction side in the case of w/ propeller and hull wake

(a) -6° (port side) (b) $+6^\circ$ (starboard side)

Fig. 6 Cavitation observation on the suction side in the case of w/o propeller and hull wake

Fig. 5 Sketch of the rudder and the flow around it

그러나 혼-타가 $+6^\circ$ 일 경우에 흡입면에는 V2 간극에서만 미약한 캐비테이션이 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 타의 가동부가 회전할 때 흡입면과 압력면이 프로펠러의 후류의 영향을 받아 혼-타의 캐비테이션이 다르게 나타나고 있음을 나타낸다. 간극 캐비테이션의 모습을 볼 때 타의 압력면에서 유입된 간극 유동이 주도적으로 영향을 미친 캐비테이션이라고 보이며 프로펠러 후류가 타의 좌현으로 더 강하게 유입됨으로 인하여 타의 우현을 따라가는 유동이 좌현을 따라 이동하는 유동 보다 속도가 낮아 유동 박리에 의한 성분이 미약하게 나타났다.

실제로 혼-타에 미치는 프로펠러 후류의 영향에 대하여 살펴보기 위해 프로펠러 및 선미

반류가 없을 경우 혼-타에 나타나는 캐비테이션을 고속카메라로 관측하였다. 타 단독 실험을 프로펠러가 있을 때의 조건과 유사하게 설정하기 위하여 타 단독 실험 시 타의 중심 위치에서의 유입속도를 프로펠러 후류가 타의 중심을 지날 때의 속도와 동일하게 조절하였다. 이를 위하여 타의 중심에서 유체 속도를 PIV 기법으로 계측하면서 공동 수조의 유속을 조절하였다. 또한 공동수조의 압력을 조절하여 캐비테이션 수 조건을 만족시켰다.

Fig. 6을 보면 프로펠러가 있을 경우와 가장 확연히 차이가 나는 부분이 수직 간극 V1 후방의 가동부 표면에 나타나는 sheet성 또는 cloud성 캐비테이션임을 알 수 있다. 고정부를 따라 이동하는 유동이 가동부의 큰 타각 변화에 의한 형상 변화를 감당하지 못하여 간극 V2 주변에서 박리되고 있으며 간극 V1에서는 압력면에서 유입된 간극 유동에 의하여 간극 캐비테이션이 강하게 발생하고 있다. 타의 좌현과 우현에 발생한 캐비테이션 위치 및 강도가 서로 유사함을 알 수 있어 프로펠러 및 선미 반류의 영향이 타의 캐비테이션에 큰 영향을 주고 있음을 인지할 수 있다.

프로펠러 및 선미 반류가 간극 주위의 유동에 대하여 어떠한 영향을 주는지 살펴보기 위하여 하부 핀틀의 중앙부에서 X-Y 평면에 대하여 Fig. 7, 8과 같이 간극 주위의 속도장을 계측하였다. 카메라를 수조 바닥 아래에 위치 시켰기 때문에 편의상 상류 방향을 Y 방향, 좌현 방향을 X 방향으로 정의하고 평면광을 수조의 좌현 바깥쪽에서 혼-타의 하부 핀틀 중앙부를 향하여 조사하였다. 타를 지나가는 유동 속도를 고려하여 레이저의 두 개 펄스의 시간 간격을 $30\mu s \sim 40\mu s$ 로 설정하였다. $Y/C = 0$ 은 타촉(stock)이 존재하는 위치이다. Fig. 7(a)는 타의 좌현이 압력면이 되었을 경우 주유동 방향 속도 V 의 크기를 자유흐름 속도 V_0 로 무차원하여 나타낸 것이다. 속도 벡터를 보면 대부분의 벡터들이 하류 방향을 향해 있으며 X 방향의 횡방향 속도가 작음을 알 수 있다. 그러나 수직 간극 V2가 위치하는 $-0.14 < Y/C < -0.1$ 구간의 간극 주위

(a) $+6^\circ$ (port side)

(b) -6° (port side)

Fig. 7 Velocity fields on the suction and pressure sides in the case of w/ propeller and hull wake

유동을 보면 주유동 방향의 속도가 20% ~ 30% 정도 감소된 것을 볼 수 있다. 이것은 압력면 주위를 이동하는 유동의 주유동 방향 성분이 감소하고 횡방향 즉, $-X$ 방향 속도가 증가하여 흡입면으로의 간극 유동을 위한 유입 유동이 준비되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 혼-타만 존재하는 경우에 대해서도 유사하다.

그러나 타각을 변화시켜 좌현이 흡입면이 되었을 경우 유동 구조가 크게 바뀔을 Fig. 7(b)를 통해 확인할 수 있다. 주유동 방향 속도의 크기가

압력면에 비해서 증가하였고 간극 입구에서 X 방향으로 간극 유동이 빠져 나오고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 7은 혼-타 주위의 간극 유동 및 간극 캐비테이션이 비정상적(unsteady)으로 발생함을 고려하여 순간 속도장을 추출하여 비교한 것이므로 간극 유동이 유출되고 주위의 유동에 의하여 교란되는 상황을 잘 포착할 수 있다. 즉, 간극에서 횡방향으로 유출된 간극 유동은 주유동

방향으로 나아가는 타 주위 유동과 함께 프로펠러 후류면에 의한 속도 성분의 영향을 받아 가동부 표면($-0.18 < Y/C < -0.14$)에서 심하게 요동하게 되어 수직 간극 V2 후방의 유동을 불안정하게 만들게 된다. 혼-타만 존재할 경우와 비교해 보면 간극 주위에 반류면이 존재하지 않고 반류면과 간극 유동 사이의 간섭 효과가 보이지 않는다. 또한 간극 유동의 횡방향 속도 크기가 선미 반류와 프로펠러 후류가 있는 경우에 비해서 다소 작아짐을 볼 수 있다.

프로펠러와 선미 반류가 있는 경우, 주의 깊게 살펴 보아야 할 것은 프로펠러 후류면의 거동이 압력면과 흡입면에서 서로 다르다는 것이다. 압력면의 경우 반류면의 흔적을 찾아 볼 수 있으나 횡방향 성분이 미미하고 간극으로 유입되는 유동에만 영향을 주고 있다. 그러나 흡입면의 경우 프로펠러 후류면이 뚜렷이 나타나며 -X 방향의 방향성이 강하게 나타난다. 이러한 프로펠러 후류면은 고정부의 좌현 상반부에 입사각을 가지고 유입되는 프로펠러 후류와 밀접한 관련이 있기 때문에 고정부에 직접적인 영향을 주는 프로펠러 후류가 고정부 후방의 타축 및 간극 위치까지 그 영향을 주는가에 대해서는 추후 자세한 후속 연구가 필요하다.

Fig. 9는 몇 개의 Y/C 위치에서 X 방향으로 얻은 주유동 방향 속도 분포를 나타낸다. 타의 표면에서 타 단면의 폭 만큼 떨어진 위치 $X/W = 1$ 에서는 자유흐름 속도의 크기와 유사한 값들이 계측되었다. 그러나 $X/W = 1$ 부터 -X 방향으로 계측하게 되면 주유동 방향 속도 값이 요동하는 것을 볼 수가 있으며 자유흐름 속도의 크기보다 작은 값을 갖게 된다. 관측면이 압력면(+6°)일 경우 $Y/C = -0.10$ 위치의 속도 분포를 보면 $0.4 < X/W < 0.5$ 구간에서 주유동 방향 속도가 크게 감소되는 것을 볼 수 있다. 이것은 고정부를 따라 이동하던 유동이 간극으로 유입되기 때문에 주유동 방향 속도가 감소한 것으로 보인다. 관측면이 흡입면이 될 경우에도 $X/W > 0.5$ 구간에서는 압력면에서 나타난 유동과 유사한

Fig. 8 Velocity fields on the suction and pressure sides in the case of w/o propeller and hull wake

Fig. 9 Axial velocity profiles at the several Y/C locations in the case of w/ propeller and hull wake

구조가 관측되었다. 그러나 $0.4 < X/W < 0.5$ 구간에서 주유동 방향 속도가 약간 증가하는 것을 볼 수가 있는데 프로펠러 후류면과 간극 유동 사이에서 유동이 순간적으로 가속된 것으로 사료된다. 가장 흥미있는 현상은 $Y/C = -0.11$ 위치, $X/W \leq 0.4$ 인 구간에서 나타난 주유동 방향 속도 분포이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 주유동 방향이 $-0.1V_0$ 까지 급속하게 감소하는 것을 볼 수 있어 혼-타의 간극 근처에서 주유동 방향이 감소하고 양의 X 방향으로 속도가 증가함을 알 수 있다. 간극에서 유출되는 간극 유동에 의해 이러한 유동 현상이 나타난 것이며 간극 주위 유동에 급속한 간섭을 초래하여 간극 캐비테이션을 일으키는 주요한 요소로서 작용할 수 있다. 본 연구에서 수행된 간극 주위 유동의 정량적인 계측은 고속카메라를 이용한 정성적인 관측과 함께 프로펠러 후류에 의해 영향을 받는 간극 캐비테이션의 원인을 파악하고 개선책을 찾는데 유용할 것으로 사료된다.

4. 결론

혼-타의 전방에 프로펠러 및 선미 반류가 존재할 경우 나타나는 간극 캐비테이션의 특성을

살펴보기 위해 정성적 및 정량적인 가시화 기법을 이용하여 실험을 수행하였다.

타가 프로펠러 후류 안에 존재할 경우, 타는 프로펠러의 회전 유동에 의한 영향을 받게 된다. 타의 흡입면에서는 간극 유동이 유출되고 가동부의 간극 주위 형상 변화로 인하여 타를 따라 흐르던 유동이 박리되어 캐비테이션을 가중시킨다. 타가 단독으로 있을 경우 타 표면에 강한 캐비티 유동이 나타나 프로펠러 후류가 타 캐비테이션의 감소와 관련이 있음을 알 수 있다.

간극 주위에서 발생하는 간극 캐비테이션에 간극 유동이 어떠한 영향을 주는지 살펴보기 위하여 하부 핀틀에 대하여 속도장을 계측하였다. 압력면 주위에서는 주유동 방향 성분이 감소하고 간극으로의 횡방향 유입 속도 성분이 증가한다. 흡입면에서는 주유동 방향 속도의 크기가 압력면에 비해서 다소 증가하였으나 간극에서 횡방향으로 유출된 간극 유동은 간극 주위의 주유동 방향 성분과 간섭하게 되고 프로펠러 후류면의 영향을 받게 된다.

후 기

본 연구는 한진중공업(주)의 “타의 간극 캐비테이션 관찰 및 압력 측정 시험(PI0404A)” 및 “지능형 함정 스텔스 성능평가 기술 개발(PE0121A)”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Choi, J.E., Jeong, S.H. and Kim, J.H. 2007, “Cavitating-Flow Characteristics around a Horn-Type Rudder,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 3, pp. 228-237.
- Kim, G.D., Moon, I.S., Kim, K.Y., Van, S.H. and Lee, C.S. 2006, “Numerical Calculation and Validation for Rudder Cavitation of a Large Container Ship,” Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 568-577.

- Kracht, A.M., 1992, "Ship-propeller-rudder Interaction," Proceedings, 2nd International Symposium on Propeller and Cavitation, Hangzhou, China.
- Li, D-Q., 1994, Investigation on Propeller-rudder Interaction by Numerical Methods, Ph.D. Dissertation, Chalmers Univ. of Technology, Sweden.
- Molland, A.F. and Turnock, S.R., 1992, "Wind Tunnel Investigation of the Influence of Propeller Loading on Ship Rudder Performance," The Royal Institution of Naval Architects, London.
- Paik, B.G., Kim, K.Y., Ahn, J.W., Kim, Y.S., Kim, S.P. and Park, J.J. 2006, "Experimental Investigation on the Gap Cavitation of Semi-spade Rudder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 4, pp. 422-430.
- Shen, Y.T., Jiang, C.W. and Remmers, K.D., 1997, "A Twisted Rudder for Reduced Cavitation," J. of Ship Research, Vol. 41, No. 41, pp. 260-272.
- Stierman, E.J., 1989, "The Influence of the Rudder on the Propulsive Performance of Ships-Part 1," International Shipbuilding Progress, Vol. 36, p. 407.

< 백 부 근 >

< 김 경 열 >

< 안 중 우 >

< 박 선 호 >

< 허 재 경 >

< 유 병 석 >