

Semi-spade 타의 간극 캐비테이션에 대한 실험적 연구

백부근^{†*}, 김경열^{*}, 안종우^{*}, 김용수^{**}, 김성표^{**}, 박제준^{**}

한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{*}
대우조선해양(주) 선박해양기술연구소 유체 R&D팀^{**}

Experimental Investigation on the Gap Cavitation of Semi-spade Rudder

Bu-Geun Paik^{†*}, Kyung-Youl Kim^{*}, Jong-Woo Ahn^{*}, Yong-Soo Kim^{**}, Sung-Pyo Kim^{**}
and Je-Jun Park^{**}

Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI^{*}
Daewoo Ship Building and Maritime Engineering Co. Ltd.^{**}

Abstract

The horn and movable parts around the gap of the conventional semi-spade rudder are visualized by high speed CCD camera with the frame rate of 4000 fps (frame per second) to study the unsteady cavity pattern on the rudder surface and gap. In addition, the pressure measurements are conducted on the rudder surface and inside the gap to find out the characteristics of the flow behavior. The rudder without propeller wake is tested at the range of $1.0 \leq \alpha_v \leq 1.6$ and at the rudder deflection angle of $-8 \leq \theta \leq 10^\circ$. The time resolved cavity images are captured and show strong cavitation around the rudder gap in all deflection angles. As the deflection angle gets larger, the flow separated from the horn surface increases the strength of cavitation. The accelerated flow along the horn decreases its pressure and the separated flow from the horn increases the pressure abruptly. The pressure distribution inside the gap reveals the flow moving from the pressure to suction side. In the negative deflection angle, the turning area on the movable part initiates the flow separation and cavitation on it.

※Keywords: Semi-spade rudder(semi-spade 타), Gap cavitation(간극 캐비테이션), High speed CCD camera(고속카메라), Horn(고정부), Movable part(가동부), Pressure measurement(압력측정)

1. 서 론

타는 선박에 방향 안정성, 조종성 및 제어성능

등을 제공한다. 선박을 회전하게 하는 회전 모멘트를 제공하는 타의 효율은 양력에 비례하며 이 양력은 타에 유입되는 유동 속도의 제곱에 의존한다. 전형적으로 타는 효율을 증가시키기 위해 프로펠러 slipstream 뒤에 놓이게 된다. 타가 프로펠러 뒤에 놓이게 되면 프로펠러와 타는 서로 상호작용을 일으

접수일: 2006년 4월 6일, 승인일: 2006년 6월 8일

† 교신저자: ppaik@moeri.re.kr, 042-869-4341

키게 되기 때문에 많은 관심을 끌어 왔다. 특히, 프로펠러와 타의 상호작용에 대한 연구는 표면 캐비테이션의 초기 추정과 프로펠러 후류의 회전 에너지 회복을 이용한 에너지 절감 장치 개발을 위해 수행되어 왔다. 프로펠러와 타 사이의 상호작용에 대한 연구는 Molland and Turnock (1992)에 의해 풍동에서 실험적으로 연구되었으며 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. 이론적으로는 Li(1994)가 프로펠러와 타의 상호작용을 계산할 수 있는 선형 방법을 개발하였고 실험 결과와 비교하였다. 최근에는 공도성 등(2002)이 선미 후류에서 작동하는 horn 타에 대하여 압력을 계측하고 속도를 측정하여 포텐셜 기저 패널법에 근거한 이론적해석과 비교하기도 하였다.

최근의 선박 대형화 및 소요마력 증가 추세에 따라 프로펠러 및 타에 유입되는 유속이 크게 증가되어 높은 유체 하중을 견딜 수 있는 타의 크기 및 형상을 필요로 하게 되었다. 타의 경우, spade타에 비해 작은 토오크를 필요로 하는 horn타가 중형 또는 대형 선박에 설치되어 운용되어 왔는데, 최근 들어 고속으로 운항하는 선박의 horn 타 표면 특히 하부 핀들 및 간극에 캐비테이션이 발생하여 타에 손상을 입히는 사례가 많이 발생하였다. 김연규 등(2004)은 horn 타를 대체하기 위해 캐비테이션의 위험성이 적은 spade 타의 조종성능 특성을 연구하기도 하였다. 또한 Shen 등(1997)은 미해군의 LCC(Large Cavitation Channel)에서 타의 캐비테이션을 감소시킬 수 있도록 설계된 비틀린(twisted) spade타에 대하여 연구를 수행하여 주목할 만한 결과를 보였으나 비틀린 타의 제작성이 떨어져 일반 상선에 지속적으로 적용되기는 쉽지 않을 것으로 사료된다. 침식이 발생한 타의 교체 또는 수리에는 많은 유지 보수 비용 뿐 만 아니라 많은 시간이 소요된다. 게다가 캐비테이션은 타의 항력, 선체 진동 및 방사 소음을 증가시킬 수도 있어 유체역학적, 구조적으로 선박에 좋지 않은 영향을 미친다. 비록 저속으로 운항하는 선박이라 할지라도 타 표면에 지속적으로 불안정한 캐비테이션이 발생하면 타 표면에 침식 등의 손상을 입힐

수 있다. 따라서 프로펠러와 타 사이의 상호작용을 예측할 수 있는 능력뿐만 아니라 타의 캐비테이션 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 타 설계법에 대한 연구는 매우 중요하다고 사료된다.

타의 캐비테이션 연구를 위해 많은 모형 시험들이 수행되어 왔으나 타 모형의 크기가 실제 타의 크기에 비해 작아 간극 캐비테이션의 경우 정확한 연구가 이루어지지 못하였다. 비록 간극 캐비테이션의 관측이 가능하더라도 레이놀즈 수 효과로 인해 실제와는 다른 캐비테이션 현상을 관찰하게 된다. 특히 간극 캐비테이션은 프로펠러의 영향뿐만 아니라 타의 형상에도 큰 영향을 받으므로 프로펠러 후류가 없는 타의 단독 시험을 통해 간극 캐비테이션의 특성을 파악하는 작업이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 horn 타의 가동부 면적을 크게하고 horn 면적을 상대적으로 작게 한 semi-spade 타에 대한 캐비테이션 성능을 살펴보았다. 레이놀즈 수 효과를 감소시키기 위해 실제 타 크기의 1/10 모형을 제작하였으며 불안정하게 변화하는 타 캐비테이션을 높은 시간 분해능으로 관찰하기 위하여 고속카메라를 사용하였다. 또한 타의 horn과 가동부 및 간극 내부의 표면 압력을 측정하여 타의 표면 및 간극 내부를 이동하는 유동에 대하여 조사하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

Semi-spade 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. 간극 캐비테이션을 자세히 관찰하기 위하여 타 모형을 공동수조의 제 1 관측부에 설치할 수 있을 정도의 최대 크기로 제작하였다. 프로펠러가 없는 균일유동(uniform flow)에서 각각의 캐비테이션수 및 받음각을 변화시키면서 간극 캐비테이션의 거동을 조사하여 형상개선을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 타 모형의 축척비는 1/10이며 전체 타 형상의 중앙부분을 모형으로 제작하여 실험

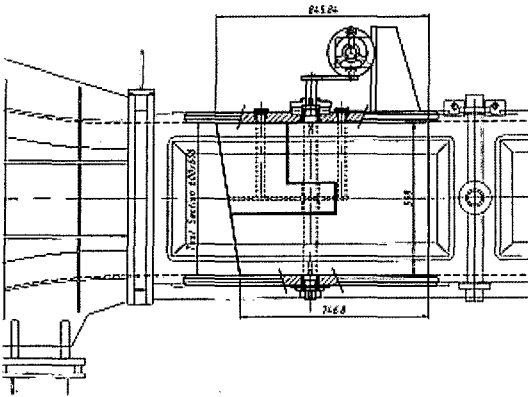


Fig. 1 Semi-spade rudder installed in cavitation tunnel

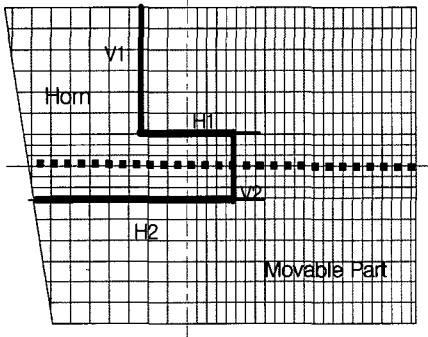


Fig. 2 Sketch of semi-spade rudder and definition of rudder gap

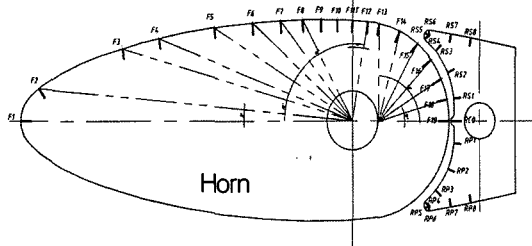


Fig. 3 Location of pressure taps for pressure measurements at midsection

에 사용하였다. 사용된 타 모형의 스케치는 Fig. 2에 나타내었으며 타의 horn과 가동부(movable part)는 모두 NACA643 단면을 사용하였다. 또한 horn 및 가동부의 최상단(top)의 후폭비는 22%, 최하단

(bottom)의 후폭비는 21%로서 상부에서 하부로 갈수록 후폭비가 감소하는 형상을 갖는다. 이 때 후폭비는 (단면두께/코드길이)를 의미한다. 타의 간극(gap)이 놓여있는 위치 및 방향에 따라 Fig. 2와 같이 수평간극 H1, H2, 수직간극 V1, V2를 정의하였다.

타에서 발생하는 캐비테이션은 유입유동의 유속, 캐비테이션 수, 타각의 변화에 따라 불균일하며 일정하지 않은 형상을 보이므로 낮은 시간 분해능(resolution)을 갖는 일반 캠코더(camcorder)로는 자세히 관찰하기가 어렵다. 본 연구에서는 그 동안 일반적으로 사용되어 오던 30 fps(frame per second)의 캠코더나 정지(still) 카메라 대신 높은 시간 분해능을 갖는 고속카메라를 사용하여 빠르게 변화하는 타 표면의 캐비테이션을 관찰하였다. 가시화 시스템은 고속 CCD 카메라 (Photron, FASTCAM APX-RS), 메탈 조명(Photron, HVC-SL) 2개, 영상처리 장치, 제어 및 계산용 컴퓨터 등으로 이루어져 있다. 사용한 CCD 카메라의 프레임 수는 4000 fps이었으며 해상도는 896×720 pixels이었다. 또한 관측면의 크기는 41×31 cm²이었다.

간극 내부를 관통하는 유동은 간극 캐비테이션에 영향을 주는 중요한 원인이 되므로 간극 유동의 특성을 파악하는 것은 타의 설계를 위해서 매우 중요하다. 본 연구에서는 간극 유동을 살펴보기 위하여 Fig. 3과 같이 타의 중앙 높이 위치에서 horn과 가동부 표면 및 간극 내부의 벽을 따라 총 32개의 압력탭을 설치하였다. 가동부의 표면 및 간극 내부에는 가동부의 우현과 좌현 모두에 압력탭을 설치하였으나 horn은 고정되어 있으며 좌우 대칭이므로 타의 우현 표면에만 압력탭을 설치하였다. 압력계측을 위한 압력변환기는 Validyne사 제품으로 계측 가능 최대 상대 압력은 3.3기압이었다. 압력출은 직경 1mm, 깊이 45mm로 하였고 폴리비닐(polyvinyl)을 통하여 공동수조 외부에 설치된 스캐니밸브(scannivalve)로 연결하였다.

캐비테이션 수 σ_v 의 변화와 타각 θ 의 변화가 간극 캐비테이션에 주는 영향을 살펴보기 위하여 $\sigma_v = 1.0$ 부터 1.6까지 0.2씩 증가시켰고 타각 θ 는 -8° 에서 10° 까지 변화시켜가며 간극 캐비테이션의 특성을 조사하였다. 여기서 캐비테이션 수는

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

이며 P_0 는 수조 관측부 내부의 압력이고 P_V 는 해수의 증기압을 의미한다. 또한 ρ 는 물의 밀도이며 V_C 는 타의 중심 위치에서의 평균 유동속도를 의미한다. 본 연구에서는 모형 프로펠러 없이 모형 타에 대한 단독 실험을 수행하였다. 모형 타는 큰 척도로 설계되어 그 크기 및 하중이 크다. 따라서 고속으로 터널 용수를 순환시킬 경우 모형 타에 부착된 지지대에 무리가 따를 수 있다. 여러 번의 시행 착오를 거쳐 터널 및 모형 타의 지지대 등에 영향을 주지 않는 터널 유속으로서 4.057m/s를 결정하였는데 이 유속은 모형 타의 앞날(leading edge) 위치에서의 유속 V_{LE} 를 의미한다. 이 때 모형 타의 중심에서 유속은 $V_C = 6\text{m/s}$ 가 되며 이 V_C 를 고정시킨 후 터널 내 압력을 0.20기압 ~ 0.31기압 범위 안에서 조절하여 캐비테이션 수를 변화시켰다. 또한 압력 계수 C_p 는 아래의 식과 같이 정의하였으며 이 때 P 는 타의 표면에서 측정된 압력값을 의미한다.

$$C_p = (P - P_0) / (0.5\rho V_C^2) \quad (2)$$

3. 결과 및 토의

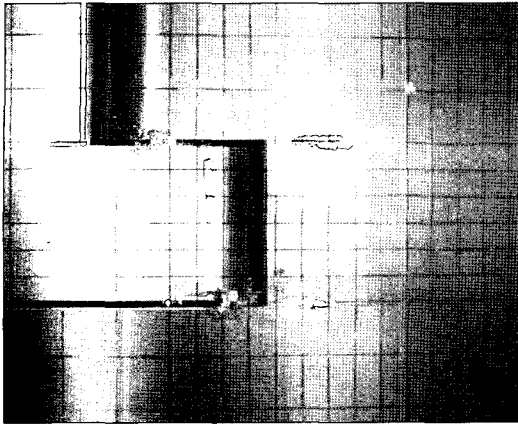
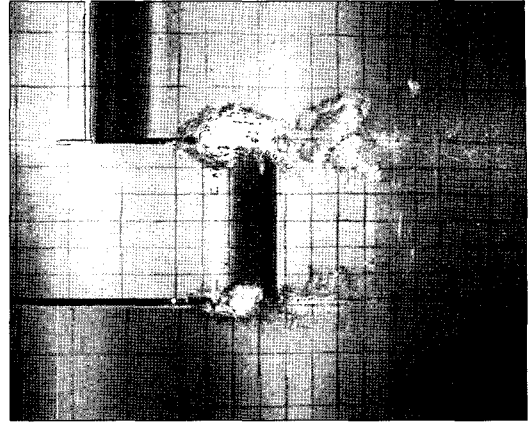
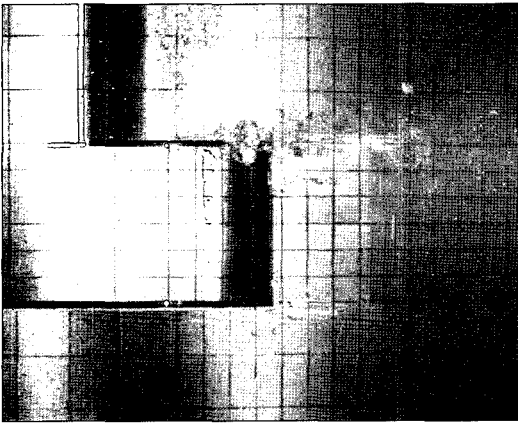
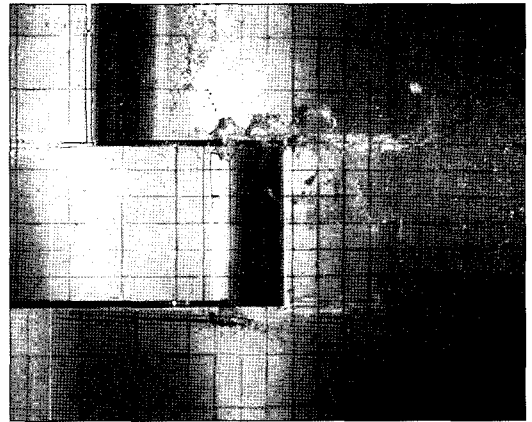
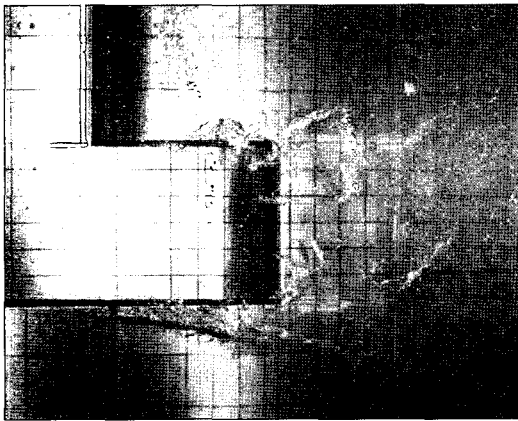
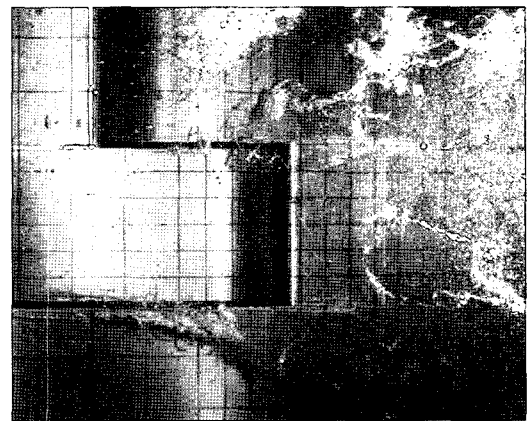
본 연구 결과의 설명을 위하여 타의 최상부(top)에서 코드선(chord line)이 터널의 중심선(centerline)과 나란한 경우를 타각이 0° 라고 정의하며 타의 뒷날(trailing edge)이 터널의 중심선에서 우현(starboard) 방향으로 멀어질 때를 양(+의 타각이라고 정의하였다. 또한 가동부의 뒷날이 터널의 중심선에서 좌현(port) 방향으로 멀어질 때를 음(-)의 타각이라고 정의하였다.

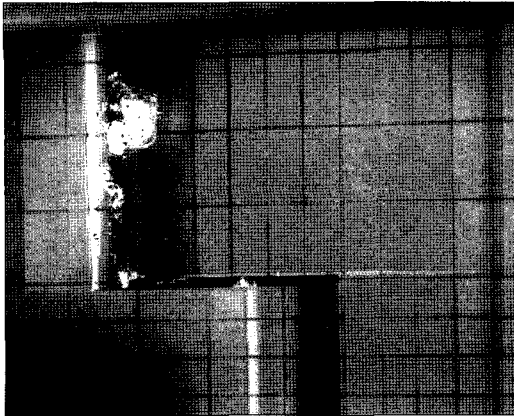
Fig. 4를 통해 타각이 양의 방향으로 커짐에 따라 간극에 나타난 캐비테이션의 모습을 볼 수 있다. 타각이 0° 인 경우 타의 간극에서 캐비테이션이 발생하고 있다. 특히 간극 H1과 H2의 핀들에서 구름(cloud) 형태의 캐비테이션이 발생함을 볼 수 있다. 타각이 2° 가 됨에 따라 캐비테이션의 강도가 증가하여 H1과 V2 사이의 모서리에 구름 형태의 캐비테이션이 크게 형성된다. 타각이 4° 에서 6° 까지는 작은 타각의 경우에 비해 캐비테이션이 나타나는 형상이 달라진다. H1에서 발생하는 캐비테이션의 강도가 약해지고 H2에서 발생했던 구름 형태의 캐비테이션이 사라지게 된다. 8° 부터는 타의 우현 방향에서 H2의

간극을 타고 들어오는 유동이 증가하면서 H2를 빠져 나오는 캐비테이션을 볼 수 있다. 이 와류성 캐비테이션은 하류 쪽에서 바라보았을 때 반시계방향으로 회전하고 있다. 실선에서는 프로펠러 후류가 타에 영향을 주기 때문에 본 시험에서 관찰된 와류성 캐비테이션이 실제로 발생하여 타 표면에 손상을 입힐지에 대해서는 더 깊이 있는 연구가 필요하다. 타각이 커짐에 따라 타의 좌현 표면 즉, 흡입면은 심한 굴곡을 갖게 되어 타의 horn을 따라 흐르던 유동의 박리를 촉진하게 된다. 이 영향으로 인하여 H1과 V2가 만나는 곳에 매우 강한 캐비테이션이 발생하여 침식 가능성을 한층 높게 된다. 이러한 현상은 타각이 8° 가 될 때까지 유사하게 진행되나 타각이 10° 가 될 경우, 간극 주위 가동부의 후폭비가 타의 최상부에 비해 다소 감소되었고 가동부가 우현 쪽으로 많이 회전해 있기 때문에 간극을 빠져 나온 유동이 가동부 방향으로 잘 흘러나가게 된다.

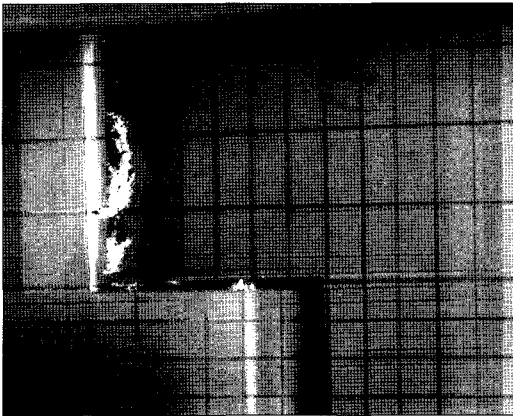
타각이 음의 방향으로 바뀌게 되면 H1과 H2, V2에서 발생하던 캐비테이션은 사라지게 되나 Fig. 5에서 보는 바와 같이 V1에 새로운 형태의 캐비테이션이 발생하게 된다. 즉, 타의 좌현 표면(압력면)에는 높은 압력이 형성되나 우현 표면에는 낮은 압력이 형성되어 V1 간극을 통하여 좌현으로부터 우현으로 빠르게 이동하는 유동이 발생하게 된다. 또한 V1과 접하는 horn 끝단 형상의 굴곡으로 인한 유동 박리가 높게 방향으로 회전하는 캐비테이션을 V1 내에 발생시키게 된다. 이 캐비테이션은 간헐적으로 강도가 증가되고 가동부의 앞날에 부딪혀 터지기도 한다. 이러한 캐비테이션은 가동부 앞날(leading edge)의 침식 가능성을 높인다.

캐비테이션 수의 변화가 캐비테이션 성능에 어떻게 영향을 주는지 알아보기 위하여 캐비테이션이 가장 강하게 나타난 타각 2° 에 대하여 대표적으로 살펴보았다. Fig. 6은 캐비테이션 수의 변화에 따른 캐비테이션 발생 모습을 보여준다. 타각이 2° 인 경우 $\sigma_v \geq 1.4$ 의 범위에서 간극 캐비테이션이 현저히 감소함을 볼 수 있다. 간극에 침식을 일으킬 만한 캐비테이션은 캐비테이션 수가 1.0~1.2에서 주로 발생하고 있으며 캐비테이션 수가 1.4 이상에서는 그 강도가 크게 감소하여 타의 간극에 미치는 영향이 적을 것으로 사료된다.

(a) $\theta = 0^\circ$ (b) $\theta = 2^\circ$ (c) $\theta = 4^\circ$ (d) $\theta = 6^\circ$ (e) $\theta = 8^\circ$ (f) $\theta = 10^\circ$ Fig. 4 Cavitation patterns near the gap at $\sigma_v = 1.0$ and positive deflection angles



(a) $\theta = -4^\circ$



(b) $\theta = -8^\circ$

Fig. 5 Cavitation patterns near the vertical gap at $\sigma_v = 1.0$ and negative deflection

Fig. 7은 타의 간극 부근에 대한 캐비테이션 초생 (inception) 시험 결과를 보여준다. 간극에 나타난 캐비테이션 초생은 주로 간극 V2에 근접한 H2, 또는 V2와 H1 사이의 모서리에서 발생하였다. Fig. 7을 보면 캐비테이션 수가 2.8 ~ 3.1 사이의 범위에서 캐비테이션이 시작됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 실선의 타 유입류의 속도에 따른 캐비테이션 초생점의 발생을 예측하여 나타낸 것이다. 타각이 증가함에 따라 초생점이 발생하는 타 유입류의 속도도 완만하게 증가한다. 타 유입류의 속도가 21 Knot에 도달하기 이전에 캐비테이션 초생점이 나타나 19 Knot 이하에서는 캐비테이션이 발생하지 않

는 영역(cavitation free region)이 됨을 알 수 있다. 또한 8° 이상의 타각에서는 캐비테이션 초생점이 선속과 무관하게 일정한 조건에서 발생함을 알 수 있다.

Fig. 9는 horn의 앞날(leading edge)으로부터 코드선(chord line)을 따라 표면에서 측정한 압력값을 나타낸 것이다. 앞날을 의미하는 $X/C = 0$ 은 정체점으로서 C_p 값이 가장 크다. Horn의 우현에만 압력탐을 설치하였기에 Fig. 9에서 양의 타각은 타의 압력면에서 계측된 압력값을, 음의 타각은 타의 흡입면에서 계측된 압력값을 나타낸다. 전체적으로 압력면 보다 흡입면에서 더 낮은 압력값을 보인다. Horn의 앞날을 지나 표면을 따라 이동하는 유동은 점차 가속되기 때문에 X/C 에 대하여 C_p 값이 음의 기울기를 갖게 된다. $X/C = 0.44$ 에서 압력값이 급격히 작아지는 것을 볼 수 있는데 이것은 간극의 존재로 인해 유동이 간극으로 더욱 가속된 것을 나타낸다. 그러나 horn 표면의 곡률이 커짐에 따라 horn을 따라 이동하던 유동이 간극 내부로 유입된다. 간극 유입부의 유동 가속은 흡입면에서 강하게 나타나며 압력면의 타각이 커짐에 따라 점차 작아져 타각 6° 의 경우 거의 사라진 것을 볼 수 있다. $X/C = 0.46$ 부터 C_p 값이 점차 증가하게 되는데 압력면에서는 간극의 입구로 유동의 방향이 급하게 바뀌어 유입되는 유동의 유속을 감소시키고 흡입면에서는 마찰 및 점성에 의해 압력이 증가된 상태의 간극유동이 간극을 빠져나오면서 유속을 회복하게 된다. 압력면일 때 간극에서의 압력값이 흡입면 간극에서의 압력값 보다 크므로 압력면에서 흡입면 방향으로 간극 유동이 발생함을 알 수 있다. 이 간극 유동이 간극 캐비테이션에 영향을 줄 수도 있으므로 간극 유동을 억제하기 위하여 Fig. 3에서 보는 것처럼 타의 간극 내부 중심에 높이 방향으로 돌출물(bar)을 설치하였다. 간극 내부의 돌출물에도 압력탐을 설치하였는데 간극 유동이 병목 현상으로 인하여 돌출물에서 속도가 증가하고 압력이 급격히 감소하고 있음을 Fig. 9를 통해서 잘 알 수 있다.

Fig. 10은 타각이 6° 일 때 C_p 값에 대해 캐비테이션 수의 변화가 미치는 영향을 살펴 본 것이다. 압력면 측, 6° 의 경우 캐비테이션 수의 증가는 C_p 값을 다소 증가시키고 있으나 그 변화 폭은 그리 크지 않다. 타각 -6° 의 경우에는 캐비테이션 수의 변화가

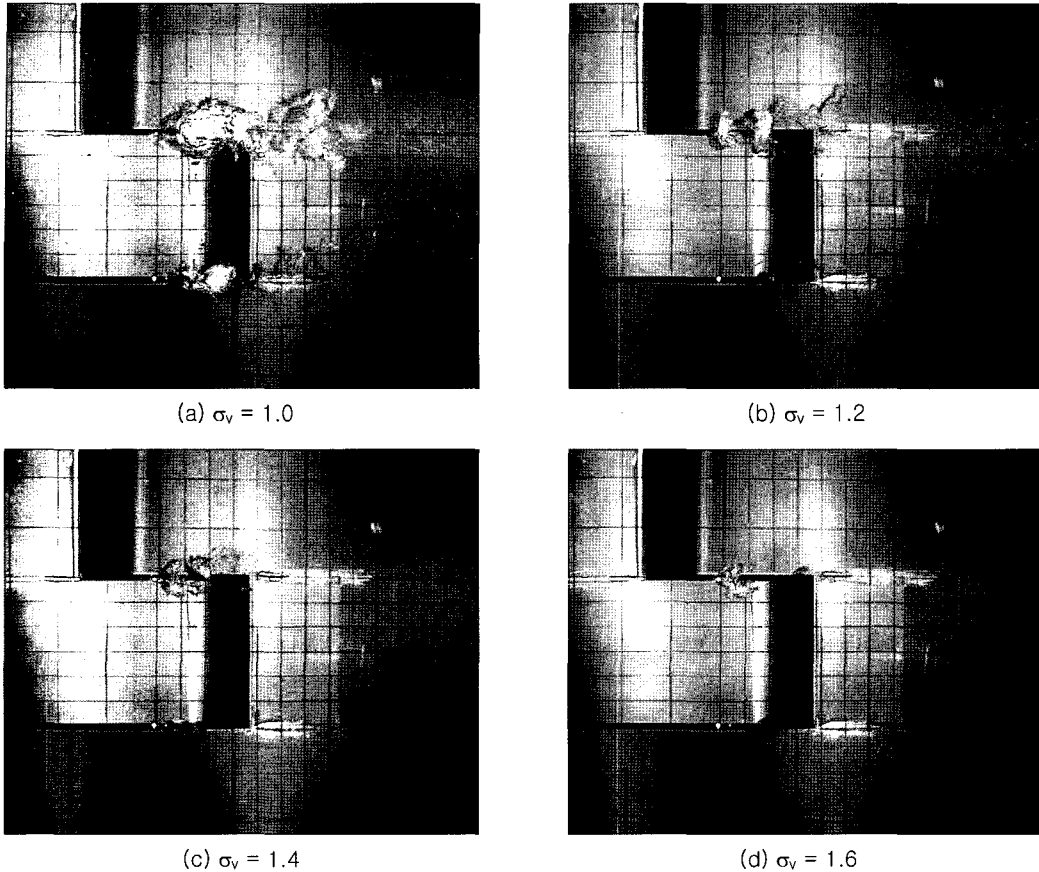


Fig. 6 Cavitation patterns according to the variation of cavitation number at $\theta=2^\circ$

C_p 의 변화 폭을 크게 증가시켜 흡입면을 따라 이동하는 유동이 캐비테이션 수에 민감하게 반응함을 알 수 있다. 특히, 유동이 간극에 가까워짐에 따라 C_p 의 변화폭도 증가하게 된다.

Fig. 11은 가동부에 설치된 압력탭으로부터 얻은 압력값을 나타낸 것이다. 여기서 거스(girth) 길이는 간극 내부의 중심에서 가동부에 설치된 각 압력탭까지의 거리를 나타낸 것이다. 양의 거스 길이는 타의 우현을 가리키며 음의 거스 길이는 타의 좌현을 가리킨다. 간극의 영역은 $-88\text{mm} < \text{거스 길이} < 88\text{mm}$ 이다. 거스 길이가 88mm에서 C_p 값이 갑자기 증가하는 것을 볼 수 있는데 가동부의 뾰족한 가이드(guide) 부분이 간극으로 들어오는 유동과 만나 정체점의 역할을 하였음을 알 수 있다. 타각 0° 의 간극 중심부($-30\text{mm} < \text{거스 길이} < 30\text{mm}$)에서 압력값이 간극 외부에 비해 높은 값을 일정하게 유지하는 것을

보아 horn의 앞날로부터 H2 간극을 통해 V2 간극을 따라 높이 방향으로 상승하는 유동이 크지 않음을 알 수 있다. 타각이 양의 값을 가질 경우 간극의 압력면에 큰 압력이 나타나고 흡입면에 상대적으로 작은 압력이 나타나 간극 유동이 간극의 압력면에서 흡입면 방향으로 이동함을 잘 알 수 있다. 이러한 간극 유동은 타각을 음의 값으로 위치시킬 경우 반대로 흐르게 된다. 또한 간극을 빠져 나온 유동은 급격한 방향 전환으로 인하여 유동 에너지를 잃거나 horn을 따라 이동해 온 유동을 가로막아 가동부의 표면에서 유동 속도를 감소시켜 C_p 값을 증가시킨다. 간극 유동이 간극을 빠져 나올 때 부드럽게 빠져 나오지 못하고 유동의 자연스런 흐름을 방해할 때 간극 캐비테이션이 발생할 수 있다. 즉, 간극 유동이 갑작스럽게 주유동 방향으로 방향 전환을 할 때 간극 주위의 유동이 불안정해지고 보오텍스가 발생하

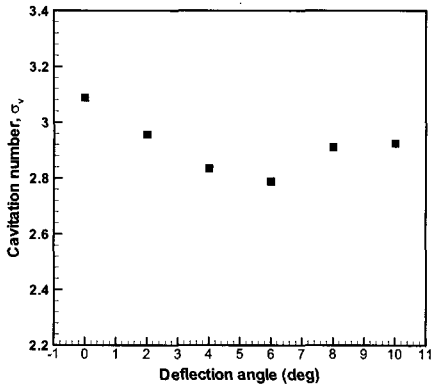


Fig. 7 Cavitation inception with the variation of deflection angle θ

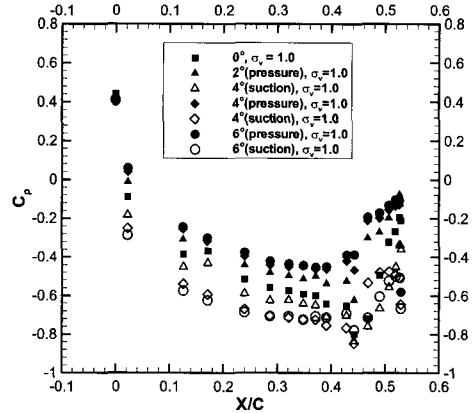


Fig. 9 Pressure distribution along the surface of horn at $\sigma_v = 1.0$

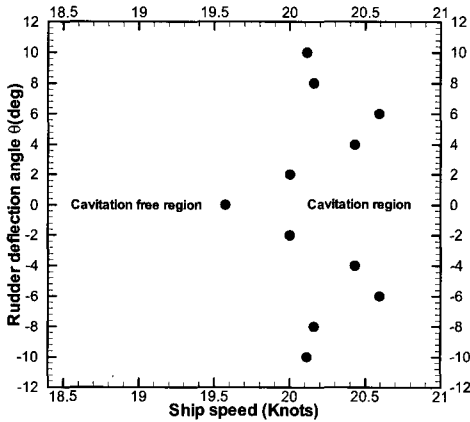


Fig. 8 Cavitation inception prediction for full scale rudder

여 간극 가까이에 위치한 가동부의 표면에 좋지 않은 영향을 주게 된다. 따라서 간극 출입구에 존재하는 정체점은 간극 주위를 이동하는 유동을 더욱 불안정하게 만들어 캐비테이션을 증가시킬 가능성을 높일 수 있다. 간극 캐비테이션의 경우 유속의 증가나 압력의 감소로 인한 자연발생적인 캐비테이션보다도 유동의 불안정함으로 인해 발생하는 캐비테이션이 타에 침식을 일으킬 가능성이 더욱 크기 때문이다.

Fig. 12는 타각이 6°일 때 캐비테이션 수의 변화가 간극 유동에 미치는 영향을 살펴본 것이다. 간극 내부 유동에는 캐비테이션 수의 변화가 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있으나 간극을 벗어나면 캐비테이션 수가 증가함에 따라 압력값 역시 증가하고 있

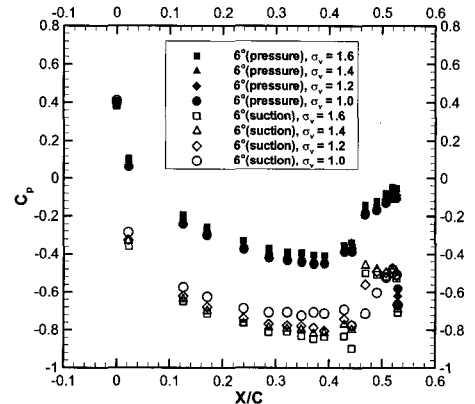


Fig. 10 Pressure distribution along the surface of horn according to cavitation number at $\theta = 6^\circ$

음을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 semi-spade 타의 간극 캐비테이션의 특성을 자세히 살펴보기 위하여 고속카메라를 이용 캐비테이션을 관찰하였고 horn 표면 및 간극에서 압력을 측정하였다.

모든 타각에서 간극에 강한 캐비테이션이 발생하였고 타각이 커짐에 따라 방향타의 흡입면 horn을 따라 흐르던 유동이 간극 유동과 만나 불안정하게 되어 침식 가능성을 한층 높게 된다. 타각이 음의 방향으로 바뀌게 되면 수직간극 V1에서 캐비테이션이 발생하게 되고 가동부 앞날(leading edge)의 손

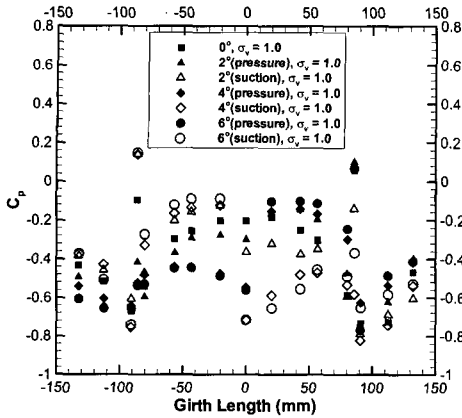


Fig. 11 Pressure distribution along the surface of movable part at $\sigma_v = 1.0$

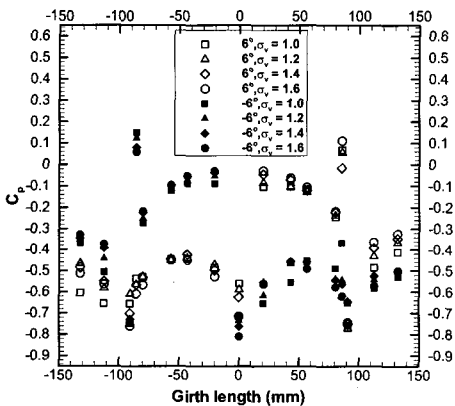


Fig. 12 Pressure distribution along the surface of movable part according to cavitation number at $\theta = 6^\circ$

상이 우려된다.

캐비테이션 수의 변화에 따라 캐비테이션은 캐비테이션 수가 1.0 ~ 1.2에서 주로 발생 하고 있으며 캐비테이션 수가 1.4 이상에서는 그 강도가 크게 감소하여 타의 간극에 미치는 영향이 매우 적을 것으로 사료된다. 캐비테이션 초생의 경우 타 유입류 속도가 19 Knot ~ 21 Knot 사이에서 주로 발생함을 예측할 수 있다.

Horn을 따라 이동하던 유동은 유동바리를 일으켜 압력을 증가시키며 압력면과 흡입면의 압력 차이로 인하여 간극 유동이 발생한다. 간극 내부에서는 높이

방향으로 이동하는 유동 보다 횡방향으로 이동하는 유동이 지배적으로 나타난다. 간극을 빠져 나온 유동 및 간극 출입구에 존재하는 정체점은 간극 주위를 이동하는 유동을 더욱 불안정하게 만들어 C_p 값을 증가시키거나 캐비테이션의 강도를 증가시킬 수 있다.

후 기

본 연구는 대우조선해양(주)의 semi-spade 타의 캐비테이션 시험과제(PI03110) 및 압력계측 과제(PI03230)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 공도성, 한재문, 유재문, 2002, “선미후류에서 작동하는 혼타의 압력분포에 관한 연구,” 대한조선학회논문집, 제 39권, 제 2호, pp. 1-10.
- 김연규, 김선영, 김성표, 이석원, 2004, “타의 종류에 따른 컨테이너선의 조종성능 특성 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 5호, pp. 28-33.
- 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.
- 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, pp. 407.