

## 혼-타의 수평틈새가 캐비테이션에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

서대원\*, 이승희\*, 김효철\*\*, 오정근†\*\*

인하대학교 조선해양공학과\*, 인하대학교 정석물류통상연구원\*\*

A Numerical Study on the Influence of the Horizontal Gap  
upon the Cavitation Behavior of a Horn Type Rudder

Dae-Won Seo\*, Seung-Hee Lee\*, Hyochul Kim\*\* and Jungkeun Oh†\*\*

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University\*  
Jungseok Research Institute of International Logistics and Trade, Inha University\*\*

### Abstract

Recently, as container ships become larger and faster, rudder cavitations are more frequently observed near the gap between the horn and rudder plates of the ships to cause serious damages to the rudder surface of the ship. The authors already have suggested through a series of model experiments and numerical computations that employment of an appropriate blocking device for gap flow may retard the gap cavitation. For examples, a cam device installed near the outer edges of the vertical gap or a water-injection device combined with a pair of half-round bars installed inside the gap can considerably reduce the gap cavitation. However, it is also found that effective blocking of the flow through the vertical gap results in growth of the cavitation near the horizontal gap instead. In the present study, effectiveness of the simultaneous blocking of the flow through the horizontal and vertical gaps of a horn type rudder in minimizing the damage by gap cavitation is studied. Additional blocking disks are inserted inside the horizontal gaps on the top and bottom of the pintle block and numerical computations are carried out to confirm the combined effect of the blocking devices.

※Keywords: Horn-type rudder(혼-타), Gap flow(틈새 유동), Vertical gap(수직 방향 틈새), Horizontal gap(수평 방향 틈새), Cavitation(공동현상), Numerical Simulation(수치해석)

---

접수일: 2010년 1월 5일, 승인일: 2010년 2월 4일

† 교신저자: joh@inha.ac.kr, 032-860-9193

## 1. 서론

최근까지 선박 타 장치 주위의 캐비테이션 현상은 추진기에 의하여 생성된 공동이 프로펠러의 후류를 따라 타 장치 근처로 이동하여 붕괴될 때 나타나는 현상으로 알려져 있었으나 점차 선박이 대형화되고 고속화됨에 따라 프로펠러에서 가속된 유체가 타 장치로 흘러들어 와 타의 흡입면 쪽에 캐비테이션 현상을 발생시키는 문제가 나타나게 되었다. Fig. 1에는 프로펠러 후류에 놓인 고속 컨테이너선의 혼-타 주위에 발생하는 캐비테이션에 의한 손상 부위의 위치를 보이고 있다. 타 장치의 앞날부근에서는 얇은 층 캐비테이션(Fig. 1 (D))이 발생하며 혼과 타판 사이의 수직, 수평 틈새 주위에서는 Fig. 1 (A, B, C)와 같이 틈새 캐비테이션이 발생하여 손상을 일으키는 것으로 확인되었다(Kim et al. 2006, Paik et al. 2006, Choi et al. 2007). 이와 같이 타 장치에 캐비테이션 현상이 반복적으로 발생하여 침식으로 인한 손상이 나타나면 심한 경우에는 선박의 조종능력을 상실할 수도 있다.



Fig. 1 The erosion by cavitation on horn-type rudder(Seo et al. 2009b)

최근 타 장치에 나타나는 캐비테이션 현상에 관한 많은 연구가 이루어졌다. 혼과 타판사이의 틈새를 지나는 유동이 캐비테이션 현상과 밀접한 관계가 있음이 확인되었으며 틈새 유동을 차단하는 것이 캐비테이션 억제에 유효하다는 것이 밝혀졌다(Seo et al. 2009a, Oh et al. 2009b). 틈새주위에서 발생하는 캐비테이션을 감소시키기 위해 틈새에 반원단면 봉을 붙이거나(Bu et al. 2004, Paik et al. 2008, Oh et al. 2009a) 타각에 따라 구동되는 틈새유동 차단 장치(Oh et al. 2008), 유체공급을 이용한 틈새유동 차단장치(Seo et al. 2009b)를 설치하는 것이 제안된 바 있다.

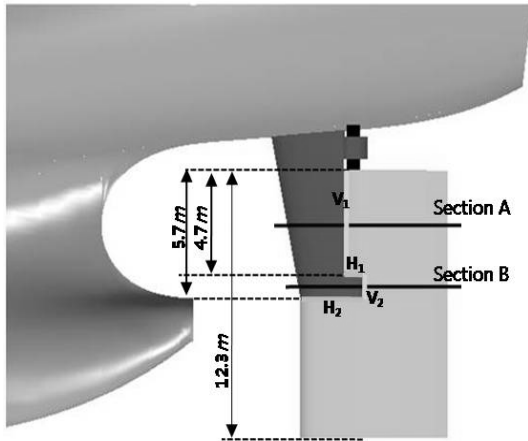
본 연구에서는 수직방향의 틈새유동은 Oh et al.(2009a)가 제시한 방법으로 차단하고 핀틀 블록의 상하면에 형성된 수평 틈새에 추가로 원판(disks)을 삽입하여 수평방향의 틈새 유동을 차단함으로써 타 캐비테이션을 효과적으로 억제하는 방안을 제안하였다.

즉, 먼저 혼 부의 수직 방향의 틈새 안에는 Oh et al.(2009a)가 제시한 방법에 따라 타판의 앞날 부근에 한 쌍의 유동 차단봉을 대칭으로 배치하여 틈새유동을 차단함으로써 캐비테이션(Fig. 1 (A))을 감소시킬 수 있다. 또 같은 방법으로 핀틀의 뒷날 부분에 유동 차단봉을 배치하여 핀틀 블록과 타판 사이의 수직방향 틈새를 차단하면 핀틀 주위의 캐비테이션(Fig. 1 (B))도 완화시킬 수 있음을 확인하였다. 그러나 수직방향의 틈새를 효과적으로 차단하였다 하더라도 핀틀과 타판 사이에 있는 수평방향의 틈새를 통한 유동은 오히려 증가하므로 그로 인하여 캐비테이션 현상이 오히려 악화되는 경우가 있다. 그러므로 본 연구에서는 핀틀 상·하면에 형성되는 수평방향 틈새를 통한 유동을 차단함으로써 캐비테이션을 완화시키는 방안을 제시하였다. 이 때 핀틀 하면 틈새를 차단하는 것은 현실적으로 어려우므로 제작 정도를 높여 틈새를 최소화하고 핀틀 상면에 형성된 틈새를 통한 유동을 원판을 이용하여 차단하였을 경우를 상정하고 상용코드 FLUENT 6.3을 이용한 수치해석을 통하여 그 효용성을 확인하였다.

## 2. 대상 모형 및 계산조건

### 타의 제원 및 형상

25kts에서 타 캐비테이션 발생이 보고된바 있는 8000TEU 급 컨테이너 선박의 혼-타를 연구의 대상으로 하였다. 타 장치의 개략적인 형상은 Fig. 2에 보인 바와 같다.



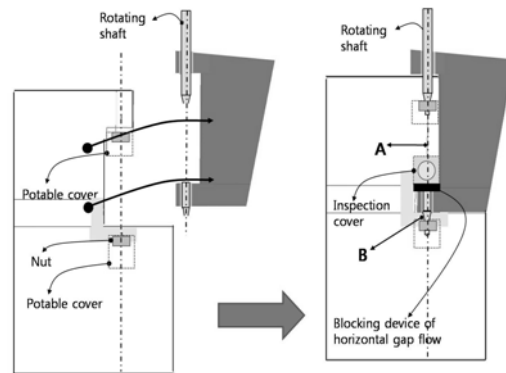
**Fig. 2** Schematic diagram of the rudder of an 8000 TEU class container ship where sections A and B indicate the horn and rudder sections,  $V_1$ ,  $V_2$  vertical gaps and  $H_1$ ,  $H_2$  horizontal gaps, respectively.

Fig. 2에 보인 3차원 혼-타의 스패는 12.3m이며, 단면 A는 타판 상단과 핀틀 블록 윗면의 중앙에 가로지르며 코드길이는 8m, 단면 B는 핀틀 블록의 중앙을 지나며 코드길이는 7.46m이다. 수직 틈새  $V_1$ 과  $V_2$  그리고 핀틀 블록 하면의 수평 틈새  $H_2$ 의 간격은 모두 50mm이고, 핀틀 블록 상면의 틈새  $H_1$ 의 간격은 100mm로 하였다.

### 혼-타의 결합

선체에 타 장치를 설치하는 과정을 Fig. 3에 개략적으로 보였다. 즉, 우선 선체에 혼을 고정시킨 후 시공을 위하여 부분적으로 개방되어 있는 타판을 조립위치에 장착하고 핀틀 핀과 타축을 삽입한 후 너트를 체결하여 선체에 고정된 혼과 가동부인 타판을 힌지로 결합한다. 그리고 혼과 타판의 조

립을 위하여 비워져 있었던 부분을 완성하고(Fig. 3의 A) 타 장치의 유지보수와 점검에 필요한 점검구 덮개 판을 수밀이 되도록 고정시켜 타 장치를 완성한다. 또한 힌지결합을 위하여 주물로 제작된 타판의 결합부(Fig. 3의 B)에 타 축과 핀틀 핀을 삽입하고 너트 등의 고정구로 체결하게 되므로 그 부분에 점검구를 위한 덮개를 설치한다.



**Fig. 3** Assembling of the horn and the rudder plate. The location of the horizontal disk is shown in the right figure.

조립과정에서 혼과 타판 사이에 불가피하게 형성되는 틈새는 혼과 타판의 가공 및 조립 정도에 따라 결정된다. 특히 핀틀 블록 상면과 하면에 형성되는 수평 틈새의 간격은 타판을 혼에 삽입하는 조립과정에서 결정되며 8,000 TEU급 컨테이너선의 수평틈새는 50~100mm 정도의 간격을 갖는 것으로 알려져 있다.

### 혼 부 및 핀틀 부의 수직 틈새 차단

Fig. 4에는 혼과 타판사이의 수직 틈새( $V_1$ )을 포함하는 타 장치의 단면(단면 A)를 보이고 있다. 타판의 앞날부분에는 틈새유동 차단을 위한 차단 봉이 Oh et al.(2009a, 2009b) 제안한 방법을 따라 타 중앙면에 좌우대칭으로 틈새간격의 60%를 차단하는 한 쌍의 차단 봉을 40° 간격으로 설치하였다.

Fig. 5에는 핀틀 블록을 포함하는 단면 B를 보

이고 있다. 핀틀 블록의 뒷날부분에 수직 방향으로 형성되는 틈새( $V_2$ ) 유동을 차단하기 위하여 역시 Oh et al.이 제안한 방법에 따라 핀틀 블록의 뒷날 면에 타 중앙면에 좌우대칭이 되도록  $40^\circ$  간격으로 한 쌍의 차단봉을 배치하였다. 차단봉의 형상은 반원 단면 봉이 핀틀 블록에 필렛 용접된 형상으로 높이는 틈새 간격의 60%가 되도록 하였다.

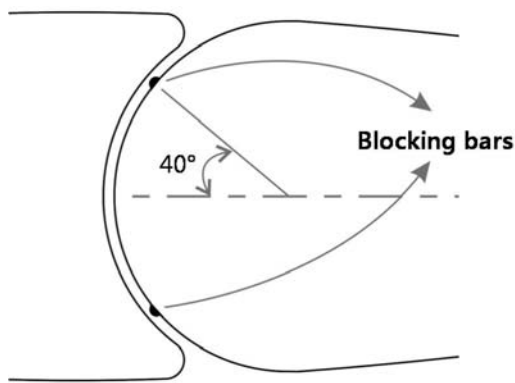


Fig. 4 A pair of blocking bars attached on the rudder plate for retardation of the gap flow(Section A)

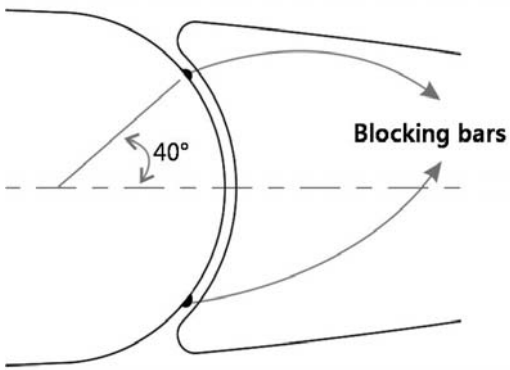


Fig. 5 A pair of blocking bars attached on the pintle for retardation of the gap flow (Section B)

핀틀 부의 상부 수평방향 틈새 차단

타 캐비테이션을 피하기 위하여 수직 틈새유동을 줄여주려는 다양한 연구가 발표된바 있으나 (Paik et al. 2008, Oh et al. 2008, 2009a, 2009b, Seo et al. 2009a, 2009b) 핀틀 블록 주위에 심각한 침식을 일으키는 수평 틈새 유동의 영향을 조사한 연구는 찾아보기 어렵다. 또한 수직틈새 유동만 차단할 경우에는 오히려 수평틈새 유동이 가속되어 수평틈새 부근의 캐비테이션 현상이 심화되는 것으로 보고되어 있다(Kim et al., 2006, Paik et al., 2008, Seo et al. 2009b).

핀틀 블록 상면과 타판 사이에 형성되는 수평방향의 틈새( $H_1$ )를 지나는 유동을 차단하였을 때의 효과를 살펴보기 위하여 Fig. 6과 같이 원판을 삽입하여 수평틈새를 차단하고 그 주위 유동을 수치적으로 해석하였다.

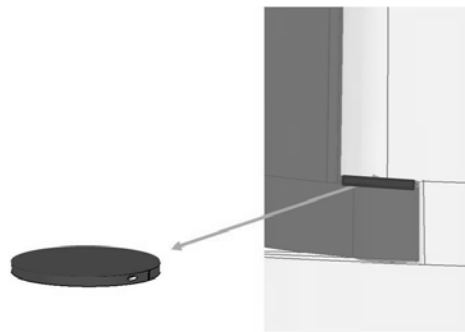


Fig. 6 A circular disk inserted in the horizontal gap  $H_1$  to block the gap flow.

계산조건

일반적으로 선박의 타는 최대  $\pm 35^\circ$ 까지 조타가 가능하지만 정상적인 순항 상태에서는 항로를 유지하기 위하여  $3^\circ \sim 4^\circ$  정도의 작은 타각만을 사용하고 있다(Choi and Chung 2007). 최근 대두되고 있는 타 캐비테이션 문제도 이러한 작은 타각에서 발생되고 있으므로 본 연구에서는 타각  $3^\circ$ 에서 발생하는 타 캐비테이션 현상을 수치적으로 조사하였다. 수치계산은 실험결과와의 비교를 위하여 축척비 10:1인 타 모형을 캐비테이션 수( $\sigma$ )가 1.0인 조건에서 수행하였다.

### 3. 수치해석

#### 계산 알고리즘

수치계산은 상용프로그램인 Fluent Ver. 6.3을 사용하였다. 이 계산조직에서는 지배 방정식을 유한체적법(Finite Volume Method)으로 차분화하고 이산화 과정을 거쳐 대수방정식으로 변환하며 이 때 대류항과 체적비(volume of fraction)은 QUICK법, 확산항은 중심 차분법, 시간에 대한 미분항은 1차 음해법을 사용하여 이산화한다. 또한 난류모형으로는 *Realizable k-ε* 을 사용하였으며, 압력 방정식으로는 Rhin/Chow방법을 수정한 FLUENT 표준방법을 사용하였으며, 속도-압력의 연성은 SIMPLEC 방법을 사용하였다(FLUENT 2005). 또한 사용한 완화계수 값은 각각 압력에 대해서는 0.3, 운동량 0.5, 그리고 난류모형 0.5를 사용하였다.

#### 격자 구성 및 계산조건

수치계산은 선체와 추진기는 고려하지 않고 타 단독상태에서 수행하였다. 좌표계는 유동 방향을 +X축, 이에 직교하는 연직 상 방향을 +Z축으로 하는 Cartesian 좌표계를 사용하였으며 격자계는 Fig. 7에 개략적으로 보인바와 같이 타 표면에는 스펠방향으로 130개, 코드 방향으로 190개를 분포시켰으며, 수평과 수직 틈새 간격에는 각각 25개를 분포시켜, 총 1,800,000개의 격자를 사용하였다.

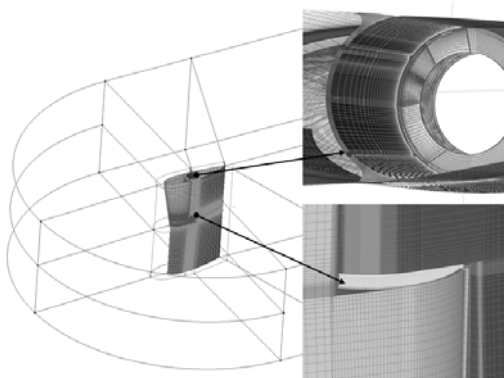


Fig. 7 Grid system of the rudder

계산영역으로는 C-H형 topology를 선택하였으며, 계산영역의 범위는 각각  $-2 < X/C < 2.5$ ,  $-2.5 < Y/C < 2.5$  에 해당되며 이때  $C$ 는 타의 최대 코드길이이다. 제한된 계산 자원으로 틈새 주위의 유동을 집중적으로 관찰하기 위하여 Z축 방향으로 스펠 부분에만 격자를 분포하여 타 양단에 의한 3차원 효과를 고려하지 않았다. 타각이 있을 경우에도 용이하게 양질의 격자계를 생성하기 위하여 고정부와 가동부의 경계면에서 격자점이 일치하지 않는 non-matching interface를 사용하였다. 또한 난류경계층의 특성을 잘 표현하기 위하여 벽면에서 가장 가까운 격자점들의  $y^+$  값이 45를 넘지 않도록 조절하였다.

경계조건으로는 유입면에서는 균일류 조건 ( $u = 1, v = w = 0$ )을, 유출면에서는 정압력이 일정하다는 조건을 사용하였으며, Z축의 상부에서는 대칭조건을, 날개표면에서는 계산시간의 효율성을 고려하여 벽함수를 사용하였다.

계산에 사용된 무차원 수로는 압력계수와 캐비테이션 수가 있으며 다음 식과 같이 정의된다.

$$C_p = \frac{p - p_{atm}}{\frac{1}{2} \rho V^2}, \quad \sigma_v = \frac{p_{atm} - p_v}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (1)$$

이 때 대기압  $P_{atm}$ 는 101.3 kPa, 밀도  $\rho$ 는 998.2 kg/m<sup>3</sup>, 그리고 20°C인 물의 증기압  $p_v$ 는 2.3 kPa로 주었다.

### 4. 수치해석 결과

#### 실험결과와 수치계산 결과의 비교

수치계산을 수행할 경우, 사용하는 수치계산 기법이나 격자계의 구성도 중요하지만 유동 특성에 적합한 난류모형의 선택이 해석결과에 큰 영향을 미치는 경우가 많다(Wilcox 1993). 본 수치계산에서는 난류모형으로 Seo et al.(2008)이 모형시험 결과와 비교하여 좋은 결과를 얻은 *Realizable k-ε* 모형을 사용하였으며  $y^+$ 는 100이하로 격자를 생성하여 수치계산을 수행하였다. 또한 수치해석

과정에서 캐비테이션은 증기체적비(vapor volume fraction) 10%에서 발생한다고 가정하였다.

컨테이너선의 흔-타 틈새유동에 의해 발생하는 캐비테이션 현상을 수치적으로 해석하고 그 결과를 기존 모형시험 결과(Paik et al. 2008)와 비교·검토하였다(Fig. 8). 수직 및 수평 틈새유동에 의해서 틈새 주위에 발생하는 캐비테이션 현상이 수치계산에서도 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다.

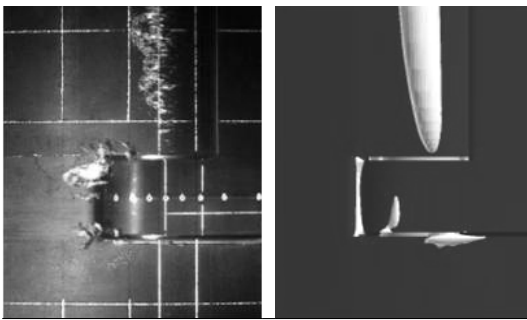


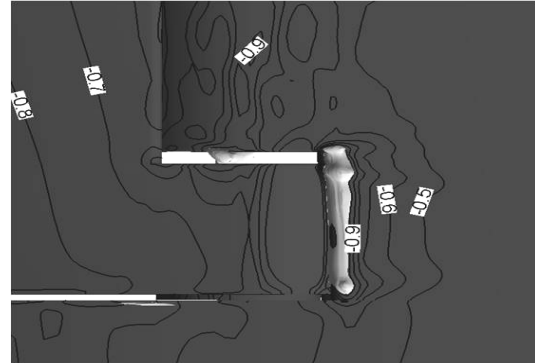
Fig. 8 Comparison of experimental and computational results of the cavitation pattern on the suction side of a horn rudder (rudder angle of  $6^\circ$ ,  $\sigma = 1.5$ ,  $R_T = 2.3 \times 10^6$ )

수직, 수평 틈새유동의 차단 효과

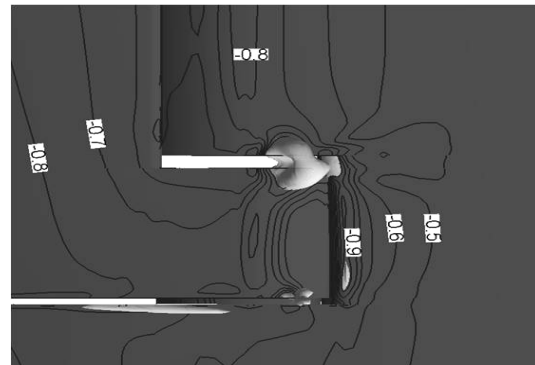
흔-타의 흔 부분에서는 Fig. 4와 같이 차단 봉을 좌우 대칭으로 배치하였으며 핀틀 부분에서는 Fig. 5와 같이 차단 봉을 좌우대칭으로 배치하였다. 수치계산은 수직방향 틈새에 차단 봉을 설치하지 않은 경우와 설치한 경우에 수행하고 표면압력 분포를 비교하였다.

Fig. 9(a)는 유동차단 장치가 없을 때에 수치계산으로 얻어진 표면 압력분포이다. Fig. 9(b)는 수직방향 틈새에 차단 봉을 좌우 대칭으로 배치하였을 때의 수치해석 결과를 나타낸다. Fig. 9(c)는 수평간극을 차단하기 위해 간극차단 원판을 설치할 경우의 결과를 나타낸다. Fig. 9(a)와 (b)를 비교하면 흔과 핀틀 부분의 수직틈새에 차단 봉을 설치하면 흔 부분의 타판에 나타나는 낮은 압력 구간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 수직틈새를 차단하면 수평틈새를 지나는 유동이 증가되는 것으로 나타났다. 이것은 수직틈새를 차단하는 것

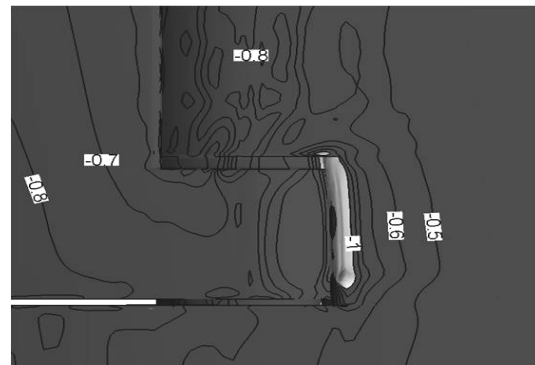
만으로는 타 캐비테이션 현상을 피할 수 없다는 것을 의미한다.



(a) without blocking device



(b) with vertical blocking devices



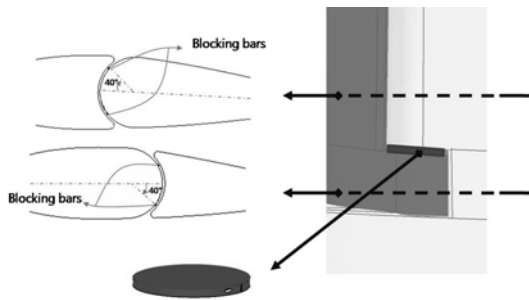
(c) with horizontal blocking devices

Fig. 9 Comparison of the Iso-surface ( $C_p = -1.0$ ) on the suction side of the pintle block ( $R_T = 4.5 \times 10^6$ , rudder angle =  $3^\circ$ )

만일 Fig. 9(c))에서와 같이 수평방향 틈새유동만을 차단하여도 캐비테이션 발생이 억제되지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 혼-타의 틈새 주위에서 나타나는 캐비테이션을 효과적으로 완화시키기 위해서는 수평방향과 수직방향의 틈새를 동시에 차단하는 것이 필요하다.

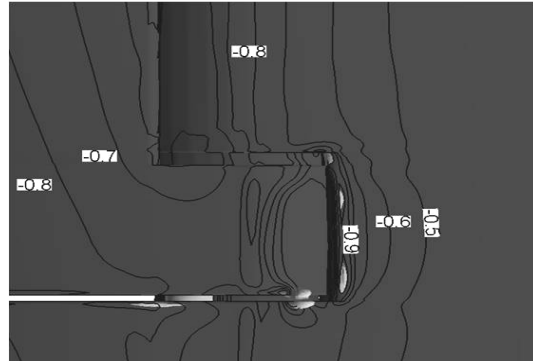
수직과 수평 틈새의 동시차단

Fig. 10에 보인바와 같이 혼과 핀들 부분의 수직틈새를 통한 유동을 타 중앙면에 좌우대칭인 한쌍의 차단 봉을 배치하여 차단하고 수평틈새에는 원판을 삽입하여 틈새유동을 차단하였다.

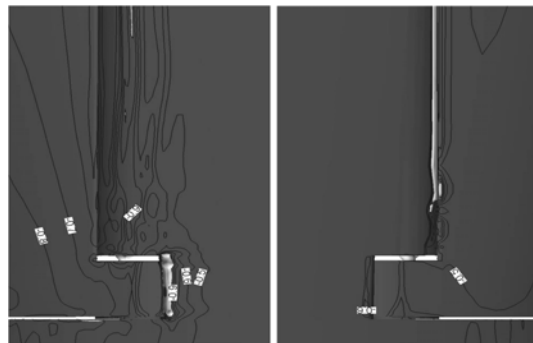


**Fig. 10** Arrangement of blocking bars and disk in vertical and horizontal gaps of the horn type rudder

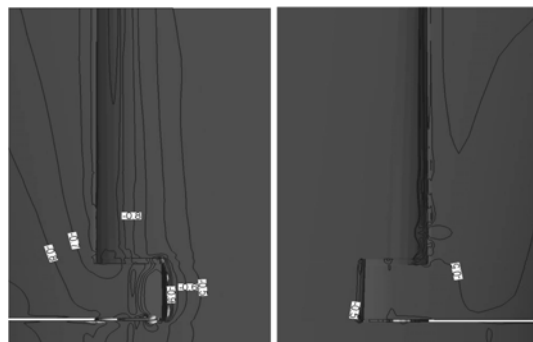
수직 및 수평방향 틈새유동을 차단한 수치계산 결과를 틈새 차단시스템이 장착되지 않은 경우와 비교하였다. 즉, Fig. 9(a)와 Fig. 11에 보인 표면 압력 분포를 비교하여 보면 수평 및 수직방향 유동을 동시에 차단하면 틈새유동이 크게 줄어들어 타 캐비테이션 현상을 완화시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 12에는 틈새유동 차단시스템이 장착되지 않은 경우와 (Fig. (12a))와 수직 및 수평방향 틈새를 차단봉으로 차단한 경우(Fig. 12(b))의 압력면과 흡입면 압력분포를 비교하였다. 틈새유동을 차단하지 않은 경우에는 타의 압력면에서 혼을 따라 흐르던 유동이 수직틈새로 급격히 빨려 들어감에 따라 압력이 크게 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 그러나 수직 차단봉에 의해 틈새유동이 감소하면 혼 끝단부의 캐비테이션 성능이 크게 향상되는 것을 알 수 있다.



**Fig. 11** Pressure distribution and iso-surface of  $C_p = -1.0$  on the suction side of the rudder with vertical and horizontal blocking devices ( $R_r=4.5 \times 10^6$ , rudder angle=3°)



(a) without blocking device



(b) with vertical and horizontal blocking devices

**Fig. 12** Comparison of the iso-surface ( $C_p = -1.0$ ) on the suction and pressure side ( $R_r=4.5 \times 10^6$ , rudder angle=3°)

## 6. 결론

본 연구에서는 선박의 혼-타에서 타 캐비테이션을 유발시키는 틈새유동 차단을 위한 틈새유동 차단장치의 효용성을 수치적으로 검증하였다. 틈새유동 차단을 위하여 수직방향의 틈새에는 한 쌍의 차단 봉을 좌우대칭으로 배치하고 수평방향의 틈새에는 원판을 삽입하였으며 이 때 수치계산을 통하여 얻어진 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1) 수직방향의 틈새를 차단하면 수직 틈새 부근의 캐비테이션 현상이 크게 완화되는 것을 확인하였다. 그러나 수평 틈새를 지나는 유동이 증가하므로 수평틈새 부근에서는 캐비테이션의 현상이 오히려 악화된다.

2) 핀틀 블록의 상면에 나타나는 수평 틈새를 원판을 삽입하여 차단하면 수평 틈새로 인한 캐비테이션 현상은 완화되지만 수직 틈새로 인한 캐비테이션 현상에는 영향을 미치지 못한다.

3) 수직 및 수평 틈새를 동시에 차단하여 타 캐비테이션 발생을 획기적으로 줄일 수 있는 가능성을 확인하였다.

앞으로 본 연구의 결과를 실선 스케일로 확장하기 위한 후속연구와 보다 실용적인 수직, 수평 틈새유동 차단장치의 개발을 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

## 후 기

이 연구는 국가지정연구실 사업 (No. ROA-2007-000-10028-0)과 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원 (NRF-2008-005-J01603)으로 한국연구재단의 지원을 받고 있음을 밝힙니다.

## 참 고 문 헌

- Bu, K.T., Song, I.H. and Sin, S.C., 2004, "Numerical Simulation for the Rudder in Order to Control the Cavitation Phenomena," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 42-50.
- Choi, J.E. and Chung, S.H., 2007, "Characteristics of Gap Flow of a 2-Dimensional Horn-Type Rudder Section," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 2, pp. 101-110.
- Choi, J.E., Chung, 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.
- Kim, S.P, Park, J.J., Kim, Y.S., Jang, Y.H, Choi, Y.B. and Paik, B.G., 2006, "An Experimental Research on Gap Cavitation Erosion of Semi-spade Rudder," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 578-585.
- Oh, J.K., Lee, C.M., Lee, H.B., Seo, D.W., Rhee, S.H., Suh, J.C., Lee, S.H. and Kim, H., 2008, "Rudder Gap Cavitation and its Suppression Devices," Proc. of FEDSM2008, Aug. 10-14, Jacksonville, Florida, USA.
- Oh, J.K., Seo, D.W. and Kim, H., 2009a, "Numerical Study on the Gap Flow of a Rudder System with Bisymmetric Blocking Bar," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 5, pp. 460-470.
- Oh, J.K., Seo, D.W., Kim, H. and Lee, S.H., 2009b, "A Numerical Study for Reduction of Rudder Cavitation with Gap Flow Retardation," Proc. of 10th FAST2009, Oct. 5-8, Athens, Greece, pp. 51-62.
- Paik, B.G., Kim, K.Y., Ahn, J.W., Kim, Y.S.,



Kim, S.P. and Park, J.J., 2008, "Experimental Study on the Gap Entrance Profile Affecting Rudder Gap Cavitation," Journal of Ocean Engineering, Vol. 35, pp. 139-149.

- 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.
- Seo, D.W., Kim, J.H. and Lee, S.H., 2008, "On the Influence of End Plates upon the Tip Vortex Cavitation Characteristics of a Fin Stabilizer," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 1, pp. 18-28.
- Seo, D.W., Lee, S.H., Oh, J.K. and Kim. H., 2009a, "A Numerical Study for the Efficacy of Flow Injection on the Diminution of Rudder Cavitation," Proc. of 13th IMAM2009, Oct. 12-15, Istanbul, Turkey, pp. 523-530.
- Seo, D.W., Oh, J.K. and Lee, S.H., 2009b, "A Numerical Study on the Gap Flow Using a Fluid Supply Device," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 6, pp. 579-587.

- Wilcox, D.C., 1993, Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries.



< 서 대 원 >



< 이 승 희 >



< 김 효 철 >



< 오 정 근 >