

## 혼 타 주위의 캐비테이팅 유동 특성에 대한 연구

최정은\*, 정석호\*, 김정훈\*

현대중공업(주) 선박해양연구소\*

### Cavitating-Flow Characteristics around a Horn-Type Rudder

Jung-Eun Choi<sup>†</sup>\*, Seok-Ho Chung\* and Jung-Hun Kim\*

Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries, Co. Ltd.\*

#### Abstract

The flow characteristics around a horn-type rudder behind an operating propeller of a high-speed large container carrier are studied through a numerical method in fully wetted and cavitating flow conditions. The computations are carried out in a small scale ratio of 10.00(gap space=5mm) to consider the gap effects. The Reynolds averaged Navier-Stokes equation for a mixed fluid and vapor transport equation applying cavitation model are solved. The axisymmetry body-force distribution technique is utilized to simulate the flow behind an operating propeller. The gap flow, the three-dimensional flow separation, and the cavitation are the flow characteristics of a horn-type rudder. The pattern of three-dimensional flow separation is analyzed utilizing a topological rule. The various cavity positions predicted by CFD were shown to be very similar to rudder erosion positions in real ship rudder. The effect of a preventing cavitation device, a horizontal guide plate, is also investigated.

※Keywords: CFD(계산유체역학), Horn-type rudder(혼 타), Body-force distribution(물체력 분포), Gap flow(간극유동), Three-dimensional flow separation(3 차원 유동박리), Cavitation(캐비테이션), Cavity-induced erosion(캐비티 유기 침식), Horizontal guide plate(수평가이드판)

#### 1. 서론

최근 컨테이너선은 대형화 및 고속화가 계속되

고 있는 추세이다. 대형 컨테이너선의 고속화는 프로펠러의 하중을 증가시켜 프로펠러 후류의 축방향과 회전방향의 속도를 증가시킨다. 축방향과 회전방향의 속도 증가는 타 입사각 증가와 함께 타에 작용하는 하중을 감소시킨다. 이 때 타의 흡입면에 작용하는 압력은 감소하게 되며, 이 압력

접수일: 2006년 11월 30일, 승인일: 2007년 4월 15일

† 교신저자: jechoi@hhi.co.kr, 010-9768-2078

이 증기압 이하로 감소하게 되면 타 면에 캐비티가 발생하게 된다. 발생한 캐비티는 압력이 회복되는 부분까지 이동한 후에 붕괴된다. 이때 캐비티의 부피가 급격하게 축소됨에 따라 순간 압력이 매우 커져 타의 표면에 손상을 가하고 진동과 소음을 발생시켜 타 효율을 저하시킨다. 최근 대형 고속컨테이너선의 혼 타에서 캐비테이션에 기인한 침식과 진동과 소음 현상이 빈번하게 발생하고 있어 이에 대한 해결이 시급하다.

캐비테이션에 기인한 타 침식 문제를 해결하기 위하여 타 주위의 캐비테이션 유동을 해석하는 것이 필요하다. 타는 선체와 프로펠러 후류에 위치해 있으므로 타 주위 유동은 아주 복잡하다. 그리고 혼 타인 경우, 고정부와 가동부 사이에 불연속면이 존재하고 이로 인하여 전가동타와는 다른 유동 특성이 있다. 프로펠러 주위 유동해석에 대한 수치적 방법으로는 프로펠러를 모델링하여 비정상 상태에서 수치 해석하는 기법과(김정중 등 2006) 정상상태로 가정하여 수치 해석하는 기법(박제준 등 2004) 등의 직접적인 방법과 프로펠러 추진력을 지배방정식의 물체력으로 치환하여 해석하는 간접적인 방법(Stern et al. 1988, Choi and Kinnas 2001, 부경태 등 2005)이 있다. 타에 발생하는 캐비테이션에 대한 연구는 포텐셜 이론을 이용한 수치적 연구(Lee and Lee 2004), 점성이론을 이용한 수치적 연구(최정은과 정석호 2006)와 공동수조에서의 실험적 연구(백부근 등 2006) 등이 수행된 바 있다.

본 연구에서는 캐비테이션 모형과 점성이론을 이용한 수치적 방법으로 증기의 volume of fraction

을 계산함으로써 캐비테이션 성능을 예측하는 기법을 사용하였다. 선체와 프로펠러의 상호작용효과를 무시하였으며, 프로펠러는 actuator disk 로 가정하여, 프로펠러 후류에 있는 혼 타로 이상화하였다. 격자생성은 GRIDGEN 을 사용하였으며 수치해석은 FLUENT V6.2 를 사용하였다. 대상 타는 최근 캐비테이션에 기인한 타 침식이 문제가 된 대형컨테이너선의 혼 타이다.

## 2. 수치해석

본 계산을 위하여 적용된 좌표계는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 유동 방향이 양(+)의  $x$  축이고 선박의 우현이 양의  $y$  축이며 중력의 반대방향이 양의  $z$  축으로 하고 프로펠러 중심축과 중심 면이 만나는 점을 원점으로 하는 우수좌표계이다. 여기서 주의할 점은 토오크와 프로펠러의 회전방향은 서로 반대이다.

### 2.1 지배방정식

수치해석을 위한 지배방정식은 물과 증기의 혼합류에 대한 모멘텀 수송방정식인 Reynolds averaged Navier-Stokes(RANS)식과 캐비테이션 모형을 이용한 증기 수송방정식이다. 캐비테이션 모형은 Rayleigh-Plesset 식을 이용하였다(FLUENT 2005, 최정은과 정석호 2005).

### 2.2 프로펠러 후류 추정

Actuator disk 로 가정한 프로펠러에 작용하는 힘들을 물체력으로 치환하는 기법은 프로펠러 주위 유동장을 직접 해석할 필요가 없어 경제적이다. 물체력으로 표현하는 기법은 축대칭과 비대칭 물체력 분포법이 있다. 본 계산에서는 전자 기법을 적용하였다. 물체력은 공간에 대한 함수이나 축방향으로 대칭이라고 가정하였다. 즉  $\vec{f}_b = \vec{f}_b(r)$  이다.

$$I^*(r_1^*, r_2^*) = \frac{\int_{r_1^*}^{r_2^*} \Psi(r^*) dr^*}{\int_b^b \Psi(r^*) dr^*} \quad (1)$$

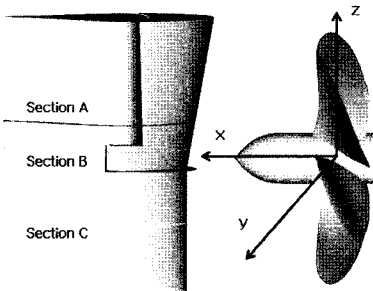


Fig. 1 Coordinate system

$$f_{bx}\Delta x\pi(r_2^{*2} - r_1^{*2}) = K_T \rho n^2 D_p^4 I^*(r_1^*, r_2^*) \quad (2)$$

$$J^*(r_1^*, r_2^*) = \frac{\int_{r_1^*}^{r_2^*} \Theta(r^*) dr^*}{\int_0^1 \Theta(r^*) dr^*} \quad (3)$$

$$f_{b\theta}\Delta x \frac{2\pi}{3} (r_2^{*3} - r_1^{*3}) = K_Q \rho n^2 D_p^5 J^*(r_1^*, r_2^*) \quad (4)$$

Stern and Kim(1988)에 의하면 순환분포는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Psi(r^*) = r^* \sqrt{1-r^*} \quad (5)$$

$$\Theta(r^*) = \frac{r^* \sqrt{1-r^*}}{(1-y_H)r^* + y_H} \quad (6)$$

여기서  $r^* = (y - y_H)/(1 - y_H)$ ,  $y = r/R_P$ ,  $y_H = R_H/R_P$  이고,  $R_P$  는 프로펠러 반경을  $R_H$  는 프로펠러 hub 반경을 나타낸다.

$$f_{bx} = A_x r^* \sqrt{1-r^*} \quad (7)$$

$$f_{b\theta} = A_\theta \frac{r^* \sqrt{1-r^*}}{(1-y_H)r^* + y_H} \quad (8)$$

여기서

$$A_x = \frac{K_T}{\Delta x J^2} \frac{105}{2\pi(4+3y_H)(1-y_H)} \quad (9)$$

$$A_\theta = \frac{K_Q}{\Delta x J^2} \frac{105}{\pi(4+3y_H)(1-y_H)} \quad (10)$$

### 2.3 수치해석 기법

계산 영역은 유한개의 작은 격자로 나누어지며 지배방정식은 이산화 과정을 거쳐 대수방정식으로 변환된다. 공간이산화 처리는 cell-centered 유한체적법을, 시간이산화는 1 차 implicit 법을 사용하

였다. 대류항과 volume fraction 은 QUICK scheme 을, 확산항은 중앙차분법을 사용하였으며, 속도-압력 연성은 SIMPLEC algorithm 을 적용하였다.

### 3. 대상 타, 계산조건 및 격자생성

대상 타는 최근 캐비테이션에 기인한 타 침식이 문제가 되고있는 7,800TEU 급 컨테이너선의 혼 타이며 형상은 NACA64<sub>4</sub> 이다. 계산은 모형선-실선 축척비( $\lambda$ )=10.00 에서 수행하였다. 고정부는 x 축과 평행하고 가동부는 좌현 회전의 5° 받음각을 가지고 있으며, 간극크기는 5.0mm 이다. 수평가이드판(horizontal guide plate 혹은 baffle plate)의 효과를 보기 위하여 수평가이드판의 장착 유무에 대한 계산을 수행하였다. 계산영역은  $-2.14 < x/\bar{c} < 4.28$ ,  $-2.14 < y/\bar{c} < 2.14$ ,  $-1.46 < z/\bar{c} < 2.14$  이다. 여기서  $\bar{c} (= A_T/s)$ ,  $A_T$ : 투영면적)는 타의 평균 chord 길이이다. 격자는 육면체 형태로 생성하였으며 격자 수는 1,495,707 개이고 간극 사이에 7 개의 격자를 분포하였다. 타면으로부터 첫번째 격자간격은 약  $y^+ \approx 50 \sim 350$  이다. 격자의 질을 높이기 위하여 핀들 주위의 격자는 non-matching interface 로 처리하였다.  $Re (= V_0 \bar{c}/\nu)$ , 레이놀즈 수)는  $2.61 \times 10^6$  이며, 프로펠러 회전속도는 4.70 RPS 이다. 조사한 캐비테이션 수 [ $\sigma = (p_{exit} + p_{oper} - p_v)/(1/2 \rho_\ell V_0^2)$ ]는 1.60 이다.  $\sigma$  는 출구면 압력( $p_{exit} = 809.6 \text{ pa}$ )과 operating 압력( $p_{oper} = 13,816.9 \text{ pa}$ )을 변화시킴으로써 조절하였다. 여기서  $V_0 (= 4.132 \text{ m/s})$ 는 기준 속도,  $p_v (= 872.6 \text{ pa})$ 는 증기압을 나타낸다.

입구면 경계조건은 균일류의 유입속도 성분을 사용하였으며 출구면 경계조건은 일정한 값의 정압력을 사용하였다. 계산시간의 효율성을 고려하여 벽함수를 사용하였다.

### 4. 결과 및 토의

수치해석 결과의 모형시험을 이용한 검증은 수행하지는 않았으나 2 차원 날개 단면인 NACA66

주위의 캐비테이션 유동 해석 결과(최정은과 정석호 2005)와 단독 타에 작용하는 유체력계수를 모형시험 결과와 비교하였으며, 3 차원 유동박리 현상에 대한 topological rule (Tobak and Peake 1982)을 적용함으로써 검증하였다. 그리고 수치해석 결과의 캐비티 발생 부위와 실제 타 침식 발생 부위를 비교함으로써 최종 검증을 하였다.

흔 타의 캐비테이션 성능에 영향을 주는 요소로는 형상요소(타 및 간극 단면 형상, 날개두께비 등)와 유동요소(받음각, 캐비테이션 수, 레이놀즈 수 등) 등이 있다. 형상요소와 유동요소가 타 주위 유동과 캐비테이션 성능에 미치는 영향에 대한 연구는 기존의 연구(최정은과 정석호 2006)에서 이미 수행한 바 있으므로 본 논문에서는 흔 타 주위의 유동 특성 중 3 차원 유동박리와 캐비테이션 특성, 그리고 핀들 주위의 캐비테이션 성능을 향상시키기 위하여 부착하고 있는 수평가이드판의 효과에 대해 설명하였다.

단독상태의 전가동타 주위의 유동 특성은 3 차원 유동박리, 타 끝단 보오텍스 등이다. 프로펠러 후류에 위치한 흔 타 주위 유동은 타 끝단이 프로펠러 반경보다 크므로 타 끝단에서의 회전방향 속도 크기가 작아져 타 끝단 보오텍스의 크기는 적지만 타 중앙부(특히 간극 주위)는 아주 복잡한 3 차원 유동박리 특성을 갖는다. 3 차원 유동박리는 2 차원 유동박리와는 달리 상당히 복잡하며 그 동안 많은 연구가 있어 왔다(Maskell 1955, Wang 1972). 3 차원 유동박리는 skin friction line의 특이점 유무에 따라 “singular separation”과 “ordinary separation”으로 구분할 수 있고(Maskell 1955), upstream으로부터 박리영역의 접근성 여부에 따라 “open separation”과 “closed separation” 형태로 구분할 수 있다(Wang 1972).

Fig. 2는 흔 타 표면에서의 skin friction line을 나타낸다. 프로펠러 중심보다 높은 위치에서는 좌현 쪽에 정체선이 나타난다. 흔 타의 정체선으로부터 좌현으로 분리된 skin friction line은 3 차원 유동박리가 생성되지 않고 있다. 그러나 우현으로 분리된 skin friction line은 3 차원 유동박리가 발생하여 아주 복잡한 형상을 갖는다. 프로펠러 중

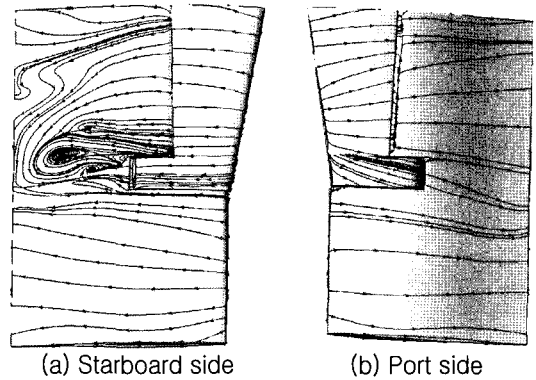


Fig. 2 Skin friction lines on the surface of a horn-type rudder : fully wetted flow condition

심보다 낮은 위치에서는 중앙부에 정체선이 나타나고 타 입사각이 비교적 적으며 정체선으로부터 타의 좌·우현으로 분리된 skin friction line은 특이점이 없다.

Fig. 3(a)는 고정부의 skin friction line을 나타낸다. Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 정체선으로부터 분리된 skin friction line은 고정부 최상단(top) 부근에는 saddle point 2 개( $S_1, S_2$ ), nodal point of attachment 1 개( $N_{A1}$ ), focus of separation 1 개( $F_{S1}$ )를 만든다. Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이, 수직 간극과 pintle 상부와 만나는 부위에서는 saddle point 2 개( $S_3, S_4$ ), focus of separation( $F_{S2}$ ), nodal point of attachment 1 개( $N_{A2}$ ), 그리고 nodal point of separation 2 개( $N_{S1}, N_{S2}$ )가 있다. 핀들 측면에는[Fig. 3(d)] saddle point 2 개( $S_5, S_6$ )와 nodal point of attachment 1 개( $N_{A3}$ )가 있다. 측면과 핀들 하단과 만나는 지점에서 nodal point of separation 2 개( $N_{S3}, N_{S4}$ )가 있으며 핀들 하단에는 saddle point 1 개( $S_7$ )가 있다. 지금까지 설명한 특이점은 달린 3 차원형상에 대한 topological rule(Tobak and Peake 1982)을 만족한다.

$$\Sigma_N - \Sigma_S = \Sigma_{(FS+NA+NS)} - \Sigma_S = (2+3+4) - 7 = 2 \quad (11)$$

여기서  $N$ 은 nodal point(node 혹은 focus)를 나타낸다.

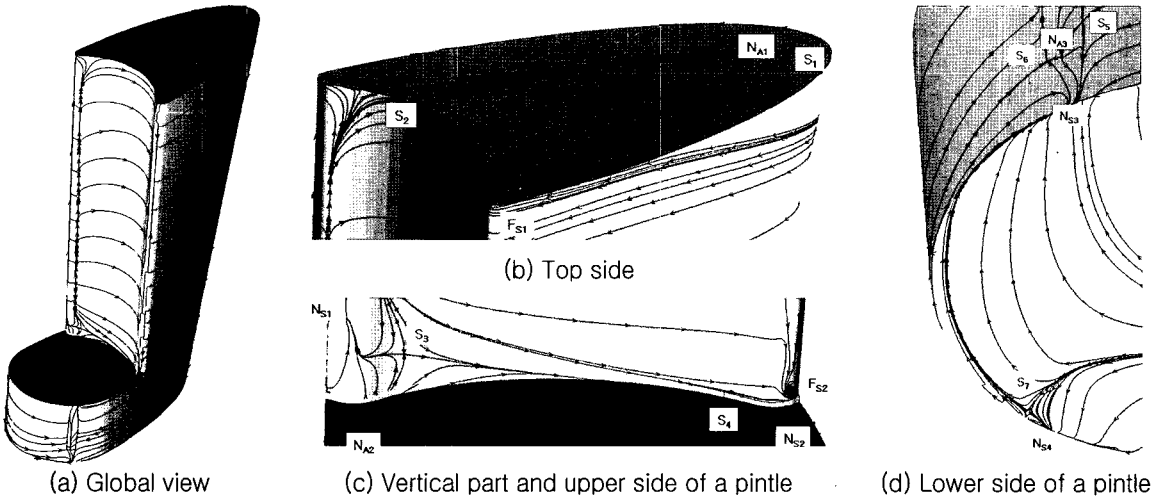


Fig. 3 Skin friction lines and singular points on the horn surface : fully wetted flow condition

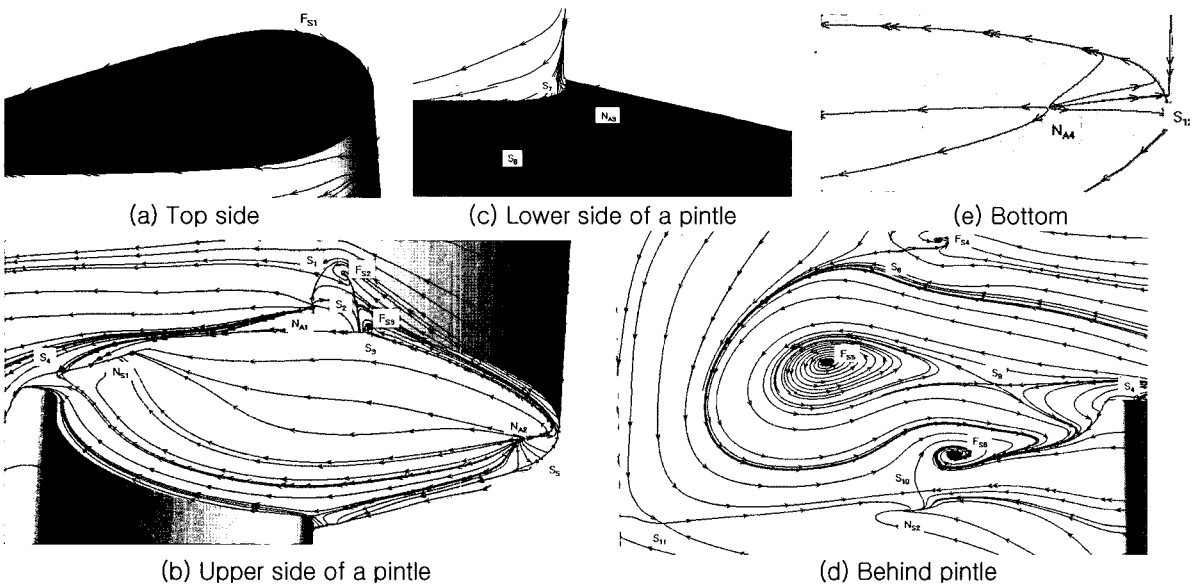


Fig. 4 Skin friction lines and singular points on the surface of a movable part : fully wetted flow condition

Fig. 4는 가동부의 skin friction line 과 특이점 나타낸다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 가동부 최상단 [Fig. 4(a)]에는 focus of separation( $F_{S1}$ ) 1 개가 있다. Pintle 윗 부분[Fig. 4(b)]에는 saddle point 4

개( $S_1 \sim S_4$ ), focus of separation 2 개( $F_{S2}, F_{S3}$ ), nodal point of attachment ( $N_{A1}$ )와 nodal point of separation ( $N_{S1}$ )가 각각 1 개씩 있다. Pintle 상부의 전반부에는 nodal point of attachment ( $N_{A2}$ )

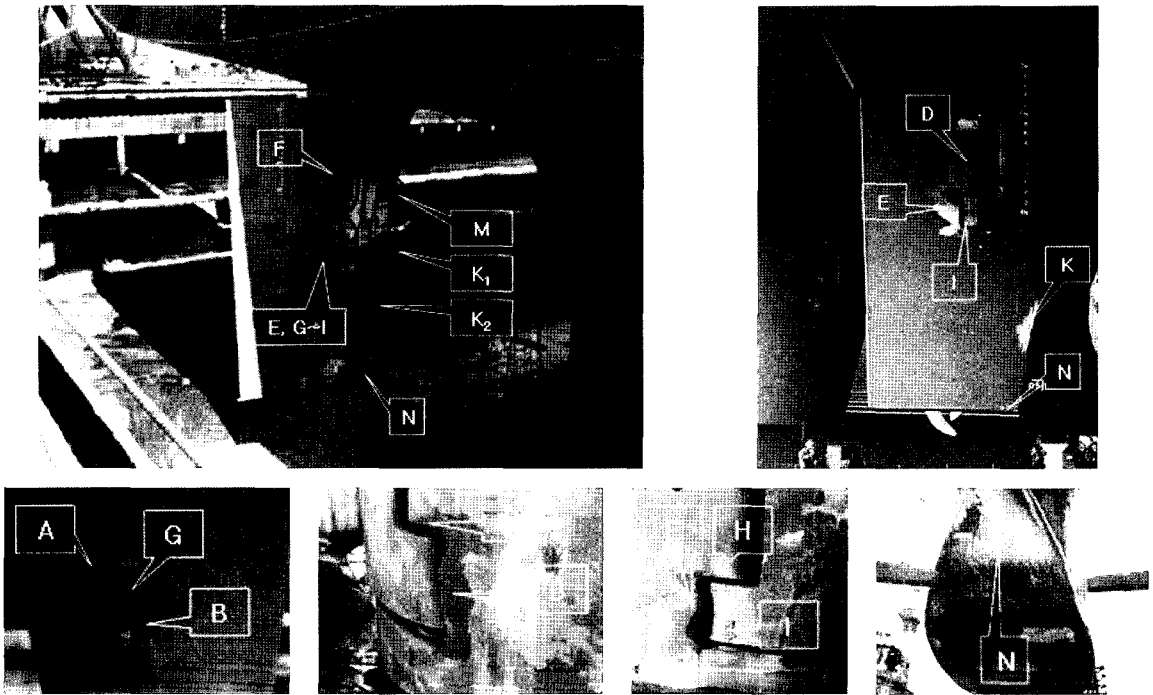


Fig. 5 Photos of cavity-induced erosion

와 saddle point ( $S_5$ )가 1 개씩 있다. Pintle 하부 [Fig. 4(c)]에는 saddle point 2 개 ( $S_6, S_7$ )와 nodal point of attachment ( $N_{A3}$ )가 1 개씩 있다. Pintle 후반부의 가동부 [Fig. 4(d)]에서는 saddle point 4 개 ( $S_8 \sim S_{11}$ ), focus of separation 3 개 ( $F_{S4} \sim F_{S6}$ )와 nodal point of separation 1 개 ( $N_{S2}$ )가 있는 복잡한 유동현상을 갖는다. 가동부 최하단(bottom)에는 [Fig. 4(e)] nodal point of attachment ( $N_{A4}$ )와 saddle point ( $S_{12}$ )가 1 개씩 있다. 지금까지 설명한 특징점은 평면과 연결된 닫힌 3 차원형상에 대한 topological rule 을 만족한다.

$$\Sigma_N - \Sigma_S = \Sigma_{(FS+NA+NS)} - \Sigma_S = (6+4+2) - 12 = 0 \quad (12)$$

Fig. 5 은 지금까지 보고된 혼 타에서 자주 발생하고 있는 침식사례들을 정리한 사진이다.

Fig. 6 은 수치해석 결과 나타나는 혼 타 표면에 발생하는 캐비티를 나타낸다. 여기서 캐비티는

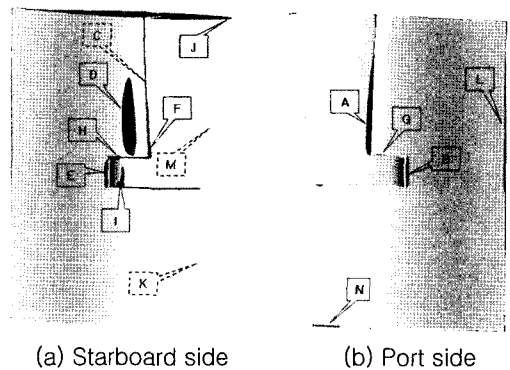


Fig. 6 Cavitation on a horn-type rudder : without a horizontal guide plate,  $\sigma=1.6$

10%의 vapor volume fraction 에서 발생한다고 가정하였다. Fig. 6 에 나타나는 캐비티 발생 지점은 Fig. 5 의 침식 부위와 대부분 일치하고 있다. 우회전 프로펠러인 경우, 중심보다 높은 위치에서는 타 단면 앞날의 우현 쪽이 흡입면이 되어 캐비티가 많이 생성됨을 알 수 있다.

Fig. 6 에서 캐비티가 발생하지 않은 부분은 계산조건에 기인한 것으로 사료된다. 본 계산조건에서 발생하지 않은 캐비티는 기존의 계산 결과를 활용하면 캐비테이션 특성을 추정할 수 있다.

Fig. 7 은 균일류에서의 NACA66 단면에 발생하는 캐비테이션(최정은과 정석호 2005)과 2 차원 혼 타 단면 A 에서 발생하는 간극 캐비테이션(최정은과 정석호 2006)을 나타낸다.

캐비티 발생은 비공동유동조건에서의 압력분포와 밀접한 관계가 있으므로 캐비티 발생과 압력분포를 함께 설명하고자 한다. Fig. 8 은 2 차원 혼 타 단면 주위의 등압력계수 분포를 나타낸다(최정

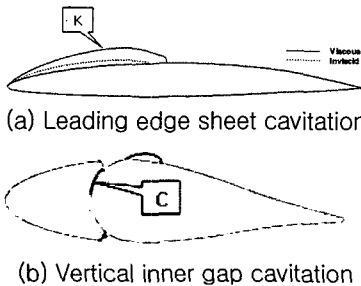


Fig. 7 Various cavitation types at different calculation conditions

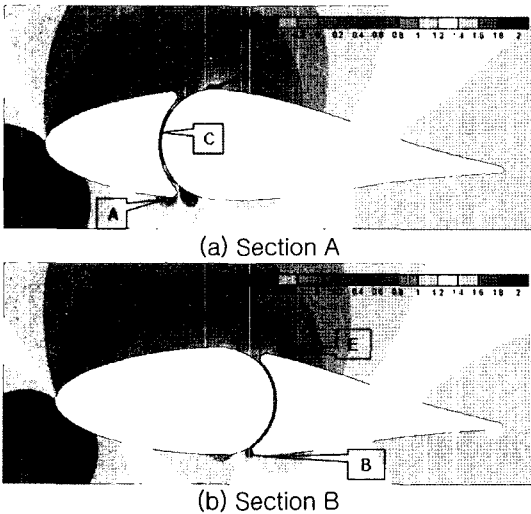


Fig. 8 Contour of constant pressure coefficient around 2-dimensional horn-type rudder sections :  $\alpha = 4^\circ$ ,  $R_M = 5.04 \times 10^7$

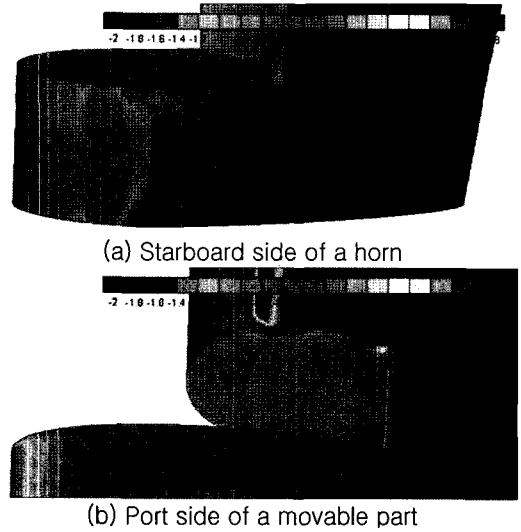


Fig. 9 Distribution of surface pressure coefficient near a gap of horn-type rudder : fully wetted flow condition

은과 정석호 2006).

Fig. 9 는 혼 타 간극 주위의 고정부와 가동부의 표면압력계수 분포를 나타낸다.

Cavitation A (horn inlet-vertical gap cavitation) : 프로펠러 중심축보다 위쪽에 있는 좌현 고정부 간극입구(A)에서 좁고 길게 발생하고 있는 캐비티는 고정부의 형상효과(혹은 곡률효과)에 기인한 유속증가와 압력강하로 인하여 발생하는 캐비티이다. 이 캐비티는 가동부의 정체압력 영향으로 발생영역이 좁고 길다.

Cavitation B (movable inlet-vertical pintle gap cavitation) : 가동부 간극입구(B)에서 좁고 길게 발생하고 있는 캐비티는 가동부의 형상효과(혹은 곡률효과)에 기인한 유속증가와 압력강하로 인하여 발생하는 캐비티이다. 이 캐비티는 Cavitation A 와 동일한 특성을 갖는다.

Cavitation C (vertical inner gap cavitation) : 간극을 통과하는 유동은 간극중앙부까지 유속이 증가하고 압력이 감소하여 발생하는 캐비티이다. 그러나 본 논문의 계산조건에서는 캐비티가 발생하고 있지 않는다.

Cavitation D (movable exit-vertical gap cavitation) : 간극을 통과한 유동과 가동부에서 주

유동이 합쳐져 유속이 증가한다. 그리고 고정부의 두꺼운 두께 부분을 통과하면서 유속이 더욱 증가하고 압력이 감소하여 발생하는 캐비티로 발생영역이 넓다. Cavitation D는 mid-chord cavitation(최정은과 정석호 2005)과 유사한 특성을 가지며 비정상상태이다.

Cavitation E (movable exit-vertical pintle gap cavitation) : Pintle 간극을 통과한 유동과 가동부에서 주유동이 합쳐져 유속이 증가한다. 그리고 고정부의 두꺼운 두께 부분을 통과하면서 유속이 더욱 증가하고 압력이 감소하여 발생하는 캐비티이다.

Cavitation F (horn exit-vertical pintle gap cavitation) : 간극을 통과한 유동이 주유동과 합쳐지는 고정부 반류에서 와류가 발생하고 압력이 강하여 캐비티가 발생한다. 핀틀과 가까울수록 압력강하가 크다.

Cavitation G, H, I (horizontal pintle gap cavitation) : 핀틀 간극효과에 기인하여 발생하는 캐비티이다. 캐비테이션 G는 다음에 설명할 sole cavitation과 유사한 발생원인을 갖는다.

Cavitation J, N (sole cavitation) : 타의 상·하부의 수직면과 수평면이 만나는 지점에서 유속증가와 압력강하에 기인하여 발생하는 캐비티이다.

Cavitation K, M (leading edge sheet cavitation) : 본 계산 조건에서는 캐비티가 발생하지 않는다. 그러나 침식위치를 보면 타에 유입되는 입사각이 비교적 큰 경우(4°) 타의 앞날 부근에서 leading edge sheet cavitation(최정은과 정석호 2005)이 발생하여 침식이 발생할 것으로 사료된다.

Cavitation L (trailing edge cavitation) : 타의 trailing edge에서 흡입면과 압력면의 압력차이로 발생하는 swirl velocity에 기인한 압력강하로 발생하는 캐비티이다. 그러나 침식 사례는 보고되고 있지 않고 있다.

지금까지 혼 타에서 발생하는 캐비티의 발생지점을 조사하였다. 발생한 캐비티는 압력이 회복되는 부분까지 이동한 후에 붕괴된다. 이 때 캐비티의 부피가 급격히 축소되고 압력이 매우 커져 진동과 소음이 발생하고 타를 침식시키고 타 효율을

저하시킨다. Leading edge sheet cavitation 형태인 경우 캐비테이션의 축척효과는 거의 없다. 그러나 mid-chord cavitation 형태인 경우, 캐비티 길이에 대한 축척효과는 없으나 캐비티 양에는 축척효과가 크다(최정은과 정석호 2005). 그리고 간극에 기인한 캐비테이션인 경우, 유동이 불안정하여 비정상상태로 되기 쉽다. 따라서 이러한 불리한 유체동역학적 특성을 가지고 있으며 타를 침식시킬 수 있는 캐비티 발생을 최소화하려는 연구가 많이 진행되고 있다.

혼 타의 캐비테이션 성능을 향상시키기 위하여 수평가이드판을 설치하고 있다. Fig. 10은 수평가이드판을 가동부에 부착한 경우의 혼 타 표면에 발생하는 캐비티를 나타낸다.

Fig. 10에서 수평가이드판을 부착함으로써 핀틀의 수직간극 입구(B)와 수평간극 출구(I)에서 발생하는 캐비티가 줄어들음을 알 수 있다. 수평가이드판의 부착으로 가동부에는 압력변화가 거의 없으나 고정부에는 핀틀 부근에서 압력증가가 나타나 캐비테이션 성능을 향상시킴을 알 수 있었다. 이러한 압력 변화는 수평가이드판의 부착으로 유동이 바뀌는 것에 기인한다. 유동 변화를 보기 위한 편리한 방법 중의 하나는 혼 타의 표면에 작용하는 skin friction line을 조사하는 것이다. Fig. 11은 핀틀 후류의 skin friction line을 나타낸다.

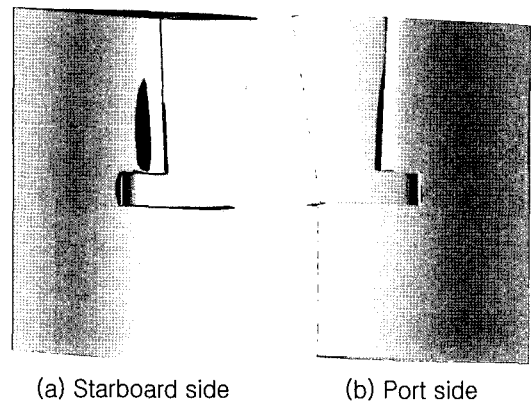
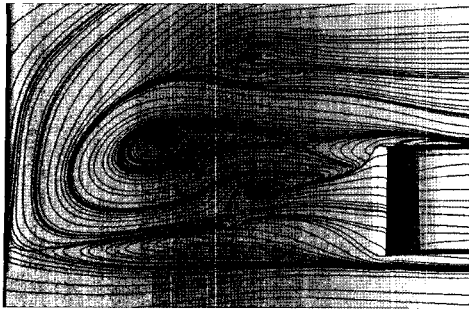
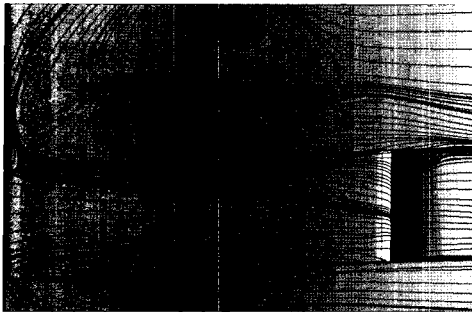


Fig. 10 Cavitation on a horn-type rudder : with a horizontal guide plate,  $\sigma=1.6$





(a) Without a horizontal guide plate



(b) With a horizontal guide plate

Fig. 11 Skin friction lines on rudder surface attached with a horizontal guide plate : starboard side

Fig. 11 에서 보는 바와 같이 수평가이드판은 프로펠러와 간극유동에 기인한 회전류를 정류하여 유동을 단순화시키는 기능이 있다. 즉, 핀들 상·하부 후류는 핀들 상·하부와 평행한 박리선이 있고 박리선 상하부에서는 특이점( $F_S$ )이 존재한다.

## 5. 결론

7,800 TEU 컨테이너선의 흔 타에서 발생하는 캐비테이션 현상에 대해 수치해석을 이용하여 조사하였다. Skin friction line 을 이용하여 3 차원 유동박리를 포함한 흔 타 주위의 복잡한 유동현상을 조사하였다. 수치해석으로 구한 캐비테이션 발생 지점과 실제 선박의 캐비테이션에 기인한 침식부위가 상당히 유사함을 보였다. 수평가이드판은 간극 주위의 유동을 정류하여 캐비테이션 성능을 향상시키는 기능을 갖는다.

본 연구는 최근 고속 대형 컨테이너선의 흔 타에서 자주 발생하고 있는 캐비테이션에 기인한 침식을 최소화하는 방안을 강구하는데 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 김정중, 백광준, 이용철, 김형태, 2006, “선박 자항 상태 점성유동 해석법에 대한 연구,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 548-557.
- 박제준, 최영복, 황윤식, 2004, “프로펠러 효과에 의한 선박 주위의 점성 유동 특성에 관한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 583-588.
- 백부근, 김경열, 안중우, 김용수, 김성표, 박제준, 2006, “Semi-spade 타의 간극 캐비테이션에 대한 실험적 연구,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 580-585.
- 부경태, 홍준범, 백광준, 2005, “CFD 를 이용한 자항 상태 시뮬레이션,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 599-604.
- 최정은, 정석호, 2005, “2 차원 날개 단면 주위의 캐비테이션 유동 특성에 대한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 119-130.
- 최정은, 정석호, 2006, “간극유동이 흔 타 성능에 미치는 영향에 대한 연구,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 513-522.
- FLUENT 6.2 User's Guide, 2005, Fluent Inc.
- GRIDGEN User Manual Version 15, 2003, Pointwise Inc.
- Choi, J.K. and Kinnas, S.A., 2001, “Prediction of Non-Axisymmetric Effective Wake by a Three-Dimensional Euler Solver,” J. of Ship Research, Vol. 45, No. 1, pp. 13-33.
- Lee, D.H. and Lee, H.G., 2004, “Prediction of Rudder Cavitation Considering Propeller and Hull Effects,” The 4<sup>th</sup> Conference for New Ship and Marine Technology.
- Maskell, E.C., 1955, Flow Separation in Three-Dimensions, RAE Report Aero. 2565.

- Stern, F., Kim, H.T. and Chen, H.C., 1988, "A Viscous-Flow Approach to the Computation of Propeller-Hull Interaction," J. of Ship Research, Vol. 32, No. 4, pp. 246-262.
- Tobak, M. and Peake, D.J., 1982, "Topology of Three-Dimensional Separated Flows," Ann. Rev. Fluid Mech., Vol. 14, pp. 61-85.
- Wang, K.C., 1972, "Separation Patterns of Boundary Layer over an Inclined Body of Revolution," AIAA Journal, Vol. 10, pp. 1044-1050.



< 최정은 >



< 정석호 >



< 김정훈 >