

2 차원 혼 타 단면의 간극유동 특성에 대한 연구

최정은¹⁾, 정석호²⁾

현대중공업(주) 선박해양연구소¹⁾

Characteristics of Gap Flow of a 2-Dimensional Horn-Type Rudder Section

Jung-Eun Choi¹⁾ and Seok-Ho Chung²⁾

Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries, Co. Ltd.¹⁾

Abstract

Recently, rudder erosion due to cavitation frequently has occurred at large high speed container carriers. Especially, in the case of a horn-type rudder, the rudder erosion is severe around a gap. The gap-flow characteristics are investigated through a computational method to understand the effects of a gap on the cavitation and rudder efficiency. A viscous flow theory utilizing a cavitation model is applied to calculate the flow around idealized 2-dimensional rudder sections in a full scale. The effects of gap clearance and flow-control projection are also investigated. From the computational results, the mass flow rate through a gap is found to be one of the important parameters to affect the cavitation and rudder efficiency.

※Keywords: CFD(계산유체역학), Horn-type rudder section(혼 타 단면), Gap flow(간극유동), Cavitation(공동), Rudder efficiency(타 효율), Gap space(간극 크기), Flow-control projection(유동 제어 돌출물), Full scale(실선규모)

1. 서론

최근 대형 컨테이너선은 고속화로 인하여 캐비테이션에 기인한 타 침식문제가 심각하게 대두되고 있다. 혼 타인 경우, 타 침식은 고정부와 가동부의 수직 및 수평 간극주위에 많이 발생한다.

혼 타는 고정부와 가동부 사이에 불연속면이 존재하고 이로 인하여 전가동타와는 다른 유동 특성이 있다. 고정부와 가동부 사이의 압력차이에 의해 발생하는 간극유동은 비행기 날개단면의 고양력장치인 slat(혹은 flap)유동과 유사한 면이 있으나 간극 크기 차이로 인하여 서로 다른 유동 특성이 있다. 따라서 캐비테이션에 기인한 침식을 최소화하는 타를 설계하기 위해서는 간극유동을 고려한 캐비테이션 성능 및 타 효율 특성을 파악하

접수일: 2006년 11월 30일, 승인일: 2007년 2월 15일

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

는 것이 필요하다.

타는 선체와 프로펠러 후류에 위치해 있으므로 타 주위 유동은 아주 복잡하다. 캐비테이션이 발생하지 않은 타 주위 유동해석 및 타 성능해석에 대한 연구는 지금까지 많은 연구가 있어 왔다 (민계식과 정경남 2000, 공도성 등 2002, 부경태 등 2003). 타 캐비테이션은 유입 경사류가 결정적인 역할을 하므로 선체와 프로펠러 후류 속도장을 정확하게 추정하는 것이 필요하다. 그러나 프로펠러 후류 속도장을 정확하게 추정하는 데에는 많은 시간과 노력이 소요된다. 따라서 선체와 프로펠러 후류 속도장과 날개 단면을 2 차원으로 이상화한 연구가 많이 수행되고 있다. 이러한 연구는 실제 상황과 많은 차이가 있을 수 있으나 캐비티의 생성, 붕괴 과정 및 거동을 잘 이해할 수 있고 설계 변수 및 계산조건과 캐비테이션 성능 관계를 잘 파악할 수 있는 장점이 있다. 간극유동은 간극모사의 어려움으로 모형시험을 이용한 연구는 간극 크기를 이상화하여 수행하고 있으며 축척효과를 고려해야 하는 어려움이 있다(송인행 등 2004, 장영훈 등 2005). 포텐셜 이론을 이용한 수치적 연구가 있으나(공도성 등 2002, Lee and Lee 2004) 간극유동은 경계층 내부 유동이므로 포텐셜 이론을 이용한 추정에는 한계가 있다. 점성이론을 이용한 수치적 연구는 비공동유동 해석 결과를 이용하여 캐비테이션 성능을 추정한 연구가 수행된 바 있다(부경태 등 2002, 황윤식과 박제준 2004).

본 연구에서는 캐비테이션 모형과 점성이론을 이용한 수치적 방법으로 증기의 volume of fraction 을 계산함으로써 캐비테이션 성능을 예측하는 기법을 사용하였다. 격자생성은 GRIDGEN (2003)을 사용하였으며 수치해석은 FLUENT V6.2 를 사용하였다. 수치해석 결과의 모형시험을 이용한 검증은 모형 혼 타 간극 모사의 어려움으로 수행하지는 않았으나 실제 선박의 타 침식 결과를 참조하고 2 차원 날개 단면인 NACA66 주위의 바공동·공동유동 해석 결과를 모형시험 결과와 비교함으로써 검증하였다(최정은과 정석호 2005). 대상 형상은 최근 대형조선소에서 건조 인도한 바 있는 7,800TEU 급 컨테이너선의 혼 타 단면으로

캐비테이션 수(σ), 레이놀즈 수(Re) 효과와 간극 유동에 영향을 미치는 타 설계 요소인 간극 크기, 유동제어돌출물(flow-control projection)이 캐비테이션 성능 및 타 효율에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 수치해석

본 계산을 위하여 적용된 좌표축은 Fig. 1 과 같다. Fig. 1 의 빗금 친 부분은 고정부를 나타낸다. 유동 방향이 양(+) x 축이고, 타 축이 지나가는 점을 원점으로 하였다.

혼 타 단면 주위의 캐비테이션 유동을 수치해석하기 위하여 다음과 같은 가정을 사용하였다. 단면 주위의 유체는 물과 증기의 혼합물이며 비압축성 난류유동의 특성을 갖는다고 가정한다. 혼합류의 지배방정식은 질량과 모멘텀 보존식인 연속방정식과 Reynolds averaged Navier-Stokes 식이다. 캐비테이션 유동 특성을 구하기 위하여 혼합류에 대한 연속방정식인 증기수송방정식을 사용하였다. 증기수송방정식의 생성과 붕괴를 나타내는 source 항은 Rayleigh-Plesset 식을 사용하였다. 캐비테이션 발생은 증기수송방정식의 volume of fraction 으로부터 추정하였다(FLUENT 2005, 최정은과 정석호 2005).

계산 영역은 유한개의 작은 격자로 나누어지며 지배방정식은 이산화 과정을 거쳐 대수방정식으로 변환된다. 공간이산화 처리는 cell-centered 유한체적법을, 시간이산화는 1 차 implicit 법을 사용하였다. 대류항과 volume fraction 은 QUICK scheme 을, 확산항은 중앙차분법을 사용하였으며, 속도-압력 연성은 SIMPLEC algorithm 을 적용하였다.

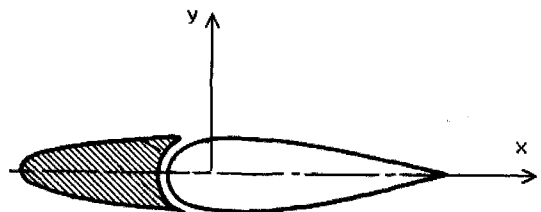


Fig. 1 Coordinate system

3. 대상 타, 계산조건 및 격자생성

대상 타는 최근 캐비테이션에 기인한 타 침식이 문제가 되고있는 7,800TEU 급 컨테이너선의 혼타 단면으로 chord length 는 8.3m 이고 간극 크기는 50mm 이다. 선택한 혼타 단면 Fig. 2 에서 나타난 바와 같이 3 가지 단면(Section A/B/C)이다.

여기서 Section A 는 상부 수직간극을 구성하는 단면 형상이고 Section B 는 pintle 부분을 구성하는 단면 형상이고 Section C 는 전가동타 단면 형상이다. 가동부 형상은 NACA64₄ 이며 고정부와 가동부가 이루는 타 각도(δ_R)는 5° 이다. 각 단면 형상은 Fig. 3 에 잘 나타나 있다. 간극 크기가 캐비테이션 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기존 간극 크기인 50mm 와 간극 크기를 2 배로 확장한 100mm 인 경우에 대해서도 조사하였다. 유동제어돌출물의 영향을 분석하기 위하여 기존의 위치(간극 중앙부 1 개) 외에 유동제어돌출물이 없는 경우, 유동제어돌출물이 간극 상하로 대칭인 부위에 1 개씩 위치한 경우, 그리고 간극 중앙면을 강제로 막은 경우에 대해 조사하였다.

캐비테이션 유동에 영향을 미치는 변수는 단면 형상, 받음각(α), 캐비테이션 수 [$\sigma = (p_{exit} + p_{oper} - p_v) / (1/2 \rho_l V_0^2)$] 그리고 Reynolds 수 ($R_N = V_0 c / \nu$) 이다. 여기서 V_0 는 reference velocity(유입속도), p_{exit} 는 출구면 압력으로 정압력이다. p_{oper} 은 operating 압력으로 본 계산에서는 대기압과 동일한 값(=101,325pa)이다.

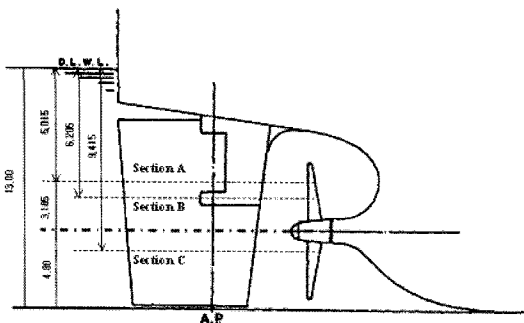


Fig. 2 2-Dimensional horn-type rudder section

일반적으로 타 유입각이 큰 경우($\pm 15^\circ$), 캐비테이션 발생은 피할 수 없는 상황이 된다. 그러나 이러한 경우는 선박이 선회하는 경우로 비교적 짧은 시간에 발생하며 대부분 선박은 직진항해상태에 있다. 선박 운항사의 경험에 의하면 비교적 거친 해상상태에서 선박이 직진항해하기 위하여 필요한 타각은 $\pm 4^\circ$ 이내이다. 최근 이러한 비교적 작은 타각에서도 캐비테이션에 기인한 타 침식사례가 발생하고 있어 이에 대한 관심이 증가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 선박의 거친 항해상태에서의 직진항해 상태를 고려하여 타 유입각을 4° 로 하였다. 캐비테이션 유동해석은 σ 를 변화시키면서 수행하였다. σ 변화는 압력항은 일정하게 두고 혼타에 유입되는 속도의 크기를 변화시키면서 조절하였다. 그리고 간극 모사와 축척효과를 피하기 위하여 실선 scale 에서 계산을 수행하였다. 계산에 적용된 조건들은 Table 1 에 정리하였다.

계산 영역은 $-2.9 < x/c < 5.6$, $-3.0 < y/c < 3.0$ 이며 사용된 격자 수는 45,012 개이다. 날개 면으로부터 첫번째 격자간격은 약 $y^+ \approx 45$ 이다

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

4. 결과 및 토의

간극 유동이 혼타의 캐비테이션 성능과 타 효율에 미치는 영향을 다음과 같은 순서로 조사하였다.

- 비공동유동 조건에서의 간극 유동 특성
- 공동유동 조건에서의 유동 특성
- 간극유동이 타 효율에 미치는 영향
- 간극유동이 캐비테이션 성능에 미치는 영향

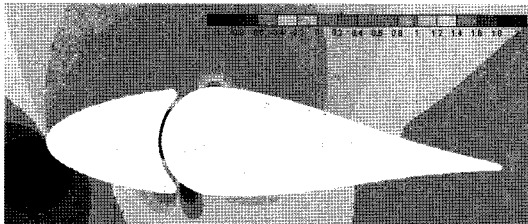
Table 1 Calculation conditions

V_0 (m/s)	9.47	15.68	18.29
σ	Non-cav. 3.603	1.315	0.966
R_N	5.04×10^7	8.33×10^7	9.72×10^7

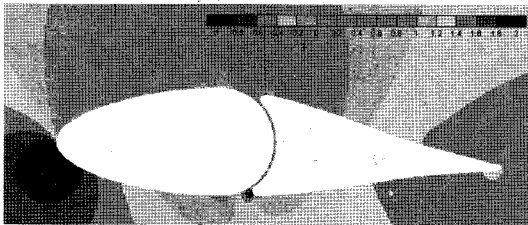
비공동유동 조건에서의 간극 유동 특성

Fig. 3 은 2 차원 혼타 단면 주위의 등압력계수 $[c_p = (p - p_{exit}) / (1/2 \rho_t V_0^2)]$ 분포를 나타낸다.

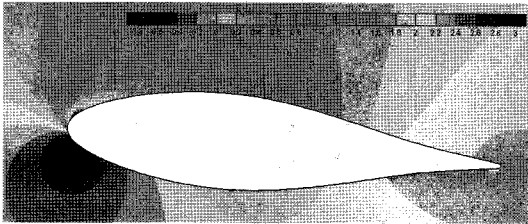
Section A: Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이, Section A 에서는 2 곳의 정체압력과 3 곳의 국부 최소압력골이 있다. 즉 주 유동이 고정부와 가동부에서 만나는 2 지점에서 높은 값의 정체점이 존재하고 고정부의 간극 입구부위에서 고정부 국부 최소압력골, 간극 내부 중앙 지정 부근에서 간극 국부최소압력골(Fig. 4 참조), 그리고 간극 출구 부근에서 가동부 국부최소압력골이 존재한다. 고정부 국부최소압력골은 고정부 형상효과(혹은 곡률효과)에 기인한 유속 증가로 인하여 생성되나 가동부의 정체압력 영향으로 크기의 제약을 받는다



(a) Section A



(b) Section B



(c) Section C

Fig. 3 Contour of constant pressure coefficient around horn-type rudder sections in non-cavitating flow condition : gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha=40^\circ$, $R_N=5.04 \times 10^7$

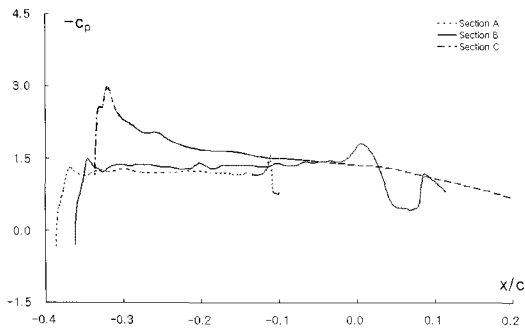
간극 국부최소압력골은 간극 형상(간극크기, 유동 제어돌출물 등)과 고정부 및 가동부의 간극 형상의 영향을 받는다. 가동부 국부최소압력골은 간극을 통과하는 유동이 주 유동과 만나 유속이 증가하고 가동부 형상효과에 기인하여 유속이 더욱 증가하므로 크기가 증가하는 특성이 있다. 그리고 고정부 끝단의 bluff 한 형상효과로 인하여 역류가 있는 반류영역(wake region)이 존재하나 크기는 미약하다(Fig. 5 참조).

Section B: Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 Section A 주위 유동 특성과 유사하나 간극 국부 최소압력골이 나타나지 않는다는 것이 다르다(Fig. 4(b) 참조).

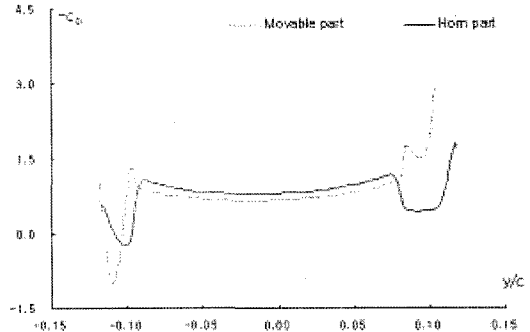
Section C: Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이 국부 최소압력골은 정체압력 영역을 벗어나서 단면곡률이 큰 지점에서 나타난다.

Fig. 4 는 고정부와 가동부 흡입면과 간극 내부의 표면 압력계수 분포를 나타낸다.

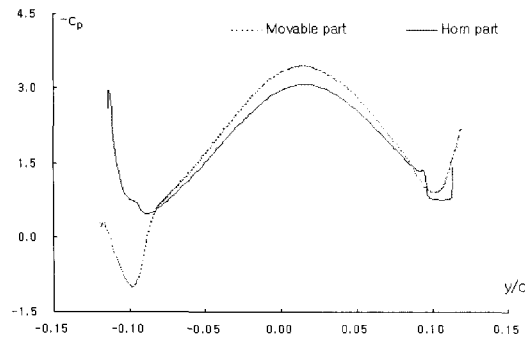
Section A: Fig. 4(a) 에서 보는 바와 같이 고정부의 정체압력 영역을 벗어나면 형상효과로 인하여 압력은 급격히 감소되며 고정부 흡입면의 넓은 범위에서 일정한 음(-)의 값을 갖는다. 그리고 고정부 끝단에서는 반류효과로 약한 유동박리가 발생하고 있다(Fig. 5(b) 참조). 간극유동의 특성은 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 고정부 형상효과와 가동부 정체압력의 영향으로 간극 입구주위에서는 고정부와 가동부 사이에 큰 압력차이가 나타난다. 그러나 이러한 압력차이는 곧 회복되어 간극 내부에서는 고정부와 가동부의 압력이 유사하게 된다. 간극 내부 전반부는 압력이 입구면에서부터 계속 감소하여 간극의 중앙 부근에서 국부최소압력값을 갖는 순압력구배(favorable pressure gradient)영역이다. 간극 내부 후반부는 중앙부근에서 발생한 국부최소압력값이 출구면까지 계속 증가(회복)하는 역압력구배(inverse pressure gradient) 영역이 된다. 여기서 흥미로운 사실은 국부압력최소골의 위치가 유동 방향으로 보면 간극 중앙부보다 약간 뒤쪽에 위치하고 있다는 것과 가동부 간극 표면압력이 고정부 간극 표면압력보다 낮다는 것이다.



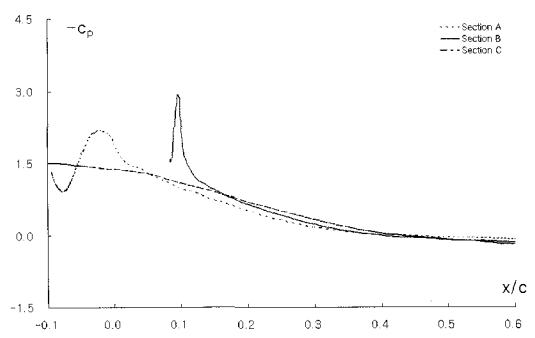
(a) Suction side of horn part



(c) Gap surface: Section B



(b) Gap surface: Section A



(d) Suction side of movable part

Fig. 4 Distribution of surface pressure coefficient of 2-dimensional horn-type rudder sections in non-cavitating flow condition : gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha=4^\circ$, $Re=5.04 \times 10^7$

간극에서 배출되는 유량과 합쳐지고 가동부의 형상 영향으로 유속이 더욱 빨라져 Fig. 4(d)에서 보는 바와 같이 가동부 최대 날개 두께면에서 국부최소압력골이 나타난다.

Section B: Fig. 4(a) 에서 보는 바와 같이 Section A 인 경우와의 차이점은 고정부 끝단과 간극 출구면에서 작은 양의 국부최소 압력골이 나타나나 압력은 곧 회복되어 반류영역과 합쳐진다는 것이다. 그리고 간극유동은 간극 국부압력최소골이 나타나지 않으며 고정부 간극 표면압력이 가동부 간극 표면압력보다 낮다. 여기서 흥미로운 사실은 가동부 형상효과로 인하여 가동부 국부압력최소골의 크기는 증가하나 영역은 Section A 와 비교하여 상대적으로 작음을 알 수 있다.

Section C: Fig. 4(a)와 (d)는 간극 유동이 없을 경우의 압력분포 특성을 잘 나타내고 있다. Fig. 4(a) 에서 보는 바와 같이 앞날 부근에서 매우 큰

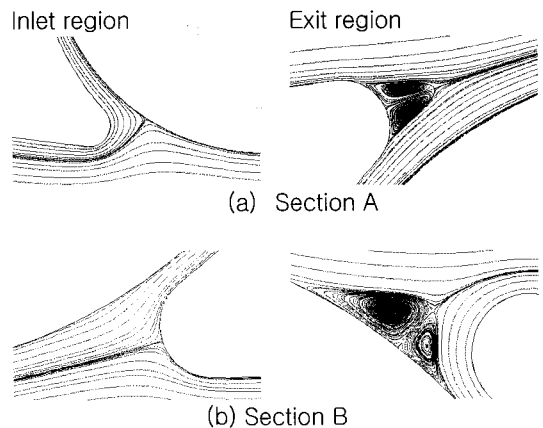


Fig. 5 Streamlines around a gap : gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha=4^\circ$, $Re=5.04 \times 10^7$

음의 값을 갖는 국부압력최소골이 나타나고 있으며, 그 이후 압력이 점차 회복됨을 알 수 있다.

Fig. 5는 Section A/B 간극의 입구와 출구 영역에서의 유선을 나타낸다. 간극 입구의 가동부에 정체점이 있고 출구면의 고정부에는 간극유동과 주유동이 합쳐지면서 보오텍스 shedding 이 나타난다.

공동유동 조건에서의 간극 유동 특성

혼 타 캐비테이션에 영향을 미치는 요소로는 고정부, 가동부, 간극 형상, 받음각, σ 와 R_N 등이 있다. 본 장에서는 형상과 받음각을 일정하게 두고 σ 변화에 대한 캐비테이션 특성을 설명하고자 한다.

Fig. 6은 $\sigma(=3.603, 1.315, 0.966)$ 변화에 따른 혼타 단면 주위의 vapor volume fraction 분포 곡선을 나타낸다. 여기서 캐비티는 10%의 vapor volume fraction 에서 발생한다고 가정한다. 그림에서 보는 바와 같이, $\sigma=3.603$ 인 경우는 간극 내부의 역압력구배 영역에서만 캐비티가 발생하고, $\sigma=1.315$ 인 경우는 간극 내부 역압력구배 영역, 고정부 입구면 및 가동부 출구면에서 캐비티가 발생한다. 이와 같은 캐비티 발생은 Fig. 3-4 에서 설명한 비공동유동 조건에서의 국부최소압력골과 밀접한 관련이 있다. $\sigma=0.966$ 인 경우는 간극내부의 역압력구배 영역, 고정부의 간극 입구면, 그리고 흡입면 전반에 걸쳐 캐비티가 발생한다. 고정부 간극 입구면에서 생성된 캐비티는 가동부 정체압력의 영향으로 σ 가 감소(혹은 R_N 이 증가)하더라도 크게 확장되지는 않으나 가동부 간극 출구면에서 생성된 캐비티는 σ 가 감소함에 따라 캐비티가 더욱 확장됨을 알 수 있다. 캐비티 특성중의

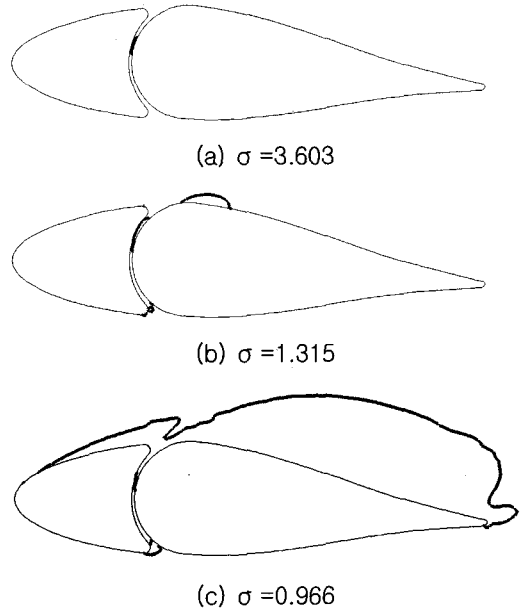
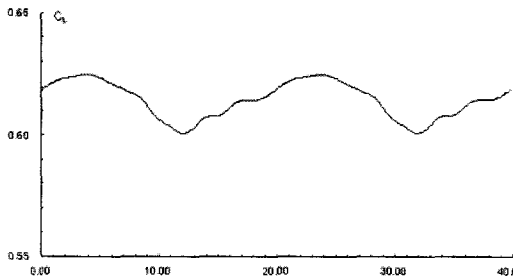


Fig. 6 Cavitation on two-dimensional horn-type rudder Section A at various cavitation numbers : gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha=40$

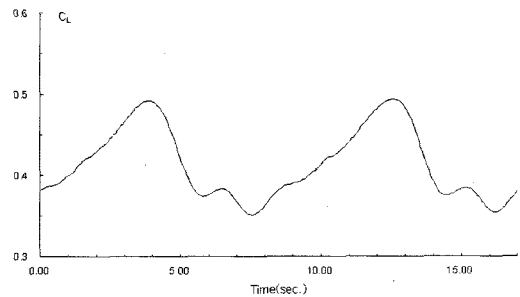
하나의 발생된 캐비티는 이동 및 확산을 하지않고 진동하고 있다는 것이다. 따라서 압력계수, 간극유량(\dot{m} , 간극을 통과하는 질량유량), 양력계수, 항력계수, 모멘트 계수 등은 진동하고 있다.

Fig. 7은 $\sigma(=3.603, 1.315)$ 조건에서, 양력계수의 시간에 대한 변화를 보여주고 있다.

Table 2는 간극유량, 양력계수, 항력계수, 양항



(a) $\sigma=3.603$



(b) $\sigma=1.315$

Fig. 7 Lift coefficient at various cavitation numbers as a function of time of a 2-dimensional horn-type rudder section A in cavitating flow condition : gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha=40$

Table 2 Mean values of mass flow rate through the gap, lift coefficient, drag coefficient, lift to drag ratio, moment coefficient, and period of a 2-dimensional horn-type rudder section A in non-cavitating and cavitating flow conditions

σ	\dot{m} (kg/s)	C_L	C_D	C_L/C_D	C_M	T(sec)
Non-cavitating	954.2	0.691	0.026	26.151	-0.061	
3.603	888.7 (10.7)*	0.614 (0.007)	0.031 (0.000)	19.538	-0.058 (0.000)	19.9
1.315	837.6 (88.5)	0.414 (0.044)	0.060 (0.015)	6.859	-0.038 (0.015)	8.7
0.966	729.3	0.740	0.197	3.753	0.072	

* (): Standard deviation

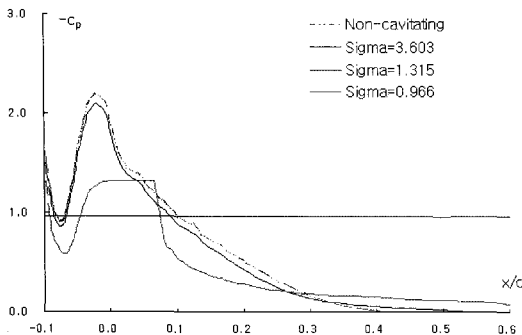


Fig. 8 Distribution of pressure coefficient on the movable part suction side of 2-dimensional horn-type rudder Section A in non-cavitating and cavitating flow conditions: gap space=50mm, no flow-control projection, $\alpha = 40^\circ$

력비 그리고 모멘트계수의 평균값과 standard deviation, 그리고 주기(T)를 나타낸다. Table 2 에서 보는 바와 같이 부분 캐비테이션이 발생할 경우($\sigma=3.603, 1.315$), σ 가 감소할수록 캐비테이션 발생이 증가하여 간극유량이 감소한다. 양력계수는 캐비테이션 수가 감소할수록 적어지며 양항력 비도 줄어든다. $\sigma=0.966$ 과 같이 혼다 흡입면 전반에 걸쳐 캐비테이션이 발생할 경우, Fig. 8에서 보는 바와 같이 가동부의 흡입면 전반의 압력계수는 높은 음의 값으로 일정하게 되어 양력계수는 증가하나 항력계수도 함께 증가하여 양항력비는 더욱 줄어들게 된다.

Fig. 8 은 캐비테이션이 발생했을 때의 가동부

흡입면의 표면압력계수 분포를 나타낸다. Fig. 8 에서 보는 바와 같이 $\sigma=3.603$ 인 경우는 캐비테이션이 가동부에서 발생하고 있지 않으므로 비공동유동 계산 결과와 유사하다. $\sigma=1.315$ 인 경우는 캐비테이션 발생영역에서는 압력이 일정하고 붕괴 영역에서 압력이 급격히 회복된다. $\sigma=0.966$ 인 경우는 캐비테이션이 흡입면 전반에 걸쳐 발생되므로 압력계수는 거의 일정함을 알 수 있다.

간극유동이 타 효율에 미치는 영향

간극유동에 영향을 미치는 요소로는 간극크기, 유동제어돌출물 유무 및 위치, 그리고 고정부와 가동부의 입구와 출구 형상 등이 있다. 본 장에서는 이러한 요소들이 타 효율에 미치는 영향에 대해 설명하고자 한다.

Table 3 은 비공동유동조건에서, 여러 가지 간극 형상조건에 대하여 간극유량, 양력계수, 항력계수, 양항력비, 그리고 모멘트계수를 나타낸다. 여기서 간극이 50mm 의 유동제어돌출물이 있는 경우는 약한 진동현상이 있으므로 평균값을 취하였다. Table 3 에서 보는 바와 같이 간극유량이 클수록 양력계수가 증가하여 양항력비가 좋아지는 특성이 있다. 간극유량은 간극 크기와 비례한다. 유동제어돌출물의 효과는 간극이 좁을수록 그리고 중앙부에 위치할수록 유동제어 효과가 커짐을 알 수 있다. 간극이 넓은 경우(100mm)는 유동제어돌출물 효과가 거의 없음을 알 수 있다.

간극 중앙 부위가 막힌 경우는 간극유동과 다른 특성을 보이고 있다. 즉 양력계수, 항력계수, 양항

Table 3 Mass flow rate through the gap, lift coefficient, drag coefficient, lift to drag ratio, and moment coefficient at various gap shapes in non-cavitating flow condition

Section	Gap space (mm)	Flow-control projection	\dot{m} (kg/s)	C_L	C_D	C_L/C_D	C_M
A	50	None	954.2	0.691	0.026	26.151	-0.061
		1	433.8 (0.01)*	0.276 (0.0014)	0.059 (0.0002)	4.696	-0.028 (0.0004)
		2	451.6 (0.01)	0.455 (0.0014)	0.046 (0.0002)	9.955	-0.047 (0.0004)
		Protected gap centerplane	0.0	0.978	0.019	52.188	-0.085
	100	None	1565.6	0.856	0.021	39.856	-0.052
		1	1423.5 (0.00)	0.754 (0.0001)	0.026 (0.0001)	28.958	-0.054 (0.0000)
B	50	None	563.8	0.715	0.022	63.288	-0.065
		1	399.9	0.663	0.038	17.612	-0.062

* (): Standard deviation

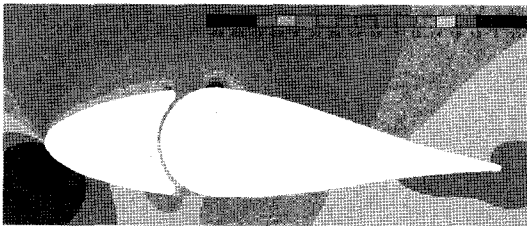


Fig. 9 Contour of constant pressure coefficient around a 2-dimensional horn-type rudder Section A for a protected gap in non-cavitating flow condition: gap space=50mm, $\alpha=4^\circ$, $Re=5.04 \times 10^7$

력비, 그리고 모멘트 계수가 다른 경우와 비교하여 매우 높은 값을 보이고 있다. 이는 간극 유동이 없는 경우는 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 간극 유동이 있는 경우와는 매우 다른 유동 특성을 보여주기 때문이다.

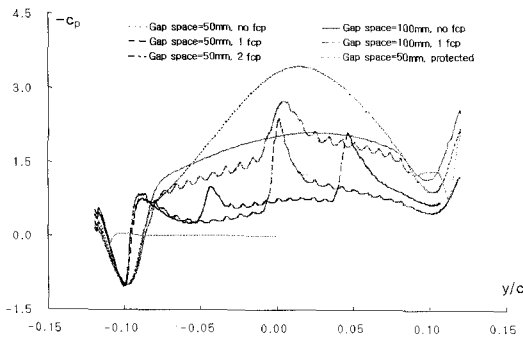
Fig. 9 에서 보는 바와 같이 간극 중앙부가 막혀 있을 경우, 간극 내부 유동은 주 유동과는 완전히 분리된다. 그리고 가동부 정체압력은 나타나지 않으며 고정부와 가동부의 흡입면 압력분포도 Fig. 3(a)의 간극유동과는 다른 특성을 보여주고 있다.

간극 유동이 캐비테이션 성능에 미치는 영향
간극유량이 타 캐비테이션 성능에 미치는 영향을

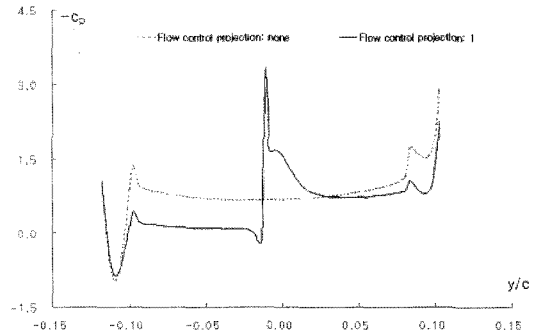
파악하기 위하여 각각의 경우에 대해 캐비테이션 유동을 해석하여야 하나 많은 시간과 노력이 소요되므로 타 캐비테이션 성능은 비공동유동에서의 국부최소압력골의 세기와 분포를 추정함으로써 해석하고자 한다. Fig. 3(a)-4 에서 설명한 바와 같이 Section A 인 경우, 혼타 단면 주위에는 3 곳의 국부최소압력골이 존재하고 있다는 것을 알았다. 그중에서 고정부 국부최소압력골은 가동부 정체압력의 영향으로 세기와 크기가 제한되므로 본 연구에서 설명을 제외하고 간극내부와 가동부 국부최소압력골에 대해 설명하고자 한다.

Fig. 10 은 여러 가지 간극 형상에 대한 간극 내부와 가동부의 표면압력계수 분포를 나타낸다.

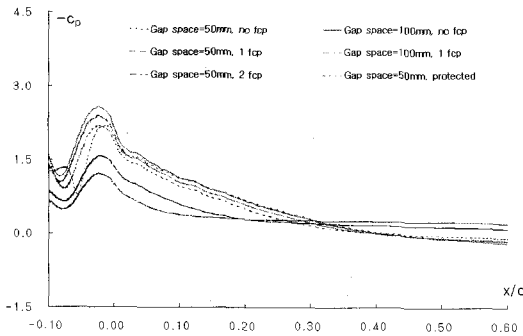
Section A: Fig. 10(a)에서 보는 바와 같이 간극 국부최소압력골의 세기는 (간극 중앙부위 막음)인 경우가 가장 적으며 (간극 크기=50mm, 0 유동제어돌출물)인 경우가 가장 크다. 국부최소압력골의 세기는 캐비테이션 발생과 밀접한 관계가 있으므로 간극 캐비테이션 성능면에서는 우월한 순서를 나열하면 (간극중앙부위 막음) > (간극크기=50mm, 2 유동제어돌출물) > (간극크기=50mm, 1 유동제어돌출물) > (간극크기=100mm, 0 유동제어돌출물) > (간극크기=100mm, 1 유동제어돌출물) > (간극크기=50mm, 0 유동제어돌출물)이다. Fig. 10(b)



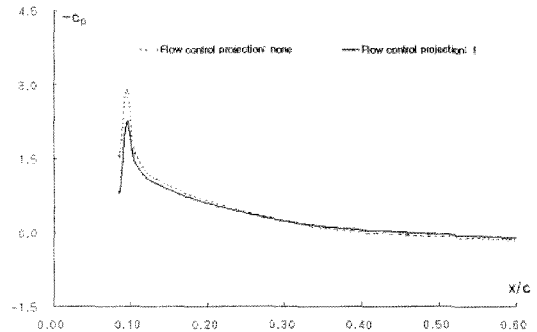
(a) Section A: gap



(c) Section B: gap



(b) Section A: suction side of movable part



(d) Section B: suction side of movable part

Fig. 10 Distribution of pressure coefficient on the surface of movable part at various gap shapes in non-cavitating flow condition: $\alpha=4^\circ$, $Re=5.04 \times 10^7$

에서 보는 바와 같이 가동부 캐비테이션 성능면에서는 우월한 순서를 나열하면 (간극크기=50mm, 1 유동제어돌출물) > (간극크기=50mm, 2 유동제어돌출물) > (간극중앙부위 막음) > (간극크기=50mm, 0 유동제어돌출물) > (간극크기=100mm, 1 유동제어돌출물) > (간극크기=50mm, 0 유동제어돌출물)이다. 이러한 순서는 (간극중앙부위 막음)인 경우를 제외하면 간극을 통과하는 유량질량의 순서와 반대이다. 따라서 타 캐비테이션 성능면에서는 간극을 통과하는 유량질량의 크기를 적게 하는 것이 유리하다.

Section B: 유동제어 돌출물은 간극 중앙부위에서는 불리한 면이 있으나 간극 입구, 출구 영역 및 가동부 캐비테이션 성능면에서는 긍정적인 효과가 있는 것으로 추정된다.

5. 결론

흔 타의 고정부와 가동부의 불연속면에서 발생하는 간극유동은 타 효율과 타 캐비테이션 성능에 많은 영향을 미친다. 간극유동에 기인한 유동 특성은 간극유량으로 설명할 수 있다. 비공동유동 조건에서는 간극유량이 증가할수록 흡입면 주위의 유속증가와 압력감소로 인하여 양력계수가 커짐으로 타 효율을 증가시키나 캐비테이션 성능을 저하시키는 특성이 있다. 따라서 캐비테이션 성능을 고려한 타를 설계하기 위해서는 간극유량을 적게 하는 것이 효과적이다. 간극유량을 적게 하는 방안으로는 간극크기를 줄이거나 유동제어돌출물을 간극 중앙부에 두는 것이 효과적이다. 공동유동 조건에서는 캐비테이션 수가 감소할수록 캐비테이션 발생의 증가와 간극유량의 감소 및 양력계수와 양향력비가 감소한다.

그러나 이와 같은 비공동, 공동유동 조건에 대한 간극유동 특성은 2 차원 흔 타 단면에 대한 수

치적 결과이므로 실험을 통한 검증과 3 차원 혼 타일 경우에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 공도성, 한재문, 유재문, 2002, “ 선미 후류에서 작동하는 혼타의 압력분포에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 39 권, 제 2 호, pp. 1-10.
- 민계식, 정경남, 2000, “ 선박의 최적 방향타 설계를 위한 실험적 연구,” 대한조선학회 논문집 제 37 권, 제 2 호 pp. 88-99.
- 부경태, 백광준, 한재문, 송인행, 2003, “ FLUENT 코드를 이용한 타 단면의 점성유동 해석,” 대한조선학회 논문집, 제 40 권, 제 4 호, pp. 30-36.
- 송인행, 백광준, 안성욱, 오정근, 서정천, 2004, “ Gap 이 있는 이차원 타 형상 변화에 대한 캐비테이션 특성 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 51-56.
- 장영훈, 최영복, 이상현, 박재상, 김성표, 박제준, 2005, “ 타 캐비테이션 성능 개선을 위한 타 형상 최적화에 관한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 346-351.
- 최정은, 정석호, 2005, “ 2 차원 날개 단면 주위의 캐비테이션 유동 특성에 대한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 119-130.
- 황윤식, 박제준, 2004, “ 러더 단면 및 간극 형상에 따른 2 차원 점성유동 수치해석,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 1070-1075.
- “ FLUENT 6.2 User's Guide ”, 2005, Fluent Inc.
- “ GRIDGEN User Manual Version 15 ”, 2003, Pointwise Inc.
- Lee, D.H. and Lee H.G., 2004, "Prediction of Rudder Cavitation Considering Propeller and Hull Effects," The 4th Conference for New Ship and Marine Technology.



< 최 정 은 >



< 정 석 호 >