

캐비테이션 감소를 위한 혼타의 형상 연구

박경령*, 이영길†**

인하대학교 대학원 조선해양공학과*
인하대학교 기계공학부 조선해양공학전공**

A Study on the Rudder Shapes for the Suppression of Cavitation around a Horn-type Rudder

Kyung-Ryeong Pak*, Young-Gill Lee†**

Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University*
Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University**

Abstract

This paper studies on the rudder shapes for the suppression of the cavitation around a horn-type rudder. To improve the problems due to cavitation, there have been several studies. However, these some studies are recognized as incomplete ways to suppress the rudder cavitation. In this study, the section shapes to suppress the cavitation phenomena are determined by moving the location of maximum thickness for reducing the curvature variation and changing the radius of leading edge. Also, in the pintle part, the curvature radius of the inlet-outlet edge of rudder plate is changed. During the design of rudder shape, two-dimensional numerical simulations are firstly performed because those offer some advantages with that cavitation phenomena becomes predictable for a short time, and then the three-dimensional numerical simulations are performed to confirm the determination. The time mean distribution of the propeller slipstream is imposed on the inlet boundary condition. As some results, this paper shows the effects reducing the range of the occurrence of cavitation, and suggests the references on the design of a horn-type rudder for the suppression of cavitation phenomena.

※Keywords: Suppression of cavitation phenomena(캐비테이션 현상의 억제), Horn-type rudder (혼타), CFD(전산유체역학), Interaction(상호작용)

접수일: 2010년 3월 3일, 승인일: 2010년 8월 13일

† 교신저자: younglee@inha.ac.kr, 032-860-7340

1. 서론

선박의 대형화 및 고속화 추세로 인해 타와 프

로펠러에 부과되는 유체 하중은 계속적으로 증가하고 있다. 이로 인해 발생하는 캐비테이션은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 침식을 발생시키며, 이로 인해 발생하는 손상으로 타는 정기적인 교체 및 수리가 요구된다. 또한 캐비테이션은 선체 진동 및 방사 소음 등을 증가 시킬 수 있어 유체역학적, 구조적으로 선박에 좋지 않은 영향을 미친다(백부근 등 2006). 따라서 타에 발생하는 캐비테이션을 억제시키기 위한 새로운 타 설계법에 대한 연구는 현시점에서 매우 중요하다고 할 수 있다.



Fig. 1 Typical profile of the rudder erosion

이와 관련된 선행연구들 중 김연규 등(2004)은 혼타를 대체하기 위해 틸새유동에 의한 캐비테이션의 위험성이 적은 전 가동타의 조종성능 특성을 연구하기도 하였다. 하지만 선주의 선호도등 여러 가지 요인에 의해 혼타를 선정해야 하는 경우가 아직은 지배적이며, 이로 인해 캐비테이션에 의한 혼타의 침식 억제 기술이 필요한 상황이다(김성표 등 2006).

본 논문에서는, 기존 연구들을 바탕으로 혼타에서 발생하는 캐비테이션 현상을 억제하기 위한 타 형상을 연구하였다. 캐비테이션 현상을 억제하기 위한 단면 형상은 구조적으로 안정된 NACA00xx 계열의 괴팅겐 형태를 유지하면서 가동부 타판의 곡률 변화를 줄이기 위해 최대두께의 위치와 앞날의 곡률 반경 크기를 변화시킬 수 있는 수정된 네자리(modified four-digit) 수식기법을 이용하였으며, 핀틀부는 틸새 입·출구 edge의 곡률 반경을 변화시켰다.

3차원 수치계산을 통하여 프로펠러에 의해 발생하는 후류의 시간적 변화에 따른 비정상 해석을 수행하는 것은 많은 시간과 노력이 요구된다. 그러므로 캐비테이션 현상을 파악함에 있어서 많은 선행연구들에서는 3차원 수치계산에 비해 계산시

간이 적게 요구되는 2차원 수치계산이 수행되어 왔다(최정은과 정성호 2007). 즉, 캐비테이션 현상이 예상되는 포화수증기압보다 작은 절대압력이 분포하는 위치와 면적에 있어서 2차원 수치계산 결과와 3차원 수치계산 결과를 비교 시 차이가 크게 나타나지 않고 있다. 단면 형상변화에 따른 타의 캐비테이션 성능을 알아보기 위해 많은 경우의 수에 대하여 수치계산을 수행하여야 하는 본 논문에서도 2차원 수치계산의 이점을 살려 1차적으로 단면형상 변화에 대한 2차원 수치계산을 수행하였다. 그 후 2차원 수치계산을 통해 선정된 타 단면을 적용하여 3차원 타 형상을 완성하였으며, 이에 대한 3차원 캐비테이션 수치계산을 수행하였다. 타는 프로펠러 후류에 위치하므로 타 단독상태와는 다른 유체역학적 거동을 보인다. 이를 고려하여 캐비테이션 현상에 대한 수치계산을 수행함에 있어서 입구면 경계조건으로 시간에 대하여 평균을 취한 프로펠러 후류를 적용하였으며, 점성효과로 인해 모형크기에서는 잘 나타나지 않는 틸새 유동에 의한 캐비테이션 현상도 파악하기 위해 실선크기에서 수치계산을 수행하였다.

2. 타 형상 변화 개념

캐비테이션 감소를 위한 타 형상 변화의 흐름도는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 2차원 수치계산을 이용하여 단면 형상 연구를 수행하며, 그 후 선정된 단면 형상을 바탕으로 형상 변화된 3차원 타에 대하여 수치계산을 수행한다. 캐비테이션 수치계산을 수행함에 있어서는 2차원, 3차원 수치계산 모두 입구면 경계조건으로 시간에 대해 평균화한 프로펠러 후류를 적용한다.

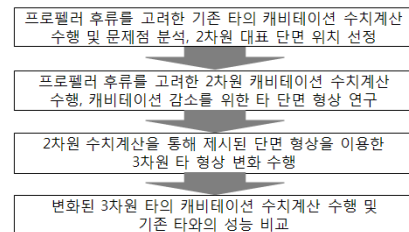


Fig. 2 Flow chart

많은 선행연구들은 틈새유동 차단 방법으로 틈새에 차단 봉(bar)의 설치를 연구하였다. 하지만 차단 봉을 설치 시 틈새 내부에 발생하는 캐비테이션에 의한 침식으로 봉의 지속적인 교체가 요구된다(Boo, K.T. et al. 2004). 본 연구에서는 이런 문제점을 고려하여 차단 봉의 설치를 배제하였으며, 타 단면 형상 변화만을 고려하였다.

타 단면 형상을 변화함에 있어서는 최대두께의 위치와 앞날 원 반경의 크기를 변경하여 타판의 곡률을 변화시킬 수 있는 수정된 네자리 수식기법을 적용하였으며, 이들은 식 (1), (2)와 같다.

$$\frac{y_t}{c} = 5\left(\frac{t}{c}\right)\left[a_0\left(\frac{x}{c}\right)^{1/2} + a_1\left(\frac{x}{c}\right) + a_2\left(\frac{x}{c}\right)^2 + a_3\left(\frac{x}{c}\right)^3\right] \quad (1)$$

: from leading edge to maximum thickness

$$\frac{y_t}{c} = 5\left(\frac{t}{c}\right)\left[0.002 + d_1\left(1 - \frac{x}{c}\right) + d_2\left(1 - \frac{x}{c}\right)^2 + d_3\left(1 - \frac{x}{c}\right)^3\right] \quad (2)$$

: from maximum thickness to trailing edge

3. 대상 모형과 계산 조건

본 연구에서는 일반적으로 캐비테이션에 기인한 타 침식사례가 보고되고 있는 대형 컨테이너선 중, 실적선 자료가 있는 8000TEU급 컨테이너선의 혼타를 기준 모형으로 선정하였으며, 이에 대한 주요 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal dimensions of matrix

Propeller	
Advance ratio	0.731
Diameter	8.8 m
Number of blades	6
Rudder	
Section type	NACA0020
Chord	8.5 m (root) 7.35 m (tip)
Span	11.45 m

프로펠러는 선미에서 선수를 바라볼 경우 시계 방향으로 회전하며, 타각은 가동부의 뒷날이 타의 중심선에서 우현방향으로 6도 떨어진 경우를 선정하였다. 이는 선박의 통상적인 운항 상태에서 요구

되는 최대각도이며(김문찬 등 2008), 타 하단 전연부와 틈새 주변의 캐비테이션 현상을 모두 파악할 수 있는 각도가 될 수 있다.

수치시뮬레이션은 상용 프로그램인 Fluent 6.3을 사용하였다. 난류모델은 Realizable k-ε, 대류항과 volume fraction은 QUICK scheme, 속도-압력 연성계산은 SIMPLEC algorithm을 적용하였으며, 프로펠러 회전은 SMM(Sliding Mesh Model) 기법을 이용하였다. 캐비테이션 발생 조건은 일반적으로 절대 압력이 포화 수증기압 이하로 내려가면 캐비테이션이 발생한다고 정의하였다.

Fig. 3은 생성된 3차원 격자계로서 격자수는 타 단독의 경우 200만개, 프로펠러-타의 경우 250만개를 사용하였다.

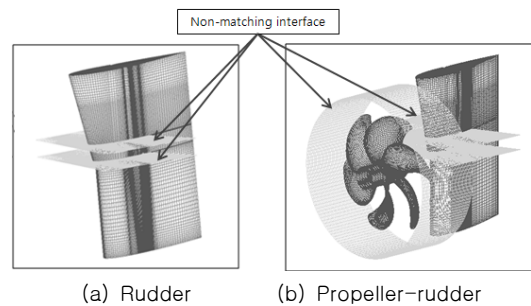


Fig. 3 Three-dimensional grid systems of rudder and propeller-rudder

Fig. 4는 2차원의 대표 단면 위치로서, 이는 3차원 수치시뮬레이션 결과를 바탕으로 캐비테이션 발생 가능성이 가장 큰 위치로 선정하였다. Fig. 5는 각 단면에서의 2차원 격자계로서 격자수는 약 3만개이다.

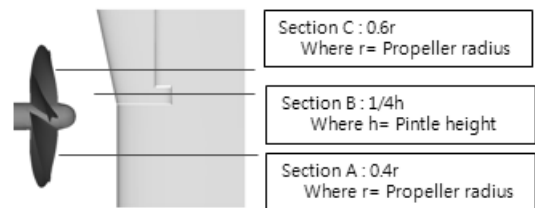


Fig. 4 Vertical position of two-dimensional rudder sections

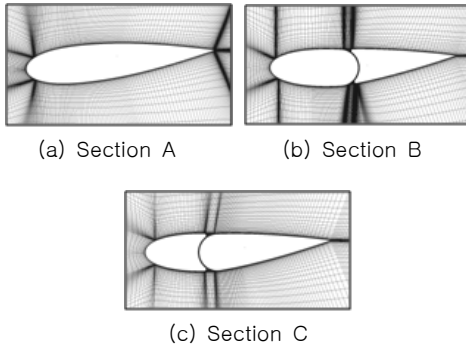


Fig. 5 Two-dimensional grid systems

4. 계산 결과

4.1 캐비테이션 현상

4.1.1 프로펠러 후류에서의 수치계산

프로펠러-타에 대한 3차원 캐비테이션 수치계산을 수행 시 후류의 시간적 변화에 따른 비정상 해석 등을 수행하여야 하므로, 타 단독 상태의 수치계산보다 많은 시간과 노력이 요구된다. 이를 고려하여 타에 발생하는 캐비테이션 현상을 분석함에 있어서는 프로펠러 후류를 고려하고 계산 시간을 단축시키기 위해 입구면 경계 조건으로 전진비를 고려한, 프로펠러, 타가 동시에 있는 경우의 Blade 하나가 60도 회전 한 수치해석 결과에 대한, 프로펠러 후류를 시간에 대하여 평균한 속도를 적용하여 캐비테이션 수치계산을 수행하였다 (Case A). 그리고 이를 실제적인 경우의 w/ propeller와 비교하였다.

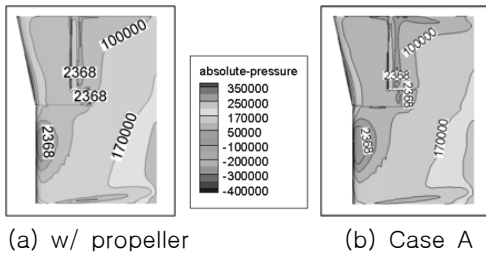


Fig. 6 Comparison of absolute pressure distributions on the suction side

Fig. 6은 w/ propeller와 Case A의 절대압력 분포를 비교한 것이다. 절대압력 분포에 있어서

국부적인 차이는 나타나고 있으나 캐비테이션 발생 가능 영역은 전체적으로 유사한 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이를 통해 캐비테이션 성능 검증을 위해 입구면 경계 조건으로 시간에 대해 평균을 취한 프로펠러 후류를 적용함에 있어서는 무리가 없는 것으로 판단된다.

4.1.2 실제와 수치계산에서의 캐비테이션 현상 비교

Fig. 7은 지금까지 보고된 혼타에서 자주 발생하고 있는 침식사례들을 정리한 사진이며(최정은 등 2007), Fig. 8은 Case A의 흡입면에 대한 캐비테이션 현상을 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 혼타의 캐비테이션 현상은 상부 수직통새 후방에 위치한 가동부 D와 수직통새 주위 E위치 그리고 타의 하부 앞날(leading edge) 주변 M, K위치에서 발생하고 있다. M, K위치에서 발생하는 캐비테이션은 프로펠러 회전류의 영향으로 유동이 타 단독에서보다 큰 입사각으로 유입되기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. Case A의 캐비테이션 계산 결과와 일반적으로 혼타에서 발생하는 침식사례를 모아놓은 Fig. 7을 비교해 보면 캐비테이션의 발생 위치가 유사함을 알 수 있다.

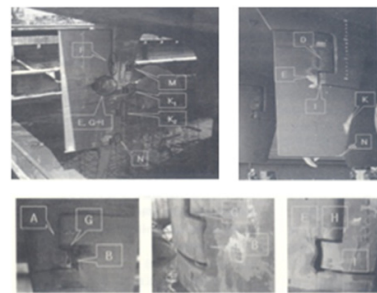


Fig. 7 Photos of cavity-induced erosion

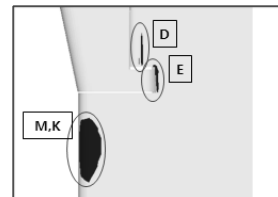


Fig. 8 Cavitation on the suction side

4.2 혼타의 형상 변화에 따른 캐비테이션 감소효과

4.2.1 2차원 수치계산

Fig. 9는 3차원과 2차원 수치계산 결과들에 대하여 절대압력을 비교한 것이다. 3차원 수치계산 결과와 2차원 수치계산 결과를 비교 시, 타판에 있어서 캐비테이션이 발생되리라 예상되는 포화수증기압 보다 작은 절대압력이 분포한 범위와 면적에 있어서 큰 차이가 나타나지 않고 있다. 이를 통해 2차원 수치계산을 이용하여 형상 변화에 따른 타판에 발생하는 캐비테이션 성능 관계를 파악하는 데에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

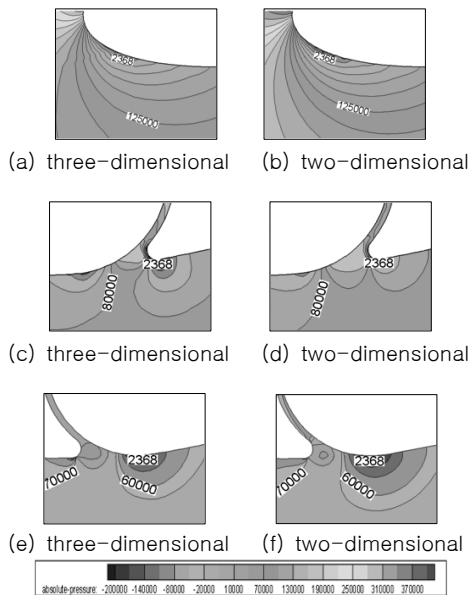


Fig. 9 Comparison of absolute pressure distributions: Section A (upper); Section B (center); Section C (lower)

4.2.2 2차원 단면 형상 변화와 캐비테이션 현상

① 앞날 곡률반경의 크기 변경

앞날 곡률반경의 크기 변화에 대한 제한 조건은 NACA00xx 계열보다 전연부 캐비테이션 성능이 우수한 것으로 알려진 NACA64 계열의 앞날 곡률반경 크기(NACA0020 앞날 곡률반경의 크기보다 40% 작음)를 최소값으로 제한하였으며, 최대두께

의 위치와 크기는 NACA0020과 동일한 값으로 고정하였다. Fig. 10은 예를 들어 단면 A에서 각각의 단면 형상들을 나타낸 것이다.

Fig. 11은 앞날 곡률반경의 크기 변화에 따른 전연부의 곡률 변화를 알아보기 위해 단면 A에서의 곡률반경 변화율곡선(porcupine curve)을 나타낸 것이다. 캐비테이션 현상이 발생되리라 예상되는 A위치의 앞날 곡률반경의 크기가 작은 Fig. 11 (a)의 경우 곡률 변화가 작게 일어나 곡률반경 변화율곡선의 크기 역시 작은 값을 가진다. 반면 앞날 곡률반경의 크기가 큰 Fig. 11 (b)의 경우 반대의 모습이 나타난다.

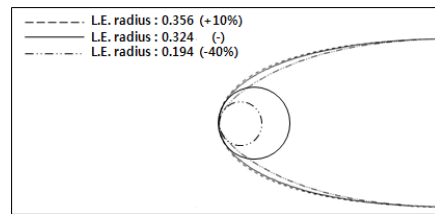


Fig. 10 Rudder sections for the modified L.E. radius in case of Section A

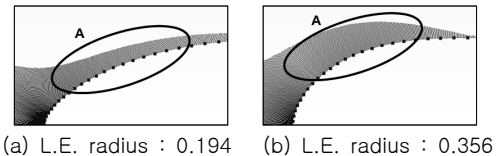


Fig. 11 Change of curvature for the modified L.E. radius in case of Section A

Fig. 12는 캐비테이션 발생 가능성을 알아보기 위해 캐비테이션 수보다 절대치가 큰 음압력 계수 크기를 가지고 있는 영역을 비교한 것이다. 여기서 캐비테이션 수는 식 (3)과 같다.

$$\sigma_n = \frac{P_\infty - P_v + \rho gh}{\frac{1}{2} \rho V_0^2} \quad (3)$$

여기서 P_∞ 는 대기압인 101325(Pa), P_v 는 포화수증기압인 2367.8(Pa), V_0 는 실선의 프로펠러 전진 속도인 11.68(m/s)이다. 정압력은 단면 A 위

치에서의 값을 취하였으며, 본 조건에서 계산된 캐비테이션 수는 2.80 이다. Fig. 11, 12를 통해 알 수 있듯이 앞날 곡률반경의 크기가 감소하면 전연부의 전체적인 곡률 변화는 감소한다. 이로 인해 압력은 적게 감소되며, 캐비테이션 발생 가능범위 또한 감소하게 된다.

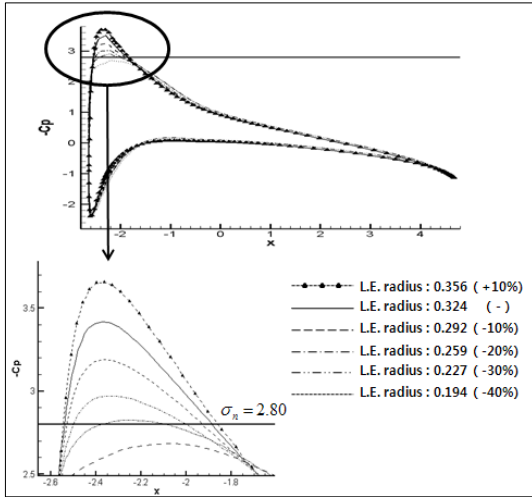


Fig. 12 Comparison of pressure coefficient distributions on the rudder surface for the modified L.E. radius in case of Section A ($x=0$ at L.E.)

Table 2는 양력과 항력 계수를 나타낸 것이다. 양력 계수의 변화는 적은 반면, 항력 계수는 감소하는 경향이 나타난다.

Table 2 Comparison of lift and drag coefficients for the modified L.E. radius in case of Section A

L.E. radius (NACA0020: 0.324)	0.356 (+10%)	0.292 (-10%)	0.259 (-20%)	0.227 (-30%)	0.194 (-40%)
C_L/C_L (NACA0020)	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99
C_D/C_D (NACA0020)	1.03	0.97	0.95	0.92	0.90

② 최대두께의 위치변경(단면 A의 예)

최대두께의 위치는 수정된 네자리 수식기법에

의한 단면형상에서 최대한으로 허용하는 코드 길이의 20%부터 50%까지를 제한 조건으로 하였으며, 앞날 곡률반경과 최대두께의 크기는 NACA0020과 동일한 크기로 고정하였다. Fig. 13은 변화된 단면형상을 나타낸 것이다.

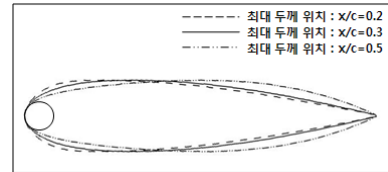


Fig. 13 Rudder sections for the modified location of maximum thickness in case of Section A

Fig. 14는 캐비테이션 발생 가능성을 알아보기 위해 캐비테이션 수와 음압력 계수를 비교한 것이다. 이를 통해 알 수 있듯이 최대두께의 위치를 뒷날 방향으로 이동시 압력은 적게 감소되며, 캐비테이션 발생 가능 범위 또한 감소하게 된다.

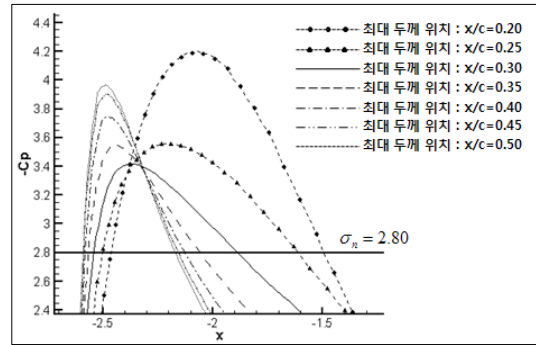


Fig. 14 Comparison of pressure coefficient distributions on the rudder surface for the modified location of maximum thickness in case of Section A ($x=0$ at L.E.)

Table 3은 양력과 항력 계수를 나타낸 것이다. 최대두께의 위치가 뒷날 방향으로 이동하면서 양력 계수는 감소하는 경향이 나타나고 있으며, 최대두께의 위치가 앞날로 부터 코드 길이의 35%보다 큰 범위에 위치 시 양력 계수의 감소폭이 증가하는 경향이 나타난다.

Table 3 Comparison of lift and drag coefficients for the modified location of maximum thickness in case of Section A

최대두께위치 x/c (NACA0020:0.3)	0.20	0.25	0.35	0.40	0.45	0.50
C_l/C_l (NACA0020)	1.01	1.01	0.99	0.97	0.94	0.88
C_d/C_d (NACA0020)	1.16	1.08	0.93	0.86	0.79	0.71

단면 형상 변화에 있어서 최대두께의 위치는 제한범위인 0.5(x/c)에 위치하여도 캐비테이션 수보다 작은 음압력 계수의 크기가 나타나는 반면, 앞날 곡률반경의 크기는 제한 범위인 -40%까지 변경할 경우 음압력 계수의 크기가 캐비테이션 수보다 작아지게 된다. 이와 같이 캐비테이션 성능만을 비교 시 앞날 곡률반경의 크기를 줄이는 것이 고려된 조건에서는 좋은 성능을 나타낸다. 하지만 NASA에서 발표된 보고서에 의하면 앞날 곡률반경의 크기가 줄어들시 실속(Stall) 발생 각도가 작아지는 경향이 나타나게 된다(John A. Kelly, 2004).

③ Section A

Section A는 앞서 확인한 최대두께의 위치 변화와 앞날 곡률반경의 크기 변화에 따른 자료를 바탕으로 최대두께의 위치와 앞날 곡률반경을 모두 변화시키는 단면 형상 변화를 수행하였다. Fig. 15는 변화된 단면 형상을 나타낸 것이다.

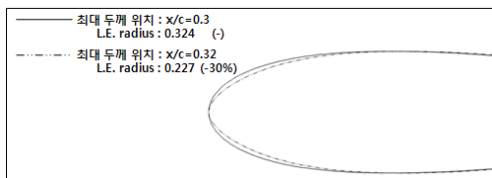


Fig. 15 Rudder sections of Section A

최대두께의 위치가 앞날로부터 코드 길이의 35%보다 큰 범위에 위치 시, 양력 계수의 감소폭이 증가하는 경향이 나타난다. 이를 고려하여 최대두께의 위치는 앞날로부터 코드 길이의 30%에

서 34%까지를 제한 조건으로 하였다.

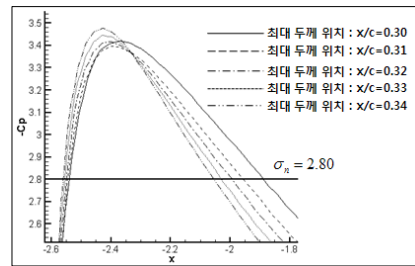


Fig. 16 Comparison of pressure coefficient distributions on the rudder surface of Section A for the modified location of maximum thickness

Fig. 16은 캐비테이션 수보다 큰 음압력 계수 크기를 가지고 있는 영역을 비교 한 것이다. 최대두께의 위치가 32%보다 뒷날 방향으로 이동시, 최소 음압력 계수의 크기가 기존 단면 형상의 음압력 계수보다 큰 값을 가지게 된다. 그러므로 최대두께의 위치는 코드 길이의 32%로 고정하였으며, 다음으로 앞날 곡률반경의 크기를 감소시켰다.

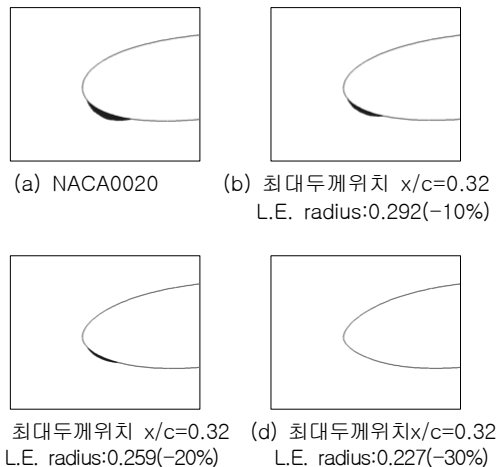


Fig. 17 Comparison of the cavitation of Section A

Fig. 17은 캐비테이션 수치계산을 수행한 결과로서, 캐비테이션 현상은 앞날 곡률반경의 크기가

-30%까지 변화될 경우 나타나지 않고 있다.

Table 4는 양력과 항력 계수를 나타낸 것이다. 양력 계수의 변화는 크게 나타나지 않으며, 항력 계수는 기존보다 감소됨을 확인 할 수 있다. 이를 통해 본 연구에서 고려된 조건 중에는 최대두께의 위치를 뒷날방향으로 2%이동 시킨 후 앞날 곡률 반경의 크기를 -30% 변화시킨 단면 형상이 가장 좋은 것으로 판단된다.

Table 4 Comparison of lift and drag coefficients of Section A

최대두께위치 x/c - L.E. radius	0.32	0.32	0.32
	-0.292	-0.259	-0.227
$C_L/C_L(\text{NACA0020})$	0.99	0.99	0.99
$C_D/C_D(\text{NACA0020})$	0.94	0.92	0.89

④ Section B

Section B의 단면 형상 변화에 있어서는 틈새 입·출구 가동부 edge의 급격한 곡률 변화를 감소시키기 위하여 edge의 곡률반경을 증가시켰다. Fig. 18은 설계 변수에 따른 타 단면 형상 변화를 나타낸 것이며, 이를 Table 5에 정리하였다.

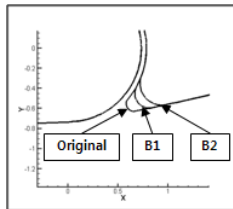


Fig. 18 Rudder sections of Section B

Table 5 Case definition of Section B

CASE	Definition
Original	NACA 0020
Case B1	틈새 입·출구 가동부 edge의 곡률 반경 200% 증가
Case B2	틈새 입·출구 가동부 edge의 곡률 반경 300% 증가

틈새 주변의 유동은 틈새의 형상과 크기에 영향을 크게 받는다. 그러므로 Section B는 Fig.18에

나타낸 바와 같이 틈새 크기를 기존 타(Original)와 동일한 50(mm)로 유지하였다.

Fig. 19는 Section B에 대하여 캐비테이션 수치계산을 수행한 결과이다. 틈새 입·출구 edge의 곡률 반경 증가 시, 캐비테이션 발생 범위가 감소하고 있음을 확인할 수 있다.

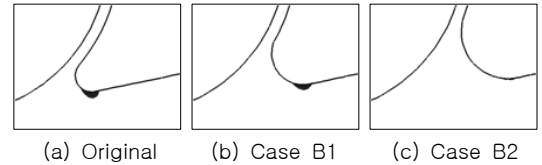


Fig. 19 Comparison of the cavitation of Section B

Table 6은 양력과 항력 계수를 나타낸 것이다. Section B는 기존 타와 비교하여 양력 계수가 증가하는 경향이 나타난다. 본 연구에서 고려된 타 단면 형상에 있어서는 캐비테이션 현상이 나타나지 않고 있는 Case B2가 가장 좋은 것으로 판단된다.

Table 6 Comparison of the lift and drag coefficients of Section B

Case	Case B1	Case B2
$C_L/C_L(\text{Original})$	1.06	1.11
$C_D/C_D(\text{Original})$	1.01	1.01

⑤ Section C

Section C의 캐비테이션 성능 향상을 위하여 가동부 최대두께의 위치를 뒷날 방향으로 이동시켰으며, 항력을 줄이기 위하여 고정부 두께를 감소시켰다.

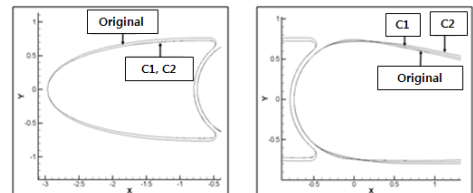


Fig. 20 Rudder sections of Section C

Table 7 Case definition of Section C

CASE	Definition
Original	NACA 0020
Case C1	고정부 두께 5% 감소, 가동부 최대두께 위치를 뒷날 방향으로 가동부 길이에 대하여 2.5% 이동
Case C2	고정부 두께 5% 감소, 가동부 최대두께 위치를 뒷날 방향으로 가동부 길이에 대하여 5% 이동

Fig. 20은 설계 변수에 따라 변화된 타 단면 형상을 나타낸 것이며, 이를 Table 7에 정리하였다. Section C의 형상 변화는 틸새의 크기에 대한 변화를 최소화하기 위해 Fig. 20에 나타낸 바와 같이 틸새의 크기를 기존 타와 동일한 50(mm)로 유지하였다.

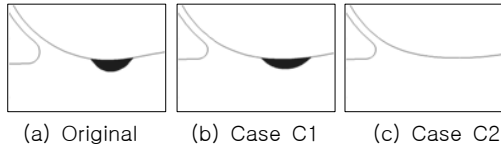


Fig. 21 Comparison of the cavitation of Section C

Fig. 21은 캐비테이션 수치계산을 수행한 결과이다. 캐비테이션 발생은 기존 타에 비해 가동부 최대두께의 위치를 뒷날방향으로 5% 이동시킬 경우 나타나지 않고 있다.

Table 8은 양력과 항력 계수를 비교한 것으로서 Case C2의 경우 양력 계수가 감소하는 경향이 나타난다. 하지만 본 연구에서 고려된 조건 중에는 캐비테이션 현상이 발생되지 않고 있는 Case C2가 가장 좋은 것으로 판단된다.

Table 8 Comparison of the lift and drag coefficients of Section C

Case	Case C1	Case C2
$C_L/C_L(\text{Original})$	1.02	0.95
$C_D/C_D(\text{Original})$	0.92	0.92

⑥ 타각 8도에서의 캐비테이션 성능

설계속도로 운항 시 타각은 일반적으로 6도 범위를 가진다. 하지만 타 침식을 보다 안전하게 방지하려는 의도로 최근에는 타 공동시험을 8도까지 높여서 수행하는 사례가 많다(선박유체역학연구회 2009). 이를 고려하여 타각 8도에 대한 변형된 단면 형상의 캐비테이션 성능을 알아보았다.

Fig. 22는 캐비테이션 수치계산을 수행한 결과이다. 타각 8도에서도 변화된 단면 형상에서는 캐비테이션 현상이 나타나지 않고 있음을 확인할 수 있다.

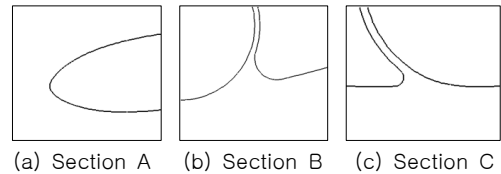
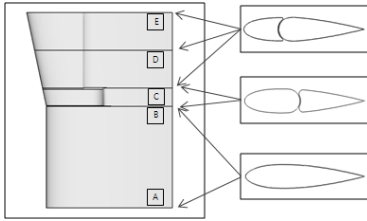


Fig. 22 Comparison of cavitation (angle of attack: 8 deg.)

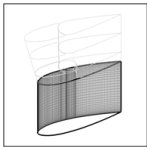
4.2.3 설계된 3차원 타 형상

3차원 타 형상의 설계를 Fig. 23에 나타낸 바와 같이 수행하였다. 변형된 단면 형상의 배치는 타 하부의 경우 A와 B 위치를 선정하였으며, 타 상부는 Taper를 가지고 있는 형상이므로 C, E 그리고 C와 E사이의 Span 방향의 중간 위치인 D를 선정하였다. Span 방향에 대한 타판을 생성함에 있어서는 앞날과 뒷날, 단면의 두께에 대한 틸새 내부의 중심 그리고 틸새 입·출구 edge의 시작과 끝부분을 Span 방향으로 연결한 후 타 판을 생성하였다. 본 연구에서는 상부, 하부의 단면 형상에 차이가 있으므로 3차원 타를 생성함에 있어서 불연속성 없이 타 판을 생성하는 것이 주안점이라 할 수 있다. Fig. 23 (f)는 동일한 코드 길이에 대하여 Section A와 Section C의 단면 형상을 비교한 것으로서 전연부의 경우에는 단면형상의 차이가 큰 반면 후연부의 경우에는 차이가 매우 작게 나타난다. 하지만 전연부에서 나타나는 단면 형상의 차이는 혼타의 경우 B의 위치에서 고정부와 가동부로 분리되어 있으므로 타 판을 생성함에 있어서 문제

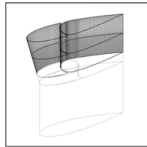
가 되지 않는다. 그러므로 3차원 타의 단면 형상 변화는 Fig. 23 (e)에 나타난 바와 같이 타판에 심한 굴곡 없이 3차원 타를 생성할 수 있었다.



(a) Vertical position of Modified rudder section



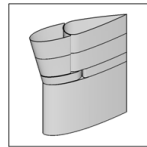
(b) Lower part



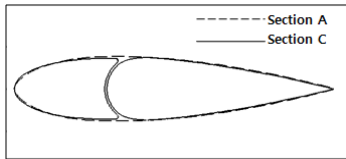
(c) Upper part



(d) Pintle part



(e) Modified rudder



(f) Comparison of section shapes

Fig. 23 Illustration of design concept for the three-dimensional modified rudder

4.2.4 기존 타와의 캐비테이션 현상 비교

Fig. 24는 양력과 항력 계수를 비교한 것이다. 양력계수는 기존 타에 비해 약 2% 감소하였으며, 항력계수는 약 10%감소하였다.

Fig. 25는 흡입면에 대한 유한 유선(limiting stream line)을 나타낸 것이다. 기존타와 변형된 타 모두 흡입면에 대하여 특이점이 나타나지 않고 있다.

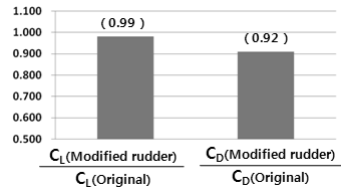
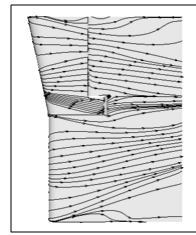
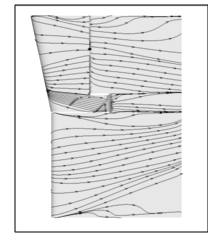


Fig. 24 Comparison of the lift and drag coefficients of the original and modified rudder



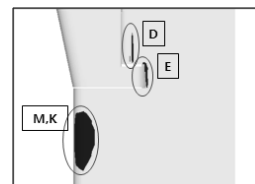
(a) Original



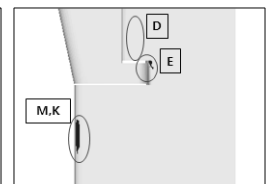
(b) Modified rudder

Fig. 25 Comparison of limiting stream lines on the suction side

Fig. 26은 캐비테이션 수치시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 기존 타에서 나타난 상부 수직 틈새 후방 가동부 타판인 D위치에서의 캐비테이션 현상은 최대 두께의 위치를 뒷날 방향으로 이동시켜서 변화된 타(Modified rudder)에서는 발생되지 않고 있으며, 기존 타에서 핀틀부 주변 E위치와 타의 하부 앞날 주변인 M, K 위치에서 발생하는 캐비테이션 현상은 변화된 타에서 크게 감소되었음을 확인할 수 있다.



(a) Original



(b) Modified rudder

Fig. 26 Comparison of cavitation on the suction side

5. 결 론

캐비테이션 현상을 감소시키기 위해 최대두께의 위치와 앞날 곡률반경의 크기, 그리고 틈새 압출구 가동부 edge의 곡률반경을 변화시켜 가며 타의 단면 형상 변화를 수행하였다.

1) 앞날 곡률반경의 크기 변화

앞날 곡률반경의 크기가 감소하면 전연부의 전체적인 곡률 변화는 감소된다. 이로 인해 압력은 적게 감소되며, 캐비테이션 발생 가능 범위 또한 감소하게 된다. 양력 계수와 항력 계수는 앞날 원반경의 크기가 감소하면서 모두 감소하는 경향이 나타난다.

2) 최대두께 위치 변경

최대두께의 위치를 뒷날 방향으로 이동 시, 전연부의 압력은 적게 감소하게 되며, 캐비테이션 발생 가능 범위 또한 감소하게 된다. 양력과 항력 계수는 모두 감소하는 경향이 나타나고 있으며, 최대두께의 위치가 앞날로부터 코드 길이의 35%보다 큰 범위에 위치 시, 양력 계수의 감소폭이 증가하는 경향이 나타난다.

3) 2차원 단면 형상 변화에 대한 캐비테이션 성능

Section A는 전연부에서 발생하는 캐비테이션 현상을 감소시키기 위해 최대 두께의 위치를 앞날로부터 코드길이에 대하여 32%에 위치시킨 후 앞날 곡률반경의 크기를 NACA0020 앞날 곡률반경의 크기보다 30% 감소시켰으며, Section B는 틈새 주변에서 발생하는 캐비테이션 현상을 감소시키기 위해 틈새 압출구 가동부 edge의 곡률반경을 3배 증가시켰다. Section C는 가동부 타판에 발생하는 캐비테이션 현상을 감소시키기 위해 가동부의 최대두께 위치를 가동부 코드 길이에 대하여 뒷날 방향으로 5%이동시켰다. 그 결과 캐비테이션 현상이 기존 타보다 감소되는 효과를 보여 주었다.

4) 3차원 타에 대한 캐비테이션 성능

기존 타와 변형된 타에 대하여 3차원 캐비테이션 수치계산을 비교해 본 결과, 기존 타의 경우 틈새 주위 가동부 타판에서 발생하는 캐비테이션 현상은 단면 형상이 변경된 타에서 발생되지 않고

있으며, 핀틀부의 틈새 압출구 주변과 타의 하부 앞날 부분에서 발생된 캐비테이션 현상은 크게 줄어들었음을 확인 할 수 있다.

이와 같이 기존 타와 변형된 타에 대하여 2차원, 3차원 캐비테이션 수치계산을 비교해 본 결과, 본 연구의 고려된 조건에서는 캐비테이션 현상이 개선되었음을 확인하였다.

향후 본 연구에서는 고려되지 않았던 프로펠러 팁에서 발생하는 캐비테이션에 의한 침식 현상을 개선하기 위한 타 형상 연구도 필요할 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. ROA-2007-000-10028-0).

참 고 문 헌

- Boo, K.T., Song, I.H. and Shin, S.C., 2004, "Numerical Simulation for the Rudder in order to Control the Cavitation Phenomena," 2004, 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 two-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.
- John A. Kelly, 1950, "Effects of modifications to the leading-edge region on the stalling characteristics of the NACA 631-012 airfoil section," NCA TN 2228.
- Kim, M.C., Lee, U.S. and Byun, T.Y., 2008,

- "Study on optimization of anti-erosion rudder section of large container ship by genetic algorithm," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 4, pp. 403-410.
- Kim, S., Park, J., Kim, Y., Jang, Y., Choi, Y. and Paik, B., 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.
 - Kim, Y.G., Kim, S.Y., Kim, S.P. and Lee, S.W., 2004, "Experimental study on the variation of maneuvering characteristics of container ship with rudder type," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 5, pp. 28-33.

- SNAK, 2009, Ship's Resistance and Propulsion, Jisungsa.
- 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.



< 박 경 령 >



< 이 영 길 >