

안정기 핀의 팁 보오텍스 캐비테이션 특성에 미치는 날개 끝판의 효과

서대원*, 김종현*, 이승희[†]*

인하대학교 선박공학과*

On the Influence of End Plates upon the Tip Vortex Cavitation Characteristics of a Fin Stabilizer

Dae-Won Seo*, Jung-hyun Kim* and Seung-Hee Lee[†]*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University*

Abstract

Fins are widely used for roll stabilization of passenger ferries and high performance naval ships, among others. In the present study, numerical simulations are performed to investigate the influence of end-plates upon the cavitation characteristics of a stabilizer fin for various angles of attack and speeds and the results are verified through a series of model experiments. It is found that a considerable retardation in tip vortex cavitation can be achieved with attachment of end-plates at the tip of the stabilizer fin. The results can be utilized for the design of stabilizer fins as well as the development of high performance control devices for ships.

※Keywords: Cavitation(공동현상), Stabilizer fin(안정기 핀), End-plate(날개 끝판), NACA 0015, Model experiment (모형시험), Numerical simulation(수치해석)

1. 서론

최근 선박의 대형화, 고속화 추세에 따라 프로펠러, 타, 안정기 용 핀 등에서 공동현상이 자주 발생하고 있다. 날개 주위로 유입된 물이 흡입면을 지날 때 증기압보다 낮은 압력영역에서 형성된 공동은 압력이 증기압보다 높은 영역에 이르면

순간적으로 붕괴하면서 소멸된다. 이러한 공동의 붕괴 및 소멸 과정에서 발생하는 강한 충격력이 날개 면에 가해지게 되며 이러한 현상이 지속적, 주기적으로 발생할 때에는 날개 표면을 침식되거나 심한 경우에는 운항 중에 날개가 부분적으로 파손되거나 날개 전체가 유실되는 경우도 발생할 수 있다. 또한 이러한 캐비테이션 현상이 프로펠러에 발생할 경우 가까이 있는 선체표면에 변동압력이 작용하여 선체 진동을 일으키는 주요 원인으로 작용하기도 한다.

접수일: 2007년 8월 23일, 승인일: 2008년 2월 3일

† 교신저자, shlee@inha.ac.kr, 032-860-7337

이러한 문제점을 해결하기 위하여 캐비테이션 현상을 해석하기 위한 많은 연구가 이루어졌다. 캐비테이션 현상에 관한 수치적인 연구는 크게 포텐셜 이론을 이용한 방법과 점성이론을 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 그 중에서 점성이론을 이용한 수치적 연구로서는 비공동 유동해석 결과를 이용하여 캐비테이션 성능을 추정한 연구 (Song et al. 2000, Bu et al. 2003, Hwang and Park 2004, Seo et al. 2007)와 점성이론에 캐비테이션 모형을 사용하여 캐비테이션 거동을 추정한 연구 (Choi and Chung 2005, Choi et al. 2007, Akihisa et al. 2002)등이 있다.

본 연구에서는 함안정기에 사용되는 NACA0015 단면을 갖는 핀에 다양한 형태의 날개 끝판을 장착하고 삼성중공업 캐비테이션 터널에서 수행한 모형실험을 통하여 날개 끝 보오텍스 캐비테이션의 특성 변화를 조사하였다. 또한 수치해석을 수행하고 그 결과를 활용하여 캐비테이션 성능이 우수한 날개 끝판의 형상을 도출하고 모형실험을 통하여 유동특성을 확인하였다.

핀 주위 캐비테이션 유동 특성은 RANS 방정식에 캐비테이션 모형을 적용하여 FLUENT Ver. 6.2로 계산하였다. 이 때 수치격자로는 GRIDGEN을 사용하여 구성된 육면체 격자를 사용하였다.

2. 대상 모형 및 계산조건

2.1 핀 모형의 제원 및 형상

Fig. 1은 공동수조 계측부의 상판에 부착되어 있는 안정기용 핀의 모형, Fin A의 사진이다. Fin A에는 end-plate가 부착되어 있지 않고 단면형상은 NACA 0015이며 최대 코드는 524mm, 스패는 219mm로서 자세한 제원은 Table 1에 주어져 있다. 이 모형은 알루미늄을 사용하여 1/5 축적으로 제작되었으며 표면은 부식을 방지하기 위해 산화피막(Anodizing)으로 처리하였다.

실험에 사용한 공동수조 관측부의 크기는 길이 6m, 폭 1.2m, 높이 1.2m이며 설계 최대 유속은 28.0m/s로 0.4bar에서 2.0bar 까지 압력을 조절할 수 있다(Lee et al. 2007).

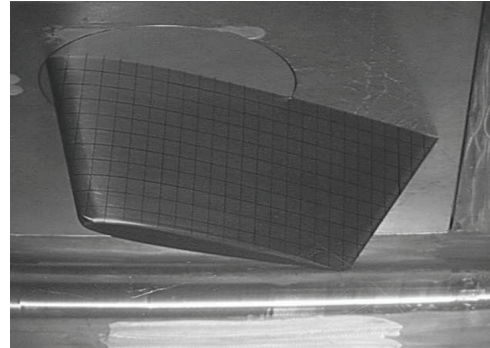


Fig. 1 Photograph of Fin A

Table 1 Principal particulars of Fin A

Item	Value
Scale Ratio	5.0
Section	NACA 0015
Max. Chord Length	520mm
Span	230mm
Material	Aluminum

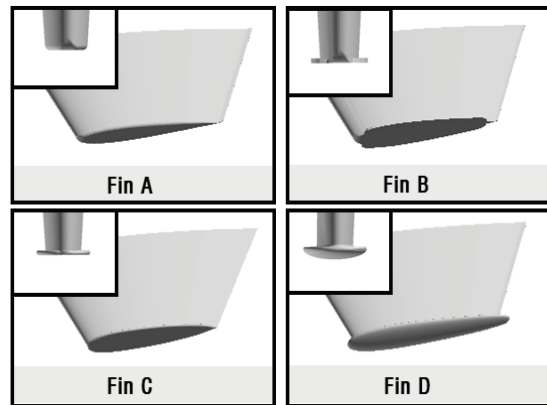


Fig. 2 Various shapes of fin for numerical analysis

2.2 수치모형의 기하학적 특성

Fin A의 모형실험 결과 특히 팁 보오텍스 캐비테이션 성능이 만족스럽지 못한 것으로 나타났으며 이에 따라 핀의 끝단에 끝판을 부착하여 이

문제를 해결하고자 하였다. 그러나 모형실험은 신뢰성이 높으나 많은 시간과 경제적인 비용이 요구되므로 수치해석을 통해 최적화된 날개 끝판의 형태를 찾아내고 최종적으로 그 결과를 확인하기 위한 실험만을 수행하기로 하였다.

Fig. 2에는 end-plate의 효과를 알아보기 위하여 수치해석을 수행한 핀의 4가지 기하학적 형상이 나타나 있다.

먼저 Fin A는 모형실험에 사용된 것과 동일한 것으로 끝판이 없고 날개 끝의 모서리가 둥글게 처리 되어있는 NACA 0015 단면으로 이루어진 핀이며, Fin B는 Fin A에 요트의 윙릿과 같은 개념으로 설계된 끝판을 부착한 경우이며 Fin C는 핀에 자주 사용되는 일반적인 형태의 끝판을 부착한 경우이다. 또한, Fin D는 Fin C보다 끝판의 길이를 키워 끝판이 앞날과 뒷날 쪽으로 더 돌출되도록 만들고, 고속영역에서 끝판에 의한 앞층 캐비테이션을 줄이기 위하여 끝판의 가장자리를 둥글게 처리하였다.

3. 수치해석

3.1 지배방정식

핀 주위의 유동은 캐비테이션의 발생으로 인하여 물과 증기가 혼재되어 상변화가 나타나는 이상(two phase) 유동으로 비압축성 난류유동의 특성을 갖는다고 가정한다. 이상 유체에 대한 연속방정식과 Reynolds averaged Navier-Stokes 방정식은 각각 식 (1), (2)와 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{V}_m) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \vec{V}_m) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{V}_m \vec{V}_m) \\ = -\nabla p + \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \nabla \cdot \left(\sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \vec{V}_{dr,k} \vec{V}_{dr,k} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

이때 $\rho_m = \sum_{k=1}^m \rho_k$ 은 밀도, $\vec{V}_m = (\sum_{k=1}^m \alpha_k \rho_k \vec{V}_k) / \rho_m$ 은 질량 평균 유속이며 p는 국부압력, 그리고

$\vec{\tau}$ 는 식 (3)과 같이 표현되는 응력 tensor로서

$$\vec{\tau} = \mu_m [(\nabla \vec{V}_m + \nabla \vec{V}_m^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{V}_m \vec{I}] \quad (3)$$

μ_m 은 동점성 계수, \vec{I} 는 단위 tensor이며 난류 마감을 위하여 표준 $k-\omega$ 난류 모형을 사용하였다. 또한 $\vec{V}_{dr,k}$ 는 상대속도와 관련된 2차 위상 k의 drift velocity로서 2차 위상 속도 \vec{V}_k 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\vec{V}_{dr,k} = \vec{V}_k - \vec{V}_m \quad (4)$$

이상유동의 연속방정식으로 부터 얻어지는 증기 수송방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m f_v) + \nabla \cdot (\rho_m \vec{V}_m f_v) = \nabla \cdot (\gamma \nabla f_v) + R_e - R_c \quad (5)$$

여기에서 f_v 는 증기 질량비(vapor mass fraction)이고 γ 는 유효 교환상수(effective exchange coefficient)이다. 또한 R_e 와 R_c 는 증기의 생성과 소멸을 나타내는 변수로서 R_B 를 기포 반경, P_B 를 기포 압력 그리고 σ 를 표면장력이라고 할 때 다음과 같은 Rayleigh-Plesset 방정식에서

$$R_B \frac{D^2 R_B}{Dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{DR_B}{Dt} \right)^2 = \left(\frac{P_B - p}{\rho_l} \right) - 4 \frac{v_l}{R_B} \frac{DR_B}{Dt} - \frac{2\sigma}{\rho_l R_B} \quad (6)$$

기포의 극한크기를 고려하면 식 (7), (8)과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} i) p < P_{sat} \\ R_e = C_e \frac{V_{ch}}{\sigma} \rho_l \rho_v \sqrt{\frac{2}{3} \frac{P_{sat} - p}{\rho_l} (1 - f_v)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} ii) p > P_{sat} \\ R_c = C_c \frac{V_{ch}}{\sigma} \rho_l \rho_v \sqrt{\frac{2}{3} \frac{P_{sat} - p}{\rho_l} f_v} \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 C_e 와 C_c 는 경험상수로서 각각 0.02와 0.01이며, $V_{ch} \approx \sqrt{k}$ 는 국소 슬립속도(local slip velocity)의 효과를 고려한 특성속도, P_{sat} 는 포화증기압이다.

3.2 계산 알고리즘

지배방정식을 유한체적법(Finite Volume Method)으로 차분화하였다. 지배방정식은 이산화 과정을 거쳐 대수방정식으로 변환하였으며 이 때 대류항과 체적비(volume of fraction)는 QUICK법, 확산항은 중심 차분법, 시간에 대한 미분항은 1차 음해법을 사용하여 이산화하였다. 압력방정식으로는 Rhin/Chow방법을 수정한 FLUENT의 표준 방법을 사용하였으며 (FLUENT 2005), 속도-압력의 연성은 SIMPLEC 방법을 사용하였다. 또한 완화계수 값으로 압력에 대해서는 0.3, 운동량에 대해서는 0.5, 난류에 대해서는 0.5를 주었다.

3.3 격자구성 및 계산 조건

수치계산은 Fig. 2에 보인 Fin A, B, C, D에 대하여 수행하였으며 각 Fin의 표면격자 형상은 Fig. 3과 같다. 유동방향은 +X축으로, 이에 직교하는 연직 상방향을 +Z축으로 정하였으며 Fin 표면 격자수는 스펠방향으로 40개, 코드 방향으로 100개이며 총 격자수로는 900,000개를 사용하였다.

계산영역으로는 실험에서 사용한 회류수조의 계측부와 동일한 크기의 H-H 형 topology를 선택하였으며 이 때 최대 코드길이 C로 무차원한 계산 영역의 범위는 각 축 방향으로 $-3 < X/C < -4$, $-1.2 < Y/C < 1.2$, $-2 < Z/C < 0$ 에 해당한다. 또한 난류경계층의 특성을 잘 표현하기 위하여 벽면에서 가장 가까운 격자점들에서 Y^+ 값이 45를 넘지 않도록

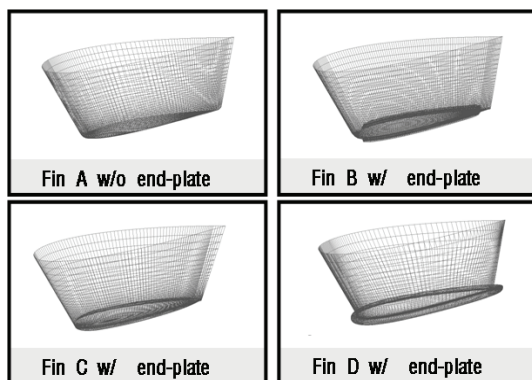


Fig. 3 Grid system of fins

를 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.

3.4 핀 안정기의 최대 작동각과 캐비테이션

일반적으로 선속이 증가하면 횡동요가 줄어들고 핀에서 발생하는 양력도 증가하기 때문에 핀 안정기의 작동범위는 선속에 따라 달라진다. Fig. 4는 선속에 따른 핀 안정기의 최대 작동각을 나타내는 도표로서 핀 안정기 최대 작동각이 선속 15 kts 이하에서는 26°이나 선속이 증가하면 점차 감소하여 25 kts에서는 9°가 되며 30 kts 이상에서는 핀 안정기를 작동 시키지 않는다. 그림에서 사각점 '■'으로 표시된 위치들은 수치계산 및 모형실험을 수행한 조건들로 선속 40 kts에서는 핀 안정기가 작동되지는 않지만 비 격납식 핀 안정기의 경우 고속에서 선속과 핀의 연결부위에 캐비테이션 현상이 발생할 가능성이 있으므로 연구범위에 추가하였다.

압력계수와 캐비테이션 수는 다음 식과 같이 정의된다. 이 때 대기압 P_{atm} 는 101.3 kPa, 밀도 ρ 는 999 kg/m³, 그리고 15°C인 물의 증기압 p_v 는 1.7 kPa로 주었다.

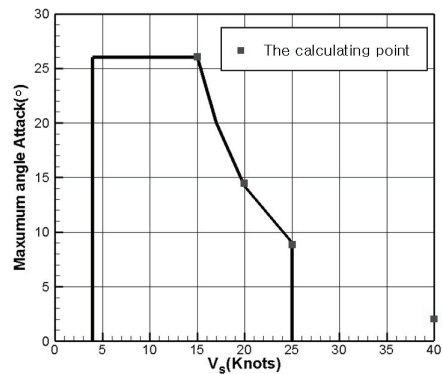


Fig. 4 Maximum angles of attack of the fin stabilizer for various ship speeds

Table 2 Various conditions for numerical analyses

V_s (knots)	V_s (m/s)	σ_v	α
15	7.7	3.36	26°
20	10.2	1.91	14.2°
25	12.9	1.19	9°
40	20.54	0.47	2°

$$C_p = \frac{p - p_{atm}}{\frac{1}{2} \rho V^2}, \quad \sigma_v = \frac{p_{atm} - p_v}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (9)$$

Table 2에는 계산대상 선속에 대한 캐비테이션 수와 핀의 최대 작동각을 보이고 있다.

4. 결과해석 및 검토

4.1 난류 모형의 영향

수치계산을 수행할 경우, 사용하는 수치계산 기법이나 격자계의 구성도 중요하지만 유동 특성에 적합한 난류모형의 선택이 해석결과에 큰 영향을 미치는 경우가 많다(Wilcox 1993). 본 연구의 경우 큰 받음각으로 인한 앞날 부분에서의 유동박리와 날개끝 보오텍스 같은 복잡한 유동들을 해석할 필요가 있다. 따라서 적합한 난류모형을 선정하기 위하여 실험에서 캐비테이션이 가장 심하게 나타나는 선속 15kts, 작동각 26°에서 여러 가지 난류모형들을 적용하여 수치계산을 수행하고 그 결과를 비교·검증하였다.

수치해석 과정에서 캐비티는 증기체적비(vapor volume fraction) 10%에서 발생한다고 가정하였고, 용이한 비교를 위하여 그림에 흰색 화살표를 사용하였다.

Fig. 5의 사진은 선속 15kts, 받음각 26°에서의 모형실험 결과를 보여주고 있으며, 캐비테이션의 위치를 화살표로 표시하였다. 사진을 보면 두 줄기의 날개끝 보오텍스 캐비테이션이 발생하고 있으며 이 두 캐비테이션은 후류에서 서로 뒤엉켜 흘러나가고 있음을 볼 수 있다.

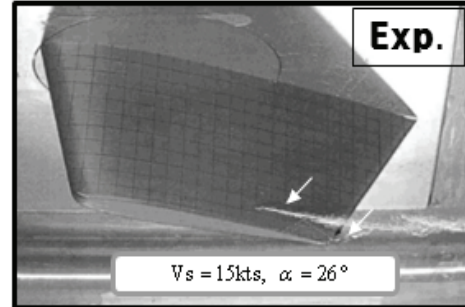


Fig. 5 Cavitation patterns (Experimental results)

Fig. 6~9는 실험과 동일한 조건에서 다양한 난류모형을 사용하여 수치계산을 수행한 결과이다.

Fig. 6~9에서 보듯이 전방에서 발생하는 팁 보오텍스 캐비테이션은 4가지 난류모형 모두 실험결과와 비교적 유사한 결과를 보여주고 있지만 실험에서는 나타나지 않는 얇은막 캐비테이션이 앞날 근처에 나타나고 있다. 또한 후방에서 발생하는 날개끝 보오텍스 캐비테이션은 난류모형에 따라 큰 차이를 보이고 있는데, Fig. 6의 Spalart-Allmaras모형과 Fig.9의 $k-\omega$ 모형이 다른 난류모형에 비하여 상대적으로 실험 결과에 가까운 해석 결과를 보여주고 있다.

본 연구에서는 이러한 난류모형에 대한 해석 결과를 바탕으로 본 연구의 대상인 핀의 캐비테이션 성능을 예측하는데 상대적으로 우수한 결과를 보인 $k-\omega$ 모형을 사용하여 날개 끝판의 최적형상 설계를 위한 유동해석을 수행하였다.

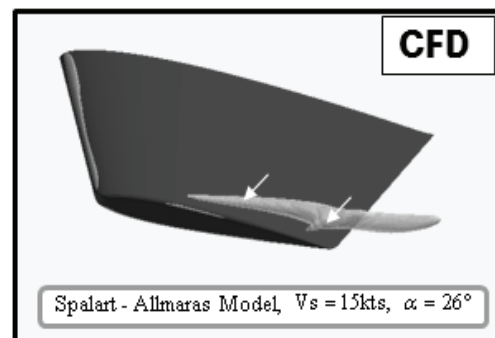


Fig. 6 Cavitation patterns (Spalart-Allmaras Model)

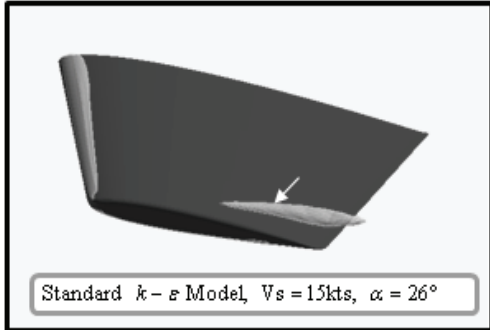


Fig. 7 Cavitation patterns(Standard $k-\epsilon$ Model)

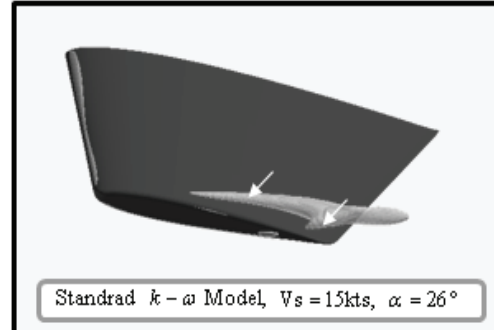


Fig. 9 Cavitation patterns (Standard $k-\omega$ Model)

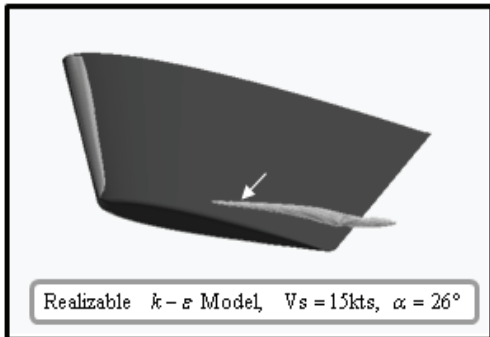


Fig. 8 Cavitation patterns(Realizable $k-\epsilon$ Model)

4.2 날개 끝 보오텍스 캐비테이션의 수치해석

날개는 윗면과 아랫면에 압력 차이를 발생시킴으로써 양력을 얻는다. 이러한 압력차이에 의하여 나타나는 날개 끝 보오텍스는 날개의 유효면적 감소와 유기항력 발생을 초래함으로써 날개의 양력 성능에 좋지 못한 영향을 미치게 된다. 또한 날개 끝 보오텍스는 항공기나 선박의 후방난류(wake turbulence)와 소음특성 등에 매우 큰 영향을 미치며 그 중심에서는 유체가 빠른 속도로 회전하고 있기 때문에 압력이 매우 낮아 캐비테이션 현상이 발생하기 쉽다. 이러한 여러 이유들 때문에 날개

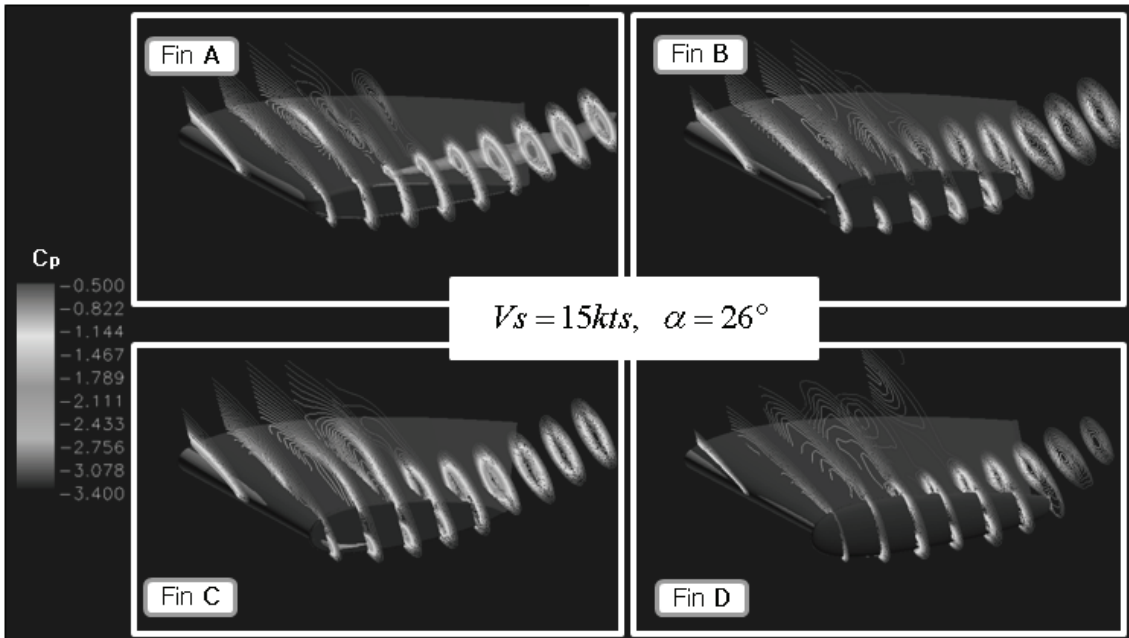


Fig. 10 Pressure distribution and cavitation behavior on/near fin surfaces ($V_s=15kts, \alpha = 26^\circ$)

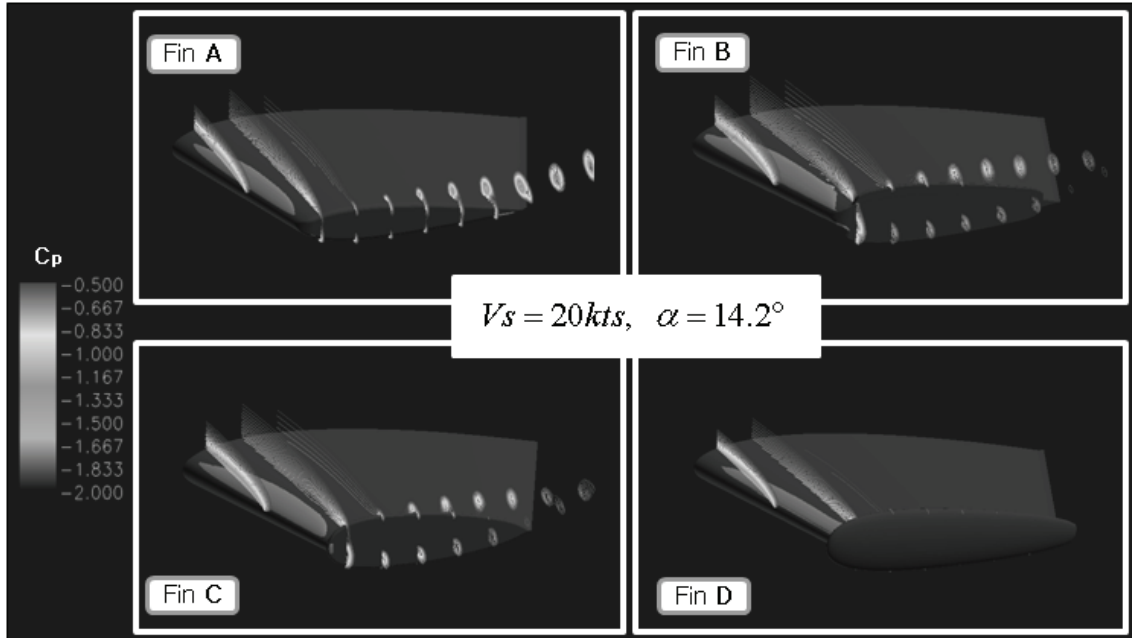


Fig. 11 Pressure distribution and cavitation behavior on/near fin surfaces ($V_s=20kts$, $\alpha = 14.2^\circ$)

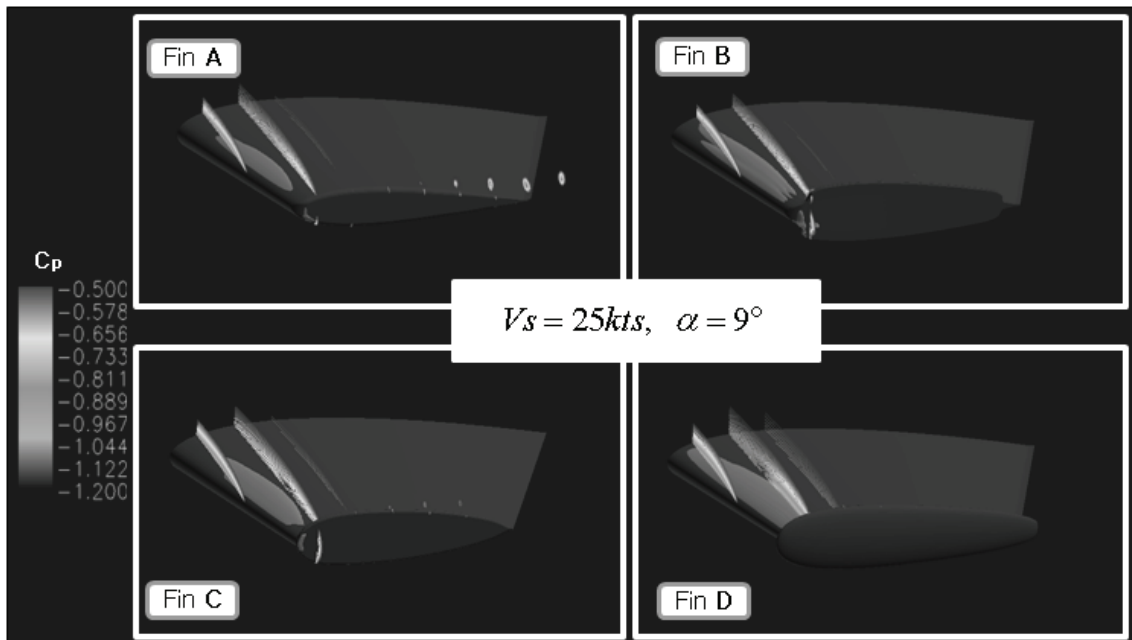


Fig. 12 Pressure distribution and cavitation behavior on/near fin surfaces ($V_s=25kts$, $\alpha = 9^\circ$)

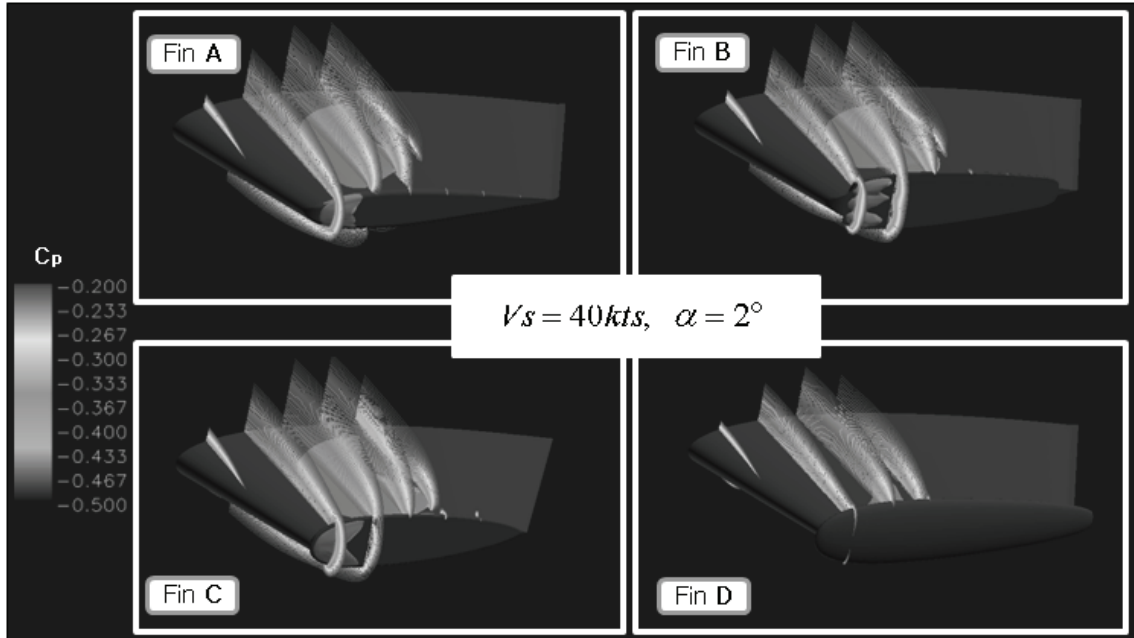


Fig. 13 Pressure distribution and cavitation behavior on/near fin surfaces ($V_s=40kts, \alpha = 2^\circ$)

끝 보오텍스는 공학적으로 많은 주목을 받아왔으며 특히 날개 끝 보오텍스 캐비테이션에 의한 악영향을 줄이기 위해서는 실험 및 수치해석을 통하여 유동구조를 정성적으로 이해하기 위한 노력이 필요한데 이것이 안정기 핀 설계에 있어서 핵심적인 사안의 하나라고 할 수 있다(Jang et al. 2005). 그러나 날개 끝 보오텍스 및 캐비테이션 현상을 이론적이나 실험적으로 규명하는 것은 쉽지 않기 때문에 이를 예측하고 활용하기 위한 많은 연구들이 수행되고 있다.

Fig. 10~13은 다양한 끝판을 가지는 안정기 핀 주위의 유동특성에 대한 수치해석 결과를 보이고 있다. 이 그림들에는 여러 선속과 받음각에서 서로 다른 끝판 형상을 가진 Fin A, B, C, D 주위의 압력 분포 및 캐비테이션 거동을 비교하고 있다.

Fig. 10은 선속 15kts, $\alpha=26^\circ$ 에 대한 계산결과로서 끝판이 달려 있지 않은 Fin A의 경우에는 날개 앞날에서부터 두 갈래의 날개끝 보오텍스가 발달하고 있으며 앞날을 따라서는 얇은층 캐비테이션이, Tip 부근에서는 날개 끝 보오텍스 캐비테이션이 뚜렷하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 그러

나 날개 끝판이 부착된 Fin B, C와 D의 경우에는 날개끝 보오텍스의 세기가 Fin A에 비하여 상대적으로 약해져서 날개끝 보오텍스 캐비테이션은 발생하지 않지만 앞날 부근에서는 날개끝 보오텍스와 얇은층 캐비테이션이 여전히 남아있는 것으로 나타났다. 또한 전체적으로 볼 때 Fin D의 날개 끝판이 Fin B와 C의 끝판에 비하여 캐비테이션의 저감에 가장 효과적인 것으로 보인다.

Fig. 11과 12에는 각각 선속 20kts, $\alpha=14.2^\circ$ 인 경우와 선속 25kts, $\alpha=9^\circ$ 인 경우에 대한 핀 주위 유동특성을 보이고 있다. 이들 경우 역시 위와 같은 경향이 나타나고 있으나 받음각이 작아 그 세기가 현저히 약해져 있으며 끝판형상이 최적화된 Fin D에서는 날개끝 보오텍스가 거의 사라져 날개 끝 보오텍스 캐비테이션이 나타나지 않을 것으로 예상된다.

선속 40kts, $\alpha=2^\circ$ 의 경우에서도 Fin D가 캐비테이션 성능에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 캐비테이션을 포함한 복잡한 문제에 대해서 CFD 해석이 캐비테이션을 정확하게 모사할 수 없지만 정성적으로 캐비테이션의 판단은 가능한 것으로 보인다.

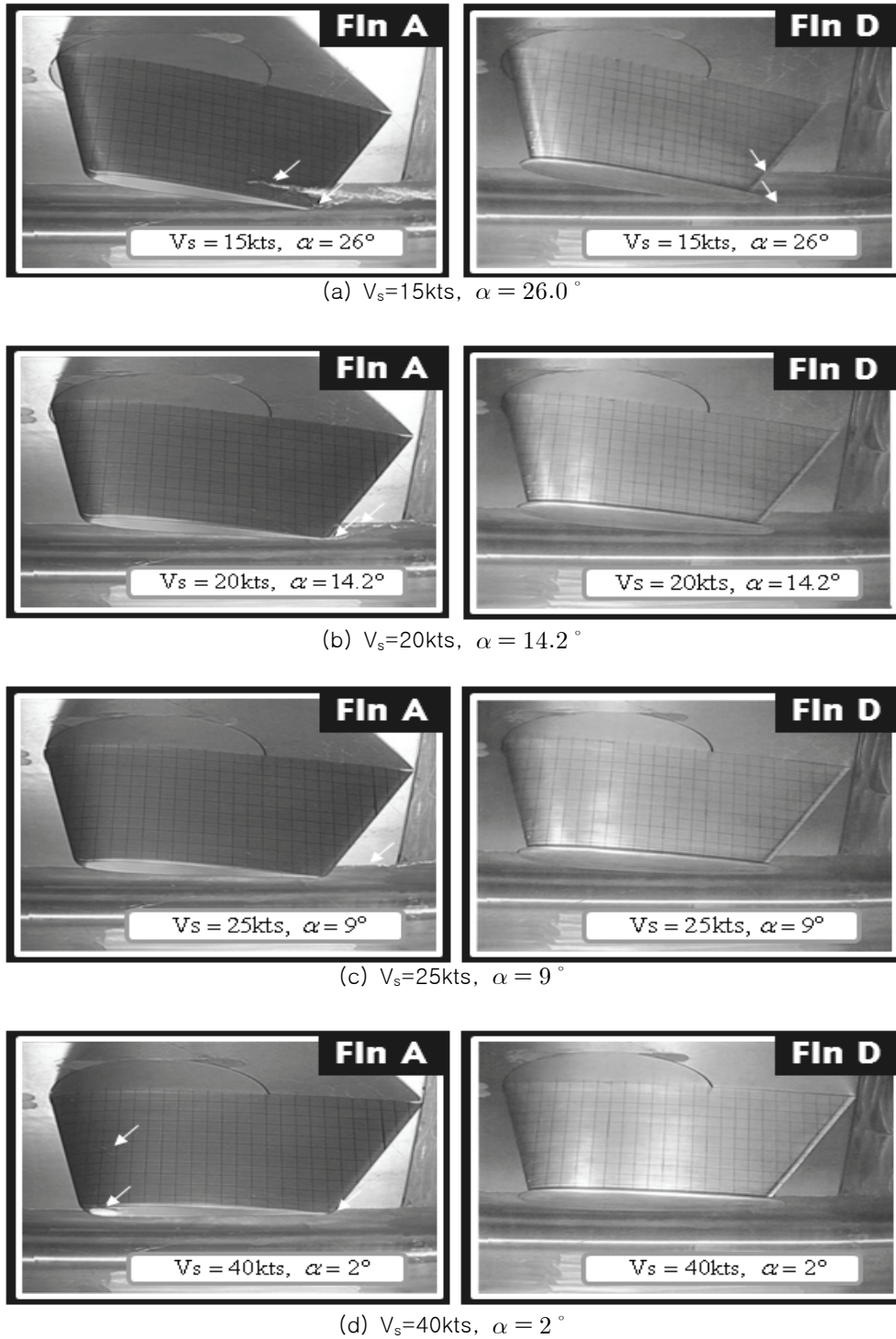


Fig. 14 Results of cavitation tests for Fin A and D

Table 3 Cavitation inception angles (Fin A)

Test Conditions		Cavitation Inception Angle(α)			
Ship Speed (Vs)	Max. Angle (α)	TVC-L	TVC-T	SC-S	SC-S
10 knots	26.0°	-	-	-	-
15 knots	26.0°	19.0°	19.0°	-	-
20 knots	14.2°	11.5°	11.5°	-	-
25 knots	9.0°	7.2°	-	-	-
40 knots	2.0°	1.0°	1.0°	0.0°	1.5°

Table 4 Cavitation inception angle (Fin D)

Test Conditions		Cavitation Inception Angle(α)			
Ship Speed (Vs)	Max. Angle (α)	TVC-L	TVC-T	SC-S	SC-S
10 knots	26.0°	-	-	-	-
15 knots	26.0°	23.0°	22.0°	-	22.0°
20 knots	14.2°	-	-	-	-
25 knots	9.0°	-	-	-	-
40 knots	2.0°	-	-	-	-

TVC-T: Tip Vortex Cavitation at Trailing edge
 TVC-L: Tip Vortex Cavitation at Leading edge
 SC-B : Sheet Cavitation on the Body of the fin
 SC-S : Sheet Cavitation on the Sole of the fin

4.3 캐비테이션 초생 반응각

Fig. 14와 Table 3, 4는 Fin A와 Fin D에 대한 캐비테이션 터널에서의 실험결과를 나타낸다. 날개 끝판이 없는 Fin A와 수치해석결과를 이용하여 최적화 된 날개끝판을 가지는 Fin D의 특성을 비교해 보았다. Fig. 14(a)에서 보듯이 끝판이 날개 끝 보오텍스를 감소시켜 캐비테이션의 세기 및 크기가 상당히 줄어들음을 볼 수 있다. 또한 Fig. 14(b)~(d)도 각 반응각에 대한 최대 작동각에서 실험한 결과로 선속이 증가할수록 Fin D에 부착된 날개 끝판이 날개 끝 보오텍스를 저감시켜 캐비테이션 성능을 상당히 개선된다는 사실을 확인할 수 있다.

Table 3, 4는 캐비테이션 초생 반응각을 보여주고 있는데 선속 10kts에서는 안정기의 최대 작동각 이내에서는 Fin A, D 모두 캐비테이

션이 발생하지 않았다. 선속이 15kts로 증가하면(Fig. 14a) Fin A는 19°에서 Fin D는 22°에서 날개 끝 보오텍스 캐비테이션이 발생하기 시작한다. 선속 20kts에서는 Fin A는 11.5°에서 날개 끝

보오텍스 캐비테이션이 발생하기 시작하지만 Fin D는 최대 작동각 $\alpha = 14.2^\circ$ 이하에서는 캐비테이션이 발생하지 않았다. 선속 25kts일 때에도 Fin A는 얇은층 캐비테이션 및 날개 끝 보오텍스 캐비테이션 이 발생하였지만 Fin D의 경우에는 최대 작동각 내에서 캐비테이션이 발생하지 않았다. Fin A에 대한 수치 유동해석의 결과(Fig. 10~13)와 실험결과(Fig. 14)를 비교하여 보면 실험 결과와는 달리 유동해석 결과에서는 앞날 부근에 나타나는 얇은 층 캐비테이션이 과도하게 예측되고 있으며 날개 끝 보오텍스 캐비테이션의 경우에도 세기가 강하며 (Fig. 14 a) 본 연구에서 수행한 수치해석에서 비교적 잘 모사할 수 있지만 세기가 약한 경우에는 제대로 모사하지 못하는 경향을 보였다. 그러나 유동해석에서 얻은 날개 끝 보오텍스 세기를 기준으로 핀의 날개 끝 보오텍스 캐비테이션 성능을 정성적으로 평가하는 것은 가능할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 안정기용 핀의 날개 끝 보오텍스 캐비테이션의 감소를 위하여 NACA 0015 날개단면으로 이루어진 안정기 핀에 다양한 날개 끝판을 부착하고 캐비테이션 모형 실험과 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 실험과 CFD해석을 통해 끝판이 없는 NACA0015 단면의 작동범위 범위 내에서 심한 날개 끝 보오텍스 캐비테이션이 발생함을 확인하였으며 CFD해석의 정성적인 신뢰성을 확인하였다.

2) 수치해석을 통해 최적화된 끝판을 장착한 핀은 날개 끝 보오텍스의 세기가 감소하여 캐비테이션 성능이 크게 향상됨을 모형실험을 통하여 확인하였다.

3) 캐비테이션 유동의 수치해석을 위하여 다양한 난류모형을 시험하여 본 결과 Spallart -Allmaras 모형과 standard $k-\omega$ 모형이 실험치에 가장 가까운 결과를 보여주었다.

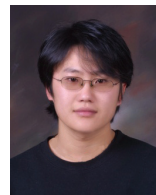
후 기

본 연구는 인하대학교의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Akihisa, K., Kazuaki, W., Hajime, Y., Masatsugu, M., Noriso, I., Shunji, S. and Koyu K., 2002, "On the mechanism of the bursting phenomena of propeller tip vortex cavitation," Journal of Marine Science and Technology, 6:181-192.
- Bu, G.T., Han, J.M., Song, I.H. and Sin, S.C., 2003, "Viscous Flow Analysis for the Rudder Section Using FLUENT Code," Journal of SNAK, Vol. 30, No. 37, pp. 30-36.
- Choi, J.E. and Chung S.H., 2005, "Cavitating Flow Characteristics around a 2-Dimensional Hydrofoil," Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp.119-130.
- Choi, J.-E., Chung, S.-H. and Lee, D.H., 2007, "Cavitating Flow Characteristics around a 2-Dimensional Hydrofoil Section," Journal of SNAK, Vol. 44, No. 2, pp. 74-82.
- "FLUENT 6.1 user's guide," 2005, Fluent Inc.
- "GRIDGEN user manual version 15," 2003, Pointwise Inc.
- Hwang, Y.S. and Park, J.J., 2004, "A numerical simulation of 2d viscous flows around rudder sections considering section type and gap shape," Proceeding of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 1070-1075.

- Jang, Y.H., Choi, Y.B., Lee, S.H., Park, J.S., Kim, S.P. and Park, J.J., 2005, "A study on the rudder optimization for the improvement rudder cavitation erosion," Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 346-351.
- Lee, S.-J., Seo, J.S. and Han, J.H., 2007, "Experimental Study on the Cavitation Noise of a Hydrofoil," Journal of SNAK, Vol. 44, No. 2, pp. 111-118.
- Seo, D.-W., Jeong, S.-W. and Lee, S.-H., 2007, "Influence of Tail Blades on the Performance of a Fin," Journal of SNAK, Vol. 44, No. 2, pp. 55-63.
- Song, I.H., Ahn, J.W., Moon, I.S. and Kim, K. S., 2000, "Influence of the Leading Edge Shape of a 2-Dimensional hydrofoil on Cavitation Characteristics," Journal of SNAK, Vol. 37, No. 1, pp. 60-66.
- Wilcox, D. C., 1993, Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries.



< 서 대 원 >



< 김 종 현 >



< 이 승 희 >