

# 와류생성기에 의한 선체반류 및 프로펠러 캐비테이션 특성 연구

설한신<sup>1</sup>·안종우<sup>1</sup>·김건도<sup>1</sup>·박영하<sup>1</sup>·김성표<sup>2</sup>·김기섭<sup>1,†</sup>  
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소<sup>1</sup>  
대우조선해양주식회사<sup>2</sup>

## Study of Ship Wake Characteristics and the Propeller Cavitation by a Vortex Generator

Hanshin Seol<sup>1</sup>·Jong-Woo Ahn<sup>1</sup>·Gun-Do Kim<sup>1</sup>·Young-Ha Park<sup>1</sup>·Sung-Pyo Kim<sup>2</sup>·Ki-Sup Kim<sup>1,†</sup>  
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering<sup>1</sup>  
Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., LTD. (DSME)<sup>2</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper systematically investigates and correlates pressure fluctuation and nominal wake characteristics according to the angle of the vortex generators by introducing the angle adjustment method of the Vortex Generator (VG). The vortex generators are installed at the port and starboard of a model ship. The vortex generator performance test is executed on a model ship installed in the Large Cavitation Tunnel (LCT) and the angle of VG is freely controlled by a servo motor. The systematic test results for the vortex generator show that the well-designed VG is an effective appendage for reducing the pressure fluctuation level and shows the direction of VG's angular design optimization.

**Keywords** : Vortex generator(와류생성기), Propeller cavitation(프로펠러 캐비테이션), Wake distribution(반류분포), Pressure fluctuation(변동압력), Large cavitation tunnel(대형 캐비테이션터널)

## 1. 서론

선박에서 와류생성기(Vortex Generator, VG)는 강한 보오텍스를 발생시켜서 프로펠러면에서 국부적으로 유속 증가를 유발하여 프로펠러 날개에 발생하는 캐비테이션의 특성을 제어하고 선미 변동압력을 감소하는 장치로 많이 사용되고 있다.

와류생성기는 선체표면에 부착되는 장치로서 기존 또는 신조 선박에 적용하여 프로펠러 캐비테이션 특성 제어, 선저면에 작용하는 기진력 감소와 추진기 소음감소 설계에 효과적인 방법이 되고 있다. 와류생성기는 크기, 형상, 위치 및 각도 등에 따라 프로펠러 캐비테이션에 의한 기진력 및 소음수준 그리고 선속에 도 영향을 주기 때문에 세심한 설계와 연구가 요구된다.

Lee et al. (2004)는 DWT 40,000톤급 정유운반선에 삼각형 뺨기형 와류생성기의 위치와 각도에 따른 반류 변화와 프로펠러 캐비테이션 변동압력 감소효과를 보였다. 그리고 원유운반선과

가스운반선을 대상으로 모형시험 경험을 바탕으로 VG 설계 파라미터 결정을 위한 가이드를 제시한 바 있다 (Jang et al., 2006). MR급 유조선에 대하여 CFD 및 모형시험을 통하여 설계된 VG를 실선에 적용하고 선박진동을 계측을 통하여 VG로 인한 진동 감소효과를 확인한 바 있다 (Cho et al., 2007). 와류생성기와 유사한 개념을 적용하여 선박 냉각수 배출구 주위에 Guide Plate(G.P)를 부착하여 프로펠러 유입유동을 가속하여 선체반류 불균일성을 개선하고 변동압력 및 속도성능에 미치는 영향 연구 (Lee et al., 2009)와 와류생성기가 선속에 미치는 영향에 대한 수치적 추정기법 개발에 관한 연구가 수행된 바 있다 (Choi et al., 2009).

VG 최적설계를 위해서는 VG 설계변수들 변화에 대하여 예인수조에서 저항, 자항시험 및 반류계측, 캐비테이션터널에서 캐비테이션 성능시험 등 다단계로 성능시험을 수행해야 한다. 특히 VG 설계 파라미터 변화에 대하여 수조 반류계측 결과로부터 설계 최적화 여부를 바로 판단하기에는 어려움이 따른다. 따라

서, VG 최적 설계를 위한 단계별 효율적인 성능검증 및 비용절감 방안이 요구된다.

본 연구에서는 와류생성기를 장착한 35K급 LPGC 실선을 대상으로 대형 캐비테이션터널(LCT) (Kim et al., 2010b)을 활용하여 프로펠러 캐비테이션 관찰과 변동압력 계측을 수행함과 동시에 좌·우현의 VG 각도를 대칭 또는 비대칭으로 각각 조절하면서 선체반류 분포 특성, 캐비테이션 관찰 및 변동압력 계측을 통하여 상관관계 등을 체계적으로 살펴보았다.

## 2. 와류생성기 설치 및 각도조절

모형시험에 사용된 와류생성기는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 뿔기형 사면체이며, 상류부가 뾰족한 형태이다. 와류생성기는 Fig. 2와 같이 LCT 시험부에 설치된 모형선 선미 좌·우현에 설치되며, 설치각도 정의는 Fig. 3과 같이 기존 실선에 장착된 상태를 0°, VG 상류부 뾰족한 앞날 부분이 아래로 기울 때를 음(-)의 각도로 위로 향할 때를 양(+)의 각도로 정의한다. Fig. 3에 나타난 VG 각도조절용 회전축은 모형선 표면에 수직으로 관통하여 설치된다. 모형선 내부에는 Fig. 4와 같이 회전축에 수직인 VG 각도조절장치가 있다. 구동모터와 각도 조절장치는 모형선내 주위 부가물과 간섭을 피하여 설치된다.

LCT에서 시험상태는 모형선 내부에도 물이 채워지고 압력이 걸리는 상태가 되어 모형선 내부에 설치된 장비는 수밀 되어야

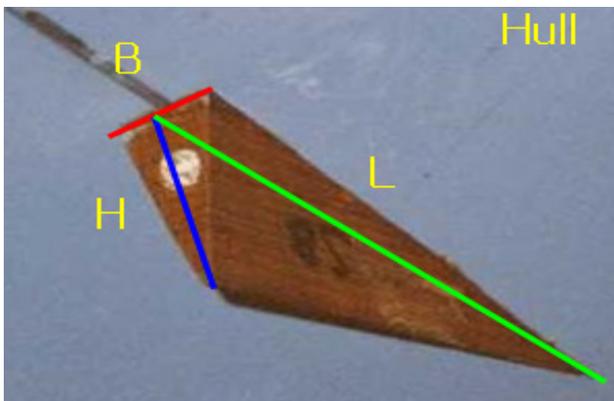


Fig. 1 Shape of vortex generator

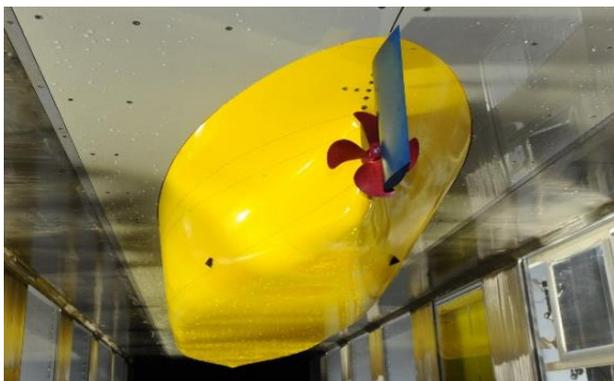


Fig. 2 Vortex generator installed on the model ship

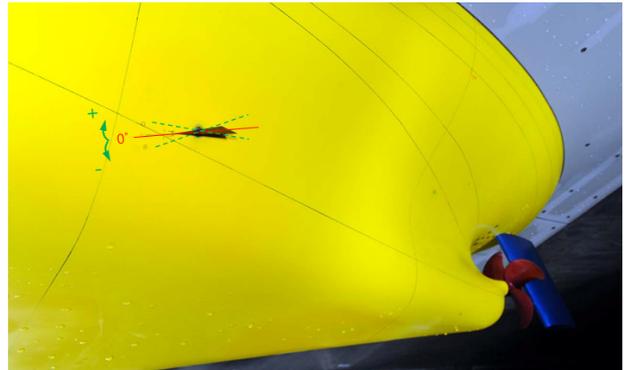


Fig. 3 VG location and definition of VG angular position



Fig. 4 Angular control system of vortex generator

한다. VG 각도조절은 모형선 내에 설치된 50W급 소형 서보모터를 이용하여 시험부 외부에서 원격제어 된다. VG 각도 조절 범위는  $\pm 20^\circ$ , 요구 토크는  $\pm 5.0\text{N}\cdot\text{m}$  이며 토크 요구조건을 충족하기 위하여 50:1의 기어비를 갖는 worm & wheel 기어를 사용하였다. 기어박스 상부에 각도 확인용 눈금판을 설치하여 초기에 서보모터 제어신호 등의 오류 여부를 확인할 수 있다. 이와 같이 VG 각도가 시험부 외부에서 제어되므로 시험부 유속, 프로펠러 회전수 및 캐비테이션 수가 설정된 상태에서 좌·우현 VG 각도를 독립적으로 설정이 가능하다. 따라서, 좌·우현 VG의 다양한 각도변화에 대하여 캐비테이션 거동 및 변동압력 특성 변화를 바로 확인할 수 있으며 관련 특성시험들을 효율적으로 수행할 수 있는 장점을 갖는다.

## 3. 프로펠러 캐비테이션 변동압력

대상선은 35K LPGC이며 LCT 모형시험 모형선(축적비 1/23.2) 길이는 7.4m, 모형프로펠러 직경은 250mm 이다. Design 및 ballast 흡수 각각에 대하여 일련의 모형시험 (Ahn et al., 2016)을 수행하였으며 LCT 모형시험 조건은 Table 1에 보는 바와 같다. 각각의 흡수에 대한 프로펠러 부하조건은 VG가 설치되지 않은 상태(w/o VG)의 자항시험 결과와 VG가 설치된 상태(w/ VG)의 자항시험 결과를 기준으로 설정하였다. 실선에 장착한 와류생성기 좌현 및 우현 설치각도(각각  $\alpha_p$  및  $\alpha_s$ )를 기준각  $0^\circ$ 로 정의하며, VG 각도변화 시에도 기준각  $0^\circ$ 에서 수행한

Table 1 Cavitation test conditions

Draft	$V_T$ (m/s)	$K_T$	$\sigma_{n0.7R}$	SWH(m)
Design w/ VG	6.5	0.1790	2.009	1.48
Design w/o VG	6.5	0.1769	2.000	1.48
Ballast w/ VG	6.5	0.1812	1.6703	1.10
Ballast w/o VG	6.5	0.1837	1.6692	1.10

자항시험 결과를 동일하게 적용한다. 캐비테이션 수( $\sigma_{n0.7R} = (p_{0.7R} - p_v) / (0.5 \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^2)$ )는 자항시험시 계측한 선미파고 높이 (Stern Wave Height, SWH)를 고려하여 산정하였다. 모형시험 시 시험부 유속( $V_T$ )은 6.5m/s로 고정하고 프로펠러 회전수 변화로 추력계수( $K_T = T / (\rho \cdot n^2 \cdot D^4)$ )를 조절한다. 여기서  $\rho$ (kg/m<sup>3</sup>)는 물의 밀도, n(1/sec)은 프로펠러 회전수, D(m)는 프로펠러 직경,  $p_{0.7R}$ (Pa)는 프로펠러 축중심 위 70% 반경에서 정압,  $p_v$ 는 증기압을 나타낸다.

와류생성기는 프로펠러 캐비테이션에 의하여 유기된 변동압력 또는 수중소음 저감을 위하여 프로펠러 형상설계와 더불어 부가적으로 활용된다. 최적 설치 위치와 각도가 매우 중요하며, 이를 결정하기 위하여 상당한 검토 기간이 요구된다. 와류생성기 설치위치 및 각도 각 각에 대하여 예인수조에서 저항 및 자항시험을 수행한 후에 그 결과를 이용하여 캐비테이션 시험을 수행하게 된다. 그러나 와류생성기 각도와 위치 최적화를 위하여 반복적으로 예인수조와 캐비테이션터널 시험을 순차적으로 수행하는 것은 많은 시간과 노력이 소요되어 매우 제한적이다.

따라서, 본 연구에서는 우선적으로 대형 캐비테이션터널에서 프로펠러 캐비테이션 변동압력 최소화 관점에서 와류생성기 설치각도 최적화를 위한 노력을 하였다. 변동압력 센서위치는 Fig. 5에 나타나 있다. 기준각도 0°를 중심으로 설치각도 조합에 따른 변동압력 계측을 수행하였다. VG 기준각도 0° 상태의 변동압력 감소량은 w/o VG 상태의 변동압력(kPa) 수준에 대비하여 흘수별로 다음과 같다. design흘수에서 차수별로 16.4%(1차), 42.5%(2차), 10.2%(3차), 71.5%(4차), 그리고 ballast 흘수에서는 36.4%(1차), 31.2%(2차), 43.5%(3차), 52.6%(4차) 수준으로 감소한 상태이다.

Design 및 ballast 시험조건에서 좌·우현 와류생성기 각도 조합에 대하여 중심위치(CO)에서 변동압력 계측치를 Table 2 와 3에 정리하였다. 변동압력 계측치는 ^ 표시로 차수를 구별하여 1차에서 4차까지 조화성분 크기를 표기하였으며, 음(-)의 각도로 설치될수록 변동압력이 감소함을 볼 수 있다. 좌·우현 와류생성기 모두 양(+)의 각도로 설치될 경우 와류생성기가 설치되지 않은 경우(w/o VG)의 변동압력과 유사해지는 것을 볼 수 있다.

와류생성기 각도변화에 프로펠러 회전수 변화는 Table 4와 Table 5에 보였다. 와류생성기가 0°로 설치된 경우와 동일한 추력계수에서 시험을 수행하면서 나타난 현상으로, 좌·우현 와류생성기 각도를 동일하게 설치할 경우에는 음(-)의 각도로 갈수록 회전수가 증가한다. 그리고 좌현 와류생성기 각도( $\theta_P$ )는 음(-)의 방향으로 갈수록 회전수가 증가하는 경향을 보여주며, 반면에 우현 와류생성기 각도( $\theta_S$ )는 음(-)의 방향으로 갈수록 회전수가 감소하는 경향을 보여준다.

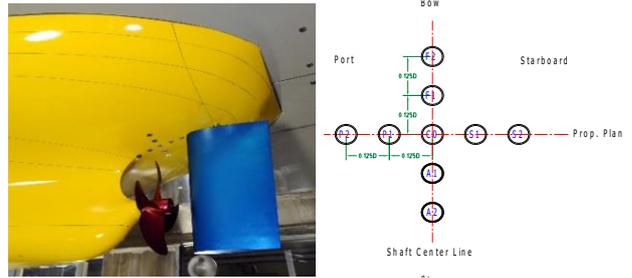


Fig. 5 Location of pressure sensors

Table 2 Level of pressure fluctuation at design draft condition (CO), unit : kPa

$\theta_P \setminus \theta_S$	-10°	-5°	0°	5°	10°
-10°	1.702 <sup>^</sup> 0.758 0.509 <sup>^</sup> 0.220		1.734 <sup>^</sup> 0.837 0.485 <sup>^</sup> 0.260		1.680 <sup>^</sup> 0.854 0.370 <sup>^</sup> 0.413
-5°		1.749 <sup>^</sup> 0.824 0.527 <sup>^</sup> 0.263		1.756 <sup>^</sup> 0.912 0.513 <sup>^</sup> 0.272	
0°	1.787 <sup>^</sup> 0.733 0.501 <sup>^</sup> 0.222		1.804 <sup>^</sup> 0.789 0.486 <sup>^</sup> 0.271		1.822 <sup>^</sup> 0.891 0.355 <sup>^</sup> 0.472
5°		1.917 <sup>^</sup> 0.794 0.615 <sup>^</sup> 0.318		2.002 <sup>^</sup> 0.933 0.627 <sup>^</sup> 0.337	
10°	1.946 <sup>^</sup> 0.809 0.756 <sup>^</sup> 0.438		2.206 <sup>^</sup> 0.942 0.819 <sup>^</sup> 0.460		2.222 <sup>^</sup> 1.198 0.654 <sup>^</sup> 0.631

\*차수별 변동압력(kPa) w/o VG(design 흘수):  
2.158<sup>^</sup>1.373<sup>^</sup>0.962<sup>^</sup>0.951

Table 3 Level of pressure fluctuation at Ballast draft condition (CO), unit : kPa

$\theta_P \setminus \theta_S$	-10°	-5°	0°	5°	10°
-10°	2.198 <sup>^</sup> 1.318 0.480 <sup>^</sup> 0.646		2.291 <sup>^</sup> 1.314 0.511 <sup>^</sup> 0.779		2.399 <sup>^</sup> 1.372 0.865 <sup>^</sup> 0.601
-5°		2.349 <sup>^</sup> 1.427 0.511 <sup>^</sup> 0.742		2.235 <sup>^</sup> 1.320 0.604 <sup>^</sup> 0.794	
0°	2.273 <sup>^</sup> 1.463 0.800 <sup>^</sup> 0.777		2.409 <sup>^</sup> 1.555 0.719 <sup>^</sup> 0.859		2.486 <sup>^</sup> 1.543 0.767 <sup>^</sup> 1.055
5°		2.353 <sup>^</sup> 1.499 0.986 <sup>^</sup> 0.863		2.748 <sup>^</sup> 1.659 0.859 <sup>^</sup> 1.060	
10°	2.525 <sup>^</sup> 1.616 1.182 <sup>^</sup> 0.646		2.910 <sup>^</sup> 1.959 1.210 <sup>^</sup> 1.057		3.677 <sup>^</sup> 2.455 1.413 <sup>^</sup> 1.651

\*차수별 변동압력(kPa) w/o VG(ballast 흘수):  
3.796<sup>^</sup>2.260<sup>^</sup>1.273<sup>^</sup>1.813

Table 4 Propeller RPS at design draft condition

w/o VG : 38.64		Starboard VG Angle ( $\theta_S$ )		
		-10°	0°	10°
Port VG Angle ( $\theta_P$ )	-10°	40.75	41.06	42.24
	0°	39.79	40.12	41.39
	10°	37.34	37.64	39.06

Table 5 Propeller RPS at ballast draft condition

w/o VG : 36.77		Starboard VG Angle ( $\theta_S$ )		
		-10°	0°	10°
Port VG Angle ( $\theta_P$ )	-10°	38.41	38.69	39.89
	0°	37.26	37.68	38.90
	10°	34.25	34.52	36.36

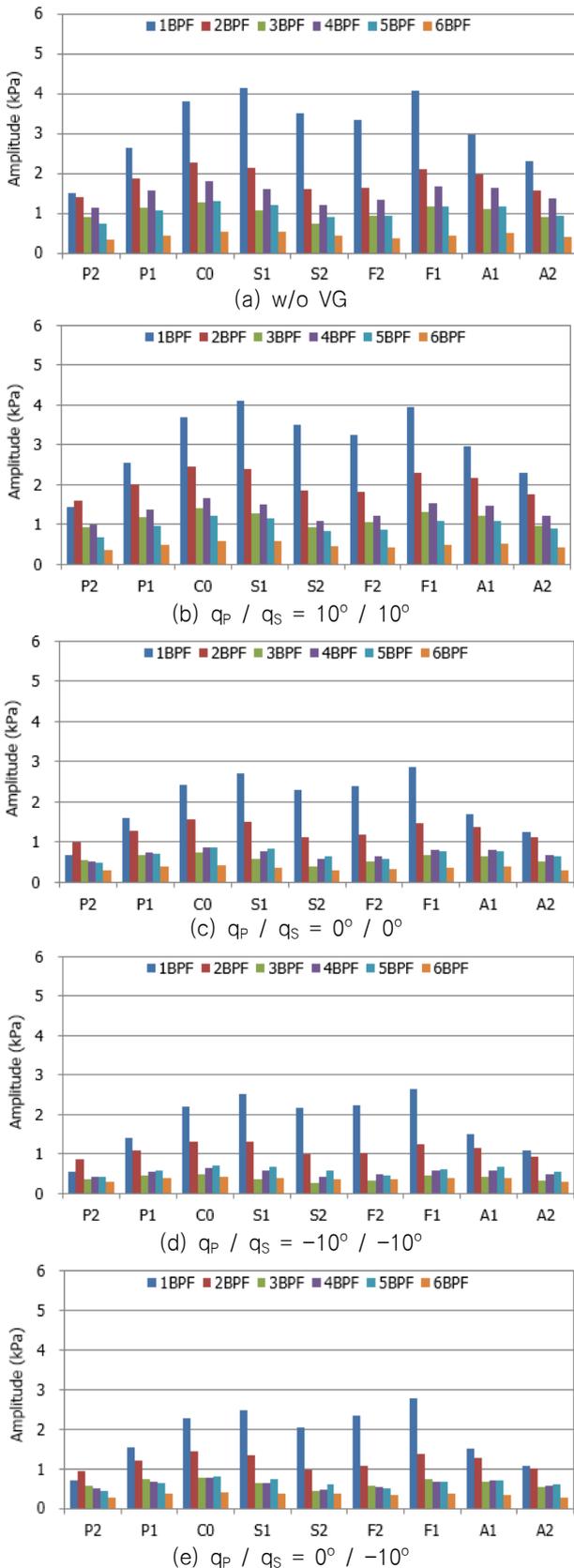


Fig. 6 Pressure fluctuation results of ballast draft condition (a) w/o VG, (b)  $q_p / q_s = 10^\circ / 10^\circ$ , (c)  $q_p / q_s = 0^\circ / 0^\circ$ , (d)  $q_p / q_s = -10^\circ / -10^\circ$ , (e)  $q_p / q_s = 0^\circ / -10^\circ$

Design과 ballast 흡수조건 모두에서 와류생성기 각도변화에 대한 프로펠러 회전수 변화는 동일한 경향을 갖는다. 추후에 와류생성기 다양한 설치각도에서 저항시험을 수행하면 유용한 자료가 되리라 사료된다.

Fig. 6은 ballast 흡수조건에서 Fig. 5의 압력센서 위치에서 계측된 변동압력을 보여준다. 와류생성기가 설치되지 않은 경우(w/o VG)와 좌·우현 와류생성기의 다양한 각도 조합에서 변동압력 계측결과를 보여준다. Fig. 6에서 볼 때 좌·우현 와류생성기의 설치각도에 따라 위치별 변동압력 특성이 중심위치(C0)의 경향을 따라가고 있다. Design 흡수조건에서는 ballast 조건에서의 결과와 유사한 경향을 보여 본 논문에서는 Table 2의 형식으로 언급한다. 좌·우현 와류생성기 각도가 대칭인 경우는 Fig. 6(b), 6(c), 6(d)에 나타나 있다.

대칭각도 중에서  $q_p / q_s = -10^\circ / -10^\circ$  에서 제일 작은 변동압력을 보인다. 반면에 Fig. 6(b)의  $q_p / q_s = 10^\circ / 10^\circ$  에서의 변동압력 수준은 Fig. 6(a)에 나타난 와류생성기가 설치되지 않은 경우(w/o VG)와 유사한 특성을 보여준다. Fig. 6(e)는 좌·우현 와류생성기 각도가 비대칭인 경우( $q_p / q_s = 0^\circ / -10^\circ$ )에 대한 결과를 보여준다. 이것은 Fig. 6(d)의 변동압력 수준과 유사하면서 Table 4에서 보는 바와 같이 프로펠러 회전수는  $q_p / q_s = 0^\circ / 0^\circ$  보다 약간 감소하는 경향을 보여주고 있다. 향후 변동압력 최소화를 위해서는 좌·우현 와류생성기의 대칭 및 비대칭 각도 설치도 모두 고려해야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 언급하고 있는 와류생성기 실험기법은 대형 캐비테이션터널을 활용하여 다양한 각도조건에서 변동압력을 계측하고 도출된 최소의 후보군에 대하여 저항시험을 수행하여 최적의 설치위치 및 각도를 도출하기 위한 것이다. 다음 장에서는 와류생성기 각도변화에 따른 공칭반류 변화와 변동압력 상호관계를 설명하고자 한다.

#### 4. 선체반류 특성변화

와류생성기는 프로펠러면에서 반류분포를 변화시킴으로써 프로펠러 캐비테이션 및 변동압력 특성을 제어한다. 따라서, 와류생성기 각도변화가 반류분포에 미치는 영향을 분석하여 캐비테이션 변동압력 감소효과와의 관계를 본 장에서는 살펴본다. 모형선 공칭반류는 대형 캐비테이션터널에서 LDV를 이용하여 계측하였으며, 시험부 유속은 Table 1에 캐비테이션 시험조건과 동일한 6.5m/s를 기준으로 하였다. 모형선 흡수는 흡수판 하부면 경계층 유동 등을 고려하여 design과 ballast 흡수 모두 70mm를 추가하였다 (Kim et al., 2010a; Kim et al., 2013). LDV로 3차원 반류계측에는 어려움이 있어서 축방향 속도분포만 계측하였다.

Fig. 7은 design과 ballast 흡수조건에서 와류생성기를 부착하지 않은 경우(w/o VG)와 좌·우현 각도를 대칭으로 조절한 3가지 경우에 대한 공칭반류 분포를 보여준다. Fig. 8은 와류생성기 좌·우현 각도를 비대칭으로 조절한 4가지 경우에 design과 ballast 흡

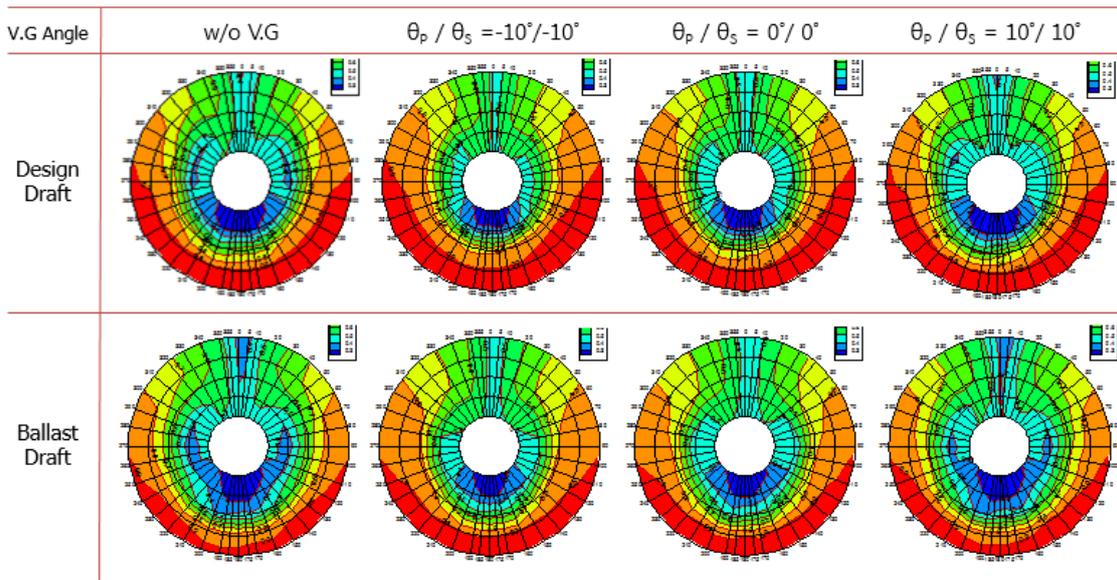


Fig. 7 Iso-axial velocity contours on symmetric VG angular position

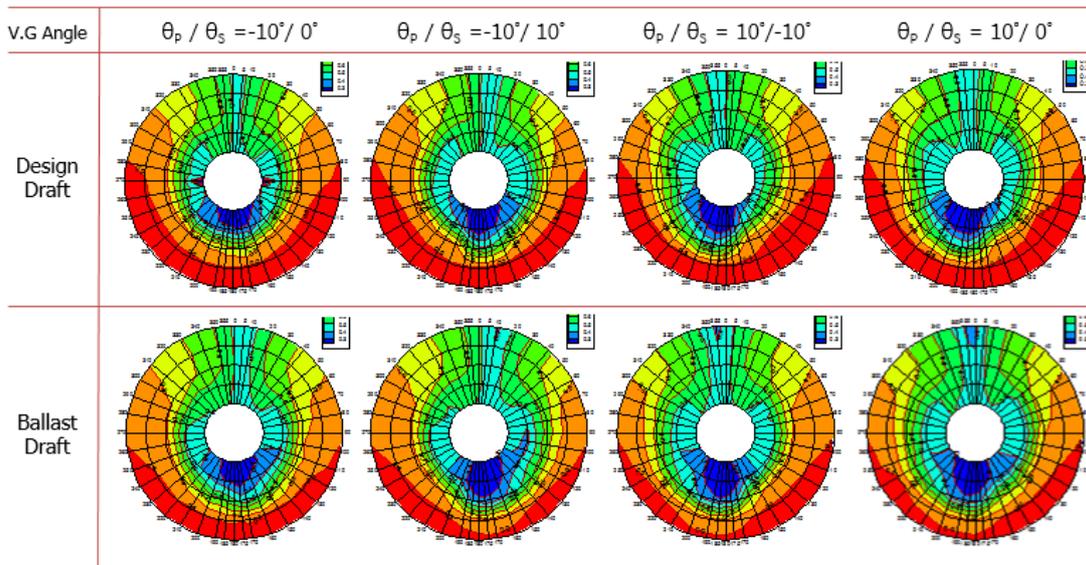


Fig. 8 Iso-axial velocity contours on asymmetric VG angular position

수 각각에 대한 공칭반류 분포를 보여준다. 와류생성기 장착시 정도의 차이는 있지만 프로펠러면에서 유속이 증가되어 반류수축(wake contraction) 효과가 나타난다. 와류생성기를 부착하지 않은 경우(w/o VG)와 비교해 볼 때 0° 위치에 고반류(high wake) 영역이 대부분 개선되었음을 볼 수 있다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 비대칭 VG 조건에서는 반류분포도 비대칭 경향을 보인다.  $q_p/q_s=10^\circ/10^\circ$ 에서는 와류생성기를 부착하지 않은 경우(w/o VG)와 유사한 반류분포를 보여주는데, 이는 와류생성기 설치각도가 유선방향과 거의 일치하기 때문인 것으로 추정된다. 앞서 VG 각도 변화와 대응하여 변동압력 변화를 보여주는 경향이 반류분포 특성 변화와도 물리적으로 타당함을 확인 할 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 각 각의 흘수조건에서 프로펠러면에서의 원주방향 평균유속 분포를 보여준다. 와류생성기 각도변화에 따

라 유속이 증가하는 경향은 design과 ballast 흘수 모두에서 유사하다. Fig. 9와 Fig. 10에서 VG 각도변화에 따라 프로펠러면에서 유속증가량이 큰 순서로 정리하면 Table 6과 같다. Table 2와 Table 3에 표기된 변동압력 크기와 비교해 볼 때 유속이 빠를수록 변동압력 수준은 낮아지는 경향을 보여준다.

일반적으로 프로펠러면에서 유속이 빠르면 동일 추력계수 유지시 회전수가 증가하는 경향을 보인다. Table 4와 Table 5에서 보면 좌·우현 와류생성기 각도가 대칭일 경우 이런 경향을 잘 나타내지만, 비대칭의 경우는 이런 경향이 확실히 보이지 않는다. 일정한 우현각도( $q_s$ )에서 좌현각도( $q_p$ )가 변할 경우 유속과 회전수 경향은 잘 나타나는 반면에 동일 좌현각도( $q_p$ )에서 우현각도( $q_s$ )가 변할 경우에는 오히려 반대의 경향이 나타난다. 추후에 체계적인 자항시험을 통하여 운항점과 회전수 변화와의

상관관계를 추정해 볼 필요가 있다. Fig. 9와 Fig. 10에서 와류 생성기 각도변화에 따른 유속증가는  $q_p/q_s = -10^\circ/-10^\circ$  기준으로 w/o VG와 비교하면 프로펠러 허브와 날개 끝 근방을 제외한 안쪽 반경에서 영향이 큰 것으로 보여준다.

와류생성기의 위치, 형상 및 각도 등을 조절하여 프로펠러 캐비테이션이 주로 발생하는 영역에서 유속증가가 가능하다면 활용 효과가 더 클 것이다. 특히, 와류생성기가 설치된 후 변화된 반류특성을 고려하여 프로펠러 형상 개선설계가 이루어지면 보다 바람직할 것이다.

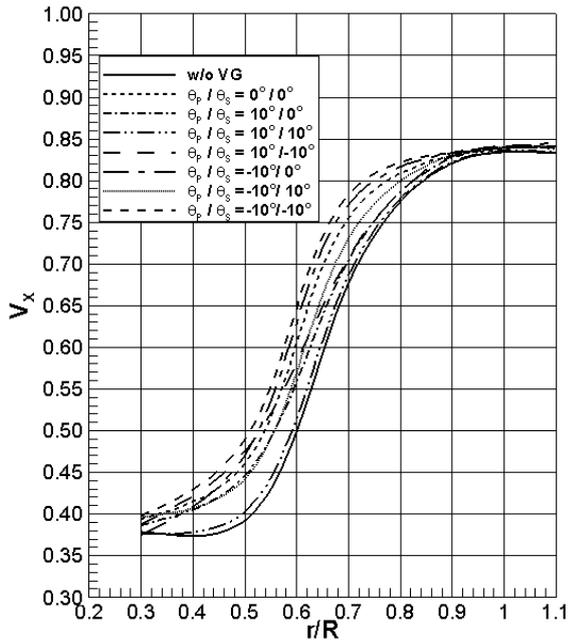


Fig. 9 Circumferential mean axial velocity distribution at design draft

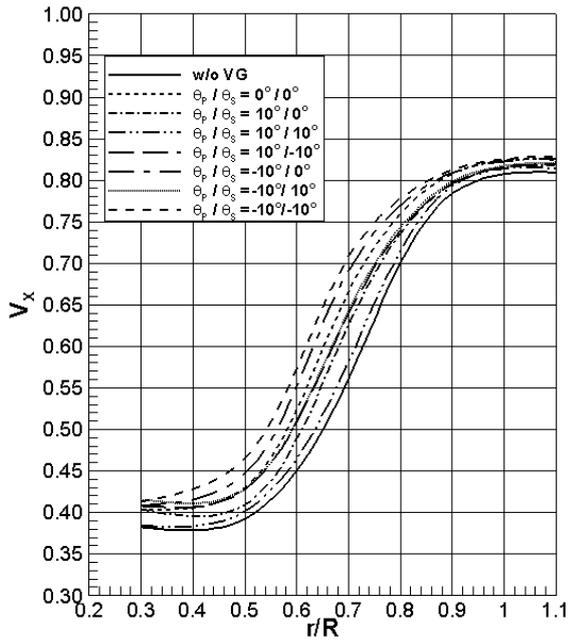


Fig. 10 Circumferential mean axial velocity distribution at ballast draft

Table 6 Order of axial velocity magnitude

order	$\theta_p / \theta_s$
1	$-10^\circ / -10^\circ$
2	$-10^\circ / 0^\circ$
3	$0^\circ / 0^\circ$
4	$-10^\circ / 10^\circ$
5	$10^\circ / -10^\circ$
6	$10^\circ / 0^\circ$
7	$10^\circ / 10^\circ$
8	w/o VG

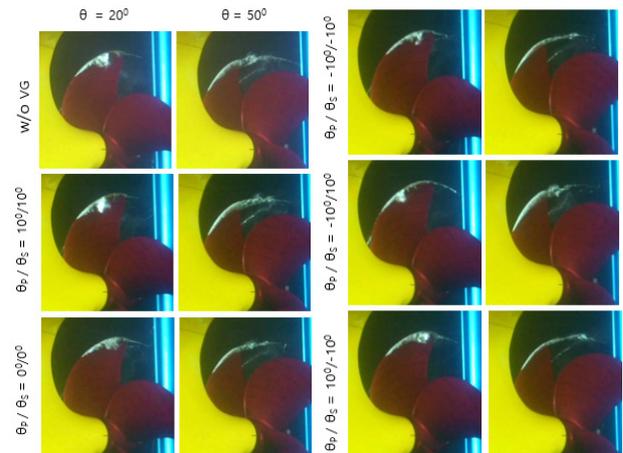


Fig. 11 Cavitation behavior on various VG angular positions (Ballast)

### 5. 프로펠러 캐비테이션 특성

와류생성기 설치 각도에 따라 공칭반류 분포 및 변동압력 특성과 더불어 프로펠러 캐비테이션 발생 특성을 관찰하였다. 캐비테이션 일생은 발생, 성장, 붕괴 및 소멸 과정에서 동적 특성을 갖기 때문에 정적인 사진으로 비교하기에는 많은 제한이 있지만 앞선 결과와 연관해서 검토해보고자 한다. Fig. 11은 ballast 흡수조건에서 관찰된 프로펠러 날개위치 각도( $\theta$ ) 20°와 50°에서의 캐비테이션 거동을 보여준다. 대부분의 경우에 와류생성기 미장착(w/o VG) 보다 캐비테이션 발생량이 감소하는 경향을 보인다.  $\theta_p/q_s=10^\circ/10^\circ$ 에서는 w/o VG와 캐비테이션 양과 거동에서 유사한 경향을 보여준다.  $q_p/q_s=10^\circ/-10^\circ$  에서 캐비테이션 양이 작은 것처럼 보이는데, Fig. 8에서 보는 바와 같이 공칭반류 분포가 비대칭이 되면서 캐비테이션이 좌현에서 조기에 발생하고, 우현에서 빨리 사라지기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 반대로  $q_p/q_s=-10^\circ/10^\circ$ 에서는 좌현에서 늦게 발생하고, 우현에서 늦게 사라지기 때문에 캐비테이션이 많이 발생한 것처럼 보인다.

또한, Table 3에 보인 바와 같이 변동압력 수준이 설치각도  $\theta_p/q_s=-10^\circ/10^\circ$  경우가  $q_p/q_s=10^\circ/-10^\circ$ 보다 적은 것으로 나타났다. 변동압력 관점에서는 좌현에서 캐비테이션이 늦게 발생하

는 것이 좀더 유리한 것으로 사료된다.  $q_p/q_s=-10^\circ/-10^\circ$ 에서의 캐비테이션 거동 특성이 가장 좋게 나타났는데, 변동압력 계측 결과와 유사한 경향을 보여준다. 전반적으로 캐비테이션 발생 특성은 변동압력계측 결과와도 유사한 경향을 보인다.

## 6. 결론

본 연구에서는 와류생성기 실험장치를 개발하고 다양한 각도 변화에 대한 변동압력, 공칭반류 및 캐비테이션 특성 변화를 확인하였다. 검증 결과 와류생성기는 프로펠러 캐비테이션과 변동압력 감소에 효율적으로 활용할 수 있는 장치이며, 본 연구에서 개발한 실험기법은 와류생성기의 최적 설치각도를 찾을 수 있는 효과적인 방법으로 사료된다.

변동압력, 공칭반류 및 캐비테이션 실험결과를 분석하면 상호간에 비교적 타당하고 일관성을 갖는 결과를 보여준다. 와류생성기는 프로펠러면 반류 최대치(peak) 영역에서 유속 증가를 초래하여 높은 반류(high wake) 영역을 감소시켜 캐비테이션 발생량과 변동압력 감소를 유도한다. 좌·우현 와류생성기 각도의 대칭 및 비대칭 최적의 조합을 통하여 최적의 반류분포가 도출될 수 있는 설치조건을 찾는 것이 중요하다. 또한 와류생성기 부착 효과를 높이기 위해서는 각도 최적화뿐 만 아니라 위치 최적화를 위한 노력도 요구된다. 또한 와류생성기 설치 상태에서 반류 변화가 큰 경우에는 이를 반영한 프로펠러 재설계도 필요하리라 본다.

## 후 기

본 연구는 주요연구사업 ‘고효율/저소음 선박을 위한 추진기 소음 원천기술 개발 및 실선적용 연구’ 과제(PES3890) 의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

Ahn, J.W. et al., 2016. Comparative study of full-scale propeller cavitation test and LCT model test for MR tanker. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 53(3), pp.171-179.

Cho, Y.R., Lee, C.H., Jeong, S.G. & Choi, Y.D., 2007, The optimization of vortex generator for MR class ship using CFD method. *Proceedings of the Annual Autumn Conference of SNAK*, Jeju, Republic of Korea, 22-23 November 2007.

Choi, J.E., Kim, J.H., Lee, S.B. & Lee, H.G., 2009, Computational prediction of speed performance for a ship with vortex generators. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(2), pp.136-147.

Jang, Y.H., Park, J.J., Kim, B.G. & Choi, Y.B., 2006, Note on the design and application of vortex generators. *Proceedings of the Annual Autumn Conference of SNAK*, Changwon, Republic of Korea, 2-3 November 2006.

Kim, K.S. et al., 2013, Correlation study on pressure fluctuation measurement at large cavitation tunnel with full-scale data for two container carriers. *The 12nd International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures*, Changwon, Republic of Korea, 20-25 October 2013.

Kim, K.S. et al., 2010a, A characteristics of model ship wake generated at MOERI large cavitation tunnel using a model ship, *Proceedings of the Annual Spring Conference of SNAK*, Jeju, Republic of Korea, 3-4 June 2010.

Kim, K.S., et al., 2010b, Propeller cavitation test and PIV measurements method in LCT and MCT of MOERI, *International Propeller Symposium '10*, Japan, April 2010.

Lee, C.J., Park, I.Y., Lee, Y.H. & Byeon S.H., 2004, A study on the performance affected by vortex generator for DWT 40,000Ton product carrier, *Proceedings of the Annual Autumn Conference of SNAK*, Sancheong, Republic of Korea, 20-22 October 2004.

Lee, Y.S. & Choi, Y.B., 2009, Study of the effective of wake control devices on ship performance components, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(5), pp.453-459.

