

대형 캐비테이션 터널 내 선박 모형의 3차원 선체 반류 계측을 위한 레이저 유속계 개발

백부근^{1,†}·안종우¹·설한신¹·박영하¹·김기섭¹·전호근²
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소¹
FMS(단텍 다이내믹스)²

Development of LDV(Laser Doppler Velocimetry) for Measuring Three Dimensional Hull Wake of Ship Model in Large Cavitation Tunnel

Bu-Geun Paik^{1,†}·Jong-Woo Ahn¹·Han-Shin Seol¹·Young-Ha Park¹·Ki-Sup Kim¹·Ho-Geun Cheon²
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering¹
Fluid & Solid Mechanics Solution(Dantec Dynamics)²

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.

Large Cavitation Tunnel (LCT) of KRISO enables us to conduct cavitation tests of the propeller attached to a ship model. As the ship model tests are done at rather high Reynolds number of 107~108, flow measurement system such as pitot tube cannot be employed because of structural safety problems in its system and difficulties in installing it within the test section. Thus, KRISO has developed new 3-D LDV system used in large test section of LCT. There are several difficulties in using 3-D LDV, which did not allow efficient operation of it. The first trouble was the calibration using the conventional pin hole. To make the focus with same laser-beam waists at the wanted position, the high spatial resolution CCD is utilized in the calibration procedure for 3-D LDV. The off-axis configuration provides two velocity components in the horizontal plane and on-axis configuration gives third velocity component in the vertical plane. The horizontal velocity components are also obtained in the coincidence mode, which prevents any misleading results in the off-axis configuration. The nominal wake of Aframax tanker model is measured by the developed 3-D LDV system. The measured hull wake showed good agreement with that obtained by CFD calculation.

Keywords : Hull wake(선체 반류), Laser Doppler velocimetry(레이저 유속계), Calibration technique(보정 기법), Cavitation tunnel(캐비테이션 터널)

1. 서론

물 위를 운항하는 선박이나 물 속을 항행하는 물수체(underwater body)의 유체역학적 성능 검증을 위해서 다양한 경험적 방법이나 수치해석적인 방법이 사용되어 왔다. 비록 해양운송체의 설계를 위하여 경험적, 이론적 방법들이 효과적으로 이용되고는 있으나 아직 많은 부분에 있어서 실제와 다른 유체역학적인 현상이 발생하여 실험적인 자료나 검증이 필요한 실정이다. 선박의 추진기로 사용되는 프로펠러의 설계에 있어서도 포텐셜 이론에 근거한 설계가 좋은 결과를 주고 있으나 선박의 선미와 프로펠러 사이의 상호작용, 특히 유효반류 등에 대해서는 아직 이론적 접근이 쉽지 않기 때문에 정확한 프로펠러 설계를 위해서

는 실험적인 자료에 근거하여 현재의 수치해석 방법을 검증하는 작업을 거쳐야 한다. 실험적 자료로서 주로 사용되는 것이 선체 반류나 선미와 프로펠러 사이의 전속도(total velocity) 자료이다(Choi, et al., 1999; Lee & Paik, 2004).

지금까지 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소(KRISO : Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering)에서는 선박의 프로펠러에서 발생하는 캐비테이션을 관찰하고 그 성능을 평가하기 위해서 Fig. 1과 같이 대형 캐비테이션 터널(시험부 크기 = 2.8 x 1.8 x 12.5 m³, 최고 유속 = 16.5 m/s)을 완공하고 여러 가지 장비들을 구축하여 기초 실험들을 수행하고 있다(Kim, et al., 2013).

또한 실선(full scale)에 가깝게 접근하는 높은 레이놀즈 수 조건을 만족시키기 위해 노력하고 있다. 시험부에 설치된 선박



(a) Oblique view of LCT



(b) Test section of LCT

Fig. 1 Photos of large cavitation tunnel (LCT)

모형 주위 유동을 정확히 계측하고 가시화 하기 위해서는 유속계측 장비가 필수적이다. 선형수조에서는 선체 반류를 계측하기 위하여 일반적으로 5공 피토크관을 사용한다. 대형 캐비테이션 터널에서 5공 피토크관을 이용하여 고속 유동을 계측하기 위해서는 시험부에 피토크관이 내재된 스트럿을 설치해야 하는데, 이 스트럿은 매우 강한 구조적 보강을 필요로 한다. 또한 피토크관 스트럿이 선미에 근접하여야 하므로 시험부 내 설치가 어려우며 스트럿이 선체 반류에 교란을 주어 정확한 선체 반류 계측을 어렵게 한다. LDV나 PIV(Particle Image Velocimetry)와 같은 유동 계측 장비는 시험부 내에 장비나 치구를 넣지 않기 때문에 피토크관 보다 더 유용하다. 면(field) 측정 방식인 PIV의 경우 대형 터널 내 많은 양의 추종입자(seeding particles)를 투입해야 하고 필요 시 정확한 캐비테이션 관찰을 위해 터널 용수(tunnel water)를 필터링하고 터널 벽에 잔재하는 입자들을 청소해야 하므로 많은 시간과 비용이 요구되므로 대형 캐비테이션 터널에 적용하는 것이 수월하지 않다. 또한 프로펠러와 선체 사이 유동장이나 방향타(rudder) 주위 유동장을 계측하기 위해서는 레이저 평면광의 조사(illumination)가 어려운 PIV 보다는 점측정(point-wise) 방식인 LDV가 더 효과적이다. 유동계측 방법의 장단점들을 고려하여 KRISO에서는 3차원 속도 계측이 가능한 LDV 시스템(단택 다이너믹스)을 대형 캐비테이션 터널에 구축하였다 (Paik, et al., 2010). 이 3차원 LDV 시스템은 공기 매질에서 가습기 등을 이용한 미세 물 입자들의 3차원 유속을 1 kHz 이상의 높은

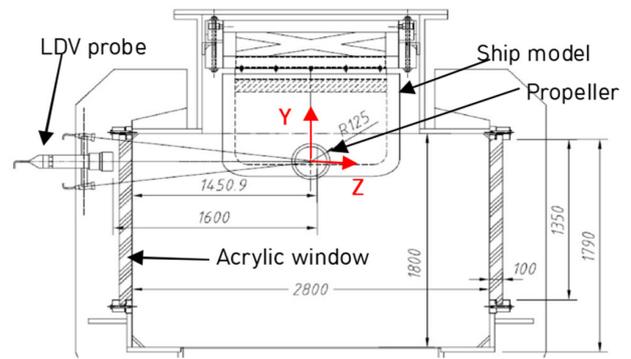


Fig. 2 Tunnel's test section and conventional LDV probe configuration looking upstream

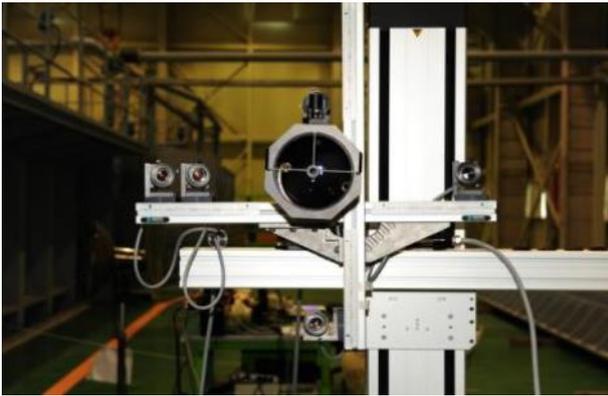
데이터율(data rate)과 95% 이상의 유효치(validation)로 계측하였으나 터널 용수(water)가 가득 차 있는 시험부 내부의 3차원 유동을 계측하는 데 있어서는 여러 가지 제약으로 인하여 효율적인 활용이 쉽지 않았다. 본 논문에서는 이 3차원 LDV 시스템의 효율적 활용을 위해 실험적으로 극복한 내용들을 기술하고자 한다. 그리고 최종적으로 구현된 3차원 LDV 시스템을 이용하여 아프라막스(Aframax) 탱커 모형선의 선체 반류를 계측하였고 이 결과들을 CFD로 계산한 결과와 비교하였다.

2. 초기 3차원 LDV 시스템

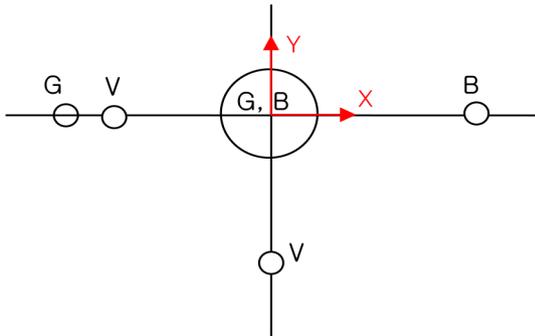
대형 캐비테이션 터널에서는 물속에 잠기는 물수체뿐만 아니라 수상선에 대한 유동 계측이 수행될 가능성이 높다. 터널에서 실험을 수행하는 선박 모형의 경우 Fig. 2와 같이 터널의 상판 덮개에 가깝게 위치하게 되므로 일반적인 5 빔(beam) 프로브(probe)의 배치로는 터널의 상판에 가깝게 위치하는 프로펠러 주위 유동을 계측하기 어렵다. 결국 3-D LDV 프로브에서 맨 위에 위치하는 프로브의 배치를 달리해야 정상적인 3-D LDV 계측이 가능해진다. 이와 같은 결점을 극복하고자 Fig. 3과 같은 새로운 프로브 배치를 고안하여 시스템을 구축하였다, Table 1은 초기에 구축된 3차원 LDV 시스템의 사양을 나타낸다.

Table 1 Specification of original 3-D LDV system

Item	Value
Wave length	514.5 nm (green) 488 nm (blue) 476.5 nm (violet)
Focal length	1600 mm
Beam expander ratio	1.5
Beam spacing	320 mm
Beam diameter	4.1 mm
Control volume size	dx = 0.1918 ~ 0.2065 mm dy = 0.1903 ~ 0.2055 mm dz = 1.523 ~ 2.065 mm



(a) Photo of 3-D LDV probe



(b) Configuration of 3-D LDV probe
(G :green, B :blue, V :violet)

Fig. 3 Original design of 3-D LDV system

수평면에서의 2차원 속도 성분은 수평 프레임에 배치된 green과 blue 빔들을 이용해서 얻을 수 있으며 높이 방향 속도 성분은 violet 빔을 이용해서 얻을 수 있다. 3-D 프로브는 터널 밖 공기 중에 놓이고 프로브를 출발한 레이저 빔들은 100 mm 두께의 시험부 아크릴 창을 지나 물속으로 조사된다.

이 때 빔의 굴절이 발생하므로 보정(calibration)작업이 필요한데, 특히 violet 빔의 경우 터널 폭 방향 이동에 따라 가장 민감하게 영향을 받을 수 있다. 보정작업을 위해서 많이 사용되는 방법이 계측하고자 하는 위치에 핀홀(pin hole)을 설치하여 5개의 빔(2개의 빔은 합쳐져 1개의 main 빔으로 구성됨)을 핀홀에 통과시키는 작업이 필요하다. 그런데 핀홀의 직경은 200 μm로서 매우 작다. 육안으로 핀홀을 통과한 빔들이 측정 체적 위치에서 초점이 모두 잘 맞도록 보정작업을 수행해야 하나 핀홀이 터널 내 시험부 중심부에 위치할 경우에는 빔들이 핀홀을 통과하였는지 육안으로 확인하는 것이 거의 불가능하다. 따라서 효율적인 보정작업을 위해서는 터널 외부에 터널 시험부와 유사한 환경을 조성하여 보정하는 것이 필요하였다. 이를 위해서 800 x 800 x 2100 (mm³)의 소형 수조를 제작하였고 5개 빔들에 대한 보정 작업을 수행하였다.

3. 개선된 3차원 LDV 시스템

위의 2절에서 기술한 초기 3-D LDV system은 5W Ar

CW(Continuous Wave) 레이저를 사용했는데 이 레이저의 주(main) 빔은 shift되지 않은 빔 3개와 shift된 빔 3개로 나누어지며 빔을 분리하는 transmitter, blue와 green 빔을 결합하는 combiner, 5m 길이의 optic fiber 등에서 각 빔의 파워 손실이 발생하여 최종 빔 프로브에서는 50 - 70 mW 정도의 빔 파워를 보였다. 이 빔 파워는 각 빔이 100 mm 두께의 시험부 아크릴 창과 약 1400 mm의 터널 용수를 지나 계측 체적을 형성하고 도플러 신호를 후방 산란 방식으로 방출하기에 너무 약하였다. 특히 높이 방향으로 배치된 violet 빔의 경우, 전체 multi-line 빔 에너지 5W에서 violet 빔이 차지하는 비율이 8% 정도이고 single-line 빔 자체가 낮은 에너지를 가지고 있어 violet 빔의 보정 작업이 매우 힘들게 된다. 따라서 각 프로브에서 방출되는 레이저 빔의 파워를 증가시켜 후방 산란되는 도플러 신호를 충분히 감지하도록 하는 것이 중요하였다. 이를 위해 본 연구에서는 3방향의 프로브에 각각 다른 레이저를 사용하도록 CW 레이저 대신에 DPSS(Diode Pumped Solid State) 레이저 3대를 Fig. 4와 같이 배치하였다.

새로운 DPSS 레이저 시스템에서는 violet 빔 대신에 yellow(532 nm) 빔을 사용하였다. 최종적으로 DPSS 레이저들을 이용하여 각 프로브의 빔 파워가 150 - 200 mW가 되도록 조절하였다.

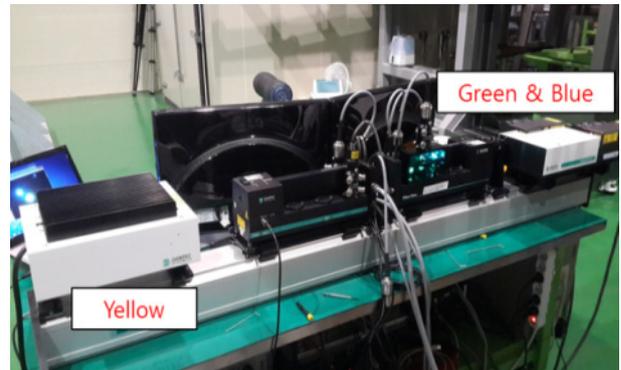


Fig. 4 New DPSS laser system

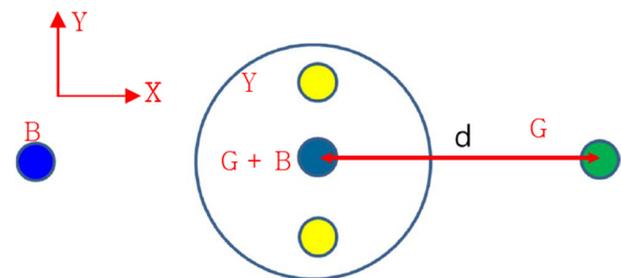


Fig. 5 3rd configuration considering yellow beam probes
(G :green, B :blue, Y :yellow)

다음으로 문제가 되었던 부분은 yellow(초기 시스템의 violet) 빔 프로브의 배치이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 Y 방향은 높이 방향이며 Z 방향은 시험부 아크릴 창으로부터 멀어지는 방향이다. 높이 방향으로 배치되어 있는 yellow 빔의 경우(Fig. 3(b)) 3-D LDV 프로브

를 Z 방향으로 이동시킬 경우 수신되는 도플러 신호 세기의 변화가 커져 아크릴 창에 의한 굴절 효과에 매우 민감하였다. 따라서 yellow 빔의 Z 방향 움직임에 대한 민감도를 작게 하기 위해서는 yellow 빔 프로브들을 주 프로브의 중심을 기준으로 대칭되게 배치하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 Fig. 5와 같이 빔 프로브들을 배치하는 configuration을 새롭게 제안하였다. 비록 Y 방향의 계측 영역에서 4~5 cm 정도의 손실을 가져 올 수 있으나 설계 흡수에 대한 선체 반류 계측에는 문제가 없음을 확인하였다. 또한 이 configuration의 장점은 yellow 프로브들에 대해서 복잡한 보정작업을 수행하지 않아도 되기 때문에 3-D LDV 시스템의 빔 정렬(alignment) 작업 시간을 줄일 수 있고 yellow 빔들에 의한 도플러 신호의 수신율을 높일 수 있다는 것이다. 그러나 yellow 빔들 사이의 거리가 감소함에 따라 측정 체적의 형상이 z 방향으로 길어지게 되어 $(dx, dy, dz) = (0.22, 0.22, 8.5)$ mm의 체적을 갖게 된다. 물론 z 방향으로 측정 체적이 길어지는 현상은 유속 계측 시 계측치의 불확실성에 영향을 줄 수 있으나 측정 체적에서 형성되는 간섭 무늬의 fringe 간격이 9.4 μm 가 되어 좋은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 갖도록 도와 줄 수 있다.

각 빔의 웨이스트(waist) 위치의 편차가 커짐에 따라 z 방향의 보정 작업에 오차가 크게 발생할 수 있다. 아울러 시험부 창의 왜곡 현상을 고려하기 위해서는 시험부에 물을 채운 후 보정 작업을 수행해야 하므로 핀홀 대신에 정교한 보정 작업이 가능한 가시화 도구가 추가로 필요하다. 이를 위해 CCD(Charge Coupled Device) 칩(chip)을 이용한 보정 도구를 준비 하여 3차원 LDV에 대한 보정 작업을 수행하였다. Fig. 6(a)는 고해상 CCD 칩(단택 다이너믹스)을 이용하여 터널의 시험부에서 5개의 빔들에 대해서 보정 실험을 하는 모습을 보여준다. 사진 속의 적색 원으로 표시된 부분이 CCD 칩이다. CCD 칩의 공간해상도는 1024 x 800 pixels이었고 각 pixel의 pitch는 10 μm 이었다. CCD 칩은 터널 상부 또는 하부로부터 충분한 길이의 스트럿(strut)이나 삼각대를 이용하여 정수중인 시험부 내에 설치되며 CCD 칩에서 감지된 미약한 빔 영상은 감도를 증폭하여 Fig. 6(b)와 같이 노트북 컴퓨터 등을 이용하여 편리하게 관찰할 수 있다. 주 프로브에서 방출된 기준 빔을 근거로 하여 yellow 빔 2개를 제외한 3개의 빔들의 웨이스트들이 기준 빔의 웨이스트와 잘 중첩이 되도록 각 프로브에 부착된 미세 광학 조절기를 조작하였다. 이 때 CCD 칩의 손상을 방지하기 위하여 각 빔의 세기를 최소로 조절하는 작업이 필요하다.



(a) CCD chip in the test section



(b) CCD chip image showing focused beams

Fig. 6 Calibration test using CCD cell in the test section

터널 시험부의 아크릴 창은 모든 테두리가 터널의 프레임에 단단히 고정되어 있고 터널 용수에 의한 수압, 유속 변화에 의한 압력 변화를 받아 아크릴 면이 균일하게 형성되기 어렵다. 즉, 터널 시험부 창의 면이 고르지 못하고 왜곡되어 있다면 앞서 언급한 소형 수조에서의 보정 작업은 큰 의미가 없게 된다. 결국 터널 시험부 내 특정 계측 위치에서 보정 작업을 다시 수행하여야 하나 앞 절에서 언급한 바와 같이 핀홀을 이용한 보정 작업을 터널 시험부에서 수행하는 것은 매우 힘들다. 특히 터널 시험부 창으로부터 멀어지는 방향(z)으로

4. 선박 모형의 선미 반류 계측

먼저, 터널 시험부의 균일 유동을 계측하기 위해서 터널 상판 및 상부 hatch를 덮은 상태에서 3차원 속도 성분을 취득하고자 하였다. 시험부의 상부를 노출시키지 않고 시험부의 유속이 7.4 m/s일 때의 균일 유동을 계측하였다. 계측 위치는 시험부 높이의 중간이었다. 또한 폭 방향 계측 위치는 폭 방향 중심으로서 시험부 관측 아크릴 창으로부터 1400 mm 떨어진 곳이었다. 계측된 3개의 속도 성분들은 성공적으로 잘 계측이 되었으며 각 속도에 대해서 약 50 - 150의 데이터율로 계측 가능하였다. 이 때 데이터율은 LDV 시스템의 감지부에서 인식하는 초당 도플러 신호의 개수를 의미한다. LDV 계측에 있어서 데이터율에만 의존하는 것은 좋지 않은데 실제 도플러 신호가 아니라 잡음(noise) 성분에도 데이터로 인정되어 표현될 수 있기 때문이다. 따라서 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용한 신호 검증 알고리즘에 근거하여 정확히 도플러 신호를 검출하고 이를 데이터율에 반영하는 작업이 중요하다. 본 LDV 시스템에서는 이러한 검증 알고리즘을 이용하여 도플러 신호를 잡음신호로부터 구별할 수 있었으며 유효치(validation)란 항목으로 계측된 데이터를 평가하였다. 본 실험에서 계측된 유효치 값은 90 - 100%로서 매우 양호하였다. Fig. 7은 감지된 3개 방향의 도플러 신호를 보여준다. 주어진 유속에서 계측한 평균 속도, 평균 속도에 대한 불확실성 값들을 x, y, z 방향에 대해 Table 2에 표시하였다.

LCT 시험부의 아크릴 창은 시험부 내 모형 관찰을 용이하게 하기 위해 1.0 x 1.3 m²의 크기를 갖는데 구조적 강도를 높이기 위해 아크릴 창 두께를 100 mm로 제작하였다. 두께가 커짐에 따라 아크릴 창 전체에 균일한 편광(polarization) 분포를 생성시키는 것은 매우 어렵게 된다. 또한 아크릴 창 전체에 걸쳐서 두께 분포를 동일하게 제작하는 것도 매우 어렵다. 이렇게

국소적으로 다르게 분포하는 편광과 두께로 인하여 레이저 빔의 굴절이 다르게 나타나거나 도플러 신호의 왜곡 등이 발생하여 계속 데이터를 감소시키거나 계속 신뢰도를 저감시킬 수 있다. 본 연구에서는 비교적 균일한 분포의 아크릴 창을 시험부에 설치하여 실험을 수행하였다.

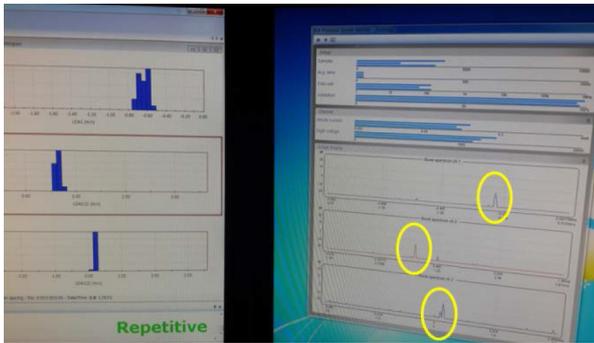


Fig. 7 Doppler signals detected by 3-D LDV system

Table 2 Uncertainty of measured values

	Mean(m/s)	Uncertainty(%) in mean
U(X)	7.382	0.06
V(Y)	0.013	0.08
W(Z)	0.014	0.07

다음으로는 개발된 3차원 레이저 유속계를 이용하여 아프리카 막스급 선형에 대한 공칭 반류를 계측하였다. 대상 모형선은 Fig. 8에 나타내었고 해당 선박에 대한 기본 자료는 Table 3에 나타내었다. Fig. 9는 1/38.4의 축척으로 제작한 대상 모형선의 공칭 반류를 계측하고 있는 모습을 보여준다. 선박 모형으로 유입되는 자유흐름속도 U_0 는 7.4 m/s이었고 레이저 유속계로 계측된 값들을 U_0 로 무차원화 하여 Fig. 10(a)와 같이 속도 벡터와 함께 속도 분포 contour를 나타내었다.

Fig. 10(a)의 선미 반류 계측 결과를 보면 대칭적으로 나타나는 빌지 보오텍스를 확인할 수 있으며 선체를 따라 발달한 경계층의 영향으로 0도 근처에서 $0.3U_0$ 의 매우 낮은 속도 분포가 나타남을 알 수 있다. 비록 Fig. 10(a)의 결과가 탱커 선형의 전형적인 공칭 반류의 모습과 유사하나 그 결과에 대한 신뢰성을 얻기 위하여 해당 선박에 대해 다른 방법으로 얻은 공칭 반류와 비교하는 작업이 필요하다. 선형 수조에서 5공 피토관을 이용하여 얻은 결과와 비교하는 것이 일반적이나 본 연구에서는 실험 일정의 한계로 인해 해당 선형에 대해 피토관 계측을 하지 못하였다. 또한 선형 수조에서는 2 m/s 내외의 유속에서 반류 계측을 수행하기 때문에 대형 캐비테이션 터널의 높은 유속에서 계측한 반류와 그 형태가 다르다고 알려져 있다. Kim, et al. (2013)이 보고한 바에 의하면 대형 캐비테이션 터널의 고속 유동에서 계측한 선미 반류는 선형 수조에서 계측한 선미 반류에 비해 폭이 좁아지고 반류의 중심을 향해 반류가

수축되는 경향이 나타난다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 수치해석을 이용하여 얻은 이상적인 공칭 반류 계산 결과를 이용하여 Fig. 10(a)와 비교하고자 하였다. 선체 수치유동해석은 상용 유동해석 소프트웨어인 ANSYS FLUENT를 이용하여 계산을 수행하였다. 모형선의 추진기 회전면에서의 반류를 계산하기 위하여 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식을 사용하였고 난류 모델은 Reynolds Stress Model 을 적용하였다. 해석을 위한 전체 격자수는 약 200만개 이며 수치 경계조건은 시험이 이루어진 KRISO 터널의 형상을 고려하여 설정하였다. 계산된 모형선의 공칭 반류를 Fig. 10(b)에 나타내었다. Fig. 10을 살펴 보면 방향 속도분포뿐 만 아니라 프로펠러 면을 따라 거동하는 속도벡터들도 유사한 형태를 보여 주어 3차원 레이저 유속계를 이용하여 공칭 반류를 적절히 계측하였음을 알 수 있다.

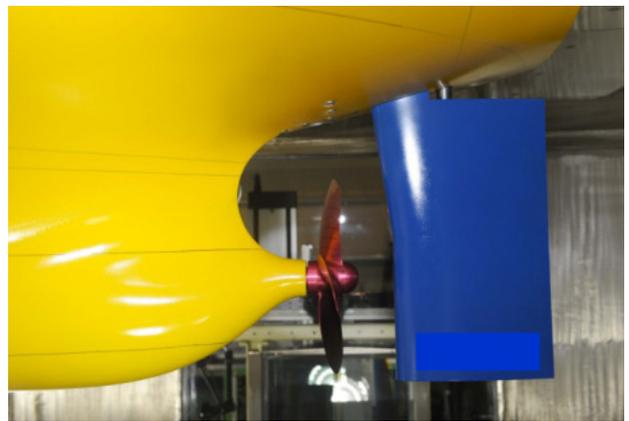


Fig. 8 Ship model installed in the test section of LCT

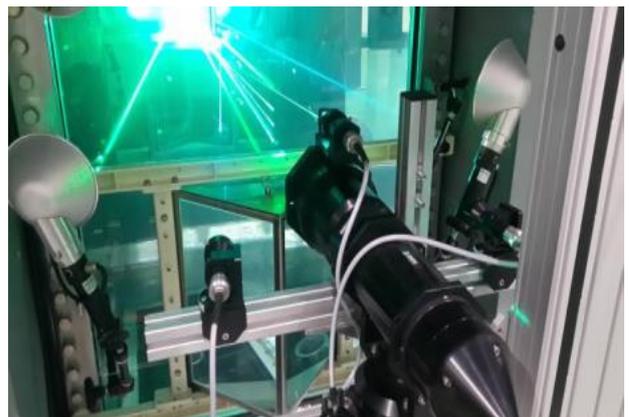


Fig. 9 Photo of velocity measurements using 3-D LDV

Table 3 Principal particulars of Aframax class ship hull

Length BP	239.0m
Length WL	243.5m
Draught	13.6m
Breadth	44.0m

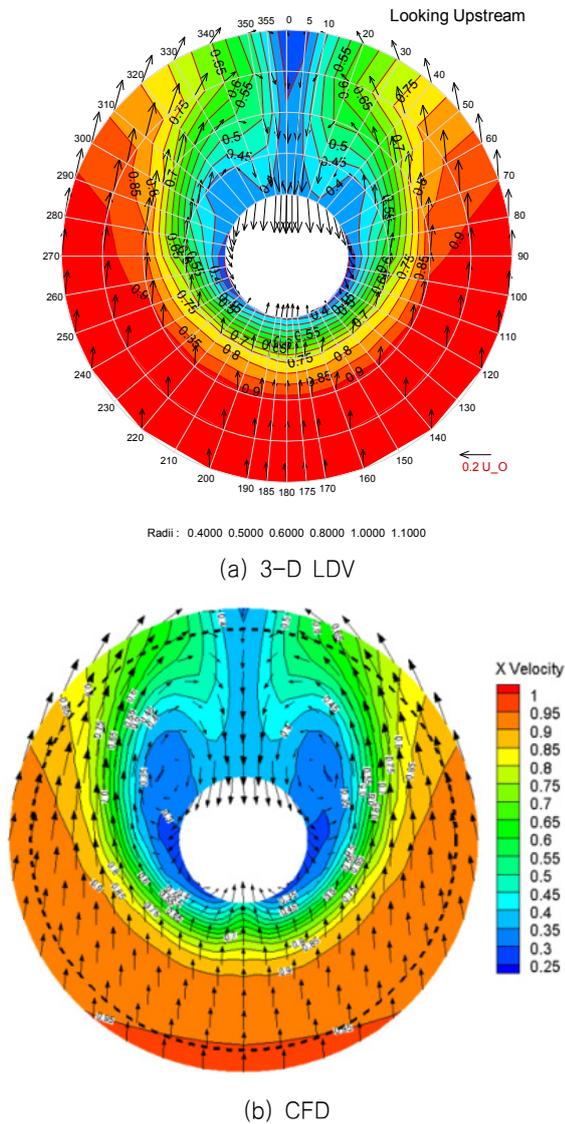
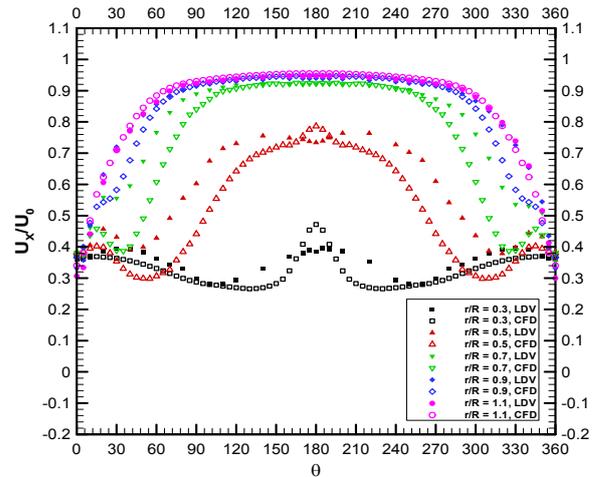


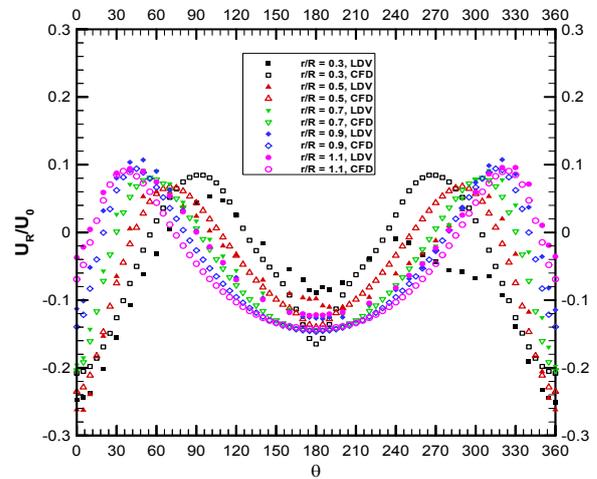
Fig. 10 Hull wakes obtained by 3-D LDV and Fluent

마지막으로 계측된 3차원 속도 성분들을 합성 또는 분해하여 축방향 속도(U_x), 반지름방향 속도(U_r), 회전방향 속도(U_θ)를 추출하였고 자유흐름속도 U_0 로 무차원화 하였다. 이 계측된 3차원 속도 성분들을 CFD로 계산하여 얻은 3차원 속도 성분들과 비교하여 Fig. 11과 같이 나타내었다. 축방향 속도성분의 경우 약 3%의 속도 크기 차이를 보여주지만 전체적인 속도 분포의 형상은 매우 유사하다. 반지름 방향 속도성분의 경우 실험 계측치와 계산 결과와의 차이가 더욱 줄어들어 $r/R = 0.3$ 에서의 비교 결과를 제외하면 서로 유사한 속도 분포를 나타내었다.

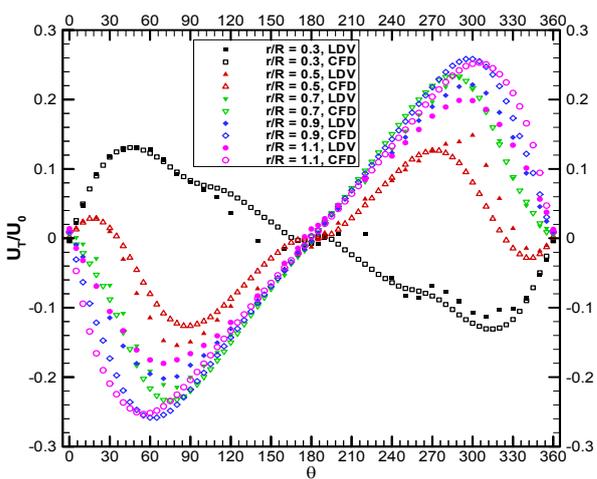
모형 선박의 공칭반류에서 가장 관심 있는 속도 성분이 회전방향 속도 성분인데 Fig. 12(c)를 보면 LDV로 계측하여 얻은 회전 속도 성분과 CFD 계산을 통해 얻은 회전 속도 성분 분포가 매우 유사함을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 3차원 LDV 시스템이 효율적이며 신뢰도 있는 3차원 속도 계측을 가능하게 함을 알 수 있다.



(a) Axial velocity component



(b) Radial velocity component



(c) Tangential velocity component

Fig. 11 3-D velocity component comparison between LDV and CFD results

5. 결론

본 연구에서는 대형 캐비테이션 터널의 시험부에 위치한 선박 모형의 3차원 반류를 계측하기 위하여 시험부 외부에 3차원

레이저 유속계를 설치하고 그 성능을 검증하였다. 3차원 레이저 유속계의 성능에 영향을 주는 것은 유속계 프로브들의 configuration뿐 만 아니라 레이저 파워, 시험부 창, 보정 작업, 계측 mode 등 다양한 요소들이 있으므로 이러한 항목들에 대한 자세한 연구를 통해 현재 시스템의 특성을 잘 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 이러한 항목들에 대한 특성을 파악하여 적절한 레이저 유속계 시스템을 구성하였고 시험부 내에 위치한 모형선의 공칭 반류를 성공적으로 계측하였다. 또한 실험 조건과 같은 조건으로 CFD 계산을 수행하여 3차원 LDV로 계측한 유속 분포가 CFD 계산 결과와 매우 유사함을 보임으로써 본 연구에서 개발된 3차원 LDV 시스템의 신뢰도를 확보할 수 있었다.

후 기

본 연구는 ‘선박용 CPP 캐비테이션 초생선속 및 최적 설계기술 개발(PNS2780)’과 ‘추진기 소음저감기술을 응용한 추진기침식 모형시험법 개발과 추진기 소음저감기술 고도화 (PES8910)’과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

- Choi, J. E. Seo, H. W. & Min, K. S. 1999. Flow measurements on the propeller plane using fiber optics LDV at towing tank. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 36(3), pp.22-28.
- Kim, K. S. Ahn, J. W. Park, Y.H. Kim, G. D. Kim, S. P. Yu, Y. W. & Lee, C. S., 2013. Correlation study on pressure fluctuation measurement at large cavitation tunnel with full-scale

data for two container carriers. *12th PRADS (International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures)*, Changwon, Republic of Korea, 24-27 October 2013.

Lee, S. J. & Paik, B. G., 2004. PIV velocity field analysis of inflow ahead of a rotating marine propeller. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 41(4), pp.30-37.

Paik, B.G. Ahn, J.W. Park, Y.H. Kim, K.S. & Kim, G.D., 2010. LDV system employed in large cavitation tunnel of MOERI to measure the flows around ship model. *Proceeding of KSV(Korea Society of Visualization) Autumn Conference*, Andong National University, 12 November, pp.88-93.



백 부 근

안 종 우

설 한 신

박 영 하



김 기 섭

전 호 근