

축대칭 물수체의 유효반류 추정

김기섭¹·문일성^{1,†}·안종우¹·김건도¹·박영하¹·이창섭²
한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소¹
충남대학교 선박해양공학과²

Prediction of the Effective Wake of an Axisymmetric Body

Ki-Sup Kim¹·Il-Sung Moon^{1,†}·Jong-Woo Ahn¹·Gun-Do Kim¹·Young-Ha Park¹·Chang-Sup Lee²
Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KIOST¹
Chungnam National University²

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.

An axisymmetric submerged body(L=5.6m, Diam=0.53m) is installed in Large Cavitation Tunnel (LCT) of KRISO and the nominal and total velocities without and with the propeller in operation, respectively, are measured using Laser Doppler Velocimeter (LDV). The flow field is nearly axisymmetric except the wake of the supporting strut, and is considered ideal to study the hydrodynamic interaction between the propeller and the oncoming axisymmetric sheared flow. The measured velocity data are then provided to compute the propeller-induced velocity to get the effective velocity, which is defined by subtracting the propeller-induced velocity from the total velocity. We adopted, in computing the induced velocity, two different methods including the vortex lattice method and the vortex tube actuator model to evaluate the resultant effective velocity distribution. To secure a fundamental base of experimental data necessary for the research on the effective wake, we measured the drag of the submerged body, the nominal and total velocity distributions at various axial locations for three different tunnel water speeds.

Keywords : Axisymmetric body(축대칭 물수체), Effective wake(유효반류), Propeller induced velocity(프로펠러 유기속도), Large Cavitation Tunnel(LCT, 대형 캐비테이션터널), VLM method(보오텍스 격자법), Vortex Tube Actuator model(VTA, 보오텍스 유관 작동판모형)

1. 서론

선박 프로펠러는 선미에서 작동하며, 선체주위 유동 특히 선미 반류의 전단 유동장과 복잡한 상호작용을 한다. 선종 별로 선미 반류(wake field)의 특성이 크게 다르므로 프로펠러와 반류의 상호작용도 크게 다르다. 동일 선종의 경우에도 선속, 소요마력 및 프로펠러 회전수 등에 따라서 반류가 프로펠러의 부하 및 피치분포 등 형상요소 결정에 미치는 영향이 크게 달라지며, 프로펠러 추진성능과 캐비테이션 성능에 큰 영향을 주기 때문에, 반류를 정확히 추정하는 것은 프로펠러의 설계 목표 달성 및 성능 해석에 우선적으로 중요한 사항이다. 프로펠러 설계와 성능해석에 필요한 반류 정보는 유효속도(effective velocity, V_E) 분포이어야 한다. 대부분의 프로펠러 설계과정에서는 예인수조에서 계측한 모형선의 공칭반류 데

이터를 기반으로, 실적선 경험과 수치해석기법 등을 이용하여 실선 유효속도를 추정하며, 설계자와 해석방법에 따라 추정된 유효반류의 차이가 발생하여 결과적으로 프로펠러의 형상과 성능이 달라진다.

유효속도(effective velocity, V_E)는 총 속도(total velocity, V)에서 프로펠러 유기속도(propeller induced velocity, V_i)를 뺀 값으로, 또는 공칭속도(nominal velocity, V_N)와 선미유동과 프로펠러의 상호작용으로 인한 상호작용속도(interaction velocity)의 합으로, 표현된다(Carlton, 2007). Kim et al.(2010)은 대형 캐비테이션 터널에서 시험부 유속 증가에 따른 모형선 공칭반류의 변화를 조사하였으며, 터널 시험부 유속이 증가함에 따라 축대칭 물체 표면의 경계층 유속분포가 높은 레이놀즈 수 유동장 특성을 보이며 공칭반류 분포가 점차적으로 수렴하는 특성을 보였다. Huang and Groves(1980)은 풍동시험에서 축대칭 물수체의 공칭반류와 총 유속은 계측하고, 유기속도를 수치해석

하여 유효속도를 추정한다. Lee & Lee(1990)는 Poincare 방정식을 사용하여 선미 반류의 전단유동에 포함된 보오텍스 시스템과 프로펠러의 상호작용을 이론적으로 해석하고, 유효속도를 계산하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서는 대형 캐비테이션 터널(Kim et al., 2012)에서 축대칭 물수체의 공칭반류와 총 유속 분포를 측정하고, 이를 기반으로 수치해석적 방법으로 프로펠러 유기속도를 계산하여 유효반류 속도 분포를 추정하였다. 유기속도의 계산에는 보오텍스 격자법(VLM) 및 보오텍스유관작동판(VTA) 모형을 사용하였으며, 각각의 방법에 의해서 계산된 프로펠러 유기속도를 이용하여 추정된 유효속도분포를 비교하였다.

2. 축대칭 물수체

본 연구에 사용된 축대칭 물수체 형상은 Huang(1980)이 사용한 DTNSRDC의 풍동(wind tunnel, 최고유속 61m/s) 시험용 model D와 기하적으로 상사하다. Huang(1980)이 사용한 물수체 제원은 길이 6.58m, 직경 0.624m, 프로펠러 직경 301.8mm이다. 본 연구에 사용된 물수체의 도면과 제원은 Fig. 1과 Table 1에서 보는 바와 같다. 물수체 크기는 model D의 85.6%에 해당하고, 물수체 직경 대비 프로펠러 직경 비(0.484)와 프로펠러 면의 상대적인 위치는 동일하지만, 프로펠러 형상은 Huang이 사용한 프로펠러와 다르다. 물수체 횡단면적과 LCT 시험부 단면적의 비(blockage ratio)는 4.44% 수준이다. 스트럿이 프로펠러 면의 유속 분포에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 축대칭 물수체 중앙에서 약간 상류 쪽에 스트럿(strut) 1개로 지지하였으며, 스트럿과 몸체 골격의 연결부에는 3분력계를 설치하였다.

고속유동에서 작용하는 유체력을 견디도록 구조물의 강도 확보가 요구되었다. 물수체 시험은 KRISO 대형 캐비테이션터널(Large Cavitation Tunnel, 이하 'LCT', 2010년 준공)에서 수행되었다. LCT 본체의 크기는 60m³ X 6.5m³ X 19.8m³, 시험부 크기는 12.5m³ X 2.8m³ X 1.8m³이다. 시험부 최대유속은 16.5m/sec이며, 터널내부 압력조절 범위는 0.03 ~3.0 bar이다. 터널 시험부 좌우 면에는 각각 7개의 투명한 아크릴 관측창(1.0m³ X 1.3m³)이 있다. Fig. 2는 LCT 시험부에 설치된 물수체의 선수부와 선미부를 보여준다.

스트럿 하단에 3분력계를 체결하여 물수체 중심축 상에 설치하였으며, 스트럿은 물수체 표면과 접촉하지 않도록 관통시켜 스트럿에 작용하는 유체력이 3분력계에 전달되지 않도록 하였다.

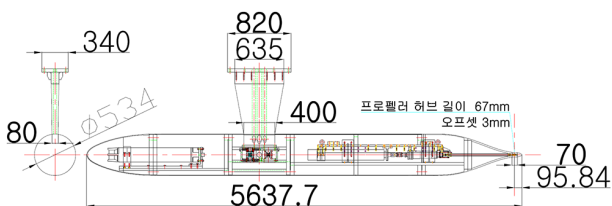


Fig. 1 Drawing of axisymmetric body

반류 속도분포를 측정하기 전에 먼저 물수체 주위 유동의 상태를 파악하기 위해서 시험부 유속 변화에 대한 물수체 앞쪽의 항력과 yaw 모멘트를 측정하였으며, yaw 모멘트 측치를 통하여 물수체를 유동 방향과 일치시켜 설치한 정도를 확인할 수 있다. Fig. 3은 시험부 유속에 대한 항력계수(C_T)와 레이놀즈수(R_n)의 변화를 보여주고 있으며, 각각의 계수에 대한 정의는 식(1)(2)와 같다.

$$C_T = \frac{Drag}{\frac{1}{2}\rho S V^2} \quad (1)$$

$$R_n = \frac{VL}{\nu} \quad (2)$$

여기서, ρ 는 밀도, S는 축대칭 물수체 표면적, V는 캐비테이션 터널 유속, L은 축대칭 물수체의 길이, ν 는 동점성계수를 의미한다. Fig.3에 의하면, 터널유속이 약 8m/s 이상에서는 측정된 항력계수가 3.12×10^{-3} 에 수렴하고 있다. 즉, 터널유속 8m/s 이상에서는 물수체 표면의 경계층 유동이 충분히 발달되어 형상저항도 일정한 값에 도달한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 본 논문에서 수행한 물수체의 반류측에는 터널유속 8m/s 이상을 기준으로 하였다.

Table 1 Dimension of axisymmetric body and propeller

Body Length(L)	5.6377 m
Body Dia.	0.534 m
Propeller Dia.	0.2585 m
Prop. Dia./Body Dia	0.484
Prop. Hub ratio	0.2364
Prop. Plane (X/L)	0.983
Flow blockage ratio	4.44 %
Surface area of body	8.3803 m ²

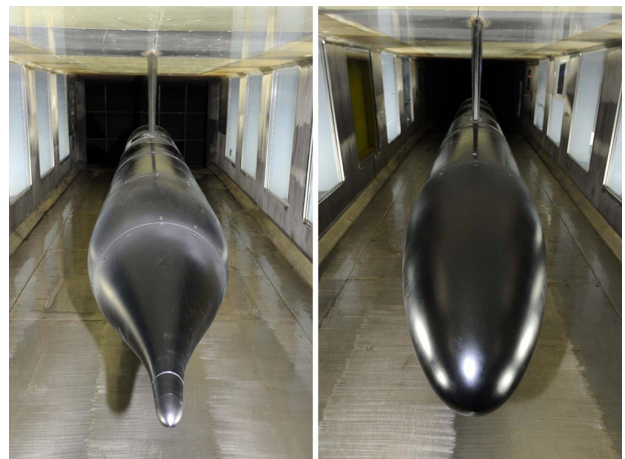


Fig. 2 Stern and bow shape of axisymmetric body installed at test section of LCT(Left : stern, Right : bow)

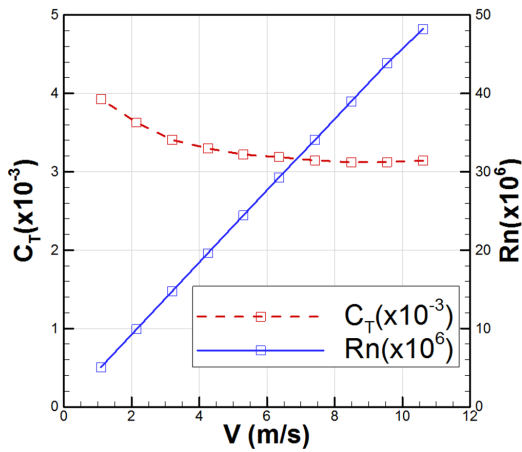


Fig. 3 Measurement of total drag of axisymmetric body v.s water velocity at test section of LCT

3. 공칭반류 및 총 유속 분포

3.1 공칭반류

공칭반류 및 총유속은 2차원 유속계측이 가능한 LDV 시스템을 이용하여 계측하였다. LDV는 단택 다이내믹스 제품으로 레이저빔 간의 거리가 112mm이고 초점 거리가 1600mm인 Fiber probe를 활용하고 있다. 3차원 유동계측이 가능한 시스템이지만 (Paik et al., 2017), Fig. 4와 같이 레이저빔을 배치하여 2차원 유속을 계측할 수 있다. 녹색광(파장: 514.5nm)을 이용하여 축방향 유속을, 황색광(파장: 532nm)을 이용하여 수직방향

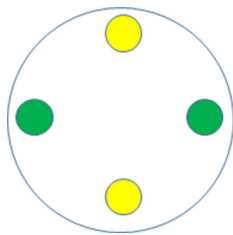


Fig. 4 Laser beam arrangement for 2-D velocity measurement

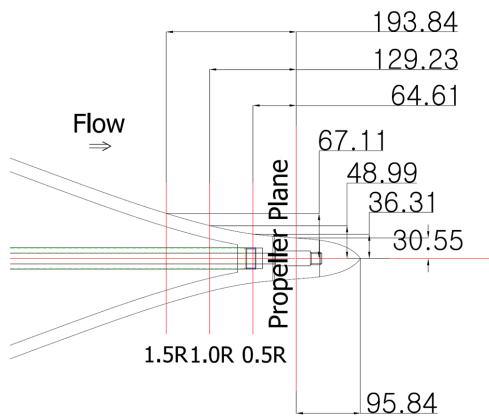
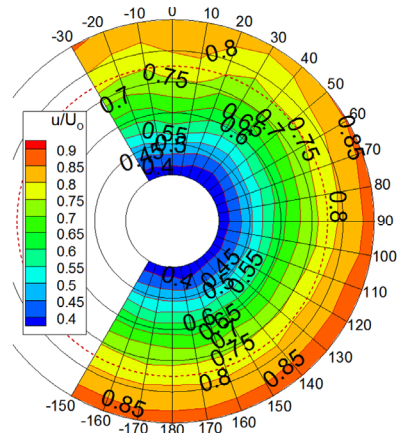
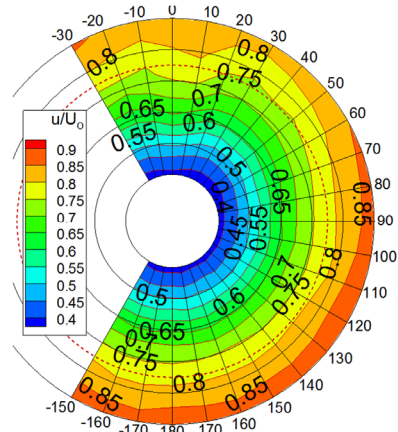


Fig. 5 Wake measurement planes around the stern of axisymmetric body

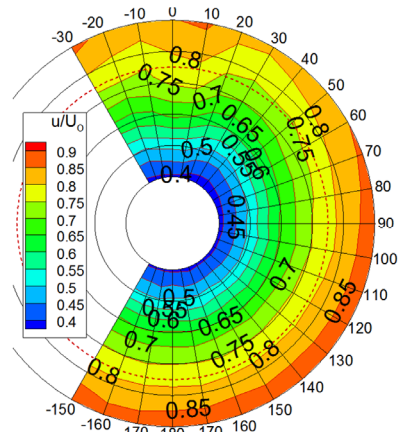
유속을 계측한다. 후방산란형(back-scatter mode)이며, 100mm 두께의 아크릴 창을 통과하여 산란된 신호를 전달하여야 하므로 레이저 파워가 상당히 중요하다. 기존에는 다파장의 Ar-ion 레이저를 사용하였지만 파장별 파워 차이가 있어, 파장별로 1.0W를 출력할 수 있는 DPSS(Diode Pumped Solid State) 레이저 2대를 사용하였다.



$U_0 = 6.36 \text{ m/s}$



$U_0 = 8.48 \text{ m/s}$



$U_0 = 10.6 \text{ m/s}$

Fig. 6 Nominal iso-axial velocity contour measured at propeller plane ($U_0 = 6.36 \text{ m/s}, 8.48 \text{ m/s}, 10.6 \text{ m/s}$)

공칭반류 계측면의 위치는 Fig. 5에 보인 바와 같이 선수로 부터 98.3%에 있는 프로펠러 면이다. 계측점은 11개 반경위치 (0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.05, 1.1, 1.2, 1.3R, R: 프로펠러 반경)에서, 원주방향으로 $\theta = -30^\circ \sim 210^\circ$ 범위에 대해 10° 간격으로 25개를 선정하여 총 275개이다.

시험부 유속 변화에 대하여 계측한 축 방향 속도 분포를 Fig. 6에 도시하였다. 여기서 유속이 증가할수록 축 방향 유속이 증가하여 동심축 반류 수축(concentric wake contraction)이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이 현상은 Hoekstra(1975)가 제안한 선박 모형선의 공칭속도로부터 실선의 공칭속도 분포를 추정하는 방법으로도 설명이 가능하다. 그리고 0° 근처 상부 영역에서는 부분적으로 스트럿에 기인하는 반류의 영향을 받고 있다. 따라서 본 논문에서는 스트럿의 영향을 배제하기 위하여 180° 방향의 속도 분포를 사용한다.

180° 방향에서 계측된 반경 방향 속도 분포와 Huang(1980)이 풍동에서 계측한 model D의 공칭반류를 Fig. 7에 비교도시하였다. Huang의 축대칭 물체길이는 본 논문에서 대상으로 하는 축대칭 물체 보다 약 17% 길며, 시험유속은 풍동의 최고 유속 61m/s 이내의 유속으로 추정된다. 특히 두 시험시설의 시험부 단면 크기와 시험에 사용한 물수체의 형상차이로 인하여 정확한 비교는 제한적이지만, Huang의 원주방향 평균속도 분포도 본 논문에서 제시하는 속도분포와 유사한 패턴을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

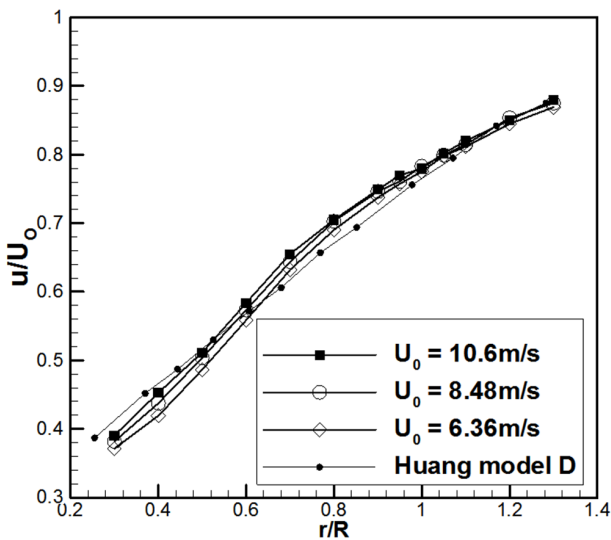


Fig. 7 Comparison of circumferential mean nominal velocity distribution on the variation of U_0

3.2 총 속도

총 속도는 공칭속도, 상호작용속도, 프로펠러 유기속도로 구성된다. 공칭반류 계측과 다르게, Fig. 8, 9와 같이 축대칭 물수체에 프로펠러(KP1097)를 장착하여 작동할 때, 프로펠러 면으로부터 상류로 0.2R 만큼 떨어진 면에서 총 속도를 계측하였다. 총 속도계측을 위한 시험부 유속은 시험부 유속변화에 의한 항

력변화를 검토(Fig. 3 참조)하여 항력의 변화가 수렴하기 시작하는 시험부 유속(약 8m/s)을 선정하였다. 또한, 프로펠러 회전수는 프로펠러 설계점 근처의 전진계수에서 Reynolds 수가 가능한 큰 값이 되도록 선정되었다.

총 속도 계측시험 조건은 Table 2에 나타내었으며, 속도계측과 동시에 프로펠러 추력과 토오크도 계측하였다. Fig. 10은 두개의 선속에서 프로펠러 추력과 토오크를 계측한 결과로서 축대칭 물수체의 반류 중에서 프로펠러의 추진 성능을 보여준다.



Fig. 8 Installation of axisymmetric body with propeller at test section of LCT

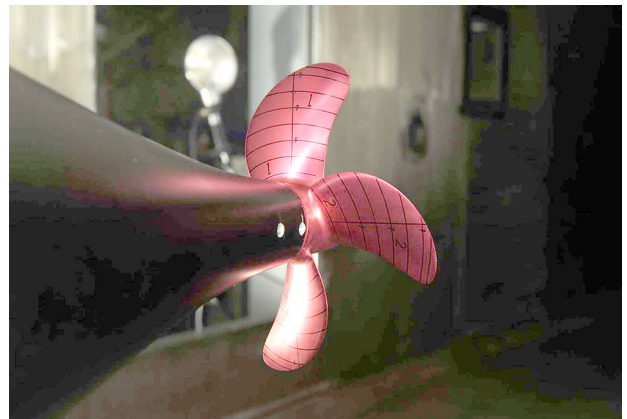


Fig. 9 Propeller at stern of axisymmetric body

Table 2 Test conditions of total velocity measurement just ahead of propeller(KP1097)

Water vel.	8.0m/s
Propeller rev.	45.71rps
JS	0.6785
KT	0.1621
10KQ	0.190
η_B	0.922
Rey. no of propeller blade at 0.7R	2.4×10^6
Rey. no. of axisymmetric body	5.46×10^7

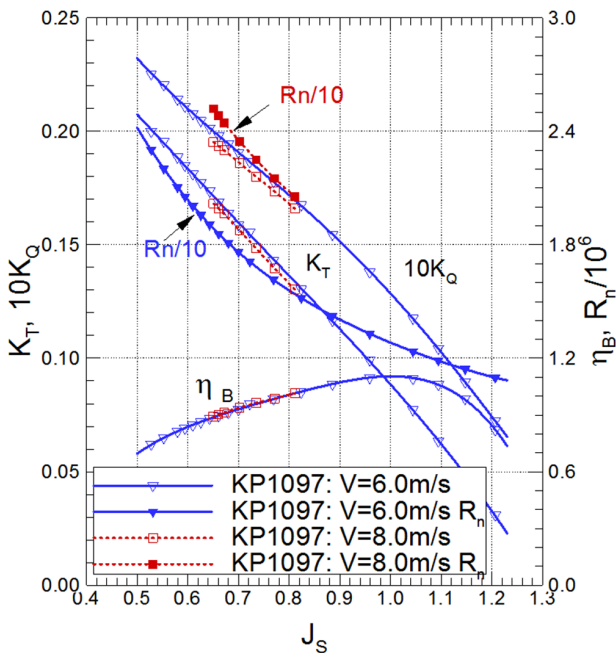


Fig. 10 KP1097 Propeller performance behind axisymmetric body

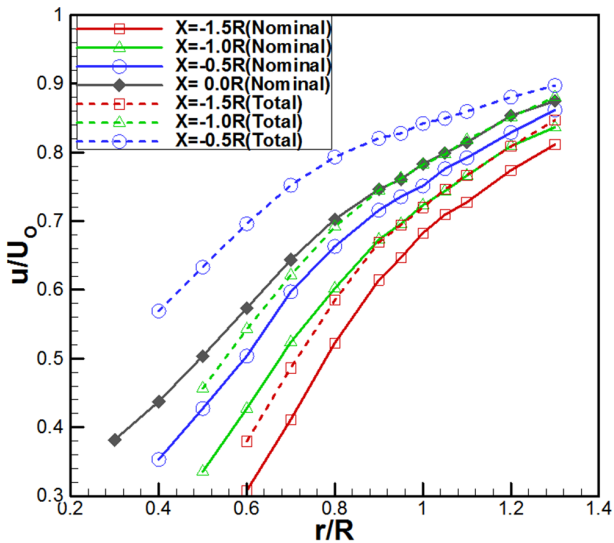
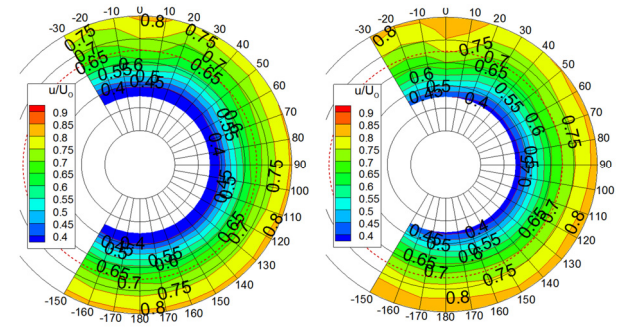


Fig. 11 Distribution of nominal velocity($U_0 = 8.48\text{m/s}$) and total velocity(KP1097, $U_0 = 8.0\text{m/s}$)

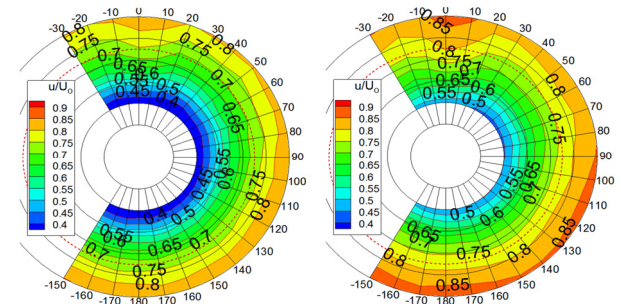
시험부 유속의 변화는 프로펠러 날개 표면의 점성 감소와 반류변화 등 다양한 효과를 유발하기 때문에, 프로펠러 추진성능 특성만으로 정량적인 시험부 유속 변화 효과를 설명하기 어렵다. 따라서 시험부 유속증가에 의한 물수체 후방에서의 프로펠러 추진성능 변화를 정성적으로 살펴보았다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 U_0 가 6m/s와 8m/s인 조건에서 시험을 수행한 결과를 비교 도시하였다. 8m/s에서 시험한 경우 평균적으로 프로펠러 면에서의 반류분포가 가속된 영향으로 프로펠러의 추력과 토오르가 감소한 것으로 사료된다.

계측면 위치별로 180° 방향에 대한 공칭속도와 총 속도의 반경방향 분포를 Fig. 11에 도시하였다. 공칭속도 분포는 상류로

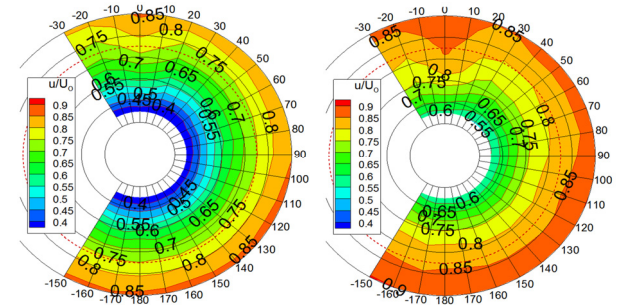
부터 프로펠러 면에 근접할수록 물수체 직경의 감소와 더불어 바깥쪽 반경보다 안쪽 반경 영역의 유동이 더 빨리 가속되며, Fig. 6에서와 같이 동심 반류수축을 보여 준다. 총 유속 분포는 프로펠러 면에 가까울수록 전반적으로 크게 가속되며, 안쪽 반경 영역의 유동이 프로펠러 작동 영향을 크게 받는다.



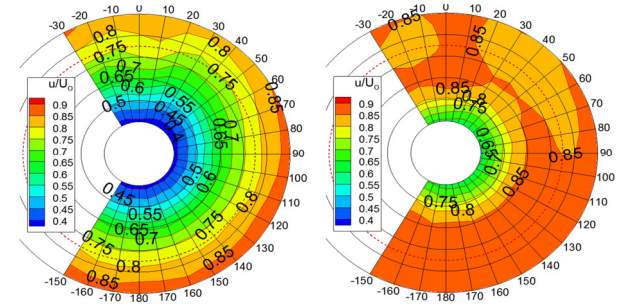
(a) plane at 1.5R upstream



(b) plane at 1.0R upstream



(c) plane at 0.5R upstream



(d) plane at 0.2R upstream

Fig. 12 Comparison of nominal velocity distribution(Left side, $U_0 = 8.48\text{m/s}$) with total velocity distribution (Right side, KP1097, $U_0 = 8.0\text{m/s}$) at 4 planes upstream of propeller plane

Fig. 12는 앞서 Fig. 5에 표시한 4개의 계측면에서의 공칭속도 분포와 총 유속분포를 보여준다. 프로펠러 작동 시에는 프로펠러 면에서 총 유속계측이 불가능하므로 프로펠러 면에서 상류로 0.2R 벗어난 면에서의 계측결과를 보여준다.

총 속도는 Fig. 11에서 설명한 특성 변화를 계측면 별로 확인할 수 있다. 그리고 물수체 상류 지지대 스트럿 영향은 공칭반류보다 총 유속 분포에서 크며 프로펠러 면에 가까울수록 증가하고 있음을 알 수 있다.

총 속도 역시 공칭속도와 유사하게 프로펠러 면에 접근할수록 안쪽 반경에서 상대적으로 빨리 가속되며, 공칭속도 대비 속도 증가량도 프로펠러 면에 가까울수록 커진다. 이것은 프로펠러와 가까워지면서 프로펠러 유기속도와 물수체 표면의 전단유동과 프로펠러의 상호작용속도가 증가하였기 때문에 발생한 결과로 판단된다.

4. 유효반류 추정

유효반류 추정의 궁극적 목표는 실선 프로펠러 설계에 사용하기 위함이다. 실선의 공칭반류를 이론적 방법 또는 모형시험과 확장법을 사용하여 구할 수 있다고 가정하면, 공칭반류와 프로펠러의 상호작용을 해석하여 실선의 유효반류를 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

공칭반류를 최대한 실선 스케일에 가깝게 재현하기 위해, 본 연구에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 터널 시험부의 유속을 증가시켜가며 물수체의 항력이 수렴성을 보이는 속도에서 계측한 공칭반류와 총 속도를 사용하였다.

3차원 유동장의 임의 위치, $\vec{x}(x, y, z)$,에서의 유효속도장(effective velocity field, $\vec{V}_E(\vec{x})$)은 ITTC 프로펠러 위원회(1984)의 정의를 따라, 총 속도, $\vec{V}_{Tot}(\vec{x})$ 와 프로펠러의 이상(ideal) 유동에 의해 유기되는 속도, $\vec{V}_i(\vec{x})$ 를 사용하여 다음과 같이 표현된다. 즉,

$$\vec{V}_E = \vec{V} - \vec{V}_i(\vec{x}) \tag{3}$$

유효속도는 원칙적으로 3차원 유동장에서 분포된 벡터이므로, 예인수조에서의 저항-자항시험 해석과정에서 추력일치법을 통해 결정되는 스칼라 값의 유효반류(effective wake, w_T)와 차이가 있음에 유의할 필요가 있다. 본 논문에서는 프로펠러에 의해 유기되는 속도를 구하기 위해 2가지 이론을 적용하였다.

4.1 보오텍스 유관 작동판(Vortex Tube Actuator)법

공간상의 유동장점 $\vec{x}(x, y, z)$ 에서의 속도벡터 $\vec{V}(x)$ 는 Poincare 적분방정식의 형태로 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{V} = \iiint_V (\nabla \times \vec{V}) \times \nabla G \, dv$$

$$+ \iint (\hat{n} \times \vec{V}) \times \nabla G \, dA + \iint (\hat{n} \cdot \vec{V}) \nabla G \, dA \tag{4}$$

식 (4)는 속도에 대하여 표현한 식으로 기본적으로 식 (3)과 유사하지만, 경계면으로 둘러싸인 유동장내에 존재하는 와도(vorticity, $\nabla \times \vec{V}$)의 영향이 들어있다는 것이 큰 차이이다. 식 (4) 우변의 2항, 3항은 식 (3)의 1항, 2항, 즉, 다이폴과 소오스에 의해 유기되는 속도이므로, 식 (4)의 첫 번째 항이 남는다. 식 (3)은 유동장이 점성과 와도의 영향이 없는 이상유체(ideal fluid)의 가정에 의해 유도된 것이므로 식 (4)의 첫 번째 항이 나타나지 않는 것이다. 식 (4)의 첫 번째 항의 와도를

$$\vec{\omega} = \nabla \times \vec{V} \tag{5}$$

로 표현하면, 유효 속도 \vec{V}_E 는 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{V}_E = \iiint_V \vec{\omega} \times \nabla G \, dv + \vec{U} \tag{6}$$

식 (6)을 직접 계산하는 것도 전체 유동장에 대한 공간 적분이므로 매우 많은 시간을 필요로 한다. Lee and Lee(1990)는 유동이 프로펠러를 통과할 때 반경이 수축하는 것을 관찰하여 프로펠러평면에서의 반경방향 속도변화를 보오텍스로 치환하고, 보오텍스 유관이 수축하는 보오텍스 유관 작동판(VTA) 모형을 발표한 바 있다.

4.2 보오텍스격자법(Vortex Lattice Method, VLM)

보오텍스 격자법은 기본적으로 식 (3)에서 출발하여, 프로펠러 날개의 두께가 얇은 점에 착안하여 선형화함으로써 식 (3)의 우변 첫 번째 항인 다이폴 적분을 캠버면에 분포된 보오텍스로 치환하고, 날개 두께를 표현하는 두 번째 항은 캠버면에 분포된 소오스로 치환하여 얻어진다. 현재 프로펠러의 설계 및 해석에 널리 쓰이고 있는 방법으로 알려져 있으며, 가장 대표적인 것으로는 Kerwin and Lee(1987)를 들 수 있다. VLM에 의해 프로펠러 하중을 표현하는 보오텍스의 세기를 구하고, 날개 두께의 영향을 표현하는 소오스의 세기를 구하면, 임의의 유동장점에 유기되는 프로펠러 유기속도를 구할 수 있다.

4.3 유효반류 추정법의 비교

VTA 모형법을 사용하는 경우 공칭속도를 이용하여 유효속도를 추정하지만, VLM을 사용하는 경우 수치적으로 계산된 유기속도와 모형시험에서 계측된 총속도를 이용하여 유효속도를 추정하여야 한다. Fig. 13은 보오텍스유관작동판(VTA), 보오텍스격자법(VLM)으로 계산한 유기속도 및 추정된 유효속도 분포를 비교하여 보여준다.

또한 Fig. 13에는, LDV 계측 시 프로펠러와의 간섭을 피하기 위하여 프로펠러 바로 상류위치($x/R=-0.2$)에서 계측한 총 속도와 프로펠러 면($x/R=0.0$)에서 계측한 공칭속도를 함께 도시하였다.

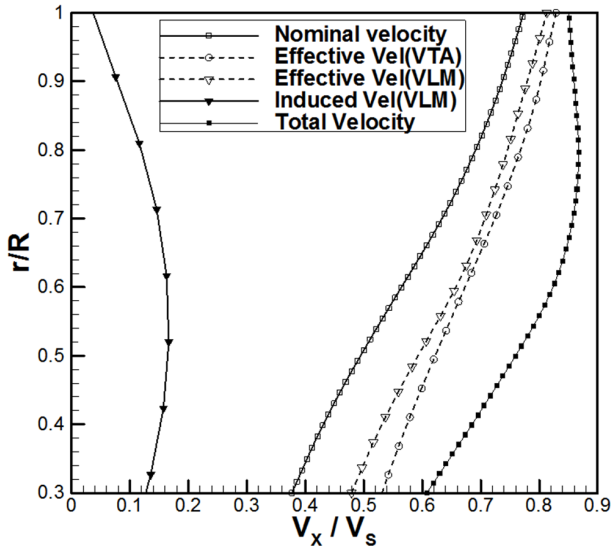


Fig. 13 Comparison of measured and computed velocity profiles

VTA법과 VLM에 의한 유효속도는 유사한 경향을 보여주고 있다. 유효속도는 계측에 의해 별도로 계산되는 값이 아니므로 어느 값이 더 좋은 결과인지 속단하기 어렵지만, 두 기법에 의한 유효속도 추정기법이 프로펠러 설계 및 성능해석에 사용하는데 적합한 것으로 판단된다.

5. 결론

프로펠러 설계는 현재까지 비점성 유동을 가정한 수치해석 기법을 많이 사용하고 있다. 최근에 점차 점성유동을 고려한 수치해석 기법의 적용이 증가하고 있으나, 수치계산 시간의 한계와 설계에 적용하기 위한 편의성 등의 이유로 인하여 현장 적용에 한계를 보이고 있다. 그러나 비점성 유동을 가정한 프로펠러 수치해석 기법은 프로펠러에 유입되는 유속분포를 입력변수로 하고 있는 관계로 프로펠러 유기속도를 포함한 유효반류의 산출이 중요한 변수이다. 현재까지 다양한 기법이 개발되어 현장에서 사용되고 있지만, 아직까지 프로펠러 캐비테이션 현상을 기준으로 간접적 타당성을 보여주고 있는 실정이다.

본 논문에서는 LCT에서 계측한 반류자료를 기반으로, 현재 사용되고 있는 유효반류 추정기법으로 유효반류를 계산하고 그 특성을 살펴보았다. 유효속도분포는 실험적으로 직접 계측 할 수 없는 관계로 수치해석 결과와 정량적 비교는 어

렵다. 하지만 시험에서 계측한 공칭반류와 프로펠러 면을 대신하여 계측한 근접면에서의 총유속 차이를 이용하여 유효반류의 특성을 보임으로써, 수치해석기법의 정성적인 특성을 비교하여 VTA법과 VLM이 실제 유효속도에 근접한 것을 보였다.

또한 높은 레이놀즈 수에서 계측한 축대칭 물수체의 항력, 공칭속도, 총 속도를 제시함으로써, 축대칭 반류 중 프로펠러 추진성능 및 유효반류 추정 기법의 성능향상에 중요한 자료로 활용될 것으로 생각된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부와 방위사업청이 지원하는 민군기술협력사업 민군기술개발과제 '선박용 CPP 캐비테이션 초생선속 최적 설계기술 개발' 과제(PNS3230)와 '친환경 추진기 캐비테이션 성능 제어기술 개발' 과제(PNS2010)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

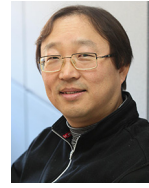
Reference

Carlton, J.S., 2007. *Marine propellers and propulsion*. Elsevier
 Hoekstra, M., 1975. Prediction of full scale wake characteristics base on model wake survey. *International Shipbuilding Progress* 22(250), pp.204-219.
 Huang, Thomas T., & Groves, Nancy C., 1980. Effective wake : Theory and experiment. *Proceedings of the 13th Symposium on Naval Hydrodynamics*, pp.651-673.
 ITTC Propeller Committee, 1984. *Proceedings of the 17th ITTC*. Gothenburg, Sweden, pp.144-149.
 Kerwin, J.E. and Lee, C.S., 1987. Prediction of steady and unsteady marine propeller performance by numerical lifting-surface theory. *Transactions Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 86, pp.1-30
 Kim, K.S., Ahn, J.W., Park, Y.H., Paik, B.G., Kim, G.D., Kim, S.P., & Yu, Y.W., 2010. A characteristics of model ship wake generated at MOERI large cavitation tunnel using a model ship. *Proceeding of the SNAK Conference*, June 2010, pp.2050-2056.
 Kim, K.S., Ahn, J.W., & Park, Y.H., 2012. 3 years after MOERI large cavitation tunnel completion. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 2012, 49(4).
 Lee, C.S. & Lee, J.T., 1990. Prediction of effective wake considering propeller-shear-flow interaction. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 27(2), pp.1-12.

Paik, B.G., Ahn, J.W., Seol, H.S., Park, Y.H., Kim, K.S. & Cheon, H.G., 2017. Development of LDV(Laser Doppler Velocimetry) for measuring three dimensional hull wake of ship model in large cavitation tunnel. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 54(6), pp.515-521.



김기섭



문일성



안종우



김건도



박영하



이창섭