

선미선형을 변화시킨 두 척의 KRISO 300K VLCC 모형주위의 유동과 저항추진 특성에 대한 실험적 연구

김우전*, 반석호**, 김도현**, 이춘주**

Experimental Study on Local Flow Characteristics and Propulsive Performance of Two KRISO 300K VLCCs with Different Stern Shapes

Wu-Joan Kim*, Suak-Ho Van**, Do-Hyun Kim** and Chun-Ju Lee**

요 약

저속 비대선에서는 추진기면에서의 반류형상이 저항 및 추진 성능을 결정하는 중요한 요소가 된다. 그러므로 저속 비대선에서는 선미선형의 형상과 유동현상과의 관계를 파악하는 것이 좋은 선형을 설계하기 위해 필수적이다. 선형 변환을 통해 얻어진 선수부의 모양이 같고 선미부의 모양이 다른 두 척의 대형 유조선 선형에 대해 저항 추진 시험과 국부유동 계측 실험을 수행하였다. 이는 우선 선형 변화에 따른 저항 추진 계수의 변화를 정량적으로 제시하고, 이러한 총량적인 계측값과 국부 유동과의 관계를 규명함으로써 선미 선형의 변화에 따른 빌지 보오텍스의 세기의 차이와 이로 인한 저항 및 추진효율의 변화 등을 설명하였다. 또한 계측된 실험 자료는 저속 비대선 주위의 유동에 대한 CFD 계산의 검증 자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

Abstract

The flow characteristics around the stern region of two VLCCs with the same forebody and slightly different afterbody are investigated along with propulsive performance of the ship. The local mean flow measurements and the resistance and self-propulsion tests are carried out in the towing tank for the two VLCC hull forms. The measured results clearly show the formation of bilge vortices and their effect on propulsive efficiency. The comparisons are made for the two VLCC hull forms and the relation between stern framelines and bilge vortex strength is explored. Experimental data can provide a good test case to validate the accuracy of numerical methods and turbulence model of CFD codes for ship flow calculation.

접수일자 : 2000년 1월 24일, 승인일자 : 2000년 5월 6일

*정회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소 해양운송시스템 개발단(E-mail:wjkim@kriso.re.kr)

**정회원, 한국해양연구소 선박해양공학분소 해양운송시스템 개발단

1. 서 언

효과적이고 체계적인 선형 개발 및 추진 장치의 설계를 위해서는 선체주위의 유동에 대한 이해가 필수적이라고 할 수 있다. 그러나 통상적으로 예인 수조에서 수행되는 저항 및 자항 시험만으로는 실제 선체 주위에서 일어나는 유동 현상을 정확히 파악하기가 어렵다. 근래에 연구가 활발한 계산유체역학 기법을 이용하면 파형 및 국부 유동장을 미리 예측할 수 있다. 하지만 계산유체역학의 결과를 검증 하기 위해서는 완전하고 신뢰성 높은 계측 결과의 확보가 필수적이다. 특히 저속 비대선의 경우에는 점성유동 현상이 지배적이므로 선미에서의 속도 분포에 대한 자료의 확보가 절실한 형편이다. 현재 세계적으로 활용되고 있는 비대선에 대한 실험 자료로는 HSWA tanker나 Dyne tanker[1] 등이 있는데, 이 두 선형 모두 70년대의 선형으로서 현대의 실용적인 선형과는 거리가 멀고, 선수 및 선미부의 벌브가 없어서 실제 상선의 유동 계산 결과를 검증하는데는 적합하지 못하다. 본 연구에서는 현재 건조되고 있는 대형 유조선과 매우 흡사한 선형을 선정하여 국부 유동장을 계측함으로써 유동 현상의 이해를 돕고, CFD 계산 결과를 확인하기 위한 실험 결과를 얻고자 하였다.

이를 위하여 KRISO에서 설계한 30만톤급 대형유조선을 대상으로 정도 높은 실험 database를 마련하였다. 특히 선수부의 형상이 같고 선미부의 형상을 변화시킨 두 척의 선형에 대한 실험 자료를 확보함으로써 CFD 계산 결과가 실제 설계 현장에서 이루어진 선형 변환에 따른 저항 성능 변화를 지적해줄 수 있는지에 대한 매우 중요한 시험대가 될 수 있다. 본 논문의 목적은 두 VLCC 선형의 저항과 자항 시험을 수행하고 각각의 선형의 선미부에서의 속도장을 계측함으로써 선미 누골선의 모양과 빌지 보오텍스의 형성, 그리고 추진 효율과의 관계 등을 총체적으로 규명하는데 있다고 하겠다. 그리고 본 논문에 소개된 VLCC 선형은 KTTC에서 공동으로 연구를 수행 중인 선형(KVLCC)일 뿐만 아니라, 국부유동 계측 자료

는 2000년에 Sweden Gothenburg에서 열리는 CFD Workshop의 test case 선형(KVLCC2)으로 선택되었으며, 본 논문의 계측 결과를 CFD code의 검증을 위해서 사용하기로 하였음을 밝혀둔다.

2. 모형선

실험에 사용된 선형은 KRISO에서 설계한 300K VLCC이다. 특히 이 선형의 경우에는 선미 선형의 변화에 따른 추진기 면에서의 반류 유동의 변화를 파악할 수 있는 자료를 마련하기 위하여 2가지의 선미 형상을 설계하여 각각의 경우에 대한 실험을 수행하였다. Table 1에서는 2척의 300K VLCC에 대한 주요 제원을 나타내었다. Fig. 1에는 300K VLCC의 두 선형의 body plan과 선수와 선미의 윤곽선을 함께 비교하였다.

Table 1 Principal particulars of KRISO 300K VLCC(KVLCC, KVLCC2)

Ship Name	F1+A1 (KVLCC)		F1+A2 (KVLCC2)	
	Ship	Model	Ship	Model
Designation	Ship	Model	Ship	Model
Scale ratio	58.0		58.0	
Speed	15.5 knots	1.047 m/sec	15.5 knots	1.047 m/sec
L _{pp} (m)	320.0	5.5172	320.0	5.5172
B (m)	58.0	1.0000	58.0	1.0000
D (m)	30.0	0.5172	30.0	0.5172
T (m)	20.8	0.3586	20.8	0.3586
L _{WL} (m)	325.5	5.6121	325.5	5.6121
S (m ²)	27320	8.1213	27194	8.0838
S _{rudder} (m ²)	273.3	0.0812	273.3	0.0812
∇ (m ³)	312738	1.6029	312622	1.6023
C _B	0.8101		0.8098	
C _W	0.9077		0.9016	
C _M	0.9980		0.9980	
LCB (f. +)	3.48 %		3.50 %	

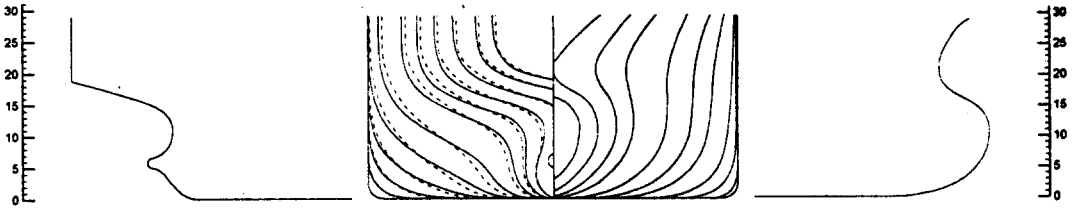


Fig. 1 Body plans & side profiles of 300K VLCCs(solid:F1+A1, dashed:F1+A2)

그림에서 알 수 있듯이 두 VLCC의 side profile과 선수부는 동일하며, 첫 번째 선미 형상은(A1, 이후 KVLCC)은 상대적으로 상자형(barge type)의 선형으로 선미 벌브(stern bulb)가 얇고 수선 근처가 두꺼운 형태이고, 두 번째 선미 형상(A2, 이후 KVLCC2)은 좀 더 U-형의 선미 형상(conventional type)으로 두툼한 선미 벌브와 상대적으로 날씬한 수선면의 형태를 갖고 있다. 선형의 변화가 너무 크면 선미 유동의 차이는 분명해지겠지만, 이는 미소한 선형변화에 따른 유동의 변화를 CFD가 예측할 수 있는가를 판단하고자하는 목적을 달성할 수 없다. 또한 선미선형의 변화가 너무 작으면 실제 유동의 차이가 너무 미소하여 실험이나 CFD의 민감도(sensitivity)를 벗어날 수 있다. 이러한 점을 고려하여 선미선형의 변화를 신중히 결정하였으며, 이후 실험 결과는 선미 선형의 변화량이 적절하였음을 보여주었다.

모형선은 예인 수조 시험 조건을 고려하여 축척비 1/58.0로 목재를 이용하여 제작하였다. 통상의 경우 축척비는 프로펠러의 크기를 기준으로 결정되지만 본 연구에서처럼 국부 유속을 계측하기 위해서는 3차원 traversing mechanism의 폭방향 계측 범위를 기준으로 결정하여야 하므로 VLCC의 경우 축척비가 매우 커졌다. 선수부(St.19)와 선수 벌브의 가운데에는 난류 촉진 장치(turbulence stimulator)로서 stud를 10mm 간격으로 설치하였다. 본 연구에서는 국부 유동장 계측이 주목적이었기 때문에 모형선이 항주 할 때 자세 변화로 인하여 계측 장비가 손상되는 것을 방지하고, 계측 위치를 모형선을 기준으로 설정할

수 있도록 유동 계측은 자세를 구속하고 실시하였다. 이 때 수선은 만재 홀수선에 맞추어 설계 속도 15.5 노트에 대하여 실험하였다.

유동계측 결과를 설명하기 위하여 Cartesian coordinates (X,Y,Z)를 사용하였으며, X는 선미하류(downstream) 방향을 가리키고, Y는 우현을, 그리고 Z는 수직 상방을 양(+)의 값으로 설정하였다. 좌표계의 원점은 선체의 중앙면과 정지수면에 위치하고, 모든 계측 위치와 실험값은 모형선의 길이(Lpp)와 속도를 사용하여 무차원화되었다.

3. 파형 계측 결과

파형 계측은 선체 표면에서의 파고, 종방향 단면(longitudinal cut)에서의 파형, 그리고 횡방향 단면(transverse cut)에서의 파형 등 3가지 방법에 의해 수행되었다.

우선 선체 표면을 따르는 파형은 모형선 주위의 파계가 정상 상태에 이르렀을 때 스틸 카메라와 비디오 카메라, 망원경 등을 이용하여 수면의 변화를 읽었다. Fig. 2에서 보인 것처럼 1 frame에 2~3개 Station을 사진으로 찍은 후 그 값을 1mm단위까지 읽어서 계측하였다. 또한 사진 촬영과 동시에 망원경을 이용하여 파고를 읽은 값, 이들 결과를 평균한 값들을 KVLCC에 대해서 Fig. 3에 비교하였다. 이렇게 계측하는 경우 자유수면의 위치를 어떻게 보는가에 따라 bias error의 요인이 될 수 있으나, Fig. 3의 결과에서처럼 평균을 취하게 되면 $\pm 1.5\text{mm}$ 내외의 정도가 유지됨을 확인하였다.



Fig. 2 Photograph of wave elevation along the hull surface

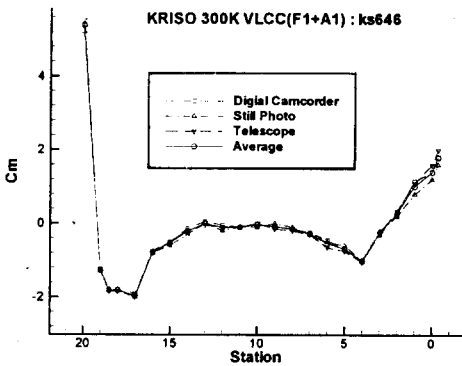


Fig. 3 Comparison of wave elevations by various means

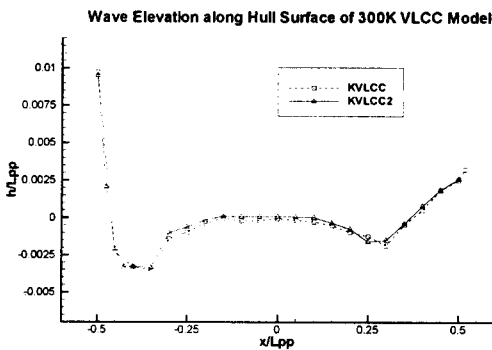


Fig. 4 Wave elevation along the hull surface of KVLCC and KVLCC2

한편 선수(F.P.~St.18)와 선미(A.P.~tran-

som)에서는 수면 자체가 진행 중에 약간씩 (1~2mm정도) 변화하여 엄밀한 정상 상태에 도달하지 않는 것으로 판단된다. 한편 Fig. 4에서는 KVLCC와 KVLCC2에 대한 선측 파형을 표시하였다. 선수부가 같고 선미부의 수선면의 차이가 크지 않기 때문에 두 선형의 선측 파형의 차이는 선미 어깨부인 St.5 근처를 제외하고는 bias 오차에 의한 것으로 판단된다.

그리고 선체의 진행 방향과 평행한 종단선(longitudinal cut)을 따라서 파형을 계측하기 위해서 3개의 파고계를 20cm 간격으로 외팔보에 부착하였다. 가장 가까운 cut은 모형선의 중앙 평행부로부터 3cm 떨어진 횡방향에 위치하고 있다. 선수부와 선미부는 종방향 cut으로는 접근이 불가능하므로 선체와 함께 파고계를 움직이면서 계측을 수행하였다. 파고계를 3축 이송장치에 부착하고 선수부와 선미부의 파고를 계측하였다. 선수부와 선미부에 대한 파형은 KVLCC에 대하여서만 계측하였다. 종단선이나 횡단선에서의 파고를 계측하기 위해 사용된 파고계와 증폭기, 그리고 자세한 계측기법은 KRISO 3600TEU 컨테이너선(KCS)의 국부유동 계측시 개발된 기법(2)을 그대로 사용하였으므로 생략하기로 한다.

종단선과 횡단선에서 계측된 파고를 종합하여 전체 파형을 그려보면 Fig. 5와 6에서 보인 바와 같다. 두 그림에서 KVLCC가 파형이 좀더 복잡해 보이는 것은 KVLCC2보다 계측 당시 signal-to-noise ratio가 낮았기 때문으로 생각된다.

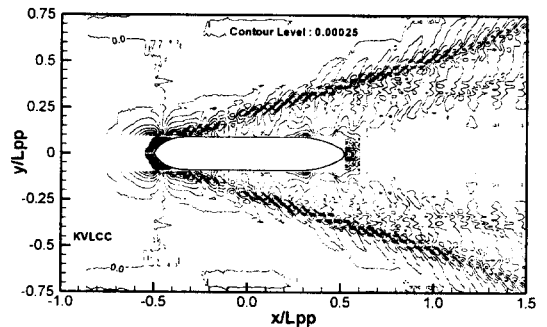


Fig. 5 Wave pattern around KRISO 300K VLCC F1+A1 (KVLCC at $Fn=0.142$)

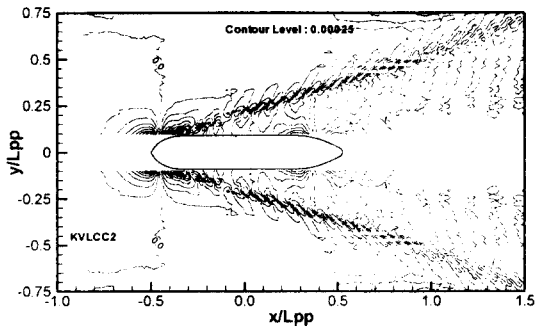


Fig. 6 Wave pattern around KRISO 300K VLCC F1+A2 (KVLCC2 at $Fn=0.142$)

4. 선미 유동장 계측 실험

선체 후반부와 반류 영역의 횡단면에 대하여 5개의 5공 피토관(3)을 이용하여 국부 유속을 계측하였다. Pitot tube rake는 3축 이송 장치(3-D traversing mechanism)에 연결하여 계측 위치로 이동하였으며, traverse의 이동 범위 제한으로 모형선을 수조 중앙에서 우측으로 25~30cm 정도 옮겨서 고정시키고 좌현 쪽에서 계측을 수행하였다. St.3, St.2., St.1, St.0.35(propeller plane), St.-0.4525, St.-2 등 6개 횡단면을 국부 유속 계측 단면으로 선정하였다. 모형선의 예인 속도가 상대적으로 낮았기 때문에 1회 항주 시 traverse를 5~6회 이동시킬 수 있었으며, 계측 시간도 많이 단축할 수 있었다. 그리고 자세한 계측기법은 KCS의 국부유동 계측시 개발된 기법(2)을 사용하였으므로 여기에서는 생략하기로 한다

통상의 모형선에서 선미 벌브의 끝단이 선미 boss만큼 열려있게 되는데, 실제의 상황은 프로펠러의 허브가 존재하게된다. 선미 벌브의 끝단에서, 열린 boss 끝단에서의 비현실적인 급격한 유동의 변화를 방지하기 위해서 반구 형태의 캡을 선미 boss의 끝단에 씌워 모형선을 제작하였다. 추진기가 위치할 단면인 St.0.35는 그 뒤에 위치하고 있다. 모형선의 선미 추진기축의 위치는 자유 수면으로부터 $Z/Lpp = -0.04688$ 에 위치한다.

Figs. 7~12에서는 KVLCC와 KVLCC2에 대해서 각 단면에서의 축방향 속도 contour와 횡방향 속도 vector를 비교하였다. St.3에서는 그 앞쪽의 중앙 평행부에서 형성된 경계층 내의 유동이 선체가 사라지면서 두꺼운 경계층의 형태로 남아 있게 되며, 세장선의 경우와는 달리 수선면에서의 경계층도 두껍게 발달되어 있다. St.2에서는 이러한 현상이 더욱 확실해 지고 있다. KVLCC의 경계층이 KVLCC2보다 약간 두꺼운 것처럼 보이지만 두 선형의 유동에 큰 차이는 없다. St.1에서는 앞쪽에서 형성된 경계층이 선체로부터 먼 곳까지 형성되어 있고, 수선면 부근에서도 또 다른 저속 구간이 발달되기 시작함을 볼 수 있으며, KVLCC의 경우 더 두드러짐을 알 수 있다.

한편 선미 벌브의 위쪽 오목한 부분에서는 선체 가까운 곳에 아래 방향(downward direction)으로의 속도 성분이 컨테이너선보다 분명하게 관측되고 바깥쪽에는 위를 향하는 속도 성분이 관측되고 있으며, KVLCC2의 경우 이러한 경향이 더 심하고 축방향 속도 contour의 형상도 원형에 가까움을 알 수 있다. 프로펠러가 존재하는 면 즉, St 0.35에서는 hub 위쪽에 형성된 bilge vortex의 존재를 명확히 보이고 있으며, 축방향 contour에서 소위 말하는 hook 형태를 볼 수 있다. 이러한 빌지 보오텍스의 형성은 대부분의 선형에서 관측되는 전형적인 선미유동의 특징으로서 고속 세장선의 경우에는 보오텍스의 크기가 미약하고, 저속 비대선의 경우에는 비교적 강한 빌지 보오텍스가 형성되어 추진기 면으로 입사되는 것을 볼 수 있다. KVLCC의 경우보다 KVLCC2의 경우가 좀더 강한 빌지 보오텍스로 말미암아 강한 hook의 형태를 보이고 있고, 등속선의 폭도 넓게 나타나고 있다. 이는 선미의 형상이 KVLCC2가 좀더 U형에 가까워서 빌지 부근에서의 유동의 회전 성분이 강하게 나타나는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 선미 반류의 형상은 결국 점성압력 저항성분의 차이로 나타날 수밖에 없고, 또한 공칭 반류를 통해 추진 효율의 차이로 나타나게 된다. 트랜섬 선미 바로 뒤의 반류 영역인 St.-0.4525에서는 빌지 보오텍스의 효과가 차츰

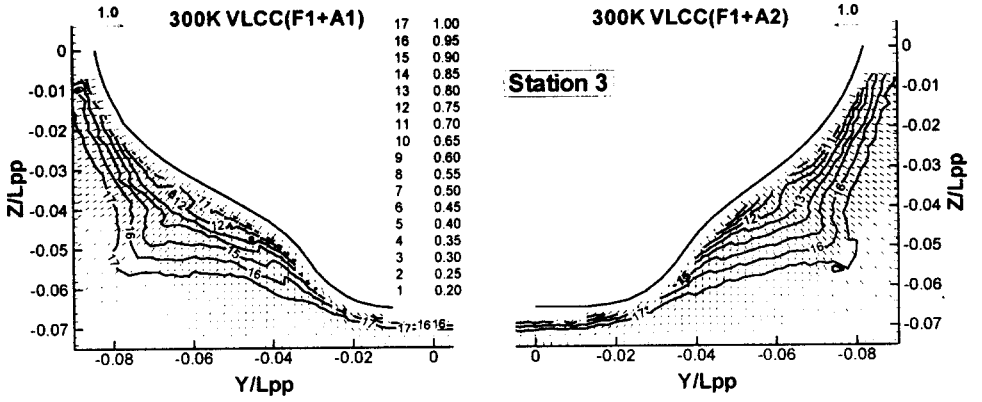


Fig. 7 Comparison of measured velocity field at St. 3 of KRISO 300K VLCCs

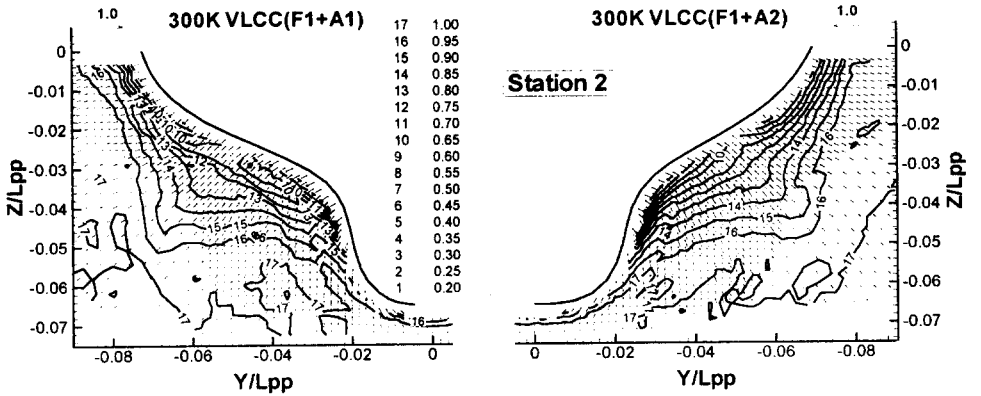


Fig. 8 Comparison of measured velocity field at St. 2 of KRISO 300K VLCCs

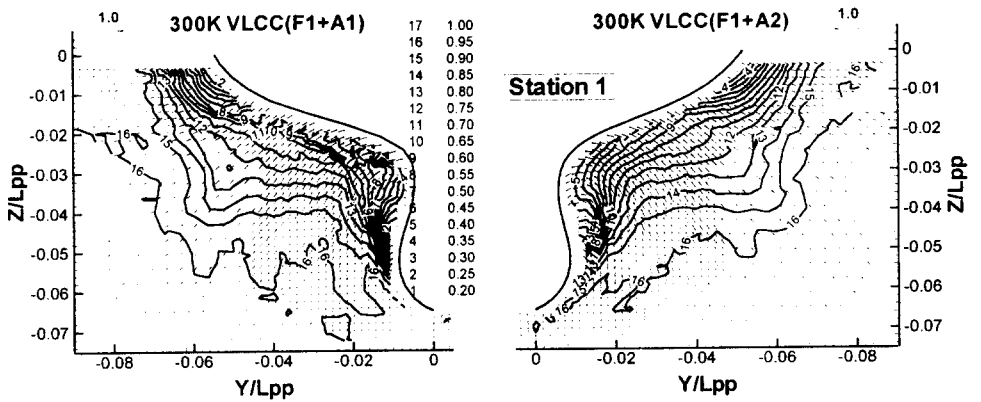


Fig. 9 Comparison of measured velocity field at St. 1 of KRISO 300K VLCCs

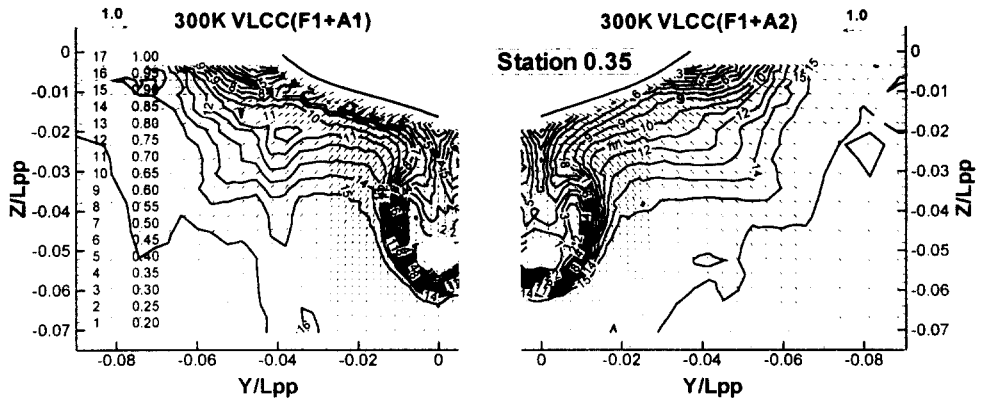


Fig. 10 Comparison of measured velocity field at St. 0.35 of KRISO 300K VLCCs

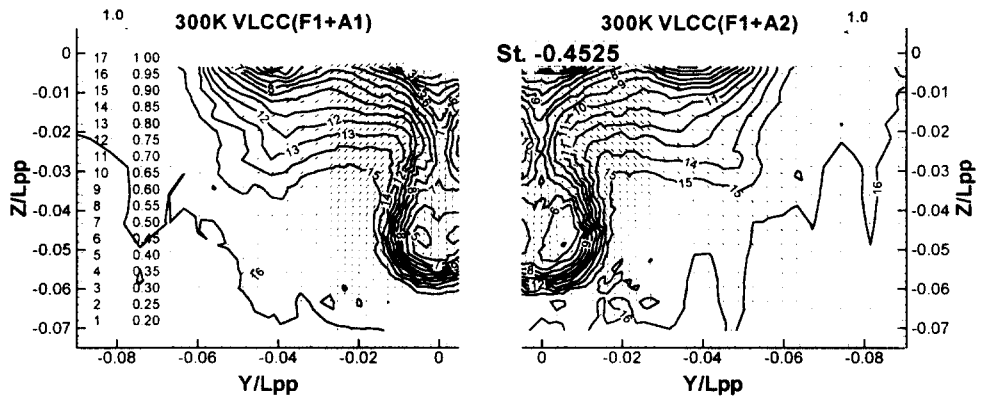


Fig. 11 Comparison of measured velocity field at St.-0.4525 of KRISO 300K VLCCs

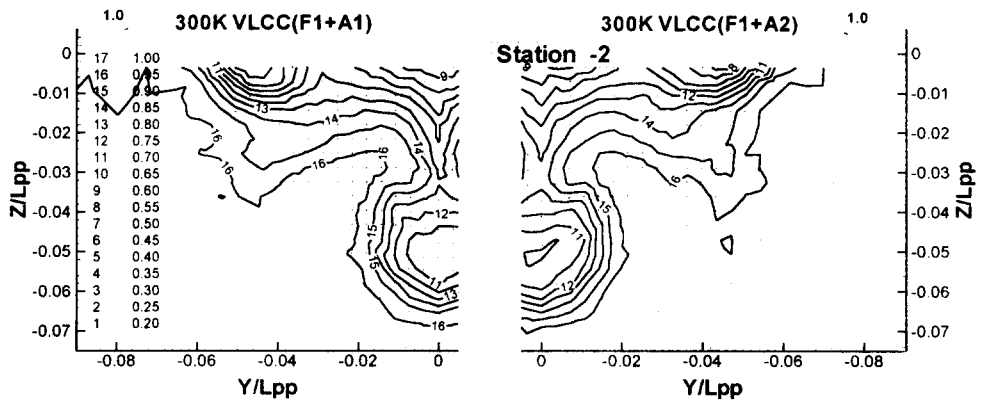


Fig. 12 Comparison of measured velocity field at St.-2 of KRISO 300K VLCCs

약해지면서 등그런 형태의 등속선을 보이고 있다. 한편 수선면 근처에서 축방향 속도가 작아지는 부분이 분명히 관찰되고 있으며, 이 영역에서는 빌지 보오텍스와 반대 방향의 약한 보오텍스가 형성되어있는 것을 알 수 있다. 이는 선미의 오버행(overhang)부분을 따라 위로 흐르는 유동이 선체 중앙선을 따라 흐르는 유동과 만나면서 형성된 약한 보오텍스로 여겨지는데, 이러한 형태의 유동 현상은 선미 윤곽선이 선미에서 벌브 없이 갑자기 위로 향하는 선형에서 흔히 볼 수 있는 선미 양측의 보오텍스와 생성 메카니즘이 같다고 할 수 있다. St.-2에서는 앞의 현상이 차츰 확산되는 양상을 띠고 있다.

추진기 면에서의 속도 분포를 알아보기 위해 St. 0.35에서의 속도장으로부터 추진기면에서의 속도 분포, 즉 $0.3R_p$, $0.5R_p$, $0.7R_p$, $0.9R_p$, $1.1R_p$ (여기서 R_p 는 프로펠러의 반경)에서의 속도를 구하여 Fig. 13에 비교하였다. 이때, 허브의 아랫쪽의 영역($150^\circ \sim 210^\circ$)에서 $0.3R_p \sim 0.5R_p$ 의 구간은 국부 유동장 계측에서 속도 벡터의 방향이 피토판의 캘리브레이션 범위($\pm 40^\circ$)를 넘어섰기 때문에 국부 유동 계측에서 속도를 결정할 수 없었던 영역에 해당된다. 추진기면에서의 속도 분포를 위해서 위에서 설명한 영역에 대하여서는 Tecplot에서 외삽하였음을 밝혀둔다. 추진기면에서의 속도 분포를 살펴보면, hook의 형상이 KVLCC2의 경우 더 분명하고 hub 위쪽의 반류 성분이 큰 부분이 중앙에서보다 바깥쪽으로 이동되어 있고 반류 크기도 작아진 것을 알 수 있다. 또한 hub 밑부분은 선미 벌브의 형상이 KVLCC2의 경우 U형에 더 가까웠기 때문에 contour형상이 U자의 밑부분처럼 둥근 형태를 보인다. Fig. 14에서는 프로펠러 면에서의 축방향 속도 성분의 반경 방향 분포를 보이고 있다.

KVLCC2의 경우 허브 근처를 제외하면 전체적으로 속도가 낮고, 그 결과로 공칭 반류가 커지게 되었음을 알 수 있다(KVLCC는 0.523, KVLCC2는 0.561). 이러한 공칭반류의 차이는 선체 효율에 직접적인 영향을 미치고 KVLCC2가 상대적으로 추진효율(선체효율, η_H)이 높을 것으

로 예상되는데, 이는 자항 실험의 결과와도 일치한다.

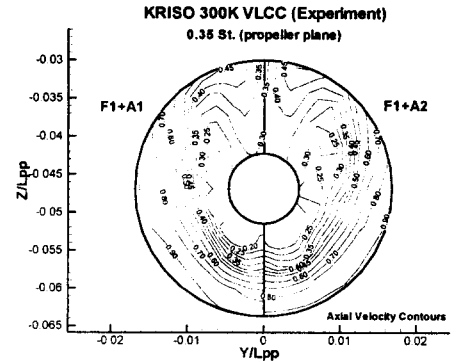


Fig. 13 Comparisons of axial velocity contours at propeller plane of KRISO 300K VLCCS

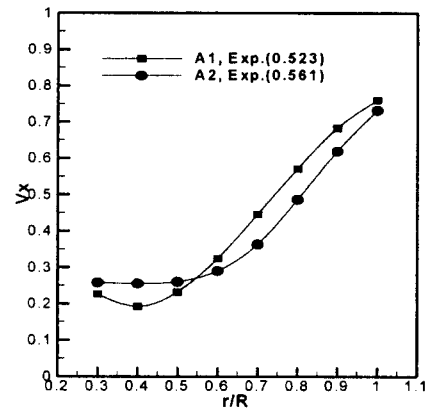


Fig. 14 Radial distribution of axial velocity components at propeller plane of KRISO 300K VLCCs (nominal wake fraction in parenthesis)

5. 저항 및 자항 시험

두 VLCC 선형의 일반적인 저항 추진 특성을 파악하기 위해 통상의 저항 및 자항 실험을 수행하였다. 시험 및 해석 방법은 KRISO의 표준 방법을 그대로 사용하였다. 이 결과에 의하면 대상 선인 KVLCC와 KVLCC2의 저항 추진 성능은

유사한 제원의 다른 실적선들과 거의 동등하거나 약간 나은 성능을 보이고 있어, 본 연구에서 구축한 database가 유체역학적으로 매우 우수한 성능의 선형에 대한 자료임을 확인하였다.

자항 시험에 사용된 stock propeller는 대형 유조선에 흔히 사용되는 추진기와 비슷한 모형 프로펠러를 선정하여 사용하였는데, 모형 프로펠러의 지름은 17 cm로 실선에서는 9.86m에 해당한다. 저항과 자항 시험의 결과를 Table 2에 정리하였다. 저항의 관점에서는 KVLCC2가 KVLCC에 비해 약간 큰 것으로 나타났고, 이러한 저항의 증가는 Fig. 10에서 언급하였듯이 선미의 빌지 보오텍스의 강도가 KVLCC2의 경우가 KVLCC의 경우에 비해 좀더 강했던 것에 기인한다고 할 수 있다. 하지만 Fig. 14의 반류 분포에서 설명하였듯이 추진 효율의 관점에서는 KVLCC2가 KVLCC에 비해 나은 경향을 보이는데, 이는 공칭 반류의 값이 KVLCC2의 경우가 크므로 선체 효율에서의 이득 때문이라고 할 수 있다. 전체적으로는 KVLCC와 KVLCC2의 전달마력은 비슷하다고 할 수 있다.

Table 2 Comparison of powering performance for two hull forms($V_s=15.5$ knots)

Hull form	KVLCC	KVLCC2
C_R	0.638	0.660
EHP	18223	18438
DHP	25467	25384
RPM	72.5	72.2
w_M	0.407	0.443
w_S	0.297	0.305
t	0.197	0.190
η_H	1.142	1.165
η_R	1.005	1.009
η_O	0.624	0.620
η_D	0.716	0.726

6. 결론

저속 비대선 주위의 유체 유동에 대한 이해를 돕고, 수치 계산 결과를 평가하고 정도를 확인하

는데 사용될 수 있는 bench-mark data를 확보할 목적으로 선수부는 같고, 선미부가 다른 두 척의 300K급 VLCC(KVLCC, KVLCC2)의 저항, 저항계수, 파형 및 국부 유속을 계측하였다. 선미 선형의 변화에 따른 저항값의 증가와 빌지 보오텍스의 세기와의 관계, 그리고 공칭 반류의 증가로 인한 추진 효율의 변화 등이 기술되었다. 두 선미 선형의 차이가 조선소의 선형 설계과정에서 흔히 적용해보는 정도이기 때문에, 본 논문에 수록된 계측 결과들은 저속 비대선의 선미 선형 변화에 따른 유동의 변화를 짐작하고 그로 인한 점성 저항 및 추진 효율의 차이를 이해하는데 도움이 되리라 믿는다. 그리고 본 연구를 통해 구축된 database는 현재 활발한 연구가 진행중인 수치 계산(CFD) 방법이 선형 변화에 따른 점성유동의 차이를 정확히 예측할 수 있는지에 대한 좋은 검증 자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

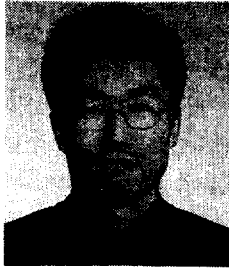
후 기

본 논문은 산업자원부에서 지원한 공업기반 기술 개발사업인 '선박의 저항성능 향상 기술'의 결과[4]의 일부이며, 산업자원부와 한국산업기술평가원 관계자께 사의를 표합니다. 또한 계측장비 구성 및 실험에 도움을 주신 KRISO의 수조운영팀 여러분께도 감사 드립니다. 그리고 KRISO 300K VLCC(KVLCC, KVLCC2)의 선형, 저항 및 자항 자료, 그리고 파형, 속도장 등의 국부유동 계측 자료는 <http://hyperteam.kriso.re.kr>에 공개되어 있음을 알려드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Larsson, L., Patel, V.C., Dyne, G. (editors), "SHIP VISCOUS FLOW," Proceedings of 1990 SSPA-CTH-IIHR Workshop, Gothenburg, Sweden, 1991.
- [2] 반석호, 김우전, 김도현, "KRISO 3600TEU 컨테이너선 모형 주위의 국부유동 계측에 관한 연구," 대한조선학회 논문집 37권 3호
- [3] 김우전, 김도현, 윤현세, 문덕용, 반석호, "반

- 류 계측용 5공 피토관의 캘리브레이션 방법에 관한 연구," 대한조선학회 논문집. 제 34권 2호, 1997.
- [4] 반석호 외, 선박의 저항성능 향상 기술(최종 보고서), 산업자원부, 1998, 11.



저자<김우전>