

사항 중인 대형유조선 모형 주위의 선미 유동장에 관한 실험적 연구

김우전*, 김도현*, 김연규*, 김선영*, 반석호*

An Experimental Study on Stern Flow around a VLCC model with Drift Angles

Wu-Joan Kim*, Do-Hyun Kim*, Yeon-Gyu Kim*,
Sun-Young Kim* and Suak-Ho Van*

요 약

최근에 선형의 유체성능 평가에 활용되기 시작한 CFD 계산결과의 검증을 위해서는 잘 정리된 선체 주위의 국부유동 계측자료의 확보가 필수적이다. 그동안 국내에서 저항성능 평가를 위한 검증자료의 확보를 위해 모형선이 직진하는 경우에 대한 유동 계측이 몇 차례 수행되었다. 본 논문에서는 VLCC 모형의 사항 중 발생하는 여러 개의 분리된 보오텍스 등 매우 복잡한 선미 유동장을 계측함으로써 조종성 계수 추정을 위한 수치계산 결과의 검증 자료를 확보하고자 하였다. 선체가 표류각 0°, 5°와 10°를 가지고 진행할 때, St. 2와 A.P. 위치에서 좌현 및 우현의 속도장을 각각 계측하였으며, 표류각이 큰 경우에는 각각 발생 위치가 다른 네 개의 보오텍스가 선미에 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

Abstract

It is necessary to obtain the well-documented local flow measurement data for the validation of CFD prediction of hydrodynamic performance. In the present paper the local flow fields around the stern region of a VLCC model with drift angles of 0°, 5°, and 10° are measured. Mean velocity components are documented at St. 2 and A.P. of both port and starboard side of KVLCC in KRISO towing tank. Flow information associated with the formation of four discrete vortices in the stern region is explored. The present experimental data can provide a good test case to validate the accuracy of numerical modeling for stern flow and maneuverability prediction of modern tanker hull forms.

접수일자 : 2000년 9월 19일, 승인일자 : 2001년 1월 5일

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

1. 서 언

최근에 들어서 계산유체역학 기법(CFD)을 이용하여 선체 주위의 유동을 계산하고, 이를 바탕으로 선형의 유체동력학적인 특성을 파악하려는 시도가 여러 선박유체역학 분야에서 이루어지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 선박의 안전 운항을 위해서 필수적인 조종성능을 평가하는데도 계산유체역학기법이 활용되기 시작하였다(Sato et al. 1998, 김선영/김연규 1999). 하지만 이러한 수치계산의 정도확인을 위해서는 조종시험의 결과로 얻어지는 힘과 모멘트는 물론, 체계적으로 이루어진 국부유동 예측의 결과가 필요하다. 그리고 이러한 유동예측의 결과는 실제 일어나는 선체 주위의 국부유동과 조종성 계수와의 관계를 설명해주는 매우 귀중한 자료로 활용됨은 두 말할 나위가 없다.

세계적으로 공개된 선체주위의 국부유동 예측결과는 Wigley 선형이나 Series 60 등과 같은 간단한 선형, 또는 HSVA/Dyne tanker나 Ryuko Maru와 같은 오래된 70년대의 선형에 국한되어 최근의 선형에 대한 검증자료로 활용되기에는 한계가 있다고 하겠다(김우전 등 1998). 최근에 KRISO에서 예측한 3600TEU Container Ship(KCS)과 300K VLCC(KVLCC, KVLCC2) 선형 주위의 국부 유동장 예측 자료는 최신의 실용적인 상선에 대한 최초의 공개된 실험으로서 저항 추진분야에서는 Gothenburg 2000 Workshop의 대상 선형으로 선정되는 등, 세계적으로 CFD 계산 검증을 위한 자료로 활용되고 있다(반석호 등 2000, 김우전 등 2000). 하지만 조종성능의 평가를 위해서는 직진 상태뿐만 아니라 사항중인 상태의 유동에 대한 올바른 예측이 필요하기 때문에 표류각(drift angle)이 있는 경우에 대한 예측자료의 확보가 요구된다. 사항중인 상태에서의 국부유동 예측자료로는 미국 아이오와 대학의 IHR에서 예측한 Series 60 선형에 대한 자료가 유일하게 공개되어 있다(Longo 1996). 그러나 앞에서 언급하였듯이 이 Series 60 선형은 최근의 선형과는 너무나 동떨어져 있어 그 실

용성이 크게 떨어진다.

본 연구에서는 조종성능이 문제가 될 수 있는 대형유조선(VLCC)을 선택하여 선미 주위의 국부 유동장을 예측함으로써 사항중인 선체 주위 유동장의 특성을 이해하고, 또한 계산유체역학(CFD)의 수치계산 결과에 대한 검증 자료로 활용할 목적으로 KTTC 저항분과의 공동연구 선형으로 활용된 바 있는 KRISO 300K VLCC F1+A1(이하 KVLCC)선형의 축적비 1/58로 제작된 모형선의 선미에서 유동을 예측하였다. 본 실험에 사용된 KVLCC 선형과 모형선에 대해서는 이미 발표한 논문(김우전 등 2000)에 자세히 설명하였으므로 여기서는 간단히 주요목만 Table 1에 기술하였다.

Table 1 Principal particulars of KRISO 300K VLCC F1+A1(KVLCC)

Ship Name	300K VLCC F1+A1 (KVLCC)	
Designation	Ship	Model
Scale ratio	58.0	
Speed	15.5 knots	1.047 m/sec
L _{pp} (m)	320.0	5.5172
B (m)	58.0	1.0000
D (m)	30.0	0.5172
T (m)	20.8	0.3586
L _{wL} (m)	325.5	5.6121
S (m ²)	27320	8.1213
S _{rudder} (m ²)	273.3	0.0812
∇ (m ³)	312738	1.6029
C _B	0.8101	
C _w	0.9077	
C _M	0.9980	
LCB (f. +)	3.48 %	

KRISO 예인 수조에서 St. 2 와 A.P. 단면에서 직진 상태와 표류각이 5°와 10°인 경우에 대하여 선측 파형을 관측하고, 또한 5공 피토크관을 이용하여(김우전 등 1997) 우현과 좌현에서 속도성분을 예측하였다. 국부유동 예측 방법은 최근에 직진하는 선박에 대한 국부 유동장 예측 방법(반

석호 등 2000)을 이용하였으며, 사항중인 선박의 경우에도 계측이 가능하도록 일부 장비를 새로 제작하였다. 특히 사항 상태에서 표류각의 조절을 용이하게 하기 위해 모형선과 3축 이송장치를 PMM 장비의 strong back에 부착함으로써 사항 중 국부유동의 계측을 편리하게 하였다.

본 논문에서는 사항중인 모형선 주위의 파형이나 선미 경계층내의 유속 분포와 같은 국부유동 현상 계측을 위해 개발되고 보강된 계측 장비의 구성 및 해석 기법 등을 설명하고 유동 계측 결과를 설명하였다.

2 국부 유동 계측 시스템의 구성

2.1 모형선의 구속 및 각도 고정

직진하는 선박의 국부유동 계측과는 달리 본 연구의 실험은 사항하는 경우를 계측해야 하기 때문에 모형선의 표류각을 쉽게 바꿀 수 있어야 한다. 이를 위해서 Fig. 1에 보인 바와 같이 피토티브 레이크(Pitot-tube rake)를 움직이기 위해 사용된 3축 이송장치(traversing mechanism)와 모형선을 예인 전차의 뒤쪽에 위치한 PMM 장비의 strong back에 부착하여 사항 각도를 쉽게 바꿀 수 있게 하였다. 그리고 부착된 모형선은 침하와 트림이 일어나지 않도록 고정하였으며, 실험 중 작용하는 횡방향 하중에서도 고정 상태를 유지하기 위해 보강하였다. 사항 각도는 예인 전차의 계측 레일과 모형선의 중심선의 각도를 계측하여 결정하였다.

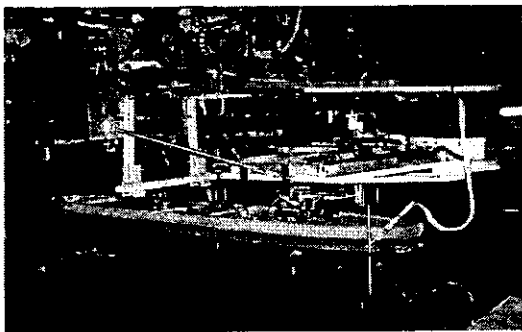


Fig. 1 KVLCC model ship attached to PMM device

직진 상태에서의 계측 방법(반석호 등 2000)과 마찬가지로 3축 이송장치의 이동 거리와 수조 트리밍 탱크의 공간 부족 등의 이유로 국부 유동 계측은 모형선의 왼쪽, 즉 좌현에서만 이루어졌다. 그러므로 한 표류각에서 우현의 속도 분포는 모형선을 반대의 각도로 고정함으로써 가능하였다. 국부 유동장 계측은 St. 2와 A.P.의 위치에서 선체에 고정된 좌표를 따라 이루어졌고, 위에서 설명한 대로 PMM(Planar Motion Mechanism) 장비를 이용하여 0° , $+5^\circ$, -5° , $+10^\circ$, -10° 의 5개 각도로 모형선을 고정된 상태에서의 좌현을 계측함으로써 직진 상태, 그리고 5° 와 10° 의 표류각을 가진 경우에 대해 국부 유동장 계측결과를 얻을 수 있었다. 그리고 PMM 장비의 각도 지시계가 가지고 있을지 모르는 오차를 방지하고, 좀 더 정확한 표류각을 확인하기 위해 PMM 장비의 strong back에 폭 방향으로 자를 부착하고 중심선에서 추를 내려서 각도를 계측하였다. 폭 방향으로 부착된 자에는 모형선의 표류각을 주었을 때 strong back의 기준 위치에서 내린 추의 위치를 미리 계산하여 표시해두고, 원하는 각도까지 PMM 장비를 이용하여 모형선을 돌리고 정확한 각도는 자의 눈금을 읽어서 정하였다. 그리고 3축 이송장치가 차지하지 않도록 strong back에 받침대를 설치하고, 그 받침대의 양쪽을 예인 전차에 다시 고정하는 등, 각도 고정 및 수평 유지에 만전을 기하였다.

2.2 선측 파형 계측

선체 표면에서의 파고는 스틸 카메라로 찍은 사진을 판독함으로써 구하였다. 이를 위해서 모형선 만재 흡수선의 위와 아래에 1 cm 간격의 수선을 추가하여 표기하였다. 길이 방향으로는 통상의 20개의 스테이션에서의 값을 읽었고, 사진은 국부 유동 계측 실험 중에 촬영할 수 있으므로 선측 파고 계측을 위한 실험은 따로 실시하지 않아 시험에 소요되는 시간을 절약하였다. 직진 상태와는 달리 PMM 장비에 모형선을 구속하여 통상 예인 전차에서 사용하던 조명 장치를 사용하지 못하여 사진 촬영에 어려움이 있었다. 그리고 선수부와

같이 가까운 거리에서 관측할 필요가 있는 부위에도 예인 전차 내부의 사정으로 접근이 수월하지 않았다는 점을 기술해 둔다. 우선 선체 표면을 따르는 파형은 모형선 주위의 파계가 정상 상태에 이르렀을 때 스틸 카메라를 이용하여 수면의 변화를 촬영하였다. 사진 한 장에 2~3개 스테이션을 사진으로 찍은 후 그 값을 mm 단위까지 읽어서 계측하였다. 이렇게 계측하는 경우, 자유수면의 위치를 어떻게 보는가에 따라 소위 bias error가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 두 사람이 각각 사진을 판독하여 그 평균을 취함으로써 그 오차를 줄이고자 노력하였다.

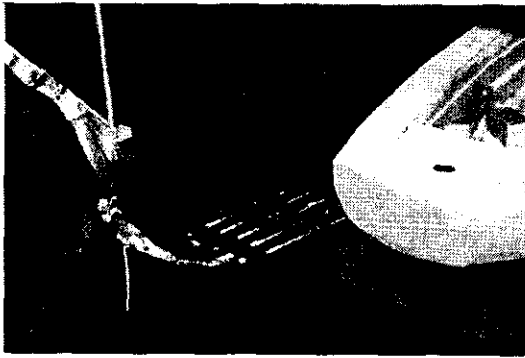


Fig. 2 Pitot tube rake placed near the stern of KVLCC model ship

2.3 국부 유속 계측

선체 주위의 3차원 유속을 계측하기 위하여 5공 피토티관(five-hole Pitot tube)을 사용하였다. 실험 시간을 줄이기 위해 한번에 여러 위치에서의 유속을 계측할 수 있도록 5개의 5공 피토티관을 4 cm 간격으로 묶은 레이크(rake)가 사용되었다(반석호 등 2000). 모형선 반쪽(선저 중앙부)의 범위까지 계측이 가능하도록 레이크와 3축 이송장치 사이를 연결하는 어댑터를 사용하였다. 어댑터는 계측 중 항력과 교란을 최소로 하기 위하여 유선형 단면을 택하였으며, 레이크가 어댑터에 삽입 되도록 홈을 파서 제작하였다. Fig. 2에는 5공 피토티관과 레이크를 연결한 모습과 실제 계측장면을 보이고 있다. 5공 피토티관의 캘리브레이션은 횡방향 속도 성분이 큰 경우에도 오차를 최소화하기

위해 2차원 차트 캘리브레이션 방법(김우전 등 1997)을 사용하였다. 압력 변환기는 예인 수조에서 반류계측을 위해 통상적으로 사용하던 Validyne사의 DP-15와 CD-10을 사용하였다. 압력 변환기는 실험 직전에 캘리브레이션하여 그 결과를 이용하였다.

3축 이송장치는 모형선 진행방향, 폭방향, 수직 방향으로 0.95m, 0.60m, 0.60m의 범위에서 이동이 가능하고, 각 방향은 400W AC servo motor(Panasonic MSM042A1E, 단 종방향은 MSM022A1E로 용량이 200W)로 구동되며, 모터와 회전축은 타이밍 벨트로 연결되어 1:2의 비로 감속된다. 모터 드라이버(motor driver)는 엔코더의 펄스로 제어하며, RS232C Interface를 통해서 PC와 통신할 수 있는 프로그램을 사용하여 0.01 mm까지 조절이 가능하도록 하였다. 피토티관 레이크는 3축 이송장치에 연결하여 계측 위치로 이동하였으며, 3축 이송장치의 이동범위 제한으로 모형선을 수조 중앙에서 우현 쪽으로 40 cm 정도 옮겨서 고정시키고 좌현 쪽에서 계측을 수행하였다.

실험 장비의 정도 확인을 위하여 유속 계측 실험 준비를 마친 후 모형선을 떼어 내고 피토티관 레이크만을 예인하여 캘리브레이션 값과 비교하는 nulling 시험을 수행하였고, 모든 시험이 끝난 후에도 다시 값을 확인하여 계측 결과에 보정해 주었다. 계측 면은 기존의 유사한 연구 결과를 바탕으로 St. 2 와 A.P.의 2개 횡단면으로 선정하였다. 가능한 한 수면 가까운 깊이에서의 계측을 위하여 미리 예측한 파고를 참조하여 3 cm 깊이를 시작점으로 하였다. 각 단면에 대하여 가로, 세로 2 cm의 계측 격자를 만들어 계측 위치의 좌표를 구하고, 피토티관 레이크의 최적 이동 궤적을 결정하였다. 선체가 있는 단면에서는 모형선 표면으로부터 10~15 mm 근접한 위치까지 계측하였으며, 유동의 대칭성을 확인하기 위하여 모형선 중심선을 넘어 2개 위치에 대하여서도 유속을 계측하였다.

KVLCC의 설계속도(15.5 knots)에 해당하는 모형선의 예인속도는 1.0469 m/s로 비교적 낮

기 때문에 예인전차가 1회 항주할 때 피토 튜브 레이크를 4~6회 정도 이동시켜 20~30점에서의 유속을 계측하여 실험 시간을 단축하였다. 피토 튜브의 압력신호를 60 Hz로 5초간 취한 뒤 평균하여 유속을 구하였다. 압력 변환기와 피토판 사이에는 기포 발생에 의한 수두 변화가 일어나지 않도록 끓인 물을 식혀서 주입하였으며, 수시로 피토판과 압력 변환기, 그리고 계측 위치를 점검하며 실험을 수행하였다.

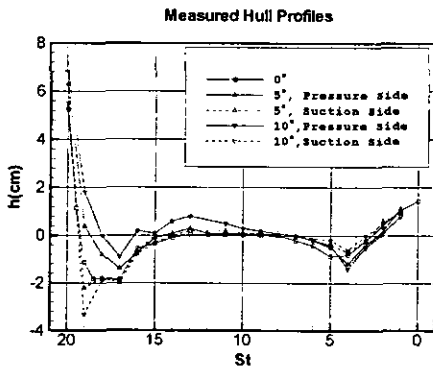


Fig. 3 Measured wave profile along KVLCC model at drift angles

3. 계측 결과

3.1 선측 파형

일반적으로 본 연구의 대상 선형인 대형 유조선의 경우에는 자유 수면의 영향이 크지 않다고 알려져 있다. KVLCC의 경우 설계속도에서의 F_n 가 0.142로 작기 때문에 조파현상이 크지 않고 그 영향도 크지 않을 것으로 예상된다. 하지만 사항중일 때의 파형의 변화 또한 유체역학적인 관심 사항인 만큼 선측 파형을 관측하였다. Fig. 3에서 보인 바와 같이 선수부에서는 눈에 띄이는 차이를 보이고 있다. 직진 상태에 비하여 pressure side에서는 수면 상승을, suction side에서는 수면의 하강을 관측할 수 있다. St. 19의 경우를 살펴보면, 표류각이 5°일 때는 2.6 cm 그리고 10°일 때는 5.1 cm의 차이를 양쪽에서 보이고 있다. 수면 상승은 pressure side의 경우에는 선체 중앙부까

지 계속 남아 있고, 선미부에서는 오히려 역전되는 경향을 보이고 있다. 그러나 선수부의 몇 스테이션을 제외하면 자유 수면의 효과는 그리 크지 않을 것으로 생각된다. 하지만 선수부의 파고 차이는 yaw 방향 모우먼트에는 약간의 영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

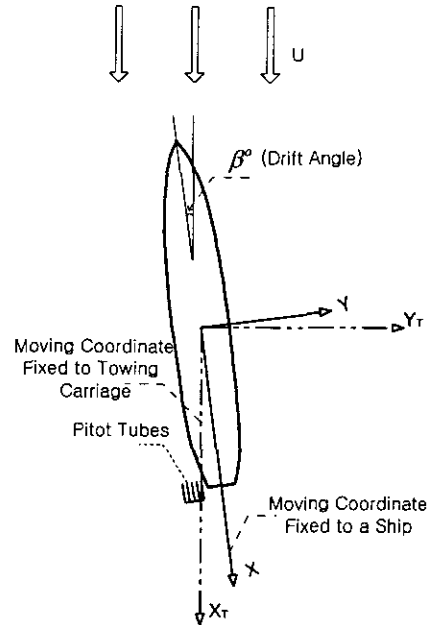


Fig. 4 Moving coordinate system fixed to a ship(X, Y, Z) and to towing carriage (X_r, Y_r, Z_r)

3.2 선미 유속 분포와 보오텍스 형성

KVLCC 모형선의 선미부 St. 2와 A.P.에 대하여 5공 피토판을 이용하여 국부 유속을 계측하였으며, 피토판 레이크는 모형선과 같이 PMM 장비의 strong back에 함께 물려 있으므로 피토판의 국부 좌표계는 모형선과 같은 방향을 가지고 있다. 계측된 유속을 표현하는데는 Fig. 4에서 보이고 있는 두 가지의 이동 좌표계의 설정이 가능한데, 첫 번째로 예인 전차의 진행방향과 동일한 (X_r, Y_r, Z_r)의 좌표계에서 표시하는 방법이 있을 수 있고, 두 번째로 모형선에 고정된 이동 좌표계 (X, Y, Z)로 나타내는 방법이 있다. 결과해석을 위

해 두 좌표계를 이용하여 속도 성분을 표시해본 결과, 후자의 경우가 유동을 좀더 알기 쉽게 설명할 수 있었기 때문에 이하의 결과는 모형선에 고정된 (X,Y,Z)에서의 속도 성분을 각각 (U,V,W)로 정의하고 결과 해석에 사용하였다. 각 길이는 계측점의 상황을 파악하기 쉽게 하기 위해 cm 단위를 그대로 사용하였으며, 각 방향의 속도 성분은 모형선의 예인 속도인 1.0469 m/sec로 무차원화하였다.

직진 상태에서 계측된 St. 2에서의 속도 분포를 Figs. 5와 6에 도시하고 있다. 종방향 속도 분포에서는 저속 비대선 주위의 유동 패턴이 잘

나타나는데, 선체 중앙 평행부에서 발달된 점성 경계층이 선미로 진행하면서 좁아지는 선미 형상을 따라 두껍게 나타나고 있다. 그리고 횡방향 속도 벡터에서는 배의 단면적이 줄어들면서 선체의 중심선을 향하는 속도 성분이 강하게 나타나고 있고, 약하나마 선저 빌지를 돌아오는 속도의 회전 성분을 관측할 수 있는데, 이는 선미후방으로 가면서 강한 빌지 보오텍스로 나타나게 된다.

Figs. 7과 8에는 직진 상태의 A.P.에서의 속도 분포를 보이고 있다. 바깥쪽의 경계층의 모양은 St. 2에서의 모양을 크게 벗어나지 않았으나, A.P.에서는 몇 가지 언급할 만한 유동의 특성을

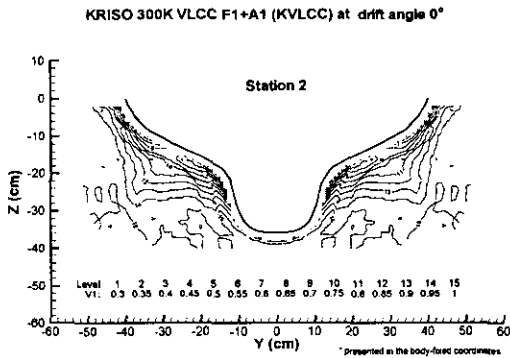


Fig. 5 Axial velocity contours at St. 2 (Drift Angle = 0°)

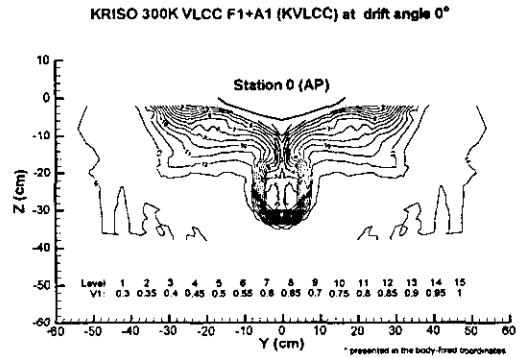


Fig. 7 Axial velocity contours at A.P. (Drift Angle = 0°)

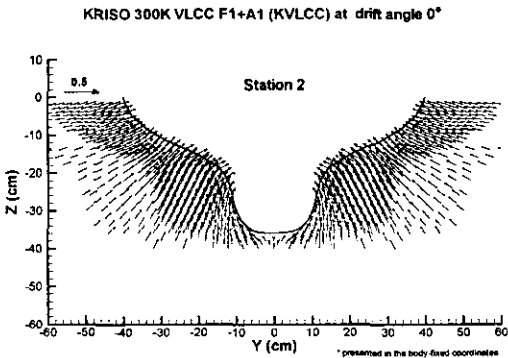


Fig. 6 Transverse velocity vectors at St. 2 (Drift Angle = 0°)

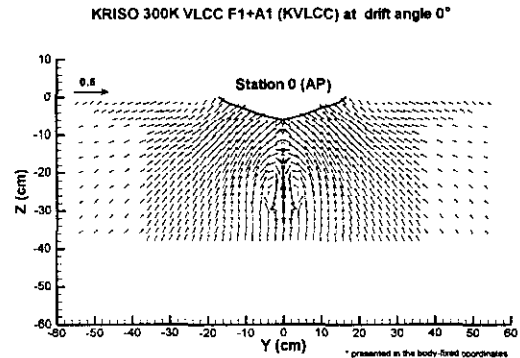


Fig. 8 Transverse velocity vectors at A.P. (Drift Angle = 0°)

가지고 있다. 우선 프로펠러 단면 근처의 빌지 보오텍스의 존재이다. 이는 횡방향 속도 벡터에서 쉽게 확인 할 수 있는데, 이러한 빌지 보오텍스의 존재는 종방향 속도분포를 뒤틀리게 하여 소위 갈고리 모양의 등속선을 가지게 한다. 현재의 계측 지점이 A.P.인 관계로 이러한 갈고리 모양은 두드러지지 않지만 그 흔적을 찾아볼 수 있다. 그리고 수면 근처에 선체의 옆쪽으로 저속 구간이 형성되어 있는데, 이는 선미의 overhang을 따라서 형성된 점성 경계층이 A.P.의 좁아진 선체를 따르지 못하고 벗어나 있는 상황으로서 최근 상선 선형에서 흔히 관찰되는 유동 패턴이다.

직진 상태가 아닌 표류각을 가지고 있는 경우의 유동은 우선 좌우가 비대칭을 나타내므로 좌현과 우현을 모두 계측하여야 하는데, 본 연구에서는 선수가 좌현 쪽으로 이동한 상태에서의 표류각에 대하여 표시하기로 하였다. 우선 표류각이 5°인 경우의 유동 계측 결과를 Figs. 9~12에 도시하였다. 먼저 St. 2의 경우에는 좌현에 종방향의 속도 분포가 바깥쪽으로 흘러가듯이 나타나고 있는데, 이는 유동이 선체의 전반부에서 선체를 가로지르며 발생한 보오텍스가 선미에 남아있는 모습으로 Y=-40 cm, Z=-20 cm 근처에 중심이 있는 것으로 생각된다.

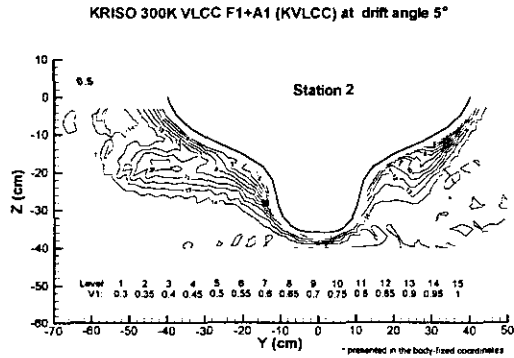


Fig. 9 Axial velocity contours at St. 2 (Drift Angle = 5°)

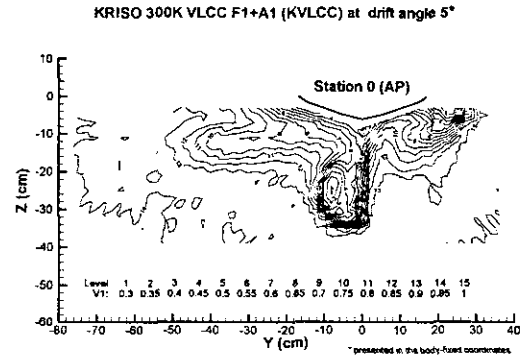


Fig. 11 Axial velocity contours at A.P. (Drift Angle = 5°)

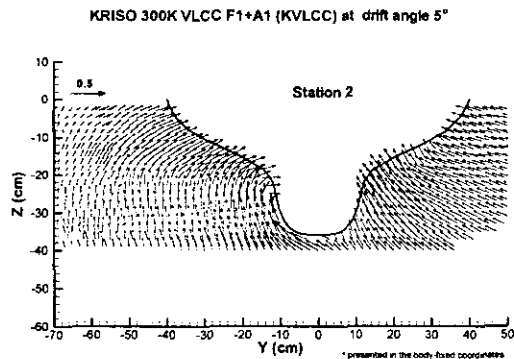


Fig. 10 Transverse velocity vectors at St. 2 (Drift Angle = 5°)

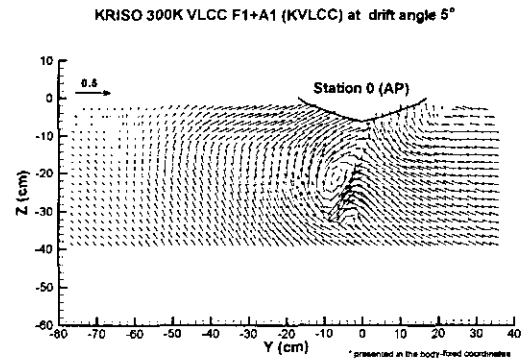


Fig. 12 Transverse velocity vectors at A.P. (Drift Angle = 5°)

우현의 종방향 등속선은 직진 상태와는 달리 벽면 쪽으로 많이 치우쳐 있음을 알 수 있다. 이는 횡방향 속도 벡터에서 알 수 있듯이 우현에서 들어오는 입사류의 영향으로 점성 경계층의 두께가 현저히 감소하고 있기 때문이다. 그리고 좌현에는 선저를 가로지르는 큰 형태의 회전 속도 성분이 생기고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 속도 패턴은 A.P.에서 더욱 확연해지는데, 먼저 St. 2에서 관찰된 선수로부터의 보오텍스는 그 흔적을 여전히 남기고 있고, 선체 중앙면 근처에 강한 보오텍스가 존재하는데, 이는 직진 상태에서 생긴 빌지 보오텍스보다 훨씬 강한 형태로 선저를 가로지르는 속도 성분이 빌지 보오텍스의 형성과정에 합세하여 강한 보오텍스 성분을 $Y=-7$ cm, $Z=-22$ cm에 위치시키고 있다. 한편, 직진 상태에서 우현에 형성되던 빌지 보오텍스는 크게 약화되어 그 흔적만 약하게 남아 강한 반대 방향의 보오텍스 아래쪽에 위치하고 있다. 그리고 주목할 만한 사실은 우현의 자유수면 근처에 좌현의 보오텍스들과는 별도로 하나의 보오텍스가 존재하고 있다는 사실이다. 이 보오텍스의 기원으로 자유수면의 존재를 의심하여볼 수 있으나, 현재의 Fn 가 0.142이고 A.P.에서의 선측 파고가 1 cm 내외인 점을 감안하면 이를 자유수면에서의 조파 현상과 연결시키려는 설명은 다소 무리가 있어 보인다. 오히려 이는 선미부의 overhang에서 점성 경계층 내부의 바깥을 향하는 속도 성분과 입사류와의 충돌로 생기는 또 하나의 overhang 보오텍스로 간주되어야 할 것이다. 반대로 좌현쪽에는 직진 상태에서 overhang 뒤로 생겨났던 두꺼운 경계층이 선저를 건너온 회전류의 영향으로 벽면으로 밀려가서 크게 눈에 띄지 않는다는 점을 발견할 수 있다.

표류각이 10° 인 경우에는 5° 인 경우에서 나타났던 현상이 훨씬 두드러지는데, 우선 Figs. 13과 14에 보인 St. 2에서의 속도 분포에서는 선체 전반부에서 떨어져 나온 보오텍스가 뚜렷하게 보이며, 선미의 선저를 가로지르는 속도 성분도 5° 의 경우에 비하여 매우 강하고 그로 인한 보오텍스의 형성은 Figs. 15과 16의 A.P.에서의 계측

결과에 잘 나타나 있다.

A.P.에서는 모두 4개의 보오텍스가 관찰되는데, 좌현의 $Y=-56$ cm, $Z=-15$ cm에 존재하는 선체 전반부에서 형성된 보오텍스의 흔적과 우현의 $Y=15$ cm, $Z=-8$ cm 근처의 overhang 보오텍스, 그리고 중앙면 근처의 강하고 약한 보오텍스 두 개가 관찰되고 있다. 이러한 보오텍스의 크기가 선체의 사항시 발생하는 횡방향 힘과 모멘트를 결정하게 되는데, 현재의 계산유체역학기법과 난류모형으로 이 네 개의 보오텍스를 모두 잘 모사할 수 있을지 알아보는 것은 매우 흥미로운 일이라고 할 수 있겠다.

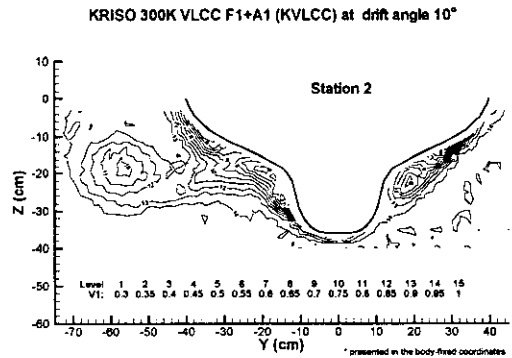


Fig. 13 Axial velocity contours at St. 2 (Drift Angle = 10°)

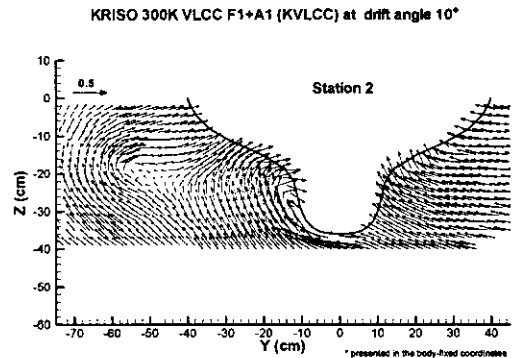


Fig. 14 Transverse velocity vectors at St. 2 (Drift Angle = 10°)

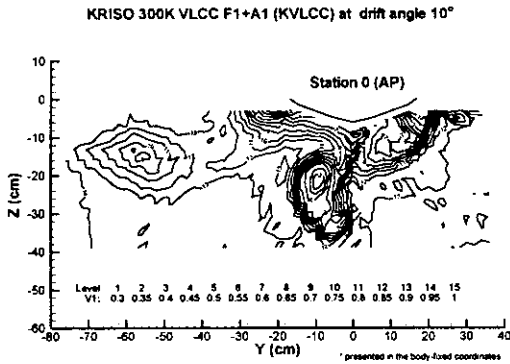


Fig. 15 Axial velocity contours at A.P. (Drift Angle = 10°)

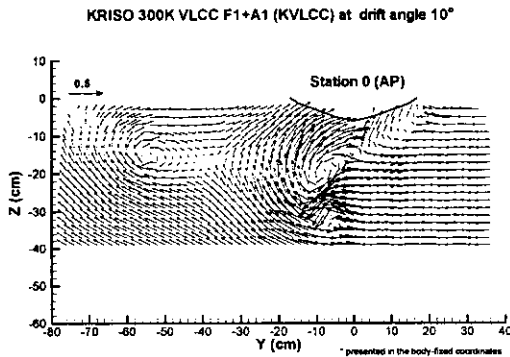


Fig. 16 Transverse velocity vectors at A.P. (Drift Angle = 10°)

3.3 선체 작용력

표류각을 가진 상태에서의 모형선에 작용하는 힘과 모멘트는 PMM 장비의 XY 게이지를 이용하여 계측하였다. 이때 힘과 모우멘트는 각각 모형선에 고정된 이동 좌표계(X,Y,Z)의 방향으로 계측되었다. Table 2에 주어진 X'과 Y'는 각각 선미방향과 우현방향의 작용력이며 N'은 반시계 방향(즉, 표류각 β 방향)의 선체 중앙부를 중심점으로 한 회전 모우멘트이다. 그리고 X'과 Y'는 모형선의 예인속도에서의 동압과 모형선의 길이의 제곱 즉, $\frac{1}{2} \rho U_0^2 L_{pp}^2$ 으로 무차원화 하였으며, N'

은 $\frac{1}{2} \rho U_0^2 L_{pp}^3$ 으로 무차원화 하였다. 표류각이 커짐에 따라 종방향의 힘은 별로 변화하지 않고, 횡방향의 작용력과 모멘트가 크게 변화하고 있다. 표류각이 10° 인 경우는 이미 횡방향의 작용력이 선형적으로 변화하는 구간을 넘어선 것으로 판단된다.

Table 2 Force and moment acting on KVLCC model ship with drift angles

표류각	X'	Y'	N'
5°	0.001108	-0.001250	0.000900
10°	0.001116	-0.003254	0.001673

4. 결 언

본 연구에서는 예인수조에서 사항 상태의 모형선 주위의 국부 유동장을 계측하는 방법과 표류각을 가진 대형유조선 모형(KVLCC) 주위의 선미 유동장 계측 결과를 기술하였다. 직진 상태와 표류각이 5°와 10°인 경우에 대하여 선측 파형과 St. 2와 A.P.에서의 유속 분포를 계측하였는데, 여러 가지 흥미있는 결과를 얻을 수 있었다. 직진 상태와는 달리 표류각이 경우에는 선수부의 좌현과 우현에 상당한 파형의 차이가 관측되었다. 선미부의 속도 분포에는 형성과정이 다른 네 개의 보오텍스가 존재함이 알 수 있었다. 우선 첫 번째로 선체 전반부에서 선저를 가로지르며 형성된 커다란 보오텍스를 좌현에서 관측할 수 있었다. 그리고 직진상태에서는 같은 크기를 가지며 반대방향으로 회전하는 두 개의 밀지 보오텍스가 관측되지만 표류각이 있는 경우에는 각각의 크기가 현저하게 달라짐을 확인하였다. 이는 선체를 횡방향으로 건너가는 유입류에 의해 좌현의 밀지 보오텍스는 크게 강화되고 반면 우현의 밀지 보오텍스는 소멸되기 때문이다. 마지막으로 우현에 선미의 곡면부를 따르는 유동과 입사류의 상호작용으로 형성된 네 번째의 보오텍스를 관측할 수 있었다.

본 실험을 통해서 얻어진 모형선이 표류각을 가

지고 사항할 때의 선미 유동장 계측결과는 선박의 조종성능과 국부유동과의 관계에 대한 이해를 도모하고, 최근 연구가 활발한 계산유체역학의 수치계산 결과를 검증하는데 중요하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 김선영, 김연규 1999 "사항중인 VLCC 탱커 주위의 점성유동 계산," 대한조선학회 추계 학술대회 논문집.
- 김우전, 김도현, 윤현세, 문덕용, 반석호 1997 "반류 계측용 5공 피토판의 캘리브레이션 방법에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 34권.
- 김우전, 김도현, 반석호 1998 "선체 주위의 유동해석을 위한 수치계산과 검증 실험자료에 관한 연구," 선박해양기술, 제 26호.
- 김우전, 반석호, 김도현, 이춘주 2000 "선미선형을 변화시킨 두 척의 KRISO VLCC 모형주위의 유동과 저항추진 특성에 대한 실험적 연구," 대한조선학회 논문집, 제 37권 3호.
- 반석호, 김우전, 김도현 2000 "KRISO 3600TEU 컨테이너선 모형 주위의 국부유동 계측에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 37권 3호.
- Longo, J. 1996 Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Eng., Univ. of Iowa.
- Sato, T., Izumi, K., Miyata H. 1998 " Numerical simulation of maneuvering motion," Proceedings of the 22nd Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington D.C., USA.



〈김우전〉



〈김도현〉



〈김연규〉



〈김선형〉



〈반석호〉