

LNG 운반선에 대한 수치해 변화에 영향을 주는 요소에 관한 연구

김희택*, 김형태†*

충남대학교 선박해양공학과*

Research of Elements Giving Effects on the Numerical Analysis for the LNG Carrier

Hee-Taek Kim* and Hyoung-Tae Kim†*

Dept. of Naval Architecture & Ocean Eng. Chungnam National Univ.*

Abstract

Numerical analysis using the FLUENT is performed for the 138K LNG carrier of the MOERI. In this study, results according to the number and also the type of the grid, different turbulent models, variations of y^+ are compared with experiments and computational results from the WAVIS. RSM model gives good result in comparison with other models, and the more the number of grid increase, the better the resistance converges to the constant value. Additionally, it is confirmed that the resistance and wake distributions vary with the change of y^+ , and O-O type grid yields better wake distributions than that of O-H type. Average velocity distributions and velocity profiles are mainly in accord with experiments and computational results of the WAVIS, however, present results in the region of transom and tip of leading edge of the rudder are poor for the lower velocity components comparing with that of the WAVIS.

※Keywords: KRISO 138K LNG Carrier(KLNG 운반선), CFD(전산유체역학), Double body(이중모형), Grid type(격자형상)

1. 서언

최근 들어 국내의 대형 조선소들은 전 세계에서 발주되는 대부분의 LNG 운반선을 수주하여 건조하고 있고, 국내 조선사 간의 수주 경쟁도 갈수록 심화되고 있어서 우수한 LNG 선박의 설계 기술에

대한 관심이 매우 높으며 국내에서 LNG 운반선에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다.

반석호 등(2003)은 MOERI 138K LNG 운반선(이후 KLNG)에 프로펠러와 타를 장착한 상태에서 선체 주변의 유속과 파계를 예인수조에서 계측하였고, 김병준 등(2005)은 동일한 KLNG 선형에 대해 풍동에서 나선 상태와 프로펠러를 장착한 상태에서 유속 계측을 수행하였다. 동일 선형에 대하여 김진 등(2005)은 MOERI에서 개발한 WAVIS

접수일: 2006년 7월 28일, 승인일: 2006년 11월 14일

†교신저자: h-tkim@cnu.ac.kr, 042-821-6629

코드를 사용하여 자유수면을 포함한 자항상태의 선체주위 유동에 대한 수치해석을 수행한 바 있다.

본 연구에서는 동일한 KLNG 선형을 대상으로 국내 조선소에서 널리 활용되고 있는 상용 CFD 코드인 FLUENT를 사용하여 자유수면을 대칭면으로 근사한 이중모형 유동에 대해 수치해석을 수행하였고, 얻어진 수치해석 결과를 MOERI의 예인수조 실험 자료 및 WAVIS 코드를 사용해 얻은 수치해석 결과와 비교, 분석함으로써 상용 코드의 선미 유동에 대한 해석 결과의 정도 및 유용성을 조사하고자 하였다. 2장에서는 대상 선박인 KLNG선의 기하학적 형상 및 주요 제원에 대해 간단히 언급하였고, 문제의 정식화를 위한 지배 방정식 및 난류모형, 수치격자계, 경계조건 등에 대하여 서술하였다. 3장에서는 수치해석 결과를 비교, 검토하였으며 끝으로 4장에서 본 연구를 통해 얻어진 결론을 기술하였다.

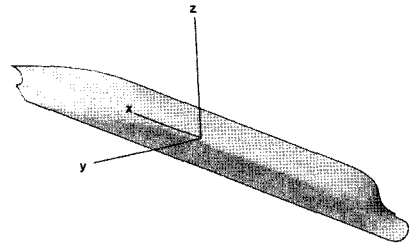


Fig. 2 Coordinate system

계산을 위한 대상 선형은 MOERI에서 설계한 KLNG 모형선으로 예인수조시험을 위해 1/38.6의 축척비로 제작되었고, 그 형상과 주요 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

설계 선속에 해당되는 모형선 예인속도에서의 레이놀즈 수(Reynolds No.)와 프루드 수(Froud No.)는 각각 9.33×10^6 과 0.1964이다.

2. 계산조건

2.1 대상물체

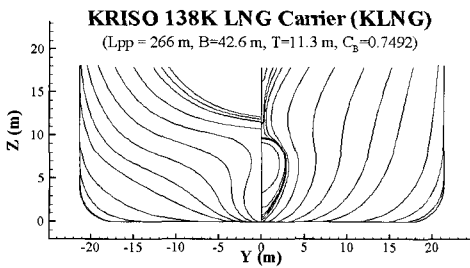


Fig. 1 Body plan of KLNG

Table 1 Principal particulars of the test ship

KLNG	Prototype	Model
Scale ratio	38.6364	
speed(m/s)	10.0317	1.6139
Lpp(m)	266.0	6.8847
B(m)	42.6	1.1026
T(m)	11.3	0.2925
C_B / C_M	0.7492 / 0.9857	
Froude No. (Fn)	0.1964	
Reynolds No. (Re)	2.24×10^9	9.33×10^6

2.2 좌표계 및 지배방정식

수치계산을 위한 기본 좌표계는 Fig. 2에 도시한 바와 같이 선체 길이 방향을 x축, 연직 상 방향을 z축, 그리고 폭 방향을 y축으로 하는 직교좌표계를 사용하였으며, 좌표계의 원점은 선체 중심면(center plane)과 중앙면(midship), 그리고 정수면(calm free surface)이 만나는 점에 잡았다.

모든 식은 유입속도(U_∞), 수선간길이(L_{pp}), 그리고 밀도(ρ)로 무차원화하여 나타내었고, 유동의 지배 방정식인 연속 방정식과 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) \tag{2}$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j})$$

여기서 $U_i = (U, V, W)$ 는 좌표축 $x_i = (x, y, z)$ 방향 평균속도 성분, μ 는 동점성계수, p 는 정압.

$-\rho \overline{u_i u_j}$ 는 Reynolds stresses를 나타낸다.

2.3 난류모형 및 이산화

본 연구에서는 Kim(2001)에 의해서 수정된 Reynolds stress model(RSM)을 사용하였고, Launder and Spalding의 wall function을 적용하였다. Reynolds stresses에 대한 수송방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u_i' u_j'}) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k \overline{u_i' u_j'}) \quad (3) \\ & \text{Local Time Derivative} \quad C_{ij} = \text{Convection} \\ & = - \frac{\partial}{\partial x_k} [\overline{\rho u_i' u_j' u_k'} + \overline{p(\delta_{kj} u_i' + \delta_{ik} u_j')}] \\ & \quad D_{\tau_{ij}} = \text{Turbulent Diffusion} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i' u_j'}) - \rho \overline{u_i' u_k'} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u_j' u_k'} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right] \\ & \quad D_{\tau_{ij}} = \text{Molecular Diffusion} \quad P_{ij} = \text{Stress Production} \\ & + \overline{p \left(\frac{\partial u_i'}{\partial x_k} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right)} - 2\mu \frac{\partial u_i'}{\partial x_k} \frac{\partial u_j'}{\partial x_k} + S_{user} \\ & \quad \epsilon_{ij} = \text{Dissipation} \end{aligned}$$

지배 방정식의 대류항은 3차 정도의 QUICK 방법으로, 확산항은 2차 정도의 중심차분법으로 보간하고, 2차 정도의 수치 적분을 사용하여 이산화하였다. 압력 방정식으로는 FLUENT의 표준 방법을 사용하였으며, 속도-압력의 연성은 SIMPLEX 방법을 사용하였다. 반복 계산의 수렴을 위한 완화계수로는 압력의 경우 0.3, momentum은 0.7, turbulence kinetic energy 및 turbulence dissipation rate는 0.8, Reynolds stresses는 0.5를 사용하였다.

2.4 수치격자 및 경계조건

계산을 위한 수치격자 생성은 Gridgen을 사용하였고, 계산영역은 수선간길이(L_{pp})로 무차원화하여 나타내었다. 수치계산을 위한 경계조건으로 유입면은 'velocity inlet'을 선택하여 균일류 조건(u=1, v=w=0)을 사용하였고, 유출면은 'outflow'를 선택하여 flow rate weighting=1의 조건을 적용하였다. 자유수면은 이중모형유동(double body flow)으로 근사하여 대칭조건을 사용하였다. 선체 표면에서는 경계면의 속도가 0이므로 그 경계면을 통한 대류항의 기여는 없고, 벽 마찰 응력으로 인

한 접선 방향의 점성 플럭스만을 고려하여 경계조건을 부여하였다. 수치격자의 기하학적 형상에 따른 영향을 알아보기 위하여 O-H형과 O-O형으로 격자를 생성하였다. 두가지 형상 모두 유입경계는 FP로부터 1L_{pp}, 외부경계는 현측으로부터 1L_{pp}만큼 떨어져 있고, 유출경계는 O-H형은 AP로부터 2L_{pp}, O-O형은 1L_{pp} 떨어져 있다. 또한, 격자수가 수치해석에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 각 형상에 대하여 Table 2에 보인 바와 같이 격자를 생성하였으며, y+ 변화에 따른 수치해 변화도 살펴 보았다. Fig. 3은 대표적인 수치격자계를 보여준다.

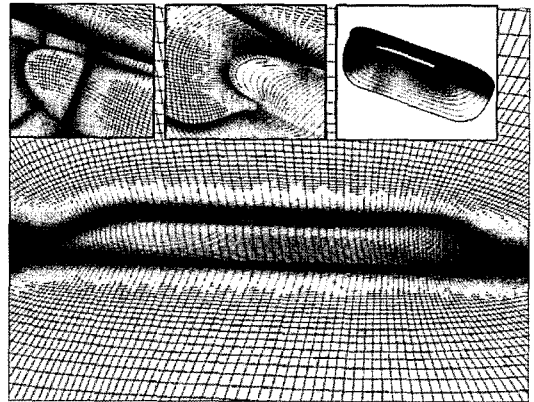


Fig. 3 Numerical grid system

Table 2 Information of grid number and grid type

Case	surface mesh (axial × girth)	Total cell number	
Grid A	O-H	100 × 51	292,500
	O-O	100 × 51	280,800
Grid B	O-H	142 × 51	415,350
	O-O	142 × 51	415,950
Grid C	O-H	202 × 51	590,850
	O-O	202 × 51	592,950
Grid D	O-H	202 × 72	839,007
	O-O	202 × 72	841,989
Grid E	O-H	282 × 72	1,163,520
	O-O	282 × 72	1,137,207
Grid F	O-H	282 × 102	1,571,700
	O-O	282 × 102	1,617,717

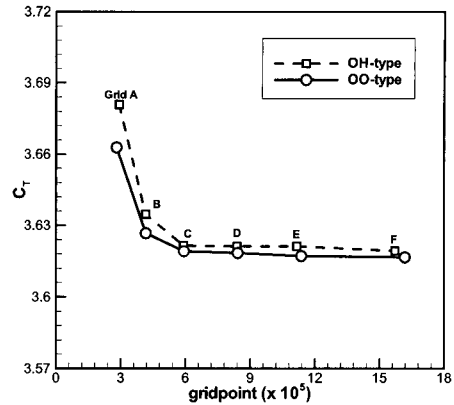
3. 계산결과

본 연구에서는 9.33×10^6 의 레이놀즈 수에서 계산을 수행하였으며 예인수조 실험 결과 및 WAVIS에 의한 수치해석 결과와 비교, 분석하였다. 수치 계산의 반복횟수는 3000으로 하였고, 해의 수렴은 u, v, w 와 압력의 잔차가 10^{-5} 보다 작아지면 계산이 수렴한 것으로 판정하였다.

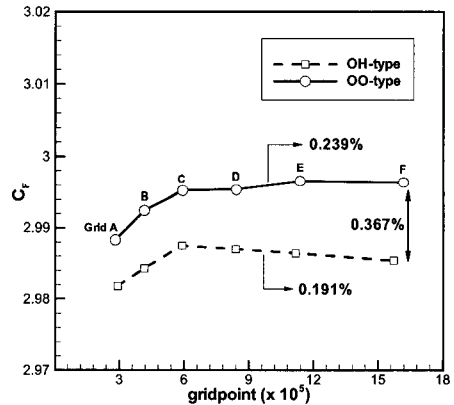
3.1 격자수 영향 조사

$y+$ 범위를 60~150으로 유지하면서 격자수에 따른 영향을 조사하였다. 격자수는 40만개의 격자수를 갖는 Grid B를 기준으로 폭방향 격자수는 고정하고 축 방향과 거스 방향으로 $\sqrt{2}$ 배씩 증가시켜 가면서 계산을 수행하였다. Fig. 4는 격자수에 따른 저항계수들의 수렴값을 보여주고 있다. Fig. 4(a)의 전저항 계수값을 보면 격자수가 증가함에 따라 수치해가 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있으며 Grid C 이후부터는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 또한, Fig. 4(b), (c)에서 보는 바와 같이 마찰저항계수의 경우 O-O 형상 격자가 더 크게 계산되었으며, 격자수에 따른 마찰저항계수 최대치와 최소치가 O-H 형상과 O-O 형상이 각각 0.191%, 0.239%로 격자수의 변화에 따른 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다. 약 160만개의 격자를 사용한 Grid F에서의 형상에 따른 차이는 0.367%로 나타났다.

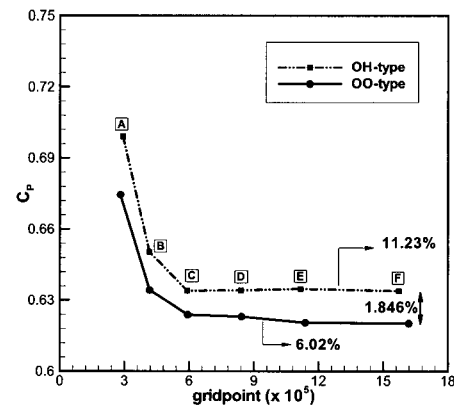
압력저항계수의 경우 O-H 형상이 더 크게 계산되었고, 격자수의 변화에 따라 각각의 형상에 따른 최대치와 최소치가 11.23%, 6.02%의 차이를 나타내고 있는데 이는 실험 및 WAVIS와는 달리 조파저항이 포함되어 있지 않은것에 기인한다. 형상에 따른 Grid F에서 압력저항계수의 차이는 1.846%로 나타났다. 한편, 압력저항계수도 마찬가지로 Grid C 이후부터는 그다지 크게 변하지 않음을 알 수 있다. 이를 통해 Grid C 수준의 격자수 정도면 유체력을 평가하는데 충분하다고 판단된다. 한편, WAVIS 계산의 경우 coarse, medium, fine의 격자계에 사용된 총 격자수는 각각 약 30만개, 80만개, 220만개이다.



(a) Total resistance coefficient



(b) Friction resistance coefficient

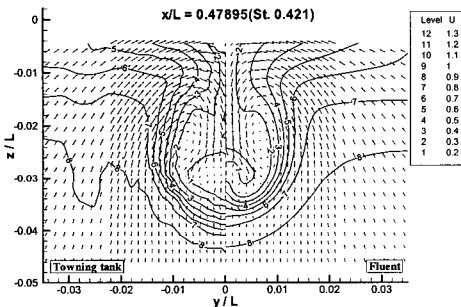


(c) Pressure resistance coefficient

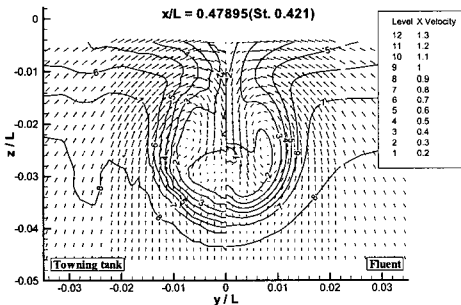
Fig. 4 Comparison of resistance convergence

3.2 격자 형상에 따른 수치해 변화

격자수에 의한 수치해 변화와 동일하게 선미 부분의 격자 형상 변화에 따른 수치해 변화를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 본 연구에는 나타내지 않았지만 각각의 형상에 대한 6가지 case의 경우 60만개 격자부터 Fig. 5와 동일한 결과를 보여 여기서는 160만개 격자의 Propeller plane에서만 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 O-O 형상의 경우가 실험과 대체로 잘 일치하는 경향을 보여주고 있으나 O-H 형상의 경우, 낮은속도 즉, 0.4이하의 속도분포를 잘 나타내지 못하고 있다. 따라서, 격자수 및 격자형상에 의한 수치해 변화를 보면 wake 관점에서는 O-H 형상보다 O-O 형상이 더 좋은 결과를 나타내며 저항 값에서는 그다지 큰 차이가 없다고 판단된다.



(a) O-O type



(b) O-H type

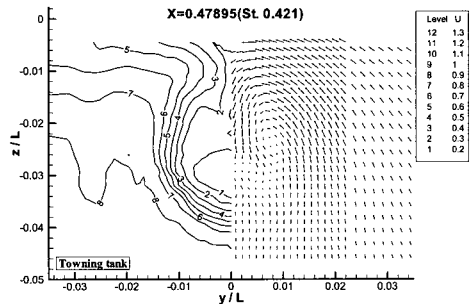
Fig. 5 Comparison of mean velocity distribution by grid type

3.3 난류모델에 의한 수치해 변화

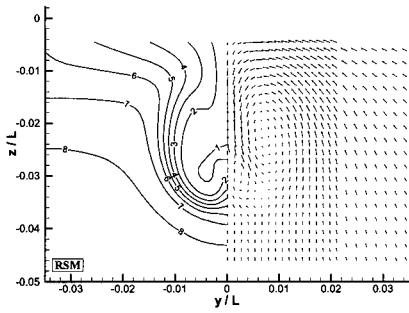
위의 결과를 토대로 O-O 형상이고 격자수가 160만개인 경우에 대하여 FLUENT에서 제공하는 난류모델이 수치해에 미치는 영향을 살펴보았다. 사용된 난류모델은 RSM, Realizable $k-\epsilon$, $k-\omega$ 이며, 이를 실험 결과와 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. RSM 경우, 축방향 속도분포 및 횡방향 속도벡터가 실험과 대체로 잘 일치하고 있다. Realizable $k-\epsilon$ 의 경우, hook shape을 잘 잡아 내지 못하고 있으며, 선체 중심면과 수선면 근처에서 실험에 비해 속도벡터가 크게 계산된 것을 볼 수 있다. $k-\omega$ 의 경우, 실험 및 다른 난류모델과 비교해 0.8 선속까지는 작게 잡히고 0.9 선속은 크게 잡히는 등 축방향 속도분포의 영역에서 큰 차이를 보이고 있으며 속도 벡터의 경우도 실험에서 잘 나타나지 않는 볼텍스가 나타는 등 차이를 나타내고 있다. 또한, 볼텍스 중심 위치를 살펴보면 RSM, Realizable $k-\epsilon$, $k-\omega$ 의 순으로 실험의 결과와 일치하는 것을 볼 수 있으며, Table 3에 볼텍스 코어의 위치를 나타내었다. 이를 통해 수치격자의 생성에 어려움이 없다면 RSM 난류모델이 본 연구대상인 LNG 운반선에 대한 수치해석에 적합한 모델이라고 판단된다.

Table 3 Position of vortex core

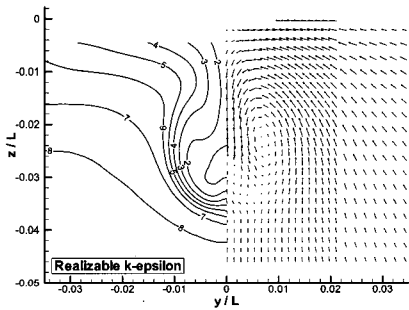
	y_c	z_c
Experiment	0.0079	-0.0235
RSM	0.0074	-0.0235
Realizable $k-\epsilon$	0.0072	-0.0234
$k-\omega$	0.0060	-0.0219



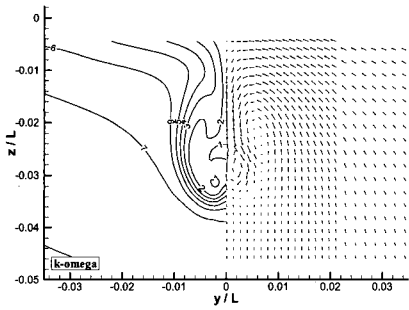
(a) Experiment



(b) RSM



(c) Realizable $k - \epsilon$

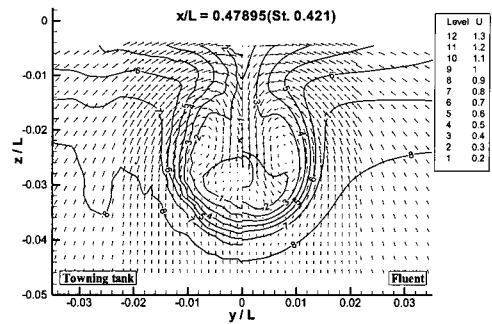


(d) $k - \omega$

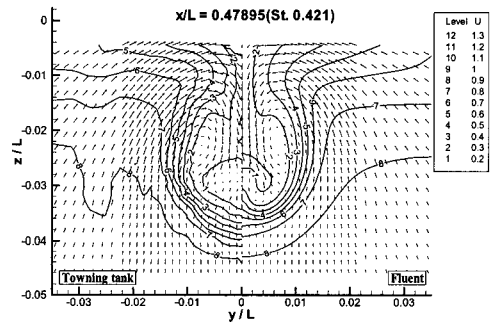
Fig. 6 Comparison of turbulence model

3.4 y^+ 에 의한 수치해 변화

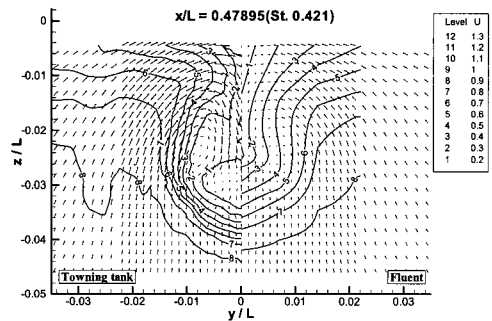
수치해석에 적합한 모델이라고 판단된 RSM 난류모델을 사용하여 y^+ 분포에 따른 수치해 변화를 비교하였다. 통상 FLUENT에서는 벽항수를 적용하여 수치해석을 수행할 시 y^+ 가 60정도일때 최적화 되어있고 120이하의 범위를 유지하였을 때 좋은 결과를 주는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 y^+ 의 범위를 20~50, 60~150, 160~450의 범



(a) y^+ (20~50)



(b) y^+ (60~150)



(c) y^+ (160~450)

Fig. 7 Comparison of mean velocity distribution by y^+

위로 변화시켜 가면서 수치해 변화를 비교하였으며 이를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보듯이 y^+ 가 160~450 범위를 사용하여 수치계산을 수행하였을 시, 실험과 전혀 다른 결과를 보이고 있는 것을 확인할 수 있다. 한편, 20~50의

경우 정성적으로는 동일하나 정량적으로 비교했을 때 한 레벨씩 큰 분포를 보이고 있으며, 60~150인 경우가 실험과 잘 일치하는 결과를 보여주었다. Table 4는 y^+ 분포에 따른 저항계수 값들을 비교한 것이다. 자유수면을 고려하여 수치계산을 수행할 시 격자생성의 어려움과 계산시 과다한 시간이 소요되기 때문에 이중모형으로 근사하여 계산을 수행하였으며, Table 4에서 보는 바와 같이 조파저항이 포함되어 있지 않아 전저항계수가 작게 추정됨을 볼 수 있다. 160~400 범위의 경우 실험에 비해 마찰저항계수를 과도하게 추정하고 있으며, 낮은 범위인 20~50의 경우 작게 추정하는 것을 볼 수 있다. 이에 반해 60~150의 일때는 대체로 실험에 가까운 결과를 보이고 있으며 WAVIS 결과와는 큰 차이를 보이고 있지 않다. 이를 통해서 벽함수를 적용하여 수치계산을 수행할 경우 대상에 맞는 적절한 y^+ 분포가 필요할 것으로 판단된다

3.5 선미 유속 분포

지금까지의 수치해석 결과를 토대로 격자수가 160만개이고 O-O 형상이며, y^+ 가 60~150의 범위를 갖는 격자에 대해 선미 유속 분포를 실험 및 WAVIS 결과와 비교하여 나타내었다.

Table 4 Resistance coefficients ($\times 10^{-3}$)

	C_T	C_F	C_P
Experiment	3.9160	3.0530	0.8630
Wavis(medium)	3.7594	2.9964	0.7630
y^+ (20~50)	3.5412	2.9202	0.6210
y^+ (60~150)	3.6191	2.9952	0.6239
y^+ (160~450)	3.6242	3.0929	0.5313

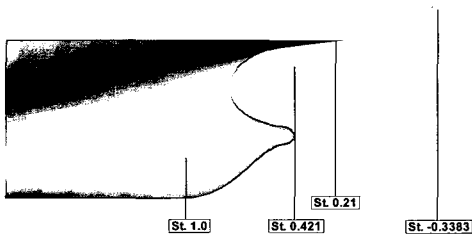
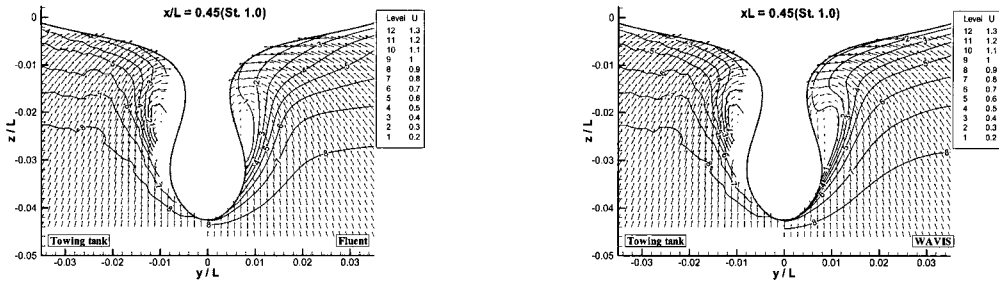


Fig. 8 Measuring and calculating station

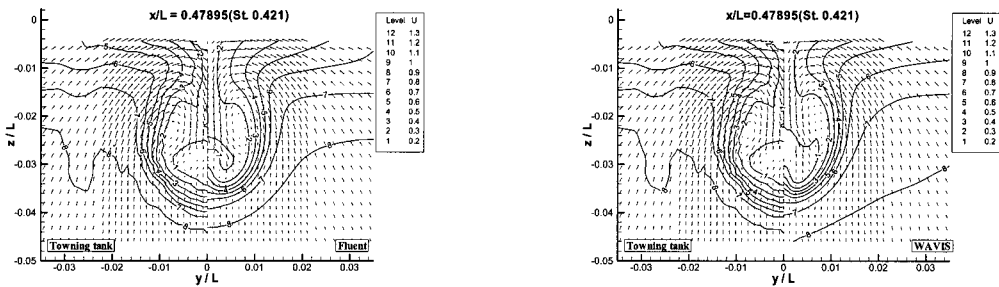
나선(bare hull) 상태에서의 유속 계측은 4개의 station(1.0, 0.421, 0.21, -0.3383)에서 수행되었으며, 이때, St. 0.421 위치가 프로펠러 면이며, St. 0.21은 타의 앞날 끝 위치에 해당한다. 또한, St. -0.3383은 트랜섬 끝단에 해당하며, Fig. 8에 계측 위치를 나타내었다. Fig. 9는 각 위치에서의 축방향 속도분포 및 횡방향 속도벡터를 나타내었다. Fig. 9의 (a)는 프로펠러 면 전방(St. 1.0)에서의 축방향 유속과 횡방향 속도벡터를 나타낸 것으로 WAVIS의 경우 실험에서 나타난 hook shape을 잘 표현하고 있으나, FLUENT의 경우 잘 잡아내지 못하고 있다. Fig. 9의 (b),(c),(d)는 프로펠러 면 (St. 0.421)과 그 후방의 2개 종단면(St. 0.21, -0.3383)에서의 축방향 유속과 횡방향 속도벡터를 비교하여 나타내었다. 프로펠러 면(St. 0.421)을 살펴보면, 대체로 실험과 잘 일치하고 있으나 WAVIS와는 달리 낮은 속도영역이 작게 계산되었다. 선체 중앙 평행부를 따라 발달한 경계층이 선미의 급격한 형상 변화로 인해 단면적이 줄어 오목해진 곳에서 전단유동층이 두껍게 형성되는 것을 볼 수 있으며, 선체 표면을 향하던 횡방향 속도벡터가 단면의 오목한 부분에서 표면을 따라 감기면서 볼텍스가 형성되는 것을 확인할 수 있다. 후방으로 가면서 전단 유동층이 실험과 마찬가지로 더 두꺼워지고 볼텍스가 더 뚜렷하게 보이고 있으나, WAVIS나 FLUENT 두 경우 모두 전단 유동층의 두께가 실험과 다르게 계산된 것을 볼 수 있다.

3.6 속도 profile 비교

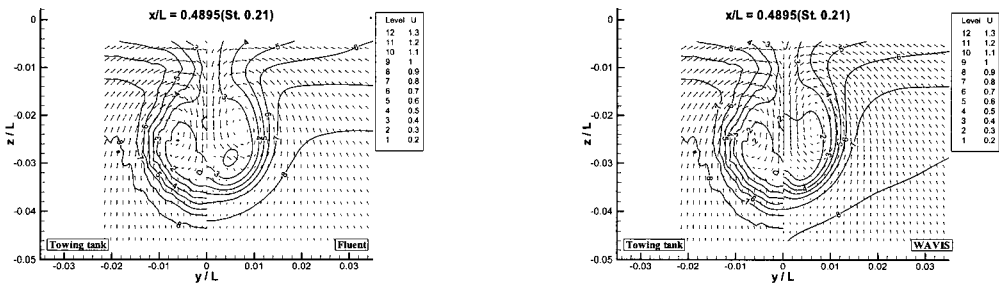
Fig. 10은 $x/L=0.45, 0.47895, 0.4895, 0.5169$ 인 단면에서 $z/L=-0.15, -0.25, -0.35$ 인 위치에서의 축방향 속도 profile을 예인수조 실험과 WAVIS 수치해석 결과와 비교해서 나타내었다. Fig. 10(a)에는 $x/L=0.45$ 인 위치에서의 축방향 속도 profile을 도시하였다. $z/L=-0.015$ 위치를 살펴보면 계산끼리는 거의 일치하는 경향을 보이고 있으나, $-0.04 < y/L < -0.01$ 부근에서 실험과 큰 차이를 보이고 있다. $z/L=-0.025, -0.035$ 위치에서는 실험에 비해 작게 계산되었고, $-0.02 < y/L < -0.01$ 부근에서 속도 변화가 실험에 비해 완만한 것을



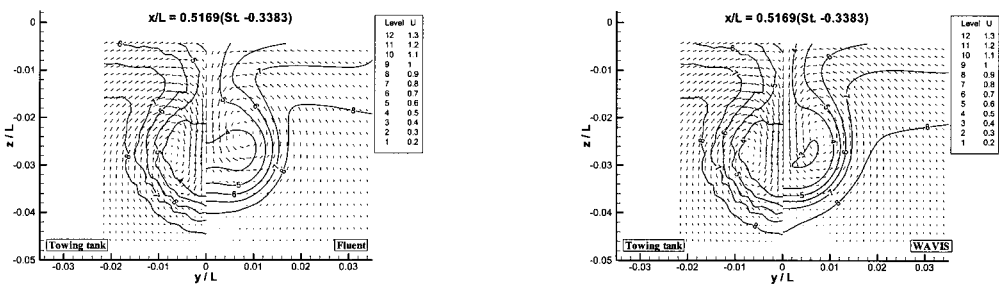
(a) $x/L=0.45(St.1.0)$



(b) $x/L=0.47895(St.0.421)$



(c) $x/L=0.4895(St.0.21)$



(d) $x/L=0.5169(St.-0.3383)$

Fig. 9 Comparison of mean velocity distribution at the plane

확인할 수 있었다. Fig. 10(b)는 $x/L=0.47895$ 인 프로펠러 면에서의 비교 결과이다. 계산의 경우 $z/L=-0.015, -0.025$ 위치에서는 실험과 거의 일

치하고 있다. 반면에, 프로펠러 허브 근처인 $z/L=-0.035$ 위치에서는 실험 및 WAVIS와 큰 차이를 보이고 있다. 이는 앞의 선미 유속 분포에서

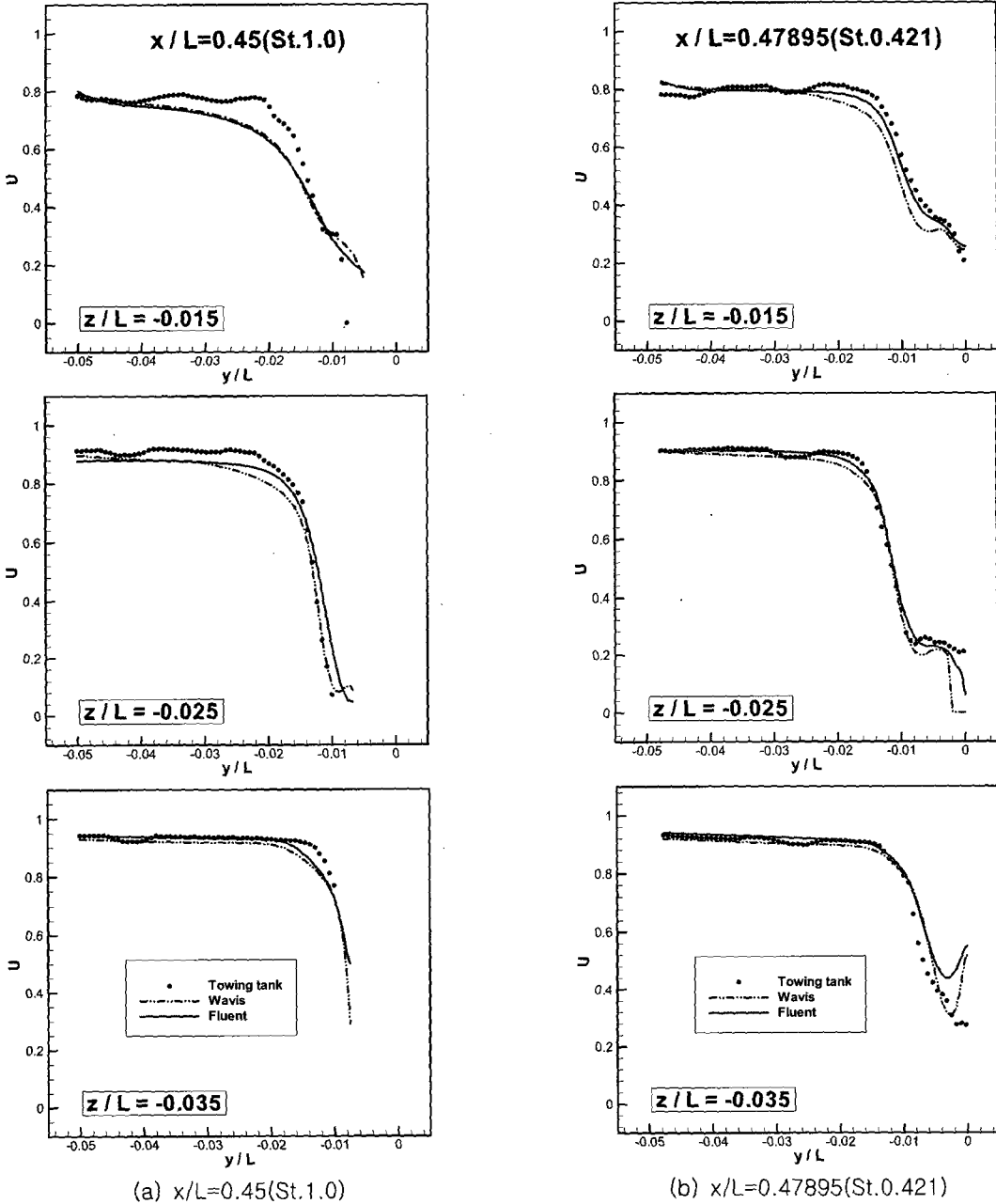
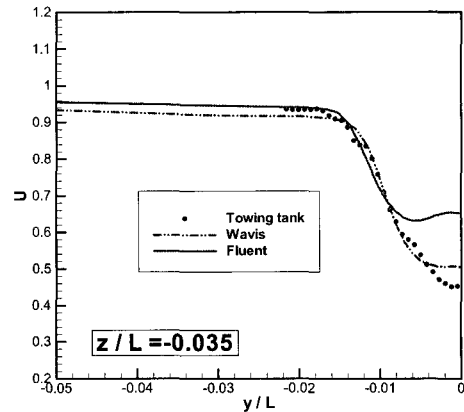
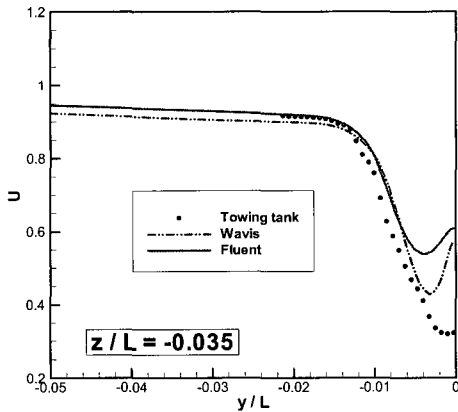
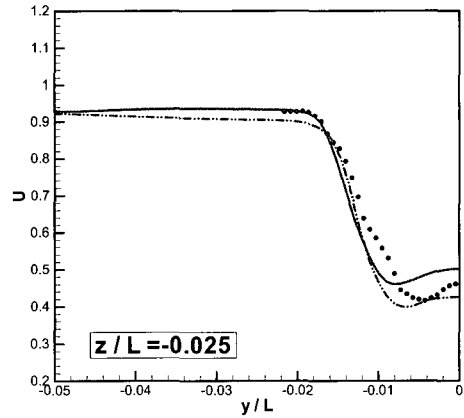
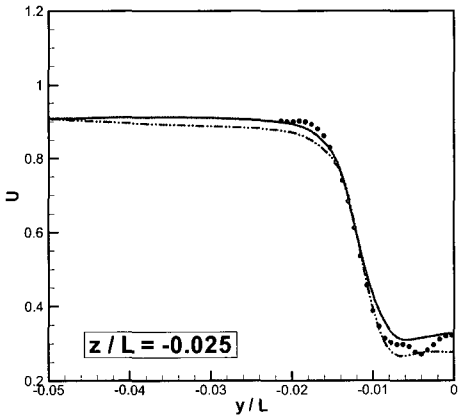
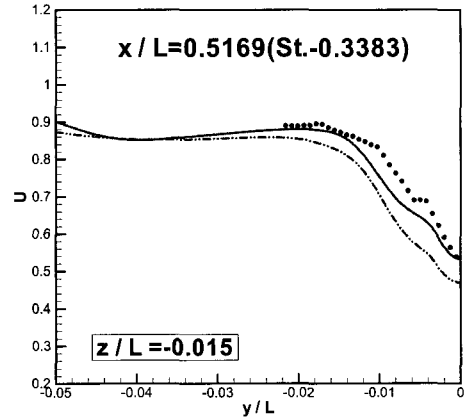
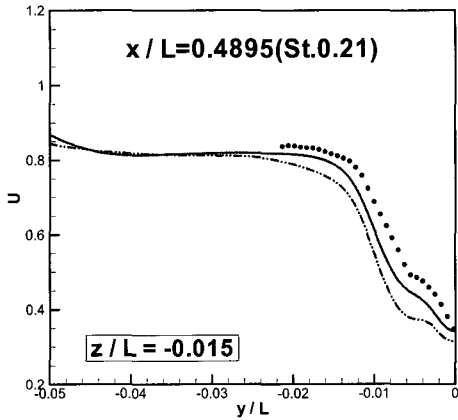


Fig. 10 Comparison of velocity profile

도 살펴보았듯이 프로펠러 허브 근처에서 FLUENT의 경우 낮은 속도 영역을 잡아내지 못한 것에 기인한다. 또한, 계산의 경우 모두, $y/L=0$ 부근에서 실험과 달리 치솟는 경향을 보이는 것을

확인할 수 있었다. Fig. 10(c), (d)는 $x/L=0.4895, 0.5169$ 에서의 비교값이다. $x/L=0.4895, 0.5169$ 로 프로펠러면에 비해서 $z/L=-0.015$ 위치에서 차이를 보이고 있다. 또한, $z/L=-0.035$ 위치에서는 낮



(c) $x/L=0.4895(St.0.21)$

(d) $x/L=0.5169(St.-0.3383)$

Fig. 10 Comparison of velocity profile(continued)

은 속도 분포를 여전히 잡아내지 못하는 등 $x/L=0.47895$ 에서와 유사한 문제점을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 조선소에서 많이 사용되고 있는 CFD 코드인 FLUENT를 사용하여 MOERI(구 KRISO) 138K LNG 운반선을 대상으로 자유수면을 대칭면으로 근사한 이중모형 유동에 대하여 수치해석을 수행하였다. 본 연구에서는 격자수 및 격자형상, 그리고 난류 모델 및 $y+$ 변화에 따른 수치해 변화를 조사하였고, 계산 결과를 실험 및 WAVIS 결과와 비교, 검토하였다. 계산에 사용된 난류모델중 RSM 난류모델이 실험에 가장 근사한 결과를 보여주었다. 또한, 격자수가 증가할수록 저항이 일정한 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있었으며, $y+$ 변화에 따라 저항 및 wake 분포가 달라지는 것을 살펴보았다. 격자 형상 변화를 통해 wake 해석의 관점에서는 O-H 형상보다 O-O 형상이 적합하고, 저항 관점에서는 그다지 큰 차이가 없음을 확인하였다. 프로펠러 면에서의 평균유속 분포 및 속도 profile은 실험 및 WAVIS 결과와 대체로 잘 일치하고 있으나, 타의 앞날 끝 부분이나 트랜섬 면에서는 FLUENT가 WAVIS에 비해 경계층의 두께 및 낮은 속도 영역을 잘 잡아내지 못하는 등 문제점도 나타났으며 앞으로 이러한 수치해 변화에 영향을 주는 요소에 대해 더욱 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- 김병준, 최순호, 김형태, 반석호, 2005, “프로펠러에 의한 LNG 운반선 이중모형 선미의 속도변화 예측,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 5호, pp. 448-457.
- 김진, 박일룡, 김광수, 반석호, 2005, “LNG 운반선의 자유수면을 포함한 자항상태 난류유동장의 수치해석,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 6호, pp. 583-592.
- 반석호, 윤현세, 이영연, 박일룡, 이춘주, 김우전, 2003, “KRISO 138K LNG 운반선 모형 주위의 국부 유동장 예측,” 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 2호, pp. 1-10.
- Sung-Eun Kim, 2001, “Unstructured Mesh Based Reynolds Stress Transport Modeling of complex Turbulent Shear Flows,” 39th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, AIAA-2001-728.



< 김 희 택 >



< 김 형 태 >