

CFD 를 이용한 Tanker 의 침로안정성 평가

홍춘범^{†*}, 양희준^{*}

삼성중공업 (주), 조선해양 연구소^{*}

Evaluation of Course Stability Performance for Tanker using CFD

Chun-beom Hong^{†*} and Hee-jun Yang^{*}

Samsung Heavy Industries Co., Marine Research Institute^{*}

Abstract

The course stability performance for tankers is evaluated by computational fluid dynamics. In the present work, a Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) code is applied to a maneuvering problem covering the pure drift and yaw motions. The purposes of this study are to evaluate the hydrodynamic force in the bare hull (AFRAMAX) in pure drift and yaw motion and to provide information about the trends in the forces and moments when the rudder angles are varied. The flow simulation is performed by FLUENT. The CFD code is examined to find the optimistic computational condition such as size of grid, turbulence model and initial condition. The hydrodynamic derivatives in drift and pure yaw motion are estimated by the numerical simulation, and then the stability levers are calculated. It is confirmed that the computations show the superiority and inferiority of course stability performance according to the hull forms. Finally, the CFD code is applied to the estimation of the rudder forces when the rudder angles are varied. The propeller effect expressed by the body force distribution is also included.

※Keywords : CFD(전산유체역학), Course stability performance(침로안정성), Rudder force(타력), Body force (체적력)

1. 서 론

최근 IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구)는 선박 조종성능에 관한 기준을 최

종 확정하여, 2004 년 1 월 이후 건조되는 선박에 대하여 적용하도록 하고 있다. 이 기준에 의하면, 선박 조종성능은 만재 흘수 상태에서, IMO 조종성능 기준에 만족하도록 규정화 되어 있다. 선형이 확정된 후 조종성능의 저하로 인하여 선형 설계의 개정은 매우 어렵기 때문에, 대부분 타의 면적을 증가시키거나 특수타를 설치하여 조종성능을 개선

접수일: 2006 년 12 월 12 일, 승인일: 2008 년 10 월 14 일

†교신저자: cb.hong@samsung.com, 042-865-4782

하고 있다. 따라서, 선형 설계 단계에서 속도성능이 우수하면서 조종성능도 나쁘지 않은 선형을 개발하기 위해서는 초기에 조종성능을 예측하는 것은 매우 중요하다.

조종성능을 초기에 추정하는 방법은 크게 두 가지로 대표할 수 있다. 두 가지 방법 중 하나는 모형시험 및 시운전 결과를 근거로 경험식을 이용하는 방법이고, 이러한 방법은 현재 초기 조종성능 추정에 빈번히 사용되고 있다. 이러한 경험식은 선박의 주요 파라미터를 입력으로 사용하고 있으나, 주요 파라미터는 선체의 형상에 대한 다양한 한계가 있는 것은 사실이다. 또 다른 추정방법으로 전산유체역학(CFD)을 이용하는 것이다. 계산기의 성능 향상과 계산방법의 발달로 선박의 침로안정성을 CFD 를 이용하여 평가하는 연구는 점점 활발해지고 있다(Lee et al. 2004a, Lee et al. 2004b). 특히 모형시험을 수행하는 것 보다 설비, 시간 및 경비를 절감할 수 있다는 장점도 갖추고 있다. 그러나 타의 역할에 대하여 CFD 를 이용한 해석은 해외에서는 시도되고 있으나(Tanaka and Kimura 2003), 국내에서는 그러한 연구가 활발히 진행되고 있지 않다. 본 연구에서는 나선의 조종 유체력 추정뿐만 아니라 타력에 의한 조종성능의 변화를 CFD 를 이용하여 추정한다. 또한 추진기의 작용도 고려하여 수치해석 하였다.

2. 계산조건 및 격자구성

수치해석에는 상용 s/w 인 FLUENT 를 사용하였다. 지배방정식은 Reynolds averaged Navier-Stokes equation 이다. 격자계의 생성도 상용 s/w 인 GRIDGEN 을 이용하였으며, 나선에 대한 격자계의 구성은 Fig. 1 에 보여주고 있다. 계산 격자의 특이점을 최소화하기 위하여 O-O typology 를 선택하였다. Fig. 1 에서는 각각의 경계를 나타내고 있으며, 여기서 S1 은 유입속도 경계조건을, S2 에는 대칭면 조건을, 그리고 S3 에는 벽면조건을 부여하였다. 난류 모형은 realizable k- ϵ model 과 Reynolds Stress Model(RSM)을 사용하였다.

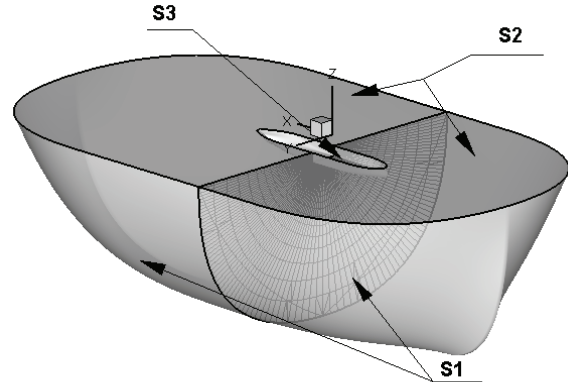


Fig. 1 Numerical grid system

3. 난류 모형 및 표준 격자계 선택

상용 s/w 를 이용한 수치 해석적 연구를 수행할 경우, 사용되는 s/w 의 특성과 연구 목적에 부합되는 결과를 제공할 수 있는지 확인할 필요가 있다. 난류모형, 격자계 구성 및 그 외의 계산조건은 계산 결과에 영향을 미치는 요인이다. 그 중 계산 결과에 영향을 상대적으로 크게 미치는 난류모형과 격자의 크기의 변화에 따른 계산 결과의 차이를 관찰하였다. 사향 또는 선회할 경우 선체에 작용하는 조종 유체력의 정확한 평가가 가능한지를 검증하기 위해서는 사향 및 선회할 때의 유동 예측 결과와 계산 결과를 비교하는 것이 최선이나, 본 연구에서는 위와 같은 예측 자료가 미비하여 직진하는 경우의 유동예측 결과와 계산 결과를 비교하여 난류 모형 및 격자크기를 선택하였다.

선체에서 발생하는 종방향 와류의 모사가 비교적 정확한 realizable k- ϵ model 과 Reynolds Stress Model 을 본 연구에서 사용하였다. Figs. 2~3 은 각각의 난류 모형으로 계산된 추진기면에서의 유속 분포를 보여주고 있다. 계산 대상 선형은 KVLCC1 이다. 모형시험(KIMM 1998)에서 예측된 유속분포와의 비교(Fig. 4)를 통하여, 사향 및 선회시의 유동에서 볼 수 있는 와류를 잘 예측하는 것은 RSM 이라는 것을 알 수 있다.

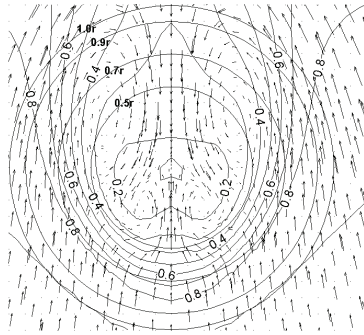


Fig. 2 Axial velocity distribution computed by realizable k-ε model ($y^+=30$)

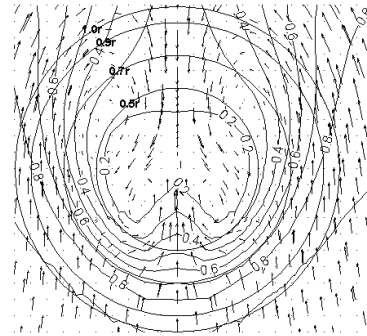


Fig. 5 Axial velocity distribution computed by Reynolds Stress Model ($y^+=100$)

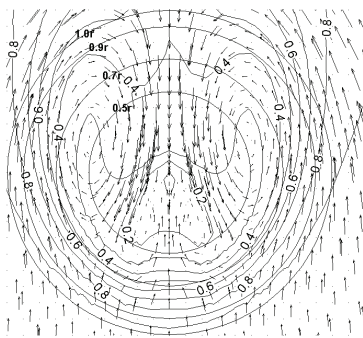


Fig. 3 Axial velocity distribution computed by Reynolds Stress Model ($y^+=30$)

Table 1 Principal particulars of AFRAMAX

| | Hull A | Hull B |
|---------|--------|--------|
| Lbp | 233.0 | 239.0 |
| Lpp (m) | 42.0 | 43.8 |
| B (m) | 13.6 | 13.6 |

계산시간을 줄이기 위하여 격자 수를 감소시키는 것이 바람직하다. 격자 수를 줄이기 위하여 격자의 크기에 대한 의존성은 살펴보았으나, Fig. 5 에서 볼 수 있듯이 $y^+=100$ 이상인 경우의 추진기 면에서의 유속 분포는 RSM 을 사용하더라도 길이 방향의 와류의 모사가 어려운 것을 알 수 있다.

4. 나선의 사향 및 선회 시 조종 유체력 추정

앞 장에서 선택된 계산조건을 이용하여 두 가지 AFRAMAX 선형에 대한 사향 및 선회 시의 유동을 수치적으로 모사하였다. 각 선형의 주요제원은 Table 1 에 나타내었다. 각각의 제원을 비교하면, 배의 길이 측면에서는 Hull B 가 전폭 면에서는 Hull A 가 직진 안전성이 우수할 것으로 예상된다. 사향 및 선회 상태에서 계산된 유체력, 모멘트 및 각속도는 식(1) ~ (3)에 의하여 무차원 되었다

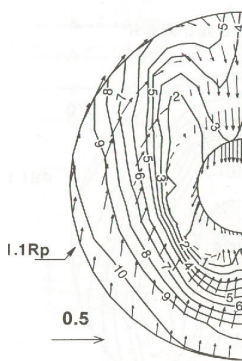


Fig. 4 Axial velocity distribution measured by KIMM

$$\gamma = \gamma / \left(\frac{1}{2} \rho U^2 L T \right) \quad (1)$$

$$N' = N / (\frac{1}{2} \rho U^2 L^2 T) \quad (2)$$

$$r' = r / (U / L) \quad (3)$$

여기서 Y' , N' , r' 은 각각 횡방향 유체력, 선수 모우먼트 및 각속도의 무차원 값이다.

Figs. 6 ~ 9 는 사향 및 선회 시에 나선에 발생되는 횡방향 유체력과 선수 모우먼트를 보여 주고 있다. 여기서 Beta 는 편류각이다. 두 선형의 유체력 도함수와 안정레버는 Table 2 에 나타내었다. 안정레버는 식(4)으로 구해졌으며, 계산 결과를 검토한 결과 Hull A 가 Hull B 보다 안정하다는 것을 알 수 있고, 이러한 조종성능의 차이는 모형시험(KIMM 2000)에서도 볼 수 있고, CFD 를 이용하여 tanker 의 조종 유체력의 우열 평가가 가능하다는 것을 확인 할 수 있다

$$Ld = \frac{N'r - m'X'g}{Y'r - m'} - \frac{N'v}{Y'v'} \quad (4)$$

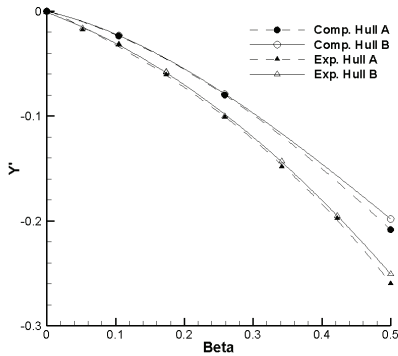


Fig. 6 Comparison of Y forces in drift motion

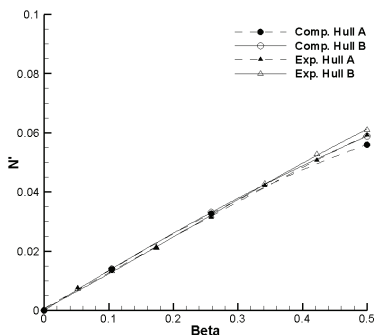


Fig. 7 Comparison of N moments in drift motion

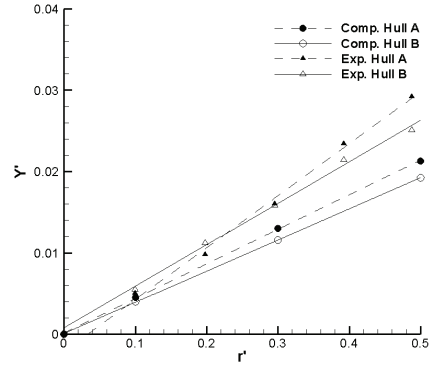


Fig. 8 Comparison of Y forces in pure yaw motion

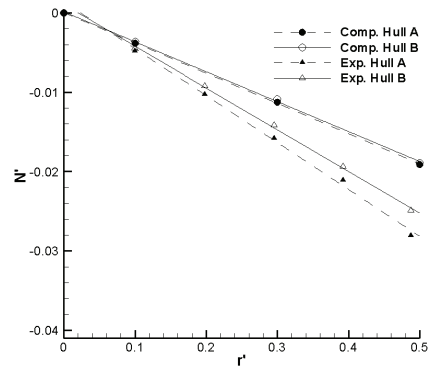


Fig. 9 Comparison of N moments in pure yaw motion

Table 2 Hydrodynamic derivatives

| | CFD | | Model test | |
|------|--------|--------|------------|--------|
| | Hull A | Hull B | Hull A | Hull B |
| Yv | -0.226 | -0.221 | -0.276 | -0.266 |
| Nv | -0.112 | -0.117 | -0.163 | -0.151 |
| Yr | 0.043 | 0.038 | 0.055 | 0.056 |
| Nr | -0.038 | -0.038 | -0.051 | -0.045 |
| Ld | -0.301 | -0.349 | -0.335 | -0.345 |

5. 추진기를 고려한 타력 추정

조종성능에 주요인자인 타의 유체력을 추정하기 위하여 추진기의 영향을 고려하여야 한다. 본 연

구에서는 추진기에 의한 추력과 토크를 체적력 (body force)으로 묘사하여 운동량 방정식을 정리 하면 확산항(source term)에 체적력을 포함한 지배식을 얻을 수 있다. 추진기를 체적력이 분포된 원판으로 대체하였고, 체적력은 추진기가 한 회전 동안 발생하는 추력 및 토크의 평균값으로 가정하였다(Boo et al. 2004).

$$Y = \frac{R}{R_p} \tag{6}$$

$$r^* = \frac{(Y - Y_h)}{(1 - Y_h)} \tag{7}$$

$$A_x = \frac{C_T}{\Delta x} \frac{105}{16(4 + 3Y_h)(1 - Y_h)} \tag{8}$$

$$A_\theta = \frac{K_Q}{\Delta x J^2} \frac{105}{\pi(4 + 3Y_h)(1 - Y_h)} \tag{9}$$

$$fb_x = A_x r^* \sqrt{1 - r^*} \tag{10}$$

$$fb_\theta = A_\theta \frac{r^* \sqrt{1 - r^*}}{(1 - Y_h)r^* + Y_h} \tag{11}$$

여기서 R 은 추진기의 반경이고, C_T 는 loading coefficient, Δx 는 추진기 면에서 x 방향의 격자 길이이다. 그리고 아래 첨자 p 는 추진기, h 는 boss 에 대한 것이다.

식 (10)는 추력을 식 (11)은 토크를 나타내는 체적력의 크기이며 운동 방정식의 확산항에 대입 된다. 여기서 fb_x 는 x 방향의 그리고 fb_θ 는 프로펠러의 회전 방향을 고려하여 y, z 방향의 운동 방정식에 대입될 수 있다.

주어진 전진비(J)에 대해 실험적으로 얻어지는 추진기 특성곡선으로부터 K_T 와 K_Q 를 얻어 사용하였고, Fig. 10 은 임의의 K_T, K_Q 값을 주고 얻어진 체적력 분포의 한 예이다. 두 함수는 추진기의 양 끝 단에서 0 의 값을 가지고 있고 추력이 0.7R 에서 가장 큰 것을 볼 수 있다.

타를 포함한 격자계 및 추진기의 작용에 따르는 유속의 분포는 Fig. 11 에 나타내었다. 타각이

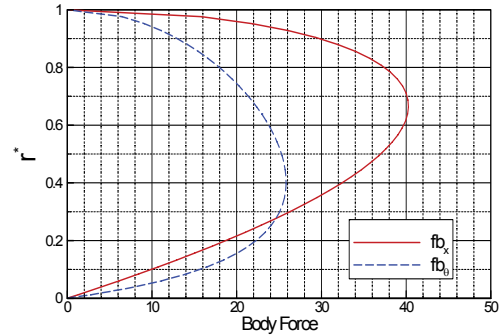


Fig. 10 Body force distribution

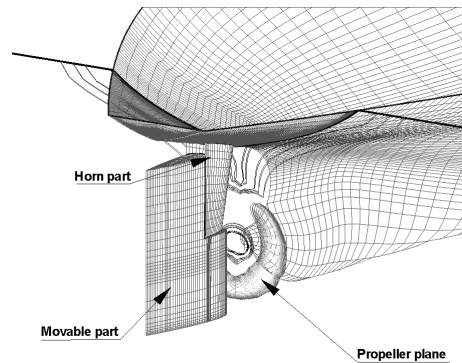


Fig. 11 Grid system including propeller effect and rudder

starboard 10 도로 돌려져 있는 경우이다. 분리형 타로 계산 격자를 구성하였으나, movable 부분과 horn 부분의 간극은 없는 것으로 가정하였다.

Starboard 10 도(-10 도)와 port 10 의 경우 타에 작용하는 압력은 각각 Figs. 12 ~13 에서 보여 주고 있다. 타각이 10 도인 경우에 타의 양면에 발생하는 압력차가 큰 것으로 나타났다. 10 도에서의 양력이 - 10 도의 것보다 약 20%정도 크게 나타났다. 모형시험에서 예측된 결과는 약 40%의 차이를 보였다. 계산의 정도가 떨어지는 것은 타 주위에 격자를 충분히 분포시키지 못하였기 때문으로 판단된다.



Fig. 12 Pressure contour at -10 degrees
(Upper : Stb. Side, Lower : Port side)



Fig. 13 Pressure contour at 10 degrees
(Upper : Stb. Side, Lower : Port side)

6. 결론

CFD 를 이용하여 tanker 의 침로 안정성을 평가 하였다. 나선의 조종 유체력을 추정하기 위한 적절한 계산조건을 도출하고, 그 계산조건을 이용하여 유체력 도함수를 추정하였다. 모형시험에서 얻은 유체력 도함수 및 안정레버의 비교를 통하여 CFD 를 이용한 결과가 정성적으로 일치하는 것을 확인하였고, 초기 선형 설계 단계에서 개략적인 직진 안정성 평가에 적용 가능할 것으로 판단된다.

타 및 추진기를 포함한 유동의 수치 해석을 수행하였다. 계산 결과의 정량적인 검증은 수행하지 못하였으나, 타 각에 따른 타의 유체력 특성을 볼 수 있었다. 향후 타 및 추진기를 포함한 조종 유체력 도함수를 추정하여 Abkowitz 수확 모델을 이용한 조종 모사를 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

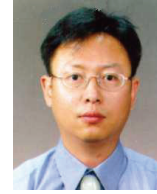
- Boo, K.T., Hong, C.B. and Lee, K.J., 2004, " Simulation of Viscous Flow around Appended with the Propeller and the Rudder," Proceedings of the Annual Autumn Meeting The Society of Naval Architects of Korea, pp. 527-531.
- Lee, H.S, Lee, S.H., Lee, T.I., Kim, S.Y., 2004a, " A Study on the Application of CFD in the Analysis of Ship Maneuverability, " Proceedings of the Annual Spring Meeting The Society of Naval Architects of Korea, pp. 738-743.
- Lee, S.W., Jin, E.S., Lee, H., Kim, Y.S., 2004b, " Prediction of Yaw Stability of a Towed FPSO using CFD," Proceedings of the Annual Spring Meeting The Society of Naval Architects of Korea, pp. 721-725.
- Tanaka, S and Kimura, K., 2003, " A Numerical Studyon Hydrodynamic Interaction among Oblique Ship Hull, Propeller and Rudder," Proc. Od MARSIM RC-21.
- Korea Institute of Machinery and Materials,

Korea Association of Naval Technology Research, 2000, Study on Improvement of Estimation of Ship Manoeuvring Performance I,II,III.

- Korea Institute of Machinery and Materials, 1998, Technical Report of Improvement of Ship Resistance Performance.



< 홍 준 범 >



< 양 희 준 >