

Prediction Method for Linear Maneuvering Hydrodynamic Derivatives Using Slender Body Theory Based on RANS

Sungwook Lee*

*Korea Maritime and Ocean University, KMOU, Busan, Korea

RANS 기반의 세장체 이론을 이용한 선형 조종 유체력 미계수 추정에 관한 연구

이성욱*

*한국해양대학교 조선해양시스템공학부

KEY WORDS: Manoeuvrability 조종성, Slender body 세장체, Computational fluid dynamics 전산유체역학, Manoeuvring hydrodynamic derivative 조종 유체력 미계수, Stern hull form 선미형상

ABSTRACT: It is important to predict the hydrodynamic maneuvering derivatives, which consist of the forces and moment acting on a hull during a maneuvering motion, when estimating the maneuverability of a ship. The estimation of the maneuverability of a ship with a change in the stern hull form is often performed at the initial design stage. In this situation, a method that can reflect the change in the hull form is necessary in the prediction of the maneuverability of the ship. In particular, the linear hydrodynamics maneuvering derivatives affect the yaw checking motion as the key factors. In the present study, static drift calculations were performed using Computational Fluid Dynamics (CFD) based on Reynolds Average Navier-Stokes (RANS) for a 40-segment hull. A prediction method for the linear hydrodynamic maneuvering derivatives was proposed using the slender body theory from the distribution of the lateral force acting on each segment of the hull. Moreover, the results of a comparison study to the model experiment for KVLCC1 performed by KRISO are presented in order to verify the accuracy of the static drift calculation. Finally, the linear hydrodynamic maneuvering derivatives obtained from both the model test and calculation are compared and presented to verify the usefulness of the method proposed in this study.

1. 서 론

선박의 초기설계단계에서 조종성능 추정은 빈번히 검토되어 지는 설계 인자로서 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서 정한 조종성 기준(MSC.137, Maritime Safety Committee)의 만족 여부를 확인하는 것은 중요하다. 선박의 조종성능 추정에는 여러 방법들이 존재하지만 초기설계단계에서 활용될 수 있는 방법으로는 조종운동 수학적모델 기반의 시뮬레이션이 널리 활용되고 있다. 이러한 수학적모델 기반의 시뮬레이션 기법에서 가장 중요시 되는 것은 선박의 조종운동시에 선체에 작용하는 횡방향 유체력 및 모멘트의 추정이다. 따라서, 이에 대한 연구는 오래전 부터 많은 연구자들에 의해 검토되어 왔으며 현재까지도 많이 검토되고 있는 실정이다. 이들 중 Kijima and Nakiri(2003)는 선박의

길이, 폭, 흘수 및 Mori(1995)가 제안한 선미형상을 표현하는 파라미터(C_{pa} , C_{wa} 등)를 이용하여 선체가 받는 유체력을 추정하는 식을 통한 조종성능 추정법에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Lee et al.(1999)은 Kijima and Nakiri(2003)가 제안한 방법에 선미 Profile 까지 고려 가능한 수정된 추정법에 대한 연구를 수행하였다. 이러한 추정법은 일련의 자유모형시험을 모집단으로 한 회귀식을 기반으로 제안되었으며 현재까지 널리 이용되어 오고 있다. 하지만, 이들 회귀식기반의 추정법은 모형시험을 그 기반으로 하고 있고, 모집단이 되는 모형선 수의 제약으로 인해 모집단 범주에 속하지 않은 새로운 선형의 경우 그 추정 정도에 대한 신뢰성이 확보되지 않는다는 단점을 가지고 있다. 또한, Kijima and Nakiri(2003), Lee et al.(1995)가 제안한 유체력에 대한 추정식의 경우 선미형상을 표현하기 위해 도입한 파라미터로는 선미형상의 차이에 따른 효과

Received 21 August 2017, revised 26 October 2017, accepted 26 October 2017

Corresponding author Sungwook Lee: +82-51-410-4303, swlee@kmou.ac.kr

© 2017, The Korean Society of Ocean Engineers

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.

를 고려하기에는 어려움이 있다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 선미형상에 대한 파라메타가 가지는 단점을 보완하기 위해 Nonaka et al.(1997)은 세장체 이론을 기반으로 한 2차원 이산와법을 이용한 유체력 추정에 대한 연구를 수행하였으며 보다 진보된 연구 결과를 발표하였으나 2차원 이산와법을 위해 필요한 박리점 추정에 대한 어려움을 가지고 있다. 이와 유사한 연구로써, Toxopeus (2006)는 Hooft and Quadvlieg(1996) 및 Beukelman(1998)에 의해 연구되어온 세장체 이론(Slender-body theory)을 좀 더 발전시킨 Semi-empirical 세장체 이론에 대한 연구를 수행하였다. 이들 연구자들이 제안한 세장체 이론은 선체를 일련의 2차원 스트립 단면들의 연속체로 가정하여 이들 스트립에 작용하는 횡방향 부가질량의 선체길이 방향으로의 분포로부터 선형 유체력 미계수를 구하는 방법으로 파랑 중 선체운동을 연구하는 내항성 분야에서 사용하는 방법과 근본적으로는 같다고 할 수 있다. 즉, 이는 2차원 Diffraction 이론, 3차원 패널법 또는 Computational Fluid Dynamics(CFD)를 통해 구해진 2차원 단면에 작용하는 부가질량의 선체길이방향으로의 분포를 적분함에 의해 선형 조종 유체력을 구하는 방법이다.

한편, Toxopeus(2006)가 제안한 Semi-empirical slender-body 법은 유체의 점성(Viscous)효과에 의한 경계층을 가상의 선체 외곽이라고 가정한 후 이러한 가상선체에 대한 스트립 단면의 부가질량으로부터 선형 조종 유체력 성분을 도출하였다. 또한, Toxopeus(2006)는 다양한 분할 선체에 대한 구속모형시험을 통해 구해진 부가질량의 분포와 이론계산과의 불일치를 점성효과로부터 기인된 선미 부근에서의 와도의 영향이라고 가정하여 그 영향을 상수값으로 보정하여 계산의 정도 향상을 꾀하였다.

본 연구에서는 점성효과로 인한 와도의 영향을 상수값을 이용하여 수정하는 Toxopeus(2006)의 방법에 주목하여 좀더 개선의 여지가 있을 것으로 판단하였으며, 이에 대한 심화된 방법을 검토하였다. 또한, 단순한 2차원 단면에 대한 부가질량만을 고려하는 것은 가정에 무리가 있다고 판단하였다. 이는 완전히 일치하는 2차원 스트립 단면이라 할지라도 선수부에 있는 경우와 선미부에 있는 경우 미소한 사향각을 가질때 2차원 스트립 단면이 가지는 부가질량은 다를 것이라고 판단하였다. 이러한 효과를 내기 위해서는 단순히 2차원 스트립 단면의 부가질량만을 고려하는 것이 아닌 3차원 유동 효과를 고려해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 2차원 스트립 단면의 부가질량을 구하기 위해 등 간격으로 40분할된 KVLCC1 선체의 미소 사향시 선체에 작용하는 유체력을 Reynolds Average Navier-Stokes(RANS)기반의 CFD를 이용하여 계산하고 이를 토대로 각 단면에 작용하는 부가질량을 구하여, 포텐셜 이론 기반으로 구해진 부가질량의 선체 길이방향 분포와 비교하였다. 또한, CFD계산으로부터 구해진 부가질량으로부터 Toxopeus(2006) 등이 제안한 세장체 이론을 적용하여 선형 유체력 미계수를 도출하였으며, Sung and Park(2015) 등에 의해 연구된 모형시험 결과와 비교하여 본 연구에서 제안하는 방법의 유용성을 검증하였다.

2. RANS를 이용한 선형 조종 유체력 미계수 추정법

2.1 세장체 이론

일반적으로 Fig. 1과 같이 지구 고정좌표계와 선체 고정좌표계를 설정하였을 때, 선체에 작용하는 횡방향 유체력(Y_H)은

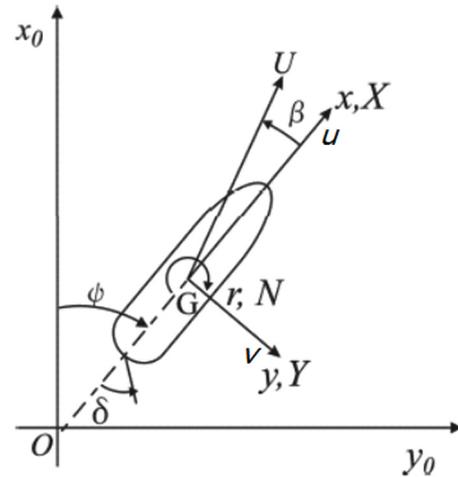


Fig. 1 Coordinate systems

Toxopeus(2006), Hooft and Quadvlieg(1996)에 의해 다음 식 (1)과 같이 선형 성분과 비선형 성분으로 분리하여 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y_H &= Y_{H,lin} + Y_{H,non-lin} \\
 Y_{H,lin} &= Y_{uv} \cdot u \cdot v \cdot \cos\beta - Y_{ur} \cdot u \cdot r \\
 Y_{H,non-lin} &= -\frac{1}{2} \rho \int_{x_{aft}}^{x_{fore}} C_D(x) \cdot T(x) \cdot v(x) \cdot |v(x)| \cdot dx
 \end{aligned} \tag{1}$$

위 식 (1)에서 Y_{uv} , Y_{ur} 은 각각 선체의 횡방향 이동속도 및 선 회속도에 기인하는 횡방향 유체력 미계수, $C_D(x)$ 는 선체 길이 방향의 임의의 위치 x 에서의 선형 유체력 성분을 제외한 3차원 Cross flow drag 계수를 나타낸다. u 는 선체 고정좌표계서 선체의 길이방향으로의 속도, v 는 횡방향 속도, r 은 선체의 회두 각 속도, β 는 $\beta = \tan(v/u)$ 로 표현 되어지는 사향각 그리고, ρ 는 유체의 밀도를 나타낸다. 또한, $T(x)$ 는 선체의 고정된 좌표계의 좌표원점(선체중앙)으로부터 임의의 선체 단면까지 떨어진 거리에서의 횡단면의 흡수를 나타낸다. 위 식에서 나타난 바와 같이 횡방향 유체력을 추정하기 위해서는 선형 및 비선형으로 분리된 항들에 대한 계산이 필요하게 된다. 이에 대해, 전통적으로는 서언에서 기술한 바와 같이 Kijima and Nakiri(2003)에 의해 제안된 추정식을 사용하여 횡방향 유체력을 추정하였다. 하지만, 서언에서 언급한 바와 같이 이러한 방법은 초기 설계단계에서 유용하게 사용되기는 하지만 선형의 차이에 따른 횡방향 유체력의 차이를 반영하기에는 한계를 가지고 있기 때문에 Hooft and Quadvlieg(1996), Beukelman(1998) 및 Toxopeus(2006)은 세장체 이론을 이용하여 횡방향 유체력을 구하는 방법을 제안하였다.

세장체 이론이란, 섭동법(Perturbation method)에 의거한 Slenderness 파라메터의 도입을 통해 선체를 Fig. 2와 같이 세장체라고 가정하여 복잡한 3차원 문제를 2차원으로 간략화한 이론으로, 본 연구에서의 세장체 이론은 엄밀히 Slender-body strip 이론으로써, 참고문헌과의 용어 통일성을 위하여 세장체로 언급하기로 한다. 스트립 이론의 의하면, 선체의 스트립 단면에 작용하는 힘은 선체 스트립 단면 당 모멘텀의 변화율을 뜻하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

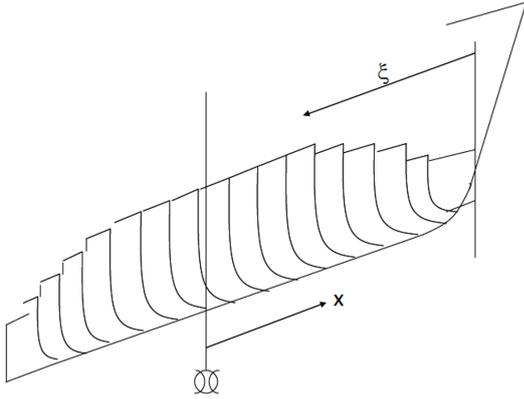


Fig. 2 Schematic view of slender-body

$$\frac{dY}{d\xi} = -\frac{D(m_{yy} \cdot v_x)}{Dt} \quad (2)$$

여기서, m_{yy} 는 단위 길이당 단면 strip의 부가질량, v_x 는 국부 횡방향 속도, ξ 는 수면 하 bow로부터 떨어진 거리, x 는 선체중앙에서 단면 스트립까지의 거리이며 선수방향을 양으로 한다. 식 (2)를 좀더 구체적으로 표현하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dY}{d\xi} &= \frac{D(m_{yy} \cdot v_x)}{Dt} = -\left(\frac{d}{dt} + u \frac{d}{d\xi}\right)(m_{yy} \cdot v_x) \\ &= -m_{yy} \frac{dv_x}{dt} - v_x \frac{dm_{yy}}{dt} - um_{yy} \frac{dv_x}{d\xi} - uv_x \frac{dm_{yy}}{d\xi} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 편의를 위해 $d\xi/dt = -U$, Pure drift에 대해 $dv/d\xi = 0$, $d/dt = 0$ 라고 가정하면, 단면에 작용하는 횡방향 힘은 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dY}{d\xi} &= U^2 \sin\beta \cos\beta \frac{dm_{yy}}{d\xi}, \\ u &= U \cos\beta, \quad v = U \sin\beta. \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, U 는 선속, β 는 사향각, u, v 는 각각 선체 길이방향 속도 성분 및 선체 폭 방향 속도 성분을 나타낸다. 따라서, 선체에 작용하는 횡방향 힘과 모멘트는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y &= -U^2 \sin\beta \cos\beta \int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} d\xi, \\ N &= -U^2 \sin\beta \cos\beta \int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} x d\xi. \end{aligned} \quad (5)$$

Pure yawing에 대해서도 유사한 방법을 이용하면($d/dt = 0$, $dv/d\xi = r$, $u = U \cos\beta$, $v_x = xr$),

$$\frac{dY}{d\xi} = -U \cos\beta \cdot m_{yy} r - U \cos\beta \cdot x \cdot r \frac{dm_{yy}}{d\xi},$$

$$Y = -Ur \cos\beta \int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x\right) d\xi, \quad (6)$$

$$N = -Ur \cos\beta \int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} x + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x^2\right) d\xi.$$

따라서, 식 (5)와 (6)으로부터 선형 유체력미계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_{uv} &= -\int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} d\xi, \\ N_{uv} &= -\int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} x d\xi, \\ Y_{ur} &= -\int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x\right) d\xi, \\ N_{ur} &= -\int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} x + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x^2\right) d\xi. \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)로부터 선형 유체력 미계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_{uv} &= -\int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} d\xi = -[m_{yy}(APP) - m_{yy}(FPP)], \\ N_{uv} &= -\int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} x d\xi = \int_{FPP}^{APP} \frac{dY_{uv}}{d\xi} x d\xi, \\ Y_{ur} &= -\left(\int_{FPP}^{APP} m_{yy} d\xi + \int_{FPP}^{APP} \frac{dm_{yy}}{d\xi} x d\xi\right) \\ &= -\left([m_{yy}x]_{FPP}^{APP} + \int_{FPP}^{APP} m_{yy} \frac{dx}{d\xi} d\xi + \int_{FPP}^{APP} m_{yy} d\xi\right) \\ &= -\left([m_{yy}x]_{FPP}^{APP} - \int_{FPP}^{APP} m_{yy} d\xi + \int_{FPP}^{APP} m_{yy} d\xi\right) \\ &= -[m_{yy}x]_{FPP}^{APP}, \\ N_{ur} &= -\int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} x + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x^2\right) d\xi \\ &= -\int_{FPP}^{APP} \left(m_{yy} + \frac{dm_{yy}}{d\xi} x\right) x d\xi = -\int_{FPP}^{APP} \left(\frac{dY_{ur}}{d\xi}\right) x d\xi. \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)은 횡방향 부가질량의 선체 길이 방향으로의 변화량을 길이 방향으로 적분을 하면 선형 조종 유체력이 구해짐을 의미하는 것으로 이에 대해 도식화 한 것을 Fig. 3에 나타내었다.

한편, 단면 부가질량은 서언에서 언급한 바와 같이 다양한 방법(2차원 스트립 이론, Diffraction 이론, 패널법, 3차원 CFD 계산, 모형시험 등)으로 계산될 수 있다. 일반적으로 2차원 단면에 대한 부가질량의 이론계산 및 2차원 Diffraction 이론에서는 물체의 운동을 어떤 특정한 2차원 방향으로만 정의하고 있기 때문에 Fig. 2에서 보인 바와 같이 길이 방향으로 2차원 스트립 단면의 집합으로 가정된 물체가 사향각을 가지며 운동하는 경

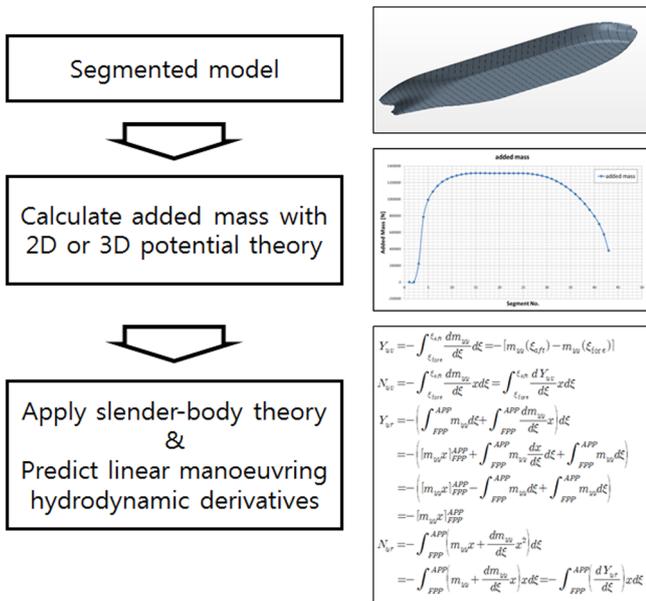


Fig. 3 Calculation procedure of slender-body theory

우, 각 2차원 단면에 작용하는 횡방향 가속도에 기인하는 부가 질량에는 유동의 3차원 효과가 포함되지 않는다. 앞에서 유도된 식 (7)에서 알 수 있는 바와 같이 세장체 이론에 기반한 선형 조종 유체력 미계수의 계산은 결국 2차원 스트립 단면에 작용하는 부가질량의 분포를 물체의 길이 방향으로 적분하여 추정하기 때문에 이에 대한 추정의 정확도가 중요한 요소임을 의미하며, 유동의 3차원 효과를 고려함이 타당하다고 판단된다. 이는 Toxopeus(2006)가 제한한 연구에서 선미 후류에서의 와도의 영향을 상수 취급하여 세장체 이론의 정도를 향상 시키고자 한 점과 동일한 이유라고 사료된다.

2.2 RANS를 이용한 부가질량 계산

3차원 유동의 효과가 고려된 2차원 단면에 작용하는 횡방향 부가질량을 얻기 위해서는 모형시험 또는 CFD계산을 수행하는 방법을 생각할 수 있다. 모형시험을 통해 미소 사향각으로 가속도 운동을 하는 분할 모형선의 각 요소에 작용하는 횡방향 부가질량을 구하는 방법은 그 사례를 찾아보기 힘들다. CFD를 활용하여 물체에 가속도를 직접적으로 발생시켜서 각 분할된 요소에 작용하는 횡방향 부가질량을 검토하는 것 또한 검증 자료의 부재로 인해 연구결과를 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 직접적으로 가속도를 발생시키는 방법 대신 Fig. 4에 나타난 바와 같이 분할된 선체에 대한 정적 사향 계산(또는 모형시험)을 통해 각 분할 요소에 작용하는 횡방향 유체력 미계수(Y_{uv})을 얻는다. 이렇게 획득된 횡방향 유체력으로부터 앞서 기술한 세장체 이론에 의한 식 (8)을 이용하여 각 분할된 요소에 작용하는 횡방향 부가질량을 도출하였다. 본 연구에서는 모형시험대신, RANS기반의 CFD계산을 통해 미소 사향각을 가지고 직진하는 분할 선체에 작용하는 횡방향 유체력을 계산하였다.

2.3 수치계산 설정 및 방법

CFD계산에 사용된 대상선은 KVLCC (KRISO Very Large Crude

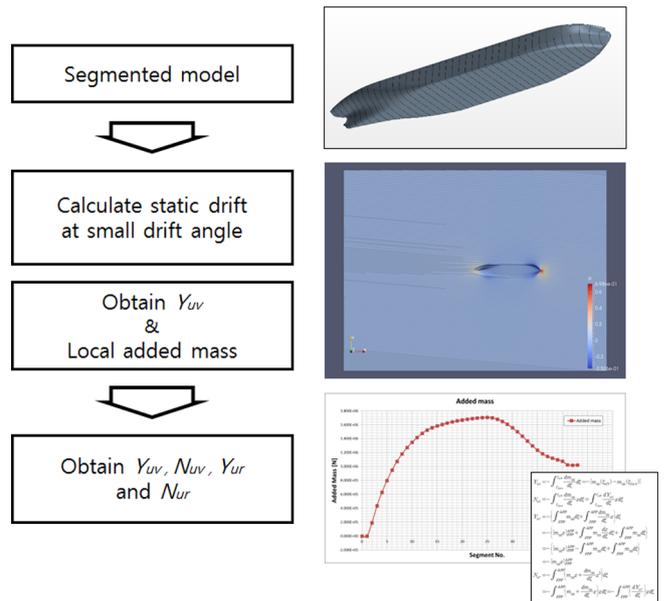


Fig. 4 Calculation procedure of RANS based slender-body theory (present study)

Table 1 Principal dimensions of KVLCC1

KVLCC1	Ship (1/1.000)	Model(1/46.426)
LBP / B / T [m]	320.0/58.0/20.8	6.893/0.625/0.448
Displacement [m ³]	321,738	3.1253
Reynolds No. [-]	2.18×10 ⁹	6.662×10 ⁶
Calculation Item	Drift angle (β)	Drift angle (β)
Static drift	-	0, ±2°, ... , ±24°(HMRI) 0°, 5°, 10° (Present study)

oil Carrier) 1으로 최근 SIMMAN2008을 통해 많은 비교 데이터가 공개되었기 때문에 본 연구에서도 이 선박을 대상선으로 채택하였다. 특히, 본 연구에서는 Sung and Park (2015)에 의해 수행된 연구 결과와의 비교를 통해 선형 조종 유체력미계수 중 횡방향 이동 속도에 기인하는 횡방향 유체력 미계수(Y_{uv})의 추정 정도를 확인하였다. 앞서 언급한 바와 같이 각 분할된 요소에 작용하는 부가질량을 얻기 위해서는 CFD 계산에 사용할 대상선을 분할 할 필요가 있으며 본 연구에서는 후처리의 편의를 위해 선체를 40등분 하였다. 대상선의 주요 제원 및 계산조건은 Sung and Park(2015)로부터 Table 1과 같다.

본 연구에서 사용한 CFD 해석자는 Open-source tool-kit인 OpenFOAM (Open-source Field Operation And Manipulation)을 사용하였다. 계산에 사용된 영역은 Fig. 5와 같고 모형 스케일로 계산을 수행했으며 자유수면 효과는 고려하지 않았다. 계산에 사용된 난류모델은 $k-\epsilon$ 으로 y^+ 의 평균값이 약 50 ~ 60이며 벽함수를 사용하도록 설정하였다. 계산에 이용된 수치기법에 대한 상세한 사항은 Table 2와 같다.

또한, 해석자로서는 OpenFOAM에서 지원하는 Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation(SIMPLE) 계열의 PIMPLE (PISO+SIMPLE)을 사용하여 unsteady계산을 수행하였다.

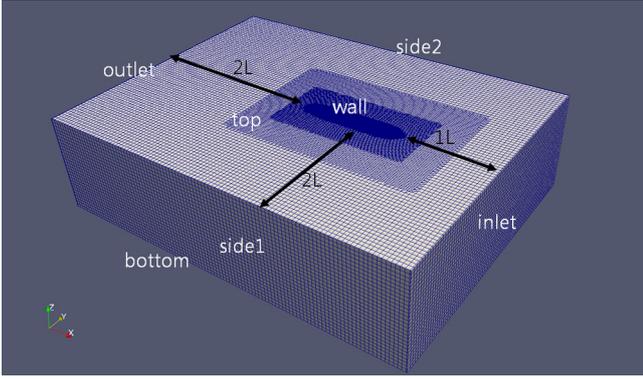


Fig. 5 Computation domain for static drift calculation

Table 2 Numerical schemes for static drift calculation with OpenFOAM

Numerical Schemes	Type
Temporal term	
ddt(U k epsilon)	backward
convection term	
div(phi,U k epsilon)	linearUpwind cellLimited Gauss linear 1
diffusion term	
all variables	linear limited 0.5

이때 사용된 시간 간격 Δt 는 0.02로 힘이 충분히 안정화 될 때까지 계산을 수행하였다. 전체 격자의 개수는 약 120만개 수준으로 하여 계산을 수행하였는데, 이는 자유수면 효과를 고려하지 않은 관계로 비교적 평의한 수준의 격자수가 사용되었다.

3. 계산결과 및 검토

본 연구에서 제안하는 방법의 적용에 앞서 RANS 기반의 CFD 계산의 정확도를 확인할 필요성이 있다. Fig. 6은 정적 사향 상태에서의 횡방향 유체력에 대해 Sung and Park(2015) 등이 수행한 연구결과와의 비교를 나타내고 있다. Fig. 6에 보여지는 바와 같이 CFD 계산이 모형시험 결과를 잘 반영하고 있음을 보여주고 있음을 알 수 있다. Table 3은 Fig. 6에서 보여주고 있는 결과를 수치화하여 나타내었다. Table 3에서 사향각이 미소할 때 모형시험과의 오차가 크게 남을 알 수 있는데, 비교 대상이 되는 두 값이 미소한 값이기 때문에 비율의 크기는 상대적으로 크게 나타난다고 판단된다. 또한, 모형시험시에는 상하동요 및 종동요에 대해서 자유로운 상태이기 때문에 미소하기는 하지만 트림 및 침하가 발생하지만 CFD 계산에서는 이를 모두 구속하였기 때문에 트림 및 침하로 인한 침수표면적의 차이에 기인하는 마찰저항의 증가분이 영향을 미칠 수 있음에도 그 이유를 찾을 수 있다고 사료된다. 더욱이, 미소 사향시 직진하는 상태는 정상 직진 상태인 저항문제와 거의 유사한 문제라고 볼 때 선체 주변의 경계층 유동을 좀더 정확히 계산하기 위한 격자 구성 또한 중요한 요소 중 하나라고 판단된다.

본 연구에서 제안하는 방법의 주안점은 미소 사향각에서의 선체 각 단면에 작용하는 횡방향 부가질량을 CFD 계산을 통해 도출한 후 선형 조종 유체력 미계수를 추정하는 것이다. 이러한

Table 3 Bare hull static drift force results (Exp. vs. Cal.)

Drift angle [deg.]	Model test [N]	Calculation [N]	Difference [-]
5	49.713	39.763	80%
10	117.856	107.109	91%
15	203.233	188.630	93%

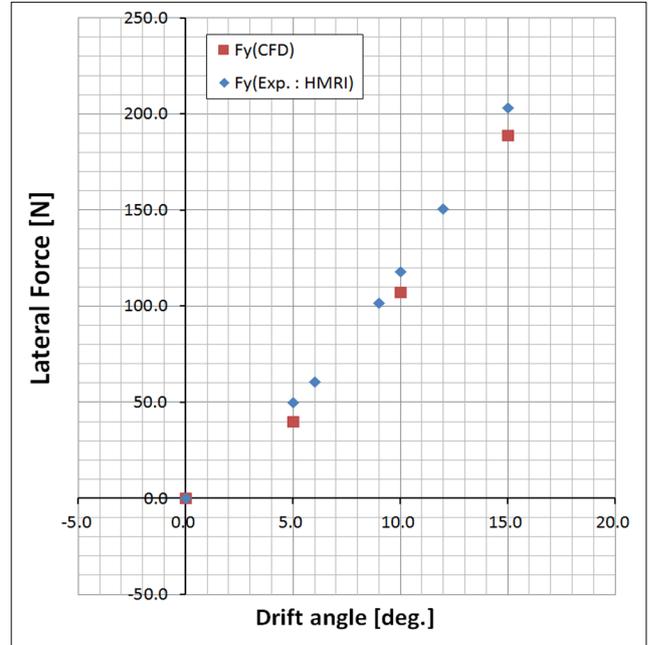


Fig. 6 Bare hull static drift force between experiment and calculation

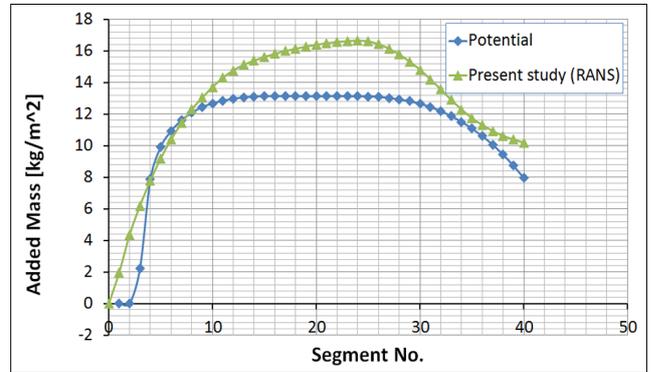


Fig. 7 Distribution sectional added mass

Table 4 Linear manoeuvring derivatives (Exp. vs. Cal.)

	Exp.	Cal.	Difference
Y'_{uv}	-0.2758	-0.2872	104.1%
N'_{uv}	-0.1501	-0.1472	98.1%
$Y'_{ur} - (m' + m'_x)$	-0.2421	-0.2505	103.5%
N'_{ur}	-0.0362	-0.0339	93.8%

점을 감안한다면 앞서 언급한 상하 및 종동요에 기인하는 자세 변화에 대한 영향도나 경계층 주변 유동의 영향도에 대해서도

고려해야만 하지만 본 연구에서는 이에 대한 고려는 추후의 연구로 남겨두고 최종 결과의 유용성 여부를 확인하기로 한다.

미소 사향각에 대한 정적 사향 계산을 통해 얻어진 선체의 각 분할요소에 작용하는 횡방향 유체력 분포로부터 식 (8)에서 나타난 방법을 역으로 이용하여 얻어진 부가질량의 선체 길이방향 분포를 Fig. 7에 나타내었다. 또한, Fig. 7에는 3차원 패널법에 의해 구해진 부가질량의 분포도 함께 나타내었다. Fig. 7로부터 포텐셜 기반으로 얻어진 부가질량의 분포와 RANS 기반의 CFD계산으로 얻어진 부가질량의 분포에 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 유체의 점성 및 회전성에 대한 효과의 반영 유무에 기인한 것으로 판단된다. Table 4는 식 (8)을 이용하여 얻어진 선형 조종 유체력 미계수와 모형시험을 통해 구해진 조종 유체력 미계수와의 비교를 나타내고 있다. Table 4로부터, KVLCC1의 유체력 미계수 추정오차는 최대 $\pm 7\%$ 이내로, 만족 할 만한 정도의 추정이 이루어졌음을 알 수 있다. 하지만, 본 연구에서 제안하는 방법의 유용성을 검증하기 위해서는 대상선의 수 및 종류를 다양하게 할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 선박의 초기 설계단계에서 빈번히 수행되는 조종 성능 추정을 위해 유용하게 사용될 수 있는 선형 조종 유체력 미계수의 추정법에 대해 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 Toxopeus(2006)가 제안한 세장체 스트립 방법에 착안하여 세장체로 가정된 분할된 선체에 대해 횡방향으로 작용하는 부가질량의 추정법에 대해, 기존의 방법이 아닌 RANS 기반의 CFD계산을 통해 구하는 방법이다. 이는 미소 사향각을 가지고 직진하는 선체에 작용하는 횡력의 국부적 분포를 선체를 분할함에 의해 구한 후, 이러한 국부적으로 분할 선체에 작용하는 유체력으로 부터 부가질량의 분포를 구한다. 이렇게 구해진 부가질량의 선체 길이 방향의 분포를 이용하여 선형 조종 유체력을 구하는 방법이다.

기존의 조종분야에서 사용하는 방법이 선형 조종 유체력 미계수의 도출을 위해 많은 양의 계산 또는 모형시험을 수행해야 함에 비해, 본 연구에서 제안하는 방법은 미소 사향각(사향각 5도 이하) 하나의 계산(또는 모형시험)을 통해 Y_{uv} 를 제외한 나머지 선형 조종 유체력 미계수를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 많은 종류의 선형에 대한 계산을 통해 구해진 횡방향 부가질량을 구하는 회귀식을 도출하면 Kijima and Nakiri(2003)이 제안한 선미 선형을 고려한 선형 조종 유체력 미계수 추정식이 가진 단점을 보완할 수 있을 것으로 사료된다.

향후 연구계획으로서 앞서 언급한 바와 같이 대상선의 수 및 종류를 다양하게 하여 본 연구에서 제안하는 방법의 유용성을 좀 더 폭 넓게 확인해야 할 필요성이 있다고 판단된다. 또한, 미소

사향각에서의 횡방향 유체력의 경우 모형시험과의 차이를 발생 시킨 원인 파악을 위해 좀 더 다양한 계산 조건을 설정하여 연구를 수행할 필요성이 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 2017년도 한국연구재단의 이공학 개인기초연구지원사업(NRF-2017R1D1A3B03030423)의 지원으로 수행된 연구를 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Beukelman, W., 1998. "Manoeuvring Coefficients for a Wing-Model in Deep and Shallow Water", Int. Shipbuilding Progress, Vol 45, No 441, pp 5-50.
- Hoof, J.P., Quadvlieg, F.H.H.A., 1996. "Non-linear hydrodynamic hull forces derived from segmented model tests", International Conference on marine simulation and ship manoeuvrability, MARSIM 96, Copenhagen, Denmark, September, pp 399-409.
- Kijima, K., Nakiri, Y., 2003. "On the Practical Prediction Method for Ship Manoeuvring Characteristics", Transaction of the West-Japan Society of Naval Architects, No 105, pp 21-31.
- Lee, S.K, Choi, J.Y., Seo, Y.S., Lee, W.J., 1995. "A Study on the Prediction of the Manoeuvrability of Ships at Initial Design Stage, Considering Stern Form", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No. 2, pp 72-76.
- Mori, S., 1995. "Note of Ship Form design(24)", FUNE-NO-KAGAKU, Vol 48, pp 40-49.
- Nonaka, K., Haraguchi, T., Numura, T., Ueno, M., Fujiwara, T., Makino, M., Kodama, Y., Yoshino, Y., 1997. "Research on Flow Field around a Ship in Manoeuvring Motion", Papers of Ship Research Institute, Vol 34, No 5, pp 1-68.
- Toxopeus, S., 2006. "Validation of slender-body method for prediction of linear manoeuvring coefficients using experiments and viscous-flow calculation", Proceedings of the 7th international conference on hydrodynamics, ICHD, University of Naples, Ischia, Italy, pp 589-598.
- Sung, Y.J., Park, S.H., 2015. "Prediction of Ship Manoeuvring Performance Based on Virtual Captive Model Tests", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 52, No. 5, pp 407-417.