韓國航海港灣學會 第27券 第1號, pp.1~7, 2003.

CFD을 이용한 선박 접이안시 유체력 추정에 관한 연구

이윤석* · 定兼廣行* · 공길영** · 김순갑** · 이충로**
* 고베상선대학 해사시스템과학전공, ** 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수
*** 해양수산연구원 교수

The Prediction of Hydrodynamic Forces Acting on Ship Hull Undergoing Lateral Berthing Maneuver Using CFD

*Yun-Sok Lee** · *Hiroyuki SADAKANE** · *Gil-Young Kong*** ·
*Soon-Kap Kim*** · *Choong-Ro Lee****
* *Department of Maritime science, Kobe University of Mercantile Marine.*
*** *Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University.*
**** *Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology.*

요 약 : 대형 유조선 접이안시 발생하는 비정상 운동을 이해하기 위해서는 천수역에서 작용하는 유체력의 크기와 성질을 명확히 파악해야 한다. 본 논문에서는 수식선형인 wigley 선형을 대상으로 수심과 가속도에 따른 유체력 변화에 대해 CFD를 이용하여 직접 시간영역에서 수치 계산을 행하였다. 또한 계산 결과를 수조 실험 결과와 비교하여 CFD의 타당성 및 유효성을 검증하였다. CFD의 계산 결과는 선박 접이안시 선체에 작용하는 유체력의 산출은 물론이고 선체 주위 물리적 현상이나 유장 등의 특징을 상세히 파악할 수 있었다. 또한 수심과 가속도를 변수로 행한 계산 결과를 바탕으로 최초 정지상태에서 등속운동까지의 과도 횡력을 선체 이동속도에 이동거리를 곱한 순환함수의 개념을 이용하여 모델화하였다.

핵심용어 : 선박, 접이안, 유체력, 횡력, CFD, 천수역

Abstract: : In order to evaluate properly ship motion relating to the berthing maneuver, the hydrodynamic forces acting on ship hull in berthing maneuver need to be estimated rightly. CFD has been employed for time-domain simulation of transient flow induced by Wigley model moving laterally from rest in shallow water. The numerical solutions successfully captured not only the characteristics of the transitional hydrodynamic forces but also some interesting features of the flow field around a berthing ship according to the water depth. In this paper, the consideration is carried out on the approximate formula based on the CFD results, which can estimate hydrodynamic forces especially lateral drag coefficient starting from the rest to the uniform movement.

Key words : Ship, Berthing maneuver, Hydrodynamic forces, Lateral drag force, CFD, Shallow water

1. 서 론

선박의 접이안 조선은 선박 자체의 안전은 물론이고 계류시설의 허용 강도를 고려하여 하여야 하는 특수한 환경 제약을 받고 있다. 또한, 예인선(Tug Boat)의 지원을 받아 정확한 본선의 자세나 운동을 제어하여야 하기 때문에 소요 시간이 길며 선박 운항자의 심적 부담이 매우 크다. 접이안 조선이 이와 같이 조선 곤란도가 큰 이유는, 선박의 접이안 조선에 있어 유용한 정보인 선체에 작용하는 조종 유체력의 크기와 특성이 수심이나 선종의 차이에 의해 명확히 파악되지 않았기 때문이다.

본 논문은 대형 유조선 등이 시버스(Sea Berth)에 접이안시, 계류 시설과 평행하게 횡 이동할 때 작용하는 조종 유체력을 CFD에 의해 정량적으로 구하여, 이를 사용자가 간편히 이용 가능하도록 일반화하고자 하는 기초 연구이다.

대형 유조선의 접이안 조선과 같은 선체 횡방향 이동시 발생하는 특징으로는, 이동 방향에 대해서는 선체가 유선형이 아니기 때문에 선체 이동에 따라 선체로부터 형성되는 박리와(剝離渦, Separated Vortex)로 인해 접안 속도가 비교적 작음에도 불구하고 커다란 힘이 작용한다. 또한 대형 유조선의

* 정회원, yunsok@cc.kshosen.ac.jp
* 정회원, sadakane@cc.kshosen.ac.jp
** 종신회원, gykong@hhu.ac.kr,
종신회원, soonkap@hhu.ac.kt,
*** 정회원, crlee@int.seaman.or.kr

이동 거리는 선폭에 비해 수배 정도이며, 정지와 이동을 반복한다. 이와 같은 경우의 유체력은 와도의 위치와 크기에 의해 주로 변화하는 과도적 성질이 명료히 나타나며, 같은 이동 속도라 하더라도 선박의 과거 운동 특성에 따라 크게 다르기 때문에 정상이나 준정상 유체력으로는 취급할 수 없다. 그리고 버스(Berth) 전면에서의 선체 횡이동은 수심이 얕기 때문에 수심의 영향이 현저히 나타남과 동시에 과도 유체력이 비교적 강하면서 오랫동안 선체에 작용한다.

본 논문에서는 선박 접안시 복잡한 조종 유체력을 취급함에 있어 종래의 방법에 따라 유체력을 단순히 관성력과 횡력(저항)으로 성분 분리하여 고려하였다. 이중에서 관성력과 관계된 선체 부가질량에 대해서는, 3차원 포텐셜 계산법을 이용하여 수심의 변화와 선종·선형의 차이를 고려한 부가질량에 관한 추정식을 제안하였다[1]. 나머지 성분인 횡력에 대해서는 모형실험을 기초로 한 근사식[2]이 제안되어 있지만 실험 정도와 운용 범위 그리고 유체역학적인 성질에 관한 검증이 필요한 실정이다.

본 논문은 이와 같은 요구에 가장 적합한 계산 방법인 CFD(Computational Fluid Dynamics: 전산유체역학)[3)-5)]을 이용하여 선체 횡 이동시 선체에 작용하는 조종 유체력과 선체 주위의 유장에 대하여 고찰하였다.

2. 수치 계산법

항만 내에서 예인선의 지원을 받는 대형 유조선의 접안 속도는 통상적으로 0.15m/s 이하로, 선체 폭을 기준으로 한 Froude Number는 매우 작은 값이므로 계산상에는 자유 표면의 영향을 무시하였다. 계산에 이용한 횡 이동 운동 모드는 실험과 동일하게 선체가 최초 정지 상태에서 정가속, 등속, 정감속 그리고 정지하는 정가속도실험법(Constant Acceleration Test)을 이용하였다.

2.1 기초 운동방정식과 난류 모델

기초 운동 방정식은 3차원 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식이며, 시시각각 변화하는 선체 주위의 영역을 취급하므로 선체와 함께 이동하는 비관성계 좌표계를 설정하였다. 계산에 사용된 물리량은 선체 폭 B, 속도U_∞ (등속 운동시의 이동 속도), 유체밀도 ρ와 이것들을 조합하여 나머지 변수들을 무차원화 하였다. 따라서 시간은 B/U_∞, 가속도는 U_∞^2/B, 압력은 ρBU_∞^2, 힘은 $\rho B^2U_\infty^2$로 무차원화 된다.

난류 모델로서는 횡 이동하는 선체 주위의 비정상 유장을 비교적 거친 계산격자를 이용하여 난류현상을 파악하는데 유효한 방법인 SGS 난류 모델(Sub-Grid Scale turbulence model)을 채용하였다. SGS 난류 모델의 와동점성($\upsilon_t = 1/Re + \upsilon_s$)은 Smagorinsky에 의한 와점성계수υ_s 와 Takakura[6), 7)]의 길이 스케일을 이용하였다.

무차원화된 방정식은 독립변수를 이용하여 선체적합좌표계로 좌표 변환하면 다음과 같이 대류·확산 방정식 형태로 표현할 수 있다.

이산화는 시간에 대해서 1차 후진차분, 공간에 대해서는 Chen과 Patel의 12-points 유한해석법(Finite-Analytic Method)[8), 9)]을 이용하였고, 속도와 압력의 결합에는 PISO법[10)](Pressure Implicit Split Operator method)을 사용했다. 그러므로 매 시각 스텝의 계산마다 수백회의 반복 계산이 요구되며, FA법의 각 계수들에 대해서는 매번 반복시마다 갱신된다. 무차원 가속도 항목 또한 1차 후진차분을 이용하여 이산화하였기 때문에 현재 시간과 1 스텝 전의 무차원 속도에 의해 근사하였다.

$$\frac{1}{J}\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}\frac{\partial}{\partial\xi^i}\left(b_j^i U_j\right)=0 \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{3}g^{ij}\frac{\partial^2\phi}{\partial\xi^i\partial\xi^j}-2\sum_{j=1}^{3}a_\phi^j\frac{\partial\phi}{\partial\xi^j}=R_\phi\frac{\partial\phi}{\partial\tau}+S_\phi \tag{2}$$

2.2 계산 격자 및 경계조건

계산과 실험에 사용된 선형은 Fig. 1과 같은 수식선형인 Wigley 선형이다. Fig. 1은 선폭으로 무차원화 하였기 때문에 선장 10, 선폭 1, 흘수가 0.625이 된다. 좌표계는 선체 중앙에 원점을 잡고, 선체의 선수미 방향을 Y축으로, 선체 이동 방향(전면에서 볼 때 오른쪽 방향)을 X축으로, 연직 하방을 Z축으로 잡았다. 계산 격자의 형상은 선수미 방향인 Y을

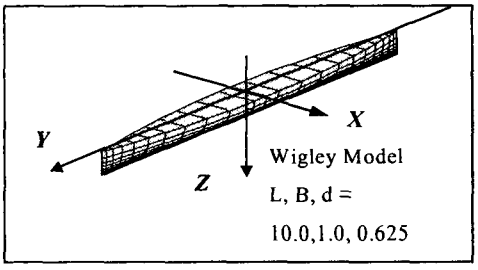

Fig. 1 Coordinate system and computational grid.

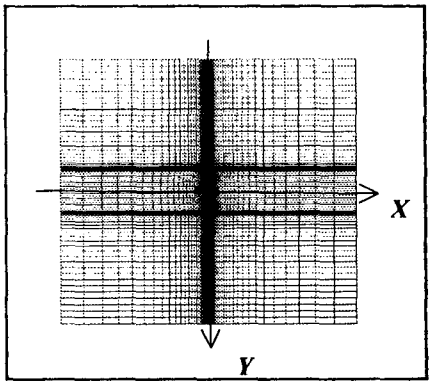

Fig. 2 Computational grid on the water plane.

일정하게 고정하여 포아송 방정식을 풀어 작성한 이른바 H-type 격자이다.

격자수는 심수역의 경우 X, Y, Z축 방향에 대해 81×95×36이며, 수심흘수비 H/d가 2.0과 1.5 인 경우에는 흘수 방향인 Z 축 격자만를 각각 29와 21로 감소시켜 계산을 행하였다. Fig. 2에 수선면상의 계산격자를 나타낸다.

계산상의 경계조건으로서는 천수역을 일례로 보면 다음과 같다.

유입경계조건 (x=-30): $u = U_0$, $v = w = p = 0$

유출경계 (x=30): $u = U_0$, $\partial v/\partial x = \partial w/\partial x = \partial p/\partial x = 0$

측면경계(y=± 25): $u = U_0$, $v = w = p = 0$

선체표면: u = v = w = 0, $\partial p/\partial x = dU_0/dt$

실제 계산상에서는 무차원 이동 속도 U_0 에 1을, 무차원 가 · 감속도 dU_0/dt 에는 ±1을 대입하여 계산하였고, 계산상의 레이놀드 R_e 수는 10^5 으로 했다. 또한 1 스텝의 무차원 계산 간격인 △t는 0.005 (200 스텝이 무차원 시간 T=1)이다.

3. 계산 결과

3.1 수심의 변화에 따른 유체력 비교

CFD에 의한 수식 선형의 계산 결과를 무차원 시간 T에 따른 시계열로 힘과 이동 속도(힘과의 혼란을 피하기 위해 마이너스(-)로 표현한다)를 Fig. 3에 나타낸다. Fig. 3은 수심의 차이에 따른 유체력 변화를 비교 · 검토하기 위하여 H/d가 2.0, 1.5 그리고 심수역의 결과인 H/d=7.0을 표시한 것이다. 또한 Fig. 3의 힘 F와 이동 속도 U_0는 무차화된 값이며, 점선은 횡력 계측 장치을 이용한 수조 실험 결과이다. CFD 계산 결과에는 모형선의 관성력이 포함되지 않은 순수한 유체력 임으로 수조 실험 결과와 비교하기 위해 모형선의 질량에 해당하는 관성력을 계산 결과에 보정하여 Fig. 3에 나타내었다. 수조 실험은 Fig. 4와 같이 서보 모터를 이용하여 구축한 횡력 계측 장치로, 1m 이내의 소형 모형에 대해 가속도, 감속도 그리고 이동 속도를 컴퓨터로 자유롭게 제어 가능하도록 설계 제작한 것이다.

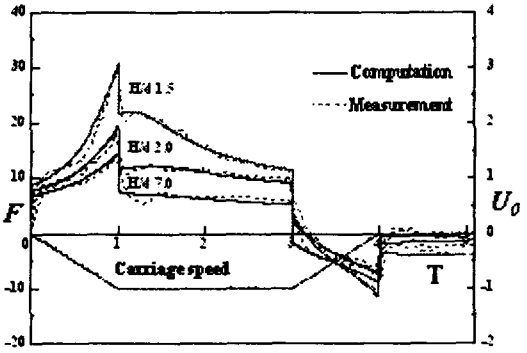

Fig. 3 Comparison of hydrodynamic forces.

Fig. 3의 비교로부터 우선 CFD 계산 결과가 실험 결과와 양호하게 일치하고 있어, CFD에 의해 산출된 유체력이 충분한 정확도로 실험 결과를 대신할 수 있음을 알 수 있다. 즉 CFD 계산에 대한 타당성 및 유효성이 검증되었다고 할 수 있다.

계산 결과를 구체적으로 검토해 보면 우선 유체력은 거의 선체 이동에 따른 압력 성분이 지배적이며 점성 응력은 무시할 수 있는 만큼 작았다. 수심에 따른 유체력의 특징으로는 수심이 얕아짐에 따라 관성력인 부가질량과 횡력 성분이 모두 크게 증가되었으며, 특히 가속도 운동 직후(등속 운동 시작 부분)의 과도 횡력이 수심이 얕아질수록 단시간 내에 대폭 감속하는 경향을 볼 수 있다. 또한 가속도 전후 및 감속도 전후에 나타나는 관성력 성분인 선체부가질량은 현저한 유장의 차이에도 불구하고 CFD 결과는 거의 같은 값을 나타내고 있다.

다음으로 CFD의 장점을 활용하여 수심에 따른 유장의 변화를 가시화하여 Fig. 5에, H/d가 2.0과 1.5인 경우에 해당하는 수선면상의 순간유선을 표시한다. Fig. 5로부터 수심이 얕아짐에 따라 전반적인 유선은 선저를 자유롭게 흐르기 보다는 선수미를 상회하는 유선이 탁월하게 나타나고 있음을 쉽게 알 수 있다. 따라서 천수역에서는 심수역보다 선체 전

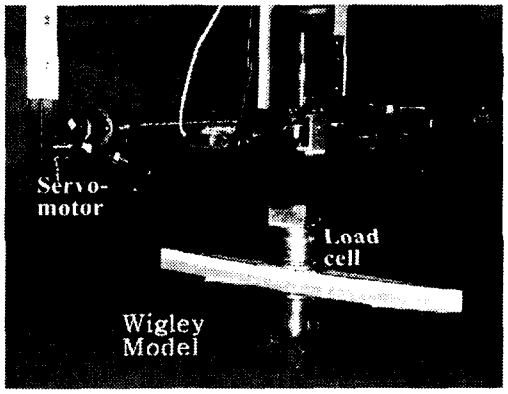

Fig. 4 Configuration of Experiment

체에 커다란 압력이 작용하게 된다. 또한, 선체가 완전히 정지한 후(T=4.0 이후)에도 형성된 후류가 선체의 후면에 접근하면서 선체를 이동 방향으로 밀고 있음을 알 수 있다. Fig. 6에는 선체 주위의 3차원 등와도면(等渦度面) 분포를 표시한다. Fig. 6를 통해 여유 수심의 크기에 따라 선체 주변의 와도 분포가 크게 다름을 쉽게 이해 할 수 있고, 과도적인 특성이 크게 나타남과 동시에 3차원적인 와도 구조로 되어 있음을 알 수 있다. 또한 천수영역에서의 선체 횡 이동은 선체 주위는 물론 선저에도 영향을 미쳐, 수저상면에 와도가 형성되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 가시화 정보는 수심의 차이가 선체 주위의 유장에 미치는 영향을 유체역학적으로 관점에서 용이하게 파악할 수 있고, 수심이 유체력에 커다란 영향을 미치는 중대한 요소임이 확인되었다.

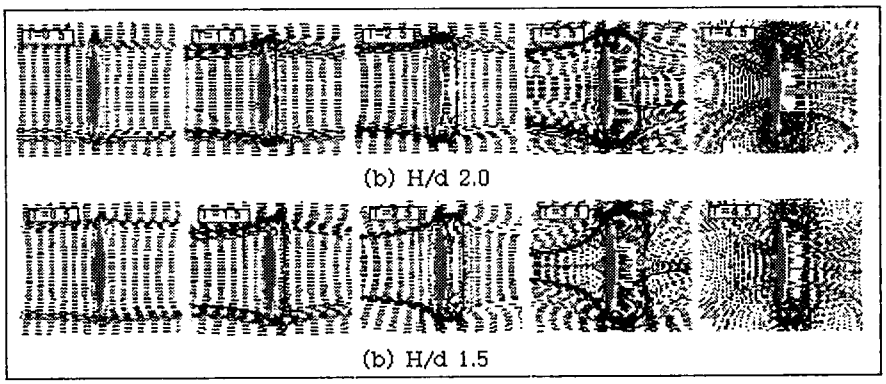

Fig. 5 Instantaneous streamlines of water surface (relative velocity to the hull).

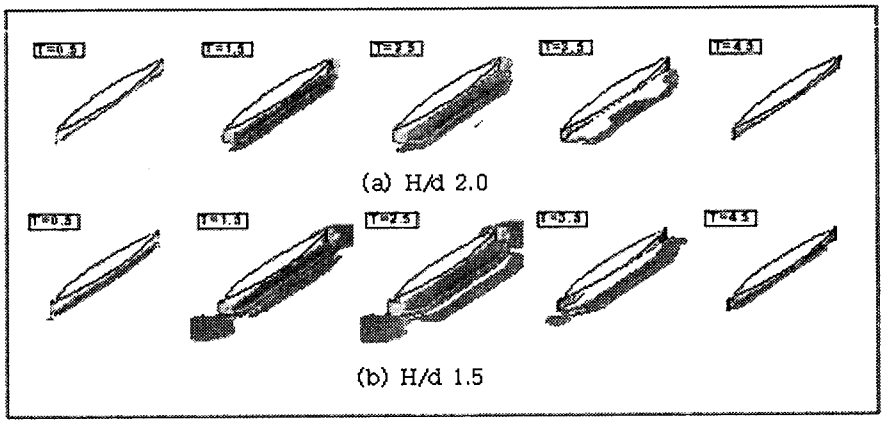

Fig. 6 Transitional 3D vortex structure around the ship ($\sqrt{\omega^2 + \omega^2} = 7.0$).

3.2 가속도의 변화에 따른 유체력의 변화

대부분의 접이안 조선은 예인선의 지원을 받아 선체를 계류 시설과 평행하게 유지한 후 정지 상태에서 가속도 운동을 거쳐 등속 횡 운동을 행하게 된다. 이러한 운동의 크기는 예인선의 출력과 척수에 의해 좌우되므로 선체 가속도 운동의 변화에 따른 유체력의 변화를 조사할 필요가 있다. 따라서 가속도 변화에 따른 유체력 변화를 검토하기 위해 무차원가속도(NDA: Non-Dimentional Acceleration)가 다른 3종류(NDA-0.5, 1.0, 2.0)을 대상으로 한다.

또한 가속도의 상이에 다른 수심의 영향을 파악하기 위해 수심이 깊은 H/d=7.0과 수심이 비교적 얕은 H/d=1.5에 대해 각각 CFD 계산을 실시했다. 계산에 사용한 운동은 최초 선체가 정지상태에서 가속도 운동을 거쳐 T=5.0까지의 등속 운동을 대상으로 행하였다. 우선 수심이 깊은 H/d=7.0와 H/d=1.5의 계산 결과를 수조 실험과 비교하여 Fig. 7과 Fig. 8에 나타낸다. 상기의 비교로부터 수조 실험과 CFD 계산은 잘 일치하고 있어 CFD 계산 결과를 이용하여 유체력의 구체적인 비교·검토가 가능함을 보여준다.

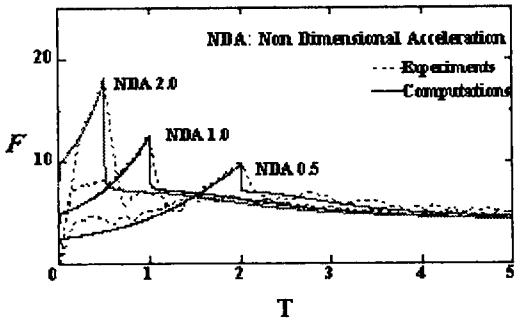

Fig. 7 Comparison of hydrodynamic forces according to the acceleration (H/d 7.0).

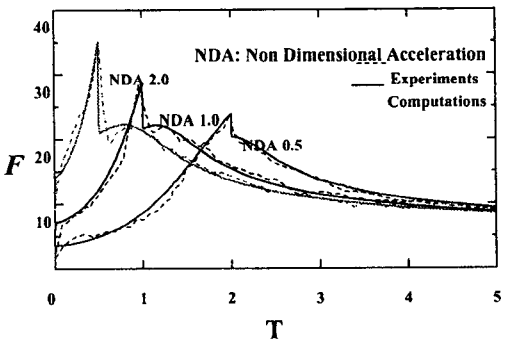

Fig. 8 Comparison of hydrodynamic forces according to the acceleration (H/d 1.5).

구체적으로 유체력을 관성력과 횡력으로 구분하여 검토하여 보면, 관성은 같은 수심이라면 NDA=1.0을 기준으로 NDA=2.0인 경우에는 2배, NDA=0.5인 경우에는 절반 정도였다. 그 값은 NDA=1.0인 경우 H/d=7.0에서는 약 4.8 그리고 H/d=1.5에서는 약 7.23이었다.

즉, 가속도 변화에 따른 유체력 중에서 관성력에 대해서는 가속도의 크기에 의해 크게 좌우됨이 확인되었다. 다음으로 횡력은 가속도가 빠르면 등속 운동까지의 시간이 짧으므로 이동 속도가 또한 빨라 무차원 가속도가 빠를수록 횡력이 커지는 경향을 보였다. CFD 계산 결과에서 관성력을 제외한 횡력 성분만은 Fig. 9과 Fig. 10에 각각 나타낸다.

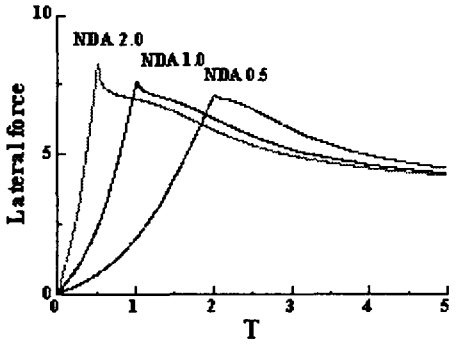

Fig. 9 Comparison of lateral drag force (H/d 7.0).

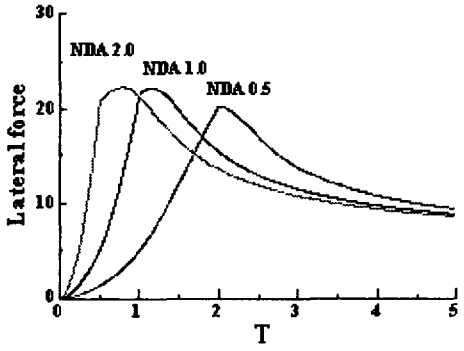

Fig. 10 Comparison of lateral drag force (H/d 1.5).

Fig. 9과 10를 비교하여 보면, 횡력은 수심이 비교적 얕은 H/d=1.5가 H/d=7.0에 비해 약 3배 정도 크게 나타나 횡력 또한 천수 영향을 명료하게 받고 있음이 검증되었다. 또한 같은 수심이라면 가속도 변화에 따라 최대치(등속 운동 직후)의 차이는 그다지 크지 않았다. 하지만 수심 차이에 따른 등속 운동 이후 과도적으로 변하는 횡력의 경향은 조금 다른 양상을 나타나, H/d=7.0의 과도 횡력은 등속 운동 직후에 횡력이 급감한 후 시간 경과와 함께 천천히 작아진다. 한편 H/d=1.5의 결과는 역으로 등속 운동 직후 짧은 시간동안 횡력이 증가하였으며 이러한 경향은 가속도가 크면 클수록 현저하게 나타났다.

4. 횡력의 모델화

선체가 정지 상태에서 가속도 운동을 거쳐 다시 등속 운동할 때까지의 횡력에 대한 연구 결과[2]를 토대로, 계산 결과를 과도 횡력 계수($C_{wy}=F/0.5L\,d\,U_0^2$)와 선체 횡 이동 거리(S)로 정리하여 Fig. 11 (H/d=7.0)과 Fig. 12 (H/d=1.5)에 각각 나타낸다. 심수역의 결과인 Fig. 11의 경우는 비교적 잘 일치하고 있지만, 천수역인 Fig. 12는 특정 범위에서 불일치하고 있다. 즉, 수심이 얕아짐에 따라 심수 영역과는 달리 단순히 이동 거리만으로 횡력을 모델화하는 것은 무리가 있음을 알 수 있다.

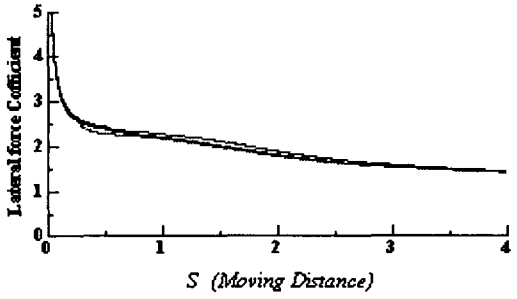

Fig. 11 Lateral drag coefficient according to the moving distance (H/d 7.0).

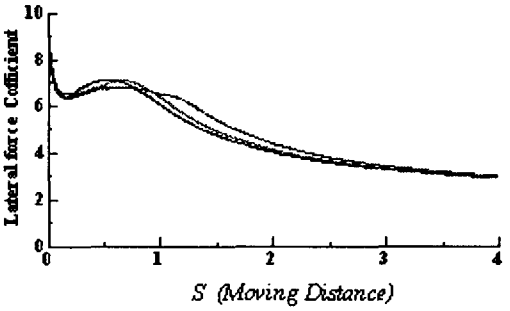

Fig. 12 Lateral drag coefficient according to the moving distance (H/d 1.5).

과도 횡력을 정량적으로 표현하기 위해서는 선체 이동 거리에 따른 와도의 발달 상태와 와도의 크기를 결정하는 박리와(Separated Vortex)내의 순환이 고려되어져야 한다. 따라서 선체 주위에 형성되는 와도의 크기에 직접적으로 깊은 관계가 있는 변수로서 순환 개념을 도입하여 과도 횡력 계수의 모델화를 시도한다. 우선 박리와의 속도가 선체 횡 이동 속도에 비례하므로 박리와의 속도에는 선체 이동 속도를, 그리고 선체 표면으로부터 와도까지의 거리에 선체 이동 거리를 이용하여 다음과 같은 순환 함수를 도입한다[11].

$$\Gamma = \int u\,ds \propto \int U\,dt \qquad (8)$$

위의 식을 이용하여 과도 횡력 계수를 나타낸 것이 Fig, 13(H/d=7.0)과 Fig. 14(H/d=1.5)이다. 이동 거리만을 변수로 한 Fig. 11, 12와 비교하여 보면 심수 및 천수 영역 모두 순환 함수를 이용한 것이 양호하다고 할 수 있으나, 천수 영역에서 NDA=0.5가 $\Gamma \fallingdotseq 0.5$ 부근에서 다른 가속도 보다 다소 작은 값을 보이고 있다. 하지만 선체의 이동 속도에 이동 거리를 곱한 순환 함수를 이용함으로 인해 정지 상태에서 등속 운동까지의 선체에 작용하는 횡력이 모델화 될 수 있음을 시사하고 있다. 향후 과제로서 실제 선형에 대한 유체력의 계산과 함께 순환 함수를 이용한 근사식 등에 대한 검토가 필요하다.

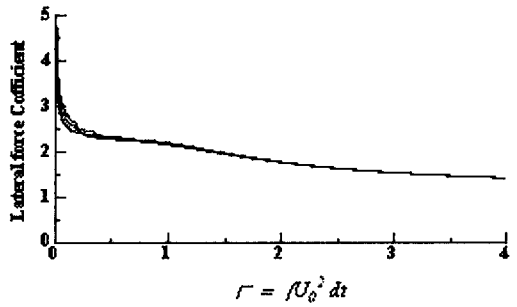

Fig. 13 Lateral drag coefficient according to the circulation (H/d 7.0).

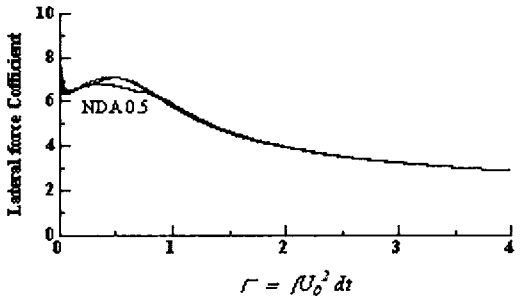

Fig. 14 Lateral drag coefficient according to the circulation (H/d 1.5).

5. 결론

3차원 CFD를 Wigley 선형에 적용하여 정가속시험법에 상응하는 운동하의 비정상 유체력을 산출하여 유동장의 가시화 및 유체력의 구체적인 검토를 행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) CFD에 의한 계산 결과는 수조 실험 결과와 잘 일치하여 CFD에 의해 선박의 접이안과 같은 비정상 운동하의 유체력이 충분한 정도로 추정할 수 있음을 확인하였다.

2) 수심이 선체 접이안시 작용하는 부가질량과 과도 횡력에 영향을 미치는 중요한 변수임이 검증되었다.

3) 선체 부가질량은 가속도와 감속도 운동의 경우 선체 주위의 현저한 유동장의 차이에도 불구하고 CFD 결과는 수심이 일정하면 거의 같은 크기를 나타내었다.

4) 정지 상태에서 등속 운동까지의 과도 횡력에 대하여 선체 이동 속도와 이동 거리를 이용한 순환 함수 개념을 도입하여 모델화 가능성을 제시하였다.

상기 연구 결과는, 선박 접이안시 조선상 중요한 안전 정보[12]임과 동시에 조선 시뮬레이터, 계류 시설물의 구조 강도 및 팬더의 설계, 예인선의 소요 마력 산출 등에 활용 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Lee, Y. S., Sadakane, H. and Toda, Y "Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull Under Lateral Low Speed Motion II", Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 102, pp. 87-95, 2000.

[2] Sadakane, H. "A Study on Lateral Drag Coefficient for Ship Moving Laterally from Rest", Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 95, pp. 193-200, 1996.

[3] Chen, M. and Chen, H. C. "Numerical Simulation of Transient Flows Induced by a Berthing Ship", International Journal of Offshore and Polar Engineering, ISOPE, Vol. 7, No.4, pp. 277-284, 1996.

[4] Toda, Y., Lee, Y. S. and Sadakane, H. "Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull Under Lateral Low Speed MotionIII: Basic Consideration Using 3-D CFD Technique", Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 106, pp. 87-95, 2002.

[5] Toda, Y., Lee, Y. H. and Sadakane, H. "Numerical Investigations of Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull under Lateral Low Speed Motion", Journal of the kansai society of naval architects, No. 238, pp. 77-83, 2002.

[6] Takakura, Y., Ogiwara, S. and Isiguro, T. "Turbulence Models for Transonic Viscos Flow", AIAA paper, 89-1952 CP, 1989.

[7] Watanabe, O., Ming, Z. and Miyata, H. "Numerical Simulation of a Viscous Flow with Free-Surface Wave about a Ship by a Finite-Volume Method", Journal of The Society of Naval Architects of Japan, No.171, pp.27-39, 1992.

[8] Patel, V.C, Chen, H.C. and Ju, S. "Ship Stern and

Wake Flows: Solutions of the Fully-Elliptic Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations and Comparisons with Experiments", Journal of Computational Physics, Vol. 88, No.2, pp. 305-336, 1990

[9] Tahara, Y. "Computation of Viscous Flow around Series 60 Model and Comparison with Experiments", Journal of The Kansai Society of Naval Architects, No.220, pp. 29-47, 1993.

[10] Chen, H.C. and Korpus, R. "A Multi-block Finite-Analytic Reynolds-Averaged Navier-Stokes Method for 3D Incompressible Flows", Individual Papers in Fluid Engineering, edited b F. M. White, ASME FED-Vol. 150, ASME Fluids Engineering Conference, pp. 113-121, 1993.

[11] Lee, Y. S. "A Study on the Maneuvering Hydrodynamic Forces for Berthing Using CFD Technique", Ph. D. Thesis, Dept. Maritime Science, Kobe University of Mercantile Marine, 2003.

[12] Gilyoung Kong and Soonkap Kim, "On the Development of an Information Service System for Navigational Safety of Seagoing Vessels", LNCS 2402, pp.273-284, 2002.