

대형 컨테이너선의 천수역 영향을 고려한 접안에너지 산출에 관한 연구

김철승* · 이윤석** · 이충로*** · 조익순****

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부, ** 한국해양대학교 운항훈련원, *** 한국해양수산연수원, **** 고베대학연구원

A Study on the Evaluation of Berthing Energy of Large-Sized Container Ships with the effect of Shallow Waters

Chol-Seong Kim* · Yun-Sok Lee** · Chung-Ro Lee*** · Ik-Soon Cho****

* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

** The Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

*** Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 608-829, Korea

**** Researcher of Kobe University, 658-0022 Japan

요 약 : 선박의 대형화 추세에 따른 항만 운영의 효율성 및 대형 선박의 접안 안전성을 향상시키기 위해서는 먼저 선체에 작용하는 접안 에너지를 합리적으로 산출하여야 한다. 선박의 접안에너지는 방충재와 같은 항만시설물의 설계에 대한 허용 기준을 결정하는 변수입과 동시에 도선사 및 선박의 조선자에게는 예인선의 필요 마력이나 접안속도 등을 결정하는데 있어 중요한 판단 요소로 활용된다. 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 운동역학적인 방법을 토대로 한 접안에너지 산출 방법에 대해 유체역학적인 측면에서 문제를 제기하고, 부두 전면의 수심과 선박의 형상에 따라 변화하는 천수역 선체부가질량을 고려한 접안에너지의 산출 방법을 제안한다. 또한 천수역에서 선체에 작용하는 부가질량을 고려한 접안에너지 산출 방법을 사용하여 1600TEU급에서 12000TEU급까지의 컨테이너 선박을 대상으로 계통적으로 각각의 접안에너지를 계산하고, 현행의 접안에너지 산출방법과 비교 검토를 실시한다.

핵심용어 : 접안에너지, 접안 속도, 부가질량, 방충재, 접안유체력

Abstract : In order to improve the safety of ship berthing and the efficiency of berth operation in the harbour, the berthing energy acting on a ship in berthing maneuver need to be estimated properly. The berthing energy is used as one of the criteria to determine the maximum permissible load of fender as well as important factors to establish the berthing speed and the required power of tug-boat for pilot and ship operator. Some problems of berthing energy are discussed on the basis of the hydrodynamic aspects. Then, series calculations of berthing energy are carried out considering the effect of water depth on added mass and the ship shape for container series from 1,600TEU to 12,000TEU.

Key words : Berthing energy, Added mass, Berthing speed, Fender, Hydrodynamic forces

1. 서 론

선박의 접이안 조선은 선박 자체의 안전을 확보해야 함과 동시에 부두나 계류시설의 허용 강도를 고려하여 조선하여야 하는 특수한 환경적인 제약을 받고 있다. 따라서 최근에 건조된 조종 성능이 우수한 선박이라고 하더라도 방충재의 최대 허용하중과 계류 시설물의 안전을 위해 가급적 접안 속도를 낮춰 접안을 하고 있는 실정이다. 이러한 환경적 제약은 선박이 대형화될수록 조선자의 심적 부담을 더욱 가중시킬 것이며, 또한 예인선의 사용 시간 증가 및 선박의 운항 경비를 증가시

키는 직접적인 원인이 되고 있다.

최근에 이러한 접이안 조선에 관한 문제점들을 개선하기 위해 접이안시 선체에 작용하는 조종 유체력의 크기와 특성을 유체역학적인 측면에서 파악하려는 연구(이, 2003)가 수행되기 시작하였다. 접이안시의 유체력 추정법과 관련한 구체적인 연구로는 우선 Sadakane et al.(1996)등이 심수역에서 특정 선형을 대상으로 모형 실험을 통해 제안한 실험식이 있으며, CFD법을 선박의 접이안에 적용하여 CFD법의 유효성을 입증한 연구(Chen et al., 1996), CFD법을 이용하여 접이안시의 유체력과 과도 유체력에 대한 역학적인 성질을 분석한 연구

* 대표저자 : 김철승(정회원), cskimu@mmu.ac.kr, 061)240-7307

** 정회원, lys@bada.hhu.ac.kr, 051)410-4710

*** 정회원, crlee@seaman.or.kr, 051)620-5825

**** 정회원, 018d974n@y04.kobe-u.ac.jp +81-90-3675-8105

(Toda et al., 2002) 등이 있다. 이러한 연구들로 인해 접이안시의 유체역학적인 특성이 명확하게 밝혀지고 있지만, 선박의 횡이동시 작용하는 유체력을 선박의 선형이나 이동속도 등을 토대로 제안된 근사식은 아직까지 없는 상황이다.

본 논문에서는 우선 현재 행해지고 있는 접이안 조건 현황과 접이안시 고려해야 될 주요 변수에 대해 정리하고, 이제까지의 연구 결과를 집약하여 접이안시의 유체역학적인 특성을 토대로 항만 및 어항 설계 기준(한국항만협회, 2000)에 규정된 접안에너지 산출 방식의 문제점을 부가질량 측면에서 제기한다. 또한 접안에너지 산출시 고려해야 될 유체력 성분 중에서 수심의 변화가 큰 영향을 미치는 천수역 선체 부가질량을 컨테이너 시리즈(1600TEU - 12000TEU)를 대상으로 적용하여 접안에너지를 산출한다. 끝으로 현실적으로 적용 가능한 수심 변화에 따른 천수역 부가질량에 대한 고려 필요성에 대해 약간 고찰한다.

2. 접이안시 고려 요소 및 조선 현황

접이안 조선은 항만의 형태나 선박의 종류에 따라 그 방식이 매우 다양하나 일반적으로 항만으로 입항하면서부터 예인선의 지원을 받아 접안하는 경우가 많다. 대형 선박의 경우에는 접안 속도가 Fig. 1와 같이 보편적으로 부두나 계류 시설물에 가까울수록 선체의 접안 속도를 낮춰 통상적으로 10cm/s 정도의 속도를 유지한다. 자력 도선을 하는 여객선의 경우에는 15cm/s를 넘는 경우도 있으나 접안 당시의 조류나 바람의 방향 및 크기에 따라 좌우되는 일이 많다. 또한 접안 속도는 선박의 적화상태에 따라 다르며, 특히 예인선이 동일한 출력으로 선박을 밀더라도 수심이 충분한 곳과 천수역에서는 선박에 작용하는 유체력이 변화하여 선박의 이동속도 또한 상당히 다르게 나타난다. 대형 화물선과 유조선의 경우 접안 초기에 선체를 계류 시설에서 일정하게 떨어진 위치에서 접안 부두와 평행한 자세를 유지한 후 거의 선속이 없는 정지 상태에서 예인선에 의해 선체는 가속도 운동 또는 등속 운동 상태로 접안하게 된다. 이러한 운동의 크기와 이동속도는 터그보트의 출력과 척수에 의해 좌우되며, 이동 속도가 같더라도 선체가 그 동안 행한 운동 경력(History of motion)에 따라 선체 주위의 흐름이나 와도(Vortex) 모양이 다르다. 여객선 및 중형 선박들의 경우에는 접안 시설물에 본선과 약 10°-30° 정도의 예각을 가지고 진입하여 본선에 장착된 스러스터(Thruster)를 이용하게 접안하는 경우도 있다.

선박 접이안의 경우 고려 할 제반 환경적인 요소들로는 우선 부두의 형상, 수심, 조류, 바람 등이며, 접안 속도에 영향을 미칠 수 있는 것으로는 예인선의 출력 및 척수, 본선의 스러스터 등을 들 수 있다. 또한 접이안시 선체에 작용하는 유체력 요소로는 선체 가속도 운동에 의한 관성력인 부가질량, 속도 성분에 따른 횡방향 저항 성분인 횡력, 선체의 운동에 따라 선체 후면에 형성된 후류분포(後流分布)와 선체와 부두사이에 존재하는 수괴(水塊)에 의한 완충효과를 생각할 수 있다. 특히

가속도 및 속도에 의한 유체력 성분은 수심과 매우 밀접한 관련이 있고, 선박의 접안속도 결정시에는 부두에 설치된 방충재의 최대허용하중 및 흡수에너지를 고려해야만 한다.

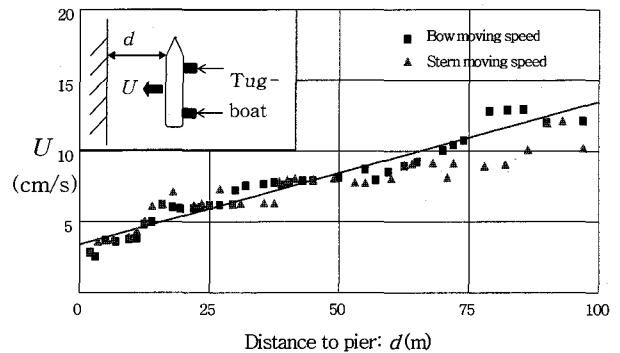


Fig. 1 Lateral berthing speed with the distance to pier

3. 접이안 조선시의 유체역학적인 특성

대형 유조선이 계류 시설과 평행하게 최초 정지상태에서 가속도운동과 등속운동을 거쳐 부두전면에서 감속도운동을 한 후 정지할 경우 선체에 작용하는 유체력을 수심에 따라 제시한 CFD 연구 결과(이, 2003)를 참고로 제시하면 Fig. 2와 같다. 예인선에 의해 선체가 최초 정지상태에서 가속도 운동을 함에 따라 관성력에 의한 부가질량과 속도 성분에 의한 횡방향 저항인 횡력(橫力, Lateral force)이 나타나고, 등속운동 상태가 되면 관성력이 없어지나 과도기적인 횡력이 크게 작용한다. 이러한 과도횡력(Transitional lateral force)은 선체 길이의 2배 정도를 이동하여야 정상횡력(Steady lateral force)에 가까워진다. 부두에 가까워짐에 따라 접안속도를 줄이기 위해 예인선이 선체를 끌면서 행하는 감속도 운동에 의해 다시 반대 방향의 관성력이 작용하고, 선체가 정지된 후에도 선체 후면에 형성된 후류에 의해 부두 방향으로 선체를 계속해서 미는 힘이 작용함을 알 수 있다.

참고로 CFD 결과(이, 2003)에서 제시하고 있는 접이안 조선과 관련된 사항들을 유체역학적인 측면에서 정리한 내용을 보면 다음과 같다.

- 1) 계류시설물이나 부두 전면에서는 가급적 가속도 운동에 의해 발생하는 관성력이 작용하지 않도록 예인선 사용에 주의해야 한다. 관성력의 경우 특히 천수역에서는 선체 질량의 몇 배에 달하는 커다란 힘이 작용하기 때문에 가급적 가속도가 작은 범위내에서 조선을 하는 것이 바람직하다.
- 2) 과도 횡력이 크게 작용하는 천수역에서는 단시간내에 짧은 선체 이동은 가급적 피하는 것이 좋다.
- 3) 접안에너지를 최소화하면서 운항 효율을 극대화 할 수 있는 방법으로는, 관성력과 과도 횡력을 최소화하는 것으로, 선체 이동속도의 변화를 가급적 억제하면서 팬더나 계류시설물이 흡수할 수 있는 허용 범위내에서 선택 가능한 최대

접안 속도로 선체를 일정하게 이동시켜 접안하는 것이 바람직하다.

- 4) 수심이 유체력에 영향을 미치는 가장 중요한 변수이므로 가급적 충분한 여유 수심을 두고 접이안 조건을 하여야 한다.

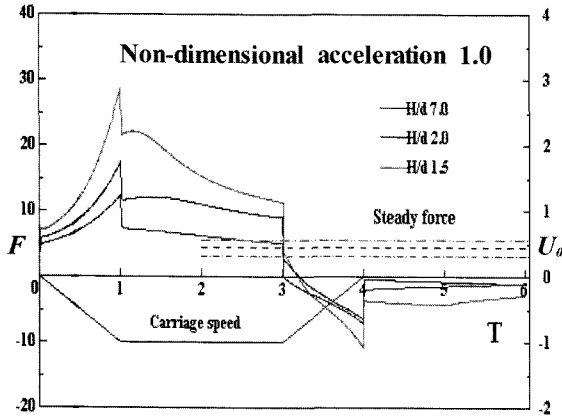


Fig. 2 Hydrodynamic forces under the lateral motion

4. 접안에너지 산출 및 검토

선박의 접안에너지 산출시에는 선박의 제원, 접안 속도 및 가속도에 따른 선체 부가질량과 횡력, 수심, 바람, 조류 등의 영향을 합리적으로 고려하여야 한다.

여기서는 현재 사용되고 있는 항만 및 어항 설계 기준에 명시된 접안에너지 산출 방식을 검토하고, 제3절에서 고찰한 유체역학적인 측면을 토대로 문제점을 제기한다. 또한 현행의 접안에너지 산출 방식에 수심의 변화에 따른 선체 부가질량을 고려한 접안에너지를 산출한다. 계산 대상 선박은 Table 1와 같이 컨테이너 시리즈로 1600TEU에서 12000TEU를 대상으로 한다.

Table 1 Principal dimensions of model ship

Type	L.O.A L (m)	Breadth B (m)	draft d (m)	L/B ratio	d/B ratio
1600 TEU	168.8	27.2	9.2	6.51	0.34
2700 TEU	242.8	32.2	11.7	7.54	0.37
4000 TEU	259.5	32.0	13.02	8.10	0.41
5600 TEU	278.8	40.3	14.02	6.92	0.35
6300 TEU	300.3	40.3	14.02	7.45	0.35
8000 TEU	334.0	42.8	13.0	7.8	0.30
12000 TEU	380.0	55.5	15.0	6.9	0.27

4.1 항만 및 어항 설계 기준에 따른 접안에너지

우리나라의 항만 및 어항의 설계시에 사용되고 있는 접안

에너지 산출 방식은 운동역학적인 방법을 이용하여 다음과 같이 규정하고 있다.

$$E_f = \left(\frac{M_s V^2}{2}\right) C_e C_m C_s C_c \tag{1}$$

- 여기서, E_f : 선박의 접안에너지(KJ)
- M_s : 선박의 질량(ton)
- V : 선박의 접안속도(m/s)
- C_e : 편심계수
- C_m : 가상질량계수
- C_s : 유연성계수
- C_c : 선석의 형상 계수

현행 규정된 접안에너지 산출 방식은 선박의 횡이동시 선체에 의한 운동에너지에 방충재에 의해 흡수 가능한 편심계수, 가상질량계수, 유연성계수, 형상계수 등을 고려하여 구성한 것이다. 각 계수들을 구체적으로 보면, 우선 편심계수(C_e)는 선박이 정횡방향으로 접안하지 않고 선체의 일부분이 먼저 계류 시설에 접촉한 후 회전운동(Turning)에 의해 접안하는 것은 회전 운동에 의한 에너지 감량을 고려한 것으로 다음과 같이 산출하고 있다.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \tag{2}$$

여기서,

- l : 선박의 접촉면으로부터 계류시설의 법선에 평행으로 관측한 당해선박의 중심까지의 길이(m)
- r : 선박의 중심을 통하는 수직축 둘레의 회전반경(m)

다음으로 선박의 유연성 계수(C_s)는 선박 접안시 선체의관의 변형에 의해 흡수되는 에너지를 나타내며, 선석의 형상계수(C_c)는 접안시 선박과 부두사이에 있는 해수의 압축 작용으로 인한 완충효과로 인한 에너지의 감소량을 의미하는 값으로 접안각도, 접안속도, UKC(Under Keel Clearance)등을 고려하여 결정되어지나 아직까지 명확한 기준은 없고 표준값인 1.0을 사용하고 있다.

가상질량계수 [$C_m = (M_s + m_v) / M_s$]는 선체의 가속도 운동에 의한 관성력을 나타내는 것으로 선박의 질량(M_s)과 선체 부가질량(m_v)을 합한 값을 선체 질량으로 나눈 값이다. 가상질량계수 산출은 모형실험과 현지관측 결과(Ueda et al. 1987)를 기초로 대상 선박에 대한 선형을 고려한 식이 제안되어 있으나 이를 일반화한 근사식이 활용되고 있다.

$$C_m = 1 + \frac{\pi}{2C_b} \times \frac{d}{B} \{1.0 + 0.16C_b(B/d) - 5.1(B/L)^2\} \approx 1 + \frac{\pi}{2C_b} \times \frac{d}{B} \tag{3}$$

여기서, C_b : 선체의 방형계수

d/B : 선박의 흘수에 대한 선폭비

Fig. 3은 Table 1의 컨테이너 시리즈를 대상으로 식(1)의 접안에너지 산출 결과를 접안속도에 따라 나타낸 것이다. Fig. 3의 결과에는 편심, 형상, 유연성 계수를 1.0로 하여 산출하였고, 가상질량계수는 식(3)에 의해 구한 값을 대입하였다. 선박의 대형화와 접안 속도에 따라 접안에너지 또한 일률적으로 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 선박의 대형화와 고속화가 진행되고 있는 시점에서 대형 선박의 접안 안정성을 확보하기 위해서는 접안 속도를 낮춰야 한다는 문제점을 암시하고 있으며, 대형 선박일수록 접안 조건에 대한 운항의 비효율화가 초래될 수 있다.

다음으로 유체역학적인 측면에서 식(1)의 항만 및 어항 설계 기준에 의한 접안에너지 산출 방법을 고찰하면, 우선 선박의 운동 상태(가속도운동, 등속운동, 감속운동)에 따라 선체에 작용하는 유체력이 그 크기와 특성이 다름에도 불구하고 전혀 고려되어 있지 않다. 또한 동일한 접안속도라 할지라도 Fig. 2와 같이 과거의 운동 경력에 따라 선체에 작용하는 횡력이 크게 다르나 단순히 접안속도에 따른 확실적인 운동에너지만을 고려하고 있다. 더불어 선박의 횡이동시 가장 중요한 변수인 수심에 따른 영향을 각 계수에 있어 전혀 고려치 않고 있다. 선박의 가속도 운동에 의한 관성력의 경우 수심에 의한 영향이 매우 크며, 단순히 가상질량계수로 표현하기 보다는 실제 선형과 수심의 변화에 따라 계수 값을 산출하여 반영하여야 한다.

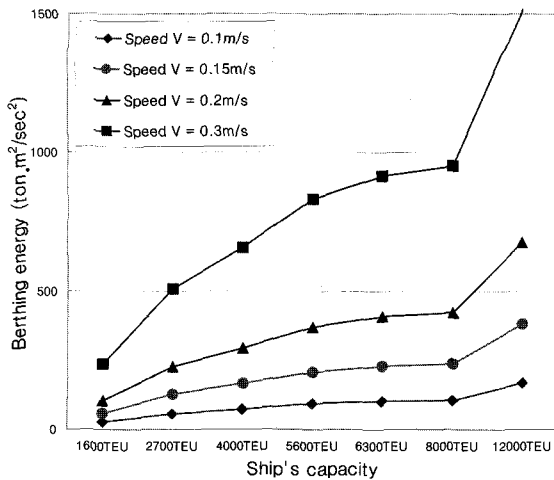


Fig. 3 Berthing energy with the ship's capacity

선박이 횡이동시 선체에 작용하는 힘을 운동 상태별로 성분을 구분하여 결정하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 접안시 선체의 횡이동에 따른 운동 성분을 분류하여 표현하면 다음과 같다.

$$F_y = (M_s + m_y)a + \frac{1}{2} C_y V^2 \rho L d \quad (4)$$

여기서, a : 선체 이동 가속도, V : 선체 이동 속도
 C_y : 선체 횡방향 저항 계수,
 L, d, ρ : 선체 길이 및 흘수, 해수밀도

식(4)의 가속도 및 속도에 의한 부가질량과 저항계수는 수심, 선체의 자세와 안벽까지의 거리에 대한 영향을 고려하여 대입하여야 하고, 특히 저항계수의 경우는 선체 운동 이력을 나타낼 수 있는 함수로 표현하는 것이 가장 이상적인 방법이라 할 수 있다. 하지만, 현재까지 밝혀진 연구로는 부가질량과 저항계수의 경우 수심과 안벽까지의 거리를 변수로 복합적으로 나타낼 수 있는 유체력 추정 방법은 아직 설립되어 있지 않으며, 선체의 운동 이력을 명확히 평가하여 모델화한 연구 사례는 없다. 다만, 수심의 변화에 따른 부가질량을 선체의 형상 함수를 토대로 제안한 천수역 선체 부가질량에 대한 근사식(Sadakane et al., 2001)은 직접 접안에너지 산출에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

4.2 심·천수역 선체 부가질량을 고려한 접안에너지

선체 부가질량과 관련된 연구(Sadakane et al., 2001)에 의해 제안된 선박의 심·천수역 부가질량에 대한 근사식은 Series60 선형을 대상으로 3차원 비점성유법을 적용한 계산 결과를 토대로 구성한 식으로 선형에 대한 차이점과 수심에 대한 영향을 고려한 것이다. 심수역 부가질량 계수(m_y')와 천수역 부가질량 계수비(K_y)를 다음과 같이 정의하여,

$$m_y' = m_y / M_s \quad (5)$$

$$K_y = m_{yH}' / m_y' \quad (6)$$

심수역 부가질량계수(m_y') 및 천수역의 부가질량 계수비(K_y)에 대한 근사식을 표현하고 있다.

$$m_y = 0.009d/B \times C_b \times L/B - 0.2395 \times C_b \times L/B + 3.8295 \times d/B + 0.5892 \quad (7)$$

$$K_y = f(d, B, C_b, H) = 1 + \alpha [\exp(\beta \times d/H) - 1.0] \quad (8)$$

여기서, m_{yH}' : 특정수심에서의 부가질량 계수

m_y' : 심수역 부가질량 계수

C_b : 방형계수

d/B : 선박의 흘수에 대한 선폭비

L/B : 선박의 길이에 대한 선폭비

d/H : 선박의 흘수에 대한 접안지의 수심비

식(8)의 변수인 α 와 β 는 선형에 대한 함수로 다음과 같이 나타내어진다.

$$\alpha = -0.02 \times d/B + 0.07 \times C_b + 0.0098 \quad (9)$$

$$\beta = -1.10 \times d/B - 2.20 \times C_b + 7.0 \quad (10)$$

Fig. 4에 식(7)에 따라 계산한 심수역 선체 부가질량에 선체

질량을 포함한 것과 식(3)의 가상질량계수를 비교하여 제시하고, Fig. 5에 식(8)에 의해 산출된 천수역 부가질량 계수비를 나타내며, Table 2에 이들 값을 정리하여 제시한다. Fig. 4의 결과로부터 가상질량계수와 침수역 겹보기 부가질량이 거의 일치하고 있어, 비교적 수심이 깊은 곳에 접안하는 경우에는 가상질량계수를 이용하여 관성적인 부가질량을 산출하여도 큰 문제점이 없을 것으로 사료된다. Fig. 5의 결과로부터 수심이 얇은 천수역에서 부가질량을 살펴보면, 12000TEU 선박의 경우 흘수(15m)가 증가하여 수심이 18m인 곳에서는 침수역에 비해 무려 5배에 가까운 부가질량이 작용함을 알 수 있다.

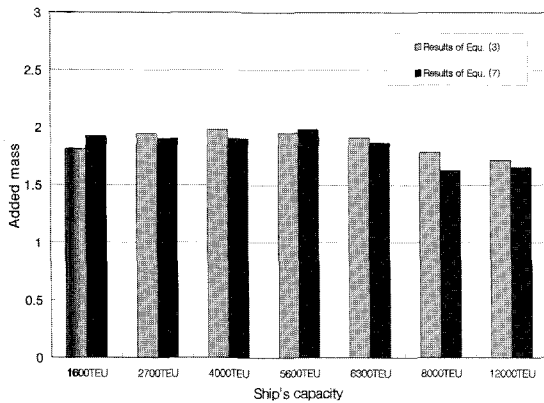


Fig. 4 Comparison of added mass

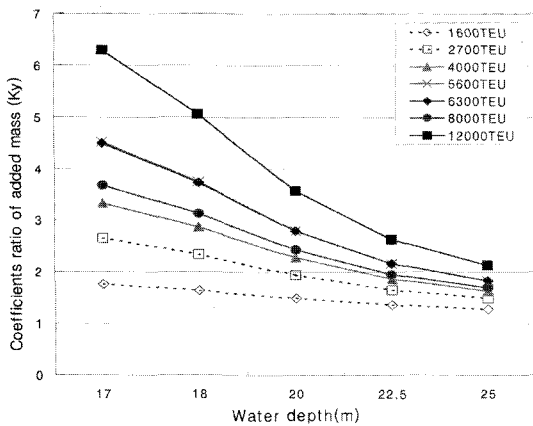


Fig. 5 Coefficient ratio of lateral added mass

Table 2 Comparison of added mass

Class	C_m	M_s+m_y	Coefficients ratio (K_y)		
			$H=25m$	$H=20m$	$H=18m$
1600 TEU	1.81	1.92	1.28	1.48	1.65
2700 TEU	1.94	1.90	1.49	1.94	2.34
4000 TEU	1.98	1.90	1.63	2.28	2.87
5600 TEU	1.95	1.97	1.82	2.79	3.74
6300 TEU	1.91	1.86	1.83	2.79	3.73
8000 TEU	1.78	1.63	1.69	2.43	3.12
12000 TEU	1.71	1.65	2.12	3.57	5.06

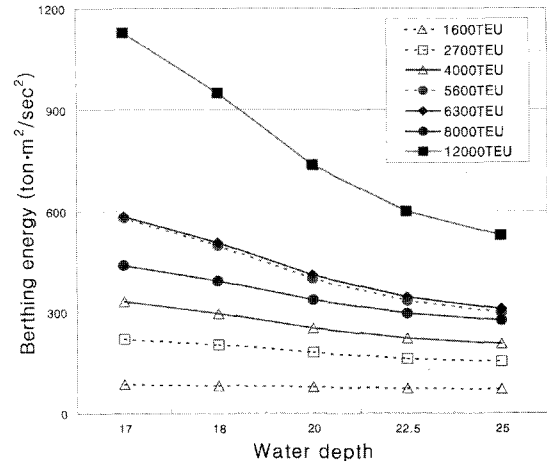


Fig. 6 Berthing energy with the water depth ($V=1.5cm/s$)

천수역에서 나타나는 천수역에 관한 유체력 현상은 식(3)으로 표현한 가상질량계수에는 전혀 고려되어 있지 않아 대형선박이 비교적 작은 접안속도로 접안하더라도 현행의 접안에너지 산출 방식으로는 계류시설물의 안전성을 보장하기 어렵다. 다음으로 Fig. 6에 식(6)과 식(7)식의 천수역 부가질량을 고려한 접안에너지를 접안속도가 1.5cm/s일 경우를 일례로 나타낸다. 대형 선박일수록 또한 UKC가 작은 천수역일수록 접안 에너지가 증가함을 알 수 있다. 따라서 대형 선박이 안전 접이안을 확보하기 위해서는 무엇보다도 수심의 영향을 고려하여 접안에너지를 산출하여야 하고, 이 값을 방충재와 같은 계류시설물의 초기설계 및 배치시에 적극 활용하면, 대형 선박의 접이안 안전성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

현재 사용되고 있는 접안에너지 산출 방법을 선박의 접이안시 전체에 작용하는 유체력 측면에서 검토하였다. 현행의 접안에너지 산출 방식에는 단순히 접안속도에 따른 획일적인 운동에너지만을 고려하고 있고 가장 중요한 변수인 수심에 따른 영향 등을 반영하지 못하고 있다. 따라서 대형 선박이 비교적 작은 접안속도로 접안하더라도 UKC가 작을 경우에는 현행의 접안에너지 산출 방식으로는 선박 및 계류시설물의 안전성이 반드시 보장된다고 판단하기는 어렵다.

본 연구에서는 이제까지의 연구 결과를 토대로 현실적으로 응용 가능하고 수심의 영향이 고려 가능한 유체력 성분인 천수역 부가질량을 가상질량계수에 대입하여 현행의 접안에너지 산출 방법을 보다 개선하고자 하였다.

이러한 접안 에너지 산출 방식은 선박의 접이안 안전성 향상과 방충재와 같은 계류시설물의 초기설계 등에 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 더불어 향후 접안에너지 산출에 고려되어지는 접안 각도에 따른 편심계수, 선석의 형상 계수 및 유연성 계수 등과 같은 연구가 활발히 진행되어 선박과 계류시설물의 안전성 확보가 보다 견실하게 이루어지기를 기대한다.

참고 문헌

- [1] 해양수산부 제정 “항만 및 어항 설계기준(상권)”, 제2편 설계기준, (사)한국항만협회, pp. 21-29.
- [2] 上田 茂, 大井榮次郎 (1987), “항만의 계류시설에 대한 방충공의 설계에 대하여”, 일본항만기연자료, No. 596.
- [3] Chen, M. and Chen, H. C (1996), “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.
- [4] Lee, Y. S. (2003a), “The Safety of Maneuverability based on the Hydrodynamic Forces Actinn on Ship Hull under the Lateral Berthing”, 한국항해항만학회지, 제27권 제6호, pp. 625-630.
- [5] Lee, Y. S. (2003b), “The Prediction of Hydrodynamic Forces Acting on Ship Hull in Laterally Berthing Maneuver Using CFD”, International Journal of Navigation and Port Research, Vol. 27, No. 34, pp. 253-258.
- [6] Sadakane, H (1996), “A Study on Lateral Drag Coefficient for Ship Moving Laterally from Rest”, Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 95, pp. 193-200.
- [7] Sadakane, H., Toda, Y. and Lee, Y. S (2001), “The Simplified Formulas to Predict the Coefficients of Added Mass and Yaw Added Moment of Inertia of Ship in Shallow Water”, Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 105, pp. 11-20.
- [8] Toda, Y., Lee, Y. S. and Sadakane, H (2002), “Hydrodynamic Forces Acting on a Ship Hull Under Lateral Low Speed Motion-III: Basic Consideration Using 3-D CFD Technique”, Journal of the Japan Institute of Navigation, No. 106, pp. 87-95.

원고접수일 : 2005년 3월 9일

원고채택일 : 2005년 10월 6일