

부산항 컨테이너부두에 대형 컨테이너선의 안전접안조종을 위한 연구

윤점동* · 윤종휘** · 이춘기***

*한국해양대학교 항해시스템공학부

**한국해양대학교 해양경찰학과

*** 한국해양대학교 수중운동체특화연구센터

A Study on the Method of Conducting a Large Container Vessel Safely to the Newly Built Container Pier to get alongside in Busan Harbour

Jeom Dong Yoon* · Jong Hwui Yun** · Chun Ki Lee***

*Emeritus Professor, Division of Navigation System Eng., Korea Maritime University

**Professor, Department of Maritime Police Science, Korea Maritime University

***Researcher, Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime University

요 약 : 이 연구의 목적은 부산항에 입항하는 대형 컨테이너 선박의 안전 접안 조종을 위한 한계풍속을 설정하는데 있다. 계산결과, 정상풍속 13.5m/sec 이하의 바람에서는 예선 4500H.P.의 Z. peller 2척을 이용하여 안전 접안 조건하는데 큰 위험이 없음을 알았다. 그러나 돌풍을 25%를 포함한 강풍 16.9m/sec 이상의 기상상태에서는 선박조종이 위험하게 됨을 알았고, 돌풍을 포함하여 풍속이 16.9m/sec에 달하는 강풍 하에서 대형 컨테이너 선박을 부두에 접안 조종할 때는 4500 H.P. Z. peller 3척으로 조선평조를 받아야 함을 알았다.

핵심용어 : 선박조종운동, 안전접안, 풍력계급, 예선, 외력

ABSTRACT : In this paper, the authors calculated maneuvering motions of a large container vessel approaching to the newly built container piers to get alongside to her berth in Busan harbour. The motion calculations were done by using fixed coordinate system and the object of the calculations is to check the maneuvering motions are safe or not for berthing the large vessel to her berth. The result of calculations manifested that a large container vessel can get alongside to the piers without any difficulty under normal weather conditions by using 2 Z. Peller tug boats of 4500 H.P. each and also these demonstrated it is difficult to conduct and get her alongside to the piers under rough weather conditions of wind force 16.9m/sec or more. Under rough weather conditions of 6 by Beaufort scale the average wind velocity is about 13.5m and if we add 25% increase of the normal velocity to it, the wind will becomes a gust of 16.9m/sec. So it is advisable to avoid conducting a large container vessel to the pier under the rough weather conditions of 6 or more by Beaufort scale. Also, it is better to use 3 Z. peller tug boats of 4500 H.P. each under the above mentioned rough weather in a case of unavoidable circumstances.

KEY WORDS : Manoeuvring motion, Safe berthing, Beaufort scale, tug boat, External force

1. 서 론

중·대형선이 항구에 입출항할 때에는 도선사가 승선하여, 선장을 도와 항내 수로에서의 통항 및 부두 접이안 작업을 행한다. 이 때 도선사는 선박의 상태 및 크기, 당시의 해상기상

상태 등을 고려하여 접이안 작업이 가능한지를 판단하고, 가능할 경우 접이안 시기, 사용할 예선의 종류와 척수를 결정한다. 그러나 선주나 선박운용자는 때때로 이 같은 결정이 불합리하다고 이의를 제기하기도 한다. 이러한 점을 고려하여, 일부 도선구역에서는 도선사의 경험과 외국항의 기준을 참고하여 도선가능한 해양기상조건, 필요한 예선 마력 및 척수에 대한 기준을 정해두고 있지만, 이 기준 역시 다소 주관적인지라, 도선사와 선주 상호간의 입장차를 줄일 수 없는 경우가 있다

* 대표저자, 051)416-7082

** 종신회원, jhyun@hhu.ac.kr 051)410-4279

*** 정회원, leeck@bada.hhu.ac.kr 051)410-4709

저자는 어떠한 경우이든 출입항 선박의 안전 운항이 최우선 시되어야 하며, 안전운항을 위한 과학적, 체계적 기준 설정이 필요하다고 사료되어, 본 연구에서는 여러 가지 도선기준중 특히 안전접안을 위한 한계풍속을 설정하는데 기초자료를 제공하기 위하여 최근 부산항에 입항하는 대형 컨테이너선을 모델선으로 하여 안전 접안 조종에 대한 제반 수치 계산을 행하였다.

1.1. 선박조종의 계산 방법

선체의 운동 계산방법에는 두 가지 방법이 있다. 첫째 방법은 좌표계를 지구공간의 일점에 고정시키고 이 고정점으로부터 선체의 중심(重心)을 이동시켜 가면서 뉴-톤의 운동방정식으로 처리하여 가는 방법 즉, 기관의 추력, 선체에 작용하는 유체 역학적 및 질점이 갖는 관성력을 일반 역학적인 방법으로 풀어가면서 선체의 질점을 이동시켜 가는 방법이다. 다른 한 가지 방법은 좌표계의 원점을 선체의 중심에 잡고 즉, 이동좌표계를 잡고 선체에 작용하는 기관의 추력, 유체 역학적 및 관성력을 이동좌표계의 각축에 미계수방식으로 대입하여 가면서 각축에 관한 운동방정식을 연성적으로 풀어서 궤적을 그려가는 방법이다. 각 방법은 모두 장단점을 가지고 있는데, 선형에 따라서 선박의 조종운동이 어떠한 특성을 갖는가를 연구하는 데에는 이동좌표계를 이용하는 것이 좋고, 항구와 같은 좁은 공간에서 선박의 안전한 조종이 가능한가에 대해 알아보는 데에는 고정좌표계가 좋다. 본 연구에서는 고정좌표계를 이용하였다.

1.2. 항내 및 항계 부근에서의 조선의 문제점

오늘날 항내로 선박을 조종하여 들어가거나 나오는 입출항 조선은 선박의 조종에 직접 입하는 선장 또는 도선사뿐만 아니라 선박의 출입과 관련이 있는 모든 분야의 사람들의 지대한 관심사가 되고 있다. 그 이유는 다음과 같은 두 가지 점으로 생각할 수 있다. 첫째, 오늘날은 선박이 대형화되어 있기 때문에 선박의 입출항이 이루어지는 세계의 거의 모든 항구가 상대적으로 대단히 협소한 수역이 되어버렸다. 따라서 선박의 조종이 매우 어려워졌고, 또한 이러한 대형 선박이 입출항시에 어떤 해양사고라도 유발시키면 그로 인한 경제적인 손실과 환경오염이 너무도 크게 된다. 출입항 조종의 양부는 이것과 큰 관계가 있는 것이다. 둘째, 선박에 의한 이러한 해양사고들은 거의 대부분 기름의 유출 등을 수반할 수 있기 때문에 자연환경을 크게 오염시키고 해당 지역의 어업과 수산양식업 등에 치명적인 손실을 끼칠 수 있으며 이것은 환경오염과 관련되어 사회적으로 큰 물의를 일으킬 수도 있는 것이다. 예컨대 1974년 11월에 동경만에서 발생하였던 Yuya Maru NO.10 (LPG 50,000톤선)과 Pacific Areas(철광석 15,000톤 적재)호의 충돌사고에서 보듯이 동경만에 있는 모든 항구들을 19일 동안 거의 마비시켰을 만큼 그 파장은 심각하였다. 오늘날

선체운동은 그 대부분이 학리적으로 규명될 수 있다. 그러나 실제의 조선에서 자연 환경적 요소인 지형, 기상 및 해상의 요소들과 선체의 운동성능 요소들을 배합하여 이론적인 운동 계산을 실행하면서 선박을 조종한다는 것은 시간적으로 도저히 불가능한 일이다. 그러므로 실제의 조선에서는 선박을 조종하는 조선자는 일반적인 선체운동의 원리 원칙과 경험을 토대로 얻은 선박운용술을 주의 깊게 배합 응용하여 시의 적절하게 선박을 조종함으로써 안전을 확보하게 되는 것이다. 따라서 새로이 신설되는 항구나 또는 항구에 새로운 부두가 축조되어 자연조건이 현저히 달라진 곳에서는 선박의 입출항 및 접이안에 대하여 사전에 이론적인 선박조종운동의 면밀한 계산을 실시하고 이를 바탕으로 조선자는 조선계획을 수립하여야 한다.

이러한 일은 약간의 경비가 소요되는 것이지만 항구의 안전과 효율적인 활용 및 대형 해난사고를 피하기 위하여 필수불가결의 일이 되고 있다.

1.3. Computer Simulation에 대한 의구심과 보완 대책

항계 내외, 특히 항만 내에서 선박의 조종을 하는 중에 발생한 문제는 대부분 그 파급효과가 크고 심각하므로 새로이 부두나 수로를 건설하는 경우 simulator 등에 의하여 안전을 검증하고 있으나 최근 이러한 simulation에 참가한 많은 도선사들이나 선장들이 computer simulation에 대하여 많은 의구심을 제기하고 있다. 예컨대 simulator상에서 9~10노트로 항주중인 대형선의 선수에 예선을 대고 밀어보니 잘 돌아가는 그러한 simulation에 의한 검증이 무슨 효과가 있을 것인가 등의 의구심이 그것이다. 사실상 그러한 거대한 운동량을 가지고 상당한 속력으로 항주하고 있을 때에 선박의 전심에 가까운 선수에 잡은 예선은 아무리 밀어도 선체에 필요한 회두를 주기는 커녕 오히려 예선이 미는 반대방향으로 급히 회두가 되는 수가 있다. 또한 충분히 타당성이 있는 simulation이라고 하더라도 “simulation을 해보니 문제가 없더라”고만 한다면 현장에서 실제 선박을 조종할 때 그러한 연구 자료가 참고가 되거나 안전조선을 위하여 원용되기는 어려울 것이다. 적절한 조종의 방법과 조건을 제시하고 관련된 역학적 계산의 결과를 밝힌 후에 simulator에 의한 검증으로 보충을 하는 경우 그러한 의구심의 대부분이 해소될 뿐만 아니라 제시된 방법과 조건 및 수치계산의 결과는 선장과 도선사가 현장에서 선박의 조종을 계획할 때 참고를 하거나 안전기준으로 원용될 수가 있을 것이다.

2. 신설된 부두에 대형 컨테이너 선박의 접안 개요 및 수치 계산

2.1 접안의 개요

부산항에 대형 컨테이너선(G/T 74,651 ton, 6800 TEU)

이 조도 외항 방파제를 통과하여 입항한 후 신설된 감만 컨테이너 부두 R3와 R4 선석사이 또는 신선대 컨테이너 부두 S3와 S4 선석사이에 접안하는 방법(Fig. 1)은 직접 조종하는 도선사에 따라서 약간씩 차이가 있겠으나 대략 다음과 같다. 부산 외항에 조도 방파제와 오류도 방파제가 생기고 난후에 방파제 밖에서 항입구 항로를 거의 직각으로 흐르는 조석류의 강도는 대략 3kt 정도 내외이다. 그러므로 대형 선박이 이 방파제 사이를 통과할 때는 대략 8kt 정도의 큰 속력으로 항 입구를 통과하지 않을 수 없다. 그러나 항입구를 통과하면 이러한 조석류는 거의 없기 때문에 입항 선박은 빠르게 전진타력을 제지하여야 한다. 이러한 때 tug boat를 이용한 방향 및 속도 제어에는 큰 문제가 생길 수 있으므로 본선의 기관을 사용하는 것이 좋다. 이 때 본선의 기관을 slow astern 정도 걸어서 선박이 NO.2 부표를 통과한 후의 속력이 약 4kt 정도가 되도록 감속하여야 할 것이다. 다음은 선박의 방향을 감만 컨테이너 부두나 신선대 컨테이너 부두로 향하게 하고 부두전방까지는 자연 감속으로 선속이 2kt 정도가 되도록 하여야 한다. 이 때는 전진타력과 침로는 예선으로 조종하여야 한다. 다음에 부두전방 (3~4)B 정도의 거리에 선박을 부두에 평행하게 세우고 정지시킨다. 그런후에 선수와 선미에 있는 예선으로 처음은 선체를 0.15 m/s의 속력으로, 다음은 0.1 m/s, 최후는 0.05 m/s 이하로 선체를 부두에 접하도록 한다.

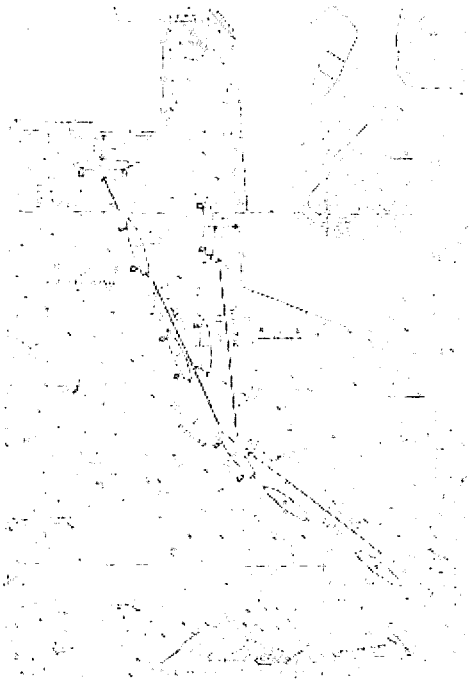


Fig. 1. Passage and berthing scheme for 6,800 TEU container ship from Chodo breakwater to container terminal in Busan harbor.

2.2 접안 과정의 여러 가지 조종운동에 관한 수치 계산을

위한 수식 모델

2.2.1 정지타력 및 계산식

항해중에 기관의 전진추력을 영(zero)으로 하면 선박의 운동관성력에 저항하는 힘은 선체에 작용하는 저항뿐이다. 이 때 초속 u_0 에서 일정속력 u 로 감속될 때의 소요시간 및 진출거리로 정지타력을 계산하고 그 기본 계산식은 다음과 같다.

① 기본 계산식

$$\frac{(m + m_x)}{g} \cdot \frac{du}{dt} = -R_0 \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \quad \text{.....(1)}$$

여기서, m = 선체질량, m_x = 선수방향 부가질량

u_0 = 초기속력, u = 임의시의 속력 ($0 \leq u \leq u_0$)

R_0 = u_0 에서의 선체저항, g 9.8 : 지구 중력가속도

② 경과시간에 대한 계산식

$$t = \frac{u_0^2 (m + m_x)}{g R_0} \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{u_0} \right) \quad \text{..... (2)}$$

③ 진출거리에 대한 계산식

$$s = \frac{u_0^2 (m + m_x)}{g R_0} \ln \frac{u_0}{u} \quad \text{.....(3)}$$

2.2.2 반전타력 및 계산식

일정속력으로 전진 중 후진추력을 걸었을 때 시간경과에 따라서 속력이 감소하면서 선박이 앞으로 진행한다. 반전타력은 초속 u_0 에서 임의시의 속력 u 로 감소할 때까지의 경과시간과 그동안에 생긴 진출거리로 표시한다.

① 기본 계산식

$$\frac{(m + m_x)}{g} \cdot \frac{du}{dt} = -T_A - R_0 \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \quad \text{.....(4)}$$

단, T_A = 후진추력

② 경과시간에 대한 계산식

$$t = \frac{T_s}{C_0} \left(\tan^{-1} \frac{u_0}{C_0} - \tan^{-1} \frac{u}{C_0} \right) \quad \text{.....(5)}$$

단, $C_0 = u_0 \sqrt{T_A / R_0}$

③ 진출거리에 대한 계산식

$$s = C_0 C_2 \ln \left(\frac{\cos \left(\tan^{-1} \frac{u}{C_0} \right)}{\cos C_2} \right) \quad \text{.....(6)}$$

$$\text{단, } C_1 = \frac{T_s}{C_0}, C_2 = \tan^{-1} \frac{u_0}{C_0}$$

2.2.3 발동타력 및 계산식

정지한 선체에 일정 추력을 가하게 되면 속력이 증가하면서 이동한다. 이 때 일정 속력 u 로 될 때까지 경과한 시간과 진출거리로 발동타력을 표시한다.

① 기본 계산식

$$\frac{(m + m_x)}{g} \cdot \frac{du}{dt} = T_0 - R_0 \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

단, T_0 = 중속시의 추력, R_0 = 중속시의 저항

u_0 = 중속시의 속력

② 경과시간에 대한 계산식

$$t = \frac{T_s}{2u_0} \ln \left(\frac{u_0 + u}{u_0 - u} \right) \dots\dots\dots (8)$$

③ 진출거리에 대한 계산식

$$s = \frac{T_s}{2} \ln \left(\frac{u_0^2}{u_0^2 - u^2} \right) \dots\dots\dots (9)$$

2.2.4 선박의 안벽방향 횡이동 계산식

① 기본 계산식

$$\frac{(m + m_y)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = C - nv^2 \dots\dots\dots (10)$$

단, m_y = 횡방향 부가질량, C = 횡방향 추력(예선횞력-외력), n = 유체저항계수

② 경과시간에 대한 계산식

$$t = k \cdot \ln \left(\frac{v_0 + v}{v_0 - v} \right) \dots\dots\dots (11)$$

단, k = 제반상수들에 의한 최종계수

v_0 = 횡방향으로 생길 수 있는 최종속도

v = 임의시의 횡방향 속도

③ 진출거리에 대한 계산식

$$s = \frac{T_s}{2} \ln \left(\frac{v_0^2}{v_0^2 - v^2} \right) \dots\dots\dots (12)$$

2.3 접안조선 중 선체에 미치는 외력 계산식

2.3.1 풍압력 계산식

$$R_a = \frac{1}{2} \rho_a C_a v_a^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \dots\dots\dots (13)$$

단, R_a : 풍압력

A : 수면상 선체의 정면투영면적(m^2)

B : 수면상 선체의 측면투영면적(m^2)

θ : 상대풍향각(deg. or rad.)

ρ_a : 공기밀도, $0.125 kg \cdot sec^2 / m^4$

v_a : 상대풍속(m/sec) , C_a : 풍압계수

2.3.2 유압력 계산식

$$R_w = \frac{1}{2} \rho_w C_{Rw} v_w^2 (L \times d)$$

단, ρ_w : 해수밀도, $104.6 kg \cdot sec^2 / m^4$

C_{Rw} : 유압계수 , d : 평균흘수

L : L_{pp} (m) , v_w : 상대유속 (m/sec)

2.4 접안조선 중 선체에 미치는 외력 계산식

여기서 계산하는 조중운동 대상 선박은 6800TEU급 대형 컨테이너선이며, 선박의 명세는 Table-1과 같다. 조중운동 계산에는 조선보조용 예선 Z. peller 4500HP 2척을 사용한다고 가정한다.

Table 1. Ships' Particulars (6800TEU)

Ship's Name	HYUNDAI SHANGHAI
BUILT	2006, APR
LIGHT SHIP	27.390 MT
NET TONNAGE	43.151 MT
GROSS TONNAGE	74.651 MT
SUMMER DWT	80.102 MT
WINTER DWT	77.148 MT
SUMMER Displacement	107.492 MT
LOA	304.0 M
LBP	292.0 M
BREATH	40.0 M
DEPTH	24.2 M
DRAFT (SUMMER)	14.022 M
(WINTER)	13.730 M
(DESIGN)	12.0 M
SPEED (DESIGN)	26.6 KTS
Main ENGINE/MCR	93.120 BHP X 104 RPM
/NCR	83.810 BHP X 100.4 RPM
DISSEL ENGINE	3.000KW X 4 SETS
BOWTHUSTER	2.500 KW

2.4.1 항입구 통과후 NO. 2 부표 부근까지의 진행타력에 관한 계산

(1) 8kt 속력으로 진침로 305°로 진행하면서 주기관이 stop 상태로 될 때까지

$$R_0 = T_0 = \frac{B.H.P}{v} \times 0.0948 \quad , \quad \text{단, } v : \text{kt 단위}$$

$$R_0 = \frac{93,120}{26.6} \times 0.0948 = 332 \text{ ton}$$

8kt시의 선체저항은 다음과 같다.

$$R_8 = 332 \times \frac{8^2}{26.6^2} = 30 \text{ ton}$$

8kt의 초속이 4kt로 자연스럽게 될 때까지 걸리는 시간

$$t = \frac{4^2 (107,492 \times 1.4)}{9.8 \times 30} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right)$$

단, 1.4는 부가질량계수

$$t = 2047 \text{ 초} \approx 34 \text{ 분}$$

$$\text{진출거리 } s = \frac{4^2 (107,492 \times 1.4)}{9.8 \times 30} \text{Ln} \frac{4}{2} = 5677 \text{ m}$$

위의 계산결과를 보면 선박이 조도 방파제를 통과후 즉시 기관 반전을 하지 아니하면 전진타력 제어가 불가능하여 큰 위험이 있을 것임을 알 수 있다.

(2) slow astern을 사용하여 전진타력을 제지할 때

Full astern 시의 추력 = 166 ton

Slow astern 시의 추력 = 83 ton

$$T_s = \frac{4^2 (107,492 \times 1.4)}{9.8 \times 30} = 8190$$

$$C_0 = 4 \sqrt{\frac{83}{30}} = 6.7$$

$$t = \frac{8190}{6.7} (\tan^{-1} \frac{4}{6.7} - \tan^{-1} \frac{2}{6.7}) = 303 \text{ 초} \approx 5 \text{ 분 } 3 \text{ 초}$$

실제의 t = 60 + 303 = 6분 3초

$$C_1 = \frac{T_s}{C_0} = \frac{8190}{6.7} = 1222$$

$$C_2 = \tan^{-1} \frac{u_0}{C_0} = \tan^{-1} \frac{4}{6.7} = 0.5382 \text{ (rad)}$$

$$s = 6.7 \times 1222 \text{Ln} \left(\frac{\cos(\tan^{-1} \frac{2}{6.7})}{\cos(0.5382)} \right) = 898 \text{ m}$$

실제의 진출거리는 제1단계의 반전진출거리 $(4 - 0.1 \times 4) \times 60 = 216 \text{ m}$ 를 계산된 진출거리에 가산하여야 한다. 그러므로 총 진출거리(s)는 1114m가 된다.

2.4.2 NO. 2 부표를 지나서 신선대 컨테이너 부두로 향하는 선박의 타력진행상태

이 때 선박은 진침로 352°로 1150m 정도를 지나면 s_3 와 s_4 선석 전방에 이르게 된다.

$$s = 6.7 \times 1222 \text{Ln} \left(\frac{\cos(\tan^{-1} \frac{2}{6.7})}{\cos(0.5382)} \right) = 898 \text{ m}$$

$$R_0 = 332 \times \frac{4^2}{26.6^2} = 7.5 \text{ ton}$$

$$s = \frac{2^2 (107,492 \times 1.4)}{9.8 \times 7.5} \text{Ln} \frac{2}{u}$$

$$1150 = 8190 \text{Ln} \frac{2}{u}, 0.1404 = \text{Ln} \frac{2}{u}$$

$$u = 1.74 \text{ m/sec} \approx 3.4 \text{ kt},$$

$$t = 8190 \left(\frac{1}{1.74} - \frac{1}{2} \right) = 612 \text{ 초} \approx 10 \text{ 분}$$

이 때의 속력이 3.4kt 정도 됨으로 본선의 주기나 tug boat로 선속을 2kt 정도까지 감속시키는 것이 좋다. 그리고 선박을 부두에 평행하게 세워서 정지시켜야 한다. 이러한 조종을 하면 부두 전면 (3~4)B에 도착하는 시간은 5분 정도가 추가되어 t=15분 정도가 될 것이다.

2.4.3 부두전면에서 부두를 향하여 횡이동하는 때

극히 정상적인 부두상태이므로 바람은 부두로부터 10m/sec, 조류는 0.1m/sec로 온다고 가정하여 R_{ay} 와 R_{wy} 를 계산한다.

$$R_{ay} = 0.5 \times 0.125 \times 1.0 \times 11.5^2 \times (304 \times 15) / 1000 = 38 \text{ ton}$$

$$R_{wy} = 0.5 \times 104.6 \times 4 \times 0.1^2 \times (292 \times 14) / 1000 = 8.6 \text{ ton}$$

$$n = 0.5 \times 0.105 \times 4 \times 292 \times 14 = 858$$

$$R_{ay} + R_{wy} = 38 + 8.6 = 46.6 \text{ ton} \approx 47 \text{ ton}$$

$$\text{tug force} = 45 \times 2 \times 1.0 = 90 \text{ ton}$$

여기에서 사용된 예선이 Z. peller이므로 예인력 계산에 계수 1.5를 곱하여야 하나 운동하는 선체에 힘을 작용시키므로 1.0을 곱하여 처리한다.

$$C = 90 - 47 = 43 \text{ ton}$$

$$\frac{107,492 \times 4}{g} \frac{dv}{dt} = 43 - 858v^2$$

$$t = 51 \times \frac{1}{2 \times 0.2238} \text{Ln} \frac{0.2238 + v}{0.2238 - v}$$

$$t = 114 \text{Ln} \frac{0.2238 + v}{0.2238 - v}$$

$$v = 0.2238 \left(\frac{e^{\frac{t}{114}} - 1}{e^{\frac{t}{114}} + 1} \right)$$

$t \rightarrow \infty$, $v = 0.2238 \text{ m/sec}$ 가 된다.

$$t = 114 \text{Ln} \frac{0.2238 + v}{0.2238 - v} \text{에서 } v = 0.15 \text{ m/sec에 이르는 시간}$$

을 제1단계 시간 t_1 이라고 하자.

$$t_1 = 114 \text{Ln} \frac{0.2238 + 0.15}{0.2238 - 0.15} = 185 \text{ 초} = 3 \text{ 분 } 5 \text{ 초}$$

$$T_s = \frac{v_0^2 \times 107,492 \times 4}{9.8 \times 858v_0^2} = 51$$

$$s_1 = \frac{51}{2} \text{Ln} \frac{0.2238^2}{0.2238^2 - 0.15^2} = 15.2 \text{ m} \approx 15 \text{ m}$$

횡이동속도 0(zero)에서 15cm/sec의 속도가 될 때까지 진출하는 거리는 15m, 그리고 15cm/sec에서 예선 추력을 0(zero)으로 하면 15m 횡이동 후 정지한다. 따라서, 선박이 부두로부터 선평의 4배 거리 160m에서 정지하고 있을 때 160-30=130m는 15cm/sec로 횡이동하여야 한다.

2.4.4 조도방파제 통과 후 접안완료까지 요하는 시간 계산 및 거리계산

- (1) 신선대 컨테이너 부두접안
- ① 방파제에서 No. 2 부표까지
시간 : 5분 정도, 거리 : 1114m
- ② No. 2에서 부두 전면까지
시간 : 15분 정도, 거리 : 1150m
- ③ 부두 160m 전방에서 접안까지
시간 : 3+14+3=20분 정도, 거리 : 160m
- 총 소요시간 : 5+15+20 = 40분 정도

- (2) 신선대 컨테이너 부두접안
- ① 방파제에서 No. 2 부표까지
시간 : 5분 정도, 거리 : 1114m
- ② No. 2에서 부두전면까지
시간 : 20분 정도, 거리 : 1620m
- ③ 부두 160m 전방에서 접안까지
시간 : 3+14+3=20분 정도, 거리 : 160m
- 총 소요시간 : 45분 정도

130m를 0.15m/sec로 이동하는 시간을 t_2 라고 하자.

$$t_2 = 130 / 0.15 = 867 \text{ 초} = 14 \text{ 분 } 27 \text{ 초}$$

여기서 선박의 횡방향 속력이 영(zero)이 되면서 접촉하는 시간 및 거리는 제1단계에서의 그것들과 같다.

$$\text{즉, } t_3 = 3 \text{ 분 } 5 \text{ 초}$$

$$s_3 = 15 \text{ m 이다.}$$

2.4.5 NO. 2 부표를 지나서 감만 컨테이너 부두 전면으로 이동하는 때의 타력 진행상태

이 때 선박은 $T_{co. 335^\circ}$ 로 1620m 를 진행하여 부두전면의 (3~4)B 지점에 선박을 부두와 평행하게 정지시켜야 한다.

$$1620 = 8190 \ln \frac{2}{u}, 0.1978 = \ln \frac{2}{u}, u = 3.2 \text{ kt}$$

$$t = 8190 \left(\frac{1}{1.64} - \frac{1}{2} \right) = 899 \text{ 초} \approx 15 \text{ 분}$$

위의 계산결과를 보면 여기서도 본선 기관이나 예선을 이용하여 약간의 타력제어를 하면서 선박을 부두전면 (3~4)B 지점에 부두와 평행하게 정지시켜야 한다. 그러므로 시간을 5분 정도 추가시켜야 한다. 그러므로 실제의 시간(t)은 20분이 된다.

2.4.6 부두전면에서 부두에 접안할 때까지의 타력

이것은 2.4.3의 부두접근 경위와 완전하게 동일하다.

3. 접안 한계풍속의 결정

예선 Z. peller 4500 H.P. 2척이 발휘하는 힘에서 R_{ay} 를 뺀 힘보다 강한 풍압이 작용하는 바람이 불면 선박조종은 불가능하게 된다.

$$(45 \times 2) - 8.6 = 81.4 \text{ ton} = 81,400 \text{ kg} \cdot w$$

$$R_{ay} = 0.5 \times 0.125 \times 1.0 \times v_a^2 \times (304 \times 15) = 285 v^2$$

$$v = 16.9 \text{ m/sec}$$

따라서 돌풍을 25%를 포함한 강풍 16.9m/sec 이상의 바람이 부는 기상상태에서는 선박조종이 위험하게 된다.

$$(1.25) v_a = 16.9, v_a = 13.5$$

정상풍속 13.5m/sec 이상의 바람이 불면 감만 컨테이너 부두나 신선대 컨테이너 부두에 대형 컨테이너선을 접이안 하는 것은 위험 부담이 따른다. 돌풍을 포함하여 풍속이 16.9m/sec에 육박하는 바람이 있을 때 이곳에서 대형 컨테이너 선박을 부두에 조종할 때는 반드시 예선 4500H.P.의 Z. peller 1척을 더 추가하여 4500 H.P. Z. peller 3척으로 조 선보조를 받아야 할 것이다.

4. 결 론

이상 논술을 감안하여, 부산항 감만 컨테이너 부두 또는 신선대 컨테이너 부두에 길이 300m 이상 되는 컨테이너선을 접안 조선하는 것에 대하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 위의 부두에 접안 조선하는 것은 악천후가 아니면 큰 위험이 없다.
- (2) 조도 방파제 통과 입항시 3kt 정도의 강한 조석류 때문에 선속을 8kt 내외로 유지하는 때에는 방파제 통과 후 즉시 본선기관으로 전진타력을 제지하여야 한다.
- (3) 선박접안에 요하는 총시간은 대략 40분 내외가 될 것이다.
- (4) 정상풍속 13.5m/sec 이하에서 안전접안이 가능하고 25의 돌풍을 포함한 풍속이 16.9m/sec 정도가 되면 조선보조용 예선 4500H.P.의 Z. peller 1척을 더 추가하여 예선 3척(각 마력 4500H.P.)을 사용하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 윤점동(2002), “VLCC조종의 이론실무” 세종출판사. pp. 144~156.
- [2] 윤점동(2006), “선박조종의 이론과 실무” 세종출판사. pp. 114~200.
- [3] INI현대제철사(2005), “당진부두 선박조종 안전성 평가 및 평택항만 관련 연구보고서” 효성출판사. pp. 150.
- [4] 당진탱크터미널(주)(2005), “평택당진항 액체화물부두

- 선박조종 시뮬레이션 검토보고서” 효성출판사. pp. 210.
- [5] 中島利雄(1979), “曳船操船” 海文堂, 東京. pp. 185.
- [6] 岩井聰(1985), “操船論” 海文堂, 東京. pp. 166.
- [7] Henry H. Hooyer(1983), “Behavior and Handling of ships” Cornell Maritime Press, Centreville Maryland. pp. 152~164.
- [8] Daniel H. Mac Elrevey(1983), “Shiphhandling for the mariner” Cornell Maritime Press, Centreville Maryland. pp. 88 ~98.
-
- 원고접수일 : 2006 년 12 월 12 일
원고채택일 : 2007 년 6 월 26 일