

## 유압 윈치를 이용한 선박 자동 계선법 Proposition of Automatic Ship Mooring Using Hydraulic Winch

허정규<sup>1</sup> · 양경욱<sup>2\*</sup>

J. G. Hur and K. U. Yang

Received: 4 Oct. 2013, Revised: 28 Nov. 2013, Accepted: Nov. 2013

**Key Words** : Mooring System(계선 장치), Hydraulic Winch(유압 윈치), Numerical Analysis(수치 해석), Ship(선박), Bondgraph(본드 선도)

**Abstract:** The numerical analysis of the automatic ship mooring system which was equipped in the ship for trying to berth at the pier was performed in this study. The automatic ship mooring using hydraulic winch was a new method that had not need to change the existing devices and to help a pilot ship of outside. The numerical results of the proposed mooring system including ship motion were that the speed and rolling phenomenon of ship was affected by changing in the ship weight and affected the slope maintenance and yaw degree of ship if there has a trim of stern. Also, a static force of ship at the initial movement was important to calculate the mooring power. The moving force and inertial force of ship on the vertical direction was confirmed for the mooring stability. Therefore, the power and velocity of hydraulic mooring winch should be determined by considering the significant characteristics such as weight, velocity, inertial force and moving force of ship.

### 기호 설명

$A$  : Projected area of ship

$B_s$  : Extreme breadth

$C_f$  : Surface frictional force of ship

$C_s$  : Fitness Coefficient

$D$  : Displacement

$D_s$  : Draft

$I_s$  : Inertia of ship

$L$  : Length of ship

$M$  : Mass

$N$  : Reducing ratio

$P$  : Pressure

$R$  : Resistance

$R_{air}$  : Wind drag

$R_f$  : Drag coefficient for the surface of ship

$T$  : Torque

$V_s$  : Volume

$v_s$  : Ship velocity

$S_y$  : Quay-center distance

$S_{y1}$  : Quay-forward distance

$S_{y2}$  : Quay-stern distance

$T_s$  : Displacement tonnage of ship

$\rho$  : Fluid density

$\nu_s$  : Coefficient of kinematic viscosity of fluid

\* Corresponding author: yangku@jnu.ac.kr

1 Department of Power System Engineering, Chonnam National University, Yeosu campus, 550-749, Korea

2 School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu campus, 550-749, Korea.

Copyright © 2013, KSFC

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.

$\theta$  : Yawing degree, Angular velocity  
 $\tau$  : Modulation period  
 $\psi$  : Rolling degree

**Subscripts**

*drum* : Drum in hydraulic winch  
*gear* : Reducing gear  
*m, motor* : Hydraulic motor  
*s* : Ship or Hydraulic pump  
*valve* : Hydraulic valve  
 1, 2 : forward and stern of ship

**1. 서론**

해상에서 선박은 부유체로서 수시로 변하는 외부 환경에 영향을 받아 회전하거나 이동하게 된다. 이러한 선박을 일정한 위치로 이동시키는 것은 선박 이동 시 안전 사고와 바로 직결되는 사항이다. 일반적으로 사용하고 있는 선박 위치 확보 시스템은 계측 시스템, 제어 시스템, 동력 시스템 등으로 구성되며, 이것들을 이용하여 선박 위치를 조절한다.

선박을 부두에 계선할 경우에는 선박의 선수와 선미 방향이 부두에 평행하도록 하여야 한다. 그러나 파도, 바람, 해류 등의 영향으로 선체 및 타에 외력이 작용하게 되면, 미세하게 침로가 변경되기 때문에 일정한 침로를 유지하기 위해서는 끊임없이 타각을 조절한다. 즉, 주어진 침로와 선박의 진행 사항을 비교하여 조타륜을 움직여 선박의 진행 방향을 반복 수정하여 부두에 계선하게 된다. 이를 위해서는 작업자가 계속 수동으로 조타륜을 움직여 조작하여야 하고, 이러한 과정을 안정적으로 수행하기 위하여 경험적으로 숙련된 작업자가 필요하게 된다. 이때 작업자간이나 외적 환경에 의한 예기치 않는 영향이나 판단오류는 바로 해양 사고로 이어지게 된다.

최근에는 선박 자동화 추세에 따라 항해에서 사용하는 자동 운항 시스템(autopilot)의 기능을 확대하여 선박 자동 접안 기술에 일부 접목시키기 시작하였다.<sup>1,2)</sup> 자동 운항 시스템의 제어 기술은 GPS 개발로 비교적 정확한 거리 계측이 가능하게 됨으로써 선박 자신의 운항 궤적이 원하는 위치에 도달하게끔 하는 방법으로, 다양한 제어기법<sup>1-3)</sup>들을 적용하여 꾸준히 성능을 개선하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 항만

내에서 선박이 저속으로 운항할 경우만을 산정하여 이론적 연구를 진행한 것으로 직접 선박의 계선 방법에는 적용되지 않고 있는 실정이다. 다만, 외부의 예인 선박의 위치를 파악하여 계류 선박의 위치를 조정하는 방법이 제시된 바가 있다.<sup>3)</sup>

현재, 항만 안에서 실제적으로 많이 사용하는 선박의 계선 방법의 중의 하나는 항만 내에서 선박에 설치된 원동기, 발전기, 계선 장치(side thrust, winch, capstan 등)와 같은 장비가 사용되고 있으며, 대형 선박인 경우에는 외부의 예인 선박이 선수와 선미에 접촉하여 예인 선박의 추력을 이용하여 계선 선박을 이동시키거나, 계선 선박의 계선줄을 이용하여 계선시키는 방법을 사용하고 있다. 한편, 부두에서도 항만 용역으로 강취 장비 및 강취 인력 등이 기본적으로 준비되어야만 선박 계선 작업이 원활히 이루어진다.

이 연구에서는 계선 선박에 장착되어 있는 유압 원치를 이용하여 외부의 예인 선박의 도움 없이 스스로 부두에 계선시키는 새로운 방법을 제시하며, 계선에 사용되는 유압 원치와 계선되는 선박의 동특성을 수치 해석 하였다. 이 제안한 방법의 유효성을 확인하려는 목적으로 본드 선도를 이용하여 모델링 하였으며, 유압 원치와 선박의 동특성에 대한 수치 시뮬레이션을 통하여 선박 계선시 작용되는 계선력과 선박의 선수 및 선미의 계선 거리를 실시간으로 계산할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 완성하였다.

**2. 제안한 선박 자동 계류 장치의 구조**

제안한 선박 자동 계선 장치는 보편적으로 선박의 상갑판 위에 설치되어 있는 유압 원치만을 이용하여 선박을 이동시키며, 유압 장치와 기계 장치로 이루어져 있다. 선박의 위치는 선박의 선수와 선미에 설치된 위치 센서에 의하여 계측되며, 이 계측된 신호를 파악하여 유압 장치에 있는 유압 밸브의 개도를 조절 한 후 여기서 나오는 유량을 가지고 유압 원치 내 유압 모터를 회전시킨다. 유압 모터에 부착된 감속 기어를 통하여 회전통(drum)의 회전 속도를 조절하게 되며, 여기에 걸려있는 계선줄의 길이를 조정함으로써 선박을 부두에 계선시키게 된다. 이 때, 계선줄에 의해서 움직이는 선박의 동역학적 움직임은 위치 센서에 의해 검출되며 선박 조정 제어 알고리즘에 의해 안정된 계선이 되도록 유압 밸브에 제어 신호가 들어가서 적절한 계선 속도가 나오도록 한다. Fig. 1에 제안한 선박 계선 장치의 구성도를 나타내었다.

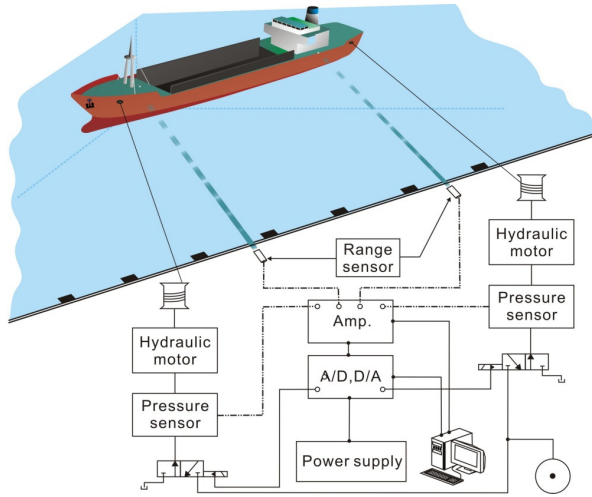


Fig. 1 Schematic diagram of the proposed automatic ship mooring system

### 3. 선박 자동 계류 장치의 모델링

#### 3.1 수치 해석의 가정

제안한 선박 자동 계선 장치는 선박 상갑판선수 및 선미에 위치한 유압 윈치를 이용한다. 이 유압 윈치는 유압 펌프, 밸브, 유압 모터와 감속 기어 및 회전통으로 구성되어 있으며, 회전통과 부두 사이에 있는 계선줄의 길이 변화에 따라 선박의 동적 운동 특성이 나타난다. 이러한 유압 장치와 기계 장치들의 특성이 이 연구에서는 아래와 같은 가정을 설정하고 수치 모델식을 도출하였다.

- 유압 장치에 공급되는 압력은 일정하며, 내부 누설은 없다.
- 유압 관로에서 발생하는 저항은 무시한다.
- 선박의 투영 면적은 일정하다.
- 계선줄의 방향, 두께 및 장력은 선박에 영향을 미치지 않는다.
- 선박에 작용하는 파도의 영향은 무시한다.
- 선박의 수직 방향 운동은 고려하지 않는다.

#### 3.2 유압 장치의 수치 해석

이 연구에서는 3포트 2위치 고속 전자(high speed on-off solenoid) 밸브를 이용하며, 구동 신호로는 펄스 폭 변조법(pulse width modulation: PWM)을 사용하여 유압 밸브의 개도를 조절하고 여기서 나오는 유량을 이용하여 유압 모터의 구동 속도를 제어한다. Fig. 2에 유압 윈치의 구성도를 나타내었다.

고속 전자 밸브를 통하여 부하측으로 흐르는 유량

식은

$$Q_{valve} = C_d A_{valve} \sqrt{\frac{2}{\rho_{oil}} (P_s - P_m)} \quad (1)$$

이며, 식 (1)를 통하여, 변조율  $K_{valve}$ 의 변화에 따라 미소 유량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

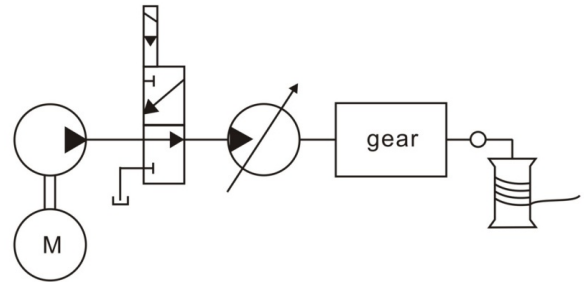


Fig. 2 Schematic diagram of the hydraulic winch

$$\dot{Q}_{valve} = K_{valve} \cdot \tau \quad (2)$$

유압 윈치는 유압 펌프에서 발생된 동력을 효율적으로 전달하기 위하여 감소 기어를 설치한다. 유압 펌프에서 발생된 동력은 감소 기어를 통하여 토크와 각속도로 변환되며, 그 비율은 기어의 감속비에 의하여 조절된다.

유압 펌프에서 발생하는 토크와 각속도는 변속기 내 감속 기어의 감속비를 고려하여 식 (3)과 식 (4)로 나타내었다.

$$T_{drum} = N_{gear} \cdot T_{motor} \quad (3)$$

$$\theta_{drum} = \frac{\theta_{motor}}{N_{gear}} \quad (4)$$

#### 3.3 선박 운동의 수치 해석

물위에 떠 있는 선박은 보통 6자유도 운동으로 표시하는 것이 일반적이며,<sup>4)</sup> 회전 운동으로 횡동요(roll), 종동요(pitch), 선수동요(yaw)와 병진 운동인 상하동요(heave), 전후동요(surge), 좌우동요 sway)이다. 보통 선박 항해시에는 이 6가지 운동이 동시에 발생할 수 있으나, 선박에 작용되는 외부 여건에 따라 주요 선박 운동과 이 운동 상호간의 간섭 현상만을 고려하여 선박 동적 특성을 해석하기도 하며 그 해석 결과도 상당히 양호한 것으로 알려져 있다.<sup>4,5)</sup> 대상으로 하는 선박은 파도가 잔잔한 항 내에서 비교

적 느린 속도(0.1[m/s]이하)로 선박을 계선시키므로 선박에 가해지는 파도의 영향이 미미하며, 선박의 이동은 좌 또는 우현으로만 이동하고 선박의 상하 운동은 거의 발생되지 않는 특성을 가지고 있다. 따라서, 이 연구에서는 횡동요, 선수동요, 좌우동요만을 고려하여 선박 운동 특성을 수치 해석하였다. Fig. 3에 선박의 6자유도 운동과 좌표를 표시 하였다.

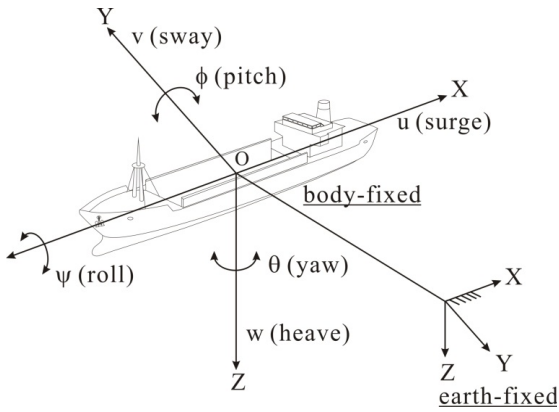


Fig. 3 Definition of ship motions in six degrees of freedom

선박은 어떤 일정한 속도로 움직이면, 선체의 표면에서 물의 점성에 의하여 접선 방향으로 마찰력이 발생되며, 일반적으로 선박의 마찰력은 아래 식으로 표현한다.

$$R_f = C_f \frac{1}{2} \rho S v^2 \quad (5)$$

여기서,  $C_f$  는 ITTC 1957년 모형선-실선에 관한 상관 곡선 공식인 식 (6)과 선박 침수 표면적  $S$  는 Olsen식을 표현한 식 (7)을 이용하여 구할 수 있다.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}, \left( Rn = \frac{v_s L_s}{\nu} \right) \quad (6)$$

$$S = C_s L_s B_s \left( 1.22 \frac{D_s}{B_s} \right) (C_b + 0.765) \quad (7)$$

선박의 이동에 따른 관성 모멘트는 선박의 형상 모양을 직육면체로 간주하여 아래의 식을 이용하였다.

$$I_s = \frac{1}{12} M_s (L_s^2 + D_s^2) \quad (8)$$

선박의 계선줄을 이용하여 선박을 횡이동 하는 방식으로 계선 안정성을 확보하기 위해서는 계선줄의 영향에 따른 선박의 횡동요 각도의 산출이 필요하다. 이 연구에서는 선체의 수직 방향(Z)과 횡방향(Y)에 작용하는 관계식을 수립하여 횡동요 각도를 속도 변화에 따른 함수로 표현하기 위하여 선박에 작용하는 힘의 관계를 식 (9)와 같이 정의하였다.

$$M_s g \sin \psi = M_s \dot{v}_s \cos \psi \quad (9)$$

위 식을 정리하여 횡동요 각도로 표시하면 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$\psi = \tan^{-1} \frac{\dot{v}_s}{g} \quad (10)$$

선박의 계선 안정성을 확보하기 위해서는 식 (10)에서 선박의 등가속도 운동의 상한 제한 한계치에 대한 선박의 타력을 고려해야 한다. 이것은 선박의 타력을 최소화 하기 위한 접안 속도를 결정하는 것으로 식 (11)를 통해 구할 수 있다. 이 결과에 따라 식 (10)의 횡동요 각도를 조절할 수가 있다.

$$S_s = \frac{v_s^2 M_s}{(R_f + R_{air})} \quad (11)$$

한편, 선박의 중심에서 횡이동 하는 선박 접안 이동 거리는 선수와 선미의 이동 거리와 선박의 길이와의 상관 관계를 이용하여 아래의 식 (12)를 도출하였다.

$$\begin{aligned} \dot{S}_y &= \dot{S}_{y1} + \frac{\dot{S}_{y2} - \dot{S}_{y1}}{L_1 + L_2} \cdot L_1 \\ &= \dot{S}_{y1} \left( \frac{L_2}{L_1 + L_2} \right) + \dot{S}_{y2} \left( \frac{L_1}{L_1 + L_2} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

선박이 계선하면서 발생하는 선수 동요 각도는 선수쪽 계류 거리와 선미쪽 계류 거리의 차이로 발생되므로, 선수 동요 각도는 식 (13)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{S_{y2} - S_{y1}}{L_s} \quad (13)$$

### 3.4 선박 자동 계선 장치의 본드 선도 모델링

선박 자동 계선 장치에 대한 모델링은 본드선도 모델링<sup>6)</sup> 기법을 이용하였으며, Fig. 4에 본드 선도를 나

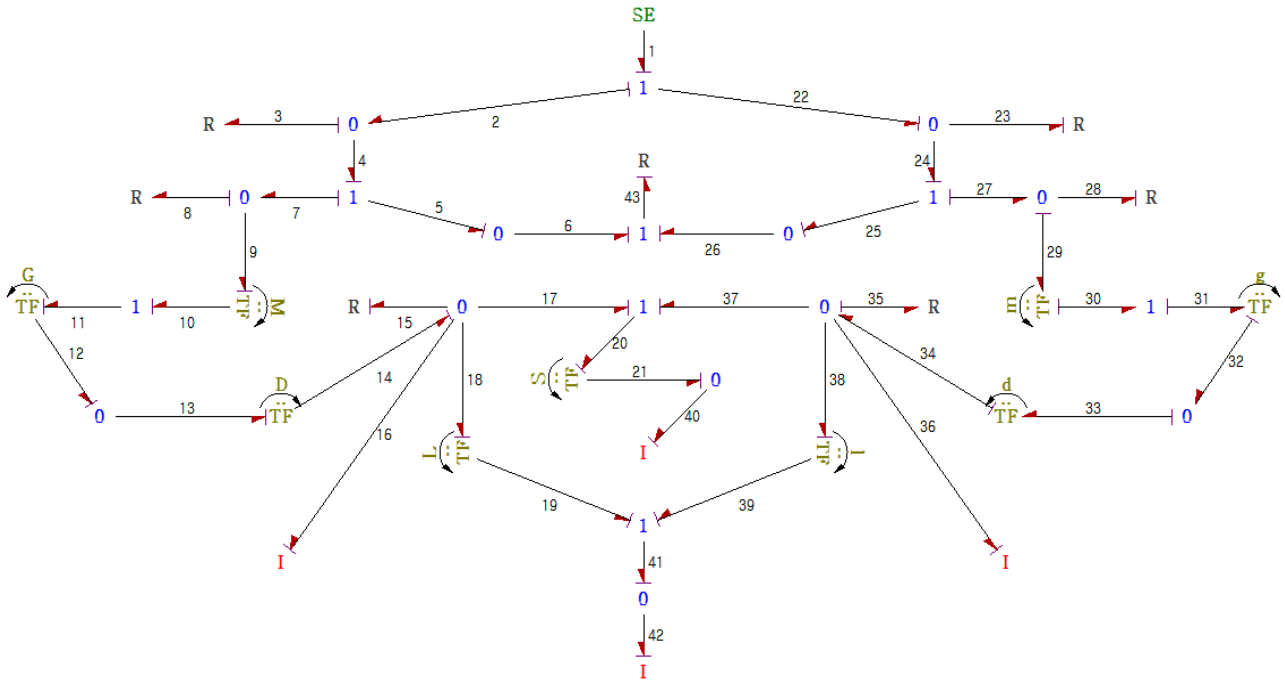


Fig. 4 Bond graph of automatic ship mooring using hydraulic winch

타내었다.

SE를 기점으로 오른쪽은 선수측을 나타내고 왼쪽은 선미측을 나타낸다. 각각의 접점과 노드의 변수들은 계선 장치 및 선박의 동특성을 나타낸다. 노드 9와 노드 29를 기준으로 보면, 상부측은 계선 장치의 유압시스템, 하부측은 계선줄의 영향에 따른 선박의 동적 특성을 나타낸다.

상부측의 계선 장치의 유압 장치에서, 노드 3, 23의 R 인자는 유압밸브의 동특성을 나타낸 것으로 식 (1)과 식 (2)를 통해 구할 수 있다. 유압 밸브의 동특성은 선박의 계류 속도가 매우 느리기 때문에 시스템 전반에 거의 영향을 미치지 않는다. 하지만 유압 밸브는 제어를 담당하는 주요 장치이므로 그 특성을 포함하여 수치 해석을 수행한다. 유압밸브에 관한 자세한 연구는 기존의 연구에서 기술하였다.<sup>6)</sup> 노드 8과 노드 28의 R 인자는 관로 마찰에 의한 손실을 나타내고, 노드 43의 R 인자는 탱크로 귀환되는 유량을 표현한 것이다. 고유의 특성방정식을 갖는 변환 계수인 TF는 장치간의 역학적 변환 관계를 나타낸다. 노드 9와 10, 노드 29와 30의 TF 변환 계수는 유압 모터를 나타낸 것으로 유압 밸브와 관로를 통과한 유량이 유압 모터의 각속도로 변환되는 역학 관계를 나타낸다. 노드 11과 12, 노드 31과 32의 TF 변환 계수는 감속기를 나타낸 것이며, 노드 13과 14, 노드 33과 34의 TF 변수는 회전통을 나타낸다. TF 변환 계수 M,

m과 G, g 그리고 D, d는 식 (3)과 식 (4)에 의해 특성식이 설정되며 각각에서 토크와 각속도를 구할 수 있다. 즉, 변환 계수 M와 m은 유압 밸브와 유압 모터 사이의 역학 관계, G와 g는 유압 모터와 감속기 사이의 역학 관계, D와 d는 감속기와 회전통 사이의 역학 관계를 나타낸 것이다.

하부측의 선박의 동특성에서, 노드 15와 노드 35의 R 인자는 선박에 작용하는 외력과 마찰저항을 나타낸 것으로, 식 (5)~(7)를 이용하여 특성식을 구할 수 있다. 이 식은 선수와 선미 각각의 동특성에 영향을 미친다. 여기서 각 선박 지점의 이동 거리와 동요 특성은 식 (8)~(10)을 이용하여 노드 16과 노드 36의 I 인자의 특성식을 유도함으로써 구할 수 있다. 노드 18과 19, 노드 38과 39의 TF 변환 계수 L과 l은 식 (12)에 의해 선체 중심에서의 동특성과 선박 자세의 평행 상태를 알 수 있는 변환 계수이다. 그 특성식은 노드 16과 노드 36의 I 인자 특성식의 계산 결과에 따라 노드 42의 I 인자로 도출된다. 노드 20과 21의 TF 변환계수 S는 선체 중심에서의 동요 특성을 알 수 있으며 식 (13)에 의해 결정된다. 즉, 변환 계수 L과 l은 드럼과 계선줄의 길이 변화에 대한 역학 관계, 변환계수 S는 계선줄의 길이 변화와 선체 운동 특성에 대한 역학 관계를 나타낸다.

### 4. 시뮬레이션 및 고찰

제안한 선박 자동 계선 장치에 따른 계선 선박의 특성 즉, 선박 무게 중심의 변화와 선박의 흘수 변화 등을 변화시키면서 선박의 동특성과 유압 장치의 물리적 변화를 시뮬레이션 하였다. Table 1에 시뮬레이션에 사용한 주요 변수 값을 나타내었다.

Fig. 5는 경하 상태(even-keel)에서 선수, 중앙, 선미에서의 선박 위치와 계선력을 나타낸다. Fig. 5의 거리를 나타내는 응답 특성에서, (-)의 부호는 Fig. 3의 좌표계에 따라 이동 방향을 나타낸다. 응답 특성은 전반적으로 비선형성을 나타내었다. 그림에서 0~13[s]을 보면, 거리의 응답 특성은 정체되어 있으며, 계선력의 응답 특성은 이 시간 동안 (-)에서 (+)으로 역전되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 원인은 선박이 계선 초기에 정지 상태에 있고 이로 인해 자중에 의한 수직 방향 힘이 작용했기 때문이다. 이 힘은 정지 마찰력이라 할 수 있으며 이 힘과 계선력이 상충되어 나타난 결과로 예측된다. 계선력의 응답 결과에서 역전 시간은 정지 마찰력의 극복 시간과 더불어 선박의 타력 발생 시점을 유추할 수 있다.

Table 1 Values of the parameters used in the simulation

Parameter	value
$\rho$	1024 kg/m <sup>3</sup>
$v_s$	1.1873×10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
$D_s$	0.03 m
$B_s$	0.185 m
$R_{valve}$	1.61×10 <sup>-11</sup> Ns/m <sup>5</sup>
$P_s$	20×10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup>
Drum radius	0.005 m
$D_m$	19.9×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /rev
Pump Revolution	580 rpm
$D_p$	15.8×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> /rev
$L_s$	1.1 m

Fig. 6은 경하 상태에서 무게 중심이 증가했을 경우 선수, 중간, 선미의 위치와 계선력의 응답 특성을 나타낸 것이다. Fig. 5와 비교하면, 모의실험 설정 시간까지 0.1[m/s]의 속도 차이가 발생하고 계선력은 2[s] 늦어진 약 15[s]에서 역전되었다. 이것은 선박의 무게 중심의 증가가 선체 침수 표면적의 증가와 함께 유체 저항력을 증가시킴으로써 정지 마찰력의 극복

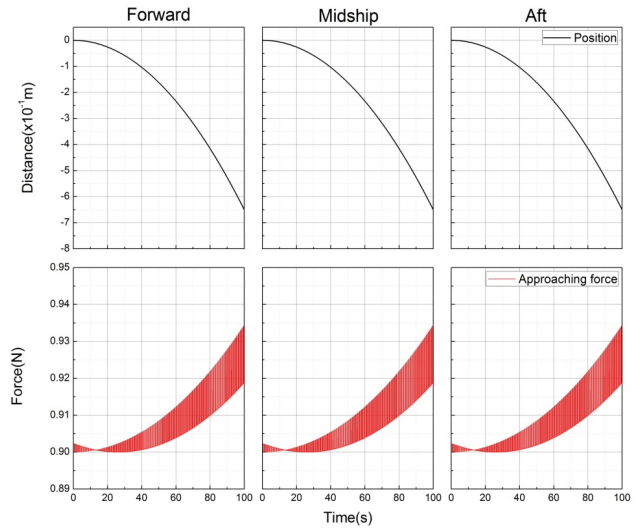


Fig. 5 Simulation results of the position and approaching force under even-keel

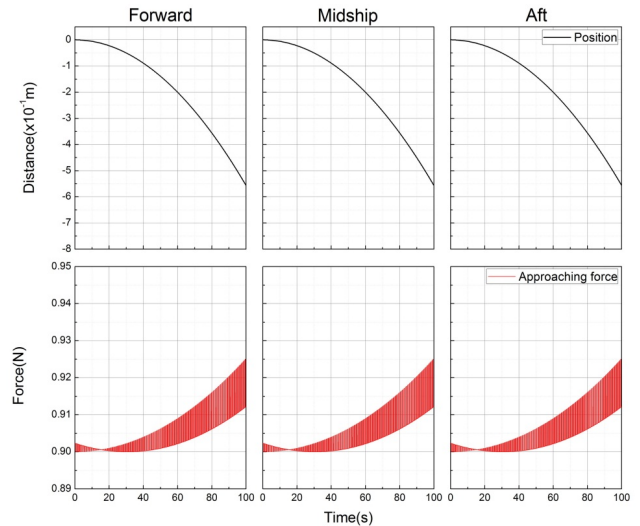


Fig. 6 Simulation results of the position and approaching force at weight increment

시간에 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 즉 무게 중심의 증가는 선박의 타력 발생 시점에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 선박 무게의 증가가 선박의 관성을 증가시키기 때문에 계선력이 상대적으로 감소됨을 확인할 수가 있다.

Fig. 7은 선미측에 무게를 증가하여 선박의 중경사(trim)가 발생했을 때의 위치와 계선력을 나타낸 것이다. 선박의 위치 특성은 비슷한 기울기를 나타내고 있지만, 확대 그림을 보면 시간이 지날수록 각 부분 별 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 선수가 보다 빠른 응답 특성을 나타내는 것은 중경사로 인한 선수의 침수 표면적이 감소되었기 때문이고, 상대적

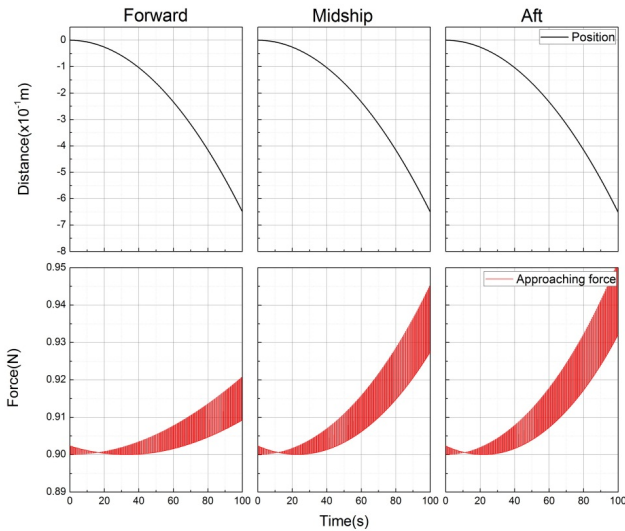


Fig. 7 Simulation results of the position and approaching force under the trim conditions by the stern

으로 중량과 선미의 응답 특성이 미세한 것은 종경사로 인한 세로 경심 높이(longitudinal meta-center height)에 따라 무게 중심이 선미측으로 이동했기 때문이다. 따라서 세로 경심 높이에 따른 선박의 종경사 변화에 대한 저항력을 시뮬레이션에서 잘 나타내고 있다. 그림에서 계선력의 역전 시간은 선수, 중앙, 선미에서 약 17[s], 12[s], 11[s]로 선수에서 가장 늦게 나타났다. 이것은 동일한 계선력에서 선미측으로 무게중심 이동으로 인하여 선미를 중심으로 관성모멘트가 발생한 것이며, 상대적으로 계선력의 크기가 중심과 선미에 집중되기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 선미 종경사 조건하에서 선박 중심부의 선수각도, 횡각도 및 관성모멘트를 나타낸 것이다. 선미 종경사로 인한 중심의 이동은 선수의 횡각도와 관성모멘트를 증가시키게 되며, 식 (11), (13)으로 확인할 수 있다. 횡현상은 Fig. 7의 결과와 마찬가지로 선미 종경사에 따라 그 특성이 좌우된다. 특히 선미 종경사가 발생했을 경우에는 관성모멘트의 영향으로 선수각도가 증가되어 선체 전반의 횡동요 현상이 증폭되는 경향이 있다. 이것은 흘수 및 종경사가 선박과 안벽과의 평행을 위한 선박자세와 계선 안정성에 가장 큰 영향을 주기 때문이다. 또한, 초기 계선력의 크기가 횡현상에 영향을 미치므로 계선 초기와 타력이 발생하는 시점에 따라 적절히 계선력이 조절되어야 할 것으로 판단된다.

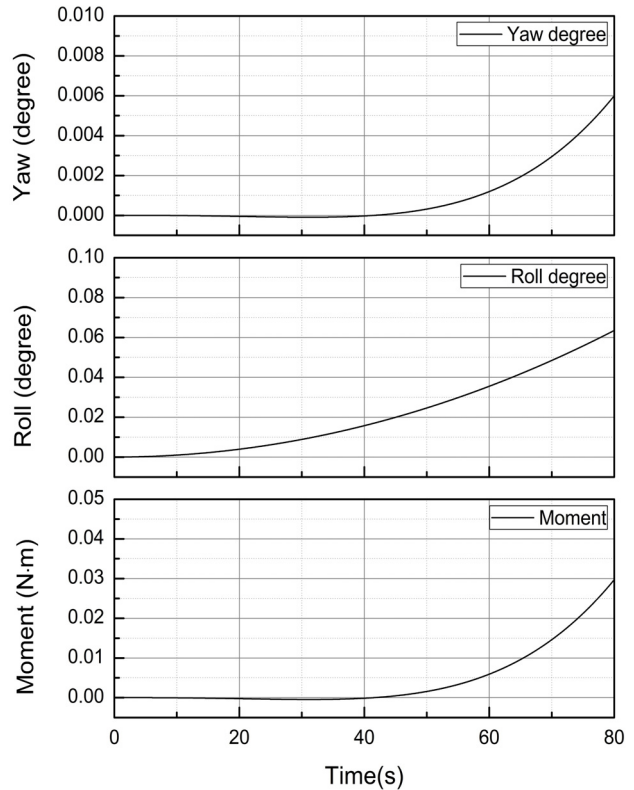


Fig. 8 Simulation results of the degree and the moment of mid-ship side under the trim conditions by the stern

### 5. 결 론

연구는 선박 계선 안정성을 확보하는 방법으로 선박의 상갑판에 위치한 유압 원치를 이용하는 방법을 제안하였으며, 제안한 선박 계선 장치를 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션을 통하여 선박 무게의 증감이 계선 속도와 횡동요 현상에 영향을 주고, 선미 종경사가 발생했을 경우에는 선박 평행 유지와 선수 동요 현상에 영향을 미치며, 계선 시점에서는 선박의 정지 마찰력 영향을 고려해야 함을 밝혔다. 균등한 선박 무게의 증가도 초반부의 계선력 크기에 영향을 미치지만, 선박 관성(타력)이 발생하기 시작하면 유체 저항력은 상쇄된다는 것도 확인할 수 있었다. 또한, 선박 계선 안정성에 크게 영향을 미치는 횡동요와 선수동요 현상은 종경사 상태에서 관성모멘트의 영향으로 심화될 수 있기 때문에 초기 계선력 결정에 유의해야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2012년도 전남대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- 1) N. Mort, D. Linkens, "Self-Tuning Controller for Surface Ship Course and Track-Keeping", In Proceedings, Symposium on Ship Steering Automatic Control, Genova, Italy, pp.175-188, 1980.
- 2) R. Burns, "The use of artificial neural networks for the intelligent optimal control of surface ships", Oceanic Engineering, IEEE Journal, Vol. 20, No. 1, pp.65-72, 1995.
- 3) N. Khaled, N. Chalhoub, "A self-tuning guidance and control system for marine surface vessels" Nonlinear Dyn., Vol. 1, No. 10, 2013. doi:10.1007/s11071-013-0840-9
- 4) A. B. Birn, Ship Hydrostatics and Stability, Elsevier Butterworth-Heinemann, UK, pp.23-70, 121-156, 2005.
- 5) S. K. Das, S. N. Das, "Modeling and analysis of coupled nonlinear oscillations of a floating body in two degrees of freedom", Acta Mechanica, Vol. 181, No.1-2, pp.31-42, 2006. doi:10.1007/s00707-005-0277-4
- 6) K. U. Yang, J. G. Hur, "Numerical Analysis of Proportional Pressure Control Valve using Bondgraph", Journal of KOPSE, Vol.12, No.2, pp.62-70. 2008.