

# 선박의 크기를 고려한 두 선박의 간섭력에 관한 시물레이션

이상도<sup>†</sup>

## Simulation of Interaction Forces between Two Ships Considering Ship's Dimension

Sang-Do Lee<sup>†</sup>

### ABSTRACT

This paper analyzed the motion characteristics of two ships according to the ship's dimension using Ship Handling Simulator. When the panamax container ship passes the smaller ship, peak point and patterns of interaction forces for the moored ship are noticeable. Accordingly, special attention should be paid to the movements of moored ship because surge force and yaw moment changes in the opposite direction before and after condition of ship's beam. However, when the container ship passes the larger moored ship in reverse, peak point stood out on the passing ship at the beginning of ship-to-ship interaction and attraction force on the passing ship occurred steadily during  $1L$ (length overall of passing ship) interval at a point of beam. In addition, as the lateral distance between the hull of two ships decreases less than  $2B$ (breadth of passing ship), interaction forces on the passing ship at the beginning are sharply increase.

**Key words** : Interaction Forces, Ship's Dimension, Moored Ship, Passing Ship, Ship Handling Simulator

### 요 약

본 연구에서는 선박조종시물레이터를 이용하여 선박의 크기에 따른 두 선박의 간섭력의 운동특성을 분석하였다. 파나막스급 컨테이너선이 자선보다 크기가 작은 계류선을 근접통항하는 경우에 계류선에서 간섭력의 피크점과 운동패턴의 변화가 뚜렷하게 나타났다. 이뎨 선박의 정형 상태 전후에서 전후력과 회두모멘트가 반대방향으로 바뀌므로 계류선의 움직임에 각별한 주의가 요구된다. 반대로 파나막스급 컨테이너선이 자선보다 큰 계류선을 통과하는 경우에는 근접상황이 발생하는 초기에 통과선에서 간섭력의 피크점이 나타났고, 통과선에는 정형 이후 약  $1L$ (통과선의 전장)의 구간동안 지속적으로 흡인력이 발생했다. 또한, 통과선과 계류선의 선체간의 수평거리가  $2B$ (통과선의 폭)이하로 줄어들면, 통과선의 초기에 발생하는 간섭력이 급격히 증대된다.

**주요어** : 간섭력, 선박의 크기, 계류선, 통과선, 선박조종시물레이터

## 1. 서론

현대의 선박이 대형화되고 해상환경은 복잡해지면서 입출항 향로나 운하와 같은 좁은 수로에서는 선박의 간섭영향(ship interaction)이나 측벽영향(bank effect)으로 인한 대형사고가 지속적으로 발생하고 있다(Schellhammer,

2014). 도선사, 선장, 항해사와 같은 오랜 숙련자들도 순간적으로 발생하는 간섭력을 제어하여 선박을 운항하지 못하는 것은 속력, 흘수, 수심, 선체의 크기와 같은 영향 요소에 따라 달라지는 각 선박의 운동특성을 미리 예측하지 못했기 때문으로 여겨진다.

두 선박이 근접하여 통과하거나 선박이 측벽이나 지면을 가까이 통과할 때는 선박 주위의 유체 흐름이 빨라지고 그로 인해 간섭영향, 측벽영향, 천수영향이 발생하게 된다. 이러한 간섭력을 추정하는 대표적인 방법으로 2D 섭동법(perturbation), 3D판넬법, RANS기법, 실험기법(experiment) 등이 있다.

**Received:** 07 June 2017, **Revised:** 22 July 2017,  
**Accepted:** 25 July 2017

**† Corresponding Author:** Sang-Do Lee  
E-mail: oksangdo@naver.com  
Korea Maritime and Ocean University

Kijima and Yasukawa(1984)는 세장체 이론(2D섭동법)을 사용하여 간섭력을 계산하였고, 횡력과 회두모멘트는 선박의 속력, 크기 및 횡거리에 영향을 받는다고 설명하였다. Yasukawa(2003)는 3D판넬법을 이용하여 부가질량과 간섭력을 계산하였으며, 근접하는 두 선박의 충돌 과정에 이르는 시뮬레이션을 수행하였다. Vantorre et al.(2002)은 천수예인수조에서 컨테이너선, 벌크선과 탱커선 2척을 대상으로 실험연구를 진행한 결과, 간섭력의 패턴은 선박의 길이비와 속력비에 따라 좌우된다고 기술하였다. 이러한 방법들은 정확도가 높지만 대부분 비전문가가 접근하기 어렵고, 고가의 비용이 요구되며 작업에 장시간이 소요되는 단점이 있다.

반면, 선박조종시뮬레이터는 다양한 크기의 선박모델을 대상으로 영향요소를 입력하여 보다 용이하게 간섭력의 특성을 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 국외에서는 이미 다수의 연구자들에 의해 선박조종시뮬레이터의 간섭력 추정기술이 발전되어 왔는데, Varyani and Vantorre(2006)는 세장체 이론과 수조실험방법을 병행하여 통과선에 의해 유발되는 계류선의 간섭력을 구하는 일반적인 수식을 개선해왔다. Lindberg et al.(2012)은 보다 현실적이며 정확한 간섭력의 계산을 위해 선박에서 발생하는 조파(ship wave)의 영향을 고려한 연구를 수행하였다. 또한, Ozersky and Rogozhina(2016)는 종이해도를 대체하고 있는 전자해도표시정보시스템(ECDIS)에 내재된 선박조종시뮬레이터의 간섭력 추정기술의 시스템을 개발하였으며, Pinkster(2016)는 3D이중모형 퍼텐셜유동을 이용하여 선박의 간섭력을 추정하는 기술을 발전시켜 실시간 선박조종시뮬레이터에 적용하였다.

본 연구에서는 선박의 크기에 따른 간섭력의 운동특성을 분석하기 위해 기준선인 파나막스급 컨테이너선과 그보다 크고 작은 선박이 근접하여 통항할 때 발생하는 두 선박의 운동특성을 분석하였다. 실험에 사용된 선박조종시뮬레이터는 Ozersky and Rogozhina(2016)에 의해 소개된 장비로서, 간섭력의 수학모델은 수조시뮬결과에 기반을 두고 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 선박조종방정식

선박조종시뮬레이터의 기본적인 운동방정식은 Fig. 1과 같이 임의의 고정점에 원점  $O_0$ 가 위치한 지구고정좌표계  $X_0 Y_0 Z_0$ 와 선박의 중력중심(center of gravity, CG)에 원점  $O$ 가 있는 물체고정좌표계  $XYZ$ 로 표현한

다. 선박의 중력중심에 원점  $O$ 가 있는 국부좌표계(local frame)  $X_1 Y_1 Z_1$ 는 지구고정좌표계  $X_0 Y_0 Z_0$ 의 원점이 물체고정좌표계의 원점과 일치하도록 평행하게 이동시킨 것이다. 물체고정좌표계  $X$ 축(longitudinal axis)은 선미에서 선수를 향하고,  $Y$ 축(transverse line)은 좌현(port side)에서 우현(starboard side)으로 향하고,  $Z$ 축(normal axis)은 수선면(waterplane)에 직각인 선저를 향하고 있다. 선박의 위치를 결정하기 위해서 지구고정좌표계의 중력중심 좌표  $x_0, y_0, z_0$ 를 사용하였고, 선체 방향을 결정하기 위해 roll  $\phi$ , pitch  $\theta$ , heading angle  $\psi$ 를 사용하였다. 식 (1)~(3)은 선박운동모델에 사용되는 roll, pitch, yaw rate의 운동방정식으로 물체고정좌표계 위에 벡터사영이 가능하다. 식 (4)~(6)과 같이 선속도의 운동방정식은 물체고정축에 속도벡터의 사영( $u_0, v_0, \omega_0$ )으로부터 중력중심 좌표계의 도함수 ( $\dot{x}_0 = U_{X_0}, \dot{y}_0 = U_{Y_0}, \dot{z}_0 = U_{Z_0}$ )를 결정하게 한다.

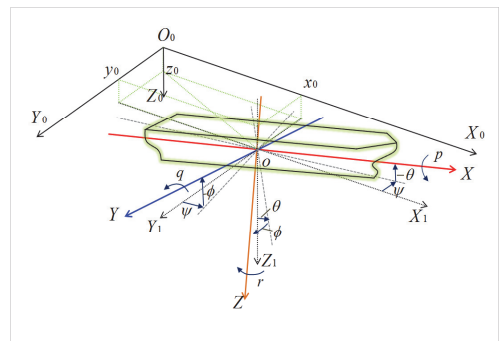


Fig. 1. Coordinate frames

$$p = \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta \tag{1}$$

$$q = \dot{\theta} \cos \phi + \dot{\psi} \cos \theta \sin \phi \tag{2}$$

$$r = -\dot{\theta} \sin \phi + \dot{\psi} \cos \theta \cos \phi \tag{3}$$

$$\dot{x}_0 = u_0 \cos \psi \cos \theta + v_0 (\sin \phi \cos \psi \sin \theta - \cos \phi \sin \psi) + \omega_0 (\cos \phi \cos \psi \sin \theta + \sin \phi \sin \psi) \tag{4}$$

$$\dot{y}_0 = u_0 \sin \psi \cos \theta + v_0 (\sin \phi \sin \psi \sin \theta + \cos \phi \cos \psi) + \omega_0 (\cos \phi \sin \psi \sin \theta - \sin \phi \cos \psi) \tag{5}$$

$$\dot{z}_0 = -u_0 \sin \theta + v_0 \sin \phi \cos \theta + \omega_0 \cos \phi \cos \theta \tag{6}$$

식 (7)~(9)는 surge, sway, heave에 대한 기본식이며, 식 (10)~(12)는 6자유도 운동 중 roll, pitch, yaw에 대한 뉴턴의 운동방정식이다.

$$m(\dot{u}_0 - v_0 r + \omega_0 q) = X \tag{7}$$

$$m(\dot{v}_0 + u_0 r - \omega_0 p) = Y \quad (8)$$

$$m(\dot{\omega}_0 - u_0 q + v_0 p) = Z \quad (9)$$

$$I_{x_c} \dot{p} + (I_{z_c} - I_{y_c})qr = K \quad (10)$$

$$I_{y_c} \dot{q} + (I_{x_c} - I_{z_c})rp = M \quad (11)$$

$$I_{z_c} \dot{r} + (I_{y_c} - I_{x_c})pq = N \quad (12)$$

여기서,  $m$ 은 선박의 질량,  $I_x, I_y, I_z$ 는 각축에 대한 선박의 관성모멘트,  $u, v, \omega$  과  $p, q, r$ 는 물체고정좌표계에 대한 선박의 병진속도 성분 및 회전속도 성분을 나타내고,  $\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0$  과  $\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$ 는 중력 중심 좌표 및 선박의 오일러각의 미분을 의미한다. 또한, 식 (7)~(12)의 우변 항은 좌표계 각각의 방향으로 선박에 작용하는 유체력, 타력, 추력, 풍력 등에 의한 외력과 선박에 작용하는 모멘트의 합을 의미한다(Son, 2014; Lee, 2017).

### 2.2 간섭력을 구하는 방법

근접하여 통항하는 두 선박의 간섭력을 구하는 좌표계는 Fig. 2와 같고, 간섭력의 주요 성분을 구하는 일반적인 표현은 식 (13)~(15)와 같다. 여기서  $F_n$ 은 프루드 수이며,  $C_{XINT}, C_{YINT}, C_{NINT}$ 는 각각 전후력(surge force), 횡력(sway force), 회두모멘트(yaw moment)의 무차원수이다. 간섭력에 관한 방정식은 두 선박 사이에 제한된 유체의 흐름으로 인한 선체주변의 유동 변화를 고려해야 한다. Fig. 2의 좌표계에서 선박의 유체역학적인 간섭력의 힘과 모멘트가 결정되며,  $\xi$ 는 두 선박의 중력중심의 중거리(stagger between the ships),  $\eta$ 는 두 선박의 중심선 간의 수평거리(lateral distance between the centerline of the ships)를 의미한다.

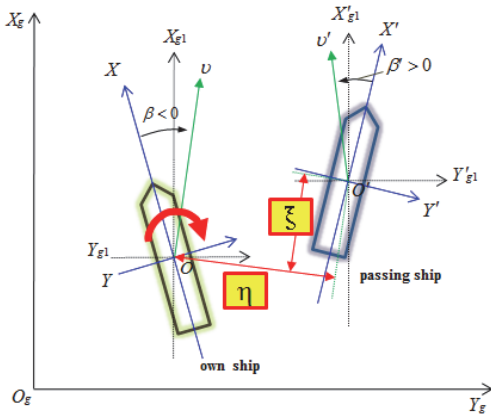


Fig. 2. Definition of ship-to-ship interaction modeling

$$X_{INT} = C_{XINT} \left[ \frac{Fn, (\eta - 0.5B - 0.5B') / (0.5B), \frac{2\xi}{L'}, \psi, \psi', \beta, \beta', \frac{H}{T}, \frac{V'}{V}, \frac{L'}{L}, \frac{B'}{B}, \frac{T'}{L'}}{\frac{\rho U^2}{2} LT} \right] \quad (13)$$

$$Y_{INT} = C_{YINT} \left[ \frac{Fn, (\eta - 0.5B - 0.5B') / (0.5B), \frac{2\xi}{L'}, \psi, \psi', \beta, \beta', \frac{H}{T}, \frac{V'}{V}, \frac{L'}{L}, \frac{B'}{B}, \frac{T'}{L'}}{\frac{\rho U^2}{2} LT} \right] \quad (14)$$

$$N_{INT} = C_{NINT} \left[ \frac{Fn, (\eta - 0.5B - 0.5B') / (0.5B), \frac{2\xi}{L'}, \psi, \psi', \beta, \beta', \frac{H}{T}, \frac{V'}{V}, \frac{L'}{L}, \frac{B'}{B}, \frac{T'}{L'}}{\frac{\rho U^2}{2} L^2 T} \right] \quad (15)$$

## 3. 시뮬레이션 실험구성

### 3.1 시뮬레이션 실험조건 및 대상선박

2D섭동법을 사용한 Lee(2011)는 통과선의 크기에 따른 간섭영향은 미미하다고 하였으나, 선박 간의 폭이 넓고 속력이 높으며 계류선이 작은 경우를 다루었다. 본 연구는 두 선박의 중심선 간의 수평거리와 통과선의 길이비( $\eta/L_1$ )가 0.2~0.5인 범위에서 계류선의 크기를 다르게 하여 파나마급 컨테이너선이 7knots로 통과하는 시뮬레이션을 수행하였다. 통과선의 속력은 일반적인 항만의 접·이안 속력으로 Remery(1974)와 Pinkster(2004)의 연구를 참조하였다. Fig. 3은 파나마급 컨테이너선이 부두에 좌현 접안한 카페리와 LNG선의 우측을 부두와 평행한 방향으로 통과하는 모습을 나타낸 것으로,  $\eta$ 는 두 선박의 중심선 간의 수평거리이고,  $\xi$ 는 두 선박의 중심선

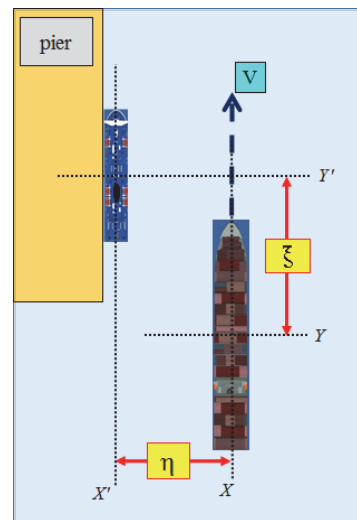


Fig. 3. Diagram of interaction induced by passing ship

간의 종거리이다. Table 1은 실험 대상선박의 주요 제원으로 통과선은 파나마급 컨테이너선, 계류선은 카페리와 LNG선을 선정하였다. 컨테이너선에 비해 카페리의 배수톤수(displacement tonnage)는 3배가량 작고, LNG선은 3배가량 크다. 자연환경 실험조건은 조류, 바람 등의 외력이 없는 정수 조건에서 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 일정한 속력으로 실험 선박이 항주하는 조건으로 설정하였으며, 표류각(drift angle)과 트림(trim)은 0으로 하였다.

Table 1. Main particulars of model ships

Designation	Unit	Passing ship	Moored ship	
		Container ship	Passenger car ferry	LNG carrier
Displacement	[ton]	66,700	20,300	171,300
DWT	[ton]	59,500	3,832	125,700
LOA	[m]	289	175.4	360
Lpp	[m]	273	154.2	346
Breadth(B)	[m]	32.2	31.5	55
Draft(T)	[m]	12	6.65	12

3.2 무차원 계수

Fig. 3에서 두 선박의 중심선 간의 종거리는 식 (16)과 같이 무차원화하였다(Varyani and Vantorre, 2006). 여기서  $L_1$ 은 자선(own ship)의 전장(length overall,  $L_{OA}$ )이며,  $L_2$ 는 상대선(target ship)의 전장이다. 선박조종시 시뮬레이션을 수행하여 도출된 두 선박의 간섭력인  $X_{INT}$ ,  $Y_{INT}$ ,  $N_{INT}$ 는 전후력, 횡력, 회두모멘트를 의미하며, 아래의 식 (17)과 같이 무차원화하였다. 여기서  $U$ 는 통과선의 속력을 의미하고,  $\rho$ 는 밀도,  $T$ 는 선박의 흘수(draft)이다.

$$\xi' = \frac{2\xi}{L_1 + L_2} \tag{16}$$

$$C_{XINT} = \frac{X_{INT}}{\frac{1}{2}\rho U^2 L T}, \quad C_{YINT} = \frac{Y_{INT}}{\frac{1}{2}\rho U^2 L T},$$

$$C_{NINT} = \frac{N_{INT}}{\frac{1}{2}\rho U^2 L^2 T} \tag{17}$$

4. 시뮬레이션 결과 고찰

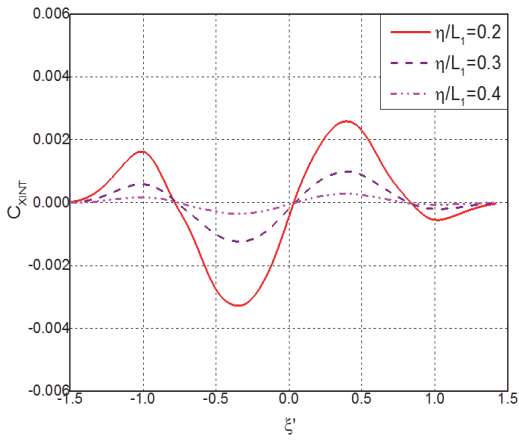
Fig. 4~Fig. 5는  $h/T = 1.2$ 에서 파나마급 컨테이너

선이 계류선인 카페리와 LNG선을 각각 7knots로 통과시에  $\eta/L_1 = 0.2 \sim 0.5$ 에 대한 전후력, 횡력 및 회두모멘트를 도기한 것이다. 그래프의 x축은 두 선박의 중심선 간의 종거리인데,  $\xi = -1$ 은 계류선의 선미끝단에 통과선의 선수가 위치한 상태이고,  $\xi = 1.0$ 은 통과선이 계류선을 통과한 후에 통과선의 선미끝단과 계류선의 선수끝단이 위치한 상태이다. 그래프의 y축은 전후력, 횡력, 회두모멘트의 무차원값인  $C_{XINT}$ ,  $C_{YINT}$ ,  $C_{NINT}$ 를 나타냈는데, Fig. 4와 Fig. 5에서 (a)와 (b)는 전후력, (c)와 (d)는 횡력, (e)와 (f)는 회두모멘트이며, 그림의 왼쪽은 계류선, 오른쪽은 통과선으로 두고 비교하였다.

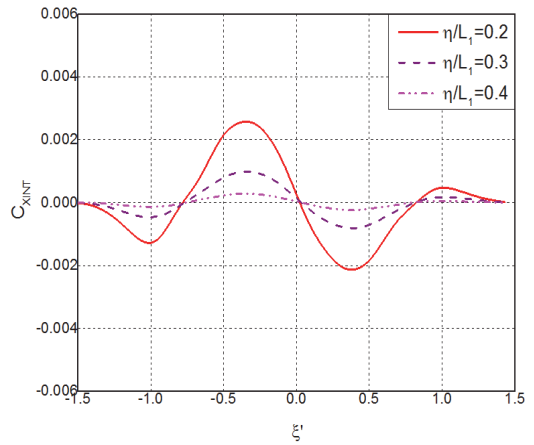
Fig. 4의 (a)에서 계류선보다 큰 파나마급 컨테이너선이 근접하여 통과하면 계류선에는 전진-후진-전진방향으로 전후력의 운동특성이 나타난다. 계류선의 선수가 통과선 쪽을 향해 정박하는 경우도 고려할 수 있으므로, 계류선의 y축 양의 값은 통과선의 진행방향이고, 음의 값은 후진방향인 그 반대방향으로 초기에 통과선이 오고 있는 쪽이라 보면 된다. Fig. 4 (a)의  $\xi' = -0.4$ 의 지점을 보면, 통과선이 근접하여 두 선박이 정횡(abeam)의 지점에 위치하기 전에 계류선에는 통과선이 오고 있는 쪽(후진방향)으로 강한 전후력이 작용한다. 반면에 Fig. 4의 (b)와 같이 통과선에는 계류선에 의해 초기에 후진방향-전진방향으로 전후력이 작용하고, 정횡 이후에는 후진방향으로 작용하여 피크를 이루고 다시 감소한다. 결국, 두 선박은 근접상황에서 반대방향으로 전후력이 작용한다.

Fig. 4의 (c)는 계류선의 횡력을 나타낸 것으로, y축 양의 값(우현 방향)은 흡인력(attraction force)이고 음의 값(좌현 방향)은 반발력(repulsion force)이다. 통과선의 경우는 Fig. 4의 (d)에서 y축 양의 값(우현 방향)이 반발력이고, 음의 값(좌현 방향)은 흡인력이다. 따라서 계류선과 통과선의 횡력은 반발력-흡인력-반발력의 패턴을 보인다는 것을 알 수 있다. Fig. 4의 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 계류선과 통과선은 정횡시에 최대흡인력이 작용하는 것에 주의해야 한다.

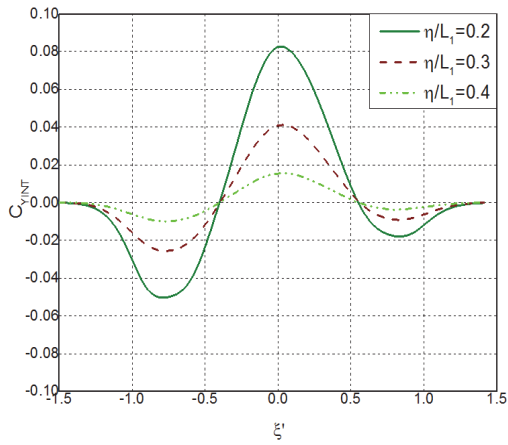
Fig. 4의 (e)는 계류선의 회두모멘트를 나타낸 것으로, y축 양의 값은 시계방향으로 통과선 쪽을 향하는 내방모멘트(bow-inward)이고 음의 값은 반시계방향으로 부두 쪽으로 향하는 외방모멘트(bow-outward)이다. Fig. 4의 (f)에서 통과선의 y축 양의 방향은 시계방향으로 통과선이 위치한 바깥쪽으로 향하는 외방모멘트이고, y축 음의 방향은 반시계방향으로 계류선이 위치한 쪽으로 향하는 내방모멘트이다. 계류선은 내방-외방-내방모멘트가 피크



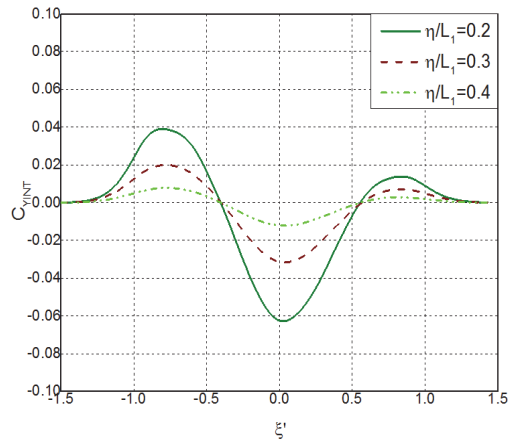
(a) moored passenger car ferry (surge)



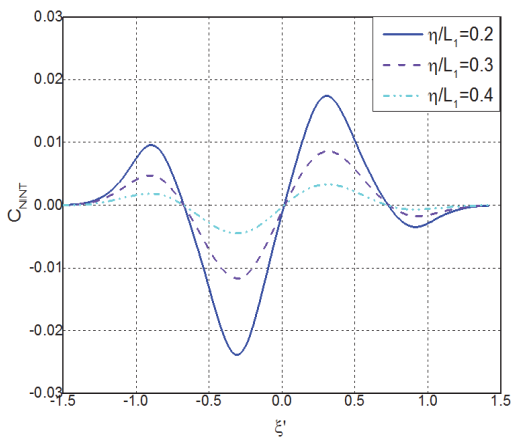
(b) passing container ship (surge)



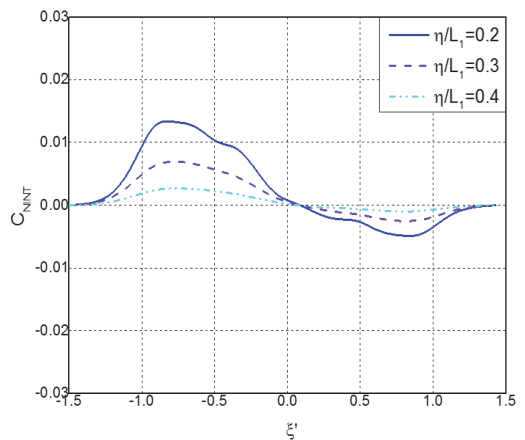
(c) moored passenger car ferry (sway)



(d) passing container ship (sway)

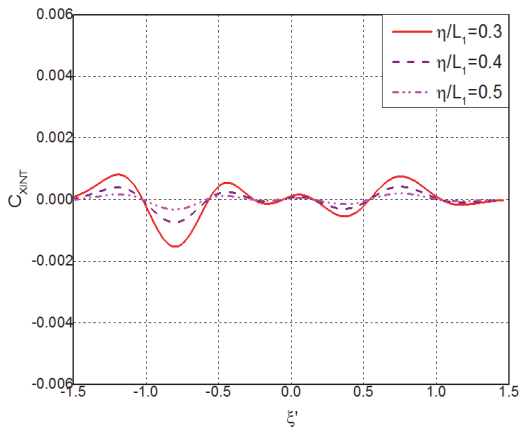


(e) moored passenger car ferry (yaw moment)

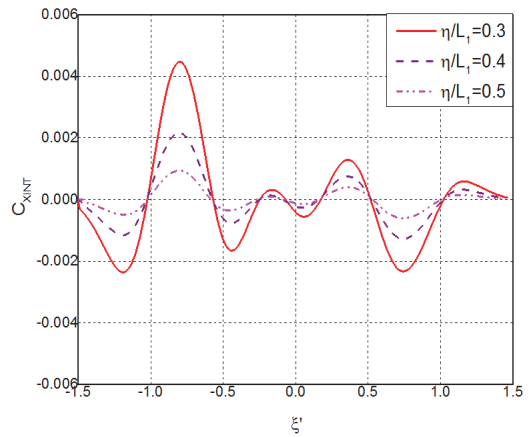


(f) passing container ship (yaw moment)

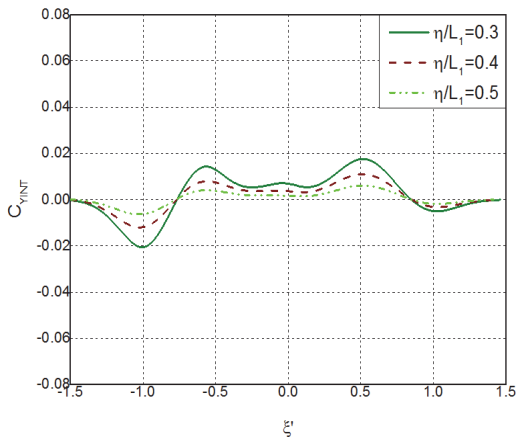
**Fig. 4.** Non-dimensional coefficients of moored passenger car ferry(left) and passing container ship(right)



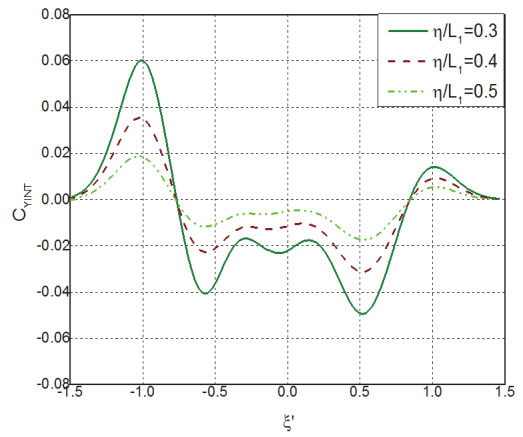
(a) moored LNG carrier (surge)



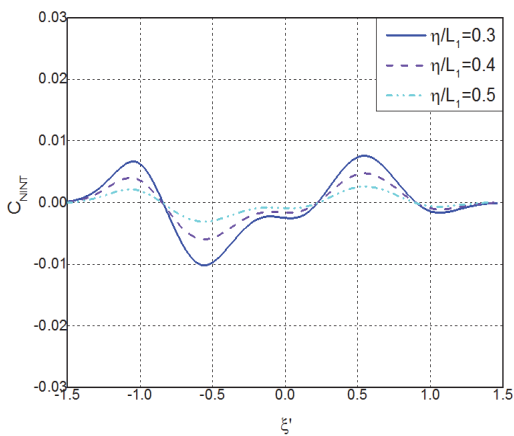
(b) passing container ship (surge)



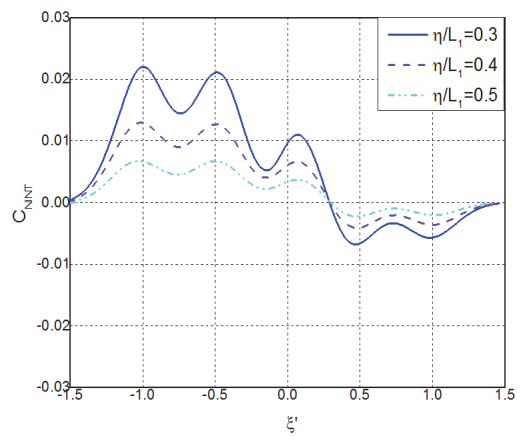
(c) moored LNG carrier (sway)



(d) passing container ship (sway)



(e) moored LNG carrier (yaw moment)



(f) passing container ship (yaw moment)

Fig. 5. Non-dimensional coefficients of moored LNG carrier(left) and passing container ship(right)



에 도달하면서 급변하는 반면에, 통과선은 외방모멘트가 초기에 작용하고 감소하는 형태이다. 계류선은  $\xi = -1.0$ , 즉 통과선이 계류선의 선미 끝단에 오는 무렵에 통과선 쪽으로 회두하기 시작하여 정횡 이전에 반대방향인 부두 쪽으로 회두하여 피크에 도달하고 감소한다. 통과선이 지나간 후에 계류선은 통과선의 선미쪽으로 다시 회두하여 피크에 도달한다. 한편, Fig. 4의 (f)에서 상대적으로 큰 통과선에는 계류선과 근접하는 초기에 외방모멘트가 작용하고, 점접 감소하는 것을 볼 수 있다.

파나막스급 컨테이너선이 자선보다 작은 카페리를 근접 통과한 결과, 계류선인 카페리에 작용하는 전후력, 횡력, 회두모멘트의 특성은 전장 300미터 이하의 선박을 대상으로 실시한 기존의 연구들과 유사한 결과가 도출되었다 (Remery, 1974; Pinkster, 2004; Varyani and Vantorre, 2006).

Fig. 5는 계류선이 통과선보다 큰 LNG선을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였을 때, 두 선박에 작용하는 간섭력을 도시한 것이다. 상대적으로 크기가 작은 경우인 Fig. 4와 비교해 볼 때, 횡력이 통과선보다 작은 선박은 정횡시에 계류선에서 최대 발생한 반면에, 대형선박인 LNG선인 경우에는 정횡시에 높은 봉우리가 나타나지 않은 것이 눈에 띈다. 이 경우에는 횡력이 근접하는 상황의 초기에 통과선에서 최대 발생하고, 통과선에는  $1L$  구간에 지속적으로 흡인력이 발생하였다.

Fig. 5의 경우는 계류선보다 통과선에서 전후력, 횡력, 회두모멘트가 뚜렷하게 나타나고 있는데, 주로 간섭력이 발생하는 근접상황의 초기에 발생하고 있다. 또한 계류선이 자선보다 큰 LNG선인 경우에는  $\eta/L_1 = 0.4$ 에서  $0.3$ 으로 수평거리가 줄어들면, 즉 파나막스급 컨테이너선을 기준으로 두 선체간의 수평거리가  $2.2B$ (통과선의 선폭)에서  $1.3B$ 로 감소하면, 간섭력의 피크점은 2배 가량 높게 나타났다.

항내 입항하는 선박의 크기에 따른 계류선의 간섭력을 연구한 Lee(2011)는 1만 DWT의 계류선( $L_{pp}=120m$ )을 컨테이너선이 15knots로 통과한 결과, 현측 간의 거리가 150미터 이상( $3B$  이상)일 경우에는 선박의 크기가 간섭력에 미치는 영향은 미미하다고 하였는데, 수평거리가 멀면 간섭영향이 약화되기 때문으로 보인다. 그의 후속 연구에서 두 선박의 중심선 간의 횡거리가  $0.6L$ 이상일 때 간섭력은 크게 줄어든다고 기술하였다(Lee and Moon, 2014). Fig. 4와 Fig. 5를 통해  $\eta/L_1 = 0.4$ 에서  $0.3$ 으로 수평거리가 줄어들면 계류선과 통과선에 작용하는 간섭

력이 달라지는 것을 확인하였다. 통과선 기준으로  $0.3L_1$  ( $1.3\sim 1.7B_1$ )에서는 통과선의 운동패턴과 간섭력의 크기가 계류선의 크기에 따라 다르고, 동일한 통과선에 대한 크고 작은 계류선의 운동패턴과 간섭력의 크기도 다르다. 즉,  $2B$ 이하의 보다 근접상황에서 각 선박의 간섭력은 상대선의 크기에 따라 달라진다고 판단된다.

## 5. 결론 및 향후연구과제

파나막스급 컨테이너선이 부두에 계류 중인 크기가 다른 선박을 근접 통과시킨 선박조종시뮬레이션을 수행하였다. 통과선과 계류선에 나타나는 간섭력의 특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 자선보다 배수톤수가 작은 상대선을 통과하는 경우에는 기존의 연구와 같이 계류선에 간섭력의 피크점과 정횡 전후에 운동의 변화가 뚜렷하게 나타나므로 크기가 작은 계류선에서 선체이동에 각별한 주의가 요구된다. 수면하면적이 상대적으로 큰 선박이 계류 중인 경우에는 근접상황이 발생하는 초기에 통과선에 간섭력의 피크점이 분명하게 나타났다.
- 2) 파나막스급 컨테이너선이 자선보다 큰 초대형선을 근접하여 통과할 때, 통과선에서는 정횡 전후 약  $1L$ 의 구간동안 지속적으로 계류선 쪽으로 흡인력이 발생하였다. 또한, 통과선과 계류선의 선체간의 수평거리가  $2B$ 이하로 줄어들면, 통과선의 초기에 발생하는 간섭력이 급격히 증대되었다.

이와 같이 상대선의 크기에 따라 간섭력은 다른 형태를 보이게 되므로 선박이 대형화되는 현대의 추세에서 근접하는 대형선의 통과거리에 대한 면밀한 대책도 수립되어야 할 것이다. 본 연구의 한계는 이미 수조실험을 기반으로 모델링된 선박조종시뮬레이터의 선박모델을 대상으로 크기가 다른 선박의 경우에 간섭력의 특성을 고찰하는 수준으로만 진행된 점이다. 향후 실선에서 선박의 크기 및 간섭의 상황별 운동특성을 분석하는 연구가 진행되면 보다 유용한 정보가 될 것으로 판단된다.

## References

1. Kijima, K. and H. Yasukawa (1984) "Manoeuvrability of ships in narrow waterway", *Journal of the Society*

- of Naval Architects*, 156, 171-179.
2. Lee, C.K. (2011) "Hydrodynamic interaction effects vessels in confined waters", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 35(10), 799-804.
  3. Lee, C.K. and S.B. Moon (2014) "A study on the minimum safe distance between two vessels in confined water", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 38(6), 561-565.
  4. Lee, S.D. (2017) "A study on the distance of safe passing considering ship to ship interaction", Doctoral Dissertation, Korea Maritime and Ocean University.
  5. Lindberg, O., H.B., Bingham, A.P., Engsig-Karup and P.A. Madsen (2012) "Towards real time simulation of ship-ship interaction", *Proceedings of the 27th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies(IWWWFB 2012)*, Copenhagen, Denmark.
  6. Ozersky, A. and E., Rogozhina (2016) "Shallow water and interaction effects in ECDIS real-time motion prediction", *Proceedings of the 4th International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water*, Hamburg, Germany, 186~196.
  7. Pinkster, J.A. (2004) "The influence of a free surface on passing ship", *International Shipbuilding Progress*, 51(4), 313-338.
  8. Pinkster, J.A. (2016) "Progress on real-time prediction of ship-ship-shore interactions based on potential flow", *Proceedings of the 4th International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water*, Hamburg, Germany, 157-167.
  9. Remery, G.F.M. (1974) "Mooring forces induced by passing ships", *Proceedings of the 6th Offshore Technology Conference*, Houston, USA, 349-363.
  10. Schellhammer, V. (2014) *Collision between the CMV CONMAR AVENUE and CMV MAERSK KALMAR on 7 May 2013 on the Outer Weser*, Federal Bureau of Maritime Casualty Investigation (BSU), Hamburg, 6-42.
  11. Son, K.H. (2014), *Motion and Manoeuvrability of Marine Vehicles*, Dasom Press, 1-169.
  12. Vantorre, M., E. Verzhbitskaya and E. Laforce (2002) "Model test based formulations of ship-ship interaction forces", *Ship Technology Research*, 49, 124-141.
  13. Varyani, K.S. and M. Vantorre (2006) "New generic equation for interaction effects on a moored container ship due to a passing tanker", *Journal of Ship Research*, 50(3), 278-287.
  14. Yasukawa H. (2003) "Maneuvering motions of two ships in close proximity", *Transactions of the West-Japan Society of Naval Architects*, 105, 43-54.



이 상 도 (oksangdo@naver.com)

2002 목포해양대학교 해상운송시스템 학사  
 2011 목포해양대학교 해양안전시스템 석사  
 2017 한국해양대학교 항해학과 박사

관심분야 : 선박의 간섭영향, 부유체 운동