

제한수역에서 측벽부근을 항해하는 두 선박간의 상호영향

이 춘 기* · 윤 점 동**

*한국해양대학교 수중운동체특화연구소 연구원, **한국해양대학교 운항시스템공학부 명예교수

The Interaction Effects Between Two Vessels in the Proximity of Bank Wall in Restricted Waterways

Chun-Ki Lee* · Jeom-Dong Yoon**

*Researcher, Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime University

**Emeritus Professor, Division of Ship Operating Systems Eng., Korea Maritime University

요 약 : 제한수역에서 선박조종시 선박간에 생기는 상호간섭력과 또한 이러한 선박들이 측벽으로부터 받는 간섭력은 항로설계 및 선박조종운동의 관점에서 보았을 때 대단히 중요한 문제이다. 이 논문에서는 측벽 부근을 항해하는 두 척의 대형선박에 미치는 측벽의 간섭 영향에 대해서 다루었다. 이 논문의 목적은 협수로나 천수로와 같은 제한수로에서 근접하여 항해하는 선박들이 안전조종운동을 할 수 있도록 상호 간섭력을 최소화 할 수 있는 선박의 속력 및 선박과 선박 및 측벽 상호간의 거리에 대한 계산을 행하고, 제한된 항로에서 안전하게 항해할 수 있는 기준을 마련하는데 있다.

핵심용어 : 제한수로, 선박조종운동, 간섭력, 안전항해, 측벽의 영향

ABSTRACT : *The manoeuvring of vessels and hydrodynamic interaction between them and bank wall in restricted waterways have been treated as important factors in channel design and safe piloting in the water areas. This paper examines the interaction forces and moments acting on two vessels running closely in the proximity of bank wall. The object of this paper is to propose a guideline of safe velocity of vessels and distance between them for navigating safely in confined sea areas.*

KEY WORDS : *Restricted waterways, Ship manoeuvring, Hydrodynamic Interaction forces, Safe navigation, Bank wall*

1. 서 론

일반적으로 협수로나 천수로와 같은 제한수역에서 선박간의 상호간섭력과 이러한 선박들이 측벽으로부터 받는 간섭력은 선박조종운동의 관점에서 보았을 때 상당히 중요한 문제이다. 또한 많은 선박들이 왕래하여 교통량이 폭주하는 해역에서는 근접하여 항해하는 선박간의 간섭작용과 장애물 또는 부두에서 오는 간섭, 천수영향 및 외력 등으로 인하여 선박조종이 상당히 복잡해진다. 따라서 이와 같은 해역에서는 선장 혹은 선박조종자의 의도와는 달리 여러 종류의 요인들이 작용하여 해양사고로 이어

질 수 있는 위험성이 있다. 그렇기 때문에 해양사고 방지를 위하여 선박간의 상호간섭력과 이러한 선박들이 측벽으로부터 받는 간섭력의 영향 등을 고려한 조종성능을 명확하게 추정하는 것이 중요하다. 한편, 지금까지 근접하여 항행하는 선박간의 상호간섭력과 항행선박이 교각이나 측벽으로부터 받는 간섭력의 추정에 대해서는 다수의 연구자에 의해 수행되어 왔고(Yeung et al., 1980, Davis, 1986, Kijima et al., 1987, 1991, Yasukawa, 1991, Landweber et al., 1991, Korsmeyer et al., 1993), 이들 결과를 실용화하는 연구가 조금씩 진전되고 있는 상황이다. 이러한 상황에서 안전 항해의 측면에서 보았을 때, 이 연구도 협수로에서의 해양사고 방지를 위한 움직임의 하나로 추월관계에 놓여져 있는 선박간의 상호간섭력과 이러한 선박들이 측벽으로부터 받는 간섭력에 대해서 고찰 하려고 한다. 따라서 이 논문에

*lceck@bada.hhu.ac.kr 051)410-4709

**yoonjcomdong 051)416-7082

서는 추월관계에 놓여져 있는 두 척의 대형선박이 반원 형상을 하고 있는 측벽 근방을 항해하는 경우 안전항해에 지장이 없는 선박의 안전속력 및 선박 상호간의 안전거리에 대한 수치계산을 행하고, 시뮬레이션을 행하였다.

2. 기본식

먼저 임의 형상의 측벽 부근을 항해하는 두 선박을 가정하자. Fig.1에 표시한 것처럼, 공간고정좌표계 $o-xy$ 와 측벽 근방을 항해하는 각 선박의 선체중심을 원점으로 하는 선체고정좌표계 $o_i-x_iy_i$ ($i=1,2$)를 생각할 수 있다. 각 선박은 선속 U_i ($i=1,2$)로 측벽 근방을 직진하는 것으로 가정하고, 선체 중심선과 측벽간의 측방거리를 S_{Pi} ($i=1,2$)로 한다.

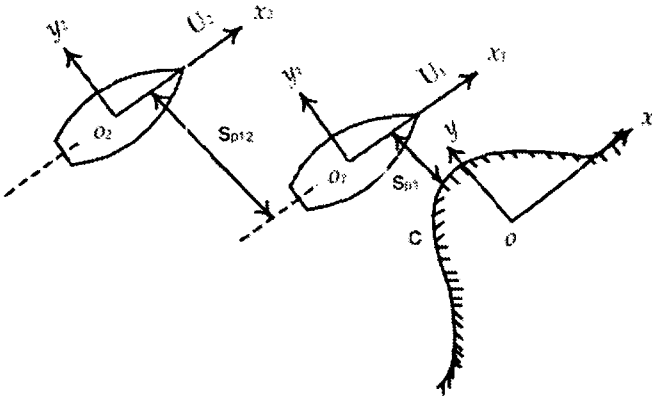


Fig. 1 Coordinate system

여기서, 자유표면을 고정벽으로 가정하고 선체를 double body로 생각하면, 선체의 운동에 의한 선체 속도포텐셜 ϕ 는 다음의 연속의 조건을 만족해야 한다.

$$\nabla^2 \phi(x, y, z; t) = 0 \quad (1)$$

또, $\phi(x, y, z; t)$ 가 만족해야할 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n_c} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=\pm h} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n_i} \Big|_B = U_i(t)(n_x)_i \quad (4)$$

$$\phi \rightarrow 0 \text{ at } \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \rightarrow \infty \quad (5)$$

여기서, B_i 는 선체표면, h 는 수심, C 는 측벽 표면을 나타내고, $(n_x)_i$ 은 B_i 와 C 에 대한 안쪽 방향으로의 단위법선벡터 n_i 의 x_i 방향성분을 나타낸다. 그리고 식(2),(3),(4),(5)는 각각 측벽, 수심 및 자유표면, 선체표면, 무한원방의 경계조건을 의미한다.

결국, 이상 기술한 경계조건을 만족하도록 속도포텐셜 ϕ 를 결정하면 좋으나, 완전하게 속도포텐셜을 구하기가 어렵기 때문에 선체주위의 유동장을 내부영역과 외부영역의 두개의 영역으로 나누어서 문제를 간단하게 하고자 한다. 따라서 선체를 세장체로 가정하고, slenderness parameter $\epsilon (\ll 1)$ 을 도입하고, 선체길이 L 에 비해서, 선폭 B , 흘수 d , 수심 h 는 ϵ 의 오더(order)로하고, 선체중심선과 측벽과의 횡방향거리 S_{Pi} ($i=1,2$) 및 두 선박간의 횡방향거리 S_{P12} 는 선체길이 L 과 같은 오더(order)라고 가정한다.

2.1 내부영역문제

선체고정좌표계에 있어서, 아래의 차수로 되는 영역을 내부영역으로 정의한다.

$$x_i = O(1), \quad y_i = z_i = O(\epsilon) \quad (6)$$

그리고, 내부영역에 관한 속도 포텐셜을 Φ_i 라고 하면, Φ_i 를 만족해야 할 조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 \Phi_i}{\partial y_i^2} + \frac{\partial^2 \Phi_i}{\partial z_i^2} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial N_i} \Big|_{\Sigma_i(x_i)} = U_i(t)(n_x)_i \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial z_i} \Big|_{z_i=\pm h} = 0 \quad (9)$$

여기서, $\Sigma_i(x_i)$ 은 선박의 x_i 의 위치에 있어서 횡단면을 나타내고, N_i 는 선체횡단면에 있어서 법선벡터방향의 안쪽방향 2차원의 단위법선벡터이다. 결국, 내부영역에 대한 속도포텐셜 Φ_i 를 구하는 문제는, 두개의 평행한 벽사이에 있는 물체의 2차원문제로 귀착하게 된다.

$$\lim_{y \gg \epsilon} \Phi_i(y_i, z_i; x_i; t) = -\frac{U_i(t)S'_i(x_i)}{4h} y_i + V_i^*(x_i, t)\{y_i \pm C_i(x_i)\} + f_i(x_i, t) \quad (10)$$

단, 제 1항은 직진운동에 의한 속도 포텐셜을 의미하고, 제 2항은 횡방향 흐름에 의한 속도 포텐셜을 의미하며, $f_i(x_i, t)$ 는 무한원방의 조건이 만족되지 않기 때문에 나오는 정수항이다.

여기서, $S'_i(x_i)$ 는 횡단면 $\sum_i(x_i)$ 에서의 횡단면적의 x_i 축방향의 변화율, V_i^* 는 cross flow의 속도를 의미한다. 또한, $C_i(x_i)$ 는 blockage coefficient를 나타내며, $C_i(x_i)$ 의 값은 (Taylor, 1973)에 의해 구해진 단형단면에 대한 근사식을 이용한다.

2.2 외부영역문제

선체고정좌표계에 있어서, 아래의 차수로 되는 영역을 외부영역으로 정의한다.

$$x_i = y_i = O(1), \quad z_i = O(\epsilon) \quad (11)$$

그리고, 외부영역에 관한 속도 포텐셜을 ϕ_i 라고 하고, 이것을 $z = 0$ 에서 전개하여 연속방정식(1)을 적용하면, leading order term ϕ_i 는 식(12)을 만족하게 된다.

$$\frac{\partial^2 \phi_i}{\partial x_i^2} + \frac{\partial^2 \phi_i}{\partial y_i^2} = 0 \quad (12)$$

또한 각 선박의 선체중심선상에 source 와 vortex, 두 선박의 반류에 vortex를 분포시키고, 축벽의 경계조건을 고려한 source 와 vortex에 관한 그린함수를 각각 $G_i^{(\sigma)}, G_i^{(\gamma)}$ 로 하자.

결국, 외부영역에 의한 속도 포텐셜 ϕ_i 의 내부극한을 생각하면, 다음 식(13)으로 표현될 수 있다.

단, (x_0, y_0) 는 선박의 선체고정좌표계 $o_i - x_i y_i$ 에 대한 점의 공간좌표계 $o - xy$ 에서의 좌표를 표시하고 있다. 그리고 (ξ, η) 는 source 혹은 vortex가 존재하는 점(source point, vortex point)를 의미하고, $G_i^{(\sigma)}, G_i^{(\gamma)}$ 는 source와 vortex에 관한 Green 함수, $H_i^{(\sigma)}, H_i^{(\gamma)}$ 는 각각 축벽의 존재로 인하여 부가되는 함수를 의미하며, γ_i 는 vortex의 강도를 의미한다.

$$\begin{aligned} \lim_{y \ll 1} \phi_i(x_i, y_i; t) &= \sum_{j=1, j \neq i}^2 \frac{1}{2\pi} \left[\int_{L_j} \sigma_j(s_j, t) G_j^{(\sigma)}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_j \right. \\ &\quad + \int_{L_j \omega_j} \gamma_j(\xi_j, t) G_j^{(\gamma)}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_j \\ &\quad + \left\{ \int_{L_j} \sigma_j(s_j, t) \frac{\partial G_j^{(\sigma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_j \right. \\ &\quad \left. + \int_{L_j \omega_j} \gamma_j(s_j, t) \frac{\partial G_j^{(\gamma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_j \right\} y_i \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{L_i} \sigma_i(s_i, t) \{ \ln x_i - \xi_i + H_i^{(\sigma)}(x_0, y_0; \xi, \eta) \} ds_i \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{L_i \omega_i} \gamma_i(s_i, t) \{ \theta_i + H_i^{(\gamma)}(x_0, y_0; \xi, \eta) \} ds_i \\ &\quad \pm \frac{1}{2} \int_{x_i}^{L_i/2} \gamma_i(\xi_i, t) d\xi_i + \frac{\sigma_i(x_i)}{2} y_i \\ &\quad + \left[\frac{1}{2\pi} \int_{L_i} \sigma_i(s_i, t) \frac{\partial H_i^{(\sigma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_i \right. \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{L_i \omega_i} \gamma_i(s_i, t) \left\{ \frac{1}{x_i - \xi_i} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\partial H_i^{(\gamma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) \right\} ds_i \Big] y_i \end{aligned} \quad (13)$$

2.3 기본적인방정식과 유체력

앞에서 기술한 것처럼 문제를 간단하게 하기 위하여 선체 주위의 유동장을 내부영역과 외부영역의 2영역으로 나누고, 각각의 영역에 있어서 경계조건을 만족하는 2차원 속도포텐셜을 구하였으며 내부영역에서의 속도포텐셜의 외부극한(Outer limit) 식과 외부영역에서의 속도포텐셜의 내부극한(Inner limit)식에 대해서 같은 성질을 가지는 항을 짝게 두고 Matching의 조건으로 해서 계산하면 $\gamma_i(\xi_i, t)$ 에 관한 기본적인방정식이 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2C_i(x_i)} \int_{x_i}^{L_i/2} \gamma_i(\xi_i, t) d\xi_i - \frac{1}{2\pi} \int_{L_i \omega_i} \gamma_i(s_i, t) \\ \left\{ \frac{1}{x_i - \xi_i} + \frac{\partial H_i^{(\gamma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) \right\} ds_i \\ - \sum_{j=1, j \neq i}^2 \frac{1}{2\pi} \int_{L_j \omega_j} \gamma_j(s_j, t) \frac{\partial G_j^{(\gamma)}}{\partial y_i}(x_0, y_0; \xi, \eta) ds_j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2\pi} \int_L \sigma_i(s_i, t) \frac{\partial H_i^{(\sigma)}(x_0, y_0; \xi, \eta)}{\partial y_i} ds_i \\
&+ \sum_{j=1, j \neq i}^2 \frac{1}{2\pi} \int_L \sigma_j(s_j, t) \frac{\partial G_j^{(\sigma)}(x_0, y_0; \xi, \eta)}{\partial y_i} ds_j \quad (14)
\end{aligned}$$

따라서, 이 적분방정식을 γ_i 에 대해서 풀면 된다. 단, γ_i 에 관해서는 다음의 조건을 만족할 필요가 있다.

$$\begin{aligned}
\gamma_i(x_i, t) &= \gamma_i(x_i) \quad \text{for } x_i < -\frac{L_i}{2} \\
\int_{-\infty}^{L_i/2} \gamma_i(\xi_i, t) d\xi_i &= 0 \\
\gamma_i(x_i = -\frac{L_i}{2}, t) &= -\frac{1}{U_i} \frac{d\Gamma_i}{dt} \quad (15)
\end{aligned}$$

단, Γ_i 는 선체주위의 순환을 나타낸다.

이상의 적분방정식을 푸는 것으로부터 와류분포가 구해지면, 베르누이 정리로부터 선체중심선상에 대한 압력차 ΔP 가 얻어지고, 아래 식으로부터 선체에 작용하는 횡력 F_i 와 중앙단면 주위의 선수동요 모멘트 M_i 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
F_i(t) &= - \int_{-L_i/2}^{L_i/2} \Delta P(x_i, t) dx_i \\
M_i(t) &= - \int_{-L_i/2}^{L_i/2} x_i \Delta P(x_i, t) dx_i \quad (16)
\end{aligned}$$

3. 선체에 작용하는 간섭력의 수치계산 예

이 절에서는 앞의 식을 기초로 하여 추월관계에 놓여져 있는 두 척의 대형선박이 측벽 근방을 향해하는 경우 근접하여 향해하는 선박들의 안전조종운동에 영향을 미치는 상호 간섭력 및 측벽으로부터 받는 간섭력을 구한다. 두 척에 대한 계산의 대상 선박은 Table 1에 표시한 일반 화물선으로 하였고, Fig.2와 같이 임의의 측벽에 대해서는 반원(r) 현상을 하고 있는 측벽으로 하였다. 계산조건은 외력이 없다고 가정하고, 반원 r의 크기를 20m로 계산 하였으며, U_1 을 8kt로 고정하고, U_2 를 각각 10kt, 12kt, 16kt로 하였다. 그림 2에서 S_{P1} ($i=1,2$)는 선박과 측벽간의 종방향 거리를 의미하고, S_{P2} ($i=1,2$)는 선박과 측벽간의 횡방향 거리를 의미하며, S_{P12} 는 두 선박간의 횡방향 거리를 의미한다. 또한 계산에 의해 구해진 두 선박간의 상호 간섭력 및 이들 선박이 측벽으로부터 받는 유체력과 모멘트는 다음 식으로 무차원화 된다.

$$C_{Fi} = \frac{F_i}{\frac{1}{2} \rho U_i^2 L_i d}, \quad C_{Mi} = \frac{M_i}{\frac{1}{2} \rho U_i^2 L_i^2 d} \quad (17)$$

Table 1 Principal particulars

Length	L_{pp}	155.0m
Breadth	B	26.0m
Draft	d	8.7m
Block coef.	C_B	0.698

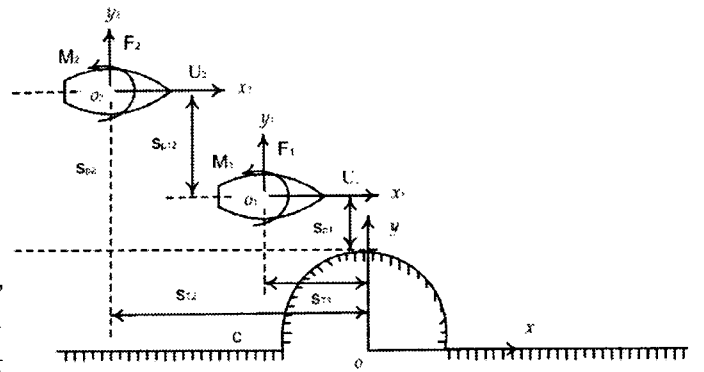


Fig. 2 Coordinate system for semi-circle bank wall

그림 2에서 힘과 모멘트에 대한 부호는 측벽에 대한 반발력 (Repulsive force)과 bow-outward moment를 +로 하였다.

Fig.3 ~ Fig.6은 반원 현상을 하고 있는 측벽 근방을 향해하는 두 선박의 상호 간섭력 및 이들 선박이 측벽으로부터 받는 간섭력(유체력)의 계산 결과를 나타내고 있다. 여기서 수심 h와 흘수 d와의 비, $h/d=1.2$ 로 하였고, U_1 을 8kt, U_2 를 10kt로 하였으며, 피추월선박과 측벽과의 거리 $S_{P1}/L_1 = 0.1$ 로 고정하였고, 추월관계에 있는 두 선박간의 횡방향거리 S_{P12}/L_1 을 각각 0.4, 0.6, 0.8, 1.0으로 계산하였다.

Fig 3에서 피추월선박에 작용하는 횡방향 힘의 일반적인 경향을 설명하면 다음과 같다. $S_{T1}/L_1 < -1.0$ 의 부근에서는 두 선박간의 상호간섭력과 측벽의 영향으로 인해서 측벽방향으로 흡인되는 흡인력이 작용하고 있다. 그리고 대략 $S_{T1}/L_1 = -1.0$ 지점에서부터 두 선박간의 상호간섭력과 돌체(반원)의 영향이 크게 작용하면서 돌체와 반대 방향으로 반발력이 작용 하였다가 다시 측벽방향으로의 흡인력이 작용하는 것으로 나타난다. 이 흡인력은 다시 $S_{T1}/L_1 = 1.0$ 부근을 지나면서 돌체(반원)의 영향은 없어지기 시작하고 두 선박간의 상호간섭력과 측벽과의 측방거리에 의한 영향만이 작용하면서 측벽방향으로 흡인되는 흡인력이 작용하는 것을 알 수 있다.

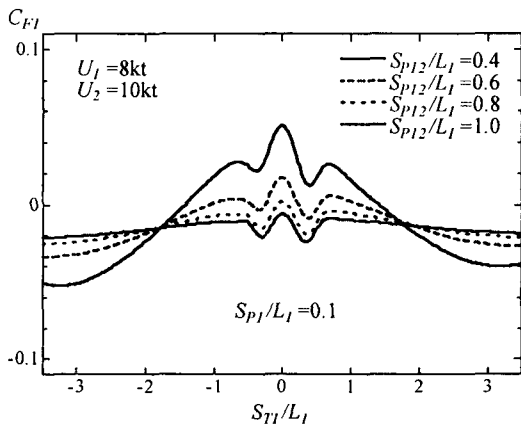


Fig. 3 Lateral force coefficients acting on ship 1 with function of the lateral distance

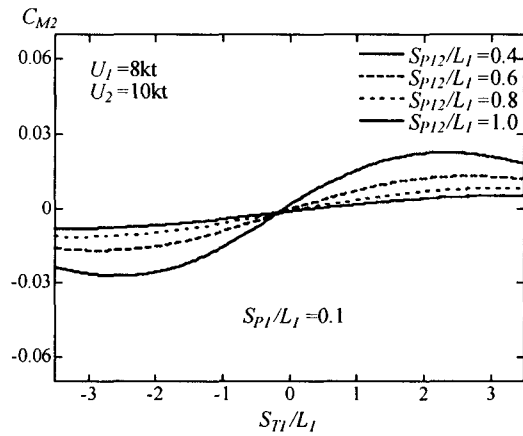


Fig. 6 Yawing moment coefficients acting on ship 2 with function of the lateral distance

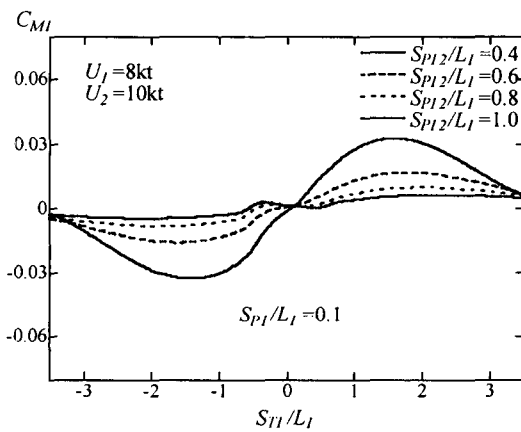


Fig. 4 Yawing moment coefficients acting on ship 1 with function of the lateral distance

Fig. 4에서 피추월선박의 선수동요 모멘트에 대한 일반적인 경향은 다음과 같다. 먼저 선수가 측벽방향으로 회두하는 bow-inward moment로 작용을 하다가 반원과 가까워지면서 측벽과 반대방향으로 작용을 하기 시작하고, 대략 $S_{T1}/L_1 = -0.5 \sim 0.5$ 부근에서 돌제(반원)의 영향이 나타나기 시작하는 것을 알 수 있다. 그리고 $S_{T1}/L_1 = 0.5$ 부근을 지나면서 선수가 측벽 방향으로부터 탄발하는 bow-outward moment로 작용하는 것을 알 수 있다. 또한 횡력 및 선수동요 모멘트는 두 선박간의 횡방향거리가 증가함에 따라서 값은 작아지고 있음을 알 수 있다. 이 때 추월선박에 작용하는 유체력의 계산결과는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다.

Fig. 5 및 Fig. 6에서 알 수 있듯이 계산결과에 대한 일반적인 성격은 Fig. 3 및 Fig. 4와 비슷한 경향을 나타내고 있으나 유체력의 값은 피추월선박에 비해서 상당히 적은 것을 알 수 있다.

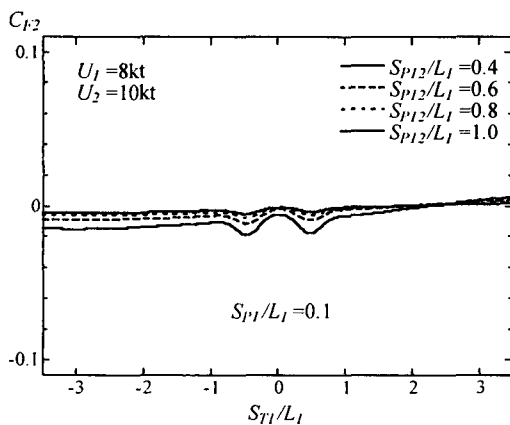


Fig. 5 Lateral force coefficients acting on ship 2 with function of the lateral distance

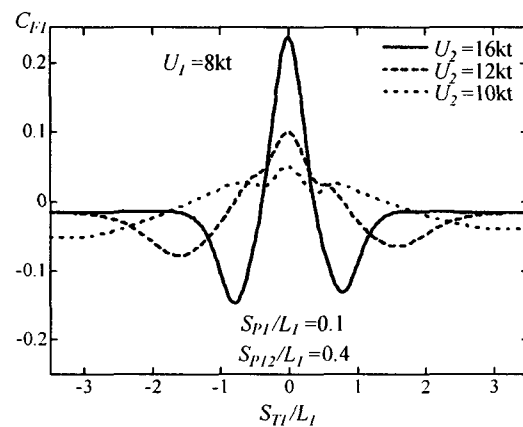


Fig. 7 Lateral force coefficients acting on ship 1 with function of ship velocity

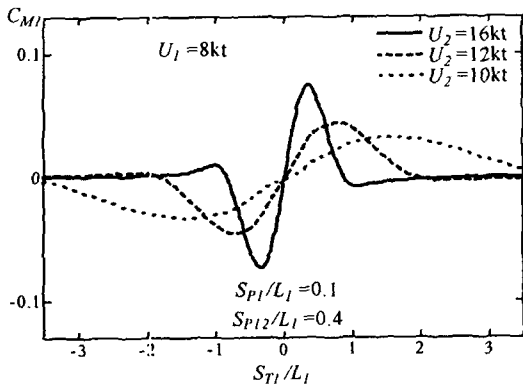


Fig. 8 Yawing moment coefficients acting on ship 1 with function of ship velocity

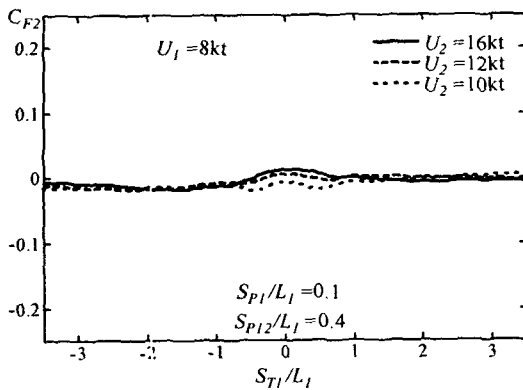


Fig. 9 Lateral force coefficients acting on ship 2 with function of ship velocity

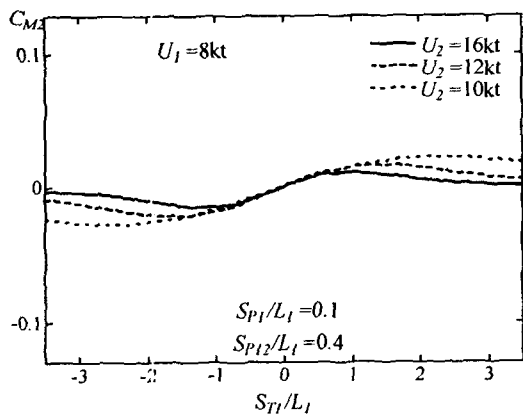


Fig. 10 Yawing moment coefficients acting on ship 2 with function of ship velocity

Fig.7 ~ Fig.10은 두 선박간의 속도비를 변수로 하여 두 선박의 상호 간섭력 및 이들 선박이 측벽으로부터 받는 간섭력(유체력)의 계산 결과를 나타내고 있다. 여기서 수심 h 와 흘수 d 와의 비, $h/d=1.2$ 로 하였고, U_1 을 8kt, U_2 를 10kt, 12kt, 16kt로 변화시켜 계산 하였으며, 피추월선박과 측벽과의 거리

$S_{P1}/L_1 = 0.1$ 로 고정하였고, 추월관계에 있는 두 선박간의 횡방향거리 S_{P12}/L_1 을 0.4로 계산하였다.

Fig.7 ~ Fig.10에서 알 수 있듯이 계산결과에 대한 일반적인 성격은 두 선박간의 속도비가 증가함에 따라서 간섭력(유체력)이 크게 작용하는 것을 알 수 있고, 추월선박에 작용하는 간섭력은 피추월선박에 비해서 상당히 적은 것을 알 수 있다

4. 결론

이 연구에서는 협수로와 같은 제한수역에서 추월관계에 놓여져 있는 두 척의 대형선박이 반원 형상을 하고 있는 측벽 근방을 항해하는 경우 근접하여 항해하는 선박들의 안전조종 운동에 영향을 미치는 상호간섭력 및 측벽으로부터 받는 간섭력을 최소화 할 수 있는 선박의 안전속력 및 선박 상호간의 안전거리에 대해서 검토하였다. 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째 측벽부근에서 추월을 하는 경우, 내측선박과 측벽과의 측방거리와 두 선박간의 횡방향거리가 거의 비슷한 경우에는 측벽으로부터 받는 간섭력의 영향보다는 두 선박간의 상호간섭력의 영향이 크게 나타남을 알았다.

둘째 선박이 측벽으로부터 받는 간섭력의 영향은 통상의 속력 하에서는 0.5L 정도 거리를 두면 거의 사라짐을 알았다.

셋째 추월관계에 놓여져 있는 두 선박의 속도비가 증가함에 따라서 두 선박이 만나는 시간영역은 줄어드나 두 선박에 작용하는 상호간섭력은 상대적으로 커지기 때문에 장애물부근을 항해하는 양 선박은 가능하면 속도를 낮추고 장애물 부근에서는 추월을 아니하는 것이 좋다고 판단된다.

마지막으로 본 연구에서는 두 선박 모두 일반화물선으로 하였으나 앞으로의 연구과제로서 선형이 다른 타 선박과의 관계를 고려하여 계산되어진 유체력을 바탕으로 선박조종운동시물레이션을 행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Davis, A.M.J.(1986), "Hydrodynamic Effects of Fixed Obstacles on Ships in Shallow Water", *Journal of Ship Research*, Vol.30.
- [2] Kijima, K. and Qing, H.(1987), "Manoeuvring Motion of a Ship in the Proximity of Bank Wall", *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 162.
- [3] Kijima, K., Furukawa, Y. and Qing, H.(1991), "The Interaction Effects between Two Ships in the Proximity of Bank Wall", *Trans. of the West-Japan Society of Naval Architects*, Vol.81.
- [4] Korsmeyer, F.T., Lee, C.H. and Newman, J.N.(1993),

- "Computation of Ship Interaction Forces in Restricted Waters", Journal of Ship Research, Vol.37.
- [5] Landweber, L., Chwang, A.T. and Guo, Z.(1991), "Interaction Between Two Bodies Translating in an Inviscid Fluid", Journal of Ship Research, Vol.35.
- [6] Taylor, P.J.(1973) "The Blockage Coefficient for Flow about an Arbitrary Body Immersed in a Channel", Journal of Ship Research, Vol. 17.
- [7] Yasukawa, W.(1991), "Bank Effect on Ship Manoeuvrability in a Channel with Varying Width",Trans. of the West-Japan Society of Naval Architects, Vol.81.
- [8] Yeung, R.W. and Tan, W.T.(1980), "Hydrodynamic Interactions of Ships with Fixed Obstacles", Journal of Ship Research, Vol. 24.