

## 근접 항해하는 선박의 상호작용과 충돌시간 계산에 관한 연구

이 춘 기\* · 윤 점 동\*\* · 강 일 권\*\*\*

\*한국해양대학교 수중운동체특화연구센터 전임연구원, \*\*한국해양대학교 항해시스템공학부 명예교수

\*\*\*부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

# A Study on Interaction between Two Vessels Passing Close to Each Other on Parallel Courses and Calculation of Collision Time by its effect

Chun-Ki Lee\* · Jeom-Dong Yoon\*\* · Il-Kwon Kang\*\*\*

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

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

\*\*\*Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University

**요 약 :** 항내 혹은 협수로와 같은 제한수역에서 근접하여 항해중인 두 선박간의 상호 유체력 및 모멘트가 선박조종운동에 상당히 크게 영향을 준다는 것은 잘 알려져 있다. 두 선박간의 상호간섭력은 종방향 거리, 횡방향 거리 및 두 선박의 속도의 함수로서 가정될 수 있다. 본 연구에서는 근접 항해중인 추월선박과 피 추월선박간의 상호유체력을 계산하고, 두 선박간의 횡방향 및 종방향 거리와 속도, 그리고 타 사용으로 인한 접근상황 및 충돌시간에 대해서 검토, 고찰하였다.

**핵심용어 :** 선박조종운동, 두 선박간의 상호유체력, 충돌시간, 종방향 및 횡방향 거리, 속력비

**ABSTRACT :** *It is well known that the ship manoeuvring motion is greatly affected by hydrodynamic forces and moments acting between two vessels passing too close to each other in confined waters, such as in a harbour or narrow channel. This interaction between two vessels could be assumed to be the functions of the longitudinal distance, transverse distance and their speeds. The aim of this study is to calculate the interaction between two vessels passing close to each other on parallel courses by simulation, and to estimate the effect of rudder action and time of collision through simulation under the condition of various longitudinal distances and different speed-ratios of the two vessels.*

**KEY WORDS :** *Ship manoeuvring motion, Interaction between two vessels, Collision time, Longitudinal and transverse distance, Speed ratio*

### 1. 서 론

항해하고 있는 선박의 선평에 비하여 항로 폭이 좁은 협수로나, 선박의 흘수에 비하여 수심이 얇은 천수로와 같은 제한수역

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

\*\*Yoon jeom dong 051)416-7082

\*\*\*ikkang@pknu.ac.kr 051)620-6111

에서, 근접하여 항해중인 두 선박간의 상호 유체력 및 모멘트가 선박조종운동에 상당히 크게 영향을 준다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 대부분의 대형 선박들은 자신의 흘수에 비하여 수심이 상당히 깊은 대양에서는 타 선박과 상당한 거리를 두고 항해한다. 그러나 항해의 시작과 끝맺음이 되는 연안수로에서는 타 선박과 지근거리를 두고 항행하게 되고, 천수로 혹은 협수로를 항주하게 되며, 선박을 조종하는 조종자는 대양상에서보다 훨씬

곤란한 조선상(操船上)의 어려움을 겪게 된다. 특히 많은 선박들이 왕래하여 교통량이 폭주하는 폭주해역에서는 근접하여 항해하는 두 선박간의 상호 간섭작용과 수로 측벽 또는 부두로 인하여 발생하는 유체력, 천수영향 및 외력 등이 복합적으로 작용하여 선박조종이 상당히 어려워지고, 선장 혹은 선박조종자의 의도와는 달리 여러 종류의 요인들이 작용하여 해양사고로 이어질 수 있는 위험성이 높다. 한편, 지금까지 근접하여 항행하는 선박과 선박간의 상호유체력과 항행선박이 교각이나 수로 측벽으로부터 받는 유체력의 추정에 대해서는 다수의 연구자에 의해 수행되어 왔고(Yeung et al., 1980, Kijima et al., 1987, 1991, Yasukawa, 1991, Korsmeyer et al., 1993), 이들 결과를 실용화하는 연구(Yoon, 1982, 1986)가 조금씩 진전되고 있는 상황이다. 그러나 실선운항에서 좋은 지침이 될 수 있는 연구결과는 거의 없는 상태이다. 이러한 상황에서 본 연구는 해양사고 방지를 위한 하나의 방법으로 제한수역에서 지근거리를 두고 항행중인 선박과 선박간의 상호유체력에 대한 수치계산을 행하고, 선박조종 시물레이션을 행하여 두 선박간의 횡방향 및 종방향 거리와 속도 및 타 사용에 따른 여러 가지 상태를 검토, 고찰하였다.

## 2. 좌표계

먼저 근접하여 항행하는 두 선박을 가정하자. Fig.1에 표시한 것처럼, 공간고정좌표계  $o-xy$  와 근접하여 항행중인 두 선박의 선체중심을 원점으로 하는 선체고정좌표계  $o_i-x_iy_i$  ( $i=1,2$ )를 생각할 수 있다. 여기서, 추월관계에 있는 두 선박은 선속  $U_i$  ( $i=1,2$ )로 직진하는 것으로 가정하고, 피 추월 선박의 선체 중심선과 추월선박의 선체 중심선간의 횡방향거리를  $S_{P12}$  로 하며, 피 추월선박의 선체 중심과 추월선박의 선체 중심간의 종방향거리를  $S_{T12}$  로 한다.

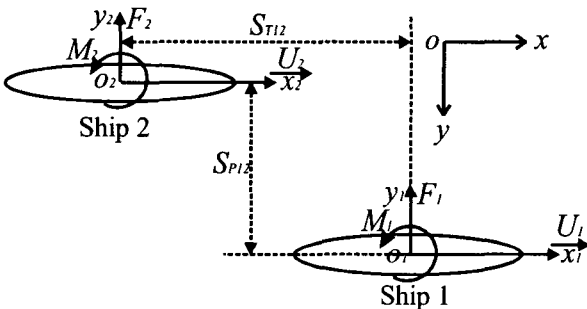


Fig. 1 Coordinate system

## 3. 두 선박간의 상호유체력에 대한 수치계산

이 절에서는 추월관계에 있는 두 척의 대형선박이 근접하여 항해하는 경우 근접 항행중인 두 선박의 조종운동에 영향을 미치는 상호유체력을 계산한다. 수치계산에 필요한 대상 선박

은 Table 1에 나타낸 것처럼 동일한 크기의 일반 화물선으로 하였다. 또한 외력은 없다고 가정하고, 피 추월선박의 속도  $U_1$  을 5kt로 고정하고, 추월선박의 속도  $U_2$  를 각각 6kt, 7kt, 10kt로 하였다. 또한 두 선박간의 상호유체력( $C_{Fi}$ ) 및 상호간섭으로 인한 모멘트( $C_{Mi}$ )는 다음 식으로 무차원화 된다.

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

Table 1 Principal particulars

	General Cargo Ship (ship1, ship2)
Length $L_i$ ( $i=1,2$ )	155.0 (m)
Breadth $B_i$ ( $i=1,2$ )	26.0 (m)
Draft $d_i$ ( $i=1,2$ )	8.7 (m)
Block coefficient. $C_B$	0.6978

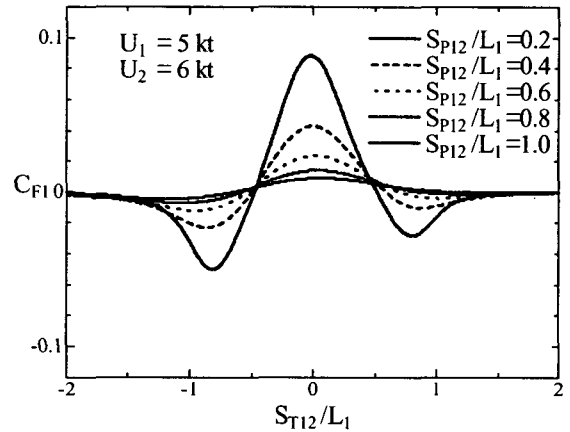


Fig. 2 Lateral force coefficients acting on overtaken vessel with function of  $S_{P12}/L_1$

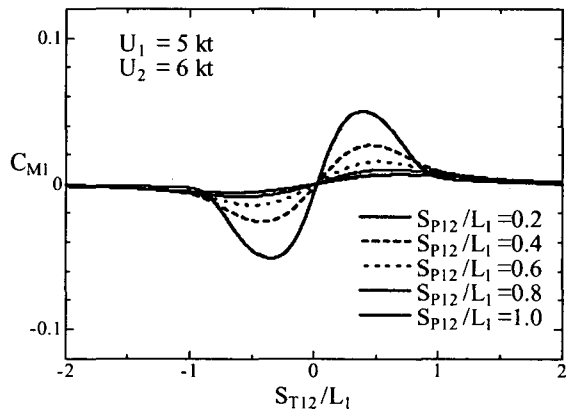


Fig. 3 Yawing moment coefficients acting on overtaken vessel with function of  $S_{P12}/L_1$

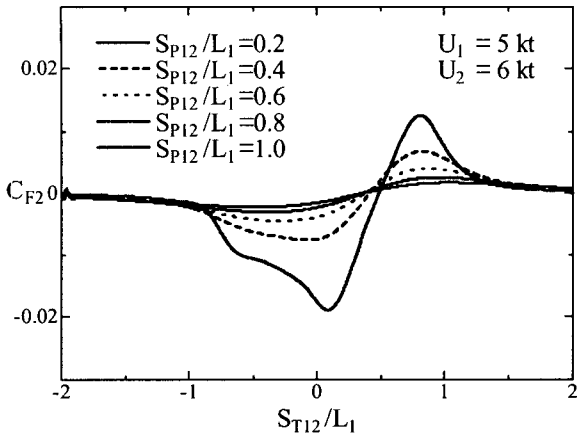


Fig. 4 Lateral force coefficients acting on overtaking vessel with function of  $S_{P12}/L_1$

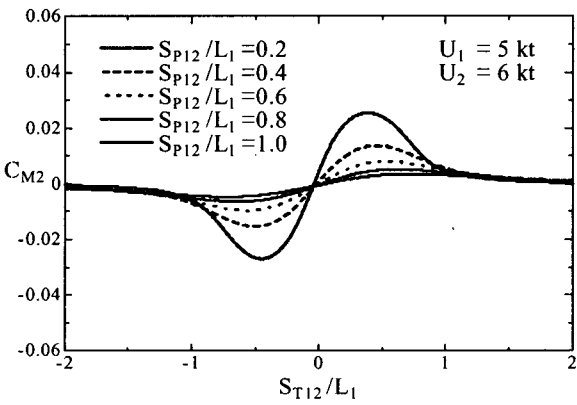


Fig. 5 Yawing moment coefficients acting on overtaking vessel with function of  $S_{P12}/L_1$

Fig.2 ~ Fig.9는 추월관계에 있는 두 척의 대형선박이 지근 거리를 두고서 직진하는 경우, 두 선박에 작용하는 상호 유체력의 계산결과를 나타내고 있다. 여기서 수심  $h$ 와 흘수  $d$ 와의 비,  $h/d=1.2$ 로 하였고, 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 를 각각 0.2 ~ 1.2까지 계산하였다.

Fig.2 ~ Fig.5로부터 두 선박간의 상호유체력에 대한 일반적인 특징은 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 을 0.2로 하였을 경우에 비하여 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 을 1.0으로 하였을 경우, 두 선박에 작용하는 상호유체력은 90%정도 감소함을 알 수 있다.

Fig.6 ~ Fig.9로부터 두 선박간의 상호유체력에 대한 일반적인 특징은 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 을 0.4로 고정된 상태에서 피 추월선박과 추월선박의 속력비  $U_2/U_1$ 을 1.2 (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 6kt)로 하였을 때에 비하여 두 선박의 속력비  $U_2/U_1$ 을 1.4 (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 7kt)로 하였을 경우, 피 추월선박

에 작용하는 유체력은 40%정도 증가하고, 두 선박의 속력비  $U_2/U_1$ 을 2.0 (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 10kt)으로 하였을 경우, 피 추월선박에 작용하는 유체력은 80%정도 증가함을 알 수 있다.

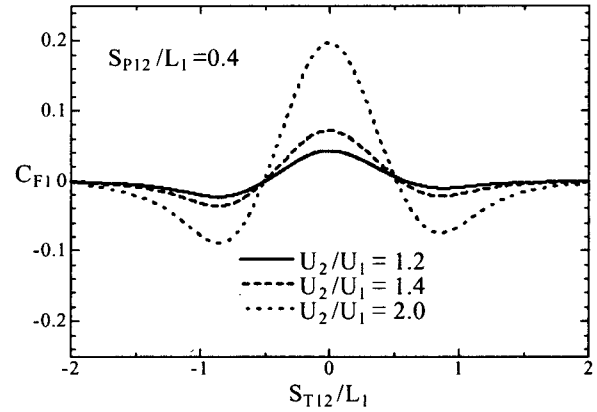


Fig. 6 Lateral force coefficients acting on overtaken vessel with function of  $U_2/U_1$

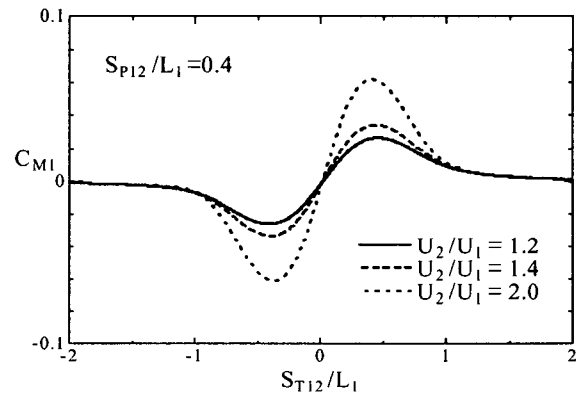


Fig. 7 Yawing moment coefficients acting on overtaken vessel with function of  $U_2/U_1$

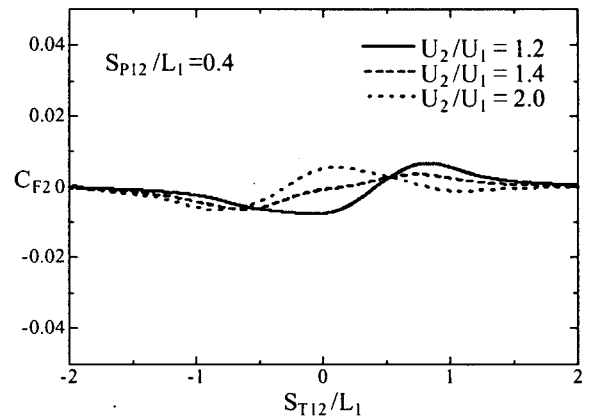


Fig. 8 Lateral force coefficients acting on overtaking vessel with function of  $U_2/U_1$

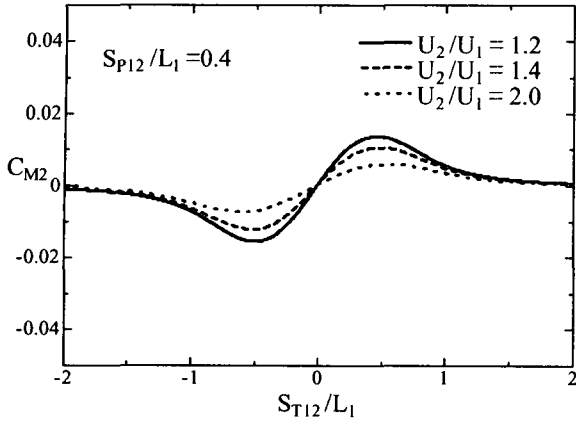


Fig. 9 Yawing moment coefficients acting on overtaking vessel with function of  $U_2/U_1$

#### 4. 선박조종시뮬레이션 결과 및 고찰

##### 4.1 추월관계에서의 선박조종시뮬레이션

이 절에서는 제한수역에서 추월관계에 있는 두 척의 대형선박이 근접하여 항해하는 경우, 두 선박간의 횡방향 및 종방향 거리와 속도에 따른 충돌시간에 대해서 검토, 고찰하고 조선(操船)상 상호작용에 유의하여야 할 공간적인 범위를 정하기 위하여 선박조종시뮬레이션을 행하였다. 선박조종시뮬레이션은 앞에서 계산되어진 두 선박간의 횡방향 및 종방향 거리와 속도비에 따른 상호간섭력을 변수로 하여 행하여졌고, 외력으로서 상호유체력만을 고려한 선박조종수학모델(Kijima et al., 1990)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(m_i' + m_{xi}') \left( \frac{L_i}{U_i} \right) \left( \frac{\dot{U}_i}{U_i} \cos \beta_i - \dot{\beta}_i \sin \beta_i \right) + (m_i' + m_{yi}') r_i' \sin \beta_i' \\ = X_{H_i}' + X_{P_i}' + X_{R_i}' \quad (2)$$

$$-(m_i' + m_{yi}') \left( \frac{L_i}{U_i} \right) \left( \frac{\dot{U}_i}{U_i} \sin \beta_i + \dot{\beta}_i \cos \beta_i \right) + (m_i' + m_{xi}') r_i' \cos \beta_i' \\ = Y_{H_i}' + Y_{R_i}' + Y_{R_i}' \quad (3)$$

$$\left( I_{zzi}' + i_{zzi}' \right) \left( \frac{L_i}{U_i} \right)^2 \left( \frac{\dot{U}_i}{L_i} r_i' + \frac{U_i}{L_i} \dot{r}_i' \right) = N_{H_i}' + N_{R_i}' + N_{R_i}' \quad (4)$$

여기서,  $m_i'$ 은  $i$ 번째 선박의 무차원화된 질량을 의미하고,  $m_{xi}', m_{yi}'$ 는  $i$ 번째 선박의 무차원화된 부가질량의  $x, y$ 축 성분을 의미하며,  $\beta_i$ 는  $i$ 번째 선박의 편각을 나타낸다. 또한  $X, Y, N$ 은 각각  $x, y$ 축 방향의 힘과  $z$ 축 주위의 모멘트를 나타내고, 첨자  $H, P, R, I$ 는 선체, 프로펠러, 타 및 두 선박간의 상호유체력을 의미하며, 침로유지를 위한 타각 제어는 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\delta_i = \delta_{0i} - K_1(\psi_i - \psi_{0i}) - K_2 r_i' \quad (5)$$

여기서,  $\delta_i, \psi_i, r_i'$ 는  $i$ 번째 선박의 타각, 회두각 및 무차원화된 각속도를 의미하고, 첨자 '0'는 초기값을 나타내며,  $K_1, K_2$ 는 비례조타상수를 의미하고 있다.

Fig. 10은 타각을 사용하지 않은 상태에서 자선의 길이에 몇 배의 거리를 진행한 후에 충돌하는가에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 여기서  $h/d=1.2$ 로 하였고, 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 은 0.4로 하였으며,  $U_1$ 을 5kt로 고정하고,  $U_2$ 를 각각 6kt(a), 7kt(b), 10kt(c)로 하였다.

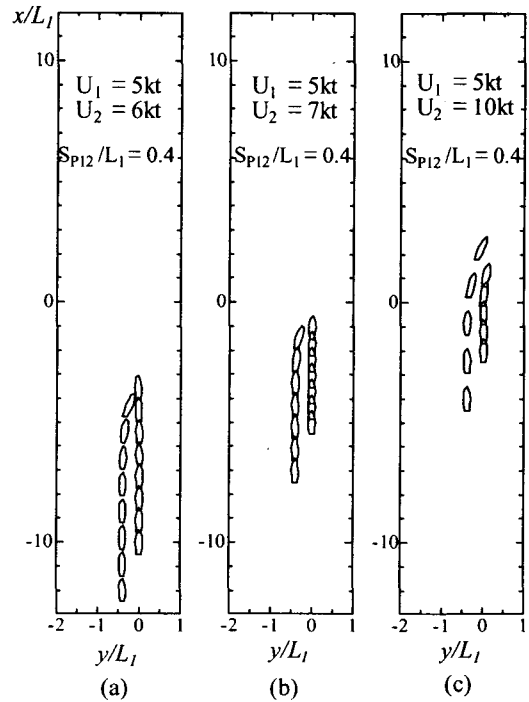


Fig. 10 Ship trajectories with function of  $U_2/U_1$

Fig. 10 (a) (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 6kt)의 경우, 피 추월선박이 자선의 길이의 6.4배(약 6분 43초) 진행한 후에 충돌함을 알 수 있고, Fig. 10 (b) (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 7kt)의 경우, 피 추월선박이 자선의 길이의 4.0배(약 4분) 진행한 후에 충돌함을 알 수 있다. 한편 Fig. 10 (c) (피 추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 10kt)의 경우, 양 선박이 충돌하지 않고 진행을 하지만 상당히 크게 회두 되는 것을 알 수 있다. Fig. 10 (c)의 결과는 두 선박의 속도비가 증가함에 따라 양 선박에 작용하는 유체력은 증가하지만, 양 선박이 조우하는 시간이 상대적으로 짧기 때문인 것으로 판단된다.

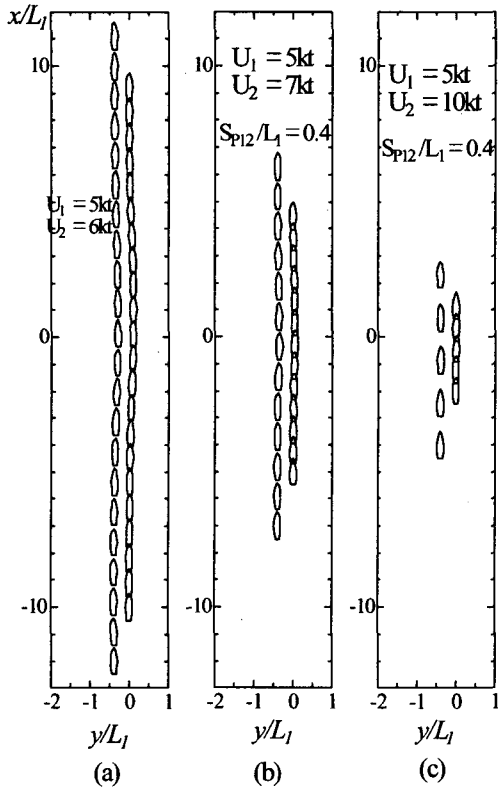


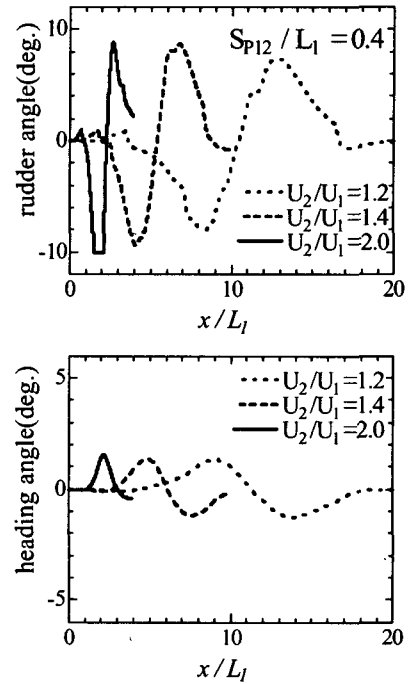
Fig. 11 Ship trajectories with function of  $U_2/U_1$   
 $(h/d=1.2, S_{P12}/L = 0.4, K_1 = K_2 = 5.0, \delta_{max} = 10^\circ)$

Fig. 11 및 Fig. 12는 추월관계에 있는 두 척의 대형선박이 근접 항행하는 경우, 추월선박과 피 추월선박의 궤적 및 대응타각과 횡두각에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 여기서  $h/d=1.2$ 로 하였고, 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 은 0.4로 하였으며,  $U_1$ 을 5kt로 고정하고,  $U_2$ 를 각각 6kt, 7kt, 10kt로 하였다. 또한 상수  $K_1 = K_2 = 5.0$ 으로 계산하였고, 침로유지를 위한 타각  $\delta_{max} = 10^\circ$ 로 하였다.

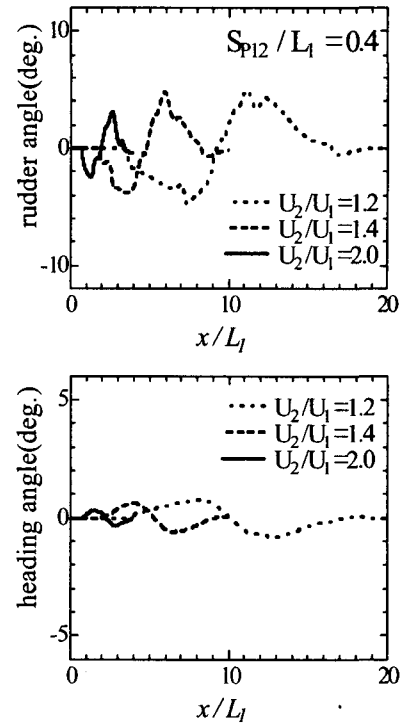
Fig. 11에서 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 을 0.4 (피 추월선박과 추월선박간의 내측 현측간의 거리는 36m)로 하였을 경우, 피 추월선박과 추월선박 모두 최대타각 10도의 범위 내에서 원침로를 유지하면서 항해 가능함을 알 수 있다.

한편, Fig. 12에서 근접항행중인 두 선박간의 상호유체(간섭)력을 제어하고, 원침로를 유지하기 위하여 요구되어지는 대응타각에 대한 시뮬레이션 결과를 보면, 피 추월선박과 추월선박의 속도비  $U_2/U_1$ 이 증가함에 따라 상호유체력 제어 및 침로유지에 필요한 피 추월선박의 대응타각도 증가함을 알 수 있다. 그러나 두 선박의 속도비가 증가함에 따라 유체력 제어 및 침로유지에 요구되어지는 추월선박의 대응타각은 오히려 감소함을 알 수 있다. 이러한 이유는 두 선박의 속도비가 증가함에 따라 피 추월선박과 추월선박에 작용하는 유체(간섭)력은 증가하지만, 추월선박의 경우, 속도 증가에 따른 타효가 더욱 크게

발생하기 때문인 것으로 판단된다.



(a) Time history of overtaken vessel



(b) Time history of overtaking vessel

Fig. 12 Time histories with function of  $U_2/U_1$   
 $(h/d=1.2, S_{P12}/L = 0.4, K_1 = K_2 = 5.0, \delta_{max} = 10^\circ)$

## 5. 결론

이 연구에서는 협수로 혹은 천수로와 같은 제한수역에서 추월관계에 있는 두 척의 대형선박이 근접하여 항행하는 경우, 선박과 선박간의 상호유체(간섭)력에 대한 수치계산을 행하고, 선박조종시물레이션을 통하여 두 선박간의 횡방향 및 종방향 거리와 속도, 그리고 타 사용으로 인한 접근상황 및 충돌시간에 대해서 검토, 고찰하였다. 또한 실제의 경우, 추월선박과 피추월선박의 종방향거리, 횡방향거리, 속도차, 수심 및 타 사용 각도에 대한 경우는 무수히 많겠으나, 본 시물레이션에서는  $h/d=1.2$ 로 하였고, 두 선박간의 횡방향거리  $S_{P12}/L_1$ 은 0.4로 하였으며,  $U_1$ 을 5kt로 고정하고,  $U_2$ 를 각각 6kt, 7kt, 10kt로 하였다. 또한  $K_1 = K_2 = 5.0$ 으로 계산하였고, 침로유지를 위한 타각  $\delta_{max} = 10^\circ$ 로 하였다. 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째  $\delta_{max} = 0^\circ$ 의 상태에서  $U_2/U_1 = 1.2$ 의 경우, 피추월선박이 자선의 길이의 6.4배(약 6분 43초) 진행한 후에 충돌하고,  $U_2/U_1 = 1.4$ 의 경우, 피추월선박이 자선의 길이의 4.0배(약 4분) 진행한 후에 충돌함을 알았다. 한편  $U_2/U_1 = 2.0$ 의 경우, 양 선박이 충돌하지 않고 진행을 하지만 상당히 크게 회두 되는 것을 알았다.

둘째  $\delta_{max} = 10^\circ$ 의 상태에서 피추월선박과 추월선박의 속도비  $U_2/U_1$ 이 증가함에 따라 유체력 제어 및 침로유지에 요구되어지는 피추월선박의 대응타각은 증가하지만, 추월선박의 경우는 사용해야 할 대응타각이 오히려 감소함을 알 수 있다. 이러한 이유는 두 선박의 속도비가 증가함에 따라 피추월선박에 작용하는 유체(간섭)력 증가와 더불어, 추월선박의 경우도 유체력은 증가하지만 속도 증가에 따른 타효가 더욱 크게 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

셋째 두 선박의 속도비  $U_2/U_1$ 을 1.2 (피추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 6kt)로 하였을 때에 비하여 두 선박의 속도비  $U_2/U_1$ 을 1.4 (피추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 7kt)로 하였을 경우, 피추월선박에 작용하는 유체(간섭)력은 40%정도 증가하고, 두 선박의 속도비  $U_2/U_1$ 을 2.0 (피추월선박의 속도는 5kt, 추월선박의 속도는 10kt)으로 하였을 경우, 피추월선박에 작용하는 유체(간섭)력은 80%정도 증가함을 알 수 있다.

앞으로의 연구과제로서 Head-on situation 상태로 항과하는 선박의 경우에 대해서도 상호작용에 대한 고찰과 시물레이션에 관한 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] Kijima, K., Nakiri, Y., Tsutsui, Y., Matsunaga, M. (1990). "Prediction Method of Ship Maneuverability in Deep and Shallow Waters". Proceedings of MARSIM and ICSM 90, pp.311-318.
- [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] Yoon, J.D., Park, S.K.(1982), "A Study on the Approaching Distance in Taking Action to Avoid Collision", 한국항해학회지, 제6권 제1호.
- [6] 윤점동.(1986) "선박간의 상호작용과 안전조선에 관한 연구", 한국항해학회지, 제10권 제1호.
- [7] Yasukawa, W.(1991), "Bank Effect on Ship Maneuverability 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.