

# 다수선박의 충돌회피를 위한 자동제어에 관한 연구

윤지현\* · 이승건\*\* · 임남균\*\*\*

\* 부산대학교 대학원 조선해양공학과, \*\* 부산대학교 조선해양공학과 교수, \*\*\* 삼성중공업(주) 조선해양연구소 대덕선박연구센터

## A Study on Automatic Control for Collision Avoidance of a Ship under Appearance of Multi-vessels

Ji-Hyun Yoon\* · Seung-Keon Lee\*\* · Nam-Kyun Im\*\*\*

\*Graduate School, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea  
\*\*Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea  
\*\*\*SSMB, Marine Research Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd. Daeduck Science Town, Daejeon 305-380, Korea

**요 약** : 많은 선박사고유형 중 하나인 선박의 충돌은 운항자의 조선실수가 그 원인의 큰 비중을 차지한다. 이는 점차 대형 고속화, 교통의 폭주화가 이루어지고 있는데도 오히려 항해사의 자질 저하에서 오는 것이라 할 수 있으며 이를 보완하기 위해 나날이 발전하는 첨단기술을 바탕으로 충돌회피에 관한 자동회피제어 시스템의 개발의 필요성이 점차 대두되고 있다. 그러한 취지에서 본 연구도 충돌회피를 위한 자동제어에 관하여 연구되었다. 본 연구는 MMG 수학모델에 기반 하여, Surge-Sway-Yaw-Roll 운동방정식을 사용하였고, 충돌위험도 설정을 위하여 퍼지이론을 사용하였으며 다수선박과 연속적으로 조우하는 상황에서도 충분한 회피가 가능하게 하였다.

**핵심용어** : 충돌회피, 선박조종, 퍼지이론, 조종운동방정식

**Abstract** : A mis-handling of the ship operators, treated as one of the main causes of a ship accidents, normally has caused a ship to collide with obstacles like a reef, a rock and other ships etc. since their ability has been declining little by little even though the port conditions have been getting worse. The ship needs a highly sophisticated technology as her size and speed increase as the ship have been demanded. For example, Auto Avoidance Control System gradually has been receiving a growing interest to control the entire ship safely. From that purpose, this research has been done. The research was based on the MMG mathematical model, used Surge-Sway-Yaw-Roll motion equation and Fuzzy theory for calculating the collision-risk. Also the research successively was done when the ship encountered continual multitude ships.

**Key words** : Collision avoidance, Ship's maneuvering, Fuzzy theory, Maneuvering motion equation

## 1. 서 론

2003년 건설교통부의 통계에 따르면 우리나라의 해양교통 사고 중 해양원인별 유형으로는 선원의 운항과실사고가 전체의 64.4%로 가장 높았고, 사고유형별로는 충돌사고가 전체의 34.3%로 가장 높은 사고율을 기록한 것으로 되어있다. 또 유조선, 화물선 등 사고발생시 해양오염이나 큰 물질적 손해를 수반하는 사고도 꾸준히 발생되고 있는 것으로 알려져 있다. 이는 선박이 점차 대형화되고 고속화 되는 반면 항해사의 자질은 오히려 저하 또는 이러한 선박의 변화에 빠르게 적응하지 못하는 상황에서 오는 것이라 할 수 있다. 따라서 이를 보완해 줄 수 있는 시스템을 구축함으로써, 대형 사고를 미연에 방지하여 인명 및 물질의 피해를 최소화하는데 본 연구의 목적이 있다.

선박의 운동이나 조종성능이 점차 진보될수록 자동충돌회

피 시스템의 필요성은 더욱 커지게 된다. 예로부터 자동운항에 관한 연구가 꾸준히 이루어져 왔고 특히 자동회피에 관한 연구는 일본을 중심으로 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근 과학 기술의 발전으로 GPS, ECDIS, AIS 등이 실제 충돌회피가 실용화 될 수 있는 단계까지 진보되어 국내에서도 서서히 연구가 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 MMG 수학모델과 Surge-Sway-Yaw-Roll 운동방정식을 사용하였고, 위험도 추정을 위하여 Fuzzy 추론을 이용하였다. 또한 다수선박을 연속적으로 조우하는 경우의 충돌회피도 고려하였다.

## 2. 조종운동방정식

Fig. 1의 좌표계를 사용하여 Surge-Sway-Yaw-Roll 운동을 기술하였다. 선체중심위치와 방위각  $\psi$ 는 공간고정좌표계

\* 대표저자 : (정회원), yoonjihyun@pusan.ac.kr 051)510-2755  
\*\* 종신회원, leesk@pusan.ac.kr 051)510-2441  
\*\*\* 정회원, namkyun.im@samsung.com 011)9802-0582

$O_o-x_o-y_o$  를 사용하고, 선속( $u, v$ ), 선회각속도  $r$ , 횡요각속도  $\dot{\phi}$  및 선박에 작용하는 유체력 등은 선체고정좌표계  $O-x-y$  를 사용한다.

각 운동의 조종방정식은 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - v\dot{\phi}) &= X \\ m(\dot{v} + u\dot{\phi}) &= Y \\ I_x \cdot \dot{\phi} &= L - WGM\phi \\ I_z \cdot \ddot{\phi} &= N \end{aligned} \quad (1)$$

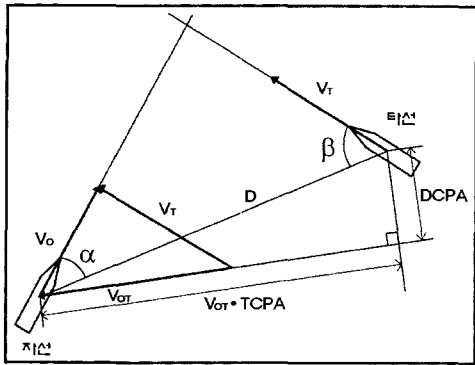
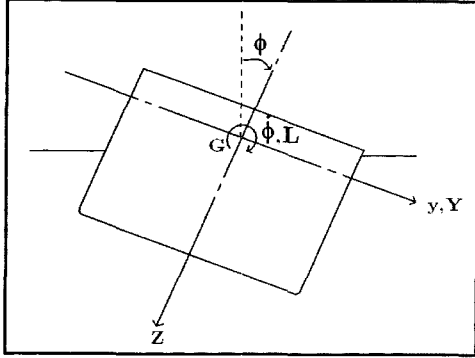


Fig. 1 Coordinate System

$X, Y, L, N$ 은 선체에 작용하는 유체력과 모멘트를 의미하고 이를 다시 가속도와 속도에 비례하는 성분으로 세분화 하고 부가질량이론과 MMG 수확모델을 적용시키면 최종적으로 다음과 같은 Surge-Sway-Yaw-Roll 방정식이 된다.

Surge :

$$\begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y)v r &= (1 - t)T + \\ C_{RX} \cdot F_N \cdot \sin \delta + X(u) + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} X'_{vv} v^2 + \\ \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} X'_{rrr} r^2 + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} X'_{\phi\phi} \phi^2 U^2 + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} X'_{vvr} v r \end{aligned} \quad (2)$$

Sway :

$$\begin{aligned} (m + m_y) \dot{v} - (m + m_x) u r + m_y a_y \dot{r} - m_y l_y \ddot{\phi} = \\ (1 + aH) F_N \cos \delta + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_v U v + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} Y'_{,Ur} U r + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} Y'_{\phi} U \dot{\phi} + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_{\phi} U^2 \phi + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_{vvr} \frac{1}{U} v^2 r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} Y'_{vrr} \frac{1}{U} v r^2 + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_{vvv} \frac{1}{U} v^3 + \\ \frac{1}{2} \rho L^5_{BP} Y'_{rrr} \frac{1}{U} r^3 + \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_{vv\phi} v^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^2_{BP} Y'_{v\phi\phi} U v \phi^2 + \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} Y'_{rr\phi} r^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} Y'_{r\phi\phi} U r \phi^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Yaw :

$$\begin{aligned} (I_z + J_z) \dot{r} + m_y a_y (\dot{v} + u r) = (xR + aHxH) F_N \cos \delta \\ + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_v U v + \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} N'_{,Ur} U r + \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} N'_{\phi} U \dot{\phi} + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_{\phi} U^2 \phi + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_{vvr} \frac{1}{U} v^2 r + \\ \frac{1}{2} \rho L^5_{BP} N'_{vrr} \frac{1}{U} v r^2 + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_{vvv} \frac{1}{U} v^3 + \\ \frac{1}{2} \rho L^6_{BP} N'_{rrr} \frac{1}{U} r^3 + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_{vv\phi} v^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} N'_{v\phi\phi} U v \phi^2 + \frac{1}{2} \rho L^5_{BP} N'_{rr\phi} r^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} N'_{r\phi\phi} U r \phi^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Roll :

$$\begin{aligned} (I_x + J_x) \ddot{\phi} - m_y l_y \dot{v} - m_x l_x u r + WGM\dot{\phi} = \\ - (1 + aH) zR \cdot F_N \cos \delta + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_v U v + \\ \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} L'_{,Ur} U r + \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} L'_{\phi} U \dot{\phi} + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_{\phi} U^2 \phi + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_{vvr} \frac{1}{U} v^2 r + \\ \frac{1}{2} \rho L^5_{BP} L'_{vrr} \frac{1}{U} v r^2 + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_{vvv} \frac{1}{U} v^3 + \\ \frac{1}{2} \rho L^6_{BP} L'_{rrr} \frac{1}{U} r^3 + \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_{vv\phi} v^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^3_{BP} L'_{v\phi\phi} U v \phi^2 + \frac{1}{2} \rho L^5_{BP} L'_{rr\phi} r^2 \phi + \\ \frac{1}{2} \rho L^4_{BP} L'_{r\phi\phi} U r \phi^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Table 1 Principal Dimensions of Ship & Model

Contents	Ship	Model
Length of between Perpendiculars ( $L_{BP}, m$ )	175.0	3.0
Breadth Moulded ( $B, m$ )	25.4	0.435
Draft ( $d, m$ )	8.5	0.146
Displaced Volume ( $W, m^3$ )	21222.0	0.10686
KM ( $m$ )	10.39	0.178
KB ( $m$ )	4.615	0.079
$C_b$	0.559	

Table 2 Hydrodynamic Derivatives

$X'_{vv} = -0.00311$	$Y'_v = -0.0116$	$N'_v = -0.0038545$
$X'_{rr} = 0.0002$	$Y'_r = 0.00242$	$N'_r = -0.00222$
$X'_{\phi\phi} = -0.0002$	$Y'_\phi = 0.0$	$N'_\phi = 0.000213$
$X'_{vr} = -0.00311$	$Y'_{\phi\phi} = -0.000063$	$N'_{\phi\phi} = -0.0001424$
	$Y'_{vvr} = 0.0214$	$N'_{vvr} = -0.0424$
	$Y'_{vrr} = -0.0405$	$N'_{vrr} = 0.00156$
	$Y'_{vvv} = -0.109$	$N'_{vvv} = 0.001492$
	$Y'_{rrr} = 0.00177$	$N'_{rrr} = 0.00229$
	$Y'_{v\phi\phi} = 0.04605$	$N'_{v\phi\phi} = -0.019058$
	$Y'_{\phi\phi\phi} = 0.00304$	$N'_{\phi\phi\phi} = -0.005376$
	$Y'_{rr\phi} = 0.009325$	$N'_{rr\phi} = -0.003859$
	$Y'_{r\phi\phi} = -0.001368$	$N'_{r\phi\phi} = 0.0024195$
$L'_v = 0.0003026$ $L'_r = -0.000063$ $L'_\phi = -(L_{BP}/V) \cdot (I'_x + J'_y) \cdot k\phi \cdot \omega_n$ $L'_{\phi\phi} = -0.000021$ $L'_{vvr} = -0.000558$ $L'_{vrr} = 0.001056$ $L'_{vvv} = -0.002843$ $L'_{rrr} = -0.000046$ $L'_{v\phi\phi} = -0.001201$ $L'_{\phi\phi\phi} = -0.000079$ $L'_{rr\phi} = -0.000243$ $L'_{r\phi\phi} = 0.0000357$		

위 식에서  $X'_{vv}, Y'_v, N'_{vvv}, L'_{vvv}$  등은 운동변수 ( $u, v, r$ ) 와 그 미분 ( $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ )에 대한 Taylor 전개로 표시한 것으로, X력에 대해서는 2차항까지, Y, L, N에 대해서 3차항까지 나타내었다. 즉 예를 들면  $Y'_v$ 는 Sway 속도  $v$ 에 관계되는 선형감쇠계수(이때는 조파 감쇠와 점성 감쇠를 포함한다)이고  $Y'_{vvv}$ 는  $v^3$ 에 관계되는 비선형 감쇠계수를 뜻한다. 본 논문에서는 이 계수들을 실험을 통하여 구하여 사용하였는데 이를 Table 2에 나타내었다.

위 식을 연립하여  $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, \ddot{\phi}$ 에 대하여 정리하고 이 미분방정식을 풀면  $u, v, r, \phi$ 를 구할 수 있다.

본 연구에서는 Runge-Kutta Method를 사용하여 미분방정식을 수치해석 하였다.

Table 1과 2는 본 논문에서 사용된 선박모델과 유체력 계수에 대한 제원이다.

### 3. 타 제어

본 논문에서는 타 제어를 위해 PD제어를 사용하였다. PID 제어는 자동제어방식 가운데서 가장 흔히 이용되는 방식이다.

여기서 PID제어란 P(비례), I(적분), D(미분)의 3가지 조합을 말하는데 이 조합을 이용하여 시스템을 제어하는 것으로 시스템의 외부환경조건과 구조에 상관없이 제어가 가능하다.

PID 제어의 입출력 관계는 비례, 적분, 미분 계인인  $K_P, K_I, K_D$ 에 의해 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$U_i(t) = K_P e_i(t) + K_I \int e_i(t)dt + K_D \frac{de_i(t)}{dt} \quad (6)$$

$e_i(t)$ 는 추적오차(tracking error)를 나타내는 변수이고, 위의 수식으로 표현되는 PID제어가 실제 시스템에서는 다음과 같은 연산을 수행한다.

$$\int e_i(t)dt \rightarrow e_{i-1}(t) + e_i(t)$$

$$\frac{de_i(t)}{dt} \rightarrow e_i(t) - e_{i-1}(t) \quad (7)$$

$$U_i(t) = K_P e_i(t) + K_I(e_{i-1}(t) + e_i(t)) + K_D(e_i(t) - e_{i-1}(t)) \quad (8)$$

따라서 PD 제어는,

$$U_i(t) = K_P e_i(t) + K_D(e_i(t) - e_{i-1}(t)) \quad (9)$$

로 나타낼 수 있다.

적절한  $K_P, K_D$ 를 결정하기 위해 간단한 시뮬레이션을 행하였다. 선박의 중심을 공간고정좌표계 원점에서 (100,100)으로 이동시키는데, 결국 목표값은 선수각 45도, 타각 0도가 되겠다. P 계인을 결정하기 위해서 D 계인을 고정시킨 후 P 계인을 바꿔가며 그 특성을 파악해서 적절한 값을 결정하고 D 계인의 결정도 마찬가지로 하였다. 본 연구에서는 Fig. 2에서 표시된 P, D 계인 값을 사용하였다.

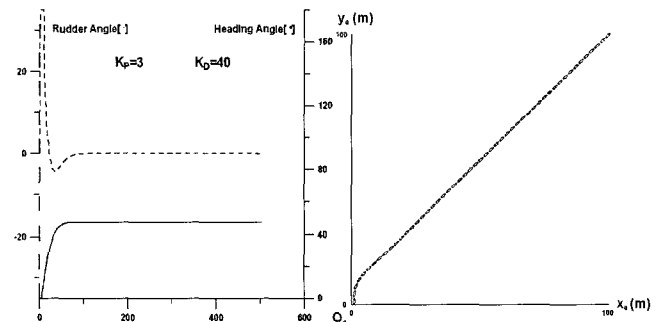


Fig. 2 Response Curve & Ship's motion with P gain=3, D gain=40

### 4. 위험도 추정

본 연구에서는 퍼지를 이용해 위험도를 추정하는데 여기에 사용되는 입력변수는 DCPA'(Nondimensional Distance of Closest Point of Approach) 과 TCPA(Time of Closest Point

of Approach)이다. 이는 각각 최 근접 거리와 최 근접 시간을 의미하는 것으로 이를 입력변수로 사용하는 것은 선박충돌 시스템에 관한 연구에서 많이 사용하는 이론 중의 하나이다.

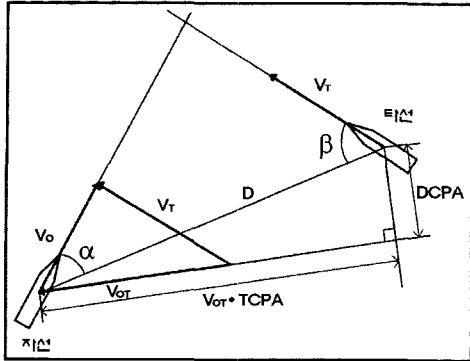


Fig. 3 Coordinate system of DCPA & TCPA

DCPA는 자선과 타선이 현재 상황(선수각, 속도 등)을 그대로 유지할 경우 두 선박이 가장 가까운 거리를 지날 때의 거리를 말하고 TCPA는 가장 가까운 거리가 될 때까지 걸리는 시간을 의미한다.

이는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$DCPA = \frac{D V_o \sin \alpha - V_t \sin \beta}{\sqrt{V_o^2 + V_t^2 + 2 V_o V_t \cos(\alpha + \beta)}} [m] \quad (10)$$

$$TCPA = \frac{D(V_o \cos \alpha + V_t \cos \beta)}{V_o^2 + V_t^2 + 2 V_o V_t \cos(\alpha + \beta)} [sec] \quad (11)$$

$$DCPA' = \frac{DCPA}{L} \quad (12)$$

위험도 추정을 위한 DCPA'와 TCPA의 멤버십 함수와 추론규칙은 “선박충돌회피지원을 위한 자동제어-II”(임, 2004)에서 제안된 것을 사용하였다.

### 5. 시뮬레이션 결과

피항은 각 선박이 조우하는 형태와 퍼지에 의한 CR(0.7)을 기준으로 적절한 피항방법을 국제 해상충돌 방지규칙에 준하여 우현이나 좌현으로 회피하는 것을 원칙으로 한다. 자선과 타선의 조우하는 형태에 따른 분류와 피항방법은 “선박충돌회피지원을 위한 자동제어”(임, 2003)에서 제안된 것을 사용하였다. 때에 따라 선박의 속도를 늦추거나 엔진을 정지해야 하는 상황이 생길수도 있으나 이는 추후 좀 더 연구되어야 할 부분이다.

Fig. 4은 자선이 타선에 추월을 당하는 형태로 타선은 자동회피제어시스템이 없고(이는 이 논문의 모든 시뮬레이션에서도 그러하다), 또 타선의 조항자가 미쳐 본선을 확인하지 못했다고 가정한다. 피항은 자선이 우측으로 조치하는 것을 나타낸다.

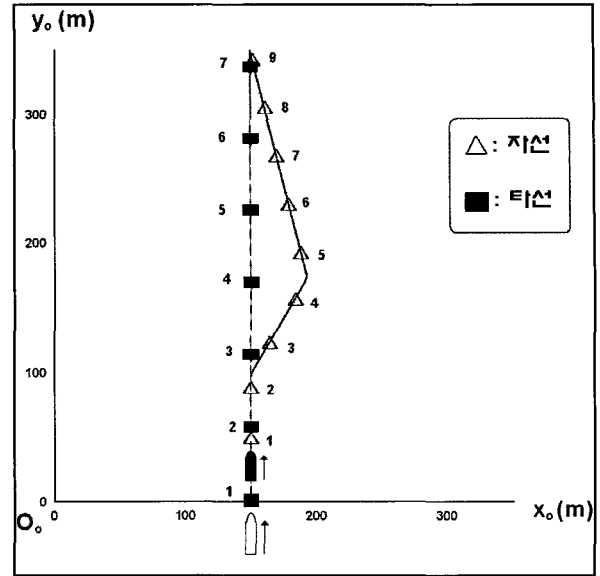


Fig. 4 Ship's trajectory of overtaken situation

Fig. 4에서 각 도형 옆의 숫자로 두 선박이 같은 시간에 어느 곳에 위치하고 있는지 판별할 수 있다.

추월을 당하거나 추월을 하는 경우의 피항은 위 경우처럼 두 선박이 동일한 항로위에 놓이게 되면 속도에 따라 차이는 있겠지만 DCPA'이 0이 되어 CR이 1(매우위험)이 나올 가능성이 많다. 따라서 추월하는 경우나 추월당하는 경우는 Fig. 3의 D가 L<sub>BP</sub>의 10배보다 작아지면 피항하게 설정되어 있다.

Fig. 5의 CR 그래프를 보면 25초 부근까지 CR이 1을 계속 유지하지만 자선은 본 항로를 계속 유지하고 두 선박의 Distance가 30m 이내로 좁혀지자(시뮬레이션 선박의 L<sub>BP</sub>는 3m임) 피항이 이루어 졌음을 볼 수 있다. DCPA'와 TCPA는 피항이 이루어지면서 안전한 수치를 보여주고 있다. 피항 후 복귀동작에서 DCPA'이 줄어드는 것은 두선박이 같은 항로위에 위치하게 됨으로서 나타나는 현상이다.

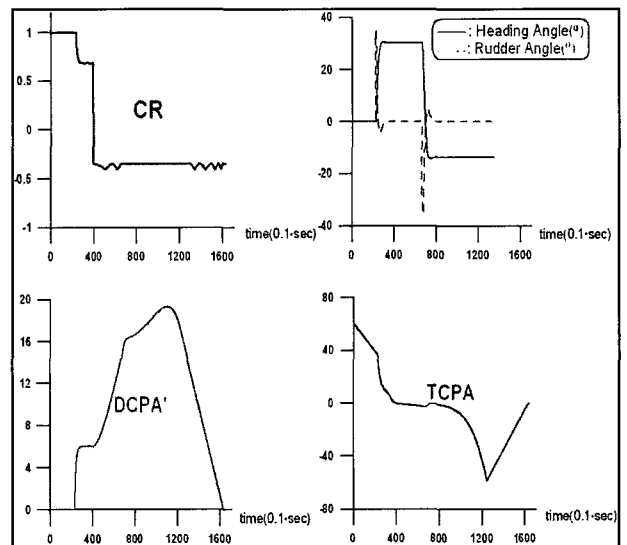


Fig. 5 Time histories of overtaken situation

Fig. 6는 자선이 다수의 선박을 대상으로 피항하는 시뮬레이션이다. 마름모와 원의 심볼이 있는 선박은 자선의 좌현 쪽에서 다가오고 있고 정삼각형의 선박은 우현 쪽에서 다가오고 있는 상황이다. 별표는 자선의 궤적이고 점선은 자선의 본래 운항항로이다. 이 경우 모든 선박의 속도는 동일하다.

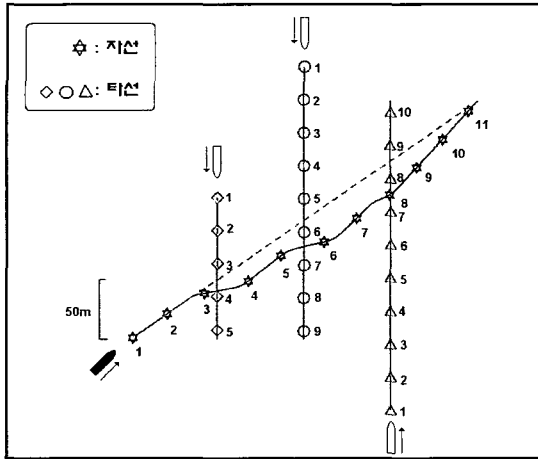


Fig. 6 Ship's trajectory of multi-ship situation

Fig. 7에서, CR1은 자선과 마름모 표시의 선박과의 CR이고, CR2는 원, CR3은 삼각형 표시의 선박과의 CR을 의미한다. 이번 시뮬레이션의 경우 총 세 번의 피항이 연속적으로 이루어졌는데 모두 우현변침으로 피항을 하였으며 모든 피항 동작을 마치고 자선은 본래의 항로로 복귀를 하였다.

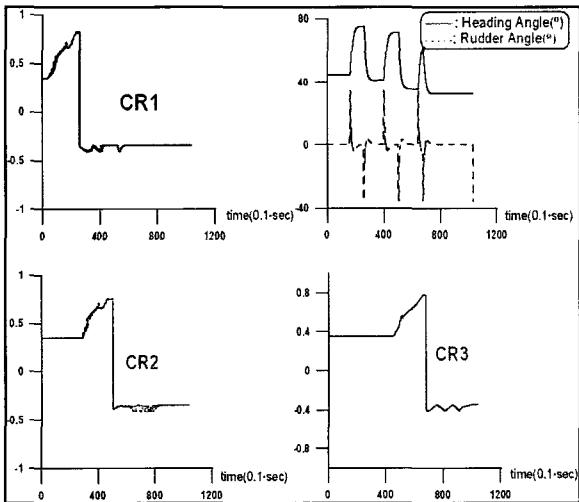


Fig. 7 Time histories of multi-ship situation

다음 시뮬레이션은 선박 각각의 속도가 다 틀리고 조우하는 형태도 다양하게 연출하였다.

Fig. 8에서, 자선의 항로주위로 4척의 선박이 지나고 있다. 자선은 최초 마름모꼴의 선박을 조우하면서 좌현변침을 실시하고 그 후 원모양의 선박과 충돌의 위험이 감지되자 다시 우현으로 변침하여 피항하고 있다. 그 후 사각형과 삼각형 표시

의 선박과 다시 조우하게 되면서 좌현변침 우현변침을 연속적으로 행하여 피항하고 있음을 알 수 있다.

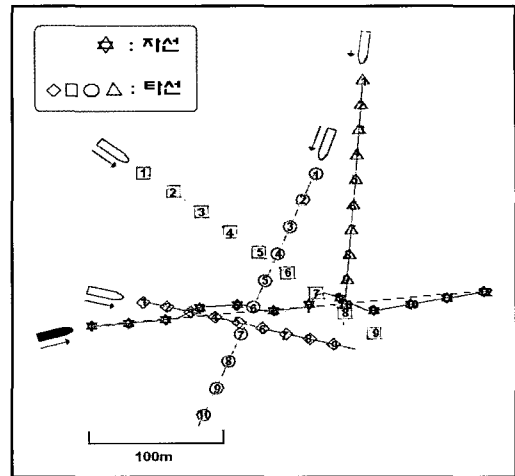


Fig. 8 Ship's trajectory of multi-ship situation 2

자선은 7번 지점에서 사각형의 선박과의 CR이 0.7 이상으로 결정이 되고 이때 이미 정해진 피항률에 따라 좌현변침 30도를 시도하였으나, 이후 DCPA'가 계속 높아지자 좌현으로 +10변침을 계속적으로 추가 실시하여 비교적 안전하게 피항을 마치고 있다. 이 경우는 "선박충돌회피지원을 위한 자동제어"(임, 2003)의 Encounter type 5에 해당하는 경우로서, 이는 좀 더 세부적인 분류로 때에 따라 우현과 좌현변침을 하도록 설정이 되어있다. 이 경우는 5-1의 타입이므로 좌현변침을 행하게 된 것이다. 3번 지점에서의 피항도 같은 이유로 좌현변침을 한 것이다. 7번 지점의 피항 동작에 의해 삼각형 표시의 선박과의 위험이 초래되고 다시 자선은 우현변침을 실시하여 피항 거동을 실시한다.

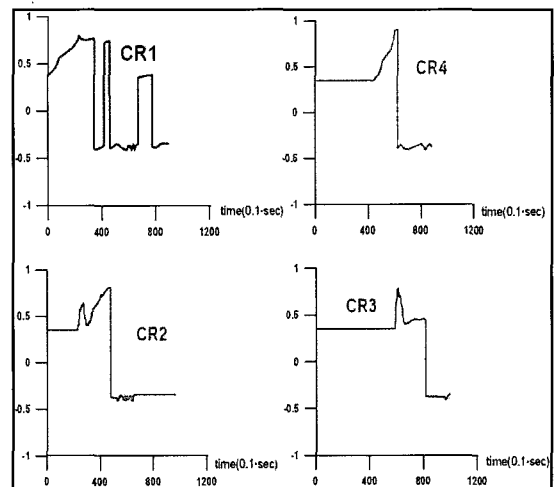


Fig. 9 Time histories of multi-ship situation 2

CR1은 마름모 표시의 선박과의 CR이고, CR2는 원, CR3은 삼각형 마지막으로 CR4는 사각형 표시의 선박과의 CR을 의

미한다. CR1이 피항 동작을 마치고 복귀한 후 한번씩 급격히 증가하는 것은 자신이 CR2, CR3에 의해 타선박과의 회피를 시도하던 중 선박이 같은 곳을 향하는 상황이 잠깐씩 생기는 과정에서 일어나는 상황이다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 인간의 시각이나 시각에 의존함으로써 초래될 수도 있는 선박간의 충돌에 대비하고 이로 인해 선박의 사고율을 줄이고 인명 및 물질의 피해를 최소화하는데 목적이 있다. 해상사고의 다수를 차지하는 충돌사고의 예방을 위해 퍼지추론을 이용하여 충돌회피 자동제어 시스템을 시뮬레이션 하였다. 기존의 연구에서 좀 더 세부적으로 타선과의 조우 형태에 따른 피항 방법을 세분화 하여 국제 해상 교통법에 준수한 규칙을 적용하였고, 다수선박에 대해서도 피항이 가능하게 시스템을 구축하였다. 또한 기본적으로 선박제어에 사용되는 조종방정식은 Surge-Sway-Yaw-Roll의 방정식을 사용하였고 유체력 미계수는 실험에 의해 얻은 값을 사용하였다.

다만, 본 연구에서는 넓은 대양을 지리적 조건으로 사용하였기에 항만 내의 다른 장애물이나 또는 계류 중인 선박들에 대한 회피는 원활하지 않을 수 있다. 그리고 해상교통법에 의거 속도를 줄이거나 정지해야하는 경우의 상황도 고려되지 못했다. 또한 파랑이나 파에 의한 외력이 있을시 조종성능에 영향을 줄 수 있으므로 이러한 부분도 차후 연구되어야 할 부분이다.

본 연구의 결과를 간략히 정리하면 다음과 같다.

(1) MMG. 수학적모델을 기반으로 Surge-Sway-Yaw-Roll 조종방정식을 사용하여 선박을 제어하고 PD제어를 통해 타를 제어하였고, 퍼지 추론과 퍼지규칙을 통해 위험도를 설정하여 해상교통법에 준한 피항을 하는 시스템을 구축하였다.

(2)다수의 선박과 연속적으로 조우하는 경우에도 피항이 가능하도록 시뮬레이터를 구축하였다.

(3)추후 지리적 장애물에 대한 고려와, 단순한 변침에 의한 회피 외에도 선속을 제어하거나 선박을 정지하는 등의 회피방법도 고려되어야 한다. 그리고 선체에 미치는 외력에 대한 부분도 앞으로 좀 더 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] 건설교통부(2004), 2004년도교통안전시행계획, pp. 42~48  
 [2] 권배준(2002), 소형어선의 충돌회피를 위한 자동제어에 관한 연구, 부산대학교 대학원  
 [3] 이승건(1984), 風力 및 橫搖의 影響을 考慮한 船舶의 操縱性能에 관한 研究, 부산대학교 대학원  
 [4] 이승건(1997), 선박 운동 · 조종론, 부산대학교 출판부

[5] 임남균(2003), 선박충돌회피지원 시스템을 위한 자동제어, 한국항해항만학회지, 제27권, 제4호, pp. 375~381  
 [6] 임남균(2004), 선박충돌회피지원 시스템을 위한 자동제어-II, 한국항해항만학회지, 제28권, 제1호, pp. 9~16  
 [7] J.N.Newman(1977), Marine hydrodynamics, The MIT Press

## 부 록 1. 기호설명

$C_{RX}$	; Ratio of the longitudinal force induced on the hull by the rudder to rudder drag force.
$F_N$	; Rudder Normal Force.
$GM$	; Metacentric height.
$I_x, I_z$	; Moment of inertia of ship about x, z axes.
$J_x, J_z$	; Added moment of inertia of ship about x, z axes.
$L$	; Hydrodynamic roll moment
$l_x, l_y$	; Z coordinate of the center of $m_x, m_y$ respectively.
$m$	; Ship's mass.
$m_x$	; Added mass of the ship in longitudinal direction.
$m_y$	; Added mass of the ship in lateral direction.
$N$	; Hydrodynamic yaw moment.
$r$	; Yaw angular velocity.
$t$	; Time in general, or effective thrust deduction factor.
$T$	; Thrust of propeller.
$u$	; Surge velocity.
$U$	; Resultant speed of the ship.
$v$	; Sway velocity.
$x_H$	; X-coordinate of the center of the lateral force induced on hull by the rudder interaction.
$x_R$	; X-coordinate of the center of rudder normal force.
$X$	; Hydrodynamic surge force.
$Y$	; Hydrodynamic sway force.
$z_R$	; Z-coordinate of the center of the forces acting on the rudder hull due to rudder deflection.
$\alpha_y$	; X-coordinate of center of $m_y$ .
$\phi$	; Roll angle
$\rho$	; Density of water.
$\delta$	; Rudder angle.

원고접수일 : 2004년 10월 18일

원고채택일 : 2005년 1월 14일