

# 선박충돌회피지원 시스템을 위한 자동제어

임 남 균\*

\* 삼성중공업 조선플랜트 연구소

## Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support System

Nam-Kyun Im\*

\* Samsung Heavy Industries Co.,Ltd. Daeduck Science Town, Daejeon 305-380, Korea

**요 약** : 일본을 중심으로 과거 10여년전부터 수행되어온 선박충돌회피연구는 최근 눈부신 IT산업의 발전에 힘입어 실용화 단계에 까지 접어들 수 있는 환경을 맞이 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 선박충돌회피지원시스템의 주요 핵심 기술인 자동회피 알고리즘을 구성하기 위한 연구를 수행하였다. 선박운동방정식은 간편히 선체운동을 수학적으로 표현하는 KT모델을 이용하였으며, 선박이 정해진 항로를 유지해 나가는 Track Control System의 구현을 위해서는 퍼지 이론을 이용한 자동제어 시스템을 적용하였다. 또한 충돌회피 추론 부분에서는 위험도 관정을 위하여 TCPA와 DCPA를 이용한 퍼지 추론이 이용되었다. 충돌회피거동 기능면 에서는 국제해상충돌예방규칙을 기초로 하여, 두 선박의 다양한 조우 상황을 분석하였다. 이 분석에 기초한 피항거동이 이루어질수 있도록 알고리즘을 구축하였다. 제안된 시스템의 유효성을 검증하기 위하여, 다양한 상황의 시뮬레이션이 수행되었다. 그 결과 적절한 선박충돌회피 동작이 이루어지는 것을 확인하였으며, 향후 더욱 연구가 발전된다면 선박충돌회피지원시스템으로 실 선박에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

**핵심용어** : 선박자동충돌회피, Fuzzy Rule, TCS(Track Control System), 선박조종, 자동제어

**Abstract** : The studies on automatic ship collision avoidance system, which have been carried out last 10 years, are facing on new situation due to newly developed high technology such as computer and other information system. It was almost impossible to make it used in real navigation 3-4 years ago because of the absence of the tool to get other ship's information, however recently developed technology suggests new possibility. This study is carried out to develop the algorithm of automatic ship collision support system. The NOMOTO ship's mathematic model is adopted in simulation for its simplicity. The fuzzy reason rules are used for course-keeping system and for the calculation of Collision Risk using TCPA/DCPA. Moreover 'encounter type' between two ships is analyzed based on Regulations for Preventing Collisions at Sea and collision avoidance action is suggested. Some situations are simulated to verity the developed algorithm and appropriate avoidance action is shown in the simulation.

**Key words** : ship automatic collision avoidance, fuzzy rule, TCS(track control system), ship manoeuvring, automatic control

## 1. 서 론

과거부터 자동운항선박 연구가 활발하게 이루어져왔다. 그 중의 한 부분이 자동충돌회피연구이다. 이 연구는 아직 실용화 단계에 까지 이르지 못하는 못했으나, 최근들어 GPS, ECDIS, AIS등의 첨단 항해장비가 발전하게 되면서 본선과 상대선에 대한 정보 취득과 교환이 용이하게 되자, 실용화 단계에 접어들 수 있는 환경이 서서히 마련되고 있는 실정이다. 이 연구가 본격적으로 시작된 것은 일본에서(K. Hasegawa, 1987, 1997) 퍼지추론을 이용하여, 피항제어에 관한 알고리즘을 연구한 것이 그 시작이었다. 현재의 많은 연구에서도 그의 이론이 많이 참조되고 있다. 이 연구의 핵심중에 하나인 충돌위험도 산정 모델을 계산함에 있어 다른 방법들도 많이 제시되었다. Hiroshi Isshiki는 가상지형화라고 불리는 독특한 방법(목적지를 계곡, 장애물을 산으로 간주하여, 물이 산위에서 계곡으로

흘러가듯 선박이 위험물을 피해 가는 방법)을 이용하여, 상대선과의 충돌위험도를 계산하고 이를 적용한 연구(H.Isshiki, 1994)를 발표하였으며, Nobuo Arimura는 충돌위험도 산정시 위험지역산정이란 방식을 채용하여 그 효용성(N.Arimura, 1994)을 입증하기도 하였다. 최근에는 선박간의 충돌회피뿐만 아니라 수중 운항체와 장애물과의 충돌회피 연구(Nam-Sun Son, 2001)가 수행되기도 했으며, 유전자 알고리즘 이론을 이용하여 선박충돌회피가 수행되는 연구(Han-Jin Lee, 1997) 또한 수행되기도 하였다. 최근엔 국내에서도 조금씩 연구(Seung-Keon Lee, 2002)가 수행되고 있는 실정이다.

본 논문은 Hasegawa의 퍼지추론 방식을 기본으로 채택하여, 충돌회피 알고리즘을 구축하였고, 항해자에게 충돌회피 거동을 지원하기 위한 기초 연구로써 수행되었다. 상대선박의 충돌회피 기능 뿐만 아니라 주어진 항로를 유지하는 Course-Keeping 기능을 갖추고 있으며, 피항 거동시 보다 다

\* 대표저자 : 임남균(정회원), namkyun.im@samsung.com, 011)9802-0582

양한 피항 항로를 제시하며, 피항에 관한 국제규칙에 충실하도록 알고리즘을 구성하였다. 그 효용성을 검증하기 위해서 다양한 상황에서 시뮬레이션이 수행되었다.

### 2. 선박운동모델

시뮬레이션에 사용된 선박의 제원은 Table 1에 나타나 있다. 수치계산을 위한 운동방정식은 계산의 간편성을 위해 KT 모델(K. Nomoto, 1956, 1957)을 채용하였다. 이 모델은 비선형성이 강한 선박의 움직임을 충실히 표현하는데는 많은 제한이 있다. 그러나 본 연구의 목적은 실선 적용 전 단계에서 피항 Rule을 작성 해 보고 이를 적용 하여 개략적인 타당성을 알아 보는 목적으로 행하여진 연구이기 때문에, KT 모델 사용으로 인해 시뮬레이션상에서 발생하게 되는 선박 움직임의 다소 차이는, 피항 Rule 을 적용해 보고 그 Rule의 타당성을 판단 하는데 있어서는 그리 큰 영향을 주지 않는다고 판단된다. 이 모델은 그 간편성과 유효성으로 인해 아직까지도 간이 시뮬레이션등에 많이 쓰이고 있는 모델이다. 선회각속도, 선속, 조타등을 식 (1)-(3)을 이용하여 표현하였다. 좌표계는 Fig.1에서 처럼 지구 고정 좌표계  $O_0-x_0y_0$  와 이동하는 선체 중앙에 원점을 둔  $O-xy$  선체 고정 좌표계를 사용하였다.

$$T\dot{r} + r = K\delta \tag{1}$$

$$T_V\dot{V} + V = V_{order} \tag{2}$$

$$T_E\dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \tag{3}$$

여기서,  $V$ : 선속,  $V_{order}$ : 명령타각,  $r$ : 선회각속도,  $\delta$ : 타각,  $\delta_{order}$ : 명령타각,  $K, T$ : 조종성능지수,  $T_E$ : 조타 시정수,  $T_V$ : 선속 시정수를 각각 의미한다. 조종성 지수  $K, T$ 는 선형, 타면적, 조타각에 의해 변화하며, 실제 시뮬레이션에서는  $T' = (V/L)T$  및  $K' = (L/V)K$  로 각각 무차원화되어 사용되었다. 계수값들은  $T' = 6.0$ ,  $K' = 3.395$ ,  $T_E = 2.5$ 초,  $T_V = 500$ 초를 각각 적용하였다.

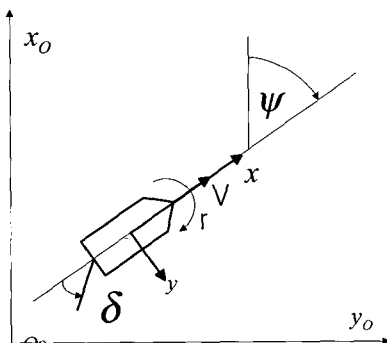


Fig. 1 The ship's coordinate

Table 1 Particulars of the ship

Type	Tanker
Lpp (m)	325
B (m)	53
d (m)	21.8
Cb	0.8306

### 3. Course Keeping 기능

본 논문의 시뮬레이션에서는 피항행동과 더불어 주어진 항로를 따라 항행하는 Course-Keeping 기능을 포함하고 있다. 주어진 항로의 WayPoint가 주어지면 선박은 Fig. 2와 같이 현재의 선박 위치에서 가장 가까운 WayPoint와 그 다음 WayPoint를 참조하여 적절히 항로를 취하게 된다. 식 (4)에서 보는 것처럼, 가장 가까운 WayPoint 1로 향해야 할 코스( $\phi_1$ )와 그 다음 WayPoint로 향해야 할 코스( $\phi_2$ ) 모두를 참조하여, 적절히 실제 명령 코스( $\phi$ )가 계산된다. 이때  $I_C$ 는 두 WayPoint의 참조도를 의미하며 두 WayPoint의 남은 거리, 도달 거리 등의 요소를 참조하여 퍼지 추론 및 퍼지물에 의해서 정해지게 된다(K. Hasegawa, 1987, 1997). 이렇게 구성된 기능을 시뮬레이션을 통해 구현시켜보았다. Fig. 3은 항로를

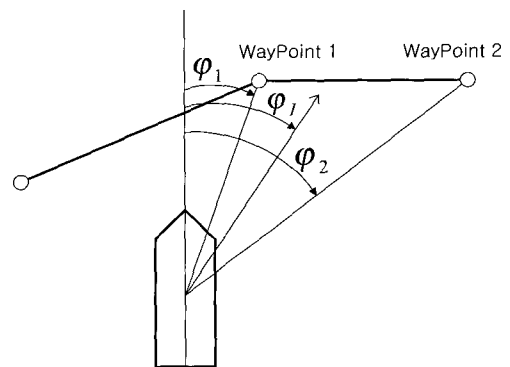


Fig. 2 Diagram for course keeping function

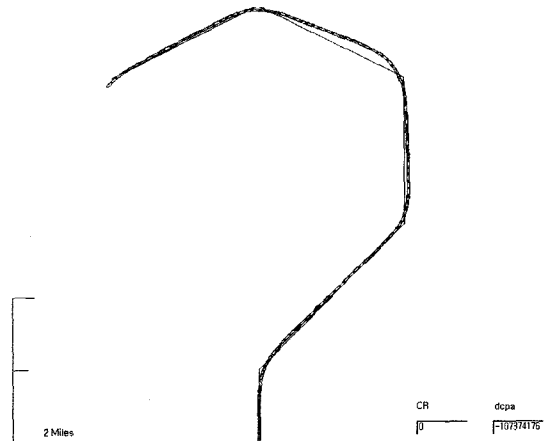


Fig. 3 The ship's trajectory

따라 선박이 항행하는 모습을 보여주고 있다. 선박의 항해 계획이 항로를 따라 비교적 잘 나타나 있음을 보여주고 있다.

$$\varphi_I = \varphi_1 + (\varphi_2 - \varphi_1) \cdot I_C \quad (4)$$

### 4. 충돌위험도 계산

선박 충돌 회피 시스템에 관한 많은 연구는 두 선박간의 충돌위험도(Collision Risk)를 CR이라는 지수로 표시하였다. 대체로 그 값의 범위는 -1에서 1를 취하고 있으며, 0이하의 대략 충돌위험이 없으며, 충돌 위험이 증가함에 따라 1에 접근하는 값을 취하고 있다. 본 연구에서도 이 지수를 이용하였으며 두 선박간의 최단 접근 거리를 표시하는 DCPA와 최단 접근거리로 접근하기까지 남은 시간인 TCPA 를 이용하여 퍼지 추론과정을 거쳐 계산되었다. 이용된 퍼지 소속함수 및 추론 규칙은 참고문헌(K. Hasegawa, 1987, 1997)을 참조하였으나,

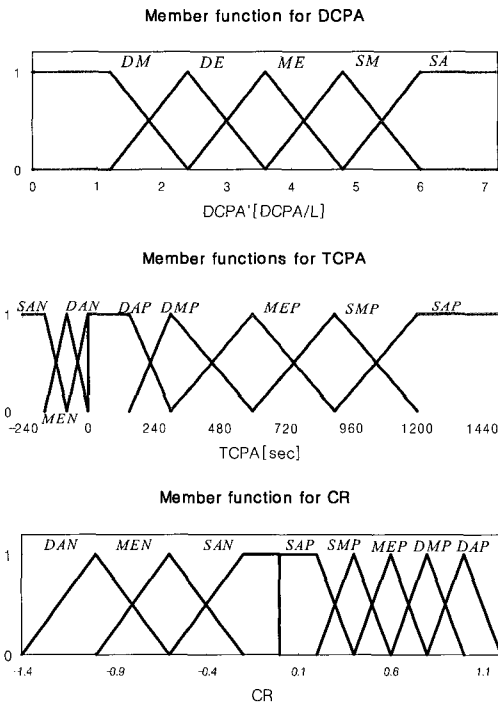


Fig. 4 Fuzzy membership functions

Table 2 Reasoning Rules for Collision Risk

		T C P A							
		SAN	MEN	DAN	DAP	DMP	MEP	SMP	SAP
DCPA	DA	SAN	MEN	DAN	DAP	DMP	MEP	SMP	SAP
	DM	SAN	SAN	MEN	DMP	MEP	SMP	SAP	SAP
	ME	SAN	SAN	SAN	MEP	SMP	SAP	SAP	SAP
	SM	SAN	SAN	SAN	SMP	SAP	SAP	SAP	SAP
	SA	SAN	SAN	SAN	SAP	SAP	SAP	SAP	SAP

퍼지 튜닝작업을 수행하여 두 선박간 피항 개시 시점이 두 선박간 거리가 대략 4 5miles 이 되도록 조종하였으며, 이는 통상 항해사들이 4-5miles 전후에서 피항을 개시하는 현실을 반영시킨 것이다. 그 소속함수 및 추론규칙은 Fig. 4 및 Table 2에 나타나 있다.

### 5. 피항거동 Rules

항해사는 바다에서 상대선박을 인지하고 충돌위험을 느끼면 국제해상충돌예방규칙이라는 정해진 규칙에 의거하여 선박의 진행 방향이나, 엔진 출력을 적절히 변화시켜 안전한 항해를 유지하게 된다. 본 연구의 시뮬레이션에도 충돌 위험도가 계산되면 충돌위험도를 바탕으로 선박은 적절한 피항 동작을 실시하게 된다. 이때 사용되는 것이 피항거동 Rules 이다. 선박충돌회피에 관한 기존의 연구 논문들은 위험도 산정 문제에 주로 그 초점이 있었으며, 피항거동 Rule 적용 부분에서는 다소 관심을 덜 준 것이 사실이었다. 본 논문에서 채택된 피항거동 알고리즘에서는 국제해상충돌예방규칙에서 제시한 많은 선박조우상황에 따라 다양한 피항거동을 제시할 수 있도록 설계하였다. 이를 위해서 두 선박의 조우 상황을 판단할 수 있는 파라메타가 필요한데, Fig. 5는 두 선박 간의 조우 상황을 판단하기 위한 중요한 두 가지 요소를 설명하고 있다. 여기서  $\theta$  는 본선이 상대선박을 바라 보았을 때 상대선박의 상대방위를 의미한다.  $\Phi$  는 만남각도로서, 상대선박과 본선이 마주치는 각도를 의미한다. 이 두각도를 이용하여, 상대선박과 본선의 조우 형태를 판단하고, 이를 근거로 하여 피항 조치를 구분하여 행하도록 하였다.

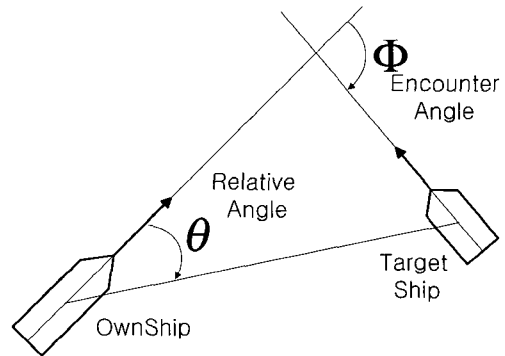


Fig. 5 Relative angle and encounter angle

Fig. 6는 조우형태(Encounter Type)를 구분하는 도식이다. 가운데 부분의 큰 선박이 본선이며, 주위의 작은 원의 위치가 상대선박의 상대방위이다. 본선주위의 큰 원이  $\theta$ 의 분포를 의미하며, 상대선박 주위의 작은 원이  $\Phi$ 의 분포를 각각 의미하고 있다.  $\Phi$ 의 분포를 나타내는 작은 원안에 각각 숫자가 있는데 이것이 조우 형태 구분을 의미하며, 그 조우 형태에 따라 각각의 피항거동이 달라진다. 조우 형태에 따른 각각의 피

항거동 규칙은 Table 3에 나타나 있다. Fig. 7는 Encounter Type 4와 5의 세부 구분을 나타내는 것으로 본선이 추월선 및 피 추월선일 때 각각의 세부 피항거동을 표시하고 있다.

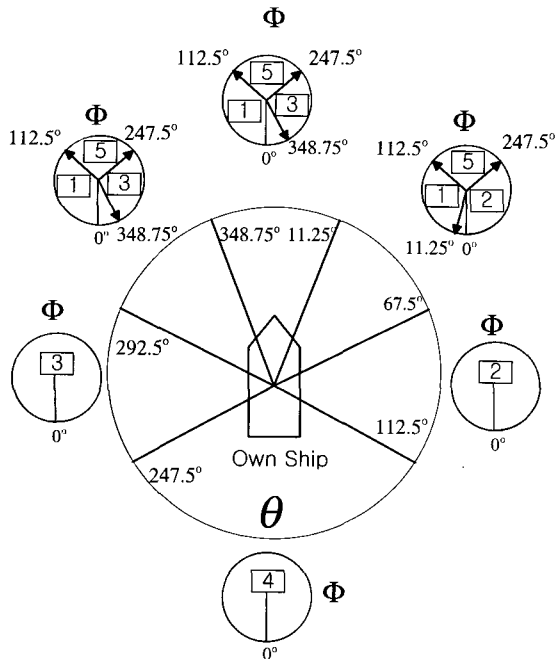


Fig. 6 Encounter type between two ships according to relative angle and encounter angle

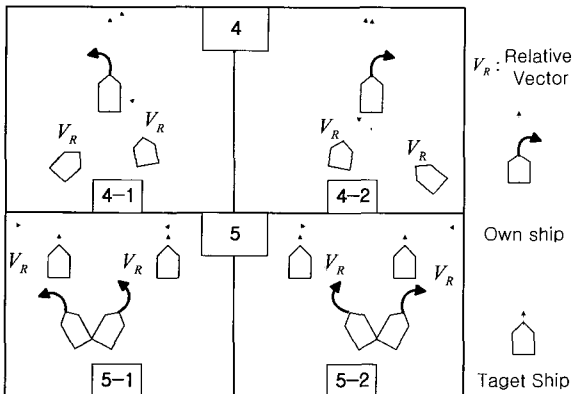


Fig. 7 Encounter type according to relative motion between two ships

여기서,  $V_R$ 은 본선과 상대선간의 상대움직임에 의한 벡터를 의미한다. 본 연구에서는 기존의 연구들과 달리, 본선이 상대선박을 추월할 경우 무조건 우현변침을 통해 추월 하는 방식이 아니라 상대선박과 본선의 상대벡터를 이용하여, 추월 방향을 결정할 수 있는 알고리즘을 추가하였다. Fig. 7의 Encounter Type 4-2의 경우, 본선 후방으로 두척의 선박이 본선을 추월하려는 상황을 표시하고 있다. 이때 본선 우현 뒤쪽의 선박을 예를 들어 설명하면, 본선과 상대선박의 상대벡터를 나타내는  $V_R$ 이 본선의 선미를 통과하고 있다. 이런 경

우는 추월선인 상대선박은 우현보다는 좌현으로 변침을 하여 본선의 선미쪽으로 추월을 하도록 하며, 본선은 유지선이지만, 위험상황이 되면, 피항거동을 우현으로 해야 할 경우를 나타내고 있다. 여기서 주목할만한 점은 조우형태를 구분하는데 단순한 본선과 타선의 위치, 침로 뿐만 아니라 상대벡터를 이용하여 우현 변침과 좌현변침을 구분하도록 하였다. 나머지 Encounter Type 4-1, 5-1, 5-2도 마찬가지로 각각의 피항 거동을 그림으로 간단히 표시하고 있다.

Table 3 Rules for collision avoidance action

Encounter Type	Collision avoidance Action
1	- CR>0.7 되면 우현으로 30도 변침 실시 - 변침후 DCPA를 확인하고, 일정치 이상이 되면, 계속 +10도를 변침하여, DCPA가 기준치 이하가 되는 변침선수각을 계산하여 침로를 변경한다.
2	- CR>0.7 되면 좌현으로 30도 변침 실시 - 변침후 DCPA를 확인하고, 기준치 이상이 되면, 계속 -10도를 변침하여, DCPA가 기준치 이하가 되는 변침선수각을 계산하여 침로를 변경한다.
3	- Type 1,2에서 설정한 CR 기준치를 다소 초과 하더라도 항로를 유지하지만, 상대선이 계속 접근하여, 일정 기준치를 초과하면, Type 1과 같은 방식으로 피항동작을 실시한다.
4-1, 5-1	CR 값이 Type 3의 한계값에 이를 때 까지 항로를 유지한다. 그 이상을 초과하면, 피항거동은 Type 2를 기본적으로 따른다.
4-2, 5-2	CR 값이 Type 3의 한계값에 이를 때까지 항로를 유지한다. 그 이상을 초과하면, 피항거동은 Type 1을 기본적으로 따른다.

지금까지 설명한 전체 피항 Rule 흐름을 간단히 도식하면 Fig. 8과 같다. 우선 첫 단계는 본선 주위의 선박에 대해 정보를 입수한다. 이 단계에서는 레이더, AIS에서 타선의 정보를 얻는 것을 가정하고 있다. 두 번째 단계는 이들 정보를 바탕으로 위험도인 CR과 조우 타입을 계산한다. CR계산은 제4장에서 설명한 두 선박간의 최접근거리 및 최접근거리까지의 시간을 이용하여 계산하게 되며, 조우타입은 Fig. 6에 설명되어 있듯이, 두 선박 간의 상대방위와 진행 방향에 따라 결정된다. 다음 단계는 이렇게 계산된 두 요소를 바탕으로 가장 위험도가 높은 선박을 선별하고, 그 선박과의 피항 여부 및 변침 방향, 변침량을 결정하는 단계이다. Table 3에서 보는 바와 같이 피항 여부의 중요한 요인 중 하나는 계산된 위험도인 CR이 미리 설정한 한계값을 넘는가 여부이다. Table 3에서는 각 조우 형태 별로 경우의 수를 서술하고 있으며, 적용되는 변침 방향, 변침량이 나타나 있다. 그 다음 단계는 계산된 변침 방향, 변침량을 이용하여 Course-Keeping 기능을 수행하는 과정으

로서 제3장에서 설명한 Auto Pilot 기능이 수행되는 부분이다. 이 단계까지 거치게 되면 선박은 상대선박을 인식하여, 충돌 위험을 느끼고 피항 동작을 행하게 된다. 그러나 충돌회피 알고리즘을 구축하는데 있어서, 우리가 간과할 수 없는 것은 부분은 피항 동작 후 코스 복귀까지의 과정이다. 피항 동작이 일어나면 선박은 항로에서 무한히 벗어나지 않도록 수시로 원래의 항로로 복귀할 수 있는지를 점검해야 한다. 이때 고려되는 요소로는 가상위험도(K. Hasegawa, 1987, 1997)가 있다. 가상 위험도란 항로 복귀를 하기 위하여 선박의 방위를 변화하였다고 가정 하였을 때 계산되는 충돌위험도를 말한다. 이 가상 위험도가 설정치 이하 일때 복귀한다. 보통은 상대선박이 본선의 정횡 근처를 항과하는 시점이 항로 복귀 시점이다. 복귀 후에는 제3장에서 설명한 Course-Keeping기능에 따라 일반적 인 항해를 하면 된다.

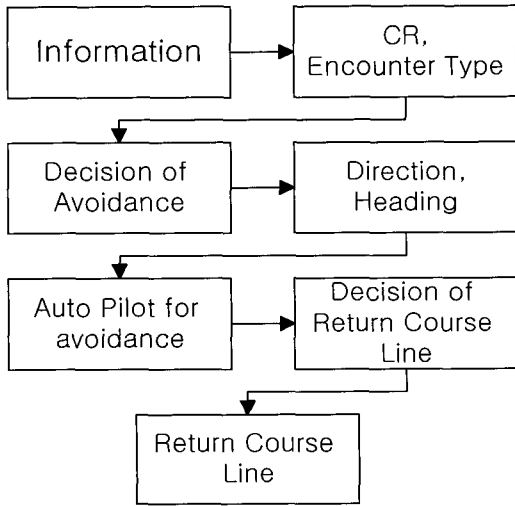


Fig. 8 The flow of Avoidance Rule

### 6. 시뮬레이션 결과

위에서 제시된 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 9-10은 Encounter Type 1인 경우의 선박 항적 및 그때의 주요 데이터 시계열을 나타내고 있다. 본선이 화면 중앙 아래에서 화면 위쪽으로 진행중이며, 상대선박이 정선수에서 화면 아래로 내려오는 상황이다. 항적을 보면 본선이 우현 변침을 하여 상대선박을 피항 하였음을 알 수 있다. 시계열 데이터를 살펴보면, 100초 부근에서 CR 값이 0.7이상을 기록하고, 타각이 20도 가까이 우현으로 사용되어, 본선의 heading이 0도에서 약 50도까지 변화했음을 보여주고 있다. 50도 정도까지 변화하여, CR값이 0 가까이 저하되자, 이번에는 원코스 침로로 복귀하여 진행하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11-12는 Encounter Type 1중 본선의 우현에서 상대선박이 cross 상태로 접근하는 경우를 나타내고 있다. 이 경우 본선이 피항선이며 상대선박은 유지선이 된다. Fig. 11의 항적을 살펴보면, Fig. 9와 비교하여 본선이 많은 변침을 하고 있음

을 보여주고 있다. Fig. 12를 살펴보면, 100초를 조금 지나서, CR값이 1로 급속히 증가함을 보여주고 있으며, 이에 반응하여, 선수 명령 침로가 우현으로 50도 증가하였다. 타각은 20도 이상 사용하면서 명령 침로를 200-400초 동안 유지함을 보여주고 있다. 200초 부근에서 CR값이 기준치 이하로 저하되었지만, 원침로 복귀 시 위험이 잠재하기 때문에 400초까지 침로를 복귀하지 않고 피항 침로를 유지함을 보여주고 있다.

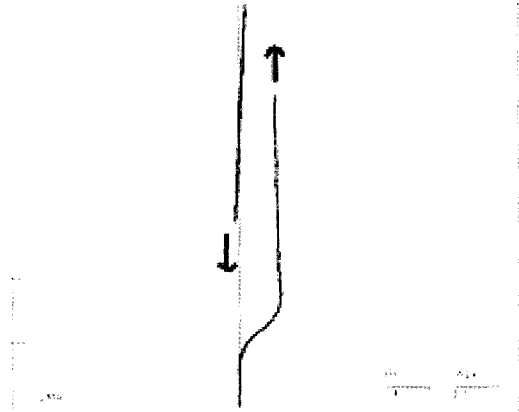


Fig. 9 Ship's trajectory of head-on situation

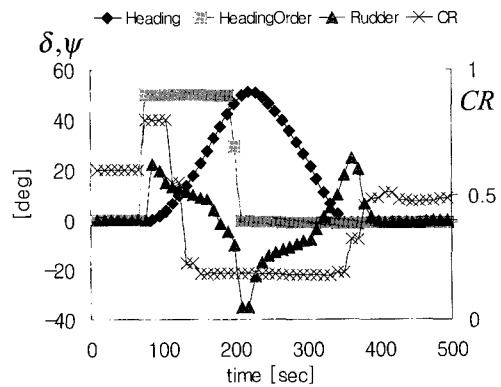


Fig. 10 Time histories of head-on situation

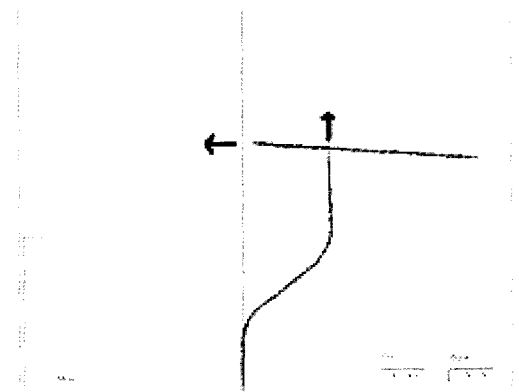


Fig. 11 Ship's trajectory of crossing situatio.

Fig. 13은 본선이 상대선을 추월하다가 우현으로 변침하여

추월을 계속하는 상황을 보여주고 있다. Fig. 14를 살펴보면 400초 까지는 위험도 CR값이 설정치인 0.7까지 서서히 증가함을 알 수 있으며, 500초 부근에서 0.7을 초과하자, 명령침로가 우현으로 40도 정도로 계산되었으며, 이를 추종하기 위해 타각이 우현으로 약 20도 정도 사용되어 침로가 약 40도를 유지하였고, CR 값이 0으로 급감하여, 원코스스로 복귀하는 상황을 잘 나타내고 있다. 한편 Fig. 15는 다수의 선박과 조우한 경우를 나타내고 있다. 시뮬레이션 초기에는 본선 우현에서 나란히 진행하는 B 선박을 가장 위험한 선박으로 인식하고, 본선은 좌현으로 변칙하였고, 곧이어 본선 좌현에서 횡단하려는 A 선박으로 인해 다시 우현으로 변칙하여 무사히 피항 동작을 수행하는 과정을 잘 알 수 있다.

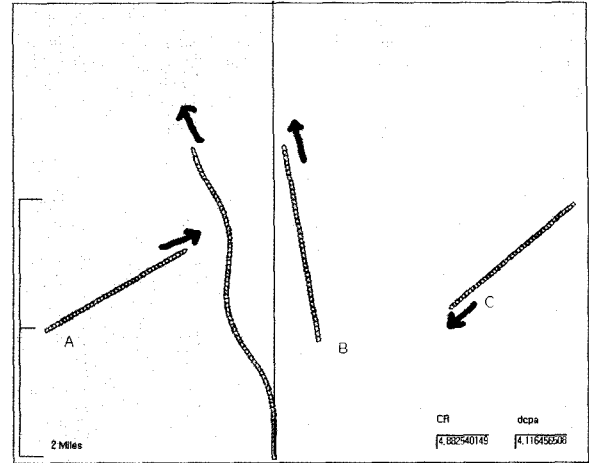


Fig. 15 Ship's trajectories of multi-encounter

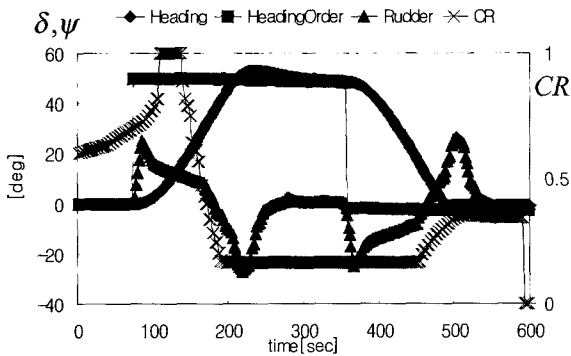


Fig. 12 Time histories of crossing situation

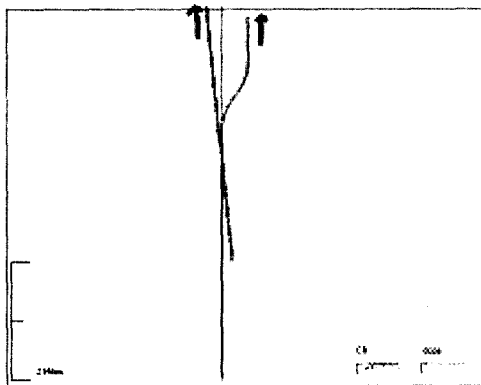


Fig. 13 Ship's trajectory of overtaking situation

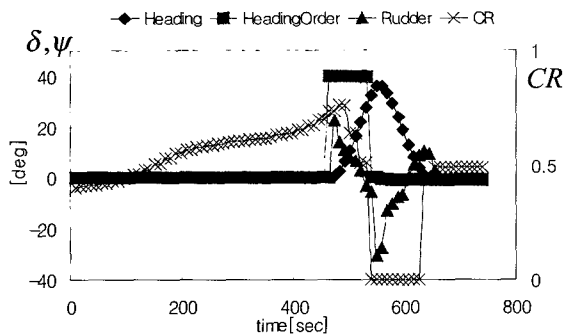


Fig. 14 Time histories of overtaking situation

## 7. 결론

본 연구는 선박충돌회피지원을 위한 알고리즘 구축을 주 목적으로 수행되었다. 주요 성과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 두 선박간의 조우 형태를 국제해상충돌예방규칙을 기초로 분류하는 작업을 수행하였으며, 그 분류를 통하여 피항거동에 적용하는 알고리즘을 제안하였다.
- 두 선박이 추월/피추월 상황이 되었을 경우, 선박 위치와 현재 코스뿐 아니라, 두 선박의 상대 움직임을 계산한 상대벡터를 이용하여 추월 혹은 피항하는 방향을 결정하도록 알고리즘을 개발하였다.
- 다수 선박 조우시 가장 위험도가 높은 선박을 선별하여 피항 Rule을 적용할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.
- 피지 함수를 적절히 튜닝하는 작업을 수행 하였으며, 이로 인해 현실에서 항해사들이 두 선박이 마주치는 경우 피항을 개시하는 거리인 4-5miles이 시뮬레이션상에서도 적용 되도록 하였다.

본 논문에 제안된 피항 Rule은 한 선박의 조우 경우에 대해서는 무난히 대응할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 다중 선박의 조우시는 가장 위험성이 높은 선박에 대해서 우선적으로 피항 동작을 하고 있기 때문에 무리를 지어 접근하는 선박이나 어선 같이 무리를 지어 위치하고 있는 선박의 경우 피항에 다소 그 한계를 나타낼 수 있다. 따라서 그러한 경우는 조우하는 선박을 전체적으로 판단하는 알고리즘의 추가와 더불어 엔진 사용 등과 같은 보다 적극적인 피항 행동 등이 보장된다면 보다 충실한 알고리즘이 될 것으로 예상된다. 또한 항해하는 사용자가 외부 환경 요소(예를 들면, 날씨, 선박 통항량 등)에 따라 피항을 개시하는 시점과 선박 간 정횡 통과 거리를 선택할 수 있는 내부 알고리즘의 개발이 요구된다. 이 문제는 현실적으로 항해사의 경우 항내 조건, 연안 항해, 원양항해 등 항해환경에 따라 피항 개시 시점과 선박 간 정횡 통과 거리 등을 달리하기 때문인데, 향후 연구에 있어서는 이러한 문제 또한 반영해야 할 과제의 하나이다.

참 고 문 헌

- [1] Han-Jin Lee(1997), Collision Avoidance System by Using Expert System and Search Algorithm, Ph. D. thesis, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University
  - [2] Hiroshi Isshiki(1994), Algorithm for Collision Avoidance of a ship, Japan Kansai Society of Naval Architecture, No. 222 pp 117-123
  - [3] Kazuhiko Hasegawa, Akihiko Kouzuki(1987), Automatic Collision Avoidance System for ships using fuzzy control, Japan Kansai Society of Naval Architecture, No. 205 pp 1-10
  - [4] Kazuhiko Hasegawa, et al(1997), Reconfiguration of Auto-navigation Fuzzy Expert System, The Kansai Society of Naval Architecture,
  - [5] Nam Sun Son, et al(2001), A Design of Collision Avoidance System of an Underwater Vehicle, JSNAK, Vol. 38, No. 4, pp.23-29,
  - [6] Nobuo Arimura, et al(1994), "Development of Collisions Preventing Support System, Japan Institute of Navigation, No. 91, pp195-201
  - [7] Seung-Keon Lee, Bas-Jun Kwon (2002), A Study on the Automatic Control for Collision Avoidance of the ships, Journal of Korean Navigation and Port Research, No. 26 Vol.1, pp 8-14
  - [8] K. Nomoto (1956, 1957), Study on ship's manoeuvrability, Journal of Japan Society of Naval Architecture, No.99 No.101
- 
- 원고접수일 : 2003년 4월 14일  
원고채택일 : 2003년 9월 4일