

선박자동충돌회피지원을 위한 자동제어

임남균*

*삼성중공업 조선플랜트 연구소

Automatic Control for Ship Automatic Collision Avoidance Support

Nam-Kyun Im*

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

요약 : 일본을 중심으로 과거 10여년전부터 수행되어온 선박자동충돌회피연구는 최근 눈부신 IT산업의 발전에 힘입어 실용화 단계에 까지 접어들 수 있는 환경을 맞이 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 선박자동충돌회피지원시스템의 주요 핵심 기술인 자동회피 알고리즘을 구성하기 위한 연구를 수행하였다. 선박운동방정식은 간편히 선체운동을 수학적식으로 표현하는 KT모델을 이용하였으며, 선박이 정해진 항로를 유지해 나가는 Track Control System의 구현을 위해서는 퍼지 이론을 이용한 자동제어 시스템을 적용하였다. 또한 충돌회피 추론 부분에서는 위험도 판정을 위하여 TCPA와 DCPA를 이용한 퍼지 추론이 이용되었다. 충돌회피거동 기능면에서는 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 자동선박충돌회피지원시스템으로 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 verify 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. 서론

과거부터 자동운항선박 연구가 활발하게 이루어져왔다. 그중의 한 부분이 자동충돌회피연구이다. 이 연구는 아직 실용화 단계에 까지 이르지 않는 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 Hasegawa가(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 가상 지형화라고 불리는 독특한 방법(목적지를 계곡, 장애물을 산으로 간주하여, 물이 산위에서 계곡으로 흘러가듯 선박이 위험물을 피해 가는 방법)을 이용하여, 상대선과의 충돌위험도를 계산

*정회원 namkyun.im@samsung.com 011)9802 0582

하고 이를 적용한 연구(H.Isshiki,1994)를 발표하였으며, Nobuo Arimura는 충돌위험도 산정시 $tcpa$ $dcpa$ 을 이용하지 않고 위험 지역산정방식을 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 다양한 피항 항로를 제시하며, 피항에 관한 국제규칙에 충실하도록 알고리즘을 구성하였다. 그 효용성을 검증하기 위해서 다양한 상황에서 시뮬레이션이 수행되었으며, 대체로 무난히 피항거동이 수행됨을 확인할 수 있었다. 피항거동의 다양화를 더욱 세부화 하고 효용성을 확인한다면, 항해자에게 피항거동을 제시하는 도구로써 활용할수 있는 가능성을 확인 하였다.

2. 선박모델

시뮬레이션에 사용된 선박의 제원은 table 1에 나타나 있다. 수치계산을 위한 운동방정식은 계산의 간편성을 위해 K,T 모델(K. Nomoto,1956,1957)을 채용하였다. 이 모델은 그 간편성과 유효성으로 인해 아직까지도 간이 시뮬레이션등에 많이 쓰이고 있는 모델이다. 선회각속도, 선속, 조타 등을 식 (1)-(3)을 이용하여 표현하였다.

$$T\dot{r} + r = K\delta \quad (1)$$

$$T_V\dot{V} + V = V_{order} \quad (2)$$

$$T_E\dot{\delta} + \delta = \delta_{order} \quad (3)$$

여기서, V : 선속, V_{order} :명령타각, r :선회각속도, δ :타각, δ_{order} : 명령타각, K,T : 조종성능지수, T_E :조타 시정수, T_V : 선속 시정수를 각각 의미한다. 또한 보침과 변침을 행하기 위해서 지령 침로와 현침로의 차이(ψ_e), 선회각속도(r)를 변수로 한 퍼지추론을 수행하여 명령타각을 계산하였다. 즉 명령침로가 주어지면 적절한 타각명령을 하기 위해 현재의 선회각속도 그리고 지령침로와 현침로의 차이값을 이용하였다. 이때 사용된 퍼지 함수와 그 제어규칙은 참고문헌(K. Hasegawa, 1987,1997)를 참조하였다.

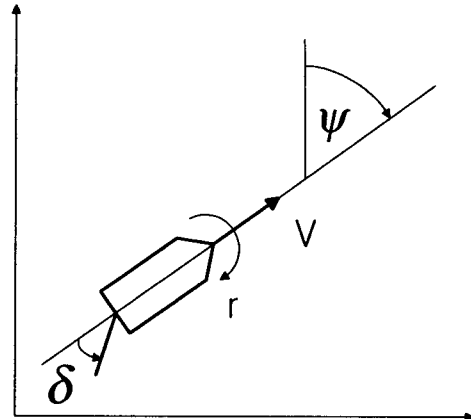


Fig. 1 The ship's coordinate

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(φ_1)와 그 다음 WayPoint로 향해야 할 코스(φ_2) 모두를 참조하여, 적절히 실제 명령 코스(φ_d)가 계산된다. 이때 I_C 는 두 WayPoint의 참조도를 의미하며 두 WayPoint의 남은 거리, 도달 거리 등의 요소를 참조하여 퍼지 추론 및 퍼지룰에 의해서 정해지게 된다[3][4]. 이렇게 구성된 기능을 시뮬레이션을 통해 구현시켜보았다. Fig. 3은 항로를 따라 선박이 항행하는 모습을 보여주고 있다. 선박의 항해 궤적이 비교적 항로를 따라 잘 나타나 있음을 보여주고 있다.

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

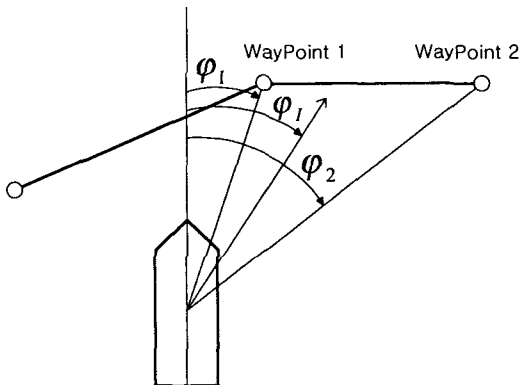


Fig. 2 Ordering of course ping

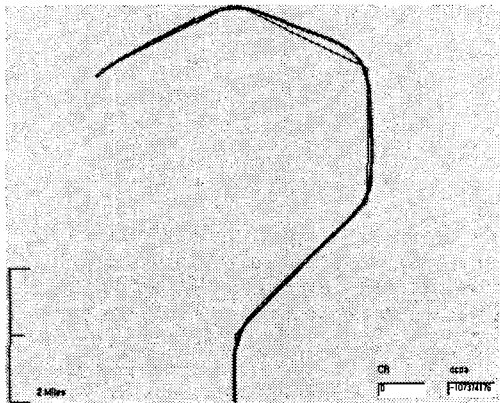


Fig. 3 The ship's trajectory

Table 2. Reasoning Rules for CR

		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

4. 충돌위험도 계산

충돌위험도(Collision Risk)는 상대선박의 위험도 산정에 기본이 되는, TCPA, DCPA를 기초로 하여 퍼지추론과정을 거쳐 계산되었다. 이용된 퍼지 소속함수 및 추론 규칙은 참고문헌(K. Hasegawa, 1987,1997)을 참조하였으나, 현실에 맞게 다소 그 수치를 변경하는 퍼지 튜닝작업을 수행한 후 시뮬레이션에 적용시켰다. 그 소속함수 및 추론규칙은 Fig. 4 및 Table 2에 나

타나 있다.

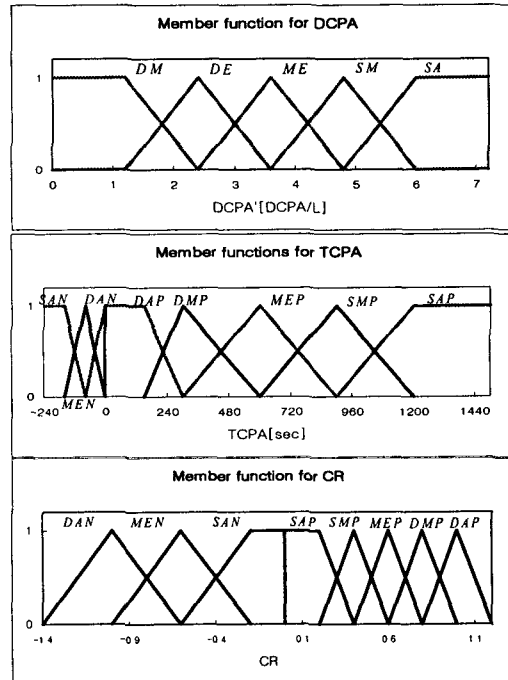


Fig. 4 Fuzzy membership functions.

5. 피항거동 Rules

본 연구의 경우 다수의 선박이 출현하면 그 중 가장 위험도가 높은 선박을 피항 선박으로 삼고 있다. 충돌위험도가 계산되면, 이를 이용하여 피항거동에 이용하여야 한다. 국제해상충돌 예방규칙에서는 다양한 선박조우상황에 따라 다양한 피항거동을 제시하고 있다. 이러한 다양한 상황 또한 피항거동을 결정하는데 고려되는 것이 바람직하다고 판단된다. 선박충돌회피에 관한 기존의 많은 연구 논문들은 주로 위험도 산정 문제에 그 초점이 있었으며, 이러한 부분에서는 다소 미흡한 것이 사실이었다. 본 논문에서 채택된 피항거동 알고리즘에서는 국제해상충돌예방규칙에서 제시한 많은 선박조우상황에 따라 다양한 피항거동을 제시할 수 있도록 설계하였다. Fig. 5는 두 선박 간의 조우 상황을 판단하기 위한 중요한 2가지 요소를 설명하고 있다. 여기서 θ 는 본선이 상대선박을 바라 보았을 때 위치한 상대선박의 상대방위를 의미한다. ϕ 는 만남각도로써, 상대선박과 본선이 마주치는 각도를 의미한다. 이 두각도를 이용하여, 상대선박과 본선의 조우 형태를 판단하고, 이를 근거로 하여 피항 조치를 구분하여 행하도록 하였다.

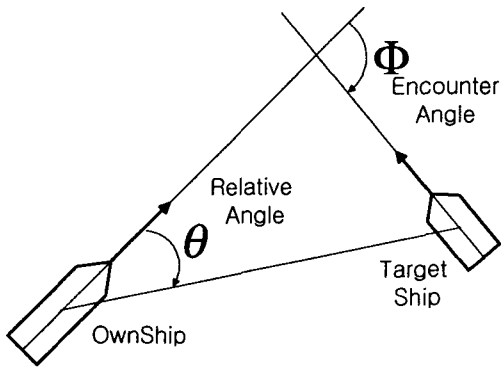


Fig. 5 Relative angle and encounter angle.

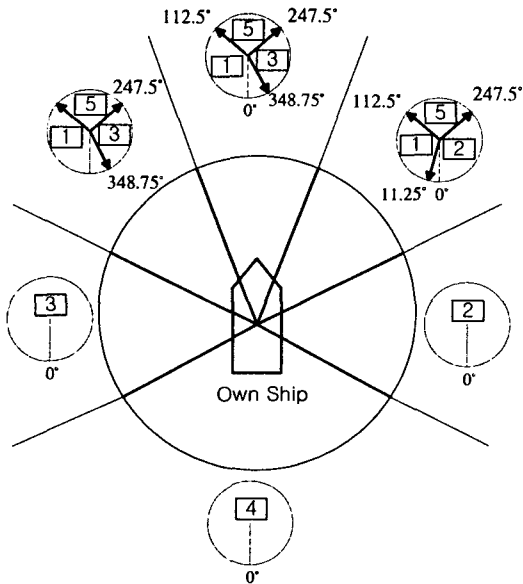


Fig. 6 Encounter type between two ships according to relative angle and encounter angle.

Fig. 6는 Encounter Type(조우형태)을 구분하는 도식이다. 가운데 부분의 큰 선박이 본선이며, 주위의 작은 원의 위치가 상대선박의 상대방위이다. 본선주위의 큰 원이 θ 의 분포를 의미하며, 상대선박 주위의 작은 원이 Φ 의 분포를 각각 의미하고 있다. Φ 의 분포를 나타내는 작은 원안에 각각 숫자가 있는데 이것이 조우 형태 구분을 의미하며, 그 조우 형태에 따라 각각의 피항거동이 달라진다. 조우 형태에 따른 각각의 피항거동 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. 여기서, V_R 은 본선과 상대선간의 상대움직임에 의한 벡터를 의미한다. Encounter Type 4-1의 경우, 상대선박이

본선을 추월하는 경우를 나타내고 있다. 상대선박이 이 본선의 좌현뒤에 위치하고 있으며, V_R 이 본선의 선미를 통과예정인 상황과, 상대선박이 본선의 우현뒤쪽에 있으면서 V_R 이 본선의 선수를 통과 예정인 상황을 각각 나타내고 있다. 이런 경우는 본선이 유지선이지만, 위험상황이 되면, 피항거동을 본선의 좌현으로 해야 할 경우를 나타내고 있다. 여기서 주목할 만한 점은 조우형태를 구분하는데 단순한 본선과 타선의 위치, 침로뿐만 아니라 상대벡터를 이용하는 점이다. 나머지 Encounter Type 4-2, 5-1, 5-2도 마찬가지로 각각의 피항 거동을 그림으로 간단히 표시하고 있다.

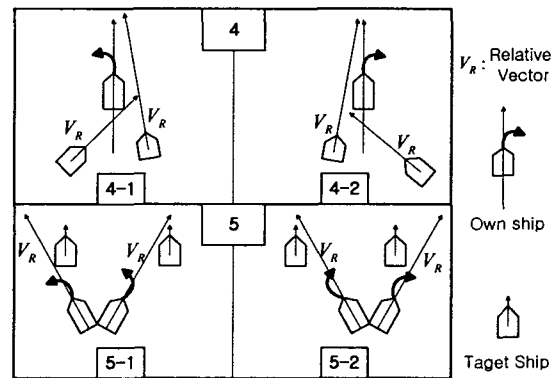


Fig. 7 Encounter type according to relative motion between two ships

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 초과하더라도 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.

6. 시뮬레이션 결과

위에서 제시된 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 8-9는 Encounter type 1인 경우의 선박 항적 및 그때의 주요 데이터 시계열을 나타내고 있다. 본선이 화면 중앙 아래에서 화면 위쪽으로 진행중이며, 상대선박이 정선수에서 화면아래로 내려오는 상황이다. 항적을 보면 본선이 우현변침을 하여 상대선박을 피항하였음을 알 수 있다. 시계열 데이터를 살펴보면, 100[sec] 부근에서 CR 값이 0.7이상을 기록하고, Rudder angle이 20deg 정도 가까이 우현 타각을 사용하여, 본선의 heading이 0도에서 약 50도까지 변화했음을 보여주고 있다. 50도 정도까지 변화하여, CR값이 0 가까이 저하되자, 이번에는 원코스 침로로 복귀하여 진행하고 있음을 알 수 있다. 이때 CR 값은 다소 증가하지만, 설정치 이상을 초과하지는 않아 선박은 그대로 직진 진행함을 알 수 있다.

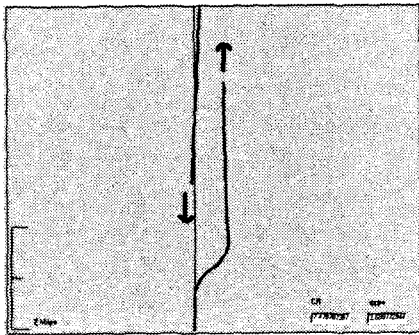


Fig. 8 Ship's trajectory of head-on situation.

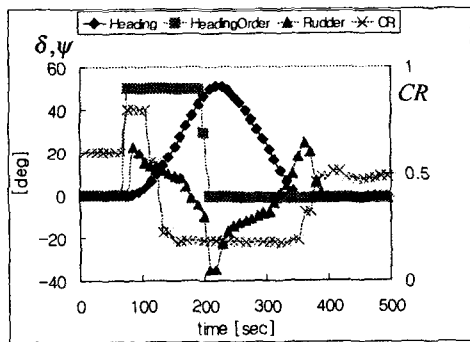


Fig. 9 Time histories of head-on situation.

Fig. 11-12는 Encounter type 1중 본선의 우현에서 상대선박이 cross 상태로 접근하는 경우를 나타내고 있다. 이 경우 본선이 피항 의무선이며 상대선박은 유지선이 된다. Fig. 10의 항적을 살펴보면, Fig. 8과 비교하여 본선의 많은 변침을 보여주고 있으며, 안전하게 피항행동을 취하고 있음을 알 수 있다. Fig. 12를 살펴보면, 100[sec]를 조금 지나서, CR값이 1로

급속히 증가함을 보여주고 있으며, 이에 반응하여, 선수 명령 침로가 우현으로 50도 증가하였다. 타각은 20도 이상 사용하면서 명령 침로를 200-400[sec] 동안 유지함을 보여주고 있다. 200[sec] 부근에서 CR값이 기준치 이하로 저하되었지만, 원침로 복귀시 위험이 잠재하기 때문에 400[sec] 까지 침로를 복귀하지 않고 피항 침로를 유지함을 보여주고 있다. 500[sec] 부근에서 본선의 침로가 원침로로 복귀가 되자, CR값이 조금 증가하지만, 곧이어 600[sec]가 되자 본선과 상대선박이 완전히 상호 통과하여, CR이 0으로 급감함을 잘 보여주고 있다.

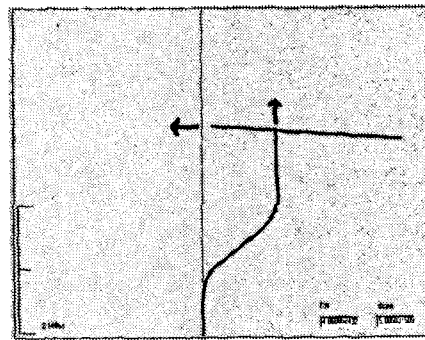


Fig. 10 Ship's trajectory of crossing situation.

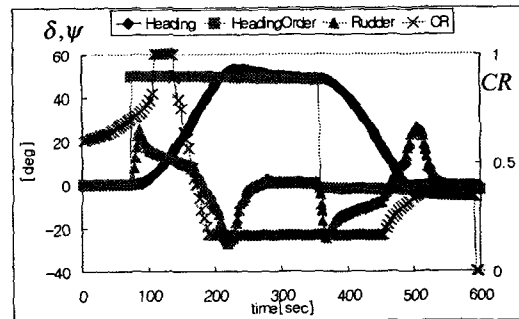


Fig. 11 Time histories of crossing situation.

Fig. 12- 13은 Encounter Type 5의 경우이며, 화면 중앙 밑의 본선이 상대선박을 추월하는 상황의 결과를 나타내고 있다. Fig. 12는 항적을 나타내고 있으며, 본선이 상대선을 추월하다가 우현으로 변침하여 추월을 계속하는 상황을 보여주고 있다. Fig. 13을 살펴보면 400[sec] 까지는 위험도 CR값이 설정치인 0.7까지 서서히 증가함을 알 수 있으며, 500[sec]부근에서 0.7을 초과하자, 명령침로각도가 우현으로 40도 정도로 계산되었으며, 이를 추종하기 위해 타각이 우현으로 약 20도 정도 사용되어 침로가 약 40도를 유지하자, CR값이 0으로 급감하여, 원코스소 복귀하는 상황을 잘 나타내고 있다. 600[sec]이후는 CR값이 0.5를 유지하나, 설정치인 0.7을 초과하지 않아 침로를 유지하며 진행함을 보여 주고 있다. 한편 Fig. 14는 다른 상황의 조우형태와 이때 피항동작을 잘 나타내고 있다.

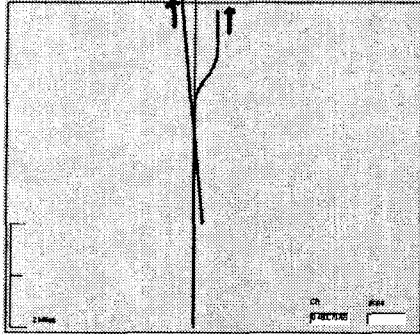


Fig. 12 Ship's trajectory of overtaking situation

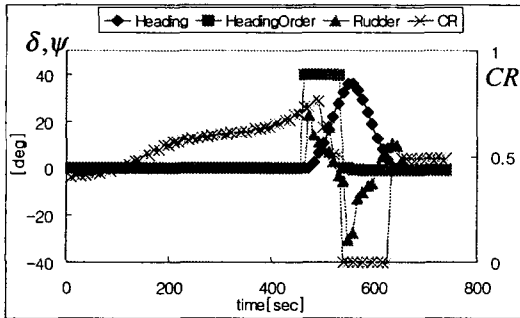


Fig. 13 Time histories of overtaking situation

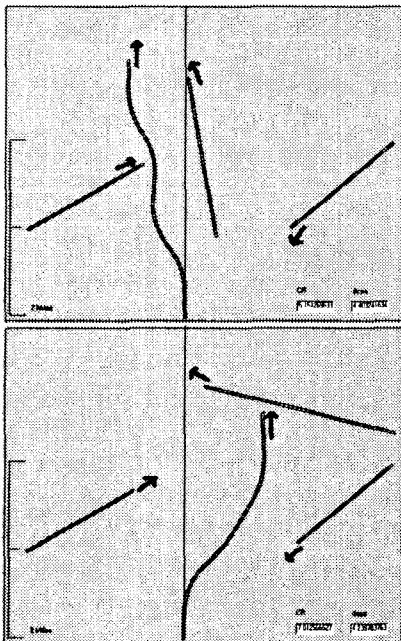


Fig. 14 Ship's trajectories of other situations

7. 결 론

본 연구는 선박자동충돌예방지원을 위한 충돌예방 알고리즘 구축을 주 목적으로 수행되었다. 두 선박간의 조우 형태를 국제해상충돌예방규칙을 기초로 분류하는 작업을 수행하였으며, 그 분류를 통하여 피항거동에 적용하는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 구분된 조우 상황에 따라 적절한 피항 거동이 수행 됨을 확인할 수 있었다. 본 연구의 피항 거동은 타각에 의한 방법만 행하여 지고 있다. 앞으로 엔진 사용의 경우 또한 고려되어야 할 것이며, 피항동작시 인간이 행하는 패턴을 잘 연구하여, 적절히 응용 수용할 수 있는 알고리즘 또한 개발할 필요성이 요구된다.

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, Tandanori Takimoto, Isamu Hayakawa(1997): Reconfiguration of Auto-navigation Fuzzy Expert System, The Kansai Society of Naval Architecture,
- [5] Nam-Sun Son, Key-Pyo Rhee, Sang-Mu Lee, and Dong-Jin Yeo(2001): A Design of Collision Avoidance System of an Underwater Vehicle, JSNAK, Vol. 38, No. 4, pp.23-29,
- [6] Nobuo Arimura, Kazunari Yamada, Shinobu Sugawawa and Yoshinari Lkano(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, Jouranl of Japan Society of Naval Archieture, No.99 No.101