

'72국제해상충돌방지규칙을 고려한 충돌위험도 결정 시스템

강일권* · 김형석 · 김민석¹ · 김정창² · 이아름³

부경대학교 해양생산시스템관리학부, ¹부경대학교 실습선, ²부경대학교 탐사선
³부경대학교 대학원 수산물리학과

Collision risk considering the international regulations for preventing collisions at sea, 1972

Il-Kwon KANG*, Hyung-Seok KIM, Min-Seok KIM¹,
Jeong-Chang KIM² and A-Reum LEE³

Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Training Vessel, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Research Vessel, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

³Dept. of Fisheries Physics, Graduate School, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

For the safety and cost reduction in the navigation, the automatic and intelligent system has been developed for the vessel, and the most important factor in the system is to decide the collision risk exactly. In this paper, we propose an advanced collision risk decision system for collision avoidance of the system. The conventional researches using DCPA and TCPA for calculating the collision risk have a problem to produce a same collision risk regardless of bearings for the ships, if they are located in the same distance from own ship. To solve this problem, in addition to DCPA and TCPA, we introduce the factor of VCD(variation of compass degree) and constant, CR which derived from COLREG'72(International Regulation for Preventing Collision at Sea, 1972) for evaluating the collision risk including even the burden of own ship navigator due to the encountering angle of each vessels. We decided the collision risk legally by the rule considering the relative situation of vessels. And therefore, the proposed system has two advantages, of which one is to produce more detail collision risk and another is to reflect the real underway situation in conformity with the rule.

Key words : DCPA, TCPA, VCD, CR, Collision risk, Colreg '72

*Corresponding author: ikkang@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5895, Fax: 82-51-629-5885

서 론

근래에 들어와서 항해시스템은 눈부신 발전을 거듭하였다. 종이 해도를 대신하여 ECDIS가 사용되고 있고, GPS는 이제 없는 배가 없을 정도로 너무나 흔한 장비가 되었으며, ARPA가 보편화되어 선교에서 항해에 드는 수고는 이전과는 비교할 수 없을만큼 줄어 들었다. 그와 더불어 VTS와 AIS 등 육상과 연계된 항해 원조시스템도 많은 발전을 이루었으며, 해상에서 충돌예방을 위한 수단도 거의 자동화 단계까지 발전하는 등 선박운항에 관련된 모든 시스템이 빠르게 발전하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 해양사고의 빈도가 크게 줄어들지 않고 있는 것도 또한 현실이다.

해양사고를 줄이기 위한 노력은 국가적으로, 혹은 선사의 경영의 일부로써 부단히 경주되고 있으나, 그 효과가 눈에 띄게 향상되지는 않았다. 이러한 현상은 여러 가지 원인이 있겠으나, 무엇보다도 human error에서 비롯되는 일이 많다고 볼 수 있다(Kang et al., 2007). 즉, 국적선원이 승선을 회피하고, 외국 선원이 그 자리를 메우는 상황에서 모든 해기사와 선원의 자질이 저하된 결과로 보는 시각이 그것이다. 이러한 선원의 승선 기피현상을 보완하고, 해양사고의 경감을 위한 하나의 방편으로 선박의 운항에 관한 지능화 연구가 활발하게 진행되고 있고, 그 결과 선박 운항에서 충돌회피를 위한 시뮬레이션으로 선박들이 실제 운항상태와 크게 다르지 않게 사실적으로 묘사되는 지능형 선박이 출현할 수 있는 단계까지 오게 되었다(Jo et al., 2005).

이 지능형 선박에서 무엇보다도 중요한 것은 선박의 안전을 보장할 수 있는 충돌회피시스템의 구현이다. 충돌회피를 위한 위험도의 대소를 판단하는 이 매카니즘은 매우 복잡하여 퍼지 시스템으로 많이 연구되고 있으며, 이 위험도의 산정에는 이제까지 레이더를 이용한 DCPA와 TCPA의 변수가 주로 이용되었다(Hasegawa, 1987). 또한 타선의 상대거리와 상대각속도를

이용하여 충돌위험도를 추론하는 방법도 연구되었고(Hara, 1990; Hammer, 1993), Radar의 오차특성을 이용하여 충돌위험도를 결정하기도 하였다(Imazu, 1984). 그러나 이들 연구는 충돌위험도가 거리와 시간만의 변수로 되어있어 충돌위험도를 충분히 반영한다고 볼 수 없기 때문에, 이들 변수에 VCD(variation of compass degree)라는 변수를 추가함으로써 방위변화가 늦고 빠름에 따른 충돌위험성의 정도를 보다정밀하게 측정할 수 있도록 하였다(Kim et al., 2001). 그러나 이제까지의 연구들이 '72국제해상충돌방지규칙 제14조(정면으로 마주치는 선박)와 제15조(횡단상대)의 항행선의 위험도를 완벽하게 표현하기에는 약간의 무리가 있다고 본다. 그것은 본 규칙 16조(피항선의 동작)와 제17조(유지선의 동작)의 내용이 이들 연구에 포함되어 있지 않기 때문이다. 즉, 두 선박의 방위 변화가 없고, 거리가 가까워질 때, 두 선박은 충돌의 위험이 있지만, 좌현에서 접근하는 배가 더 위험한 것인지, 우현에서 접근하는 배가 더 위험한 것인지, 혹은 선수에서 접근하는 배가 더 위험한 것인지에 대한 정보는 알 수 없다.

따라서 본 연구에서는 변수로서 DCPA, TCPA, 그리고 VCD를 이용하고, 상수, CR를 추가하여 '72 국제해상충돌방지규칙의 피항선과 유지선의 항법 관계까지 포함된 충돌위험도를 구할 수 있도록 하였다. 해상에서 조선자들이 느끼는 충돌 위험도는 자선과 타선의 상대적인 만남 각도, 즉 피항선이나 혹은 유지선이나에 따라서 달라지기 때문에 이렇게 산정된 위험도는 항법규칙에 부합될 뿐만 아니라 자선에서 파악해야 하는 충돌위험의 정도를 보다정확히 표현할 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안하는 충돌회피를 위한 위험도의 평가 기법은 자선과 타선의 만남각에 따라 충돌위험도를 서로 다르게 나타낼 수 있으므로 충돌 위험의 발생시 피항의 우선 순위를 고려하는데 유효한 수단이 될 것이다. 현재 무인 선박

의 항해시스템의 연구등에서 항해 시간의 효율성과 에너지 절감의 관점만 고려하여 자동 항로 계획 기법을 개발하고 있으나, 이들 연구결과를 실제의 해상에 적용시키기 위해서는 국제해상 충돌충돌방지규칙을 반드시 추가로 적용해야만 해상에서의 운항질서를 잡을 수 있고, 타선과의 안전을 보장할 수 있다.

재료 및 방법

이론

충돌위험도는 항해자의 주관적인 견해에 의해 결정되므로 퍼지 이론을 사용하고자 한다 (Lee, 1997). 충돌위험도 산출을 위해서는 추론 규칙을 구성하게 되는데 추론규칙은 전문가의 지식을 언어적 형식으로 나타내는 것으로 if ~ then ~ 형식의 퍼지 규칙으로 나타낸다.

if (특정 조건)
then (특정 조건을 만족할 경우 결과들을 유추)
(1)

여기에서 규칙의 if 이하의 부분은 전건부로 만족되어야할 조건들이 들어가며, then 이하의 부분은 후건부로 전건부의 조건들이 만족될 때 유추되는 결과들이 들어간다. 전건부와 후건부에는 각각 복수개의 퍼지 변수들이 들어갈 수 있는데, 이 경우의 퍼지규칙은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다(Lee, 1997).

$R_1 : \text{if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z \text{ is } C_1$
 $R_2 : \text{if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z \text{ is } C_2$

 $R_n : \text{if } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n$ (2)

퍼지 규칙 $R_i : \text{if } x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i \text{ then } z \text{ is } C_i$ 은 퍼지 규칙 R_i 로 나타내며 이는 식(3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\mu_{R_i} = \mu_{(A_i \text{ and } B_i \rightarrow C_i)}^{(u, v, w)}$$

$$= [\mu_{A_i}(u) \text{ and } \mu_{B_i}(v)] \rightarrow \mu_{C_i}(w) \quad (3)$$

식(3)에 주어진 퍼지 규칙에 의한 퍼지 추론 과정을 다음의 세 단계로 구한다.

첫번째는 규칙에서 전건부의 적합도를 입력에 대하여 계산한다. 적합도(fitness)는 i 번째 규칙이 제어동작에 관여하는 정도를 나타낸다. 적합도 α_i 는 식(4)와 같이 최소값을 취하는 방법과 식(5)와 같이 곱셈을 취하는 방법의 두가지로 구한다.

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \quad (4)$$

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x_0) \cdot \mu_{B_i}(y_0) \quad (5)$$

두번째 단계는 각각의 규칙의 추론 결과를 구한다.

$$\mu_c(z) = \max_{x,y} [\mu_R(x,y,z) \wedge \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \quad (6)$$

세번째는 각각의 추론 결과의 적합도에 의한 가중값 평균으로서 전체 추론 결과를 구한다. 만족하는 규칙들의 전체 추론 결과 μ_c 는 min 연산을 이용하는 방법과 product 연산을 이용하여 구할 수 있다.

$$\mu_c = \bigcup_{i=1}^n (a_i \wedge \mu_c) \quad (7)$$

$$\mu_c = \bigcup_{i=1}^n (a_i \cdot \mu_c) \quad (8)$$

비퍼지화 방법은 여러 가지가 있으나, 여기서는 식(9)의 무게중심법을 사용하였다.

$$\mu_0 = \sum_{j=1}^n \frac{\mu(u_j) \cdot \mu_j}{\mu(u_j)} \quad (9)$$

DCPA와TCPA의 소속함수 및 퍼지 추론

본 연구에서는 퍼지추론 방법 중 가장 널리 이용되고 있는 Mamdani의 추론법을 사용하였으며, DCPA와 TCPA의 소속함수, 퍼지추론을 위한 추론 규칙은 다음과 같다.

Fig. 1은 DCPA의 소속함수이다. 이 소속함수에 사용된 언어변수는 다음의 의미를 가진다. 즉, P : Positive, S : Small, M : Medium, B : Big이다. 이 언어변수의 의미는 Fig.2와 Fig.3에서도

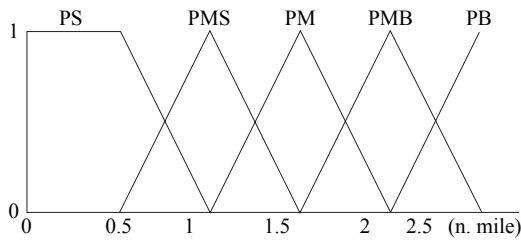


Fig. 1. Membership functions of DCPA.

동일하게 적용된다. 여기서 타선이 본선과 멀어지는 경우는 음의 부호가 되므로 제외하도록 하였다.

Fig. 2는 TCPA에 대한 소속함수로서 장애 충돌의 위험이 있을 수 있는 시간을 임의로 32분으로 가정하고, 추후규칙을 만들었다.

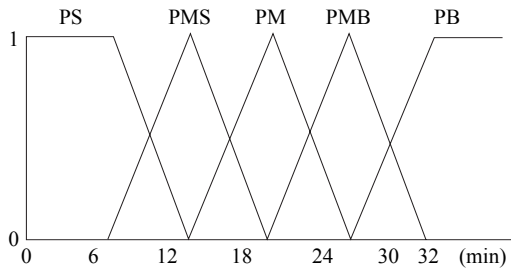


Fig. 2. Membership functions of TCPA.

Fig. 3은 VCD(Variation of Compass Degree)에 대한 소속함수로서 자선과 타선 사이에 생기는 콤팩스 방위의 변화 정도, 즉 각변위의 크기를 의미한다. 이것은 radar에서 타선의 bearing의 변화의 정도를 이용하여 정의하였으며, 국제해상충돌방지규칙에서 규정하고 있는 충돌위험성

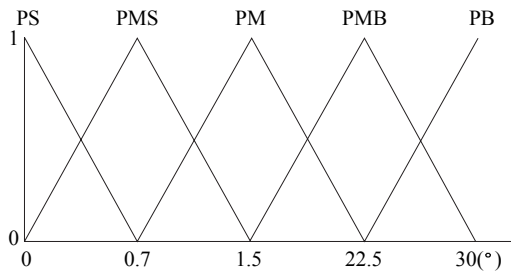


Fig. 3. Membership functions of VCD.

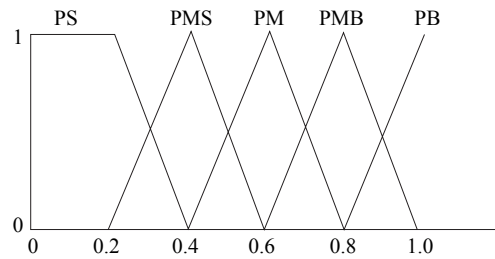


Fig. 4. Membership functions of Collision Risk.

판단 기준에서 장애물의 방위 변화에 대한 정보를 표현한 것이다.

Fig 4는 본 연구에서 사용한 상기 세가지 변수, 즉 DCPA, TCPA, 그리고 VCD를 입력으로 하여 산출한 충돌위험도에 대한 소속함수로서 타선이 자선을 통과하여 멀어지는 음의 부호는 제외하였다.

타선의 접근 상태에 대한 변수 CR의 도입

'72 국제해상충돌방지규칙의 제2장 항법 규정에는 “장애물의 방위변화가 없고 장애물과 자선 사이의 거리가 가까워지면 충돌위험성이 있다”라고 규정하고 있으며, 기존의 충돌위험도에 관한 연구는 이 규정은 만족하고 있다. 하지만 이런 경우에는 타선이 자선의 좌현에 있든 우현에 있든 근접 거리와 시간이 같으면 동일한 충돌위험도가 산출되어 자선과 타선의 상대 위치 변화에 따른 위험의 정도를 충분히 반영하지 못한다.

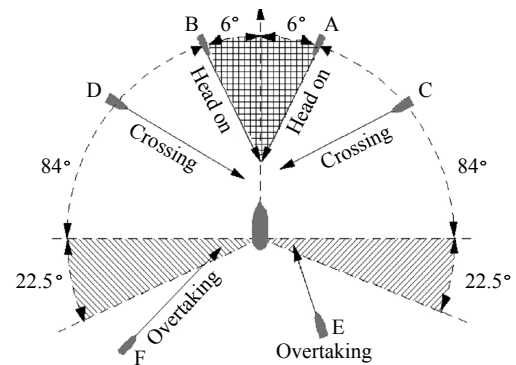


Fig. 5. Encountering situation for the direction of approach.

Table 1. Danger degree of CR depending on the bearing of target ship

Bearing (θ)	$000 < \theta < = 006$	$006 < \theta < = 112.5$	$112.5 < \theta < = 180$	$180 < \theta < = 247.5$	$247.5 < \theta < = 354$	$354 < \theta < = 360$
Danger degree of CR	PMB(0.8)	PB(1.0)	PMS(0.4)	PS(0.2)	PM(0.6)	PMB(0.8)

따라서 본 연구에서는 '72 국제해상충돌방지규칙 제14조, 서로 마주치는 상태에서는 “좌현 대 좌현으로 통과하도록 우현으로 변침해야 한다.”는 조항과 제15조, 횡단하는 선박의 항법에서는 횡단 상태에 따라서 피항선과 유지선의 항법이 달라진다는 조항을 추가로 반영하여 충돌위험도를 산출하도록 하였다.

따라서 선박 간의 만남 관계에 대한 변수가 추가되어야 할 것으로 판단하여, 이 변수는 상수로 정의하고, 병렬 연결하여 처리하였다. 이렇게 함으로써 Fig. 5에 나타낸 바와같이 타선이 본선에 접근하는 방향, 즉, 선수(head on situation), 우현 혹은 좌현에서의 횡단상태(crossing situation), 추월상태(overtaking situation)에 따라 충돌위험의 값을 다르게 산출할 수 있다. 이에 따라 Table 1에서와 같이 상수값, CR을 정의하여, 자선의 우현쪽으로부터 타선이 접근하는 경우에는 자선이 피항선이 되기 때문에 충돌위험의 소속정도를 가장 높게, 선수쪽에서 접근하는 경우, 좌현측에서 접근하는 경우, 그리고 선미에서 추월하는 경우의 순서로 소속정도를 낮게 설정하였다. 이렇게 함으로써 기존의 연구에서 간과한 문제점, 즉 방위변화가 없고, 거리가 가까워질 때에도 좌현에서 접근하는 배가 더 위험한 것인지, 우현에서 접근하는 배가 더 위험한 것인지에 대한 충돌위험도에 차이를 두어 여러 선박이 동시에 자선에 접근하는 상황이 발생하더라도 충돌 회피에 대한 우선 순위를 곧바로 판단할 수 있도록 하였다.

결과 및 고찰

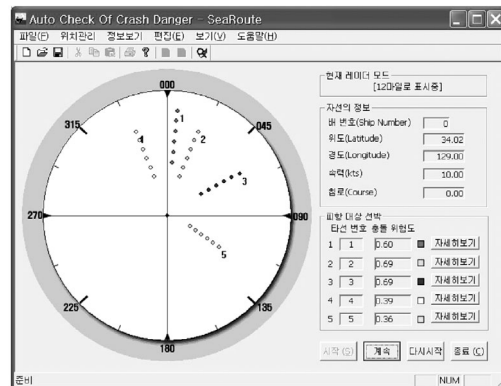
프로그램 실행 결과

Fig. 6은 초기 입력창에 자선과 5척의 타선의 정보를 입력하되 충돌의 위험이 매우 높도록 임

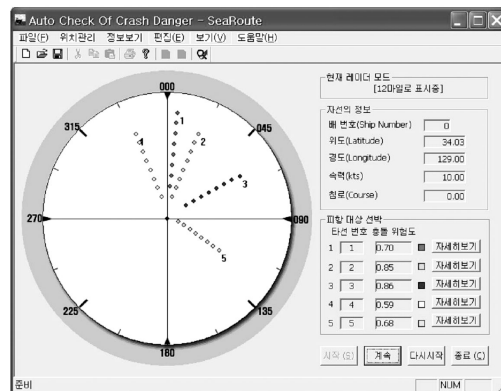
력하여 프로그램을 실행시킨 화면으로써, 자선의 정보는 화면 우측 상부에, 타선의 충돌위험도는 화면의 우측 하부에 표시하였다.

이 그림에서 (a)는 프로그램 실행 초반부의 화면이고, (b)는 충돌에 이르기 직전의 화면이다.

Fig. 6(a)에서 타겟 1은 head on 상태로 마주치는 선박이고, 타겟 2와 3은 자선의 우측에서 좌측으로 횡단하는 선박이며, 타겟 4는 자선의 좌측에서 우측으로 횡단하는 선박, 타겟 5는 자선의 우측에서 추월하는 선박으로 모두 자선과의 충



(a)



(b)

Fig. 6. Collision risk on the various situation(1).

돌위험성이 매우 높도록 입력값을 설정하였다.

이 화면에서 충돌위험도는 타겟 2와 3의 경우에 가장 높고(0.69), 다음으로 타겟 1(0.60), 4(0.39), 그리고 5(0.36)의 순이다.

타겟 2와 3의 경우 가장 위험도가 높은 것은 2와 3의 선박이 충돌위험의 각도로 접근중이며, 게다가 자선이 모두 피항선으로서 이들 선박을 피해야하기 때문이고, 타겟 1은 마주 보는 선박으로서 서로 피항의무를 가지고 있으며, 타겟 4가 대체로 낮게 나타난 것은 이 선박이 충돌의 위험 각도로 접근하고 있지만, 자선이 유지선이기 때문이며, 타겟 5가 가장 낮은 것은 추월선으로서, 이 선박이 자선을 피해야하기 때문으로 본다면, 이 화면상에 표시된 충돌위험도는 본 연구에서의 도한 바를 잘 나타내 주고 있다고 볼 수 있다.

한편, Fig. 6(b)는 Fig. 6(a)의 실행 화면을 좀 더 진행시킨 것으로서, 자선과 모든 타선의 거리가 가까워지고 있기 때문에 충돌위험도는 모두 더 높아졌으나, 그 순위에서는 변화가 없다. 그것은 여전히 피항선과 유지선의 관계가 그대로 유지되고 있기 때문으로 보일 것이다. 다만 추월선인 타겟 5의 위험도가 타겟 4보다 높아진 것은, DCPA와 TCPA의 값이 동시에 반영된 결과일 것으로 판단한다.

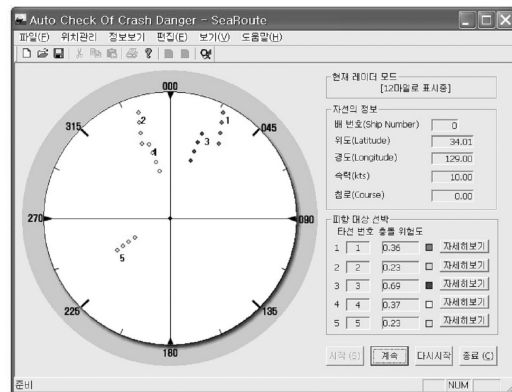
Fig. 7은 또 다른 프로그램 실행 화면으로 Fig. 6에서는 타선이 자선에 거의 동시에 접근하도록 하였으나, 여기서는 타선이 자선에 접근하는 시간에 차이를 두었고, 또한 자선의 중심으로 접근하는 선박과 중심에서 비껴가는 선박을 설정하여 프로그램을 실행한 것이다. 이 그림 (a)는 실행 초기 화면이고, (b)는 실행 후기 화면이다.

Fig. 7(a)에서 충돌위험도는 타겟 3(0.69)이 가장 높고, 타겟 4(0.37), 타겟 1(0.36), 타겟 2와 3(모두 0.23)의 순으로 낮았다. 그리고 그림 (b)에서 충돌위험도는 타겟 3(0.76)이 가장 높고, 타겟 4(0.66), 타겟 5(0.62), 타겟 2(0.42) 그리고 타겟 3(0.32)의 순으로 낮았다.

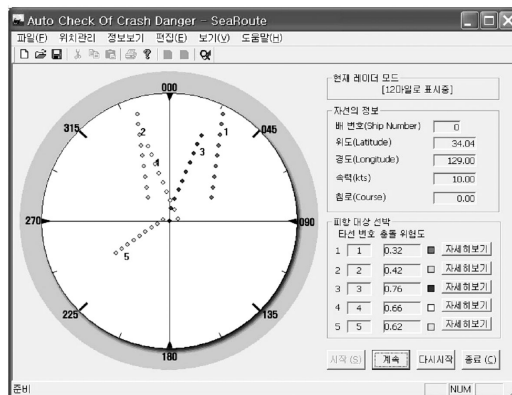
Fig. 7(b)에서 타겟 3의 충돌위험도가 가장 높

은 것은 자선의 중심으로 이 선박이 접근하고 있다는 것과 자선이 피항선이라는 점이 크게 고려된 것으로 보일 것이고, 타겟 1과 타겟 2의 충돌위험도가 낮은 것은 두 선박이 자선의 중심으로 접근하고 있지 않다는 점과 방위의 변화가 크다는 것이 그 이유가 될 것이다.

반면 타겟 5의 위험도가 비교적 높게 나타난 것은 그 선박이 비록 추월선이고, 피항선이라는 하지만, 본선과 매우 가까이 접근하고 있고, 또한 방위의 변화가 크지 않기 때문인 것이 그 원인으로 보일 것이다. 타겟 4의 위험도가 높은 것은 마지막 단계에서 아직 이 선박이 자선을 통과하여 멀어지고 있지 않다고 판단하고 있기 때문인 것으로 보일 것이다.



(a)



(b)

Fig. 7. Collision risk on the various situation(2).

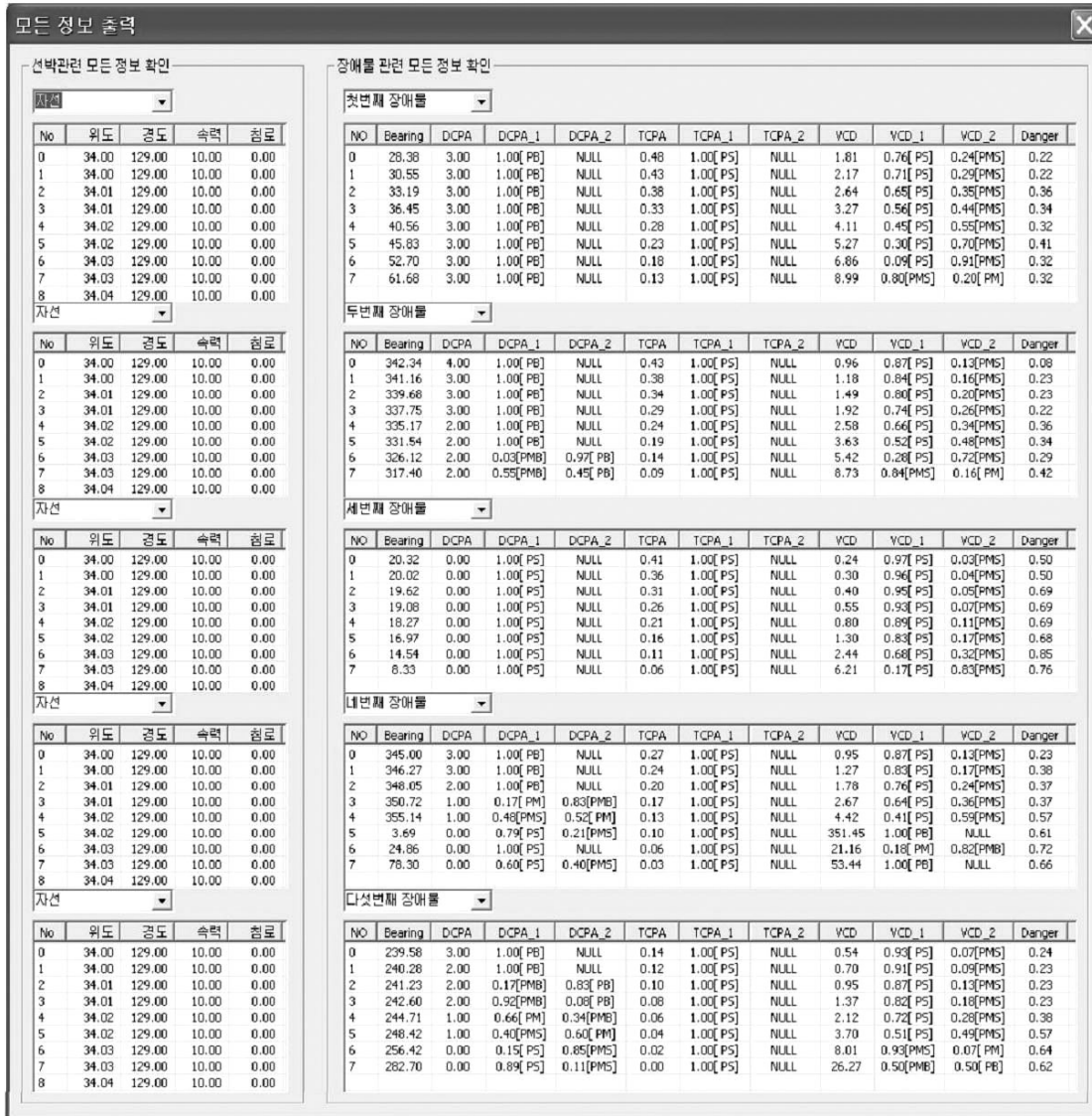


Fig. 8. The history of simulation of targets shown on the Fig. 7.

Fig. 8은 Fig. 7의 프로그램 실행 화면의 결과를 각 타겟별로 나타낸 것으로써, 화면의 왼쪽에는 자선의 정보를, 화면의 오른쪽에는 타선의 정보와 충돌위험도를 나타낸 것이다.

이 표에는 일정 시점에서 특정 타겟의 충돌위험도와 그리고 이에 관련된 각 성분들을 찾아볼 수 있도록 하였다.

충돌위험도가 높은 타겟 3의 경우 Fig. 7에서는

충돌위험도가 0.76으로 표시되었으나, 이 표를 보면, 그 직전의 수치가 0.85이므로 비록 가장 접근된 상태이긴 하나 충돌의 위험은 오히려 약간 감소된 것을 알 수 있다. 그리고 타겟 4의 경우에도 Fig. 7에서는 충돌위험도가 0.66으로 표현되었으나, 이 표를 보면 그 직전의 값은 0.72로 위험도는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이것은 타겟 5의 경우에서도 비슷한 경향을 나타내었다.

타겟 1과 2는 자선과의 거리는 가까워지고 있지만, 방위의 변화가 크므로 충돌 위험은 크지 않은 것으로 그 값이 매우 적당하게 표현되고 있음을 알 수 있다.

이 표를 보면 일정 시점에서 전 타겟들의 충돌 위험도를 한 눈에 볼 수 있고, 그 값을 서로 비교해 볼 수 있다.

결 론

지능형 선박의 자율운항제어를 위한 시스템에서 가장 중요한 요소는 장애물과의 충돌회피이다. 충돌회피를 위한 동작은 충돌위험도의 우선 순위에 의해 결정된다. 본 연구는 선박의 자율운항시스템에서 선박간의 충돌회피를 위한 충돌위험도를 결정할 때 DCPA, TCPA, VCD에 부가하여 ‘72국제해상충돌방지규칙의 피항선과 유지선의 항법 관계를 고려한 것으로써, 타선의 접근거리와 접근 시간을 변수로 하여 결정할 충돌위험도에서 발생하는 기존 연구의 단점을 보완할 수 있을 것으로 본다. 즉, 이제까지 자선에 접근하는 타선의 상대적인 위치에 관계없이 DCPA와 TCPA가 같은 선박은 동일한 위험도를 보여 피항의 우선순위를 결정하는데 어려움이 있었다. 그러나 본 연구에서는 자선에 접근하는 타선의 방위변화와 피항선과 유지선의 항법 관계를 추가함으로써 같은 거리와 같은 시간에 자선에 접근하더라도 충돌위험도가 다르게 표현되도록 하여 피항의 우선순위를 확실히 결정할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 충돌회피를 위한 위험도의 평가 기법은 실제 조선자들이 선박 운항상 느끼게 되는 항법의 우선순위를 잘 표현할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- Kang, I.K., H.S. Kim, H.I. Shin, Y.W. Lee, J. C. Kim and H. J. Jo, 2007, Study on the casualties of fishing vessels in Korea. Bull, Korean Fish. Tech. Soc., 43(2), 149 - 159.
- Jo, J.H, M.S. Ji and Y.K. Kim, 2005, An Route planning for the navigation system of autonomous vessel. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 15(4), 418 - 424.
- Hasegawa, K., 1987. Automatic collision avoidance system for ship using fuzzy control. 8th ship control system symposium, Hague. 29 - 35.
- Kim, E.K., I.K. Kang and Y.K. Kim, 2001. Collision risk decision system for collision avoidance. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 11(6), 524 - 527.
- Hammer, A. and K. Hara, 1990. Knowledge acquisition for collision avoidance maneuver by ship handling simulator. MARSIM & ICSA 90, 121 - 129.
- Hara, K. and A. Hammer, 1993. A safe way of collision avoidance maneuver based on maneuvering standard using fuzzy reasoning model. MARSIM 93, St. John's, 78 - 87.
- Imazu, H. and T. Koyama, 1984. The determination of collision avoidance action. The Journal of Japan Institute of Navigation, 31 - 37.
- Imazu, H. and T. Koyama, 1984. The optimization of the criterion for collision avoidance action. The Journal of Japan Institute of Navigation, 123 - 131.
- Yoon, J.D., 1996. International regulation for preventing collision at sea and it's explanation. Sejong Publication, 160 - 173.
- Lee, K.H., 1997. Fuzzy theory and applications volume II, Hongreong Science Pub., Korea, pp. 5.25 - 27, 5.51 - 52, 5.70.

2009년 4월 28일 접수

2009년 5월 14일 1차 수정

2009년 5월 14일 수리