

# 시뮬레이터 기반 환경스트레스를 이용한 선박 충돌위험도 추정에 관한 연구

손남선\* · 공인영\* · 김선영\* · 이창민\*

\*한국해양연구원 해양안전방재연구본부

## Study on the Estimation of Collision Risk of Ship in Ship Handling Simulator using Environmental Stress Model

Nam-Sun Son\* · In-Young Gong\* · Sun-Young Kim\* · Chang-Min Lee\*

\*Maritime Safety & Pollution Control Lab., KRISO/KORDI, Yuseong P.O. Box 23, Daejeon 305-600, Korea

**요 약** : 최근 해난사고가 날로 증가되고 있으며, 특히, 인적과실로 인한 충돌사고의 비중은 70%에 이르고 있다. 본 연구에서는 실시간 충돌위험도 표시 시스템을 개발함으로써, 충돌위험도를 사전에 인지함으로써 비상상황에 효과적으로 대처하고, 인적과실로 인한 충돌위험도를 줄이고자 하였다. 이를 위해 충돌위험도 추정에 있어, 2가지 방법을 비교 검토하였는데, 선박들 간에 충돌위험도를 평가하는 퍼지 알고리즘을 이용한 방법과 항해사가 느끼는 환경스트레스를 이용하여 충돌위험도를 평가하는 방법이다. 개발된 실시간 충돌위험도 표시 시스템을 검증하기 위해 선박운항 시뮬레이터에 설치하고 다양한 시뮬레이션을 수행하였다.

**핵심용어** : 위험도 추정, 선박 충돌 위험도, 환경스트레스 모델, 퍼지 알고리즘, 항해 지원시스템

**ABSTRACT** : Recently, many maritime accidents have been increased and the collisions due to human error are given a great deal of proportions out of them. We develop the Real-time Collision Risk Monitoring System (CRMS) for the navigational officers to cope with the emergency situation promptly and thus to reduce the probability of casualty. In this study, the risk of collision is evaluated by two kinds of method. The first method is based on Fuzzy algorithm, which evaluates the risk of collision between traffic ships. The second method is based on Environmental Stress (ES) Model, where the total risk of collision is evaluated by the environmental stress felt by human. The developed real-time CRMS has been installed to the ship handling simulator system and its capabilities have been tested through simulator experiments.

**KEY WORDS** : risk analysis, ship collision risk, environmental stress model, fuzzy algorithm, navigational support system

### 1. 서 론

최근 국내외적으로 많은 해양사고가 빈발하고 있으며, 모든 사고가 그러하듯 적절한 제지수단이 없을 경우 초기의 작은 사건들이 주변의 다른 위험요소나 결합들과 결합되면서 혹은 상승작용을 일으키면서 확대되어 대형사고로 발전하는 것이 일반적이다. 특히 국내의 연안에서 발생하는 해양사고의 대부분은 충돌 및 좌초사고이며, 또한 전체 해양사고의 70% 이상이 인적 과실에 의해 발생하는 것으로 분석되고 있으므로, 인간의 실

것을 방지할 수 있는 기술 개발이 필요하다[1].

이를 위해 항해사나 선장이 선박 운항시 충돌사고의 위험성을 사전에 인지할 수 있는 안전운항지원시스템을 개발하게 되었다. 본 시스템의 핵심은 항해사가 주어진 상황에 대해 느끼는 충돌위험도를 정량화하는 데에 있다.

충돌위험도를 추정하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째로, Hasegawa와 Hara는 퍼지 이론을 이용하여, 선박운항 시뮬레이터 실험을 통해 충돌위험도를 정량화하였다. 이한진은 Hasegawa의 연구를 토대로 충돌회피 알고리즘을 개발하였다 [2]. 둘째로, Inoue는 다수의 항해사들을 대상으로 설문 조사를 통해, 조우상황을 객관화하고, 회귀분석을 통해 실제 항해사들이 느끼는 충돌위험도를 정량화하였다[3,4]. 공인영은 Inoue의 연구를 바탕으로 항만 항로 설계시 조선 환경 스트레

\*정회원, namsun76@kriso.re.kr 042)868-7278

수나 부주의가 곧바로 충돌이나 좌초 등의 해양사고로 발전하는

스를 적용하였다[6].

본 연구에서는 퍼지 이론을 통해 얻은 충돌위험도와 환경스트레스 모델 방법을 통해 얻은 충돌위험도를 비교함으로써, 실시간 충돌 위험을 사전에 예방할 수 있는 실용적인 방법에 대해 논의하고자 한다. 이를 위해 선박운항 시뮬레이터 상에서 실시간 항행 정보 표시 시스템을 구축하였고, 여기에 위 두 이론을 근거로 한 충돌 위험도 표시 기능을 구현하였다. 그리고, 시뮬레이터 실험을 위해, 실제 항해 경력이 있는 항해사를 통해 시나리오를 설정하고, 실시간 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문에서는 충돌 위험 모니터링용 안전운항 지원 시스템의 특징과 여기에 적용된 충돌 위험도의 추정 방법을 설명하고, 시뮬레이터 실험결과에 대해 논의한다.

## 2. 선박 충돌위험도 모니터링 시스템 설계

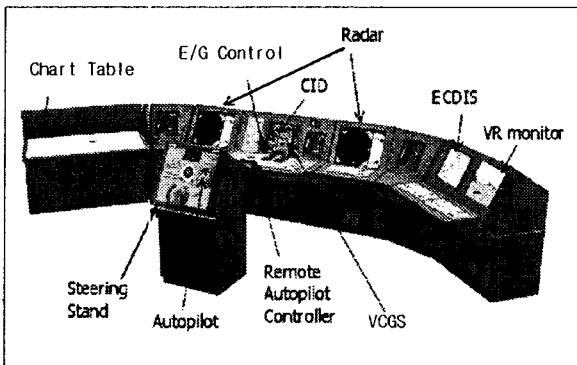


Fig. 1 Arrangement of CRMS in the virtual IBS

선박 충돌 위험도 모니터링 시스템을 구현하기 위해, 통합선교시스템의 항행정보 표시장치와 통합하였다. 이는 항해사가 항시 선박의 항행상황을 손쉽게 인지하고 위험 상황시 효과적으로 대처하기 위함이다. Fig. 1은 가상 통합선교시스템 상에 설치된 본 선박 충돌위험도 모니터링 시스템의 배치를 보여준다. Fig. 2는 본 시스템의 사용자화면을 보여준다. 여기에서, 방해물과의 충돌위험도가 실시간으로 분석되어 3색의 원형그래프에 표시된다. 충돌위험도는 각 방향별로 위험도의 수준에 따라 각기 다른 색으로 표시된다. 즉, 안전한 상황에서는 녹색으로, 주의를 요하는 경우에는 황색으로, 그리고 위험한 충돌상황의 경우에는 적색으로 표시된다. Fig. 2에 보이는 충돌위험도의 계산 방법은 3절에서 논의하기로 한다. 선박이 방해물과 충돌할 상황에 도달하면, 본 모니터링시스템 화면에서 알람이 점멸하고, 원형 그래프에 방향별 위험도와 그 수준이 표시된다. 동시에 음성을 통해 가장 위험한 선박과의 충돌거리 및 충돌까지 남은 시간이 안내되고, 항해사는 즉시 충돌회피를 위한 조작을 수행하게 된다[5].

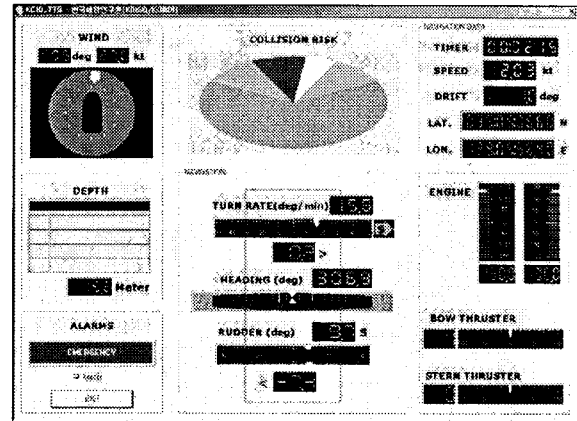


Fig. 2 S/W Interface of CRMS which has graphic display for collision risk

## 3. 선박 충돌위험도의 추정 방법

충돌 위험도는 자신의 주어진 충돌상황에 대한 항해자들의 상황 판단을 수치로 표현한 것이다. Koyama의 경우에는 특별히 충돌 위험도를 정의하지 않고 단지 어떤 선박에 대한 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)가 주어진 안전 거리 이내이면 피항을 시작하는 것으로 하였다[7]. Imazu의 경우에는 레이더 등 시스템의 오차 특성을 이용하여 타선이 최근접점에 있을 때, 주어진 안전 거리 이내에 존재할 확률을 구한 후 이 확률을 충돌 위험도로 사용하였다[8].

현재, 충돌위험도를 정량화하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째로, Hasegawa와 Hara는 퍼지 이론을 이용하여 선박운항 시뮬레이터 실험을 통해 충돌위험도를 정량화하였다. Hasegawa가 제안한 충돌 위험도 결정 방법은 입력 변수로는 TCPA(Time of the Closest Point of Approach)와 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)를 사용하며 퍼지 이론을 이용하여 충돌 위험도를 추론한다[9]. Hara의 경우에는 타선의 상대 거리와 상대 각속도를 입력으로 하여 충돌 위험도를 가장 위험한 -3에서 가장 안전한 3 사이의 값으로 추론하였다[10]. 이한진은 Hasegawa의 연구를 토대로 충돌회피 알고리즘을 개발하였다[2]. 둘째로, Inoue는 다수의 항해사들을 대상으로 설문 조사를 통해, 조우상황을 객관화하고, 회귀분석을 통해 실제 항해사들이 느끼는 환경스트레스, 즉 충돌위험도를 정량화하였다. 환경스트레스 모델에서 본선의 안전운항에 위협을 가할 수 있는 항행환경은 조선환경과 교통환경으로 나뉜다. 그리고, 조선환경, 즉 지리적 환경으로 인해 어떤 순간 그 선박을 운항하는 조선자가 느끼게 되는 어려움을 조선환경 스트레스라 정의하고, 교통환경, 즉 타선으로 인해 조선자에게 가해지는 어려움을 교통환경 스트레스로 정의하여 분리 평가하였다[3]. 공인영은 Inoue의 연구를 바탕으로 항만 항로 설계시 조선환경스트레스를 적용하였다[6].

본 연구에서는 퍼지알고리즘 방법과 환경스트레스 모델 방법을 모두 사용하여 충돌위험도를 평가하였고, 둘을 비교 분석함

으로써 각 방법간의 위험도 추정성능의 차이를 살펴보았다. 퍼지 이론을 이용한 방법에서는 레이더와 AIS에서 얻을 수 있는 정보를 기반으로 하는 이한진의 방법을 사용하였고, 환경 스트레스 모델에 있어서는 지리적인 조선휘경을 제외한 순수히 타선박에 의한 교통환경 스트레스만을 고려하였다. 충돌위험도는 선박 Head up을 0도로 하여 좌현 -90도부터, 우현 90도까지 관찰범위를 선정하고, 각 방향별 위험도를 계산하여, 표시하고 이를 토대로 전체적인 현 선박의 위험도를 파악할 수 있도록 하였다.

### 3.1 퍼지 알고리즘을 이용한 충돌위험도의 추정

TCPA(Time of the Closest Point of Approach)와 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach)를 사용하며 퍼지 이론을 이용하여 충돌 위험도를 추론한다. DCPA는 현재 상황을 그대로 유지하면서 상대방 선박이 가장 가까이 지나갈 때 그 선박까지의 거리를 나타내며 TCPA는 현시점에서부터 가장 가까운 거리를 지나갈 때까지 걸리는 시간을 나타낸다. Fig. 3은 TCPA와 DCPA의 개념을 보여준다.

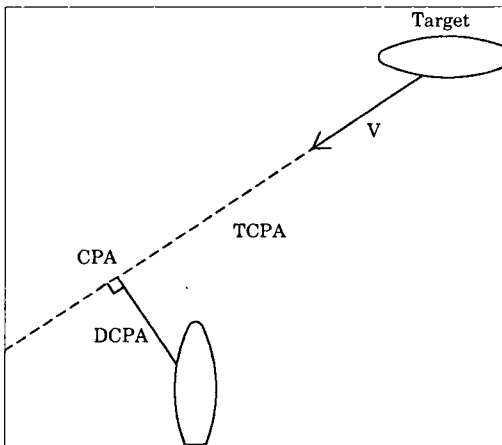


Fig. 3 Definition of TCPA and DCPA

Fig. 3에서 CPA는 상대방 선박이 지나는 최근접점을 가리킨다. 이 그림에서 타선의 속도는 자선에 대한 상대 속도를 의미한다. Fig. 4와 Fig. 5는 선박의 속도와 길이로 무차원화된 TCPA와 DCPA의 퍼지 소속 함수를 나타낸다. TCPA가 음수라는 것은 상대방 선박이 최근접점을 이미 지났음을 의미한다. 즉, 충돌위험을 벗어나 안전한 상황이 되었음을 나타낸다.

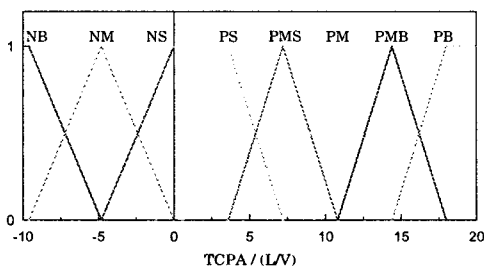


Fig. 4 Fuzzy membership function of TCPA

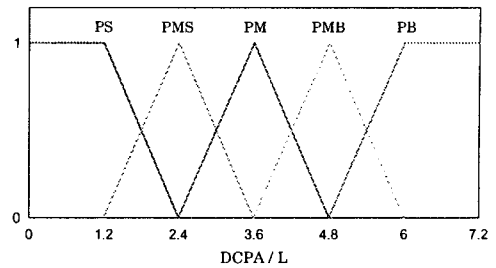


Fig. 5 Fuzzy membership function of DCPA

Fig. 4와 Fig. 5에서 각 약어의 의미는 다음과 같다.

- S : Small
- M: Medium
- B: Big
- P : Positive
- N: Negative

충돌 위험도의 추론 규칙은 Table 1과 같다. 이 규칙에 의해 출력되는 충돌 위험도는 -1에서 1 사이의 값을 갖는다 절대값이 클수록 충돌 위험도가 높은 것이며 음의 부호는 TCPA가 음수인 경우에 해당한다.

Table 1 Inference laws of Collision Risk (CR)

		T C P A							
		NB	NM	NS	PS	PMS	PM	PMB	PB
D	PS	-0.2	-0.6	-1	1	0.8	0.6	0.4	0.2
C	PMS	-0.2	-0.2	-0.6	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2
P	PM	-0.2	-0.2	-0.2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2
A	PMB	-0.2	-0.2	-0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
	PB	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

본 연구에서는 추론 규칙의 조건부에서의 적합도를 구하는 부분에는 min 연산자를, 결론부의 소속 함수를 재구성하는 부분에는 product 연산자를 사용하였다. 이 경우의 최종 출력을 구하는 예는 다음과 같다. 예를 들어 전체 n개의 추론 규칙 중 i 번째 추론 규칙의 조건부에 의해 결정된 적합도를  $\alpha_i$ 라 하자. 이 경우 위의 추론 규칙표에서 숫자로 나타난 결론부의 충돌 위험도를  $CR_i$ 라 하면 이때 최종적으로 추론되는 충돌 위험도는 product 연산자를 사용할 경우 다음 식과 같이 주어진다[2].

$$Collision Risk(CR) = \frac{\sum_{i=1}^n CR_i \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \quad (1)$$

위 식에서 최종 출력의 결정은 규칙의 적합도가 가중치로 나타나는 형태가 된다. 타선이 여러 척이 있는 경우에는 각 선박에 대한 위험도를 구한 후 그 중 가장 큰 값을 그 상황에서의 충돌 위험도로 사용하였다.

이상의 일정 방위에 대해 계산한 선박의 충돌위험도를 바탕으로 한, 방향별 위험도 및 전체 위험도를 결정하는 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 본선 주변의 일정 방향( $\theta$ )에 대해 각  $i$  번째 타선박에 대해  $CR(\theta)_i$  ( $i=1, \dots$ , 타선박의 수)를 계산한다.

(2) 각 방향별 위험도  $CR(\theta)$ 는 그 방향에 대해 모든 타선박의 위험도를 구한 것 중 최대 위험도가 선택된다.

$$CR(\theta) = \max(CR(\theta)_i) \quad (2)$$

여기서,  $i : 1, \dots$ , 타선박의 수

$$CR(\theta) : 0 \sim 1.0$$

(3) 현재 침로를 0도로 하여 좌현(-90도)부터 우현(+90도)까지 각 방향별 충돌위험도,  $CR(\theta)$ 를 구한다.

(4) 결국, 식(3)과 같이, 현재시간  $t$ 에서 자선의 총체적인 충돌 위험도가 계산된다. 우선, 방향별 가중함수를 이용하여 방향별  $CR(\theta)$ 를 적분하고, 모든 방향에서 최대위험도를 가지는 상황( $CR(\theta)=1.0$ )에 대해 상대적인 위험수준으로 계산한다[6].

$$CP(t) = \frac{\int_{-90}^{+90} CR(\theta) \cdot w(\theta) d\theta}{\int_{-90}^{+90} 1 \cdot w(\theta) d\theta} \quad (3)$$

여기서,  $\theta : -90 \text{ deg} \sim +90 \text{ deg}$ ,

$$w(\theta) = \cos\left(\frac{90}{110}\theta\right)$$

일반적으로, 대양에서 위험도가 0.6 이상인 경우 주의가 필요하고, 0.8 이상인 경우에는 충돌이 임박한 상황으로 간주된다[2].

### 3.2 환경스트레스 모델을 이용한 선박충돌 위험도의 추정

Inoue는 타선이 자선과 조우하거나 자선에 접근하는 상황에서 항해사가 느끼는 위험의 정도를 환경 스트레스로 정의하고, 제한 수역을 항행하는 경우에 타선과의 마주침이나 접근에 동반되는 조선자의 위험감을 추출하여 정량화하였다.

또한, 타선으로 인해 느끼는 위험은 자타선의 상대위치를 자타선의 평균선길이를 나누어 조선자가 느끼는 위험감을 정리하였다.

$$SJs = \alpha \left(\frac{R}{Lm}\right) + \beta \quad (4)$$

여기서,  $SJs : -3(\text{worst}) \sim +3(\text{best})$

$R$  : 여유시간 · 상대속력

$Lm$  : 자타선 평균 선장

$$\alpha = 0.0019 \cdot Lm$$

$$\beta = -0.65 \cdot \ln(Lm) - 2.07 \text{ (우현에서 횡단시)}$$

$$\text{또는 } -0.65 \cdot \ln(Lm) - 2.35 \text{ (좌현에서 횡단시)}$$

$$\text{또는 } -0.65 \cdot \ln(Lm) - 2.07 \text{ (정면에서 접근시)}$$

$$\text{또는 } -0.65 \cdot \ln(Lm) - 0.85 \text{ (후방에서 접근시)}$$

여기서,  $SJs$ 는 시뮬레이터 실험을 수행할 선장의 해당값을 적용하였다.

위  $SJs$  값을  $CR$ 과 비교하기 위해 척도변환을 다음과 같이 수행한다.

$$SJs(\text{new}) = 3 - SJs(\text{old}) \quad (5)$$

여기서,  $SJs : 0(\text{best}) \sim +6(\text{worst})$

교통환경 스트레스를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

(1) 본선 주변의 일정 방향( $\theta$ )에 대해 각  $i$  번째 타선박에 대해  $SJs(\theta)_i$  ( $i=1, \dots$ , 타선박의 수)를 계산한다.

(2) 각 방향별 위험도  $SJs(\theta)$ 는 그 방향에 대해 모든 타선박의 위험도를 구한 것 중 최대 위험도가 선택된다.

$$SJs(\theta) = \max(SJs(\theta)_i) \quad (6)$$

여기서,  $i : 1, \dots$ , 타선박의 수,

$$SJs(\theta) : 0 \sim 6.0$$

(3) 현재 침로를 0도로 하여 좌현(-90도)부터 우현(+90도)까지 각 방향별 충돌위험도,  $CR(\theta)$ 를 구한다.

(4) 결국, 식(7)과 같이, 현재시간  $t$ 에서 자선의 총체적인 환경 스트레스가 계산된다. 우선, 방향별 가중함수를 이용하여 방향별  $SJs(\theta)$ 를 적분하고, 모든 방향에서 최대위험도를 가지는 상황( $SJs(\theta)=6.0$ )에 대해 상대적인 위험수준으로 계산한다[6].

$$SJs(t) = \frac{\int_{-90}^{+90} SJs(\theta) \cdot w(\theta) d\theta}{\int_{-90}^{+90} 6 \cdot w(\theta) d\theta} \quad (7)$$

여기서,  $\theta : -90 \sim +90$ ,

$$SJs(t) : 0 \sim 1.0$$

$$w(\theta) = \cos\left(\frac{90}{110}\theta\right)$$

여기서,  $SJs(t)$ 는 Inoue의 연구에 따라 다음과 같이 위험상황을 구분 지을 수 있다[4]. 즉,  $SJs(t)$ 가 0에서 0.5의 경우에는 위험을 무시할 정도로 안전한 상황, 0.5에서 0.75 사이에서는 위험상황이지만 여유가 있는 상황, 0.75에서 0.9사이에서는 위험이 임박한 한계상황, 0.9에서 1.0은 충돌할 비상상황이다.

## 4. 시뮬레이터 실험 및 결과

### 4.1 전기능 선박운항 시뮬레이터(FMBS, KRISO/KORDI)

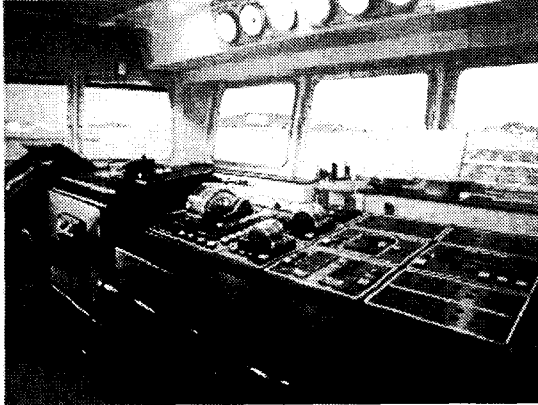


Fig. 6 FMBS in KRISO/KORDI

본 연구를 통해 개발된 충돌위험도 표시 시스템의 성능을 평가하기 위해 3차원 전기능 선박운항 시뮬레이터를 이용하여 실시간 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 6은 본 충돌위험도 표시시스템이 설치된 시뮬레이터 선교를 보여주고 있다.

또한, 실시간 충돌위험도를 모니터링하고, 퍼지 알고리즘의 결과와 환경스트레스 모델에 의한 결과를 비교하기 위하여, Fig. 7과 같이 사용자 화면에 두 결과를 함께 도시하였다. Fig. 7의 3색 원형그래프의 좌측이 퍼지 알고리즘에 의한 충돌위험도 표시부이며, 우측이 환경스트레스 모델에 의한 충돌위험도 표시부이다.

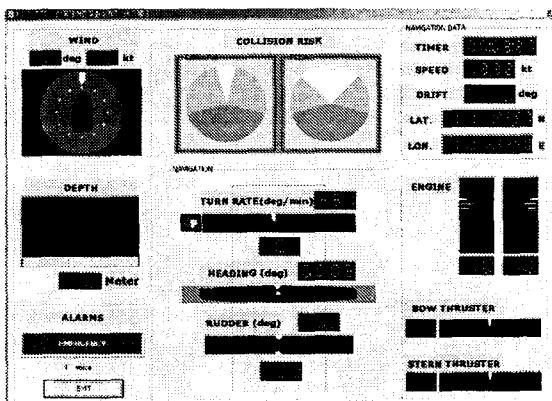


Fig. 7 GUI of CRMS with CR and SJs

### 4.2 실시간 시뮬레이션

#### (1) 시나리오

시나리오는 Table 2에서 보는 바와 같이, 2가지 그룹으로 나누었다. 즉, 대양과 같은 개방수역에서의 시나리오 4가지(A,B,C,D)와 항만근처의 제한 수역에서의 시나리오 1가지(E)를 계획하였다. 개방수역에서는, 4,400 TEU 컨테이너선이 자선으

로 사용되었고, 타선은 종류와 길이 및 속도를 모두 동일하게 가정하였다. 단, 시나리오 C에서는 타선이 자선을 추월하여야 하므로, 예외적으로 빠른 속도를 가정하였다. 한편, 항만근처의 제한수역 시나리오에서는, 선박의 종류와 길이, 그리고 속도는 실제 통항상황을 반영하여, 모두 다르게 계획하였다.

Table 2 Scenarios for simulator experiments

시나리오	해역	자선			타선			
		종류	길이 (m)	속도 (kt)	종류	길이 (m)	속도 (kt)	
A	대양, 개방수역	4,400 TEU 컨테이너	260	10	4,400 TEU 컨테이너	260	10	
B								
C								
D								
E	항만근처, 제한수역	4,400 TEU 컨테이너	260	14	6,700 TEU 컨테이너	320	10	
					군함 I			83.3
					군함 II			135.5

#### (2) 경로 계획

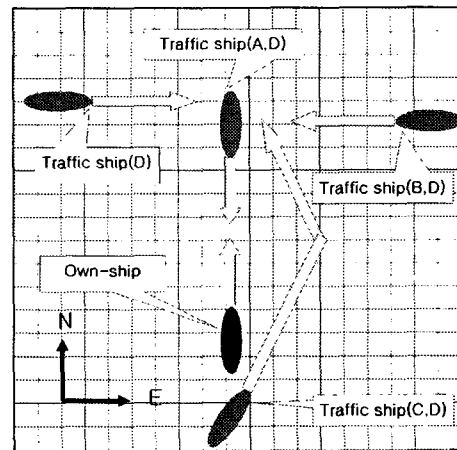


Fig. 8 Route planning in open sea

Fig. 8은 개방수역에서의 자선 및 타선의 경로계획이며, Fig. 9는 항만근처의 제한 수역에서의 경로계획을 보여준다. 개방수역에서의 경로는 타선의 속도방향의 차이에 따른 충돌위험도의 변화를 살펴보기 위해, 자선의 선수로부터 접근하는 타선(A), 우현에서 접근하는 타선(B), 선미로부터 자선을 추월하는 타선(C), 그리고 좌현에서 접근하는 타선과 앞의 세 타선이 모두 포함된 시나리오(D)까지 총 4가지를 계획하였다. 항만근처에서는 정상적인 통항상황, 즉 선박 입출항 상황과 같이 정해진 경로를 따라 이동하는 선박들간의 충돌위험도의 변화 특성을 살펴보고자 하였다.

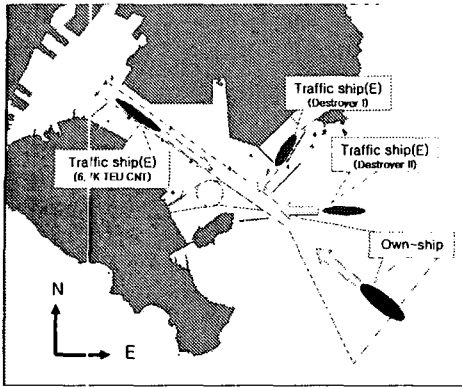


Fig. 9 Route planning in the fairway around harbor

본 시뮬레이터 실험은 기존에 환경스트레스 모델의 연구가 충돌을 가정하여 이루어진 것과는 달리, 실험시 운항자가 실제 항해와 동일하게 회피기동을 하도록 하였다. 이를 통해 충돌위험이 발생한 순간부터 회피가 이루어지기까지 실제 해상에서 일어날 수 있는 위험상황을 재현하고 위험도를 추정하였다.

#### 4.3 시뮬레이션 결과

Fig. 10에서부터 Fig. 14는 5가지 시나리오에 대한 시뮬레이터 실험결과를 보여준다. 각 그림에서 상단이 궤적결과이며, 하단은 위험도와 환경스트레스의 시간에 따른 변화추이를 보여준다. Fig. 10에서부터 Fig. 13이 보여 주듯이, 개방수역에서 자선은 타선에 대한 충돌회피기동을 수행하였다. 또한, 통항량이 많은 항만근처에서도 자선과 타선은 충돌없이 계획된 경로를 잘 추적 운항하였다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이, 시나리오 A 즉, 전방에서 타선이 접근하는 시나리오에서는 자선이 우현으로 회피기동을 하였다. 하단의 위험도 변화를 살펴보면, 퍼지이론에 의한 결과와 환경스트레스에 의한 결과가 유사한 패턴을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나, 퍼지이론에 의한 충돌위험도 값보다, 환경스트레스 값이 급격히 변화하는 것을 볼 수 있다. 결국, 충돌위험이 있을 경우, 보다 먼저 위험상황을 인지할 수 있음을 의미한다. Fig. 10의 하단에서도 보듯이, 위험의 임계범위에 들어가는 시간이 스트레스 모델의 경우 약 410초 근처이지만, 퍼지이론에 따르면 500초 근처가 된다. 즉, 스트레스 모델이 약 90초 정도 먼저 임계위험시기를 알려줄 수 있다. 한편, 회피기동을 하여 타선과의 조우상황이 종료된 후에는 위험이 마이너스 값을 가지므로써 위험상황을 벗어났음을 보여주고 있다.

Fig. 11은 시나리오 B, 즉 타선이 우현에서 접근하는 상황의 결과를 보여주고 있다. 자선은 타선의 진행방향의 반대쪽, 즉 우현으로 회피기동을 수행하였다. 하단의 위험도 변화는 앞의 시나리오 A와 유사한 패턴을 보여주고 있다. 즉, 퍼지이론에 의한 위험도는 초기에 어느 정도 값을 가지면서 완만하게 변화하는 데 반해, 환경스트레스 값은 빠른 변화를 보이고 있다. 위험임계시기를 알려주는 시기도 스트레스 모델이 퍼지이론보다 약 50초 정도 앞선다.

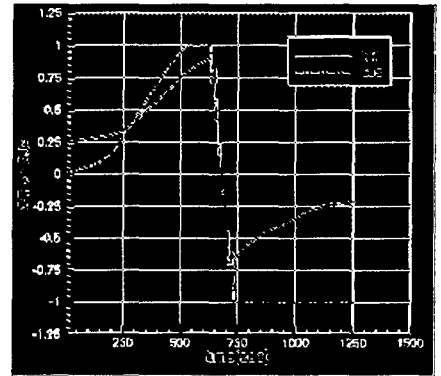
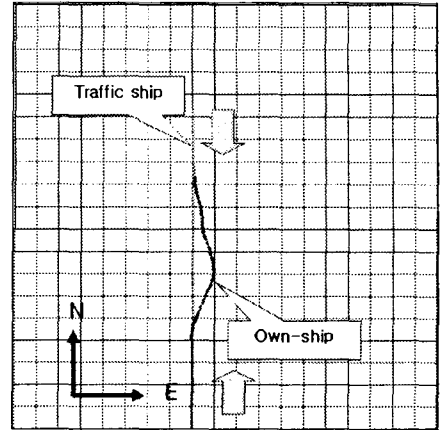


Fig. 10 Results of scenario A

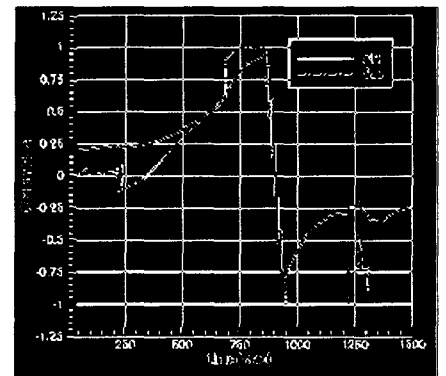
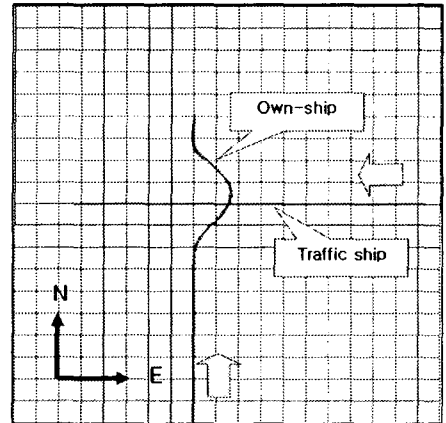


Fig. 11 Results of scenario B

여기서, 시나리오 A와 B의 결과가 유사함을 볼 수 있는데, 그 이유는 크게 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 우선 스트레스 값의 범위가 유사한 이유는, 3.2절에서 언급한 바와 같이 선장이 느끼는 위험도의 회귀식에서 주요 상수인  $\alpha, \beta$ 의 값이, 우현에서 접근하는 상황과 전방에서 접근하는 상황에서 동일하기 때문이다. 또한, 퍼지이론에 의한 초기의 위험값이 동일한 이유는 시나리오 설정시 충돌예상위치를 동일하게 계획하여 초기 위험도의 값이 유사하게 도출되었기 때문이다.

앞의 두 시나리오와는 달리 후방에서 접근하는 시나리오 C의 경우는 조금 다른 패턴을 가진다. Fig. 12에서 보는 바와 같이, 초기에 한계치 근처의 위험을 보이다가 급격히 위험이 사라짐을 볼 수 있는데, 이는 자선보다 약 10노트 이상의 속력으로 접근하는 타선이 우현으로 빠져나갈 때 우측방향의 위험도가 상당히 높게 평가되었기 때문이다. 물론, 퍼지이론에 의한 결과와 교통환경 스트레스값의 변화는 유사한 패턴과 범위를 보이고 있다.

시나리오 D는 앞의 세 시나리오의 상황을 포함하면서, 추가적으로 좌현에서 접근하는 선박이 추가되었다. Fig. 13의 상단에서 보는 바와 같이, 선박은 후방타선 추월 후에 전방에서 접근하는 타선을 회피한다. 그 후 좌현 및 우현에서 접근하는 선박을 회피하는 상황을 볼 수 있다. 하단의 위험도 변화를 살펴보면, 초기 위험도는 시나리오 C에서 나타난 것과 같은 패턴을 가진다. 후방 타선이 추월하고 뒤이어 전방타선을 회피한 이후 (약 400초)에는 위험도가 크게 감소하나, 0.5를 전후하여 위험이 상존한다. 이는 좌현과 우현에서 접근하는 타선으로 인한 위험이다. 이후 자선이 점점 좌우현에서 접근하는 타선 경로에 접근할수록 위험도가 증가함을 알 수 있다. 본 시나리오 역시 환경 스트레스값이 퍼지이론에 의한 위험도보다 급격히 변화하지만, 경향 및 범위는 유사함을 볼 수 있다. 특히 본 시나리오는 4종류의 타선과의 충돌위험이 순차적으로 포함된 상황으로, 각 타선과의 충돌상황 및 위험의 해제상황이 잘 구현되어 있다.

앞의 4개의 시나리오가, 개방수역에서 충돌위험도의 변화를 살펴보기 위한 것이라면, 시나리오 E는 부두근처에서 정해진 경로 하에 출입항하는 선박들간의 위험을 살펴보기 위해 설정하였다. Fig. 14에서 보는 바와 같이, 자선 및 출입항하는 선박들은 충돌없이, 또한 큰 회피기동 없이 정해진 경로를 향해하고 있다. 그러나, 하단의 위험도 변화를 살펴보면, 퍼지이론에 의한 값은 초기에 무시할 정도의 위험(약 0.25)을 보이지만, 스트레스값의 경우 처음부터 위험의 한계치를 보이고 있다. 이는 퍼지이론 자체가 개방수역을 대상으로, DCPA와 TCPA를 기반으로 만들어진 데 반해, 스트레스 모델은 제한수역내의 선박들간의 상대거리를 가지고 만들어졌기 때문이다. 즉, 퍼지이론에 따르면, 항구근처와 같이 선박들의 교통량이 많은 경우라도 충돌여유시간과 최근접거리에 여유가 있다면 위험이 적은 것으로 나타난다. 그러나, 스트레스 모델의 경우, 상대거리가 가까울 경우에 위험도가 크게 나타나는 경향이 있다.

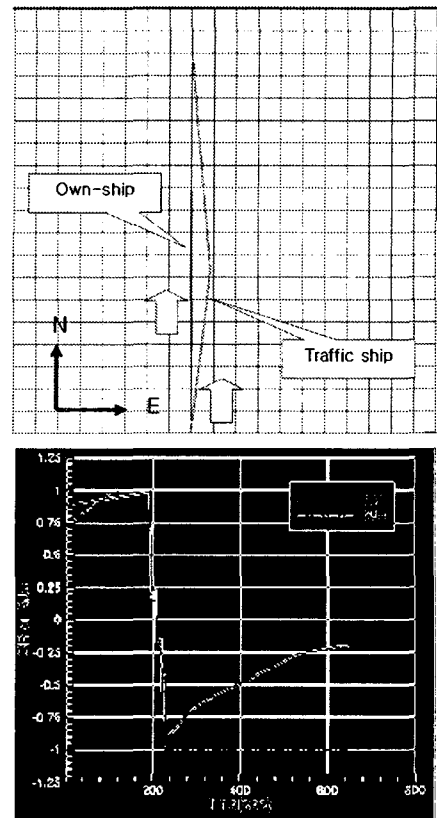


Fig. 12 Results of scenario C

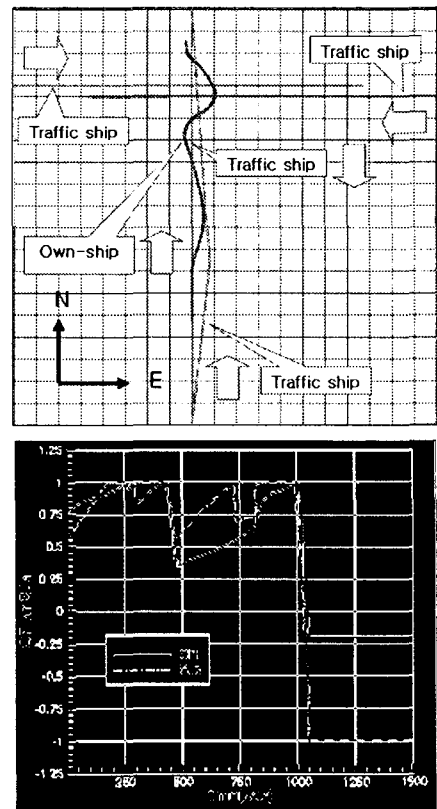


Fig. 13 Results of scenario D

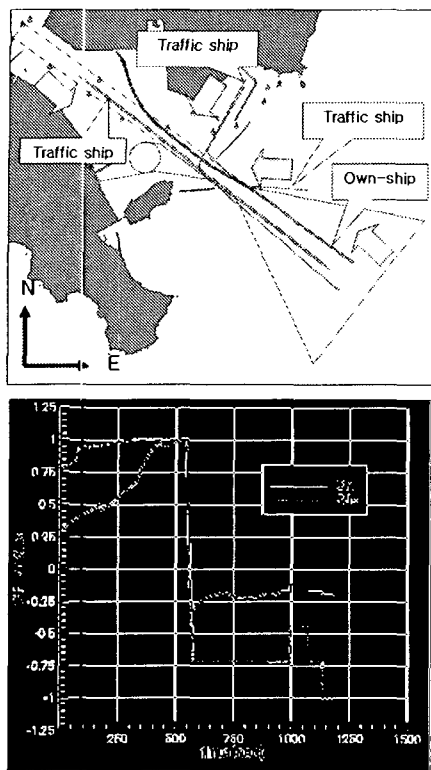


Fig. 14 Results of scenario E

따라서, 개방수역에서 회피기동과는 달리 정해진 출입항 항로를 운항해야 하는 연안 근처의 제한 수역에서는 충돌위험도를 다룰 때 주의할 필요가 있다. 제한수역과 같은 곳에서 스트레스 모델을 사용하면, 선박간의 거리가 가까워 충돌위험을 높게 경고하여, 안전운항에 도움이 될 수 있는 반면에, 퍼지이론에서 나온 충돌위험도를 사용하면, 충돌시간에 어느 정도 여유가 있다면, 충돌위험이 낮게 추정되기 때문에, 항해사의 실수로 인해 언제든지 충돌상황으로 빠질 수 있다. 결국, 항구근처의 제한수역에서는 충돌위험 모니터링시스템을 사용시, 경로이탈을 모니터링 할 수 있는 기능도 함께 고려할 필요가 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 실시간으로 선박의 충돌위험도를 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하였고, 퍼지이론과 환경스트레스 모델을 이용한 충돌위험도 추정성능을 비교, 분석하기 위해, 선박 운항 시뮬레이터 실험을 수행하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 개방된 수역에서 충돌 상황시, 환경스트레스 모델의 위험도가 퍼지이론을 이용한 충돌 위험도 보다 변화율이 높으며, 충돌위험을 좀더 빨리 경고할 수 있다. 그러나, 환경스트레스 모델이 제한된 수역에 대한 항해사들의 설문만을 바탕으로 하였으므로, 실제 적용하기 위해서는 개방된 수역에 대한 설문을 통한 검증이 필요하다.

(2) 연안의 출입항 항로와 같이 제한된 수역의 경우, 충돌거리

및 충돌시간에 어느 정도 여유가 있는 경우, 퍼지이론을 이용한 충돌위험도가 작은 값을 가지더라도, 항해사의 실수로 충돌 상황에 빠지기 쉽다. 따라서, 계획된 경로를 운항하는 연안 출입항시 퍼지이론을 이용한 충돌위험 경보를 이용할 경우에는, 항해사의 실수 방지를 위해 경로이탈을 함께 모니터링 할 필요가 있다.

## 후 기

본 논문은 한국해양연구원 기본연구사업 “해양위해도 통합관리 시스템 기반기술 개발(III)” 과제에서 지원하여 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 공인영 외(2002), “해양 위해도 기반 안전운항지원시스템 개발”, 3차년도 보고서 (위해도 저감 핵심 기술 개발 과제).
- [2] 이한진(1997), “유전자 알고리즘을 이용한 충돌 회피 시스템의 최적화”, 박사학위논문, 서울대학교, pp. 8~10.
- [3] Inoue, K. et al.(1998), “Modeling of Mariners’ Perception of Safety when Being Faced with Imminent Danger (In Japanese)”, Journal of Japan Institute of Navigation, pp. 235~245.
- [4] Inoue, K. et al.(1998), “Guidelines to Assess the Safety of Marine Traffic-I (Evaluation of Ship-handling Difficulty based on the Environmental Stress Model) (In Japanese)”, Journal of Japan Institute of Navigation, pp. 225~234.
- [5] Son, N.S. et al.(2003), “Design of User-friendly Voice Control and Guidance System for Safe Navigation”, Proceeding of MARSIM’03, pp. RB-22-1~RB-22-6.
- [6] 공인영(2003), “해상교통 안전성 평가를 위한 환경 스트레스 모델의 특성 고찰(I)”. 한국항해항만학회 춘계학술대회논문집, pp. 479~486.
- [7] Koyama, T. et al.(1987), “An Expert System Approach to Collision Avoidance”, 8th Ship Control System Symposium.
- [8] Imazu, H. et al.(1984), “The Determination of Collision Avoidance Action”, Journal of Japan Intitute of Navigation.
- [9] Hasegawa, K. et al.(1989), “Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System (SAFES)”, Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, Vol. 166.
- [10] Hara, K. et al.,(1993), “A Safe Way of Collision Avoidance Maneuver based on Maneuvering Standard using Fuzzy Reasoning Model”, MARSIM ’93.