

# 해상교통관제사의 위험태도 분석을 통한 선박 충돌 위험도 연구

이진석\* · † 송재욱

\*한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 항해학부

## A Study on the Degree of Collision Risk through Analysing the Risk Attitude of Vessel Traffic Service Operators

Jin-Suk Lee\* · † Chae-Uk Song

\*Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Division of Navigation, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약** : 일반적으로 VTSO(Vessel Traffic Service Operator)는 양 선박의 충돌위험 정도를 판단할 때, 선박들의 침로와 속력, DCPA(Distance to CPA)와 TCPA(Time to CPA) 그리고 양 선박의 조우 상황 등을 종합적으로 고려한다. 이에 본 연구에서는 VTS(Vessel Traffic Service) 관점에서의 선박충돌위험을 예측하는 방법으로 위험지수(Risk Index, RI)를 선박 조우 상황에 따른 위험, 선박 간 근접거리에 따른 위험 그리고 접근시간에 따른 위험으로 나누어 구하고, VTSO의 위험 태도를 반영한 충돌 위험도를 제안하였다. 위험지표의 각 계수와 위험 태도는 VTSO 설문을 실시하여 구하였고, 제안한 위험도의 타당성 검증은 위하여 부산항의 실제 사고 사례에 ES(Environmental Stress) 모델의 교통 환경 스트레스치( $ES_s$ )을 함께 적용하여 유효성을 확인하였다.

**핵심용어** : VTSO, 선박충돌위험, VTS 관점, 위험지표, 위험태도

**Abstract** : When VTSOs (Vessel Traffic Service Operator) determine the degree of collision risk for two vessels, they consider comprehensive information about each vessel's course, speed, DCPA, TCPA, and encountering situation. In this study, we proposed a utility function based on the risk attitudes of VTSOs toward the Risk Index (RI). The RI was calculated using the risk of encounter, the risk of approach, and the risk of time for two vessels in order to predict each ship's collision risk from the VTS viewpoint. We obtained each coefficient of the RI and the risk attitude through a survey of collision risks among VTSOs of Korea. In order to verify whether the proposed utility is reasonable, we validated by applying the degree of collision risk to some historical cases of accidents in Busan port along with the Ship of ES value( $ES_s$ ) of ES(Environmental Stress) model.

**Key words** : VTSO, Ship's Collision Risk, VTS view-point, Risk Index, Risk attitude

### 1. 서 론

해상교통관제(VTS, Vessel Traffic Service)는 선박 교통의 안전과 효율성 확보 및 해양환경 보호를 위하여 레이더, 선박 자동식별장치(AIS, Auto Identification System), 초단파 무선 통신 장비(VHF, Very High Frequency) 등 선박의 위치를 탐지 및 통신 설비를 이용하여 통항 선박의 동정을 관찰하고 항행 안전 정보를 제공하여 선박 운항자의 인적요인으로부터 발생할 수 있는 위험을 보완하는 중요한 임무를 수행한다.

현재 우리나라는 국민안전처에서 국내 연안 해역의 해상교통 안전을 확보하기 위하여 관제구역을 점차 확대 운영할 계획이며, 현재 15개 항만과 3개 연안에 VTS를 설치·운영하고 있다.

해상교통관제사(VTSO, VTS Operator)는 선박의 충돌사고

예방과 원활한 선박 교통흐름을 위하여 VTS 시스템을 통해 선박의 움직임을 실시간으로 모니터링하고 충돌위험 상황을 인지하는 과업을 수행하며, 해당 선박이 적절한 조치를 하여 사고를 예방할 수 있도록 정보제공·조언·권고·지시 등을 통한 관제업무를 수행한다.

VTSO의 상황인식(SA, Situation Awareness)을 음성 교신 내용을 기초로 수준별로 분석한 결과, 제1수준에서는 선명 확인(21.80%) 및 선박 위치 확인(14.99%) 그리고 선박의 목적지, 출항지 등 운항 계획 확인(7.35%)에 높은 빈도를 보였다. 제2수준에서는 선박 간 DCPA(Distance to the Closest Point of Approach)와 TCPA(Time to the Closest Point of Approach)를 확인하는 것(4.63%)이 가장 높은 빈도를 보였고, 제3수준에서는 선박의 미래 경로를 예측하는 것(3.76%), 선박 간 충

\*중심회원, jslee118@gmail.com 051)664-2750

† Corresponding author: 중심회원, songcu@kmou.ac.kr 051)410-4272

(주) 이 논문은 “VTSO의 위험태도에 따른 충돌위험도 최적화 연구”란 제목으로 “2017년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집(BEXCO, 2017.4.19-20, pp.323-325)”에 발표되었음.

들의 위험을 예측하는 것(2.92%), 그리고 침로 변경을 권고해야 할 선박이 무엇인지 미리 파악하는 것(1.82%) 이었다(Lee et al., 2016).

이는 VTSO가 SA의 세 수준 중 제1수준에 해당하는 정보 지각(information perception) 과제를 주로 수행하며 상대적으로 발생빈도는 낮지만 이러한 정보를 통합(integration)하고 예측(prediction)하여 선박 충돌 위험 상황을 인지하는 과정으로 선박 간 DCPA와 TCPA를 확인하고 선박의 경로와 충돌 위험을 예측하여 어느 선박을 호출하여 안전한 통항을 유도할지를 판단한다고 볼 수 있다.

선박 간 충돌 위험은 각 선박의 당직 항해사 관점에서 위험 여부를 판단하여 그에 따른 변침, 감속 등 적절한 조치를 취하는 것이 일반적이나 선박 운항자의 인적요인으로부터 발생할 수 있는 위험을 보완하고 관계구역을 통항하는 선박을 모니터링하며 선박 간에 발생할 수 있는 충돌 위험을 VTSO 관점에서 사전에 예측하고 관련 정보를 해당 선박에게 제공함으로써 안전한 통항을 유도하기 위한 모델 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 선박의 충돌 위험을 VTSO 관점에서 예측하기 위한 모델을 개발하기 위하여 선박 조우 상황에 따른 위험, 선박 근접거리에 따른 위험 그리고 최근접점까지의 접근시간에 따른 위험을 각각 구하고, 그 후 최종적으로 VTSO의 위험 태도에 따른 충돌 위험도 평가 모델을 구하고자 한다.

본 논문은 2장에서 VTSO 관점에서의 선박 충돌 위험지수를 선박 조우 상황에 따른 위험, 선박 간 근접거리에 따른 위험 그리고 최단 접근시간에 따른 위험으로 나누어 산출하고, 3장에서 위험 태도에 따른 선박 충돌 위험도 평가 모델을 개발하고, 4장에서 제시한 평가 모델과 교통 환경 스트레스치( $ES_S$ )를 부산에서 발생한 충돌사고와 준사고 사례에 적용하여 유효성을 검증하고, 5장 결론으로 구성한다.

## 2. VTSO 관점에서의 선박 충돌 위험지수

### 2.1 선박 조우 상황에 따른 위험지수

선박 조우 상황에 따른 위험을 판단하는 방법으로 TCPA가 0인 지점 즉, 두 선박이 최근접점에 위치할 때,  $i$  선박에서의  $j$  선박 상대방위( $\theta_i$ )와  $j$  선박에서의  $i$  선박 상대방위( $\theta_j$ )의 변화에 따라 양 선박의 조우 상황이 추월 상태인지, 마주침 상태에서 좌현 대 좌현 또는 우현 대 우현으로 통과하는지, 횡단 상태에서 피항선이 유지선 선수 또는 선미를 지나는지, 교차각과 속력 차는 어떠한지를 알 수 있다(Lee et al. 2015).

$\theta_i$ 와  $\theta_j$ 에 따른 선박의 조우 상황 패턴 일부를 비교한 결과(Lee et al. 2015),  $\theta_i$ 가 030°,  $\theta_j$ 가 150°인 경우와  $\theta_i$ 가 150°,  $\theta_j$ 가 030°인 경우를 비교하면,  $i$  선박은 유지선에서 피항선으로,  $j$  선박은 피항선에서 유지선으로 입장이 서로 바뀌지만, VTS

관점에서 양 선박의 관계는 속력이 같은 두 선박 중 피항선이 유지선의 선수로 조우각 120°로 횡단하는 조우 상황이 된다.

마찬가지로  $\theta_i$ 가 060°,  $\theta_j$ 가 120°인 경우와  $\theta_i$ 가 120°,  $\theta_j$ 가 60°인 경우를 비교하면, VTS 관점에서 양 선박의 관계는 속력이 같은 두 선박 중 피항선이 유지선 좌현에서 선수로 조우각 060°로 횡단하는 조우 상황이 된다.

이처럼 최근접점에서 양 선박의 상대방위가 같다면 VTS 관점에서 같은 선박 조우 상황이 되며, 양 선박의 조우 상황에 따른 위험지수( $E_{ij}$ )는 최근접점에서의  $i$  선박 상대방위에 따른 위험 값과 최근접점에서의  $j$  선박 상대방위에 따른 위험 값의 합으로 구한다(Lee et al., 2015).

$$E_{ij} = R_{cpa}(\theta_i) + R_{cpa}(\theta_j) \quad (1)$$

$$R_{cpa}(\theta) = \begin{cases} a \cdot \operatorname{sech}(d\theta), & \text{if } 0 \leq \theta < \frac{2\pi}{3} \\ b \cdot \operatorname{sech}(e(\theta - \pi)), & \text{else } \frac{2\pi}{3} \leq \theta < \frac{3\pi}{2} \\ c \cdot \operatorname{sech}(f(\theta - 2\pi)), & \text{else } \frac{3\pi}{2} \leq \theta \leq 2\pi \end{cases}$$

단, a, b, c 는 선수·선미의 최대 위험 값 계수

d, e, f는 위험정도에 따른 기울기 계수

$E_{ij}$ 는  $i$  선박과  $j$  선박이 근접하며 일정한 거리를 두고 통과할 때 조우 상황에 따른 위험을 나타낸 것으로, CPA가 양 선박의 길이의 합보다 작을 경우, 양 선박이 어떠한 조우 상황으로 접근하여도 충돌의 위험이 매우 높아지므로 최대가 된다.

### 2.2 선박 간 근접거리에 따른 위험지수

VTSO는 선박 간 근접 위험을 판단하는 방법으로 선박의 백터가 한 지점으로 수렴되거나 VTS 시스템에서 CPA가 0에 가까울 때 양 선박이 쌍방 교신, 변침 등 적절한 조치 없이 접근하면 이를 충돌 위험 상황으로 인지한다.

그러나 이는 선박의 크기 등을 고려하지 않은 선박 백터만으로 근접 위험을 판단한 것으로 이를 보완하기 위하여 양 선박이 최대로 근접하여 통과하는 상황을 가정할 때 VTSO가 느끼는 최소 안전거리를 선박 길이로 환산한 Ship domain을 구하고, 이를 최근접점으로 이동하여 선박 간 근접거리에 따른 위험을 구하고자 한다.

기존의 Ship domain과 관련된 연구는 ‘본선을 조종하는 항해사가 타선박이나 장애물의 진입을 허용하지 않는 본선 주위의 일정한 영역(Fujii, 1971)’이라 정의한 이론에 따라 항해사가 본선 주위의 일정한 영역 내로 타선박이 들어오지 않을 때 안전하다 판단한다.

하지만 양 선박이 Fig. 1과 같은 교차 상황에서 (a)에서 (b)로 서로 접근할수록 자신의 Domain 영역으로 타선박이 진입하지 않았다 하여 안전하다고 판단하기 어렵다.

이에 본 논문에서는 Safety domain을 Fig. 2과 같이 TCPA가 0이 지점, 즉 최근접점으로 이동하여 선박의 Domain( $D_s$ )과 DCPA와의 거리에 따라 양 선박의 근접 위험을 판단할 수 있는 Approach factor( $f_i$ )를 식(2)과 같이 제안한다.

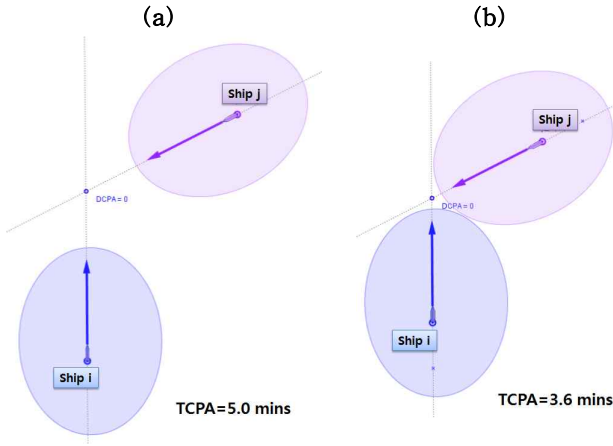


Fig. 1 The effect of TCPA and DCPA on ship domains

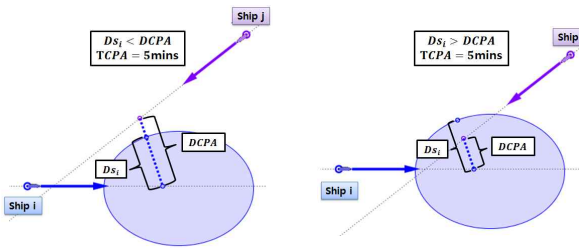


Fig. 2 The relationship between Domain( $D_s$ ) and DCPA

$$f_i = DCPA / D_s \quad (2)$$

식(2)의  $f_i$ 가 1보다 크면 안전, 1이면 보통 그리고 1보다 작으면 위험하다고 판단할 수 있다.

설문조사는 2016년 6월 20일부터 7월 15일 사이의 기간 남해해양경비안전본부 소속 3개 VTS 센터와 각 지방본부 소속 2개 VTS 센터 등 총 9개 센터에 근무하고 있는 VTSO를 대상으로 실시하였다. 설문지가 배포된 130명(센터장, 시설 및 행정직원 제외) 중 70명이 응답하였으며 회신율은 53.8%였다.

교통 환경은 항만에 인접한 연안을 기준으로 선박이 최대로 근접하여 통과할 때, 응답자의 안전거리를 방위별 선박 길이로 환산하여 표시한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3의 평균 Domain은 장직경 11.3L( $\pm 0.95$ ), 단직경 8.7L( $\pm 0.87$ )로 중심이 좌현 선미 방향으로 이동한 타원형으로 Coldwell(1983), Goodwin(1975)과 같이 국제해상충돌예방규칙이 선박 통항에 미치는 영향을 반영한 것으로 판단된다.

또한 VTSO 개인이 응답한 Domain 선상에 타선박이 존재할 때 느끼는 위험 정도(최대 1.0)를 조사한 결과, 평균 0.657

(표준편차 0.1, 95% 신뢰구간 0.631-0.682)로 조사되었다.

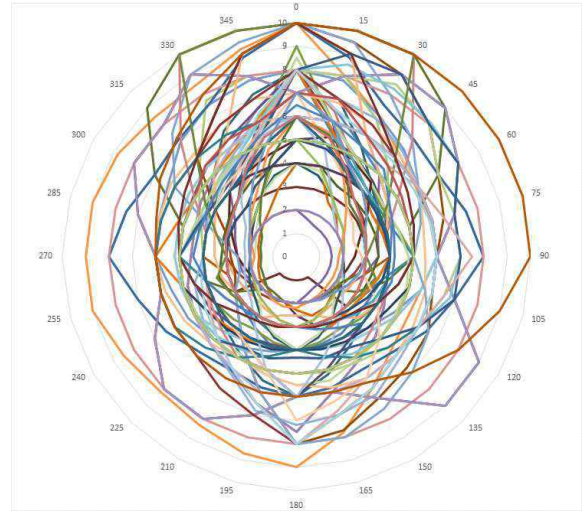


Fig. 3 Each VTSO's safety domain

이를 적용하여 i 선박의 근접 위험값( $R_{sd}$ )을 식(3)과 같이 구하고, 위험 정도에 따른 기울기 계수( $g$ )는 Domain 선상으로 타선박이 존재할 때( $f_i = 1$ ) VTSO가 느끼는 위험 정도 평균과 유사한 값을 가지는 값( $g=1.0$ )을 설정하고 이를 그래프로 나타내면 Fig. 4와 같다.

$$R_{sd}(f_i) = \text{sech}(g \cdot f_i) \quad (3)$$

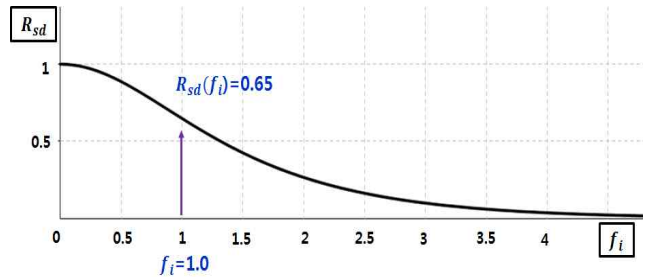


Fig. 4 A Graph of the Risk of Safety domain( $R_{sd}$ )

선박 간 근접거리에 따른 위험지수( $A_{ij}$ )는 양 선박의 근접 위험값( $R_{sd}$ )의 합으로 식(4)와 같이 구한다.

$$A_{ij} = R_{sd}(f_i) + R_{sd}(f_j) \quad (4)$$

$A_{ij}$ 는 i 선박과 j 선박의 선박 길이를 고려한 근접거리에 따른 위험을 나타내며, CPA가 0일 때 최대 위험 2.0이 된다.

### 2.3 선박 간 최단 접근시간에 따른 위험지수

VTSO가 충돌위험을 판단하는 세 번째 요소로 위험을 인지한 후 선박을 안전하게 통과할 수 있도록 조치할 수 있는 시간적 여유를 얼마나 확보하고 있는냐에 달려 있다.

VTS 시스템 화면에 표시되는 선박의 속력 벡터는 대부분 3분 또는 5분으로 설정되어 있다. 이를 통해 VTSO는 양 선박의 충돌 임박까지 남아 있는 시간을 예측하게 된다.

양 선박 간 충돌 위험이 임박한 상황에서 남아 있는 시간(1분~10분)에 따라 마주침, 교차(30°, 45°, 90°, 120°, 135°, 150°) 등 13가지 상황에 대하여 VTSO가 느끼는 위험 정도를 시간대별로 조사하여 평균한 결과 Fig. 5와 같이 큰 편차가 없이 비슷한 패턴을 보인다.

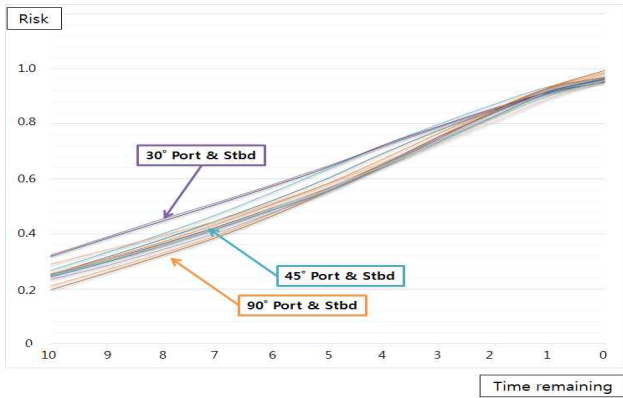


Fig. 5 Means of VTSO's risk for each situation due to Time-remaining

이에 따라 여유시간에 따른 VTSO가 느끼는 위험 정도를 시간대별로 평균한 결과와 sech(hyperbolic secant)함수 중 상관계수가 0.994로 일치도가 가장 높은 sech(0.2x)을 이용하여 선박 간 접근 시간 위험값(Risk of approach time,  $R_{at}$ )을 식(5)와 같이 구하고 이를 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다.

$$R_{at}(t) = \begin{cases} \text{sech}(ht), & t \geq 0 \\ \text{sech}(kt), & t < 0 \end{cases} \quad (5)$$

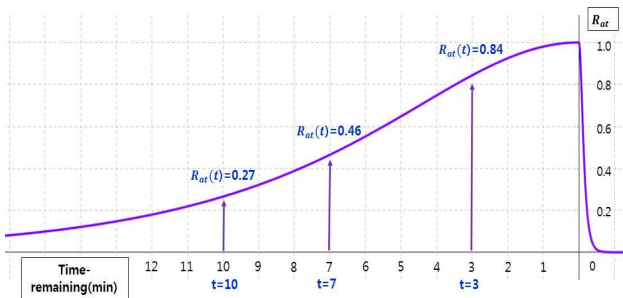


Fig. 6 A Graph of the Risk of approach time( $R_{at}$ )

AIS로 확인이 가능한 선박 주요 정보 중 선종(Type of ship), 선박길이(LOA), 선폭(Beam), 흘수(Draft), 시간대(Time) 등이 충돌 위험이 임박한 상황에서 남아 있는 시간에 따라 관제사가 느끼는 위험에 미치는 영향 정도를 주요 요인 및 세부 요인별로 조사한 결과, 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 선종이 27.9%로 가장 높았고, 다음으로 길이(24.4%), 시간

대(21.8%), 흘수(12.7%), 선폭(11.5%) 순이었다.

세부 요인으로 선종은 유조선이 가장 높고 여객선, 케미컬 운반선 순이며, 선박 길이와 선폭, 그리고 흘수는 크기가 클수록 미치는 영향도 비례하였다. 시간은 04~08시 사이가 가장 위험한 시간대로 분석되었다.

이처럼 설문으로 조사된  $i$  선박의 주요 요인과 세부 요인이 여유 시간에 미치는 영향( $t_i$ )을 적용하면 식(6)과 같다.

$$t_i = t_{ij} - t_{ij} \left[ \frac{I_{i\text{type}} + I_{i\text{loa}} + I_{i\text{beam}} + I_{i\text{time}} + I_{i\text{draft}}}{100} \right] \quad (6)$$

$$I_{i\text{factor}} = \frac{\sum_1^n \text{Effect of main factor}(\%) \cdot \text{Effect of detail factor}(\%)}{n(\text{Number of responses}) \cdot 100}$$

$t_{ij}$ 는  $i$  선박과  $j$  선박의 최단 접근시간이며 식(7)과 같다.

$$t_{ij}(\text{min}) = \frac{R_{ij}}{(v_i - v_j) \cdot \cos \alpha} \quad (7)$$

$\alpha$  : 벡터  $v_i - v_j$ 와 양 선박의 거리 선분이 이루는 각

양 선박의 선종, 길이, 시간대 등 각 요인이 충돌 임박까지 남아있는 여유시간에 미치는 영향을 함께 고려하여 선박 간 최단 접근시간에 따른 위험지수( $T_{ij}$ )를 구하면 식(8)과 같다.

$$T_{ij} = R_{at}(t_i) + R_{at}(t_j) \quad (8)$$

$R_{at}$  : 선박의 접근 시간 위험값

$t_i$  :  $i$  선박 요인이 여유 시간에 미치는 영향, 식(6)

$t_j$  :  $j$  선박 요인이 여유 시간에 미치는 영향, 식(6)

### 3. VTSO 위험태도에 따른 선박 충돌위험도

VTSO 관점에서의 선박충돌 위험지수(RI, Risk Index)는 식(9)와 같이 3가지 위험지수의 곱으로 구한다.

$$RI = E_{ij} \cdot T_{ij} \cdot A_{ij} \quad (9)$$

$RI$  : 선박 충돌 위험지수

$E_{ij}$  = 선박 조우상황에 따른 위험지수

$T_{ij}$  = 선박 간 최단 접근시간에 따른 위험지수

$A_{ij}$  = 선박 간 근접거리에 따른 위험지수

$E_{ij}$ 는 양 선박이 어떻게 조우하더라도 일정 수준 이상의 값이 존재한다. 그러나 양 선박이 근접까지 시간적 여유가 충분히 많이 남아 있거나 양 선박이 먼 거리를 두고 서로 통과할 것으로 예상되거나 문제없이 통과하였다면 VTSO 관점에서는 양 선박의 충돌 위험이 상당히 감소하거나 해소되었다고 판단할 수 있어 RI를 각 지수의 곱으로 구하였다.



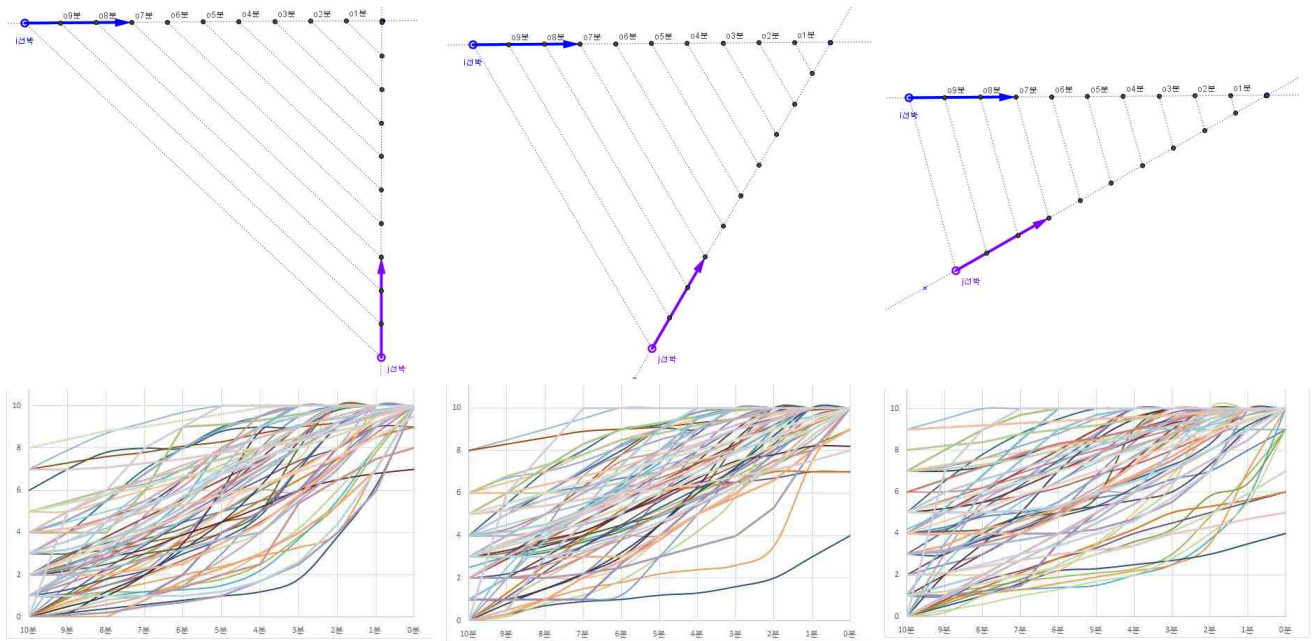


Fig. 7 Graphs for VTSSO's degree of risk due to each situation

위험은 대체로 부정적인 영향과 그것이 일어날 발생 가능성에 의해 결정되지만, 위험 주체가 현실을 어떻게 인식할 것인가에 따라 다르게 해석될 수 있고(Renn, 1991), 위험 인식에 영향을 미치는 세 가지 요소로 통제력, 정보, 대응 시간을 들고 있다(MacCrimmon & Wehrung, 1986).

위험 주체의 관점에서 볼 때 VTSSO는 선박 충돌을 예방하기 위하여 선박 동정을 모니터링하며 위험을 인지하는 전문가 집단으로, MacCrimmon(1986)의 연구를 참고하면 VTSSO의 위험 인식에 영향을 미치는 세 가지 요소로 선박 조우 상황, 접근 거리, 대응시간을 들어 이를 RI라 정의하였다.

Fig. 7과 같이 설문문에 제시된 같은 선박 교차 상황이라도 VTSSO 개인에 따라 위험을 판단하는데 차이가 있고, 의사결정자의 위험 태도에 따른 효용성(Ang AH-S & Tang WH, 1984)을 참고하여 설문분석을 통한 평균 위험정도 즉, RI에 대한 VTSSO의 위험태도에 따른 충돌위험도 평가 모델을 식(10)과 같이 구하고 이를 그래프로 나타내면 Fig. 8과 같다.

$$CoRi(RI) = \frac{P_{max}}{1 - \exp(-\rho)} [1 - \exp(-\rho \frac{RI}{RI_{max}})] \quad (10)$$

$CoRi$  : VTSSO의 위험 태도에 따른 충돌 위험도

$RI = E_{ij} \cdot T_{ij} \cdot A_{ij}$ , 선박 충돌 위험지수

$RI_{max}$  : 위험지수 최대값

$P_{max}$  : 충돌 위험도 최대값

$\rho$  : 위험태도( $\rho < 0$  : 회피,  $\rho = 0$  : 중립,  $\rho > 0$  : 감수)

양 선박의 DCPA가 0일 때 서로 마주치거나 교차하는 상황에 대하여 충돌 10분 전부터 식(10)을 적용하여 위험태도에 따른 위험도를 구하면 Fig. 9와 같다.

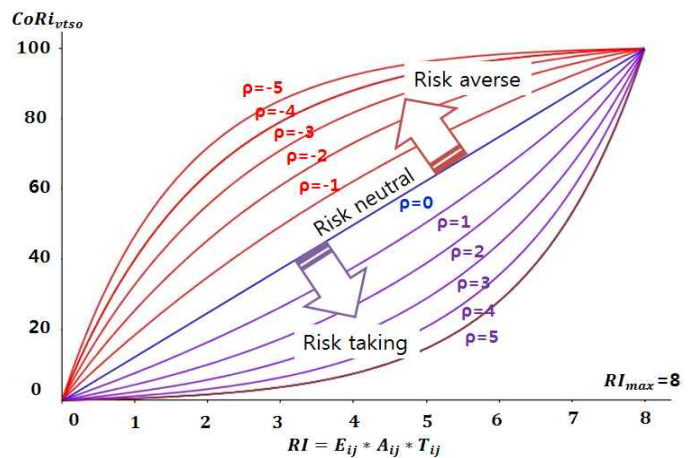


Fig. 8 Collision Risk associated with different VTSSO's risk attitudes

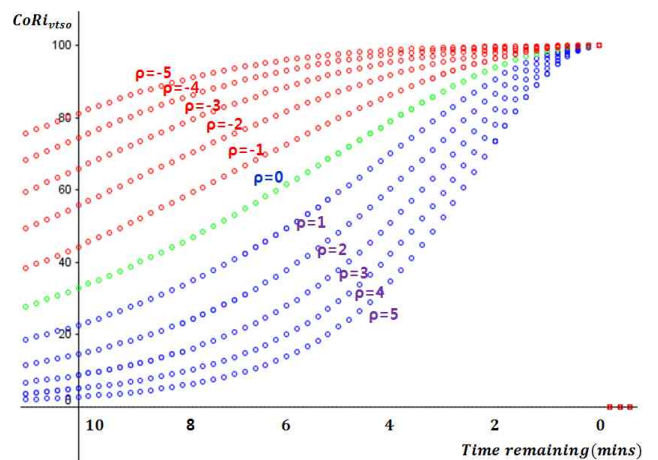


Fig. 9  $CoRi$  associated with risk attitudes before 10mins

Table 1 Risk attitude analysis results of VTSO

Risk attitude ( $\rho$ )		Total	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
VTSO	No.	70	1	4	-	7	19	11	9	12	3	4
	%	100	1.4	5.7	-	10	27.1	15.7	12.9	17.1	4.3	5.7
VTS center	B	16	-	1	-	-	4	3	1	2	2	3
	N	11	-	1	-	1	8	-	-	1	-	-
	P	8	-	-	-	-	1	1	4	2	-	-
	U	8	-	2	-	2	-	1	1	2	-	-
	K	10	-	-	-	2	1	2	1	4	-	-
	D	8	-	-	-	2	1	3	1	-	-	1
	etc	9	1	-	-	-	4	1	1	1	1	-
VTS carrier	≤5	34	1	2	-	2	8	7	4	5	3	2
	5~10	19	-	2	-	-	8	1	3	4	-	1
	10<	17	-	-	-	5	3	3	2	3	-	1
Final position	Capt.	2	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-
	C/O	17	-	3	-	3	6	2	-	2	-	1
	2/O	33	1	-	-	3	7	5	7	5	3	2
	3/O	9	-	1	-	-	4	1	-	3	-	-
	R/O	9	-	-	-	1	2	2	2	1	-	1

Fig. 8에서  $\rho$ 가  $\pm 5 \sim \pm 4$ 는 매우 강한,  $\pm 3 \sim \pm 2$ 는 강한,  $\pm 1$ 는 약간 위험 감수(또는 위험 회피)형을 나타낸다.

Table 1은 Fig. 7과 같이 설문에 제시된 선박 교차 상황(Situation)에 대하여 VTSO 개인이 응답한 위험 정도를 Fig. 9와 일치도(상관계수, Corr.)가 높은 위험 태도( $\rho$ )를 구하고 VTS 센터별, VTS 근무 경력별 그리고 VTS 근무 전 선박 최종 직책별로 분석한 결과이며, 위험 중립형이 전체의 27.1%, 강한 위험 감수형이 17.1%, 약간 위험 감수형이 15.7% 순으로 대부분의 VTSO가 위험 감수형임을 알 수 있다.

VTS 센터별로 VTSO의 위험 태도를 살펴보면 B센터는 68.7%가 위험 감수형, N센터는 72.7%가 위험 중립형, P센터는 87.5%가 위험 감수형, K센터는 70%가 위험 감수형, D센터는 50%가 위험 감수형으로 N센터를 제외하고는 대부분의 VTS 센터에 근무하는 VTSO가 위험 감수형임을 알 수 있다.

이는 N센터 항만으로 초대형 선박이 주로 입출항하여 타 VTS 센터에 근무하는 VTSO보다 충돌 위험을 좀 더 높게 인식하여 관제하는 것으로 분석된다.

VTS 경력별로는 5년 이하의 61.7%가 위험 감수형으로 VTSO 전체의 30%(21명)가 이에 해당하며, VTS 근무 전 최종 직책으로 2등 항해사 경력자의 66.6%가 위험 감수형으로 전체의 31.4%(22명)가 이에 해당된다.

이는 VTS 근무 경력과 승선 경력이 짧은 VTSO의 상당수가 위험 감수형으로 분석된다.

VTSO의 선박 충돌 위험 인식 및 위험 태도는 각 VTS 센터의 관제구역을 통항하는 선박의 선종, 교통량, 근무환경 등 다양한 요인이 영향을 미치므로 각 항만의 특성을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 선박 충돌위험도 평가 모델 검증

이장에서는 부산항 관제구역 내에서 발생한 충돌사고와 준사고 사례의 항적 자료를 이용하여 본 논문에서 제안한 VTSO의 위험 태도에 따른 선박 충돌 위험도( $CoRi$ )와 ES 모델(Inoue, 1998)의 교통 환경 스트레스치( $ES_S$ )을 비교·분석하고자 한다.

##### 4.1 교통 환경 스트레스 치를 이용한 위험도 추정

Inoue는 타선이 자선에 접근하는 상황에서 항해사가 느끼는 위험의 정도를 환경 스트레스로 정의하고, 표준적인 선장의 의식을 반영시키기 위한 변환식은 식(11)과 같다(Inoue, 1998, Son et al., 2009).

$$SJS = \alpha \left( \frac{R}{L_m} \right) + \beta \tag{11}$$

여기서,  $\alpha = 0.00192 \times L_m$ ,

$\beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.07$  (우현에서 횡단 시)

또는  $\beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.35$  (좌현에서 횡단 시),

또는  $\beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.07$  (선수에서 접근 시),

또는  $\beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 0.85$  (선미에서 접근 시),

$R$  : 자선과 타선의 상대거리,  $L_m$  : 자선과 타선의 평균길이

침로각별( $\Delta\psi$ )을  $1^\circ$ 씩 해서, 구해진 각 침로별로  $-3 \sim +3$ 의 위험감을  $+3$ 을  $0$ ,  $-3$ 을  $6$ 으로 하는  $0 \sim 6$ 으로 척도 변환하고,  $\pm 90^\circ$ 의 범위에서 총계하여 그 순간의 교통 환경 스트레스치( $ES_S$ )를 구한다(Park et al., 2010).

$ES_S$ 의 최대 값은  $1000$ 이고  $CoRi$ 의 최대 값은  $100$ 이다. 이를 비교하기 위하여 식(10)의  $P_{max}$ 를  $1000$ 으로 척도 변환을

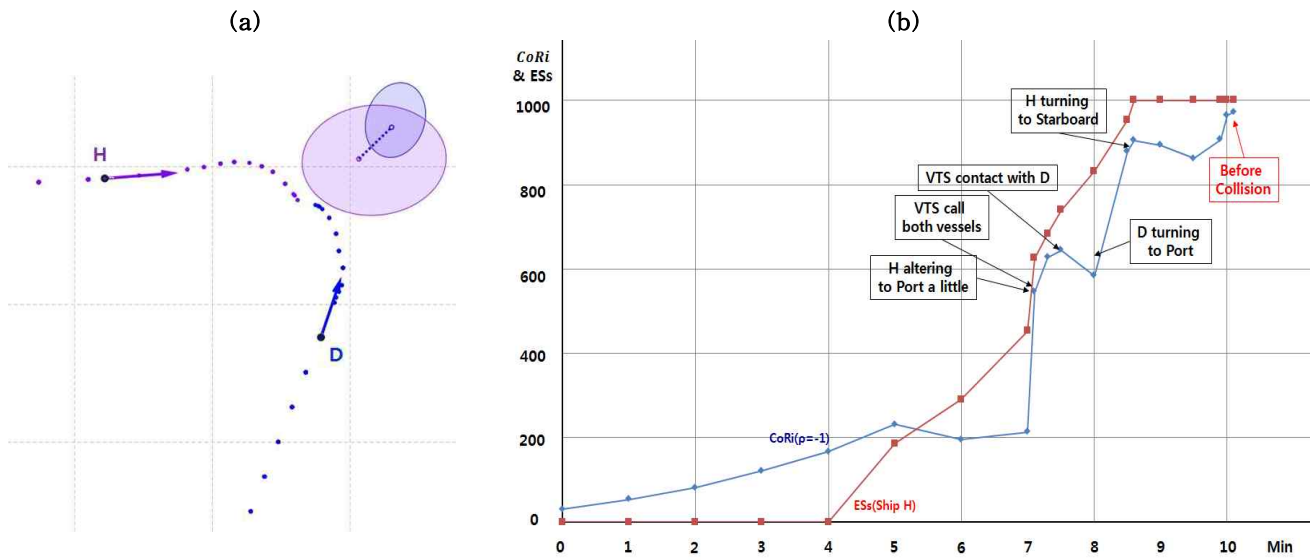


Fig. 10 The result of simulation for a vessel collision accident (a: execution screen & b: Collision risk for  $CoRi$  &  $ES_s$ )

하고,  $SJ_s$  값이 3이상인 경우  $ES_s$ 의 최소값인 0으로,  $SJ_s$  값이 -3이하인 경우  $ES_s$ 의 최대값인 1000으로 조정하여 비교하였다.

#### 4.2 충돌 사고 사례 적용

$CoRi$ 와  $SJ_s$ 를 적용한 충돌사고 사례는 상호 시계 내에 양 선박이 서로의 진로를 횡단하는 상태로 접근하던 중 피항선인 H 호가 매우 근접한 상태가 될 때까지 상대선의 진로를 피하지 아니하여 발생한 사고로(KMST, 2015), 양 선박의 주요 제원 및 발생시각은 Table 2와 같다.

AIS 항적자료를 이용하여 시뮬레이션을 실행하면 Fig. 10(a)와 같고,  $CoRi(\rho=-1, \text{청색})$ 와  $ES_s(\text{H 호, 적색})$ 의 충돌 위험도를 비교하면 Fig. 10(b)와 같다.

Table 2 Ship's particular of D & H

Ship's name	Ship D	Ship H
Type	ETC	CNTR
LOA(m)	88.2	174.7
Beam(m)	15.6	30.2
Draft(m)	8	16.4
Time	00:19	

시뮬레이션 경과시간(분)에 따라  $CoRi$ 와  $ES_s$ 을 분석한 결과, 전반적으로 비슷한 패턴을 보이며 증가하였고, 경과시간 6분(충돌 6분전)까지는 두 모델의 위험도가 200 이하로 그다지 높지 않았다.

그러나 경과시간 7분경(충돌 5분전) H 호(피항선)의 소각도 좌현 변침으로 위험도가 2배 이상 급격히 높아진다.

여기서  $ES_s$ 는 양 선박의 상대 거리가 변침으로 조금 더 가까워져 위험도가 높아졌고,  $CoRi$ 는 H 호의 좌현 변침으로 양

선박의 CPA가 0에 가까워지면서 조우 위험( $E_{ij}$ )과 근접위험( $A_{ij}$ )이 높아졌기 때문으로 분석된다.

이때부터 VTSO는 충돌 위험을 인지하고 양 선박을 호출하여 D 호(유지선)와 교신이 이루어지고, 8분경(충돌 3분전) D 호가 H 호 선미를 지나기 위해 좌현 변침을 시도하지만, 충돌 2분 30초 전 H 호가 뒤늦게 우현 변침을 하게 되면서 양 선박은 결국 충돌하게 된다.

여기서  $ES_s$ 는 일정하게 위험도가 높아져 9분경(충돌 2분전) 최댓값이 되며, 이때 양 선박의 상대 거리( $R$ )가 선박길이 평균( $L_m$ )의 약 9.0배 이하가 된다.

반면에  $CoRi$ 는 D 호와 H 호의 변침에 따라 위험도가 달라지며, D 호가 좌현 전타를 하여 H 호를 피하고자 하였으나 H 호가 매우 근접한 상태가 될 때까지 상대선의 의도를 파악하지 못하고 우현 전타를 뒤늦게 함으로써 발생한 당시의 사고 상황을 위험도로 잘 나타내고 있다.

#### 4.3 준사고 사례 적용

$CoRi$ 와  $ES_s$ 를 적용한 준사고 사례는 양 선박이 서로의 진로를 횡단하는 상태로 CPA가 0에 가까운 상황에서 별다른 조치 없이 접근하던 중 VTSO의 호출 등으로 충돌 위험을 예방한 사례로, 선박의 주요 제원 및 발생시각은 Table 3과 같다.

Table 3 Ship's particular of G & P

Ship's name	Ship G	Ship P
Type	CNTR	Chemical
LOA(m)	107	114
Beam(m)	17	18
Draft(m)	5.8	9.7
Time	03:30	

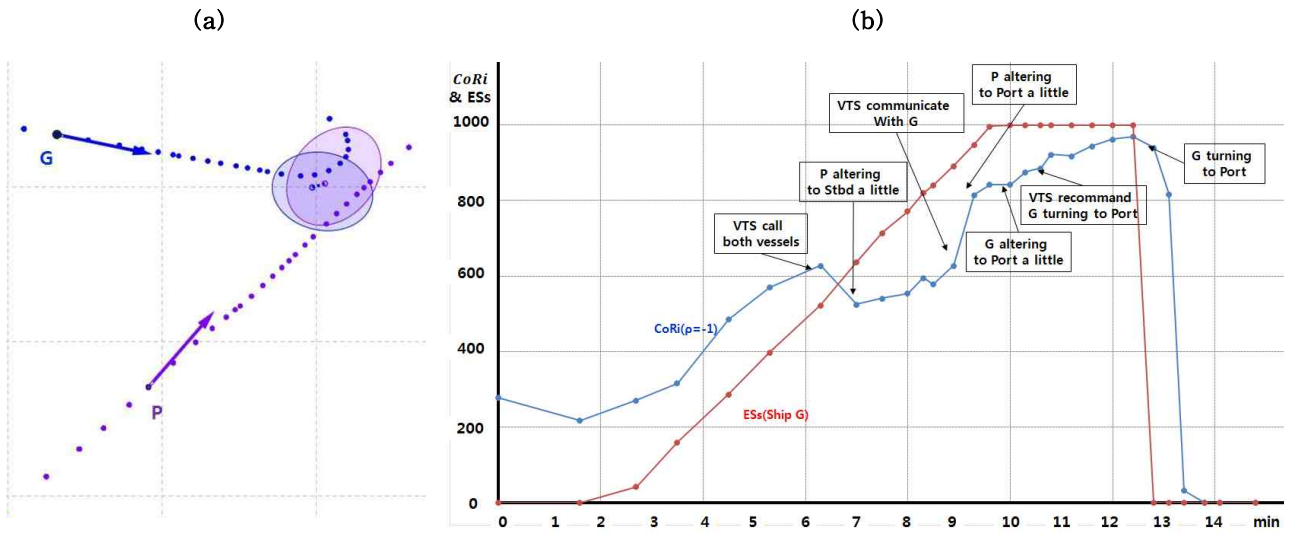


Fig. 11 The result of simulation for a near miss situation (a: execution screen & b: Collision risk for  $CoRi$  &  $ES_s$ )

Fig. 11과 같이 시뮬레이션 경과시간(분)에 따라  $CoRi$ 와  $ES_s$ 를 분석한 결과, 양 선박은 CPA가 0에 가까운 상태에서 별다른 조치 없이 접근하며 6.3분경 VTSO가 VHF(Ch. 16)로 양 선박을 호출하나 모두 응답하지 않는다.

7분경 P 호(유지선)가 소각도 우변침하지만 그 외에 별다른 조치 없이 계속 접근하고 VTSO는 양 선박을 재호출하여 약 9분경 G 호(피항선)와 최초 교신이 이루어져 통과 의도를 확인한다. G 호는 P 호가 우현 선수에 가깝게 위치하고 있어 좌현 변침으로 상대 선박을 피하기로 결정하고 약 9.5분경부터 소각도 좌현 변침을 시작한다. 그러나 VTSO는 G 호를 다시 호출하여 완전히 좌선회하여 안전하게 통과할 것을 권고하고 13분경부터 G 호가 좌현으로 선회하면서 충돌 위험을 피하게 된다.

Fig. 11(b)에서  $ES_s$ (적색)은 양 선박이 접근함에 따라 위험도가 일정하게 증가하며 약 10분경 최댓값이 된다. 반면에  $CoRi$ (적색)는 P 호와 G 호의 변침에 따라 위험도가 증감하여 당시의 상황을 위험도로 잘 나타내고 있다.

#### 4.4 검증 결과 종합

$CoRi$ 와  $ES_s$ 를 부산항 관제구역에서 발생한 충돌사고 및 준사고 사례에 적용하여 비교한 결과,  $CoRi$ 에서 도출한 장점은 다음과 같다.

- 선박의 소각도 변침에 따라 충돌 위험도 증감 확인
- VTSO의 VHF 최초 교신 시점을 중심으로 충돌 위험 인지 범위 확인(550~630)
- 근접 상황에서 충돌 위험을 피하고자 선박이 좌현 변침할 경우 오히려 충돌 위험을 증가시킴을 위험도 모델로 확인
- 대각도 변침 또는 선회를 하여 충돌위험이 완전히 사라질 때까지 위험도 일정 수준 이상 유지
- 설문에 응답한 부산항 VTSO의 68.7%가 위험 감수형으

로 조사되었으나 위험 태도( $\rho$ )를 0(중립) 또는 -1, -2(위험 회피형)로 관제업무에 임할 필요 있음

○ 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기준에 제시된  $ES_s$ 의 위험 범위와 비교하여  $CoRi$ 의 위험도 범위를 Table 4와 같이 도출

Table 4 Risk ranking of  $ES_s$  and  $CoRi$

$SJ$ : Mariner's Judgement		$ES_s$	$CoRi$ : VTSO's risk ( $\rho=-1$ )	
0	Extremely safe	[0]	under 30	Safe
1	Fairly safe			
2	Somewhat safe			Continuous Monitoring
3	Neither safe nor dangerous	[500]	30 ~ 50	
4	Somewhat dangerous	[750]	50 ~ 60	Risk recognition
5	Fairly dangerous	[900]	60 ~ 85	Risk management
6	Extremely dangerous	[1000]	over 85	Extremely Danger

## 5. 결 론

본 연구는 VTSO가 VTS 시스템을 통해 선박 정보를 모니터링하며 인지하는 방법을 위험지수라 정의하고 선박 조우 상황에 따른 위험, 선박 간 근접거리에 따른 위험 그리고 선박 간 최단접근시간에 따른 위험으로 나누어 VTSO가 느끼는 선박 충돌위험도를 구하였다.



또한, 설문 분석 결과 같은 선박 교차 상황이라 하더라도 VTSO 개인에 따라 충돌 위험을 판단하는데 차이가 있어 이를 구분하기 위하여 의사결정자의 위험태도에 따른 효용성을 참고하여 VTSO의 위험 태도에 따른 선박 충돌 위험도 평가 모델(*CoRi*)를 제안하고 개인별 위험 태도를 구하였다.

부산항 관제구역에서 발생한 충돌사고와 준사고 사례를 이용하여 ES모델의 교통 환경 스트레스치( $ES_s$ )와의 비교 분석을 통해 이 논문에서 제안한 평가모델의 검증을 실시하였고, 그 결과 *CoRi*가 통항 선박의 변침, 감속 등 회피 동작에 따라 실제적으로 VTSO가 느끼는 당시 상황을 위험도로 잘 표현할 수 있음을 확인하였다.

추후 부산항을 중심으로 두 선박의 조우 상황 외에도 항로 및 방파제 주변, 정박지 등에서 좀 더 복잡한 교통상황 사례를 *CoRi*에 적용하여 *RI*의 각 계수와 위험 태도( $\rho$ )의 적정한 범위를 구하기 위한 연구를 지속하고자 한다.

## References

- [1] Ang AH-S, Tang WH.(1984), "Probability concepts in engineering planning and design" Volume II - decision, risk, and reliability. New York, Wiley and Sons.
- [2] Busan Maritime Safety Tribunal(2015), A Written Judgment for Collision Accident between 107 DAEYANG and HYUNDAI BRIDGE.
- [3] Coldwell TG.(1983), "Marine traffic behaviour in restricted waters", Journal of Navigation, 36(3), pp. 430-444.
- [4] Fischhoff, B., Lichtenstein, S., Slovic, P., Derby, S. L., & Keeney, R. L.(1981), "Acceptable risk", Cambridge University Press.
- [5] Fujii Y, Tanaka K.(1971), "Traffic capacity", Journal of Navigation, 24(4), pp. 543-552.
- [6] Goodwin EM.(1975), "A statistical study of ship domains", Journal of Navigation, 28(03), pp. 328-344.
- [7] Gong, I. Y.(2003), "A review on the Characteristics of Environmental Stress Model for Maritime Traffic Safety Assessment", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 27, No. 5, pp. 479-486.
- [8] Hansen Friis(2008), "Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies", Technical University of Denmark, pp. 58.
- [9] Inoue, K., Kubono, M., Miyasaka, M., and Hara,D.(1998a), "Modeling of Mariners' Perception of Safety when Being Faced with Imminent Danger (In Japanese)", JounaJ of Japan Institute of Navigation, pp. 235-245.
- [10] Jeong, T. G., 2003. A New Approach to the Evaluation of Collision Risk using Sech Function. Journal of Korean Navigation and Port Research, 27(2), pp. 103-110.
- [11] Jutta Ylitalo(2010), "Modelling Marine Accident Frequency" Aalto University, School of Science and Technology, Master's thesis, pp. 21-24
- [12] Keeney RL, Raiffa H.(1993), "Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs", Cambridge University Press.
- [13] Kim, K. I., Jung, J. S., Park, G. K.(2012), "A Study on Development of Maritime Traffic Assessment Model" Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol.22, No.6, pp. 761-767
- [14] Kim, Y. W.(2008). "Risk, Crisis & Communication", Ewha Womans University Press.
- [15] Korean Maritime Safety Tribunal(2015), Statistics of Marine Accident for the Past 5 Years, Ministry of Oceans and Fisheries, South Korea
- [16] Lee, J. S., Jung, M., Song, C. U.(2015), "A Study on the Degree of Collision Risk with Relative Bearing at CPA", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 6, pp. 493-498.
- [17] Lee, J. S., Kim, J. H., Jang, E. K.(2016), "Analysis of VTS Operators' Situational Awareness Based on In-Field Observation and Subjective Rating Methods", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 40, No. 6, pp. 375-384.
- [18] MacCrimmon, K. R.. & Wehrung, D. A.(1986), "Taking risks: The management of uncertainty", New York, The Free Press.
- [19] Park, J. S., Park, Y. S., Lee, H. K.(2010), "Marin Traffic Engineering", pp. 163-167
- [20] Renn, O., & Levine, D.(1991), "Credibility and trust in risk communication", In R. E. Kasperson & P. J. M.
- [21] Son, N. S., Kim, S. Y., Gong, I. Y.(2009), "Study on the Estimation of Collision Risk of Ship in Ship Handling Simulator using Fuzzy Algorithm and Environmental Stress Model", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 1, pp. 43-50.
- [22] You Dong, Dan M. Frangopol.(2015), "Probabilistic ship collision risk and sustainability assessment considering risk attitudes", Structural Safety 53, pp. 75-84.

---

Received 01 December 2016

Revised 23 February 2017

Accepted 27 February 2017

