

# 확률기반 해상위기평가에서 실시간 민감도를 이용한 위기수준의 단계 구분 수 결정에 관한 연구

강상근\*†

\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

## Determining the Number of Risk Level Using Real-time Sensitivities in the Probabilistic Maritime Risk Evaluation

Sang-Guen Gang\*†

\* Mokpo Maritime University Haeyangdaehag-Ro 91, Mokpo-si, Jeollanam-do, 530-729, Korea

**요 약** : 해상에서 발생하는 위기의 확률적인 평가결과는 확률( $P=0.0\sim 1.0$ )로 나타난다. 이러한 확률적인 위기평가결과는 위험한 정도를 쉽게 알기 위하여 일반적으로 평가의 기준이 되는 위기허용수준(Risk Acceptance Criteria, RAC)을 이용하여 지수(index)로 나타낸다. 현재 RAC은 3단계, 5단계, 7단계 등으로 구분하는데, 구분한 단계 수가 위기평가에 적합한지를 평가할 필요가 있음에도 불구하고 관련 연구가 전무한 실정이다. 본 연구에서는 RAC의 단계 구분 수에 따른 민감도(Sensitivity)와 민감도의 분포특성을 이용하여 최적의 RAC 구분 단계 수를 정할 수 있는 평가기법을 제안하였다. 사전 연구결과로부터 획득한 확률적인 위기평가 데이터에 대해서 제안한 기법을 적용한 결과, 민감도가 10배 이내로 형성되는 최적의 RAC 구분 단계 수를 결정할 수 있었고, 이를 통해서 제안한 방법의 유효성을 확인하였다.

**핵심용어** : 해상안전, 위기평가, 민감도, 위기허용수준, RAC 구분 단계 수

**Abstract** : The result of probabilistic maritime risk evaluation is represented by the probability( $P=0.0\sim 1.0$ ). These results are shown by an index using Risk Acceptance Criteria(RAC) to base the evaluation generally to know the risk level easily. Current RAC is divided into 3 steps, 5 steps, 7 steps, etc. Despite need to evaluate whether the number of RAC for risk evaluation is reasonable, there is not a related research yet. In this study, It was proposed the evaluation method to determine the optimum index number of RAC using the Sensitivity distribution characteristics and the Sensitivity by the index number of RAC. As application result from the proposed method for probabilistic risk evaluation data obtained from the prior studies, It could be determined the optimum index number of RAC by Sensitivity below 10 times and confirmed that the proposed method is reasonable by this study.

**Key Words** : Maritime safety, Risk evaluation, Sensitivity, Risk acceptance criteria, Index number of RAC

### 1. 개 요

해양사고에 대한 위기를 확률적으로 평가하는 경우 그 결과는 확률( $p=0.0\sim 1.0$ )로 나타난다. 한편, 확률만으로 위기를 나타내면 위기수준(Risk Level)의 정도를 쉽게 알 수 없다. 그래서 일반적으로 위기수준 판단의 기준이 되는 위기허용수준(Risk Acceptance Criteria, RAC)을 이용한다. RAC은 위기수준을 결정하기 위한 기준 값을 의미하는데 이러한 기

준 값을 몇 단계로 구분할지는 사용자에게 의해서 결정된다.

최적의 RAC은 최적의 위기수준 판정결과에 영향을 미치기 때문에 최적의 RAC 결정은 물론 최적의 RAC 단계 구분 수의 결정은 해상에서의 확률적인 위기수준 판단에 중요한 요소가 된다.

현재 3단계, 5단계, 7단계 등이 일반적인 RAC의 단계 구분 수로 사용되고 있다. 문제는 이러한 RAC의 단계 구분 수가 최적인지의 여부를 평가할 수 있는 기법이 개발되어 있지 않은 실정이다(Yim, 2009).

† gangsan@hanmail.net, 010-3614-7179

본 연구의 목적은 확률적인 위기평가에서 최적의 RAC 단계 구분 수의 결정에 관한 기법을 개발하는데 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 사전에 계산한 RAC의 실시간 민감도 (Real-Time Sensitivity, RT-SEN)를 평가하여 최적의 RAC 단계 구분 수를 결정할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다. 여기서, RT-SEN은 위기평가의 기준이 되는 RAC과 확률 값 사이의 비율로 계산하는데, 일반적으로 RT-SEN은 평균 10배 이내 일 것이 요구된다(Amrozowicz et al., 1997; Fowler and Sorgard, 2000).

본 연구에서는 선행 연구에서 획득한 6단계의 RAC에 대해서 RAC 단계 구분 수별 RT-SEN을 평가한 후, 최적의 RAC 단계 구분 수를 결정하였다. 3단계부터 6단계까지로 구분한 총 네 가지의 RAC 단계 구분 수에 대해서 RT-SEN을 평가한 결과, RT-SEN이 평균 10배 이내로 형성되는 RAC 단계 구분 수를 획득할 수 있었고, 이 결과를 통해서 본 연구에서 제안한 방법의 유효성을 확인하였다.

## 2. 기존의 위기허용수준 결정방법 고찰

### 2.1 기존 위기허용수준 결정 방법

선행 연구(Gang et al., 2014)에서 실시간으로 선박 사이의 충돌위기를 평가할 수 있는 기법을 제안한 바 있다. 이 기법을 간략하게 요약하면 다음과 같다. 우선 VTS(Vessel Traffic Service) 관제구역을 항해하는 선박의 AIS(Automatic Identification System)에서 선박의 길이와 폭 및 위치 정보를 획득한다. 그리고 선박 사이의 겹치는 범퍼(bumper) 면적을 VTS 관제구역의 면적으로 나눈 위기평가비율(Ratio Evaluation Risk, RER)  $\gamma$ 를 선박 충돌위기평가 지표로 적용하는 방법이다. 다음 식(1)은  $\gamma$  계산식을 나타낸다(Gang et al., 2014).

$$\gamma = \frac{ST}{S} \tag{1}$$

$ST$  : VTS 관제구역을 항해하는 모든 선박의 겹치는 범퍼면적

$S$  : VTS 관제구역의 면적

식(1)에서,  $\gamma$ 가 1.0이면 선박 사이의 겹치는 면적과 VTS 관제구역의 면적이 같음을 의미하기 때문에  $\gamma$ 가 1.0 이상인 상황을 위험한 상황으로 판정한다. Fig. 1은 선행 연구에서 2014년 2월 27일부터 3월 2일까지 4일간 연구 범위 전체에 대해서 위의 식(1)을 이용하여 계산해서 x축은 비율데이터 수를 나타내고 y축은 비율  $\gamma$ 을 나타낸다(Gang et al., 2014).

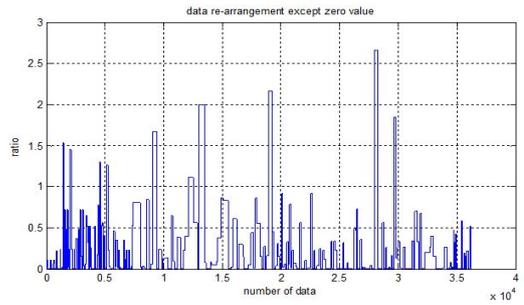


Fig. 1.  $\gamma$  calculated at Mokpo VTS area in prior study (Gang et al., 2014).

Fig. 2는 Fig. 1에 나타난  $\gamma$  데이터 수의 누적분포(%)를 나타낸다. x 축은  $\gamma$ 을 나타내고, y 축은  $\gamma$ 에 대한 누적 데이터 수의 퍼센트(%)를 나타낸다. 이 그림에는 총 5가지로 구분한 RAC을 나타냈다. 5가지 RAC이 바로 위기수준을 판단하기 위한 기준 값이 되는데, RAC은 y축의 누적분포(%)가 2.5%, 25%, 50%, 75%, 97.5% 등에 해당하는 x축의  $\gamma$  값이 된다(Yim et al., 2014).

그리고  $\gamma$ 가 2.5% 이하일 때는 ‘매우 안전’, 2.5~25%에 해당될 때는 ‘안전’, 25~50%에 해당될 때는 ‘주의’, 50~75%일 때는 ‘경고’, 70~97.5%일 때는 ‘위험’, 97.5% 이상일 때는 ‘충돌 임박’ 등과 같이 총 6단계로 평가한다. 또한 문자 대신 숫자 0부터 5까지를 이용하여 위험한 위기수준(Risk Level, RL)을 나타낼 수 있다.

Table 1에 위에서 설명한 6단계 RL의 숫자 표시(0 ~ 6)와 각 RL에 해당하는 누적분포(%)의 구간, 누적분포(%) 범위에 해당하는  $\gamma$  값의 범위 그리고 6단계 RL의 의미 등을 정리하였다. 이러한 6단계 누적분포(%)를 이용한 계급 구분방법은 표준누적분포 함수에 대한 계급간 유의수준 고려방법을 준용한 것이다(Kaplan and Garrick, 1981).

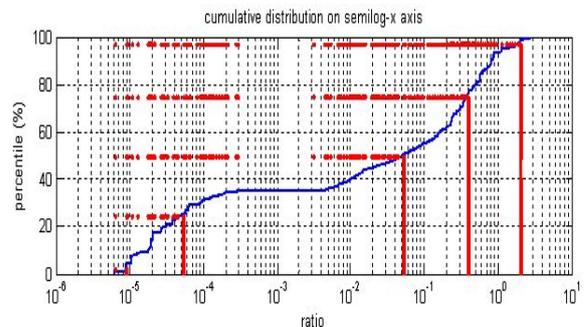


Fig. 2. Cumulative distribution(%) on semilog x axis for  $\gamma$ .

Table 1. RAC Table

Risk Level	Cumulative Percentile (%)	Range of RER ( $\gamma$ )	Meaning
5	97.5>	Over 1.99696	Nearly Collision
4	75~97.5	0.38387 ~1.99696	Risk
3	50~75	0.05156 ~0.38387	Warning
2	25~50	$5.31029 \times 10^{-5}$ ~0.05156	Caution
1	2.5~25	$8.76257 \times 10^{-6}$ ~ $5.31029 \times 10^{-5}$	Safety
0	<2.5	Less $8.76257 \times 10^{-6}$	Very Safety

Fig. 3은 Fig. 1에 나타낸  $\gamma$  데이터에 대해서 Table 1의 6단계 RAC을 적용하여 계산한 6단계 RL을 나타낸다. Fig. 3의 x축은 데이터 수를 나타내고 y축은 0부터 5까지의 RL을 의미한다. 이 그래프에서 최고로 위험한 ‘충돌 임박’을 의미하는 RL=5는  $1.35 \times 10^4$ ,  $1.8 \times 10^4$ ,  $2.8 \times 10^4$  등의 데이터 번호에서 나타나고 있다(Yim, 2010).

이와 같이 선행 연구에서는 VTS 관제구역에서 항해하는 모든 선박 사이의 충돌위험 수준을 위기평가비율(Ratio Evaluation Risk, RER)  $\gamma$ 와 RAC을 이용하여 평가한바 있다.

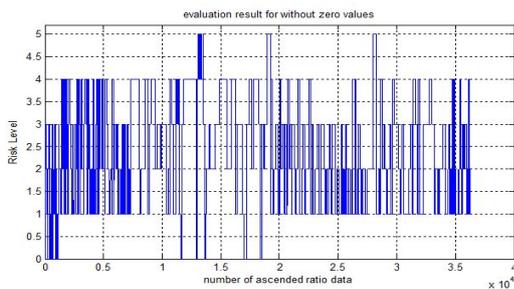


Fig. 3. Evaluation result of risk level using 6 steps RAC.

### 2.2 기존 위기허용수준 적합성 판단 방법

기존 연구에서는 Table 1과 같이 6단계로 구분한 평가방법의 적합성을 판단하기 위한 하나의 방법으로 Fig. 4와 같은 분포도를 이용한바 있다. Fig. 4는 6단계 RAC에 포함된  $\gamma$  데이터 수의 분포도를 나타낸다.

Fig. 4를 보면, 0단계(누적분포 2.5% 이하)부터 5단계(누적분포 97.5%)까지 좌우 대칭인 분포를 나타내고 있다. 이 그래프의 의미를 기존과 같이 표준정규분포에 대한 의미로 해석하는 경우에는(Gang et al., 2014) Table 1과 같이 구분한 RAC의 단계 구분 수가 표준정규분포에 접근하기 때문에 6단계로 구분한 RAC이 유효한 것으로 분석할 수 있다.

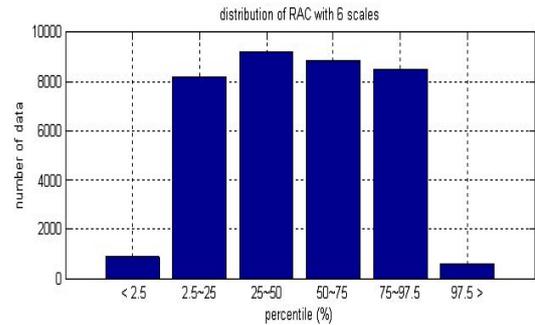


Fig. 4. Histogram of  $\gamma$  data with 6 scales.

### 2.3 기존 위기허용수준 결정 방법의 문제점

한편, 지금까지 설명한 기존 연구에서의 위기허용수준 결정기법은, Fig. 4와 같이 6단계로 구분한 RAC이  $\gamma$  데이터에 대해서 최적인지의 여부는 알 수 없는 것이 문제이다. 즉, Fig. 4와 같이 6단계로 구분한 RAC이 표준정규분포 형태를 나타낸다 하더라도 과연 6단계로 구분한 것이 적합한 것인지? 아니면 3단계 또는 4단계, 5단계 등으로 구분한 것이 적합한 것인지를 알 수 없다는 의미이다.

그래서 본 연구에서는 위에서 설명한 기존 연구 데이터에 민감도를 적용하여 몇 단계로 구분하는 것이 최적인지에 대해서 연구하였다.

## 3. 위기허용수준 결정 방법

### 3.1 연구접근 방법

Fig. 5는 본 연구의 연구접근 방법에 대한 절차를 나타낸다. 기존의 RAC 결정기법은 점선으로 나타냈고, 본 연구에서 제안한 방법은 기존의 결정기법을 포함한 실선으로 나타냈다. ‘RAC의 민감도 계산’과 ‘RAC의 단계 수 결정’ 등의 절차가 기존 기법에 추가한 절차이다.

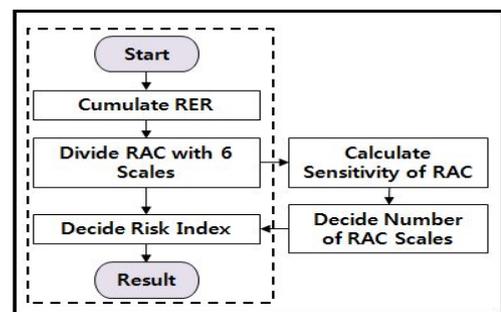


Fig. 5. Process and approaching method.

### 3.2 실시간 민감도 평가 방법

본 연구에서 적용한 실시간 민감도는 다음 식(2)와 같이

시간  $t$ 에서 관제 구역  $i$ 에서 항해하고 있는 선박  $j$ 의 실시간 민감도(Real-Time Sensitivity, RT-SEN)  $RT-SEN_{i,j}^t$ 을 이용하여 계산하였다.

$$RT-SEN_{i,j}^t = \frac{RL_{i,j}^t}{\sum_{k=1}^K \gamma_{i,j,k}^t} \quad (2)$$

여기서,

$RL_{i,j}^t$  : 시간  $t$ 에서 관제 구역  $i$ 에서 항해하고 있는 선박  $j$ 의 위기수준(Risk Level, RL)

$\gamma_{i,j,k}^t$  : 시간  $t$ 에서 관제 구역  $i$ 에 있는 선박  $j$ 가 근접한 선박  $k$ 와 서로 겹쳐지는 범퍼(bumper) 영역을 관제 구역  $i$ 의 면적으로 나눈 비율

$K$  : 선박  $j$  주변의 선박들의 수

그리고 위의 식(2)을 이용하여 계산한 민감도는 다음 식(3)에 투입시켜서 실시간 민감도가 10 이상을 나타내는 분포  $\aleph_{RT-SEN10}$  (%)을 계산한 후 최적의 RAC 선정 평가에 적용하였다.

$$\aleph_{RT-SEN10} = \frac{N_{10}(RT-SEN_{i,j}^t)}{N_{\gamma}} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서,

$N_{10}(RT-SEN_{i,j}^t)$  : 위의 식(2)을 이용하여 계산한 민감도  $RT-SEN_{i,j}^t$  중에서 민감도가 10 이상으로 형성되는  $\gamma_{i,j,k}^t$ 의 데이터 수

$N_{\gamma}$  : 전체  $\gamma$  데이터의 수

위의 식(3)에서 실시간 민감도  $\aleph_{RT-SEN10}$  가 10(즉, 10배) 이상인 데이터를 탐색하는 이유는, 일반적으로 확률적인 위기평가에서 구한 확률 값과 숫자로 나타낸 위기평가 수준 사이의 비율이 10배 이내인 경우 최적의 RAC이 획득되었다고 판단하기 때문이다(Amrozowicz et al., 1997; Fowler and Sorgard, 2000)

## 4. 실험 및 평가

### 4.1 실험 시나리오

본 연구에서는 다음 Table 2와 같이 총 4가지 경우(Case)에 대한 시나리오를 이용하여 제안한 방법의 유효성을 평가하였다.

Table 2. Simulation scenario for 4 cases

Case	Index number of RAC
1	6 steps RAC
2	5 steps RAC
3	4 steps RAC
4	3 steps RAC

### 4.2 6단계로 RAC을 구분한 경우

Table 2의 6단계로 RAC을 구분한 Case 1의 경우는, 다음 알고리즘과 같이  $\gamma$  값이 형성되는 경우에 해당한다. 예를 들어,  $\gamma$  값이  $\gamma$ 의 누적분포(%) 75.0%(RAC<sub>75.0</sub>)와 97.5%(RAC<sub>97.5</sub>) 사이에 형성되는 경우 이 때 위기수준(RL)을 4로 정하는 것이다.

$$\begin{aligned} RAC_{97.5} > \gamma & ; RL = 5 \\ RAC_{75.0} > \gamma \leq RAC_{97.5} & ; RL = 4 \\ RAC_{50.0} > \gamma \leq RAC_{75.0} & ; RL = 3 \\ RAC_{25.0} > \gamma \leq RAC_{50.0} & ; RL = 2 \\ RAC_{2.5} > \gamma \leq RAC_{25.0} & ; RL = 1 \\ \gamma \leq RAC_{2.5} & ; RL = 0 \end{aligned}$$

Fig. 6은 전체  $\gamma$  데이터에 대해서 식(2)을 이용하여 계산한 실시간 민감도  $RT-SEN_{i,j}^t$ 을 나타낸 것으로, x축은  $\gamma$  데이터의 수를 나타내고, y축은 실시간 민감도  $RT-SEN_{i,j}^t$ 을 나타낸다. 그리고 Fig. 7은 민감도별  $\gamma$  데이터의 수를 나타낸 것으로, x축은 실시간 민감도  $RT-SEN_{i,j}^t$ 을 나타내고, y축은  $\gamma$  데이터의 수를 나타낸다.

Fig. 7을 보면, x축에 나타낸 민감도가 0부터  $1 \times 10^4$ (즉, 10,000배) 사이에  $\gamma$  데이터가 가장 많이 분포되어 있다. 즉, 민감도는 10배 이내로 형성되어야 하는데 RAC을 6단계로 구분한 Case 1의 경우 대부분의  $\gamma$  데이터가 10,000 배의 민감도를 나타내고 있다. 따라서 6단계로 RAC을 구분하는 것이 적합하지 않음을 알 수 있고, 기존에 적용한 6단계 RAC은 부적합한 기준을 사용하고 있음을 나타낸다.

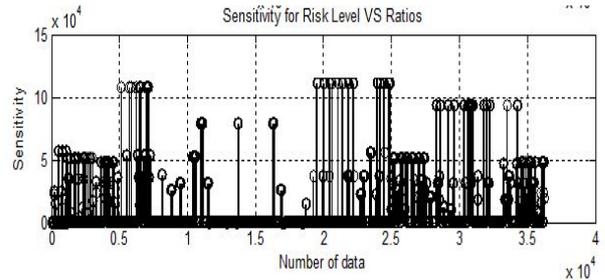


Fig. 6. Real-time Sensitivity to calculate using 6 steps RAC for total  $\gamma$  data.

확률기반 해상위기평가에서 실시간 민감도를 이용한 위기수준의 단계 구분 수 결정에 관한 연구

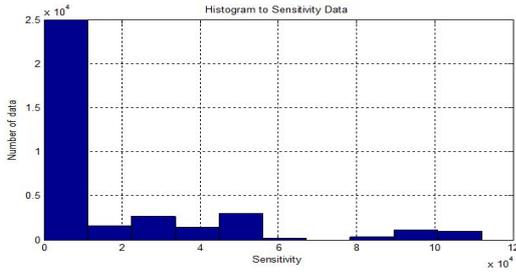


Fig. 7. Histogram of Real-time Sensitivity data.

#### 4.3 5단계로 RAC을 구분한 경우

5단계로 구분한 Table 2의 Case 2의 경우는 다음 알고리즘과 같이  $\gamma$  값이 형성되는 경우에 해당한다.

$$\begin{aligned} RAC_{97.5} > \gamma & ; RL = 4 \\ RAC_{75.0} > \gamma \leq RAC_{97.5} & ; RL = 3 \\ RAC_{50.0} > \gamma \leq RAC_{75.0} & ; RL = 2 \\ RAC_{25.0} > \gamma \leq RAC_{50.0} & ; RL = 1 \\ \gamma \leq RAC_{25.0} & ; RL = 0 \end{aligned}$$

그리고 Fig. 8과 Fig. 9는 앞의 Fig. 6과 Fig. 7과 동일한 의미로 나타낸 결과이다.

Fig. 9를 보면, x축에 나타낸 실시간 민감도가 0부터  $0.2 \times 10^4$  (즉 2,000배) 사이에  $\gamma$  데이터가 가장 많이 분포되어 있다. 따라서 5단계로 RAC을 구분한 Case 2의 경우에도 적합한 RAC이 아님을 알 수 있다.

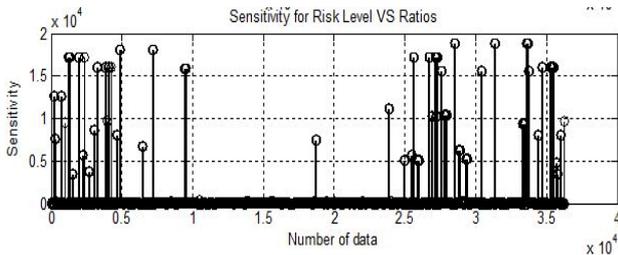


Fig. 8. Real-time Sensitivity to calculate using 5 steps RAC for total  $\gamma$  data.

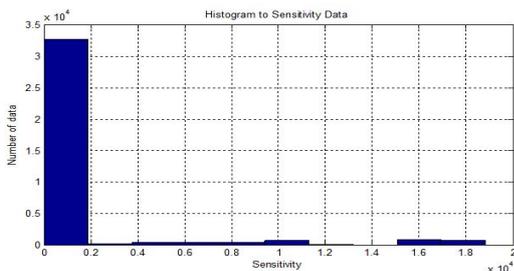


Fig. 9. Histogram of Real time Sensitivity data.

#### 4.4 4단계로 RAC을 구분한 경우

4단계로 구분한 Table 2의 Case 3의 경우는 다음 알고리즘과 같이  $\gamma$  값이 형성되는 경우에 해당한다.

$$\begin{aligned} RAC_{97.5} > \gamma & ; RL = 3 \\ RAC_{75.0} > \gamma \leq RAC_{97.5} & ; RL = 2 \\ RAC_{50.0} > \gamma \leq RAC_{75.0} & ; RL = 1 \\ \gamma \leq RAC_{50.0} & ; RL = 0 \end{aligned}$$

Fig. 10과 Fig. 11은 앞의 Fig. 6 및 Fig. 7과 동일한 의미로 나타낸 결과이다.

Fig. 11을 보면, x축에 나타낸 실시간 민감도가 0부터 10 (즉, 10배) 사이에  $\gamma$  데이터가 가장 많이 분포되어 있다. 따라서 4단계로 RAC을 구분한 Case 3의 경우가 최적임을 알 수 있다.

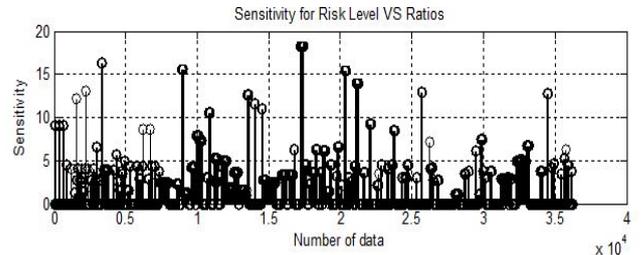


Fig. 10. Real-time sensitivity to calculate using 4 steps RAC for total  $\gamma$  data.

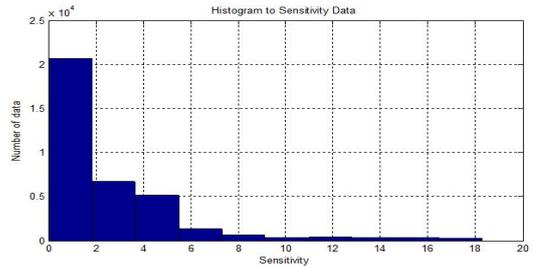


Fig. 11. Histogram of Real-time Sensitivity data.

#### 4.5 3단계로 RAC을 구분한 경우

3단계로 구분한 Table 2의 Case 4의 경우는 다음 알고리즘과 같이  $\gamma$  값이 형성되는 경우에 해당한다.

$$\begin{aligned} RAC_{97.5} > \gamma & ; RL = 3 \\ RAC_{75.0} > \gamma \leq RAC_{97.5} & ; RL = 2 \\ \gamma \leq RAC_{75.0} & ; RL = 1 \end{aligned}$$

Fig. 12와 Fig. 13은 앞의 Fig. 6 및 Fig. 7과 동일한 의미로 나타낸 결과이다.

Fig. 13을 보면, x축에 나타난 실시간 민감도가 0부터  $3 \times 10^4$  (즉 30,000배) 사이에  $\gamma$  데이터가 가장 많이 분포되어 있다. 따라서 3단계로 RAC을 구분한 Case 4의 경우 역시 적합하지 않음을 알 수 있다.

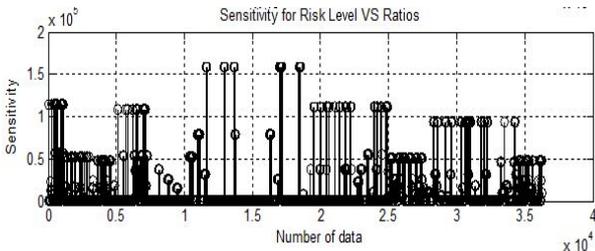


Fig. 12. Real-time sensitivity to calculate using 3 steps RAC for total  $\gamma$  data.

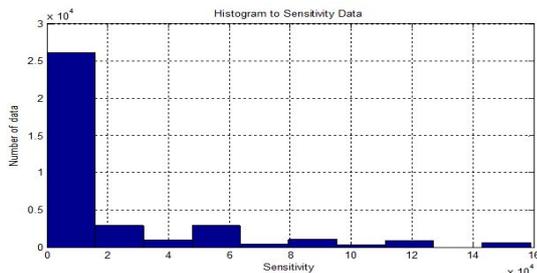


Fig. 13. Histogram of Real-time Sensitivity data.

#### 4.6 평가

여기서 위에서 설명한 총 4가지의 경우를 종합적으로 평가한다. Fig. 14는 6단계 구분한 Fig. 7과 5단계 구분한 Fig. 9, 4단계로 구분한 Fig. 11 및 3단계로 구분한 Fig. 13 등 총 4가지 경우에 대해서 위의 식(3)을 이용하여 종합적으로 평가한 결과를 나타낸다.

Fig. 14의 x축은 Table 1에 나타난 Case 1부터 Case 4까지를 나타내고, y축은 식(3)을 이용하여 민감도가 10 이상으로 나타나는 분포  $\aleph_{SEN10}$  (%)을 계산한 결과이다.

Fig. 14에서 Case 1은  $\aleph_{SEN10}$  이 약 68%로 가장 크고, Case 2는 약 36%, Case 3은 약 5%, Case 4는 약 55% 등으로 나타났다. 따라서 앞에서 고찰한 바와 같이  $\aleph_{SEN10}$  (%)가 약 5%로 나타난 Case 3이 가장 최적임을 알 수 있다.

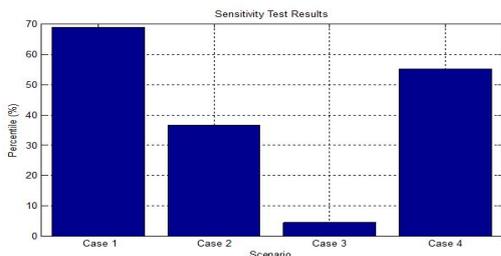


Fig. 14. Histogram of total 4 cases scenario.

## 5. 결론

본 연구에서는 해상에서의 확률적인 위기평가에 가장 중요한 위기허용수준(Risk Acceptance Criteria, RAC)의 최적 단계 구분 수의 결정에 관해서 기술하였다. 기존에는 단순히 RAC 구분 수의 정규분포 여부만을 이용하여 RAC의 적합성 여부를 검토하였기 때문에 결정한 RAC이 최적인지의 여부를 평가할 수 없었다.

그래서 본 연구에서는 주어진 데이터  $\gamma$ 에 대한 실시간 민감도와 민감도 분포도를 이용하여 최적의 RAC 구분 단계를 평가할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다.

3단계부터 6단계까지 총 4개의 RAC 구분 단계를 대상으로 평가한 결과, 4단계로 구분한 경우가 10배 이상인 민감도 분포  $\aleph_{RT-SEN10}$  (%)가 5%로 나타나서 최적의 RAC임을 판단할 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제안한 RAC 구분 단계의 평가기법이 유효함을 확인하였고, 이 기법은 다양한 확률적인 해상 위기평가에 적용 가능할 것으로 고려된다.

한편, 본 연구에 적용한 실험 데이터는 선행 연구(Gang et al., 2014)에서 획득한 것으로, 선박 사이의 겹쳐지는 범퍼(bumper) 영역을 관제 구역의 면적으로 나눈 비율  $\gamma$ 를 이용한 것이다. 따라서 추후 다른 유형의 확률적인 데이터에도 본 연구에서 제안한 기법을 적용하여 유효성을 확인할 예정이고, 유효성이 확보된 후에는 일반화 과정을 거쳐서 일반 모델로 구축할 예정이다.

## Acknowledgement

This project was supported by Honam Sea Grant R&D Program fund of 2014.

## Reference

- [1] Yim, J. B.(2009), Development of Quantative Risk assessment Methodology for Maritime Transpotation Accident of Merchant Ship, The Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 33, No. 1, pp. 9-19.
- [2] Amrozowicz, M. D., A. Brown and M. Golay(1997), A Probabilistic Analysis Of Tanker Groundings, 7th International Offshore and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, pp. 1-19.
- [3] Gang, S. G., J. Y. Jeong and J. B. Lim(2014), Applications of Ship Domain Theory to Identify Risky Sector in VTS Area,

The Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 20, No. 3, pp. 277-284.

- [4] Kaplan, S. and B. J. Garrick(1981), On The Quantitative Definition of Risk, Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, pp. 11-27.
- [5] Fowler, T. G. and E. Sorgard(2000), Modeling Ship Transportation Risk, Risk Analysis, Vol. 20, No. 2, pp. 225-244.
- [6] Yim, J. B.(2010), Development of Collision Risk Evaluation Model Between Passing Vessel and Mokpo Harbour Bridge, Korean Institute of Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 6, pp. 405-415.
- [7] Yim, J. B., W. J. Yang and H. T. Kim(2014), Marine Accident Analysis - A Guide to Analysis, Evaluation, Prediction and Management of Marine Accidents in the Maritime Transportations, Jeilkiheok, ISBN 978-89-97005-42-0, pp. 1-391.

---

Received : 2014. 11. 12.

Revised : 2014. 12. 12. (1st)

: 2014. 12. 22. (2nd)

Accepted : 2014. 12. 26.