

선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위기체감지수에 관한 연구

김대식* · 임정빈**†

* 목포해양대학교 해상운송시스템학과, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부

A Study on the Collision Risk Perception Index to OOW's According to Vessel Encountering Situations

Dae-Sik Kim* · Jeong-Bin Yim**†

*, ** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 본 연구는 인적오류 예방을 위해 선박 충돌위험 가능성이 높은 여섯 가지 선박조우상황(Head on, 045°, 090°, 135°, Overtaking, Overtaken)에 대해서 양 선박의 거리가 점차 감소될 때 항해 당직자가 느끼는 충돌위기체감지수(Collision Risk Perception Index, CRPI)를 획득하고 통계분석을 통하여 신뢰도분석 및 가설을 검증한 후 곡선근사과정을 통해 다항 계수로 모델링하는 것이 목적이다. 해상에서 실제 경비함 두 척과 항해당직 승조원 총 30명을 대상으로 CRPI 데이터 획득 실험을 하였으며 데이터 분석결과 각 조우상황에서 높은 신뢰도를 나타냈고 유의미한 결과를 나타냈다. 또한 타 선박 조우시 양 선박간 거리가 가까워지는 상황에서 항해당직자의 승선경력과 연령이 많고, 상위면허를 보유 할수록 CRPI에 음(-)의 영향을 미친다는 것을 알았다. 또한 3차 다항식 모델로 CRPI를 추정된 결과 평균제곱오차(RMSE)는 Head on에서 1.19, 045°에서 0.87, 090°에서 0.81, 135°에서 0.71, Overtaking에서 1.29, Overtaken에서 0.87로 나타나서 CRPI 곡선근사가 유용함을 알았다.

핵심용어 : 인적오류, 항해당직자, 승선실험, 충돌위기체감지수, 분산분석, 곡선근사

Abstract : The purpose of this study is for Human error prevention to acquire Collision Risk Perception Index (CRPI) sensed by the Officer Of the Watch (OOW) when the approaching distances are reduced in six types of ship encountering situations (Head on, 045°, 090°, 135°, Overtaking, Overtaken) between own ship and a target ship and then to predict CRPI fitting coefficients with polynomials in the curve-fitting process. CRPI acquisition experiments are carried out on two coast-guard ships and with the total of 30 crew members. Analysing results shows that CRPI data have goodness of fit to the six types of encountering situation. Furthermore, the One-Way ANOVA results show that CRPI has a negative affect to the OOW's age, career and license grade as the approaching distances is reduced. The availability of CRPI curve fitting with 3 degrees of polynomial was testified through the RMSE as 1.19 to Head on, 0.87 to 045°, 0.81 to 090°, 0.71 to 135°, 1.29 to Overtaking and 0.87 to Overtaken.

Key Words : Human error, Officer Of the Watch (OOW), Experiment aboard, Collision Risk Perception Index, One-Way ANOVA, Curve fitting

1. 서 론

해양안전심판원의 해양사고 분석 결과에 따르면 2010년부터 2014년까지 최근 5년간 전체 해양사고 원인의 83%가 해기사의 운항과실에 의해 발생하였으며 이 기간 중 선박충돌 사고 원인의 98%가 경계소홀, 항해 일반원칙 미 준수 등

해기사에 의한 운항과실로 보고되었다(KMST, 2015). 이와 같이 대부분의 해양사고 원인이 해기사의 운항과실과 관련된 사고이다. 즉 인적오류(Human Error)와 관련된 사고가 주요함에도 불구하고 그동안 국내외에서 해기사의 인적오류를 저감하기 위한 연구는 적은 실정이다(Catherine and Rhona, 2006).

한편, 1990년대 일본 학계에서는 ES 모델(Environmental Stress Model)이 제시된 바 있다(Inoue, 2000). ES 모델은 제한 또는 혼잡수로에서 선박조종의 어려움을 양적으로 평가하기 위한 것으로 항해사의 안전 인식에 기반을 둔 스트레스(Stress)를 수용하였으나 수로에서 선박조종 어려움의 정도에 관한

* First Author : star7007@hanmail.net, 061-241-2283

† Corresponding Author : jbyim@mmu.ac.kr, 061-240-7170

※ 심장 박동수를 이용한 해기사 스트레스 모형의 확률모델 변환, 해양환경안전학회 2015 춘계학술발표회, 부산, 2015.4. pp. 82-84.

정보를 제공하고 수로에 대한 더 나은 사회기반시설을 설계할 수 있도록 해주는데 주요한 목적이 있으며 설문조사 및 선박조종시물레이터를 이용한 실험이라는 점에서 본 연구와 차이가 있다.

국내에서는 선박운항자의 위험의식을 바탕으로 선박의 전장별, 조우 형태별 타선과의 거리에 따른 선박운항자의 주관적 위험도를 조사·분석하여 해상교통안전성 평가모델 개발을 위한 기초 식이 제안된바 있다(Kim et al., 2011). 이는

우리나라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도를 정량적으로 예측할 수 있는 해상교통위험도 기초 모형을 도출한 점에 의의가 있다 할 수 있으며 조사방법상 해양대학 실습선 사관 등을 대상으로 설문조사 결과를 분석한 점에서 실선 실험을 통해 획득한 데이터를 분석한 본 연구와 차이가 있다 하겠다.

본 연구의 목적은 인적오류의 주체인 항해당직자(Officer Of the Watch, OOW)에 초점을 맞추어 연안 항해 중 본선이 타선과 근접 조우하는 상황에서 항해당직자가 느끼는 충돌위기의 정도를 추정하기 위한 것이다. 본선과 타선이 근접 조우하는 경우 항해당직자가 일시적으로 느끼는 스트레스는 점점 증가할 것으로 고려할 수 있다. 이때 상황인식에 실패하면 평소 알고 있던 관련 매뉴얼에 따른 규정을 준수하지 못하여 충돌사고 위험성이 증가 할 수도 있다.

본 연구에서는 이를 검증하기 위하여 여섯 가지 선박 조우 방위각별로 항해당직자가 일시적으로 느끼는 심리적 부담감인 충돌위기체감지수(Collision Risk Perception Index, CRPI)를 측정하였다. 여기서 항해당직자가 느끼는 심리적위기 체감 정도를 스트레스(Stress)라는 용어로 나타낼 수 있으나 이는 포괄적인 의미이므로 본 연구에서는 충돌위기체감지수(CRPI)라는 용어를 사용하였다.

실제 운항에 종사하는 선박(특히, 상선)을 이용하여 항해당직자가 느끼는 위기체감의 정도를 측정하는 경우 충돌의 위험성 때문에 실험이 용이하지 않을 것이다. 그래서 본 연구에서는 항해안전을 확보할 수 있는 국민안전처 소속의 경비함 2척을 이용하여 실험하였다. 실험은 두 척의 1,500톤급 경비함 각각에 항해당직으로 편성되어 있는 승조원들을 대상으로, 경비함의 조타실에 있는 항해 당직자가 타선과 여섯 가지 조우 상황에서 느끼는 CRPI를 측정 후 분석하였다.

2. 연구과정

2.1 연구 절차

Fig. 1은 연구절차를 나타내고 그 내용은 다음과 같다.

- STEP 1 : (목적설정) 본 연구의 목적은 항해 중 본선과 타선이 충돌이 예상되는 방위각으로 조우하는 경우 항해 당직자가 체감하는 CRPI를 측정하여 조우

방위각별 차이와 특징 등을 분석하고 CRPI 곡선근사 계수를 추정한다.

- STEP 2 : (선행연구 조사) 선행연구로 스트레스에 대한 신체반응(Lee, 1997)과 Inoue(2000)가 제안한 ES-model 및 Endsley(1995)의 상황인식 이론, 해상교통환경평가 기초 모형(Kim et al., 2011)을 검토하여 스트레스 또는 선박조종의 어려움이 상황인식에 미치는 영향을 조사한다.
- STEP 3 : (실험계획 수립) 두 척의 선박을 이용한 CRPI 측정실험계획을 수립하고, 현장에서 항해당직자들이 실험 중에 체감하는 CRPI를 직접 기록할 기록용지를 준비한다.
- STEP 4 : (CRPI 측정실험) 경비함에 승선하여 실험해역으로 이동한 후 타선과의 조우상황에서 항해 당직자들이 느끼는 CRPI를 측정한다.
- STEP 5 : (CRPI 데이터 분석) 측정된 CRPI를 통계적으로 분석한 후 CRPI 곡선근사 계수를 획득한다.

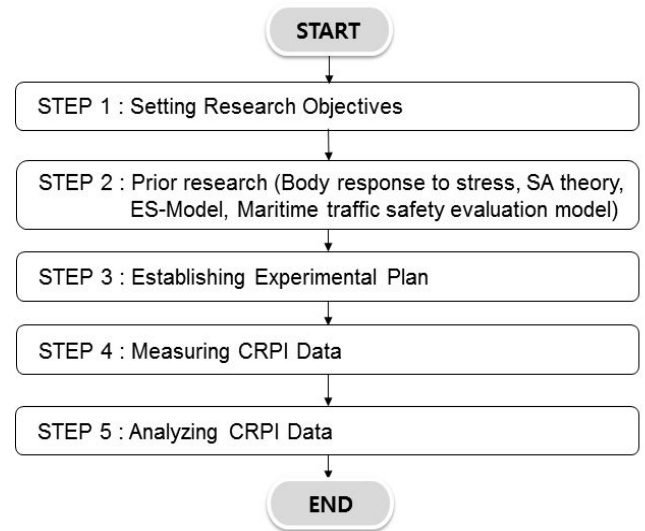


Fig. 1. Research process chart.

2.2 선행연구 조사

국내외 관련 연구동향으로 항해사가 항해 중 타 선박과 조우 할 때 느끼는 스트레스와 상황인식, ES 모델, 선박조우 형태를 고려한 해상교통환경평가 기초 모형(Kim et al., 2011)에 관하여 조사 하였다.

스트레스란 인간이 심리적 혹은 신체적으로 감당하기 어려운 상황에 처했을 때 느끼는 불안과 위협의 감정이다(Lazarus, 1993). 대부분의 해양사고는 인적과실에서 비롯된 것으로 보고되어 있고 인적과실 요인 중 스트레스가 중요한 비중을 차지하는 것으로 알려져 있다(Catherine and Rhona, 2006).

본 연구에서는 이러한 점을 착안하여 항해사가 조선 중 느끼는 CRPI를 주요 연구대상으로 설정하였다.

항해 중에 항해사가 받는 스트레스 요인에는 다른 선박과 마주치거나 횡단하는 상황, 연안에서 주간 또는 야간항해 중에 타선과 조우하는 상황 등 다양한 요소가 있다. 그리고 스트레스에 대한 신체반응에는 생리적 반응, 심리적 반응, 행동 반응 등 세 가지로 구분할 수 있다. 생리적 반응은 심장박동이 빨라지고 맥박이 불규칙해지며 손이 떨리는 증상이고, 심리적 반응은 불안, 초조, 집중곤란, 우유부단 등의 증상이며, 행동 반응에는 과잉 반응과 안전부절 못하는 증세 등이 있다(Lee, 1997).

항해 중인 선박의 당직 항해사가 타선과 근접한 상황에서 느낄 수 있는 이러한 스트레스는 자칫 상황인식에 실패하여 충돌 회피 조치 미숙, 판단 잘못 등으로 전이될 수 있을 것으로 고려할 수 있다(Kim, D. S. and Kim, D. B., 2015).

Endsley(1995)는 상황인식을 ‘특정시간과 공간 내 환경에서 각 요소들에 대한 인지, 이들의 의미에 대한 이해, 가까운 장래에 이들의 상태에 대한 예측’으로 정의하였다.

이를 항해사에게 적용하는 경우, 선박의 내외부에서 일어나는 상황변화를 우선 정확하게 인지하고 이해한 후 상황을 예측할 때 비로소 적합한 상황인식이 가능한 것으로 고려할 수 있다. 그러나 당직 항해사가 선박 조우상황에서 경험부족 등으로 심리적 부담을 크게 느낄 때 상황인식에 실패할 가능성이 높아질 것으로 예상할 수 있다.

한편 Inoue(2000)는 설문조사와 시뮬레이터 실험으로 타선박과 조우 상황에서 충돌의 위험이 있을 때 항해사가 받는 스트레스를 0에서 1000까지 범위로 분류한 스트레스 값을 이용하여 환경 스트레스 모델을 개발하였다. 그리고 2011년에 국내에서 연구된 해상교통환경평가 기초모형 개발에서는 선박 조우 형태별, 타선박과의 속력 및 거리 분석 등을 통하여 타선과의 조우각이 135°, 090°, 045° 추월 순으로 선박 운항자의 위험도가 높은 것으로 보고되었다(Kim et al., 2011).

2.3 분석 기법

획득한 CRPI 데이터 분석에는 통계분석 프로그램인 SPSS(IBM SPSS Statistics, Ver. 23, 2011)를 이용하였다. 우선 실험대상자들의 분포를 조사한 후, 조사도구의 신뢰성을 검증하기 위해서 크론바흐(Cronbach)의 알파(alpha) 계수를 구했다. 그리고 실험대상자들의 연령, 승선경력, 해기사면허 등이 CRPI에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위하여 회귀분석과 일원배치분산분석을 실시하였다.

마지막으로 MATLAB(Matlab, 2005a)의 곡선근사기법을 적용하여 여섯 가지 조우 상황별로 임의의 거리에서 연속된 CRPI를 추정할 수 있는 곡선근사 계수를 추정하였다.

3. CRPI 데이터 측정 실험

3.1 실험환경

CRPI 측정은 2015년 6월 8일 12시 30분 목포 가사도 부근 안전해역에서 실시하였다. 실험에는 Table 1에 나타난 두 척의 경비함을 이용하였는데, 한 척은 본선(Own ship)으로 정하고 다른 한 척은 타선(Target ship)으로 정하였으며 길이와 톤급 등이 유사한 조건의 함정을 선정하였다. 본선으로 정한 함정의 제원은 길이 91 m, 톤수 1,600톤이고, 타선으로 정한 함정의 제원은 길이 90 m, 톤수 1,500톤이며, 실험속력은 양 선박 모두 10 kts(knots)로 정하였다.

이 날 기상은 풍향은 남동풍, 풍속은 6~8 m/s, 파고는 0.5~1.25 m, 시정은 3해리(Nautical Mile, NM)로 실험에 양호한 기상이었다. 실험대상자는 경비함 2척의 항해당직 승조원 각 15명(총 30명)이고, 실험 시작 전에 배부용지에 CRPI 기록 방법을 설명하여 기록에 오류가 발생하지 않도록 하였다.

Table 1. Experimental conditions

Main contents	Detail of contents	
	Own ship	Target ship
Classify		
Length (meter)	90	91
Tonnage (GT)	1,600	1,500
Experimental Speed (knots)	10.0	10.0
Overtaking Speed (knots)	16.0	10.0
Overtaken Speed (knots)	10.0	16.0
Experimental participants (persons)	15	15

3.2 실험 방법

실험방법은 두 척의 경비함이 목포항을 출항하여 연안 항해하면서 Fig. 2와 같이 본선과 타선이 여섯 가지 다른 방위각으로 조우하도록 하고, 이 때 두 척 경비함 각각에서 항해당직자가 느끼는 CRPI를 측정하였다. 여섯 가지 조우상황은 본선과 타선이 상대방위 000°(즉, 마주치는 ‘Head on’ 상태), 상대방위 045°, 상대방위 090°, 상대방위 135°와 추월(Overtaking)하는 상황, 추월당하는(Overtaken) 상황 이다.

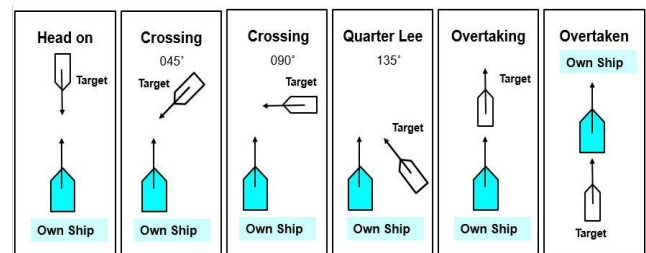


Fig. 2. Experimental scenarios.

선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위기체감지수에 관한 연구

실험순서는 여섯 가지 조우상황별로 양 선박 사이의 거리를 3 NM부터 0.25 NM까지 감소시키면서 0.25 NM의 간격으로 총 12 지점에서 CRPI를 측정하였다. 따라서 본선과 타선에서는 각각 총 72회(여섯 가지 선박조우상황 × 12 지점) CRPI를 측정하게 된다. CRPI 측정방법은 본선과 타선에 각각 승선한 15명의 피험자들이 경비함 조타실에서 각 조우방위별 타선의 접근상황을 보면서 CRPI를 0부터 100까지의 숫자로 측정하도록 하였다.

여기서, Fig. 2와 같이 여섯 가지 조우상황을 실험에 적용한 이유는 다음과 같다. 여섯 가지 상황은 모두 타선이 본선 우현에서 진입하거나 추월 또는 피 추월 상황을 나타낸다. 이러한 조우상황은 국제해상충돌예방규칙(COLREG, 2005; Yoon, 1994)의 제2절 ‘상호 시계 내에 있는 선박의 운항’ 제11조(적용), 제13조(추월), 제14조(정면으로 마주치는 상태), 제15조(횡단상태), 제16조(피항선의 동작), 제17조(유지선의 동작), 제18조(선박상호간의 책임한계) 등을 준용한 것으로, 충돌예방에 중요한 규정들이다. 즉 Fig. 2의 상황들은 다른 상황들과 달리 비교적 항해당직자들이 많은 위기를 체감할 것으로 예상할 수 있기 때문에 본 연구에 적용하였다.

한편, 선박 사이의 이격 거리를 3 NM부터 0.25 NM까지로 설정한 이유는 다음과 같다. 해양안전심판원의 충돌사고 시상대선 초인거리 분석결과(KMST, 2015)에 의하면 총 625 건의 충돌사고 중에서 5 NM 이내의 초인거리에서 발생한 사고가 88.5%이고, 2 NM 이내의 경우는 66.3%를 차지하고 있다. 국제해상충돌예방규칙(COLREG, 2005; Yoon, 1994) 제22조(등화의 시인거리)에 의하면 길이 50미터 이상 선박의 현등, 선미등 이 최소 3 NM로 규정되어 있다. 이는 최소 3 NM 이상에서 시인 가능하여야 한다는 의미이며 마주치는 상태에서는 이 거리보다 먼 거리에서 측정해야 한다. 그렇기 때문에 최소 3 NM 이상에서부터 측정을 하는 것이 타당할 것으로 사료되나 본 연구에서는 1차 실험으로 통상 육안으로 타 선을 명확히 인지할 수 있는 거리에서부터 실험하고자 하여 CRPI 측정 실험시작 거리를 3 NM로 정하였으며 향후 2차 실험에서는 그 이상의 거리에서부터 측정할 계획이다. 그리고 0.25 NM에서 실험을 종료한 이유는 실선 실험으로 인한 선박 간 안전사고를 방지하기 위해서 이다.

Table 2는 항해당직자의 CRPI 판단기준을 나타낸다. 0부터 100까지의 숫자범위에서 아래의 CRPI 판단기준을 참고로 자유롭게 개인별 체감 값을 표시하도록 하였다.

Fig. 3은 10 kts로 항해하는 경비함 조타실의 실험장면이다. 항해당직자들이 선교에서 타선과 거리가 가까워짐에 따라 개인이 느끼는 CRPI를 용지에 기록하는 장면이다.

Fig. 4는 상대방위 135°에서 실험할 때 본선에 있는 AIS (Automatic Identification System) 화면을 촬영한 것이다. 화면

우측의 원형표시가 본선을 나타내고 화면 좌측의 삼각형 표시는 타선을 나타낸다.

Table 2. OOW's CRPI Judgement criteria

CRPI	OOW's Judgement
0 ~ 20	Fairly safe
20 ~ 40	Safe
40 ~ 60	Neither safe or dangerous
60 ~ 80	Dangerous
80 ~ 100	Fairly dangerous



Fig. 3. Scenario of collision risk perception index(CRPI) measures in the wheelhouse.



Fig. 4. Snap-shot of AIS screen in experimental situation showing the encountering angle of 135 degrees.

3.3 CRPI 측정결과 데이터획득

Table 3은 여섯 가지 조우상황별 12 지점의 거리에 대하여 30명의 피험자들이 측정한 CRPI 값의 평균(Mean)과 표준편차(Standard deviation)를 나타낸다(IBM SPSS Statistics 23).

Fig. 5는 CRPI 측정결과 30명에 대한 획득된 데이터를 이용하여 6개 조우상황별 각 12개 지점 거리에서 평균값을 바탕으로 이해하기 쉽게 도식으로 나타낸 것이다. 두 선박 사이의 거리(Nautical Mile, NM)를 x-축으로 설정하고 측정한 CRPI를 y-축으로 설정하였다.

Table 3. Experimental results for CRPI(Collision Risk Perception Index) by Encounter Bearings and Distance Spaces

i	Encount. Statistics	j Distance spaces(NM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			3.00	2.75	2.50	2.25	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0.25
1	000°	$\overline{SIR}_{i,j}$	8.33	10.70	13.67	19.37	25.87	36.23	43.40	51.13	57.30	66.03	74.67	81.27
		$std_{SIR_{i,j}}$	6.343	6.763	7.298	9.981	10.976	14.350	16.111	16.167	17.371	19.081	18.129	18.906
2	045°	$\overline{SIR}_{i,j}$	8.50	11.73	17.77	24.03	32.23	40.87	47.93	56.23	65.77	75.10	82.87	87.97
		$std_{SIR_{i,j}}$	8.320	8.835	12.034	12.869	14.644	17.526	17.422	19.031	18.175	16.670	16.404	15.982
3	090°	$\overline{SIR}_{i,j}$	8.50	12.13	17.93	24.83	32.67	40.70	48.20	56.83	64.73	73.33	81.23	85.70
		$std_{SIR_{i,j}}$	8.920	10.291	12.312	14.999	15.925	16.547	18.494	19.095	19.291	19.446	18.693	19.259
4	135°	$\overline{SIR}_{i,j}$	12.73	18.23	23.10	30.97	37.90	45.53	53.40	61.70	70.60	79.87	85.63	91.93
		$std_{SIR_{i,j}}$	11.803	13.320	13.440	16.020	16.344	20.321	18.039	17.720	16.546	16.105	14.423	13.824
5	Over-taking	$\overline{SIR}_{i,j}$	6.73	9.07	13.57	16.40	23.97	28.67	36.23	41.17	48.77	55.33	63.23	68.10
		$std_{SIR_{i,j}}$	8.333	9.620	12.131	12.492	15.300	16.449	19.167	19.813	20.072	21.292	22.031	21.957
6	Over-taken	$\overline{SIR}_{i,j}$	10.23	13.80	21.17	28.40	35.13	44.00	52.07	59.33	68.00	75.83	83.17	88.00
		$std_{SIR_{i,j}}$	9.662	11.208	15.630	16.397	15.386	17.140	17.652	18.788	19.146	19.212	18.959	19.766

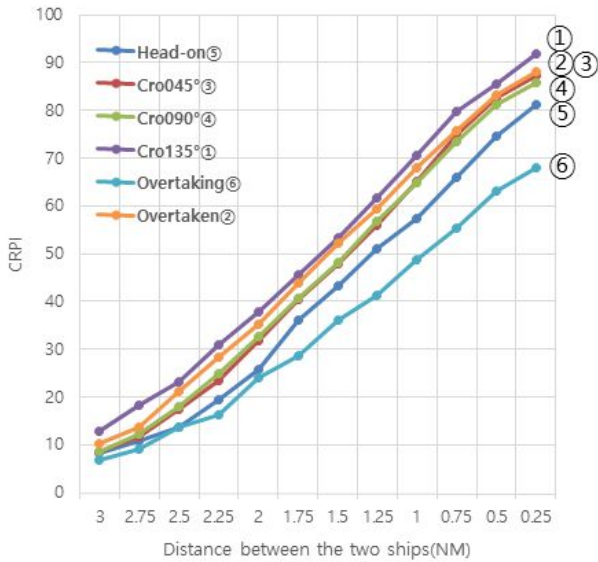


Fig. 5. Measurement results of averaged CRPI(ranges from 3 Nm to 0.25 NM).

실험결과, 횡단상태를 나타내는 135°(그림에서 ①번)에서 향해당직자는 가장 큰 체감위험도를 느끼는 것으로 나타났다. 두 번째는 추월당하는(Overtaken) 상황(그림에서 ②번)이, 세 번째는 045°(그림에서 ③번), 네 번째가 횡단상황인 090°(그림에서 ④번), 그리고 마지막으로 추월하는 상황(Overtaking) (그림에서 ⑥번)이 가장 작은 위험을 느끼는 것으로 나타났다. 이는 선행연구 조사에서 설문조사분석결과 타선과의 조우각이 135°, 090°, 045° 추월 순으로 선박운항자의 위험도가

높은 것으로 보고한 것(Kim et al., 2011)과 비교된다. 여기서 조우 각이 135°일 경우에는 045° 나 090°와 비교하여 같은 거리로 선박이 떨어져 있음에도 불구하고 선수 정면을 기준으로 090°보다 뒤 쪽에 있어 통상적 시각으로 위치 확인이 어려워 조선 부담감이 크게 작용하는 것으로 판단된다. 체감 위험도를 가장 작게 느끼는 추월하는 상황은 타선을 선수 전방에서 보며 본선의 속력을 자유롭게 조절 가능하기 때문으로 판단된다.

4. CRPI 측정결과 분석

4.1 실험대상자 분석

Table 4는 실험대상자 총 30명에 대한 연령별, 승선경력별, 해기사 면허등급별 분포를 나타낸다.

Table 4. Demographic Characteristics

Variable	Classification	Response	Ratio(%)
Age	20-29 years old	6	20.0
	30-39 years old	11	36.7
	more than 40 years	13	43.3
Boarded career	less than 3 years	11	36.7
	3 years-less than 10 years	12	40.0
	over 10 years	7	23.3
Certificate	level 1-level 2	2	6.7
	level 3-level 4	6	20.0
	level 5-level 6	13	43.3
	none	9	30.0

선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위험감지수에 관한 연구

연령별 분포는 40대 이상이 43.3%로 가장 많았으며, 승선 경력별 분포는 3년 이상 10년 미만이 40.0%로 가장 많았고 해기사 면허별 분포는 상선 5급과 6급이 43.3%로 가장 많았으며 상선 1급과 2급이 6.7%로 가장 적었다.

4.2 선박 조우형태별 신뢰도 분석

Table 5는 측정된 CRPI 데이터에 대한 신뢰도 분석결과를 나타낸다. 신뢰도를 나타내는 크론바흐(Cronbach)의 α 값이 0.6 이상이면 신뢰도가 있음을 의미한다(Song, 2014). 분석결과 조우방위각별 크론바흐의 α 값이 모두 0.92 이상으로 나타났다 때문에 본 연구에서 사용한 데이터는 신뢰할 수 있는 것으로 고려된다.

Table 5. Reliability Analysis of Acquired Data

Ship's encounter angle	Reliability Statistics
	Cronbach's α
000°	0.92
045°	0.94
090°	0.95
135°	0.95
Overtaking	0.97
Overtaken	0.97

4.3 변수(연령, 승선경력, 면허등급)와 CRPI의 회귀 분석

CRPI, 연령, 승선경력, 면허등급 사이의 영향을 파악하기 위하여 각각의 요인에 대해 회귀분석을 실시하였다. 이들 모두를 분석하는 것은 대단히 방대하기 때문에 여기서는 조우방위 000°와 양 선박간 거리 3 NM에 대한 30명의 CRPI 데이터만을 분석하였다.

먼저 연령이 CRPI에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같은 가설을 수립하였다.

1) 가설 ① : 항해당직자의 연령은 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이다.

가설 ①은 연령이 많은 항해당직자는 승선경험이 많을 것이기 때문에 연령이 적은 항해당직자와 비교하여 CRPI 값의 증가정도가 음(-)의 방향으로 형성될 것이라고 가정한 것이다. 회귀분석을 통한 검정결과는 Table 6과 같다.

Table 6에 나타난 가설 ①의 검정결과, t 값은 -2.138($p=.041$)로 통계적 유의수준에서 영향을 미치는 것으로 나타나서 가설 ①은 채택되었다. 이에 대한 회귀모형의 F 값은 4.573($p=.041$)으로 14.0%($R^2=.140$)의 설명력을 보이고 있다.

Table 6. Regression results using the Age data

Independent Variable	Dependent Variable	SE	β	t-value	Sig.
Age	Constant	3.388	-	4.484	.000
	Head-on CRPI-3NM	1.436	-.375	-2.138	.041 *

(statistics) $R=.375$, $R^2=.140$, $Adj R^2=.110$, $F=4.573$, $p=.041$
(* $p < 0.05$)

다음으로 승선경력이 CRPI에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같은 가설을 수립하였다.

2) 가설 ② : 항해당직자의 승선경력은 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이다.

이는 승선경력이 많은 항해당직자는 항해 전문지식이 많을 것이기 때문에 승선경력이 적은 항해당직자와 비교하여 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이라고 가정한 것이다. 회귀분석을 통한 검정된 결과는 Table 7과 같다.

Table 7에 나타난 가설 ②의 검정결과, t 값은 -3.369($p=.002$)로 통계적 유의수준에서 영향을 미치는 것으로 나타나서 가설 ②는 채택되었다. 회귀모형의 F 값은 11.350($p=.002$)으로 28.8%($R^2=.288$)의 설명력을 나타냈다.

Table 7. Regression results using the boarded career data

Independent Variable	Dependent Variable	SE	β	t-value	Sig.
Boarded career	Constant	2.627	-	6.290	.000
	Head-on CRPI-3NM	1.303	-.537	-3.369	.002 *

(statistics) $R=.537$, $R^2=.288$, $Adj R^2=.263$, $F=11.350$, $p=.002$
(* $p < 0.05$)

세 번째로 면허등급이 CRPI에 미치는 영향을 분석하기 위하여 다음과 같은 가설을 수립하였다.

3) 가설 ③ : 항해당직자의 면허등급은 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이다.

이러한 가설은 상위 면허등급을 보유한 항해당직자는 승선경험과 항해관련 전문지식이 면허등급이 하위이거나 면허가 없는 항해당직자와 비교하여 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이라고 가정한 것이다. 이를 회귀분석을 통하여 검정한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8에 나타난 가설 ③의 검정결과, t값이 -2.431(p=.022)로 통계적 유의수준에서 영향을 미치는 것으로 나타나 가설 ③은 채택되었다. 회귀모형의 F값은 5.909(p=.022)으로 17.4% (R²=.174)의 설명력을 보이고 있다.

Table 8. Regression results using the Certificate data

Independent Variable	Dependent Variable	SE	β	t-value	Sig.
Certificate	Constant	2.709	-	5.309	.000
	Head-on CRPI-3NM	1.224	-.417	-2.431	.022*

(statistics) R=.417, R²=.174, Adj R²=.145, F=5.909, p=.022

(* p < 0.05)

4.4. 변수(연령, 승선경력, 면허등급)와 CRPI의 분산분석

연령, 승선경력, 해기사 면허가 CRPI에 미치는 평균의 차이를 분석하기 위하여 분산분석(One-Way ANOVA)을 실시하였다. 조우방위 000°, 양 선박간 거리 3해리에서 30명의 CRPI 데이터를 사용하였으며 연령에 따른 CRPI의 차이여부를 알아보기 위하여 다음의 가설을 수립하였다.

4) 가설 ④ : 항해당직자의 연령은 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이다.

Table 9에서 분산분석 결과 유의확률이 0.079의 수치를 보여 유의수준 0.05보다 근소하게 커 가설④는 기각되어 연령에 따른 CRPI는 별다른 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 9. One-Way ANOVA of Age and CRPI

D.V	Age(years)	Mean	SD	F-value/Sig.	Post-test results
CRPI	M.T 20 ~ L.T 30 (a)	10.83	5.845	2.794/0.079	a>c (Scheffe)
	M.T 30 ~ L.T 40 (b)	10.45	7.230		
	M.T 40 ~ L.T 60 (c)	5.38	4.770		

M.T : More than / L.T : Less than / SD : Standard Deviation

Fig. 6은 Table 9에 따른 결과를 그래프로 나타낸 것이다. x-축은 연령그룹으로, y-축은 CRPI 평균을 나타낸다. CRPI는 연령그룹 20세 이상 30세 미만부터 30세 이상 40세 미만까지 완만하게 감소하다 그 이상부터 급하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 30세 이상부터는 연령이 많아질수록 충돌 위기체감지수가 낮아짐을 알 수 있다.

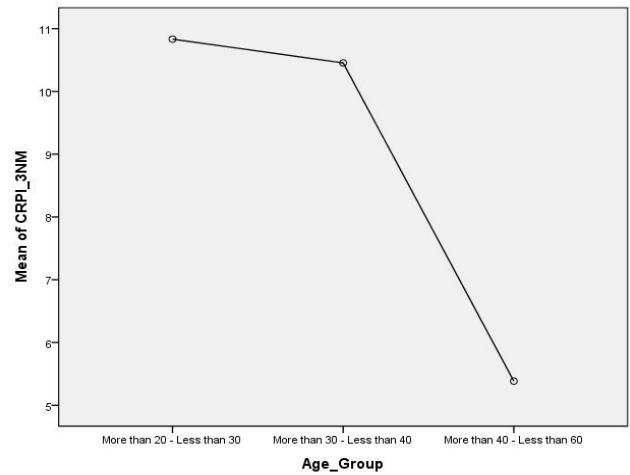


Fig. 6. Average Chart of Age.

다음으로 항해당직자의 승선경력에 따른 CRPI의 차이를 알아보기 위하여 다음의 가설을 수립하였다.

5) 가설 ⑤ : 항해당직자의 승선경력은 CRPI에 음(-)의 영향을 미칠 것이다.

Table 10에서 항해당직자의 승선경력에 따른 CRPI의 평균은 분석결과 0.000의 수치를 보여 상당히 유의한 차이가 있는 것으로 나타나 가설 ⑤는 채택되었다.

세부적으로, CRPI는 승선경력 3년 미만에서 가장 높으며, 승선경력이 많을수록 낮은 수치를 나타냈다. 즉 승선경력이 많을수록 CRPI가 낮다는 것을 알 수 있다.

Table 10. One-Way ANOVA of boarded career and CRPI

D.V	Boarded career (years)	Mean	SD	F-value/Sig.	Post-test results
CRPI	L.T 3 (a)	12.73	5.641	6.034/0.000**	a>b,c (Scheffe)
	M.T 3 ~ L.T 10 (b)	6.67	5.365		
	Over 10 (c)	4.29	5.345		

(** p < 0.01) / D.V : Dependent Variable

Fig. 7은 Table 10에 따른 결과를 그래프로 나타낸 것이다. x-축은 승선경력 그룹으로, y-축은 양 선박간 거리 3해리에서의 CRPI 평균을 나타낸다.

CRPI는 승선경력그룹 3년 미만부터 10년 이상까지 선형적으로 음(-)의 방향으로 뚜렷하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 항해당직자의 승선경력이 많아질수록 항해관련 경험 등이 많이 축적되어 충돌위기체감지수는 반비례하여 낮아지는 것으로 판단된다.

선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위험감지수에 관한 연구

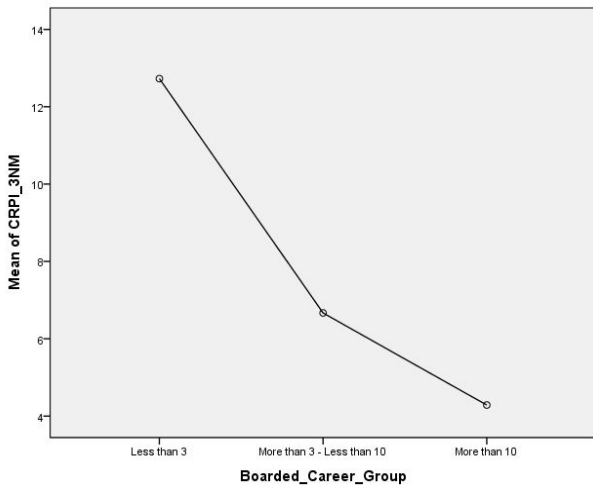


Fig. 7. Average Chart of Boarded career.

다음으로 항해당직자의 면허등급에 따른 CRPI의 차이를 알아보기 위하여 다음의 가설을 수립하였다.

6) 가설 ⑥ : 항해당직자가 상위 면허를 보유 할수록 CRPI가 낮을 것이다.

Table 11에서 분석결과 CRPI의 유의확률은 0.044의 수치를 보여 가설 ⑥은 채택되었고 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

세부적으로 살펴보면, CRPI는 해기사 면허 미 보유자에게서 가장 높은 평균 수치를 보이며, 하위 면허를 보유 할수록 낮은 평균수치가 나타났다. 즉 면허 미 보유자 및 하위 등급 면허 보유자는 충돌위험감도가 높다는 것을 알 수 있으며 특이점은 면허 3~4급 보유자 보다 1급~2급 보유자의 평균 수치가 약간 높다는 점이다.

면허 1급~2급 보유자의 CRPI 수치가 약간 높아진 이유는 향후 연구가 더 필요할 것으로 여겨지나 실험 후에 대상자에 대한 면접 조사에 따르면 하위 면허등급자 보다 항해 전문지식과 경험이 많은 점이 작용하여 조선에 조심하는 정도가 어느 정도 높아지게 되어 수치가 약간 높게 나타나는 것으로 파악 되었다.

Table 11. One-Way ANOVA of Certificate Grade and CRPI

D.V	Certificate	Mean	SD	F-value/ Sig.	Post-test results
CRPI	None (a)	10.56	6.821	3.094/ 0.044*	a > b,c,d (Scheffe)
	Grade 5~6 (b)	10.00	6.124		
	Grade 3~4 (c)	2.50	2.739		
	Grade 1~2 (d)	5.00	.000		

(* p < 0.05)

Fig. 8은 Table 11에 따른 결과를 그래프로 나타낸 것이다. x-축은 면허 그룹, y-축은 양 선박간 거리 3해리에서의 CRPI 평균을 나타낸다. CRPI는 면허 없음 그룹에서부터 면허 5급과 6급 그룹까지 완만히 감소하다 3급과 4급까지 급하게 감소 후 1급과 2급 그룹까지 완만히 상승 하는 것을 볼 수 있다.

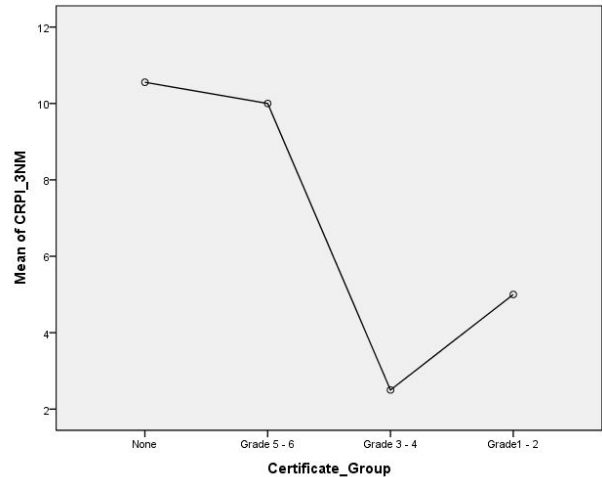


Fig. 8. Average Chart of Certificate Grade.

4.5 CRPI 곡선근사

임의의 거리에 대해 연속적으로 Fig. 5에 나타낸 CRPI 값을 추정하기 위하여 다항식을 이용한 곡선근사를 하였다.

우선, Fig. 5에 적합한 다항식의 경우 적합성 검사결과 3차 다항식이 타당함을 알았다. Table 12는 CRPI 측정 데이터의 평균에 대해서 3차 다항식으로 곡선 근사한 경우의 계수 값과 네 가지 적합성 검정결과(SSE, R-square, Adjusted R-square, RMSE)를 나타낸다.

Table 12. Parameters of CRPI prediction model with 3 degree of polynomials

Ship encounter angle (i)	000°	045°	090°	135°	Overtaking	Overtaken	
Polynomial 3degree	y=p1*x^3+p2*x^2+p3*x+p4						
Coefficients	p1	3.007	3.079	2.247	2.303	1.624	0.920
	p2	-11.39	-12.69	-8.61	-9.72	-5.78	-4.95
	p3	-19.01	-17.9	-20.89	-19.82	-20.6	-18.57
	p4	86.3	93.27	90.28	97.83	79.42	89.76
Goodness of fit	SSE	11.35	6.104	5.288	4.074	13.28	6.019
	R-square	0.998	0.999	0.999	0.999	0.997	0.999
	Adjusted R-square	0.998	0.999	0.999	0.999	0.997	0.999
	RMSE	1.191	0.873	0.813	0.714	1.289	0.867

3차 다항식을 이용한 CRPI 추정 모델은 식(1)과 같이 구성된다. 따라서 식(1)에 i 번째 조우상황에서의 거리 r_i 을 입력하면 Table 12에 나타난 p_1 부터 p_4 까지의 계수 값과 오차 ϵ_i 을 이용하여 CRPI 추정 값인 \widehat{CRPI} 를 획득할 수 있다 (Matlab, 2005a).

$$\widehat{SIR}_i(r) = p_{1,i}r_i^3 + p_{2,i}r_i^2 + p_{3,i}r_i + p_{4,i} + \epsilon_i \quad (1)$$

Fig. 9는 Table 12의 3차 다항계수를 식(1)에 적용하여 계산한 CRPI를 그래프로 나타낸 것이다(Matlab, 2005b). 이와 같이 Table 12의 계수를 이용하면 여섯 가지 조우상황별로 어떠한 거리에 대해서도 연속적으로 CRPI 데이터 획득이 가능하다.

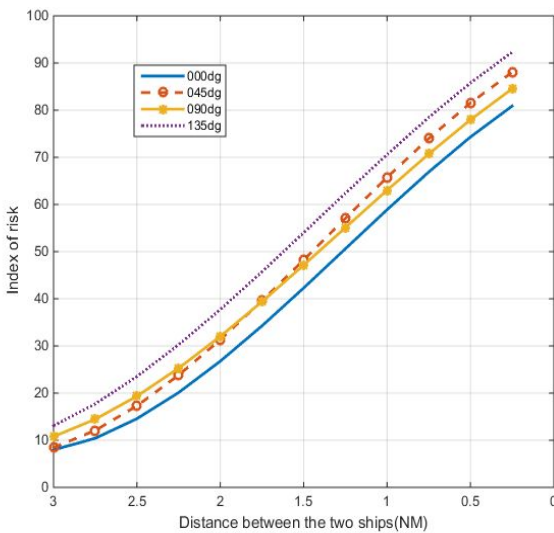


Fig. 9. Experimental Data Curve Fit Results.

5. 결론

본 연구에서 여섯 가지 선박 조우 상황별로 항해당직자가 느끼는 충돌위기체감지수를 조사하고 항해사의 연령, 승선 경력, 해기사 면허 등급 및 유무에 따른 영향여부를 통계적으로 분석한 결과 획득한 CRPI가 신뢰성이 있음을 확인하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 실선실험을 통해서 항해 중 항해당직자가 느끼는 충돌위기체감지수(Collision Risk Perception Index, CRPI) 데이터를 획득하였다.

(2) 획득한 데이터에 대한 선박조우형태별 신뢰도 분석을 통하여 크론바흐의 알파 값이 모두 0.92 이상으로 나타나 모두 신뢰할 수 있음을 알았다. 또한 양 선박간 거리가 가까워지면서 항해당직자의 연령과 승선경력이 많고 상위 면허를

보유할수록 항해당직자가 체감하는 CRPI에 음(-)의 영향을 미친다는 것을 알았다.

(3) CRPI 값은 타선이 본선 우현 135°에서 진입할 때 가장 크고, Overtaken, 045°, 090°, 000°로 이동하면서 작게 나타났으며 Overtaking은 가장 낮은 CRPI를 나타냈다.

이는 선행연구 조사(Kim et al., 2011)에서 설문조사 분석 결과 타선과의 조우각이 135°, 090°, 045° 추월 순으로 선박 운항자의 위험도가 높은 것으로 보고된 것과 비교된다.

(4) 3차 다항식으로 CRPI를 곡선 근사한 결과, 평균제곱오차(RMSE)는 Head on에서 1.19, 045°에서 0.87, 090°에서 0.81, 135°에서 0.71, Overtaking에서 1.29, Overtaken에서 0.87로 나타나 CRPI 곡선근사가 타당함을 알았다. 따라서 조우상황별로 어떤 거리에 대해서도 연속된 CRPI 값을 추정할 수 있다.

본 연구결과는 선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위기체감지수를 추정하여 항해당직자의 인적오류를 예방하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

한편 본 실험에서 획득한 CRPI 데이터는 항해당직자를 대상으로 해상실험을 통하여 각자가 기록용지에 기록한 데이터를 획득한 것이기 때문에 주관적인 편차가 개입될 여지가 있다. 따라서 추후에는 이를 보완하기 위해서 인간의 생리적인 특성(맥박, 혈압 등)을 보다 과학적으로 측정할 수 있는 정밀 측정기기를 이용한 실험을 할 예정이다.

후 기

본 논문은 해양수산부의 '해양안전사고 예방시스템 기반 연구(2단계)'과제의 연구결과임을 밝힌다.

References

- [1] Catherine, H. and F. Rhona(2006), Safety in shipping : The human element, Journal of Safety Research 37, pp. 401-411.
- [2] COLREGS(2005), COLREGS - International Regulations for Preventing Collisions at Sea, Lloyd's Register Rule finder 2005, Version 9.4, [http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/IMO-Conventions%20\(copies\)/COLREG-1972.pdf](http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/IMO-Conventions%20(copies)/COLREG-1972.pdf), access dated: June 30, 2013.
- [3] Endsley, M. R.(1995), Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic System, Human Factors, 37(1), pp. 32-64.
- [4] IBM SPSS Statistics, Ver. 23(2011).
- [5] Inoue, K.(2000), Evaluation Method of Ship-handling Difficulty for Navigation in Restricted and congested Waterways, Journal of Navigation, Vol. 53, No. 1, pp. 167-180.

- [6] Kim, D. S. and D. B. Kim(2015), Studies on the Officer's Feeling Response Data when the Ship Encounter Situation, Journal of Korean Navigation and Port Research, Spring Conference in Busan, pp. 202-204.
- [7] Kim, J. S., Y. S. Park, T. Y. Heo, J. Y. Jeong and J. S. Park(2011), A Study on the Development of Basic Model for Marine Traffic Assessment Considering the Encounter Type Between Vessels, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety Vol. 17, No. 3, pp. 227-233.
- [8] KMST(2015), 2014 Status of Marine Accidents(in Korean), pp. 8-47.
- [9] Lee, H. S.(1997), Introduction to Health Sciences, Chung-Ang University Press, pp. 251-321.
- [10] Matlab(2005a), Matlab Ver. 7.1; Matlab Function Reference, polyfit, Mathwork.
- [11] Matlab(2005b), Matlab Ver. 7.1; Curve Fitting Toolbox; Evaluating the Goodness of Fit, Mathwork.
- [12] Yoon, J. D.(1994), International Regulations for Preventing Collisions at Sea and Related Domestic Regulations (in Korean), Sejongchulpansa, Busan, Korea, pp. 125-260.

Received : 2016. 01. 19.

Revised : 2016. 02. 11. (1st)

: 2016. 02. 18. (2nd)

Accepted : 2016. 02. 25.