

선박 근접상황에서 항해사의 인적특성요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향에 관한 연구

김도훈**

* 보령해양경찰서 기획운영과장

A Study on the Influence of the Navigator's Personal Characteristics on the Perceived Collision Risk in Close-quarter Situations

Do-Hoon Kim**

* Section Chief, Department of Planning and Operations, Boryeong Coast Guard Station, Boryeong City, Chungcheongnam-do, 33475, Republic of Korea

요약 : 본 연구는 항해사가 근접상황에서 심리적 충돌의 두려움으로 당황하여 규정된 충돌 회피조치를 수행하지 못하는 인적오류 상황을 연구하였다. 연구 목적은 선박 간 근접상황에서 항해사의 인적특성 요인인 승선경력, 면허등급, 연령요인이 충돌위험도에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 본선과 상대선박 간 네 가지 대표적인 근접상황의 충돌침로에서 항해사가 지각한 충돌위험도 값을 측정, 정량화된 데이터를 얻기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 충돌위험도 측정실험을 설계하고 두 척의 선박이 거리 2.5해리에서 충돌상황까지 상호 10 노트의 속도로 접근할 때 본선의 30명의 항해사의 심장박동변이를 측정하여 항해사가 지각한 충돌위험도 측정데이터를 확보하였다. 측정값에 대한 다중회귀분석 결과 항해사의 승선경력과 면허등급 요인은 충돌위험도에 부(-)의 영향을 미쳤고, 연령은 영향을 미치지 않았다. t-검정 결과 승선경력 \leq 4년인 항해사는 승선경력 \geq 5년인 항해사 보다 충돌위험도 값이 유의미하게 높았고 면허등급 요인은 4~6급 그룹이 2~3급 그룹보다 충돌위험도 값이 유의미하게 높게 나타났다. 본 연구결과는 충돌위험경보시스템 개발에 적용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 근접상황, 충돌위험도 측정실험, 인적특성요인, 지각한 충돌위험도, 심장박동변이

Abstract : This study focuses on the margin of human error when a navigator is embarrassed by the psychological fear of collision in a close-quarter situation (CQS) and is unable to perform as per the prescribed collision avoidance measures. The purpose of the study is to identify the effects of the navigator's personal characteristics or factors in relation to on-board career (OC), license rating (LR), and age on the perceived collision risk (PCR) in CQSs. In order to obtain quantified data regarding the collision risk perceived by the navigator in four typical CQSs between their own ship and a target ship, this study measured and collated the heart rate variability of 30 navigators on their own ship when two ships approached each other at a speed of 10 knots from 2.5 nautical miles to a collision situation. According to a multiple regression analysis of the measured values, the navigators' OC and LR factors had negative effects on the PCR, while the age factor had no significant effect on PCR. The t-test results showed that the PCR value was significantly higher for navigators with an OC \leq 4 years than for those with an OC \geq 5 years, and the LR factor was significantly higher for a class 4~6 group than for a class 2~3. This finding may be applied to the development of collision risk warning systems, particularly for navigators.

Key Words : Close-quarters situation, Collision risk measurement experiment, Personal characteristics, Perceived collision risk, Heart rate variability

1. 서론

동중국해에서 2018년 1월 유조선 Sanchi호(원유 13만 6천 톤 적재)와 홍콩선적 화물선 CF Crystal호가 충돌하여 Sanchi호가 침몰함으로써 선원 32명이 실종되고 260 km² 이상의 해

역이 오염된 것으로 알려졌다(Wikipedia, 2020). 이러한 막대한 인적·물적 피해가 유발될 수 있는 선박 충돌사고의 원인과 관련하여 Rothblum(2007)은 해양사고의 75~96%가 인적오류(Human Error)와 관련 있다고 보고하였다.

본 연구의 중점 대상인 항해사(Navigator, 선장과 항해부서원을 포함한다)의 인적오류에 의해 유발된 충돌사고 현황을 파악하기 위하여 중앙해양안전심판원(Korea Maritime Safety

† star7007@hanmail.net, 041-402-2016

Tribunal, KMST) 재결서를 토대로 최근 5년(2015~2019년) 간 우리나라 해역에서 상선에 의하여 발생된 충돌사고를 조사한 결과 총 362건이 발생하였으며 이 가운데 항해사에 의한 항해과실이 총 252건으로 전체 충돌사고 원인의 70%를 차지하고 있는 것으로 나타났다(KMST, 2019). 즉, 우리나라 해역에서 발생한 충돌사고의 주요한 원인도 항해사의 인적오류에 의하여 발생한 사고였다.

항해사의 인적오류 유형으로는 항해당직 근무 중 경계소홀, 피로, 상황인식 실패 등의 다양한 원인이 있을 수 있다. 그러나 본 연구에서는 상대선박(Target Ship, TS)과 근접상황(Close-Quarters Situation, CQS)에서 급박한 충돌에 대한 두려움의 영향으로 유발될 수 있는 심리적 당황, 공황(Panic) 또는 급성스트레스(Acute stress)로 인하여 적시에 충돌 회피조치를 수행하지 못하는 충돌위기상황을 대상으로 한다(Kim, 2020; Koszelew and Wolejsza, 2018; Kim, 2018; Kim and Yim, 2016; Inoue, 2000). 특히, 이러한 상황에서 나타날 수 있는 급성 스트레스는 단기적으로 신체능력을 저하시키고 사고위험을 증가시킬 수 있다고 보고된바 있다(Simon and Corbett, 1996).

항해사가 TS의 근접 접근을 육안으로 지각한 상황에서 급박한 충돌위기에 대한 두려움, 공황으로 인하여 나타나는 생리적 반응(Physiological Response), 심리적 변화(Psychological Change), 행동변화(Behavioral Change)의 정도를 통칭하여 지각한 충돌위험도(Perceived Collision Risk, PCR)라 정의한다(Kim, 2020; Kim, 2018; Kim and Yim, 2016).

항해사에게 근접상황에서 급박한 충돌의 위기감으로 유발되는 이러한 PCR은 순간적인 기억상실, 상황판단 실패, 충돌 회피조치 미흡 또는 미 이행으로 악화되어 인적오류로 이어지면 위기상황임을 고려할 때 충돌 가능성이 높아지는 것으로 보고된 바 있다(Kim, 2020; Kim, 2018; Kim and Yim, 2016).

여기서 CQS란 국제해상충돌예방규칙(Convention on the International Regulation for Preventing Collisions at Sea, COLREG) 제8조에 명시되어 있으며 항해 중 상대선박이 위협하게 접근하고 어느 한쪽의 선박만으로는 충돌 위험을 피하기에 충분하지 않은 상황을 의미한다(IMO, 1972). 이러한 근접상황 판단요소에는 선박 간 거리, 접근율(Approaching rate) 및 방향, 양 선박의 속도, 기상, 가시성 및 해상 교통상황 등의 여러 요소가 고려될 수 있다. CQS에서 선박 거리와 관련하여 이전 연구에서는 위험수준을 평가하기 위해 클러스터(Cluster) 분석을 통하여 위험지표 값에 따라 트래픽(Traffic) 시나리오를 분류한 보고가 있으며 위험수준은 근접거리(Close encounter)에서 1해리(Nautical mile, NM)에 가깝고, 회피기동은 필수적이라 보고된바 있다(Zhang et al., 2015).

Lee et al.(2014)에 의하면 선박 간 최소 안전거리(항해사의 주관적 판단에 따라 안전한 운항을 위한 선박간 거리)를 조

사하기 위하여 선장 등 192명의 항해사를 대상으로 설문조사한 결과 응답자의 94%가 1 NM로 응답하였다.

본 연구에서는 CQS를 본선(Own ship, OS)과 TS가 충돌 가능한 침로로 근접 접근하여 본선의 항해사가 충돌위기감을 지각하는 1.5 NM 이내의 근접거리상황으로 설정하였다.

항해사의 인적특성 요인(Personal characteristic factors)과 관련하여 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)의 선원의 훈련·자격증명 및 당직근무의 기준에 관한 국제협약(International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW 1978)에 따르면, 해기사들은 자격(Competence, 해기사 면허), 항해 서비스 시간(Seagoing service time, 승선경력), 연령(Age)의 최소 요건을 충족하는 유효한 증명서를 소지해야 한다(IMO STCW, 1978).

본 연구에서는 항해사의 다양한 인적특성 요인 중에서 STCW협약에 근거하여 위에서 언급된 승선경력(On-board career, OC), 항해사 면허등급(License rating, LR)과 연령(Age)의 세 가지 요인을 선정하였다.

본 연구는 타 선박과 근접한 상황에서 충돌의 두려움으로 인하여 항해사에게 유발될 수 있는 인적오류에 의한 충돌위험 요인 규명에 주목하여 COLREG에 따라 피항선과 유지선(IMO, 1972)의 지위에 있는 두 척의 선박 간 충돌 가능한 침로로 근접하는 상황을 시뮬레이션 하고, OS의 항해사가 지각하는 PCR을 심박동변이(Heart rate variability, HRV) 정밀 측정기기를 이용하여 측정된 측정값을 토대로 인적특성요인이 PCR에 미치는 영향을 규명하기 위하여 수행되었다.

충돌위험도 추론과 관련하여 이전 연구에서는 퍼지이론(Fuzzy theory)을 이용하여 최단접근거리(Distance at Closest Point of Approach, DCPA)와 최단접근시간(Time to Closest Point of Approach, TCPA)를 조합하여 추론한바 있다(Iwasaki and Hara, 1986). 그러나 본 연구는 그동안 항해사를 제외하고 논의된 연구들과는 달리 인적오류의 주체인 항해사를 대상으로 본선과 상대선박의 조우방위와 거리를 고려하여 항해사가 지각한 PCR을 정밀 측정기기로 측정하고 분석함으로써 항해사의 인적특성 요인이 PCR에 미치는 영향을 규명하여 항해사의 안전항해를 지원하고자 하였다.

2. 연구과정

2.1 연구 절차

Fig. 1은 본 연구의 단계별 절차를 나타낸다.

- Step 1: 연구 목적설정 및 선행연구 조사

본 연구의 목적을 설정하고 그동안 학계에 발표된 논문과 서적을 대상으로 선행연구를 조사한다.

- Step 2: COLREG 충돌회피 규정 검토 및 가설 설정
COLREG의 충돌회피항법 규정을 검토하고 독립변수인 승선경력, 항해사 면허등급 및 연령과 종속변수인 PCR 측정값을 대상으로 분석을 위한 이론적 가설을 설정한다.
- Step 3: 시뮬레이터 이용 근접상황에서 PCR 측정실험
PCR 측정을 위한 실험계획을 수립하고 항해사 면허를 보유한 30명의 피험자를 대상으로 네 가지 유형의 충돌조우상황을 시뮬레이션 한다. 그리고 HRV 정밀 측정기기를 이용하여 CQS에서 항해사가 지각한 PCR 측정실험을 수행한다.
- Step 4: PCR 측정값 분석
신뢰성과 타당성이 확보된 PCR 측정데이터를 이용하여 회귀분석과 t-검정의 통계적 분석기법을 이용하여 분석한다.
- Step 5: CQS에서 인적요인이 PCR에 미치는 영향 규명
연구목적인 항해사의 인적특성요인이 PCR에 미치는 영향을 규명하고 항해사가 지각한 충돌위험요인을 식별한다.

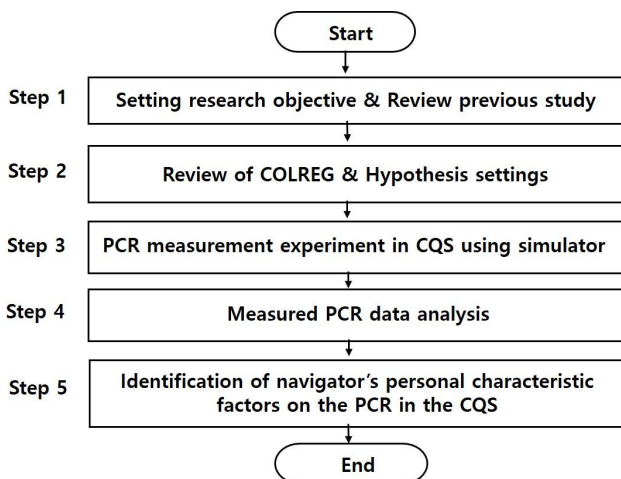


Fig. 1. Research process chart.

2.2 선행연구 조사

근접상황에서 항해사의 PCR 측정값 데이터를 확보하는 방법으로는 시뮬레이터 실험을 이용하여 항해사가 조우방위별 각자의 주관적 스트레스 정도를 기록지에 기록하는 방법(Inoue, 2000)이 있다. 그러나 보다 신뢰성과 타당성 높은 측정값 데이터를 얻는 방법으로 HRV 측정기기로 측정하는 방법이 효과적이다(Harry and Freeman, 1993; Nakayama et al., 2008; Smith et al., 2002; Bin, 2006; Castaldo et al., 2016; Wu et al., 2015). Kim(2018)은 해상에서 해양경찰 대형함정 2척을 이용하여 본 실험과 유사한 네 가지 대표적인 방위관계에 따른 조우상황 실선실험으로 PCR 측정실험을 하였다. 여기서 항해당직자들이 개인별 체감하는 PCR 값을 각자가 기록지에 최소 0(안전)에서 최대 100(매우 높은 위험)까지의 수치

값으로 기록하는 방법을 사용하였으나 정밀 HRV 측정기기를 이용하여 신뢰성과 타당성을 확보한 본 연구에서 행한 측정방법과는 차이가 있다.

다음의 선행연구들은 근접상황에서 항해사의 HRV 측정실험을 이용하여 PCR 값을 확보하고 이를 분석한 본 연구의 타당성을 뒷받침하는 연구들이다.

첫째, Cohen et al.(2015)은 왕립 네덜란드 해군대학의 학생들에게 상당한 스트레스를 주는 훈련 시나리오를 계획하고 이에 대한 학생들의 반응을 연구하기 위하여 학생들의 심박동수(HRV)를 측정하여 결과를 평가했으며 해군 선박시뮬레이터를 사용하여 스트레스가 인적오류를 유발하는 주요 요소 중 하나라고 보고하였다.

둘째, Koszelew and Wolejsza(2018)은 근접 조우상황의 마지막이자 가장 위험한 단계인 ‘마지막 순간 기동(Last Moment Manoeuvre)’에 중점을 두었다. 이 단계는 매우 중요하며 항해사에게 급성스트레스가 많이 발생하고 망설임 시간이 없어 공황발작을 일으킬 수 있다고 발표하였다.

셋째, Chin and Debnath(2009)는 시뮬레이션과 설문조사의 방법을 사용하여 도선사(Pilot)의 인식에서 도출된 충돌위험의 확률모델을 개발하였고 경험이 적은 도선사가 근접상황에서 회피기동을 결정하고 이행하기 위하여 더 많은 반응시간이 필요할 수 있음을 보고하였다.

한편, 그간의 국내외 관련분야 연구에서 항해사의 HRV를 측정한 사례들은 몇몇 있었으나, 임박한 충돌위험과 관련하여 항해사의 PCR을 정밀 HRV 측정기기로 측정하고 이를 적용하여 항해사의 인적특성요인이 항해사가 지각한 PCR에 미치는 영향을 연구한 사례는 찾아볼 수 없었다.

2.3 이론적 가설 설정

PCR 측정값을 이용하여 항해사의 인적특성 요인이 PCR에 미치는 영향을 규명하기 위해 다음 가설을 수립하였다.

- (1) 가설 1: 항해사의 승선경력, 면허등급, 연령이 각각 많아지면 PCR 값에 각각 부(-)의 영향을 미칠 것이다.
- (2) 가설 2: 승선경력이 상대적으로 많고 적은 두 그룹은 평균(Mean) PCR 값에 차이가 있을 것이다.
- (3) 가설 3: 항해사 면허등급이 상·하위인 그룹 간 평균 PCR 값에 차이가 있을 것이다.

2.4 PCR 측정값 데이터 분석 기법

제 2.3절의 세 가지 이론적 가설을 검증하기 위하여 사용한 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, ‘가설 1’을 검증하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였다. 독립변수는 OC, LR, Age 이었고, 종속변수는 각 충돌

조우 상황별 0.5 NM의 거리에서 측정된 PCR 값이었다.

둘째, ‘가설 2와 3’을 검증하기 위하여 t-검정(t-test)을 사용하였다. t-test는 특정 기능과 관련될 수 있는 두 그룹의 평균 사이에 유의한 차이가 있는지 여부를 결정하는 데 사용되는 추론 통계의 한 유형이다.

다중회귀모델은 종속변수를 설명하는 둘 이상의 독립 변수를 사용할 수 있는 경우 여러 독립 변수를 동시에 고려한다(Song, 2014). 종속 변수가 Y이고 k 독립 변수가 X_1, \dots, X_k 라고 가정하면 다중회귀모델은 다음의 식(1)과 같이 표현된다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

여기서 ε 은 오차 항이다. 이 오차 항은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 정규 분포를 따르는 것으로 가정했다.

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 는 회귀 계수이고 β_i 는 독립 변수 X_i 가 1 단위 증가함에 따라 종속 변수 Y의 값의 변화이다. 설정된 선형 회귀 모델에서 회귀 계수 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 는 최소 제곱법을 사용하여 추정되었다.

만약 (Y, X_1, \dots, X_k) 변수에 대한 랜덤 샘플의 n 데이터가 $(y_1, x_{11}, \dots, x_{1k}), (y_2, x_{21}, \dots, x_{2k}), \dots, (y_n, x_{n1}, \dots, x_{nk})$ 로 표현된다면 최소 제곱법은 제곱 오차의 합을 최소화하여 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 로 추정된다(SSE, 식(2)).

$$SSE \equiv \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \equiv \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 x_{i1} - \dots - \beta_k x_{ik})^2 \quad (2)$$

추정된 회귀 계수가 b_0, b_1, \dots, b_k 로 표현 될 때, 데이터를 통해 추정된 회귀 방정식은 다음의 식(3)과 같이 표현된다.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_k X_k \quad (3)$$

회귀분석 및 t-test는 SPSS Statistics 22(IBM Corp., NY)를 사용하였다(IBM, 2011). 통계적 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 설정되었고 p값의 범위는 0에서 1까지이다(Song, 2014).

3. 근접상황에서 항해사의 충돌위험도 측정실험

3.1 실험설계: 충돌조우방위 범위설정

Fig. 2는 PCR 측정실험 설계를 위한 OS와 TS간 근접 충돌조우 상황별 상대방위각 범위를 나타낸 것이다. COLREG에 따라 피항선과 유지선 개념의 선박 2척을 대상으로 가장 빈번하게 조우 가능한 네 가지 충돌조우상황으로 설정하였다.

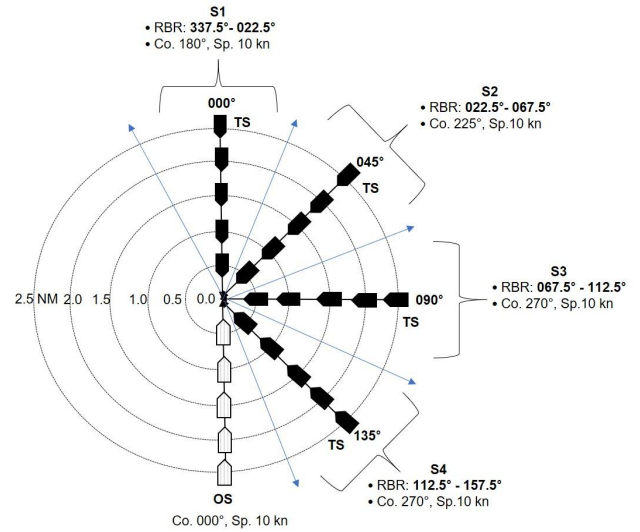


Fig. 2. Relative bearing range by collision encounter situation between OS and TS.

여기서 Nautical mile(NM)은 거리측정단위로 사용되었고, 속도는 Knot(kn)로 측정하였다. 따라서 모든 실험의 결과에서 거리와 속도의 단위는 NM(1 NM은 1,852 m)과 kn으로 표현하였다.

(1) 실험 S1(Situation 1)은 OS와 TS가 OS를 기준으로 상대방위 000°, 거리 2.5 NM부터 충돌 상황인 0.0 NM까지 상호 10 kn의 속력으로 접근하는 상황으로 S1의 상대방위각 범위는 $000^\circ \pm 22.5^\circ$ 에 해당하는 $337.5^\circ \sim 022.5^\circ$ 로 하였다.

(2) 실험 S2는 상대방위 045°, 거리 2.5 NM부터 충돌 상황인 0.0 NM까지 상호 10 kn의 속력으로 접근하는 상황으로 설정 방위각범위는 $045^\circ \pm 22.5^\circ$ 에 해당하는 $022.5^\circ \sim 067.5^\circ$ 이다.

(3) 실험 S3은 상대방위 090°, 거리 2.5 NM부터 충돌 상황인 0.0 NM까지 상호 10 kn의 속력으로 접근하는 상황으로 방위각범위는 $090^\circ \pm 22.5^\circ$ 에 해당하는 $067.5^\circ \sim 112.5^\circ$ 이다.

(4) 실험 S4는 상대방위 135°, 거리 2.5 NM부터 충돌 상황인 0.0 NM까지 상호 10 kn의 속력으로 접근하는 상황으로 설정 방위각범위는 $135^\circ \pm 22.5^\circ$ 에 해당하는 $112.5^\circ \sim 157.5^\circ$ 이다.

3.2 실험 대상선박

Table 1은 시뮬레이터 설계에 사용된 실험 대상선박 2척의 기본 특성을 제시한 것이다. OS는 길이 112 m인 여객선이며 TS는 길이 184 m인 자동차운반선으로 설정하였다. 두 선박의 길이는 국내해역에서 통항하는 통상의 화물선 길이를 감안하여 선정하였으며 기동속도는 연안해역에서 통상의 항행선박 속력을 고려하여 각각 10 kn으로 설정하였다. TS는 OS보다 길이가 긴 선박으로 선정하여 피험자들이 TS의 접근을 보면서 충돌위험도를 쉽게 지각할 수 있도록 하였다.

Table 1. Experimental ship characteristics

Classification	Own ship	Target ship
Ship type	Passenger ferry	Car carrier
Gross tonnage (GT)	3,100	25,400
Length (m)	112	184
Experimental speed (kn)	10	10

3.3 시뮬레이터(Simulator)

측정 실험에 사용된 시뮬레이터는 Transas-Wartsila(Helsinki, Finland)에서 제작한 NTPRO(Navigational Simulator Navi-Trainer Professional) 5000이다. NTPRO 5000은 노르웨이 선급협회인 Det Norske Veritas(DNV-GL)에 의해 인증된 다기능 선박조종 시뮬레이터(Full-mission ship-handling simulator, FMSS)이다. 이 시뮬레이터는 180°의 시야가 확보되며 레이더, 자동조타 장치(Autopilot), 전자해도표시장치(ECDIS) 기능을 이용하여 실제 항해와 동일한 조건을 시뮬레이션 할 수 있는 장점이 있다.

3.4 피험자 선정 및 윤리위원회 승인

피험자로 대형함정(길이 115 m, 총톤수 3,100톤) 항해부서에서 근무하는 해양경찰관 30명이 실험에 참여하였다. 피험자 선정 이유는 다음과 같다. 첫째, 다수가 과거에 상선에서 항해사로 승선했던 경험이 있었고, 둘째로 길이 100 m 이상의 대형함정을 운용한다는 점에서 상선과 유사한 조건에 해당하며, 셋째는 다수피험자를 확보할 수 있는 장점이 있었다. 피험자들의 평균 연령은 39.5±7.5년(±SD)이었으며, 승선경력은 평균 6.4±4.5년(±SD)이었다. 피험자의 항해사 면허 등급은 2등급에서부터 6등급까지 있었다(피험자 중 항해사 면허등급은 6등급이 최하위이며 2등급이 최상위임). Table 2는 피험자 30명의 인구통계학적 특성을 나타낸 것이다.

Table 2. Demographic characteristics of the participants (n=30)

Variable	Classification	Participants	Ratio (%)
Age (years)	20 ~ 39	17	56.7
	40 ~ 60	13	43.3
Onboard career (years)	1 ~ 4	14	46.7
	5 ~ 15	16	53.3
License rating (class)	2 ~ 3	14	46.7
	4 ~ 6	16	53.3

PCR 측정실험은 인간을 대상으로 한 측정실험이므로 보건복지부지정 공용기관생명윤리위원회(KoNIBP)의 승인(승인번호 P01-201910-12-003)을 얻었고 각 피험자는 실험과 관

련된 윤리적 고려사항에 대하여 연구자로부터 설명을 듣고 실험에 참여하기 위하여 서명된 동의서를 제출했다.

3.5 HRV 측정기기

HRV 측정기기는 uBioMacpaVital system records(uBioClip v70)를 이용하여 측정하였다. uBioClip v70은 식품의약품안전처의 품목허가번호(인증번호 KTL-AA-110168)를 받은 의료기기로 모세혈관의 HRV 분석을 통해 심장박동수를 측정하며 피험자의 스트레스 상태를 실시간 파악할 수 있다. 또한 본 기기를 이용하여 학계에 다수의 논문이 발표된바 있다.

Fig. 3은 uBioClip v 70을 이용하여 왼쪽검지 손가락을 측정 단말기에 넣고 측정 테스트를 하는 장면이다.

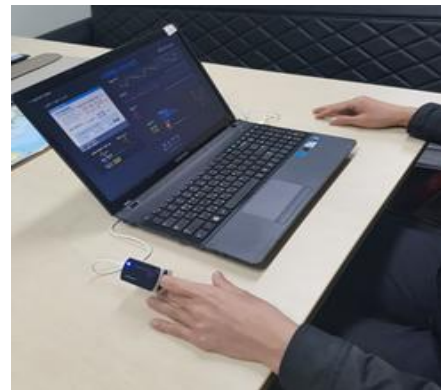


Fig. 3. HRV measurement test scene using uBioClip v70 terminal.

측정 원리는 LED 광원과 센서(Sensor)를 이용하여 손가락의 말초 모세혈관에 빛을 통과시켜 흡수 및 반사되는 양을 신호로 변환하여 분석하며 빛의 흡수율은 심장박동 수축기 혈압의 최대치, 이완기 혈압의 최소치를 나타낸다. HRV 측정값의 단위는 모든 NN간격 표준편차(Standard deviation of all normal to normal intervals, SDNN)를 계산하여 얻은 값으로, 단위는 밀리 초(Milli seconds, ms)이다.

3.6 근접상황에서 조우상황별 항해사의 PCR 측정실험

HRV 측정실험은 피험자 30명에 대하여 한개 조 당 10명씩 시뮬레이터 실에 들어가 S1 상황부터 S4 상황까지 순서대로 시행되었다. 실험은 시뮬레이터 실 밖의 통제실에서 통제관이 스피커를 통하여 실험시작과 종료, 근접 조우상황과 거리를 피험자들에게 각 상황별로 고지하였다.

측정실험은 OS와 TS가 상호 접근하는 상황을 피험자들이 시뮬레이터 화면을 보는 동안 uBioClip v70을 사용하여 연속 측정하였다. 피험자들은 각각 uBioMacpa vital 소프트웨어를 탑재한 노트북 앞에 앉아 측정 단말기에 왼쪽검지 손가락을 올려놓고 시뮬레이터를 보면서 HRV 측정에 임하였다. 측정

선박 근접상황에서 항해사의 인적특성요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향에 관한 연구

데이터는 컴퓨터에 자동으로 기록 및 저장되었다.

Fig. 4는 S1의 실험장면을 촬영한 사진이며 Fig. 5는 S4에 서의 실험장면을 촬영한 샘플사진이다.



Fig. 4. Sample photo of PCR measurement experiments using a simulator in S1.



Fig. 5. Sample photo of PCR measurement experiments using a simulator in S4.

4. PCR 측정값 데이터 분석

4.1 충돌조우 상황별 PCR 측정값의 특징 비교

Table 3은 OS와 TS간 거리 2.5 NM에서 부터 0.0 NM까지의 거리구간에서 측정된 PCR 측정값(HRV값, 단위 ms)의 평균(Mean)값과 표준편차(Standard Deviation, SD)를 0.5 NM의 간격으로 나타낸 것이다.

PCR 측정값의 특징은 거리가 근접하며 측정 수치가 점진적으로 증가하는 양상을 보이며 특히 1.5 NM에서부터 1.0 NM 거리구간에서 큰 폭으로 증가하는 양상을 보인다.

Table 3. Mean and standard deviation of HRV values measured in close-quarters situations (n=30, HRV unit=ms, The numbers in the table are mean value, parentheses are standard deviation)

CQS	Distance between two ships (NM)					
	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.0
S1	26.40 (9.05)	27.90 (9.45)	28.53 (10.07)	32.22 (13.44)	35.34 (13.72)	39.04 (14.27)
S2	29.08 (7.45)	30.15 (7.53)	30.60 (8.03)	34.68 (8.36)	36.66 (8.97)	39.71 (8.89)
S3	29.56 (5.86)	30.58 (5.90)	32.57 (6.70)	38.96 (9.70)	41.04 (10.19)	43.42 (10.00)
S4	32.05 (8.18)	33.58 (8.29)	35.97 (8.51)	42.20 (8.57)	44.36 (8.38)	47.64 (7.84)

Fig. 6은 근접상황별 측정된 평균(Mean) PCR(mPCR) 값을 비교한 그래프이다. mPCR 값은 거리 1.5 NM 구간에서 부터 보다 근접인 1.0 NM 구간에서 가장 현저한 증가폭을 보인다.

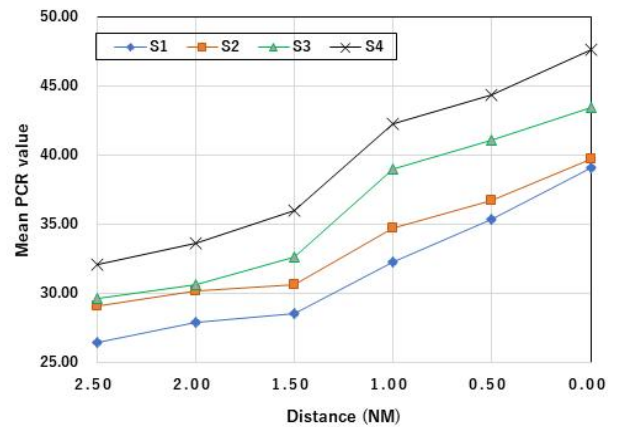


Fig. 6. Comparison graphs of mPCR values in CQS.

4.1.1 S1에서 피험자 30명의 PCR 측정값 평균 비교

Fig. 7은 S1에서 30명에 대한 PCR 측정값을 비교하여 나타낸 그래프이다(거리 1.5 NM~0.0 NM). 횡단선은 거리 1 NM에서의 선형 추세선을 나타낸다. mPCR 값은 3번 피험자가 가장 높고 16번 피험자가 가장 낮게 나타났다. 3번 피험자는 6급 면허가 있고 1년 단기 승선경력 및 그동안 육상근무를 오래(8년)한 것으로 나타났다. 16번 피험자는 4급 면허가 있고 승선경력 9년이며 과거에 소형함정 정장(Captain) 경험이 있었다. 분석결과 면허등급이 상대적으로 하위이거나 승선경력이 적은 피험자는 PCR 값이 높게 나타났고 상위 면허 등급이거나 승선경력이 많고 함장 경험이 있는 피험자는 PCR 수치가 낮게 나타남을 확인할 수 있다.

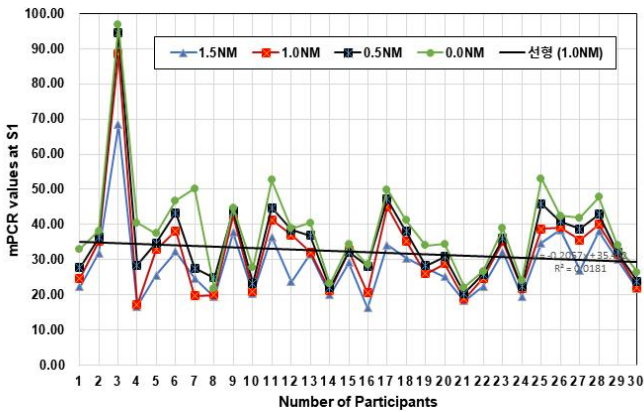


Fig. 7. Graph showing mPCR values of 30 participants in S1.

4.1.2 S3에서 피험자 30명의 PCR 측정값 평균 비교

Fig. 8은 S3에서 PCR 측정값을 비교한 그래프이다. mPCR 값은 17번 피험자가 가장 높고 19번 피험자가 가장 낮다. 17번 피험자는 6급 면허가 있고 승선경력은 3년이었고 19번 피험자는 3급 면허가 있고 승선경력 4년이다. 분석 결과 면허등급이 상대적으로 하위이거나 승선경력이 적은 피험자는 PCR 값이 높게 나타나고 상위 면허등급이거나 승선경력이 많은 피험자는 PCR 값이 낮게 나타났다. 1NM에서의 선형 추세를 보면 S1보다 S3에서 PCR 수치가 높게 나타났을 확인할 수 있다.

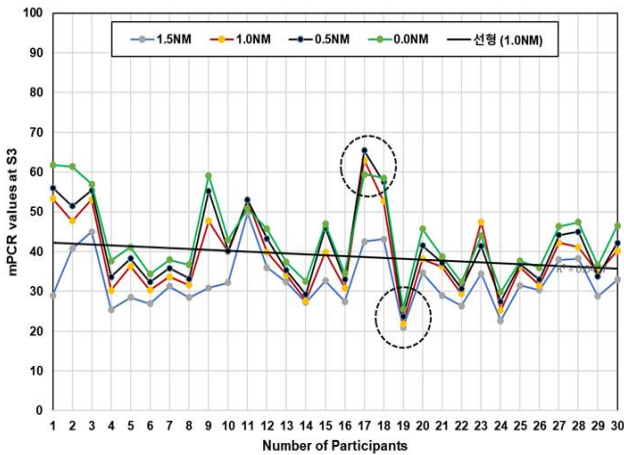


Fig. 8. Graph showing mPCR values of 30 participants in S3.

그래프 분석결과를 기술하지 않은 S2와 S4의 경우에는 Fig. 7의 S1이나 Fig. 8의 S3과 유사한 양상을 보였기 때문에 대표적으로 S1과 S3만 샘플로 선정하여 기술하였다.

「부록」은 S1에서 거리 2.5 NM부터 0.0 NM까지 0.5 NM 간격으로 피험자 30명의 PCR 측정값을 나타낸 표이다. 측정 수치를 비교해 보면 본선과 상대선박의 거리가 근접하면서 피험자별 수치가 점점 증가하는 양상을 확인할 수 있다.

4.2 PCR 측정값에 대한 다중회귀분석

Table 4~6은 제2.3절의 ‘(1) 가설 1’을 검증하기 위하여 수행된 다중회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 독립 변수는 피험자 30명의 승선경력, 면허등급, 연령이며 종속변수는 S1, S3, S4, 각각의 거리 0.5 NM에서의 HRV 측정데이터를 샘플로 선정하였고 S2는 S1, S3, S4와 동일한 양상을 보여 분석결과를 생략하였다.

4.2.1 승선경력 변수가 PCR에 미치는 영향

승선경력(OC) 변수가 PCR에 미치는 영향에 대하여,

(1) S1(Table 4)에서 t값은 -2.544이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.017^{**}$).

(2) S3(Table 5)에서 t값은 -2.503이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.019^{**}$).

(3) S4(Table 6)에서 t값은 -2.166이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.040^{**}$).

‘가설 1’에서 OC 요인은 모두 유의미한 것으로 평가되었다(Table 4~6). 즉, OC 변수는 PCR에 부(-, negative)의 영향을 미치므로 OC가 상대적으로 많으면 PCR은 상대적으로 감소하고 OC가 상대적으로 적으면 PCR은 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 승선경력이 적은 항해사는 타 선박과 근접상황에서 PCR이 높아져 충돌의 위험성도 높아질 것으로 예상된다.

4.2.2 항해사 면허등급 변수가 PCR에 미치는 영향

면허등급 변수(LR)가 PCR에 미치는 영향에 대하여,

(1) S1(Table 4)에서 t값은 -2.103이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.045^{**}$).

(2) S3(Table 5)에서 t값은 -3.115이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.004^{***}$).

(3) S4(Table 6)에서 t값은 -2.646이었으며 통계적으로 유의미하게 나타났다($p=0.014^{**}$).

따라서 (1), (2)와 (3)을 종합하면 ‘가설 1’에서 LR 요인도 유의미한 것으로 나타났다(Table 4~6). 즉, LR 요인도 역시 PCR에 부(-, negative)의 영향을 미치므로 항해사 면허등급이 하위인 항해사는 상위인 항해사 보다 더 높은 PCR 값이 나타나기 때문에 충돌의 위험성도 높아질 것으로 예상할 수 있다.

선박 근접상황에서 항해사의 인적특성요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향에 관한 연구

Table 4. Multiple regression analysis results in S1 for hypothesis

DV	V	SE	β	t-value	p-value	T
PCR in S1 (D=0.5 NM), n=30	Constant	9.507	-	5.238	0.000	
	License rating	1.664	-0.362	-2.103	0.045**	0.562
	Onboard career	0.513	-0.498	-2.544	0.017**	0.435
	Age	0.243	0.072	0.471	0.642	0.704
R=.753, R ² =.567, Adjusted R ² =.517, F=11.353, p=.000, Durbin - Watson=2.527						

DV=dependent variable, V=variable, SE=standardized error, β =beta value, T=tolerance. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01

Table 5. Multiple regression analysis results in S3 for hypothesis

DV	V	SE	β	t-value	p-value	T
PCR in S3 (D=0.5 NM), n=30	Constant	6.917	-	8.072	0.000	
	License rating	1.211	-0.478	-3.115	0.004***	0.562
	Onboard career	0.373	-0.436	-2.503	0.019**	0.435
	Age	0.177	0.052	0.383	0.705	0.704
R=.810, R ² =.656, Adjusted R ² =.617, F=16.556, p=.000, Durbin - Watson=1.214						

DV=dependent variable, V=variable, SE=standardized error, β =beta value, T=tolerance. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01

Table 6. Multiple regression analysis results in S4 for hypothesis

DV	V	SE	β	t-value	p-value	T
PCR in S4 (D=0.5 NM), n=30	Constant	7.903	-	8.189	0.000	
	License rating	0.622	-0.410	-2.646	0.014**	0.562
	Onboard career	0.406	-0.361	-2.166	0.040**	0.435
	Age	0.198	-0.292	-1.700	0.101	0.704
R=.652, R ² =.425, Adjusted R ² =.359, F=6.402, p=.002, Durbin - Watson=1.454						

DV=dependent variable, V=variable, SE=standardized error, β = beta value, T=tolerance. *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01

4.2.3 연령변수가 PCR에 미치는 영향

시험자의 연령(Age) 변수는 S1, S3, S4에서 모두 p 값이 통계적으로 유의미하지 않았다(각각 p=0.642, 0.705, 0.101). 따라서 ‘가설 1’의 연령요인은 기각되었다(Table 4~6).

4.3 인적요인별 두 그룹 간 PCR 값의 유의미한 차이 비교

제2.3절의 ‘(2) 가설 2’를 검증하기 위하여 OC와 LR요인을 대상으로 각각에서 다른 특정 두 그룹 간 PCR 값의 차이를 비교하기 위하여 t-검정(T-test)을 실시하였다. 독립변수는 피험자 30명의 OC, LR이며 종속변수는 S1과 S3, 거리 1.0 NM과 0.5 NM에서의 HRV 측정값을 샘플로 선정하였다.

(1) OC 변수는 OC 4년 이하 그룹을 A그룹(A그룹≤4년), 5년 이상 그룹을 B그룹(B그룹≥5년)으로 구분하였다.

(2) LR 변수는 면허등급 2~3 등급을 C그룹(Class 2~3)으로, 4~6 등급을 D그룹(Class 4~6)으로 구분하였다.

여기서 OC를 4년을 기준으로 구분한 이유는 선박직원법 시행령 제 5조의 2에 의하면 원양수역을 항해구역으로 하는 총톤수 500톤 이상 상선의 3급에서 2급 항해사로의 면허를 위한 승무경력기간이 4년(단, 총톤수 1,600톤 이상의 상선은 2년임)이기 때문이다(Enforcement decree of the ship personnel act, 2017). 또한, LR을 3급 기준으로 구분한 것은 해양관련 대학을 졸업하면 3급 항해사 면허취득 자격이 주어지기 때문이다.

4.3.1 승선경력 변수에서 두 개의 대-소그룹 간 차이비교

OC 요인이 PCR에 미치는 영향과 관련하여 OC 기간이 적은 그룹(A그룹≤4년)과 많은 그룹(B그룹≥5년) 간 차이를 비교하기 위하여 t-검정을 수행한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. T-test results for two groups (S1, S3), with different OCs

Classifi- cation	Mean		Std. deviation		T	p
	A≤4y (n=14)	B≥5y (n=16)	A≤4y	B≥5y		
S1, 0.5 NM	42.68	28.70	13.044	5.351	3.933	.001***
S1, 1.0 NM	38.43	26.36	13.906	5.834	3.175	.004***
S3, 0.5 NM	46.18	36.40	9.980	6.955	3.147	.004***
S3, 1.0 NM	43.88	34.22	9.515	6.135	3.347	.002***

y=year, *p < 0.1, **p < 0.05, ***p < 0.01

첫째, S1에서 각각 0.5 NM과 1.0 NM에서의 p값은 각각 $p=0.001^{***}$, $p=0.004^{***}$ 로 유의미하게 나타났다. 0.5 NM에서 그룹 A와 B의 PCR 값은 각각 42.68과 28.70으로 승선경력 4년 이하인 그룹 A의 PCR 값이 상당히 높게 나타났다.

둘째, S3에서도 동일한 양상을 보였다. 즉, 0.5 NM과 1.0 NM의 p값도 역시 유의미하였으며, 0.5 NM에서 A그룹의 PCR 값은 46.18로 B그룹의 PCR 값인 36.40에 비하여 상당히 높게 나타났다.

분석결과 공통으로 A그룹에서 PCR 값이 더 높게 나타났기 때문에 항해사의 승선경력이 적을수록 PCR 값이 더 높게 나타나는 것으로 평가된다. 따라서 제2.3절의 ‘가설 2’은 유의미한 것으로 확인되었다.

4.3.2 면허등급 변수에서 상·하위 그룹 간 차이 비교

LR변수가 상위인 그룹(C그룹: 2~3급)과 하위인 그룹(D그룹: 4~6급) 간 PCR 값의 차이를 비교하고자 t-검정을 수행하였다(Table 8). S1에서, 0.5 NM과 1.0 NM에서의 p값은 각각 0.006^{***} 과 0.004^{***} 로 유의미하게 나타났다. 거리 0.5 NM에서, 그룹 C와 D의 PCR 값은 각각 29.09와 40.60으로 LR 4~6급인 그룹 D의 PCR 값이 더 높게 나타났다. S3에서도 동일한 양상으로 나타났다. 따라서 제 2.3절의 ‘가설 3’은 유의미한 것으로 확인되었다.

Table 8. T-test results for two groups (S1, S3), with different LR

Classification	Mean		Std. deviation		T	p
	C class 2~3 (n=14)	D class 4~6 (n=16)	C class 2~3	D class 4~6		
S1 0.5 NM	29.09	40.60	6.745	12.960	-2.985	.006***
S1 1.0 NM	25.54	37.64	6.517	12.829	-3.182	.004***
S3 0.5 NM	34.44	46.67	5.389	9.095	-4.396	.000***
S3 1.0 NM	32.63	44.07	4.883	8.765	-4.323	.000***

y=year, * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

5. 검토 및 활용방안

항해사의 인적요인이 선박 충돌사고의 주요한 원인임에도 그간의 주요한 충돌회피에 관한 연구들은 인적요인을 고려하지 않고 항해사를 배제한 연구가 대부분이었다. 그러나

본 연구는 항해사가 지각한 충돌위험도를 충돌조우상황 시 물레이션을 이용하여 실제 상황과 유사한 상황에서 실험을 통하여 HRV 정밀 측정기기로 PCR값을 측정하고 인적특성 요인이 PCR에 미치는 영향을 분석하였다는 점에서 중요성이 있다고 평가된다.

이전 연구에서 Kim(2018)은 해양경찰 대형함정 2척을 이용하여 본 실험과 유사한 네 가지 대표적인 상대방위 관계에 따른 조우상황 실선실험으로 PCR 측정실험을 하였다. 여기서 항해당직자들이 개인별 체감하는 PCR 값을 최소 0에서 최대 100(수치가 높을수록 위험도 증가)까지의 수치 값으로 기록하는 방법을 사용하였으나 정밀 HRV 측정기기를 이용하여 측정값의 신뢰성과 타당성을 확보한 본 연구에서 행한 측정방법과는 차이가 있다. 본 장에서는 측정값 분석결과를 정리하고 실무에서의 활용방안에 대하여 제안 하였다.

5.1 OC와 LR 요인이 PCR에 미치는 영향과 활용방안

Fig. 9와 10은 Table 7과 8에서와 같이 인적특성 변수인 OC와 LR이 PCR에 미치는 영향을 도식으로 나타낸 것이며 적용조건은 다음과 같다.

- (1) 선박 간 거리는 1.5 NM 이내이고 TS의 길이는 184 m, 양 선박의 속력은 10 kn 이상이다.
- (2) 근접상황은 S1($000^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$), S2($045^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$), S3($090^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$), S4($135^{\circ} \pm 22.5^{\circ}$)이다.
- (3) COLREG Rule 14 (Head-on situation)와 15 (Crossing situation)가 적용된다.

Fig. 9와 10은 샘플로 S1에서 거리 1 NM 및 0.5 NM일 때 OC와 LR이 PCR에 미치는 영향을 이해하기 쉽도록 도식으로 나타낸 것이다. 분석결과 네 가지 조우상황은 모두 유사한 양상을 보였기 때문에 샘플로 S1만 나타내었다.

Fig. 9에서, $OC \leq 4$ (mPCR value 38.43)이거나 $LR \leq 4 \sim 6$ (mPCR value 37.64)일 경우, 항해사의 PCR 값이 상대적으로 높아진다. 그러나 $OC \geq 5$ (mPCR value 26.36)이거나 $LR \geq 2 \sim 3$ (mPCR value 25.54)일 경우, PCR 값은 전자보다 낮아진다.

Fig. 10에서, 거리가 0.5 NM로 근접하며, OC와 LR 그룹의 mPCR은 Fig. 9와 동일한 패턴을 보이고, 각 mPCR 값은 Fig. 9의 각 값보다 높게 나타났다.

이러한 결과는 Kim(2018)이 실선실험을 통하여 선박운항자들이 각자가 체감하는 PCR값을 기록용지에 기록한 값을 분석한 결과와 유사하다.

이러한 결과가 주는 함의와 항해사가 실무에서 충돌회피를 위한 활용방안에 대하여 다음과 같이 제안하고자 한다.

근접상황에서 항해사에게 유발되는 높은 PCR은 경험이 부족한 항해사에게 상당한 심리적 부담으로 작용하게 되므로 특히, 승선경력이 4년 이하이거나 면허등급이 4급 이하인

선박 근접상황에서 항해사의 인적특성요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향에 관한 연구

초급 항해사의 경우에는,

첫째, 선박 간 거리 1.5 NM 이내(Fig. 6)이며 양 선박의 속력이 10 kn 이상으로 충돌 가능한 침로로 접근하는 경우에 항해사는 근접상황에서 PCR이 상승할 수 있다는 점을 인식하여야 한다. 또한, 이러한 상황에서는 보다 세심한 주의를 기울여 상대선박의 기동을 지속적으로 감시 및 경계하고 레이더의 ARPA 기능을 충분히 활용하여 충돌 가능성 여부를 검토하고 조기에 충분한 충돌회피 조치가 요구된다.

둘째, 항해 전문교육과 충돌회피 항법과 관련된 시뮬레이터 교육훈련을 통하여 전문적이고 충분한 항해경험을 쌓는다면 근접상황에서 PCR 증가에 따른 당황이나 급성스트레스 유발로 인한 인적오류 발생 가능성이 적어질 것으로 예상된다.

향후에 추가적인 분석기준을 적용하여 다양한 결과가 도출될 수 있겠으나 본 연구에서는 기초연구 측면에서 항해사의 특정한 인적특성요인이 충돌위험도에 미치는 영향을 식별하였다는 점에서 의의를 두고자 한다.

Table 9. Summary of experimental results: Perceived collision risk factors

Collision risk factors		Experimental results	
Influence of the *PC of the Navigator on PCR	Onboard career	Negative (-)	OC ≤ 4 years, PCR ↑ OC ≥ 5 years, PCR ↓
	License rating	Negative (-)	LR ≤ 1~3 class, PCR ↓ LR ≥ 4~6 class, PCR ↑
	Age	No significance	

* PC: Personal characteristics

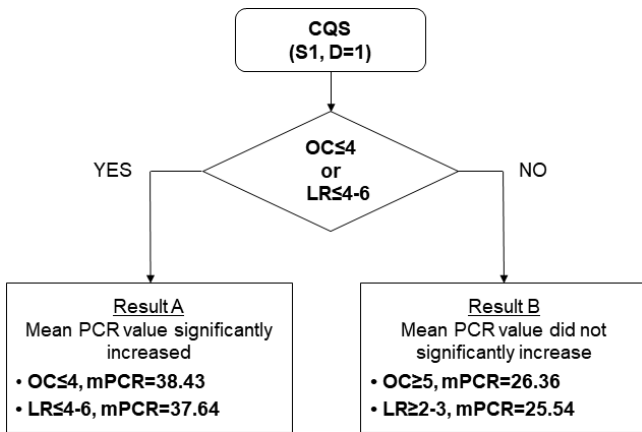


Fig. 9. Influence of OC and LR on PCR in CQS (S1, D=1.0 NM).

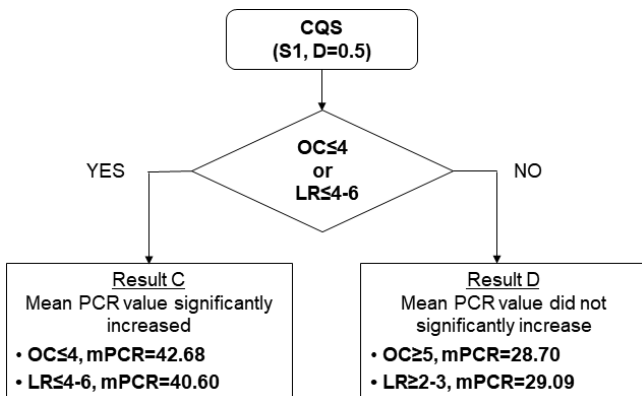


Fig. 10. Influence of OC and LR on PCR in CQS (S1, D=0.5 NM).

5.2 항해사가 지각한 충돌위험요인

Table 9는 본 연구에서 PCR 측정값 분석결과인 항해사가 지각한 충돌위험요인(Perceived collision risk factors)을 정리한 것이다.

5.3 적용 제한사항

본 연구결과는 다음과 같은 제한이 있다. 첫째, 본선의 길이는 112 m, TS의 길이는 184 m이었으며 속력 파라메타는 특정 기준인 10 kn를 적용하였다. 실험 기준속력을 10 kn으로 지정한 이유는 통상의 연안항해 선박 속도를 감안하여 기준 속력이 요구되었기 때문이었다. 둘째, 근접 조우상황 실험은 COLREG 제15조(횡단상황) 및 피항선의 의무를 적용하여 본선을 기준으로 우현으로 000° ~ 180°의 상대방위 범위에서 4개의 대표적 조우상황만을 고려하였다.

6. 결론

해양사고의 80% 이상이 항해사의 인적오류로 인하여 발생한다고 보고된바 있다. 본 연구는 항해사가 선박 간 근접상황(CQS)에서 심리적인 충돌의 두려움으로 당황(Panic)하여 적절한 충돌 회피조치를 수행하지 못함으로써 항법안전이 위협받는 충돌 위기상황을 연구하였다.

근접상황에서 항해사의 인적특성 요인이 지각한 충돌위험도(PCR)에 미치는 영향을 규명하기 위하여 본선과 상대선박 개념의 두 척의 대형선박을 설정하고 해상에서 빈번하게 조우 가능한 네 가지 대표적인 상대방위각을 설정하여 근접에서부터 충돌상황까지 시뮬레이션 하였다. 또한, 30명의 항해사가 지각한 PCR을 정밀 심박동 측정기기를 이용하여 측정 및 분석하였다.

항해사의 인적특성 요인인 승선경력, 면허등급 및 연령변수가 PCR에 미치는 영향에 대하여 회귀분석을 실시한 결과 승

선경력과 면허등급 변수가 95 % 신뢰수준($p < 0.05$)에서 유의미하게 부(-)의 영향을 미치는 것으로 관찰되었다.

본 연구의 의의는 충돌 위기상황에서 당직 항해사가 당황하지 않고 조기에 적절한 충돌회피조치를 취할 수 있도록 지원하기 위하여 항해사의 인적특성 요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향을 규명한 점과 도출된 유의미한 결과에 대한 활용방안을 제시하였다는 점에서 중요한 의미가 있다.

본 연구결과의 적용에는 제 5.3절에 제시한 상대선박의 길이와 속력 등 제한사항을 고려하여야 하고 항해사가 실제 조선헌 때의 상황과 시뮬레이션 조선헌 상황에서의 심리상태는 다를 것이며, 시뮬레이션 선박을 직접 조선헌 때와 단순히 시뮬레이터 화면을 보는 상황에서의 심리상태 또한 차이가 있을 것으로 예상되는 한계가 있다는 점을 밝혀둔다.

본 연구결과는 향후, 항해사의 안전항해를 지원하기 위한 충돌위험 경보시스템이나 초보 항해사를 위한 충돌회피 전문교육훈련 시뮬레이션 프로그램 등의 개발에 적용 가능할 것으로 기대되며 세부 구현방법과 다양한 활용방안에 대해서는 추가 연구가 진행되어야 하겠다.

사 사

본 연구에 도움을 주신 군산해양경찰서 소속 해양경찰관 여러분께 감사드립니다.

Reference

- [1] Bin, L.(2006), Behavior of ship officers in maneuvering to prevent a collision, *J Mar Sci Tech.*, Vol. 14, pp. 225-230.
- [2] Castaldo, R., W. Xu, P. Melillo, L. Pecchia, L. Santamaria, and C. James(2016), Detection of mental stress due to oral academic examination via ultra-short-term HRV analysis, *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.*, pp. 3805-3808.
- [3] Chin, H. C., and A. K. Debnath(2009), Modeling perceived collision risk in port water navigation, *Saf Sci.*, Vol. 47, No. 10, pp. 1410-1416.
- [4] Cohen, I., W. P. Brinkman, and M. A. Neerincx(2015), Modelling environmental and cognitive factors to predict performance in a stressful training scenario on a naval ship simulator, *Cognit Technol Work*, Vol. 17, pp. 503-519.
- [5] Enforcement decree of the ship personnel act(2017), Article 5, <http://www.law.go.kr/> (Accessed: July 2020).
- [6] Harry, J. D., and R. Freeman(1993), Determining heart-rate variability: comparing methodologies using computer simulations, *Muscle Nerve*, Vol. 16, pp. 267-277.
- [7] IBM SPSS Statistics(2011), Ver. 21.
- [8] IMO(1972), Convention on the International Regulations for Preventing Collision at Sea [with Amendments Adopted from December 2009]. International Maritime Organization, London, UK.
- [9] 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.
- [10] Iwasaki, H. and K. Hara(1986), A Fuzzy Reasoning Model to decide the Collision Avoidance Action (in Japanese), *The Journal Japan institute of Navigation*, Vol. 75, pp. 69-77.
- [11] Kim, D. H.(2020), Identification of collision risk factors perceived by ship operators in a vessel encounter situation, *Ocean Engineering*, Vol. 200, 107060, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107060>.
- [12] Kim, D. S.(2018), A Study on the Identification of Maximum Collision Risk Bearing Angle by Measuring Perceived Ship Collision Risk. doctoral dissertation, Mokpo National Maritime University.
- [13] Kim, D. S. and J. B. Yim(2016), A Study on the Collision Risk Perception Index to OOW's According to Vessel Encountering Situations, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 22, No. 1, pp. 98-107.
- [14] KMST(2019), Statistical Year Book for Maritime Accidents, Korea Maritime Safety Tribunals (KMST), pp. 1-118.
- [15] Koszelew, J. and P. Wolejsza(2018), Determination of the last moment manoeuvre for collision avoidance using standards for ships manoeuvrability, *Annu Navig.*, Vol. 24, No. 1, pp. 301-313.
- [16] Lee, Y. S., J. M. Park, and Y. J. Ahn(2014), A Study on the Initial Action of Navigators to Avoid Risk of Collision at Sea, *Journal of navigation and port research*. Vol. 38, No. 4, pp. 327-333.
- [17] Nakayama, N., N. Arakawa, H. Ejiri, R. Matsuda, and T. Makino(2008), Heart rate variability can clarify students' level of stress during nursing simulation, *PLoS ONE*. Vol. 13, e0195280.
- [18] Rothblum, A.(2007), Human Error and Marine Safety, *Semantic Scholar*. [Online]. Available at: <https://semantic scholar.org/paper/Human-Error-and-Marine-Safety-Rothblum>, [Accessed at 7th Mar. 2020].
- [19] Simon, F. and C. Corbett(1996), Road traffic offending, stress, age, and accident history among male and female drivers, *Ergonomics*, Vol. 39, pp. 757-780.
- [20] Smith, F. E., E. J. Bowers, P. Langley, J. Allen, A. Murray (2002), Heart rate variability characteristics required for

simulation of interval sequences. in Conference: Computers in Cardiology, pp. 237-240.

- [21] Song, J. J.(2014), SPSS/AMOS statistical analysis method for writing paper, 21 Century book, No. 2, pp. 14-206.
- [22] STCW IMO(1978), International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers; 1978 (MSC.203(81)).
- [23] Wikipedia(2020), Sanchi oil tanker collision. [Online], Available at: <https://en.wikipedia.org>, [Accessed at 17th Feb. 2020].
- [24] Wu, M., H. Cao, H. L. Nguyen, K. Surmacz, and C. Hargrove(2015), Modeling perceived stress via HRV and accelerometer sensor streams, Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc., pp. 1625-1628.
- [25] Zhang, W., F. Goerlandt, J. Montewka, and P. Kujala(2015), A method for detecting possible near miss ship collision from AIS data, Ocean Eng., Vol. 107, pp. 60-69.

Received : 2020. 09. 22.

Revised : 2020. 10. 22. (1st)

: 2020. 10. 27. (2nd)

Accepted : 2020. 10. 28.

[부록]

PCR measured values by distance interval of 30 participants in S1(n=30, HRV unit=ms)

No.	2.5 NM	2.0 NM	1.5 NM	1.0 NM	0.5 NM	0.0 NM
1	20.09	21.08	22.24	24.75	27.73	33.00
2	27.67	29.16	31.79	35.09	36.32	38.19
3	57.72	60.59	68.41	88.38	94.53	96.70
4	15.30	15.83	16.68	17.16	28.38	40.38
5	23.92	24.36	25.54	32.84	34.76	37.38
6	30.86	31.68	32.34	38.09	43.35	46.82
7	20.35	25.77	24.75	19.61	27.62	50.25
8	17.79	20.16	19.46	20.01	24.79	21.67
9	35.26	35.81	37.76	42.61	43.91	44.72
10	19.05	19.70	20.39	20.96	23.30	27.65
11	35.89	35.83	36.43	41.32	44.78	52.61
12	26.30	23.31	23.71	37.06	38.50	38.89
13	28.76	31.60	31.63	32.14	36.92	40.52
14	18.12	19.13	19.98	21.09	21.99	23.15
15	22.25	26.07	29.16	32.53	32.18	34.28
16	12.17	14.84	16.26	20.53	28.19	28.49
17	32.37	33.14	34.16	45.08	47.17	49.95
18	29.66	29.69	30.39	35.36	38.01	41.22
19	26.66	41.29	27.72	25.91	28.30	34.00
20	22.94	23.38	25.13	28.87	30.79	34.37
21	17.15	17.45	18.23	18.75	20.44	22.04
22	21.30	21.58	22.33	24.63	25.87	26.64
23	29.60	30.83	32.10	35.10	36.02	38.89
24	18.97	19.22	19.48	21.87	22.20	24.00
25	32.24	32.84	34.78	38.71	45.88	53.07
26	37.64	37.96	38.46	39.15	40.85	42.46
27	25.31	25.83	26.93	35.63	38.76	41.90
28	37.40	37.85	38.06	40.09	42.90	47.74
29	29.69	30.87	30.02	31.36	32.06	33.98
30	19.62	20.21	21.63	22.05	23.81	26.36