

해양사고 종류별 선원의 행동오류 식별

박득진* · 양형선** · † 임정빈

*목포해양대학교 대학원, **목포해양대학교 항해학부, † 한국해양대학교 항해학부

Identifying Seafarer's Behavioral Error by Marine Accident Type

Deuk-Jin Park* · Hyeong-Seon Yang** · † Jeong-Bin Yim

*Graduate course of Navigation System Engineering, Mokpo National Maritime University, Korea

**Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Korea

† Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Korea

요약 : 해양사고를 야기한 선원들의 행동오류 식별은 해양사고 예방, 저감 또는 억제에 중요한 단서가 된다. 본 연구의 목적은 SRKBB(Skill-, Rule-, and Knowledge Based Behavior) 이론을 이용하여 해양사고 종류별로 선원들의 행동오류를 식별하는데 있다. 행동오류 식별을 위하여 9년간(2008~2016)의 해양사고 제결서 1,744건에 기록된 사고내용을 수집한 후, 사고를 야기한 선원들의 행동오류를 SBBE(Skill-Based Behavioral Error), RBBE(Rule-Based Behavioral Error), KBBE(Knowledge-Based Behavioral Error) 세 가지 종류로 분류하였다. 행동오류 분류를 위하여 SRKBB 이론을 적용한 행동오류 분류용 프레임워크를 제안하고, 이 프레임워크를 이용하여 행동오류 데이터를 구축하였다. 사고종류별 행동오류의 빈도를 분석한 결과, 충돌사고는 SBBE가 가장 높은 빈도로 관측되었고, 이어서 RBBE가 두 번째로 높은 빈도로 관측되었다. 이에 반하여 좌초, 전복 및 침몰 등의 사고는 KBBE 중에서 높은 빈도로 관측되었다. 연구결과, 해양사고 종류별로 선원들의 행동오류 식별이 가능하였고, 해양사고 종류별 사고 예방에 필요한 선원들의 행동오류 보정에 관한 단서를 확보할 수 있었다.

핵심용어: 해양사고, 선원, 행동오류, SRKBB, 사고종류, 빈도

Abstract : The identification of behavioral errors by seafarers that have caused marine accidents may provide important clues for the reduction or prevention of marine accidents. The purpose of this study is to identify the behavioral errors of seafarers by the type of marine accident using the theory of Skill-, Rule-, and Knowledge-Based Behavior (SRKBB). In order to identify behavioral errors, we collected the information related to 1,744 cases of maritime accidents over a 9 year period (2008 ~ 2016). The behavior errors of the seafarers who caused the marine accidents were classified as SBBE (Skill-Based Behavioral Error), RBBE (Rule-Based Behavioral Error), and KBBE (Knowledge-Based Behavioral Error). After analyzing the frequency of behavioral errors according to the type of marine accident, results showed SBBE had the highest frequency of errors, followed by RBBE. Additionally, the frequency of occurrence of accidents such as stranding, overturning, and sinking was high in KBBE. This study showed it is possible to identify behavioral errors of seafarers according to the type of marine accidents.

Key words : Marine Accident, Seafarer, SRKBB, Type of Accidents, Frequency

1. 서 론

중앙해양안전심판원의 해양사고 통계연보에 의하면 2012년에서 2016년까지의 해양사고 중 인적오류로 인한 사고가 전체 해양사고의 약 85% 이상인 것으로 보고되어있다(KMST, 2016).

이러한 인적오류에 의한 해양사고의 예방, 저감 또는 억제를 위해서는 무엇보다 우선하여 해양사고를 야기한 해기사의 잘못된 행동(즉, 행동오류)을 식별하는 것이 중요하다(Yim et al., 2014). 그 이유는, 해기사의 행동오류는 반복적인 교육과

훈련을 통해서 보완 또는 보정이 가능한데, 이를 위해서는 어떠한 행동오류가 해양사고 종류별로 발생하는지를 우선 알아야 하기 때문이다(Yim, 2017a).

현재 세계적으로 다양한 학문분야에서 인적오류 예방, 저감 또는 억제를 위한 방대한 연구가 진행되고 있다(Chauvin et al., 2008). 특히 Rasmussen(1983)이 제안한 SRKBB(Skill-, Rule-, Knowledge-Based Behavior) 이론은 인간의 행동을 세 가지 유형(즉, Skill, Rule, Knowledge)으로 분류하기 위한 것인데, 사회과학은 물론 공학 분야에서도 현장에 적용되고 있다. 예를 들어, 항공 분야(Imbert et al., 2015), 핵발전소(Lin

† Corresponding author : 중신회원, jbyim@kmou.ac.kr 061) 240-7170

* 정회원, pdj@mmu.ac.kr 061) 240-7156

(주) 이 논문은 “해기사 SRK 행동 측정방법 고찰”이란 제목으로 “2017년 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집(2017.4.27, p.59)”에 일부 내용이 발표되었음.

et al., 2014), 증전압 전기 분야(Drivalou and Marmaras, 2009), 운전 분야(Stanton, N.A. and Salmon, P.M., 2009) 등에서 인적오류 예방에 인간행동 이론을 적용한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구 분야는 사고가 발생하면 막대한 경제적 또는 인명 피해가 발생하는 것이 특징이다.

아울러, Reason(1990)은 SRKBB 이론에 SLMV(Slip, Lapses, Mistakes and Violation) 이론을 접목한 행동오류 분류방법을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 SRKBB 이론에 근거한 Reason(1990)의 행동오류 방법을 적용하여 행동오류를 SBBE(Skill-Based Behavioral Error), RBBE(Rule-Based Behavioral Error), KBBE(Knowledge-Based Behavioral Error) 3가지 유형으로 분류하였다. 그리고 행동오류의 빈도를 분석하여 선원의 어떠한 행동오류의 빈도가 해양사고 종류별로 관측되는지를 식별하였다.

한편, 선행연구(Park, 2018)에서, 선원의 행동오류가 식별 가능하다면 선원의 인적오류 추정과 인적오류 예방을 위한 대응방안의 수립이 가능한 것으로 고찰된 바 있다. 그리고 Yim(2017b)의 선행연구에서는 해양사고에 나타난 선원의 부족한 능력을 SRKBB 이론으로 분류 가능함을 보고한 바 있다. 이러한 Yim(2017b)의 연구는 해기사의 행동오류에 관점을 둔 것이 아니라 해기사의 부족한 능력을 식별한 것임에 반하여 본 연구에서는 SBBE, RBBE, KBBE 등 세 가지의 유형으로 행동오류를 식별하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 행동오류 식별을 위한 연구방법과 절차를 설명하고, 행동오류 식별을 위한 프레임워크(framework) 구축 방법을 제안하였다. 3절에서는 행동오류 식별을 위한 데이터 구축결과를 나타내고, 4절에서는 행동오류 빈도의 분석결과를 나타냈다. 마지막으로 5절에서 연구결과를 요약하였다.

2. 연구접근 방법

2.1 연구절차

Fig. 1은 선원의 행동오류 식별을 위한 연구절차를 나타낸 것으로, 다음과 같이 총 5개의 단계(steps)로 진행하였다.

Step 1: 중앙해양안전심판원의 재결서를 이용하여 해양사고 데이터를 수집한다.

Step 2: 선원의 행동오류 식별을 위한 프레임워크(framework)를 구축한다.

Step 3: 프레임워크를 이용하여 해양사고에 내포된 선원들의 행동오류를 분류한다. 여기서, 한 건의 해양사고에는 선원의 다양한 행동오류가 포함될 수 있다. 이를 고려하기 위하여 한 건의 해양사고를 3개 이내의 행동오류로 분류한다. 그리고 행동오류는 후술하는 행동오류 식별용 프레임워크에서 정의한 SBBE(Skill-Based Behavioral Error), RBBE(Rule-Based

Behavioral Error), KBBE(Knowledge-Based Behavioral Error) 중에서 하나를 선택한다.

Step 4: 사고종류별 행동오류 유형에 대한 빈도를 계산하고 분석한다.

Step 5: 분석 결과를 통해서 사고종류에 영향을 미치는 선원의 행동오류를 식별한다.

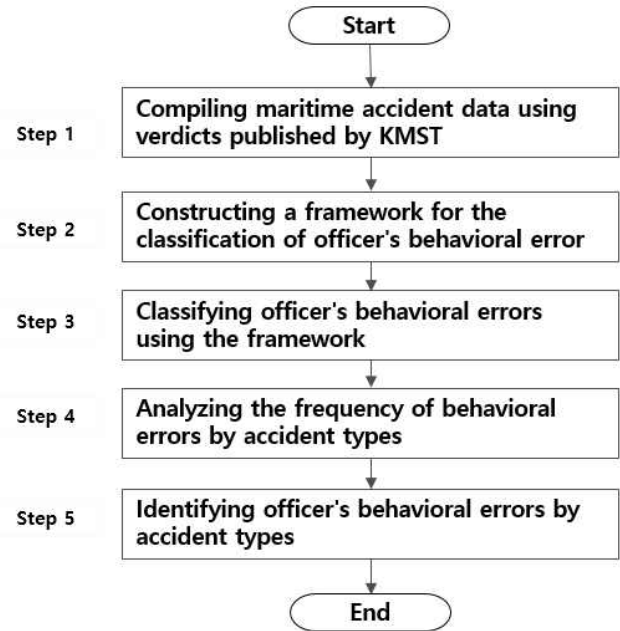


Fig. 1 Procedure for the identification of officer's behavioral errors by accident types

2.2 해양사고를 야기한 선원의 행동과 행동오류의 정의

사람의 행동을 정의하는 방법은 목적에 따라서 다양하다. 본 연구에서 사람의 행동을 정의하는 목적은 해양사고를 야기한 선원의 핵심적인 행동(즉, 행동오류)을 식별하기 위함이다.

여기서, 해양사고가 발생할 때 선원이 취한 행동(behavior)과 행동오류(behavioral error)는 분리하여 고려할 필요가 있다. 예를 들어, 해양사고가 발생할 때 선원은 다양한 행동을 취할 수 있는데, 이러한 행동 중에서 해양사고를 야기한 주요한 행동을 행동오류로 분류하는 것이다.

따라서 행동오류를 식별하기 위해서는 행동을 분류하는 최적의 이론을 선정해야 하고, 선정된 이론을 토대로 행동오류를 식별하기 위한 방법을 찾아야 한다.

본 연구에서는 선원의 행동을 분류하기 위한 이론으로 Rasmussen(1983)이 제안한 SRKBB 이론을 적용하였고, 인적오류의 분류인 Reason(1990)의 이론을 추가로 접목하였다. SRKBB 이론을 적용한 이유는 다음과 같다. 일반적으로 선원은 반복적인 교육과 훈련을 통해서 기술(skill, S)과 규칙(rule, R) 및 지식(knowledge, K)을 함양하고 현장경험을 통해서 이러한 S, R 및 K의 고도화를 도모한다. 즉, S, R, K 등 세 가지

요소가 선원의 행동을 결정하는 요인으로 대별할 수 있다. 물론, 세 가지 요소 이외에도 정신(spirit), 능력(competence) 등 다양한 요인을 고려할 수 있으나 검증된 바가 없고, 현재까지 사회과학과 공학 분야에서 이미 입증되고 널리 사용되고 있는 것은 SRKBB 이론이다. 그래서 본 연구에서도 SRKBB 이론을 선원의 행동을 분류하는 이론으로 선정하였다.

한편, S, R, K 등의 세 가지 요소에 기반을 두고 나타나는 행동은 주어진 환경이나 사건을 처리하는 절차 또는 의사결정 방법 등에 따라서 정의할 수 있는데, Rasmussen이 정의한 내용을 요약하면 다음과 같다(Rasmussen, 1982; Rasmussen, 1983).

S 기반의 행동은 의식적인 제어나 통제 없이 자동화되고 고도로 통합된 행동 패턴으로 나타나는 것으로, 의도하거나 무의식적으로 나타나는 행동이나 활동 중에서 감각적인 행동을 나타낸다(Rasmussen, 1983). 현재까지의 다양한 연구결과에서 S 기반의 행동이 가장 많은 약 70% 내외로 보고되어 있다(Reason et al., 1990).

R 기반의 행동은 익숙한 작업 상황에서 나타나는 것인데, 이전의 경험에 의해서 또는 다른 사람들의 노하우(knowhow)에 의해서 저장된 규칙 또는 절차에 의해서 제어되는 행동을 나타낸다(Rasmussen, 1983). 그리고 R 기반의 행동은 S 기반의 행동 보다 상위의 개념으로 알려져 있다(Reason, 1990).

K 기반의 행동은 이전에 경험한 적이 없거나 노하우나 통제 가능한 규칙을 사용할 수 없는 익숙하지 않은 상황에서 나타난다(Rasmussen, 1983). 그리고 K 기반의 행동은 R 기반의 행동 보다 상위의 개념으로 알려져 있다(Reason, 1990).

한편 인적오류의 분류에 관한 연구는 오래전부터 학계에서 진행되고 있는데, 그 중에서 대표적인 것이 무기억(Slip), 간과(Lapses), 실수(Mistakes), 위반(Violation) 등과 같이 네 가지로 분류하는 것이다(Norman, 1983). Reason(1990)은 이러한 네 가지 인적오류의 종류를 SRKBB에 적용하여 행동오류를 분류한 바 있다.

Reason(1990)에 의하면, 무기억(Slip)과 간과(Lapses)는 S 기반의 행동에 대한 오류로 분류되고, 실수(Mistakes)는 R 기반과 K 기반의 행동에 대한 오류로 분류되는데, 잘못된 규칙을 적용함에 따른 오류는 R 기반의 행동에 대한 오류로 분류되고, 불충분한 지식의 성과에 의한 오류는 K 기반의 행동에 대한 오류로 분류된다.

본 연구에서는 Rasmussen(1983)이 제안한 SRKBB 이론과 Reason(1990)이 제안한 행동오류 분류 이론을 종합적으로 고려한 선원들의 행동오류 식별용 프레임워크를 구축하였다.

2.3 행동오류 식별을 위한 프레임워크 구축

선원 행동오류 식별을 위한 프레임워크를 Fig. 2에 나타냈다.

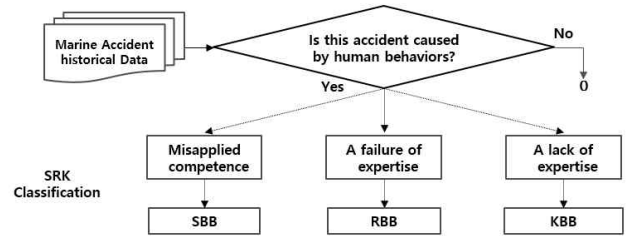


Fig. 2 Framework for classification of seafarers behavioral error

선원의 행동오류는 S 기반의 행동오류(Skill-Based Behavioral Error, SBBE), R 기반의 행동오류(Rule-Based Behavioral Error, RBBE) 그리고 K 기반의 행동오류(Knowledge-Based Behavioral Error, KBBE) 등 세 가지로 구분하였다. 세 가지의 행동오류는 기존 연구결과를 참고하여 다음과 같이 정의하였다(Park, 2018).

SBBE는 자동화되고 통합된 형태로 나타나는 행동오류를 나타내는 것으로, 주로 사람의 머리에 저장된 일정한 형식에 의해서 나타난다. 예를 들어, 선박에 승선한 경험이 있는 선원이 일상적인 상황에서 수동 조타로 능숙하게 선박을 조종하는 행위라든가, 또는 각종 인터페이스(interface)의 조작 등과 같이 주의를 기울일 필요가 없는 행동에 의해서 발생한 오류 등이 SBBE에 해당한다(Park, 2018).

RBBE는 익숙한 상황에 대한 절차 또는 학습된 행동에 대한 오류를 나타낸 것으로, 저장된 규칙 또는 노하우 등으로 제어될 수 있다. 예를 들어, 본선이 상대선박과 충돌조우 상황이 발생할 때, IMO(1972)에서 발표한 해상에서 충돌을 회피하기 위한 COLREG(Convention on the International Regulations for preventing collision at sea)에 의거해서 “좌현-대-좌현(port-to-port)”로 조우하려는 변칙행동 또는 연안 항해 중 통항분리수역에서 우측항로로 동향하려는 행동 등에 의해서 발생한 오류가 SBBE에 해당한다(Park, 2018).

KBBE는 익숙하지 않은 상황에서 선원이 의식적으로 분석한 과정과 저장된 지식을 활용하여 계획에 따라서 행할 때 발생하는 행동오류를 의미한다. KBBE는 익숙하지 않은 상황에서 발생하는 사건에 대한 현장추론, 해양사고 예방을 위해서 전반적으로 지식에 의존하는 행동 그리고 비상상황에 대처하기 위한 행동 등에 의해서 발생하는 오류가 포함된다(Park, 2018).

2.4. 선원의 행동오류 분류방법

본 연구에서 제안한 행동오류 분류용 프레임워크를 이용하여 해양사고 내용을 SBBE, RBBE, KBBE 등 세 가지 행동오류로 분류하였다. 분류한 내용은 8가지 해양사고종류(충돌, 좌초, 접촉, 전복, 화재, 침몰, 기관손상, 인명사상)에 대한 세 가지 행동오류의 빈도(frequency)이다.

행동오류의 분류방법은 프레임워크를 이용한 전문가 집단

의 의사결정 방식을 적용하였다. 총 10명의 전문가들이 행동오류 분류에 참여하였는데, 전문가들의 평균 승선경력(평균 6년(최소 2년, 최대 15년)이고, 나이는 평균 44세(최소 31세, 최대 61세)이며, 모두 선원 교육 또는 해운회사에 현재 종사 중인 전문가들이다. 그리고 성별은 여성 3명, 남성 7명이다. 이들은 모두 4.5년 이상 인적오류에 대한 연구경험이 있다.

이러한 전문가들의 분포는, 전문가들이 해양사고 내용을 충분히 이해할 수 있고, 해양사고 발생 당시 선원들이 취한 행동 중에서 주요한 행동오류를 식별할 수 있는 능력과 경험을 갖고 있음을 의미한다.

분류방법의 예를 들면 다음과 같다. 우선, 재결서 또는 재결서요약서 한 건에 기록된 사고내용을 전문가들이 읽고, 재결서요약서에 이미 기록된 5개 이내의 원인판단 주제어 중에서 선원의 행동오류와 관련된 3개 이내의 주제어를 선정한다.

여기서, 재결서요약서에는 해양사고 조사관들이 기록한 5개 이내의 원인판단 주제어가 이미 기록되어 있다. 이러한 원인판단 주제어는 법이나 규정 준수 여부에 무게를 두고 있기 때문에 분류 결과가 R 기반 행동오류로 치중될 우려가 있고, 선원 행동과는 무관한 주제어인 경우도 있다. 그래서 본 연구에서는 전문가들의 판단에 의해서 선원의 행동오류와 관련된 3개 이내의 주요한 사고원인을 선정하되, 필요한 경우 행동오류와 관련된 주제어를 다시 생성하였다.

다음에는 선정한 3개 이내의 주제어 각각에 프레임워크를 적용하여 SBBE, RBBE, KBBE 중에서 선원의 행동오류를 대표할 수 있는 한 가지 행동오류를 결정한다. 이러한 결정과정에서 전문가들의 의견이 한 가지 행동오류로 일치하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는, 앞에서 설명한 Rasmussen(1983)의 SRKBB 이론과 Reason(1990)이 제안한 행동오류 분류 방법을 다시 검토한 후, 해당 사고의 내용에 가장 적합한 한 가지 행동오류를 프레임워크를 통해서 결정하였다. 즉, 반복적인 집단의사결정 방식을 통해서 한 가지 행동오류를 결정하였다.

3. 선원의 행동오류 데이터 구축

3.1 사고기록 데이터 수집 결과

사고기록 데이터는 중앙해양안전심판원 홈페이지(KMST, 2017)에서 제공하는 재결서와 재결서요약서를 이용하여 수집하였다. 데이터의 수집은 주로 재결서요약서를 활용하되, 재결서요약서의내용이 충분하지 못한 경우는 재결서를 활용하였다.

2008년부터 2016년까지 9년간의 재결서 또는 재결서요약서에 수록된 총 1,744건의 해양사고를 수집하였고, 이 중 행동오류와 관련된 여덟 가지 종류에 대한 사고만을 정리한 결과이다.

Table 1은 재결서요약서에 수록된 1,677건의 행동오류와 관련된 해양사고를 여덟 가지 사고종류별로 분류한 결과를 나타낸다.

9년간 발생한 사고 중에서 행동오류에 관한 사고는 총돌이

가장 많은 855건(50.98%)으로 나타났고, 이어서 화재/폭발 161건(9.60%), 인명사상 158건(9.43%), 접촉 133건(7.93%) 등의 순서로 나타났다.

여기서 재결서 또는 재결서요약서에 기록된 내용은 주로 사고를 야기한 선원의 과실을 식별하기 위한 것이기 때문에 원래 사고의 총 건수(Sum of accidents)에 대한 행동오류 관련 사고의 총 건수의 비율이 96.16%(1,677/1,744)에 달할 정도로 원래 사고의 비율과 대략 유사한 것으로 나타났다.

대부분의 사고내용이 행동오류와 관련되어 있다. 따라서 본 연구에 적용한 사고기록 데이터는 선원들의 행동오류 식별 연구에 충분한 정보제공이 가능함을 알 수 있다.

Table 1 Compiled case number of marine accidents from 2008 to 2016 recorded in the verdicts of KMST, Korea

Type of accidents	Number of accidents	Ratio(%)
Collision	855	50.98
Grounding	92	5.49
Contact	133	7.93
Capsizing	82	4.89
Fire/Explosion	161	9.60
Sinking	97	5.78
Machine Failure	99	5.90
Casualty	158	9.43
Sum of accidents	1,677	100.00

3.2 선원의 행동오류 데이터 구축 결과

총 1,677건의 해양사고에 대해서 Table 2에 나타난 설명변수(explanatory variables)와 각 변수에 해당하는 명목척도(nominal scales)를 이용하여 행동오류 데이터를 구축하였다. 따라서 행동오류 데이터는 일종의 순서형 로짓 데이터(ordered logit data)의 형태를 갖는다.

$i(i = 1, 2, \dots, n; n$ 은 데이터의 수)의 해양사고 기록에 대해서 분류한 행동오류 데이터를 i -by- j 차원을 갖는 $D_{i,j}$ 로 정의한다. 여기서, $D_{i,j}(j=1)$ 는 여덟 가지 사고종류에 대한 데이터를 나타낸 것으로 ($1 \leq D_{i,j}(j=1) \leq 8$) 범위의 명목척도 값을 갖는다. 그리고 $D_{i,j}(j=2)$ 는 세 가지 종류의 행동오류에 대한 데이터를 나타낸 것으로 ($1 \leq D_{i,j}(j=2) \leq 3$) 범위의 명목척도 값을 갖는다.

Table 3은 $D_{i,j}(n=1,677)$ 을 이용하여 분류한 해양사고 종류별 행동오류 데이터의 수를 나타낸다. 총 1,677건의 해양사고에 대해서 총 3,455개의 행동오류 데이터가 도출되었다. 이 데이터는 한 건의 해양사고를 3개 이내의 행동오류로 분류한 것으로, 한 개의 행동오류 데이터에는 1(즉, SBBE), 2(즉, RBBE), 3(즉, KBBE)의 명목척도 중에서 해당하는 어느 하나

의 명목척도 값이 기록되어 있다.

여기서, 한 건의 해양사고를 3개의 행동오류로 분류하는 경우 총 5,031개(1,677건 × 3개)의 데이터가 도출되어야 하는데, 선원의 행동오류와 무관한 해양사고(예를 들어, 장비 자체의 고장, 기상악화로 인한 사고 등)를 제외하고, 주제어가 3개가 아닌 1개 또는 2개인 경우도 발생할 수 있기 때문에 총 3,455개의 행동오류 데이터가 도출된 것이다.

3,455개의 데이터 중에서 충돌사고가 2,304개의 데이터(66.68%)를 차지하고, 다른 일곱 가지 사고의 경우는 89건(2.58%)부터 265건(7.67%) 사이에서 분포하였다. 충돌사고의 건수가 가장 많기 때문에 행동오류 분류 데이터에서도 충돌사고가 가장 높은 빈도로 나타났다. 3가지 종류의 행동오류에 대한 빈도 계산에는 Table 3의 행동오류 데이터를 이용하였다.

Table 2 Explanatory variables and Nominal scales of behavioral error data

Nominal scales	Explanatory variables	
	Type of accidents (j = 1)	Type of behavioral errors (j = 2)
1	Collision	SBBE
2	Grounding	RBBE
3	Contact	KBBE
4	Capsizing	
5	Fire/Explosion	
6	Sinking	
7	Machine Failure	
8	Casualty	

Table 3 Result of acquisition seafarer's behavioral error data

Type of accidents	Behavioral error data (number)	Ratio(%)
Collision	2304	66.68
Grounding	155	4.48
Contact	265	7.67
Capsizing	94	2.73
Fire/Explosion	176	5.10
Sinking	117	3.38
Machine Failure	89	2.58
Casualty	255	7.38
Sum	3,455	100.00

4. 해양사고 종류별 행동오류의 빈도 계산 결과

4.1 빈도 계산 방법

여덟 가지 해양사고 종류 각각에 대한 세 가지 행동오류 각각의 빈도는 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$F_{a,b} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m I_{i,j}, I_{i,j} = 1 \text{ if } D_{i,j} = a \text{ and } D_{i,j} = b \quad (1)$$

여기서 $F_{a,b}$ 는 $a(a=1,2,\dots,k; k$ 은 해양사고 종류의 수)의 해양사고 종류와 $b(b=1,2,\dots,m; m$ 은 행동오류 종류의 수)의 행동오류에 대한 빈도를 나타내고, $I_{i,j}$ 는 i -by- j 차원을 갖는 1 데이터이며, 우측 항의 조건은 $D_{i,j} = a$ 이고 $D_{i,j} = b$ 라면 $I_{i,j} = 1$ 이 됨을 의미한다. 즉, 1 데이터를 이용하여 a -by- b 차원의 빈도 $F_{a,b}$ 을 계산한다.

4.2 빈도 계산 결과

Table 4는 식(1)을 이용하여 계산한 선원의 행동오류별 빈도와 빈도의 퍼센트(%)를 나타낸다. 계산결과에 대해서 분석할 내용이 많기 때문에 다음과 같이 분리하여 분석하였다.

- 1) 세 가지 행동오류의 평균(Averaged %)에 대해서 분석하여 해양 산업분야의 사고와 다른 산업분야에서의 사고가 서로 다른 점을 비교한다.
- 2) 빈도의 퍼센트가 가장 높은 행동오류 특징을 분석한다.
- 3) 해양사고 중에서 가장 많은 건수를 차지한 충돌사고에 대해서 분석한다.
- 4) 빈도의 퍼센트가 유사한 사고종류를 그룹으로 분리하여 분석한다.
- 5) 이상의 결과를 검토한다.

Table 4 Frequency calculation results for three types of behavioral errors

B \ A	SBBE		RBBE		KBBE		Sum (%)
	N	%	N	%	N	%	
Collision	1,293	56.12	890	38.63	121	5.25	100.00
Grounding	59	38.06	68	43.87	28	18.06	100.00
Contact	140	52.83	78	29.43	47	17.74	100.00
Capsizing	26	27.66	50	53.19	18	19.15	100.00
Fire/Explosion	131	74.43	26	14.77	19	10.80	100.00
Sinking	42	35.90	52	44.44	23	19.66	100.00
Machine Failure	54	60.67	26	29.21	9	10.11	100.00
Casualty	137	53.73	98	38.43	20	7.84	100.00
Sum (%)	1,882	54.47	1,288	37.28	285	8.25	100.00

Note) A, Type of behavioral error; B, Type of accidents; N, Number of data; %, Percentile

4.2.1 행동오류의 평균에 대한 분석 결과

Table 4에서 B열의 합계(Sum, %)는 SBBE가 54.47%로 가장 높게 관측되었고, 그 다음으로 RBBE 37.28%, KBBE

8.25% 등의 순위로 관측되었다. 이러한 결과는 S 기반의 행동이 약 70% 내외를 차지한다는 기존 자동차 사고나 핵발전소 등에서의 연구결과(Reason et al., 1990)와 뚜렷한 차이를 보이고 있다.

즉, 해양사고의 경우는 S 기반의 행동과 R 기반의 행동이 복합적으로 나타나고, K 기반의 행동은 상대적으로 낮은 비율로 나타남을 의미한다.

4.2.2 빈도의 퍼센트가 가장 큰 행동오류의 분석 결과

빈도의 퍼센트가 가장 큰 것은 화재/폭발 사고에 대한 SBBE(74.43%)로 관측되었고, 이어서 기관손상 사고에 대한 SBBE(60.67%)로 관측되었다.

화재/폭발 사고의 경우는 일상적인 생활에서 자동적으로 취하는 S 기반의 행동에 의해서 주로 발생한다. 예를 들면, 담배불에 의한 화재로 인한 폭발사고, 석유난로와 같은 열 발생 기구의 잘못된 사용 등에 사고 등이다. 이러한 특징으로 인하여 화재/폭발 사고에 대한 SBBE가 74.43%, RBBE는 14.77%, KBBE는 10.8% 등의 순서로 관측된 것으로 고려된다. 특히, SBBE가 74.43%를 차지할 정도로 큰 특징을 보이고 있다.

그리고 기관손상 사고의 경우에도 주로 일상적이고 자동화되어 점검 소홀이나 주의 부족 등 S 기반의 행동에 의해서 발생하기 때문에 SBBE가 60.67%로 관측되고, 이어서 RBBE 29.21%, KBBE 10.11% 등의 순서로 관측된 것으로 고려된다.

따라서 화재/폭발 사고, 기관손상 사고 등의 예방을 위해서는 일상적이고 자동화된 환경에 대한 S 기반의 행동오류의 보정을 위한 대응수단의 개발이 우선 필요함을 알 수 있다.

4.2.3 충돌사고의 행동오류에 대한 분석 결과

충돌사고의 행동오류는 총 3,455개의 행동오류 데이터 중에서 2,304개(66.68%)의 데이터를 차지할 정도로 비중이 높다.

충돌사고의 경우, SBBE 56.12%, RBBE 38.63%, KBBE 5.25% 등의 순서로 관측되었다. 따라서 충돌사고 예방을 위해서는 S 기반의 행동오류 보정이 우선 필요하고, 다음으로 R 기반의 행동오류 보정이 필요하거나 또는 S 기반과 R 기반의 행동오류 보정이 종합적인 필요함을 알 수 있다.

이러한 결과는 당연한 것으로, 충돌사고 예방을 위해서는 COLREG(IMO, 1972)의 올바른 해석과 적용(R 기반의 행동을 의미)도 필요하지만 친숙한 환경에서 그리고 자동적인 절차에 의해서 행해지는 선박조종 기술(S 기반의 행동을 의미)이 우선하여 필요함을 의미한다.

4.2.4 빈도의 퍼센트가 유사한 행동오류에 대한 분석 결과

세 가지 유형의 행동오류 빈도의 퍼센트에 대한 순위를 기준으로 여덟 가지 사고종류를 구분하면 다음과 같이 2개의 그룹으로 구분할 수 있다.

첫째 그룹은 행동오류 빈도의 퍼센트가 SBBE가 RBBE와 비교하여 크고, KBBE가 RBBE와 비교하여 작은 유형의 사고

에 해당한다.

이 유형의 사고종류는, 충돌(SBBE 56.12%, RBBE 38.63%, KBBE 5.25%), 접촉(SBBE 52.83%, RBBE 29.43%, KBBE 17.74%), 기관손상(SBBE 60.67%, RBBE 29.21%, KBBE 10.11%), 인명사상(SBBE 53.73%, RBBE 38.43%, KBBE 7.84%), 화재/폭발(SBBE 74.43%, RBBE 14.77%, KBBE 10.8%) 등이 해당된다.

이 그룹들의 특징은 해양사고 예방을 위해서는 S 기반의 행동오류 보정이 우선 필요하고, 다음으로 R 기반의 행동오류 보정이 필요함을 나타낸다. 즉, 일상적인 환경에서 규칙이나 규정의 올바른 적용 보다는 자동화된 절차를 올바르게 적용하기 위한 기술적인 교육과 훈련이 필요한 사고들임을 의미한다.

둘째 그룹은 행동오류 빈도의 퍼센트가 RBBE가 SBBE와 비교하여 크고, KBBE가 RBBE와 비교하여 작은 유형의 사고에 해당한다. 이 유형의 사고종류는, 좌초(SBBE 38.06%, RBBE 43.87%, KBBE 18.06%), 전복(SBBE 27.66%, RBBE 53.19%, KBBE 19.15%), 침몰(SBBE 35.9%, RBBE 44.44%, KBBE 19.66%) 등이 해당된다.

이 그룹들의 특징은 친숙한 환경에서 자동화되거나 의식적으로 행해지는 절차에 대한 R 기반의 행동오류의 보정을 통해서 해양사고 예방이 가능함을 나타낸다. 그 이유는, 좌초, 전복, 침몰 등의 사고는 절차적인 선위의 미확인, 화물적재 절차의 미준수, 규정의 잘못된 적용 등 R 기반의 행동오류가 사고의 주요한 원인이기 때문이다.

4.2.5 논의

여덟 가지 사고종류에 대한 선원들의 행동오류에 대한 빈도를 분석한 결과, 몇 가지 결과가 다음과 같이 관측되었다.

첫째, 자동차나 핵발전소 등이 산업분야의 경우 SBBE는 70% 내외인 것으로 보고되고 있으나, 이와 달리 해양사고에 대한 SBBE가 54.47%로 관측되었다. 산업 분야별로 서로 다른 형태의 행동오류가 관측될 수 있다는 측면에서 이 결과는 대단히 흥미로운 것이다.

한편, 본 연구에 적용한 해양사고 데이터는 주로 법적 또는 규정적인 측면에서 선원의 오류를 판단하기 위한 것이기 때문에 R 기반의 행동오류에 치우칠 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 이에 대한 하나의 해결방안은 선박조종 시뮬레이터를 이용하여 주요한 해양사고를 재현하면서 선원들을 대상으로 실험하는 것이다. 이에 관해서는 오랜 기간 동안의 방대한 연구가 필요하기 때문에 추후 연구과제로 둔다.

둘째, 세 가지 유형의 행동오류 빈도의 퍼센트에 대한 순위를 기준으로 여덟 가지 사고종류를 2개의 그룹으로 구분한 결과, 충돌, 접촉, 기관손상, 인명사상, 화재/폭발 등을 하나의 그룹으로 형성할 수 있고, 좌초, 전복, 침몰 등을 다른 하나의 그룹으로 형성할 수 있었다. 따라서 해양사고 예방을 위한 교육과 훈련을 실시하는 경우, 두개의 그룹으로 분리하는 것도 효율적인 방안이 될 것으로 고려된다.

셋째, 여덟 가지 사고종류 각각에 대한 세 가지 행동오류 빈도의 퍼센트는 각각 다른 값으로 나타났으나 위와 같이 2개의 그룹으로 분리할 수 있을 정도로 유사한 패턴을 갖는 사고종류도 많았다. 이에 대해서는 추후 ANOVA(Analysis of Variance)를 이용한 그룹 데이터 사이의 유의수준 분석이 필요하다. 이에 대한 연구 역시 방대하기 때문에 추후 연구과제로 둔다.

5. 결 론

선원들의 행동오류는 해양사고를 야기하는 주요한 단서가 되기 때문에 행동오류의 식별은 해양사고 예방에 중요하다. 본 연구에서는 해양사고 기록에 나타난 선원의 잘못된 행동(즉, 행동오류)을 SRKBB(Skill-, Rule-, Knowledge-Based Behavior) 이론을 적용하여 식별하였다.

중앙해양안전심판원의 재결서 또는 재결요약서에서 사고기록을 수집한 후, 행동오류 분류를 위한 프레임워크를 제안하고, 제안한 프레임워크를 이용하여 여덟 가지 사고종류별 세 가지 행동오류(즉, SBBE, RBBE, KBBE)로 분류하였다. 분류한 데이터를 이용한 행동오류 빈도 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 자동차나 핵발전소 등의 산업분야의 경우 SBBE가 70% 내외인 것으로 보고되고 있으나, 해양사고에 대한 SBBE의 경우는 54.47%로 관측되었다. 그러나 해양사고 기록 형태의 특징을 고려할 경우 이 결과는 추후 상세한 분석과 검토를 통해서 판단해야 할 것으로 고려되었다.

둘째, 사고 건수가 제일 많은 충돌사고의 경우 SBBE 56.12%, RBBE 38.63%, KBBE 5.25% 등으로 관측되어, S 기반의 행동오류를 우선 보정하고 R 기반의 행동오류를 다음으로 보정하거나 또는 S 기반과 R 기반의 행동오류를 동시에 보정하는 것이 충돌사고 예방에 우선 필요함을 알았다.

셋째, 종합적인 관점에서 충돌, 접촉, 기관손상, 인명사상, 화재/폭발 등의 사고를 예방하기 위해서는 S 기반의 행동오류의 보정이 우선 필요하고, 좌초, 전복, 침몰 등의 사고를 예방하기 위해서는 R 기반의 행동오류의 보정이 우선 필요함을 알았다.

본 연구를 통해서 해양사고 예방을 위해서는 선원들의 어떠한 행동오류의 보정이 필요하고, 어떠한 행동오류에 가중치를 두고 교육과 훈련을 실행하는 것이 최적인지 등에 대한 단서를 확보할 수 있었다.

향후 본 연구과정에서 발생한 제반 문제점을 해결한 후, 실제 교육과 훈련을 통해서 선원들의 행동오류 보정이 가능한지에 대한 연구를 추진할 예정이다.

후 기

본 논문은 해양수산부의 “해양안전사고 예방시스템 기반연구(2단계)”과제의 연구결과임을 밝힌다.

References

- [1] Chauvin C., Clostermann, J. P. and Jean-Michel Hoc(2008), "Situation Awareness and the Decision-Making Process in a Dynamic situation: Avoiding collisions at sea", *Journal of cognitive engineering and decision making*, Vol. 2, pp. 1-23.
- [2] Drivalou, S. and Marmaras, N.(2009). "Supporting skill-, rule-, and knowledge-based behaviour through an ecological interface: An industry-scale application", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 39(6), pp. 947-965.
- [3] Imbert, J. P., Granger, G., Benhacene, R., Golfetti, A., Bonelli, S., and Pozzi, S.(2015), "Skill, Rule and Knowledge-based Behaviors Detection during Realistic ATM Simulations by Means of ATCOs' Brain Activity", SESARWPE.
- [4] IMO(1972), Convention on the International Regulations for preventing collision at sea [with amendments adopted from December 2009], International Maritime Organization, London, UK.
- [5] KMST(2016), Statistical Year Book for Maritime Accidents. Korean Maritime Safety Tribunals(KMST).
- [6] KMST(2017), Written Verdict. [Online], Retrieved from <https://data.kmst.go.kr/kmst/verdict/writtenverdict/select/writtenverdict.do>, [accessed 2nd Aug. 2017].
- [7] Lin, C. J., Shiang, W. J., Chuang, C. Y. and Liou, J. L.(2014), "Applying the Skill-Rule-Knowledge Framework to Understanding Operator's Behaviors and Workload in Advanced Main Control Rooms", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 270, pp. 176-184.
- [8] Norman, D. A.(1983), "Some observations on mental models", *Mental models*, Vol. 7(112), pp. 7-14.
- [9] Park, D. J., Cho, C. .Y. and Yim, J. B..(2017), "A Research on the method of mariner's SRK Behaviors", Joint Conference 2017, KOSOMES, Mokpo, Korea, April 27-28, p. 59.
- [10] Park, D. J.(2018), "A study on acquisition of SRK behavior distribution function for reducing marine accidents caused by human error", Master thesis, Mokpo National Maritime University.

- [11] Rasmussen, J.(1982), "Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations", *Journal of occupational accidents*, Vol. 4(2-4), pp. 311-333.
- [12] Rasmussen, J.(1983), "Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models", *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. 3, pp. 257-266.
- [13] Reason, J.(1990), "Human Error", Cambridge University, New York, USA.
- [14] Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J. and Campbell, K.(1990), "Errors and violations on the roads: a real distinction?". *Ergonomics*, Vol. 33(10-11), pp. 1315-1332.
- [15] Stanton, N. A., Salmon, P. M.(2009), "Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems", *Safety Science*, Vol. 47(2), pp. 227-237.
- [16] Yim, J. B., Yang, W. J. and Kim, H. T.(2014), "Marine Accident Analysis", *Je-II-Gi-Hwik*, pp. 1-392.
- [17] Yim, J. B.(2017a), "A Study on the Reduction of Common Words to Classify causes of Marine Accidents", *Korean Institute of Navigation and Port Research*, Vol. 41(3), pp. 109-117.
- [18] Yim, J. B.(2017b), "A Study on the Analysis and Identification of Seafarers' Skill-Rule-Knowledge Inherent in Maritime Accidents", *KOSMES*, Vol. 23(3), pp. 224-230.

Received 28 February 2018

Revised 15 March 2018

Accepted 16 March 2018