

m-SHEL 모델에 의한 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인 분석에 관한 연구

김종수* · 윤대근***

*, ** 목포해양대학교 국제해사수송과학부

Analysis of Human Factors Behind Maritime Traffic-Related Accidents Using the m-SHEL Model

Jong-Soo Keum* · Dae-Gwun Yoon***

*, ** Mokpo National Maritime University Mokpo 58628, Korea

요약 : 해양사고에 관한 많은 연구와 분석에 따르면 약 80%가 인적 오류에 의하여 발생되고 있는 것으로 파악되고 있다. 해양사고의 예방대책 수립을 수립하기 위하여 사고를 일으킨 배후 인적 요인을 파악하는 연구가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구의 주목적은 m-SHEL 모델을 이용하여 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 파악하고 분석하는 것이다. 다른 분야에서 사용되는 m-SHEL 모델은 일반적인 인적 요인의 개념을 기반으로 되어 있기 때문에 본 연구에서는 선박운항시스템에 수용하기 위하여 이 모델을 확장하여 인적 요인을 정의하였다. 또한, 이 확장된 모델의 타당성을 SPSSWIN의 신뢰성 분석을 통하여 검증하였다. 그리고 이 확장된 m-SHEL 모델의 분류표 사용하여 해양안전심판원의 재결서에서 추출한 자료로부터 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하였다. 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석한 결과 조전자 자신에 관한 요인 L이 가장 많았으며 다음으로 L-E, L-m, L-H, L-S 및 L-L 순으로 나타났다. 이 연구는 해상교통 관련 사고의 예방 및 해상안전관리시스템 구축을 위한 유용한 분석 결과를 제시함으로써 인적 요인에 의한 해상교통 관련 사고 방지에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해상교통 관련 사고, 인적 오류, 인적 요인, m-SHEL 모델, 선박운항시스템

Abstract : Research indicates, about 80% of maritime accidents are caused by human error. Further investigation of the human factors behind maritime casualties is essential in order to establish preventive measures. The main purpose of this study is to identify and analyze human factors behind maritime traffic-related accidents using the m-SHEL model. Since the m-SHEL model used in other fields is based on generic human factors, it has expanded in this study to accommodate ship operating systems and define human factors. In addition, the validity of the expanded model was verified by reliability analysis using SPSSWIN. A classified table for this extended m-SHEL model was then used to analyze human factors behind maritime traffic-related accidents extracted from a written verdict by the Korean Maritime Safety Tribunal. Human factors were arranged in the order L, L-E, L-H, L-m, L-L, and L-S. This paper contributes to the prevention of maritime traffic-related accidents caused by human factors by presenting useful analytical results that can be applied to build a maritime safety management system.

Key Words : Maritime traffic-related accidents, Human error, Human factor, m-SHEL model, Ship operating system

1. 서론

해상교통량의 증가와 선박의 대형화, 고속화, 전용선화 등으로 해상교통조건이 열악해지면서 해양사고를 방지하고자

하는 인간의 노력에도 불구하고 사고의 발생 개연성이 더욱 증대하고 있다. 해양사고는 그 근본원인에 따라 크게 해상교통과 관련이 깊은 충돌, 좌초, 접촉사고와 같은 해상교통 관련 사고와 기술 관련 사고로 대별할 수 있다(Park, 2001).

최근 3년간(2015년~2017년) 연평균 2,330여 건의 해양사고가 발생하고 있으며, 이로 인하여 연간 443여 명의 귀중한 인명 손실과 막대한 물질적 피해 및 해양환경오염을 발생시키

* First Author : jskeum@mmu.ac.kr, 061-240-7166

† Corresponding Author : dyoon@mmu.ac.kr, 061-240-7179

고 있는 실정이다(KMST, 2017).

해양사고에 관한 많은 연구와 분석(Yang and Keum, 2003; Cho et al., 2010; Sakaide et al., 2012) 등에 따르면 해양사고의 약 80%가 조선자의 인적 오류에 의하여 발생되고 있는 것으로 파악되고 있다. 해양사고는 다양한 요인들이 복합적으로 상호 관련되어 발생하고 있기 때문에 그 원인을 규명하기 쉽지 않아 해양사고 방지대책의 수립에 어려움이 많은 실정이다(Yang and Keum, 2003). 그러나 해양사고 방지대책을 수립하기 위하여 해양사고의 인적 오류를 일으킨 배후 인적 요인을 파악하고 분석하는 것은 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

한편, 선박운항에 있어서 인적 오류의 분석에 관한 연구들은 주로 인적 요인 중 선박승무원의 피로 요인 등 몇 가지 요소에 대해서 한정적으로 이루어지거나(Cho et al., 2010) 특정 선종이나 충돌사고 등 개별 사고 등을 중심으로 이루어지고 있어(Sakaide et al., 2012; Takemoto et al., 2003) 해양사고를 일으키는 전체 배후 인적 요인을 파악하기 어려운 실정이다. 그러나 선박운항의 관점에서 인적 요인 전반에 관한 포괄적이고 계통적인 정의에 기초하여 해양사고를 발생시키는 배후 인적 요인 전체를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 인적 요인을 구성하는 각 영역을 명확히 나타낼 수 있는 m-SHEL 모델을 사용하여 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하고자 한다. 이를 위해 먼저 m-SHEL 모델이 일반적인 인적 요인의 개념을 기반으로 되어 있기 때문에 선박운항시스템에 수용하기 위하여 모델을 확장하여 인적 요인과 그 세부 요소를 구체적으로 정의하고, 이 정의에 따라 선박운항의 관점에서 검토하여야 할 배후 인적 요인 전체를 명확히 한다.

본 연구는 m-SHEL 모델을 확장하여 해상교통 관련 사고를 일으킨 세부 배후 인적 요인에 대한 분류표를 작성하고, 이 분류표에 따라 최근 3년간(2015년~2017년)의 해양안전심판원의 재결서로부터 충돌사고 272건, 좌초사고 50건 및 접촉사고 23건을 추출하여 총 345건을 대상으로 해상교통 관련 사고의 인적 오류를 일으키는 배후 인적 요인을 파악하고 분석하는 것을 주목적으로 한다. 그리고 이들 배후 인적 요인을 제거하여 해상교통 관련 사고를 줄일 수 있는 방안을 검토하고자 한다.

2. 해상교통 관련 사고의 분석

2.1 사고 발생건수 및 인명피해 현황

해양사고는 그 근본 원인에 따라 크게 해상교통 관련 사고와 기술 관련 사고로 대별할 수 있으며 해상교통 관련 사고에는 충돌, 좌초, 및 접촉사고 등이 속하고, 기술 관련 사고에는 화재 및 폭발, 침몰, 전복, 기관손상 등이 포함된다

(Keum and Yoon, 1997).

따라서 해상교통 관련 사고를 해상교통과 관련이 깊은 충돌, 좌초 및 접촉사고로 분류하고, 해양안전심판원의 해양사고 통계자료(KMST, 2017)를 이용하여 사고발생 현황을 분석하였다.

최근 3년간(2015년~2017년) 해양사고 발생 건수는 총 6,990건(7,793척)이 발생하였으며, 해양사고로 인한 인명피해는 Table 1과 같이 총 1,329명으로 연평균 443여 명의 귀중한 인명피해가 발생하고 있는 것으로 나타났다.

한편, 해상교통 관련 사고는 1,148건이 발생하여 전체 해양사고의 약 16.4%를 차지하고 있으나 해상교통 관련 사고로 인한 인명피해는 674명으로 전체의 약 50.7%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 이 중 어선의 해상교통 관련 사고로 인한 인명피해가 461명으로 전체 해상교통 관련 사고의 68.4%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

Table 1. Loss of human life by maritime accident

Type \ Damage	Death	Missing	Injury
All accident type (A)	242	121	966
Traffic accidents (B)	52	24	598
Ratio : B/A (%)	21.5	19.8	61.9

2.2 사고 발생원인

전체 해양사고의 발생원인은 Table 2와 같이 사고원인 중 약 80.7%가 경계 소홀 등 운항과실로 인하여 발생하고 있으며, 해상교통 관련 사고의 경우 발생원인의 약 97.9%가 운항과실에 의해 발생하고 있어 기술관련 해양사고에 비해 운항과실이 상대적으로 높게 나타나고 있다.

Table 2. Number of maritime accidents by cause

Type \ Cause	Operational fault	Inappropriate handling/deficiency	Others
All accident (%)	786(80.7)	134	54
Traffic accident (%)	612(97.9)	6(1.0)	7(1.1)
Collision (%)	543(98.7)	3(0.6)	4(0.7)
Grounding (%)	49(98.0)	0(0.0)	1(2.0)
Contact (%)	20(80.0)	3(12.0)	2(8.0)

2.3 선종별 및 톤수별 사고발생 현황

최근 3년간 해양안전심판원의 재결서로부터 충돌사고 272건(544척), 좌초사고 50건 및 접촉사고 23건을 추출하여 총 345건을 대상으로 선종별 및 톤수별 사고발생 현황을 분석한 결과 해상교통 관련 사고가 발생한 선종별로는 Table 3

과 같이 어선이 약 54.8%로 가장 많았으며, 다음으로 화물선 약 27.5%, 여객선 약 9.6% 순으로 나타나고 있다.

사고 유형별로는 충돌사고의 경우 약 88.6%가 어선과 화물선이 관련된 사고이며, 좌초사고의 약 80.0%가 어선과 여객선에서 발생하고 있으며, 접촉사고의 약 82.6%가 연안어객선, 화물선 및 어선에서 발생하고 있다.

Table 3. No. of maritime accidents by vessel type

Ship type \ Accident	Collision	Grounding	Contact	TTL
Cargo	88	2	5	95
Tankers	1	0	3	4
Passenger	16	8	10	34
Fishing boat	153	32	4	189
Tug boat	8	3	1	12
Others	6	5	0	11

한편, 해상교통 관련 사고가 발생한 선박의 톤수별 분포는 20톤 미만의 선박이 약 43.3%를 차지하고 있으며, 20톤~100톤 미만의 선박이 약 22.0%로 연안에서 어로작업에 종사하는 어선의 교통량이 많은 100톤 미만의 소형선의 해상교통 관련 사고가 전체의 약 65.3%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

3. m-SHEL 모델 구축

3.1 m-SHEL 모델

선박운항시스템은 시스템 운용자인 조난자를 중심으로 기술, 인간, 조직 구조 및 환경의 상호 의존적인 요소로 구성된 복잡한 시스템(Committee, 1994)으로 해양사고의 인적 오류는 이러한 다양한 인적 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하고 있다. 그러므로 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하기 위해서는 인적 요인을 구성하는 각 영역을 명확히 나타낼 수 있는 분석 모델이 필요하다.

일반적으로 인적 오류의 분석 및 사고방지에 관한 연구에서는 주로 인지과학의 관점에서 연구(Reason, 1990; Hollnagel, 1998)되고 있으며, 이러한 분석 방법은 개별 문제를 주로 다루는 반면에 인적 요인을 포괄적으로 고려하고 있지는 않다. 그러나 인적 요인을 구성하는 각 영역을 명확히 나타낼 수 있는 m-SHEL을 이용하여 인적 요인의 각 영역을 분류하는 것이 가능하며, 해양사고의 인적 요인 분석에 이 모델이 유효한 것으로 알려져 있다(Itoh et al., 2004; Sakaide et al., 2012).

선박운항시스템에 m-SHEL 모델을 수용하기 위하여 먼저 이 모델의 개념을 살펴보면 F. H. Hawkins가 제안한 SHELL

모델(Hawkins, 1987)에 R. Kawano가 전체를 조화를 취하는 관리(m)를 추가하여 확장한 모델로 인적 오류를 발생시키는 인적 요인을 Fig. 1과 같이 중앙에 시스템 운용자인 인간 L(Liveware)이 위치하고 이 중심의 인간을 둘러싼 하드웨어 H(Hardware), 소프트웨어 S(Software), 주변 환경 E(Environment) 및 주위 인간 L(Liveware) 및 관리 m(management)의 영역으로 구성되는 것으로 정의하고(Kawano, 1997), 각 영역 간의 부조화가 생기면 인적 오류가 발생한다.

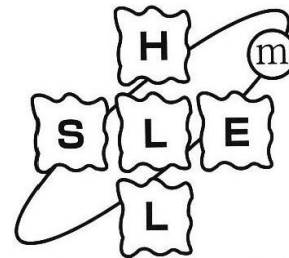


Fig.1. Conceptual diagram of the m-SHEL.

그러나 일반적인 개념으로 정의되어 있는 m-SHEL 모델을 선박운항시스템에 적용하는 경우에는 각 요소의 의미를 영역에 맞추어 구체적으로 정의할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 Fig. 1에 주어진 각 요소의 의미를 선박운항시스템에 맞추어 구체적으로 정의한다. 그리고 m-SHEL 모델을 선박운항시스템에 적용하기 위하여 이 모델을 확장하여 조난자를 중심으로 시스템 구성 요소인 주변 환경, 하드웨어, 소프트웨어, 주위 인간 및 관리와 각각 상호 작용하는 모델을 구축하여 해상교통 관련 사고를 일으키는 배후 인적 요인 전체를 통합적으로 분석한다.

3.2 선박운항시스템에 대한 m-SHEL 모델

1) m-SHEL 모델의 구성 요소

본 연구에서는 m-SHEL 모델을 이용하여 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하기 위하여 해양안전심판원의 재결서에서 충돌, 좌초 및 접촉사고를 대상으로 비례추출법으로 50건을 추출하여 전문가 그룹(승선경력이 있는 교수 3명과 항해사 2명)의 브레인 스토밍(Brain Storming)을 거쳐 구체적인 인적 요인 사항을 정의하였다.

그리고 이 정의에 따라 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하기 위한 3단계 계층구조의 분류표를 작성하고, 이 분류표를 이용하여 해양안전심판원의 재결서로부터 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 조사 및 분석하고자 한다.

한편, Itoh 및 Sakaide 등의 선행연구에서는 선교를 중심으로 한 인적 요인의 모델로 구성되어 있어 선교 이외의 인간

관계, 선박회사 및 해운관청의 관리 요인, 음주운항 등의 요인이 고려되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 조선자와 선교 이외의 선외 인간관계의 항목에 타선과의 의사소통 및 해상교통관제센터와의 의사소통에 관한 요인, 조선자와 관리의 항목에 선박회사 및 해운관청의 관리 요인 및 조선자의 자신에 관한 요인에 음주운항 등의 요인을 추가하여 해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석하기 위한 분류표를 아래와 같이 작성하였다.

먼저, 레벨 1에서는 m-SHEL에서 주어진 각 경계 영역의 6가지 요인인 조선자 자신에 관한 요인(L), 조선자와 소프트웨어의 관계에 의한 요인(L-S), 조선자와 하드웨어의 관계에 따른 요인(L-H), 조선자와 주변 환경의 관계에 따른 요인(L-E), 조선자와 주위의 인간관계에 따른 요인(L-L) 및 조선자와 관리의 관계에 따른 요인(L-m)으로 정의하였다.

다음으로 이 모델의 6가지 요인을 보다 세분화하여 구체화할 필요가 있기 때문에 레벨 2에서는 Table 4와 같이 이들 6가지의 요인을 보다 구체적인 17개 항목으로 분류하여 정의하였다.

그리고 레벨 3에서는 이들 17개 분류 항목을 47개 세부 요소의 요인으로 세분화한 배후 인적 요인을 구체적으로 정의하였다.

Table 4. Items of human factors by m-SHEL model

Level 1 (Factor)	Level 2 (Item)	
L	L1	Basic character of ship operator
	L2	Technical qualification of ship operator
L-L	LL1	Human relationship on board
	LL2	External human relationship
L-H	LH1	Reliability of equipments
	LH2	Role sharing between operator & equipments
	LH3	Workspace/Layout of equipments
L-E	LE1	Labor condition
	LE2	Passage/Sea area condition
	LE3	Traffic situation of sea area
	LE4	Condition of other ships
	LE5	Natural environment of sea area
L-S	LS1	Preparation manuals/information
L-m	Lm1	Management of duty
	Lm2	Lighten watchkeeping work
	Lm3	Violation of laws
	Lm4	Systematic management

2) L의 구성 요소

조선자 자신에 관한 요인 L은 조선자 자신의 특성과 지식, 기술 등에 관한 요인으로 각 조선자의 선박 조선에 관한 기술적 특성을 고려할 필요가 있다.

따라서 조선자 자신에 관한 인적 요인을 레벨 2에서 조선자로서의 기본적인 특성(L1) 및 조선자로서의 기술적인 특성(L2)으로 구분하고, 레벨 3에 L1과 L2를 구성하는 복수의 구체적인 세부 요소를 Table 5와 같이 정의하였다.

Table 5. Details of L1 and L2

Level 2 (Item)	Level 3 (Detail)	
L1	L1-1	Lack of good seamanship
	L1-2	Lack of basic navigational knowledge
	L1-3	Unilateral judgement
	L1-4	Lack of lookout
	L1-5	Operator carelessness
	L1-6	Engage in other work
	L1-7	Lack of knowledge about sea area
	L1-8	Lack of basic ship operation knowledge
	L1-9	Drowsiness
	L1-10	Health condition of operator
	L1-11	Negligence
	L1-12	Drunk operation
L2	L2-1	Lack of technique of avoiding other ships
	L2-2	Lack of technique of position fix
	L2-3	Lack of technique for lookout
	L2-4	Improper navigation plan

3) L-L의 구성 요소

선박운항시스템에서 조선자와 주변의 인간관계에 의한 요인 L-L은 조선자와 선내의 다른 승무원과의 인간관계(LL1)와 선외의 인간관계(LL2)로 구분하고, 레벨 3에서 LL1과 LL2를 구성하는 구체적인 세부 요소를 Table 6과 같이 정의하였다.

Table 6. Details of LL1 and LL2

Level 2 (Item)	Level 3 (Detail)	
LL1	LL1-1	Bridge teamwork
	LL1-2	Communication with other crews
LL2	LL2-1	Communication with other ships
	LL2-2	Communication with VTS, etc.

4) L-H의 구성 요소

선박 조선에 관련된 조선자와 하드웨어에 의한 요인 L-H는 조선자와 이용 가능한 항행원조설비, 항해기기 등에 관한 요인으로 기기의 신뢰성(LH1), 조선자와 기기의 역할 분담(LL2) 및 작업공간과 기기의 배치(LH3)로 구분하고, Table 7과 같이 레벨 3에 이들의 세부 요소를 정의하였다.

Table 7. Details of LH1, LH2 and LH3

Levl 2 (Item)	Levl 3 (Detail)	
LH1	LH1-1	Lack of maintenance of equipments
	LH1-2	Unfitted equipments
LH2	LH2-1	Improper operation of equipments
	LH2-2	Unuse of equipments
	LH2-3	Others (facilities on shore, etc.)
LH3	LH3-1	Unfitted condition of workspace
	LH3-2	Unfitted layout of equipments

5) L-E의 구성 요소

조선자와 주변 환경에 의한 요인 L-E는 항행환경과 노동 환경 등에 관한 요인으로 레벨 2에서 노동환경(LE1), 항로 및 해역의 상태(LE2), 해역의 교통상황(LE3), 타선의 상황(LE4) 및 해역의 자연환경(LE5)으로 분류하였다.

그리고 레벨 3에서 이들의 세부 요소를 세분화하여 Table 8에 나타낸다.

Table 8. Details of LE1, LE2, LE3, LE4 and LE5

Level 2 (Item)	Level 3 (Detail)	
LE1	LE1-1	Overwork
	LE1-2	Obstacle to work
LE2	LE2-1	Sea area for avoiding other ships
	LE2-2	Water depth
	LE2-3	Influence of shore light at night
LE3	LE3-1	Congestion of maritime traffic
	LE3-2	Congestion of fishing boats
LE4	LE4-1	Non-indication of lights, shape and signals
LE5	LE5-1	Weather
	LE5-2	Wind condition
	LE5-3	Sea condition
	LE5-4	Visibility

6) L-S의 구성 요소

조선자와 소프트웨어의 관계에 의한 요인 L-S는 설비나 기기 등의 매뉴얼이나 항행에 관한 법규, 해역에 관한 충분한 정보 제공 등의 요인을 레벨 2(LS1)로 구분하고, 레벨 3에 그 세부 요소를 Table 9와 같이 구체적으로 정의하였다.

Table 9. Details of LS1 and LS2

Level 2 (Item)	Levl 3 (Detail)	
LS1	LS1-1	Manuals, guide, regulations
	LS1-2	Sufficient information of sea area, port

7) L-m의 구성 요소

조선자와 관리의 관계에 의한 요인 L-m은 레벨 2에서 직무관리(Lm1), 당직근무의 부담(Lm2), 규칙 및 법률 미준수(Lm3) 및 시스템적인 관리(Lm4)로 구분하고, 레벨 3에서 Table 10과 같이 구체적인 세부 요소를 정의하였다.

Table 10. Details of Lm1, Lm2, Lm3 and Lm4

Level 2 (Item)	Level 3 (Detail)	
Lm1	Lm1-1	Proper instructions for safety navigation
Lm2	Lm2-1	Duty of Master or manager
Lm3	Lm3-1	Non-installment of legal equipments
	Lm3-2	Unqualified operator
Lm4	Lm4-1	Management of employers
	Lm4-2	Management under an authority

3.3 모델의 타당성 검증

해상교통 관련 사고를 일으킨 배후 인적 요인을 분석하기 위해 본 연구에서 사용한 확장 m-SHEL 모델의 신뢰성을 검증하기 위하여 충돌, 좌초, 접촉사고를 일으킨 배후 인적 요인을 해양안전심판원의 재결서로부터 조사, 수집한 데이터로 SPSSWIN을 이용하여 신뢰성 분석을 실시하였다.

충돌, 좌초, 접촉사고에 대하여 조사된 배후 인적 요인 데이터로 상관분석을 수행한 결과 Table 11과 같이 충돌사고와 좌초사고의 상관계수는 0.5028, 충돌사고와 접촉사고의 상관계수는 0.5713, 좌초사고와 접촉사고의 상관계수는 0.7602로 이들 사고 간에는 상당한 상관관계를 지니고 있는 것으로 나타났다. 그리고 유의수준 0.05에서 피어슨의 상관계수 p값이 0.000으로 충돌, 좌초 및 접촉사고 간의 상관계수는 통계적으로 유의하다.

Table 11. Correlation coefficients between accidents

Accident type	Collision	Grounding	Contact
Collision	1.0000	-	-
Grounding	0.5028	1.0000	-
Contact	0.5713	0.7602	1.0000

또한, 모델의 타당성을 검증하기 위하여 신뢰성 분석을 수행한 결과를 Table 12에서 살펴보면 알파(α)값이 0.2265, 표준화된 항목 알파(Standardized item α) 값이 0.8252 및 분산은 7551.2017을 구하였다.

일반적으로 Chronbach's α 값이 0.6 이상이면 신뢰성을 확보했다고 할 수 있으나 각 변수들 간의 척도가 큰 분산을 가지고 있어 두 α 값의 차이가 크게 나타나고 있어 이러한 경우에는 표준화된 항목 α 값을 이용하여야 한다. 그러므로 표준화

된 α 값 0.8252는 0.6 이상으로 이 분석 모델은 상당히 신뢰성이 높다고 할 수 있으므로 확장 m-SHEL 모델을 이용하여 배후 인적 요인을 분석하는 것은 타당한 것으로 판단된다.

Table 12. Reliability coefficients and variance

Alpha	Standardized item alpha	Variance
0.2265	0.8252	7551.2017

4. 배후 인적 요인 분석

4.1 배후 인적 요인 분석

1) 사고 유형별 인적 요인

충돌, 좌초 및 접촉사고를 포함한 해상교통 관련 사고를 일으킨 인적 요인을 분석하기 위하여 최근 3년간 해양안전심판원의 재결서에서 추출한 충돌사고 272건(544척), 좌초사고 50건 및 접촉사고 23건을 대상으로 배후 인적 요인 분류표를 사용하여 조사 및 분석하였으며, 사고의 유형별로 인적 요인을 분석한 결과를 살펴보면 다음과 같다.

충돌사고를 일으킨 인적 요인 중에서도 Table 13에서와 같이 조선자 자신에 관한 요인(L)이 2,022건으로 가장 많아 전체의 약 66.6%를 차지하고 있으며, 다음으로 L-E 요인이 약 14.9%, L-H 요인 약 6.5%, L-m 요인 약 6.5%, L-L 요인 약 3.0%, L-S 요인 약 2.5%의 순으로 분석되었다. 좌초사고의 경우에는 조선자 자신에 관한 요인(L)이 전체의 약 57.9%로 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 다음으로 L-E 요인 약 21.1%, L-m 요인 약 8.2%, L-S 요인 약 5.5%, L-H 요인 약 5.3% 및 L-L 요인 약 2.0%의 순으로 분석되었다. 그리고 접촉사고의 경우에서도 조선자 자신에 관한 요인(L)이 약 56.9%로 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 다음으로 L-m 요인 약 13.9%, L-E 요인 약 13.1%, L-H 요인 약 6.6%, L-S 요인 약 5.1% 및 L-L 요인이 약 4.4%의 순으로 분석되었다. 해상교통 관련 사고의 유형별로 조선자 자신에 관한 요인(L)이 공통적으로 가장 많은 것으로 분석되었다.

Table 13. No. & ratio of human factors by accident type

Accident	Factor	L	L-L	L-H	L-E	L-S	L-m
Collision	Frequency	2,022	92	198	452	77	197
	Percent	66.6	3.0	6.5	14.9	2.5	6.5
Ground	Frequency	253	9	23	92	24	36
	Percent	57.9	2.0	5.3	21.1	5.5	8.2
Contact	Frequency	78	6	9	18	7	19
	Percent	56.9	4.4	6.6	13.1	5.1	13.9
Total	Frequency	2,353	107	230	562	108	252
	Percent	65.1	3.0	6.4	15.5	3.0	7.0

한편, 충돌, 좌초 및 접촉사고를 포함한 전체 해상교통 관련 사고를 일으킨 인적 요인 중 조선자 자신에 관한 요인(L)의 비율이 약 65.1%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 L-E 요인이 약 15.5%, L-m 요인 약 7.0%, L-H 요인 약 6.4%, L-S 및 L-L 요인이 각각 약 3.0% 순으로 분석되었다.

2) 사고 유형별 배후 인적 요인

해상교통 관련 사고의 유형별로 배후 인적 요인을 분석한 결과를 살펴보면 충돌사고 1건당 배후 인적 요인 분류표의 47개 세부 요인 중 46개의 요인이 복합적으로 작용하여 사고를 일으킨 것으로 분석되었으며, 이들 복수의 요인들을 누적 계산한 결과 전체 272건의 충돌사고에서 3,038개의 세부 요인이 추출되었다. 좌초사고의 경우는 좌초사고 1건당 분류표의 세부 요인 중 40개의 요인이 복합적으로 상호 작용하고 있어 이들 복수의 요인들을 누적 계산한 결과 전체 50건의 좌초사고에서 437개의 세부 요인이 추출되었으며 또한, 접촉사고를 일으킨 배후 인적 요인을 분석한 결과 접촉사고 1건당 분류표의 34개 세부 요인이 복합적으로 작용하고 있어 이들 복수의 요인들을 누적 계산한 결과 전체 23건의 좌초사고에서 137개의 세부 요인이 추출되었다. 이는 충돌사고 1건당 평균 약 11가지, 좌초사고 1건당 약 9가지 및 접촉사고 1건당 6가지의 배후 인적 요인이 복합적으로 상호 작용하여 사고를 일으키고 있음을 나타내고 있다.

충돌사고, 좌초사고 및 접촉사고 1건당 배후 인적 요인이 복합적으로 상호 작용하고 있어 이들 세부 요인을 누적 계산한 결과를 Table 14에 나타낸다.

충돌사고의 경우 조선자 자신에 관한 요인(L)이 가장 많았으며, L 요인의 주요 세부 요인으로는 Table 14에서와 같이 경계 소홀(L1-4)이 가장 많았으며, 선원의 상무의 결여(L1-1), 안전속력 미준수 및 안전거리 미확보 등 기본적인 항해능력의 결여(L1-2), 적절한 피항 협력 동작 미이행(L2-1), 등화 및 형상물 미표시, 신호 미이행(L1-11) 등이 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 특히, 선원의 상무에 따라 충돌을 피하지 못한 이유로는 상대선이 자선을 피항해갈 것이라는 예단에 의한 판단 오류(L1-3)로 인하여 타선의 동정감시를 소홀히 한 경우가 많았기 때문이었다. 기타 세부 요인으로는 협수로 등에서 선장의 선교 지휘의무 미준수, 복무감독 소홀 등 선장 및 관리자의 의무 소홀(Lm2-1), 타선과의 피항해역의 협소(LE2-1), 시계 제한(LE5-4), 항해기 기 조작 미숙(LH2-1)과 기기의 미사용(LH2-2), 어선의 항해시 선수 상승에 따른 전방 사각지대 발생 등 조선헌경의 부적합(LH3-1), 타선과의 의사소통 부족(LL2-1) 등의 요인이 비교적 많은 것으로 분석되었다. 또한, 충돌사고 중 조선자의 음주운항 13건 및 졸음운항 34건이 발생하였으며 음주 및

졸음으로 인한 판단력 및 집중력의 결여로 인한 요인이 충돌사고의 주원인으로 분석되었다.

Table 14. No. of behind human factors by accident type

Factor	Detail	Collision	Grounding	Contact
L	L1-1	317	23	6
	L1-2	214	34	16
	L1-3	108	11	3
	L1-4	365	31	11
	L1-5	113	19	7
	L1-6	89	6	1
	L1-7	72	20	4
	L1-8	117	38	14
	L1-9	34	8	1
	L1-10	47	9	3
	L1-11	171	2	0
	L1-12	13	0	2
	L2-1	179	0	0
	L2-2	6	23	3
L2-3	177	13	5	
L2-4	0	16	2	
L-L	LL1-1	35	2	4
	LL1-2	20	0	1
	LL2-1	25	0	1
	LL2-2	12	7	0
L-H	LH1-1	18	5	5
	LH1-2	9	0	0
	LH2-1	57	6	1
	LH2-2	53	5	2
	LH2-3	6	6	0
	LH3-1	48	1	1
	LH3-2	7	0	0
L-E	LE1-1	22	8	0
	LE1-2	32	4	0
	LE2-1	84	9	4
	LE2-2	3	19	1
	LE2-3	11	1	0
	LE3-1	58	1	4
	LE3-2	52	6	0
	LE4-1	50	0	2
	LE5-1	30	15	1
	LE5-2	19	11	2
	LE5-3	23	12	0
LE5-4	68	6	4	
L-S	LS1-1	28	2	2
	LS1-2	49	22	5
L-m	Lm1-1	18	1	4
	Lm2-1	88	18	5
	Lm3-1	9	2	0
	Lm3-2	19	2	0
	Lm4-1	47	9	8
	Lm4-2	16	4	2
Total		3,038	437	137

한편, 좌초사고의 경우에는 조선자 자신에 관한 요인(L)이 가장 많았으며, L 요인의 주요 세부 요인으로는 부적절한 조선 등 기본적인 선박운용능력의 결여(L1-8), 기본적인 압류대책 결여 등 기본적인 항해능력의 결여(L1-2), 경계 불충분(L1-4), 선원의 상무 결여(L1-1), 선위 확인 소홀(L2-2) 등의 요인이 많은 것으로 분석되었다. 기타 세부 요인으로는 항행구역 및 항로에 대한 정보의 부족(LS1-2), 저조시 수심 확인 소홀(LE2-2), 황천 시 정박당직 배치의 부적절 등 선장 및 관리자의 의무 소홀(Lm2-1), 기기 조작 미숙 등 기기 사용의 부적절(LH2-1) 및 해상교통관제센터와의 의사소통 부족(LL2-2) 등의 요인이 비교적 많은 것으로 분석되었다. 그 외 조선자의 졸음운항으로 인한 좌초사고가 8건의 사고가 모두 어선에서 발생하고 있어 졸음운항이 어선 좌초사고의 주원인으로 분석되었다. 좌초사고는 L 요인뿐만 아니라 수심, 기상 및 해상상태, 풍속, 시계 제한 등 자연환경의 영향을 많이 받기 때문에 이들 요인과 상호 작용하여 사고 발생에 이르는 경우가 많은 것으로 분석되었다.

또한, 접촉사고의 경우 충돌 및 좌초사고에서와 같이 조선자 자신에 관한 요인(L)이 가장 많았으며, L 요인의 주요 세부 요인으로는 과속운항, 안전거리 미확보 등 기본적인 항해능력의 결여(L1-2), 접안 중 조선 부적절(L1-8), 경계 불충분(L1-4), 주위의 위험을 인지하지 못한 조선자의 부주의(L1-5), 선원의 상무 결여(L1-1) 등의 요인이 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 기타 세부 요인으로는 무리한 운항 스케줄, 무리한 출항지시 등 선사의 관리 소홀(Lm4-1), 황천 등 비상상황에 대비한 교육 및 훈련 소홀(Lm1-1) 및 항내 해상교통량 폭주(LE3-1) 및 시계제한(LE5-4) 등의 요인이 비교적 많은 것으로 분석되었다.

4.2 결과 및 고찰

해상교통 관련 사고의 유형별로 인적 요인을 분석한 결과를 살펴보면 충돌사고의 경우는 L 요인의 비율이 가장 높았으며 다음으로 L-E, L-H, L-m, L-L 및 L-S 요인의 순으로 분석되었다. 좌초사고의 경우는 L 요인 다음으로 L-E, L-m, L-S L-H 요인의 순으로 분석되었으며, 접촉사고를 일으킨 인적 요인은 L 요인 다음으로 L-m, L-E, L-H, L-S 및 L-L 요인의 순으로 분석되었다. 이는 해상교통 관련 사고가 m-SHEL 모델의 6가지 인적 요인이 복합적으로 상호 작용하여 발생하고 있음을 나타내고 있다.

주요 세부 요인으로는 경계 소홀(L1-4), 선원의 상무의 결여(L1-1), 기본적인 항해능력의 결여(L1-2), 등화 및 형상물 미표시(L1-11), 항해기기 조작 미숙(LH2-1) 등의 요인이 많았으며, 기타 어선의 음주 및 졸음운항 등으로 분석되어 우선적으로 조선자 자신의 안전의식 고양 및 기본적인 항해능력 향상을 위한 교육 및 훈련 등의 대책을 수립할 필요가 있다

고 판단된다.

한편, 해상교통 관련 사고의 유형별로 평균적으로 6~11가지의 배후 인적 요인이 복합적으로 상호 작용하여 사고에 이르는 것으로 분석되어 해상교통 관련 사고는 조선자만(L)의 과실에 의하여 발생하기 보다는 조선자의 판단이나 행동에 영향을 미치는 주변 환경(L-E), 기기 등 하드웨어(L-H), 규정 및 절차 등의 소프트웨어(L-S), 주위 인간과의 관계(L-L) 및 관리(L-m)의 요인이 복합적으로 상호 작용하여 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 해상교통과 관련이 깊은 충돌, 좌초, 접촉 사고를 중심으로 최근 3년간 해양안전심판원의 재결서로부터 해상교통 관련 사고를 일으킨 배후 인적 요인에 대하여 m-SHEL 모델을 이용하여 분석 및 검토하였으며, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 선박운항시스템의 관점에서 m-SHEL 모델의 6가지 인적 요인을 17개 항목으로 분류하고, 이를 세분화하여 47개의 세부 요소를 구체적으로 정의하여 해상교통 관련 사고를 일으키는 배후 인적 요인 전체를 명확히 정의하였다.

둘째, 분석 모델의 신뢰성 분석을 수행한 결과 표준화된 항목 α 값이 0.8252로 Chronbach's α 값 0.6 이상으로 신뢰성이 있음을 확인하였으며, 이 모델을 사용하여 해상교통 관련 사고를 일으킨 배후 인적 요인 분석의 신뢰성을 확보하였다.

셋째, 해상교통 관련 사고를 일으킨 전체 배후 인적 요인 중 L의 요인의 비율이 약 65.1%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 L-E 요인이 약 15.5%, L-m 요인이 약 7.0%, L-H 요인이 약 6.4%, L-L 요인과 L-S 요인이 각각 약 3.0% 순으로 분석되었다. 충돌, 좌초 및 접촉사고에서 공통적으로 L의 요인이 가장 많은 것으로 분석되었다.

넷째, 해상교통 관련 사고를 일으킨 배후 인적 요인을 분석한 결과를 살펴보면 사고 유형별로 평균적으로 6~11가지의 배후 인적 요인이 복합적으로 상호 작용하여 사고에 이르는 것으로 분석되었다.

해상교통 관련 사고의 배후 인적 요인을 분석한 결과 충돌, 좌초 및 접촉사고는 조선자만(L)의 과실에 의하여 발생하기 보다는 조선자의 판단이나 행동에 영향을 미치는 L-E, L-H, L-S, L-L 및 L-m의 요인이 복합적으로 상호 작용하여 발생하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 각 개별 인적 요인에 대한 사고 예방대책의 수립도 중요하며 또한 상호 복합적으로 작용하여 사고를 일으키는 배후 인적 요인 전체에 대하여 체계적으로 제어할 수 있는 예방대책의 수립이 필요하다고 판단된다.

References

- [1] Cho, J. Y., J. S. Keum and W. J. Jang(2010), A Study on the Effects of Marine Accidents By Navigation Officers' Fatigue, The Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 2, pp. 201-207.
- [2] Committee on Advances in Navigation and Piloting(1994), Minding the Helm, Marine Navigation and Piloting, National Academy Press, pp. 271-273.
- [3] Hawkins, F. H.(1987), Human Factors in Flight, Gower Technical Press, p. 43.
- [4] Hollnagel, E.(1998), Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM, Elsevier, pp. 83-119.
- [5] Itoh, H., M. Nobuo and M. Takeshi(2004), Extention of m-SHEL Model for Analysis of Human Factors at Ship Operation, Journal of the Japan Institute of Navigation, Vol. 110, pp. 83-91.
- [6] Kawano, R.(1997), Human error. Human factors in nuclear power plants, High Pressure Gas, 34(9), pp. 36-43.
- [7] Keum, J. S. and M. O. Yoon(1997), Maritime Traffic Management, Sejong Press, pp. 53-55.
- [8] KMST(2017), Statistics of Maritime Accidents, Korean Maritime Safety Tribunal, pp. 5-31.
- [9] Park, J. S.(2001), Marine Traffic Engineering, Hyosung Press, p. 4.
- [10] Reason, J.(1990), Human Error, Cambridge University Press, pp. 19-52.
- [11] Sakaide, M., S. Mizutani and H. Matsumoto(2012), Marine Accidents Factors of Fishing Boats in Three Major Bays-Analysis of Background Factors by the m-SHEL Model, Journal of the Japan Institute of Navigation, Vol. 128, pp. 39-47.
- [12] Takemoto, T., Y. Sakamoto, M. Furusho and H. Shimada (2003), Incidental Situation of Human Error Occurred in Marine Collision Accidents, Journal of the Japan Institute of Navigation, Vol. 110, pp. 109-116.
- [13] Yang, W. J. and J. S. Keum(2003), A Study on the Risk Control Measures of Ship's Collision, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 29, No. 1, pp. 51-56.

Received : 2018. 06. 12.

Revised : 2018. 07. 27. (1st)

: 2018. 08. 20. (2nd)

Accepted : 2018. 08. 28.