Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.137-150, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.137

해양사고조사를 위한 인적 오류 분석사례*

김홍태[1] · 나 성[2] · 하욱현[1]

[1]한국해양연구원 해양시스템안전연구소 / [2]한국선급 연구원

A Case Study of Marine Accident Investigation and Analysis with Focus on Human Error

Hongtae Kim[1], Seong Na[2], Wookhyun Ha[1]

[1]Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon, 305-343
[2]R&D Institute, Korea Register of Shipping, Daejeon, 305-343

ABSTRACT

Nationally and internationally reported statistics on marine accidents show that 80% or more of all marine accidents are caused fully or in part by human error. According to the statistics of marine accident causes from Korean Maritime Safety Tribunal(KMST), operating errors are implicated in 78.7% of all marine accidents that occurred from 2002 to 2006. In the case of the collision accidents, about 95% of all collision accidents are caused by operating errors, and those human error related collision accidents are mostly caused by failure of maintaining proper lookout and breach of the regulations for preventing collision. One way of reducing the probability of occurrence of the human error related marine accidents effectively is by investigating and understanding the role of the human elements in accident causation. In this paper, causal factors/root causes classification systems for marine accident investigation were reviewed and some typical human error analysis methods used in shipping industry were described in detail. This paper also proposed a human error analysis method that contains a cognitive process model, a human error analysis technique(Maritime HFACS) and a marine accident causal chains, and then its application to the actual marine accident was provided as a case study in order to demonstrate the framework of the method.

Keywords: Human element, Human error analysis, SHELL model, GEMS model, Cognitive process model, HFACS

1. 서 론

국내 해양사고의 발생 건수는 2004년 1,070건을 최고점으로 점차 감소하고 있으나, 그림 1에서 보는 바와 같이 2009년에는 915건으로 다시 증가하는 추세에 있다(KMST, 2010). 해양사고의 특성상 한 번의 사고로 해양환경 및 재산상의 막대한 손실을 초래할 수 있으며, 대표적으로 2007년 말 태안에서 발생한 허베이 스피리트호 유류유출 사고에서도 쉽게 찾아볼 수 있다.

이러한 해양사고와 관련해서 국내외 대부분의 해양사고 통계에 의하면 인적 요인(human element)에 인한 사고의 비율이 60%에서 80%로 보고되고 있다. 국제해사기구(International Maritime Organization; 이하 IMO)에서는

교신저자: 김홍태(공저자 나성은 본 연구의 수행시 한국해양연구원 소속이었음)
주 소: 305-343 대전시 유성구 정동 171, 전화: 010-3686-3807, E-mail: kht@moeri.re.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

이러한 해양사고의 80% 이상이 인적 오류(human error)와 조직의 문제(organizational factor)에 의해 발생한다고 보고하고 있다(IMO, 1994). 또한 UK P&I Club에서 15년간 10만불 이상의 손해배상이 청구된 6,091건의 상선사고를 분석한 결과에 의하면, 62%의 사고가 인적 오류에 영향을 받은 것으로 나타났다(Anderson et al., 1997).

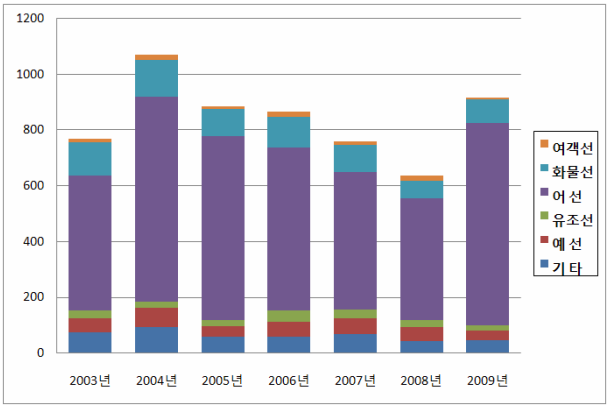


그림 1. 최근 7년간 선박용도별 해양사고 발생현황

2008년 해양사고 분석보고서(중앙해양안전심판원, 2009)에 의하면, 국내 해양사고별 원인으로 운항과실이 약 62%를 차지하는 것으로 나타났고, 충돌사고의 경우 95% 이상이 운항과실에 기인한 것으로, 특히 경계소홀과 항행법규 위반이 대다수를 차지하는 것으로 나타났다.

해양사고에 있어서 인적 오류의 문제가 앞으로 점점 중요시 되고 급히 해결해야 할 문제로 부각될 것은 의심의 여지가 없다. 왜냐하면 1980년대의 선원채용 및 교육에 대한 부실로 인해, 해운산업에서 양질의 선원을 수급하는 것이 매우 어려운 것이 현실이기 때문이다. 이러한 양질의 선원 수급은 해운산업의 품질과 안전에 대한 기대 수준, 해양사고에 대한 파급효과 및 관련 비용의 증가로 인해 긴급한 문제로 인식되고 있다.

결국 해양사고 발생의 원인 중 인적 오류를 줄이는 것이 해양사고를 획기적으로 줄이는 방법의 하나가 될 것이라고 판단되고 있다. 하지만, 이러한 인적 오류에 의한 해양사고들이 전적으로 직무수행자 혼자만의 과실에 의하여 발생한다고는 볼 수 없으며, 이는 직무수행자의 행동에 영향을 미치는 외부환경, 운용상의 규정 및 절차, 관련 기계장비 또는 다른 작업자와의 관계 등과 같은 요인들의 결합에 의하여 발생하는 사고라고 할 수 있다(Kim et al., 2001).

이러한 인적 오류를 정확하게 분석하여 사고의 원인을 규명하는 것이 향후 유사한 사고들의 재발을 방지하는데 중요한 역할을 할 것이다. IMO에서는 "국제해양사고조사코드"(Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents, 결의서 A.849(20))라는 도구를 통해, 해양사고 조사에 있어서의 공통적인 접근방법의 이용과 사고원인 식별을 위한 국가 간의 협력을 증진시키기 위한 노력을 기울이고 있다. 또한, 해양사고 원인에 있어 인적 오류가 큰 비중을 차지하는 사실을 고려하여, 2000년에는 "국제해양사고조사코드"의 개정안(결의서 A.884(21))을 채택하였고 동 개정안에 따른, 해양사고에 있어서 인적 요인의 체계적인 조사가 권고되고 있다(IMO, 1997, 2000).

또한 권고사항인 "국제해양사고조사코드"의 강제화 필요성이 대두되어, 2008년 5월에 개최된 제84차 해상안전위원회에서 "IMO 해양사고조사코드"(Casualty Investigation Code, 2008)가 최종 채택되었으며 2010년 1월 1일 발효되었다.

본 논문에서는, 2010년 1월부터 "IMO 해양사고조사코드"가 강제화 됨에 따라, 국내 해양사고조사 과정에서 인적 오류의 규명을 효과적으로 수행하기 위해 개발된 "해양사고 인적 오류 분석 매뉴얼"과 실제 해양사고조사에 활용한 사례를 소개하고자 한다.

2. 해양사고 원인 분류체계

해양사고의 근본적인 원인을 찾아내기 위한 국내외의 연구들에서 빈번히 채택하고 있는 연구방법의 하나는 해양사고 데이터의 분석이다. 이러한 연구방법은, 사고 데이터의 분석을 통해 사고 발생의 근본적인 원인을 규명하고 해양사고의 재발을 방지하기 위한 대책을 마련하기 위한 것이다. 그러나 사고 데이터 분석을 통한 해양사고 원인분석 방법은 몇 가지 문제점을 내포하고 있다.

첫째, 사고 데이터를 통한 원인분석을 위해서는 막대한 분량의 사고 보고서들을 분석해야 한다는 문제점이 있으며, 사고 데이터 분석은 많은 시간을 요구하는 작업으로 알려져 있다(Caridis, 1999).

둘째, 하나의 사고는 한 요인에 의해 일어나기 보다는 여러 요인들이 복합적으로 작용하여 일어나는 것이 일반적인 현상이기 때문에 근본적인 사고 원인규명에는 어려움이 있다.

마지막으로, 사고의 원인을 분류하는 과정에서 어느 한 요인을 어떤 한 부류에 속하는 것으로 규정하기에 어려운 경우들이 존재한다는 문제점이 있다. 그러나 다른 한편으로는, 기존 사고는 앞으로도 발생할 수 있는 사고의 유형을 제시하고 있기 때문에 사고예방 차원에서, 기존 사고 데이터에 대한 다각적인 분석 또한 요구된다고 할 수 있다.

국내의 해양사고 데이터는 아직까지 체계적으로 수집되고

있다고 할 수 없다. 우리나라에서는 해양안전심판원을 중심으로 해양사고 데이터를 수집하고 있지만, 사고의 원인 분류체계가 조사기관별로 상이한 면이 있으며, 2003년에 이르러서야 해양사고조사체계를 국제기준에 적합하도록 마련하기 위한 논의가 본격적으로 시작되었다(Park, 2003).

2.1 국내 해양사고 원인 분류체계

중앙해양안전심판원은 해양사고의 원인을 그림 2와 같이 크게 3가지(운항과실, 취급불량 및 결함, 기타)의 범주로 나누고, 3가지 범주 중 운항과실은 출항에서 입항까지의 전 과정에서 항해관련자의 준비불량, 정해진 항로로의 운항 미이행, 법규 위반, 감독 소홀 등 12가지의 원인으로 분류하여 전체적인 인적 오류에 의한 사고를 중점적으로 파악하고 있다. 취급불량 및 결함은 기계적 결함 및 선체 결함을 중심으로 3가지의 원인으로 분류하며 선박의 기계적인 결함을 중점적으로 파악한다. 마지막으로 기타는 기상 상황이나 육상관리자의 실수 및 법규 위반 등을 중심으로 6가지의 원인으로 분류하며, 선박 운항 시 사람이 힘으로는 어쩔 수 없는 기상이변이나 불가항력적 사고에 대해 파악을 하고 있다. 즉, 중앙해양안전심판원의 해양사고 원인 분류체계는 사고조사 시에 발생하는 인적 오류 및 기계적인 결함 그리고 불가항력적인 상황 등 큰 범주 내에서 각각의 원인을 분류하고 있다.

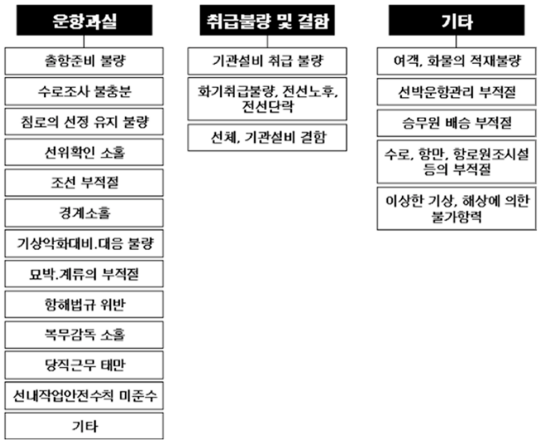


그림 2. 중앙해양안전심판원 해양사고 원인 분류

한편, 해양경찰청은 해양사고의 원인 분류를 그림 3과 같이 크게 4가지(인적 요인, 자연적 요인, 교통환경적 요인, 경제적 요인)의 범주로 나누었는데, 4가지 범주 중 인적 요인은 출항에서 입항까지의 전 과정에서 항해관련자의 인간오류를 13가지의 원인으로 분류하며 전체적인 인적 오류에 의한 사고를 중점적으로 파악한다. 자연적 요인은 외부적인 영향인 파도, 해일, 농무기의 시계불량 등의 3가지 원인으로 분류하고, 교통환경적 요인은 항만이나 항로와 관련된 원인을 3가지로 분류하며, 마지막으로 경제적 요인은 선박을 운영 관리하기 위한 선사 및 소형 선박 선주의 선박 관리적 측면 등 6가지 원인으로 분류한다. 해양경찰청의 해양사고 원인 분류체계는 중앙해양안전 심판원과 다르게 교통환경적 요인과 경제적 요인을 포함하고 있는데, 교통환경적 요인은 선박 운용 시 항만 및 협수로의 선박밀집과 가항 수로의 제한, 조석의 급변 등을 사고의 원인으로 분류하고 있으며. 경제적인 요인은 선박을 관리 운용하는 선사의 관리적인 문제를 사고원인으로 분류하고 있다.

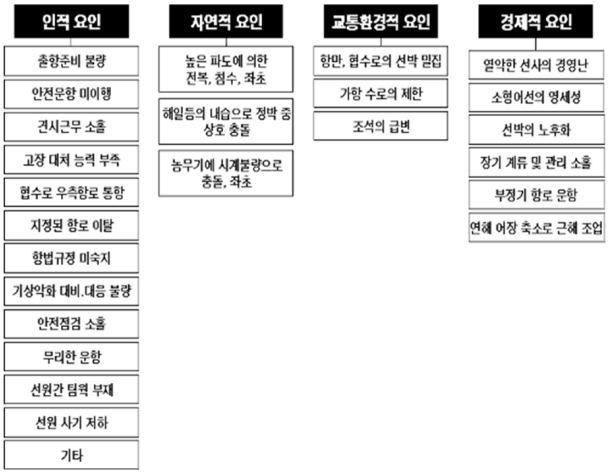


그림 3. 해양경찰청 해양사고 원인 분류

2.2 국외 해양사고 원인 분류체계

호주의 ATSB(Australian Transportation Safety Bureau)는 해양사고 원인을 크게 5가지(상황인식 그룹, 관리 그룹, 위험 그룹, 정비 인적 오류 그룹, 인적 오류 외 그룹)의 범주로 나누었는데, 5가지 범주 중 상황인식 그룹은 운항에 대한 전반적인 상황 판단, 지식 수준, 직권 등의 3가지 원인으로 분류하며, 특히 운항에 있어 중요한 법규 및 상황 판단의 수준을 주요 원인으로 분석한다. 관리 그룹은 정보, 인원, 법규, 절차 등의 7가지 원인으로 분류하며, 위험 그룹은 항해 시 발생하는 승무원의 직무 태만, 경계실수, 당직, 약물 등의 6가지 원인으로 분류한다. 또한 정비 인적 오류는 항해사의 실수, 착각 또는 수행 착오 등의 원인으로 분류하며, 마지막으로 인적 오류 외 그룹은 기계적 측면, 날씨, 위험지역 운항 등 4가지 원인으로 분류한다(Baker and Seah, 2004).

ATSB의 해양사고 원인 분류체계는 국내 원인 분류체계와는 다르게 인적 오류를 세분화하여 중점적으로 다루고 있

으며, 사고자체의 분석 보다는 사고가 일어나기 전의 상황들을 종합적으로 분석하여, 항해사나 승무원의 근본적인 인적 오류를 분석하고 있다.

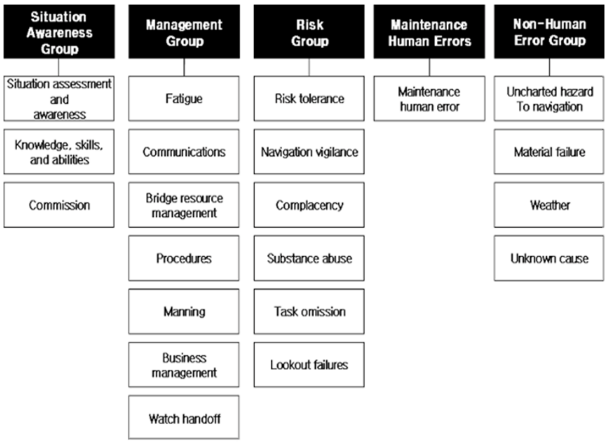


그림 4. ATSB 해양사고 원인 분류

영국의 해양사고조사기관인 MAIB(Marine Accident Investigation Board)와 캐나다의 TSB(Transportation Safety Board of Canada)는 해양사고의 원인을 크게 5가지(상황인식 그룹, 관리 그룹, 위험 그룹, 정비 인적 오류 그룹, 인적 오류 외 그룹)의 범주로 나누고, 5가지 범주 중 상황인식 그룹은 운항에 대한 전반적인 상황 판단, 지식 수준, 직권 등의 3가지 원인으로 분류하며, 특히 운항에 있어 중요한 법규 및 상황 판단의 수준을 주요 원인으로 분석한다. 관리 그룹은 ATSB와는 다르게 선교 관리와 정보 교류를 같은 맥락의 원인으로 보고 같은 원인으로 분류하였으며, 위험 그룹은 항해 시 발생하는 승무원의 직무 태만, 경계실수, 당직, 약물 등의 6가지 원인으로 분류한다. 또한 정비 인적 오류는 항해사의 실수, 착각 또는 수행 착오 등의 ATSB의 정비 인적 오류 외에 디자인적인 결함과 정밀검사 실수 항목이 추가가 되어 분류하며, 마지막으로 인적 오류 외 그룹은 기계적 측면, 날씨, 위험지역 운항 등 4가지 원인으로 분류한다(Baker and Seah, 2004).

MAIB와 TSB의 해양사고 원인 분류체계는 ATSB와는 다르게 관리 그룹과 정비 인적 오류의 원인 분류를 부분 통합 또는 세분화를 통하여 인적 오류를 중점적으로 분석하고 있으며, 디자인의 결함 및 점검 실수와 같이 선박의 설계 단계에서의 원인들을 해양사고의 원인으로 고려하여 사고의 구체적인 원인까지 분류한다.

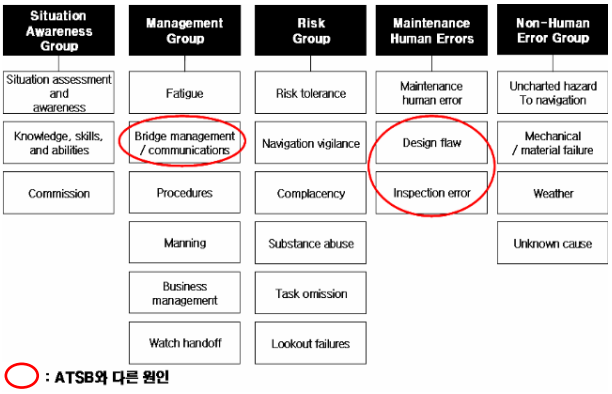


그림 5. MAIB와 TSB의 해양사고 원인 분류

2.3 국내외 해양사고 원인 분류체계 비교 및 제안

국외 해양사고 원인 분류(ATSB/MAIB/TSB)와 국내 해양사고 원인 분류(중앙해양안전심판원/ 해양경찰청)를 비교한 결과, 중앙해양안전심판원의 경우, 국외 해양사고 원인 분류와 비교하여, 상황인식과 관리 부분에서 다수의 원인 분류 항목이 일치하지 않는 것을 볼 수 있고, 위험 부분에서 일부 내용이 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 해양경찰청의 해양사고 원인 분류에서는 전체적인 부분이 국외 해양사고 원인 분류와 일부 내용이 일치하고 있지만, 세부 내용 측면에서 원인 분류가 포괄적인 것을 알 수 있다.

즉, 국내 해양사고 원인 분류체계의 장점은 물리적인 사고의 계기와 사고 당시의 문제점 파악에는 유리하지만, 인적 오류에 의한 사고가 발생했을 경우에는 그 문제점을 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 국외 해양사고 원인 분류에서 보여 주는 것처럼, 해양사고는 물리적인 충돌이 일어나기 전의 과실들이 통합되어 사고가 일어나므로, 보다 다각적이고 근원적인 원인의 분석 및 분류가 이루어져야 할 것이다.

최근 발간된 2008년 해양사고 분석보고서에 의하면, 국내 해양사고 별 원인으로 운항과실이 약 62%를 차지하는 것으로 나타났고, 선박용도별 해양사고 발생현황 분석에서는 선종에 관계없이 운항과실이 주된 사고원인으로 파악되었다(KMST, 2009). 충돌사고의 경우 95% 이상이 운항과실에 기인한 것으로 나타났으며, 특히 경계소홀과 항행법규 위반이 대다수를 차지하는 것으로 나타났는데, 국내 해양사고 통계에서는 주된 원인으로 흔히 운항과실이 언급되고 있으나, 보다 실제적인 사고의 원인을 규명하기 위해서는 운항과실을 일으키는 근본적이고 잠재적인 원인의 파악이 필요하다.

이에 본 논문에서는 해양사고의 잠재적 근본원인을 파악하기 위한 원인 분류방안으로, 인적 오류를 발생시키는 근본원인의 종류를 외부 요인, 개인 요인, 선박 요인 및 선사 요

인의 4가지 대 분류로 구분하여, 다음의 표 1에서 표 4와 같이 제안하고자 한다.

표 1. 해양사고 잠재원인 분류코드(외부 요인)

대분류	중분류	코드	분류
외부 요인	외부환경 요인	a.1	날씨(기상/해상 상태, 안개 등)
		a.2	선박 통행량 과다
		a.3	통항 관제 오류
		a.4	외부 장애물(해상 부유물 등)
		a.5	항로표지 등 부적절
		a.6	항로표지 등 상태불량
		a.7	항행통보 부적절
		a.8	수로의 관리, 유지 부적절
		a.9	항만시설 부적절
		a.10	얕은 수심
		a.11	좁은 수로
		a.12	강한 해조류
		a.13	결빙 상태
		a.14	유빙해역
		a.15	도선사 과실
		a.16	기타
	외부규정 요인	b.1	지역특별항법규정
		b.2	국제 법규 및 코드
		b.3	국내 법규
		b.4	기국 규정
		b.5	항만국 규정(PSC 등)
		b.6	기타

표 2. 해양사고 잠재원인 분류코드(개인 요인)

대분류	중분류	코드	분류
개인 요인	정신적 요인	c.1	안일한 생각/태도
		c.2	정신적 피로
		c.3	긴장/두려움
		c.4	서두름/당황
		c.5	주의 산만
		c.6	부정적 감정 상태
		c.7	높은 자신감
		c.8	낮은 자신감
		c.9	낮은 업무 만족도
		c.10	자동화 시스템 의존
		c.11	개인적 성격
		c.12	정신적 질병
		c.13	기타

표 2. 해양사고 잠재원인 분류코드(개인 요인) (계속)

대분류	중분류	코드	분류
개인 요인	육체적 요인	d.1	육체적 피로
		d.2	신체적 질병
		d.3	술/약물
		d.4	시각 및 청각장애
		d.5	신체조건
		d.6	운동능력
		d.7	나이/성별
		d.8	기타
	선원 자격 및 훈련 요인	e.1	자격 부적절(신체, 적성, 자격증)
		e.2	지식 부족
		e.3	잘못된 지식
		e.4	기술 부족
		e.5	상황판단능력 부족
		e.6	잘못된 가정, 예측, 선입관
		e.7	부적절한 습관
		e.8	과거의 사고 경험
		e.9	기타

표 3. 해양사고 잠재원인 분류코드(선박 요인)

대분류	중분류	코드	분류
선박 요인	선내조직 요인	f.1	부적절한 관행/자체 규정
		f.2	선내 조직압력(업무량, 업무시간)
		f.3	직무 및 책임 구분 부정확
		f.4	부적절한 의사소통
		f.5	부적절한 인수인계
		f.6	작업인력 배치 부적절
		f.7	선원 사기 저하
		f.8	선원 간 관계
		f.9	리더십(상급선원의 지도/감독)
		f.10	과도한 권위주의
		f.11	권위 부족
		f.12	부적당한 규정/절차/지침
		f.13	선내 교육/훈련
		f.14	승무원의 구성(국적, 자격)
		f.15	기타
	기술적 요인	g.1	선박 설계 및 디자인
		g.2	선박 장비 및 도구(유용성, 신뢰성)
		g.3	정비/점검 상태
		g.4	화물의 특성
		g.5	화물의 취급 및 관리
		g.6	선박의 홀수(적재량-과적 등)

표 3. 해양사고 잠재원인 분류코드(선박 요인) (계속)

대분류	중분류	코드	분류
선박 요인	기술적 요인	g.7	각종 선박 증서
		g.8	기타
	작업 및 생활환경 요인	h.1	밝기
		h.2	소음
		h.3	온도 및 습도
		h.4	진동
		h.5	청결 상태
		h.6	공기(냄새, 연기, 유독가스)
		h.7	작업공간의 인간공학적 설계
		h.8	작업 특성
		h.9	작업장 내 다른 사람의 영향
		h.10	작업 도구/ 장비의 부재 또는 부적절한 배치
		h.11	선박의 자동화 수준
		h.12	식생활의 적합성
		h.13	기타

표 4. 해양사고 잠재원인 분류코드(선사 요인)

대분류	중분류	코드	분류
선사 요인	선사 관리/감독 요인	i.1	부적절한 선원 배승
		i.2	선원 자격요건 관리 미흡
		i.3	교육/훈련 부재
		i.4	교육/훈련 부족
		i.5	부적절한 교육/훈련 내용
		i.6	부적절한 교육/훈련 방법
		i.7	교육/훈련 평가 및 개선 미흡
		i.8	선박 장비 및 선용품 보급/관리 미흡
		i.9	기타
	선사 운영/계획 요인	j.1	선박운영 템포
		j.2	부적절한 선박운영 체계
		j.3	부적절한 운항 계획
		j.4	안전문화 부재
		j.5	경영환경(경제적, 정치적, 법적, 사회적 여건)
		j.6	예산문제
		j.7	부적절한 상벌 제도
		j.8	휴가 및 교대정책 등 근로조건 불량
		j.9	고용 정책
		j.10	선박사고 긴급대응 대책
		j.11	기타

표 4. 해양사고 잠재원인 분류코드(선사 요인) (계속)

대분류	중분류	코드	분류
선사 요인	선사측 고의 위반 요인	k.1	무자격 선원 배승
		k.2	승무기준 위반
		ki.3	위반행위 용인
		k.4	기타

3. 해양 분야 인적 오류 분석모델

인적 오류 분석체계와 관련된 국내외 기술개발은 항공, 원자력, 철도 분야에서 먼저 시작되어, 인적 오류를 체계적으로 분석하는 방법 및 도구들이 많이 개발되었다.

대표적인 인적 오류 분석체계로는 원자력 분야의 HPES (Human Performance Enhancement System)와 HPIP (Human Performance Investigation Process), 항공 분야의 HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)와 TRACEr(Technique for the Retrospective Analysis of Cognitive Errors), 철도 분야의 HEAR(Human Error Analysis and Reduction), 그리고 기타로는 CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) 등이 있다(Shin et al., 2008).

해양 분야는 비교적 늦게 인적 오류에 관심을 갖게 되어 아직 국내외적으로 관련 연구가 부족한 편이지만, 원자력, 항공, 철도 등 다른 분야의 연구결과를 참조로 하여, 유럽과 미국을 중심으로, 인적 오류 분석을 위한 연구에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 본 절에서는 여러 산업 분야에서 개발되어 활용된 인적 오류 분석모델 중에서 해양 분야에서 활용되고 있는 분석모델들을 선별하여 소개하고자 한다.

3.1 국제해양사고조사코드와 인적 요인 조사지침

IMO에서는 제 20차 총회(1997년 11월 27일)에서 "국제해양사고조사코드(Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents: IMO Res. A.849(20))"를 채택하였다. 그리고 3년 후에는 "해양사고 인적 요인 조사지침(Guidance for the Investigation of Human Factors in Marine Casualties and Incidents)"을 포함한 새로운 조사코드(IMO Res. A.884(21))를 채택하였다. 즉, 이를 통해 국제협력을 얻어내 해양사고의 원인을 규명하고 앞으로 유사 해양사고를 막아보자는 것이 결의문의 목적이다.

그림 6은 해양사고 보고절차를 포함한 "국제해양사고조사코드" 개정안을 정리한 것이다. 기국은 기본적으로 해난사

고조사를 위한 코드를 사용해야 하며, 동 코드는 해난사고의 원인 및 그 잠재성을 정확히 확인하기 위하여 사고조사에 대한 표준접근방식을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다(Yang, 2004).

IMO의 새로운 조사코드 부록 2에 나와 있는 "해양사고 인적 요인 조사지침"의 절차(IMO Res.884, 부속서1)를 정리하면 다음과 같다. 이 지침은 지침의 목적, 해양사고조사/심판의 절차 및 관련 기법, IMO 보고절차 및 조사관 · 심판관의 자격 및 훈련에 관한 사항 등을 규정하고 있으며, 간략한 내용은 다음과 같다(Cho, 2001).

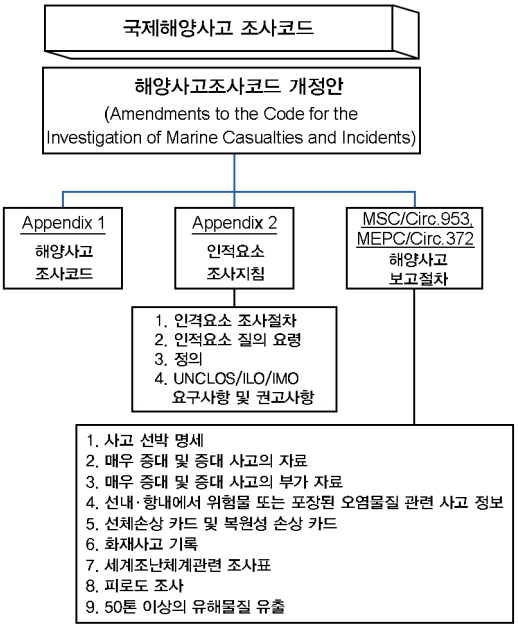


그림 6. IMO의 국제해양사고조사코드

이 지침의 목적은 해양사고를 조사 · 심판함에 있어서 인적 요인의 발굴을 위한 체계적인 접근과 효율적인 분석 및 예방대책수립에 관한 조언을 함으로써, 장기적으로는 유사한 사고의 재발을 막는데 있다. 조사 · 심판 과정에서 고려하여야 할 사항으로 재발방지대책을 세움에 있어서 사고의 직접적인 원인을 밝히는 것도 중요하지만 회사의 경영이나 정책수립과 같은 배경적인 요소를 밝히는 작업도 매우 중요하다고 언급하고 있다. 이러한 관점에서 다음 사항들을 조사 · 심판에 고려하여야 한다.

또한 이 지침에서는 인적 요인의 파악을 위하여, 해양사고 조사 및 심판과정에서 관련자의 인적 요인, 선상 조직, 작업환경 · 거주환경, 선박 요소, 육상 경영상태 및 외부 영향 및 환경 등을 고려할 사항으로 제시하고 있다.

한편 부록에 나와 있는 "IMO/ILO 인적 요인 조사방법"은 해양사고 시에 인적 요인의 조사를 위해 사용할 수 있도록 단계별 그리고 체계적인 접근방법을 제시하고 있다. 이 과정은 기존의 인적 요인에 관한 틀의 여러 가지 요인들을 종합하여 채택한 내용으로 구성되어 있다. 이 절차는 해양사고(marine casualty) 및 경미사고(marine incident) 모두에 적용할 수 있는 내용이며, 표 5와 같이 6단계로 구성된다. 이 절차는 인적 요인의 구조에 관한 이론인 SHELL (Hawkins, 1987), Reason(1990)의 사고인과관계, GEMS (Generic Error-Modeling System) 및 Rasmussen의 SRK 등을 결합한 것이다.

1단계에서의 체계적인 접근법은 매우 중요한데 이는 중요한 정보를 간과하지 않고 종합적인 분석이 가능하도록 하는 과정이기 때문이다. 2단계에서는 1단계에서 얻은 자료들을 유기적으로 연결시켜 사건의 발생과정을 만들어간다. 3단계에서는 수집하고 정리한 정보를 이용해 사고유발 요소들을 찾아낸다. 우선 위험한 행동이나 상황 및 불안전한 의사결정에 대해서 판별하고 그 발생과정을 추적한다. 4단계에서는 식별된 각각의 안전하지 못한 행위 또는 결정에 포함되어 있는 실수 또는 위반의 형태를 규명하는 과정이다. 5단계에서는 안전하지 못한 행위, 결정 또는 조건들의 배후에 숨어 있는 요소들을 찾아내는 것에 초점을 맞추고 있다.

표 5. 인적 요인의 조사 단계

단계	내용	기법
1단계	사고관련 정보 수집	SHEL 모델
2단계	사고발생과정 규명	SHEL & Reason's Hybrid 모델
3단계	안전하지 못한 행동, 의사결정 및 상황을 확인	
4단계	과실 또는 위반 유형 분류	GEMS 프레임웍
5단계	잠재(근본) 요소의 식별	
6단계	내재하는 안전문제를 찾고 안전조치를 마련	

이 과정의 가장 중요한 점은 각각의 숨어 있는 요소들에는 하나 또는 그 이상의 안전하지 못한 행위, 결정 또는 조건들이 연계되어 있다는 개념이다. 각 단계별 재조사 과정에서 어떠한 추가적인 조사가 필요하다는 점을 언급할 수 있다. 최종적으로 6단계에서는 안전에 관한 잠재적인 문제점을 식별하는 일과 식별된 숨어 있는 요소들을 근거로 하는 안전한 행위를 권고하는 것이다.

3.2 CASMET(Casualty analysis methodology for maritime operations)

CASMET는 유럽 내에서 하나의 통합된 인적 요인 및 사고조사체계를 만들고자 하는 움직임의 일부로서 1999년에 개발된 방법론이다. 기여 요인(contributory factors)과 원인 요소(causal factors)로서의 인적 오류 및 조직적 오류와 관계된 정보를 대조하고 분석하기 위한 방법이다(Caridis, 1999).

그림 7은 CASMET의 인적 요인 상호작용 모형 (human factors interaction model)을 나타낸 것이다. 선박해양 분야에서 작업은 대개 특정한 임무(mission)나 과제가 있기 때문에 생겨나는데, 임무의 요구사항을 충족시키기 위해서는 인간(personnel)으로부터 수행도가 요구되며, 인간은 제공되는 장비(equipment)를 사용하여 작업을 수행한다. 또한, 외부의 사건들이 임무에 영향을 미칠 가능성이 있으므로, 전체의 모형은 임무, 사람, 장비와 환경(environment) 사이의 상호작용을 가정한다. 그리고 이 네 가지 요소들의 상호작용이 사건의 결과를 만들어낸다.

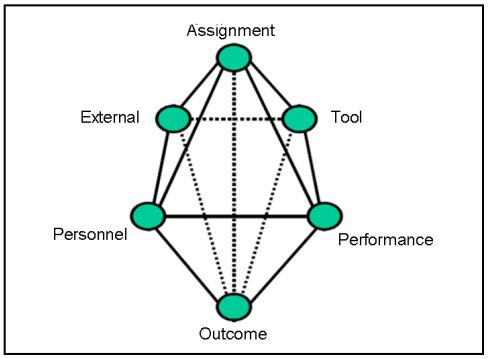


그림 7. CASMET Human Factors Interaction Model

3.3 HFIT(Human Factors Investigation Tool)

HFIT는 영국의 해양 석유 및 가스산업에서 발생하는 사고의 인적 오류를 조사하기 위해 최근에 만들어진 방법론이다. 기존에 많이 쓰여 왔던 사고 인과관계(accident causation)에 관한 이론들과 총 18개의 대표적인 사건보고 체계들의 분석을 통해 개발되었다(Gordon et al., 2005). 그림 8은 HFIT의 사건 인과관계 모형(incident causation model)을 나타낸다.

여기서 '사건'(incident)은 사고(accidents)와 아차사례(near misses)를 모두 포함한다. '사건' 바로 직전에 일어났던 행동들이 'Action Error'라고 부르는 첫 번째 범주인데, 현장에 있는 작업자의 오류에 해당된다. 이러한 'Action Error'는 일반적으로 상황인식의 저하로 인해 발생하기 때문에, 'Situation Awareness'가 두 번째 범주에 해당된다. 또한 상황인식의 저하는 작업환경에 속하는 안전에 대한 '위협요소(threats)'들의 영향을 받는데, 이 위협요소가 세 번째 범주이다. 작업자의 오류나 저하된 상황인식이 사고가 발생하기 전에 발견되고 해결되면, 아차사례에 그치게 된다. 'Error Recovery'라고 부르는 이 단계가 네 번째 범주이고, 'Action Error'나 'Situation Awareness' 단계에서 이 단계로 진행될 수 있다.

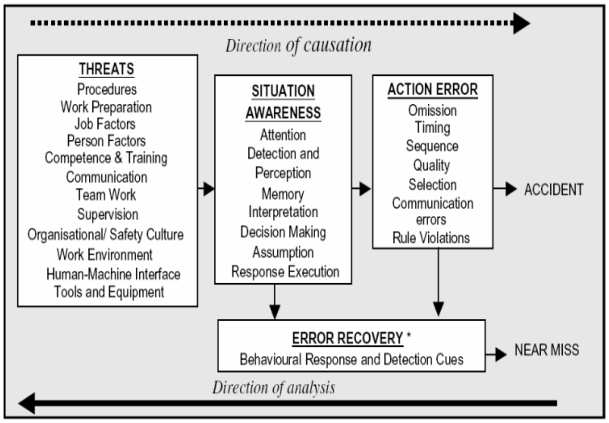


그림 8. HFIT 사고 인과관계 모형 및 분석의 방향

4. 해양사고 인적 오류 분석모델의 개발 및 활용사례

4.1 개요

본 연구에서 제안하는 인적 오류 분석모델은 앞서 언급한 IMO의 "해양사고 인적 요인 조사지침"에서 언급한 분석절차를 모두 수용하고 있다.

즉, 1단계에서는 다른 조사기법에서와 같이 재결서, 사고리포트 및 인터뷰 등을 통하여 사고의 정보를 수집하고, '인간의 위험인지와 위험대처과정 모델'을 통해 사고의 발생과정을 규명한다.

2단계는 인적 오류 파악 및 분석 단계로서, 1단계에서 수집된 사고정보와 발생과정을 통하여 선상에서 직무수행 시 발생할 수 있는 위험행동들을 파악하고, IMO 해양사고조사 코드의 분류체계와 GEMS Framework 모델을 바탕으로 개발된 'Maritime HFACS 모델'을 사용하여 전 단계에서 파악된 위험행동들을 분류하며, 각 위험행동의 발생에 영향을

미치는 잠재요인들을 파악하고 분석한다.

마지막 3단계에서는 '인적 오류를 중심으로 한 사고 발생 흐름도'를 바탕으로 제어방안(안전조치)을 마련한다. 그림 9는 제안된 인적 오류 분석모델의 개요를 나타내고 있다.

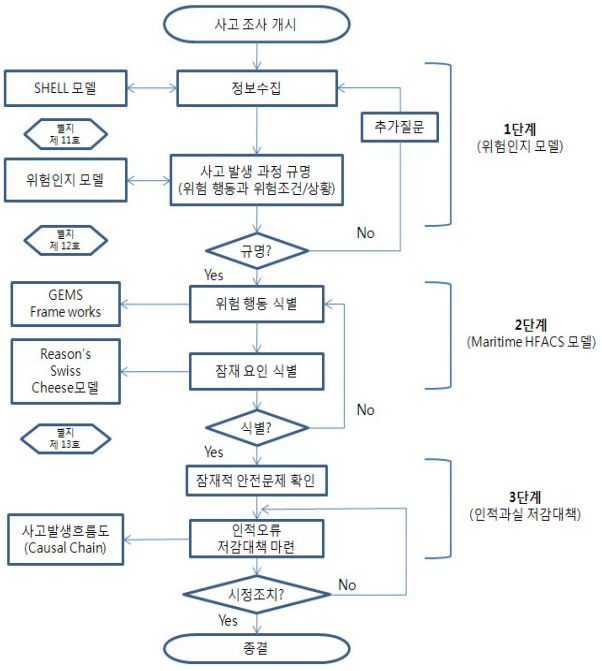


그림 9. 제안된 인적 오류 분석모델의 개요

4.2 1단계-사고정보의 수집 및 발생과정의 규명

첫 번째 단계는 사건 발생에 연관된 개인, 업무, 장비, 환경적 여건에 관한 업무 관련 정보들을 수집하는 것이며, 포괄적인 분석이 가능하도록 하고, 사건 발생 관련 데이터베이스를 수집, 구성, 관리할 논리조건을 충족시키기 위해서는, 이 단계를 체계적으로 진행하는 것이 매우 중요하다.

인적 오류와 관련된 정보는 다양한 곳으로부터 입수가 가능하며, 첫 번째 정보출처는 하드웨어 증거, 문서, 항해기록기, 해상통신과 통항관제 기록, 인터뷰, 해상직원의 행위에 대한 직접적인 관찰, 모의실험 등을 포함한다. 두 번째 출처는 해양사고 데이터베이스, 참고문헌, 인적 오류/인간공학 전문가와 심리학자, 의료인, 사회학자와 같은 관련 학문 분야의 전문가 등을 포함한다.

이 과정은 "무엇을, 누가, 언제"와 같은 간단한 질문유형에 답변하려는 작업에서 시작해서 "어떻게, 왜"와 같은 좀 더 복잡한 형태의 질문에 답변하려는 작업으로 옮겨가게 된다. 대부분의 분야에서, 도출되는 데이터는 행동과 여건들로 이루어진 일련의 사건들과 상황들이 된다. 이들 중 일부는 불안전한 행동과 불안전한 여건들로서 중요한 사항이 될 수도 있다.

IMO 국제해양사고조사코드에서는 인적 오류 데이터의 수집을 위해 앞서 언급한 SHELL 모델의 활용을 권고하고 있으며, SHEL 모델은 인적 요인(Liveware), 물적 요인(Hardware), 소프트웨어 요인(Software) 및 환경 요인(Environment) 등 단순히 4개의 요소를 제시할 뿐만이 아니라 인적 요인과 모든 다른 요소들 간의 관계 또는 상호작용성을 보여준다.

원자력 산업에서 사용되고 있는 AGAPE-ET의 5단계 인지기능인 '직무인식', '정보수집', '상황 판단', '계획 및 의사결정', '직무수행' 단계를 참조하여(Kim et al., 2003), 그림 10과 같이 '작업수행 계획', '위험 감지', '위험상황 판단', '대응조치 계획', '대응조치 수행', '수행결과 분석'의 6단계로 인지기능을 분류하였다(Na et al., 2010).

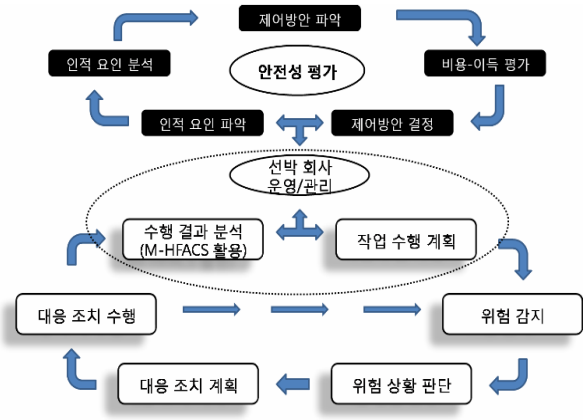


그림 10. 인간의 위험인지와 위험대처과정 모델

이러한 '인간의 위험인지와 위험대처과정 모델'과 수집된 사고정보를 활용하여, 사고의 발생과정을 그림 11과 같이 각 단계별/시간대별로 나타낸다.

4.3 2단계 인적 오류의 파악 및 분석

두 번째 단계에서는 인적 오류의 파악 및 분석을 위해 Na et al.(2010)이 제안한 'Maritime HFACS 모델'을 활용하였다. 'Maritime HFACS 모델'은 항공산업에서 사용되고 있는 HFACS 모델을 근간으로 하여, IMO 해양사고조사코드에서 제시하고 있는 Reason의 GEMS Framework에 따라 위험행동들을 분류할 수 있도록 그림 12와 같이 구성되어 있다.

항공산업의 HFACS 모델은 '운영자의 불안전한 행위', '불안전한 행위의 전제조건', '불안전한 감독'과 '조직의 영향력'

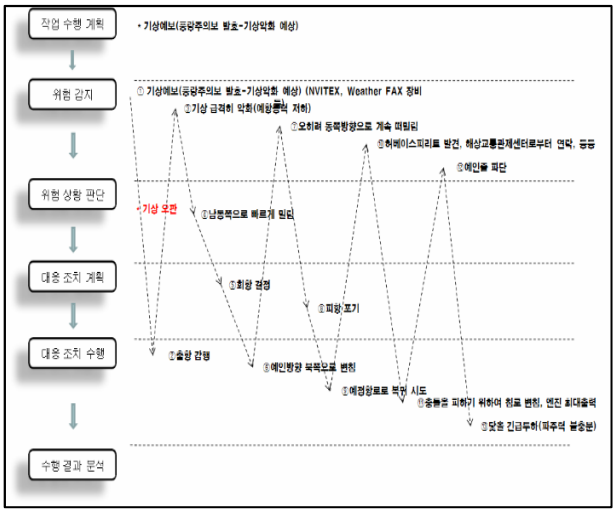


그림 11. 사고 발생과정의 규명의 예

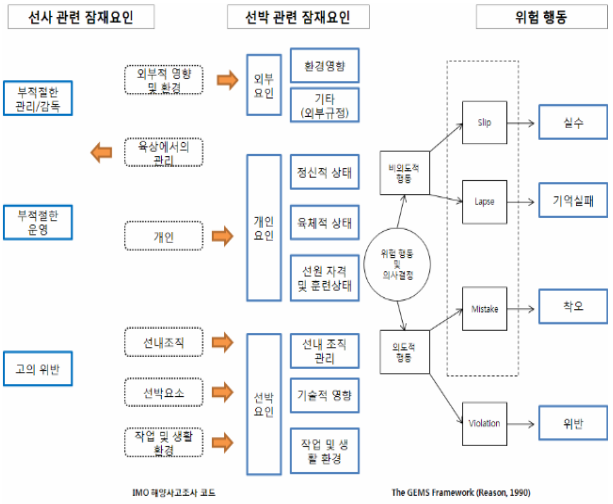


그림 12. Maritime HFACS 모델

의 4부분으로 분류된다.

하지만, 이러한 분류체계를 해양사고에 바로 적용시키는 것은 비효율적일 수 있으므로, 더욱 간략하면서도 해양사고의 특성을 반영할 수 있도록 하기 위하여, IMO의 해양사고 조사코드에서 제시되어진 인간행동과 작업수행에 영향을 미치는 요인들을 '인간 요인', '선박 요인', '작업 및 생활환경', '선내 조직', '육상에서의 관리'와 '외부적 영향 및 환경'으로 분류한 분류체계와 인간의 행동을 '고의적 행동'과 '비 고의적 행동'으로 분류한 GEMS Framework를 참조하여, '위험행동', '위험행동의 전제조건' 그리고 '선사에서의 운영/관리'의 3부분으로 분류한 것이 'Maritime HFACS 모델'이다.

'Maritime HFACS 모델'의 최상위에 위치한 제1수준은 선박회사 관점에서의 선박운영 단계로 선원 또는 선박장비에 대한 '부적절한 관리/감독', 선박운영에 있어서의 '부적절한 운영'과 선사 측에서의 선박 '관리/감독상 고의 위반'의 세 부분으로 분류하였다.

제2수준에서는 선상에서 발생할 수 있는 위험행동의 전제조건으로, 환경적 영향과 기타 외부 규정들로 분류된 '외부요인', 정신적 상태와 육체적 상태, 선원 자격 및 훈련 상태로 분류된 '개인요인' 그리고 선내조직 관리, 기술적 영향, 작업 및 생활환경으로 분류된 '선박 요인'의 세 부분으로 분류하였으며 각 부분의 세부 내용은 다음과 같다.

4.3.1 외부 요인

- 환경 영향: 기상 또는 해상 상태, 항만 통항(VTS, Pilots etc.), 통항 선박량(traffic density), 수심, 결빙 상태 등.
- 외부 규정: 지역 항만 규정, 국제 법규, 검사 및 점검 코드 등.

4.3.2 개인 요인

- 정신적 상태: 감정 상태(Emotional state), 자만/과신, 안일한 생각, 서두름, 당황, 업무 만족도, 주의 산만 등.
- 육체적 상태: Medical fitness, Drugs/Alcohol, 육체적 피로 등.
- 선원 자격 및 훈련 상태: 자격(해기면허), 선원의 경험, 교육 훈련 상태(능력, 기술, 지식), 선입관, 잘못된 습관, 상황 판단력 등.

4.3.3 선박 요인

- 선내조직 관리: 승무원의 구성, 승무 정원, 작업부하, 직무의 복잡성, 절차 및 복무지침, 의사소통, 팀워크 등.
- 기술적 영향: 선박 설계 및 디자인, 정비 상태, 장비의 유용성/신뢰성, 화물의 특성/취급 관리 등.
- 작업 및 생활환경: 자동화 수준, 인체공학적 설계, 선체 운동, 진동 및 소음의 수준, 식생활의 적합성, 선원휴식 기회, 밝기, 온도 및 습도, 청결 상태 등.

제3수준에서는 해양사고에 직접적인 원인을 제공하는 작업자의 위험행동들을 분류하기 위하여, 작업자의 행동을 고의적인 행동과 비고의적인 행동으로 나누는 GEMS Framework를 도입하여 'Slip', 'Lapse', 'Mistake'와 'Violation'으로 분류하였다.

작업수행에 영향을 미치는 작업자의 행동은 학습과 경험을 통해 Knowledge-based, Rule-based 그리고 Skill-based 행동으로 발전하는데, 이러한 행동발달에 따른 Skill-based 오류로는 'Slip'과 'Lapse'가 있으며, 'Slip'은 상황을 제대로 이해하고 행동선택도 옳지만 순간적인 주의실패로

행동자체가 잘못 실행된 경우를 나타내고 'Lapse'는 순간적인 기억실패로 인한 행동 불이행을 나타낸다. 'Mistake'는 상황을 제대로 이해하지 못하거나 편견으로 인한 부정확한 행위계획을 나타내는 Knowledge-based 오류와 자신이 처한 상황에 대한 과도한 자신감이 있을 때 발생하는 Rule-based 오류를 포함한다. 마지막으로 'Violation'은 규정이나 절차를 고의로 위반하는 경우를 나타낸다.

이와 같이 작업자의 위험행동들을 Knowledge, Rule-based 오류과 Skill-based 오류 형태로 분류한 목적은 각 위험행동으로 인한 위험성을 제어하기 위한 방안을 달리하여 그 위험성제어 방안의 효율을 높이기 위함이다. 예를 들어 어떠한 위험행동을 제어하기 위한 방안으로 시뮬레이션 교육을 실시할 경우 Knowledge, Rule-based 오류에 의한 위험행동에 대하여는 그러한 위험행동을 유발시키는 상황들을 분석하여 반복훈련을 시키는 것이 효과적일 수 있다. 하지만 Skill-based 오류에 의한 위험행동의 경우, 작업자가 과거학습 또는 경험에 의하여 그 위험상황에 대해 잘 이해하고 있으나, 다만 순간적인 주의실패 또는 기억실패로 인하여 발생한 오류이기 때문에 반복학습 보다는 위험상황에 대한 작업자의 주의력 향상을 위한 교육이 더욱 효과적일 수 있을 것이다.

4.4 3단계 인적 오류 저감대책 마련

해양사고 발생에 영향을 미치는 위험행동과 그와 관련된 잠재 요인이 모두 파악되고, 더욱 관심을 기울여야 할 인적 오류들이 선별되었다면, 이러한 과정을 통하여 파악된 중요 인적 오류들의 발생을 막거나 또는 발생 가능성을 줄일 수 있는 방안들을 도출하여야 한다.

이러한 인적 오류 저감대책을 도출하기 위하여, 그림 13의 '인적 오류 사고 발생 흐름도'를 바탕으로 한 '인적 오류 저감대책표'를 사용한다. 일반적으로, 어떠한 사고가 발생할 경우 또는 발생 가능성이 있을 경우, 이에 대한 대응방안을 마련하기 위하여, 잠재된 위험요소로 인한 초기사건의 발생으로부터 사고 발생으로 인한 결과까지의 과정을 나타내는 인과 사슬(Causal chains)들을 작성하여, 사고 전개 과정의 어디에 대응방안이 도입되어야 가장 효과적인지를 결정하는 방법을 사용하고 있다. 그림 13을 살펴보면, 해양사고는 하나의 위험행동 또는 여러 개의 위험행동들의 조합으로 인하여 발생하며, 인간에 의한 위험행동은 '외부 요인' '개인 요인', '선박 요인'으로 분류되는 어떠한 하나의 잠재 요인 또는 여러 개의 잠재 요인들에 의하여 발생한다는 것을 알 수 있다. 또한, 선상에서 발생 가능한 대부분의 잠재 요인들은 선사의 부적절한 관리/감독, 부적절한 운영 등에 의하여 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 단계에서 발생하는 잠재 요인 또는 위험행동이 발생하지 않도록 하거나 발생 가능성을 현저히 줄일 수 있는 대응방안들을 도출하여야 하며, 이러한 대응방안 도출을 위하여 전문가 집단의 브레인스토밍(Brainstorming)과 같은 기법들이 사용될 수 있다.

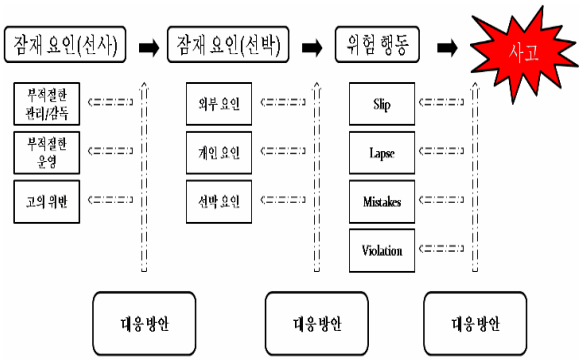


그림 13. 인적 오류를 중심으로 한 사고 발생 흐름도

본 장에서 설명한 인적 오류 분석모델의 절차를 통하여 살펴보았듯이, 인적 오류에 의한 해양사고를 줄이기 위해서는 해양사고조사와 분석을 위한 체계를 확립하여야 하며, 이러한 체계를 바탕으로 해양사고 발생에 영향을 미치는 모든 위험행동들을 파악하고, 이러한 위험행동을 야기하는 모든 가능한 잠재 요인들을 파악하여 이들을 제어할 수 있는 최적의 방안들을 마련하기 위하여 노력하여야 한다.

4.5 해양사고 인적 오류 분석모델의 활용사례

본 절에서는 앞서 제안한 해양사고 인적 오류 분석모델을 실제 해양사고 분석에 활용한 사례를 소개하고자 한다. 분석 대상 사고의 개요는 다음과 같다.

> 총톤수 3,407톤, 디젤기관 2,206KW 1대를 장치한 OO시 선적의 강조 화물선 A호가 20XX년 X월 23일 18시 00분경 강원도 동해시 묵호항에서 선장 OOO을 포함한 선원 11명이 승무한 가운데 철광석 5,405톤을 적재한 상태로 출항한 후 목적지인 전라남도 광양항으로 향하여 항해하던 중 같은 달 24일 04시 38분경 북위 36도 10분 41초. 동경 129도 38분 23초 지점인 호미곶등대 기점 029.5도 6.95마일 해상에서 같은 달 24일 03시 00분경 경북 포항시 동빈항에서 선장 OOO을 포함한 선원 5명이 승무한 가운데 출항하여 조업장소인 월포항 동방 24마일(82-6 해구) 해상으로 향하여 항행하던 총톤수 7.93톤, 디젤기관 300킬로와트 1대를 장치한 OO시 선적의 강화플라스틱조 연안통발어선 B호와 충돌한 사건으로, A호의 우현 중앙 부분과 B호 선수 우현 부분이 충돌하여 A호는 우현 중앙 부분 불워크가 손상되었고 B호는 우현 선수 부분이 손상되었으며, 충돌의 충격으로 B호 승선원 중 선장 등 2명이 부상을 입었다.

위의 사고사례에 대해 1단계에서 재결서, 사고 리포트 및 인터뷰 등을 통하여 사고의 정보를 수집하고, '인간의 위험인지와 위험대처과정 모델'을 통해 사고의 발생과정을 그림 14 및 그림 15와 같은 사고 발생과정 규명 양식에 기술한다.

년.월.일	20XX년 X월 23일	20XX년 X월 24일					
시간	18:00	03:30		04:28		충돌직전	04:38
(작업계획)							
위험감지 및 상황판단	업무과중: 없음 피로도: 정상 항해계획 : 정상	항해당직부원배치: 정상 레이더: 작동시켰으나 관측소홀	경계부적절(위험감지 못함)	경계부적절(위험감지 못함)	경계부적절(위험감지 못함)	충돌위험 감지	충돌 위험
	승무정원: 정상 DOC/SMC: 정상 화물적재: 정상 정박당직: 정상		(위험감지 실패로 상황판단 못함)	(위험감지 실패로 상황판단 못함)	(위험감지 실패로 상황판단 못함)	충돌을 피할 수 없는 상황에서 상대선 관측	(상대선 관측 실패) 충돌 회피
행동계획 및 행동실행	출항	항해당직 개시	경계	해군요청에 따라 주변 미확인 선박 관측	경계	충분히 여유있는 시기에 유지선의 진로를 피하기 위한 동작 하지 못함	충돌 회피
	출항	당직교대	경계소홀(레이더 관측 소홀, 항해당직 팀 경계소홀)	관측결과 통보, 1등항해사 경계 외의 업무 수행, (항해당직부원 경계소홀, 육안/레이더 관측 소홀)	경계소홀(상대선 관측 실패충돌위험 확인 실패)	충돌 직전 최현 전타	충돌회피 실패
(결과분석)							
사건진행	강원도 동해시 묵호항에서 출항	1등항해사 항해당직 개시	경계소홀 상태로 항행 계속	충돌위험이 있는 상대선 접근사실 알아차리지 못함	충돌위험이 있는 상대선 접근사실 알아차리지 못하고 계속 항진	충돌을 피할 수 없는 상황에서 상대선 관측하고서 최현전타	A호의 우현 중앙 부분과 B호 선수 우현 부분이 충돌교각 80도 정도로 충돌
비고						피항선	피항선

선명: A호 사고 관련자: 일등항해사

그림 14. 1단계-사고 발생과정 규명 예(A호)

2단계에서는 'Maritime HFACS 모델'을 사용하여 1단계에서 파악된 위험행동들을 분류하며, 각 위험행동의 발생에 영향을 미치는 잠재 요인들을 파악하고 분석하여 그림 16과 같은 잠재요인 파악 양식에 기술한다.

3단계에서는 2단계에서 파악된 잠재 요인에 대해 표 6과 같이 인적 오류 저감대책 양식에 제어방안(안전조치)을 기술한다.

년.월.일	201XX년 X월 24일					
시간	03시경	04:23		04:28		04:38
(작업계획)						
위험감지 및 상황판단	항해계획 : 통상		경계 부적절(위험감지 못함)	충돌위험 확인 부적절	충돌위험확인 실패, 경계부적절	충돌
	승무정원: 정상 선박검사: 정상 항해당직: 선장		레이더 관측 소홀	레이더 체계적 관측 미이행	충돌에 이르기까지 상대선 관측하지 못함, 충돌위험성 확인	상대선 관측 실패 충돌회피 실패
행동계획 및 행동실행	출항	(항해계획에 따라) 침로변경	경계	상대선 관측	상대선 동정감시	충돌회피
	출항	진침로 085도 속력 9.5노트로 정침항행	경계소홀	상대선 조난(좌현 40도 약 2마일 거리)	(피항 협력동작 불이행)	충돌을 피하기 위한 충분한 협력을 하지 못함
(결과분석)						
사건진행	경북 포항시 동빈항에서 출항	북위 36도 10분 29초동경 129도 35분 27초 지점 해상에서 침로 변경	경계소홀 상태로 항행 계속	충돌위험 확인하지 아니하고 항행 계속	충돌위험 확인하지 아니하고 경계를 소홀히 한 채 항행 계속	A호의 우현 중앙 부분과 B호 선수 우현 부분이 충돌교각 80도 정도로 충돌
비고				유지선		유지선

선명: B호 사고 관련자: 선장

그림 15. 1단계-사고 발생과정 규명 예(B호)

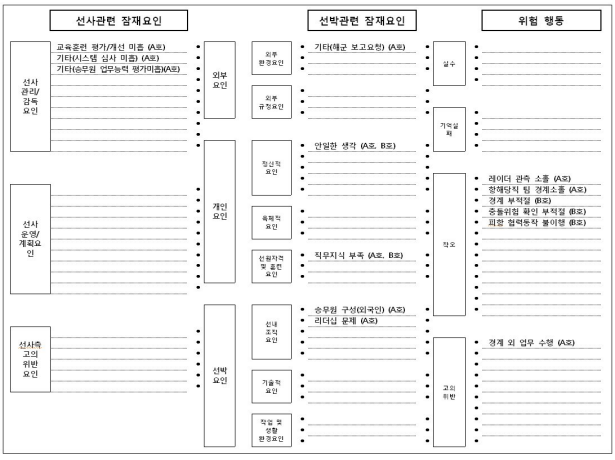


그림 16. 2단계-잠재요인 파악 예

표 6. 3단계-인적 오류의 저감대책 예

구분			잠재요인	잠재적 안전문제	저감 대책
선박 구분	선사	선박			
A호		√	안일한 생각	정신적 요인	직무교육(항해당직) 및 정신교육 강화
		√	직무지식 부족	선원자격 및 훈련 요인	OJT강화
		√	승무원 구성(외국인)	선내 조직 요인	상호 의사소통 원활화 방안 강구
		√	리더십 문제(항해당직부원 지휘 관련)	선내 조직 요인	BRM 교육 시행
		√	기타(해군 보고 요청)	외부환경요인	직무교육(항해당직) 및 정신교육 강화
	√		교육훈련 평가/개선 미흡	선사 관리/감독 요인	절차 보안 (직무지식 부족 승무원 재교육 및 평가)
	√		기타(시스템 심사 미흡)	선사 관리/감독 요인	방선 심사활동 강화
	√		기타(승무원 업무수행능력 평가 미흡)	선사 관리/감독 요인	절차 보안(승무원 배승 전 업무수행능력 평가)
B호		√	안일한 생각	정신적 요인	직무교육(항해당직) 및 정신교육 강화
		√	직무지식 부족	선원자격 및 훈련 요인	직무교육 강화

5. 결론 및 검토

본 논문에서는 해양사고의 발생에 영향을 미치는 인적 오류의 과학적 분석을 위한 분류체계 및 분석기법을 검토하였다. 또한 IMO의 '국제해양사고조사코드'의 인적 요인 조사절차를 기반으로 항공분야의 HFACS 모델을 보완한 'Maritime HFACS 모델'의 개발 및 적용사례를 소개하였다.

해양사고의 대부분이 인적 오류에 기인한다는 국내외 해양사고 통계의 언급에도 불구하고, 이에 대한 연구 및 개선을 위한 노력은 매우 미흡한 실정이다.

즉, 인공위성 항법장치(satellite navigational receivers), 알파 레이더(ARPA radar), 선체감시장치(hull monitoring system), 선박자동식별장치(automatic identification system), 선박항해기록장치(voyage data recorder) 등과 같은 첨단 항해장비가 도입되거나 도입이 검토되고 있어 하드웨어적인 개선과 발전은 계속 이루어지고 있으나, 항해자 관점에서의 소프트웨어적인 요소에 대한 개발과 노력은 아직까지 초보 단계에 머무르고 있다.

해양운송시스템의 중심은 인간(해양종사자)이다. 해양종사자는 기술 요인, 환경 요인 및 조직 요인과 상호작용한다. 여기서의 해양종사자는 선원, 도선사, 항만 작업자, 항만 관제사 등이다. 대부분의 사고는 이러한 해양종사자와 기술 요인, 환경 요인, 조직 요인과의 연계성 부족에서 온다. 즉, 인적 오류는 이와 같은 기술 요인, 환경 요인, 조직 요인이 인간의 최적 수행에 부적합할 때 발생하는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 인간의 능력과 한계를 충분히 이해하고, 관련 장비, 작업환경, 절차 및 정책 등을 인간의 능력에 적합하도록 설계해야 한다. 이러한 인간 중심의 접근방법을 통해 작업효율의 증진, 오류와 사고의 감소 및 훈련 비용의 감소 등과 같은 효과를 얻을 수 있다.

국제적으로는 2008년 IMO에서 해양사고의 원인규명을 위한 "국제해양사고조사코드"를 내놓았으며, 해양사고와 준사고의 분석과정에서 인적 오류에 대한 과학적 분석을 통해 해양사고의 근본원인의 파악과 이를 통한 예방대책의 마련을 위한 노력이 이루어지고 있다. 국내에서는 IMO "국제해양사고조사코드"의 2010년 1월 발효를 계기로, 이에 관한 연구와 대응책 마련이 이루어지고 있으나, 아직까지는 미흡한 실정이다.

해양사고는 여러 가지 원인이 복합적으로 얽혀서 다양한 형태로 발생하기 때문에, 선원들이 사전에 사고를 예견하기는 어렵고, 이것은 사고에 대한 이해의 부족으로 연결된다. 즉, 선원들은 사고를 일으키는 주의부족, 잘못된 가설, 잘못된 습관, 훈련부족, 부적절한 개인특성 등의 행동들을 위험한 것으로 인식하지 못하고 행동을 하게 되므로, 이러한 행동들을 줄이기 위해서는 사고에 대한 이해력을 증진시킬 수 있는 다각적인 교육이 급선무인 것으로 생각된다.

한편, 최첨단 장비들이 선박에 도입되면서 선원들의 상황인식이 방해 받는 경우가 일어나고 있으므로, 선원들의 상황인식 수준과 항해 수행의 인과관계를 과학적으로 규명하여, 각종 항해장비와 오퍼레이터간의 인터페이스 개선을 통한 상황인식의 향상을 위한 노력이 필요할 것이다.

현재까지 국내의 해양안전정책은 첨단 과학기술의 활용을 통한 하드웨어적인 개선에 치중하였으나, 인적 오류를 중심으로 한 소프트웨어적인 요소에 대한 심층적인 연구 및 조사가 이루어지지 않고는 한 차원 높은 실효성 있는 안전대책을 추진하기 어렵다. 이를 위하여, 국제 사회가 해양사고의 원인으로 새로이 주목하고 있는 인간 오류에 대한 심층적인 연구 및 조사가 필요한 시점에 이르렀다.

Acknowledgements

본 연구는 국토해양부의 '신개념 인적사고 예방 및 관리기술 개발'과 한국해양연구원 기본연구사업 지원과제임.

참고 문헌

Anderson, D. E., Oberman, F. R., Malone, T. B. and Baker, C. C., Influence of human engineering on manning levels and human performance, *Naval Engineers Journal*, 109(6), 67-76, 1997.

Baker, C. C. and Seah A. K., Maritime accidents and human performance: the statistical trail, *MARTECH*, Singapore, 2004.

Caridis, P., CASMET: casualty analysis methodology for maritime operations, Athens, Greece, *National Technical University of Athens*, 1999.

Cho, B. Y., Current status of maritime accident investigation, *Maritime Safety Review*, Winter, Korean Maritime Safety Tribunal, 2001.

Gordon, R., Flin, R. and Mearns, K., Designing and evaluating a human factors investigation tool(HFIT) for accident analysis, *Safety Science*, 43, 2005.

Hawkins, F., Human factors in flight, Aldershot, *Gower Technical Press Ltd*., 1993.

IMO, Better standards, training and certification: IMO's response to human error, *IMO News*, 1994.

IMO, Code for the investigation of marine casualties and incidents, A 20/Res. 849, *IMO*, 1997.

IMO, Amendments to the Code for the investigation of marine casualties and incidents, A 21/Res. 884, *IMO*, 2000.

Kim, J. W. and Jung, W. D., AGAPE-ET: A predictive human error

analysis methodology for emergency tasks in nuclear power plants, *Journal of the Korean Society of Safety*, 18(2), 104-118, 2003.

Kim, H., Lee, J. K., Lee, D. K. and Park, J. H., State of the art of human factors technologies for ships and ocean engineering, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 20(2), 99-111, 2001.

KMST, *Investigation statistics of maritime accident*, Korean Maritime Safety Tribunal, 2009.

KMST, *The statistics of maritime accident*, Korean Maritime Safety Tribunal, 2010.

Na, S., Kim, H., Kim, H. J. and Ha., W. H., Human Error Analysis Technique and Its Application to Marine Accidents, *Journal of navigation and port research*, 34(2), 145-152, 2010.

Park, Y. W., Proposal of new investigation procedure of maritime accidents, *Review of Maritime Affairs and Fisheries of Korea*, No. 1118, Korea Maritime Institute, 2003.

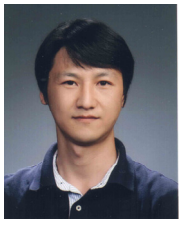
Reason, J., Human error, Cambridge, UK: *Cambridge University Press*, 1990.

Shin, M. J., Baek, D. H., Kim, D. S. and Yoon, W. C., A Framework for computerized human error analysis system - focused on the railway industry, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(3), 43-53, 2008.

Yang, C. S., On the contributing factors of marine casualties and incidents: with a focus on human factors, *Journal of Ship and Ocean Engineering*, 37, Korea Ocean R&D Institute, 2004.

저자 소개

김 홍 태 kht@moeri.re.kr
고려대학교 산업공학과 박사
현 재: 한국해양연구원 해양시스템안전 연구소 책임연구원
관심분야: 인적 오류, 인간중심 설계



나 성 sna@krs.co.kr
Liverpool Jone Moores대 해상운송학 석사
현 재: 한국선급 연구원 해사연구팀 연구원
관심분야: 인적 안전, 안전성 평가

하 욱 현 hawookhyun@moeri.re.kr
한남대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 한국해양연구원 해양시스템안전 연구소 연수생
관심분야: 인적 오류, 작업부하

Date Received : 2011-01-31
Date Revised : 2011-02-07
Date Accepted : 2011-02-08