

상선 선원의 인적과실 평가 모델 구축기법: 선박관리회사 적용 사례

임 정 빈†

† 목포해양대학교 해상운송시스템학부 부교수

Implementation Techniques for the Seafarer's Human Error Assessment Model in a Merchant Ship: Practical Application to a Ship Management Company

Jeong-Bin Yim†

† Division of Maritime Transportation System, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약 : 일반적으로 상선에서 해상운송 사고의 주된 원인은 선원의 인적과실로 고려되고 있다. 본 논문에서는 선박에 승선 중인 선장, 1항사, 2항사 및 3항사를 포함하는 갑판사관들이 야기할 수 있는 사고 위기를 평가하기 위한 인적과실 모델(HEM)의 구축기법에 관해서 기술했다. 연구범위는 130척의 선박을 관리하는 회사에 소속된 642명의 갑판사관들을 대상으로 했다. 우선, 갑판사관들의 인적 데이터에 대한 통계적 분석과 전문가에 의한 브레인스토밍 과정을 통해서 HEM을 구축하고, 인적과실을 평가하기 위한 인적요소들의 변수 v 와 v 에 대한 평가등급 $EP(v)$ 및 가중치 α , 갑판사관의 직책별 가중치 β 등을 결정했다. 그리고 선박의 사고기록에 대한 통계분석 결과, 인적과실에 의한 사고원인 비율 γ_H 와 외적과실에 의한 사고원인 비율 γ_B 은 0.517(51.7%)과 0.483(48.3%)로 나타났다. v 의 상관계수는 95%($p < 0.05$) 신뢰구간에서 유의함을 확인하였고, 각 갑판사관의 위기수준 RL 의 정규 확률분포 분석으로부터 HEM의 타당성을 검토했다.

핵심용어 : 운항사고, 사고위기, 인적과실, 인적요소, 인적과실 모델, 선원의 위기수준

Abstract : In general, seafarer's human error is considered to be the preponderant cause for the majority of maritime transportation accidents in a merchant ship. The implementation techniques for Human Error Model (HEM) to assess possible accident risk by deck officers including captain, chief officer, second mate and third mate are described in this study. The scope of this work is focused to 642 deck officers in the ship management company with 130 vessels. At first, HEM can be constructed through the statistical analysis and expert's brainstorming process with human data to 642 deck officers. Then the variables v for the human factors, the evaluation level $EP(v)$ for v , the weight α of v , and the title weight β of each deck officers can be decided. In addition, through the analysis of ship's accident history, the accident causation ratios by human error γ_H and by external error γ_B can be found as 0.517(51.7%) and 0.483(48.3%), respectively. The correlation coefficients to v are also shown significant for a 95% confidence interval ($p < 0.05$) for each coefficient. And the validity of HEM is also surveyed by the analysis of normal probability distribution of risk level RL to each deck officer.

Key words : maritime transportation accident, accident risk, human error, human factor, human error model, seafarer's risk level

1. 서 론

본 연구의 최종 목적은 상선 운항 중 발생할 수 있는 사고를 사전에 예방하기 위한 위기관리 시스템 개발에 있는데, 이미 선행 연구(임, 2008)에서 베이시안(Bayesian) 이론(Andrew Gelman *etc.*, 2004)에 근거한 양적위기평가 운항사고 모델(Maritime Transportation Accident Model, MTAM) 구축과 위기수준 평가기법에 관해서 보고한 바 있다. 한편 상선에서 해상운송 사고의 주된 원인은 인적과실(human error)로 고려되고 있는데, 선행 연구에서는 선원의 인적요소(human factor)에 의한 인적과실 평가 내용이 방대하여 제외할바 있다. 본 연구에서는 이러한 선원의 인적요소에 의한 인적과실 평가기법에 관해서 기술한다.

2002년 IMO(국제해사기구)에서 공식안정성평가기법(Formal

Safety Assessment, FSA)(IMO, 2002)이 제안되면서 FSA의 해상 산업분야 적용에 관한 많은 연구가 진행되었다. 그럼에도 불구하고 인적요소에 관한 연구는 아직까지 대단히 미진한 실정인데, 2006년 10월 MSC-MEPC.2/Circ.6(IMO, 2006)에서도 지적된바 있다.

이러한 인적요소는 인간을 대상으로 하기 때문에 연구접근이 어려운 분야(Judea Pearl, 2008)로 알려져 있어, 대부분의 위기 관련 연구에서 배제되어 왔다. 현재 대표적인 해상사고 위기 계산 시스템으로 알려져 있는 MARCS(Marine Accident Risk Calculation System)(Timothy G. Fowler *etc.*, 2000)의 경우에도 인적요소가 배제되어 있어 시스템의 유효성에 의문이 제기되고 있는 실정이다. Martha Grabowski 등(2000)의 경우에도 해상운송 시스템과 같이 변수가 많고 다양한 상황이 분산되어 있는 큰 규모의 시스템에 대한 위기관리 모델을 개발하면서 인

† 교신저자 : 임정빈(중신회원) jbyim@mmu.ac.kr 061)240-71702

적과실에 의한 사고발생 비율을 68.6%, 기계 고장에 기인한 사고비율을 31.4%로 기술한바 있으나, 정작 인적요소에 관한 구체적인 계산 방법과 절차 등에 대해서는 언급된바 없다. Johan R. van Dorp 등(2001)도 미국 워싱턴 주(Washington State)에서 운항하는 고속 페리선(Ferry)의 운항안전을 위한 위기관리 절차와 평가 프로그램을 개발한 바 있으나, 인적요소는 포함되어 있지 않다. 세계적인 선급 DNV(2002)에서도 해상 시설물의 안전성 평가를 위한 지침서에 인적과실을 주의부족이나 숙련미숙 등에 의하여 무의식적으로 잊어버리는 무기억(Slip), 의도하지 않았으나 두뇌 메모리(memory) 고장으로 인한 건망증(Lapses), 의도하지 않았으나 행동을 잘못하여 발생하는 실수(Mistake), 표준 절차를 따르지 않아 발생하는 위반(Violation) 등으로 구분하고 있을 뿐이다.

이러한 인적과실에 관한 연구는 핵발전소나 레저분야, 의학분야 등에서도 연구가 진행되었는데, Pekka Pyy(2000)는 핵발전소의 확실적인 안전평가를 고려하면서 인간행동에 대한 인적신뢰 분석기법(Human Reliability Analysis, HRA)을 기술한바 있으나 통계분석만을 시도했을 뿐 구체적인 전개는 없다. 그리고 Wayne W. Becker(2002)는 소형 레저 보트 조종사들의 실수로 야기되는 다양한 사고에 대해서 설문조사에 의한 확률값만을 보고한바 있다. 한편, 2002년 Shamus P. Smith(2002)가 보고한 연구가 대표적인 인적과실 관련 연구인데, 인적신뢰성 분석(Human Reliability Analysis, HRA)과 인적과실평가기술(Technique for Human Error Assessment, THEA), 인적과실 평가와 감소기술(Human Error Assessment and Reduction Technique, HEART) 등을 적용하여 인간의 과실을 서술 및 수량으로 평가하기 위한 절차와 결과 등을 기술한 바 있다.

2003년 들어 THEMES(2003)에서는 IMO의 FSA에서 인적요소가 중요함을 인식하고, 실험을 통하여 획득한 데이터, VTS(Vessel Traffic System)에서 획득한 데이터, 항해 중에 획득한 운항 데이터(Operational Data) 등을 IMO, MAIB(Marine Accident Investigation Branch), CASMET(Casualty Analysis Methodology for Maritime Operation) 등, 세 개 기관에서 사용하고 있는 해양사고 요인 분석 시스템에 적용하여 비교 평가한 바 있다. IMO의 경우에는 인적요소로서 위반과 과실을 고려하고, 과실 모드(mode)는 다시 위반, 실수, 무기억 등으로 구분하고 있으며, MAIB의 경우는 현저한 인적요인으로 신체접촉, 회사정책, 선원, 장비, 작업환경, 개인성향 등을 거론하였으며, CASMET에서는 개인의 작업위치, 임무가 미치는 영향, 임무 실행을 위한 행동 등을 거론하고 있다. 그러나 과실의 종류와 성격만 제시했을 뿐 구체적인 절차와 방법은 보고되어 있지 않다.

그리고 Alistair Sutcliffe 등(2004)은 해양사고에 대한 원인과 결과 사이의 영향도표(Influence Diagram)에 베이지안 네트워크(Bayesian Network)를 적용한 실험결과를 보고한 바 있고, 이어서 R. de la Campa Portela(2005)은 사건-가지분석(Event Tree Analysis, ETA), 고장-가지 분석(Fault Tree Analysis, FTA) 등을 이용하여 인적과실에 기인한 해양사고 확률을 구하고, 이에 대한 전문가 의견을 AHP(Analytical Hierarchy

Process) 기반으로 분석한 바 있다. 2006년에 F. Xavier Martinez de Osés 등(2006)은 보다 구체적인 연구결과를 제시하였는데, 해양사고에 미치는 인적과실을 분석하고, 현재 IMO를 통해 구축된 ISM(International Safety Management), STCW(Seafarers Training, Certification and Watch-keeping), FSA, HRA(Human Reliability Analysis) 등, 해양안전 관련 규칙이나 코드(code) 등에 수록된 내용을 토대로 인적과실을 분석하거나 감소시킬 수 있는 실행방법을 보고한 바 있다. 특히 전체 과실 중에서 인적원인을 74%로 제시하면서, 외부조건 원인 4%, 항만에 기인한 원인 2%, 항해장치 원인 1%, 다른 선박에 의한 원인 16% 등으로 제시하고, 인적과실 74% 중에는 선장의 판단미숙 11%, 도선사 판단 미숙 34%, 커뮤니케이션 문제 10%, 이해부족 9%, 주의부족 23%, 다른 인적과실 13% 등을 제시한 바 있다. 그러나 실제 시스템 구현에 적용하기 위한 방법의 제시가 없다. 의학적인 관점에서 인간의 과실은 관심의 대상인데, Frances T. Hakim(2005)는 나이에 따른 사고와 시간경과 및 결과 등을 단층촬영(C.T.)을 통해서 인간 뇌의 새로운 T세포 형성과정과 이로 인한 사고 관계 등을 기술한 바 있다. 그리고 Svein Magnussen(2006)은 노르웨이 성인을 대상으로 인간 메모리에 대한 신뢰성 통계결과를 평가한바 있다.

위와 같이 2000년대 전후부터 현재까지 인적요소에 관한 연구는 꾸준히 진행되고 있으나, 구체적인 모델 구축과 위기수준의 계산 및 평가기법 등에 대해서는 아직까지 체계적인 연구가 미진한 실정이다.

본 연구에서는 STX 포스(주) 선박관리회사에서 관리하고 있는 선원의 사고기록과 관련 기록을 입수하여 인적요소 식별과 인적 모델 구축, 선원의 위기수준 계산 절차와 평가기법 등 일련의 과정에 대해서 기술하고, 평가하여 그 유용성을 검토하였다.

2. 연구개발 접근 방법

2.1 선행연구 검토

Fig. 1은 선행연구(임 등, 2007; 임, 2008)에서 고려했던 선박 운항 사고에서의 인과관계 개념을 나타낸다. 인과관계는 과거 선박이나 선원 등에 의한 사고기록을 분석하여 구성한 것이다.

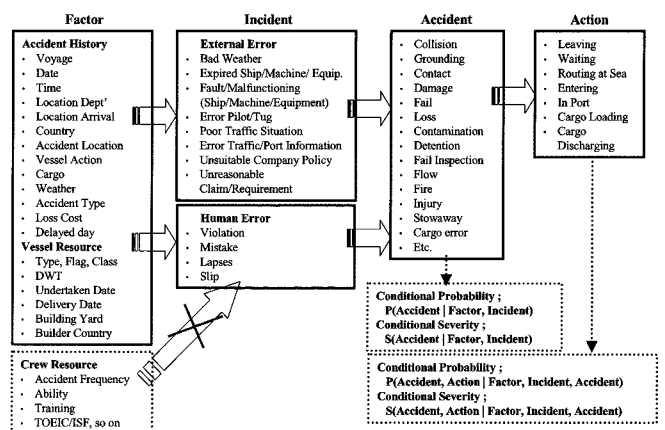


Fig. 1 Concepts to cause and effect in the maritime transportation accident

Fig. 1을 이용한 선박의 위기수준 결정 절차를 사전확률 계산 단계와 사후확률 계산 단계로 나누어 참고로 간단히 기술하면 다음과 같다.

사전 확률 계산 단계

이 단계에서는 우선 선종, 톤수 등의 선박제원과, 화물, 항차 등의 선박운항 정보 및 항만, 항로 등의 선박운항환경 정보, 승조원, 승조원 이력 등의 선원정보 등을 분석하여 인적요소를 정의한 후, 운항사고 모델(Maritime Transportation Accident Model, MTAM)을 구축한다. 다음에는 Fig. 1의 우측 아래 점선 사각형에 표시한, 조건부 확률(Conditional Probability)과 조건부 심각성(Conditional Severity)을 구하여 조건부 확률 테이블(Conditional Probability Table, CPT)로 준비한다. CPT에는 과거 사건의 증거(evidence)들로부터 계산된 사전 확률(Prior Probability) 값이 기록되어 있다.

사후 확률 계산 단계

실제 선박에서 입항지와 출항지, 항해경로, 선원 변동 상황 등이 실시간으로 전송되면, MTAM에서 이 정보들의 변수에 대한 값을 CPT에서 구하여 사후 확률(Posterior Probability)을 계산한 후, 해당 선박이 처한 위기의 정도를 숫자로 나타낸 위기 지수(Risk Index, RI)를 구해서 이에 대응하는 위기 예방조치를 실행한다.

이러한 선행연구 과정에서, 선원의 인적요소는 고려할 사항이 많아서 논의로 한 바 있다. 우선, 선원의 인적요소들을 MTAM에 추가하기 위해서는 Fig. 1에 나타난 인과관계에서, 인적요소들과 사고 사이의 관계를 정의할 수 있는 증거가 필요한데, 이러한 증거는 과거 선원들이 야기했던 사고기록을 통하여 수집할 수 있다. 증거가 부족한 경우, 확률적인 통계 모델이나 전문가들의 브레인스토밍(brainstorming)에 의한 사건-가지 분석(Event Tree Analysis, ETA), 사고 고장 분석(Fault Tree Analysis, FTA) 등의 기법을 적용하는데(R. de la Campa Portela1, 2005), 이러한 기법들은 발생 가능한 사건을 가정함으로써 방대한 인간의 과실에 대한 실험결과나 다양한 산업에서의 실험 결과가 필요하다. 그러나 서론에서 기술한 바와 같이 아직까지 선원에 대한 인적과실 실험 데이터는 국내외에 보고된 바 없다.

본 연구에서는 STX 포스(주) 선박관리회사에서 보관 중인 선원 사고기록을 이용하였는데, 문제는 Fig. 1의 좌측 아래에 나타낸 바와 같이 사고 요인과 결과 사이에 인과관계를 형성할 수 있는 증거 정보가 기록되어 있지 않다는 것이다. 본 연구에서는 선원의 인적요소를 별도로 처리한 후 MTAM과 연계시키는 방안을 고려하였다.

2.2 인적요소를 반영한 운항사고 모델

Fig. 2는 선행연구에서 고려한 선박의 위기지수(RI) 계산 방법인데, 선박으로부터 데이터가 입력되면 각 데이터에 해당하는 변수들에 대한 확률 지수(Probability Index, PI)와 심각성 지수(Severity Index, SI)를 계산하여 RI를 구한다.

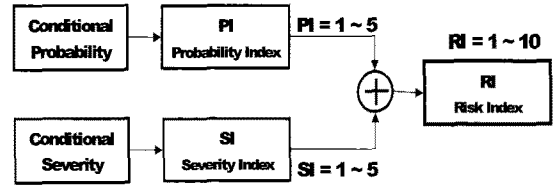


Fig. 2 Concepts of $RI=PI+SI$

본 연구에서 제안한 방법은, Fig. 2의 PI 부분을 Fig. 3과 같이 PI_B 와 PI_H 로 구분하고, PI_B 의 가중치(weight) γ_B 과 PI_H 의 가중치 γ_H 을 이용해서 $RI=PI+SI$ 를 구하는 것이다. 여기서 PI_B 는 선행 연구에서 개발한 베이저안(Bayesian) 기반의 확률 지수를 나타내고, PI_H 는 본 연구에서 개발하려는 인적요소에 의한 확률지수를 각각 나타낸다.

따라서 Fig. 3의 개념 구현에는 다음의 계산 절차와 방법의 개발이 필요하다.

1. PI_H 를 구하기 위한 인적과실 모델 구축
2. 인적과실 모델 구축에 필요한 변수와 가중치 선정
3. γ_B 과 γ_H 의 결정

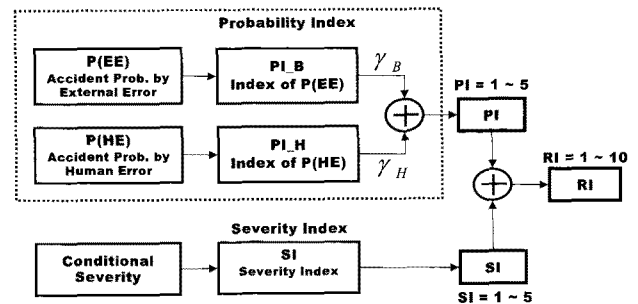


Fig. 3 Proposed concept for $RI=PI+SI$ with seafarer's human error

3. 인적과실 모델

3.1 인적 데이터 분석

본 연구에 적용한 인적 데이터는 선원의 이력 데이터, 선원의 사고기록 데이터, 선원목록 등 세 가지이다. Table 1은 STX 포스(주) 선박관리회사에서 1991년부터 2006년까지 보관하고 있던 선장, 1항사, 2항사, 3항사 등의 갑판사관(deck officer) 642명에 대한 이력 데이터 샘플이고, Table 2는 642명의 갑판사관들이 16년간 야기한 xx건의 사고기록 데이터 샘플, Table 3은 갑판사관들이 승선했던 선박의 선원목록 샘플을 나타낸다. 여기서, 편의상 선장부터 3항사까지를 갑판사관(deck officer)으로 칭하고, 회사의 기밀 정보나 데이터 및 선원의 개인정보 등은 정보보호를 위하여 xx로 나타냈다. 그리고 기관장을 포함하는 기관사나 부원 등이 본 연구에서 제외된 이유는, 본 연구의 목적이 갑판사관들에 의한 충돌, 좌초, 접촉 등의 운항사고만을 연구범위로 하기 때문이다. 물론 기관사나 부원들의 인적과실

로 인한 엔진 고장이 충돌, 좌초 등의 운항 사고를 유발할 수 있기 때문에 당연히 고려해야하지만, 획득해야할 데이터와 연구범위가 광범위하기 때문에 추후 연구과제로 둔다.

Table 1 Seafarer's resume data (sample)

번호	사번	생년월일	TOEIC 점수	ISF 점수	SHS 수료일자	BRTM 수료일자	초급사관 SHS 수료일자	고과 등급	승주 등급
1	xx	xx	535	76	2007	0	0	1	1
2	xx	xx	0	76	0	0	0	1	1
...
641	xx	xx	595	76	1990	2005	0	2	2
642	xx	xx	585	83	2006	2006	0	2	1

Table 2 Seafarer's accident data (sample)

번호	사번	사고당시직책	사고일자	사고선박 식별번호	사고종류
1	xx	1	2005xx	30	2
2	xx	1	2004xx	30	13
...
xx	xx	1	2000xx	70	1
xx	xx	1	2004xx	56	1

Table 3 Seafarer's list data (sample)

선박식별번호	현 직책	사번	국적	승선일	승선당시직책	하선예정일
1	1	xx	1	20070520	1	20071211
1	2	xx	1	20070520	3	20070520
...
130	1	xx	1	20070520	1	20071211
130	2	xx	1	20070520	3	20070520
130	3	xx	1	20070520	4	20070520

여기서, Table 1의 이력 데이터와 Table 3의 사고목록 데이터에는 642명의 모든 갑판사관들이 포함되어 있으나, Table 2의 사고기록 데이터에는 Table 4에 나타난 바와 같이 일부 갑판사관에 대한 기록이 결여되어 있다.

Table 4 Accident distribution (%) of deck officer by rank

구분 \ 직책	사고건수 분포 (%)				계(%)
	선장	1항사	2항사	3항사	
한국	75.5	17.1	0.0	0.0	92.6
외국	0	7.4	0.0	0.0	7.4
계(%)	75.5	24.5	0.0	0.0	100.0

Table 4는 Table 2의 사고기록 데이터에 나타난 직책별 사고건수 분포(%)로서, 한국 선장이 75.5%, 외국 선장은 0.0%, 한국 1항사 17.1%, 외국 1항사 7.4% 등으로 나타났고, 한국 및 외국 2항사와 3항사에 의한 사고는 없다. 이 결과는, 외국 선장이나 외국 1항사의 수가 한국 선장이나 한국 1항사와 비교하여 대단히 적고, 최근부터 외국 사관이 승선했기 때문인 것으로서, 외국 사관의 운항기술이 한국 사관 보다 우수하거나 교육훈련 정도가 우수하기 때문에 사고 건수가 적음을 나타내는 것은 아니

다. 또한, 선장이나 1항사만이 사고를 야기한 것으로 나타난 것은, 사고를 기록하는 방식이 선박의 최고 책임자인 선장이나 화물작업 책임자인 1항사만을 대상으로 했기 때문이다.

따라서 Table 2의 사고기록 데이터는, 2항사와 3항사의 인적과실 내용이 포함되어 있지 않고, 최근의 외국 갑판사관들에 대한 인적과실 내용이 충분히 반영되지 못한 결함된 데이터로 고려할 수 있다. 이러한 경우 사고기록에 나타난 한국 선장이나 한국 1항사만을 대상으로 인적과실 모델을 구축할 수 있으나, 선박운항 사고에는 선장부터 3항사까지의 모든 갑판사관들이 연관되어 있기 때문에 이들을 인적과실 모델에서 배제할 수는 없다.

한편, 핵발전소의 위기관리(Pekka Pyy, 2000), 대규모 해상시설물의 위기관리(Timothy G. Fowler *etc.*, 2000), 해양사고 위기분석(Alistair Sutcliffe *etc.*, 2004) 등, 사고발생 확률이 극히 낮거나 충분한 인적사고 데이터를 확보할 수 없는 연구에서는 결함된 데이터에 추가하여 다양한 산업분야에서 발생하는 평균적인 인간 행동양상을 평가한 확률모델(Probabilistic Model, PM)과 전문가에 의한 브레인스토밍 과정 등을 통해서 모델을 구축하고 있다. 이와 같이 다양한 기법을 적용하는 이유는 인간의 행동양상이 실로 방대하고 복잡하기 때문에 어느 한 가지 통계결과를 적용하기 어렵기 때문이다.

본 연구에서도 Table 2의 결함된 사고기록 데이터를 보완하기 위하여 전문가에 의한 브레인스토밍 과정을 도입하고, 모든 갑판사관의 인적 데이터를 갖고 있는 Table 1과 Table 3의 데이터를 적용하여 인적과실 모델을 구축하였다.

Table 5는 Table 2의 사고기록 데이터를 18가지 항목으로 구분하여 분석한 샘플을 나타낸다. 따라서 이 테이블은 선장과 1항사에 대한 분석결과만을 나타낸다. 그리고 해당 항목들에 대한 사고건수는 회사의 기밀보호를 위하여 모두 퍼센트(%)로 나타났다.

Table 5에서, 번호 1의 '국적'은 한국과 외국 갑판사관들의 사고 발생경향을 파악하기 위한 것이고, 번호 2의 '현 직책'은 직책별 사고 발생경향, 번호 3의 '입사당시 나이(세)'는 나이에 따른 사고 발생경향, 번호 4의 '현재 나이(세)'는 나이가 들면서 발생할 수 있는 건강증이나 신체 저하에 따른 사고 발생경향, 번호 5의 '채직기간(년)'은 위험에 노출되는 기간 증가에 따른 사고 발생경향, 번호 6의 '최초 사고발생 당시 나이(세)'와 번호 7의 '마지막 사고 발생당시 나이(세)'는 위험에 노출된 기간 대비 연령 증가에 따른 사고 발생경향, 번호 8의 '입사이후 최초 사고발생까지 기간(년)'은 교육훈련 이수와 연계한 신규 입사자들의 사고 발생경향 등을 파악하기 위한 것이다. 그리고 번호 9의 '최종 사고 발생부터 현재까지 경과기간(년)'은 이 기간 중 야기한 사고건수와 연계하여 해당 갑판사관의 사고감수성을 조사하기 위한 것으로, 사고를 야기할 수 있는 잠재 위험 정도를 파악하기 위한 것이다. 번호 10의 '최초 사고부터 최종사고까지의 기간(년)'은 사고건수와 연계한 해당 갑판사관의 사고유발의 연속적인 개연성을 파악하기 위한 것이고, 번호 11의 '평균사고 발생률(년/건)'은 갑판사관의 사고감수성 측정을 위한 지표로

사용한 것이며, 번호 12의 '사고발생 당시 평균 나이(세)'는 나이에 따른 사고발생 의존성을 분석하기 위한 것이다. 번호 13의 'SHS 수료(년도)'와 번호 14의 'BRTM 수료(년도)'는 해당 교육 훈련 이수 이전과 이후의 효과를 분석하기 위한 항목으로, SHS는 Ship Handling Simulator를 의미하고, BRTM은 Bridge Resource Team Management를 의미한다. 번호 15의 'TOEIC(점수)'와 16번의 'ISF(점수)' 등은 외국어 구사능력에 대한 사고 발생 경향을 분석하기 위한 것으로, ISF는 회사에서 별도로 시행하고 있는 국제해운협회(International Shipping Federation, ISF) 관련 영어를 의미한다. 17번의 '종합고과(등급)'은 회사에서 평가한 갑판사관 개인의 종합능력을 의미하며, 18번의 '음주태도(등급)'은 음주습관에 대한 행동 양상을 회사에서 평가한 등급이다.

Table 5 Accident number distribution (%) to each factors to be considered through the seafarer's accident data (sample)

번호	항목	구 분						계(%)
		한국	외국					
1	국적	한국	외국					100
	사고건수(%)	92.6	7.4					
2	협 직책	선장	1항사	2항사	3항사			100
	사고건수(%)	75.5	24.5	0.0	0.0			
3	입사당시나이(세)	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 >	100
	사고건수(%)	2.3	38.0	33.3	24.1	2.3	0.0	
4	현재 나이(세)	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 >	100
	사고건수(%)	0.0	0.0	14.0	30.7	55.3	0.0	
5	재직기간(년)	< 3	3-5	5-10	10-20	20-30	30 >	100
	사고건수(%)	2.8	7.9	16.7	36.6	31.5	4.5	
6	최초사고발생당시나이(세)	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 >	100
	사고건수(%)	0.0	4.5	31.5	58.3	5.2	0.5	
7	마지막사고발생당시나이(세)	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 >	100
	사고건수(%)	0.0	2.3	13.4	55.1	28.7	0.5	
8	입사이후 최초사고발생까지 기간(년)	< 3	3-5	5-10	10-20	20-30	30 >	100
	사고건수(%)	26.4	6.0	32.9	29.2	5.5	0.0	
9	최종사고발생부터 현재까지 경과기간(년)	< 3	3-5	5-10	10-20	20-30	30 >	100
	사고건수(%)	68.5	18.1	10.6	2.8	0.0	0.0	
10	최초사고부터 최종사고까지 기간(년)	< 3	3-5	5-10	10-20	20-30	30 >	100
	사고건수(%)	45.4	12.0	24.5	18.1	0.0	0.0	
11	평균 사고 발생률(건/년)	< 1	1-2	2-3	3-4	4-5	5 >	100
	사고건수(%)	19.4	55.1	18.1	6.5	0.0	0.9	
12	사고발생당시 평균나이(세)	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60 >	100
	사고건수(%)	0.0	2.3	17.1	69.5	10.6	0.5	
13	SHS 수료(년도)	< '90	'90-'95	'95-'00	'00-'05	'05-'10		100
	사고건수(%)	31.5	42.1	17.1	6.5	2.8	0.0	
14	BRTM 수료(년도)	< '90	'90-'95	'95-'00	'00-'05	'05-'10		100
	사고건수(%)	36.2	1.3	13.4	37.0	12.1	0.0	
15	TOEIC(점수)	< 400	400-500	500-600	600-700	700-800	800 >	100
	사고건수(%)	xx	xx	xx	xx	xx	xx	
16	ISF(점수)	< 70	70-75	75-80	80-85	85-90	90 >	100
	사고건수(%)	xx	xx	xx	xx	xx	xx	
17	종합고과(등급)	5	4	3	2	1	none	100
	사고건수(%)	xx	xx	xx	xx	xx	xx	
18	음주태도(등급)	5	4	3	2	1	none	100
	사고건수(%)	xx	xx	xx	xx	xx	xx	

한편, 갑판사관들의 행동양상을 정확하게 평가하기 위해서는 상기 18가지 항목 이외에 소지면허의 등급, 학력, 가족관계, 생활형편, 승선 선원들과의 인간관계, 회사에 대한 만족도, 회사 경영방침의 이해, 사물에 대한 가치부여 등 다양한 항목의 분석이 필요하다. 그러나 현실적으로 확보할 수 있는 데이터에는 한계가 있기 때문에 다양한 인적요소에 대한 수집과 평가 등에 대해서는 추후 연구과제로 두고, 본 연구에는 Table 1부터 Table 3까지의 데이터를 적용하는 것으로 연구범위를 제한한다.

상기와 같은 다양한 분석결과를 기반으로 전문가들에 의한 브레인스토밍 과정을 통해서 인적과실 모델 구축에 필요한 변수 선정에 다음과 같이 고려하였다.

1. 인적요소에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 갑판사관들이 야기한 사고 건수이다. 일반적으로 인적과실에 의한 사고를 70% 내외라고 보고한 대부분의 연구들(Martha et al., 2000; Wayne, 2002; F. Xavier Martinez de Osés et al., 2006) 역시 사고 건수를 기준으로 평가하고 있기 때문에 사고 건수는 인적요소에 가장 중요한 변수로 고려한다.

2. 사고감수성은 갑판사관들의 사고 유발 개연성을 나타내는 것이고, 재직기간, 교육훈련 상태, 언어소통 능력, 회사의 고과 등은 갑판사관들의 선박운항 능력을 평가하는 요소들이기 때문에 인적요소 변수로 고려한다.

3. 하기 Table 6에 나타낸 인적요소 변수들의 가중치는 전문가들의 브레인스토밍으로 결정한다. 그 이유는 본 연구에 적용한 사고 기록 데이터에는 사고를 일으킨 갑판사관들의 직책만 기록되어 있고, 개인의 명세가 기록되어 있지 않기 때문에 Fig. 1에 나타낸 선원의 인적요소들과 사고결과 사이의 인과관계를 분석할 수 없기 때문이다.

4. 본 연구에 적용한 1991년부터 2006년까지의 사고 기록 데이터에는 2항사와 3항사의 내용이 결여되어 있으나 2007년 이후부터는 기록되고 있다. 따라서 향후 2항사와 3항사에 대한 사고 관련 내용을 수용하기 위하여 이와 관련된 변수는 인적과실 모델 구축에 고려하되, 변수 값은 전문가들의 브레인스토밍으로 정한다.

여기서, 상기 4번 항의 결정에 대해서는 불확실한 면이 있으나, 본 연구가 2006년 12월 말부터 시작되어 현재 시스템 구축이 완료되는 단계이고, 현재 가용한 데이터가 Table 2와 같이 결합된 데이터이며, 본 연구의 주요 목적이 Fig. 4의 인적과실 모델을 구축하는 것이기 때문에 4번 항에 대해서는 추후 시스템 개발이 완료된 이후 재평가할 예정이다.

3.2 인적과실 모델

Fig. 4는 위의 분석결과를 토대로 구성된 인적과실 모델(Human Error Model, HEM)로서 계산 절차는 다음과 같다. 단, 2항사와 3항사에 대해서는 위에서 기술한 4번 항을 고려하였다. Step 1 : 선박으로부터 선박 ID(Identification), 위치, 기상, 선원 상황 등의 정보가 인공위성을 통하여 실시간으로 입력되면 해당 선박 $i(i=1,2,3,\dots,I, I$ 는 선박 척수)에 승선 중인 선장

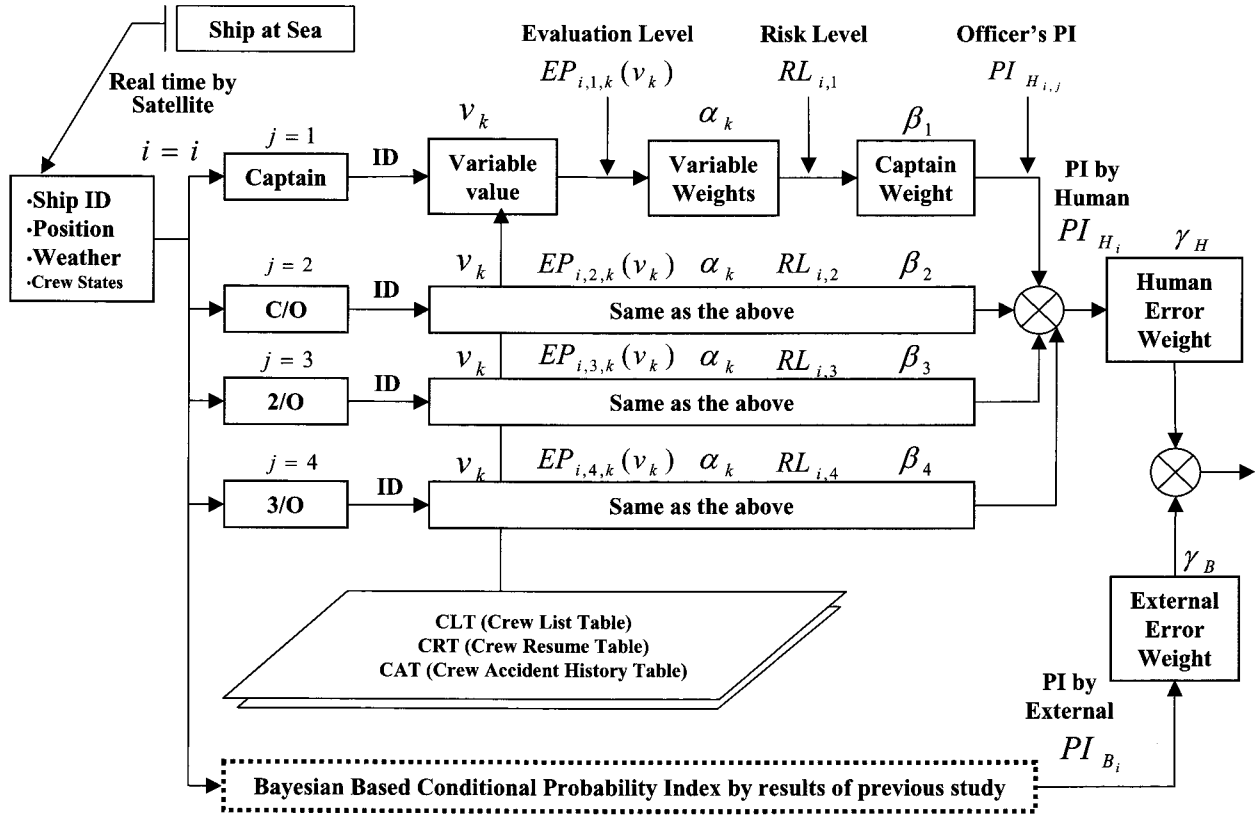


Fig. 4 Human Error Model combined with External Error Model by Bayesian Theory

($j=1$), 1항사($j=2$), 2항사($j=3$), 3항사($j=4$)들의 ID와, 각 갑판사관들의 인적요소 변수 $v_k(k=K)$ 에 대한 값을 사전에 준비한 테이블로부터 호출한다. 이 테이블은 선원목록이 기록된 테이블(seafarer List Table, CLT), 선원 이력이 기록된 테이블(seafarer Resume Table, CRT), 선원의 사고기록 테이블(seafarer Accident History Table, CAT) 등으로 구성되어 있다.

Step 2 : 선박 i 에 승선 중인 갑판사관 j 에 대한 변수 v_k 값의 평가 값 $EP_{i,j,k}(v_k)$ 과 v_k 에 대한 가중치 α_k 을 적용하여 다음 식(1)과 같이 갑판사관별 위기수준 $RL_{i,j}$ 을 계산한다.

$$RL_{i,j} = \sum_{k=1}^K EP_{i,j,k}(v_k) \alpha_k \quad (1)$$

여기서,

- $i(i=1, 2, 3, \dots, I)$: 선박 식별 번호로서 $I=130$ (척),
- $j(j=1, 2, 3, \dots, J)$: 갑판사관 직책 식별 번호로서 $J=4$,
- $k(k=1, 2, 3, \dots, K)$: 변수 식별 번호로서 $K=10$,

$EP_{i,j,k}(v_k)$: i 번 선박에 승선중인 j 번 갑판사관에 대한 변수 v_k 의 평가 등급,

$v_k(k=1, 2, 3, \dots, K)$: $K=10$ 의 변수,

$\alpha_k(k=1, 2, 3, \dots, K)$: $K=10$ 의 가중치.

Step 3 : 위의 식(1)에서 구한 $RL_{i,j}$ 에 각 갑판사관별 직책에 따른 가중치 β_j 을 적용하여 각 갑판사관별 확률지수 $PI_{H_{i,j}}$ 을 다음 식(2)으로 구하고,

$$PI_{H_{i,j}} = RL_{i,j} \beta_j \quad (2)$$

여기서,

β_j : 각 갑판사관의 직책별 가중치,

선박 i 에 승선 중인 j 의 갑판사관 모두의 인적과실에 대한 확률지수 PI_{H_i} 을 다음 식(3)으로 구한다.

$$PI_{H_i} = \sum_{j=1}^J PI_{H_{i,j}} \quad (3)$$

Step 4 : 마지막으로, 인적과실에 대한 확률지수 PI_{H_i} 와 이에 대한 가중치 γ_H , 선행연구에서 제안한 베이지안 기반의 조건부 확률지수 PI_{B_i} 와 이에 대한 가중치 γ_B 을 다음 식(4)과 같이 적용하여 선박 i 에 대한 확률지수 PI_i 을 구한다.

$$PI_i = PI_{H_i} \gamma_H + PI_{B_i} \gamma_B \quad (4)$$

여기서,

γ_H : 인적요인의 가중치,

γ_B : 외적요인의 가중치.

이하에서는 위에서 기술한 $v_k, \alpha_k, \beta_j, \gamma_H, \gamma_B$ 등의 결정 방법과 계산 절차에 대해서 기술한다.

3.4 인적요소 변수 v_k 와 가중치 α_k 결정

v_k 와 v_k 값에 대한 평가등급 $EP_k(v_k)$ 및 v_k 에 대한 가중치 α_k 는 브레인스토밍을 통하여 Table 6과 같이 결정하였고, 각 변수의 의미는 다음과 같다.

예를 들면, v_1 은 '사고건수'를 나타내고, 만약 사고건수가 10건 이라면 $v_1=10$ 의 값을 갖고, 이때 평가등급 $EP_1(v_1) = EP_1(10)$ 은 사고건수가 5건 이상이므로 $EP_1(v_1)=5$ 가 됨을 의미한다. 평가등급이 클수록 위험정도가 크다. 그리고 v_1 에 대한 가중치 $\alpha_1=0.4$ 를 의미한다. 여기서, α_1 의 값이 가장 큰데 이것은 사고 유발 건수가 많을수록 사고를 야기할 수 있는 개연성이 클 수밖에 없다는 전문가들의 브레인스토밍에 의한 것이다. 그러나 사고에 노출된 기회 즉, 승선 연수가 길수록 사고건수가 많은 것은 어찌 보면 당연한 것이므로 이러한 당연함을 보완하기 위하여 v_2 의 '사고감수성'을 도입하였다. 여기서, 이러한 전문가들에 의한 인위적인 값들은 현재 가용한 과거 인적 기록을 토대로 결정할 것이지만, 가중치를 40%나 설정하는 것에 무리가 많은 것이 사실이다. 그러나 가용할 데이터가 제한된 현재의 상태에서는 기존 연구와 같이 관련 회사에서 선원의 사고를 전담하고 있는 다수 전문가들의 의견을 수용할 수밖에 없다. 현재 시스템 구축이 완료되는 단계임으로 향후 이러한 전문가에 의한 결정 내용은 다시 재검토하여 가중치를 결정할 예정이다.

Table 6 Human factor variables and it's values with weights

k	인적 요소의 변수와 변수의 평가 값						변수의 가중치		
	변수 v_k	변수설명	평가 등급 $EP_k(v_k)$					가중치 α_k	가중치 값
			5	4	3	2	1		
1	v_1	사고건수	5 ≥	4	3	2	1 ≤	α_1	0.40
2	v_2	사고감수성	1 ≤	1-2	2-3	3-4	4 ≥	α_2	0.20
3	v_3	재직기간(년)	1 <	1-2	2-3	3-4	4 >	α_3	0.05
4	v_4	TOEIC 점수	400 <	400-500	500-600	600-700	700 >	α_4	0.10
5	v_5	ISF 점수	60 <	60-70	70-80	80-90	90 >	α_5	0.02
6	v_6	교육훈련 이수(개)	0	1	2	3	-	α_6	0.10
7	v_7	종합고과	E	D	C	B	A	α_7	0.03
8	v_8	음주고과	E	D	C	B	A	α_8	0.02
9	v_9	국적	-	-	외국	한국	-	α_9	0.05
10	v_{10}	선원교대 ^(주1)	교대 1/2 >	교대 3명 >	교대 2명 >	교대 1명 >	none	α_{10}	0.03

(주1) 선원교대는 선박에서 중신하는 실시간 데이터를 활용

'사고감수성'을 나타내는 v_2 값은 다음 식(5)로 계산하였는데, v_2 값이 작을수록 사고유발 개연성이 큼을 나타낸다.

$$v_2 = \frac{Y_L - Y_F}{N_{acc}} \tag{5}$$

여기서,

Y_L : 마지막 사고 발생 일자,

Y_F : 첫 번째 사고 발생 일자,

N_{acc} : Y_L 부터 Y_F 사이의 총 사고건수.

그리고 v_2 는, 사고발생이 없는 경우 $N_{acc}=0, Y_L-Y_F=0$ 이 되어 계산 불능이므로 최저 위험등급을 의미하는 $v_2=5$ 을 부여하였다. 즉, $EP_k(5)=1$. 그리고 한 건의 사고를 유발한 경우에는 $N_{acc}=1, Y_L-Y_F=0$ 이기 때문에 $v_2=0$ 이 됨으로 다음 식(6)과 같이 현재 일자를 참고하여 계산한다. 현재 일자부터 첫 번째 사고 발생 일자까지 1년 이하가 소요되었다면 향후 사고 유발 개연성이 크다고 고려하는 방법이다.

$$v_2 = \frac{Y_C - Y_F}{N_{acc}} \tag{6}$$

여기서,

Y_C : 현재 일자.

이러한 '사고감수성'은 항해사들의 위기에 대응하는 자세를 평가하기 위한 것으로, 예를 들어 10년간 5건 사고를 야기한 갑판사관과 5년간 5건 사고를 야기한 갑판사관의 사고건수는 동일한 5건 이지만, 사고에 대한 대응능력이나 자세가 다를 수 치로 평가하기 위한 것이다.

한편 위의 식(5)와 식(6)에서 총 사고건수 N_{acc} 대신에 재직 기간을 대입하여 계산한 후, v_1 의 '사고건수'와 통합하여 고려할 수 있으나, 인적 데이터에 갑판사관들의 직책별 승진일자가 기록되어 있지 않아서 정확한 직책별 재직기간을 계산할 수 없기 때문에 위와 같이 구분하여 계산한 것이다.

v_3 의 '재직기간'은 재직기간이 짧을수록 기술 습득이나 선박 적응능력 등이 열악하다는 브레인스토밍 결과를 참고한 것으로, 신규 임용된 갑판사관을 대상으로 한다. v_4 의 'TOEIC 점수'와 v_5 의 'ISF 점수' 등은 점수 대비 사고건수와 사고감수성을 비교 분석하여 결정한 것으로, 점수가 낮을수록 영어구사능력이 저하되어 의사소통에 문제가 발생한다는 브레인스토밍 결과를 고려한 것이다.

v_6 부터 v_8 까지의 '교육훈련 이수(개)'와 '종합고과' 및 '음주고과' 등은 회사에서 평가한 결과를 적용한 것이다. 그리고 v_9 의 '국적'은 한국 사관 보다는 외국 사관의 위험 정도를 한 등급 높게 평가한 것인데, 위의 Table 4에 나타낸 직책별 사고건수 분포(%)와 위배되는 것이지만, Table 4의 결과는 대부분 과거 한국 선원 위주의 선박에서 발생한 사고기록이기 때문에 이 기록을 준용할 수 없다. 그리고 외국 사관들은 최근 들어 승선 인원수가 증가했고, 전문가들의 의견에 의하면 한국 사관이 외국 사관과 비교하여 우수하다는 브레인스토밍 결과를 적용한 것이다. 현재 외국 사관은 중국과 필리핀 및 미얀마 선원들이 주를 이루고 있다. 그리고 v_{10} 의 '선원교대'는 선박에서 선원교대가 많을수록 신규 승선 선원들의 위험상황 대처능력이 저하된다는

브레인스토밍 결과를 따른 것이다.

3.5 직책에 대한 가중치 β_j 결정

Table 7은 $j(j=1,2,3,4)$ 의 갑판사관 직책에 대한 가중치를 나타낸다. 642명 갑판사관들이 야기한 Table 4의 사고건수에 대한 직책별 분포(%)를 보면, 선장 75.5%, 1항사 24.5%로 나타났다. 그러나 과거 선원의 사고기록 방법이 선장이나 1항사와 같이 책임자만을 기록하도록 되어 있기 때문에 이 결과를 준용할 수 없다. 그리고 선원의 사고기록 분석결과, 2항사나 3항사의 운항부주의나 운항미숙으로 충돌이나 접촉 사고 등이 발생한 기록이 있고, 2항사나 3항사 역시 당연히 사고 유발에 기여하기 때문에 Table 7과 같은 가중치를 부여한 것이다. 한편, 2항사와 3항사의 능력에 차이가 있음에도 불구하고 가중치를 공히 5%(0.05)로 정한 것은, 선장과 1항사와 비교하여 선박 운항 사고에 기여하는 정도가 크지 않고, 현재 가용한 데이터로는 2항사와 3항사가 사고에 기여하는 정도를 정량적으로 평가할 수 없기 때문에 정한 전문가들의 판단에 의한 것이다.

Table 7 Weights to the deck officers

Weight	β_1	β_2	β_3	β_4	sum
Title	Captain	C/O	2/O	3/O	
Weight Value	0.75	0.15	0.05	0.05	1.0

3.6 사고원인에 대한 가중치 γ_H, γ_B 결정

사고원인은 인적요소에 의한 사고원인과 인적요소 이외의 외적요소에 의한 사고원인으로 구분할 수 있다. Table 8은 본 연구에 적용한 16년간 총 355건의 선박 사고기록 중에서 2건만을 나타낸 샘플이다. 사고 원인이 주원인과 원인1, 원인2, 원인3 등으로 구분되어 있고, 사고원인 내용은 선장의 조기 피항 미숙, 당직 항해사의 보고지연 등의 '선원 과실', 항만 열악, 도선사 등의 '외적과실'로 구분하였다.

Table 8 Accident history report used in this work (sample)

선 명	AA	BB
항 차	134	119
사고발생 일자	YYMMDD	YYMMDD
사고발생 시간	0328	0910
출항지(또는 예정지)	TACOMA	Busan
입항지(또는 예정지)	MAP TA PHUT	CONCHAN
사고 발생 장소	국가	THAILAND
	지역	AT SEA
사고 당시	선박행동	항해 중
	선적화물	STEEL PRODUCT
사고 현황	기상	Normal
	사고대상물	선체
	사고종류	충돌
	사고내용	에인되는 BARGE와 충돌로 본선 선수부 파공, 내부재 손상, 상대 바지선 파손, 예인선 기기파손
사고 원인	주원인	선원과실
	원인1	선원과실: 선장의 조기 피항 미숙
	원인2	외적과실: 상대선 등화규정 미준수
	원인3	선원과실: 당직 항해사의 보고지연

일반적으로 인적과실에 의한 사고를 70% 내외로 계산한 과거 연구결과들은 한 건의 사고를 주원인으로만 분류한 결과들인데, Table 8에 나타낸 바와 같이 한 건의 사고에는 복합적인 원인이 포함될 수 있다. 따라서 한 건의 사고를 하나의 주원인으로만 분석하는 경우, 부차적인 원인들이 제외되는 과실을 범할 수 있기 때문에 본 연구에서는 사고를 야기한 원인을 세분하여 고려하였다.

우선, 향후 비교 분석을 위하여 기존 연구와 같이 사고 한 건에 대해서 주원인 하나만을 고려한다.

355건의 사고기록 데이터에 대한 인적과실에 의한 사고비율 ζ_1 과 외적과실에 의한 사고비율 ζ_2 을 다음 식(7)으로 계산한다.

$$\zeta_l = \frac{\sum_{n=1}^{N_{acc}} N_l}{N_{acc}} \quad (7)$$

여기서,

l : 인적 및 외적과실 식별번호($l=1, 2$), $l=1$ 은 인적과실, $l=2$ 는 외적과실,

N_l : N_1 은 인적과실에 의한 사고건수, N_2 는 외적과실에 의한 사고건수,

N_{acc} : 총 사고건수.

다음에는 한 건의 사고를 원인1, 원인2, 원인3 등 세 가지 원인으로 분류한 사고기록을 고려한다.

인적과실에 의한 사고 중에서의 인적과실(이하 인적-인적 과실)에 의한 사고비율 $\zeta_{1,1}$ 과, 인적과실에 의한 사고 중에서의 외적과실(이하 인적-외적 과실)에 의한 사고비율 $\zeta_{1,2}$ 을 구하고, 외적과실에 의한 사고 중에서의 인적과실(이하 외적-인적 과실)에 의한 사고비율 $\zeta_{2,1}$ 과 외적과실에 의한 사고 중에서의 외적과실(이하 외적-외적 과실)에 의한 사고비율 $\zeta_{2,2}$ 등을 다음 식(8)로 구한다.

$$\zeta_{l,m} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{acc}} N_{l,m}}{N_{acc}} \quad (8)$$

여기서,

l, m : $l=1, 2, m=1, 2$ 로서 인적-외적 과실 식별 번호, $N_{l,m}$: $N_{1,1}$ 은 인적-인적 과실, $N_{1,2}$ 는 인적-외적 과실, $N_{2,1}$ 는 외적-인적 과실, $N_{2,2}$ 는 외적-외적 과실 등에 대한 각각의 사고 건수.

마지막으로 인적과실의 가중치 γ_H 과 외적과실의 가중치 γ_B 을 다음 식(9)로 구하였다.

$$\begin{aligned} \gamma_H &= \zeta_{1,1} + \zeta_{2,1} \\ \gamma_B &= \zeta_{1,2} + \zeta_{2,2} \end{aligned} \quad (9)$$

Table 9는 위의 식(7)과 식(8)을 적용한 계산 결과이다.

Table 9 Causation ratio between the accident by human error and the accident by external error

인적 과실 ζ_1	0.705	인적-인적 과실 $\zeta_{1,1}$	0.479
		인적-외적 과실 $\zeta_{1,2}$	0.226
외적 과실 ζ_2	0.295	외적-인적 과실 $\zeta_{2,1}$	0.038
		외적-외적 과실 $\zeta_{2,2}$	0.257
계	1.0		1.0

Table 9에서, 한 건의 사고를 한 가지 주원인으로 분류한 결과는, $\zeta_1=0.705(70.5\%)$, $\zeta_2=0.295(29.5\%)$ 등으로 나타났는데, 인적과실에 의한 사고비율이 70% 내외라는 기존 연구결과와 대등하다.

반면, 위의 식(9)과 같이 세 가지 원인으로 분류하여 계산한 인적과실에 의한 사고비율은 $\gamma_H=0.517(51.7\%)$, 외적과실에 의한 사고비율은 $\gamma_B=0.483(48.3\%)$ 등으로 나타났다. 이 결과는 인적과실비율이 70%라는 기존 연구결과와 다른 것인데, 사고원인 분류방식을 다르게 했기 때문에 나타난 결과이다. 한편, $\gamma_H=0.517$, $\gamma_B=0.483$ 이라는 결과는 Fig. 4에 나타난 HEM에서의 위기지수 평가결과에 영향을 미치기 때문에 중요함으로, 추후 다양한 국내의 사고기록을 입수하여 이 결과들의 타당성 여부를 재검토할 예정이다. 그러나 본 연구에서는 한 건의 사고를 한 가지 사고 원인으로만 대표할 수 없다는 브레인스토밍 결과를 수용하여 $\gamma_H=0.517$, $\gamma_B=0.483$ 을 사고원인의 가중치로 정하였다.

4. 평가

4.1 평가방법

가장 중요한 평가요소는 브레인스토밍을 통하여 결정된 Table 6의 10가지 인적요소에 대한 변수 v_k 와 이들 값, 그리고 v_k 을 이용하여 위의 식(1)로부터 계산한 갑판사관별 위기수준 $RL_{i,j}$ 이다. 이러한 변수와 위기수준 결과가 타당하다면, 이들로 부터 계산되는 위의 식(2)의 갑판사관별 확률지수 $PI_{H_{i,j}}$ 와 이들의 조합으로 구성되는 위의 식(3)의 i 번 선박에서의 인적과실에 대한 확률 지수 PI_{H_i} 및 위의 식(4)의 확률지수 PI_i 등의 신뢰성을 확보할 수 있는 것으로 고려할 수 있다.

여기서, 현재 본 연구의 목표 시스템이 구축 중이기 때문에 실제 선박에서 송신되는 실시간 데이터는 획득할 수 없다. 그래서 본 평가에서는 선박에 대해서는 고려하지 않고 갑판사관들에 대해서만 고려하였다. 따라서 $RL_{i,j}$ 의 경우 선박요소 i 을 제외한 RL_j 에 대해서 평가한다.

4.2 평가결과

Table 10은 총 642명의 갑판사관에 대한 간단한 이력과 v_k 에

대한 갑판사관별 평가등급 $EP_k(v_k)$ 및 위의 식(1)을 적용한 갑판사관별 위기수준 $RL_j(1 \leq RL_j \leq 5)$ 의 샘플인데, RL_j 값이 큰 것부터 작은 순서로 정렬하였다. 즉, 가장 위기수준이 높은 갑판사관부터 나타낸 것이다. 그리고 Table 10의 좌측 첫 번째 란은 원래 사번인데, 개인 정보보호를 위하여 $j(j=1,2,3,\dots,J, J=642)$ 로 나타냈고, 이력의 직책에서 1은 선장을 나타내고, 2는 1항사를 나타내며, 이력의 국적에서 2와 3은 한국, 4는 외국을 나타낸다.

Table 10의 결과를 분석하면, 전반적으로 v_1 의 '사고 건수'에 대한 EP_k 와 v_2 의 '사고감수성'에 대한 EP_k 가 큰 갑판사관들의 위기수준 RL_j 이 높게 나타났다. 이러한 결과는 Table 6에 나타난 v_1 의 가중치 $\alpha_1=0.4$ 이고, v_2 의 가중치 $\alpha_2=0.2$ 로서 다른 변수들의 가중치 보다 상대적으로 크기 때문에 나타난 당연한 결과이다. 한편, '사고감수성'에 대한 EP_2 의 경우 $j=4, j=5$ 를 제외하면 4등급과 5등급이고, 'TOEIC 점수'에 대한 EP_4 의 경우에는 $j=1, j=2, j=3$ 을 제외하면 4등급과 5등급이며, 'ISF 점수'에 대한 EP_5 의 경우는 모두 3등급을 나타내고 있기 때문에, RL_j 의 값이 큰 갑판사관들의 사고감수성이 저하되어 있고, 영어구사능력이 낮음을 알 수 있다. 여기서, $j=1, j=2, j=3$ 의 경우 영어 능력을 평가하는 'TOEIC 점수'가 1등급과 2등급으로 우수한 반면 '사고 건수'가 많은 기형적인 특징을 보이고 있다. 이들은 주로 나이가 많고 재직기간이 긴 선장들인데, 사고에 노출된 기간이 길고, 연령 증가에 의한 사고감수성 결여 등에 기인한 것으로 고려된다. 그리고 v_{10} 의 '선원교체'에 대한 정보는 선박에서 실시간 송신하는 것이다. 본 연구에서는 평가를 위하여 임의로 2 등급을 부여하였다.

Table 10 Calculation results of RL_j to 642 deck officers arranged with highest risk level (sample)

이력	평가등급 $EP_k(v_k)$										위기 수준 RL_j			
	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}				
1	1	2	8	5	4	1	1	3	5	2	2	2	2	3.57
2	1	2	7	5	4	1	2	3	3	2	2	2	2	3.42
3	1	2	8	5	4	1	2	3	3	2	2	2	2	3.42
4	2	2	5	5	3	1	5	3	3	2	1	2	2	3.42
5	1	2	5	5	2	1	5	3	3	2	2	2	2	3.37
6	1	2	4	4	4	1	5	3	5	2	2	2	2	3.37
7	1	2	4	4	4	1	4	3	5	2	2	2	2	3.32
8	1	2	4	4	5	1	4	3	4	2	2	2	2	3.32
9	2	4	3	3	5	1	5	3	5	2	2	3	2	3.12
10	1	3	3	3	4	1	5	3	4	2	2	2	2	2.87
...

Table 11은 Table 10의 RL_j 에 대한 통계결과로서, 위기 수준의 최대 값 $\max=3.57$, 최소 값 $\min=1.37$, 중앙 값 $\text{median}=1.97$, 평균 값 $\text{mean}=2.01$, 표준편차 $\text{std}=0.33$, 편차 $\text{var}=0.11$ 등으로 나타났다.

Table 11 Statistics of RL_j to 642 deck officers

max	min	median	mean	std	var
3.57	1.37	1.97	2.01	0.33	0.11

다음에는 Table 10에 나타난 $EP_k(v_k)$ 들 사이의 상관관계를 검토하여 브레인스토밍으로 정한 v_k 의 타당성을 검토한다. 우선 맵랩(MATLAB) 소프트웨어 도구(MATLAB, 2008)를 이용하여 v_k 에 대한 상관계수 $\rho_k (-1.0 \leq \rho_k \leq 1.0)$ 와 ρ_k 의 유의성 검증을 위한 테스트 값 $p_k (0.0 \leq p_k \leq 1.0)$ 을 구하여 Table 12에 나타냈다.

Table 12 Correlation coefficients ρ_k and testing p-value p_k to

	v_k																	
	v_2		v_3		v_4		v_5		v_6		v_7		v_8		v_9			
	ρ_2	p_2	ρ_3	p_3	ρ_4	p_4	ρ_5	p_5	ρ_6	p_6	ρ_7	p_7	ρ_8	p_8	ρ_9	p_9		
v_1	0.16	0.00	-0.23	0.00	-0.01	0.88	0.05	0.20	-0.23	0.00	-0.07	0.09	-0.02	0.67	-0.17	0.03		
v_2	1	1	-0.20	0.00	0.09	0.01	-0.13	0.00	-0.14	0.00	-0.05	0.19	-0.05	0.16	-0.08	0.03		
v_3			1	1	0.02	0.56	0.18	0.00	0.21	0.00	0.01	0.72	0.02	0.63	0.05	0.17		
v_4					1	1	-0.02	0.59	0.28	0.00	0.15	0.00	0.03	0.38	0.45	0.00		
v_5							1	1	0.18	0.00	-0.03	0.47	0.02	0.62	0.16	0.00		
v_6									1	1	0.13	0.00	0.06	0.14	0.47	0.00		
v_7											1	1	0.31	0.00	0.16	0.00		
v_8													1	1	0.07	0.08		
v_9															1	1		

Table 12의 결과 중에서 95% 신뢰구간($p_k < 0.05$)에 대한 ρ_k 의 v_k 을 검토한 결과, v_1 의 '사고건수'는 v_2 의 '사고감수성', v_3 의 '재직기간', v_6 의 '교육이수 현황', v_9 의 '국적' 등과 유의함을 나타냈다. 반면 v_4 의 'TOEIC 점수'와 v_5 의 'ISF 점수', v_7 의 '종합고과', v_8 의 '음주고과' 등과는 유의성 없음으로 나타났다.

우선 '사고감수성'은 v_1 의 '사고건수'를 기반으로 계산한 것이기 때문에 당연한 결과로 보이고, '재직기간'은 재직기간이 길수록 사고에 노출된 기간이 길어서 사고 건수가 증가한 것이며, '교육이수 현황'은 실제 선박운용 관련 시뮬레이터 교육과 BRTM 교육 등에 대한 평가이므로 사고건수와 상관관계의 유의성이 있는 것으로 고려된다.

반면, v_4 의 'TOEIC 점수'는 2000년대부터 TOEIC 시험을 시행하였고, 주로 사고 유발자로 기록된 선장이나 1항사의 경우에는 TOEIC 성적이 낮고, 사고 유발기록이 없는 젊은 3항사와 2항사는 오히려 TOEIC 점수가 높으며, v_5 의 'ISF 점수'의 경우에는 ISF 시험이 모든 항해사들에게 필수이고, 대부분 중간등급인 3등급을 유지하고 있기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 보인다. 그리고 '종합고과'와 '음주고과'는 고과점수를 부여하는 책임자의 개인성향과 시대적 특징 등이 반영된 것인 바, 사고건수와 관련성이 낮은 것으로 고려된다.

이러한 상관관계의 유의성이 없는 변수의 문제점은 다른 변

수에서 보완하고 있는데, v_2 의 '사고감수성'은 v_3, v_4, v_5, v_6, v_9 등과 상관관계의 유의성을 보이고, 특징적으로 v_6 는 v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 등과, v_9 는 v_3 과 v_8 을 제외한 변수들과 높은 유의성을 나타내고 있다.

그리고 Fig. 5는 $EP_k(v_k)$ 을 이용하여 각 사관별로 계산한 RL_j 의 정규 확률 분포도를 y-축이 비선형인 그래프로 나타낸 것이다. x-축은 위기 수준 RL_j 을 나타내고, y-축은 확률을 나타낸다. '+' 표시는 위기수준 데이터에 대한 확률을 나타내고, 실선은 위기수준 데이터의 25%(0.25)와 75%(0.75)를 연결한 것으로 점선은 실선을 확장한 것이다. 실선과 점선에 데이터가 분포하게 되면 정규 확률 분포 특성을 갖게 된다.

25% 확률에 대한 위기등급은 1.8, 중간 값인 50%(0.5) 확률에 대한 위기등급은 2.0, 75%는 2.2 등으로 나타났다. 그리고 위기등급 1.6부터 2.4까지는 근사적인 정규분포 특징을 나타내고, 그 외는 비정규 확률 분포 특징을 나타내고 있다.

이러한 결과로부터, 인적과실은 선형적인 통계 확률로 표현하기 곤란하기 때문에 본 연구 적용 방법과 같이 전문가들에 의한 브레인스토밍과 다양한 분석을 통한 경험적인 방법으로 전개하는 것이 타당함을 알 수 있다.

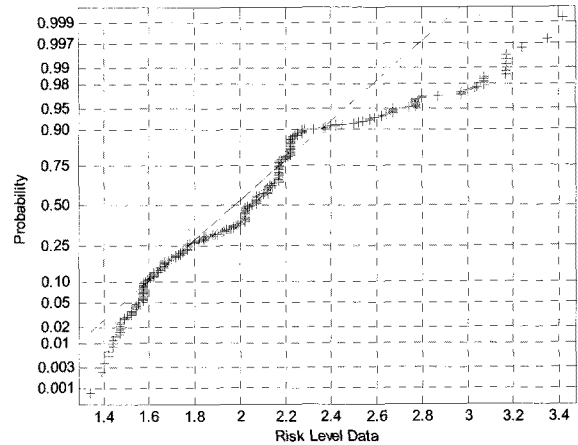


Fig. 5 Normal probability distribution to risk level RL_j versus probability

5. 결론

본 논문에서는 상선에 승선 중인 선장부터 3항사까지의 갑판사관들이 일으킬 수 있는 인적과실의 발생 가능성을 평가하기 위한 기법개발에 관해서 기술하였다.

선박관리회사에서 제공한 선장, 1항사, 2항사, 3항사까지의 642명 갑판사관에 대한 과거 16년간의 사고기록을 분석하여 인적과실 모델(Human Error Model, HEM)을 구축하고, 인적과실을 평가하기 위한 인적요소에 대한 변수 $v_k (k=10)$ 와, v_k 에 대한 평가등급 $EP_k(v_k)$ 및 가중치 α_k , 그리고 갑판사관들의 직책별 가중치 β_j 등을 선원의 사고기록 통계분석과 전문가의 브레인스토밍을 통하여 결정하였다. 그리고 세 가지 사고원인

으로 분류한 선박 사고기록을 분석한 결과, 인적과실에 의한 사고원인비율 γ_H 와 외적과실에 의한 사고원인비율 γ_B 이 각각 0.517(51.7%)과 0.483(48.3%)로 나타났다. v_k 에 대한 상관계수는 95%($p_k < 0.05$) 신뢰구간에서 유의함을 확인하였고, 각 재판사관의 위기수준 RL 의 정규 확률 분포 분석으로부터 본 연구에서 제안한 모델과 방법의 타당성을 확인하였다.

한편, 본 연구에서는 2항사와 3항사의 사고 내용이 결여되어 있는 데이터를 적용하였고, 기관사나 부원들에 대해서는 고려하지 않았기 때문에 향후 이들을 고려한 연구를 진행할 예정이고, 목표 시스템이 구축되면 실제 선박에 승선 중인 재판사관들의 인적과실에 의한 확률지수에 대해서 평가하여 본 연구에서 제안한 방법의 현장적용 가능성을 재검토할 예정이다.

참고문헌

- [1] 임정빈, 김대회, 장진민 (2007), "선박관리회사의 운항사고 예측 시스템 기초설계," 2007년도 한국항해항만학회 춘계 학술대회(제1권), 제31권 제1호, pp.301-308.
- [2] 임정빈 (2008), "상선 운항사고의 양적 위기평가기법 개발," 한국항해항만학회, 제33권 제1호, pp.9-19.
- [3] Alistair Sutcliffe and Andreas Gregoriades (2004), "Automating Scenario Analysis of Human and Systems Reliability", Centre for HCI Design, School of Informatics, University of Manchester, Manchester, UK, pp.1-20
- [4] Andrew, G., John, B. C., Hal, S. S., Donald. B. R. (2004), "Bayesian Data Analysis", Second Edition, Chapman & Hall/CRC, pp.1-570.
- [5] DNV (2002), "Marine Risk Assessment", Offshore Technology Report 2001/063, Det Norske Veritas (DNV), pp.1-72.
- [6] Frances, T. H., Sarfraz, A. M., Rosemarie, C., Elizabeth, C. J., Catherine, K. C., Claude Kasten-Sportes, Jeanne, O., Barbara, A. V., Barbara, L. C., Crystal, L. M., and Ronald E. Gressl (2005), "Age-dependent incidence, time course, and consequences of thymic renewal in adults," *The Journal of Clinical Investigation*, Vol. 115, No. 4, pp.930-939.
- [7] IMO (2002), "Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process", MSC/Circ. 1023, MEPC/Circ.392.
- [8] IMO (2006), "Amendments to the Guidance on the Use of Human Element Analysing Process (HEAP) and Formal Safety Assessment (FSA) in the Rule-Making Process of IMO (MSC/Cir.1022-MEPC/Circ.391)", MSC-MEPC.2/ Circ.6
- [9] Johan, R. van D., Jason, R. W. M., John, R. H., Thomas, A. M., and Martha, G. (2001), "A Risk Management Procedure for the Washington State Ferries," *Risk Analysis*, Vol. 21, No. 1, pp.127-142.
- [10] Judea Pearl (2008), *CAUSALITY: Models, Reasoning, and Inference*, 8th Printing, Cambridge University Press, pp.331-358.
- [11] F. Xavier Martinez de Osés and Nikolaos, P. V. (2006), *A Critical Assessment of Human Element Regarding Maritime Safety: Issues of Planning, Policy and Practice*, TRANSMAR Research Group, Department of Nautical Science an Engineering, Technical University of Catalonia - UPC, Barcelona, Spain, pp.1-19.
- [12] Martha, G., Jason, M., John, R. H., Tom, M., and Rene, V. D. (2000), "Risk Modeling in Distributed, Large-Scale Systems," Revised for IEEE Systems, Man & Cybernetics: A, pp.1-37.
- [13] MATLAB (2008), *MATLAB 7 Getting Started Guide 2008*, The Mathworks, <http://www.mathworks.com>.
- [14] R. de la Campa Portelal (2005), "Maritime Casualties analysis as a Tool to Improve Research About Human Factors on Maritime Environment," *Journal of Maritime Research*, Vol. II. No. 2, pp. 3-18.
- [15] Pekka, P. (2000), "Human Reliability Analysis Methods for Probabilistic Safety Assessment (VTT-PUBS-422)", VTT Technical Research Centre of Finland, ESPOO 2000, pp.1-63.
- [16] Shamus, P. S. and Michael, D. H. (2002), *Blending Descriptive and Numeric Analysis in Human Reliability Design*, The Dependability Interdisciplinary Research Collaboration Department of Computer Science, The University of York, U.K., pp.223-237.
- [17] Svein, M., Jan, A., Cesare, C., Rossana, D. B., Tor, E., Gail, S. G., Tore, H., Asher, K., Maria, L., Annika, M., Lars-Goran, N., Jerker, R., and Hubert, Z. (2006), "What people believe about memory," *Memory*, Vol. 14 (5), Psychology Press Ltd, pp.595-613.
- [18] THEMES (2003), *Draft report on suggestion for integration of human factors in safety and environmental analysis*, WP 4, Deliverable D4.3, Risø National Laboratory, pp.1-29.
- [19] Timothy, G. F. and Eirik, S. (2000), "Modeling Ship Transportation Risk," *Risk Analysis*, Vol. 20, No. 2, pp.225-244.
- [20] Wayne, W. B. and James, M. (2002), "Risk Management and Human Error Analysis for Recreational Boating Safety", Marine Safety Foundation, Inc., pp.1-6

원고접수일 : 2008년 9월 30일
 심사완료일 : 2009년 4월 7일
 원고채택일 : 2009년 4월 8일