

항해사의 피로가 해양사고에 미치는 영향 평가에 관한 연구

조준영* · 금종수**† · 장운재***

* 목포해양대학교대학원, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부, *** 선박안전기술공단 해상안전연구센터

A Study on the Effects of Marine Accidents by Navigation Officers' Fatigue

Jun-Young Cho* · Jong-Soo Keum**† · Woon-Jae Jang***

* Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

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

*** Korea Ship Safety Technology & Authority, Incheon, 406-840, Korea

요 약 : 최근 국내에서는 연간 약 600여건의 각종 해양사고가 발생하고 있다. 해양사고의 발생에 관한 국·내외 많은 연구와 분석에 의하면 해양사고의 약 70~80%가 인적요인에 의해 발생하고 있다. 여러 인적요인 중에서도 항해사의 피로는 매우 중요한 요인이다. 항해사의 피로가 해양사고에 중요한 역할을 한다고 인식되고 있음에도 불구하고 항해사의 피로도를 정량적으로 파악할 수 있는 연구는 거의 미미하다. 따라서 본 연구에서는 해양사고 종류별로 인적요인에 의한 발생률을 분석하고, 문헌과 5점 척도를 이용한 설문조사를 통하여 항해사의 피로에 영향을 미치는 중요한 5가지 요인을 추출하였다. 그리고 ISM법을 이용하여 피로요인에 의한 해양사고 발생 위험성의 평가요소를 계층구조화하였다. 마지막으로 AHP법을 이용하여 추출된 각 피로요인의 중요도를 구하고 항해사의 피로에 의해 발생할 가능성이 높은 해양사고의 순위를 결정하였다. 그 결과 수면시간 0.386, 스트레스 0.302, 건강상태 0.139, 휴식시간 0.099, 음주·약물 0.074순으로 높은 것으로 나타났다. 또한, 인명사상사고 0.328, 충돌사고 0.308, 좌초사고 0.195, 침몰사고 0.094, 화재사고 0.075로 나타났다. 따라서 중요도가 높은 요소들을 중심으로 제어방안을 마련해야 할 필요가 있다.

핵심용어 : 해양사고, 인적요인, 항해사, 피로, 수면시간

Abstract : Recently, about 600 cases of marine accidents occur annually in Korea. According to many studies and analyses on occurrence of marine accidents, 70~80% of marine accidents were caused by human factors. Among the human factors, navigation officers' fatigue is very important factor. Although navigation officers' fatigue serves as an important role in marine accidents, there is no method to exactly examine the degree of officers' fatigue. Accordingly, this study analyzed human factors according to types of marine accidents and extracted important five factors affecting navigation officers' fatigue through the questionnaire survey by means of literatures and 5-point scale. In addition, evaluation factors of marine accident risks caused by fatigue factors were divided and structured by using ISM. Lastly, it found out the importance of each fatigue factor drawn by AHP and decided marine accidents that were most highly caused by navigation officers' fatigue in order. At the result, weights were high as sleep time 0.386, stress 0.302, health condition 0.139, rest time 0.099, alcohol and drug 0.074 in fatigue factors, and death and injury 0.328, collision 0.308, grounding 0.195, sinking 0.094, fire accident 0.075 in evaluation factors of marine accident risks. Therefore, the control plan to lower marine accident risks should be prepared on the basis of high weight factors.

Key Words : Marine accidents, Human factor, Navigation officer, Fatigue, Sleep time

1. 서 론

해상에서의 인간의 활동은 해상 고유의 위험에 항상 노출되어 있어서 불가항력적인 해양사고에 조우할 가능성이 상존하고 있다. 해양사고를 방지하고자 하는 인간의 노력에도 불구하고

해상교통량의 증가와 선박의 대형화, 고속화 추세에 따라 이러한 개연성은 증가하고 있는 실정이다(금과 양, 2007).

최근 국내에서는 연간 약 600여건의 각종 해양사고가 발생하고 있으며, 이들 해양사고의 발생에 관한 국·내외 많은 연구와 분석에 의하면 해양사고의 약 70~80%가 인적요인(Human factor)에 의해 발생하고 있다. 특히, 해양사고의 발생원인 중 큰 부분을 차지하고 있는 인적요인 중에서 항해사의 피로는 해양사고를 유발하는 영향도 측면에서 매우 중요한 요인이 되는

* 대표저자 : 정희원, jycho712@mmu.ac.kr, 010-9309-0427

† 교신저자 : 종신회원, jskeum@mmu.ac.kr, 061-240-7166

것으로 알려져 있다(Arslan and Er, 2007).

항해사의 피로는 선박에서의 업무 수행에 밀접한 영향을 미치고 있으며, 이로 인해 인적요인에 의한 운항과실 등을 유발하여 결국 해양사고를 발생시키는 요인으로 작용하고 있다.

현재까지 선박의 안전관리대책과 해양사고의 방지대책에 대한 국·내외의 많은 연구에서 항해사의 피로가 해양사고에 미치는 영향에 대한 연구는 매우 단편적이며 개략적인 것에 불과한 실정이다. 따라서 이것만으로는 항해사의 피로와 해양사고와의 관계를 규명하는데 한계가 있어 항해사의 피로가 해양사고에 미치는 영향에 대한 체계적이고 심층적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 해양사고의 발생원인 및 해양사고 종류별로 인적요인에 의한 발생률을 분석한다. 또한, 항해사의 피로에 영향을 미치는 요인을 추출하고, ISM(Interpretive Structural Modeling) 법을 이용하여 해양사고별 발생 위험성 평가를 위한 계층구조모형을 구축한다. 그리고 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 각 피로요인에 대한 상대적 중요도를 구하여 해양사고별 발생 위험성을 정량적으로 분석하고자 한다.

2. 항해사의 피로요인 분석

2.1 피로의 개념 및 피로원인

피로는 정신이나 육체적인 지나친 활동으로 야기되는 지친 상태를 의미하는 것으로서, 피로에 대한 여러 연구에서 피로는 생리적, 심리적 및 환경적 요인과 관련이 있다고 하였다.

일반적인 개념으로 묘사되는 사전적인 의미의 피로는 격렬한 활동의 결과로부터 오는 육체적, 정신적인 피곤함(Weariness)이나 기진맥진함(Exhaustion)이다. 그리고 오랜 기간의 과도한 업무나 자극으로 인한 생체나 유기적 조직체의 정상적인 기능의 저하나 무력감으로 표현하고 있다.

따라서, 피로는 의욕 상실, 일의 능률 저하, 부정확성, 성취감의 쇠퇴 등으로 인해 주어진 업무를 수행하는 능력이 저하되는 것이라고 할 수 있다.

국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서는 피로에 대해 “일반적으로, 피로는 장기적인 정신적, 신체적 노동 및 장기적인 불안감과 힘든 환경에 대한 노출 혹은 수면 부족으로 인해 지치고 나른해지거나 졸린 상태를 말한다. 피로한 결과, 기능이 손상되고 민첩함이 감소된다”고 정의하고 있다(IMO, 2001).

항해사의 피로도선 선박이 갖는 고유한 특성 때문에 육상에서 느끼는 일반 피로도와는 그 성격이 다르다. 선박에 승선하게 되면 6개월 이상 육지가 아닌 해상에서 생활을 한다는 점, 승선하는 동안 근무와 휴식이 명백하게 구분되지 않는 생활을 한다는 점, 다양한 국적과 다양한 배경을 가진 다양한 구성원들과 함께 생활을 한다는 점 등이 그 원인으로 사료된다.

2001년 USCG에서 발표에 의하면 항해사의 피로를 유발하는 요인을 크게 8가지로 구분하고 있으며, 이 요인을 도식화하여 나타내면 Fig. 1과 같다(Comperatore et al, 2001).

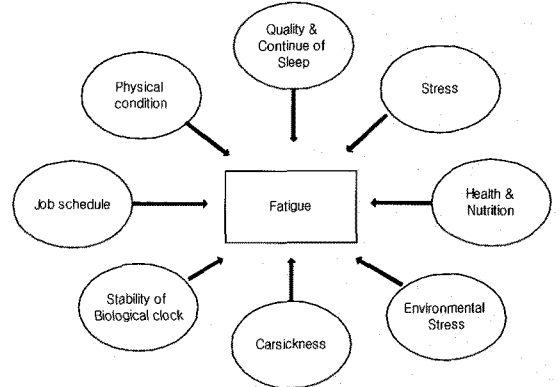


Fig. 1. Factors of navigation officers' fatigue.

Fig. 1과 같이 항해사의 피로의 원인은, 낮과 밤의 구별 없이 24시간 운항하는 것, 불충분한 수면시간, 잦은 입·출항 등으로 인한 과도한 작업부하, 육지가 아닌 해상에서 가족과 떨어져 지내는 것, 스트레스 등 다양한 원인이 있다.

또한, 2001년 IMO에서는 항해사의 피로의 원인의 범주를 Fig. 2에서 보는 바와 같이 승무원 요소(Crew-specific factors), 육상과 선박의 관리 요소(Ashore and aboard ship management factors), 선박 요소(Ship-specific factors), 환경 요소(Environmental factors) 등으로 크게 4가지로 구분하고 있다(IMO, 2001).

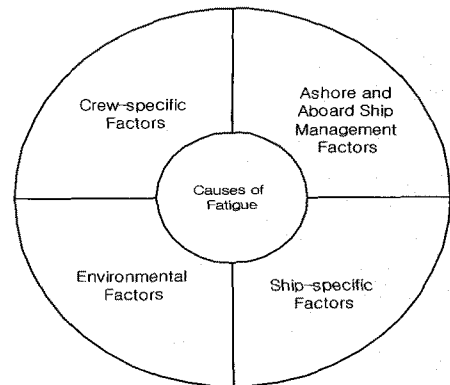


Fig. 2. Category of causes for navigation officers' fatigue.

한편, 피로 원인의 4가지 요소를 고려하여 항해사의 피로를 유발하는 요인을 수면 부족/부족한 수면의 질, 작업시간 사이의 불충분한 휴식시간/부족한 휴식의 질, 스트레스, 소음과 진동, 선박의 움직임(Pitching, rolling 등), 음식(식사시간, 식사 횟수, 음식에 대한 만족감과 질), 건강상태(질병 포함), 음주·약물, 시차로 인한 피로, 과도한 작업부하 등과 같이 10가지로 정리하고 있다(IMO, 2001).

또한 양과 금은 피로유발요인을 수면부족 등 11가지로 구분하고 설문조사를 통해 항해사의 피로도 영향을 조사한바 있다(양과 금, 2006).

이상의 10가지 피로유발요인 중에서 항해사의 피로에 크게 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 승선경력이 5년 이상 된 항해사 80명과 해양관련 전문가 20명을 대상으로 하여 2009년

7월 1일부터 15일까지 5점 척도로 설문조사를 실시하였으며, 각 요소의 평가치는 Table 1에서 보는 것과 같다.

Table 1. Evaluation weights by Likert 5-point scale

Factors	5-point scale	Factors	5-point scale
Sleep time	4.36	Overwork	3.82
Stress	4.18	Rolling of a ship	3.44
Alcohol and drug	4.12	Noise and vibration	3.14
Health condition	4.08	Time-lag	2.94
Rest time	3.98	Food	2.88

항해사의 피로유발요인 중 수면시간이 4.36으로 피로에 가장 크게 영향을 미치는 요인으로 나타나고 있으며, 다음으로 스트레스(4.18), 음주·약물(4.12), 건강상태(4.08), 휴식시간(3.98), 과도한 작업부하(3.82), 선박 움직임(3.44), 소음과 진동(3.14), 시차(2.94), 음식(2.88) 순으로 나타나고 있다.

일반적으로, 과도하게 작업부하가 걸리게 되면 그 영향으로 인해 휴식시간이 부족할 수 있고, 선박 움직임과 소음·진동이 심하면 스트레스를 많이 받을 수 있다. 또한, 시차로 인해 피곤하게 되면 수면시간이나 수면의 질에 영향을 줄 수 있으며, 적절한 음식을 섭취하지 못하게 되면 건강상태가 좋지 못하게 될 수 있다.

이상의 10가지 피로유발요인 중에서 요소 간 인과관계를 고려하여 과도한 작업부하는 휴식시간의 하위 항목으로 포함시키고, 선박 움직임과 소음·진동은 스트레스의 하위 항목으로 포함시킬 수 있다. 또한, 시차는 수면시간의 하위 항목으로, 음식은 건강상태의 하위 항목으로 포함시킬 수 있다.

따라서 5점 척도에 의해 얻은 평가치와 승무원 요소를 고려하여 본 연구에서는 수면시간, 스트레스, 음주·약물, 건강상태, 휴식시간을 평가항목으로 추출하였다. 여기서 승무원 요소를 고려한 이유는 피로를 느끼는 대상이 승무원 자신이기 때문에 다른 어떤 요소보다도 승무원 요소를 최우선으로 고려하였다.

2.2 피로가 해양사고에 미치는 영향

USCG, R&D Center의 연구보고서(McCallum et al, 1996)에 의하면 USCG에서는 인간의 피로도도의 정도를 측정하는 기법을 개발하여 사용하고 있다. 이것을 피로도 지수(Fatigue Index Score, FIS)라고 하며, 피로도 측정 조사 프로그램 입력 Form에 조사관이 각 항목들에 대한 조사 결과를 입력하고 그 결과에 따라서 피로도 지수를 계산한다.

이 기법에서 주목할 점은 해양사고 관련 선박승무원에게 피로와 관련된 질문을 하고 그 내용을 근거로 하여 피로도 계산 공식을 통하여 피로도 지수를 구하고 그것으로 선박승무원의 피로가 해양사고에 기여한 원인인지 여부를 판단한다는 데 있다.

피로도 지수를 측정하기 위한 세 요소는 선박승무원에 의해 보고된 피로가 나타난 횟수, 사고 하루 직전 작업한 시간, 사고 하루 직전 수면시간이며, 피로도 지수 계산식은 식(1)과 같다.

$$\text{Fatigue Index} = [4.39 * (\text{Number of Fatigue Symptoms}) + 1.25 * (\text{Hours Worked in Last 24 Hours}) - 0.93 * (\text{Hours Slept in Last 24 Hours})] + 39.75 \quad (1)$$

일반적으로 피로도 지수가 '50'을 초과하게 되면 피로가 해양사고의 원인으로 기여하였다고 판정한다. USCG 조사 결과, 약 80% 정도가 정확한 것으로 조사되었다.

한편, USCG에서는 인적요인과 피로도 지수를 이용하여 항해사의 피로가 해양사고에 미치는 영향을 평가하였다.

USCG에서 조사한 144건의 심각한 선박사고(Critical vessel accident) 중에서 인적요인이 영향을 미친것은 76건으로 52.8%로 나타났으며, 피로도 지수를 적용할 수 있는 40건의 심각한 선박사고 중에서 피로도 지수가 '50'을 초과하여 피로가 해양사고의 원인으로 기여하였다고 판정되는 것은 12건으로 30.0%로 나타났다. 이를 인적요인 영향 76건에 대비하면 15.8%로 나타났다. 즉, 항해사의 피로가 심각한 선박사고에 약 15.8% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한, 전체 144건의 인명사고 중에서 인적요인이 영향을 미친것은 131건으로 91.0%로 나타났으며, 피로도 지수를 적용할 수 있는 53건의 인명사고 중에서 피로도 지수가 '50'을 초과하여 피로가 인명사고의 원인으로 기여하였다고 판정되는 것은 19건으로 35.8%로 나타났다.

전체 144건의 인명사고 중에서 인적요인이 영향을 미치는 비율과 53건의 인명사고 중에서 피로가 영향을 미치는 비율을 곱하면 전체 144건의 인명사고 중에서 피로가 영향을 미치는 정도를 평가할 수 있다. 이렇게 하여 나온 결과는 32.6%로 나타났다. 즉, 항해사의 피로가 인명사고에 약 32.6% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 항해사의 피로가 심각한 선박사고에 약 15.8% 정도 영향을 미치고, 인명사고에 약 32.6% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 항해사의 피로가 해양사고에 미치는 영향을 도식화하여 나타내면 Fig. 3과 같다.

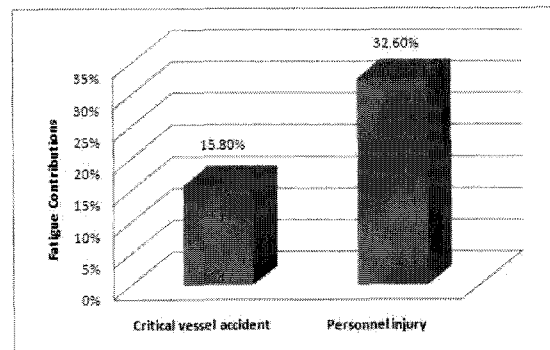


Fig. 3. Rates of fatigue contributions in marine accidents.

3. 해양사고 분석

3.1 해양사고의 발생 원인 분석

지난 5년(2004~2008년)간 발생한 국내 해양사고의 원인을

살펴보면, Table 2에서 보는 바와 같이 인적요인이 전체 해양사고 원인의 82.4%를 차지하며 가장 높게 나타나고 있으며, 취급 불량 및 결함 12.3%, 기상을 비롯한 불가항력과 같은 비인적요인이 5.3%를 차지하는 것으로 나타나고 있다(해양사고통계자료, 2010).

여기서 세부적으로 출항준비 불량, 수로조사 불충분, 침로의 선정 유지 불량, 선위확인 소홀, 조선 부적절, 경계 소홀, 황천 대비·대응 불량, 묘박·계류의 부적절, 항행법규 위반, 복무감독 소홀, 당직근무 태만, 선내작업안전수칙 미준수와 같은 요소를 운항과실로 한다. 또한 기관설비 취급 불량, 화기취급 불량, 전선 노후, 함선, 선체·기관설비 결함과 같은 요소를 취급불량 및 결함으로 한다.

마지막으로, 기타 요인으로는 여객·화물의 적재불량, 선박 운항관리 부적절, 승무원 배송 부적절, 항해원조시설 부적절, 기상 등 불가항력과 같은 요소가 있다.

이상과 같이 국내 해양사고의 원인을 분석한 결과 대부분의 해양사고의 원인으로 운항과실이 가장 큰 원인을 차지하는 것으로 나타났다. 여기에서 운항과실은 단순하게 사고당시 운항자의 인적과실(Human error)로 간주하기 보다는 그 내면에 운항자의 수면시간이 부족한 점과 운항자가 적절하게 휴식을 취하지 못한 점 등과 같은 인적요인에 의한 것으로 판단해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 운항과실을 인적요인으로 간주한다.

Table 2. Summary of causes for marine accidents according to accident type(2004~2008)

	Human	Non-Human			Total
		Poor treat & Fault	Others	sum	
Collision	996	5	27	32	1,028
Contact	39	0	1	1	40
Ground	66	3	3	6	72
Fire·Explosion	6	97	5	102	108
Sinking	45	24	17	41	86
Death and Injury	39	5	3	8	47
Engine Damage	1	50	0	50	51
Others	63	4	25	29	92
Total	1,255	188	81	269	1,524
Rate(%)	82.4	12.3	5.3	17.6	100

3.2 인적요인에 의한 해양사고의 분석

국내 해양사고의 종류별로 인적요인이 미치는 영향을 살펴보면, Table 2에서 보는 바와 같이 충돌사고의 경우 전체 1,028건의 원인 중 인적요인이 996건으로 96.9%를 가장 많이 차지하는 것으로 나타났다. 반면, 화재·폭발사고는 전체 108건의 원인 중 인적요인이 6건으로 인적요인이 미치는 영향이 5.6%인 것으로 나타나고 있는데, 이것은 화재·폭발사고의 원인이 주로 전선노후, 함선 등과 같은 비인적요인에 의한 것이기 때문이다.

또한, 전체 1,524건 중에서 인적요인에 의해 발생하는 비율이 충돌사고(접촉사고 포함) 67.9%, 좌초사고 4.3%, 침몰사고 3.0%, 인명사상사고 2.6%, 화재·폭발사고 0.4%, 기관손상사고

0.1%로 나타나고 있다. 여기에서 충돌사고(접촉사고 포함)와 좌초사고, 침몰사고, 인명사상사고, 화재·폭발사고가 전체의 78.2%를 차지하고 있다.

따라서 본 연구에서 항해사의 피로요인에 의한 해양사고별 발생 위험성 평가시, 평가대상(해양사고)으로 인적요인이 많이 영향을 미치는 충돌사고, 좌초사고, 침몰사고, 인명사상사고, 화재사고를 선정하였다. 여기에서 접촉사고는 충돌사고에 포함되는 것으로 하며, 폭발사고는 화재사고에 포함되는 것으로 한다. 그리고 본 연구는 항해사의 피로에 대해서 다루고 있기 때문에 기관손상사고는 본 연구의 평가대상에서 제외한다.

3.3 평가요소의 계층구조모델

본 연구에서는 이상의 문헌연구를 통해 추출한 10개의 요소에 대해 요소간 계층구조 및 상호관계를 분석하고자 한다.

평가항목을 계층구조화 하는 방법으로는 Dematel법, Brain Storming법, K.J.법 등이 있으나 문제를 객관적으로 명확히 하여 계층구조화 하는 방법으로 ISM법이 널리 알려져 있으므로 본 연구에서도 ISM법을 이용하여 분석요소를 계층구조화 하였다. ISM법을 이용하여 평가요소를 계층구조화 하기 위하여 Table 3의 11개의 요소를 일대 비교하여 개별 평가요소에 대한 영향도를 면접 및 설문조사하였다.

Table 3. List of evaluation factors

Number	Factors	Number	Factors
1	Casualty risk	7	Sleep time
2	Collision	8	Rest time
3	Ground	9	Alcohol and drug
4	Sinking	10	Health condition
5	Fire	11	Stress
6	Death and Injury		

ISM법에 의한 계층구조화는 다음과 같이 실시한다(금 등, 2001). 먼저 일대비교를 통하여 요소 i 가 요소 j 에 영향을 준다면 1, 그렇지 않다면 0인 관계행렬(E)을 작성한다. 이때, 각 속성에 대한 요소의 종속관계는 설문대상자의 평균이 0.6 이상인 경우 종속관계가 있다고 하고 행렬식에서 1로 표시한다. 그리고 단위행렬 I 를 추가하면 식(2)와 같다.

$$N = E + I \tag{2}$$

이 N 의 역승을 차례로 구하여 도달행렬 N^* 을 계산한다. 이 도달행렬로부터 각 요소 t_i 에 대해서 도달집합 $R(t_i)$ 과 선행집합 $A(t_i)$ 을 식(3)과 식(4)로 구한다.

$$\text{도달집합 } R(t_i) = \{t_j | n'_{ij} = 1\} \tag{3}$$

$$\text{선행집합 } A(t_i) = \{t_j | n'_{ji} = 1\} \tag{4}$$

각 요소의 계층구조에 있어서 레벨의 결정은 이 도달집합 $R(t_i)$ 과 선행집합 $A(t_i)$ 로부터 식(5)에 의해 축차적으로 구하여 구조화행렬을 완성하고 이 구조화행렬에 의해 계층구조는 결정된다.

$$R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i) \quad (5)$$

이상과 같은 순서로 구한 항해사의 피로요인에 의한 해양사고 발생 위험성 평가를 위한 구조는 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

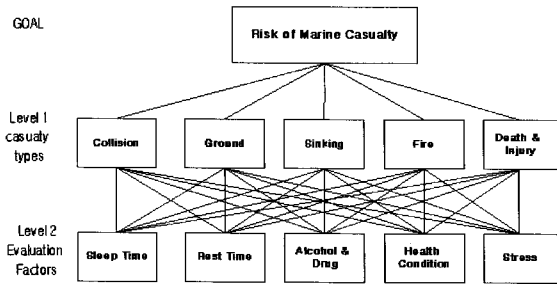


Fig. 4. Hierarchical evaluation structure of the risk of marine accidents occurring by fatigue.

4. 피로요인에 의한 사고 위험성 평가분석

4.1 피로요인 평가항목간 중요도 분석

계층분석법은 복잡한 평가대상을 계층구조의 형태로 분석함으로써 의사결정을 보다 용이하게 하고자 하는 목적으로 널리 사용되고 있는 방법으로 평가항목의 일대비교에 의한 비율로서 중요도를 결정하는 것이다(Satty and Kearns, 1985).

본 연구에서는 계층분석법을 이용하여 각 피로요인간의 상대적 중요도와 항해사의 피로요인에 의한 해양사고별 발생 위험성을 평가하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 승선경력이 5년 이상된 항해사 80명과 해양관련 전문가 20명을 대상으로 하여 2009년 7월 16일부터 31일까지 면접 및 설문조사를 실시하였다. 면접조사를 병행하여 실시하였기 때문에 100부 모두 유효한 설문 분석대상이 된다. 피로요인에 대한 일대비교행렬로부터 구한 각 피로요인의 중요도 값은 Table 4와 같이 나타났다. 여기서 각 행렬의 대표치는 표본의 기하평균을 정수화한 값이다.

Table 4. Pairwise comparison matrix and weight of evaluation factors by AHP

	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	Weights
[a]	1	3	4	3	2	0.386
[b]	1/3	1	2	1/2	1/4	0.099
[c]	1/4	1/2	1	1/2	1/3	0.074
[d]	1/3	2	2	1	1/3	0.139
[e]	1/2	4	3	3	1	0.302

$$\lambda_{max} = 5.184, C.I. = 0.046, C.R. = 0.04$$

* [a] : Sleep Time [b] : Rest Time [c] : Alcohol and Drug
[d] : Health Condition [e] : Stress

Table 4에서 보이는 바와 같이 수면시간이 0.386, 스트레스가 0.302, 건강상태가 0.139, 휴식시간이 0.099, 음주·약물이 0.074로 나타나고 있다. 따라서 항해사의 피로에 영향을 미치는 각 피

로요인의 중요도는 수면시간이 가장 높고, 다음으로 스트레스, 건강상태, 휴식시간 순으로 나타났으며, 음주·약물이 가장 낮은 것으로 나타났다. 여기에서 중요도의 정합도 및 정합비는 각각 0.046과 0.04로 모두 0.1 이하의 값으로 그 유효성은 인정된다.

이상의 계층분석법에 의한 결과에 대한 계산과정은 Table 5와 같이 설명할 수 있다. 행렬([a], [a])의 0.414는 세로열 [a]부터 [e]까지의 합을 행렬([a], [a])로 나눈값이다. 이러한 순서로 행렬([e], [e])를 계산하면 0.255가 산출된다. 또한 이러한 값들로 가로행간의 기하평균을 합산하면 [a]행은 0.386이 산출되게 된다.

Table 5. Calculation process by AHP

	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	Weights
[a]	0.414	0.286	0.333	0.375	0.511	0.386
[b]	0.138	0.095	0.167	0.063	0.064	0.099
[c]	0.103	0.048	0.083	0.063	0.085	0.074
[d]	0.138	0.190	0.167	0.125	0.085	0.139
[e]	0.207	0.381	0.250	0.375	0.255	0.302

4.2 피로요인별 사고종류에 대한 중요도 분석

해양사고별 위험성을 각 피로요인별로 살펴보면 Table 6과 같다.

항해사의 피로에 가장 큰 영향을 미치는 피로유발요인인 수면시간에 대한 해양사고별 평가치는 인명사상사고 0.410, 충돌사고 0.268, 좌초사고 0.163, 침몰사고 0.085, 화재사고 0.074로 나타나고 있다. 따라서, 수면시간 부족 등으로 피로를 느낀 경우 발생시키기 쉬운 해양사고는 인명사상사고가 가장 높은 것으로 나타났으며, 선박사고 중에서는 충돌사고가 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

다음으로 항해사의 피로에 영향을 미치는 피로유발요인 중에서 수면시간에 이어 두 번째로 크게 영향을 미치는 요인인 스트레스에 대한 해양사고별 평가치는 충돌사고 0.384, 좌초사고 0.264, 인명사상사고 0.180, 침몰사고 0.101, 화재사고 0.070으로 나타나고 있다. 따라서, 스트레스가 항해사의 피로를 유발하는 경우 발생시키기 쉬운 사고는 충돌사고가 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 좌초사고, 인명사상사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

또한 건강상태에 대한 해양사고별 평가치는 인명사상사고 0.385, 충돌사고 0.264, 좌초사고 0.180, 침몰사고 0.101, 화재사고 0.071로 나타나고 있다. 따라서 좋지 못한 건강상태 등으로 피로를 느낀 경우 발생시키기 쉬운 해양사고는 인명사상사고가 가장 높은 것으로 나타났으며, 선박사고 중에서는 충돌사고가 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

한편, 휴식시간에 대한 해양사고별 평가치는 인명사상사고 0.347, 충돌사고 0.315, 좌초사고 0.152, 화재사고 0.099, 침몰사고 0.088로 나타나고 있다. 따라서 휴식시간 부족 등으로 피로를 느낀 경우 발생시키기 쉬운 해양사고는 인명사상사고가 가장 높은 것으로 나타났으며, 선박사고 중에서는 충돌사고가 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 화재사고, 침몰사고 순으로 나타났다.

마지막으로, 음주·약물에 대한 해양사고별 평가치는 인명사상사고 0.371, 충돌사고 0.280, 좌초사고 0.168, 침몰사고 0.108, 화재사고 0.073으로 나타나고 있다. 따라서 음주를 하거나 약물을 복용하여 피로를 느낀 경우 발생시키기 쉬운 해양사고는 인명사상사고가 가장 높은 것으로 나타났으며, 선박사고 중에서는 충돌사고가 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

Table 6. Pairwise comparison matrices and weights of each evaluation factor

1. Sleep Time

	A	B	C	D	E	Weights
A	1	2	3	4	1/2	0.268
B	1/2	1	2	3	1/3	0.163
C	1/3	1/2	1	1	1/4	0.085
D	1/4	1/3	1	1	1/4	0.074
E	2	3	4	4	1	0.410

$\lambda_{max}=5.084$, C.I.=0.021, C.R.=0.02

2. Stress

	A	B	C	D	E	Weights
A	1	2	4	4	2	0.384
B	1/2	1	3	3	2	0.264
C	1/4	1/3	1	2	1/2	0.101
D	1/4	1/3	1/2	1	1/3	0.070
E	1/2	1/2	2	3	1	0.180

$\lambda_{max}=5.104$, C.I.=0.026, C.R.=0.02

3. Health Condition

	A	B	C	D	E	Weights
A	1	2	3	3	1/2	0.264
B	1/2	1	2	3	1/2	0.180
C	1/3	1/2	1	2	1/4	0.101
D	1/3	1/3	1/2	1	1/4	0.071
E	2	2	4	4	1	0.385

$\lambda_{max}=5.104$, C.I.=0.026, C.R.=0.02

4. Rest Time

	A	B	C	D	E	Weights
A	1	2	3	4	1	0.315
B	1/2	1	3	1	1/3	0.152
C	1/3	1/3	1	1	1/3	0.088
D	1/4	1	1	1	1/4	0.099
E	1	3	3	4	1	0.347

$\lambda_{max}=5.156$, C.I.=0.039, C.R.=0.03

5. Alcohol and Drug

	A	B	C	D	E	Weights
A	1	2	3	4	1/2	0.280
B	1/2	1	2	2	1/2	0.168
C	1/3	1/2	1	2	1/3	0.108
D	1/4	1/2	1/2	1	1/4	0.073
E	2	2	3	4	1	0.371

$\lambda_{max}=5.096$, C.I.=0.024, C.R.=0.02

* A: Collision, B: aground, C: Sinking, D: Fire, E: Death and Injury

4.3 항해사의 피로에 의한 해양사고 위험성 종합 평가

항해사의 피로에 영향을 미치는 수면시간, 스트레스, 건강상태, 휴식시간, 음주·약물의 중요도를 고려한 해양사고별 발생

위험성의 평가 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Overall evaluation weights and ranking of the risk

	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	Weights	Ranks
A	0.268	0.315	0.280	0.264	0.384	0.308	2
B	0.163	0.152	0.168	0.180	0.264	0.195	3
C	0.085	0.088	0.108	0.101	0.101	0.094	4
D	0.074	0.099	0.073	0.071	0.070	0.075	5
E	0.410	0.347	0.371	0.385	0.180	0.328	1

* [a]: Sleep Time, [b]: Rest Time, [c]: Alcohol and Drug, [d]: Health Condition, [e]: Stress

* A: Collision, B: aground, C: Sinking, D: Fire, E: Death and Injury

따라서 항해사의 피로에 의해 발생할 가능성이 가장 높은 해양사고는 인명사상사고이며, 선박사고 중에서는 충돌사고의 발생 위험성이 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

5. 결론

해양사고의 발생원인 중 큰 부분을 차지하고 있는 인적요인 중에서 항해사의 피로는 해양사고를 유발하는 영향도 측면에서 매우 중요한 요인이 되는 것으로 알려져 있으나 항해사의 피로도를 정량적으로 파악할 수 있는 방법에 대한 연구는 아직 미미했다. 또한, 해양사고를 일으키는 인적요인과 피로유발요인에 대한 부분적인 연구는 있었지만, 항해사의 피로와 해양사고와의 관계를 규명하는데 한계가 있어 체계적인 연구가 필요했다.

본 연구에서는 해양사고 종류별로 인적요인에 의한 발생물을 분석하였고, 문헌 및 설문조사를 통하여 항해사의 피로에 영향을 미치는 주요한 피로유발요인을 추출하였다. 또한 ISM법을 이용하여 항해사의 피로에 의한 해양사고별 발생 위험성을 평가하기 위한 계층구조모델을 구축하였다. 마지막으로, 계층분석법을 이용하여 추출된 각 피로요인에 대한 상대적 중요도를 구하고, 항해사의 피로에 의한 해양사고의 발생 위험성을 평가하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 피로요인의 중요도를 보면 수면시간이 0.386, 스트레스가 0.302, 건강상태가 0.139, 휴식시간이 0.099, 음주·약물이 0.074로 나타났다. 따라서, 항해사의 피로에 영향을 미치는 피로유발요인으로 수면시간이 가장 중요한 요인이며, 다음으로 스트레스, 건강상태, 휴식시간, 음주·약물 순으로 나타났다.

2) 항해사의 피로에 영향을 미치는 피로요인별 해양사고 발생 위험성의 평가 결과는 인명사상사고 0.328, 충돌사고 0.308, 좌초사고 0.195, 침몰사고 0.094, 화재사고 0.075로 나타났다. 따라서, 항해사의 피로에 의해 발생할 가능성이 가장 높은 해양사고는 인명사상사고이며, 선박사고 중에서는 충돌사고의 발생 위험성이 가장 높고, 다음으로 좌초사고, 침몰사고, 화재사고 순으로 나타났다.

본 연구는 계층분석법을 이용하여 항해사의 피로에 의한 해양사고의 발생 위험성을 평가한 것에 의의가 있다.

따라서 향후 연구에서는 해양사고를 감소시키기 위하여 해양안전시스템의 보강, 제도의 개선 등과 함께 항해사의 피로유발요인을 제어하는 방안에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 금중수, 양동신(2007), 항공 및 해상 수색구조론, 다솜출판사, pp. 11-12.
- [2] 금중수, 윤명오, 장운재(2001), 연안해역의 항행 안전성 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제7권, 제2호, pp. 39-48.
- [3] 양원재·금중수(2006), 항해사의 피로도 평가 모델에 관한 연구, 2006년 해양환경안전학회 춘계학술발표회, pp. 1-6.
- [4] 해양사고통계자료(2010), <http://www.kmst.go.kr/>
- [5] Arslan, O. and I. D. Er(2007), Effects of Fatigue on Navigation Officers and SWOT Analyze for Reducing Fatigue Related Human Errors on Board, *TransNav' 2007-The 7th International Navigational Symposium on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, pp. 623-627.
- [6] Comperatore C. A., A. M. Rothblum, P. K. Rivera, L. C. Kingsley, D. Beene and A. B. Carvalhais(2001), *U.S. COAST GUARD GUIDE FOR THE MANAGEMENT OF CREW ENDURANCE RISK FACTORS Version 1.1*, USCG, Report No. CG-D-13-01, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, pp. 1-6.
- [7] IMO(2001), *Guidance on Fatigue Mitigation and Management*, MSC/Circ. 1014, IMO. pp. 4-11.
- [8] McCallum, M. C., M. Raby and A. M. Rothblum(1996), Procedures for Investigating and Reporting Human Factors and Fatigue Contributions to Marine Casualties, USCG, Report No. CG-D-09-97, National Technical Information Service, Springfield, Virginia, pp. 13-34.
- [9] Satty, T. L. and K. P. Kearns(1985), *Analytical Planning*, Pergamon press, pp. 19-62.

원고접수일 : 2010년 04월 16일

원고수정일 : 2010년 05월 18일

게재확정일 : 2010년 06월 24일