

해양사고의 피로도 조사 프로그램에 관한 연구

양원재* · 김종수* · 전승환**

*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, **한국해양대학교 항해시스템공학부 교수

A Study on the Fatigue Investigation Program for Marine Accident

Won-Jae Yang^{†*} · Jong-Soo Keum^{*} · Seung-Hwan Jun^{**}

* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University

** Division of Navigation System Engineering College of Maritime Sciences, Korea Maritime University

요약 : 최근에 선박충돌사고나 좌초사고와 같은 중대한 해양사고를 조사할 때 사고관련자의 피로도(Fatigue)는 선박의 안전운항에 부정적인 영향을 미치는 인간과실(Human error) 유발요인으로써 항해사의 인지능력 및 업무수행능력을 저하시키는 중요한 요인으로 인식되고 있을 뿐만 아니라, 이에 대한 많은 조사가 수행되고 있는 것이 각종 연구보고서를 통하여 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 해양사고관련자에 대한 피로도를 체계적으로 조사·분석하기 위한 일환으로 미국연안경비대의 피로도 조사프로그램을 토대로 국내 해양안전심판원 웹사이트에 조사프로그램을 구현하고 그 결과를 고찰하여 효율적인 피로도조사가 이루어질 수 있도록 몇 가지 방안을 검토하였다.

핵심용어 : 해양사고, 피로도 조사 프로그램, 수면, 작업시간, 피로중세횟수, 피로도 지수, 업무수행능력

1. 서 론

국제해사기구(IMO)를 비롯한 해운산업계에서는 지속적으로 발생하고 있는 해양사고를 감소시키기 위한 방법으로 사전에 사고를 예방하도록 하는 것을 정책의 기반으로 삼도록 요구하고 있다. 뿐만 아니라 사고원인을 철저히 분석하고 그 결과를 보고하도록 하고 있는 현실에서 우리나라는 해양안전심판원을 중심으로 각종 해양사고의 원인을 조사하고 사고예방을 위한 노력을 지속적으로 하고 있다. 또한 사고조사 방법과 그 조사결과를 관리하는 방법도 컴퓨터를 이용한 정보관리시스템을 구축하여 활용하는 방안을 마련하기 위한 많은 노력을 기울이고 있는 상황이라고 할 수 있다. 하지만 아직도 사고조사방법에 있어서 사실 확인 수준에 머물러 있고 근본적인 사고원인에 대한 심층적인 분석을 체계화하지 못하고 있는 실정이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기위한 일환으로 인간과실을 유발하는 선박승무원의 피로도를 측정하는 프로그램을 인터넷 웹사이트에 구현하여 해양사고 조사 시 조사관이 사고관련 승무원의 피로도를 조사하는데 적극적으로 활용하도록 하며, 또한 조사결과를 축적하고 데이터베이스화

하여 그 결과를 분석함으로써 우리나라 해양사고를 예방할 수 있는 방안을 도출할 수 있는 기반을 마련하고자 국내 해양안전심판원의 관련 웹페이지(MAIFA; Marine Accident Investigators Forum in Asia)에 피로도 조사프로그램 개발하고자 하였다.

그리고 이와 같은 목적으로 개발하고자 하는 피로도 조사프로그램은 해양사고와 관련된 피로도를 조사·측정하여 사고와 관련여부 및 그 영향정도를 정량적인 수치로 표현하도록 하고 또한 피로요인 상호간의 관계와 원인을 분석하는데 유용하게 활용될 수 있도록 효율적인 운영방안을 검토하였다.

2. 피로도 조사 프로그램에 대한 개요

미국의 연안경비대 연구개발센터(USCG Research and Development Center)에서 1996년 9월에 발표된 최종보고서 “인적요소 조사와 보고절차 및 해양사고의 피로기여도(Procedures for Investigation and Reporting Human Factors and Fatigue Contributions to Marine Casualties)”에는 인간의 피로도 정도를 측정하는 기법을 개발하여 사용하였다.

이 기법을 통하여 조사한 결과 중대한 해양사고(좌초, 충돌, 접촉 등)에서 인간과실의 원인으로선 선박승무원의 피로도가 약 16%정도, 그리고 인명손상사고에 약 33%정도 피로가 기여

*정회원, wiyang@mmu.ac.kr, 061)240-7313

*정회원, jskeum@mmu.ac.kr, 061)240-7075

*정회원, koriun@hhu.ac.kr, 051)410-4245

한 것으로 보고되었다. 또한 계속해서 18시간동안 수면을 취하지 않으면 업무수행능력이 약 30%정도 저하되고, 48시간동안 계속 수면을 취하지 않고 깨어있게 되면 약 60%정도의 업무수행능력이 저하된다는 것으로 조사되었다.

선박승무원의 피로도를 측정하는 이 기법의 핵심은 사고관련 선박승무원에게 피로와 관련된 질문을 하고 그 응답내용을 근거로 피로도 지수 계산공식을 통하여 피로도 지수를 구하여 그 결과 승무원의 피로가 사고에 기여한 원인인지 여부를 판정하는 기법이다.

한편, 피로도 지수(FIS ; Fatigue Index Score)의 계산공식 및 평가방법을 살펴보면 먼저, 피로도 조사프로그램 입력폼에 조사관이 각 항목들에 대한 조사결과를 입력하게 되고 그 결과에 의해서 피로도 지수를 계산하게 된다. 일반적으로 피로도 지수가 '50'을 초과하게 되면 피로가 사고의 원인으로 기여하였다는 것으로 판정한다(USCG 조사결과 약 80%정도가 정확한 것으로 조사되었음).

USCG의 피로도 지수 계산공식은 다음과 같다.

피로도 지수(Fatigue Index Score, FIS)

$$= (\text{피로증세횟수, S}) \times 21.4 + (\text{작업시간, wh}) \times 6.1 - (\text{수면시간, sh}) \times 4.5$$

다음은 미국연안경비대에서 사고 조사 시 직접 사용하고 있는 피로도 지수(FIS)계산에 관련된 내용을 이해하기 쉽도록 정리한 것이다.

FIS 설명)

S : total number of Fatigue Symptoms (0-7) experienced while on duty before the casualty (사고발생 전 당직근무 중 경험한 총 피로증세횟수)

Fatigue Symptoms(피로증세)

- forgetful(부주의한, 자주 잊어버리는 것)
- distracted(마음이 산란하고 집중이 되지 않는 것)
- sore muscles(근육이 아픈 것, 육신육신 거리는 것)
- less motivated(의욕이 저하되는 것)
- desire to sit or lay down(앉거나 눕고 싶은 것)
- difficulty keeping eyes opened(눈을 뜨고 있기가 어려운 것)
- difficulty operating equipment(장비를 조작하는 것이 어려운 것)

wh : total number of hours worked in the last 24 hours(to the nearest tenth)

- 사고발생 24시간이내 총 작업시간(0.1단위까지 계산)

sh : total number of hours slept in the last 24 hours(to the nearest tenth)

- 사고발생 24시간이내 총 수면시간(0.1단위까지 계산)

3. 피로도 조사프로그램 설계 및 구현

3.1 피로도에 관한 설문조사 결과

선박승무원의 인지능력 및 운항능력을 저하시키는 피로유발 요인 및 피로도에 관한 현황분석을 위하여 본 연구에서는 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 국내 해운선사에 승선중이거나 승선경험이 있는 육, 해상직원 및 관련분야의 전문가를 대상으로 하였다. 회수된 설문지 총 245부중에서 일관성 있고 신뢰성이 있는 응답지 210부의 결과를 분석하여 피로도 조사와 관련된 내용만을 선별하여 다음과 같이 정리하였다.

Fig. 1과 3은 전체응답자의 1일 평균 수면시간과 1회 수면지속시간을 조사한 결과이며, Fig. 2와 4는 피로를 많이 느끼는 그룹과 적게 느끼는 그룹의 1일 평균 수면시간 및 1회 수면지속시간을 비교한 결과를 나타낸 것이다.

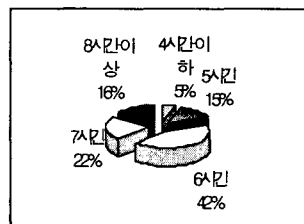


Fig. 1 1일 평균 수면시간

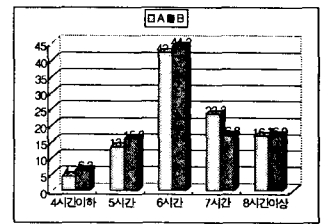


Fig. 2 평균 수면시간 비교

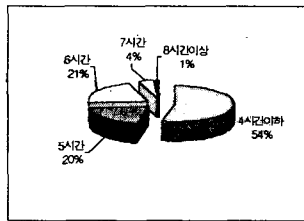


Fig. 3 1회 수면 지속시간

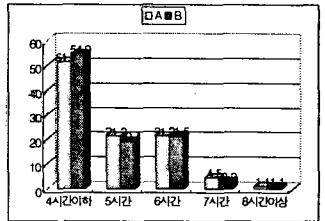


Fig. 4 수면 지속시간 비교

또한, 승선 중 당직기간에 경험한 피로증상에 대한 조사결과를 살펴보면 Fig. 5에서 보는 바와 같이 앉거나 눕고 싶은 증세가 24%로 가장 증상 빈도가 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 의욕이 저하되는 증세, 마음이 산란하거나 집중력이 저하되는 증세, 근육이 아프고 육신육신 거리는 증세 등의 순으로 높게 나타나고 있다.

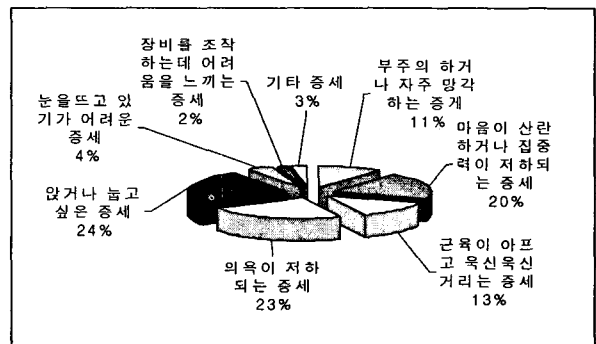


Fig. 5 당직시간 중 느끼는 피로증세

한편, 수면시간, 수면의 질, 작업시간, 피로중세 횟수, 기타(기상, 선체운동 등) 피로도를 측정하는데 각 항목이 차지하는 비중을 조사한 결과 Table 1에서 보는 바와 같이 수면시간이 25.97%로 가장 비중이 높은 것으로 나타났고 수면의 질(23.56%), 작업시간(22.73%)순으로 높은 것으로 나타났다.

Table 1 피로도 측정 항목간 비중

내 용	비 중(%)
수 면 시 간	25.97
수 면 의 질	23.56
작 업 시 간	22.73
피로중세 횟수	12.50
기타(기상, 선체운동 등)	15.24
합 계	100.00

3.2 피로도 조사프로그램 설계 및 구현

USCG의 피로도 조사내용을 기반으로 한 국내 해양안전심판원 웹사이트의 피로도 조사프로그램의 흐름도는 Fig. 5과 같이 피로도 조사 프로그램 입력폼에서 각각의 조사항목을 입력하고 피로도 지수(FIS)를 구하는 과정을 이해할 수 있도록 설계하였다. 여기서 피로도 지수 측정을 위한 필수 입력데이터는 피로중세 횟수, 총 작업시간, 총 수면시간 등 이다.

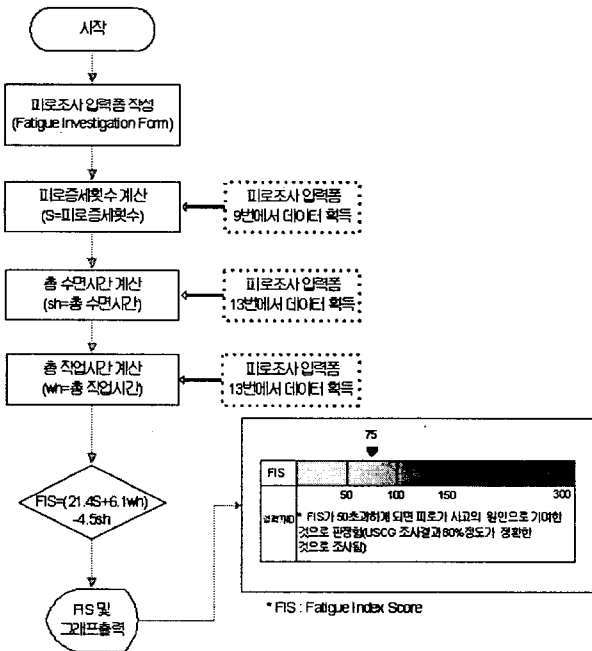


Fig. 6 피로도 조사프로그램 흐름도

이와 같이 설계된 피로도 조사프로그램의 조사내용은 사고 당일 피로와 관련된 사항, 작업스케줄에 대한 사항 및 조사관 기재 사항으로 구성되어 있다. Fig. 7은 국내 해양안전심판원의 웹페이지(MAIFA)에 구현된 초기화면을 나타내고 있다. 조

사자가 ID와 패스워드를 입력하고 그림 오른쪽 상단의 'Fatigue Investigation' 버튼을 선택하면 피로도를 조사할 수 있는 화면으로 이동하도록 구현되어 있다. Fig. 8은 조사자가 로그인 상태에서 사고관련 승무원의 피로도를 조사할 수 있는 입력화면을 나타낸 것으로 해당내용을 간단히 선택할 수 있는 선택버튼과 직접 기술해야 할 항목으로 구성되어 있다. Fig. 9는 피로도 지수 계산공식에 의한 피로도 지수결과를 나타내고 있는 화면이다. 여기에서 구한 피로도 지수 결과 값에 의해 사고관련자의 피로도가 사고에 영향을 미쳤는지 아닌지를 판단할 수 있게 된다.

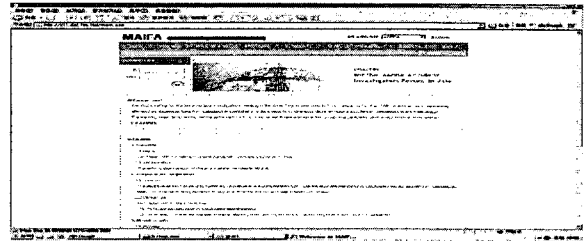


Fig. 7 피로도 조사프로그램 초기화면

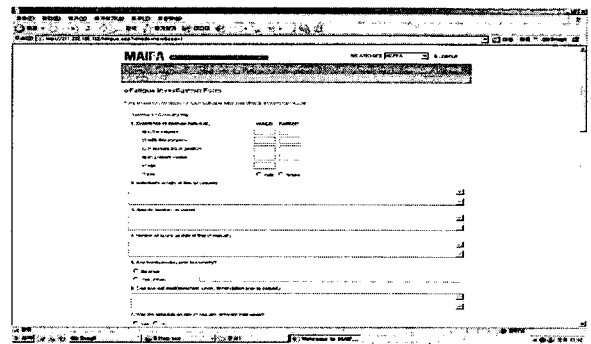


Fig. 8 피로도 조사프로그램 입력화면

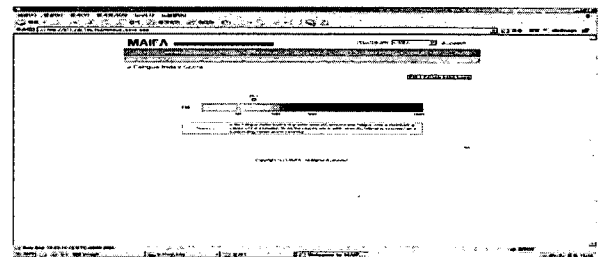


Fig. 9 피로도 지수 계산결과화면

4. 해양사고의 피로도 조사프로그램 활용

4.1 조사 프로그램의 효율적인 운영방안 검토

해상근무에 따른 선박승무원의 피로를 유발하는 위험요소는 정신적인 요소, 생리적인 요소, 물리적인 요소 등의 여러 가지로 분류 될 수 있다. 2001년에 연구된 미국 연안경비대의 연

구개발센터의 “Management of Endurance Risk Factors”에 의하면 피로위험 요소를 다음과 같이 정리하고 있다.

- ① 불충분한 수면 지속 시간(hour/Day) : 7~8이하(방해받지 않고 지속된 수면시간)
- ② 수면의 질적 저하 : 수면시간 동안에 작업과 관련하여 발생하는 수면방해나, 소음으로 인한 수면방해
- ③ 수면의 분할 : 매일 휴식시간은 많지만, 지속적인 수면시간이 7~8시간이 될 수 없을 때
- ④ 인간의 신체는 자연적으로 야간에 수면을 취하도록 되어 있으나, 이와 관련된 생리학적인 시간(Physiology Times)에 수면을 취하지 못할 때
- ⑤ 작업이나 휴식시간 일정의 변화(일주일에 주간시간 작업에서 야간시간 작업의 변경이 1회 이상 일어 날 때)
- ⑥ 작업시간이 연장될 때(하루 8~12시간 이상을 초과할 때)
- ⑦ 휴식이 없이 억제된 작업(매 시간당 15분 휴식이 적당함)
- ⑧ 수면을 회복할 기회가 없을 때(주간시간에 낮잠으로는 회복이 가능하지 않음)
- ⑨ 좋지 않은 식습관(기름에 튀긴 음식, 열량이 높고 당분이 높은 성분의 음식, 카페인 등을 자주 섭취하는 경우)
- ⑩ 높은 작업 부하량(육체적, 정신적으로 많은 노력이 필요한 작업)
- ⑪ 높은 스트레스(극한 온도, 격심한 육체적/정신적 작업, 작업스케줄의 변경, 그리고 통솔자의 리더십 스타일 등에 의한 스트레스)
- ⑫ 작업환경의 제어력 부족 및 결단력 부족
- ⑬ 귀에 거슬리는 작업 환경(소음, 진동)
- ⑭ 극한 온도 환경에 과도한 노출(추위, 더위)

이러한 피로유발 요소들은 선박을 운항하는 동안에 종종 발견된다. 그러나 승무원의 행동에 대한 이들 요소들의 영향은 승무원이 주의력과 에너지의 결핍 증세가 극심해지기 전까지는 바로 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다.

따라서, 해양사고 관련당사자의 다양한 피로유발요인을 구현된 조사프로그램을 활용하여 체계적으로 조사·분석함으로써 선박승무원의 인지능력과 업무수행능력의 근본적인 저하원인을 세부적으로 파악하고 조사된 결과를 토대로 합리적인 사고예방 및 저감방안을 마련하기 위해서는 다음과 같은 사항들을 고려하여 본 조사프로그램을 효율적으로 운영하여야 한다.

먼저, Fig. 10은 해양사고 발생당일을 포함하여 사고발생일 이전 3일간에 대한 총 4일간 피로도 지수 측정결과를 나타낸 것으로써 사고당사자의 피로 증가 및 감소 등의 변화 추이를 파악하여 당사자의 피로가 누적된 것인가, 사고 발생 전 24시간 내에 유발된 급격한 피로인가를 분석하여 차후에 승무원 개인의 관리 및 피로 감소방안을 마련하는데 효율적으로 활용할 수 있도록 한다.

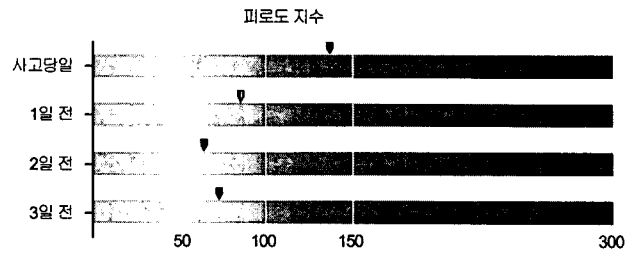


Fig. 10 총 4일간 피로도 지수 측정결과

다음으로 Fig. 11, 12, 13은 사고 발생일을 포함한 사고 전 3일 동안의 수면시간 변화량 및 작업시간 변화량, 피로증세 횟수 변화량을 예시한 것이다. 피로도 측정의 입력 변수가 되는 총 작업시간(하루 최대 8~12시간 이하가 적절), 총 수면시간(하루 최소 7~8시간 이상이 적절), 피로증세횟수를 대상으로 사고당일 3일전까지의 변화량을 분석함으로써, 피로도 측정 지수에 의한 승무원의 피로 유발 상황을 더욱 상세히 파악할 수 있고, 피로유발 원인을 유추할 수 있도록 한다.

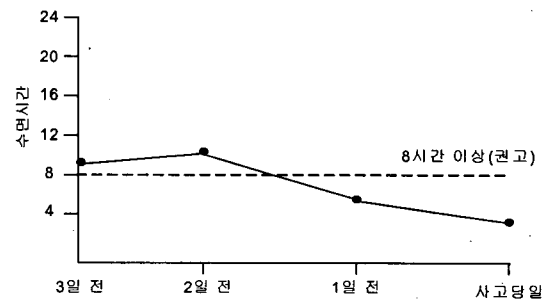


Fig. 11 총 4일간 수면시간의 변화량

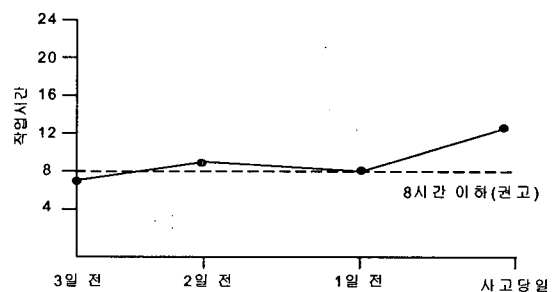


Fig. 12 총 4일간 작업시간의 변화량

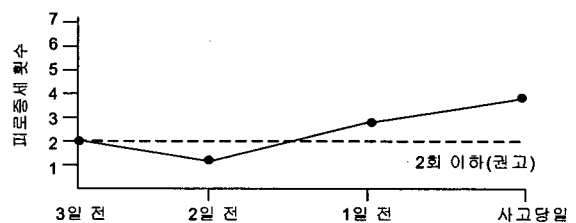


Fig. 13 총 4일간 피로증세횟수 변화량

그리고, 다음과 같이 가정하여 분석한 것처럼 본 조사프로그램을 통하여 조사된 사고관련 당사자의 수면시간, 작업시간, 피로증세횟수의 변화량을 세밀하게 분석하여 사고관련자의 피로원인이 언제 무엇으로부터 유발되었는지를 파악할 수 있도록 하고 그 결과를 근거로 사고원인에 대한 예방대책을 마련하는데 합리적으로 활용될 수 있도록 하여야 한다.

분석 예 1)

if 수면시간 ≥ 8 and 작업시간 ≤ 8 and 피로증세횟수 >2 and 피로도지수 > 50 then “수면 습관, 수면환경 및 생활습관이 부적절함으로 인한 피로발생”

분석 예 2)

if 수면시간 ≥ 8 and 작업시간 > 8 and 피로증세횟수 >2 and 피로도지수 >50 if 작업시간 < 12 then “수면 습관, 수면환경 및 생활습관이 부적절함으로 피로가 발생할 수 있음” else “작업시간의 증가로 인한 피로가 발생 ”

분석 예 3)

if 수면시간 ≤ 8 and 작업시간 ≤ 8 and 피로증세횟수 >2 and 피로도지수 >50 then “수면시간 부족으로 인한 피로 발생”

분석 예 4)

if 수면시간 ≤ 8 and 작업시간 > 8 and 피로증세횟수 >2 and 피로도지수 >50 then “수면시간 부족 및 작업시간의 증가로 인한 피로 발생”

4.2 조사프로그램 활용에 대한 고찰

본 연구에서는 구현된 피로도 조사프로그램에 대한 활용방안을 마련하기 위해서 실무에서 해양사고 조사업무를 직접 담당하고 있는 조사관을 대상으로 면담조사를 실시하여 국내 해양사고 조사 시 사고당사자의 사고원인으로써 피로도에 대한 조사현황을 파악하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

현재의 해양사고조사에서는 사고에 관련된 일정한 조사형식에 의해서 사고당사자의 건강, 선박의 근무체계, 선박운항에 있어서 당직시간 운용 등에 관한 사항을 파악할 수 있으나, 구체적인 조사형식으로 갖추어진 정형화된 폼에 의해서는 본 연구에서 구현한 피로도측정 프로그램과 같은 개별적인 조사항목을 체계적으로 조사하지는 않는다는 사실을 파악하였다. 다만 조사담당자의 개인적인 조사기법과 기술 및 근본적인 사고원인을 밝혀내려는 계획된 의도에 의해서 간접적으로 사고당사자의 피로와 관련된 사항 중 일부분만 조사되고 있는 것으로 파악되었다.

그리고, 현재 개발된 피로도 조사프로그램을 활용하는 측면에 대한 면담결과, 실제 사고조사 시 각 항목에 대한 조사의 필요성과 유용성측면에 대해서는 긍정적인 평가를 하는 것으로 파악되었다. 그 이유로는 피로도 측정 관련 세부항목이 체

크리스트처럼 구성되어있기 때문에 각 항목을 조사하는 데 많은 시간이 필요하지 않고, 피로도에 관한 정형화된 조사형식이 있기 때문에 조사자가 사고의 형태에 의존하여 매번 질문해야 할 사항을 고민할 필요가 없으며, 또한 피로도 조사결과에 대한 사후관리 및 통계처리가 가능하다는 점에서 편리하고 체계적이라고 평가하였다. 하지만 피로도 측정에 관한 세부항목은 사고조사대상 선박의 항행구역, 선종, 운항체계 등을 고려하여 조정해야 할 필요성이 있는 것으로 조사되었다.

이상과 같은 면담결과를 종합하면 아직까지 국내 해양사고 조사에서 시행되고 있지 않는 피로도 측정에 관한 조사는 IMO를 비롯한 국제적인 사고조사 흐름에 부응하여 일정한 조사형식을 이용하여 이루어져야 한다는 사실과 함께 사고조사 시 적극적이고 긍정적인 자세로 조사가 시행되어야 할 필요성이 충분하다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 해양사고 발생에 있어서 선박승무원의 과실을 유발하는 피로도에 대한 구체적인 접근과 조사방법에 대한 검토 및 조사프로그램 구현 등을 통하여 현실적이고 효과적인 해양사고조사 방안을 마련하고자 하였다. 그 결과를 간략히 정리하면 다음과 같다.

인간과실을 유발하는 선박승무원의 피로에 대한 체계적인 조사 분석을 위하여 국내 해양사고 국내 해양안전심판원 웹페이지에 구현된 피로도 조사프로그램을 국내 해양사고의 인간과실 원인은 분석하는데 적극적으로 활용할 필요성이 충분하다고 사료된다. 그 이유로 첫째, 사고와 관련된 국내 선박승무원의 피로도를 체계적으로 조사할 수 있다. 둘째, 사고조사 결과로 축적된 정량적인 통계자료를 이용하여 인간과실과 관련된 해양사고 원인을 보다 구체적으로 파악할 수 있다. 셋째, 피로도 조사결과를 토대로 하여 국내 해양사고예방 방안을 도출하는데 근거자료로 유용하게 활용할 수 있다.

이상의 연구결과를 통하여 본 연구에서는 피로증세횟수, 작업부하, 피로, 수면의 질, 총 작업시간, 휴식시간, 수면시간 등의 피로도 조사항목에 대한 통계처리 및 분석을 위한 “데이터베이스시스템”구축과 함께 본 피로도 조사프로그램에 대한 지속적인 유지관리 및 개선이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 중앙해양안전심판원, 한국해양수산연수원 연구보고서, “해양사고에 기여한 인간과실 분석을 위한 국제 표준조사기법 도입에 관한 연구”, 2003
- [2] IMO, MSC/65/15/1, “Role of Human Element in Maritime Casualties”, 10 Feb., 1995
- [3] IMO A.884(21) Annex Appenix 2, “Guidelines for the Investigation of Human Factors in Marine Casualties and

Incidents, 4 Feb., 2000

- [4] USCG, Report No. CG-D-09-97, "Procedures for Investigating and Reporting Human Factors and Fatigue Contributions to Marine Casualties" Sep. 1996
- [5] USCG, Report No. CG-D-10-99, "Crew Fatigue and Performance on U.S. Coast Guard Cutters", Oct. 1998
- [6] USCG, Report No. CG-D-13-01, "U.S. Coast Guard Guide for the Management of Crew Endurance Risk Factors-Version 1.1", Sep. 2001
- [7] USCG, Report No. CG-D-07-01, "Management of Endurance Risk Factors - A Guide for Deep Draft Vessels", Feb. 2001