

선원용 피로위험관리시스템(Fatigue Risk Management System) 개발 방안

† 김흥태 · 오승빈* · 장준혁** · 박진형***


*, † 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

요 약 : 국내의 해양사고 통계에서 선원 피로가 해양사고의 주요 원인 중 하나로 꼽히고 있다. USCG의 보고에 의하면 선박충돌 및 좌초 사고를 포함한 중대한 해양사고에서 인간과실의 원인으로 선박승무원의 피로가 약 16% 기여한 것으로 조사되었고, 인명손상사고의 약 33%가 피로에 의한 것으로 나타났다.(USCG, 1996). 또한 영국 해양사고조사국(MAIB)에 의하면 1994년부터 2003년까지 10년간 전체 해양사고의 1/3에서 선원피로가 사고원인으로 기여하였음이 확인되었다(MAIB, 2004). 2003년 스웨덴에서의 연구결과 약 73% 정도의 당직근무자들이 당직근무 기간 중 최소 1회 또는 그 이상 졸음에 빠져들었다는 사실이 확인되었다(KMST, 2012). 최근 개최된 IMO 인적요소훈련당직 전문위원회(Sub-Committee On Human Element, Training And Watchkeeping ; HTW) 회의에서는 MSC 74차에 회의에서 최종 승인된 “피로에 관한 지침서(Guidelines on Fatigue)”에 대한 개정 논의가 이루어지고 있다. 본 발표에서는 현재 IMO에서 논의 중인 “피로에 관한 지침”의 개정안과 개정안의 핵심 내용인 피로위험관리시스템(Fatigue Risk Management System)에 대한 연구개발 방향을 소개하고자 한다.

핵심용어 : 선원 피로, 피로위험관리시스템, 승무정원, 작업부하

과제 개요

- 연구 과제명 : 해양안전사고 예방시스템 기반연구
- 연구기간 : 2015년 6월 ~ 2019년 5월
- 참여기관 : 선박해양플랜트연구소(주관), 목포해대, 해양수산연구원, 한국해대, KAIST, 서울대, 마린전자, 마린전자, ETRI, SK Telecom
- 연구목표 : 인적요인에 의한 해양안전사고 예방 기반연구를 통해 ‘종합적 인적 안전관리 시스템’과 ‘국제기준 부합한 선원훈련, 교육 프로그램’ 개발



◆ 선원 피로도 저감기술 개발

연구 목표

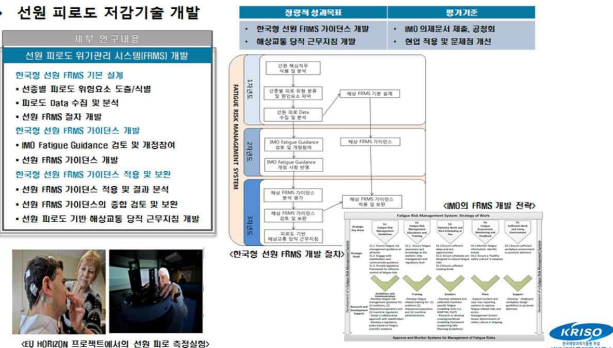
- 선원 피로도 위기관리 시스템(FRMS) 개발
- 한국형 선원 FRMS 기준 설정
- 선종별 피로도 위험요소 도출/식별
- 피로도 Data 수집 및 분석
- 선원 FRMS 절차 개발
- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 개발
- IMO Fatigue Guidance 검토 및 개정참여
- 선원 FRMS 가이드라인 개발
- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 보완
- 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 결과 분석
- 선원 FRMS 가이드라인의 종합 검토 및 보완
- 선원 피로도 기반 해상과동 등의 근무차질 개발

연구 내용

- 선원 피로도 위기관리 시스템(FRMS) 개발
- 한국형 선원 FRMS 기준 설정
- 선종별 피로도 위험요소 도출/식별
- 피로도 Data 수집 및 분석
- 선원 FRMS 절차 개발
- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 개발
- IMO Fatigue Guidance 검토 및 개정참여
- 선원 FRMS 가이드라인 개발
- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 보완
- 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 결과 분석
- 선원 FRMS 가이드라인의 종합 검토 및 보완
- 선원 피로도 기반 해상과동 등의 근무차질 개발

연구 성과

- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 개발
- IMO Fatigue Guidance 검토 및 개정참여
- 선원 FRMS 가이드라인 개발
- 한국형 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 보완
- 선원 FRMS 가이드라인 적용 및 결과 분석
- 선원 FRMS 가이드라인의 종합 검토 및 보완
- 선원 피로도 기반 해상과동 등의 근무차질 개발



해양안전사고 예방시스템 기반 구축

‘종합적 인적안전관리 시스템’과 ‘국제기준 부합한 선원훈련, 교육 프로그램’ 개발

해양사고 예방 선진기술 확보, 인적과실에 의한 해양사고 80% 차감, 해운사회의 안전관리 선진화, 해양안전 관리체계의 개선

사고 유형별 인적과실 종합관리 및 교육 프로그램 개발, 인적과실 위험요소 분석, 인적과실 위험요소 관리 프로그램 개발

선상 피로도 관리를 위한 피로도 관리시스템 및 선종별 최소승무기준 개발, 인적과실 위험요소 관리 프로그램 개발, 직무별 피로도 관리 프로그램 개발

사용자 중심의 인적안전 관리 시스템 개발, 사용자 중심의 인적안전 관리 시스템 개발, 사용자 중심의 인적안전 관리 시스템 개발, 사용자 중심의 인적안전 관리 시스템 개발

자세한 해양안전 관리체계 적용기술 개발, IMO S-mode 표준 개발, IMO S-mode 표준 개발



선원 피로 가이드라인 개정안 논의 배경

- 피로는 인적 요인의 주요한 위험요인인 선원 피로는 해양사고의 주요 원인 중 하나
- 선박충돌 및 좌초사고를 포함한 중대한 해양사고에서 인간과실의 원인으로 선박승무원의 피로가 약 16% 기여한 것으로 조사되었고, 인명손상사고의 약 33%가 피로에 의한 것으로 보고(USCG, 1996)
- 영국 해양사고조사국(MAIB)에 의하면 1994년부터 2003년까지 10년간 전체 해양사고의 1/3에서 선원 피로가 사고원인으로 기여하였음을 확인(MAIB, 2004)
- 2003년 스웨덴에서의 연구결과 약 73% 정도의 당직근무자들이 당직근무 기간 중 최소 1회 또는 그 이상 졸음에 빠져들었다는 사실 확인(KMST, 2012)



† 교신저자 : 정희원, hongtae.kim@kriso.re.kr
* 정희원 sboh@kriso.re.kr, ** 정희원 jang@kriso.re.kr

- IMO Fatigue Guidelines 개정 논의 (호주, 한국 등)
 - MSC 74차 회의에서 피로에 관한 지침서(Guidelines on Fatigue) 최종 승인 - 2001 (MSC-Circ.1014)
 - HTW 1차 회의에서 피로에 관한 지침 개정의 필요성 제기(HTW 1/INF.2) - 2014
 - MSC 94차 회의에서 피로에 관한 지침 개정 제안 및 2개년 의제 채택(MSC 94/18/7, MSC 94/21) - 2014
 - 피로에 관한 지침의 개정을 위한 제안(HTW 2/8) - 2015
 - 피로위험관리시스템(Fatigue Risk Management System)을 반영한 개정안 초안 작성 및 제출 (HTW 3) - 2016년 초



- 개정 가이드라인의 구조
 - Introduction (Similar to MSC/Circ. 1014)
 - Module 1 - Fatigue: Causes and Consequences (Similar structure to MSC/Circ. 1014)
 - Module 2 - Fatigue and Company (Fatigue Risk Management System) - in effect replacing Modules 5 & 6)
 - Module 3 - Fatigue and Seafarers (this will be a consolidation of Modules 2, 3, 4, 8 and 9)
 - Module 4 - Fatigue and Training
 - Module 5 - Fatigue and Ship Design (this will effectively be based on Module 7)
 - Module 6 - Fatigue and the Administration
 - Appendices - Fatigue Toolbox (tools to support mainly Modules 2 and 3)



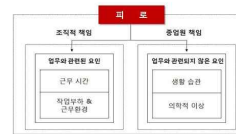
GUIDELINES ON FATIGUE (MSC/CIRC. 1014)

- 가이드라인의 구조
 - Module 1 Fatigue
 - Module 2 Fatigue and the Rating
 - Module 3 Fatigue and the Ship's Officer
 - Module 4 Fatigue and the Master
 - Module 5 Fatigue and the Training Institution and Management, Personnel in charge of Training
 - Module 6 Shipboard Fatigue and the Owner/Operator/Manager
 - Module 7 Shipboard Fatigue and the Naval Architect
 - Module 8 Fatigue and the Maritime Pilot
 - Module 9 Fatigue and Tugboat Personnel
 - Appendix Fatigue related document



FATIGUE RISK MANAGEMENT SYSTEM

- 개요
 - 피로 위험관리 시스템 (Fatigue Risk Management System ; 이하 FRMS)은 1990년대 들어 조직적인 접근을 통해 피로로 인한 위험을 줄여야 한다는 인식 확대되면서, 이를 관리하기 방법으로 제시
 - 실제적인 피로 관련 위험을 측정하고, 이를 관리하기 위한 방법으로 제시
 - FRMS는 과학적인 데이터를 기반으로, 피로 관리를 위한 매뉴얼과 시스템 구축



GUIDELINES ON FATIGUE (MSC/CIRC. 1014)

- 가이드라인의 활용
 - Safety management systems under the ISM Code;
 - Training courses, particularly management oriented courses;
 - Accident investigation processes and methodologies and;
 - Manning determinations



FRMS의 구성 및 개요

- FRMS의 구성
 - 피로 위험관리 시스템의 실행을 위한 규정
 - 피로 정보 수집 및 분석 S/W 개발
 - 피로 자가 보고 체계, 사고시 피로의 영향 분석
 - 피로의 관리 교육, 피로의 지속적 측정 관리
- FRMS의 이점
 - 피로데이터를 기반으로 실제적인 위험 요소 측정하여, 분야별 상황에 맞는 관리 대책 수립 가능
 - 피로근무 시간외에 다양한 피로의 원인 확인 및 피로 관리 방안 제공
 - 근무 시간, 작업 부하 등 업무와 관련된 요인 외에 업무와 관련되지 않은 직원 개인의 생활 습관도 피로의 원인이 될 수 있음을 종사자들이 인식
 - 피로의 원인을 밝혀 사고 발생 전에 위험 요인 방지

Fatigue Risk Management System: Proposed Approach



GUIDELINES ON FATIGUE 개정안

- 개정방향
 - A risk based approach (fatigue risk management system);
 - The organisational, operational and design aspects;
 - The impact of fatigue at all levels (i.e. all stakeholders);
 - Practical tools for fatigue management;
 - Consideration of MSC/Circ.1014;
 - Manning (referred to as adequate resources)



FATIGUE & COMPANY (FRMS)

- FRMS(Fatigue Risk Management System)
 - 과학적 원리와 기술 뿐만 아니라 운영 경험에 기초한 데이터 기반 접근법
 - 과학적인 데이터를 기반으로 피로 관리를 위한 매뉴얼과 시스템 구축
- 접근방법
 - 과학적 지식과 우수한 사례를 기반으로 해양 FRMS 프레임 워크 기반의 위험
 - 해양 FRMS 구현을 지원하기 위한 실질적인 도구와 전략
- 지속적인 개선이 가능한 프로세스 방식
 - 추가 정보와 데이터 수집
 - 피로 위험의 재평가
 - 새로운 위험의 식별, 구현, 평가
- SMS(Safety Management Systems, 안전관리시스템) 분야의 기본적인 원칙과 프로세스를 적용함
- ISM(International Safety Management, 국제안전관리) 코드의 요구사항에 따라 선사는 쉽게 채택하고 FRMS 프로세스를 이해 할 수 있어야 함



Fatigue Risk		Fatigue Risk Control Measures		
Risk Based Approach – Defences in Depth Fatigue Risk Management Safety Assurance	1	Is company providing adequate support for managing the risks of fatigue?	FRMS Policy and Documentation (Linked to Safety Management System) Fatigue Training and Awareness Adequate Resources (Primary determinant of duty hours) Healthy shipboard environment (healthy food, exercise, adequate sleep facilities)	Operational Support
	2	Are seafarers provided with adequate sleep opportunity? (Quantity and Quality)	Duty Scheduling and Planning Workload Management Work and Living Environment (Environmental, Procedural and Operational) Tools for Defensive Layer 2: Fatigue Risk Assessment Fatigue Risk Assessment Tool (Appendix 3) Duty Schedule design principles (Appendix 3) Fatigue predictive software tools	
	3	Are seafarers sleep obtained adequate? (Quantity and Quality)	Sleep monitoring (quality and quantity) Company and seafarer responsibility Tools for Defensive Layer 3: Sleep Monitoring Subjective self-reporting tools through sleep diaries Objective data through wearable technology Fatigue predictive software tools	
	4	Are seafarers able to maintain adequate alertness and performance while on duty?	Self and Peer Fatigue Monitoring (recognising fatigue behaviours, handover brief, dialogue started) Ensuring 'Fit for Duty' Tools for Defensive Layer 4: Fatigue and Alertness Monitoring Self-monitoring through subjective fatigue and sleepiness ratings (ESS, S-P Scale) Self monitoring through 'Fit for Duty' risk assessment tool Peer Monitoring (using fatigue signs and symptoms in Module 1)	
	5	Are fatigue related events (near miss and accidents) reported and analysed?	Fatigue Reporting and Analysis (Procedures in place to capture and analyse fatigue related events) Tools for Defensive Layer 5: Reporting Fatigue Event Report Information Fatigue Event Report Form	

LAYER 2. ADEQUATE SLEEP OPPORTUNITY

- 작업부하 관리
 - 작업부하와 가용 자원에 따른 task
 - 육체적/정신적으로 힘든 작업 감소
 - 야간 항해 시 두 명 이상의 항해사 배치
 - 핵심 업무에 집중 할 수 있도록 설계
 - 반복적이거나 단조로운 작업 최소화
 - 적절한 휴식과 회복
- 작업 및 생활환경
 - 수면공간 : 어둡고 조용한 분위기 제공, 수면 온도 17도~21도
 - 건강한 식습관과 신체 건강에 대한 정보 제공

LAYER 1. ADEQUATE COMPANY SUPPORT

- FRMS 정책 및 문서의 개발/구현
 - 선사의 지원과 노력 반영
 - 책임 권한, FRMS 과정과 절차
 - 교육 프로그램, 교육 요구사항, 출석기록
 - 계획 및 실제 일상기록, 편차와 이유, 권장사항/결과
 - 기록 데이터, 권장사항, 수행 결과를 포함한 FRMS 결과물
 - 효과적인 안전보고
- 피로 훈련 및 인식 :
 - [모듈 1] 초기 피로 관련 훈련은 선원들과 육상 직원 사이의 일반적인 이해 수준을 설정(수면손실과 회복/생체리듬/작업부하 등)
 - [모듈 3] 개인적인 피로와 수면 문제 관리 방법

LAYER 2. FATIGUE RISK ASSESSMENT TOOL

Risk Factor	Lower Risk (0 points)	Significant Risk (2 point)	Higher Risk (4 points)
Work hours per 7 days	< 50	50-70	> 70
Duty length in hours (per 24 hour period)	≤9	10-12	> 12
Rest period in hours between duty periods	> 12	7-12	≤ 7
Number of consecutive night duties per 7 days (between 2100-0900)	0-1	2-3	≥ 4
Number of short rest breaks within duty periods	≥ 3 (around 15 minutes)	1-2	0
Reset breaks in hours (continuous long break per 7 days)	≥ 36	24-35	< 24

LAYER 1. ADEQUATE COMPANY SUPPORT

- 적절한 자원
 - 선원 수 및 유형을 주별/월별 운영 동향을 기반으로 예측
 - 근무시간, 작업부하, 스케줄링, 평균 휴식시간의 주요 결정인자 중 하나, 피로를 증가 시키거나 영향을 미치는 핵심요소
- 선내 환경
 - 건강한 식사 : 영양가 있는 음식
 - 건강한 수면 : 편안하고 질 좋은 수면환경(침구, 베개, 매트리스)
 - 운동

LAYER 3. ADEQUATE SLEEP OBTAINED

- 적절한 수면
 - 야간 망직
 - 수면장애
 - 가족 문제로 인한 감정적 스트레스
 - 적절하지 못한 수면환경(편안함, 소음, 어두움, 선박의 움직임)
 - 음식의 종류
 - 약물 치료/처방/자연요법
 - 카페인 등 각성제

LAYER 2. ADEQUATE SLEEP OPPORTUNITY

- 업무 스케줄링
 - 최대근무시간(7일마다)
 - 최대근무시간(24시간마다) : 후속수면에 영향을 미침, 현재 최대 14시간 허용
 - 근무시간 사이 휴식시간
 - 연속 야간 근무 일수 : 최대 3일
 - 근무시간 내 짧은 휴식시간 : 15분~20분의 짧은 낮잠
 - 휴식 초기화 : 36시간 이상 연속적인 휴식

LAYER 3. SUBJECTIVE SLEEP DIARY

Date	I went to bed at:	I got out of bed at:	I slept for a total of (hours)	My sleep quality was (use SQ scale below)	When I woke up I felt (use KSS below)
Day 1	Date:				
Day 2	Date:				
Day 3	Date:				
Day 4	Date:				
Day 5	Date:				
Day 6	Date:				
Day 7	Date:				
Weekly Total					
Daily Average					

Sleep Quality (SQ)

1: Extremely Good, 2: Very Good, 3: Good, 4: Average, 5: Poor, 6: Very Poor, 7: Extremely Poor

Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

1: Very Alert, 2: Alert, 3: Neither Alert nor Sleepy, 4: Sleepy but no effort to sleep, 5: Required to stay awake, 6: Very Sleepy, 7: Fighting Sleep, 8: Effort to keep awake, 9: Asleep

LAYER 4. ADEQUATE ALERTNESS AND PERFORMANCE WHILE ON DUTY

- 근무시간 동안의 적절한 각성(Alertness) 및 수행도
 - 피로의 징후
 - 모니터링 및 피로 방어에 대한 효과 평가
 - 피로 모니터링은 수면 모니터링과 함께 수행



LAYER 5. REPORTING FATIGUE RELATED EVENTS

- 피로 관련 보고
 - 운항환경에서 선원에게 영향이 미치지 정도의 안전 수준 감소 상황 발생 시 자발적인 보고 시스템을 통해 보고
 - 피로 요인이 기여한 사건 발생 시 보고 양식에 따라 즉각적이고 손쉽게 보고
- 효과적인 피로보고 시스템
 - 쉬운 양식 : 접근, 완비, 제출
 - 보고된 정보에 대한 비밀 유지
 - 자발적인 보고
 - 정기적인 분석
 - 의사 결정 또는 행동에 대한 정기적인 피드백 제공

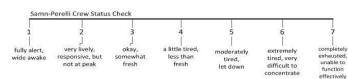


LAYER 4. SUBJECTIVE FATIGUE AND SLEEPINESS RATINGS

▪ The Karolinska Sleepiness Scale (KSS)



▪ The Samn-Perelli Crew Status Check



LAYER 5. FATIGUE REPORTING TOOL

If confidentially required tick here		Fatigue Event Report Form - Example	
Name:		Time of event:	
When did it happen?	Hours from report time to when fatigue occurred:	Describe event:	
What happened?		Describe how you felt (or what you observed):	
Please circle how you felt when the event occurred:			
Fully alert, wide awake	1	Very lively, somewhat responsive, but not at peak	2
On "normal" form	3	A little tired, less than fresh	4
Moderately let down, tired	5	Extremely tired, very difficult to concentrate	6
Completely exhausted	7		
Please mark the Web below with an 'X' at the point that indicates how you felt			
Alert			Drowsy
Why Did it Happen?	Yes/No	How long had you been awake when the event happened?	hours...mins
Fatigue prior to duty?	Yes/No	How much sleep did you have in the 24 hours before the event?	hours mins
Fatigue during duty?	Yes/No	How much sleep did you have in the 72 hours before the event?	hours mins
Disrupted sleep?	Yes/No	Other Comments	
What did you do?		Actions taken to manage or reduce fatigue (for example, nap, breaks)	
What could be done?		Suggested corrective actions	

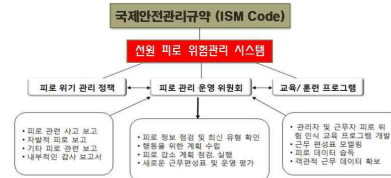
LAYER 4. FATIGUE SELF-ASSESSMENT TOOL

Fitness for Duty	Do you believe you are fit for duty?	Sleep Quality	How would you rate the quality of that sleep?	Signs of Fatigue	Have you experienced any physical signs of fatigue immediately before or during this duty period (i.e. microsleeps)?	Have you experienced any mental signs of fatigue immediately before or during this duty period (i.e. difficulty concentrating)?	Fatigue Category	Action required
No	No	Poor	Poor	Yes	Yes	Yes	Red	As soon as it is safe to do so, suspend any safety critical tasks that have been started. Report now to your immediate supervisor or Master.
Yes, with additional risk controls	Yes	Average	Average	No	No	No	Amber	Before commencing your duty period in assigned tasks, or before continuing work on a task that has been started, report to your immediate supervisor or Master and implement fatigue risk controls as required.
Yes	Yes	Good	Good	Yes	Yes	Yes	Green	Monitor for signs of fatigue; no additional risk controls required.



DISCUSSION

- 선사의 현황 선원 피로 관리 현황 조사 (정량/정성 분석)
- IMO 선원 피로 가이드라인 개정안에 대한 의견 수렴 (해운선사, 선주협회, 해기사협회)
- 한국형 선원 피로 위험관리 시스템 (Fatigue Risk Management System) 개발



후기

본 연구는 해양수산부의 “해양안전사고 예방시스템 기반연구(2단계)” 과제 지원에 의해 수행되었습니다.