



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

선박 승무원 안전을 위한
선박 화재 대응 표준화 개발에 관한 연구

A Study on Standardization Development of
Fire-fighting response for crew safety on ship



2018년 2월

한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

심 효 상

본 논문을 심효상의 공학석사
학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 하 원 재



위원 공학박사 이 은 방



위원 공학박사 박 영 수



2018년 1월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	vii
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위와 방법	3
2. 선박 화재사고의 현황 조사 및 분석	5
2.1 선박 화재의 재해 특성 분석	5
2.2 선박 화재 원인 분석	6
2.3 선박 화재의 발생 장소 분석	8
2.4 기관실 화재의 사례적 분석	9
2.5 선박 화재 관련 선행 연구 분석	11
3. 선박 화재 사고의 대응 현황 조사 분석	15
3.1 선박 화재 사고 대응을 위한 훈련 시나리오 현황 조사	15
3.1.1 선상 소화 훈련 시행에 관한 규정 조사	15
3.1.2 소방원장구 비치에 관한 규정 조사	16
3.1.3 선박 소화훈련 시나리오 사용 현황 조사	16
3.1.4 선박 소화훈련 시나리오의 한계성	24
3.2 선박에서의 소화훈련 시행 현황 조사 분석	25
3.3 선박 화재 대응을 위한 의식 조사 분석	28
3.3.1 설문 구성 내용 설계	29
3.3.2 선박 화재 대응 적정 방안 조사 분석	31
3.4 선박 화재 대응 표준화 마련을 위한 설문 분석 요약	40

4. 선박 화재 대응 표준화 방안 설계	42
4.1 선박 화재 대응의 정량화를 위한 실험 분석	42
4.1.1 화재 신호 발령 시 비상소집장소까지 집합 시간 측정	43
4.1.2 선박 화재 대응 시간 표준화 마련을 위한 정량화	48
4.1.2.1 소방원장구 착용 소요 시간 측정	49
4.1.2.2 소방원장구 착용자의 이동시간 측정	50
4.1.2.3 소방원장구 착용자의 계단 이동시간 측정	51
4.1.2.4 소화호스 수압작용 여부에 따른 결과 비교	52
4.2 선박화재 대응 표준화 설계	56
4.2.1 화재 신호 발령 시 비상소집장소까지 집합 시간 추산	56
4.2.2 선박 화재 대응 시간의 표준화 설계	60
4.3 선박 화재 대응 표준 의사 결정을 위한 정량화	64
4.3.1 기관실 화재 시 화재의 크기 추정	64
4.3.2 이동 시간을 제외한 소방원의 수소화 작업 시간계산	66
4.3.3 승무원에 의한 수소화 가능 여부 판단	68
4.3.4 선박 화재 대응 표준 시나리오 개발	69
5. 결론	72
5.1 연구의 결과 요약	73
5.2 연구의 한계점 및 향후 연구 방향	74
6. 참고문헌	75
7. 감사의 글	76

List of Tables

Table 1 Record and rate of fire location for 5 years	9
Table 2 Emergency Drill Scenario of Shipping Company ‘A’	18
Table 3 Emergency Drill Scenario of Shipping Company ‘B’	20
Table 4 Emergency Drill Scenario of Shipping Company ‘C’	22
Table 5 Category of deficiencies type for 3 years	26
Table 6 Questionnaire Categories	30
Table 7 Top priority action for fire-fighting	31
Table 8 Comparison of extinguishing efficiency of seafarer and sprinkler	32
Table 9 Mandatory installation of sprinkler device	32
Table 10 Properness of the location of fire-fighter’ s outfit	33
Table 11 Proper location for fire-fighter’ s outfit	33
Table 12 Most appropriate location of F.C.S	34
Table 13 Fire size to be suppressed by the crew	34
Table 14 Effect of fire-fighting drill in actual fire	35
Table 15 Fire-fighting Emergency Muster list	43
Table 16 Measured movement time	45
Table 17 Measured movement time	47
Table 18 Measuring time to wear fire-fighter’ s outfit	48
Table 19 Moving time with fire-fighter’ s outfit	50
Table 20 Moving time with fire-fighter’ s outfit at stairs	51
Table 21 Moving time with fire-fighter’ s outfit at stairs	52
Table 22 Moving time with fire-fighter’ s outfit at stairs	53
Table 23 Distance to Muster station from each area	58
Table 24 Specification of vessels analyzed	60
Table 25 Moving distance and time of each vessels	62
Table 26 Time to be entirely extinguished for 5 years	67
Table 27 Standard Fire-fighting Scenario_1	70
Table 28 Standard Fire-fighting Scenario_2	71

List of Figures

Fig. 1 Flow of the study	4
Fig. 2 Size Increase of Bulk Carriers for 19 years	6
Fig. 3 Cause of Fire for 5 years	7
Fig. 4 Cause of electric fire for 5 years	7
Fig. 5 Category of detainable deficiency on 2016	27
Fig. 6 Category of deficiency type by USCG on 2016	27
Fig. 7 Ease of movement and extinguishment with fire hose	36
Fig. 8 Effective fire-fighting when in a fire-fighter' s outfit	36
Fig. 9 Fire beyond the initial stage should use non-crew equipment	37
Fig. 10 Necessity of relocation of fire-fighter' s outfit	38
Fig. 11 Necessity of improvement of fire-fighter' s outfit	39
Fig. 12 Route_1 (from Cabin to Muster STN)	44
Fig. 13 Route_2 (from Muster STN to Muster STN via F.L)	45
Fig. 14 Route_3 (from Cabin to Muster STN via F.L)	46
Fig. 15 Moving route with fire-fighter' s outfit	50
Fig. 16 Fire hose handling test with water pressure on hose	54
Fig. 17 Fire Locker storage area of Vessel 'A' (VLCC)	56
Fig. 18 Fire Locker storage area of Vessel 'B' (LNG)	56
Fig. 19 Fire Locker storage area of Vessel 'C' (CNTR)	57
Fig. 20 Fire Locker storage area of Vessel 'D' (Bulk)	57

A Study on Standardization Development of Fire-fighting response for crew safety on ship

Sim, Hyo-sang

Department of Coast Guard Studies
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The verification of the fire-fighting drills and the standardized response procedures (scenarios) are necessary because the magnitude of the damage may vary greatly depending on the initial fire-fighting action, level of crew fire-fighting drill and captain's appropriate situation judgment when a fire occurs on ship isolated at sea.

Through analysis of the status of fire accidents at sea, investigation for ship's Engine room that has the highest fire accident occurrence rate at sea, analysis about disaster characteristics and reason of fire is performed.

The identification of current status whether the fire-fighting drills have been conducted at a satisfactory level on ship and the examination of the fire-fighting scenarios deployed and used by fleet of shipping companies are performed to analyze the limitation.

And we analyzed current fire-fighting response status of crew on ship through the crew's awareness survey on the fire response system in operation

on each ships.

By derivation of the time required for gathering crew members to muster station and fire scene and the time for wearing fire-fighter's outfit through experiment using a training ship and analysis of actual ship's drawings, the level of fire spread when fire-fighters arrived on fire scene is deduced. And we judge extinguishment availability by crew in the Engine room by the calculation of fire-fighter's travel time depending on the place; on flat ground, stairs and hydraulic pressure acts on fire hose within the fire scene, and through the estimate allowable time for fire-fighting by crew.

To compare with the time fire-fighters can arrive at fire scene and fire spread level over time, we develop standard fire-fighting response scenarios and propose situational minimum required time to provide a basis to stop extinguishing by crew and decide the time to operate fixed extinguishing equipment at the discretion of the captain.

Chapter 1 for general information, In chapter 2, the need for this study is described through the analysis of the present situation of fire accidents on ship in Korea and disaster characteristics, causes, specificities and previous studies related to fire on ship.

In chapter 3, the present situation and limitations of fire-fighting drill scenarios of each vessels are investigated. Through the questionnaire survey, the crew's awareness of fire-fighting drills was reviewed and the problems of current training and scenarios are analyzed.

In chapter 4, the time required for the fire-fighters to perform the fire-fighting work was calculated through the movement speed experiment of the crew using the training ship and the analysis of each vessels' drawings.

선박 승무원 안전을 위한 선박 화재 대응 표준화 개발에 관한 연구

심 효 상

한국해양대학교 대학원
해양경찰학과

초 록

고립된 해상의 선박에서 화재 발생 시 선원 초기 화재 대응, 소화 훈련 상태, 선장의 상황 판단 등에 따라 피해의 크기는 크게 달라질 수 있으므로 소화 훈련 방식에 대한 검증과 표준화된 행동절차서(시나리오)가 필요하다.

화재 사고의 현황 분석을 통해 선박에서 가장 화재 발생 비율이 높은 장소인 기관실 화재 사고 사례를 조사하고 화재의 재해 특성과 원인에 대해 분석한다.

실선에서 소화 훈련이 만족스러운 수준으로 시행되고 있는지에 대한 현황을 파악하고 해운회사에서 선대에 배포하여 사용하고 있는 소화 훈련 시나리오를 검토하여 그 한계성을 분석하며, 각 선박에서 시행 중인 화재 대응 시스템에 대한 승무원들의 인식 조사를 통해 현재 선박에서의 화재 대응 현황을 분석한다.

실습선을 활용한 실험과 크기·선종 별 실선 도면 분석을 통해 비상 신호 발령 시 승무원들의 집결 소요 시간 및 화재 현장 도착 시간과 소방원 장구 착용 시간을 도출하고 소방원이 화재 현장 도착 시의 화재 확산 정도를 밝힌다. 또한 화재 현장 내에서 평지, 계단, 소화호스의 수압 작용

여부 등에 따른 소방원의 이동 시간을 계산하고 순수 승무원에 의한 수소화 작업 가능 허용 시간을 추산하여 기관실 화재 시에 승무원에 의한 소화 가능 여부에 대해 판단한다.

선장의 판단에 따라 승무원에 의한 소화 작업을 중지하고 고정식 소화장치를 이용할 시점을 판단할 수 있는 기반을 제시하기 위해 실제 소방원이 현장에 도착할 수 있는 시간과 시간에 따른 화재 확산 정도를 비교할 수 있도록 표준 화재 대응 시나리오를 개발하고 각 상황별 최소 필요 시간을 제안한다.

이 연구의 제 1장에서는 일반 사항을, 제 2장에서는 우리나라 선박 화재 사고의 현황을 분석하고 재해 특성, 원인, 특이성 및 선박 화재와 관련된 선행 연구들을 분석하여 이 연구의 필요성에 대해 기술하였다.

제 3장에서는 실선에서의 소화 훈련 시나리오 사용 현황과 그 한계성을 조사하였고, 설문 조사를 통해 소화 훈련에 대한 승무원의 인식을 검토하여 현재 시행되고 있는 훈련 및 시나리오의 문제점을 분석하였다.

제 4장에서는 실습선을 활용한 승무원의 이동 속도 실험과 실선 도면 분석을 통해 소방원이 수소화작업을 하는데 소요되는 시간을 계산하였다. 이를 통해 기관실 화재의 크기를 추정하고 수소화 가능 여부를 판단하였고 표준 소화 훈련 시나리오를 제시하였다.

KEY WORDS : Fire on ship 선박 화재, Fire-fighting response 화재 대응, Fire-fighting drill 소화 훈련, Fire-fighting Scenario 소화훈련 시나리오, Standard Scenario 표준 시나리오, Engine-room Fire 기관실 화재

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

해상에서의 선박 화재 사고는 천문학적인 물질·인적 피해를 야기하며, 과거의 사고 사례를 통해 그 위험성을 알 수 있다.

64,000톤 급 씨스타호는 사우디아라비아에서 원유를 싣고 오던 중 페르시아만에서 브라질 국적 62,619톤의 유조선인 오르타 보르보자(Horta Barbosa)호와 충돌한 뒤 화재가 발생하였고 화재를 진화하지 못하고 막대한 기름유출과 함께 침몰했다. 씨스타호의 선박 보험금은 1,200만 달러였으며 이는 단지 씨스타호의 손실 보상 액수이며 기름유출로 인한 피해액과 그 보상 범위는 밝혀지지 않았으나 이란과 오만, 사우디아라비아, 쿠웨이트, 이라크에도 피해를 준 것으로 알려졌다.

그리고 2006년 카페리 여객선 알살람 보카치오98호(Al-salam Boccaccio 98) 침몰사고 시 승객과 승무원 1,414명이 승선한 알살람 보카치오98호의 화물창에서 화재가 발생하였는데 승무원들은 초기진화에 실패하고 승객들은 우왕좌왕한 끝에 홍해에서 침몰하였다. 이 사고는 1,018명이나 목숨을 잃는 대형 인명사고로 기록되어 있다.

우리나라 근해 화재 사고로는 2013년 시운전 중이던 55,000톤급 컨테이너선 그래비티 하이웨이(Gravity Highway)호와 29,211톤의 화학물질 운반선 마리타임 메이지(Maritime Maisie)호의 충돌로 인한 화재 사고가 알려져 있다. 사고 직후 해양경찰 등의 협조로 승무원 91명은 모두 구조되었으나 마리타임 메이지호는 자력 항해가 불가하여 25,000여 톤의 독성 화학물질을 실은 채 약 100일간 대마도 남서 해상을 표류하여 초대형 사고로 이어질 뻔한 사건이다.

이처럼 선박에서 화재가 발생하였을 경우 자칫 대형사고로 이어질 수

있으며, 그 피해액은 선상에서 초기 진화가 되지 않을 경우 천문학적으로 늘어날 수 있다. 또한 초기화재 진화 실패는 대형 인명사고로 직결될 수 있다.

선박 화재는 고립된 해상에서 선박 내의 어떠한 원인에 의해 화재가 발생하는 것으로, 선박에서 화재 시 승무원들은 이를 진압하여 스스로 생명과 선박, 재화를 보호해야 하는 상황에 직면하게 되며 사실상 외부의 전문적인 소방 시스템 및 인력의 도움을 받기가 힘들다. 승무원들은 선박에 비치된 소화 설비를 이용하여 직접 화재를 진압하기 위해 화재 현장에 투입되게 되며, 최악의 경우 선박과 재화를 포기하고 퇴선해야 하는 경우도 발생한다. 또한 선박에서의 화재는 해상의 고립된 상황에서 발생하기 때문에 인명피해의 가능성이 매우 크며, 선박의 구조 자체가 전도율이 높은 강재로 되어있는 탓에 대형화재로 확산될 위험도가 높다.

선박에서 화재 발생 시 화재를 진압하는 방법에는 승무원이 직접 소화호스를 통해 살수를 하는 수소화 방식이 있으며, 승무원이 직접 화재 현장에 투입되지 않고 고정식 CO₂ 소화기 등의 설비된 소화 장치에 의한 방식이 있다. 하지만 어느 방식을 어떻게 사용하는 것이 더욱 효과적인지 여부에 대한 연구 사례는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 우선 이 연구의 필요성을 입증하기 위하여 선박의 화재사고의 현황을 분석하여 화재가 빈번하게 발생하는 기관실의 사고사례 및 특성을 도출하고자 한다. 또한 선박에서 사용하고 있는 소화 훈련 시나리오를 분석하여 현실적으로 소화 가능한지에 대한 여부와 한계성에 대해 조사하고 실제 승무원들의 화재사고의 대비·대응에 대한 인식을 조사·분석하고자 한다.

그리고 실선에서의 실험을 통하여 승무원이 화재장소에 도착하는데 걸리는 시간, 소방원이 준비되는 시간과 소방원장구를 착용하고 화재 현장에서 소화호스를 가지고 이동하는데 소요되는 시간에 대해 선박별 차이를 감안하여 미터 당 평균을 산출하여 다른 선박의 크기별·선종별로 추론하여 소방원의 수소화 작업 가능 시간을 산출하여 기관실에서 화재가

발생하였을 경우 승무원이 직접 투입되어 수소화를 하는 것이 가능한지를 분석하고, 실험 및 분석 결과를 근거로 선박 화재 발생 시 선박 승무원이 안전하게 화재에 대응할 수 있는 각 단계별 시간과 거리를 포함한 화재 진압 표준 절차를 개발을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위와 방법

이 연구는 총 5장으로 구성되어 있다.

제 2장에서는 우리나라의 선박 화재사고의 통계적·사례적 분석을 통해 그 현황을 분석하고 선박 화재의 재해 특성, 화재의 원인과 특이성을 분석하였다. 또한 선박 화재와 관련된 선행 연구들을 분석하여 이 연구가 필요한 이유에 대해 기술하였다.

제 3장에서는 선박에서 사용되고 있는 소화 훈련 시나리오의 사용 현황을 알아보고 소화 훈련 시행에 관한 규정을 검토하여 현재 대부분 선박에서 사용하고 있는 소화 훈련 시나리오의 한계성을 분석하였으며, 설문조사를 통해 소화 훈련에 대한 승무원의 인식을 검토하여 현재 시행되고 있는 훈련 및 시나리오의 문제점을 분석하였다.

제 4장에서는 실제 소방원장구의 착용 시간, 비상소집장소까지 집합 시간, 소방원장구 착용자의 각 상황별 이동시간 및 속도를 실습선을 활용한 실험을 통하여 분석하였으며, 그 결과를 토대로 선종별·크기별 선박의 도면 분석을 통해 이동거리를 산출하여 소방원이 순수하게 수소화 작업을 하는데 소요되는 시간을 계산하였다. 또한 이를 통해 기관실 화재 시 화재의 크기를 추정하고 수소화 가능 여부를 판단하였다. 마지막으로 앞서 얻은 결과들을 적용한 표준 소화 훈련 시나리오를 제시하고 이 연구의 한계점과 앞으로의 연구 방향에 대해 기술하였다.

Fig. 1은 연구의 흐름을 나타낸다.

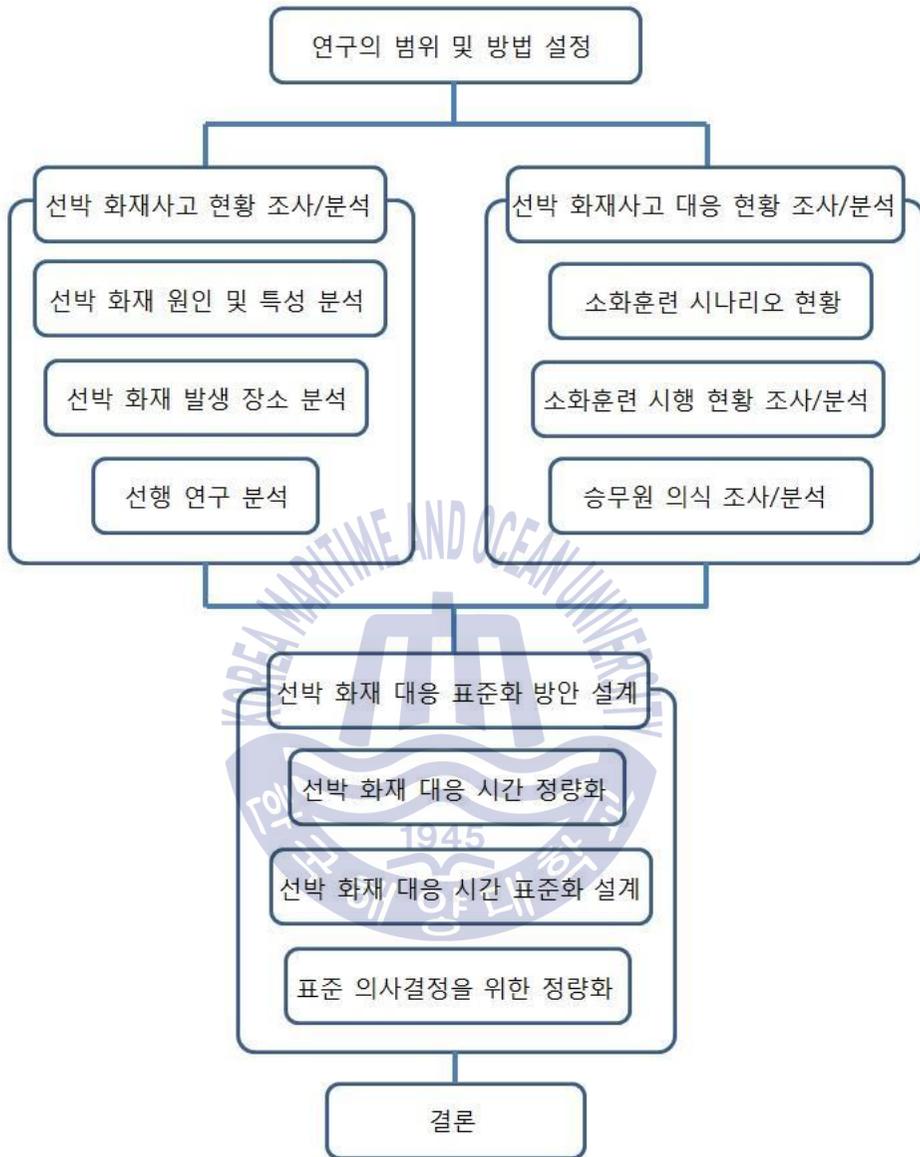


Fig. 1 Flow of the study

2. 선박 화재 사고의 현황 조사 및 분석

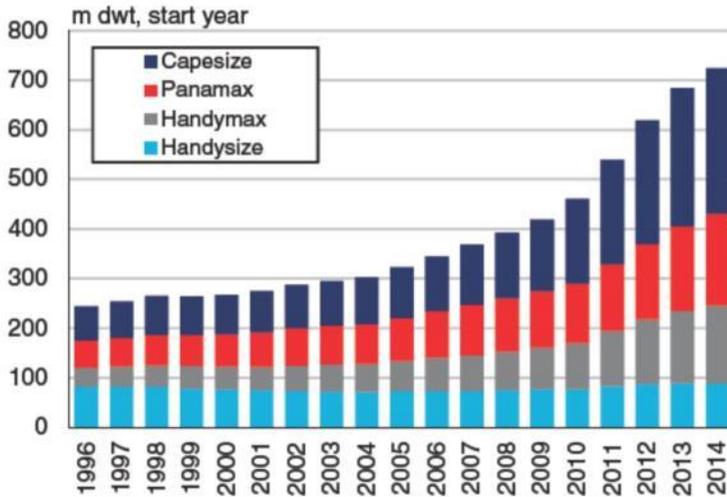
이 장에서는 선박 화재와 관련된 선행 연구와 화재 사고의 통계를 조사·분석하여 선박에서 화재 사고가 가장 많이 발생하는 장소와 그 특성 및 원인을 도출하고자 한다.

2.1 선박 화재의 재해 특성 분석

유지선 등(2015)은 2001년부터 2013년 사이에 발생한 화재 사고 분석을 위하여 6개 선형으로 구분하여 분석하였으며 어선이 가장 많은 화재가 발생(49%)한 것으로 나타났으며 바지선(7%), 화물선(6%), 특수목적선(5%) 등이 그다음으로 나타났다.

또한 유지선 등(2015)은 규모가 작은 어선이나 바지선 등에서의 화재 사고에 비해 화물선 등의 대형선박의 화재로 인한 침몰 사고와 같은 대형사고가 발생할 경우 그 피해 규모는 천문학적인 수준으로 이어진다고 분석하였다. 이 연구에서는 2007년도와 2010년도에 특히 많은 재산 피해가 난 것이 2007년 허베이 스피리트호 원유 유출 사고와 2010년의 천안함 침몰 사건, 98금양호 침몰 사건 등에 기인한다고 설명하고 있다. 이처럼 선박에서 대형 화재 사고가 발생할 경우 천문학적인 액수의 피해를 야기함은 물론이거니와 재앙과도 같은 인명 사고를 유발한다.

최근 선박의 대형화는 막대한 피해를 야기하는 대형 선박 화재사고가 발생할 가능성과 위험도를 크게 상승시킬 여지가 있다. Fig. 2는 벌크선의 최근 19년 간 선복량의 증가 추이를 나타낸다(Clarkson research, 2015). 핸디사이즈(Handysize) 선박의 선복량이 거의 같은 수준을 유지하는 반면 그 이상급 사이즈의 선복량은 꾸준한 상승세를 보이며 케이프사이즈(Capesize)의 경우 4배 이상 증가한 것을 알 수 있다.



(Source : Clarkson research)

Fig. 2 Size Increase of Bulk Carriers for 19 years

선박적재율의 향상과 단위당 운항비용 및 건조단가의 절감 등을 위하여 대형선을 건조 및 운항함에 의해 선상 화재가 대형 화재로 변질 위험성은 그만큼 높아지고 있으며, 소화 작업을 실시하여야 할 공간의 크기가 증가하여 그 위험도가 증가하게 된다. 그러나 선박에 비치되어 있는 소방원장구 및 소화설비는 한정되어 있고 승무원 수는 오히려 감소하고 있는 만큼 화재 현장에 투입할 수 있는 인력은 더욱 제한적이기 때문에 주어진 환경 내에서 이용 가능한 가장 안전하고 효율적인 화재 대응 시스템을 개발해야 할 것이다.

2.2 선박 화재 원인 분석

Fig. 3는 2011년부터 2015년까지의 화재사고의 발생 원인을 나타내고 있다. 5년간 전기적 원인에 의한 사고가 매해 가장 큰 것을 알 수 있으며 그 비율도 약 70%로 가장 높은 비율을 나타내었다. 연간 10건 이상의 전기적 원인으로 인한 화재사고가 발생하여 2번째로 발생 빈도가 높은 유류 화재는 연간 평균 2건임을 비교하면 전기화재가 압도적으로 높은

비율로 발생함을 알 수 있다.

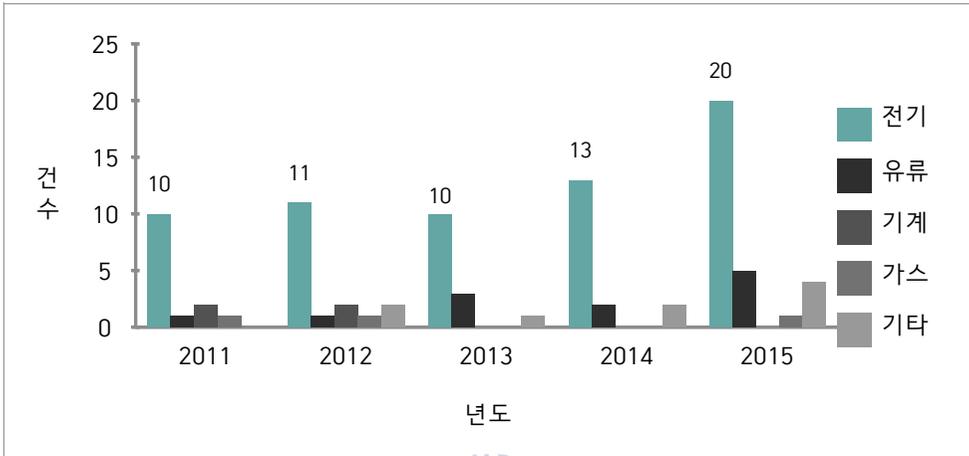


Fig. 3 Cause of Fire for 5 years

Fig. 4는 5년간 전기화재사고 64건에 대한 세부원인을 나타낸 것이다.

전기적 원인에 의한 화재사고를 전기설비 점검소홀, 전선단락, 누전, 과열, 합선, 기타 등의 원인으로 분류하여 분석하였다.

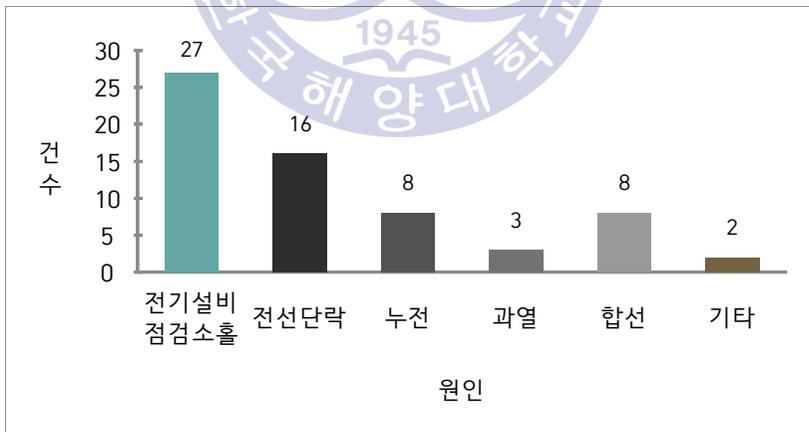


Fig. 4 Cause of electric fire for 5 years

그림에서 알 수 있듯이 전기설비 점검소홀로 인한 사고가 27건으로 (42%) 가장 많았고, 전선의 노후 등으로 인한 단락에 의한 사고가

16건으로 나타났으며 합선, 누전, 과열 등의 원인 순으로 나타났다.

이는 전기설비 점검소홀과 같은 인적오류(Human error)에 의한 화재사고의 발생 빈도가 높음을 나타내며 인간에 의해 선박이 운항되는 한 언제든지 유사한 사고가 발생할 수 있음을 의미한다.

2.3 선박 화재의 발생 장소 분석

선박에서 발생한 화재 및 폭발 사고의 발생 장소를 파악하기 위하여 2011년부터 2015년까지 5년간의 화재 및 폭발로 인한 해양 사고의 화재 발생 장소를 해양안전심판원의 재결서를 통하여 조사·분석하였다. (<https://data.kmst.go.kr>, 2017)

여기에서는 선박에서의 화재 발생 위치를 기관실·화물창·거주구(조타실 포함)·갑판 상부·기타 등 5개소로 분류하여 분석하고자 하였다. 이는 지금까지 선박에서 발생하는 화재 사고의 발생 지점을 확인하기 위함이다.

먼저 Table 1은 최근 5년간 선박화재 사고를 발생위치 별로 분류한 것이다. 이 Table에 의하면 최근 5년간 선박화재 발생위치 중 기관실이 전체의 61%로 화재가 가장 많이 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 선박에서의 화재 사고는 매년 압도적인 비율로 기관실에서의 화재가 현저히 높게 발생하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 이는 선박에서 기관실이 화재가 발생할 가능성이 가장 높다는 것을 의미한다. 따라서 기관실 화재에 대해 가장 높은 차원의 대비·대응 시스템이 갖춰져야 할 것이다.

Table 1 Record and rate of fire location for 5 years

화재 장소	2011년		2012년		2013년		2014년		2015년		합계	
	건 수	비 율										
기관실	8	57	10	59	6	43	12	71	20	67	56	61
화물창	-	-	4	24	1	7	-	-	4	13	9	10
거주구	6	43	1	6	5	36	3	17	6	20	21	23
감판상부	-	-	1	6	2	14	-	-	-	-	3	3
기타	-	-	1	6	-	-	2	12	-	-	3	3
합계	14	100	17	100	14	100	17	100	30	100	92	100

2.4 기관실 화재의 사례적 분석

기관실에서 실제 화재가 어떠한 상황에서 발생하고 그로 인한 피해 정도와 대비·대응의 형태를 파악하기 위하여 선박에서 발생한 화재 사례를 중심으로 분석하고자 한다. 사례는 2011년부터 2015년까지의 재결서 92건을 분석한 결과 화재 발생 비율이 가장 높은 기관실 화재 사고 중 선원에 의한 초기화재 대응 정도에 따라 완전히 다른 피해 결과를 야기한 세 가지 사건을 분석하여 제시하고자 한다.

2.2.1 2012년 화객선 씨케이스타호 화재사건 조사

총톤수 8,577톤, 전장 150.1미터의 제주 선적 화객선 씨케이스타호는 경기도 평택항과 중국 연운항을 운항하는 정기 화객선으로 연운항에서 평택항으로 항행 중 주기관 제7번 실린더의 연결봉의 볼트가 절손되어 분리된 연결봉이 실린더 블록을 타격하여 발생된 파공으로부터 고온의 연소 가스가 분출되어 주변의 가연성 물질인 전선 등이 연소되며 화재가

발생하였고, 초기 진화에 실패하여 선장은 고정식 이산화탄소 소화기를 분출하였고 이후 침착한 조치로 사상자는 발생하지 않았다.

이 사건의 경우를 미루어볼 때, UMA(Unattended Machinery Area) 무인화 선박으로 기관 당직을 수행하지 않는 최근 선박의 당직 체계에서는 비슷한 형태의 화재 발생 가능성을 단 한 순간도 배제할 수 없으며, 대형화재로 이어질 수 있음을 시사하는 바가 크다. 또한, 기관실 화재에 대응하는 승무원들의 훈련 상태에 따라 선박 화재 사고 시 단 한 명의 사상자도 발생하지 않을 수 있음을 알려주는 사례라 하겠다.

2.2.2 2013년 고속여객선 아라퀸즈호 화재사건 조사

아라퀸즈호는 1996년 이탈리아에서 건조된 총톤수 3,403톤, 전장 90.83미터의 고속여객선으로 국내 기업이 이탈리아에서 수입하여 고흥군을 선적항으로 등록하여 운항하였다. 포항항으로 28노트로 순항 중이던 아라퀸즈호의 기관실에서는 조기장이 연료유 서비스 탱크 바닥에 침전된 물을 빼기 위해 잠수펌프와 호스를 이용하여 드레인 배출작업을 하고 있었다. 3등 기관사가 저녁 식사를 마치고 조기장과의 인수인계 과정에서 작업 내용을 잘 못 알아듣고 드레인 작업이 아닌 연료 이송 작업을 시행하였는데, 이 과정에서 잠수펌프의 이송호스가 빠지면서 경유가 비산되며 주기관 배기관 천정으로부터 화재가 발생하였다. 이에 화재경보장치의 경보음이 작동하였으며, 2등 기관사가 3등 기관사의 몸에 붙은 불길을 진화하였고, 동시에 주기관을 정지하고 화재진압 요원을 배치하여 주기관 배기관 부근의 화재를 진압하였다. 이 사고로 3등 기관사는 얼굴 등 몸에 2도 화상을 입었다.

이 사고의 경우 시끄러운 기관실에서 의사소통 착오로 인하여 인수인계가 잘못 이루어지면서 발생한 것으로, 운항 중 상시 주기와 발전기를 가동하는 선박의 기관실에서 충분히 일어날 수 있는 사고라 할 수 있으며, 또한 주간업무가 종료된 이후라 할지라도 승무원들의 초기화재대응에 따라 화재가 대형사고로 이어지는 것을 충분히 막을 수

있다는 사례라 하겠다.

2.2.3 2015년 레이디마리온호 화재사건 조사

레이디마리온호는 1982년 미국에서 건조·진수된 총톤수 606톤의 원양참치선망어업 종사선이다. 화재 사고 발생 당일 본선은 약 13노트, 북동 방향으로 항해 중이었으며 승무원들은 참치 어군을 발견하여 투망 준비 중이었다. 그때 연돌 상부에서 폭발 소리와 함께 큰 화염이 분출되며 선미 방향에 적재된 코르크 및 그물에 화재가 확산되었다. 선장은 전 승무원을 동원하여 소화 작업을 시행하였으나, 화재의 확산 속도가 너무 빨라 퇴선 결정을 하였고 전 승무원은 구명동의를 착용하고 바다로 뛰어내렸으며 사고 소식을 듣고 현장에 도착한 같은 회사 소속 선박에 의해 전원 구조되었다. 한편 레이디마리온호는 완전히 침몰하였다. 이 사고는 연돌 상부 환풍기의 장시간 사용으로 인한 과열 및 전선 단락 혹은 누전으로 폭발하며 발생한 불꽃이 가연성 물질인 선망 어구에 옮겨붙어 발생한 사고이다. 이처럼 선박의 기관은 고온으로 연속하여 운용되어야 하여 화재 사고의 위험이 크며, 사고가 발생할 경우 초기 대처가 미흡하면 완전 침몰과 같은 대형사고로 이어질 수 있음을 보여주는 사례다.

2.5 선박 화재 관련 선행 연구 분석

선박 화재는 고가의 선박과 재화, 승무원들의 생명과 재산을 위협하는 선박 운항 상의 장애 요인이다. 선박은 전도가 빠른 강제로 되어 있어 진화가 어렵고 위험한 작업이며, 운항의 특성상 탈출 또한 매우 제한적이고 불리한 여건이므로 충분한 예방책과 대비책이 강구되어야 한다.

김동찬 등(2002)의 연구에서는 선박 화재 사고의 사례적 분석을 통해 기관실에서의 화재 발생 비율이 가장 높으며, 기관실 내부가 격실로 구분되어 있지 않고 전체가 하나의 큰 구획을 이루고 있어 국소적

화재에도 전 기관실로 확산될 가능성이 크다고 하였다. 또한, 출입구의 개수와 장애물이 있을 경우를 배제하였다는 한계가 있으나, 화재안전도의 중요한 지표인 피난 계산을 실습선 모의훈련을 통해 계산하여 피난 완료 시간, 출입구의 적정폭, 병목현상에 의한 체류 인원 등을 정량적으로 산출하였다. 이 연구에서는 기관실의 경우 주기관이 대피에 있어서는 장애물로 되어 선실 등의 타 위치에서 외부로 이동하는 것에 비해 많은 시간이 소요되며 가파른 계단 또한 대피에 많은 시간이 소요되는 원인이라 지적하였다. 기관실에서 외부로 대피만을 목적으로 이동하는데도 기관실의 복잡한 구조 및 가파른 계단 등은 장애 요소가 될 수 있다는 것은 소방원이 화재진압을 목적으로 기관실에 진입하였을 경우에 관한 연구가 필요함을 나타낸다.

한상국 등(2006)의 연구에서는 FSA를 선박의 화재 안전 분야에 도입하기 위한 준비 과정으로 피난 시간의 계산 및 성능 기준 화재의 안전설계를 검토하였는데, 승선 인원과 대피통로의 폭과는 일정한 상관관계가 있으며 최적의 폭을 산정할 수 있음을 보였다. 그러나 이 역시도 선박의 종류에 따른 특수한 구조를 고려할 때 일괄적인 적용은 어렵다고 하였다. 또한, 대피시간을 모의실험에 의해 추정하고 유출계수를 구한 결과 공용실에 비해 기관실의 인명 위험성이 약 4배 높으며, 시나리오에 따른 체계적인 피난훈련이 필요하다고 지적하였다.

조규환 등(2016)의 연구에서는 적재밀도가 높으며 수직적인 구조를 갖는 랙크(Rack)식 창고에 대한 화염의 확산 속도를 연구하였는데, Single 및 Double-row 구조로 높이 약 6미터 이상 10미터 미만 조립식 철제 프레임으로 구성된 랙크 4종에 대해 실험하였다.

랙크의 화재 형태는 시간별로 초기 단계인 잠복(Incubation), 화염이 상부로 급속히 확산되는 발전(Take off), 화염이 수평으로 번져나가는 잠식(Eating in)으로 크게 3단계로 구분하여 실험하였는데, 평균적으로 화염이 랙크 최상단에 이르는 시간은 약 1분 38초, 잠식 단계에 이르는

시간은 평균 2분 25초, 최대 4분 30초로 실험에 사용된 랙크의 높이가 기관실 1개 갑판의 높이보다 높은 6미터 이상 10미터 미만인 것을 고려하면 기관실의 화재 확산 상태는 최초 발화 시점으로부터 약 2분 25초 이상일 경우 중형 이상으로 확산될 것으로 예상할 수 있다.

또한, 실험 시작 60초 후 랙크 4종의 열방출율이 약 1MW에서 4MW로 나타났는데, 김원욱 등(2015)의 연구에서 화재 강도를 각각 10kW, 100kW, 1MW로 구분하고, 대형화재의 기준을 열방출율 1MW로 나타낸 것으로 보아 화재 발생 후 1분이 경과한 경우 화재의 크기는 중형 이상인 것으로 판단된다.

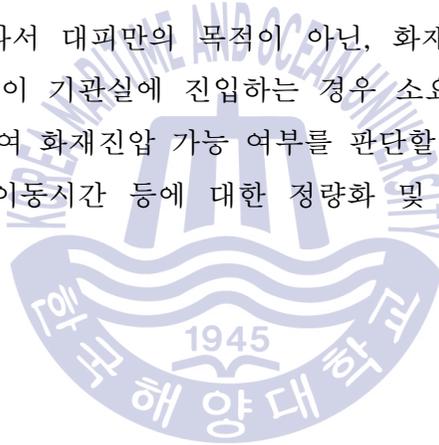
방창훈 등(2016)은 소방복 특수방화복 착용 시 작업시간에 따른 신체변화를 연구하기 위하여 근골격계 질환이 없는 건강한 대학생 8명을 대상으로 각 15분, 30분씩 2회에 걸쳐 WBGT 20°C 트레드밀에서 시속 6km의 속도로 걷기운동을 실시하였다.

트레드밀 걷기운동 시작 15분 및 30분 전후의 신체변화는 심박수 (90.2% - 112.7%), 호흡수 (133.2% - 139.2%), 체중감소 (0.7% - 0.9%), 젖산 (124.0% - 119.0%), 온냉감 (77.8% - 162.5%), 운동자각도 (134.0% - 162.5%), 고막 온도 (2.5% - 5.3%), 평균 피부 온도 (8.7% - 9.3%) 등 극심한 것으로 나타났으며, 특히 심박수, 온냉감, 운동자각도, 고막 온도의 상승이 크게 나타나고 피로물질인 젖산이 증가하여 열적 스트레스가 증가하였다. 저자는 이로 인한 문제점을 해소하기 위한 소방활동의 강도별 분류, 작업시간 조정, 냉각장치의 개발, 서열순화훈련법 개발 등의 다양한 대응책이 필요하다고 지적할 정도로 승무원이 수소화를 목적으로 화재가 발생한 기관실에 투입되는 것이 효율적 소화와 소방원의 안전을 보장할 수 있는가에 대한 검증이 필요하며, 실제 소방원이 이동하는데 소요되는 시간을 실험을 통해 계산할 필요성이 있다.

송우승 등(2014)은 현행 국내 소방공무원 훈련규정에 의해 화재 현장에 투입되는 소방원은 총 85시간의 화재진압 관련 실습을 수행하며 각

상황별 화재대응과정을 수료하도록 하고 있음에도 화재진압 소방교육훈련 시설의 확충을 위한 설치기준 등의 기초자료를 제시하고 있다. 이처럼 전문 소방관들도 상황별 실습과 연습을 거친 후에야 화재 현장에 투입되며 저자는 이마저도 부족한 실정임을 주장하고 있다. 이에 비해 전문 소방관이 아닌 승무원들에 대한 소방교육은 턱없이 부족한 실정이며 고립된 해상에서 화재 발생 시 직접 화재진압에 투입되어야 하는 실정이다.

선박 화재 사고의 재해방지에 관한 선행 연구들을 살펴보면 완전히 정량화된 데이터를 제시할 수는 없으나 선박 기관실에서의 화재 시 승무원의 더 많은 대피 소요시간이 필요하며 더 큰 위험성이 있다고 지적하고 있다. 따라서 대피만의 목적이 아닌, 화재진압을 위한 수소화 작업을 위해 소방원이 기관실에 진입하는 경우 소요되는 시간과 화재의 확산 속도와 비교하여 화재진압 가능 여부를 판단할 필요가 있으며, 실제 화재 시 집합 및 이동시간 등에 대한 정량화 및 화재 대응의 표준화 개발이 필요하다.



3. 선상 화재 대비 현황과 승무원 인식조사

3.1. 선박 화재 사고 대응을 위한 훈련 시나리오 현황 조사

선박 화재 대응 표준화를 위해 실선에서 화재 사고 대응을 위한 소화 훈련 시행 현황을 파악하고 실제 사용하고 있는 시나리오를 분석하여 한계점을 개선하고자 한다. 우선 선상 소화 훈련과 소방원장구 비치에 관한 규정을 조사하고 항만국 통제(Port State Control, 이후 SPC) 중대결함 지적 추이를 통해 선박에서의 소화 훈련 시행 현황을 조사하고, 국내 3개 대형 선사의 시나리오를 분석하고자 한다.

3.1.1 선상 소화 훈련 시행에 관한 규정 조사

국제해상인명안전협약(The International Convention for the Safety of Life at Sea, 이후 SOLAR)에 따르면 화물선 기준으로 단정 훈련과 소화 훈련을 1개월이 넘지 않는 간격으로 시행하여야 하며, 여객선의 경우 가능한 일주일마다 행하여야 한다.⁴ 다만 어떤 항구에서 25%가 넘는 승무원 교체가 있으면 해당 항구의 출항 24시간 이내에 행하도록 하고 있다. 선상에서 시행한 소화 훈련의 상세는 항해일지에 기록하고 훈련 소집의 전부 또는 일부가 행하여지지 아니할 때는 그 사정 및 행한 소집의 정도를 기입하여야 한다. 소화 훈련의 시행에 있어서는 먼저 규정된 비상배치표에 명기된 바에 따라 소집 위치 보고 및 임무 준비가 이루어져야 하며 소화 펌프를 시동하여 적어도 두 개 이상의 물 분사기를 사용하여야 하며 소방원장구 및 개인장구의 점검이 이루어져야 하며, 관련 통신장비 및 수밀문, 방화문, 방화담퍼 등의 작동상태 점검 등이 수반되어야 한다.

소화 훈련의 계획에서는 선박과 그 선박에 적재하는 화물의 형태에 따른 다양한 비상사태를 고려하여야 하고 훈련에 사용한 장비는 즉시

원래의 정상작동 상태로 복귀해놓고 훈련 중 발견된 결함은 가능한 한 조속히 시정하도록 하고 있다.

그러나 SOLAS에는 소화 작업 자체의 행동 방식이나 요령, 절차 등에 대한 직접적인 규정이나 기준이 마련되어 있지 않다. 다만 실행 가능한 한 실제 비상 상황인 것처럼 훈련을 시행하라는 조항만 있다.

3.1.2 소방원장구 비치에 관한 규정 조사

SOLAS 제 II-2장 10.10 규칙에 의거 화물선은 2조 이상의 소방원장구가 비치하여야 하며, 탱커의 경우 2조의 소방원장구를 추가로 비치하여야 한다. 또한, 소방원장구 및 개인장구는 영구적이고 명확하게 표기된, 쉽게 접근할 수 있는 장소에 즉시 사용토록 보관해야 하며 2조 이상의 소방원장구 또는 2조 이상의 개인장구가 있는 경우에는 서로 멀리 떨어진 장소에 보관해야 한다. 화재 안전코드에 따른 소방원장구는 1조의 호흡구와 1조의 개인장구로 구성되는데, 호흡구의 경우 자장식 공기호흡구로서 용량 1,200 리터 또는 30분간 사용 가능한 공기병이어야 하며 충전된 예비공기병 2개를 포함하여야 한다. 또한, 개인장구의 경우 방화복, 신발 및 장갑, 헬멧, 안전전기 등, 도끼 등으로 구성된다. 추가로 소방원은 자장식 호흡구에 구멍줄을 부착하고 쌍방향 휴대식 무전기를 지참하여야 한다.

3.1.3 선박 소화 훈련 시나리오 사용 현황 조사

선박에서는 회사로부터 일괄적으로 배포된 훈련 시나리오를 바탕으로 각 선박의 구조와 형편에 맞도록 제작·개정된 소화 훈련 시나리오를 사용하여 소화 훈련을 시행하고 있다. 화재 시의 소화 작업 방식이나 형태에 대해서는 따로 SOLAS에서 직접적으로 규정하는 바가 없으며, 다만 실제 화재 시에 소화 작업을 원활하게 시행할 수 있도록 소화 훈련을 하도록 요구하고 있다.

일반적으로 선박에서 사용하는 소화 훈련 시나리오에 의하면, 최초 화재 목격자의 보고 또는 화재탐지기에 의한 화재정보 등에 의해 화재 신호가 발령되면 전 승무원은 정해진 비상소집장소에 집합하여 인원점검을 시행한다. 이때 선박에 따라 인원점검 이전에 초기 진화를 시행하는 경우도 있고, 인원점검 후에 초기 진화를 하는 경우도 있다. 인원점검을 통해 미집합자나 부상자의 여부를 판단하고 동시에 2명의 미리 정해진 소방원장구 착용자가 현장에 투입될 준비를 하며, 선장의 화재 현장 투입 명령에 따라 화재 현장으로 진입하여 화재진압을 실시하게 된다.

소방원이 화재 현장으로 투입된 후에는 화재진압 성공 혹은 실패 여부를 판단하여 완전 진화가 되었을 경우에는 화재 원인 규명, 진화 실패의 경우 퇴선 훈련으로 이어지는 시나리오가 일반적이다. 선박에서 소화 훈련을 하는 시점은 초기 발견자에 의한 초기화재 진화가 실패하였다고 가정하고 시작하는 것이기 때문에 소화반의 집합에서 화재 현장까지 도착하는 시간이 매우 중요하다. 따라서 이 논문에서는 초기화재 진압이 실패한 것으로 가정하고 시작되는 것임을 밝혀둔다.

Table 2부터 Table 4는 국적 선사 3곳에서 실제로 사용하고 있는 기관실 화재 시의 행동지침을 담고 있는 소화 훈련 시나리오이다.

Table 2 Emergency Drill Scenario of Shipping Company ‘A’

비상연습 시나리오 (Emergency Drill Scenario)							
1. 훈련 종류 : Fire Drill, Engine Room Work Shop 화재 2. 훈련 일시 : 3. 소집/훈련 장소 :							
가상상황	대처방법						
호주 출항 한국으로 향하는 대양항해 중 ● 화재 발견 및 보고 - 조기장이 WORKSHOP 내에서 용접작업을 하는 도중 불꽃이 튀어 기름 묻은 페결레에 화재 발생. - 옆에서 작업 중이던 3기사는 근처에 있는 화재경보장치를 가동 후, 당직사관에게 보고함. - 조기장은 가까운 FOAM 휴대소화기로 초기진화 실시. - 화재발견자는 비상배치 신호가 발령되면 화재장소 통풍차단 및 상황 파악 후 비상본부로 집합 - 조기수 A는 탈출 도중 부상을 당하여 타기실 쪽 계단 근처에서 쓰러져 있음.	<ul style="list-style-type: none"> ● 화재발견자는 화재 발생 통보 및 선교보고 후 초기진압 활동 (화재장소, 규모, 종류 보고) ● “WORKSHOP내 B급 소형화재 발생” ● 보고와 동시에 FOAM 휴대소화기 사용 						
● 비상배치 신호 발령 및 보고 - 당직사관 비상배치신호 및 선내 방송 “훈련(3회) WORKSHOP에 B급 소형화재 발생. 전 선원 비상본부 집합” - 방송 후 선장에게 보고 - 전 선원 “WORKSHOP 불이야! 불이야!” 큰소리로 외치며 비상배치표에 따라 각자 지참물과 함께 비상본부로 집합.	<ul style="list-style-type: none"> ● 자동 FIRE ALARM 발령과 동시에 방송 실시 ● 비상배치 신호 발령 및 화재장소 국영문으로 선내 방송 ● 비상배치표에 따라 각자 지참물 (소방원장구 등), 개인 구명동의, 방수복 지참하여 집합할 것 						
● 인원파악 및 상황 보고. - 1항사는 화재장소의 상황을 화재발견자로부터 확인하고 인원파악 및 휴대품 점검 후 선교 보고함.	<ul style="list-style-type: none"> ● 총집합/인원보고/제반 사항 보고까지 5분 이내로 보고 <p>“현재 용접작업을 하던 중 B급 소형화재가 발생하였으며, 초기진압 실패하여 탈출하였고, 조기수 A가 부상을 당하여 타기실쪽에 쓰러져 있는 상태입니다.”</p>						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>1항사</td> <td>“소화반 인원보고. 총원 8명, 사고 무, 현재원 8명”</td> </tr> <tr> <td>2항사</td> <td>“지원반 인원보고. 총원 3명, 사고 무, 현재원 3명”</td> </tr> <tr> <td>기관장</td> <td>“기관반 인원보고. 총원 4명, 사고 1명, 현재원 3명. 사고내역 부상자 조기수A 1명”</td> </tr> </tbody> </table>	1항사	“소화반 인원보고. 총원 8명, 사고 무, 현재원 8명”	2항사	“지원반 인원보고. 총원 3명, 사고 무, 현재원 3명”	기관장	“기관반 인원보고. 총원 4명, 사고 1명, 현재원 3명. 사고내역 부상자 조기수A 1명”	<ul style="list-style-type: none"> ● VHF 등 주위 선박에 알림 필요시 회사 및 관계처 등에 보고 후 LOG BOOK에 기록 ● 3기사는 부상자 위치 확인
1항사	“소화반 인원보고. 총원 8명, 사고 무, 현재원 8명”						
2항사	“지원반 인원보고. 총원 3명, 사고 무, 현재원 3명”						
기관장	“기관반 인원보고. 총원 4명, 사고 1명, 현재원 3명. 사고내역 부상자 조기수A 1명”						

가상상황	대처방법						
<ul style="list-style-type: none"> ● 소화준비 작업 및 보고 - 인원보고 후 방화복 및 호흡구를 화재 진압 장소 (ENG' RM 2ND DECK)까지 이동. - 갑판수 B, 조기수 B는 방화복 착용 - 지원반은 타기실 계단 근처의 환자를 발견, 구출 (STRECHER를 이용하여 환자를 안전한 장소로 대피 후 환자 상태 보고 및 응급 처치) - 소화반은 방화복 착용자용 소화 호스, 격벽냉각용 소화 호스 준비 및 예비 실린더 준비 - 기관반은 FOAM APPLICATOR와 135L이동식소화기 준비 후 격벽냉각용호스가 설치되면 격벽냉각 	<ul style="list-style-type: none"> ● FIRE PLAN 이용 ● 1기사, 3기사 - 비상소화 PUMP 준비 및 통풍 전원 차단 - 임무 완료 후 격벽냉각용 호스에 배치됨 ● 지원반 - 환자보고 (환자 이름/위치/상태) - 보고 후 응급 처치 및 부상자 운반 <p style="text-align: center;">“환자 안전지대 이송 하였으며, 오른쪽 발목이 많이 부어있는 상태로 AIR PASS와 얼음찜질 등으로 응급 처치 중입니다.”</p>						
<ul style="list-style-type: none"> ● 소화준비 작업 및 보고 - 선교에 WORKSHOP 진입준비 완료 보고 - 조기수 B는 개구부 열기 감지 - 갑판수 B는 출입문을 조심스럽게 조금만 연다. - 조기수 B는 그 틈 사이로 FOAM을 투입한다. (5초가량, 3회 반복) - 화재구역으로 진입 	<ul style="list-style-type: none"> ● 3항사 : 상황기재 및 진행과정 기록 ● 화재구역 진입 전 점검 및 보고사항 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">BA압력(정상치)</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">진입시간</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">마스크 착용 상태</td> <td style="padding: 2px;">진입원의 직책 및 이름</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">안전등 작동 여부</td> <td style="padding: 2px;">복장 상태</td> </tr> </table>	BA압력(정상치)	진입시간	마스크 착용 상태	진입원의 직책 및 이름	안전등 작동 여부	복장 상태
BA압력(정상치)	진입시간						
마스크 착용 상태	진입원의 직책 및 이름						
안전등 작동 여부	복장 상태						
<ul style="list-style-type: none"> ● 소화 작업 및 진압 - 방화복 착용자들은 FOAM APPLICATOR와 135L 이동식 FOAM 소화기를 사용하여 화재 진압 - 화재진압 후 소화반장(1항사)은 선교에 보고 	<ul style="list-style-type: none"> ● 화재구역 진입 전 점검 및 보고사항 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">BA압력(정상치)</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">진입시간</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">마스크 착용 상태</td> <td style="padding: 2px;">진입원의 직책 및 이름</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">안전등 작동 여부</td> <td style="padding: 2px;">복장 상태</td> </tr> </table>	BA압력(정상치)	진입시간	마스크 착용 상태	진입원의 직책 및 이름	안전등 작동 여부	복장 상태
BA압력(정상치)	진입시간						
마스크 착용 상태	진입원의 직책 및 이름						
안전등 작동 여부	복장 상태						
<ul style="list-style-type: none"> ● 잠재적 화재 가능성 확인 - 1항사는 선장의 명령에 따라 다시 방화복 착용자를 투입, 잔존화재 여부 파악 	<ul style="list-style-type: none"> ● 선 장 : 추가적 화재 발생 예방을 위해 화재 지역 당직자 배치 및 강화된 순찰 지시. ● 순찰자 : 휴대소화기 지참 ● 3항사 : 기록유지, 등화철수, VHF로 주위 선박 동정 보고, 회사보고 및 관계 당국 보고 						
<ul style="list-style-type: none"> ● 상황 종료 - 방화복 착용자는 화재가 완전히 진압되었음을 1항사에게 보고. - 선장은 현장에 당직자 배치 후 나머지 인원 철수를 지시. 회사 및 관계 당국에 보고 							

Table 3 Emergency Drill Scenario of Shipping Company ‘B’

기관실 화재 소화 훈련 시나리오			
<p>상황 소각기에 의한 불꽃이 주위의 기름 묻은 걸레에 옮겨붙으면서 약 5m 이상 규모의 화재가 발생한다. 기관실 순찰 중이던 2기사(당직기관사)가 이를 발견한다.</p>			
순서	지시 / 보고자 위치	상황 또는 행동	보고 또는 지시사항
1	2기사 (초기 발견자)	<ul style="list-style-type: none"> - 근처의 EM “CY FIRE ALARM PUSH BUTTON을 누른다. - 전화기를 이용하여 선교에 기관실 화재 사실을 보고한다. 	
	소각기 근처		
2	2기사 (초기 발견자)	<ul style="list-style-type: none"> - 화재 현장에서 탈출하면서 화재 현장을 비롯한 근처의 문과 기관실의 거주구역 측 통로 문은 모두 닫는다. 	
	소각기 근처		
3	2항사 (당직사관)	<ul style="list-style-type: none"> - 선교 2항사(당직사관)는 화재 보고를 받고 비상매치 신호를 발령하고, 선내 방송한다. - 선원들의 집합경로는 방송으로 정확히 통보하여 화재발생지역을 통과하지 않도록 한다. 	
	선교		
4	1항사 현장	<ul style="list-style-type: none"> - 화재 현장 조사 후 Muster Station 집합 	
5		<ul style="list-style-type: none"> - Muster Station 집합. ① 선교 지휘반을 제외한 전 승조원 집합 ② 안전한 거주구역 통로를 이용 Muster Station 집합 ③ 개인 지참물, Life Jacket, 방수복 지정장소 보관 ④ 나오면서 근처의 모든 문은 닫는다. 	
(중략) : :			
27	소방원장구 착용자	<ul style="list-style-type: none"> - 거주구역통로 진입 시 열기 확인, 문을 조금 열어 확산 여부 확인 후 거주구역까지 연기 및 열기가 확산되지 않은 것을 확인하고 바로 진입한다. - 기관실 내부 진입 시 하기 절차에 따라 진입 <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ① 호스맨이 외부출입문을 장갑을 낀 채 열기 확인 ② 호스맨이 문을 조금 열고 노즐맨이 문틈으로 5초간 물을 분사한 후 닫는 과정을 2회 반복 (Narrow Fog Mode 45도로 분사) ③ 호스맨이 문을 Full Open 하고 2인 1조로 진입 </div>	

순서	지시 / 보고자	상황 또는 행동	보고 또는 지시사항
	위치		
28	2항사	- 지원반 통솔하여 외부 냉각용 소화 호스 4조 준비하여 화재 현장 근처 외벽 Cooling	
	화재 현장 외벽		
29	1항사	- 수시로 상황을 선교에 보고	“브릿지 소화반! 소방원장구 착용자 진입 5분경과, 연돌로 연기가 점점 거세어져 나옴. 화재는 더욱 확산되는 것 같음 “
	Muster Station	- 상황 : 화재는 더욱 확산되어 기관실의 약 20% 정도까지 퍼진다.	
30	소방원장구 착용자	- 기관실 진입하여 실종자 수색 작업 중, 컨트롤룸 앞 계단에 의식을 잃고 쓰러져있는 2기사를 발견한다. - 환자의 다리쪽을 운반하는 자가 머리쪽을 운반하는 자를 앞서도록 환자를 후송하여 화재 현장에서 탈출	“화재는 기관실 전체의 약 20%까지 확산되었습니다. 화재는 점점 확산 되고 있습니다. 소화 호스 이용한 화재진압은 불가능해 보입니다.”
	기관실	- 화재 현장에서 탈출한 소화 요원은 1항사에게 환자를 인계하고, 화재 사실 보고	
31	1항사	- 동 사실을 선교에 보고	“브릿지, 소화반! 소방원장구 착용자가 2기사 후송하여 현장에서 탈출함. 화재는 기관실 전체의 약 20%까지 확산. 소화 호스로 화재 진압은 불가능할 것 같습니다.”
	Muster Station		
32	선장	- 환자를 응급 처치 Station으로 이송하고, 환자 상태 확인 및 응급처치할 것을 2항사에게 지시	“응급처치반 브릿지! 응급 처치 Station으로 이송. 환자 상태확인 및 응급처치할 것”
	선교		
33	선장	- 고정식 CO ₂ 소화기 사용을 명한다.	“소화반, 브릿지! 고정식 CO ₂ 소화기 사용 준비토록 하라. 기관실 통풍상태 재확인하고, 환자 및 응급처치반 제외한 전 팀 Muster Station 집합하여 인원 확인할 것.”
	선교		
∴ (후략)			

Table 4 Emergency Drill Scenario of Shipping Company 'C'

훈련 내용 (Drill Content)
소화 훈련 (기관실-공작실)
본선 현황 (Vessel Status)
정상적인 주간 항해 중 (목적지 : XXX항, 육지에서 300마일)
사고개요 (Outline of accident)
14:00경 공작실에서 조기장이 용접 커튼을 설치하지 않고 또한 주위에 있는 Waste 를 제거하지 않은 채 파손된 F.O Pipe를 용접하던 중에 용접 불똥이 자신의 작업복에 튀면서 불이 붙자 당황하여 기름 묻은 Waste로 불을 끄려다 옷에 붙은 불을 끄는 사이에 불이 확산되어 조기장이 ECR로 가서 화재 사실을 2기사에게 보고함. 2기사는 즉시 W/H에 화재 사실을 보고하고 공작실로 조기장과 함께 가서 초기 진화작업을 시행함.
비상대응 (Emergency response)
<ul style="list-style-type: none"> ● 당직 항해사는 2기사의 화재 발생 보고 사실을 선장에게 통보하고, 선장의 명령에 의거 비상배치신호를 발령하고 방송한다. ● 선장은 선교에 올라와 화재 내용을 확인하고 주위 해역의 안전을 고려하여 선박을 조종하고 화재의 정도를 고려하여 Engine Stop, 연료유 V/V 차단, G/E Stop, 비상 발전기 가동, 통풍차단 등을 결정한다. <ul style="list-style-type: none"> - 등화 (조종 부자유선/조종 불능선)를 켜고 (주간에는 형상물을 게시), 필요시 VHF (또는 Horn)로 주위 선박에 통보한다. - 대한민국 항내일 경우에는 단성 5발을 취명한다. - 회사 D.P에게 화재 초기보고를 한다. - 항내 또는 항구에 근접해 있을 경우 항만 당국, 지점소(대리점 포함)에 보고 및 필요시 지원을 요청한다. ● 전 선원 Muster Station에 집합하여 일항사가 인원을 확인한 결과 2기사와 조기장 외에 전원 집합한 사실을 선장에게 보고한다. (*Remark 1) <ul style="list-style-type: none"> - 선장은 화재의 정도에 따라 집합장소를 화재장소로 직접 지시할 수 있다. - 2기사는 화재 발생, 진압 관련 제반 사항을 기록한다. (소화 훈련 전문업체의 Guide를 참조) - 방화복 착용 담당자는 즉시 방화복을 착용하고 소화 작업을 준비한다.

비상대응 (Emergency response)

- 선장은 비상배치표 업무분담에 의거 각 담당자에게 소화 장비를 지참하고 2기사와 조기장의 현황 파악 및 소화 작업을 지시한다.
 - 화재장소의 통풍을 차단하도록 지시한다. (Sky light 포함)
 - 비상 발전기를 가동한다.
 - 방화복 담당자는 즉시 방화복을 착용하여 진화작업을 준비한다.
 - 방화복 착용 요원이 방화복을 착용하는 사이에 일항사는 먼저 방화복을 착용하지 않은 소화반에게 이동식 소화기를 지참하고 현장에 가서 초기 진화를 하도록 지시한다.
 - 일항사도 함께 현장에 진입한다.
 - 방화복 요원은 준비되는 대로 진입한다.
- 기관실에 접근하려 시도했으나 짙은 연기 때문에 접근이 어려워 현장지휘를 하던 일항사는 방화복 미착용자와 함께 기관실을 탈출하고 방화복을 착용한 요원에게 2기사와 조기장의 구조작업을 하도록 지시한다.
- 선장의 지시대로 방화복을 착용한 요원은 2기사와 조기장이 공작실 입구 부근에 쓰러져 있는 것을 확인하고 구조작업에 임한다.
- 일항사는 2명을 BA만 착용하고 구조작업에 추가 투입할 것을 선장에게 건의한다.
 - Spare BA가 있는 경우에만 시행
 - 기관실 구조가 익숙한 자를 선정
- 선장은 기관실 입구의 열기 정도를 일항사에게 묻고 기관실 진입 여부를 결정한다.
- 일항사는 방화복을 착용하지 않고도 기관실에 진입할 수가 있다고 보고한다.
- 선장은 일항사에게 BA착용자의 진입을 지시한다.
- 일항사는 BA 착용자의 진입을 지시한다.
- BA착용자는 구조작업 요원과 조우하여 2기사와 조기장의 구조작업에 임한다.
- 방화복 착용 요원은 구조작업을 BA 착용자에게 위임하고 진화작업에 임한다.
- 2기사와 조기장을 Deck상까지 구조에 성공한다.
 - 구조반은 환자를 통풍이 잘되는 곳으로 이송하여 산소 소생기사용 또는 인공호흡 등의 응급조치를 취하여 환자를 안정시킨다.
- 진화반은 화재를 진압한 후에 Deck 상에 나온다.
- 일항사는 진화반이 화재진압을 완료한 사항을 선장에게 보고한다.
- 선장은 일항사와 다른 요원을 투입시켜 화재의 완전진압 여부를 확인시킨다.
 - 유해가스가 남아있을 수 있으므로 안전하게 BA를 착용하고 진입한다.
 - 진입 시 남은 불씨를 대비해서 소화기를 지참하고 진입한다.

⋮

(후략)

Table 2~4 에서는 가상의 화재 상황을 설정하고 비상소집장소에 집합한 후 지정된 소방원에게 소방원장구를 입게 하고 화재 현장의 상황이나 화재의 확산 상태 여부에 상관없이 무조건 화재 현장에 소방원을 투입하는 시나리오를 사용하고 있음을 알 수 있으며, Table에서는 소방원의 화재 현장 투입 5분 경과 후에 화재가 기관실의 20%에 해당하는 구역까지 확산되었음을 보고하는데 이 시간에 화재 확산이 20%일지 그 이상일지에 대한 근거나 검증은 제시되어 있지 않다. 또한, Table에서는 비상소집장소에 집결한 이후 소방원장구 미착용자가 화재 현장에 투입되어 초기 진화를 시도하며, 요구조자의 구조 이후에 다시 한번 방화복 미착용자를 화재 현장에 투입시키는데, 이 또한 안전한 화재진압이 가능한지 여부는 알 수 없다.

국적 선사의 시나리오를 분석해본 결과 소방원이 투입된 상황에서의 행동지침이나 예상 시간 경과 등에 대한 상세 사항을 시나리오에 포함하고 있는 선박은 전무하였다.

3.1.4 선박 소화 훈련 시나리오의 한계성

국내 대형 선사에서 실제 선박에서 사용하고 있는 소화 훈련 시나리오에서 알 수 있듯이 가상의 화재 상황을 설정하고 비상소집장소에 집합한 후 지정된 소방원에게 소방원장구를 입게 하고 무조건 화재 현장에 소방원을 투입하는 시나리오를 사용하고 있음을 알 수 있으며, 소방원이 투입된 이후에 행동 요령이나 상황 설정은 전무한 것을 알 수 있다. 또한, 화재의 확산 속도나 돌발 상황 등의 시나리오 설정에 있어서도 구체적이지 않고 추상적으로 설명되어 있음을 알 수 있다. 화재 현장으로 투입되는 순간까지의 행동 매뉴얼만을 제시하고 있을 뿐 소방원이 화재 현장으로 투입된 이후의 시나리오에 대한 과정은 생략하고 화재진압 여부에 따라 훈련을 종료하거나 퇴선훈련 시나리오로 이어가는 것이 일반적이다. 애초에 짙은 유독가스로 뒤덮인 화재 현장에 선교의 선장으로부터 지시를 받고 현장 책임자의 역할을 하는 일항사는

소방원장구를 착용하지 않는다. 따라서 현장에 투입이 될 수가 없기 때문에 소방원이 직접적으로 화재진압 작업에 종사하는 것을 볼 수가 없고, 당연히 현장 상황을 선교로 보고할 수가 없다. 따라서 현장에서의 훈련 시나리오가 있더라도 지켜지기 어렵다. 또한, 선박에서 사용하고 있는 시나리오는 특정 화재 위치에 따라 시나리오대로 행동 시 화재진압이 가능한가에 대한 검증이 되지 않은 가상의 시나리오일 뿐이므로, 시나리오상의 지침대로 행동하였을 때 실제 소요되는 시간 등의 실험을 통해 소방원의 안전을 최우선적으로 담보할 수 있는 검증된 표준 시나리오 개발이 필요하다.

3.2 선박에서의 소화 훈련 시행 현황 조사 분석

선박에서 얼마나 자주, 제대로 법정 훈련을 시행하였는지는 그 훈련에 대한 승무원들의 친숙화 정도와 직결되며, 친숙화 수준이 높은 선박은 화재 대응 훈련에 대한 이해도가 높을 것이고 이는 실제 비상 상황에서 인명구조율과 직결될 수 있으므로 선박에서 법정 훈련을 정기적 시행이 잘 지켜져야 할 것이다.

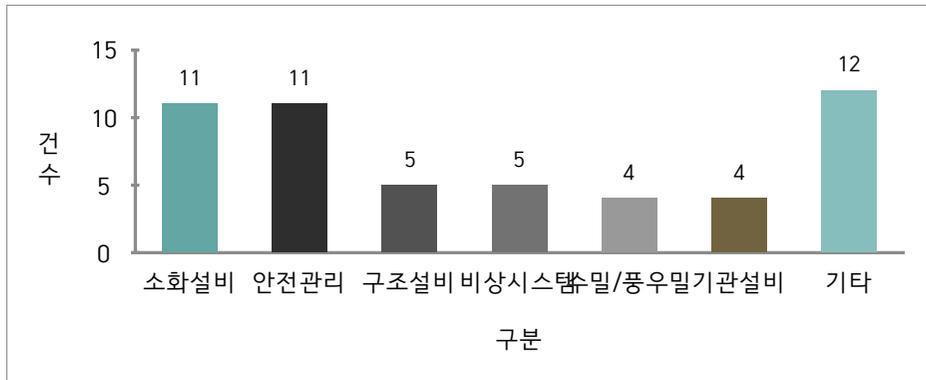
Table 5는 2009년부터 2011년까지 3년간 PSC 점검에서 출항정지 (Detainable deficiencies) 처분을 받은 경우의 항목별 건수와 그 비율을 나타낸 것이다. (Yun, 2012) 이 Table에 의하면 소화 안전 조치에 대한 출항정지가 가장 많은 것을 알 수 있다.

Table 5 Category of deficiencies type for 3 years

결함 종류	2009	2010	2011	Total	Rate
소화 안전 조치	47	45	32	124	20.5
구명 장비	37	16	16	69	11.4
ISM 관련	24	25	18	67	11.1
복원성, 구조물 관련	21	13	8	42	6.9
만재흡수선	8	17	19	44	7.3
주기관 및 보조 기계	16	14	15	45	7.4
해상오염방지	17	3	22	44	7.3
해상인명안전협약	8	12	5	25	4.1
통신	15	4	7	26	4.3
선원 자격 및 당직	16	6	1	23	3.8
항해 안전	13	6	8	27	4.5
기타	33	15	24	72	11.4
합계	255	176	175	606	100%

(Source : Yun, 2012)

한편, PSC는 Tokyo MOU 18개국, Paris MOU 27개국, Indian Ocean MOU 16개국을 대상으로 2012년 4분기 집중점검(Concentrated Inspection Campaign, 이후 CIC)을 시행하였다. Fig. 5는 2016년 국적 선박의 PSC 점검 중대결함 지적 사항을 분류한 것이다. (Kim, 2016) 이를 통해 알 수 있듯이 CIC를 통한 소화안전 시스템에 대한 집중점검을 한 이후인 2016년에도 국적 선박의 PSC 점검 중대결함 지적 사항 중 소화 설비에 의한 지적이 가장 높은 비율로 나타나고 있다.



(Source : 해양수산부, 2016)

Fig. 5 Category of detainable deficiency on 2016

Fig. 6은 국적 선박이 아닌 USCG의 2016년도 중대결함 지적 사항의 유형별 비율을 나타낸다. 미국의 중대결함 사항 역시도 소화안전 시스템에 대한 지적 사항의 비율이 26% 수준으로 가장 높게 나타났다. 이는 2009년부터 2011년까지의 유형별 출항정지 사례 통계와 비슷한 것으로 보아 소화 설비에 관련된 PSC 지적 사항이 세계적으로 가장 많은 것을 알 수 있다.



(Source : 해양수산부, 2016)

Fig. 6 Category of deficiency type by USCG on 2016

소화 설비에 관한 지적 사항에는 소화 훈련에 대한 상태 불량도 포함되며, 이는 결국 소화 훈련이 선박에서 정상적으로 시행되고 있지 않았거나 그 수준이 만족할 만한 정도가 아님을 의미한다. 또한, 선박에서 법정 훈련을 시행할 때에 통상적으로 제반 설비에 대한 점검도 이루어지므로 소화 훈련을 정기적으로 적의 시행할 경우 소화 설비 결함으로 인한 PSC 등의 지적 사례는 감소하여야 할 것이 분명하다.

앞서 살펴본 통계에 기반하면 선박에서 승무원의 인명과 막대한 재산 보호를 위해 시행하고 있는 소화 훈련의 시행 현황은 만족스러운 수준이 아님을 보여주고 있다고 하겠다. 아울러 3개 PSC MOU에서 CIC를 통해 집중적으로 소화 훈련 상태와 제반 장비의 관리·운용 상태에 대해 점검하고 Deficiency Code를 부과할 정도로 강화된 정책을 시행한 전력이 있음에도 불구하고 여전히 소화 훈련의 수준이 높지 않다는 것은, 고립된 선박에서 화재가 발생하여 이를 진압하지 못하였을 경우의 인적 물적 피해 규모를 감안한다면 체계화되고 현장에 적용 가능한 선박 화재 대응 표준화에 대한 개발의 필요성을 보여준다 할 수 있다.

3.3 선박 화재 대응을 위한 의식 조사 분석

승무원들이 가지고 있는 선상 소화 훈련에 대한 인식을 파악하고 실제 화재 시에 수소화를 통해 승무원에 의해 화재를 진압할 수 있다면 그 수준은 어느 정도인지 파악하기 위하여 실제 승무원으로서 현직에 종사하거나 그 경험을 토대로 관련업에 종사하는 사람들을 대상으로 선내에서의 소화 훈련과 제반 장비들에 대한 설문을 실시하였다. 이를 토대로 실제 선박에서의 소화 훈련 실태와 현업 종사자들이 생각하는 소화 훈련과 그 제반 장비들에 대한 인식 등을 조사·분석하였다.

3.3.1 설문 구성 내용 설계

설문지는 승무원의 선박 화재 대응에 대한 인식을 조사하기 위해 크게 6항목으로 구성하였다. 일반사항, 승무원과 기계의 소화 효율성 비교, 소방원장구와 화재제어장소의 위치 적정성, 소화 훈련의 효과, 실제 소화 작업 및 부상자 구출 가능 여부, 소방원장구 이용 화재진압 가능성과 개선의 필요성으로 구성하였다.

Table 6은 승무원의 인식을 조사하기 위한 설문의 상세 항목들을 나타낸 것이다. 승무원과 기계의 소화 효율성 비교 항목에서는 스프링클러(Sprinkler)를 설치하였을 경우 그 효율성 비교, 설치 의무화에 대한 의견, 설치 시의 문제점 등으로 구성하였다. 소방원장구와 화재제어장소 위치 적정성 항목에서는 소방원장구 비치 장소의 적정성, 적절한 비치 장소, 화재제어장소 내의 각종 기기 작동 경험, 적정 화재제어장소 위치 등으로 구성하였다. 승무원의 경험상 소화 훈련의 효과 항목에서는 승무원에 의해 진압이 가능한 화재 크기의 정도, 실제 화재 시 소화 훈련의 효과, 그 효과가 없는 이유, 암흑 속에서의 소화 훈련 경험 여부 등으로 구성하였다. 소화 작업 및 부상자 구출 가능성 여부 항목에서는 소화 호스 사용 시 이동과 소화의 용이성, 소방원장구 착용 시 소화 작업의 원활성, 부상자 구출 및 운반의 가능성, 불가능 시 그 이유 등과 같이 구성하였다. 마지막으로 현재의 소방원장구 이용 시 화재진압 가능성과 장구 개선의 필요성에 대한 질문으로 구성하였다.

Table 6 Questionnaire Categories

평가영역	번호	평가지표
일반사항	1-1	직책
	1-2	소화 훈련 참여 경력
	1-3	선내 화재 시 최우선적 조치에 대한 의견
승무원과 기계의 소화 효율성 비교	2-1	승무원과 스프링클러 소화의 효율성 비교
	2-2	스프링클러 장치 설치 의무화 여부
소방원장구와 화재제어장소 위치의 적정성	3-1	소방원장구 비치 장소의 적정성 여부
	3-2	적절한 소방원장구 비치 장소
	3-3	화재제어장소(F.C.S) 내의 각종 기기 작동 경험
	3-4	적정 화재제어장소의 위치
승무원의 경험상 소화 훈련의 효과	4-1	승무원에 의해 진압이 가능한 화재 크기의 정도
	4-2	실제 화재 시 소화 훈련의 효과
	4-3	소화 훈련이 실제 화재 시에 효과가 없는 이유
	4-4	실제와 같은 암흑 속에서의 소화 훈련 경험 여부
실제 화재 시 소화 작업 및 부상자 구출 가능성 여부	5-1	소화 호스 사용 소화 작업 시 이동과 소화의 용이성
	5-2	소방원장구 착용 후 소화 작업의 원활성
	5-3	화재 시 부상자 구출 및 운반의 실제 가능성 여부
	5-4	부상자 구출 및 운반 불가능의 이유
현 소방원장구 이용 화재진압 가능성과 개선의 필요성	6-1	초기진압 실패 이후 승무원에 의한 소화 가능성 여부
	6-2	소방원장구 보관장소의 재배치 필요성
	6-3	소방원장구 개선의 필요성

3.3.2 선박 화재 대응 적정 방안 조사 분석

설문조사는 현직 해기사 88명에 대해 실시하였으며, 이들의 직책은 선장/기관장 18명, 1등 사관 28명, 2등 사관 22명, 3등 사관 7명, 감독 2명, 교원 6명, 부원 5명으로 구성되었다. 승무 경력은 1년 미만이 5명, 1~2년 5명, 3~4년 24명, 5~6년 25명, 7년 이상이 29명이었다.

전체 설문 참여자 중 교원이나 감독 등을 포함한 1등 사관 이상의 시니어 사관 급 승무원의 비율은 61% 이상이었으며, 5년 이상 승선자의 비율이 56%였다.

(1) 선내 화재 시 최우선적인 조치 사항 조사

Table 7은 승무원들이 생각하는 선내 화재 시 최우선적인 조치 사항에 관한 결과이다. 거주구역에서 화재가 발생하였을 경우 가장 우선적으로 취하여야 할 조치로는 과반수 이상이 초기화재 진압이라고 응답하였는데 초기화재 진압(53%), 화재경보 울림(28%), 선교 통보(10%), 인원파악 및 부상자 구조(8%) 순으로 조사되었다.

Table 7 Top priority action for fire-fighting

	빈도	퍼센트
인원파악 및 부상자 구조	7	8.0
초기화재 진압	47	53.4
브릿지 통보	9	10.2
화재경보 울림	25	28.4
합계	88	100.0

3.3.2 승무원과 기계의 소화 효율성 비교 분석

Table 8은 승무원에 의한 수소화와 스프링클러의 소화 효율성 비교에 대한 응답 결과이다. 선내 임의의 장소에 화재가 났을 경우 스프링클러 장치가 설비되어 있는 경우와 승무원들이 직접 소화 작업을 시행하는

경우에 응답자의 59%가 스프링클러가 설치된 경우가 더 효과적이라고 응답하여 본선 승무원의 직접 소화(31%)에 비해 장비를 통한 화재진압이 더 효과적일 것으로 예상하였다.

Table 9는 스프링클러 장치를 의무적으로 설치하는 것에 대한 승무원들의 생각을 나타낸 것이다. 화물선의 거주구역에도 스프링클러 설치를 의무화해야 한다고 생각하는 응답자는 66%에 이르렀다.

Table 8 Comparison of extinguishing efficiency of seafarer and sprinkler

구분	빈도	퍼센트
스프링클러가 설치된 경우	52	59.1
본선 승무원의 직접 소화 작업	27	30.7
둘 다 같다.	9	10.2
합계	88	100.0

Table 9 Mandatory installation of sprinkler device

구분	빈도	퍼센트
스프링클러 설치 의무화	58	65.9
스프링클러 설치 불필요	25	28.4
모름	5	5.7
합계	88	100.0

앞선 3문항의 설문결과를 살펴보면 승무원들의 경우 선박 화재 사고 발생 시에 승무원들에 의한 직접 소화 작업보다는 의무적으로 선박에 설치되어 있는 장비에 의한 소화 작업이 더욱 효과적이며 필요한 것으로 인식하고 있었다.

(3) 소방원장구와 화재제어장소(Fire Control Station) 위치의 적정성 조사

Table 10은 현재의 소방원장구의 비치 장소가 적절한지에 대한 응답

결과이며, Table 11은 통상 소방원장구가 비치된 화재제어장소의 적절한 위치에 대한 설문 결과이다.

설문 참여자의 61%가 소방원장구의 비치 장소가 소집 장소로부터 너무 멀어 불편하거나 시간이 많이 걸려 문제가 있다고 응답하였으며, 소집장소 근처의 외부 갑판에서 직접 출입할 수 있는 보관장소를 별도로 설치하여야 한다는 응답자는 59%에 달하였다. 현행 그대로 문제가 없다는 의견은 22%에 불과하였다.

Table 10 Properness of the location of fire-fighter' s outfit

구분 (소방원장구의 비치 장소)	빈도	퍼센트
현행 장소는 문제가 있음	54	61.4
큰 문제 없음	33	37.5
합계	87	98.9

Table 11 Proper location for fire-fighter' s outfit

구분 (소방원장구 적정 비치 장소)	빈도	퍼센트
현재 그대로	32	36.4
보관장소 별도설치	52	59.1
그 외의 장소	4	4.5
합계	88	98.9

그러나 화재제어장소의 위치에 대해서는 외부 갑판 쪽에 별도의 위치에 설치되어야 한다는 의견이 가장 많았다.(59%) 현재 그대로 괜찮다는 의견은 36%에 불과하였는데 Table 12는 가장 적절한 화재제어장소의 위치에 대한 승무원들의 응답 결과이다.

Table 12 Most appropriate location of F.C.S

구분 (FCS 위치)	빈도	퍼센트
현재 그대로	32	36.4
외부 갑판에 별도설치	52	59.1
그 외의 장소	4	4.5
합계	88	100.0

결국 소화 훈련이나 실제 소화 작업 시에 필히 경유할 수밖에 없는 소방원장구의 비치 장소와 화재제어장소의 위치에 대해서는 개선이 필요한 것으로 조사되었다.

(4) 승무원의 경험상 소화 훈련의 효과 조사

Table 13은 승무원에 의한 수소화가 가능한 화재 크기의 정도에 대한 승무원들의 생각을 나타낸 것이다. 승무원들은 승무원들에 의해 소화가 가능한 정도의 화재는 초기화재(38%)와 소형화재(56%) 정도까지라고 생각하는 것으로 드러났다. 중형화재(6%)와 그 이상의 대형화재(1%) 발생 시 승무원에 의해 소화가 가능하다고 생각한 응답자는 7%에 불과하였다.

Table 13 Fire size to be suppressed by the crew

구분	빈도	퍼센트
초기화재	33	37.5
소형화재	49	55.7
중형화재	5	5.7
대형화재	1	1.1
합계	88	100.0

Table 14는 소화 훈련이 실제 화재 시에 효과가 있겠는지에 대한 응답 결과이다. 소화 훈련 자체의 효과에 대해서는 약 78%의 승무원이 소화 훈련을 실시하는 것이 실제 화재 시에 효과가 있을 것으로 생각하였다.

Table 14 Effect of fire-fighting drill in actual fire

구분 (소화 훈련의 효과)	빈도	퍼센트
실제 화재 시 효과 있음	68	78.2
실제 화재 시 효과 없음	19	21.8
합계	87	100.0

반면 소화 훈련이 효과가 없는 이유로는 ‘소화 훈련을 실제상황처럼 시행하기 어려움’ (24%), ‘화재경보 발령 후 소집장소 집합 및 소방원장구 착용 및 화재장소 진입시간에 화재가 이미 확산되어 소화할 수 없음’ (21%), ‘실제 화재 시 캄캄하여 활동이 불가함’ (18%), ‘잡은 승무원 교대로 인한 훈련 숙달 불가’ (12%) 등의 순위로 조사되었다.

그러나 중형 및 대형화재가 발생하였을 경우 승무원에 의해 소화가 가능할 것으로 응답한 승무원의 비율은 극히 적었다. 하지만 소화 훈련이 실제 화재 시에 효과가 있다는 의견이 많은 것은 화재가 초기화재 또는 소형화재 크기일 경우에 한정되는 것이라 할 수 있겠다.

실제 화재 시와 같이 암흑 속에서 소화 훈련 시행 경험 여부에 대해서는 실제 화재 현장과 같이 캄캄한 상태에서 소화 훈련을 해본 경험이 있는 승무원의 비율은 24%에 그쳤으며 76%가 캄캄한 상태에서의 소화 훈련 경험이 없는 것으로 조사되었다.

(5) 실제 화재 시 소화 작업 및 부상자 구출 가능성 여부

Fig. 7은 소화 호스를 사용하여 소화 작업 시에 이동과 소화의 용이성에 대한 응답 결과이다. 소화 호스를 가지고 소화 작업을 수행할 때 수월하게 화재장소까지 진입하고 장애물이나 선내 구조물 등을 피하여 화재진압을 할 수 있다고 생각하는 승무원의 비율은 2%에 그쳤다. 어렵다고 느끼는 경우가 가장 많았고(53%) 매우 어렵다고 생각하는 경우가 그 뒤를 이었다.(23%)

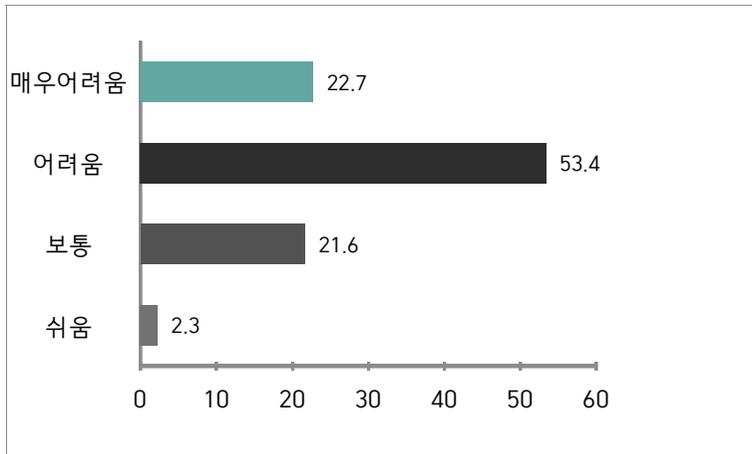


Fig. 7 Ease of movement and extinguishment with fire hose

Fig. 8은 소방원장구 착용 후 소화 작업이 원활한가에 대한 승무원들의 응답 결과이다. 60%의 승무원이 소방원장구를 착용하고 소화 작업을 전반적으로 원활하게 할 수 없다고 생각하고 있으며, 매우 어렵다라는 응답자의 비율이 17%로 77%가 소방원장구 착용 후의 소화 작업에 부정적인 의견을 보였다. 쉽게 소화 작업이 이루어질 수 있다고 생각하는 승무원의 비율은 1%에 불과하였다.

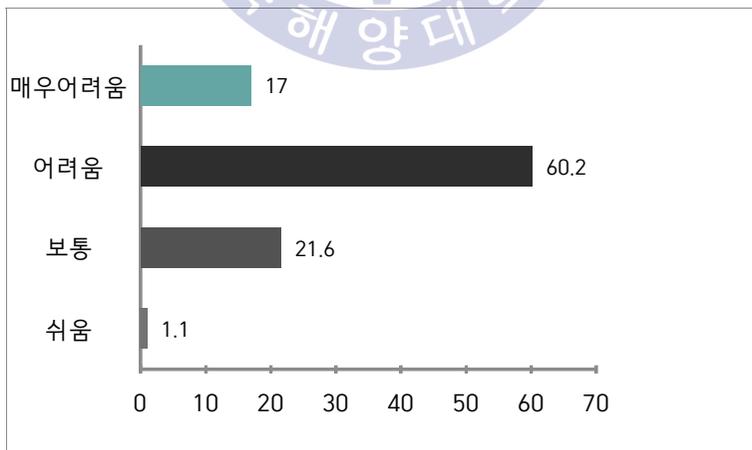


Fig. 8 Effective fire-fighting when in a fire-fighter's outfit

또한, 소화 훈련 중 부상자가 발생하였을 경우에 실질적으로 부상자를 구출하고 운반하는 것이 가능할 것이라는 응답자는 44%로 불가능할 것(43%)이라는 의견과 비슷한 것으로 나타났다. 13%는 모름이라 답했다.

부상자의 구출 및 운반이 불가능한 이유로는 ‘소방원장구를 착용한 상태에서 계단 및 도어 등의 장애물을 통과하여 부상자를 처리할 수 없음’ (40%)의 의견이 가장 많았으며, ‘소방원장구의 무게가 무겁기 때문에 부상자까지 운반하기 어려움’ (37%), ‘부상자의 무게를 두 사람이 감당할 수 없음’ (14%), ‘자장식 호흡구의 공기 용량이 부상자 구출 및 운반에 부족함’ (5%) 등의 순서로 나타났다.

(6) 소방원장구 이용 시 화재진압 가능성과 개선의 필요성 조사

Fig. 9는 승무원들은 초기소화를 할 수 있는 능력만 있으면 되고, 초기 단계를 지난 화재는 사람의 힘으로 어쩔 수 없으며, 설비된 소화 장비를 사용하여야 하는가에 대한 설문결과를 나타낸다.

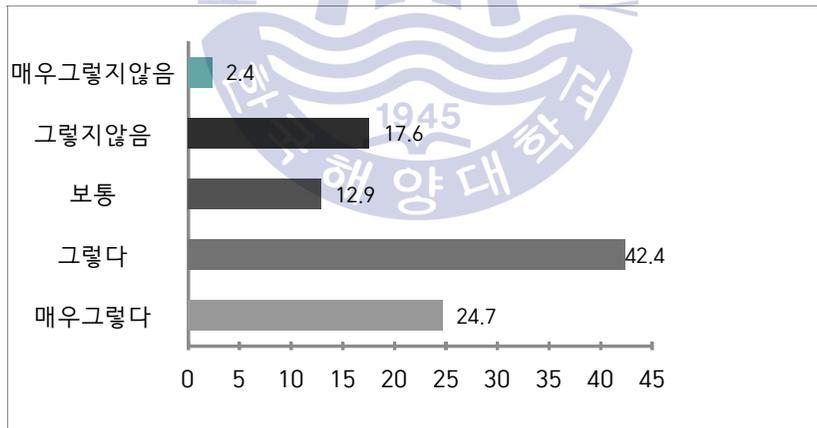


Fig. 9 Fire beyond the initial stage should use non-crew equipment

승무원이 아닌 소화 설비를 이용하여야 한다는 응답자는 67% 수준이었으며, 초기화재 이상의 큰불이 발생하였더라도 승무원의 힘으로 소화를 해야 한다는 응답자의 함은 20% 수준으로 중형 이상의 화재는 승무원이 아닌 장비의 도움을 받아야 한다고 생각하는 승무원의 비율이

높았다.

Fig. 10은 소방원장구의 보관장소를 외부 갑판에서 접근 가능한 장소로 재배치해야 하는가에 대한 응답 결과이다. 소방원장구의 보관장소를 화재 시 연기로부터 자유로운 외부 갑판에서 접근할 수 곳으로 재배치해야 한다는 의견이 64%로 높았다. 보관장소의 재배치에 대해 부정적인 승무원은 3.5%로 나타났다.

SOLAS II-2장 52 규칙에 의하면 소방원장구 2조는 각각 멀리 떨어진 장소에 보관하도록 규정하고 있다. 따라서 소방원장구 착용자로 지정된 승무원은 각각의 소방원장구를 각각 다른 보관장소로부터 소집장소로 가져와서 다른 승무원들의 도움을 받아 장비를 착용하게 되는데 이는 현행 대부분의 소화 훈련 시나리오에서 소화 작업 시 2인 1조 작업을 원칙으로 하고 있는 사실에 비추어볼 때 불합리하다 할 수 있다. 따라서 불필요한 시간을 줄여 화재의 확산을 방지하고 연기로부터의 안전성도 담보할 수 있도록 설문결과와 같이 외부 갑판에 소방원장구를 보관토록 하는 것이 타당한 것으로 생각한다.

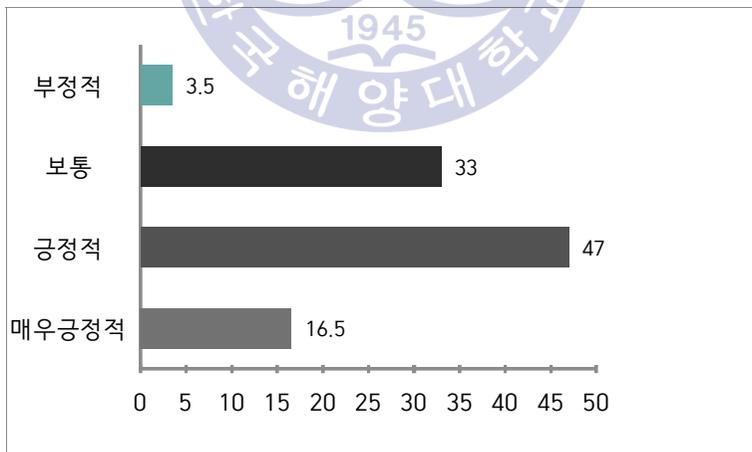


Fig. 10 Necessity of relocation of fire-fighter's outfit

Fig. 11은 소방원장구 개선이 필요한가에 대한 승무원들의 설문

결과이다. 승무원들은 소방원장구 자체에도 개선의 필요성을 느끼는 것으로 드러났는데, 소방원장구 자체를 경량화하고 편의성을 증대시킬 수 있도록 개선할 필요가 있다는 의견에 매우 긍정적인 응답자는 63%, 긍정적(34%)인 응답자의 합은 97%로 나타났다.

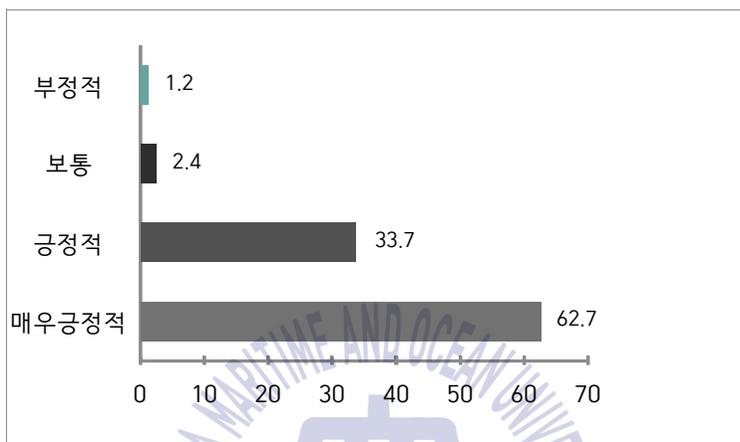


Fig. 11 Necessity of improvement of fire-fighter's outfit

3.4 선박 화재 대응 표준화 마련을 위한 설문 분석 요약

설문 참여자는 전체 88명 중 중견급 사관(1등 사관 이상)의 비율이 61%이었고, 소화 훈련 참여 경험이 5년 이상 되는 비율이 61%였을 만큼 소화 훈련에 대한 경험이 많은 승무원들이다.

이 설문결과에서 승무원들은 화재 시에 직접적인 승무원에 의한 소화보다는 스프링클러 시스템과 같이 선박에 설치되어 있는 장비에 의한 소화가 더욱 효과적이며 의무적으로 설치할 필요가 있다고 답변하였다.

소화 훈련이나 실제 소화 작업 시에 소방원장구 지참 등의 이유로 필히 경유해야 하는 소방원장구의 비치 장소나 화재제어장소(Fire Control Station)의 위치에 대해서도 화재 확산 시간 단축 등의 이유로 문제가 있는 것으로 인식하였다.

또한, 소화 훈련 자체는 효과가 있다고 인식하였으나 소형화재 수준

이하의 화재에 대해서만 소화가 가능하고 그 이상의 소위 ‘큰불’에 대해서는 승무원이 직접 소화하는 것은 맞지 않다고 인식하는 승무원의 비율이 높았다.

또한, 소화호스를 사용하여 소화 작업을 하는 것이 기본적으로 용이하지 않다고 느끼며, 소방원장구를 착용하였을 때 원활하게 소화 작업을 하는 것이 불가능하다고 생각하였다. 초기 단계 이상의 화재 시에는 승무원의 직접 소화보다는 고정식 CO2 소화기 등의 장비를 이용하여야 한다는 의견이 많았으며, 소방원장구의 위치는 외부 갑판에서 접근 가능한 장소로 재배치해야 하며, 소방원장구 자체도 개선의 필요성을 느끼는 것으로 조사되었다.

소화 훈련 자체는 효과가 있기 때문에 제대로 시행하여야 할 것이나, 화재 시에 승무원에 의한 소화 가능 화재의 정도는 한계가 있으며, 소화호스를 다루거나 소방원장구를 착용한 상태에서 소화 작업이 전반적으로 원활하지 못하므로 장비의 개선이 이루어져야 하고, 중형 이상의 화재 시에는 승무원에 의한 소화는 의미가 없다고 생각하는 것으로 분석되었다.

4. 선박 화재 대응 표준화 방안 설계

앞선 설문조사 결과를 바탕으로 실제 선박에서 화재가 발생하였을 경우 화재 현장에 승무원이 도착하였을 때 예상되는 화재의 크기를 알아보기 위하여 실제 화재 시 비상소집장소까지 집합 시간을 측정하고 실제 선박에서의 집결시간을 추산하여 화재가 어느 정도 확산되는지 여부를 확인해보았다. 또한, 승무원들은 소화 호스를 사용하여 소방원장구 착용자가 수소화를 통해 화재를 진압하는 것에 대해서도 부정적인 인식을 나타내었는데, 실제 살펴본 선박에서 사용되고 있는 시나리오들의 경우 일단 화재가 났을 경우 화재의 크기나 확산 정도 등 기관실 내부의 상황이나 투입되는 소방원의 화재진압 가능성 등의 검증은 거치지 않고 일단 화재 현장으로 투입하여 수소화 작업을 실시하는 것으로 되어 있다.

이 장에서는 실험을 통해 화재 발생 시에 소방원장구 착용자가 화재가 발생한 기관실 내부로 진입할 때까지의 소요시간 측정과 화재 확산 정도를 추정하며, 소방원이 화재 현장에 진입하여 이동하는데 걸리는 시간을 측정하고, 여러 선박의 도면 검토를 통해 실제 선박에 적용하여 화재 현장에서 소방원의 이동시간을 제외한 순수 소화 작업시간을 추산하여 승무원에 의한 수소화가 가능한지에 대해 알아보고자 한다.

이 연구에서는 대형 선사 소속 선박에서 실험이 어려운 관계로 대학 실습선을 활용하여 10m 당 이동 속도를 추산하였으며, 일반 선박은 거리를 측정하여 평균적 이동시간을 측정하였다.

4.1 선박 화재 대응의 정량화를 위한 실험 분석

선박 화재 시 승무원의 대응 정량화를 위해 우선 실제 선박에서 정해진 경로를 따라 이동하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 실험은 실습선을 활용하여 선박 친숙화가 완료된 실습생을 대상으로 하였다. 화재 확산

정도를 추정하기 위한 선박 내 특정 경로 이동 실험과 소방원장구 착용자의 이동 속도 추산을 위한 소방원장구 착용자의 이동 실험으로 나누어 시행하였다.

4.1.1 화재 신호 발령 시 비상소집장소까지 집합 시간 측정

대부분의 선박에서 사용하는 소화 훈련 시나리오에서는 선내 화재 발생 시 승무원들은 먼저 비상소집장소(Muster Station)에 집합하여 인원 확인을 한 후 자신의 임무를 수행하도록 하고 있다. 이 연구의 실험에서는 화재 신호를 인지한 승무원이 정해진 본선의 비상소집장소로 이동하는데 소요되는 시간을 측정하였다. Table 15는 국내 대형 선사의 선박에서 실제 사용 중인 소화부서 비상배치표(Muster List)이다. 배치표의 구성을 살펴보면, 크게 지휘반과 현장반으로 나뉘며 현장반은 현장지휘, 소화 1반, 소화 2반, 구조반으로 나뉜다. 소화반은 각각 4명씩으로 구성되며 현장의 총지휘는 1등항해사가 맡는다. 2조의 소화반에서 각 1명이 소방원장구 착용자로 지정되어 있으며 선장은 선교에서 총지휘를 한다.

국내 대형 선사 소속 선박들이 실제 사용하고 있는 Muster List를 살펴보면 대부분의 선박에서 화재 시 실제 화재진압 작업에 종사하도록 하는 소화반의 경우 8~9명의 승무원으로 구성하고 있기 때문에 8인 1조로 하여 지정된 위치에서 비상소집장소까지 이동하는데 걸리는 시간을 측정하였다.

Table 15 Fire-fighting Emergency Muster list

소화부서 비상배치표 (FIRE-FIGHTING)				
직책 RANK	총 지 휘 / 당 직 반	선교	선교에서 총지휘 BRIDGE, OVERALL CONTROL	
2항사 2/O			BRIDGE	선교 당직, 상황기록, 트랜시버, 선장보좌 BRIDGE WATCH & RECORD KEEPING, TRANSCIVER, ASSISTANCE TO CAPT.
갑판수 A QMA				선교 당직 및 조타 BRIDGE WATCH & STEERING
항통사 M/O		통신실 R/RM	통신업무, 승객 소집 (REMARK 6 참조) COMMUNICATION, PASSENGER CALL (REFER TO REMARK 6)	
기관장 C/E		기관실	기관실 총지휘, 트랜시버 ENGINE ROOM CONTROL, TRANSCIVER	
2기사 2/E			비상 발전기 작동, (비상)소화펌프작동, 트랜시버 OPERATION OF EMERGENCY G/E, OPERATION OF (EM'CY) FIREPUMP, TRANSCIVER	
실항사 실기사 AO/AE		ENG. PARTY	선교, 선장의 지시 수행 BRIDGE, MADE UNDER MASTER'S INSTRUCTION	
1항사 C/O			현장 소화 작업 지휘, 트랜시버, 고정식 소화 장치 ON-SCENE CONTROL, TRANSCIVER, OPERATION OF FIXED FIRE EXTINGUISHER	
1기사 1/E		CONTROL SUPPORT	소화 작업 지원, 트랜시버 SUPPORT OF FIRE FIGHTING, TRANSCIVER	
3기사 3/E			현장 전원 차단 및 통풍차단 CUT-OFF THE SCENE ELECTRIC POWER & VENTILATION	
갑판장 BSN	현 장 / O N T H E S C E N E	소화 1반	소화 작업 1반장 / 소화 호스 준비 FOREMAN OF NO.1 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE	
갑판수B QMB			소화 작업 / 방화복 착용 (필요시) FIRE FIGHTING / PUT ON FIREMAN'S OUTFIT (IF NECESSARY)	
갑판수C QMC		NO.1 FIRE FIGHTING	소화 작업 / 소화 호스 준비 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE	
갑판원B SLRB			소화 작업 / 소화 호스 준비 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE	
조기장 NOICLR		소화 2반	소화 작업 2반장 / 소화 호스 준비 FOREMAN OF NO.2 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE	
기관원 A WPRA			소화 작업 / 방화복 착용 (필요시) FIRE FIGHTING / PUT ON FIREMAN'S OUTFIT (IF NECESSARY)	
갑판원 A SLRA	NO.2 FIRE FIGHTING	소화 작업 / 소화 호스 준비 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE		
기관원B WPRB		소화 작업 / 소화 호스 준비 FIRE FIGHTING / PREPARATION OF FIRE HOSE		
3항사 3/O	RESCUE PARTY	구조반장 / 구급상자, 트랜시버 LEADER OF RESCUE PARTY / FIRST-AID KITS, TRANSCIVER		
조리장 C/S		구조작업 / 모포, 들것 FIRST-AID TREATMENT / BLANKET, STRETCHER		
조리수 COOK		구조작업 / 모포, 들것 FIRST-AID TREATMENT / BLANKET, STRETCHER		
<p>REMARKS</p> <p>1. 정규 승무원 이외의 기타 인원은 승선시 부여받은 비상배치 위치에서 선장의 지휘를 받는다. THE PERSON EXCEPT CREW SHALL BE UNDER MASTER'S COMMAND AT MUSTER STATION ENDOWED AT THE TIME OF ON-BOARD</p> <p>2. 비상시 만약 핵심요원 중 다치거나 업무를 수행할 수 없는 경우가 발생한 경우에는 업무 대행자는 다음과 같다. 선장->일항사, 일항사->2항사, 2항사->3항사(나머지 요원은 필요시 선장이 업무를 부여한다) IF ANY KEY PERSONNEL ARE INJURED/UNAVAILABLE TO TAKE THEIR POST IN THE EVENT OF AN EMERGENCY THE FOLLOWING ALTERNATIVE CREW SHALL ASSUME THAT POSITION : CAPT->Q/C/O->2/Q/2/O->3/O(OTHER CREWS CAN BE ASSIGNED BY CAPT IF IT'S NECESSARY)</p> <p>3. 상기 개인별 업무 구분에도 불구하고 화재 발생 시 즉시 소화반 및 구조반원은 휴대용 소화기를 지참코 화재 현장으로 출동, 화재의 초기진압에 임하여야 하며 초기진압 실패 시 개인별 임무를 복귀한다. IN SPITE OF ABOVE PERSONAL DUTY, ALL FIRE FIGHTING CREW SHALL GO TO THE SCENE WITH PORTABLE FIRE EXTINGUISHER AS SOON AS FIRE BREAKS OUT, AND DEAL WITH THE FIRE, THEN COME BACK TO ABOVE PERSONAL DUTY WHEN THE FIRE FIGHTING IS FAILED</p> <p>4. 고정식 소화 장치는 반드시 선장의 명에 의해 작동되어야 하며, 고정식 CO2 소화 장치는 작동 전에 반드시 인원점검이 이루어져야 한다. FIXED FIRE FIGHTING EXTINGUISHER MUST BE OPERATION BY MASTER'S ORDER, AND FIXED CO2 FIRE EXTINGUISHER MUST BE OPERATED AFTER CALL THE ROLL.</p> <p>5. 소화 설비 관리 책임자는 1항사이다. C/O IS RESPONSIBLE FOR MAINTENANCE OF FIRE APPLIANCES.</p> <p>6. 항통사가 미승선할 경우 선장이 그 임무를 수행하되, 선교당직자는 GMDSS 장비 운용을 포함하여 선장을 보좌하여야 한다. IF M/O DOESN'T BOARD, CAPT. SHALL TAKE HIS DUTY AND THE OFFICER IN CHARGE OF WATCH ON BRIDGE SHALL ASSIST HIM INCLUDING OPERATION OF GMDSS EQUIPMENT.</p>				

먼저 비상소집장소에 집합하여 인원 확인 후 소방원장구를 가져오는 시나리오를 실험하였다. 실험은 승무원이 주갑판(Main Deck)의 선실에서 방과 갑판(Shelter Deck)의 비상소집장소까지의 이동시간을 측정하였다. 이는 한바다호의 실제 비상배치표와 시나리오에 따른 것으로 8인 1조의 승무원 중 마지막 인원이 비상소집장소에 집합 완료한 시간을 측정하였으며, 실험 대상은 선박 친숙화 교육 및 훈련을 완료한 실습사관이다.

도면상 총 단면 거리 42m를 이동하여 비상소집장소에 집결하여 다시 15m를 이동하여 소방 보관함(Fire Locker)에서 소방원장구 2조를 챙겨 비상소집장으로 돌아오는 실험을 하였다.

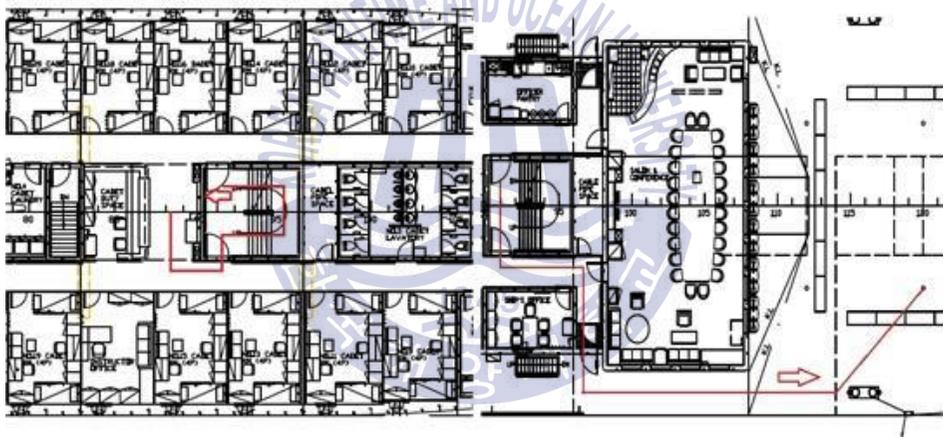


Fig. 12 Route_1 (from Cabin to Muster STN)

Fig. 12는 선박 도면상에서 선실에서 비상소집장소까지 집합할 때 이동 경로를 나타내고 있다. 실습선의 주갑판의 선실에서 방과 갑판의 비상소집장소까지의 이동 경로를 나타내며 도면상 단면 거리는 42m다.

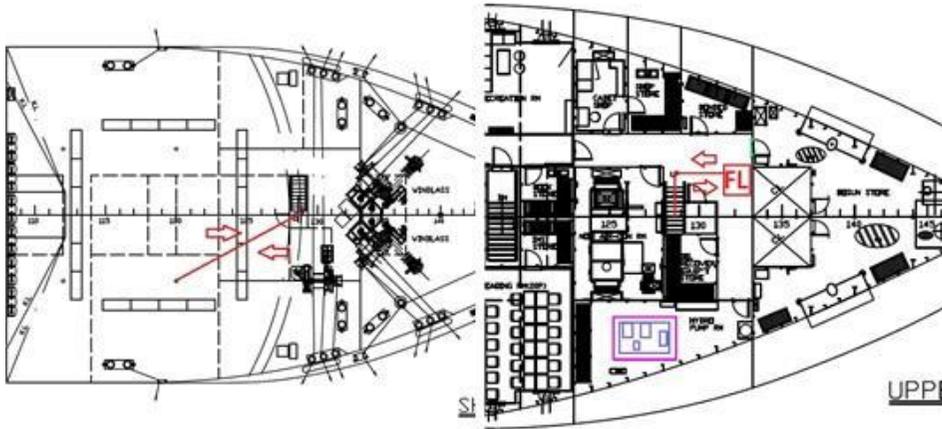


Fig. 13 Route_2 (from Muster STN to Muster STN via F.L)

Fig. 13은 비상소집장소에 모인 승무원들이 다시 소방 보관함으로 가서 소방원장구를 챙겨서 비상소집장소에 재집결할 때의 이동 경로를 도면상에 나타내었다. 도면상 이동 거리는 15미터이다.

Table 16은 선박 화재 발생 시 비상소집장소까지 소요된 측정된 이동시간 결과에 대해 나타내었다.

Table 16 Measured movement time

이동 경로	선실 → 비상소집장소	비상소집장소 → F.L → 비상소집장소	합계
단면 거리	42미터	15미터	57미터
1조	1분08초	1분28초	2분36초
2조	1분26초	1분22초	2분48초
평균	1분17초	1분25초	2분42초

8인 1조의 승무원이 화재 신호를 인지하고 비상소집장소에 모였다가 소방원장구를 챙겨 비상소집장소로 다시 집합하는데 걸린 시간을

측정하는 이 실험에서 평균 57미터를 이동하는데 걸린 시간은 2분 42초였다.

그러나 하원재(2016)의 연구에 따르면 실제 선박에서는 화재 신호 발령 시 특정 승무원에게 비상소집장소에 집합하면서 소방원장구를 챙겨서 집합하도록 하는 경우가 더 많다. 따라서 앞선 실험과 마찬가지로 8인 1조의 실험자가 주갑판의 선실에서 화재 신호를 인지하고 소방보관함에서 소방원장구를 챙겨서 비상소집장소에 집합하는 실험을 진행하였다.

Fig. 14는 선실에서 주갑판을 경유하여 소방원장구를 가지고 비상소집장소까지 모일 때의 이동 경로를 나타낸 것이다.

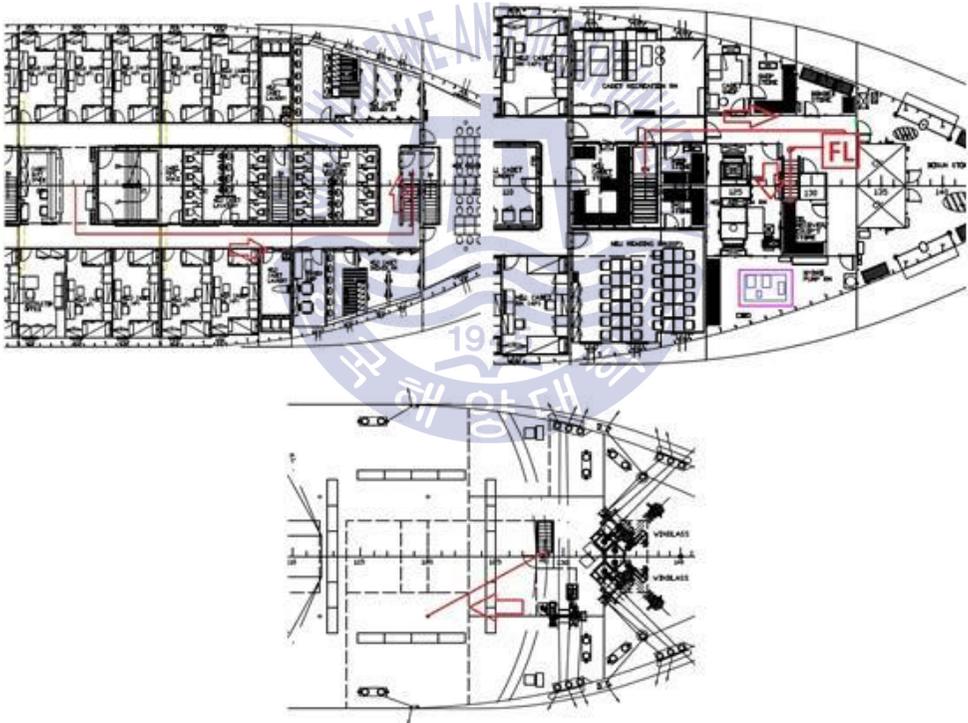


Fig. 14 Route_3 (from Cabin to Muster STN via F.L)

주갑판의 선실에서 화재 신호 발령 후 상 갑판(Upper Deck)의 소방보관함에서 소방원장구를 챙겨 방파 갑판의 비상소집장소에 집결하는

경로이며, 도면상 단면 거리는 52미터이다. Table 17은 실험에 대한 결과이며, 실험의 도면상 총 단면 거리는 52미터이며 실험 대상은 앞선 실험과 동일하다.

Table 17 Measured movement time

이동 경로	선실 → F.L → 비상소집장소	
단면 거리	52미터	
구분	1조	2조
소요시간	2분 16초	2분 16초
평균	2분 16초	

8인 1조의 승무원이 화재 신호를 인지하고 비상소집장소에 집합하는 중에 소방보관함에서 소방원장구를 챙겨 비상소집장소에 도착하는 경우 52미터를 이동하는데 2분 16초가 소요됨을 알 수 있다.

두 경우에 대한 실험 결과를 단면 거리 10미터에 대한 시간으로 환산할 경우 비상소집장소에 모였다가 소방원장구를 챙겨 다시 비상소집장소로 집합하는데 걸리는 시간은 28.4초이며, 비상소집장소에 집합하면서 소방원장구를 챙겨서 집합하는 경우는 26.1초이므로 화재 신호 발령 시 소방원장구를 담당하도록 지정된 승무원이 지정된 장소에서 소방원장구를 미리 가지고 비상소집장소에 집합하도록 반복 훈련하는 것이 효과적이다. 따라서 각 선박별 집결 소요시간을 제시하기 위해서는 본선의 소방원이 통상 위치하는 장소에서 소방원장구 비치 장소를 거쳐 비상소집장소까지의 거리를 측정하여 10미터 당 26.1 초의 시간을 적용하면 될 것이며, 이 연구에서는 정량화를 위해 평균치를 적용하였다.

4.1.2 선박 화재 대응 시간 표준화 마련을 위한 정량화

선박의 기관실에서 화재가 발생하였을 경우, 효과적으로 인명사고 없이

화재를 진압하려면 소방원이 화재 현장에 투입되어 순수하게 수소화를 통해 화재진압 작업을 실시하는 시간이 충분히 확보되어야 할 것이다. 따라서 이 연구에서는 선박 친숙화 교육 및 훈련을 마친 실습선 한바다호 실습승무원을 대상으로 실험을 실시하였는데, 실제 소방원장구 착용자가 2인 1조로 하여 소방원장구를 착용하고 일정한 경로를 통하여 소화호스를 들고 이동을 하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 또한, 실제 화재 시에 소방원장구 착용자가 소화전으로부터 해수가 유입되는 즉, 소화호스에 수압이 작용하는 상태에서 이동하였을 때와 그렇지 않을 때의 같은 이동 경로에서의 이동시간 차이를 비교하였다. 또한, 현대의 대형화된 선박의 기관실은 계단을 많이 이용할 수밖에 없는 구조이므로 계단을 오르내릴 때 걸리는 시간을 측정하였으며 이 경우 역시도 소화호스의 수압작용 여부에 따른 소요이동시간 차이를 비교하였다.

4.1.2.1 소방원장구 착용 소요 시간 측정

화재신호가 발령되면 먼저 화재가 일어난 장소로 가서 화재진압 작업을 시작하기 전에 소방원장구를 착용해야 한다. 대부분의 선박에는 소방원장구를 2조 이상 비치하여야 하므로 2인이 1조로 하여 소방원장구를 착용하는데 걸리는 시간을 측정하였다.

Table 18은 4개조로 나누어 방화복과 자장식호흡구 등의 소방원장구 착용 소요시간 측정의 결과이다.

Table 18 Measuring time to wear fire-fighter's outfit

구분	1조	2조	3조	4조
1차	4분 50초	3분 35초	2분 33초	2분 23초
2차	3분 26초	3분 11초	3분 13초	3분 05초
평균	4분 08초	3분 23초	2분 53초	2분 44초
전체 평균	3분 17초			

1조는 여성 실험자 2인으로 구성하였고, 나머지 3개조는 남성 실험자 2인 1조로 구성하여 실험을 진행하였는데 여성으로 구성된 1조의 평균 방화복 착용 시간은 4분을 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 전체 4조의 평균적인 소방원장구 착용 시간은 3분 17초로 나타났다.

물론 소방원장구를 착용하는데 걸리는 시간은 반복된 훈련과 연습으로 개선될 수 있지만, 화재가 발생하였을 경우 소화반이 투입되기 전에 일반적으로 2인 1조의 승무원이 각각 1조씩의 소방원장구를 착용만 하는 데에도 약 3분의 시간을 소요해야 하는 것으로 나타났다.

4.1.2.2 소방원장구 착용자의 이동시간 측정

이 실험에서는 2인 1조의 소방원장구 착용자가 임의의 정해진 선내 경로를 따라 이동할 때 걸리는 시간을 측정해보았다. 실제 화재 발생 시 선내는 연기와 전원 차단으로 인해 암흑 상태가 될 것이나 이 실험에서는 실험자의 안전을 위해 시정이 확보되는 밝은 상태로 실험을 진행하였음을 밝혀둔다.

실험은 한국해양대학교 실습선 한바다호의 2번 강의실을 뒷문에서 출발하여 앞문을 통과하는데 소요되는 시간을 측정하였으며, 이동 거리는 16미터이며 2인 1조의 소방원장구 착용자가 스텝을 맞추며 전진하여 이동하는 것으로 하였다. 기관실과 같이 강의실의 장애물 사이 좁은 통로를 통과하되 일직선이 되는 상황 설정을 위해 이 장소에서 실험을 진행하였다. Fig. 15는 실험 참여 소방원이 이동하는 경로를 도면상에 나타낸 것이다.

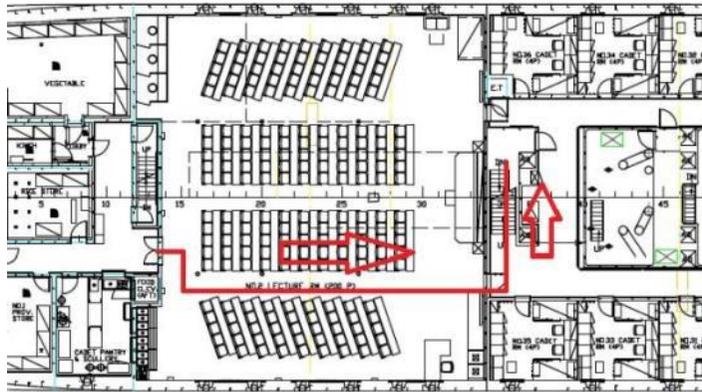


Fig. 15 Moving route with fire-fighter's outfit

2인 1조 소방원 총 4조에 대한 이동 소요시간 실험의 결과는 Table 19와 같다.

Table 19 Moving time with fire-fighter's outfit

이동 경로	강의실 뒷문 → 앞문 (16m)			
구분	1조	2조	3조	4조
소요시간	37초	40초	44초	44초
평균	41.3초			

선내 평면 거리 16미터를 이동하는 이 실험에서 2인 1조의 4개 조의 평균 소요시간은 41.3초이다. 즉 소방원장구를 착용한 2인 1조의 소화반은 평균적으로 0.39%의 속도로 이동한다는 것을 알 수 있다.

4.1.2.3 소방원장구 착용자의 계단 이동시간 측정

최근에 운항 및 건조되는 선박들은 과거에 비해 그 크기가 상당히 대형화되어 있으며 기관실 역시 그에 맞게 크게 설계된다. 따라서 기관실 입구로부터 바닥 갑판(Floor Deck)까지 내려가기 위해서는 계단(Slant

Ladder)을 수차레 이용할 수밖에 없다. 따라서 소방원장구 착용자가 계단을 이용하여 올라가거나 내려갈 때 걸리는 시간을 알아보기 위해 실제 계단을 이용할 때 소요되는 시간을 측정하였다. 평면 이동 실험과 마찬가지로 2인 1조의 소방원장구 착용자가 스텝을 맞추어 임의의 계단을 오르고 내리는 실험을 진행하였다.

먼저 소화 호스에 수압이 작용하고 있지 않은 상황에서 계단 이용 시 이동시간을 측정하였다. 계단의 단면 거리는 5미터이다. Table 20은 계단을 올라갈 때와 내려갈 때의 실험 결과를 나타낸 것이다.

Table 20 Moving time with fire-fighter' s outfit at stairs

구분	계단 오를 시	계단 내려갈 시	합계
1조	31초	28초	59초
2조	30초	23초	53초
3조	24초	20초	44초
4조	35초	28초	63초
평균	30.0초	24.8초	55.5초

2인 1조의 실험자가 5미터의 계단을 올라갈 때 걸리는 시간의 평균은 30.0초, 내려갈 때는 24.8초가 소요되는데 각각 0.16%, 0.20%의 속도가 된다. 그 평균은 55.5초가 되며 0.18%와 같다.

앞서 실험한 평지 이동 속도와 비교하여 불 때 계단을 이용할 때 약 2.2배 이동 속도가 느린 것을 알 수 있다.

4.1.2.4 소화 호스 수압작용 여부에 따른 결과 비교

실제 선박의 기관실에서 화재가 발생하였을 경우 절차에 따라 소화 펌프를 가동하고 소화전의 밸브를 개방하여 언제라도 소화 작업을 실시할 수 있도록 준비한다. 이에 2인 1조의 소방원장구 착용자는 화재가 발생한

기관실로 진입하거나 그 이전부터 소화 호스에 수압이 작용하고 있는 상태에서 소화 작업을 시행할 장소로 이동을 하게 된다. 수압이 작용하는 소화 호스는 유연성이 없고 무거운 소방원장구 착용자의 기동력을 감소시킬 것임에 소화 호스에 수압이 있는 상태에서 계단을 오르고 내리는 실험을 진행하였다.

먼저 2인 1조의 소방원장구 착용자가 단면 거리 2.2 미터, 높이 2.6 미터의 계단 2개를 연속적으로 오를 때 걸리는 시간을 측정하였고 그 결과는 Table 21과 같다.

Table 21 Moving time with fire-fighter' s outfit at stairs

구분	1조	2조	3조	평균
소요시간	1분 15초	58초	1분 06초	1분 03초

3개조로 나누어 진행한 실험에서 평균적으로 1분 03초가 소요됨을 알 수 있었는데, 당초 2개 이상의 계단을 올라가는 실험을 진행하려 하였으나 수압이 걸린 상태에서의 호스는 잘 굽혀지지 않고 소방원이 진행한 거리만큼 호스의 무게가 너무 무거워져 2명으로는 호스를 끌어 올리는 것 자체가 불가능하여 3개의 실험조 공히 2번째 계단으로의 진입 시도조차 하지 못 함을 알 수 있었다. 1개 계단을 올라갈 때의 평균 이동 속도는 0.035%였다. 이는 수압이 작용하지 않을 때 보다 약 4.6배 느려진 속도다.

2인 1조의 소방원장구 착용자가 단면 거리 2.2 미터, 높이 2.6미터의 계단 2개를 연속적으로 내려갈 때 소요되는 시간도 측정하여 보았는데 그 결과는 Table 22와 같다.

Table 22 Moving time with fire-fighter's outfit at stairs

구분	1조		2조		3조		평균
전체 소요시간	2분 18초		1분 56초		2분 10초		2분 08초
계단별 소요시간	65초	53초	44초	48초	48초	57초	52.5초

내려가는데 걸리는 시간을 측정한 실험에서의 평균 소요시간은 52.5초로 0.042%의 속도를 보여 올라갈 때 비해서는 조금 빨라진 것을 알 수 있었다. 그러나 2개의 계단을 내려갈 때 각 계단 이동시간 사이에 평균 23초 정도의 공백이 발생하는데 이는 무거운 소화 호스를 끌어 내리고 정리하는데 걸린 시간이다. 이 시간을 더하여 계산하면 계단 1개를 내려가는 속도는 0.029%로 현저하게 감소한다. 그러나 3개조 공히 3번째 계단으로는 수압이 걸려있는 소화 호스를 정리하는 것이 불가능하여 진입조차 할 수 없었다.

이 실험을 정리해보면 소방원장구 착용자 2인이 계단을 이용할 때 소화 호스에 수압이 걸려있을 경우 그렇지 않은 경우와 비교하여 이동 속도가 약 4.8배 느려지는데, 이는 소화 호스 없이 평지를 이동할 때와 비교할 경우 10배 이상의 속도 저하가 발생한다는 것이다. 또한, 2인 1조의 소방원장구 착용자는 수압이 작용하는 소화 호스를 가지고 1개를 초과하는 계단을 오르지 못하며, 2개를 초과하여 내려가지 못하는 것으로 나타났다.



Fig. 16 Fire hose handling test with water pressure on hose

Fig. 16은 소화 호스에 수압이 작용할 때의 계단을 오르내리는 실험의 장면을 나타낸 것이다. 이 그림에서도 알 수 있듯이 수압이 작용하는 상태에서 계단의 방향 전환이나 한 개의 계단을 내려와서 호스를 정리하는데 상당한 애로사항이 발생하며, 소방원이 소방원장구의 불편함을 이겨내지 못하는 모습을 보였다. 특히 안전줄(Safety Line)과 호스가 엉키는 상황이 발생하였으며, 헬멧의 시야 확보 불량, 장갑의 불편함 등에 의해 실험자들은 체력적으로도 어려움을 겪었다.

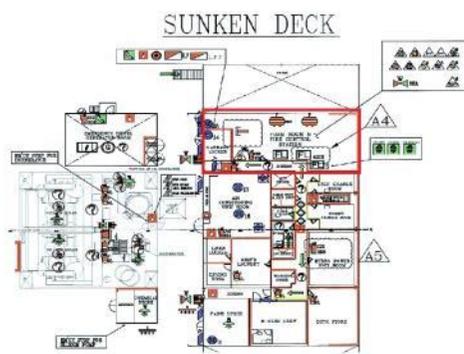
4.2 선박 화재 대응 표준화 설계

이 장에서는 4.1의 실험 결과를 바탕으로 화재 대응 각 단계에 대한 소요시간을 추산하였다. 선박의 도면을 분석하여 거리를 산출하고 실험에서 얻어진 이동 속도를 적용하여 승무원이 화재 신호를 듣고 비상소집장소까지 집합하는데 소요되는 시간을 추산하였으며, 화재 현장에서 소방원의 화재 대응 시간에 대한 표준화를 설계하였다.

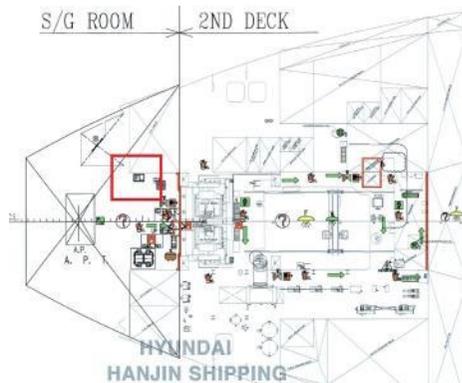
4.2.1 화재 신호 발령 시 비상소집장소까지 집합 시간 추산

화재 신호 발령 시 소방보관함에서 소방원장구를 챙겨 정해진 비상소집장소까지 모이는데 걸리는 시간은 앞선 실험 결과값과 실제 선박의 도면상 화재제어장소(Fire Control Station)와 비상소집장소까지의 거리 또는 소방 보관함과 비상소집장소 사이의 거리를 알면 추정할 수 있다. 대부분 선박에서 소방원장구를 화재제어장소에 1조, 그 외 다른 장소에 비치된 소방보관함에 1조씩 보관하고 있기 때문이다.

Fig. 17부터 Fig. 20은 소방원장구를 보관하는 소방보관함의 각 선박별 보관장소에 대한 예시이다. 모든 선박에서 화재제어장소에 1조, 그 외의 장소에 1조 혹은 그 이상을 비치하고 있는 것을 알 수 있다.

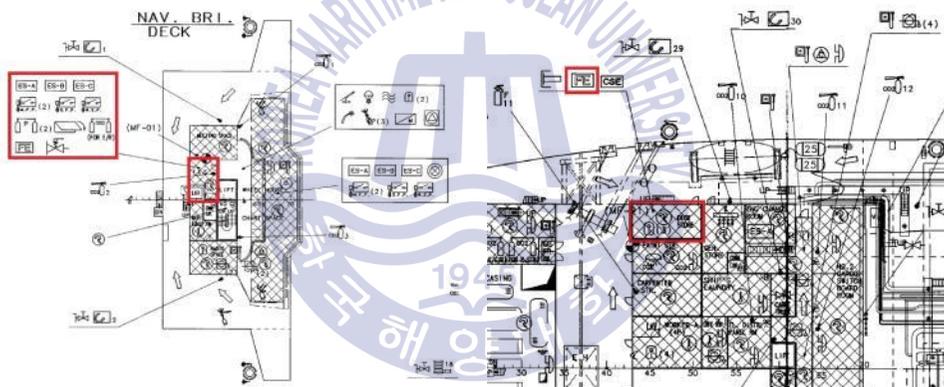


(A) F.L in F.C.S of Vessel 'A'



(B) F.L in another space of Vessel 'A'

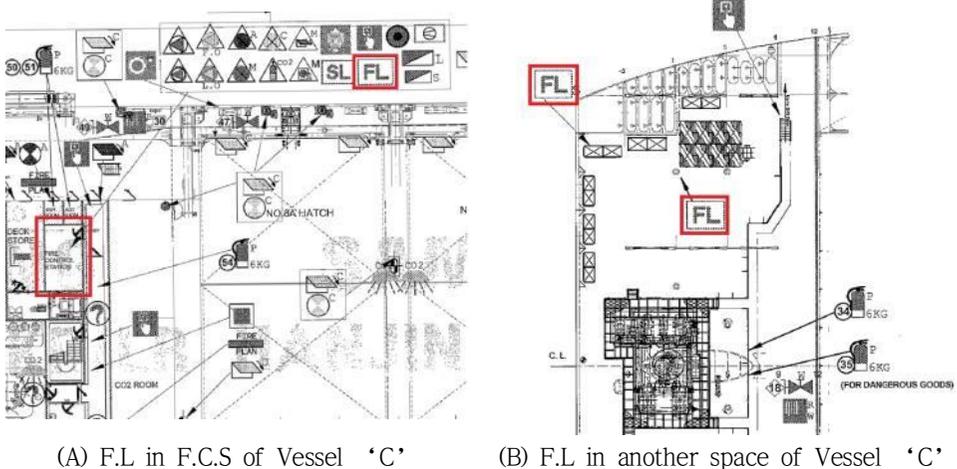
Fig. 17 Fire Locker storage area of Vessel 'A' (VLCC)



(A) F.L in F.C.S of Vessel 'B'

(B) F.L in another space of Vessel 'B'

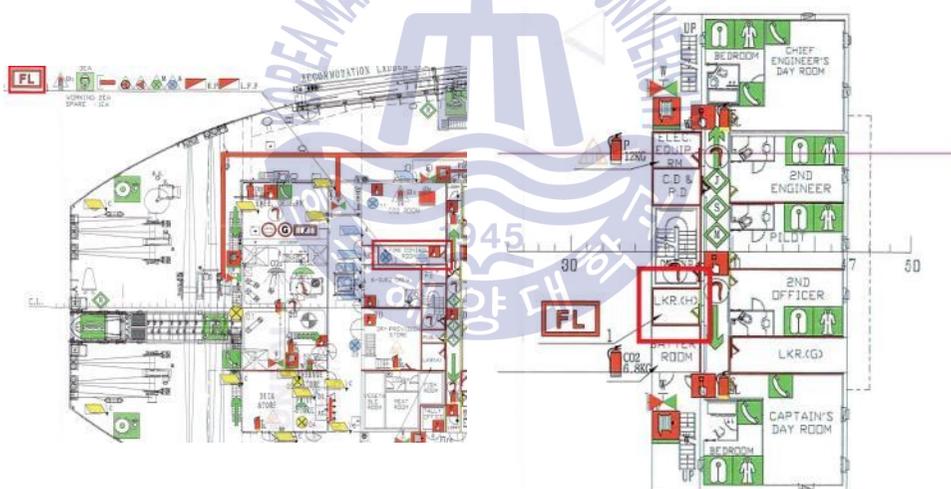
Fig. 18 Fire Locker storage area of Vessel 'B' (LNG)



(A) F.L. in F.C.S of Vessel 'C'

(B) F.L. in another space of Vessel 'C'

Fig. 19 Fire Locker storage area of Vessel 'C' (CNTR)



(A) F.L. in F.C.S of Vessel 'D'

(B) F.L. in another space of Vessel 'D'

Fig. 20 Fire Locker storage area of Vessel 'D' (Bulk)

실제 선박의 화재제어도(Fire Control & Safety Plan)을 분석한 화재제어장소와 소방보관함에서 비상집합장소까지의 거리는 Table 23과 같으며, 분석 대상 선박은 종류 및 크기 별로 도면상 화재제어장소와

소방보관함, 비상집합장소의 위치가 명확하여 거리 계산이 가능한 선박을 대상으로 하였으며, 전체 평균과 측정된 거리의 차이가 두 배 이상인 선박은 제외하였다.

Table 23 Distance to Muster station from each area

구분	F.C.S - Muster Station	F.L - Muster Station
105,000DWT Product Carrier	8.8미터	43.0미터
314,000DWT Tanker	13.5미터	15.5미터
321,000DWT Tanker	26.6미터	57.0미터
105,000DWT Tanker	9.6미터	17.4미터
35,000DWT Bulk Carrier	21.6미터	25.4미터
32,000DWT Bulk Carrier	27.6미터	20.8미터
33,500DWT Log/Bulk Carrier	34.6미터	41.8미터
General Cargo Carrier	5.2미터	36.6미터
General Cargo Carrier	16.6미터	29.4미터
평균	18.2미터	31.9미터

소방원이 소방원장구를 착용하고 화재 현장에 투입되기 위해서는 소방원장구가 보관되어 있는 화재제어장소와 소방보관함을 필히 경유하여야 하므로 화재발령 신호가 울린 시간으로부터 화재 현장에 도착하는데 소요된 시간만큼은 소방원이 소화 작업에 종사하지 못하고 허비하는 시간으로 볼 수 있을 것이다.

9개 선박의 도면 검토를 통해 계산된 화재제어장소와 비상집합장소 간의 단면 거리는 평균 18.2 미터이며 소방보관함과 비상집합장소 간의 단면 거리는 평균 31.9 미터임을 알 수 있다.

도출된 단면 거리를 통해 예상 이동시간을 추산하였는데 그 방법은 식 (1)과 같다.

$$T_m = S_d / V_e \quad (1)$$

여기서, T_m : 승무원의 이동시간 (sec)

S_d : 도면상 이동 거리 (m)

V_e : 실험으로 계산된 이동 속도 (m/s)

두 곳의 소방원장구 보관장소 중 비상소집장소로부터 먼 곳에 위치한 보관장소를 기준으로 하여 계산된 평균 거리에 소방원장구를 챙겨서 비상소집장소로 모이는 실험의 시간을 적용해보면 약 1분 18초의 시간이 허비된다는 것을 알 수 있다. 물론 화재 신호 발령 당시에 승무원이 선실이나 기타 다른 장소에 있었을 경우 소방원장구를 가지러 화재제어장소나 소방보관함으로 이동하는 시간만큼 화재는 더 확산될 것이다.

4.2.2 선박 화재 대응 시간의 표준화 설계

앞서 실험을 통해 정량화한 데이터를 실제 운항 중인 상선의 도면을 검토하여 실제 소방원장구 착용자가 이동해야 하는 거리를 구하고 그 거리를 이동하는 동안에 소요되는 시간을 알 수 있다. 여기에서는 각각 Bulk선, Container선, LNG선, 원유선(VLCC) 등의 4가지 선종에 대해 사이즈 별로 11개 선박에 대한 소방원 착용자의 이동 거리 및 이동시간을 추산하였다. 더 다양한 크기와 종류의 선박을 대상으로 하기 위해 4.2.1의 비상집합장소 집합 시간 추산에 사용된 대상 선박들과 소방원장구

착용자의 이동 소요시간 추산에 대상 선박을 달리했음을 밝혀둔다.

Bulk선은 27K 및 180K, Container 선은 각각 4,000TEU, 4,600TEU, 5,300TEU, 6,500TEU, 8,600TEU, 10,000TEU, 13,100TEU급이며 LNG선은 135CBM급, VLCC는 310,000DWT급의 선박에 대해 조사하였다.

분석을 실시한 11척의 선박의 상세는 Table 24와 같다.

Table 24 Specification of vessels analyzed

순번	선종	사이즈	전장(M)	총톤수(톤)	E/R갑판	계단
1	Bulk	27K	225.0	37,550	3	4
2	Bulk	180K	292.0	93,152	3	5
3	Container	4,000TEU	289.5	51,754	4	5
4	Container	4,600TEU	255.2	45,169	3	4
5	Container	5,300TEU	279.0	65,184	4	6
6	Container	6,500TEU	304.0	74,906	4	4
7	Container	8,600TEU	335.6	91,621	4	5
8	Container	10,000TEU	349.7	113,412	4	5
9	Container	13,100TEU	366.0	141,754	4	5
10	LNG	135,000CBM	280.0	93,769	4	5
11	VLCC	310,000DWT	333.0	160,492	3	3
평균			300.8	88,069	3.64	4.64

4가지 선종, 각기 다른 크기의 선박 11척을 분석해본 결과 전장의 평균은 300.8미터, 총톤수 88,069톤에 달하였다. 또한, 기관실에 진입하여 기관실의 가장 밑바닥인 바닥 갑판(Floor Deck이나 Tank Top, 이후 바닥 갑판)까지의 기관실 갑판은 평균 3.64개, 그를 위해 최소한 평균 4.64개의 계단을 이용해야만 했다.

이들 11개 선박에 대해서는 공회 도면상의 기관실 바닥 갑판까지 즉 선박의 Tank를 제외한 승무원이 도달할 수 있는 가장 밑바닥까지의 최단 거리를 측정하였으며, 이에 따른 평지 이동 거리 및 최소한의 이용해야 할 계단의 단면 거리를 구하였다.

바닥 갑판까지 이동할 때 이용해야 할 계단의 개수는 계단의 길이를 막론하고 방향 전환의 횟수에 따라 계산하였다. 즉, 1개의 갑판을 내려가거나 올라가더라도 계단 중간에 플랫폼(Platform)이나 부분 갑판(Partial Deck)을 통해 방향을 꺾어야 하도록 설계되어 있는 경우 2개의 계단으로 간주하였는데, 이는 소방원장구 착용자 2명이 수압이 걸려있는 소화 호스를 핸들링하며 계단을 이용할 때 방향을 전환하여 두 번째 계단으로 진입할 때 호스를 정리하는데 상당한 시간이 소요되었으며, 올라가는 실험에서는 이 과정이 불가능하여 다음 계단으로 진입조차 하지 못 하는 등의 애로사항이 나타났기 때문이다.

또한, 소방원의 이동 속도는 앞선 실험을 통한 결과의 평균치를 적용하였다. 화재 신호가 발령하여 인원점검 및 2인 1조의 소방원장구 착용자가 실제 화재가 발생한 기관실을 출입한 시점부터 바닥 갑판으로 내려갔다. 화재진압 후 다시 올라오는데 걸리는 시간을 분석하였는데, 내려갈 때는 화재진압 전이므로 소화 호스에 수압이 작용하는 상태라고 가정하였고, 올라오는 상황부터는 화재를 진압했거나 포기하고 퇴각하는 것으로 간주하여 수압이 없는 상태로 이동하는 것으로 가정하였다.

Table 25는 Table 24와 같은 순번으로 분석한 11척 선박에 대한 이동 단면 거리 및 시간에 관한 결과이다.

Table 25 Moving distance and time of each vessels

순번	단면 거리(미터)		이동시간(초)			
	평지	계단	평지	계단 내림	계단 오름	합계
1	27.8	19.3	71.3	665.5	120.6	928.7
2	30.3	34.2	77.7	1179.3	213.8	1548.5
3	-	21.1	-	727.6	131.9	859.5
4	9.4	23.8	24.1	820.7	148.8	1017.7
5	10.2	27.2	26.2	937.9	170.0	1160.3
6	18.9	19.5	48.5	672.4	121.9	891.3
7	14.8	22.4	38.0	772.4	140.0	988.4
8	17.0	21.6	43.6	744.8	135.0	967.0
9	24.8	32.2	63.6	1110.4	201.3	1438.9
10	22.1	21.4	56.7	737.9	133.8	985.1
11	12.3	34.9	31.5	1203.5	218.1	1484.6
평균	18.8	25.2	48.1	870.2	157.7	1115.5

11척의 선박의 도면을 분석해본 결과 평균적으로 기관실 출입문으로부터 바닥 갑판까지 평지 18.8 미터, 계단 25.2 미터를 이동하여야 도달할 수 있으며, 평지 이동시간은 편도 48.1 초가 소요되었으며, 계단 이동시간의 경우 내려갈 때는 평균 870.2 초, 올라올 때는 157.7 초가 소요되었다.

4,000TEU 컨테이너 선박의 경우처럼 평지의 경우 기관실 문을 여는 순간 바로 계단으로 진입하여 플랫폼을 통해 다음 계단으로 진입이 계속 가능하도록 설계되어 평지를 전혀 거치지 않고 계단만으로 기관실의 가장 밑바닥까지 내려갈 수 있게 되어 있는 선박이 있는가 하면 180K 벌크선과 같이 계단 자체의 길이도 매우 길고, 기관실 출입구에서 계단 진입까지의 거리와 계단을 내려온 후 다음 계단으로 진입하기까지의 거리의 합이 30미터를 초과하는 경우도 있었다.

11개 선박의 평지 및 계단을 이동하는데 걸리는 평균 시간의 합은 1115.5 초, 즉 18분 36초로 나타났다.

4.3 선박 화재 대응 표준 의사 결정을 위한 정량화

실제 선박 내 기관실에 화재가 발생하였을 경우, 승무원의 힘으로 소화가 가능한지 여부는 소방원장구 착용자의 자장식 호흡구의 용량이 허용하는 범위에서 소방원이 이동하는데 필요한 시간을 뺀 순수 화재진압 작업시간에 대해 평가하면 될 것이다.

규정에 따라 선박에 비치된 2조의 소방원장구에는 각각 2병씩의 예비 공기병이 갖추어져 있으나, 소방원이 화재 현장에 투입되어 소화 작업을 진행하면서 공기병 1개를 다 예비 공기병을 사용해야 한다면 최소 30분 이상의 시간이 흐른 상황이므로 이는 인간의 힘으로 화재를 진압할 수 있는 수준을 넘어서 대형화재 이상으로 화재가 확산된 것으로 간주하여야 할 것이다. 따라서 SOLAS 규정상 자장식 호흡구 공기병 1개의 사용 시간은 최대 30분으로 가정하고 소방원이 화재 현장에 투입되어 이동하는데 걸리는 시간을 제외한 시간만큼을 소방원이 순수하게 소화 작업에 종사할 수 있는 시간으로 계산하였다.

4.3.1 기관실 화재 시 화재의 크기 추정

기관실 내의 어느 지점에서 화재가 발생하였을 경우, Table 3의 4-1과 6-1문항의 결과에서 알 수 있듯이 중형화재 이상의 크기에 대해서는 승무원에 의한 소화 가능성에 대해 매우 회의적인 결과가 도출되었으며, 초기 진화 실패 이후에는 승무원에 의한 소화 작업보다는 고정식 CO2 소화기와 같은 장비에 의한 소화가 이루어져야 한다는 것이 대다수 승무원들의 의견이었다.

그러나 실제 선박에서 화재가 발생하였을 경우 그 크기에 대하여 소·중·대형으로 정확히 구분하는 것은 여건상 쉽지 않다.

앞서 소개한 표준 랙크의 확산 속도 실험에서 살펴본 바에 의하면 선박의 평균적인 1개 갑판의 높이보다 높은 6~10미터의 4종류 표준 랙크에 대한 화재 확산 속도 실험에 대해 화재가 수평으로 퍼져나가는 잠식 단계에 이르는 시간은 평균 2분 25초였다.

본 연구 4.2.1에서 소방원장구를 2인이 착용하는데 걸리는 시간이 평균 3분 17초였으며, 4.2.2에서 소방원장구 보관함으로부터 소방원장구를 비상 집합장소까지 가지고 오는데 평균 1분 18초가 걸린 것을 감안한다면, 화재 발생 시 우연의 일치로 화재제어장소와 소방보관함에 승무원이 대기하여서 전혀 낭비되는 시간 없이 소방원장구를 비상소집장소로 가져오고 바로 지정된 방화복 착용자가 착용하고 화재 장소로 진입한다고 해도 평균적으로 4분 35초 정도 소요된다는 것을 감안하면 랙크에서의 화재는 잠식 단계를 지나쳐 중형화재 이상이 되었을 것을 예상할 수 있다.

물론 선박에서의 랙크와 이 실험에서의 랙크가 적재밀도나 적재 물품의 종류 등과 같이 화재의 확산 속도에 영향을 주는 인자들의 구성상 완전히 같다고 볼 수는 없지만, 실험에 쓰인 랙크의 높이 6~10미터는 선박의 그것보다는 훨씬 큰 것이므로 선박에 비해 그 확산 속도가 느리다고는 할 수 없을 것이다. 더욱이 대부분 선박에서 기관실 공작실(Engine Workshop), 기관 창고(Engine Store) 또는 각종 창고에 랙크 형태로 Spare part 등을 보관하고 있다는 것을 감안하면 앞선 화재 속도의 비교는 선박의 기관실 화재에 적용해도 무리가 없을 것이다.

물론 선박의 주기, 발전기, 각종 배전반 등 기관실 내의 운용 중인 장비의 화재 시에는 화재 확산의 공급원인 유류, 전기 등이 상시 공급되고 있으니 화재 확산 속도는 랙크와 비교하여 더 빠를 것임에 자명하다.

이러한 결과를 종합해 볼 때 선박의 기관실에서 화재가 발생하였을 경우 소방원이 투입되는 시점은 이미 중형화재 이상으로 화재가 확산된 상황이라 가정해야 할 것이다.

4.3.2 이동시간을 제외한 소방원의 수소화 작업 시간계산

산술적으로 순수한 화재 발생 장소에서의 수소화 작업 가능 시간을 계산하려면 소방원이 착용하고 있는 자장식 호흡구의 용량이 허락하는 시간에서 소방원이 이동하는데 걸리는 시간을 빼면 구할 수 있으며, 식(2)과 같이 나타내었다.

$$T_E = A_s - (T_w + T_u + T_d) - \alpha_f \quad (2)$$

여기서, T_E : 수소화 작업 가능 시간

A_s : 자장식 호흡구(SCBA)의 최대 이용시간 (분)

T_w : 소방원이 평지이동에 걸리는 시간 (분)

T_u : 소방원이 계단을 오르는데 걸리는 시간 (분)

T_d : 소방원이 계단을 내려가는데 걸리는 시간 (분)

α_f : 소방원의 체력 고갈에 따른 시간 (분)

소방원장구 1조에 예비 공기병이 2개 이상 갖추어져 있기는 하나 최초의 공기병 1개를 다 소진한 후에도 완전히 소화되지 않아 예비 공기병으로 교체해야 하는 시점은 화재 발생 4분 30초 이상 경과하여 승무원의 힘으로 진압할 수 없는 잠식 단계로 확산된 상황이므로 다른 승무원으로 교대하여 소방원장구를 착용하는 것은 현실적이지 않다. 따라서 공기병 용량의 법정 기준 30분에서 소방원이 이동하는데 걸리는 시간의 총합을 빼면 계산상의 순수 수소화 작업에 허용되는 시간을 구할 수 있다. 즉, 소방원이 평지를 이동하는데 걸리는 시간인 T_w 와 계단을 오르는데 걸리는 시간 T_u 를 더하고, 계단을 내려가는데 걸리는 시간인 T_d 를 더한 값을 자장식 호흡구 용량인 A_s , 즉 30분에서 빼주면 될 것이다.

4.3에서의 결과와 같이 11개 선박의 평균 필요 이동시간의 합은 18분 36초이므로, 소방원이 순수하게 소화 작업에 종사할 수 있는 시간은 11분 24초로 볼 수 있다.

α_f 의 경우 정확한 체력 고갈의 정도를 유추하기가 대단히 어려우며, 특히 소방원의 성별, 연령, 체력 등에 따라 그 값이 현저히 달라질 것이나 방창훈 등(2016)의 연구를 통해 생각해볼 수 있다.

트레드밀을 소방원장구를 입고 걷는 실험에서 15분 전후로 신체의 극심한 변화를 일으키는 것으로 나타났으며 이에 대한 추가적인 대응책이 필요하다고 지적한 것을 미루어보아 허용된 소화 작업 가능 시간은 더 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 또한, 이 실험의 결과는 상온에서 긴장한 20대 대학생에 의해 도출된 결과이나, 실제 기관실의 온도는 훨씬 높은 수준이며 화재 시에는 더욱 올라갈 것이므로 실제 화재 시에 소방원의 신체변화는 이 실험 이상의 것이 될 것으로 예상할 수 있다.

경상북도 소방학교(2014)에서는 인간의 분당 공기소모량에 대해 평균 작업 시에 30~40L/분, 격한 작업 시에 50~60L/분, 최고의 격한 작업 시에 80L/분이라고 설명하고 있다. 실제 선박에서 사용하고 있는 자장식 호흡구의 사용지침서를 보면 30~40L/분의 호흡량으로 사용 시 약 30분 사용 가능하며 신체적 조건과 작업 환경에 따라 사용 가능 시간은 현저히 차이 날 수 있다고 경고하고 있다.

이윤정 등(2016)의 연구에서는 실험대상자가 각각 일반 활동복(UC, Usual Clothes), 소방용 특수방화복 및 일반 보호 장비(FPC, fire-fighter Protective Clothing), 소방용 특수방화복 및 일반 보호 장비 및 자장식 호흡구(SCBA, Self-Contained Breathing Apparatus)를 착용하고 트레드밀 운동을 수행하였다. 약간 빠른 걸음 수준인 6km/h의 속도로 20분간 시행 후의 운동자각도는 UC는 6.0 ± 0.5 로 ‘약간 힘들다’, FPC는 8.4 ± 0.3 으로 ‘힘들다’, SCBA는 9.1 ± 0.3 으로 ‘매우 힘들다’의 자각도를 나타내었다. 따라서 실제 화재 시 화재 현장 내 이동 소요 시간인 18분

36초 동안 소방원은 격한 작업을 수행하게 되어 분당 50~60L의 공기가 소모될 것으로 예상할 수 있다. 따라서 α_f 는 격한 작업과 평균 작업의 공기소모량의 차에 해당하는 10분 55초로 계산할 수 있다.

따라서 소방원이 이용할 수 있는 자장식 호흡구의 최대 이용시간 T_E 는 30분에서 소방원의 이동시간 ($T_w+T_u+T_d$), 즉 18분 36초와 소방원의 체력 고갈에 따른 시간 α_f 10분 55초를 뺀 29초가 되며, 실제 공기병에 공기가 남아 있다 하더라도 체력 고갈로 인해 소화 작업을 할 수 없는 것으로 보아야 한다.

4.3.3 승무원에 의한 수소화 가능 여부 판단

각 선박의 도면 분석 및 소방원의 이동시간 예측을 통한 수소화 작업시간 계산을 통해 승무원에 의해 기관실 화재에 대한 수소화가 가능한지 여부에 대해 파악해보면, 소방원이 화재 신호를 듣고 비상소집장소에서 인원점검 후 소방원장구를 착용하고 화재 현장에 투입되면 중형 이상의 화재에 맞닥뜨리게 된다. 실험 결과에 의하면 소화 호스를 가지고 화재 현장에 투입된 소방원에게 화재진압을 위해 주어진 시간은 11분 남짓이며, 이 시간에 이미 소방원은 고온의 기관실 내부에서 소방원장구, 공기병을 착용하고 적게는 3개에서 많게는 6개의 계단을 오르내리며 장애물을 피해 화재를 진압하여야 한다.

Table 26 Time to be entirely extinguished for 5 years

년도	2011	2012	2013	2014	2015	평균
건수	3	5	2	5	13	5.6
평균 시간	2시간 3분	2시간 10분	32분	1시간 21분	1시간 15분	1시간 28분

Table 26은 2011년부터 5년간 화재 발생하여 완전히 진화되었던 사고 28건에 대해 화재의 초기발견 시점에서 완전 소화 시점까지의 평균

시간을 나타낸 것이다. 5년간의 평균은 1시간이 초과함을 알 수 있다. 이 통계의 결과는 화재의 경과와 화재 크기의 정도, 승무원의 화재 대응 조치 상세 등을 정확히 알 수 없으므로 절대적인 비교는 어려우나 어두컴컴한 기관실 내부에 전문 소방관이 아닌 승무원 2명이 약 29초의 허용시간 내에 화재를 진압하고 안전하게 화재 현장을 탈출하는 것은 화재가 완전히 진화되는데 평균적으로 1시간 28분이 걸렸던 통계를 미루어볼 때 불가능하다고 판단된다.

4.4 선박 화재 대응 표준 시나리오 개발

김원욱 등(2015)의 연구에서 열방출율 1MW를 대형화재의 기준으로 제시하였는데 조규환 등(2016)의 연구에서 화염이 랙크 최상단에 이르는 시간이 최상단에 이르는 시간이 약 1분 38초, 열방출율이 1MW에 이르는 시간이 약 1분인 것으로 볼 때 육안상 화염이 갑판의 천장 부근까지 닿는 상황일 경우 열방출율은 1MW 이상이며 대형화재로 구분할 수 있을 것이다. 또한, 육안으로 화염이 갑판 높이의 절반 이상인 것으로 확인될 경우 중형화재 이상으로 볼 수 있으므로 선박 기관실 화재 시 소방원의 직접 수소화를 통한 화재진압은 실험 결과와 이론상 불가능하다 판단된다.

그러나 선박의 특수성과 화재 당시의 상황에 따라 화재의 확산 속도와 크기는 이론과 다를 수 있다. 따라서 화재 현장의 화재 크기 확인을 위해 소방원장구 착용자가 실제 화재 발생 현장에 진입하여 육안으로 확인하였을 때 중형 이상의 화재일 경우 소방원은 요구조자의 구조 혹은 화재 확산 상태 판단 등의 목적이 아니면 화재 현장에서 즉시 이탈하여야 하며, 중형 화재 미만인 경우 선장의 판단에 따라 소방원을 화재 현장에 투입시켜 수소화 작업을 시행할 수 있다.

이 장에서는 분석한 각 선사들의 소화 훈련 시나리오와 실험 및 도면 분석을 통해 얻어진 결과를 종합하여 승무원의 안전을 담보할 수 있도록

정량화된 경과 시간을 명시한 표준화된 화재 대응 시나리오를 제시하고자 한다.

Table 27과 28은 화재 대응 표준 훈련 시나리오이다.



Table 27 Standard Fire-fighting Scenario_1

화재 대응 표준 시나리오 <현장 투입 전>		
1. 훈련 종류 : 소화 훈련, 기관실 공작실 화재 2. 훈련 일시/위치 : 2018. 02. 21.(수) / 북위 00° 00' 00" , 동경 000° 00' 00" 3. 상황 - 14:00경 조기장이 공작실 용접작업 중 불꽃이 벗어든 작업복에 튀면서 화재 발생. - 자신의 작업복에 불뚱이 튀자 기름 묻은 폐걸레로 진화 시도하다 화재 확산. - ECR의 2기사 현장 목격하고 선교에 보고 후 조기장 구출하여 기관실 이탈함.		
경과	상황	행동
	<ul style="list-style-type: none"> 화재 인식 및 보고 - 최초 발견자 화재경보장치 가동 및 선교보고 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 초기 발견자 : 화재장소, 규모, 종류 등 파악된 내용 선교에 알림 ▶ 선장 : 주기/발전기 정지, 연료유 V/V 차단, 비상 발전기 가동, 통풍차단 등 지시
0'	<ul style="list-style-type: none"> 비상배치 신호 발령 	
1' 18"	<ul style="list-style-type: none"> 비상소집장소 집합 인원점검 - 미집합자(요구조자) 여부 판단 <p>※ 소방원장구 보관장소 - 비상소집장소 간 평균 이동시간에 따름. - 소방보관함 - 비상소집장소 거리 과대시 소방원장구 보관장소 변경 검토.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 비상배치표에 의거 개인 지참물 준비 ▶ 소방원장구는 지정된 자가 반드시 미리 챙겨서 집합할 것!
4' 35"	<ul style="list-style-type: none"> 소방원 투입 준비 - 인원점검과 동시에 방화복 착용 동시에 외부격벽 냉각 실시 <p>※ 소방원장구 착용 평균 시간 3' 27" 적용. - 반드시 소방원장구 착용자가 3' 27" 내에 모든 장비 착용토록 교육/훈련.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ BA 압력, 진입시간, 진입자, 방화복 착용 상태 등 확인 ▶ 선장의 명령 시 바로 소방원이 화재 현장에 투입될 수 있도록 조치 완료
4' 35"	<ul style="list-style-type: none"> 소방원 화재 현장 진입 - 현재의 화재의 크기 육안 파악 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 선교에 보고
+	<p>※ 화재가 발생 위치로부터 육안으로 갑판 높이의 절반 이하일 경우 “소형” - 천장까지 화재 확산되어 ‘잠식단계’ 일 경우 열발출율 1MW 이상으로 간주</p>	

Table 28 Standard Fire-fighting Scenario_2

화재 대응 표준 시나리오 <현장 투입 후>		
경과	상황	행동
0'	<ul style="list-style-type: none"> • 기관실 내부 진입 	
3' 18"	<ul style="list-style-type: none"> • 1 계단 강하 및 수소화 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 소방원은 시간 및 잔여 공기량 체크
	※ 1개 계단 강하 소요시간 : 강하 속도 0.029m/s 기준	
6' 36"	<ul style="list-style-type: none"> • 2 계단 강하 및 수소화 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2개 갑판 이상 수색 시에는 반드시 소화 호스 없이 이동할 것!
	※ 1개 계단 강하 소요시간 : 강하 속도 0.029m/s 기준 ※ 계단이 Platform이나 Partial Deck 때문에 2개로 이어진 경우 2계단을 1 갑판으로 간주하고 1 갑판 이상 내려가지 말 것. (2계단 초과 강하 불가)	
10' 39"	<ul style="list-style-type: none"> • 퇴각 - 이유 불문하고 소화 호스 없이 퇴각 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 소화 호스를 지닌 상태에서 약 4.8 배 이동 속도 감소 ▶ 더 이상 승무원에 의한 진화 불가
	※ 퇴각시간 = SCBA 용량 - T_u - α_f - 가청경보 - SCBA 용량 : 30' T_u : 소방원이 소화 호스 없이 계단을 오르는 소요시간 (3' 26") α_f : 소방원의 체력 감소에 의한 공기병 용량 손실 (10' 55") 가청경보 : 200L/1200L (5')	
14' 05"	<ul style="list-style-type: none"> • 고정식 소화 장치 운용 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 전 승무원 퇴각 확인 후 운용
	※ 퇴각시간 + T_u	

5. 결론

선박에서 화재가 발생할 경우, 승무원들에 의해 화재를 진압하든지 선박에 설비되어 있는 고정식 소화 설비를 활용하여 소화 작업을 실시해야만 막대한 재화와 소중한 생명을 지킬 수 있다. 조사 결과 기관실은 화재 사고의 발생 비율이 가장 높으며 발생 원인도 다양하여 가장 주의를 요하며, 따라서 화재 발생 시의 대비/대응에 대한 연구의 필요성이 가장 높다.

선행 연구 사례들을 살펴보면 피난 시간에 대한 계산이나 안전설계에 관한 것은 찾아볼 수 있으나, 실제 실험을 통해 소방원장구를 착용한 승무원이 수소화 작업을 하는데 소요되는 시간 등을 측정하는 연구는 찾아볼 수 없다. 실선에서 사용하는 소화 훈련 시나리오를 살펴보면 선원에 의한 소화 작업의 가능 여부를 판단할 수 있는 근거가 없으며 화재 발생 장소 내에서의 상세 지침은 찾아볼 수 없다. 소화 설비 및 훈련에 대한 집중점검제도(CIC) 시행 이후에도 이에 관련한 항만통제국 및 USCG 등의 중대결함 지적률이 가장 높다는 사실은 소화 훈련의 성과가 미비하다는 사실을 뒷받침한다.

승무원들을 대상으로 한 설문조사 결과 승무원들은 소화 훈련 자체는 효과가 있으나, 실제와 같은 모의상황에서의 훈련 경험이 부족하고, 중형 이상의 화재 시 승무원들에 의한 소화 가능성에 대해 부정적이었으며, 소방원에 의한 수소화보다는 고정식 소화 설비를 통한 소화가 더 효과적이라고 생각하였다.

승무원이 화재 신호를 듣고 비상소집장소에 모이는 시간을 측정해본 결과 적어도 1분 18초 정도의 시간이 소요되었는데 이는 화재가 확산되기에 충분한 시간이었다. 소방원장구를 착용하고 실험을 해본 결과, 2인의 소방원이 소화 호스를 가지고 계단을 이동할 경우 평지를

이동할 때에 비해 10배 이상의 이동 속도 저하를 야기하였다. 선종·크기별 선박의 도면을 검토하여 기관실 내의 최단 거리 및 계단의 이용 횟수 등을 조사하여 실험 결과를 대입하면 평균적으로 소방원에게 주어진 순수 수소화 가능 시간은 약 11분이었다. 그러나 소방원장구 착용자는 상온에서도 약 15분 만에 신체적 변화가 일어났으며 온전한 작업을 할 수 없는 것으로 나타났고 체력 저하로 인한 호흡구 사용 가능 시간 감소를 감안하면 계산상 수소화를 위해 소방원에게 허용된 시간은 약 29초에 불과하였다. 그러나 실제 화재 시에는 이론상으로 추정 불가능한 우발적 상황에 의해 수소화가 가능하다고 판단되는 경우를 대비하여 선상의 승무원들은 이 연구에서 제시한 표준 화재 대응 시나리오에 따라 소방원 투입 시간을 결정해야 하며, 법정 비상대응 훈련 시에 완전히 숙달될 수 있도록 철저히 훈련하고 대비하여야 한다.

6.1 연구의 결과 요약

화재 신호가 발령되고 승무원들은 일단 정해진 비상소집장소에 집결하여 인원점검 후에 화재 현장으로 이동하여 소화 작업을 실시하게 되는데, 앞선 실험 결과에 의하면 비상소집장소에 집합하면서 소방원장구를 가져오는 것이 집결 후에 다시 챙겨오는 것에 비해 이동 거리 10미터 당 약 2.3초 빠른 것으로 나타났으므로 화재의 확산 시간을 덜기 위해서는 훈련 시나리오상에 지정된 승무원이 미리 소방원장구를 챙겨서 오도록 하여야 한다.

또한, 실험을 통해 소방원장구를 입는 평균 시간 약 3분 17초와 소방원장구를 가져오는데 걸리는 시간 1분 18초를 더한 시간 동안 기관실 내의 화재 확산 상태는 소형화재를 넘어선 것으로 판단하여야 한다.

소방원에게 주어진 수소화 작업 가능 시간은 호흡구의 최대 이용시간에서 소방원의 이동시간과 체력 저하로 인해 감소된 시간을 빼면 구할 수 있는데 실험 및 계산 결과 최소 약 29초인 것으로 나타났다.

지난 5년간의 화재 발생 시 완전 소화까지 걸린 시간의 평균이 1시간 28분이었다는 것을 감안하면, 실험과 도면 분석을 통해 얻어진 최소 약 29초에서 최대 약 11분 24초라는 소방원 2명에게 주어진 시간은 화재를 진압하는데 부족한 시간이므로 현장 상황이 중형화재 이상으로 이미 확산되었을 경우 화재진압 작업을 위한 소방원의 화재 현장 진입은 하지 않아야 하며, 소방원의 투입이 가능하다 판단되는 경우 앞서 제시한 표준 화재 대응 시나리오에 따라 소방원이 화재 현장에서 퇴각하는 시점을 판단하여 소화 작업을 수행하여야 한다.

6.2 연구의 한계점 및 향후 연구 방향

이 연구는 설문 및 실험의 표본수가 제한적이고 인간에 의한 실험 결과를 정량적인 데이터로 보기 힘들다는 한계가 있다. 따라서 국민안전처의 재난현장 표준작전절차(Standard Operating Procedure)와 같은 각 상황별 소방원의 행동지침과 시나리오를 제시하기가 어렵다.

해상의 승무원 또한 소화 훈련 성과에 대한 의문부호가 붙는 만큼 체계적이고 전문적인 소방교육을 받아야 할 것이며, 그 근거가 되는 승무원들의 소화 훈련 지침서를 개발하기 위하여 향후 연구에서는 더욱 정량화된 데이터를 도출하기 위한 실험을 시행하고 승무원들의 반복적 훈련에 사용할 시나리오를 제시하고자 한다.

참고문헌

- 하원재, 2016. *화물선 소화설비 비치에 대한 연구*
- 유지선, 정영진, 2015. *폭발의 위험성에 의한 선박화재의 사고사례 분석*
- 한상국, 조대환, 박찬수, 2006. *기관실화재 인명위험성평가에 관한 연구*
- 김동찬, 김만웅, 조대환, 이영호, 2002. *선박화재사고의 재해방지에 관한 연구*
- 서성원, 양영순, 2011. *선박 기관 구역의 화재 안정성 평가*
- 방창훈, 최현기, 이봉섭, 안대영, 2016. *소방용 특수방화복 착용시 트레드밀 걷기시간에 따른 신체변화*
- 조규환, 여인환, 2016. *성능위주 소화설비 적용을 위한 표준 랙크의 화재 확산속도 평가*
- 최병일, 한용식, 오창보, 김명배, 김창, 2007. *선박기관구역 미분무수 소화설비 화재진압 성능 평가*
- 한국선급 검사지원팀, 2012. *최근 PSC 출항정지 및 주요 지적 사례*
- 한국선급 검사지원팀, 2012. *2012 PSC CIC 설명회*
- 국토해양부, 2012. *2012년 집중점검제도(CIC) 대응 설명회*
- 해양수산부 해사안전정책과, 2016. *항만국통제 동향 및 예방대책*
- 송우승, 함승희, 윤명오, 2014. *화재진압 교육훈련시설 설치기준의 필요성 및 내용에 관한 연구*
- 경상북도 소방학교, 2014, *소방전술 II*, 46p
- 산청(주), 2016, *SCA 820 Manual*, 7p

감사의 글

먼저 부족한 저의 연구를 논문으로 봐주시고 읽어주신 모든 분들께 감사의 말씀을 올립니다.

학부생 때부터 지도교수님이셨고, 해상근무 시절과 학과 조교를 거쳐 현재에 이르기까지 가끔은 아버지처럼 엄하게, 때로는 친구처럼, 또 때로는 자상한 어머니와 같은 변화무쌍한 리더십으로 저를 이끌어 주신 박영수 교수님이 아니셨다면 이러한 감사의 글을 쓸 기회조차 저에게 허락되지 않았을 것입니다. 마음 깊이 박영수 교수님께 감사드립니다. 연구실과 후배들에게 도움이 될 수 있는 사람이 되기 위해 더욱 정진하고 노력하겠습니다.

논문의 주제와 연구의 방향성을 제시해주신 하원재 교수님, 바쁘다는 핑계로 이끌어주심에 온전히 보답하지 못한 것 같아 너무도 죄송한 마음 가눌 길이 없으며, 그만큼 더욱 감사드립니다. 또한 논문이라는 것이 생소하고 어렵게만 느껴져 어떻게 시작할지 몰라 갈피를 못 잡고 있을 때 길을 열어주시고 긍정의 에너지를 심어주신 이은방 교수님께 존경과 감사를 드립니다.

업무와 공부를 병행하도록 허락해주신 박한일 총장님, 베풀어주신 은혜 각골난망(刻骨難忘)하여 더욱 열심히 하겠습니다. 감사합니다.

연구실의 큰 아버지시고 덕장의 품격으로 이끌어주시는 박진수 교수님, 세미나 발표 뿐 아니라 기회가 될 때 마다 많은 격려와 조언을 주신 정재용 교수님, 김득봉 교수님, 정초영 교수님, 강정구 교수님, 윤병원 도선사님, 박주성 박사님, 강상근 박사님 모두 감사드립니다.

또한 2년 반의 실습선 생활동안 부족한 제게 늘 기회와 동기부여를 주셨던 김종성 교수님, 이윤석 교수님, 윤귀호 교수님, 전해동 교수님, 박준모 교수님, 이원주 교수님 감사드립니다.

또한 누구보다 진심으로 길라잡이를 자처하여 도와준 연구실 선배이자 학교 동기이자 친구인 박상원 연구원님께 깊은 감사를 드리며, 물심양면 도와준 신대운 연구원님, 이명기 연구원님께도 진심으로 감사드립니다.

논문을 완성하는 과정에서 가끔 주어진 업무에 소홀할 때 마다 격려와 사랑으로 응원해주시고 백업해주신 최동권 비서실장님, 김기찬 선생님, 김은희 선생님께도 무한한 감사를 드립니다.

마지막으로 이 세상 그 누구보다 존경하고 사랑하는 제 인생의 등불이신 아버지, 33년 째 작은 아들 걱정뿐이신 제 인생 최고의 후원자 어머니, 그리고 형과 형수님, 심예린.심지은 양에게도 감사드립니다. 사랑합니다.

