

화재 시뮬레이션을 이용한 선원대피처의 구조 개선에 관한 연구

김원옥¹ · 김종수² · 박외철[†]

(Received January 5, 2015 ; Revised February 13, 2015 ; Accepted March 2, 2015)

Improvement of Citadel Structure on Board Ship Using FDS

Won Ouk Kim¹ · Jong Su Kim² · Woe Chul Park[†]

요약: 근래 해적에 의한 선박 피랍이 전 세계적으로 큰 문제가 되고 있다. 2011년 1월 20일 “삼호 주얼리호”의 경우 해군은 창군 이래 처음으로 공해상에서 해적과 교전하여 선원 21명 모두를 구출하는 쾌거를 이루어냈다. 또한, “한진 텐진호”의 경우, 전 선원이 선원대피처로 신속하게 대피하여 모두 안전하게 해군에 의해 구출되어 선원대피처의 필요성이 강조되었다. 이와 같이 우리나라 선박들이 해적에 의해 피랍되는 경우가 늘어나면서 해적의 위협으로부터 벗어날 수 있는 다양한 방법이 연구되고 있다. 정부는 2011년 1월 선박설비기준을 일부 개정하여 선원대피처를 지정된 위험해역을 항해하는 모든 선박에 설치하도록 강제화하였다. 따라서 이 연구에서는 선박 피랍의 위험상황 발생 시 선원대피처에 인명 안전성을 제고하기 위한 구조 개선 및 설비 구축에 대해 FDS를 이용한 화재시뮬레이션을 통해 분석하였으며 기존의 구조에서 선원대피처의 높이 증가 및 스프링클러 설치가 인명안전에 도움이 되는 것으로 분석되었다.

주제어: 해적, 선박피랍, 선박설비기준, 선원대피처, FDS

Abstract: Recently, vessel hijacking by pirates has been a big issue around the world. In case of the hostages of M/V “SAMHO Jewelry” on January 20, 2011, the Korean Navy has rescued 21 seafarers by first naval operation with somalia pirates since establishment of the Navy. Also, in case of the “HANJIN Tianjin”, all crews evacuated to the Citadel promptly when being attacking by pirates and were safely rescued by the navy. By the accident, Necessity of Citadel for seafarer on board ship came to the fore against pirates. Taking in account increasing pirates accident at sea, many research relating to pirates has been implementing with a view to responding to them so far. By amending the ship facility regulation in the domestic law on Jan. 2011, the installment of Citadel on board ship became mandatory for ocean going vessel serving pirates area. Hence, this paper provides new model of Citadel structure based on an Fire Dynamic simulation in order to improve personal safety in case of vessel hijacking.

Keywords: Pirate, Vessel hijacking, Standard for ship's facilities, Citadel, Fire dynamic simulator

1. 서론

근래에 우리나라 선박들의 해적에 의한 피랍사태가 증가하고 있다. 과거에는 상대적으로 피랍하기 쉬운 소형 상선 및 원양어선이 대상이었다. 그러나 “삼호 드림호” 및 “한진 텐진호” 피랍사건에서 보는 바와 같이 초대형 유조선 및 20kts 이상 고속으로 운항하는 초대형 컨테이너선도 그 대상이 되고 있어 위험해역을 운항하는 모든 선박들에게 위협요소가 되고 있다. 특히, 거의 무정부 상태인 소말리아 근해를 포함한 인도양 전체가 위험해역으로 알려지고 있다. 그러므로 이 해역을 운항하는 선박의 선원들에게 심적 부담감으로 작용하고 있으며 무엇보다

중요한 것은 해적이 총기 및 휴대용 로켓포를 사용할 만큼 그 수법이 아주 흉포해지고 있어 인명안전에 심각한 위협이 되고 있다. “삼호 주얼리”호의 경우, 선장이 해적이 쏜 총에 의해 피습 당하였으며 해적들은 우리 해군에 의해 일부 사살되기도 했다. 국제해사국(IMB: International Maritime Bureau)의 통계에 따르면 소말리아 해적들의 선박 공격 건수는 2013년 264차례였으며 총 12척의 선박이 피랍되었다. 그러한 이유로 우리나라 정부는 특정 위험해역을 항해하는 선박에 대해서는 강제적으로 선원대피처를 설치하도록 하였다.

현재의 선박설비기준에 의하면 선원대피처의 규모는 선

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5289-9893>): Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University, 45, Youngso-ro, Nam-gu, Busan, 608-737, Korea, E-mail: wcpark@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6467

¹ Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, E-mail: kwo0228@naver.com, Tel: 051-620-5816

² Division of Marine System Engineering, Korea Maritime University, E-mail: jongskim@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4367

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

박 자체적으로 정하도록 되어 있으며 이를 규정화하지는 않고 있는 실정이다. 선원대피처는 선원들의 생명보호를 위한 중요한 시설이지만 충분한 공간 확보와 쾌적한 환경을 구축하기는 어려울 것이다. 특히, 소형선박이나 어선의 경우 공간을 확보하는 것도 쉽지는 않을 것이다. 그러나 장시간 거주해야하는 선원대피처의 특성 상 내부의 화재 발생이나 무기에 위한 해적의 공격에 따른 화재나 연기유입 등이 선원들의 인명안전에 또 다른 위협이 될 수 있다. 따라서 이 연구는 내부 화재 발생이나 해적의 무기 공격에 의한 화재 발생 시 선원들의 생존율을 높이기 위한 선박구조 개선 및 설비 구축 등에 대하여 FDS Fire Dynamics Simulator)를 이용하여 검토한다.

2. 선원 대피처 관련 규정

우리나라에서는 국토해양부고시 제2011-60호에 의해 선박설비기준(제2편 제3장 선원 대피처)을 일부 개정하여 고시하였으며 주요 내용은 다음과 같다. 적용범위는 Figure 1에 표시된 해역이다[1]. 그리고 우리나라 선박의 해적 피랍 현황은 Table 1과 같다[2].



Figure 1: A Danger zone of Piracy

○ 제56조의 3(선원대피처의 설치 위치) 선원 대피처는 해당 선박의 구조 및 형태 등을 고려하여 선원 외의 자가 쉽게 식별하기 어려운 장소에 설치하여야 한다.

○ 제56조의 4(선원대피처의 구조 등) ① 선원대피처는 강재(鋼材)로 둘러싸인 구조로서 해당 선박의 선원들이 대피하기에 충분한 공간을 확보하여야 한다. ② 선원대피처에는 다음 각 호의 요건(선박설비기준 참조)에 적합한 제1출입문과 제2출입문을 설치하여야 한다.

○ 제56조의 5(기본설비 및 비품) : 양방향 차단과 무선전화기 1대, 휴대용 비상전등(정원 1인당 1개) 및 휴대용 소화기 1개, 구난식량(정원 1인당 1만 킬로줄) 및 음료수(정원

1인당 3리터), 응급의료구 1식, 간이화장실 1식, 공기공급장치 1식. 다만, 선원대피처가 외부 공기 유입이 가능한 구조인 경우에는 제외한다.

○ 제56조의 6(위성통신설비) : 유선 또는 무선으로 위성을 통하여 외부와 교신이 가능할 것, 충전이 가능한 비상배터리 갖출 것, 외부 안테나는 쉽게 식별하기 어려운 곳에 설치 할 것.

Table 1: Hijacking situation of foreign-flag ship sailors korean nationals on board

Hijacking No	day (Release day)	Ship's name /Korean /ship's type	Nationality /ship's type	Damages	Owner
1	'07.5.15 ('07.11.4)	NO 1 & 2 MAPUNO / 4	Tanzania (Fishing Vessel)	Hijacking in somalia coast Release in 173 days	Korea
2	'07.10.28 ('07.12.12)	GOLDEN LORI / 2	Panama (Chemical Vessel)	Hijacking in somalia coast Release in 45 days	Japan
3	'08.11.15 ('09.2.13)	CAMSTAR VENUS / 6	Panama (Chemical Vessel)	Hijacking in Gulf of Aden Release in 88 days	Japan
4	'10.4.4 ('10.11.6)	SAMHO DREAM / 5	Marshall Islands (Tanker)	Hijacking in Indian Ocean Release in 217 days	Korea
5	'10.10.9 ('11.2.9)	GEUMMI 305 / 2	Kenya (Fishing Vessel)	Hijacking in somalia coast Release in 123 days	Korea
6	'11.1.15 ('11.1.21)	SAMHO JEWELRY / 8	Malta (Chemical Vessel)	Hijacking in Arabia coast Rescue the 6 days	Korea
7	'11.4.30	MT GEMINI / 4	Singapore (Chemical Vessel)	Hijacking in Kenya Mombasa sea	Singapore

3. 선원대피처 피난 시간 검토

한국선급에서는 선원대피처의 규모를 0.85m²/1인 이상으로 정하고 있고 선박의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 선박에 승선하는 인원은 20명 정도임을 감안하여 분석한다. 피난 허용시간은 거실, 층, 복도로 나누어 설계지침을 정하고 있는데 선원대피처의 경우는 가장 유사한 거실로 구분하여 $2 \sim 3\sqrt{A_{area}}$ (천정높이가 6 [m]이하일 경우 계수 2 적용)를 적용하면 선원대피처 내 거주 가능시간은 8.2

[sec]이다. 즉, 모든 선원은 이 시간 내에 피난을 감행해야 한다는 뜻이다. 피난구를 통해 전원 피난 완료하는 시간은 **Equation (1)**에 의해 구한다[3].

$$T = \frac{\sum PA_{area}}{\sum N_{eff}B_{eff}} \quad (1)$$

여기서,

- T : 거실 출구 통과 소요 시간[min]
- P : 인원 밀도[m²/인]
- A_{area} : 당해 거실 등의 각 부분별 바닥면적[단위:m²]
- N_{eff} : 유효유동계수[인/[min/m]]
- B_{eff} : 유효출구 폭 [m]

그리고 또 다른 방식인 미국의 SFPE(Society of Fire Protection Engineers)의 Harold E. "Bud" Nelson과 Frederick W. Mowrer의 비상시 이동 연구의 피난계산방법에 의하여 예측하였다. 균중밀도가 0.54/m² 이상일 경우 피난 완료시간 계산방법은 **Equation (2)**와 같다[4].

$$T_p = \frac{P}{(1 - 0.266D)kDW_e} \quad (2)$$

여기서,

- T_p : 1인이 비상구 통과에 소요되는 시간 [sec]
- P : 통과 인원
- k : 피난 속도 상수 [복도, 비상구는 1.4 적용]
- D : 균중밀도 [인원수[명]/유효면적[m²]]
- W_e : 출구 폭 [m]

이론식에 의한 총 피난시간은 제안한 적정 규모 시 일본 계산식에 의하면 13.4 [sec]로 검토되었다. 단, 유효유동계수는 피난구를 통과하면 즉시 안전구역으로 이동하는 것으로 산정하였다. 그러나 선박설비기준에서는 출입문을 2개로 규정하고 있어 실제 약 6.7 [sec]의 시간이 소요될 것으로 판단된다. 그리고 **Equation (2)**에 의하면 17.7 [sec]이지만 피난구가 2곳이면 8.9 [sec]로 계산된다. 하지만 선박의 경우는 롤링과 피칭에 의한 보행속도 감소가 예상된다.

또한, 선원의 연령에 따른 피난정도를 반영하기 위해 네덜란드의 TNO Human Factors는 BriteEuram 프로젝트인 MEPdesign(Mustering and Evacuation: Scientific Basis for Design)는 프로그램의 일환으로 18세에서 83세의 성인 150명을 대상으로 통로 및 계단의 경사와 동요에 의한 보행속도를 검토하였다. 이때 중동요 및 횡동요 모두에서 동요주기 증가에 따라 약 15 % 정도 감소됨을 알 수 있었다[5].

그리고 **Figure 2**에서 보는바와 같이 유독가스를 포함한

연기의 소멸계수가 0.4이상일 경우 보행속도는 1/2로 감소된다.

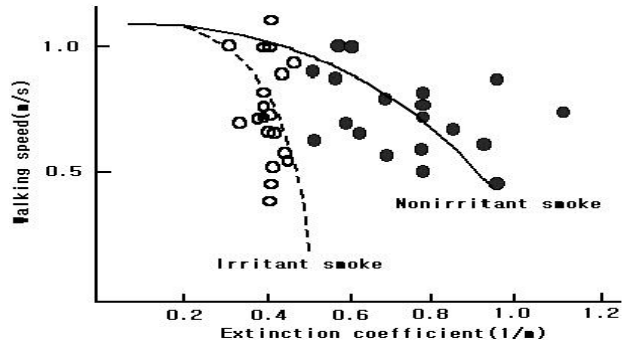


Figure 2: Walking speed during fire

이러한 종합적인 연구 결과를 적용하면 실제 피난시간은 일본 계산식은 약 11.1 [sec], 미국의 SFPE에 의하면 14.7 [sec]로 예상된다. 즉, 거주가능 시간을 초과하여 인명 안전에 문제가 있는 것으로 판단된다. 특히, 자체 화재가 아니라 해적의 공격에 의한 것이라면 출입구 한 곳은 사용이 불가하므로 피난시간이 2배 필요할 것으로 예상된다.

4. 선원대피처 화재 시뮬레이션

4.1 화재 시뮬레이터(FDS)

FDS는 화재로 발생하는 유체의 흐름을 계산하는 CFD 모델로서 저속도의 열 흐름에 대한 Navier-Stokes 방정식의 형태를 수치 해석하는 필드모델로서 열과 연기의 흐름을 강조한 방정식을 계산하는 프로그램이다. 계산방법은 LES(Large Eddy Simulation) 또는 DNS(Direct Numerical Simulation)에 상관없이 보존방정식에 의해 예측된다. Navier-Stokes 방정식은 **Equation (3)**과 같다[6].

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (3)$$

여기서, u : 속도, f : 단위체적당 걸리는 외력

ρ : 밀도, p : 압력, ν : 압력

4.2 화재 시뮬레이션

이론적으로 산정된 적정규모의 선원대피처를 AutoCAD를 이용하여 제작한다. FDS를 사용하여 시뮬레이션을 하기 위해서는 DXF 파일로 화재구역을 제작해야 하므로 AutoCAD를 이용하여 DXF 파일로 변환한 후 3차원 파일로 제작한다. 변환된 파일을 DXF2FDS 프로그램을 이용하여 FDS에서 원하는 파일로 변환한다. FDS를 이용하여 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 화재공간의 재질, 화재의 크기, 유입공기의 속도 및 화재장소 등과 같은 다양한 조건과 변

수가 필요하다. 이 시뮬레이션을 위한 물리적 조건은 아래와 같다. 화재 시 온도 및 가시거리 측정지점은 기준점에서 X축 및 Y축으로 2 [m] 그리고 Z축은 일반적인 사람의 호흡위치인 1.8 [m] 로 하였다. 그리고 공기조절장치는 작동이 불가하여 작동이 중지된 것으로 가정한다.

- 가로 [m] × 세로 [m] × 높이 [m] 4.1 × 4.1 × 2.0 (일인당/0.85m2인 경우)
- 시뮬레이션 시간 50 초
- 화재강도 10 [kW], 100 [kW], 1 [MW]
- 화원의 크기 1 [m] × 1 [m]
- 가연성 물질 목재
- 실내온도 25 [°C]

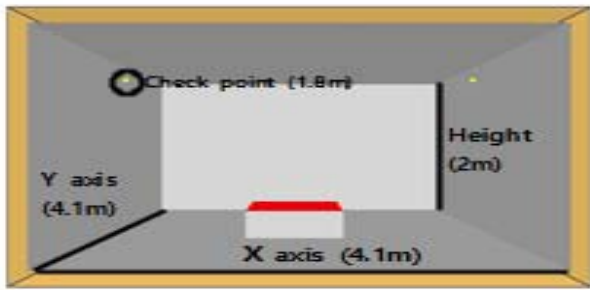


Figure 3: Simulation Area

이 시뮬레이션에서는 대피한계 온도 및 가시거리를 파악한다. 대피공간의 온도는 60 [°C]를 초과하지 않아야 하며 가시거리로서는 출입문, 벽, 계단 등 스스로 발광하지 않는 반사체는 약 6[m]에서 식별 가능한 조건을 만족하도록 규정하고 있다[7]. 온도 측정방법은 FPA방법을 사용하며 Equation (4)와 같다[8].

$$\frac{\Delta T_g}{T_a} = 0.63 \left(\frac{\dot{Q}}{m \cdot C_p T_a} \right)^{0.72} \left(\frac{h_k A_T}{m \cdot C_p} \right)^{-0.36} \quad (4)$$

여기서, ΔT_g : 고온 기체층 온도상승 ($T_g - T_a$) [K]

T_a : 주위온도 [K]

\dot{Q} : 화재의 열방출율 [kW]

m : 강제 환기 유량 [kg/s]

C_p : 비열 [kJ/kg K]

h_k : 열전달 계수 [kW/m²]

A_T : 공간내의 총 면적 [m²]이다.

4.3 선박 구조 및 설비 개선

4.3.1 선원대피처 높이 증가

화재 발생 시 인명의 위험은 온도 및 연기에 의한 질식이다. 3.2절에서 밝힌바와 같이 거주 가능 온도는 60 °C 그리고 가시거리 6 [m] 확보가 필요하다. 거주 가능 온도 및

가시거리는 바닥에서 1.8 [m]에서 측정하고 온도 증가 및 연기는 상층부에서 아래로 내려온다는 사실에 착안하여 이 시간을 늘리기 위해 선원대피처의 높이를 증가하고자 한다. 현재의 거주구역 높이 기준인 2 [m]를 시작으로 1 [m]씩 증가하여 최대 5 [m]로 설정 하였다. 한국선급에서 규정한 일인당 0.85 [m²]의 규모로 선원대피처가 설치되었을 경우 피난 안전 온도 및 가시거리를 분석한 결과는 Table 2 and 3과 같다[9]. 즉, 피난 허용시간을 계산하면 8.2 [sec]이므로 화재강도가 10 [kW]에서는 분석한 모든 높이의 공간이 가능한 것으로 나타났으나 100 [kW]에서는 온도의 경우 3 [m]이상에서는 피난 가능시간을 초과하여 안전한 것으로 나타났으며 가시거리의 경우는 모든 경우에서 가능한 것으로 나타났다. 대형 화재인 1 [MW]시는 거주 가능 온도의 경우 5 [m] 이상 시에는 피난 가능 시간을 만족하는 것으로 나타났으나 가시거리의 경우는 4 [m] 이상에서 안전 피난 완료시간을 만족하는 것으로 분석되었다. 즉, 선원대피처의 높이를 4 [m]이상인 곳에 설치 시 인명 안전에 도움이 될 것으로 판단된다.

Table 2: Time (sec) to reach a temperature of 60°C (0.85m²/person)

Height (m)	Max. Temp.(°C)		
	/Reaching time to Max. temp. (sec)		
	/ Reaching time to 60°C(sec)		
	10 kW	100 kW	1 MW
2	37.4 / 50 / -	113.6 / 49 / 5	462.8 / 36 / 3
3	33.4 / 48 / -	81.1 / 46 / 16	349.5 / 48 / 4
4	30.4 / 44 / -	65.2 / 48 / 45	281.6 / 49 / 5
5	26.7 / 50 / -	39.2 / 29 / -	238.4 / 42 / 14

Table 3: Time (sec) to reach the visibility range of 6m (0.85m²/person)

Height (m)	Min. Vis.(m)		
	/Reaching time to Min. Vis. (sec)		
	/ Reaching time to 6 m(sec)		
	10 kW	100 kW	1 MW
2	19.8 / 50 / -	3.2 / 49 / 15	0.4 / 50 / 3
3	30 / 50 / -	5.1 / 48 / 38	0.7 / 47 / 6
4	30 / 50 / -	7.0 / 48 / -	0.8 / 49 / 12
5	30 / 50 / -	11.2 / 47 / -	1.0 / 50 / 19

4.3.2 스프링클러 설치 후 비교분석

선박용 스프링클러는 NFPA 13의 1996판에 처음 수록되었다. 선박에는 스프링클러가 설치되는 경우가 거의 없었기 때문이다. 그러나 몇 번의 선박화재 대형 사건으로 국제

해사기구(IMO)에서 모든 신규 여객선 및 기존 선박에 스프링클러 설비의 설치를 요구하게 되었다. 그리고 1998년에 NFPA 301 Code for Safety from Fire in merchant Vessels도 대부분의 여객선에 스프링클러의 설치를 요구하고 있다 [10].

그러나 아직 상선에서는 페인트 창고를 제외하고는 스프링클러가 설치되어 있지 않다. 이 연구에서는 밀폐되어 있는 선원대피처에 화재나 해적의 무기에 의한 외부로부터의 공격에 의한 화재를 고려하여 스프링클러 설비가 선원들의 인명안전에 미치는 영향에 대해 검토하고자 한다. 물론, 성능이 우수한 스프링클러를 설치하면 훨씬 빨리 진화되겠지만 이 연구에서는 설치 전후에 대한 비교분석이므로 특정 성능에 제한하여 검토하며 성능에 대한 주요 상세는 Table 4와 같다. 그리고 일반적인 상선의 페인트창고에 설치된 스프링클러와 같이 내부에서 수동으로 작동하도록 하였으며 작동시간은 화재 발생 후 5 [sec]로 하였으며 간격은 1 [m]로서 총 6개를 배치하였다.

Table 4: Specifications of Sprinkler

MODEL : Upright K-25
OPERATING_PRESSURE : 1.034214
K-FACTOR : 363
RTI : 50
C-FACTOR : 0.3
OFFSET_DISTANCE : 0.20
SIZE_DISTRIBUTION : 1
1000 2.43 0.6

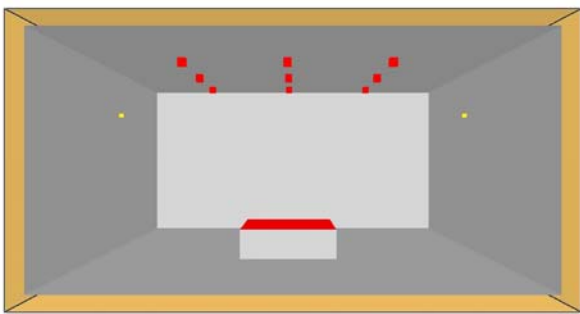
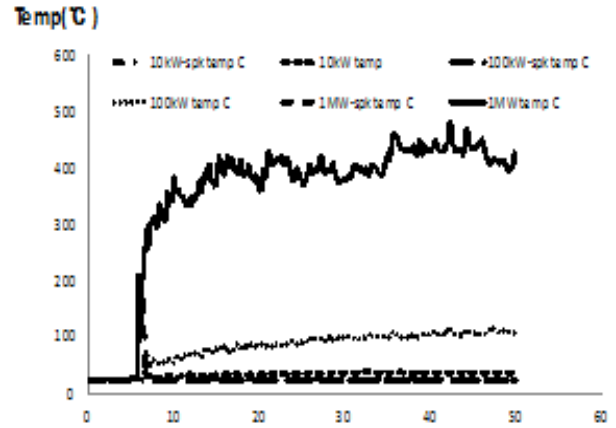


Figure 4: Layout of Sprinkler

Table 2 and 3과 Figure 5에서 보는바와 같이 스프링클러가 설치되지 않은 경우에는 지속적인 온도 상승이 발생하며 특히, 1 MW의 대규모 화재인 경우 최대 약 500 [°C]까지 온도가 상승함을 알 수 있다. 하지만 스프링클러 설치 시에는 약 10 [sec] 이내에 화재가 진압되었다. 화재가 발생한 이후 10 [sec]까지의 시물레이션 결과 가시거리는 10 [kW] 및 100 [kW]시에는 시물레이션 가시거리 최대값인 30 [m]를 모두 만족하였으나 1 [MW]의 경우는 3 [m]로 피난 가능 가시거리를 확보 하지 못하는 것으로 나타났다. 즉,

100 [kW]이하의 소규모 화재나 외부로부터 연기 유입과 같은 경우에는 스프링클러 설치가 인명 안전에 도움이 되는 것으로 판단된다.



5. 결론

현재 우리나라의 경우 선원대피처는 선박설비기준에 의해 강제로 둘러싸인 13 [mm]이상의 구조에 두 개의 출입문을 설치하도록 되어 있다. 그리고 규모에 대해서는 일인당 0.85 [m²]이상으로 규정하고 있으나 높이에 대해서는 규정하고 있지 않다. 외부로부터의 연기유입 혹은 내부화재시 선원의 안전에 선원대피처의 높이가 아주 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 다양한 화재강도로 화재시물레이션을 실시한 결과 높이가 4 [m]이상이어야 안전 피난 완료시간을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 해군에 의한 구출작전이 지연될 경우 모두 밖으로 나와서 해적에 의해 피랍될 수 밖에 없다. 선원피난처에 아주 오래 동안 피할 수는 없지만 피난 할 수 있는 시간이 증가되면 구출 작전에 도움이 되어 선원들의 안전 확보 가능성이 높아 질 것이다. 또한, 이 연구에서는 선원대피처의 설비 구축 차원에서는 스프링클러 설치를 검토하였다. 스프링클러 작동 시 10 [sec] 이내에 화재가 진압되어 모든 경우 온도 상승은 일어나지 않아 온도 상승은 없었다. 그리고 가시거리의 경우 화재가 발생해서 진압될 때까지 10 [sec] 간의 시물레이션 결과에서 10 [kW] 및 100 [kW]에서는 최대 값인 30 [m]를 모두 만족하였으나 1 [MW]의 경우는 3 [m]로 피난 가능 가시거리를 확보 하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 100 [kW]이하의 화재나 외부로부터 연기 유입과 같은 경우는 스프링클러 설치는 인명 안전에 크게 도움이 되는 것으로 판단 된다.

References

[1] National Legal Information Center (2014), Standard of Ship Equipment, <http://www.law.go.kr>
 [2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs,

- Strengthen Maritime Industry International Cooperation Research for Preventing Pirates Hijacking, p. 44, 2012.
- [3] Ministry of Land Infrastructure, Notification No. 1441 of the Ministry of Construction, 2000.
- [4] Korean Fire Protection Association, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2005 (in Korean).
- [5] H. T. Kim, ““The effect on the mobility of evacuating passengers in ship with regard to list and motion,” Industrial Engineering Interfaces, vol. 17, no. 1, pp. 22-23, 2004 (in Korean).
- [6] K. B. McGrattan, G. P. Forney, Fire dynamics simulator (Version 4) user's Guide, Technical reference guide. National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1018, 2004.
- [7] D. H. Rie and J. O. Lew, “A study of heat & smoke evacuation characteristics by the changing of operational method of tunnel fan shaft ventilation system for fire on subway train vehicle,” Fire Science and Engineering, vol. 17, no. 2, pp. 62-69, 2003.
- [8] Korea Institute Of Nuclear Safety, Development of Performance Based Fire Hazard Analysis Method and Evaluation System (Evaluation of Fire Modeling), pp 19-20, 2008.
- [9] Korean Register of Shipping, KR Technical Information (The requirements for citadel's facilities, no 2011-LAW-01, 2011
- [10] James D. Lake, National Fire Protection Association, NFPA 13-2010 Automatic Sprinkler Systems Handbook, p. 905, 2011.