

선박구조가 승무원 생존율에 미치는 영향에 대한 연구

김 원 옥*

* 부경대학교 대학원

A Study on the Crew's Survival ratio according to ship's structure

Won-Ouk Kim*

* University Graduate school of Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약 : 선박은 충돌로 인한 침수, 화재 등 여러가지 이유로 긴급피난을 감행해야하는 경우가 많다. 특히, 선박의 경우 그 구조의 특성상 좁고 미로같은 복잡한 형태로 구성되어 신속한 탈출이 어렵다. 화재에 의한 인명손상의 경우 연기에 의한 질식사 대부분을 차지하므로 신속한 탈출은 생존율 향상에 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 선박화재시 연기거동과 가시거리 확보 등에 대해 화재 분석 전용프로그램인 FDS(Fire Dynamic Simulator)를 이용하여 검토한다. 승무원 피난의 경우는 인간행동특성을 고려한 Pathfinder로 검토하였다. 이러한 분석 프로그램을 이용하여 기존 선박구조에 대한 화재확산과 승무원 피난시간을 검토하고 이와 동시에 변경된 구조가 승무원 피난에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

핵심용어 : 선박화재, FDS, 긴급피난

Abstract : Land fire receives additional extinguishing methods easily by professional extinguisher. But because of isolation and independence from land when sailing on the sea, ships are difficult to get special help from land. Generally, the death ratio by suffocation is higher than the death rate by flame and to reduce suffocation death ratio, fast evacuation is required. This paper aims to improve survival ratio at ship fires by soot density reduction. This study examines soot density and visibility using FDS. And also examines evacuation time by Pathfinder. The FDS(Fire Dynamic Simulator) is a 3 zone model(Field Model) analysis tool and the pathfinder is a useful analysis tool for evacuation. This research examined about evacuation time using the current regulations of the ship's corridor width and exit width first. And then studied evacuation time again when ship's structure was changed according to the method that is proposed in this paper. And finally compared the results each other.

Key words : Ship's fire, FDS, Emergency evacuation

1. 서 론

1.1 개요

해양사고에는 충돌, 접촉, 좌초, 화재 등이 있다. 이 연구에서는 다양한 해양사고 중 화재가 발생했을 경우를 가정한 승무원들의 피난 안전성에 대해 검토하고자 한다.

기존 선박의 복도폭, 피난구의 폭 등에 대한 탈출속도를 검토하고 이 연구에서 제안된 구조가 승무원 피난능률 향상에 미치는 영향에 대해 검토한다.

1.2 연구방법

화재연구는 상·하층부의 온도 및 연기 하강시간을 고려한 간단하고 쉽게 적용이 가능한 Zone Model 방식과 3차원 공간에서의 복잡하고 세분화된 해석이 가능한 Field Model 방식을 사용하고 있다. 이 연구에서는 정확한 화재연구를 위하여 Field Model인 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발하여 전 세계적으로 가장 많이 사용되고

있는 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용하였다. 이 연구를 위해서는 화재구역 도면을 .dxf 파일로 제작하여 FDS에서 요구하는 데이터 포맷으로 변환 한 후 FDS를 이용하여 연구를 수행하였다. 적용 방법은 Fig. 1과 같다(NIST, 2004).

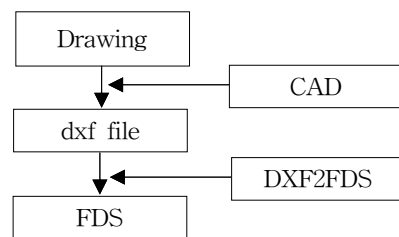


Fig. 1 Diagram of flow for using FDS

그리고 피난의 경우 SFPE(Society of Fire Protection Engineers)의 Harold E. "Bud" Nelson의 비상시 이동 연구의 피난계산방법과 인간의 행동 특성을 충분히 고려한 피난전용 프로그램인 THUNDERHEAD에서 개발한 Pathfinder를 이용하였다.

* 연회원, kwo72@hhu.ac.kr 051)410-4762

2. 피난의 개요

2.1 피난계획의 원칙

피난설비의 원칙은 fool safe와 fool proof가 지켜져야 한다. fool safe란 목적하는 동작이 실패하더라도 안전한 상태가 되는 것을 말하며, fool proof란 비정상적인 상태의 인간이 행동하더라도 안전한 상태가 유지되는 것을 말한다.

즉, 그 구조가 아주 단순하고 명쾌하여야 하며 유동계수를 고려한 유효 폭 및 두 방향 이상의 출입구를 고려하여야 한다. 화재에 의하여 한쪽 피난구가 봉쇄될 경우를 감안하여야 함과 동시에 유동인원의 적절한 분산을 통하여 탈출시간도 줄여야 한다. 피난시간 예측에는 거주밀도, 비상구의 폭, 피난거리, 수평 및 수직 피난속도 및 출입구의 개수 등이 고려되어야 한다.

2.2 육상의 규정 검토

1) 우리나라의 규정

건축법 시행령에 의하면 제 34조의 “직통계단의 설치”, 제35조의 “피난계단의 설치”, 제36조의 “옥외피난 계단 설치” 등에서 피난에 관한 설비를 규정하고 있다(국가법령정보센터, 2010).

2) 외국의 규정

① 미국 : 미국의 NFPA 101 Life Safety Code에서는 피난에 관해 다음과 같이 규정하고 있다

- 피난로, 피난로의 분리, 피난로의 구성요소 피난로의 수용 능력

② 일본 : 일본의 경우 2000년 건설성 고시의 피난계산방법과 1985년에 발간된 신 건설방화설계지침에 피난에 관련하여 아래와 같은 사항을 규정하고 있다.

- 피난 허용시간, 피난시간, 유동계수

2.3 선박의 규정 검토

우리나라는 “선박방화구조기준”에 탈출통로 확보를 위한 내용을 규정하고 있다. 그리고 선박의 경우는 그 특성상 국제항해에 종사하기 때문에 국제규정을 따르게 된다. 그 규정은 SOLAS FSS Code 제 13장의 “탈출수단 배치”에 여객선과 화물선을 구분하여 규정하고 있다. 이 중 화물선에 대해서는 계단과 복도에 대하여 “실제 통과 폭이 70cm 이상이어야 하며 그 한 쪽에 핸드레일이 부착되어야 한다”라고 규정되어 있다. 이러한 규정들은 승무원의 안전한 탈출에 필요한 시간을 충족시키기 위하여 설비기준을 정한 것이다(SOLAS, 2006).

3. CFD를 이용한 화재분석

3.1 시뮬레이션 조건

이 연구에서는 한국해양대학교 실습선 한바다호에서 가장 많

은 인원이 거주하는 학생 침실공간인 main deck에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 화재는 크기 및 가연성물질에 따라 매연 농도가 다르지만 가장 좋지 않은 상황을 고려하여 철도차량 및 일반차량에 일반적으로 적용되는 화원(火源)과 유독가스 그리고 화재확산이 빠른 유류화재에 대하여 분석하기로 한다. 시뮬레이션을 위한 조건은 아래와 같다.

- 시뮬레이션 시간 120초
- 화재규모 2MW
- 화원의 크기 4m x 0.5m
- 가연성 물질 유류
- 실내온도 20°C

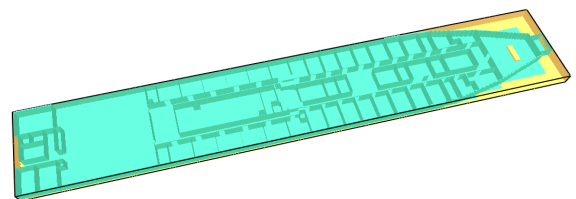


Fig. 2 3D model for using FDS

3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 검토의 주안점은 학생구역의 온도 및 피난과 관련된 연기거동에 대해 정밀 검토하였다. 화원에서 10m간격으로 50m까지 보행속도를 감소시키는 소멸계수와 연기에 의한 가시거리를 검토하였다. 가시거리의 경우 발광표지(light emitting target)의 경우 무차원 특성상수인 C를 8, 반사표지(Light reflecting target)의 경우 3을 이용한다. 이 연구에서는 선박에 부착된 반사표지를 감안하여 상수 3에 의한 가시거리를 검토한다(NIST, 2004). Fig. 3에서 보는 바와 같이 화원에서 10m 떨어진 지점에서는 약 6초후 그 온도가 100°C로 급격하게 상승함을 알 수 있으며 20m지점에서는 약 15초 후 70°C정도 그 이후에서는 60°C를 기준으로 약간 상승함을 알 수 있다. 피난과 온도에 관한 내용 중 “대피공간의 온도는 60°C를 초과하지 않아야 한다”라는 NFPA130(1997)의 연구가 있다. 즉, 60°C이상의

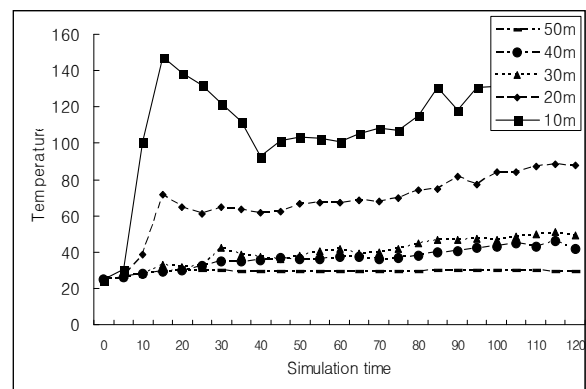


Fig. 3 Temperature distribution according to Simulation time

온도에서는 인간의 피난이 어렵다는 것이다. 이 연구에서 검토된 바는 화원10m, 20m지점에서 온도에 의한 피난장애를 받기 전 화원에서 멀어짐을 알 수 있었다.

Fig. 4는 소멸계수를 나타낸 것으로 Fig. 6에서 보는바와 같이 유독가스를 포함 연기의 소멸계수가 0.4이상일 경우 보행속도는 1/2로 감소됨을 알 수 있는데 화원에서 10m떨어진 지점은 약 6초 후 소멸계수가 0.4로 증가, 20m 떨어진 지점에서는 약 12초 후에 소멸계수가 0.4로 증가하였다(한국화재보험협회, 2005). Fig. 6은 확인된 소멸계수에 의한 가시거리를 그래프로 표현한 것이다. 그러나 이 연구에서는 Fig. 9에서 보는바와 같이 선수공간에서 화재가 발생한 경우 학생침실까지 연기가 도달하는데는 약 6초정도 걸리기 때문에 이 시뮬레이션에서는 소멸계수 증가로 인한 보행속도 감소는 없는 것으로 검토되었다.

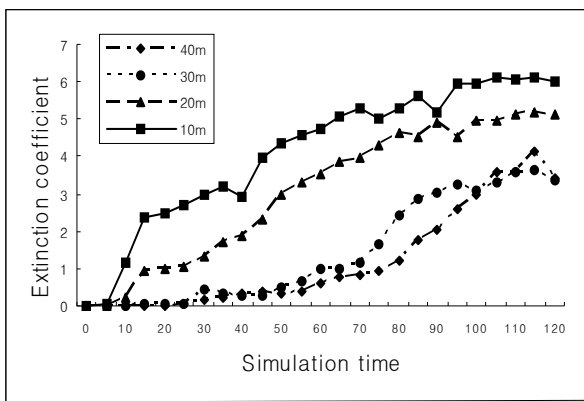


Fig. 4 Extinction coefficient according to Simulation time

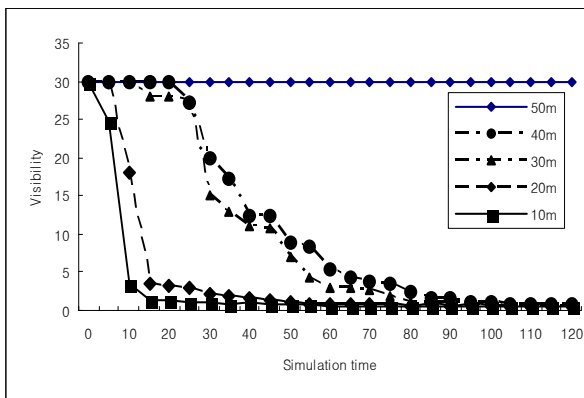


Fig. 5 Visibility according to Simulation time

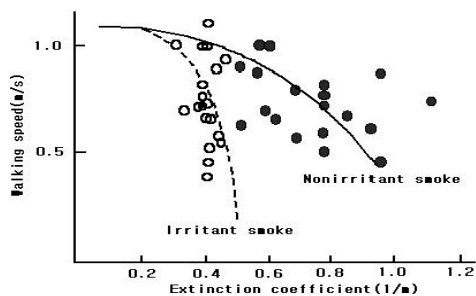


Fig. 6 Walking speed according to Extinction coefficient

가시거리도 10m지점에서 약 6초 후 4m정도 감소됨을 알 수 있었다. 화재 발생 후 6초가 지난 후에는 10m지점을 통과하였기 때문에 가시거리 감소로 인한 보행속도 감소는 없었다.

4. 피난시간 예측

학생침실이 위치한 main deck의 화재발생시를 가정하여 학생들이 탈출하는데 소요되는 시간을 예측하였다. 예측방법은 인간의 피난특성 (보행속도, 신체특성 등)을 고려한 SFPE에서 제안된 계산법을 이용한 피난 전용 검토 프로그램인 Pathfinder를 이용하였다. 피난조건은 총 26개 침실에 4명(총 104명)이 거주하는 것으로 가정하였으며 화재 발생구역은 선수부분 학생 독서실로 하였다.

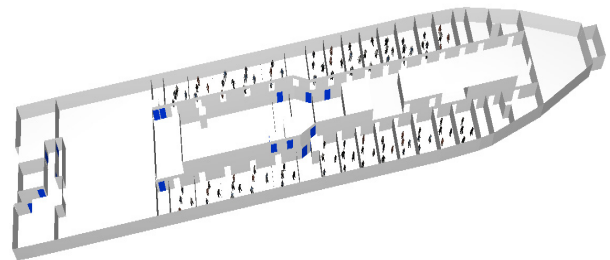


Fig. 7 3D Model for using Pathfinder

시뮬레이션결과 총 104명의 학생들은 모두 96초후 피난완료하는 것으로 검토되었다. 이는 소멸계수 증가에 따른 보행속도 감소를 감안하지 않는 것이나 FDS를 이용한 소멸계수 확인결과 화원에서 10m떨어진 지점에 약 6초후 소멸계수가 0.4로 증가하였다. 그러나 화원 10m안에 있는 학생들은 6초 이전에 탈출을 감행하여 연기로 인한 학생들의 보행속도 감소는 이 연구의 조건에 의한 화재시에는 없는 것으로 검토되었다. Fig. 8은 시간에 따른 피난인원을 그래프로 표현한 것이다.

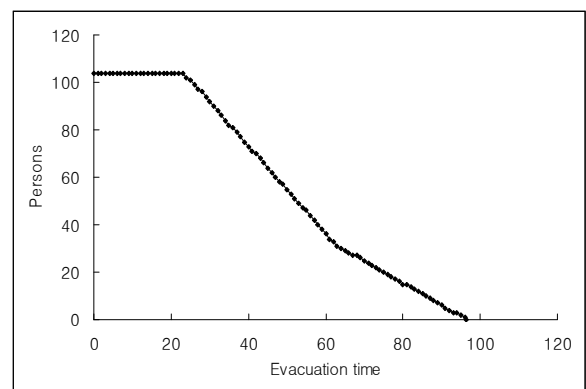


Fig. 8 Number of evacuation persons according to simulation time

Fig. 9 & 10은 FDS를 이용한 화재시뮬레이션 후 연기거동과 Pathfinder를 이용한 피난시뮬레이션 결과를 동시간대로 표현

한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 학생의 피난이 연기의 확산보다 빨리 이루어짐을 알 수 있다. 단, 이 시뮬레이션은 학생들이 피난준비를 완료한 시점에서 시뮬레이션을 실시하였으므로 초기 지연시간은 감안하지 않았음을 밝혀둔다.

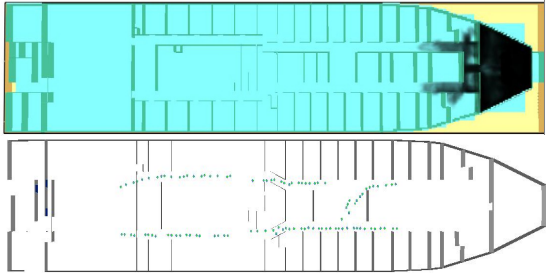


Fig. 9 After 6sec (FDS & Pathfinder)

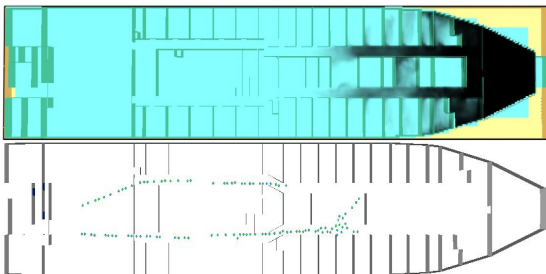


Fig. 10 After 12sec (FDS & Pathfinder)

5. 선박구조 변경에 의한 피난 능력 향상

5.1 복도폭 증가

SOLAS FSS Code 제 13장의 “탈출수단 배치”에 여객선과 화물선을 구분하여 규정하고 있다. 이 중 화물선에 대해서는 계단과 복도에 대하여 “실제 통과 폭이 70cm 이상이어야 하며 그 한 쪽에 핸드레일이 부착되어야 한다”라고 규정되어 있다. 일반적인 실습선의 복도의 폭은 구조에 따라 다르지만 일반적으로 약 1m 정도로 건조되었다.

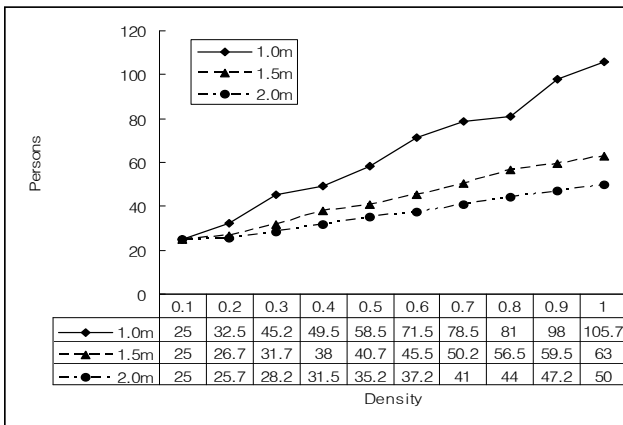


Fig. 11 Number of evacuation persons according to corridor width

Fig. 11에 의하면 복도 폭의 경우 균중밀도가 0.5일 경우 (100m²에 균중이 50명인 경우) 복도의 폭이 1m보다 50cm가 증가한 1.5m인 경우 피난시간이 급격하게(17.8초) 줄어들었다. 결과적으로 균중밀도가 0.5보다 낮은 경우에는 복도의 폭을 넓히는 것이 피난속도 감소에 미치는 영향이 크지 않으나 0.5이상일 경우는 큰 역할을 하는 것을 알 수 있다. 그리고 1m와 1.5m는 피난시간 감소폭이 크나 1.5m와 2m는 그 폭이 크지 않다.

즉, 균중밀도가 0.5이상일 경우 복도 폭 50cm 증가시 피난시간 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

5.2 피난구 폭의 증가

모든 피난인원은 결국 피난구로 모여들 수밖에 없다. 많은 사람이 제한된 피난구로 모여들기 때문에 병목현상이 생기게 마련인데 피난구를 통해 밖으로 나가는 것을 계수로 표현한 것이 유출계수이다. 즉, 피난구의 폭이 증가하면 유출계수값이 높아져 피난에 도움이 될 것으로 판단되어 아래와 같이 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 균중밀도가 0.2까지는 피난구의 폭 증가가 큰 의미가 없었으나 0.3이상에서는 50cm 증가시 6초, 1m증가시 8.5초가 감소하였다. 그러나 그래프를 보면 1.5m와 2.0m의 차이는 1m와 1.5m와의 차이에 비해 적다. 즉, 균중밀도가 0.3이상 일 경우 50cm를 증가 시키면 피난시간 감소에 도움이 될 것으로 판단된다.

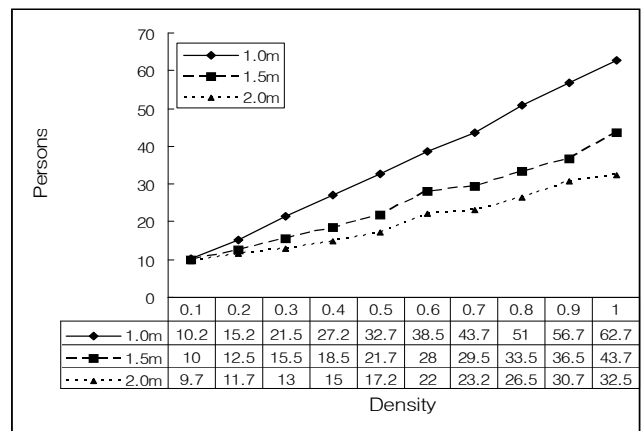


Fig. 12 Number of evacuation persons according to exit width

6. 결론

여러가지 조사 및 통계에 의하면 화재발생시 온도상승에 의한 인명손실보다는 연소시 발생하는 각종 독성물질에 의해 질식사하는 경우가 많은 것으로 나타난다. 일반적으로 매연에 의해 가시거리가 제한되면 사람들은 패닉현상에 빠져 당황하게 되어 탈출이 쉽지 않게 된다. 그리고 온도상승, 산소량 감소 등으로 인하여 탈출이 어려워진다. 화재 분석에 의하면 화원에서 10m 및 20m에서 대피한계온도(60°C)를 초과하였으나 30m 이상에서는 온도에 의한 대피한계는 없는 것으로 검토되었으며 가

시거리의 경우 화원에서 10m 및 20m 떨어진 지점에서 약 10초 후 5m이하로 급격하게 감소하였으나 30m이상에서는 약 50초 후 10m로 감소하는 것으로 검토되었다. 이 연구에서는 이러한 피난 장애요소 개선을 통한 생존율 향상을 제고하기 위해 기존 선박구조의 변경 즉, 복도폭, 피난구의 폭 증가시 피난시간 증가에 대해 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 복도의 경우 균중밀도가 0.5이상일때 폭 50cm증가시 피난 시간 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 검토되었다.
2. 피난구의 경우 균중밀도가 0.3이상일때 폭 50cm증가시 피난시간 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 검토되었다.

향후 연구는 피난개시전 소요시간, 선박의 경사에 의한 피난 자연시간 등 신속한 피난에 지장이 주는 다양한 상황을 고려한 검토가 필요할 것으로 본다.

참고문헌

- [1] 국가법령정보센터(2010), 건축법시행령, www.law.go.kr
- [2] 손봉세(1997), 소방학개론, 동화기술, p244
- [3] 한국화재보험협회(2005), SFPE 방화공학 핸드북
- [4] 한국선급, 해양수산부 (2006), SOLAS -CONSOLIDATED EDITION 2006-, 해인출판사
- [5] THUNDERHEAD ENGINEERING(2009), User Manual, <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>
- [6] NFPA(2009), NFPA 101 Life Safety Code, <http://www.nfpa.org/>
- [7] NIST(2004), Fire Dynamics Simulator (Version 4) User's, <http://fire.nist.gov/fds/>
- [8] NIST(2004), User's Guide for Smokeview Version 4-A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data, <http://fire.nist.gov/fds/>

원고접수일 : 2010년 3월 25일
심사완료일 : 2010년 7월 16일
원고채택일 : 2010년 7월 20일