

선박의 거주구역 화재시

연기거동 및 온도변화에 관한 시뮬레이션 연구

김원욱⁺, 김종수⁺⁺, 오세진⁺⁺⁺, 김성환⁺⁺⁺⁺

A Simulation Study on Distributions of Smoke and Temperature in Accommodation on Shipboard Fires

Won-Ouk Kim⁺, Jong-Su Kim⁺⁺, Sae-Gin Oh⁺⁺⁺ and Sung-Hwan Kim⁺⁺⁺⁺

Abstract : This paper aims to simulate by FDS(Fire Dynamics Simulator) the distributions of temperature and smoke on fires in accommodations on boards. The paper focuses on analysis of temperature at fire occurrence and soot density. The purpose of this study is to predict the possibility of safe escape and efficient fire extinguishing method using fire simulation results.

Key words : Temperature, Smoke, Accommodation, FDS, Smoke particulate

1. 서론

선박은 대부분의 경우 육상화재와 달리 외부로부터 소방활동을 기대할 수 없어 자력으로 처리해야 하며 소화에도 한계가 있으므로, 대규모 화재로 번지게 되어 인명과 선박의 손실을 가져온다. 본 연구는 선박의 화재시 대피공간의 온도와 매연농도를 분석하여 승무원의 안전한 대피를 위한 참고 자료를 확보하고자 이루어졌다. 대상 선박은 2006년 새롭게 건조된 한국해양대학교 실습선 한바다호이며, 화재 가상 시뮬레이션을 위해 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 사용 운용중인 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 사용한다. 화재구역은 거주구역으로 선정하였으며 AUTOCAD도면을 이용하여 DXF 파일로 제작하였다. 또한 변환된 파일을 DXF2FDS를 사용하여 FDS에서 요구하는 데이터 포맷으로 변환후 FDS를 이용하여 실행하였다. 적용 방법은 Fig. 1과 같다^{[1][2]}.

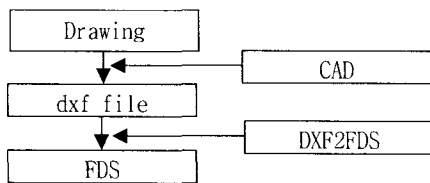


Fig. 1 Diagram of flow

2. 선박화재 관련 규정

2.1 화재에 대한 규정 검토

육상의 경우에는 미국의 방화협회(NFPA: National Fire Protection Association)가 화재예방과 안전을 목적으로 세계적인 선도기관으로서의 역할을 담당하고 있으며, 선박의 경

우는 IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구)의 MSC(MSC: Maritime Safety Committee, 해상안전 위원회), FP(Fire Protection: 방화 소위원회)에서 선박의 화재 제어에 대한 전반적인 내용을 다룬다. 또한 SOLAS 74(International Convention for the Safety of Life At Sea)의 Chapter II-2 "Construction - fire Protection, fire detection and fire extinction"에서 선박의 방화, 화염탐지 및 소화에 대해 자세히 기술하고 있으며 전 세계의 거의 모든 선박화재에 관련한 법령들은 이 내용을 근간으로 하고 있다^[2].

3. FDS

FDS는 화재로 발생하는 유체의 흐름을 계산하는 CFD모델로서 저속도에서 열적으로 발생하는 유동에 적절한 Navier-Stokes 방정식을 수치적으로 해석하여 화재로부터의 열과 연기의 유동에 대해 중점적으로 검토하는데 사용하는 프로그램이다.

4. 화재시뮬레이션

한바다의 도면을 AutoCAD를 이용하여 제작하고 FDS를 사용하여 시뮬레이션을 하기 위해서는 dxf파일로 변환한다. 다시 변환된 파일을 DXF2FDS 프로그램을 이용하여 FDS에서 원하는 파일로 변환해야 한다. 시뮬레이션을 위한 조건과 변수에는 화재공간의 재질, 화재의 크기, 유입공기의 속도 및 화재장소 등과 같은 다양한 조건과 변수가 필요하다.

4.1 시뮬레이션 개요

이 시뮬레이션에서는 전체적으로 화재의 확산이 가장 빠를 것으로 예상되는 중앙 복도와 실질적으로 화재가 발생할 가능성이

+ 김원욱(한국해양대학교 실습선 한나라호), E-mail: kwo72@mbada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4474

++ 김종수, 한국해양대학교 해사대학 선박전자기계공학부

+++ 오세진, 한국해양대학교 운항훈련원

++++ 김성환, 한국해양대학교 해사대학 선박전자기계공학부

높은 침실에서 화재가 발생할 경우를 가정하여 침실 및 사무실에 온도 및 매연농도를 확인하고자 한다.

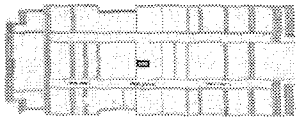


Fig. 2 Fire position & check point (1)

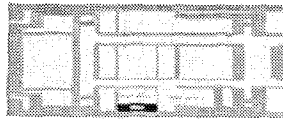


Fig. 3 Fire position & check point (2)

4.2 화재시뮬레이션

육상 화재의 경우, ISO Room-Corner Test(9705) 시험에서 벽, 천장의 마감재는 최초 10분간 100KW가 발생한다고 규정하고 있다^[3]. 그리고 선박의 경우 SOLAS II-2의 FTP Code에서 화재시험 조건을 점화용 불꽃이 있을 경우 50KW/m²에서 10분간 실시하도록 되어있다(SOLAS 1974). 이 시뮬레이션을 위한 계산조건은 실험시간 600초, 화재의 크기 50kw/m², 화재물질 목재, 실내온도 20°C 로 설정하였다.

NFPA 130(1997)에서는 대피공간의 온도는 60°C 를 초과하지 않아야 하며 가시거리의 출입문, 벽, 계단 등 스스로 발광하지 않는 반사체는 20ft(6.096m)에서 식별 가능한 조건을 만족하도록 규정하고 있다. Fig. 4 & 5는 화재 발생 600초 동안 지정된 위치에 대하여 온도변화를 바닥에서 약 1m 상단의 온도 변화를 그래프로 표현한 것이다. Fig. 6은 가시거리의 척도인 매연농도를 나타낸 그래프로써 대피한계 매연농도인 0.65mg/m³ 를 화재 발생장소 check 1을 제외하고는 약 400초후 0.65mg/m³ 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 7은 침실 및 사무실에 대한 화재로 침실은 침실 및 사무실 모두 41초후 약 61.2mg/m³으로 한계농도를 초과한 것으로 나타났다. 발광원에서 빛의 광도(I_e)와 수광원에서 빛의 강도(I), 소광계수(K), 투과거리(L)의 관계식은 Lambert-Beer 식(1)과 같다.

$$I/I_0 = e^{-KL} \quad (1)$$

소광계수는 매연(smoke particle)농도에 영향을 받게되며, 소광계수(K)와 매연농도(ρY_s , Density of smoke particulate) 관계식은 식(2)와 같다.

$$K = K_m \rho Y_s \quad (2)$$

소광계수(K)와 가시거리(S) 관계는 식 (3)으로 표현된다.

$$S = \frac{C}{K} \quad (3)$$

$$\rho Y_s = \frac{C}{K_m \cdot S} \quad (4)$$

여기서,

K = 소광계수

ρY_s = 매연농도, *Density of smoke particulate, (mg/m³)*

K_m = 비흡광계수, *Specific extinction coefficient, (7.6m²/kg)*

S = 가시거리, (m)

C는 상수로서 연기의 종류 및 상황에 따라 달리 적용되지만 일반적으로 반사체에 대해서는 3을 적용한다. 그러므로 식(1)을 계산하면 한계농도의 값은 65mg/m³으로 나타났다.

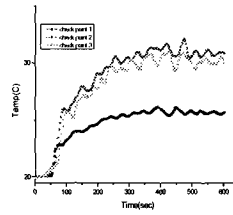


Fig. 4 1m upside in the floor temperature (1)

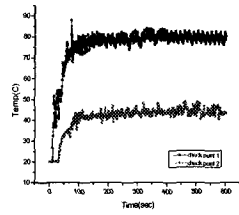


Fig. 5 1m upside in the floor temperature (2)

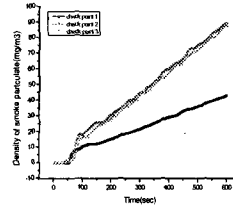


Fig. 6 Density of smoke particulate (1)

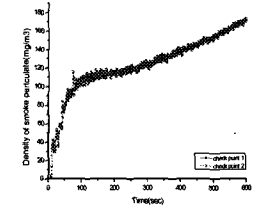


Fig. 7 Density of smoke particulate (2)

5. 결론

한바다호의 거주구역 화재에 대한 가상 시뮬레이션을 실시하였으며, 복도화재시와 침실화재시로 나누어 온도 및 매연농도를 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과 복도화재시는 온도가 32°C로서 인명의 안전한 대피를 위하여 필요한 대피한계온도인 60°C를 초과하지 않는 것으로 나타났으나 침실 화재시는 약 47초후 대피한계온도를 초과하는 것으로 나타났다. 그리고 가시거리의 척도인 매연농도는 화재위치와 떨어진 거리에 따라 다르지만 복도 화재시는 약 400초후에 check 1 & 2에서 초과하는 것을 알 수 있었으나 침실 화재시에는 침실 및 사무실에서 41초후 약 61.2mg/m³으로 한계농도를 초과한 것으로 나타났다. 이 연구는 목재화재로 한정하였으며 주위 다른 구조물에 대한 전파를 감안하지 않고 시뮬레이션을 실시하였으므로 실제 화재는 더 크다고 판단된다. 이러한 비교 분석 결과를 토대로 승무원 대피요령을 작성하고자 한다. 또한 향후 이러한 연구를 바탕으로 효율적인 소화를 위하여 방화벽의 적정 위치 선정, 스프링클러의 작동시간 및 적정 위치 선정, 절연재 사용에 대하여 심도있게 다루고자 하며 또한, 열 및 연기흐름을 파악하여 인명의 안전한 대피 통로를 파악하고자 한다.

참고문헌

- [1] NIST, "Fire Dynamics Simulator (Version 4) (2004) User' 's Guide"
- [2] NIST, "User' 's Guide for Smokeview Version 4- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data" (2004)
- [3] 1974年 海上人命安全協約-1998 統合本(한국전급), 해인출판사, 2001. 4.5.
- [4] 김운형, S.E Dillon, J. G. Quintiere (1999), ISO 9705 Room-Corner Test와 모델 평가, "한국화재소방학회", 제13권 제2호, pp 3-11