

인명안전 관점에서 선박 화재 시 급·배기조건에 따른 배연성능 예측평가

김별* · 황광일**†

* 한국해양대학교 대학원, ** 한국해양대학교 기계공학부

Smoke Exhaust Performance Prediction According to Air Supply and Exhaust Conditions for Shipboard Fires from a Human Safety Point of View

Byeol Kim* · Kwang-Il Hwang**†

* Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

** Division of Mechanical Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 선박의 기계식 환기시스템은 화재발생 시 연기의 생성과 확산 특성에 영향을 미치고, 이는 피난자의 피난경로 상의 가시도를 방해함으로써 피난자의 연기로 인한 피해를 증가시킬 위험성이 크다. 이에 이 연구에서는 선박 거주구역에서 화재발생 시 기계식 급·배기시스템이 연기확산에 미치는 영향과 위험성에 대하여 FDS를 활용하여 평가하고 화재 시 급·배기시스템을 효율적으로 사용할 수 있는 방안을 제안하였다. 연구결과 화재가 발생한 장소에 급·배기시스템이 함께 작동되고 있는 경우에는 현재 권장되고 있는 급·배기시스템을 멈추는 방법보다 작동을 유지하는 것이 효과적이고, 배기시스템만 작동되는 곳에서 화재가 발생한 경우에는 화재가 발생한 구역 이외의 구역에서 급기시스템을 함께 작동시키는 것이 피난시간을 확보하는데 효과적인 것으로 예측되었다. 그러나 화재가 발생한 곳에 급기시스템만 있는 경우에는 급기시스템이 연기확산을 가속시키기 때문에 급기방식을 중단시켜 연기의 확산을 최대한 억제할 필요가 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 선박화재, 급배기방식, 배연, 가시도, FDS

Abstract : When a fire occurs on a ship that has mechanical ventilation facilities, the air supply and exhaust systems directly effect smoke diffusion. And there is a high possibility that occupant's visibility will be harmed because of smoke. In this study, the effects and risks of air supply and exhaust systems with regard to smoke diffusion given a shipboard fire analyzed with a Fire Dynamic Simulator(FDS). Suggested measures are also provided for using air supply and exhaust systems more efficiently. The results showed that, when air supply and exhaust systems were both working at the time of a fire, rather than stopping these systems as previously encouraged, continuing to operate both was an effective measure to gain evacuation time. When a fire occurred and the exhaust system was operating, also starting the air supply system near the origin of the fire was another effective approach to gain evacuation time. However, when only the air supply system was operating and a fire occurred, the air supply system accelerated smoke diffusion, so it was necessary to stop the air supply system to detect smoke diffusion as much as possible.

Key Words : Ship fire, Air supply and exhaust condition, Smoke extraction, Visibility, FDS (Fire Dynamic Simulator)

기호 설명

t : Time

ρ : Density

u : Velocity

p : Pressure

g : Acceleration of gravity

f_b : External force vector

h_s : Sensible enthalpy

q''' : Heat release rate per unit volume

q_b''' : Heat release rate of particles

T : Temperature

W : Molecular weight

* First Author : pooh4762@gmail.com, 051-410-5030

† Corresponding Author : hwangki@kmou.ac.kr, 051-410-4368

- R : Universal gas constant
- q : The conductive, diffusive, and radiative heat fluxes
- m_b : The production rate of species by evaporating particles

그리스 문자

- τ_{ij} : Viscous stress tensor
- ϵ : Dissipation rate
- v_α : Stoichiometric coefficient

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

주5일 근무제 정착과 국민소득 증가로 삶의 질과 소득수준이 향상됨에 따라 여가활동을 즐기기 위한 방안으로 여객선을 이용한 해양관광산업이 빠른 속도로 성장하고 있다. 이를 증명하듯 지난 10년간 국내 연안여객선 이용승객수가 2004년 1,064만 명에서 2013년 1,606만 명으로 50.9% 증가하였다(KSA, 2014). 여객선 이용 증가와 더불어 여객선에서 발생한 사고 또한 증가하고 있다. 해양수산부에 따르면 2010년 이후 매해 22건 이상씩 충돌, 좌초, 화재폭발과 같은 해양사고가 발생하고 있으며 특히 여객선을 비롯한 선박에서 발생한 재난 중 2015년에 발생한 화재의 경우 115건으로 이로 인해 약 110억 원의 재산피해를 입었다(MOF, 2014).

선박은 해상이라는 특수한 환경에 위치하며 구조가 복잡하고 구획이 협소하여 외부로부터 지원을 받기 쉽지 않고 구조활동이 어렵다. 또한 Hwang(2011)의 연구에 따르면 선박은 내부와 외부간의 자연스러운 환기가 발생하기 어려운 고기밀성 구조로 기계식 환기시스템을 이용하여 선내 실내공기를 순환시킨다. 하지만 이러한 구조로 인해 화재발생 시 환기시스템의 급·배기방식을 적절하게 적용하지 못할 경우 공조시스템에 의해 연기가 선내전체로 쉽게 확산될 수 있다. 확산된 연기로 인해 피난활동시 가시거리 저하와 유독가스 흡입을 야기할 수 있으며, 이로 인해 대규모 인명피해가 발생할 수 있다. 화재 시 연기로 인한 피해가 클 수 있기 때문에 선박의 경우 『선박방화구조기준』(MOF, 2015)의 제 16조(중앙홀의 통풍)에서는 중앙홀에서는 10분 이내에 공용실의 총용적에 상당하는 용적의 공기를 환기할 수 있는 배기식기계통풍장치를 설치해야한다고 규정하고 있으며, 또한 제 17조(계단위벽의 통풍)에서도 여객정원이 36인을 초과하는 선박의 계단에서는 적합한 통풍장치를 설치하도록 하고 있다. 하지만 선박의 경우 통풍장치의 개념으로 설치의 필요성에 대하여 언급하고는 있지만, 제연방식이나 배연량, 배

연구 면적 등과 같이 구체적으로 규정하고 있는 육상건물을 대상으로 하는 『제연설비의 화재안전기준』(NEMA, 2013)에 비해 기준이 미흡한 실정이다. 선박화재 시 실질적으로 연기제어성능을 확보하기 위해서는 환기시스템 유무에 따라 화재거동을 예측하고, 열 및 연기거동을 분석하여 연기제어를 위한 급·배기시스템 작동방식 제안과 같은 현실적이고 구체적인 방안이 마련되어야 한다.

그러므로 이 연구는 선박 거주구역 내 화재발생 위치와 급·배기시스템의 작동방식에 따른 연기거동 특성을 고찰하여 배연성능향상을 위한 효과적인 급·배기시스템 운전방안의 제안을 목적으로 한다.

1.2 기존연구고찰

육상의 경우 화재발생 시 연기거동특성을 분석하고 효과적인 연기제어방법을 제안한 연구는 다수 찾아볼 수 있었다. Kim and Kwon(2011)은 대형공간에서 화재 시 화재시뮬레이션프로그램인 FDS를 이용하여 한 방향에서만 급기를 실시할 경우에 비하여 화재가 발생한 곳의 인접구역에 동시에 급기를 실시하는 것이 연기의 확산속도를 줄일 수 있다는 것을 보여주었다. 그리고 Kim and Choi(2008)은 지하철 역사를 축소모델로 제작하여 연기확산실험을 수행한 뒤 연기유동 측면에서 구획되어 있다고 판단할 수 없는 경우 급기를 배제하고 전 구역을 배기모드로 적용하는 것이 연기에 의한 피해를 감소시킬 수 있다는 연구를 수행한 바 있다.

선박화재와 관련된 연구로는, 제연설비가 작동하지 않은 경우 선박화재 시 연기가 피난자에게 미치는 피해에 주목하고 가상모의실험을 통하여 가시율에 따른 생존율을 측정하여 선박화재 시 연기를 제어하여 가시율이 높을수록 생존율을 높일 수 있다는 사실을 확인한 Hwang et al.(2009)의 연구와 선박화재와 같은 재난으로 인하여 정전상황 발생 시 일반승객의 행동특성을 파악한 연구로 정상조명조건 대비 정전조건일 때 상향이동이고 피난유도기기가 없는 경우 이동시간이 226.5%(92.2초)가 더 소요된 것을 확인하였으며 이를 통해 화재발생 시 가시도 저하로 시야확보가 힘들 시 피난활동이 쉽지 않은 것을 밝힌 Hwang et al.(2016)의 결과를 찾아볼 수 있었다. 또한 Kim(2013)과 Kim et al.(2015)은 화재시뮬레이션 프로그램 FDS를 이용하여 환기구가 연기확산에 미치는 영향에 대해 분석하였고, 선박의 복도폭 및 천장높이의 개선이 선박화재 시 인명안전에 상당히 도움이 된다는 결과를 도출하였다.

그러나 선박의 경우 구조적, 설비적 특성상 화재발생 시 연기로 인한 피해를 입을 가능성이 육상건물에 비해 상대적으로 크에도 불구하고 선박화재 시 환기시스템을 고려하여 연기거동 제어방법과 관련된 연구는 많지 않은 실정이다.

2. 선박화재특성

선박화재의 경우 육상에서 발생하는 화재와 달리 다음과 같은 특징을 가진다. 첫째, 선박은 부두에 접안하거나 항구에 정박하고 있는 경우를 제외하고 운항 중 해상에 고립되어 있기 때문에 화재 시 외부로부터 지원을 받아 화재를 진압하기 힘들며 선박 내에서 자체적으로 대응을 해야 한다. 둘째, 선박은 운항을 위한 연료유나 윤활유와 같은 인화성 물질을 사용하고 있기 때문에 화재발생 시 단시간에 대규모 화재로 진전될 가능성이 크다. 셋째, 선박은 선박자체에 기계식 환기시스템으로 급기(Supply air)모드와 배기(Exhaust air)모드를 작동시켜 실내공기를 순환시키는데 이로 인해 화재 발생 지점에서 유출된 연기는 빠른 시간 내에 선박 전체로 확산될 수 있다.

선박 내의 화재가 발생할 수 있는 구역은 크게 거주구역, 기관구역, 화물구역이 있으며 구역에 따라 발화요인과 발생 장소가 다양하고 화재발생 원인과 진압 요령이 다르다. 거주구역의 경우 승선자의 흡연, 전열기의 과부하로 인한 전기화재와 같이 선원이나 여객의 부주의로 화재가 발생할 수 있는 가능성이 크며, 또한 거주구역에는 침구 및 직물류, 가구 등과 같은 다양한 가연성 물질로 인해 빠른 시간 내에 화재가 확산되어 대형화재로 확대될 수 있기 때문에 모든 선박은 자체 용도와 구조특성 등을 고려한 화재진압 매뉴얼을 갖추고 있다. 예를 들면 Yoon et al.(2011)이 제시한 Fig. 1의 화재진압 프로세스에서는, 선박에서 화재가 발생하면 비상 소화부서 배치표에서 정한 집결장소에 집결한 후 승무원은 각자 맡은 임무를 수행하는데, 첫 번째 순서로 비상정지버튼을 눌러 통풍장치를 차단하고 외부로 통하는 문은 모두 닫도록 하고 있다.

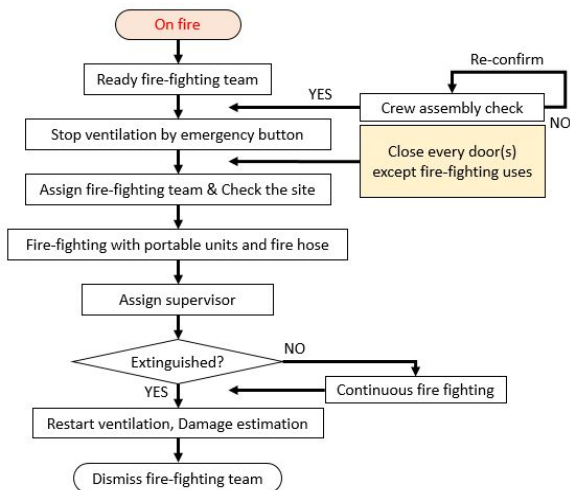


Fig. 1. Extinguish Operation flow chart.

3. 선박의 급·배기방식에 따른 연기거동 해석

3.1 대상선박의 개요

이 연구에서는 선박 거주구역에서 화재 시 급·배기방식에 연기확산에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 해기사가 되고자 하는 학생들의 승선실습 교육을 목적으로 2005년 12월에 건조된 운항실습선을 연구대상으로 연구를 수행하였으며, Fig. 2와 Table 1에 운항실습선의 외관과 전반적인 개요를 나타내었다.

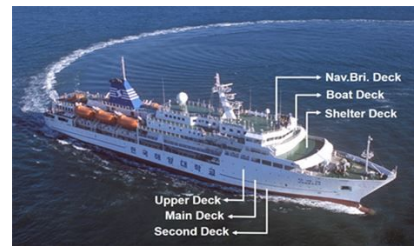


Fig. 2. External appearance of the training ship.

Table 1. Overview of the training ship

Length	117.20m	Width	17.80m
Gross Ton	6,686GT	DLWL	5.9m
People	Total 246 (Crew 42, Trainee 204)		
Speed	Max.19, Av. 17.5 kts		

3.2 시뮬레이션 툴

급·배기방식에 따른 화재 및 연기거동해석 툴로는 미국 국립 표준연구소(NIST, National Institute of Standards and Technology)가 개발한 FDS(Fire Dynamic Simulator, Ver. 6.0.1)(McGrattan et al., 2014a)프로그램을 사용하였으며, 모델링은 Pyrosim 2014를 활용하였다. FDS는 화재전용 시뮬레이션 툴로 화재로 인한 열과 연기의 거동을 해석하기 위하여 난류모델, 연소모델, 복사모델 그리고 가시도 모델을 사용하며 관련된 지배방정식과 연소반응식은 다음과 같다(McGrattan et al., 2014b).

1) Continuity equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = m_b''' \quad (1)$$

2) Momentum equation

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \nabla \cdot \rho u u + \nabla p = \rho g + f_b + \nabla \cdot \tau_{ij} \quad (2)$$

3) Energy equation

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s u = \frac{Dp}{Dt} + q'' - q_b''' - \nabla \cdot q'' + \epsilon \quad (3)$$

인명안전 관점에서 선박 화재 시 급·배기조건에 따른 배연성능 예측평가

4) Ideal gas equation

$$p = \frac{\rho RT}{W} \quad (4)$$

5) Combustion reaction

$$v_F Fuel + v_O \rightarrow \sum_i v_{p,i} Products \quad (5)$$

3.3 시뮬레이션 모델링

이 연구에서는 선박 거주구역내의 화재 시 급·배기방식에 따른 배연성능을 예측하기 위하여 실습선의 Main deck 중 Fig. 3에 표시한 영역을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 해석대상영역의 모델링을 비롯하여 급·배기구의 위치, 크기 그리고 용량은 실제 실습선의 설계도면 값을 반영하였으며 해석구역의 급기구와 배기구의 총 용량은 각각 2225 m³/hr, 3550 m³/hr이다(Cho, 2007).

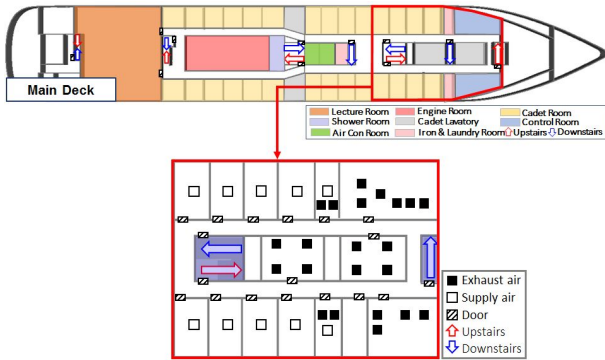


Fig. 3. Analysis object of Main deck modeling.

3.4 연기거동 해석을 위한 화원위치와 시나리오

Table 2에서 볼 수 있듯이 화원의 위치와 급·배기작동방식에 따라 3가지 케이스로 나누어 연기거동 해석을 진행하였다. Case 1은 급·배기시스템이 모두 작동하는 곳에서, Case 2는 배기시스템만 작동하는 곳에서 그리고 Case 3은 급기시스템만 작동하는 곳에서 화재가 발생한 경우이다. 화원의 크기와 열 방출량은 각각 0.5 m × 0.5 m, 50 kW로 설정하였으며, 바닥으로부터 1.5m지점에 측정점 ①, ②, ③, ④를 두어 가시거리 값을 측정하였다. 선박의 경우 화재시뮬레이션 시 인명안전기준을 따로 찾아볼 수 없었기에 소방방재청에서 제시한 기준(NENA, 2015)인 가시거리 값 5m를 기준으로 화재위험성을 평가하였다.

급·배기방식에 따른 연기거동 해석을 위하여 각 케이스별로 Table 3에 정리한 것과 같이 4가지 시나리오를 적용하였다. 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우는 각 케이스에서 Fig. 3에 제시한 해석영역 내 급·배기시스템이 모두 작동하지 않는 경우이며, 시나리오 Exh_Sup의 경우는 급·배기시스템이 모두 작동하는 경우, 시나리오 Exh는 배기시스템만 작동하

는 경우이며 마지막으로 시나리오 Sup는 급기시스템만 작동하는 경우이다.

Table 2. Fire source and measuring points by cases

Case 1	
Case 2	
Case 3	
Legend	

Table 3. Setting scenario by cases

Scenario	Ventilation system operating condition	
	Air supply	Air exhaust
Nop_Exh_Sup	Non-operating	Non-operating
Exh_Sup	Operating	Operating
Exh	Non-operating	Operating
Sup	Operating	Non-operating

3.5 연기거동 해석 결과

3.5.1 Case 1의 시나리오별 결과

Fig. 4는 Main deck의 해석대상구역 중 급·배기시스템이 모두 작동하는 곳에서 화재발생 시 ㉠-㉡구역 복도의 연기 확산모습이다. 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 발화 후 40초에 연기확산이 시작되고 있으며, 80초에는 연기가 복도 상층부에 가득차고 있는 현상을 관찰할 수 있다. 시나리오 Exh_Sup의 경우 처음에는 화재가 발생한 장소에 위치한 배기구를 통해 연기가 배출되어 발화 후 40초까지는 청결층이 유지되지만 시간이 지날수록 연기가 ㉢구역으로 연기가 쏠

리며 발화 120초 후에는 연기가 복도에 확대되어 가득 찬 것을 알 수 있다. 그리고 시나리오 Exh의 경우 화재발생 구역에 배기시스템이 작동하지만 배기구를 통한 연기배출속도보다 연기확산속도가 빠르기 때문에 시간이 지날수록 연기가 복도에 가득 차는 것을 알 수 있다. 마지막으로 시나리오 Sup의 경우 80초에 복도의 연기확산모습을 보면, 화재발생 위치 상 급기구를 통해 공급되는 공기로 인하여 ⑥구역으로 연기가 쏠리는 현상을 볼 수 있다.

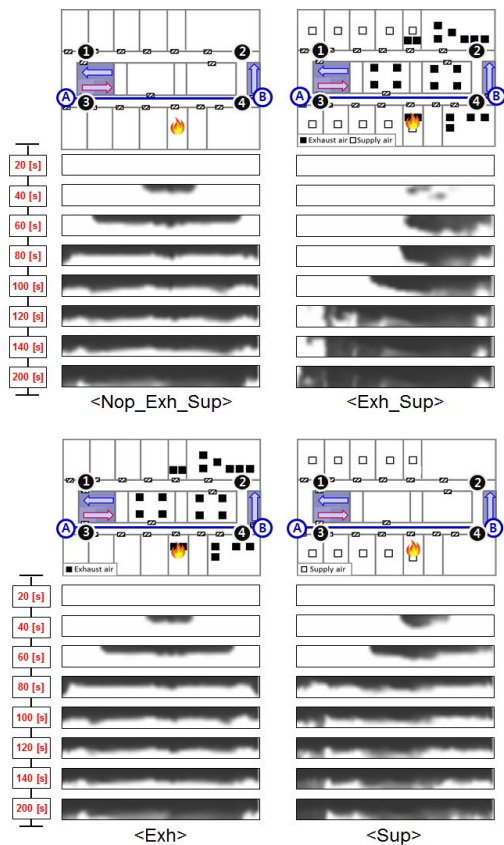


Fig. 4. ①-② section visualization of the smoke layer (Case 1).

Fig. 5는 ①-②구역과 뒤쪽으로 연결되어 있는 ③-④구역 복도의 연기확산 모습이다. 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 발화 후 100초에 연기확산이 시작되고 있는 모습을 볼 수 있으며 140초에 복도 전체로 확산되는 모습을 볼 수 있다. 시나리오 Exh_Sup의 경우 화재발생 시 급기의 영향으로 ③-④구역 복도까지 연기가 확산되지 않은 것을 알 수 있다. 그리고 시나리오 Exh의 경우 발화 후 100초부터 연기확산이 시작되어 발화 후 140초에는 ③-④구역 복도까지 연기가 가득 차 시나리오 Nop_Exh_Sup와 비슷한 양상으로 연기가 확산되고 있는 것을 볼 수 있다. 마지막으로 시나리오 Sup의 경우 급기의 영향으로 처음에는 청결층이 유지되고 있지만 발화

후 200초에는 연기가 확대되어 ③-④구역 복도까지 연기가 확산된 것을 알 수 있다. 연기확산모습을 통해 보면 배기모드 보다 급기모드가 연기확산에 더 영향을 미치는 것을 확인해 볼 수 있다.

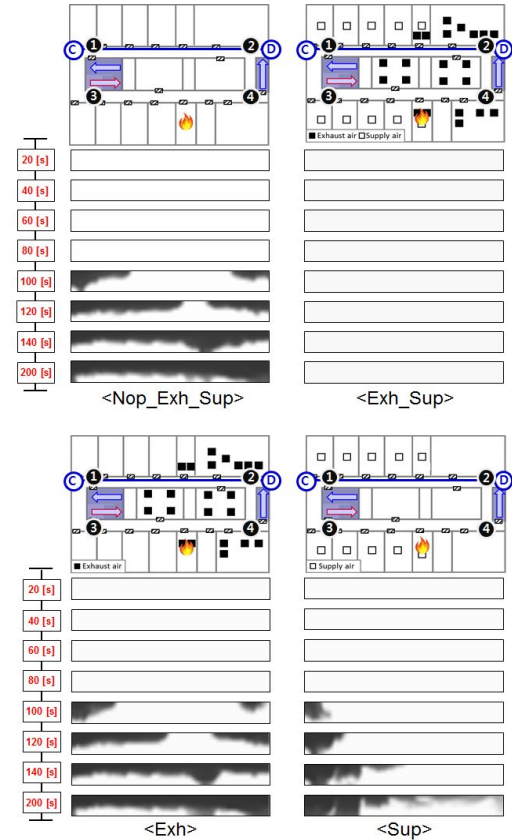


Fig. 5. ③-④ section visualization of the smoke layer (Case 1).

Table 4. Time to limit visibility value (Case 1)

Classification	Measuring points							
	①		②		③		④	
	sec	%	sec	%	sec	%	sec	%
Nop_Exh_Sup	98	100	89	100	65	100	62	100
Exh_Sup	×	×	×	×	83	128	68	110
Exh	101	103	93	104	69	106	66	106
Sup	112	114	×	×	77	118	62	100

Table 4는 Case 1의 시나리오와 측정점에 따른 허용가시도 값에 도달하는 시간으로 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 측정점 ①번과 ②번 위치에서는 각각 98초, 89초에 허용가시도 값에 도달하지만 시나리오 Exh_Sup의 경우 청결층을 유지하고 있어 허용가시도 값에 도달하지 않으므로 급·배기시스템

인명안전 관점에서 선박 화재 시 급·배기조건에 따른 배연성능 예측평가

을 멈추는 것보다 작동 시키는 것이 가시거리를 확보하는데 도움이 되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 전체적으로 봤을 때 화재발생 위치 상 ④번 위치에서 시나리오 Nop_Exh_Sup와 Sup일 경우 62초에 허용가시도 값에 도달하므로 선내 재실자는 최소 발화 후 62초 이내에 화재구역을 벗어나 안전한 곳으로 대피할 필요가 있다.

3.5.2 Case 2의 시나리오별 결과

Fig. 6는 배기시스템이 작동하는 곳에서 화재발생 시 ①-② 구역 복도의 연기확산모습이다. 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 Case 1과 동일하며 시나리오 Exh_Sup의 연기확산모습을 살펴보면 급기시스템에 의한 영향으로 연기가 ②구역으로 쏠리고 있는 현상을 살펴볼 수 있다. 그리고 시나리오 Exh의 경우 Case 1과 마찬가지로 충분한 배기가 이루어지지 못하여 연기가 복도 전체로 확산되는 모습을 볼 수 있다. 마지막으로 시나리오 Sup의 경우 시나리오 Exh_Sup와 마찬가지로 급기시스템의 영향으로 ②구역으로 연기가 쏠리지만 연기가 급기로 가해진 압력 이상으로 확대 되며 약 100초에는 복도 전체에 가득 채운 것을 관찰할 수 있다.

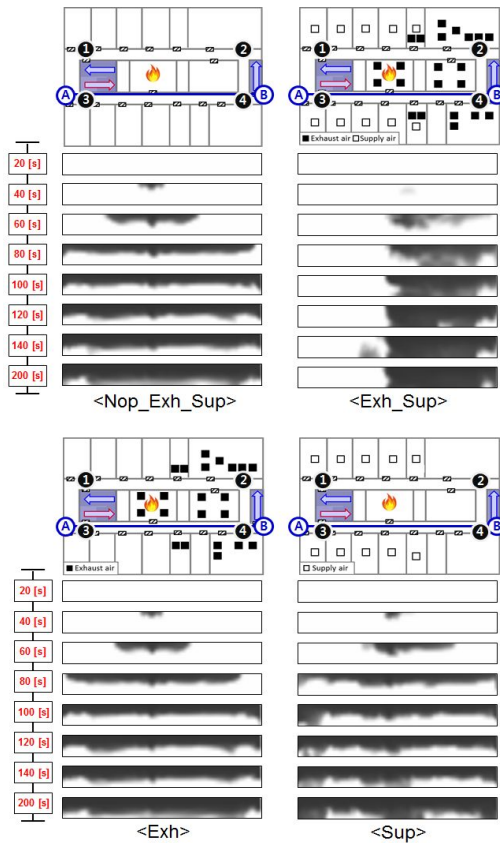


Fig. 6. ①-② section visualization of the smoke layer (Case 2).

Fig. 7은 ③-④구역 복도의 연기확산 모습이다. 시나리오 Exh_Sup의 경우 화재가 발생하고 ③지점에 있는 계단으로 연기가 배출되어 ③-④구역 복도에는 청결층이 유지되고 있는 것을 확인해 볼 수 있다. 그리고 시나리오 Exh의 경우 연기가 계단으로 배출되어 발화 후 100초까지는 연기확산이 진행되지 않다가 시간이 지날수록 배출량 이상으로 연기가 발생하여 200초에는 ③-④구역 복도에도 연기가 가득차게 되는 모습을 볼 수 있다. 마지막으로 시나리오 Sup의 경우 140초에서 연기확산모습을 보았을 때 급기시스템의 영향으로 시나리오 Exh에 비하여 비교적 연기확산이 지연되고 있지만 발화 후 200초 뒤에는 시나리오 Exh와 마찬가지로 복도 전체에 연기가 확산된 모습을 확인할 수 있다.

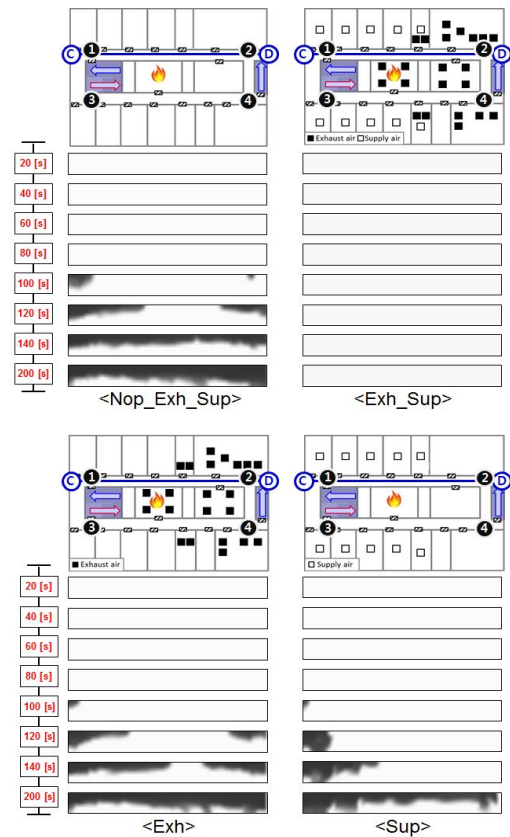


Fig. 7. ③-④ section visualization of the smoke layer (Case 2).

Table 5. Time to limit visibility value (Case 2)

Classification	Measuring points							
	①		②		③		④	
	sec	%	sec	%	sec	%	sec	%
Nop_Exh_Sup	112	100	101	100	71	100	78	100
Exh_Sup	×	×	×	×	×	×	74	95
Exh	117	104	106	105	75	106	83	106
Sup	117	104	161	159	86	121	73	94

Table 5에 정리한 내용과 같이 시나리오 Exh_Sup의 경우 측정점 ①번, ②번, ③번 위치에서 허용가시도 값에 도달하지 않으며 배기시스템만 작동하고 있는 시나리오 Exh는 각 위치에서 117초, 106초, 75초에 도달하기때문에 급기시스템 작동이 가시거리를 확보할 수 있는 시간 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그리고 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 ④번 위치에서 71초에 허용가시도 값에 도달하고 시나리오 Sup의 경우 ④번 위치에서 73초에 허용가시도 값에 도달하므로 전체적으로는 발화 후 최소 71초안에 화재가 발생한 구역의 계단을 통해 피난을 해야 할 것으로 예측되었다.

3.5.3 Case 3의 시나리오별 결과

Fig. 8은 Main deck의 해석대상 구역 중 급기시스템이 작동하는 곳에서 화재발생 시 A-B구역 복도의 연기확산모습이다. A-B구역 복도 뒤편에서 화재가 발생하였기 때문에 시나리오와 상관없이 A-B구역에서는 발화 후 100초 뒤에 연기의 전파가 시작되는 것을 확인해 볼 수 있으며, 발화 후 140초 뒤에는 연기로 인해 가시도가 현격히 떨어진 것을 알 수 있다.

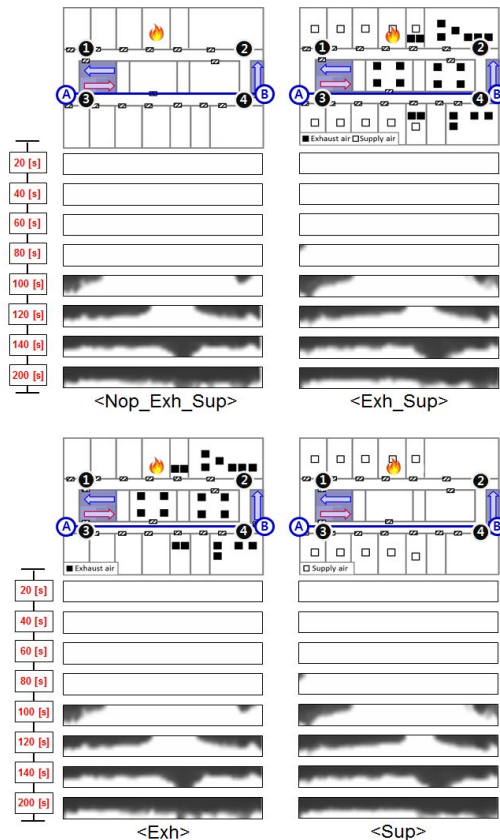


Fig. 8. A-B section visualization of the smoke layer (Case 3).

그리고 Fig. 9는 C-D구역 복도의 연기확산모습으로 시나리오 Exh_Sup와 Sup의 경우 급기시스템의 영향으로 화재 발생 후 80초에는 연기가 복도의 양 끝까지 확산 된 것을 확인해 볼 수 있으며 시나리오 Nop_Exh_Sup와 Exh의 경우도 유사하게 연기의 확산이 진행되고 있는 것을 확인해 볼 수 있다.

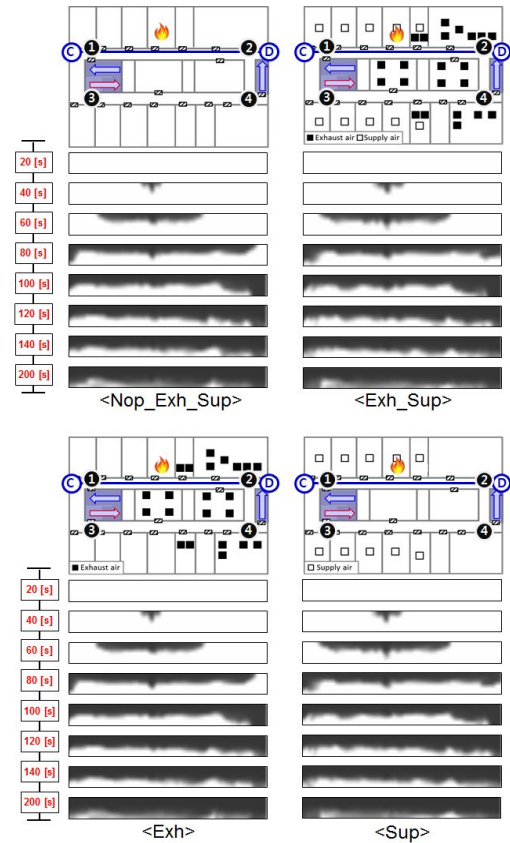


Fig. 9. C-D section visualization of the smoke layer (Case 3).

Table 6. Time to limit visibility value (Case 3)

Classification	Measuring points							
	①		②		③		④	
	sec	%	sec	%	sec	%	sec	%
Nop_Exh_Sup	66	100	79	100	104	100	97	100
Exh_Sup	64	97	73	92	95	91	96	99
Exh	66	100	79	100	103	99	97	100
Sup	59	89	73	92	93	89	91	94

위치 별 가시거리 5 m에 도달하는 시간을 정리한 Table 6을 보면 측정점 ①번 위치에서는 시나리오 Nop_Exh_Sup의 경우 66초, 시나리오 Exh_Sup의 경우 64초, 시나리오 Exh의

경우 66초 그리고 시나리오 Sup의 경우 59초로 큰 차이를 확인하기 힘들었다. 그리고 ㉠번 위치와 ㉡번 위치에서도 시나리오 Sup일 경우 시나리오 Nop_Exh_Sup에 비해 최대 11초에서 최소 6초 빨리 허용가시거리 값에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이상의 결과로 부터 급기시스템이 있는 곳에서 화재가 발생하면 배기시스템작동과 상관없이 연기가 빠른 속도로 확산되어 가시거리 확보가 어려워 피난이 쉽지 않을 것으로 판단되었다.

4. 결론

이 연구는 선박 거주구역에서 화재 시 연기배출에 효과적인 급·배기시스템 운전방안 제안을 목적으로, 대학교 실습선을 대상으로 급·배기방식과 화재발생장소에 따라 연기의 거동특성을 예측평가 하였다. 해석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 급·배기시스템이 모두 작동하는 구역에서 화재가 발생한 경우(Case 1), 급·배기시스템을 중단하는 경우(시나리오 Nop_Exh_Sup)보다 급·배기시스템을 작동시키는 경우(시나리오 Exh_Sup)가 연기확산을 지연시키는데 도움이 되는 것을 알 수 있었다. 시나리오 Nop_Exh_Sup는 발화 후 최소 62초, 최대 98초에 허용가시도 값에 도달하지만, 시나리오 Exh_Sup의 경우는 최소 68초 또는 위치에 따라서 청결층을 유지하고 있기 때문에 급·배기시스템 작동이 피난시간 확보에 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 배기시스템만 작동하는 곳에서 화재가 발생한 경우(Case 2)도 급기시스템을 같이 작동시킬 때 복도에서 청결층을 유지하였기 때문에 급기시스템을 함께 작동시키는 것이 연기제어에 효과적인 것으로 예측되었다.

셋째, 화재가 발생한 곳이 급기시스템만 작동하는 경우(Case 3) 급기의 영향으로 발화 후 최소 64초 이내에 화재구역을 벗어나 피난을 해야 하는 것으로 예측되었기 때문에 이 경우에는 급기시스템을 중단시켜 화재확산이 빠르게 진행되는 것을 막아야 하는 것으로 판단되었다.

연구결과 화재의 발생위치와 급·배기시스템 각각의 유무 그리고 작동제어방법에 따라 연기 거동이 다름을 확인할 수 있었고 이를 통해 거주구역 화재 시 모든 통풍을 차단하는 기존방식은 효과적이지 않은 것으로 판단된다. 그러므로 선박화재에 대비한 비상대응방안을 수립할 때는, 화재발생위치 및 급·배기시스템에 근거한 성능위주의 연기제어방식을 예측평가하고 이를 대응매뉴얼화 함으로써 인적피해 최소화를 위한 연기제어방법을 수립할 필요가 있다.

또한, 본 연구에서는 선실 화재를 가상하여 최초 화원과 열방출량을 목재 발화에 해당하는 50kW로 설정하였다. 그러

나 화원 종류와 열방출량의 크기에 따라 화재성장과 연기확산 결과가 다르기 때문에, 본 연구의 한계를 극복하기 위해 향후 다양한 화원과 열방출량에 의한 효과를 비교검토할 계획이다.

References

- [1] Cho, K. H.(2007), Training Ship Hanbada, Copierland, pp. 121-122.
- [2] Hwang, K. I., D. K. Shin, Y. J. Kim, J. H. Youn, S. I. Lee and W. H. Hong(2009), A Case Study on the Passengers' Evacuation Times according to the Fire Smoke Density On a Ship, The Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 336-343.
- [3] Hwang, K. I.(2011), A Prediction on Indoor Contaminant Diffusion Characteristics of a Training Ship by Mechanical Ventilation System, The Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 1124-1131.
- [4] Hwang, K. I., I. S. Cho and Y. S. Lee(2016), A Study on Walking Characteristics of Novices at Onboard Environments under Blackout Conditions in a Training Ship, The Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 22, No. 1, pp. 74-81.
- [5] Kim, M. B. and B. I. Choi(2008), An Experimental Study on Smoke Spread Using a Reduced-scale Subway Building Model, Fire Science and Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 49-56.
- [6] Kim, T. H. and I. K. Kwon(2011), A Study on the Effective Smoke Control Method of Large Volume Space Compartmented by Smoke Reservoir Screen, Fire Science and Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 34-41.
- [7] Kim, W. O.(2013), A numerical study on the effects of smoke diffusion by ventilation system on ship, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference, pp. 24-26.
- [8] Kim, W. O., J. S. Kim and W. C. Park(2015), A Study on the Improvement of Survival Rate of the Passengers and Crews according to FDS Analysis, The Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 39, No. 3, pp. 312-317.
- [9] KSA(2014), Korea Shipping Association, Statistical Year book of Coastal Shipping, p. 20.
- [10] McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk, C., Overholt, K.(2014a), Fire Dynamics Simulator FDS User's Guide, 6th ed., National Institute of Standards

and Technology, pp. 1-268.

- [11] McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk, C., Overholt, K.(2014b), Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide, 6th ed., National Institute of Standards and Technology, pp. 5-12.
- [12] MOF(2014), Ministry of Ocean and Fisheries, Statistics for the marine accidents (in Korean), <http://125.60.28.52:5989/nfds2/rdPage.aspx>.
- [13] MOF(2015), Ministry of Ocean and Fisheries, The Standard for ship fire preventive construction (in Korean), p. 10.
- [14] NEMA(2013), National Emergency Management Agency, The Fire Safety Standards on Smoke Extraction System (NFSC 501) (in Korean), pp. 1-5.
- [15] Yoon, K. H., Oh, S. J., Jung, J. A., Lee, H. G., Bae, B. D., Kim, J. S., Lee, Y. S., Park, Y. S., Lee, S. D., Lee, S. I., Jeong, E. S., Lee, J. W(2011), Ship Basic Safety, Sang Hak Dang, p. 93.

Received : 2016. 10. 06.

Revised : 2016. 12. 05. (1st)

: 2016. 12. 14. (2nd)

Accepted : 2016. 12. 28.