한국마린엔지니어링학회지 제33권 제2호, pp. 336~343, 2009. 3 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

선박 화재 시 선내의 연기농도가 승객의 피난시간에 미치는 영향

황광일† · 신동걸* · 김유진** · 윤정하** · 이상일*** · 홍원화****
(원고접수일 : 2008년 9월 25일, 원고수정일 : 2009년 2월 10일, 심사완료일 : 2009년 3월 16일)

A Case Study on the Passengers' Evacuation Times according to the Fire Smoke Density On a Ship

Kwang-il Hwang† · Dong-keol Shin* · You-jin Kim** · Jeong-ha Youn** · Sang-il Lee*** · Won-hwa Hong****

Abstract : Because ships are very isolated and independent objects when sailing on the ocean, if a fire and smoke occurs, nobody can be sure to escape safely from ship at the moment. On the focus of the relationship between the sight transmissivity by fire smoke density and the life safety, this study performs simulations and experiments, respectively. To evaluate the theoretical evacuation time, CFAST software which is known as a 2 zone model analysis tool is used, and the result is 54 seconds from ECR(Engine Control Room) exit to upper deck exit and 34 seconds from bosun store to upper deck exit. And totally 12 types of experiments are performed with other 10 persons per experiment. As the result, it is cleared that the low sight transmissivity leads to the low life safety and the obstruction which can be happen unexpectedly on the evacuation way on fire makes it worse. At the condition of the smoke density 0%, over 90% people arrive at upper deck exit safely. But with the transmissivity of 8%, 70%(from ECR) and 30%(from bosun store) among experiment persons of each can survive, and with same density and unexpected obstruction, the survival ratio goes down to only 20% and 10%.

Key words : Ship(선박), HVAC(공조), Anti-fire(방화), Evacuation(피난), Transmissivity(가시성)

1. 서 론

1.1 연구배경과 목적

2007년도부터 부산항을 모항으로 하는 남해안 크루즈선이 정기적으로 운항 중이며, 또한 2009년 11월부터는 세계 2위의 크루즈 선사인 미국의 RCI(Royal Caribbean International)가 정기 배치될 계획으로, 우리나라도 이제 크루즈선을 이

† 교신저자(한국해양대학교 기계 · 정보공학부, E-mail : hwangki@hhu.ac.kr, Tel : 051)410-4368)
* 한국해양대학교 대학원 냉동공조공학과
** 한국해양대학교 공과대학 기계 · 정보공학부
*** 한국해양대학교 운항훈련원 교수
**** 경북대학교 건설공학부 교수

용한 여행문화가 시작되었다. 크루즈선은 기본적으로 평상시 승객들에게 숙식, 오락, 운동 등 다양한 주거환경을 제공하며, 화재 등 비상상황에서도 항상 승객들의 안전을 확보할 수 있어야만 한다. 이는 해상에서 발생하는 선박화재는 막대한 경제적 손실뿐 아니라 협소한 피난경로와 해상구조지원의 어려움으로 인해 많은 사상자가 발생할 수 있기 때문이다. 특히 1990년에 발생한 여객선 스칸디나비안스타호 화재사고에서 사망한 158명 중 125명이 연기에 의해 질식사한 사실은, 화재발생 시 함께 발생하는 연기를 효과적으로 제어 및 차단하는 기술이 매우 중요하다는 것을 나타낸다.

크루즈선을 비롯한 여객선에는 배의 구조에 익숙하지 않은 불특정다수의 사람들이 승선하기 때문에 화재발생 시 인명피해를 최소화시키는 대처능력이 특별히 요구된다. 선박의 화재 제어에 관한 전반적인 내용은 IMO (International Maritime organization)에서 다루고 있고, SOLAS(Safety Of Life At Sea)[1]에 선박의 방화, 화염탐지 및 소화에 관해 자세히 기술하고 있다.

그러나 선박 내에 발생한 화재가 발달하는 과정에서 인위적 혹은 기계적 원인에 의해 방재설비가 정지될 수 있기 때문에, 이러한 환경조건에 노출된 훈련되지 않은 일반승객의 안전 확보를 위한 다양한 경험적, 실험적 데이터베이스를 구축하고 이를 활용하여 선박설계 및 운항 시의 표준 자료로 설정할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 제연설비가 작동하지 않는 상태에서의 피난특성에 주목하고, 선박 내 화재발생 시의 연기농도에 따른 피난경로와 피난시간을 예측하고 가상모의실험을 통해 비교분석하였다.

1.2 기존연구고찰

선박화재와 관련된 기존 연구에서, 김원욱 등[2]은 선박 거주구역 내에서 화재가 발생할 경우 침실 내의 온도는 47초 후에 대피한계조건인 60℃를 초과하고, 매연농도는 41초 후에 한계농도인 61.2㎎/㎥를 초과하는 것으로 예측하였다. 한상국 등[3]은 화재 시 공용공간에서의 유출계수를 평가하여 한 개의 출입구로 대피할 경우에는 2.48명/㎳, 두 개의 출입구로 대피할 경우에는 5.28명/㎳으로 증가하지만 기관실의 경우에는 0.7명/㎳로 측정됨에 따라 공용공간에서 대피하는 것보다 기관실에서 대피하는 것이 약 4배 이상 위험하다고 보고했다. 또한 김만응 등[4]은 엔진실에서 화재가 발생할 경우의 승조원의 안전한 작업위치에 대해 연구하였고, 김성윤 등[5]은 실험을 통해 미분무수 소화설비의 우수성을 보고하였다. 그러나 화재 시 연기의 농도에 따른 승객의 피난특성에 관한 인체실험연구는 찾아보기 어려웠다.

2. 선박화재의 특성

국토해양부에 의하면, Table 1에 제시된 것과 같이 매년 35건 이상 발생하고 있는 선박화재로 인한 인명피해 및 경제적 손실이 매우 큰 것으로 조사되었다[6].

Table 1 Number of fire on ships[6]

Year	2002	2003	2004	2005	2006	2007
No. of Accidents	42	53	57	71	41	35

한상국 등[3]의 연구에 의하면, 선박에서 화재가 가장 많이 발생한 장소는 기관실로서 전체의 반을 차지하며, 화물구역과 거주구역이 그 다음 순서로 나타났다. 기관실 화재의 발생빈도수가 가장 높은 것은 각종 기계의 결함이나 취급불량 및 안전의식 부족에 의한 화재사고가 많음을 간접적으로 나타낸다.

크루저 혹은 여객선의 경우에는 화물선과 달리 승객의 활동공간인 거주구역에 대한 방화, 방재에 더욱 많은 관심을 기울여야만 한다. 선박 거주구역의 화재는 육상건물의 지하실 화재와 매우 유사한 특성을 갖는다. 선박 거주구역의 화재는 매우 짧은 시간에 발달하기 때문에 선실과 복도는 금방 연기와 열기로 가득하게 되고, 환기덕트와 전선트레이도 상당한 거리까지 열을 전달하는 역할을 하기 때문에 화재의 격리작업은 매우 어려운 것이 현실이다. 또한 바다위에서 운영되는 독립 객체인 선박으로부터의 탈출은 매우 제한되고 불리한 여건이므로 이에 대한 충분한 예방책과 탈출 대비책을 세워야

한다. 이에 SOLAS협약(1974)에서 여객선은 가능한 소화훈련을 위해서 1주일에 한번씩 전 선원을 소집하도록 규정하고 있고, 국제항해시에는 최후로 출항하는 항구를 떠날 때는 그 항구를 출항한 후 24시간 이내에 훈련을 실시하도록 규정하고 있다[7] [8].

한편, 선박화재 시 발생하는 연기는 호흡곤란과 함께 시야확보를 방해함으로써 피난자에게 치명적으로 작용한다. 연기가 피난자에게 미치는 유해성은 크게 생리적 피해, 시각적 피해, 심리적 피해로 나뉜다. 생리적인 피해로는 산소농도의 감소와 이산화탄소 증가에 따른 질식, 일산화탄소, 이산화황 등 유해가스에 의한 중독, 열기에 의한 신체 내외부의 화상과 호흡곤란 등이 있다. 시각적인 피해는 연기에 의한 피난로 및 유도표시 인식이 곤란하여 피난의 어려움을 준다. 연기농도가 증가하면 보행속도가 느리게 되어 피난에 요하는 시간이 길게 된다. 또한 생리적, 시각적 피해를 입는데 따른 공포감에 의해 심리적인 피해가 발생한다.

선박화재에 의해 발생하는 연기로부터의 위험을 최소화하기 위해 2000 SOLAS II-2/8에 연기확산 제어장치를 어떠한 상황에서도 접근가능하고 안전한 곳에 설치시켜야 하며, 또한 연기배출장치는 요구되는 연기탐지장치에 의해 작동되어야 하며 수동으로 제어할 수 있어야 하고, 팬의 크기는 구역내의 전체 용적을 10분 이내에 배출할 수 있도록 정하고 있다.

3. 이론적 예측과 모의실험결과

3.1 대상선박의 개요

본 연구의 모의실험 대상선박은 해양전문인력 양성을 목적으로 2005년 12월에 건조된 246명 승선이 가능한 운항실습선으로, Fig. 1과 Table 2에 선박개요를 정리하였다[9].

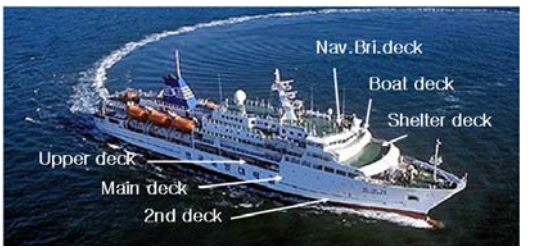


Fig. 1 External appearance of the training ship

Table 2 Specifications 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.17.5kts		

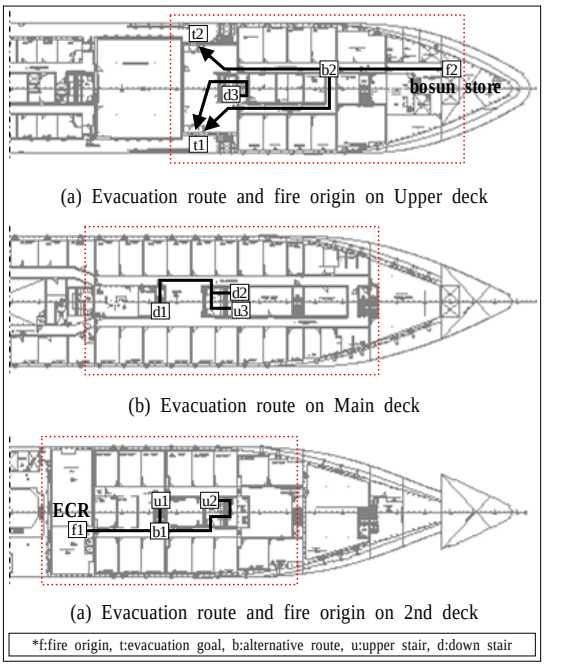


Fig. 2 Experiment areas on each decks

Table 3 Alternative evacuation routes on experiments

Fire origin	Alternative	evacuation route
Engine room	1	f1→b1→u2(d2)→u3(d3)→t1
	2	f1→b1→u1(d1)→u3(d3)→t1
bosun store	1	f2→b2→t2
	2	f2→b2→t1

이론적인 피난시간 예측과 피난모의실험을 위해, 화재는 가연성 물질(연료, 윤활유 등)이 많고 발화점 이상의 온도가 지속적으로 유지되어 화재 발생 시 큰 화재로 확산될 확률이 높은 기관실(2nd deck)과 주로 선수부 기기류의 자재, 화학제품 등을 보관하는 창고로 화재 발생 시 화학제품에 인한 급격한 화재확산 및 폭발의 위험, 유독가스의 배출

등의 이유로 위험도가 높은 보선실(Upper deck)에서 각기 독립적으로 발생하며, 최종 피난 목적지는 Upper deck의 개구부인 출입문으로 가정하였다. 각 발화지점별 피난 목적지까지의 최단거리 피난동선을 Fig. 2와 Table 3에 표시한다.

3.2 이론적인 피난시간 예측결과

화재시뮬레이션은 건물과 같이 방화구역을 정한 곳에 많이 상용되는 Zone 모델과 대공간 혹은 야외공간에서 주로 사용되는 Field 모델로 구분된다. 선박은 선내에 방화구역이 정해져 있는 조건이므로 본 연구에서는 대표적인 Zone 모델 시뮬레이션 프로그램인 CFAST[10]을 활용하였다. CFAST는 1,000㎥ 미만의 실내공간 내부를 위, 아래로 구분하는 2 존(Zone) 화재모델로 화재가 건물의 각 구획을 통해 전파될 때의 연기온도, 기기의 작동여부 등과 함께 재실자의 탈출시간을 예측하는 기능을 갖고 있다.

피난시간예측은 개인 혹은 다수의 사람이 위험지역에서 피난지역까지 이동하는데 필요한 시간을 예측하는 것으로, 피난은 수평이동, 수직이동, 그리고 복도, 경사로, 계단, 출입구의 사용을 포함하지만 승강기에 의한 이동은 고려하지 않는다. 정확한 피난시간 예측을 위해 CFAST는 다음과 같이 가정한다.

CFAST에서는 각 재실자가 방해받지 않고 피난하는데 필요한 피난시간을 아래 식과 같이 예측한다.

$$T_{unimpeded} = \frac{T_{hor} + T_{ver}}{X_{flux}} \quad (1)$$

단, T_{hor} : 평면, 건조한 표면에서의 이동시간
T_{ver} : 수직 방향으로의 이동시간
X_{flux} : X/100
X :피난속도 % (가장 느린 피난인의 속도)

또한 외부 출입문을 통한 모든 재실자의 이동시간은 다음 식으로 평가할 수 있다.

$$T_{exit-opening} = \frac{N_{people}}{N_{exitleaves}} \times \left(\frac{exitleaf \cdot sec}{person} \right) \quad (2)$$

단, N_{people} : 전체 피난인 수
$N_{exitleave}$: 외부로의 출입문 수

한편, 계단을 통한 외부로의 모든 재실자의 이동시간은 식(3)으로 표현한다.

$$T_{stair} = \frac{N_{people}}{W_{effective}} \times \frac{1}{\dot{Q}_{stair}} \quad (3)$$

단, $W_{effective}$: 출구이동로의 효과적인 폭
Q_{stair} : 계단실내 인구 유동비율

본 논문에서는 상기 식 (1)~(3)에 아래 Table 3의 설정조건을 이용하여, 기관실 출입구로부터 혹은 보선실 출입구로부터 Upper deck의 출입구까지의 이론적인 피난시간을 각각 예측하였다.

Table 4 Simulation conditions[9],[11]

Departure from	Engine Room	bosun store
Number of people	1	1
Distance over floor(m)	44.22	32.06
Number of exit doors	2	2
Vertical distance(m) number of separate stairways width of stairways(m) height of stairways(m) depth of tread(m)	4.8 1 1.79 0.2 0.28	-
Speed on level routes(m/s)	1.0	1.0
Flow rate through leaf(1인/s/m)	0.65	0.65
Speed down stairs(m/s)	0.5	-
Flow rate on stairs(60명/min/m)	1.79	-
result (s)	54	34

CFAST를 이용한 이론적인 피난시간은, 기관실 출입구로부터 통로를 통해 Upper deck 로비의 출입구까지의 피난시간은 54초가 필요하고, 보선실 출입구로부터의 피난시간은 34초 필요한 것으로 예측되었다.

3.3 선박화재 가상모의실험 결과

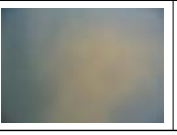
본 논문에서는 실제 화염을 발생시켜 실험하기에는 안전상의 문제 등의 어려움이 있고, 피험자 모두에게 동일한 정도의 시야차단 조건을 부여하기 위해 선행연구[12]에 활용한 제작한 불투명 안대를 피험자들에게 착용시켜 동일한 환경을 조성하였다.

실험은 시야확보 정도와 피난시간의 관계를 알아보기 위한 가시율 실험과 화재발생에 따른 수밀문 차단 혹은 통로차단 등과 같은 비정상적인 조건에서의 피난 시간을 알아보기 위한 통로차단 실험으로 각각 진행하였다.

가시율 실험은 피실험자가 화재발생지점으로 가상한 기관실 출입구와 보선실 출입구에서 가시율 8%, 가시율 27% 그리고 안대를 착용하지 않은 가시율 100%의 상태에서 피난지점인 Upper deck의 출입구에 도착하는 시간을 각각 측정하였다.

통로차단 실험은 피실험자가 기관실, 보선실 각 출입구로부터 피난지점까지 이동하는 과정 중에 측정자가 피실험자에게 사전에 알리지 않고 특정지점(계단)을 차단하여 피난자가 다른 피난로를 이용하여 로비까지 도착하는 시간을 측정한 것으로 이는 불안감 증대에 따른 지체시간을 분석하기 위한 것으로, 이때에도 가시율별로 실험을 진행하였다.

Table 5 View differences at a distance of 50㎝ by sight transmissivity

Transmissivity	View 1	View 2
100%		
27%		
8%		

본 실험에는 화재발생지점, 가시율, 실험방식에 따라 각 10명씩, 총 120명의 피실험자가 참가하였다.

본 실험의 결과를 분석하기 위해 아래와 같이 생존율(L_s)을 정의하였다.

$$L_s = \frac{P_{sim} - P_{over}}{P_{sim}} \times 100\,[\%] \tag{4}$$

단, P_{sim} : 조건별 피실험자수 (10명)
P_{over} : CFAST에 의해 평가된 피난시간보다 실험피난시간이 오래 걸린 피실험자수

(1) 기관실 출입구로부터의 피난시간 측정결과

가시율 100%, 27%, 8%의 각 조건 하에서 기관실 출입구로부터 출발했을 때의 피난시간 실험결과는 Fig. 3과 같다. 가시율이 100%일 때는 생존율 100%로 전원 피난이 가능했지만, 가시율 27%일 때는 생존율 90%, 가시율 8%일 때는 생존율 70%로 연기의 탁도가 짙어져 가시율이 낮아질수록 생존율도 감소하였다. 실제로 실험 중 피난자의 행동에서, 대부분의 피난자들이 높은 탁도에서 출발지점 바로 옆의 계단을 보지 못해 더 먼 계단을 이용하는 점이 눈에 띄었다.

Fig. 4에 나타난 것과 같이, 통로차단 실험에서는 가시율 100%일 때의 생존율은 90%, 가시율 27%일 때는 생존율 60%, 가시율 8%일 때는 생존율 20%로 측정되었다. 이는 가시율이 낮아지고, 통로차단이라는 예상하지 못하는 환경에서 방향감각을 상실한 피실험자의 생존율은 더욱 낮아진다는 사실을 보여주는 결과이다.

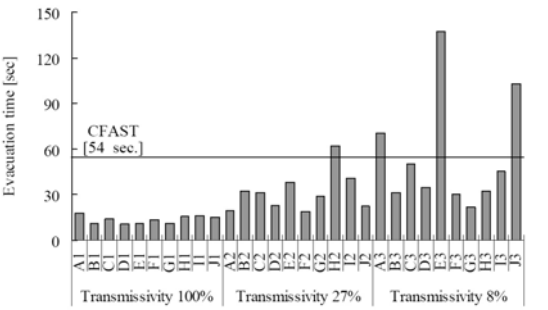


Fig. 3 Evacuation time from ECR without obstruction

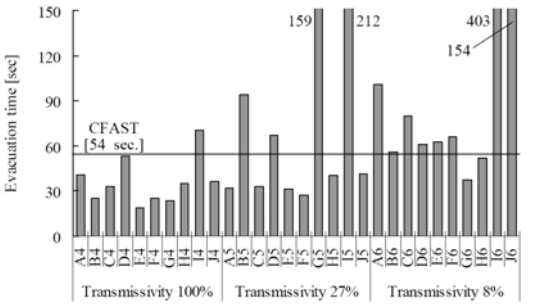


Fig. 4 Evacuation time from ECR with obstruction

Table 6 Average evacuation time from ECR

Transmissivity	100%	27%	8%
Without obstruction	13.40sec	29.65sec	49.72sec
With obstruction	33.97sec	62.34sec	79.11sec

(2) 보선실 출입구로부터의 피난시간 측정결과

보선실로부터의 피난시간 측정결과를 Fig. 5, Fig. 6에 나타낸다. 가시율 변화에 따른 피난시간은, 가시율이 100%일 때 생존율 100%로 전원 피난이 가능했지만, 가시율 27%일 때는 생존율 90%, 가시율 8%일 때 는 생존율 30%로 연기의 탁도가 짙어질수록 사망자가 많이 발생하였다. 기관실에서의 실험과 달리 계단이 없는 단순한 직선 탈출통로임에도 불구하고 가시율 8%일 때의 생존율이 기관실(70%)에 비해 낮은 것은 피실험자들이 피난동선 중에 있는 분기점(Fig. 2(a)의 b2 위치)에서 통로를 선택하기 위한 시간을 소비하였기 때문이다.

통로차단 실험에서는, 가시율이 100%일 때에는 생존율이 90%에 이르지만, 가시율이 27%일 때는 생존율이 80%, 가시율 8%일 때에는 생존율 10%로 측정됨에 따라, 통로차단을 하지 않는 경우에 비해 연기의 탁도에 따른 생존율은 더욱 낮아짐을 알 수 있다. 특히 보선실 출입구에서 출발한 통로차단 실험은 계단이 없는 단순 직선 통로를 통해 피난완료 장소인 로비까지 도달하는 2가지 경로가 있지만, 2가지 통로 중 피난자가 주로 이용하던 통로를 차단하자 계단으로 내려가는 피난자와 탈출의지가 급격히 감소한 피난자(피난시간 5분 29초15)가 발생하였다. 이러한 행동은 연기의 탁도에 의한 가시성 감소가 단순히 시야확보의 어려움뿐 아니라 판단능력과 탈출의지에 영향을 미친다는 사실을 의미한다.

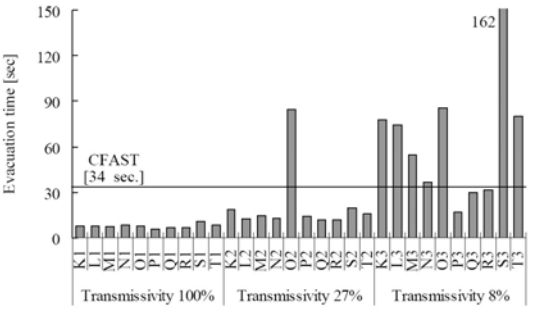


Fig. 5 Evacuation time from bosun store without obstruction

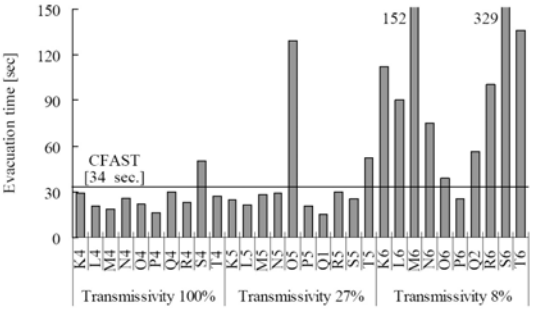


Fig. 6 Evacuation time from bosun store with obstruction

Table 7 Average evacuation time from bosun store

Transmissivity	100%	27%	8%
Without obstruction	7.62sec	15.10sec	58.90sec
With obstruction	24.64sec	29.07sec	95.11sec

4. 결 론

본 논문은 제연설비가 작동하지 않는 상태에서의 피난특성에 주목하여, 선박 내 화재발생 시의 연기농도에 따른 피난경로와 피난시간을 예측하고 가상모의실험을 통해 비교분석한 것으로 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) Zone 모델 시뮬레이션 프로그램인 CFAST를

활용한 이론적 연구에서, 각 재실자가 방해받지 않고 피난하는데 필요한 피난시간은 기관실 출입구로부터 피난장소(Upper deck 출입구)까지는 54초, 보선실에서 피난공간까지는 34초로 예측되었다.

2) 기관실로부터 피난장소까지의 피난시간을 측정한 결과, 가시율 100%일 때의 생존율은 100%, 가시율 27%일 때 생존율 90%, 가시율 8%일 때 생존율 70%였다. 피난동선 중에 피실험자에게 알리지 않고 임의로 통로를 차단한 실험에서는 가시율 100%일 때 생존율 90%, 가시율 27%일 때 생존율 60%, 가시율 8%일 때 생존율 20%로 각각 측정되었다.

3) 보선실로부터의 피난시간을 측정한 결과, 가시율 100%일 때의 생존율은 100%, 가시율 27%일 때 생존율 90%, 가시율 8%일 때 생존율 30%였고, 통로차단 실험에서는 가시율 100%일 때 생존율 90%, 가시율 27%일 때 생존율 80%, 가시율 8%일 때 생존율 10%로 측정되었다.

4) 피실험자들이 참여한 측정결과로부터, 가시율이 낮아질수록 통로에 대한 판단능력이 저하되어 생존율은 낮아지고, 더욱이 익숙한 피난동선이라 하여도 통로차단과 같이 예상할 수 없는 환경에서는 쉽게 방향감각을 상실하게 되므로 피실험자의 생존율은 더욱 낮아졌다. 이로부터 선박화재시 발생한 연기를 제어하여 가시율을 높게 할수록 승객과 승조원의 생존율을 높일 수 있다는 사실을 확인할 수 있다.

향후에는 본 연구성과를 바탕으로, 인위적인 제연활동이 불가능한 화재발달조건에서 승조원의 생존율 을 향상시키기 위한 자연제연기법에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

[1] International Convention for the Safety of Life at Sea, International Maritime Organization, 2006 consolated edition, IMO, 2006.

[2] 김원욱, 김종수, 오세진, 김성환, “선박의 거주구역 화재시 연기거동 및 온도변화에 관한 시뮬레이션 연구”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 293~294, 2006.6.

[3] 한상국, 조대환, 박찬수, “기관실화재 인명위험성평가에 관한 연구”, 해양환경안전학회 추계학술대회, pp. 283~289, 2006.

[4] M.E. Kim, K.W. Lee, and Y.H. Lee, ″A study on the safe position from the local fire in the ship′s engine-rooms″, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 183~189, 2007.6.

[5] 김성윤, 안병호, 김동석, 김유택, “선박용 미분무수 소화설비의 성능평가연구”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 155~156, 2006.6.

[6] 국토해양통계, http://badasori.momaf.go.kr

[7] IMO, ″Interim guideline for a simplified evacuation analysis on Ro-Ro passenger ship″, IMO MSC/Circ. 909.

[8] IMO, ″Recommendation on evacuation analysis for passenger ships and high-speed passenger craft″, FP46/WP.2.

[9] 조권회, 이형기, 이진욱, 감문상, “실습선 한바다”, 2007.

[10] Richard D. Peacock etal., CFAST-Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport″, NIST, 2005

[11] 日本火災學會編,“火災と建築”,共立出版株式會社, 2002.

[12] Wonhwa Hong etal., ″A study on the analysis of the evacuation safety at a high-rise apt. on fire″, Proceedings of the 4th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, 2006.

저 자 소 개

황광일(黃光一)

1988년 고려대학교 기계공학과 졸업(학사), 1991년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1996년 Waseda Univ. 건설공학과 졸업(박사), 1996년~2004년 삼성건설, 삼성전자, 2004년~현재 한국해양대학교 기계정보공학부

신동걸(申東傑)

2007년 한국해양대학교 기계정보공학부 졸업(학사), 현재 한국해양대학교 냉동공조학과 대학원 석사과정

김유진(金攸眕)

2008년 한국해양대학교 기계정보공학부 냉동공조·에너지시스템공학전공 재학

윤정하(尹貞河)

2008년 한국해양대학교 기계정보공학부 냉동공조·에너지시스템공학전공 재학

이상일(李相一)

1990년 한국해양대학교 기관학과졸업(학사), 2007년 한국해양대학교 대학원 기관시스템학과 졸업(석사), 2009년 부경대학교 대학원 법학과 졸업(석사), 1990년~2005년 호남탱커, 현대상선, 2006년~현재 한국해양대학교 운항훈련원

홍원화(洪元和)

1986년 경북대학교 건축공학과 졸업(학사), 1992년 Waseda Univ. 건설공학과 졸업(석사), 1994년 Waseda Univ. 건설공학과 졸업(박사), 1999,3—현재 경북대학교 건축학부 교수, 국토해양부 건축심의위원회 위원, (사)한국공학교육인증원 인증평가단장 역임, 현재 국토해양부 신도시건설자문위원회 위원, 국가지속가능발전위원회 에너지산업전문위원회 위원