

운항실습선 승선자의 분포특성에 따른 대피시간 비교

†황 광 일

† 한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부 교수

Comparative Studies of Evacuation Time According to the Distribution Characteristics of Training Ship's Personnels

†Kwang-il Huang

† Div. of Mechanical & Energy Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요 약 : 본 연구는 운항실습선을 대상으로 선내 승선자의 군집유형에 따른 피난 시간과 특성을 시뮬레이션에 의해 비교한 것으로, 크루즈 선 승객은 승선 시 다양한 선내 활동이 가능하다는 관점에서 출발하였다. 그리고 승선자와의 인터뷰를 통해 승선 시 행동 유형을 군집유형 A(지정선실 내 재실), 군집유형 B(모든 승조원이 정상활동 공간에 위치), 군집유형 C(모든 승조원이 소속 식당에 위치)의 3가지로 분류하여 비교 평가하였다. 연구의 성과를 정리하면 다음과 같다. 군집유형 B는 피난시간이 다른 유형에 비해 가장 빨랐고 피난 정체구간도 짧았다. 군집유형 C의 경우 승조원이 특정공간에 집중적으로 분포함에 따라 피난과정에서 Upper deck가 병목 구간으로 작용하였고 피난시간이 오래 걸렸다. 이상과 같은 결과로부터 동일한 선박 내에서도 화재 등의 재난 발생 시 선내 재실자의 분포특성에 맞는 피난 관리 및 대응책이 필요함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 화재, 재난, 안전, 피난, 군집유형, 피난관리

Abstract : This study simulates and compares the evacuation time and characteristics according to the living patterns on board a training ship which was launched in Dec. 2005, on the viewpoint of the various activities being possible on board a cruise ship. Based on interviews with personnels on board, 3 living patterns are set as representative living conditions: Pattern A(all personnels are positioned at their cabins), Pattern B(all personnels are positioned at lecture rooms, offices or else), Pattern C(all personnels are positioned at restaurant or cafeteria). The simulation results show that Pattern B is comparatively ideal because the evacuation time is short and there is less delay of personnels' movement on each deck. On the contrary, Pattern C is evaluated as the worst because the average evacuation time took more than 360 seconds and the bottle-neck happened at Upper deck. As a result, this study proposes the needs of various countermeasures against the fire and/or disaster, considering the various living patterns on cruiser(s) and/or passenger ship(s)

Key words : Fire, Disaster, Safety, Evacuation, Living pattern, Evacuation management

1. 서 론

1.1 연구배경과 목적

부산광역시 영도구에 국제여객선터미널이 개장한 이후 세계적인 크루즈 선사들이 부산항을 모항으로 하는 정기 크루즈 선을 운항하고 있다. 이는 내적으로 우리 국민의 경제 수준이 향상되면서 일반인들도 크루즈선을 이용한 여행문화에 많은 관심을 갖게 되었다는 의미이며, 외적으로는 경제적 능력을 갖춘 외국인들에게 우리문화를 알리고 또한 지역 경제가 활성화된다는 관점에서 매우 긍정적인 환경변화임에 틀림없다. 이러한 크루즈 산업이 발전하기 위해서는 크루즈선 운항에 있어 평상시 승객들에게 편안하고 편리한 주거환경을 제공하고 화재 혹은 기타 재난상황에 대처할 수 있는 다양한 피난대책을 확보하고 있어야만 한다.

특히, 크루즈선을 비롯한 대형 여객선의 승객은 불특정 다

수로 구성되어 있으며, 이들은 배의 전반적인 내외부 구조에 익숙하지 않고, 또한 인간의 행동습관은 대부분의 경우 익숙한 통로를 선호하는 특성을 갖고 있기 때문에, 예상치 못한 화재 등의 재난이 발생하게 되면 행동의 제약을 받게 되어 피해가 커질 수 밖에 없다. 이러한 잠재적 문제는 158명이 사망한 1990년의 여객선 스칸디나비아호 해상화재 사고에서 확인할 수 있다.

선박과 승객의 안전을 확보하기 위해 IMO(International Maritime Organization)는 SOLAS(Safety Of Life At Sea) 등의 규정을 두어 자세한 화재 대응 기준을 제시하고 있다. 그러나 선박 내 화재는 발달과정에서 다양한 내외부 요인에 의해 영향을 받기 때문에 화재안전 설비만으로 문제를 해결 할 수 없다고 판단되며, 특히 승선 생활에 익숙하지 않은 일반 승객의 안전 확보를 위한 선박별 대응 매뉴얼이 필요하다. 일반 승객을 안전하게 피난시키기 위한 다양한 노력이 예상되지만 그

† 교신저자 : 종신회원, hwangki@hhu.ac.kr 051)410-4368

중 가장 중요한 것이 선장 혹은 승조원들의 학습과 경험에 근거한 피난 관리일 것이다.

이에 본 연구에서는 크루즈 혹은 중대형 여객선에 승선한 승객의 활동이 다양하다는 점에 주목하고, 선박 내 재난발생을 가상하여 선내 승선자의 군집유형에 따른 피난 시간과 특성을 시뮬레이션에 의해 예측 비교하였다.

1.2 기존연구 고찰

선박 화재 혹은 피난과 관련된 기존연구로, 김 등(2006)은 시뮬레이션을 통해 선박 거주구역 내에서 화재가 발생할 경우 침실 내의 온도는 47초 후에 대피한계조건인 60℃를 초과하고, 매연농도는 41초 후에 한계농도인 61.2mg/m³를 초과하는 것으로 예측하였고, 황 등(2009)은 화재가상 실험을 통해 화재 발생에 따라 가시도가 낮아지고 피난 이동 과정에서 예측하지 못한 장애물이 피난경로에 발생할 경우의 생존율은 20% 이하라는 연구결과를 제시하였다. 또한 선박의 구조적 관점에서, 화재 시 공용공간에서의 유출계수를 평가하여 한 개의 출입구로 대피할 경우 2.48명/ms, 두 개의 출입구로 대피할 경우에는 5.28명/ms으로 증가하지만 기관실의 경우에는 0.7명/ms로 측정됨에 따라 공용공간에서 대피하는 것보다 기관실에서 대피하는 것이 약 4배 이상 위험하다는 연구결과(한 등, 2006)가 제시된 바 있으며, 김(2010)은 기존 선박의 내부구조 중 복도와 피난구 각각의 폭 증가에 따른 피난시간 감소 정도를 정량적으로 도출한 바 있다.

2. 연구의 범위와 방법

2.1 실습선 개요

본 연구의 시뮬레이션 분석 대상은 해양전문인력을 양성할 목적으로 2005년 12월에 건조된 한국해양대학교 운항실습선 한바다호를 대상으로 하였다. 본 운항실습선은 Navigation and Bridge deck, Boat deck, Shelter deck, Upper deck, Main deck, 2nd deck 등 총6개의 deck로 구성되었다. Fig. 1은 운항실습선의 외관을 보여주며 Table 1은 개략적인 사양이다(조권희 등, 2007). 본 운항실습선은 통상적인 조건에서 총 246명이 승선할 수 있도록 설계되었는데, 각 deck별 공간의 주요 용도와 승선자 수 분포를 Table 2에 정리하였다.



Fig. 1 The external appearance of the training ship

Table 1 The specification 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. 19kts, Average 17.5kts		

Table 2 Regular numbers of crews of each cabins

deck 구분	배치내용	설계정원
Nav.Bridge deck	선교 Multimedia room	- 34인
Boat deck	세미나실 선장실, 기관장실, VIP실 교수실 (A)~(H) Doctor room	89인 각 1인 각 1인 1인
Shelter deck	사관식당 Ship's office (A)~(H) 사관회의실 항해사실, 기관사실, 교육교관실	24인 각 1인 - -
Upper deck	No.1 Lecture room No.1 Reading room 부원실(1)~(21) 부원식당 학생실(1)~(8) 현문당직실, 취사실	100인 24인 각 1인 22인 각 4인 -
Main deck	No.2 Lecture room No.2 Reading room 학생당직실 학생실(10)~(36)	200인 30인 - 각 4인
Second deck	학생실(37)~(52) 기관실, 냉장고, 체력단련실	각 4인 -

2.2 시뮬레이션 툴 및 모델링

본 연구에서는 운항실습선의 내부구조에 대한 모델링 툴로 Eve Ver.1.0.2, 피난시뮬레이션 툴로 Evi Ver.3.5.3을 활용하였다.

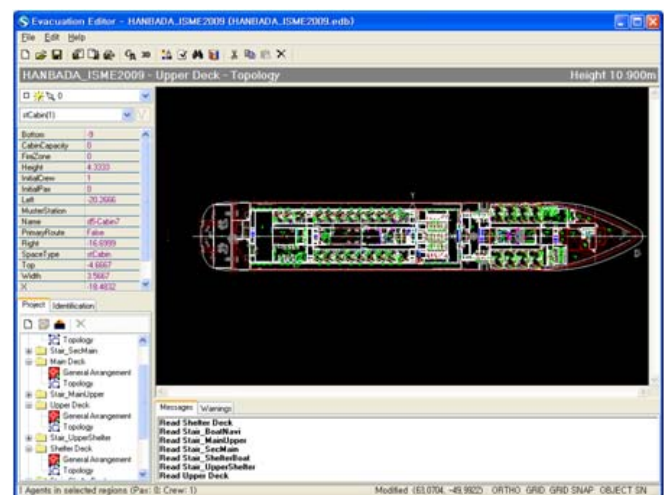


Fig. 2 Training ship modeling process by EvE

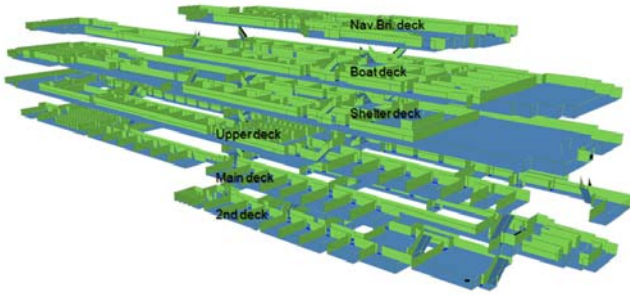


Fig. 3 Training ship 3D modeling(vertical drawing)

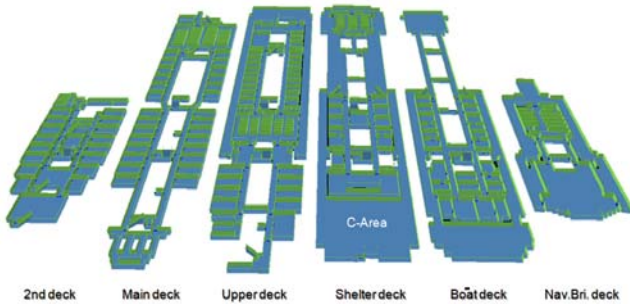


Fig. 4 Training ship 3D modeling(plane drawing)

다. Eve와 Evi는 모두 Safety at Sea Ltd.가 제공한 것으로, 두 프로그램 모두 IMO가 제시하고 있는 피난시간예측 시뮬레이션 방법과 조건(IMO, 2002)을 만족한다.

Fig. 2는 운항실습선을 EvE Ver.1.0.2를 통해 모델링하는 과정을 보여주며, 3차원 모델링 결과를 Fig. 3, Fig. 4에 입면과 평면으로 표현하였다.

참고로 본 운항실습선의 1차 피난 집결지는 Fig. 4에 나타난 Shelter deck의 C-Area로 표시된 예식갑판으로 정해져 있다.

2.3 시뮬레이션 조건

피난속도와 승조원의 군집유형에 주목하여 본 시뮬레이션 조건을 설정하였다. 피난속도의 조건은 IMO의 시뮬레이션 조건(Table 3)과 운항실습선에서 화재가상 실험을 통해 취득한

Table 3 Crews' demographics(IMO, 2002)

%	Gender	Ages [years]	Awareness* [sec]	Speed [m/s] (flat/upstair/downstair)
25	Male	20±10	Uniform (600,180)	1.48/1.01/0.67
12.5			Uniform (10,5)	
12.5			Uniform (10,5)	
25	Female	20±10	Uniform (600,180)	1.24/0.75/0.63
12.5			Uniform (10,5)	
12.5			Uniform (10,5)	

* Values in parenthesis mean average and deviation, respectively

Table 4 Experimental results(황광일 등, 2006)

Evacuation condition	Visibility	Average Evacuation time [sec]	Distances [m]	Average Evacuation speed [m/s]
엔진룸에서 출발 (장애물없음)	100%	13.6	41	3.0
	8%	35.1		1.2
엔진룸에서 출발 (장애물발생)	100%	32.3		1.3
	8%	59.4		0.7
보선실에서 출발 (장애물없음)	100%	7.8	24	3.1
	8%	54.2		0.4
보선실에서 출발 (장애물발생)	100%	23.7		1.0
	8%	71.2		0.3

피난속도(Table 4)를 활용하였다. IMO의 피난 시뮬레이션 조건은 Table 3에 나타난 것과 같이 남성과 여성, 평지와 계단에 따라 다르게 제시하고 있지만 본 연구에서는 IMO의 대표 피난속도로 여성이 평평한 곳에서의 평균이동속도인 1.24m/s로 설정하였다. 또한 시뮬레이션 대상과 동일한 선박에서 수행된 화재가상 피난시간 실험결과로부터 가시도 100%, 장애물이 없는 조건에서 얻어진 3.0m/s를 실측피난속도로 설정하였다.

한편, 운항실습선에서 생활하는 승조원들의 생활환경에 대한 인터뷰를 통해 선내 생활은 정규 활동, 식사, 그리고 휴식 혹은 취침의 3가지 행동이 대표성을 갖는 것으로 분석되었기 때문에 이를 기초로 승조원의 군집유형을 아래와 같이 정리하였다.

- ①군집유형 A : 모든 승조원이 지정된 선실에 위치
- ②군집유형 B : 모든 승조원이 업무공간에 배치. 단지 강의 실 등은 규정 인원의 60%가 재실하는 것으로 설정
- ③군집유형 C : 모든 승조원이 소속 식당에 위치

이와 같은 3가지 승조원 군집유형에 따라 각 deck의 용도별 공간에서의 재실인원을 결정하였고 이를 Table 5에 정리

Table 5 Simulation Patterns

	Pattern A	Pattern B	Pattern C
Crews are positioned at	cabins	lecture and/or office rooms,	restaurant and /or cafeteria
Crews number on each deck			
Nav.Bridge deck	0	21	0
Boat deck	13	13	0
Shelter deck	8	52	21
Upper deck	50	63	18
Main deck	111	97	207
Second deck	64	0	0
Total	246	246	246

하였다. 표에서 알 수 있는 것과 같이, 일상적인 활동시간대를 나타내고 있는 군집유형 B(Pattern B)의 경우에는 deck별로 승조원이 고르게 분포하고 있지만, 식사시간을 표현하는 군집유형 C(Pattern C)의 경우에는 극단적으로 Main deck에 전체 인원의 84%(207명)가 모여있는 형태이고, 휴식 혹은 취침시간을 유형화한 군집유형 A(Pattern A)는 군집유형 C보다는 분산되었지만 이 역시 Main deck(111명)와 Second deck(64명) 등 선박 하부에 71%가 분포한 형태이다.

한편, IMO에서 권장하고 있는 것과 같이, 시뮬레이션 예측 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 각 조건별 시뮬레이션을 50회씩 수행하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1 승조원 군집유형별 피난시간

각 군집유형별 시뮬레이션 결과를 Fig. 5에 정리하였다. Fig. 5의 내용 중 “Frequencies of evacuation times”는 각 피난이동속도별로 50번씩 수행한 결과 얻어진 피난시간의 빈도수를 나타낸 것이고, “Numbers of crews on each deck”는 평균 피난시간일 때의 deck별 시간변화에 따른 승조원 수 증감 상황을 보여준다. 군집유형별 분석내용은 아래와 같다.

(1)군집유형 A(Pattern A)

전술한 것과 같이 군집유형 A는 승조원이 휴식 혹은 취침을 목적으로 지정된 선실에 분산된 경우를 가정한 것으로, 이 군집유형에서 피난속도가 1.2‰ 일 때 분산 위치한 모든 승조원이 지정된 예식갑판까지 피난에 소요된 시간은 평균 215초이고 3.0‰ 일 때에는 평균 200초가 소요되었다. 두 피난속도의 평균피난시간에는 15초 차이가 발생하고 있으나, 이는 피난속도 1.2‰, 3.0‰ 각각의 조건에서 50번씩 반복 수행해 얻은 피난시간 분산분포가 서로 상당부분 겹치는 결과를 고려할 때, 이러한 군집유형에서 피난속도는 전체적인 피난시간에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다.

또한 deck별 승조원 수의 증감상황을 살펴보면, 피난속도에 관계없이 매우 유사한 결과를 보여준다. 주목해야하는 부분은 피난속도 1.2‰일 때 피난개시 후 120초 경과 시점과 피난속도 3.0‰일 때 피난개시 후 90초 시점에서 Upper deck에 승조원의 이동량이 증가하였다. 이로부터 군집유형 A에서는 해당 시간 전후에 Upper deck의 피난자에 대한 관리가 필요함을 예상할 수 있다.

(2)군집유형 B(Pattern B)

군집유형 B는 전술한 것과 같이 승조원의 일상적인 선내 활동을 가정한 것으로, 이 군집유형에서 피난속도가 1.2‰ 일 때의 피난시간은 평균 220초이고 3.0‰ 일 때에는 평균 160초이다. 두 피난속도의 평균피난시간에 60초 차이가 있고 50회 반복 수행한 피난시간이 서로 겹치지 않기 때문에 이러한 군

집유형에서는 피난속도가 전체 피난시간에 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다.

또한 피난속도에 관계없이 승조원 수 증감의 변화형태는 매우 유사한 결과를 보여주고 있는 deck별 승조원 수의 증감 상황을 살펴보면, 피난개시 후 Main deck, Upper deck는 모두 승조원이 감소하면서 피난처인 Shelter deck 승조원 수가 증가하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 세가지 군집유형 중 어느 deck에서도 정체가 발생하고 있지 않기 때문에 가장 이상적인 피난이 가능한 형태로 판단된다.

(3)군집유형 C(Pattern C)

전술한 것과 같이 식사시간을 가정한 군집유형 C의 경우, 피난속도가 1.2‰ 일 때 모든 승조원의 피난에는 평균 360초, 3.0‰ 일 때에는 평균 270초가 소요되었다. 피난속도 간에 90초의 피난시간 차이가 발생함에 따라, 이러한 군집유형에서 피난속도는 전체적인 피난시간에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다.

또한 이 군집유형 역시 피난속도에 관계없이 승조원 수 증감의 변화형태는 매우 유사한 것으로 나타났다. 그러나 Main deck의 승조원 수가 매우 천천히 줄어들고 Upper deck는 피난이 종료되는 시점 부근까지 일정한 승조원 수가 있는 것으로부터, Main deck의 승조원이 빠르게 피난할 수 없는 것은 Upper deck가 피난의 병목지점으로 작용하기 때문으로 분석된다.

3.2 군집유형에 따른 피난시간 비교

피난속도가 1.2‰ 조건에서 군집유형 A, B의 전체 피난시간 평균은 각각 215초, 220초로 차이가 거의 없지만, 이에 비해 군집유형 C는 360초가 소요됨에 따라 1.5배 이상 피난이 지체되었다. 이에 반해 피난속도 3.0‰인 조건에서는 군집유형 B의 전체 피난시간 평균이 160초로 평가되어 가장 빠르게 승조원이 피난할 수 있음을 보여준다. 이에 비해 군집유형 A는 200초, 군집유형 C는 270초로 군집유형에 따른 피난지체가 발생함을 확인하였다. 이상의 피난속도에 따른 군집유형별 피난시간을 비교한 결과 군집유형 B가 가장 빠른 피난시간을 나타내었고, 군집유형 C가 가장 피난시간이 길게 소요되었다.

한편, 피난시간 변화에 따른 deck별 승조원 수를 비교하면 군집유형 B는 다른 군집유형에 비해 상대적으로 모든 deck에서 정체시간이 가장 짧았다. 군집유형 C는 Upper deck의 승조원 수 변화가 일정하다는 사실로부터 본 운항실습선의 경우 Upper deck가 피난의 병목지점임을 파악하였고, 이는 군집유형 A의 시간변화에 따라 Upper deck의 승조원 수가 서서히 증가한 후 감소하는 형태로부터 재차 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 크루즈 혹은 중대형 여객선에 승선한 승객은 단

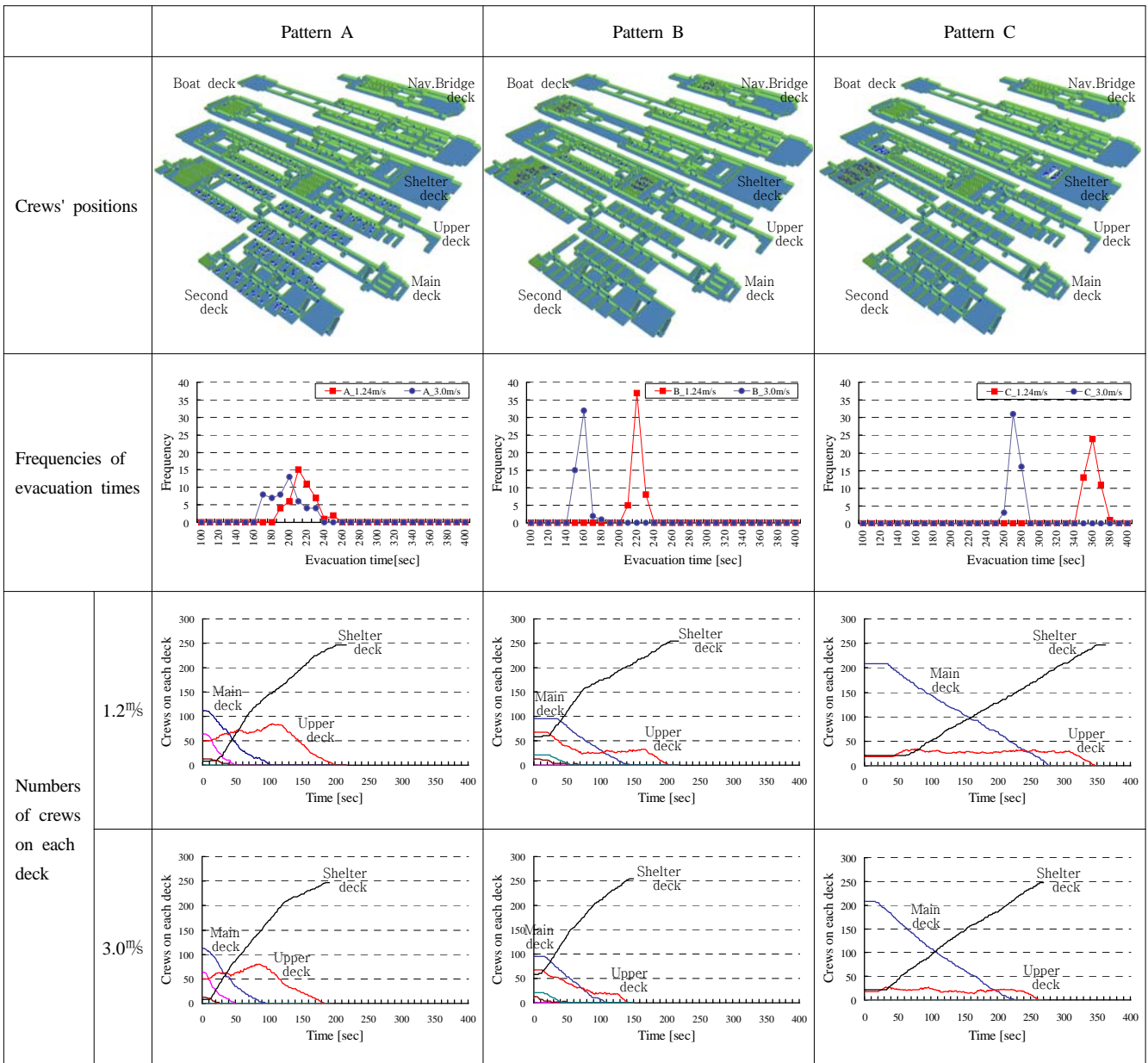


Fig. 5 Simulation results based on each scenario

거리 여객선의 승객과 달리 선내에서 매우 다양하게 활동하는 현상에 주목하여, 선박 내 재난발생을 가상하고 선내 승선자의 군집유형에 따른 피난 시간과 특성을 시뮬레이션에 의해 예측 비교한 것이다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 위한 피난속도로 IMO에서 제시한 1.24m/s와 시뮬레이션 대상과 동일한 선박에서 수행된 화재가상 피난속도실험 결과 얻어진 3.0m/s로 설정하였다. 또한 승조원의 군집유형은 운항실습선에서 생활하는 승조원들의 인터뷰를 통해 다음 3가지로 정리하였다.

- ① 군집유형 A : 모든 승조원이 지정된 선실에 위치
- ② 군집유형 B : 모든 승조원이 업무공간에 배치. 단지 강 의실 등은 규정 인원의 60%가 채실하는 것으로 설정

③ 군집유형 C : 모든 승조원이 소속 식당에 위치
이와 같은 조건에서 수행한 시뮬레이션 결과를 정리하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 군집유형 A의 피난시간은 피난속도에 따라 평균 200초~215초이고, deck별 피난자 수 변화에서 Upper deck에서 일부 정체가 발생하였다.

2) 군집유형 B의 경우 피난속도 1.2m/s 일 때 피난시간은 평균 220초, 3.0m/s 일 때 평균 160초로, 이 유형에서는 이동속도가 전체 피난시간에 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다. 또한 시간경과에 따른 deck별 피난자의 정체구간이 가장 짧은 것으로 나타났다.

3) 군집유형 C는 피난속도 1.2m/s 일 때 피난시간은 평균 360

초, 3.0% 일 때 평균 270초가 소요되어 90초의 피난시간 차이가 발생함에 따라, 이 유형에서도 이동속도는 전체적인 피난 시간에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 해석된다. 시간경과에 따른 deck별 승조원 수 증감의 변화에서 모든 피난자가 지정된 1차 집결지로 모이기 직전까지 Upper deck에는 피난자가 존재하고 있어 이 유형에서는 Upper deck가 피난의 병목지점으로 작용한 것으로 분석된다.

4)군집유형간 비교분석을 통해 승조원이 고르게 분포해 있는 군집유형 B의 피난시간이 가장 짧았고 deck별 피난자 정체구간도 없었지만, 군집유형 C의 경우 승조원이 특정공간에 집중적으로 분포함에 따라 피난과정에서 Upper deck가 병목구간으로 작용하였고 피난시간이 오래 걸렸다.

이상과 같은 결과로부터 동일한 선박 내에서도 화재 등의 재난 발생 시 선내 재실자의 분포특성에 맞는 피난 관리 및 대응책이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구결과가 크루즈 및 여객선 산업의 발전과 안전한 선박운항에 기여하기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 김원욱, 김종수, 오세진, 김성환(2006), “선박의 거주구역 화재시 연기거동 및 온도변화에 관한 시뮬레이션 연구”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp.293~294
- [2] 김원욱(2011), “선박구조가 승무원 생존율에 미치는 영향에 관한 연구”, 한국항해항만학회지 제34권 제6호, pp.423~427
- [3] 조권희, 이형기, 이진욱, 감문상(2007), “실습선 한바다”, 한국해양대학교
- [4] 한상국, 조대환, 박찬수(2006), “기관실화재 인명위험성평가에 관한 연구”, 해양환경안전학회 추계학술대회, pp.283~289
- [5] 황광일, 신동걸, 김유진, 윤정하, 이상일, 홍원화(2009), “선박 화재 시 선내의 연기농도가 승객의 피난시간에 미치는 영향”, 한국마린엔지니어링학회지 제33권 제2호, pp.336~343
- [6] IMO(2006), “Interim Guideline for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships”, IMO MSC/Circ.1033[1] International Convention for the Safety of Life at Sea(2006), International Maritime Organization, 2006 consolated edition, IMO
- [7] Kim, M.E., Lee, K.W., Lee, Y.H.(2007), “A study on the safe position from the local fire in the ship’s engine-rooms”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp.183~189
- [8] Safety at Sea Ltd., <http://www.safety-at-sea.co.uk>