

## 세월호 증개축 전후 승선객의 피난성능 예측비교 황광일<sup>†</sup>

(Received December 17, 2014 ; Revised January 13, 2015 ; Accepted January 13, 2015)

### Comparative Study on Predictions of Passengers' Evacuation Performances Before and After the Remodelling of MV SEWOL

Kwang il Hwang<sup>†</sup>

**요약:** 여객선에서는 승선객의 안전이 가장 중요함에도 불구하고 국내에서는 인간의 피난행동특성을 반영한 피난성능에 관한 기준이 없다. 본 연구에서는 세월호 증개축 전후의 인적피난안전성을 비교 평가하고 이를 통해 현재 기준의 문제점을 도출하고자 하였다. 연구성과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 증개축 전후의 소집장소 면적은 동일하였고, 이 면적은 모두 국내 관련 기준을 만족하는 것으로 평가되지만, 인간의 행동특성을 반영한 인적안전피난시물레이션 툴을 활용하면 소집이 불가능한 것으로 판단된다. 둘째, 증개축 전후 선내 공간구성에 대해 각 선실에서 퇴선까지의 피난소요시간 예측 시물레이션을 50회씩 수행한 결과 힐링각 0° 경우에는 모두 SOLAS의 허용기준이내이므로 승객 전원이 충분히 피난할 수 있을 것으로 평가되지만, 힐링각이 20°인 긴급한 상황에서 피난을 개시할 경우에는 모두 SOLAS의 주간기준은 만족하지만, 야간기준은 만족하지 못하는 것으로 예측되었다. 모든 경우에서 증축 후인 세월호의 피난시간 확률분포가 Naminou호의 피난시간 확률분포보다 분산되어 있는데 이는 증축후 피난환경이 열악해졌다는 의미이다.

**주제어:** 세월호, 여객선, 증개축, 해상재난, 안전, 피난성능

**Abstract:** Even though the passengers' safety has priority on Passenger ship, there is no criterion on the evacuation performance related with human behavior. To uncover the potential problems of domestic criteria on safety of passenger ships, this study performed simulation and analysis the evacuees safety before and after the Sewol's remodelling. It is clear that the assembly stations of both before and after Sewol remodelling have sufficient areas to satisfy the domestic criterion by simply human-body's-area, but those are failed to assemble all the passengers by the simulation tool that reflects the human behaviors' characteristics. For the healing angle as 0 degree, and the criteria of SOLAS, it was found out that all the passengers can safely evacuate from each cabins to the embarkation stations for both of the before-and-after the Sewol remodelling. But for the healing angle as 20 degree, both of the before-and-after Sewol remodelling are evaluated as possible to make all the passengers evacuate for day scenario and impossible for night scenario of SOLAS criteria. And because of the worse conditions after the remodelling, the probabilities of Sewol(before) are showed wide band comparing to Naminou (after).

**Keywords:** Sewol, Passenger ship, Remodelling, Maritime disaster, Safety, Evacuation performance

## 1. 서론

2014년 4월 16일 인천을 출발하여 제주로 향하던 세월호가 침몰하여 승객 476명 중 295명이 사망하고 9명이 실종하는 사고가 발생했다. 세월호는 선령 18년 경과한 일본 여객선을 국내로 도입하여 증개축하였고 이 과정에서 발생한 여러 가지 기술적 잘못으로 인해 이번 참사가 발생한 것으로 조사되었다[1].

새로운 배를 건조하거나 기존 선박을 증개축하는 설계과정에서 가장 중요한 것은 개념(Concept)의 설정이다. 이는

그 개념에 따라 배의 형상과 내부구조, 관련 기자재, 기타 여러 가지 사항이 결정되기 때문이며, 개념이 잘못되면 그 이후 모든 프로세스에서 시행착오가 발생하고 그 시행착오를 바로 잡지 않으면 이와 같은 사고가 발생하게 된다.

여객선의 경우 가장 중요한 개념은 일반승객과 승무원을 포함하는 승선객의 안전이다. 그렇기 때문에 여객선에는 재난을 대비한 피난안전설계기준이 있고, 선내에 안전피난 매뉴얼을 비치하며, 소집장소를 지정하고, 각종 안전기구를 구비하고 정기적으로 점검받고 있다.

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4850-3558>): Division of Mechanical & Energy Systems Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: [hwangki@kmou.ac.kr](mailto:hwangki@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4368

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그러나 여객선의 인적안전관련 국내 설계 및 관리기준은 시설물의 규격과 보유여부, 관계자의 교육이수여부만을 확인하는 등 정량적 관점에서만 이루어지고, 선내에서 선박운동과 연동하며 동시에 독립적으로 동작하는 인간의 피난행동특성을 반영한 피난성능에 관한 정성적 평가는 수행되지 않고 있다. 예를 들어, SOLAS에서는 소집장소의 면적을 1인당 0.35㎡로 정하고 있으나[2], 국내 카페리선박의 소집면적에 관한 수치적 기준은 없으며 근사한 내용으로는 부유식 해상구조물 관련 기준에 소집장소의 크기를 “모든 사람을 수용할 수 있을 정도의 충분한 크기”로 기술되어 있으나[3], 그 기준의 적정성에 대한 검증사실을 확인할 수 없는 실정이다.

육상에 비해 해상구조물 위에서 인간의 보행 및 피난 특성에 관한 연구는 매우 부족하다. 보행속도에 대해 해외에서는 유럽에서 수행된 선박 목업실험을 통해 경사가 없는 북도에서의 보행속도가 1.32 m/s로 제시되었지만[4], 일본인 대상의 선상 실측연구에서는 평면 이동시의 평균속도를 0.90m/s로 평가하였다[5]. 국내에서는 목업실험장치에서 다양한 종경사, 횡경사에 대한 실험을 수행하여 해외실험결과와 비교분석하였고[6], 84명이 참가한 선상 실측실험에서는 수평상태에서 평균 보행속도가 1.42 m/s로 측정되었다[7]. 한편, 선박내 화재발생시의 연기농도에 따른 피난시간을 예측하기 위해 실습선 내에서의 가상모의실험에 의한 가시도와 장애물의 영향을 밝힌 연구도 수행된 바 있다[8]. 이와 같이 해상구조물에서 인적안전과 관련된 소프트웨어적 설계기술은 아직 초보적 단계에 머물러 있으며, 또한 선박의 안전기준에 대한 효용성 평가와 평가기법에 대한 연구는 지금까지 수행되지 않은 것으로 확인된다.

이에 본 연구는, 국내 안전기준의 문제점을 개선하고 인적안전평가 기준의 필요성을 제기하기 위하여, 세월호 증개축 전후의 인적 피난안전성을 비교 평가하고 이를 통해 현재 기준의 문제점을 도출하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 연구의 범위와 방법

### 2.1 선박 개요

일본에서 1994년 4월 6,586톤, 최대승선인원 840명 규모로 건조된 ‘나미노우에호’(なみのうえ號, Ferry Namioue)는 1994년 6월부터 2012년 9월까지 일본 Kagoshima와 Okinawa 간의 연안여객선으로 운용되었다[9]. Figure 1은 일본에서 Namioue호로 운항되던 시기의 사진이다[10].

이 선박을 국내 선사가 인천, 제주 간 연안여객사업을 목적으로 2012년 10월 국내로 도입하여 ‘세월호’(世越號, MV Sewol)로 명명하면서, 선수 우현의 카래프 40톤 상당을 철거하고, B deck(3층), A deck(4층), Nav deck(5층)의 각 일부를 철거, 연장, 보강하여 생긴 공간을 두 개 층으로 만들어 아래층은 여객실로, 위층은 전시설 등으로 개조하는 등의 증개축공사를 하였다[1]. Figure 2는 세월호

사고전 부두에 접안한 모습이며[11], Figure 3은 세월호 Nav deck, A deck, B deck의 각 평면도를 보여주며, Figure 2와 Figure 3의 빨간색 테두리 부분이 증개축된 부분이다.



Figure 1: Appearance of Ferry Naminoue[10]



Figure 2: Appearance of MV Sewol[11] and her remodelled spaces inside red polygon

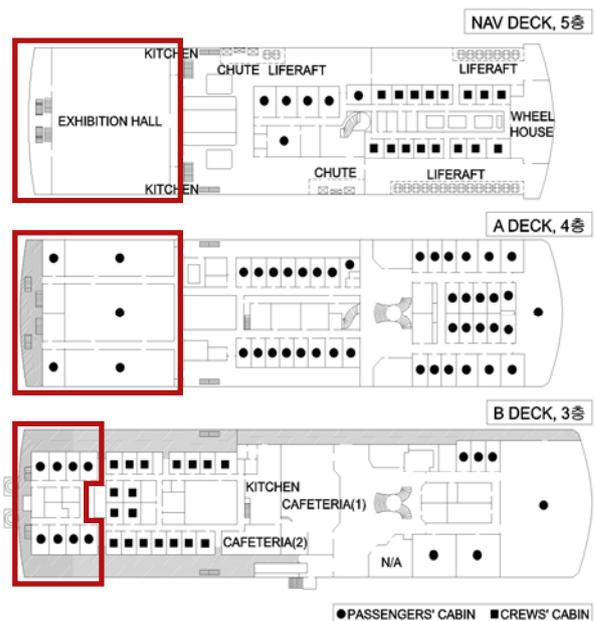


Figure 3: Deck plans of MV Sewol[12] and her remodelled spaces inside red polygon

증개축과정에서 Nav deck에는 전시공간만 새롭게 증축되었기 때문에 승객정원의 변동은 없지만, 선실을 증축한 A deck, B deck에는 각각 75명, 42명 등 총 117명의 승객정원이 늘어나고 승무원정원이 1명 감소함에 따라 세월호의 최대승선인원은 956명으로 총 116명 증가하였지만, 선박이라는 제한된 공간에서 여객선실을 증가시켰기 때문에 상대적으로 화물 적재 가능량은 1,448톤 감소되었다[1]. Table 1은 언론에 공개된 세월호 도면[12] 상에 표시된 내역을 기준으로 세월호와 Naminou호 데크별 승선정원을 정리한 것이다.

Table 1: Passengers' capacities of each deck

	Naminoue			Sewol		
	Pax	Crew	Sum	Pax	Crew*	Sum
Bri. & Nav. deck (5th floor)	11	16	27	11	16	27
A deck (4th floor)	409	0	409	484	0	484
B deck (3rd floor)	384	20	404	426	19	445
Sum	804	36	840	921	35	956

\*Those capacities include 6 temporary guests

## 2.2 연구 범위와 방법

본 연구는 여객선의 인적안전 관점에서 세월호 증개축 전후의 승객정원증감과 선내 평면 변화에 따른 인적피난안전성을 평가하고 이를 분석하여 문제점을 개선하기 위한 방향을 제시하는 것을 연구범위로 한다.

이에 본 연구는 Table 2와 같이 독립된 2개의 피난시나리오를 설정하여 인적안전피난성능을 평가하였다. 즉 재난 발생가능성이 있거나 재난의 수준이 경미하여 이에 대비하기 위해 소집장소로 집합하는 시나리오 1과 재난을 인지한 때가 시기적으로 심각한 재난상황이어서 즉시 퇴선해야만 하는 시나리오 2로 구성하였다. 단, 시나리오 2는 긴급상황을 가정하여 소집과정없이 각 승객이 선실로부터 바로 각 경로를 경유하여 퇴선하는 개념이다.

Table 2: Scenarios for this study

[Scenario 1] Assembly	For the case of light conditions Travel time prediction from starting-from their cabins to the pre-defined assembly stations
[Scenario 2] Embarkation	For the case of serious conditions Travel time prediction from starting-from their cabins to the embarkation on the ocean(not including assembly time)

이러한 시나리오 의 설정은, 시나리오 1은 세월호 증개축 전후에 승객정원이 소집장소에 모이는데 소요되는 시간

을 평가함으로써 관련법규의 유효성을 검토할 수 있으며, 시나리오 2는 기본적으로 전반적인 피난시간예측으로 인적안전피난성능의 변화를 파악할 수 있다.

해상구조물에서 인적안전피난해석을 위해서는 해상구조물의 특성인 6자유도 운동을 반영한 특화된 프로그램을 활용해야만 한다. 이에 본 연구에서는 다양한 논문에서 성능이 검증되었고 IMO MSC.1/Circ.1238 개선을 목적으로 수행된 EU Framework Programme 7 프로젝트에서도 검증 도구로 활용된 Evi를 사용하였다[13]-[15].

시뮬레이션에 적용할 조건은 다음과 같다. 선박의 힐링각은 평상상태인 0°인 경우와 승객의 퇴선이 권고되는 20°인 경우로 하였다[16]. 인적특성은 승객정원에 대해 남자승객과 여자승객의 비율을 각 50%로 하였고, 힐링각이 0°인 경우 남자의 평면 보행속도는 1.48m/s, 상향계단 보행속도 0.72m/s, 하향계단 보행속도 0.76m/s, 여자의 경우에는 각각 1.43m/s, 0.65m/s, 0.68m/s로 설정하였는데, 이 속도는 국내에서 수행된 선상 보행속도실험 중 피실험자수가 가장 많은 Hwang[7]의 논문 결과를 인용한 것이다. 힐링각 20°인 경우의 각각의 보행속도는 Evi 내장함수를 이용하였는데, 이 함수는 선박 기울기에 따른 보행속도 변화를 실험한 MEPdesign의 연구결과를 반영한 것이다[15][17]. 한편 승무원은 재난대응 매뉴얼에 따라 승객의 안전한 피난을 유도 및 관리해야하기 때문에 본 연구에서는 승무원은 피난대상에 포함하지 않았다. 또한 시나리오 1, 2의 소요시간을 예측함에 있어 IMO 지침에 근거하여 모든 시뮬레이션은 50회씩 수행하였다[13].

## 3. 피난성능 예측

### 3.1 소집장소의 유효성 평가

국내 관련기준을 평가하기 위해 소집장소의 면적을 계산하고, 소집장소에서 피난가자 점유할 수 있는 피난자 1인당 점유가능면적을 평가하였다.

Figure 4에서 확인할 수 있는 바와 같이 Naminou호는 A deck(4층) 좌현과 우현의 각 외부복도, B deck(3층) 좌현 외부복도의 중앙부를 소집장소로 지정하였다[18]. 본 연구에서는 면적 크기의 영향을 비교하기 위해 지정된 소집장소만을 검토하는 경우를 N-1(Figure 4의 빨간색 실선 공간), B deck 좌현복도에 연결된 좌현 외부복도 전체 개방공간을 포함하는 경우를 N-2(Figure 4의 빨간색 실선과 점선 공간)로 구분하였다.

N-1, N-2 각 소집장소에서의 1인당 점유면적은 Table 3에 정리한 것과 같이 N-1은 0.2379m<sup>2</sup>, N-2는 0.3285m<sup>2</sup>로 산정되었다. 두 경우 모두 1인당 점유가능면적이 한국인 신체기준 평균 1인당 바닥면적(약0.138 m<sup>2</sup>=0.493 m(어깨넓이)×0.280(가슴부위 앞뒤 두께))[19] 보다 크기 때문에 수치적으로는 모든 승객정원을 위한 소집면적 국내 기준은 만족하지만, N-1은 전술한 SOLAS 기준[2]을 만족하지 못한다.



(a)On A deck(4th floor)



(b)On B deck(3rd floor)

Figure 4: Assembly locations of Ferry Naminoue[17]

간은 134초(19.5%) 늘어난 것으로 예측되었다.

1인당점유가능면적의 관점에서 국내 법규를 만족하는 N-1, S-1이 인적특성을 반영한 시뮬레이션에서는 소집불가라는 결론이 도출된 것은 인간은 화물과 달리 가만히 서있지 못하는 ‘인간의 동물적 운동특성’ 때문이다. 즉, 인간의 점유면적에 운동면적을 함께 고려하고 이를 소집장소 면적에 반영해야하는데 현재의 방법은 그렇지 못하다는 의미이다. N-2, S-2도 시뮬레이션 결과 소집이 가능한 것으로는 예측되었지만, 이 인구밀도에서는 승무원의 피난자 관리와 피난자가 각자 선실로 돌아가거나, 퇴선하는 2차 행동으로 움직이기는 매우 어려울 것으로 예상된다.

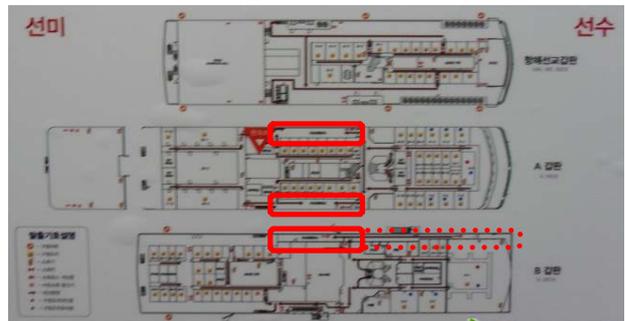


Figure 5: Assembly locations of MV Sewol[19]

Table 3: Calculated assembly areas of Namioue

		Bri. & Nav. deck (5th floor)	A deck (4th floor)	B deck (3rd floor)
N-1	Max. area [m <sup>2</sup> ]	0	154.0	37.2
	Area per a passenger [m <sup>2</sup> /person]	0.2378 =(37.2+154.0)m <sup>2</sup> /804persons		
N-2	Max. area [m <sup>2</sup> ]	0	154.0	110.1
	Area per a passenger [m <sup>2</sup> /person]	0.3285 =(110.1+154.0)m <sup>2</sup> /804persons		

세월호의 피난경로와 소집장소를 표시한 Figure 5에서 알 수 있는 바와 같이 승선정원이 117명 증원되었음에도 불구하고 소집장소는 증축전 Naminoue호 때와 동일함을 알 수 있다[20]. Table 4에 정리한 것과 같이 승선정원이 증가하였으나 소집장소가 같기 때문에, N-1, N-2와 같은 개념으로 설정된 S-1, S-2의 각 소집장소에서의 1인당점유면적은 각각 0.2076m<sup>2</sup>, 0.2868m<sup>2</sup>로 증축후 더 좁아졌다. 이 경우에도 한국인의 평균 1인당 바닥면적 0.138m<sup>2</sup>을 적용하면 모두 국내법규는 만족하지만, SOLAS 기준은 만족하지 못한다.

단순한 면적비교이 한계를 극복하기 위해 N-1, N-2, S-1, S-2의 적정성을 해상구조물의 인적안전피난 전문해석 틀을 이용하여 시뮬레이션을 수행하면, N-1, S-1는 승객정원 전체의 소집이 불가능하다는 결과가 도출되었고, N-2, S-2는 Table 5에 제시한 것처럼 688초, 822초만에 소집이 가능하기 때문에 승객정원이 117명(14.6%) 증가함에 따라 피난시

Table 4: Calculated assembly areas of Sewol

		Bri. & Nav. deck (5th floor)	A deck (4th floor)	B deck (3rd floor)
S-1	Max. area [m <sup>2</sup> ]	0	154.0	37.2
	Area per a passenger [m <sup>2</sup> /person]	0.2076 =(37.2+154.0)m <sup>2</sup> /921persons		
S-2	Max. area [m <sup>2</sup> ]	0	154.0	110.1
	Area per a passenger [m <sup>2</sup> /person]	0.2868 =(110.1+154.0)m <sup>2</sup> /921persons		

### 3.2 승객의 피난성능 평가

#### 3.2.1 피난시나리오 및 평가기준 설정

인간의 피난행동적 관점에서 피난에 필요한 시간을 안전 피난필요시간(RSET, Required Safe Egress Time)이라 정의하며, IMO는 Equation (1)을 이용해 선박에서 인간의 피난 시간을 계산한다[13].

$$RSET = |(T_{res} + T_{travel})_{individual}|_{max} + (T_{bark} + T_{launch}) \dots (1)$$

여기서 T<sub>res</sub>는 재난을 인지하고 몸을 움직여 피난을 개시하기 전까지의 시간, T<sub>travel</sub>은 피난개시 후 소집장소까지의 이동시간이며 주변의 첫 번째 대팔호는 많은 승객들 각자의 T<sub>res</sub>와 T<sub>travel</sub>를 더한 것 중 최대시간을 의미한다. 또

Table 5: Simulation results for assembly performances

Naminoue	Sewol
<p>(a)at 0 second</p>	<p>(a)at 0 seconds</p>
<p>(b) after 100 seconds</p>	<p>(b) after 100 seconds</p>
<p>(c)after 200 seconds</p>	<p>(c)after 200 seconds</p>
<p>(d)after 688 seconds</p>	<p>(d)after 822 seconds</p>

한 Tembark는 구명정 등으로의 탑승시간, Tlaunch는 구명정이 바다로 진수되는 시간을 각각 의미한다. 동 문서에는 Tres를 수식으로 제시하고 있으나, 이와 유사한 개념으로 야간에는 10분 이내, 주간에는 5분 이내이어야 한다는 내용을 포함하고 있고, Tembark와 Tlaunch의 합은 30분 이내이어야 하며, 세월호와 같은 Ro-Ro 여객선은 이러한 조건을

포함하여 RSET이 60분 이내에 이루어져야한다고 기술되어 있다. 이러한 규정으로부터 Tres, Tembark+Tlaunch가 각각 허용된 최대시간을 필요로 할 때 RSET 60분 이내를 만족하기 위해 순수 이동에 허용되는 시간 Ttravel은 야간 20분, 주간 25분이 된다. 본 연구에서는 승객의 Tres를 알수 없고, Tlaunch는 승무원의 역할로 판단하였기 때문에, 시물레이션

시에는 각자의 선실에서 이동을 시작한 이후 Nav deck에 위치한 슈트를 통해 해상에 위치한 피난장소에 도달하기까지의 시간을 예측하고 이를 야간 20분 혹은 주간 25분과 비교함으로써 세월호 증개축 전후의 인적피난안전성을 평가하였다. 또한 진술한 바와 같이 재난발견 시기가 긴급상황이라는 가정하에 소집장소에 집합과정 없이 바로 퇴선하는 것으로 설정하였다.

3.2.2 힐링각 0°인 경우의 피난성능 예측

정상조건 즉 수평을 유지하는 힐링각 0° 경우의 Naminoue호와 세월호의 피난시간을 예측하였다. 각 50회 실시한 시뮬레이션의 평균 피난시간은 각각 675초, 692초로 승객정원 117명 증가에 피난시간은 17초 증가하였다. 이와 같이 인원대비 피난시간 증가분이 짧은 것은 Nav deck, B deck, A deck를 증축하면서 상향계단 2개를 증설하였기 때문으로 분석된다. 675초(11분 15초), 692초(11분 32초)는 허용된 20분 이내이므로 승객정원 전원이 충분히 피난할 수 있을 것으로 평가된다.

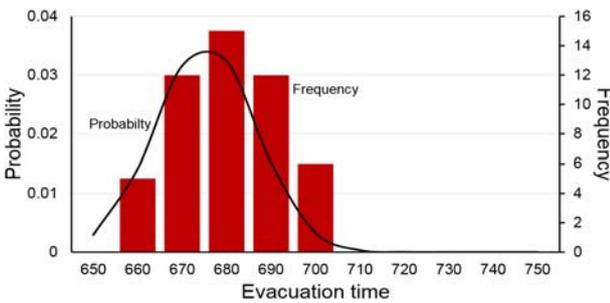


Figure 6: Evacuation time probabilities and frequencies of Ferry Naminoue at healing angle 0°

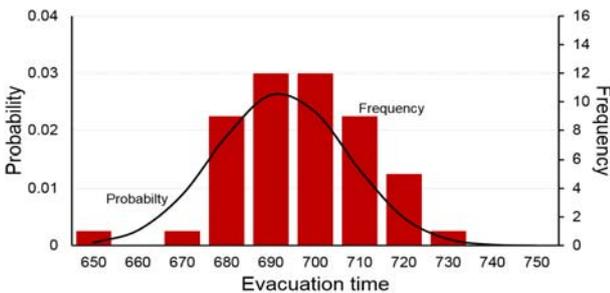


Figure 7: Evacuation time probabilities and frequencies of MV Sewol at healing angle 0°

그러나 Naminoue호의 확률분포를 표시한 Figure 6과 세월호의 확률분포를 표시한 Figure 7을 비교하면, 세월호의 피난시간 확률분포가 Naminoue호의 피난시간 확률분포에 비해 분산되어 있음을 알 수 있는데, 이는 세월호의 피난환경이 Naminoue호에 비해 열악하다는 사실을 의미한다. Table 6에 관심 시간대의 피난모습과 피난자가 집중되는 병목현상 발생구간(빨간색)을 표시하였다. 세월호의 경우 30초 경과 시 A deck의 선미쪽 중앙계단, 300초 경과 시에 A deck의 선미쪽 중앙계단, 300초 경과 시에

는 A deck의 선미쪽 좌현 계단에 Naminoue호와 달리 피난자 밀집현상이 발생하였다.

3.2.3 힐링각 20°인 경우의 피난성능 예측

힐링각이 20°인 긴급한 상황에서 피난을 개시할 경우 Naminoue호와 세월호의 피난시간을 예측하였다. 각 50회 실시한 시뮬레이션의 평균 피난시간은 각각 1,415초, 1,446초로 승객정원 117명 증가에 피난시간은 31초 증가하였다. 피난시간 증가분이 상대적으로 적은 이유도 증설한 상향계단 2개의 영향으로 분석된다. 1,415초(23분 35초), 1,446초(24분 6초)는 IMO가 허용한 주간 25분 이내를 만족하지만, 야간 20분은 만족하지 못한다.

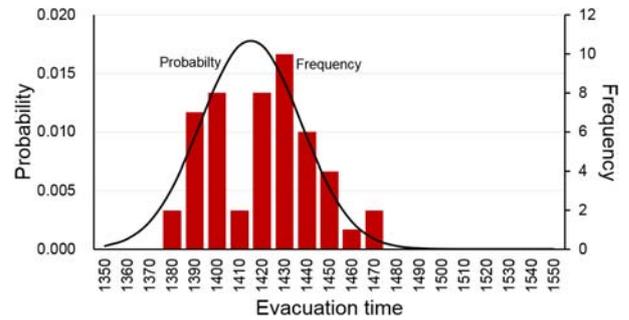


Figure 8: Evacuation time probabilities and frequencies of Ferry Naminoue at healing angle 20°

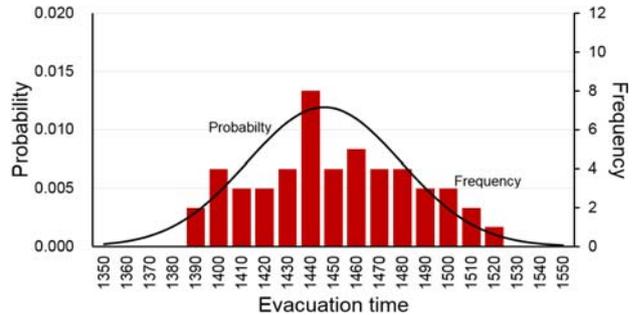
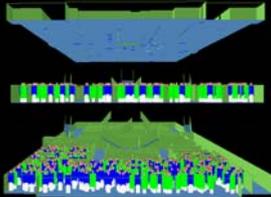
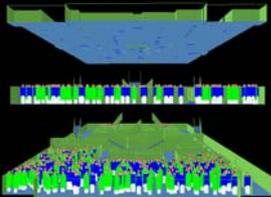
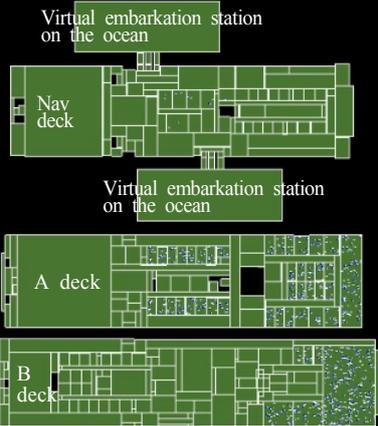
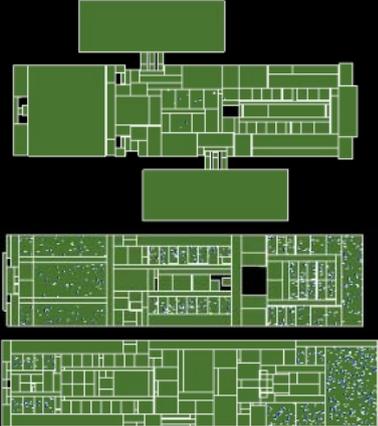
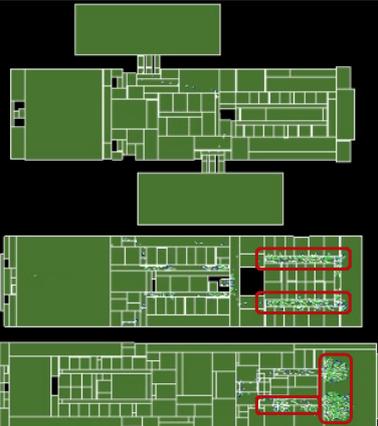
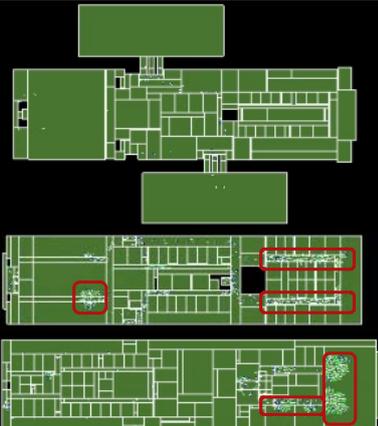
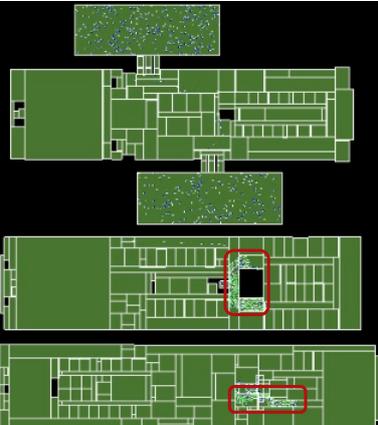
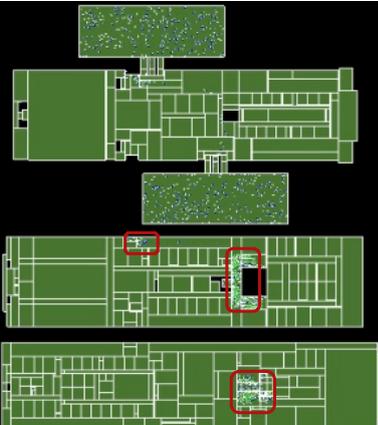


Figure 9: Evacuation time probabilities and frequencies of MV Sewol at healing angle 20°

그러나 Naminoue호의 확률분포를 표시한 Figure 8과 세월호의 확률분포를 표시한 Figure 9를 비교하면 0°일 때와 같이 세월호의 피난시간 확률분포가 Naminoue호에 비해 분산되어 있음을 알 수 있다. Table 7에 관심 시간대의 피난모습과 피난자가 집중되는 병목현상 발생구간(빨간색)을 표시하였다. 세월호의 경우 30초 경과 시 A deck의 선미쪽 중앙계단, 300초 경과 시에는 A deck의 선미쪽 좌현 계단에 Naminoue호와 달리 피난자 밀집현상이 발생하였지만, A deck의 선수쪽 아래 복도의 밀집현상은 해소되었다.

피난예측 시뮬레이션의 모든 경우에서 B deck의 선수쪽 맨 오른쪽 선실인 240인실 출구와 그 앞 2개 복도, 중앙계단, A deck의 중앙계단의 피난자 밀도수준은 개별 피난행동을 제약하는 심각한 수준이다.

**Table 6:** Simulation results for evacuation performances when the heading angle is 0°

	Naminoue	Sewol
Front view		
Plane view at times	 <p>Virtual embarkation station on the ocean</p> <p>Nav deck</p> <p>Virtual embarkation station on the ocean</p> <p>Stern A deck Stem</p> <p>B deck</p> <p>[at 0 second]</p>	 <p>[at 0 second]</p>
	 <p>[at 30 seconds]</p>	 <p>[at 30 seconds]</p>
	 <p>[at 300 seconds]</p>	 <p>[at 300 seconds]</p>

**Table 7:** Simulation results for evacuation performances when the heading angle is 20°

	Naminoue	Sewol
Front view		
Plane view at times	<p>Virtual embarkation station on the ocean</p> <p>Virtual embarkation station on the ocean</p> <p>Stern</p> <p>A deck</p> <p>B deck</p> <p>Stern</p> <p>[at 0 second]</p>	<p>[at 0 second]</p>
	<p>[at 30 seconds]</p>	<p>[at 30 seconds]</p>
	<p>[at 300 seconds]</p>	<p>[at 300 seconds]</p>

## 4. 결 론

여객선에서 가장 중요한 것은 승선자의 안전이다. 그러나 현재 여객선의 인적안전관련 국내 설계 및 관리기준은 하드웨어적이고 정량적인 사항만으로 구성되어 있을 뿐 인간의 피난행동특성을 반영한 피난성능에 관한 정성적 평가는 수행되지 않고 있다. 이러한 국내 안전기준의 문제점을 개선하고 인적안전평가 기준의 필요성을 제기하기 위하여 본 연구에서는 세월호 증개축 전후의 인적 피난안전성을 비교 평가하고 이를 통해 현재 기준의 문제점을 도출하고자 하였다. 연구성과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 세월호는 Naminou호(증축전) 도입하여 증축하고 승객정원을 117명 증원하였음도 불구하고 소집장소 면적은 동일하게 유지하였다. 우리 국민의 1인당 바닥면적을 약 0.138㎡라 할 때 증축 전후 선박에서 지정한 소집면적의 넓이는 0.2379㎡/인(증축전), 0.2076㎡/인(증축후)로 산정되었기 때문에 모두 국내 관련 기준을 만족하는 것으로 평가되었지만, 인간의 행동특성을 반영한 인적안전피난시뮬레이션 툴을 활용하면 소집이 불가능한 것으로 예측되었다.

둘째, 증개축 전후 선방 평면에 관해 각 선실에서 퇴선까지의 피난시간을 50회씩 시뮬레이션 하고 이를 SOLAS의 안전피난필요시간(RSET)의 이동시간 허용기준인 야간 20, 주간 25분과 비교하였다. 힐링각 0° 경우의 Naminou호와 세월호의 피난시간은 각각 675초, 692초로 SOLAS의 허용기준이내이므로 승객정원 전원이 충분히 피난할 수 있을 것으로 평가된다. 힐링각이 20°인 긴급한 상황에서 피난을 개시할 경우에는 Naminou호와 세월호의 피난시간은 각각 1,415초, 1,446초로 SOLAS의 주간기준은 만족하지만, 야간 기준은 만족하지 못한다. 모든 경우에서 증축 후인 세월호의 피난시간 확률분포가 Naminou호의 피난시간 확률분포보다 분산되어 있는데 이는 증축후 피난환경이 열악해졌다는 의미이다.

국내 기준은 만족하지만 해석기법상 피난이 불가능한 이상과 같은 기술적 문제를 해결하기 위해서는, 승조원의 위기관리능력과 안전설비의 기능을 고려하고 또한 각각의 성능수준에 관한 공학적이고 객관적인 해석을 통해 피난시스템의 적합성을 판단하고 제기된 문제에 대한 개선 프로세스를 포함하는 피난안전성기준의 개발이 필요하다.

## 후 기

이 논문의 일부는 “선박 승선자의 안전성 향상을 위한 성능기반 피난안전설계 평가의 필요성 제안”이라는 제목으로 “2014 공동학술대회 (사)한국항해항만학회 논문집 (한국해양대학교, 2014.06.12-14, pp.125-126)”에 발표된 것을 보완하여 새롭게 재평가한 내용을 포함하고 있음.

## References

[1] Gwangju District Court, Decision of the court at 11th

Criminal Justice Division for the Case 2014GoHap180 and Case 2014GoHap384 (Combined), November 11 2014 (in Korean).

- [2] SOLAS, Regulation 11 Survival craft muster and embarkation arrangements, Chapter III, pp. 300, 2004.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standards on Structures and Facilities of Floating Structures, Administration Regulation, revised May 7, 2013 (in Korean).
- [4] W. Bles, S. Nooy, and C. Boer, “Influence of ship listing and ship motion on walking speed,” Proceedings of Conference on Ped, 2001.
- [5] K. Yoshida, M. Murayama, and T. Itakaki, “Study on evaluation of escape route in passenger ships by evacuation simulation and full-scale trials,” Proceedings of the 9th International Fire Science and Engineering Conference (Interflam), vol. 2, 2011.
- [6] H. T. Kim, D. Lee, J. Park, and S. Hong, “The effect on the mobility of evacuating passengers in ship with regard to list and motion,” IE Interfaces, vol. 17, no. 1, pp. 22-32, 2004 (in Korean).
- [7] K. I. Hwang, “An experiment on walking speeds of freshmen unexperienced in shipboard life on a passenger ship,” Journal of Korean Institute of Navigation and Port Research, vol. 37, no. 3, pp. 239-244, 2013 (In Korean).
- [8] K. I. Hwang, D. K. Shin, Y. J. Kim, J. H. Youn, S. I. Lee, and W. H. Hong, “A case study on the passengers’ evacuation times according to the fire smoke density on a ship,” vol. 33, no. 2, pp. 369-376, 2009 (in Korean).
- [9] Wikidpedia, <http://ja.wikidpedia.org/wiki/maraferry>, accessed April 25, 2014 (in Japanese).
- [10] Funenoshahashinkan, <http://www.wakanatsu.com/photo/ferrynaminou.html>, accessed April 25, 2014.
- [11] flyseohan, <http://blog.naver.com/flyseohan/20208933351>, accessed April 25, 2014 (in Korean).
- [12] EDAILY, <http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?SCD =JG31&newsid=03893366606056776&DCD=A00703&OutLnkChk=Y>, accessed April 25, 2014(in Korean).
- [13] IMO, Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships, MSC.1/Circ. 1238, 2007.
- [14] The Royal Institution of Naval Architects, SAFEGUARD Passenger Evacuation Seminar, November 30, 2012.
- [15] SafetyatSea, Evi User Manual Version 3.5.3, 2009.

- [16] E. Galea, Evacuation of Large Passenger Ships - Special Lecture, Korea Maritime and Ocean University, November 4, 2014.
- [17] W. Bles, E. L. Groen, and L .C. Boer, Design Features: Effects of ship listing and ship motion on mustering speed, BriteEuram project 97-4229, “MEPdesign” WP2b, 2000.
- [18] Lamimawa, <https://www.youtube.com/watch?v=-O9IR-XW4co>, Accessed, April 25, 2014.
- [19] C. K. Park, Final report on 6th Size Korea, Korean Agency for Technology and Standards, December 15 2010 (in Korean).
- [20] fairysection, <http://blog.naver.com/fairysection/120195598003>, Accessed, April 25, 2014.