

## 인명탈출분석을 위한 인적거동실험

이동곤<sup>†\*</sup>, 김홍태<sup>\*</sup>, 박진형<sup>\*</sup>

해양(연) 해양시스템안전연구소<sup>\*</sup>

Human Behavioral Experiment for Evacuation Analysis

Dongkon Lee<sup>\*</sup>, Hongtae Kim<sup>\*</sup> and Jin-Hyung Park<sup>\*</sup>

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering/KORDI<sup>\*</sup>

### Abstract

The human behavior is very important in development of simulation system for evacuation analysis. The walking speed of passenger is especially affected by dynamic effect and list due to damage and ship motion in wave. There are various methods to get an useful data for evacuation simulation. The onboard experimental approach is one of the most strong method.

In this paper, the onboard experiment is performed to obtain human behavioral data. To realize ship trim and heel due to maritime casualty, the passage model for experiment is made. The experiment is carried out at dynamic and static condition respectively using the ship with passage model. The result is evaluated and it will be reflected in evacuation simulation tool.

※Keywords: Human behavior(인적거동), Evacuation analysis(탈출분석), Simulation(시뮬레이션), Human Safety(인명안전), Behavior experiment(거동실험)

### 1. 서언

북유럽에서 발생한 Ro-Ro Passenger 선의 사고로 수 백 명의 인명 손실이 발생하자, 국제해사기구(IMO)는 해양사고로부터 인명의 안전을 확보

하기 위하여 일차적으로 손상시 전복 속도가 상대적으로 빠른 Ro-Ro Passenger 선에 대하여 잠정적 인명 탈출분석 지침인 MSC/Circ. 909를 제정하였고(IMO 1999), 2002년 5월에는 Ro-Ro Passenger 선뿐만 아니라 여객선까지 적용 범위를 확장한 미시적방법(Microscopic method)에 의한 잠정적 지침으로 MSC/Circ. 1033(IMO 2002)을 제정하였다.

선박에 대한 탈출분석 시뮬레이션에서 가장 중

접수일: 2003년 3월 4일, 승인일: 2003년 3월 27일

† 주저자, E-mail : [dklee@kriso.re.kr](mailto:dklee@kriso.re.kr),

Tel: 042-868-7222

요한 인자중의 하나는 탈출상황에서 승객들의 거동(보행속도)을 정확하게 반영하는 것이다(이동근 등 2001, 이동근/박진형 2001, 김홍태 등 2001). 선박의 경우에는 육상 구조물과 달리 선박의 경사와 파도에 의한 동요가 보행속도에 미치는 영향이 크다(Bles 등 2001). 실제 경사와 파도가 없는 상태에서 탈출훈련에 소요된 시간과 실제 사고발생시에 소요된 시간은 Saint Malo호의 사고 사례에서 크게 8배까지 차이가 나는 것이 확인되었다(Lockey 등 1997). 따라서 탈출분석 시뮬레이션의 정확도를 향상시키기 위해서는 탈출상황에서 승객들의 거동에 대한 다양한 기초 자료가 필요하며, 이의 획득을 위해서는 여러 가지 실험이 필요하다.

본 논문에서는 해양 사고에서 가장 특징적으로 나타나는 선박의 경사 및 동요효과가 승객의 보행속도에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위해, 동요가 없는 상태와 동요가 있는 상태의 각각에 대하여 종경사와 횡경사, 그리고 종경사와 횡경사를 조합한 조건에서 실험을 수행하였다. 실험을 위하여 종경사와 횡경사를 만들 수 있는 복도모형을 제작하였고, 이를 선박의 갑판에 탑재하여 실험을 수행하였다. 본 실험을 통하여 얻어진 자료는 현재 개발중인 탈출분석 시스템(Kim 등 2001, Park 등 2001)에 반영되어 시스템의 정확도를 높이는 데 기여하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 복도모형 및 계측장비

본 연구에서는 선박의 경사효과를 재현하기 위해 선박의 복도와 유사한 복도모형(10,000mm x 1,200mm x 1,900mm)을 제작하여 실험에 활용하였다. 제작된 복도모형은 종경사(-20°~+20°) 횡경사(0°~20°)의 조절이 가능하고 복도 좌우측에 난간이 설치되어 있으며, 종경사 실험의 경우에는 복도 끝에 계단을 설치하였다.

본 실험에서 사용된 승객의 거동 측정 및 선체운동 측정 장비는 다음과 같다.

- 8 Channel Image Grabber Board 장착 측정기 (Digital Video Network Transmission S/W, Digital Video Recording S/W)

- CCD High Resolution Camera 8대
- 선체운동 측정기 (Seatex Motion Reference Unit, MRU-5)

2.2 실험 종류

선내 도어에 대한 이동을 제외한 모든 실험은 동요가 없는 경우와 동요가 있는 경우에 대하여 실시되었다. 실험은 사고 상황에서 승무원의 지시에 따라 승객이 정상적으로 이동하는 상황을 전제로 하였으며, 다음과 같은 종류의 실험을 수행하였다(Fig. 1 및 Table 1 참조).

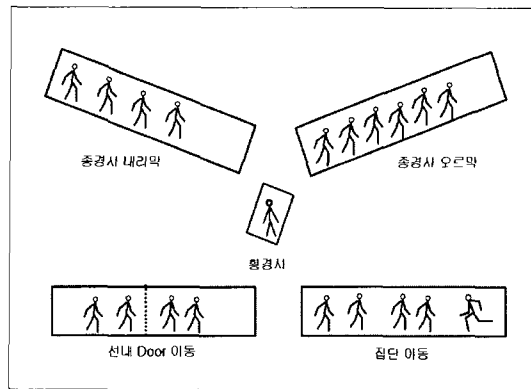


Fig. 1 Kind of experiment

Table 1 Experimental condition

Trim & heel	Passage dimension	10.0m x 1.2m x 1.9m
	Trim	+20° , +10° , 0° , -10° , -20°
	Heel	20° , 10° , 0°
	Trim & heel	Combination of trim and heel
Roll	Passage dimension	10.0m x 1.2m x 1.9m
	Trim	+10° , 0° , -10°
	Heel	20° , 10° , 0°
	Roll angle	3° - 4°
	Roll Period	5 - 12 seconds
Door	Coaming	0.23 m
	Breadth	0.9 m

- 1) 역주행(Counter-flow)이 없을 경우의 통과 시간 : 5회 실시
  - a. 1명이 단독으로 10m의 복도를 통과할 때 걸리는 시간
  - b. 일렬종대로 서있는 21명이 10m 복도를 통과할 때 걸리는 시간
- 2) 역주행할 경우의 통과 시간 : 3회 실시
  - a. 10m 떨어져 일렬종대로 선 10명/10명의 두 그룹이 서로 역주행할 때 걸리는 시간
  - b. 1명과 10m 떨어져 일렬종대로 선 10명이 서로 역주행할 때 걸리는 시간
- 3) 선내 문 통과시간 : 5회 실시
  - a. 일렬종대로 선 21명이 폭 0.9m의 선내 문을 통과하는데 걸리는 시간

2.3 실험 선박 및 피실험자

선박의 동요효과를 반영하기 위하여 한국해양대학교의 실습선인 한나라호의 선미 갑판에 복도 모형을 설치하였다. 선박이 부산항에서 대마도 앞바다를 경유하여 여수항까지 운항하는 중에 해상에서 동요효과를 고려한 실험을 수행하였다. 선박의 동요(Roll, Pitch)는 선체운동 측정기를 사용하여 계측하였다.

실험에 참가한 피실험자들은 한국해양대학교 해사대학 실습생 21명으로, 남학생 18명, 여학생 3명으로 구성되었다. 피실험자들은 Fig. 2와 같이 구멍조끼와 2개의 고유번호가 부착된 안전모를 착용하였다. 피실험자의 이동모습과 속도는 복도 모형에 설치된 8개의 카메라를 통하여 8-Channel

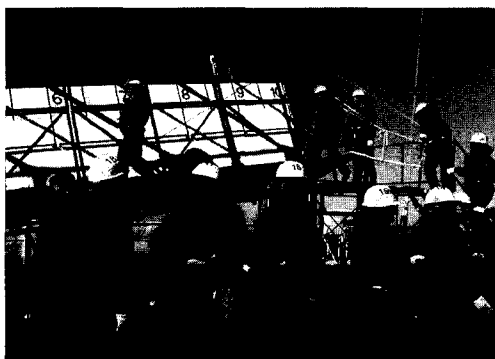


Fig. 2 A scene of the experiment

Image Grabber Board 장착 측정기에 전달되어 컴퓨터에 저장된다.

3. 실험 결과 분석

실험한 내용은 다음과 같이 크게 4 가지로 구분하여 정리할 수 있다.

- 선박의 경사효과에 따른 개인이동 실험
- 선박의 경사효과에 따른 집단이동 실험
- 선박의 동요효과에 대한 개인이동 실험
- 선내 문 통과에 대한 실험

위와 같은 네 가지 경우에 대한 실험결과는 경사가 있을 경우가 경사가 없을 경우에 비하여 약 10-20% 정도의 속도 감소가 나타났으며, 동요의 경우에는 속도가 보다 많이 감소되었다. 본 논문에서는 지면을 고려하여 종경사에 대한 실험결과를 중심으로 기술하였다.

3.1 선박의 경사효과에 따른 개인이동 실험

본 연구의 선박 경사효과에 대한 개인이동 실험 결과는 국외 연구기관의 실험과 비교하여 피실험자의 특성(연령, 성별), 실험의 종류(복도, 계단, 출입구), 실험의 조건(경사 및 동요)이 다르기 때문에 동일한 기준으로 비교하기는 힘들다. 호주의 AME-CRC(Koss, et al. 1997) 및 일본 의장품연구소(Murayama, et al. 2000)의 실험과 본 연구의 선박경사에 따른 보행속도의 변화를 종합하여 비교한 결과가 Fig. 3 이다.

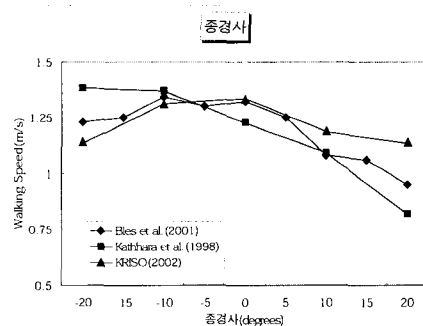


Fig. 3 Mean walking speed with various trim angle

외국의 결과와 비교하여 크게 차이나지는 않지만 종경사 실험에서 다음과 같은 차이점을 나타내고 있다. 종경사 내리막의 경우에는 상식적으로 속도가 빨라질 것으로 예상되었으나, 경사도가 급해질수록 오히려 속도의 감소현상이 나타나고 있다. 이는 안전을 고려하려는 심리적인 현상이 반영된 것으로 생각된다. 또한 종경사 오르막의 경우에는 기존의 실험에 비하여, 경사도가 급해질수록 속도의 감소현상이 크게 나타나지 않았는데, 이는 본 실험에서 사용한 복도모형의 바닥면이 카페트로 제작되어 있어, 철판이나 합판에 비해 상대적으로 미끄러움이 덜하기 때문인 것으로 생각된다.

본 연구에서 실시한 경사효과에 대한 개인 이동 실험의 기술 통계치는 Table 2와 같으며, 나머지 실험 항목에 대하여도 거의 동일한 결과가 나왔다.

Fig. 3의 경사에 따른 평균 보행속도에 대한 비교분석을 위해서, 5% 유의수준의 t-test를 실시하였으며, 3가지의 실험에서 모두 평균값에 대해 의미 있는 차이는 없는 것으로 나타났다.

3.2 선박의 경사효과에 따른 집단이동 실험

선박의 경사효과에 대한 집단이동 실험은 세 가지로 구분하여 수행되었다.

첫 번째 실험은 피실험자 21명이 전후 간격 없이 연속적으로 이동해 나아가는 실험으로, 실제의 사고 상황과 유사한 조건이라 할 수 있다. 이 실험의 분석결과와 앞의 개인이동(피실험자간 3m 이상의 간격)의 분석결과를 비교한 것이 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 종경사의 경우에 집단이동에 따른 속도가 개인이동의 경우보다 20% 정도 낮은 것으로 나타났다. Fig. 4의

Table 2 Example of statistical analysis

Trim angle	Maximum value	Minimum value	Mean value	Standard deviation
10°	1.10	1.49	1.33	0.13
-10°	0.98	1.34	1.20	0.11
20°	1.07	1.52	1.31	0.17
-20°	1.04	1.70	1.32	0.09

결과에 따른 개인이동과 집단이동시 평균 보행속도에 대한 비교분석을 위해서, 5% 유의수준의 t-test를 실시하였으며, 모든 경사상황에서 평균 보행속도에 의미 있는 차이가 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 기존의 실험에서는 수행하지 않았던 종경사와 횡경사가 혼합된 경사에 대해 실험을 수행하였으며, 그 결과가 Fig. 5이다. 종경사와 횡경사가 혼합된 경우에는 종경사나 횡경사만 있을 때 보다 이동속도의 감소가 두드러진 것으로 나타났다. 두 번째 실험은 선내복도에서 각각 10명의 탈출집단이 마주치는 조건(역주행)에서의 실험이며, 이와 같은 경우는 실제 사고에서 흔히 일어날 수 있는 상황이다. Fig. 6은 이에 대한 실험

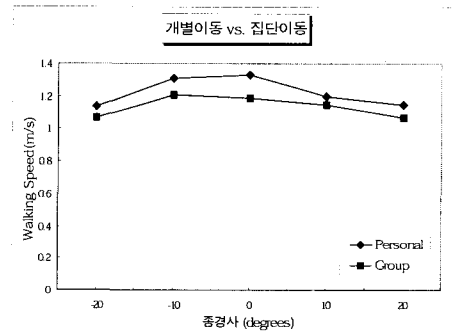


Fig. 4 Mean walking speed of individual and group with trim angle

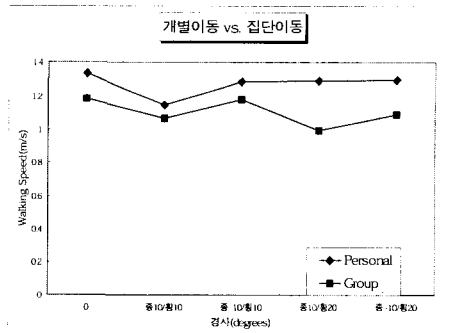


Fig. 5 Mean walking speed of individual and group with trim and heel angle

결과를 나타내고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 집단의 뒤쪽에 위치하는 승객들이 앞쪽에 위치하는 승객들에 비해 낮은 이동 속도를 보여 주고 있다. 이와 같은 결과는 종경사 및 횡경사의 모든 경사 상황에서 동일하게 나타남을 알 수 있다.

세 번째 실험은 선내복도에서 10명의 탈출집단과 개인이 마주치는 조건에서의 실험이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 마주치는 개인의 이동속도가 집단의 이동속도보다 낮은 것을 보여주고 있다.

3.3 선박의 동요효과에 따른 개인이동 실험

선박의 동요효과에 대한 개인 이동 실험은 선박이 바다에서 정지된 상태로 파도를 받는 조건에서

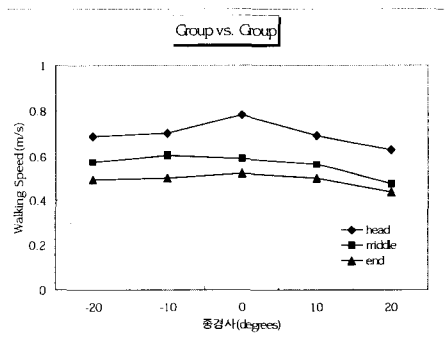


Fig. 6 Mean walking speed of group with trim angle in case of counter-flow

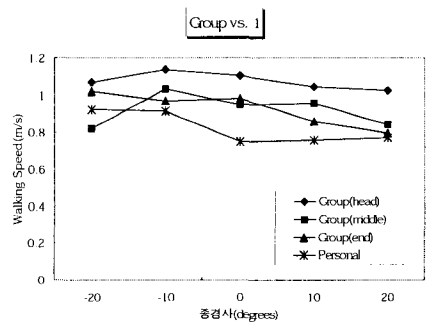


Fig. 7 Mean walking speed of individual and group with trim angle in case of counter-flow

수행되었다. 선박 동요에 대한 실제적인 영향을 체계적으로 분석하기 위해서는 선박 동요장치를 사용한 실험이 이루어져야 하나, 아직까지 국내에서는 이와 같이 실험시설이 전무하여 차선택으로 경사시험이 가능한 복도모형을 선박에 탑재하여 파도에 의한 자연적인 동요를 이용하여 실험을 수행하였다. 따라서 강제 동요 장치를 사용할 경우에 비하여 제한적인 실험만이 가능하였다.

본 실험에서는 선박의 동요를 측정하기 위해 Seatex Motion Reference Unit(MRU-5)을 사용했다. Fig. 8은 종경사 오르막 10°를 실험하는 시간 동안의 횡요각(rolling angle)의 변화를 그래프로 나타내고 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 횡동요의 주기와 크기가 불규칙하게 나타남을 알 수 있다. 선박의 횡동요 주기와 크기(최소치, 최대치)를 나타낸 것이 Table 3이다. 종경사 20°에 대한 동요실험은 피실험자의 안전을 고려하여 실시하지 않았다.

Fig. 9에서 Fig. 11은 무경사, 종경사 ±10°의 조건에서 선박의 동요가 없는 경우와 있는 경우에 대해서 탈출승객의 이동속도를 비교한 것이다. 선

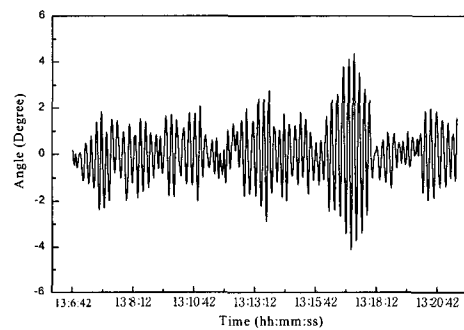


Fig. 8 Roll amplitude and period

Table 3 Roll amplitude and period

Trim	0°	±10°
Roll		
Period(sec)	13	14
Max. Rolling (degrees)	-2.35	4.36
Min. Rolling (degrees)	2.95	-4.11

박 동요시에 전반적으로 이동시간이 10%~20% 더 걸리는 것으로 나타났다.

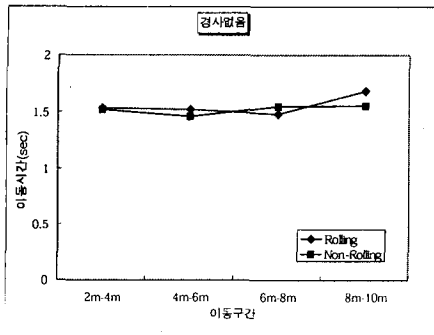


Fig. 9 Comparison of walking speed with and without roll motion : no trim

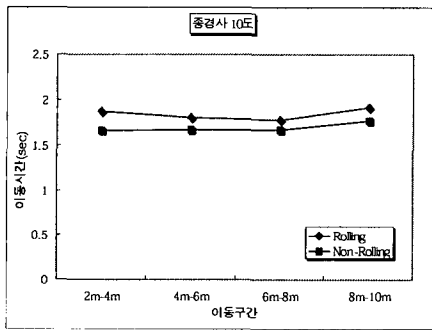


Fig. 10 Comparison of walking speed with and without roll motion : 10° trim

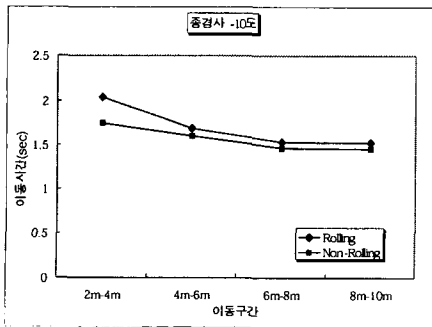


Fig. 11 Comparison of walking speed with and without roll motion : -10° trim

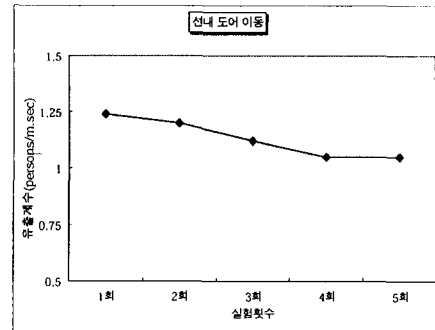


Fig. 12 Specific flow of persons at door

### 3.4 선내 문 통과에 대한 실험

선내 문 통과에 대한 실험은 폭 1.2m의 복도 중앙에 있는 문(코밍 높이 0.23m, 폭 0.9m)을 21 명이 줄을 지어 이동할 때의 통과간격과 시간을 측정 한 실험이다. 실제로 문의 통과에 따른 승객의 이동상황을 정확하게 알아보기 위해서는 복도의 폭과 문의 폭을 변화시키면서 다양한 실험을 수행해야 하나, 실험의 여건상 선내의 대표적인 한 가지 경우에 대한 실험만을 수행하였다.

Fig. 12에서 보는 바와 같이 선내 문 이동에 따른 유출계수(Specific flow of persons)는 실험횟수에 따라 1.05 persons/m·sec - 1.24 persons/m·sec의 범위를 나타내고 있으며, 평균 1.13 persons/m·sec로 분석되었다. 여기서의 유출계수는 한정된 폭을 가진 문을 1초당 통과할 수 있는 사람의 수를 나타낸다. 일반적으로 피난 시 물레이션에서는 수평부분의 통로인 경우에 1.5 persons/m·sec, 계단 등 수직부분의 통로는 1.3 persons/m·sec의 값을 사용한다. 한편 IMO의 Circ. 909는 내리막 계단에서는 1.1 persons/m·sec, 오르막 계단에서는 0.88 persons/m·sec, 복도와 문에서는 1.3 persons/m·sec을 값을 각각 사용하고 있다.

### 4. 실험결과 고찰

선박으로부터 인명탈출과 관련된 국외 연구기관의 실험결과를 참고로 하여 선박의 경사 및 동요를 고려한 승객의 탈출거동실험을 실시하였으며,

그 결과를 비교 및 분석하였다. 비록 제한된 범위에서 수행한 실험이지만 국내에서 인명안전을 위하여 처음 시도된 실험으로 그 의의가 크다. 연구결과는 외국 기관에서 수행한 실험결과와 질적인 면에서 큰 차이는 없는 것으로 판단되며, 최종 목적인 탈출분석 시뮬레이션 도구의 정확성 향상에 많은 도움이 될 것이다.

선박의 경사와 동요에 의한 승객의 이동 장애요인 등 실험을 통하여 많은 부분을 정량화할 수 있다. 그러나, 탈출상황에서 집단의 보행문제와 심리적 요인의 반영은 실험이나 시뮬레이션을 통하여 타당성 있는 자료를 얻기가 곤란하다. 먼저, 탈출 집단의 보행시 혼잡에 의한 속도 감소문제는 부분적인 실험을 통하여 분석할 수 있으나, 극한 위기 상황에서의 혼잡은 실험으로 재현할 수 가 없으므로, 보행밀도에 따른 보행속도의 감소효과 등을 추가적으로 반영할 필요가 있다. 또한 심리적 요인의 반영을 위해서는 일부 보고 되고 있는 사고 경험자에 대한 인터뷰 및 설문조사 결과들을 바탕으로 사고의 초기인지, 심각성의 지각, 사고신고 및 전파, 안전지역 탐색, 탈출 개시, 탈출 시간 등을 분석하여 탈출 시뮬레이션에 반영할 수 있다. 또한 경보시스템, 사전훈련, 사고에 대한 지식 등의 분석결과도 반영할 수 있다. 그러나 이와 같은 심리적 요인의 반영은 현재로서는 자료 수집의 어려움과 계량화에 대한 타당성을 객관적으로 검증하기 매우 어려운 문제점을 내포하고 있다.

앞으로 탈출 시뮬레이션의 정도를 좀 더 향상하기 위해서 탈출승객의 거동과 관련하여 다음과 같은 사항에 대한 추가적 실험이 필요하다.

- 선박의 경사효과에 대한 추가 실험(여성, 노약자, 장애인 등)
- 선박의 동요효과에 대한 추가 실험(선박동요 모의실험 장치 이용)
- 선내 문 및 계단에 대한 추가 실험(문의 폭, 계단의 폭 및 높이 등)
- 화재시 연기효과에 의한 승객거동 장애 실험

## 5. 결 론

선박의 화재나 손상에 기인한 응급상황에서 인

명의 안전을 위한 탈출분석 기술의 적용은 시대적 대세이다. IMO의 해사안전위원회의 제47차 방화전문위원회(2003년 2월)에서는 영국과 독일이 현재의 탈출분석에 관한 잠정 지침인 MSC/Circ. 1033를 강제화하는 제안(IMO 2002(b))을 하였다. 일본과 아국이 아직 충분한 자료를 활용할 수 있는 단계가 아니라는데 의견을 같이하고 반대하여 강제화 되지는 않았으나 인명의 안전이 그 어떤 사항보다 중요하기 때문에 탈출분석에 대한 강제화는 실행 시기의 문제일 뿐이다. 이러한 환경에서 실선실험을 통한 인적거동에 관한 자료의 수집과 그 활용은 매우 중요한 의미를 갖는다.

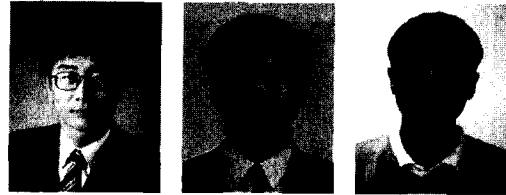
## 후 기

본 논문은 해양(연) 해양시스템안전연구소에서 수행하고 있는 기본연구 결과의 일부본임을 밝히며, 실험에 많은 협조를 하여준 한국해양대학교 관계자에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 이동근, 김홍태, 박진형, 박범진 2001 "해상 인명탈출에 있어서 보행속도에 관한 연구결과 분석", 선박설계연구회 하계학술대회, pp. B17.1-B17.11.
- 이동근, 박진형 2001 "해상에서의 인명탈출 분석 기술", 선박설계연구회 동계학술대회, pp. 355-360.
- 김홍태, 이동근, 박진형 2001 "탈출분석을 위한 Human Factors 기술의 현황 및 전망", 선박설계연구회 동계학술대회, pp. 362-371.
- Bles, W., Nooy, S., Boer, L.C. 2001 "Influence of ship listing and ship motion on walking speed", Proceedings of Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp. 437-452.
- IMO 1999 "Interim Guidelines for a Simplified Evacuation Analysis on Ro-Ro Passenger Ships", IMO MSC/Circ. 909
- IMO 2002(a) "Interim Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing

- Passenger Ships", IMO MSC/Circ. 1033
- IMO 2002(b) "Large Passenger Ship Safety", IMO MSC/FP 47/7
  - Kim, H., Lee, D., Park, J.H. et al. 2001 "Establishing the Methodologies for Human Evacuation Simulation in Marine Accidents", 29th International Conference on Computers and Industrial Engineering, pp. 332-338
  - Lockey, D., Purcell-Jones, G., Davies, C., Clifford, R. 1997 "Injuries sustained during major evacuation of the high-speed catamaran St Malo off Jersey" Injury, Vol. 28, No. 3, pp. 187-190.
  - Koss, L., Moore, A., Porteous, B. 1997 "Human mobility data for movement on ships", Proceedings of Int. Conference on Fire at Sea, pp. 1-11.
  - Murayama, M., Itagaki, T., Yoshida, K. 2000 "Study on evaluation of escape route by evacuation simulation", (Japanes) Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 188, pp. 441-448.
  - Park, J.H., Kim, H., Lee, D. 2001 "Simulation-based Evacuation Analysis on Korean Coastal Passenger Ships", The Seoul International Simulation Conference, pp. 444-449.



< 이동곤 >   < 김홍태 >   < 박진형 >