

## 사회복지시설의 인명안전도 평가를 위한 탈출 시뮬레이션

김현석<sup>1</sup>, 김국현<sup>2</sup>, 김남숙<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Virtual Systems Scandinavia AB, <sup>2</sup>동명대학교 조선공학과, <sup>3</sup>동명대학교 사회복지학과

### Evacuation Simulation to Assess Human Safety of Social Welfare Facility

Hyunseok Kim<sup>1\*</sup>, Kookhyun Kim<sup>2</sup> and Nam-sook Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Virtual Systems Scandinavia AB

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture, Tongmyong University

<sup>3</sup>Department of Social Welfare, Tongmyong University

**요약** 최근 들어 약자 보호에 대한 사회적 욕구 증대로 다양한 사회복지시설에 대한 수요가 증가하고 있다. 따라서 이들 사회복지시설 건축 및 운영 중 발생 가능한 화재와 같은 비상상황 하에서의 입소자에 대한 안전성은 매우 중요한 인자로 고려되어야 한다. 이에 본 연구에서는 사회복지시설의 인명 탈출 안전도의 평가방법에 관한 탐색적 연구를 수행한다. 이를 위해 조선공학 분야에서 침몰, 화재 등과 같은 비상상황 하에서의 승객 탈출지수 평가에 주로 적용되고 있는 탈출 시뮬레이션 기법을 임의의 미혼모시설의 인명안전도의 평가에 적용하고 그 결과를 바탕으로 사회복지시설 인명안전도 평가에 탈출 시뮬레이션 기술을 적용할 때 고려해야 할 주요 인자들에 관해 고찰한다.

**Abstract** Growing attention of a society to protecting weak people leads an increase of various social welfare facilities. Therefore, safety of the occupants at emergency situations, such as fire, must be considered as an important factor during the design and operation of those facilities. In this paper an exploratory study is carried out on a method quantitatively assessing the human evacuation safety of social welfare facilities. A evacuation simulation method, being routinely used in the evacuation analysis of passenger ships deriving 'Evacuability' as a quantity of safety, is applied to assess the human safety of a facility for single-moms. Based on the simulation results, the main factors that must be considered while carrying out the evacuation simulation for the human safety assessment of the facility are investigated.

**Key Words** : Social Welfare Facility, Human Evacuation, Evacuability Index

### 1. 서론

사회복지시설은 산업화 사회에서 양산되는 각종 사회문제의 해결을 위해 집단적 노력 및 대응수단으로 고안된 것으로, 한국 사회에 뿌리 내리기 시작한 것은 그리 오래되지 않았다. 대체로 국내에서의 사회복지시설은 지역사회보호와 재가보호 측면보다는 사회적 약자를 한 공간에 집단화하여 보호하는 형태의 시설보호 측면에서 발전되어 왔다고 볼 수 있다. 특히 근대적 성격의 사회복지시설은 6.25 전쟁을 통해 발생한 전쟁고아, 환자, 장애인을 담아내기 위한

생활시설이 그 근간을 이루었다고 볼 수 있다.

국내의 생활시설복지시설은 향후 재가복지와 지역사회복지중심 사회복지로의 변화를 논한다 하더라도 대상의 특성상 미래에도 계속 이어지는 중요한 사회복지서비스의 한 형태임은 분명하다.

사회복지생활시설의 운영에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나는 바로 화재와 같은 비상상황 하에서의 인명 안전 문제라 할 수 있다. 허가된 모든 사회복지시설은 관련 법규에 따라 안전관리요령 및 화재안전시설 등을 의무적으로 갖추도록 되어 있음에도 불구하고, 안전성 평가는

\*교신저자 : 김남숙(welpia0420@tu.ac.kr)

접수일 10년 09월 16일

수정일 (1차 10년 12월 29일, 2차 11년 01월 06일)

게재확정일 11년 01월 13일

정성적인 판단에 근거하고 있으며 “대상 시설이 얼마나 안전한가?”에 대한 정량적 판단을 위한 규정이나 연구 성과들은 찾아보기 힘든 실정이다. 이는 사회복지시설에 대한 대부분의 연구들이 생활시설의 사업운영, 프로그램 개발, 직원역량 등의 소프트웨어에 대해서만 집중되고, 화재 등 비상상황 발생에 대비한 시설에 거주하는 약자의 안전성을 확보할 수 있는 공간연구가 많지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

사회복지시설에 대한 공간연구로는 입소노인의 활동 공간 이용행동, 동선분석, 공간활용 등 생활 편의성 중심의 연구가 수행된 바 있다[1-3]. 또한, 사회복지시설 안전 관리 개선 및 위험관리, 피난계획 등 시설에서의 인명안전 중심의 연구가 수행된 바 있다[4-6]. 그러나 이들 연구 대부분은 정성적인 연구에 한정되고 있다. 따라서 사회복지시설 인명 안전도의 정량적 평가방법 연구에 관한 보다 체계적인 시도가 필요하다.

한편, 최근 항공기, 건물, 기차, 선박 등 폐쇄된 공간 내에서의 화재 인명 안전도에 관한 관심이 증대됨에 따라 정량적 평가를 위한 다양한 소프트웨어들이 개발·운영되고 있다[7]. 이들 소프트웨어들은 인명 안전도 평가를 위해 공통적으로 탈출환경(geometry), 탈출주체분포(population), 탈출주체 행동(behaviour) 등의 요소로 구분하여 모델링하도록 구성되어 있다. 이러한 구성요소들 중에서 탈출환경과 탈출주체행동의 상호작용에 대한 모델링방법에 따라 소프트웨어의 특성이 크게 차이가 날 수 있다. 미시적(microscopic) 관점에서의 모델링방법은 보다 현실성 있는 결과 도출이 가능하지만, 복잡한 알고리즘 적용으로 계산시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 반면 거시적(macroscopic) 관점에서의 모델링방법은 단순한 알고리즘 적용으로 계산시간 측면에서는 유리하지만, 현실성 있는 결과 도출에는 한계가 있다. 최근 들어 미시적 관점과 거시적 관점에서의 모델링 방법을 혼합한 중간적(mesososcopic) 모델링 방법이 조선공학분야에서 제안되었으며, 선박손상 및 화재 발생 시 인명탈출 분석 도구로 활용되고 있다[8,9]. 이러한 모델링방법을 통해 보다 빠르고 현실성 있는 인명 안전도 평가가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 사회복지시설의 화재와 같은 비상 상황 하에서의 인명안전도에 대한 정량적 평가방법과 주요 인자에 관한 탐색적 연구를 수행한다. 특히 비상상황 시 당직자 수와 적절한 역할 수행에 따른 변수를 관찰한다. 이를 위해 선박의 침몰, 화재 등과 같은 비상상황 하에서의 승객 탈출지수 평가에 주로 적용되고 있는 최신의 탈출 시뮬레이션 기법을 소개하고 한 미혼모 시설에 대한 탈출 시뮬레이션을 통해 사회복지시설의 인명 안전도 평가로의 적용가능성과 인명탈출 평가 시 고려해야 할 주요

인자들에 대해 고찰한다.

## 2. 인명탈출 시뮬레이션

### 2.1 탈출가능지수

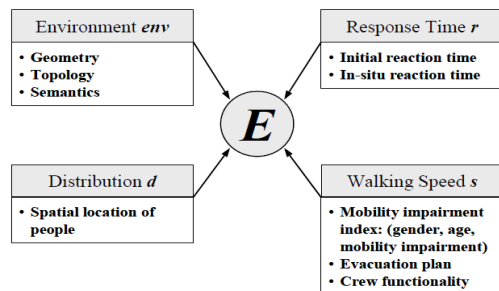
인명탈출 시뮬레이션을 이용한 인명 안전도는 탈출가능지수(evacuability)로 평가한다. 탈출가능지수  $E$ 는 식 (1)에 보인 바와 같이 시간  $t$  에 대한 초기조건에 해당하는 환경(environment,  $env$ ), 분포(distribution,  $d$ ), 초기반응시간(response time,  $r(t)$ ),  $i$ -번째 탈출주체  $n_i$ 의 행동 특성(walking speed,  $s(n_i)$ ) 등의 함수로 정의할 수 있다 [8].

$$E = function\{env, d, r(t), s(n_i); t\} \quad (1)$$

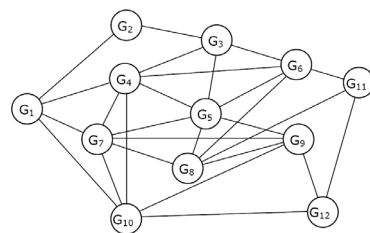
그림 1은 탈출가능지수 산정을 위한 개념을 각각의 인자별 고려요소들과 함께 나타낸 것이다.

### 2.2 그래픽 네트워크 기반의 탈출환경 모델링

탈출환경은 그림 2에 보인 바와 같이 문(gate,  $G_i$ )과 이들을 서로 선으로 연결하는 그래픽 네트워크로 모델링되며, 이는 탈출주체의 출발장소에서 탈출구까지의 최단 탈출경로를 산정하는 효과적인 도구로 사용된다[10].



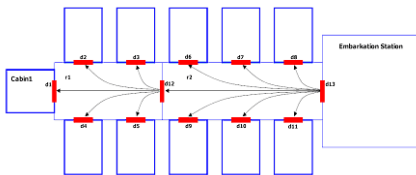
[그림 1] 탈출가능지수 산정 개념



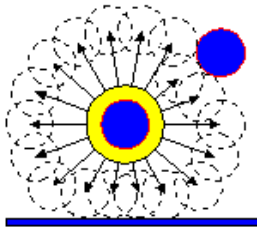
[그림 2] 탈출환경의 그래픽 네트워크

### 2.3 탈출주체의 행동특성

탈출주체의 행동특성은 지각-판단-실행의 3단계로 구분하고, 각각의 탈출주체간의 상호작용을 반영하기 위해 다중에이전트(multi-agent) 기술을 적용한다[11]. 각각의 탈출주체 행동특성은 그림 3과 그림 4에 각각 도시한 거시적 정보와 미시적 정보에 의해 설정되며 각 주체의 행동 요소는 나이, 성별, 장애 유무 등 다양한 인자의 조합으로 결정된다. 여기서, 거시적 정보란 탈출주체가 그림 2에 나타낸 그래픽 네트워크를 통해 계획된 경로를 의미하며, 미시적 정보란 계획된 경로를 따라 이동 중 만나는 다른 탈출주체 또는 환경과의 상호작용 정보를 의미한다.



[그림 3] 거시적 행동특성 모델링



[그림 4] 미시적 행동특성 모델링

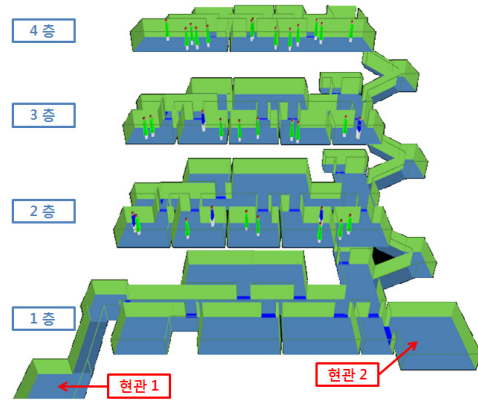
### 2.4 Monte Carlo 시뮬레이션

매 순간 변화하는 탈출주체의 행동특성과 그들 간의 상호작용을 탈출 시뮬레이션에 적절히 반영하기 위해 통계적 접근방식 중 하나인 Monte Carlo 시뮬레이션 기법 [12]을 적용한다. 이는 동일한 탈출주체라 하더라도 주어진 상황에 따라 다른 행동특성을 보이게 되므로 수학적 모델에 적용한 보행속도나 반응시간 등의 각 변수들을 고정된 값이 아닌 특정 평균값과 편차를 갖는 확률적 값으로 정의하는 것이 보다 현실성 있는 방법이기 때문이다.

## 3. 수치 시뮬레이션 사례

앞서 정리한 탈출 시뮬레이션 기법을 기반으로 조선공학 분야에서 개발·적용되고 있는 시뮬레이션 도구를 활용

해 임의의 사회복지시설에 대한 비상 시 인명 탈출 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 고찰한다.



[그림 5] “S” 미혼모 시설의 탈출 시뮬레이션 모델

### 3.1 시뮬레이션 모델

탈출 시뮬레이션은 “S” 미혼모시설을 대상으로 수행하였다. 본 시설은 10-30대 여성 10명, 0-3세 아동 10명, 10-30대 임신부 13명, 직원 7명 등을 수용할 수 있다. 건물은 총 4개 층으로 구성되어 있으며, 거주자의 출입은 1층에 있는 2개의 현관을 이용하도록 되어 있다. 그림 5는 대상시설을 모델링한 결과이다.

### 3.2 탈출주체 행동특성 정의

탈출분석에 있어서 탈출주체의 보행능력, 초기 반응시간 등의 탈출주체 행동특성을 정확히 모델링하는 것은 신뢰성 있는 평가를 위해 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 대상시설에 대한 탈출주체 행동특성을 정의하는 것은 관련 자료 부족으로 상당히 어려운 일임에 틀림없다. 따라서 본 연구에서는 선박에 대한 IMO에서 규정하는 자료를 바탕으로 탈출주체 행동특성을 가정하여 시뮬레이션에 적용하였다.

탈출 주체의 보행능력이 그 대상이 유아 동반 여성과 임신부임을 감안하여 IMO 규정[13]에 제시된 ‘평균 60세 여성’의 보행능력과 동일한 것으로 가정하였다(표 1).

[표 1] IMO 규정에 따른 60세 여성의 보행능력

Passage Type	Flat	Stair-up	Stair-down	Standard Div.
Speed [m/s]	0.75	0.49	0.6	0.25

한편, IMO 규정에서는 초기반응시간을 평균 600초와 표준편차 120초의 균등분포로 명시하고 있다. 그러나 대상 시설이 선박에 비해 규모가 매우 작음을 감안할 때 IMO 규정을 그대로 적용하는 것은 무리가 있을 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서 적용한 초기반응시간은 IMO 규정의 1/2에 해당하는 평균 300초와 표준편차 60초의 균등분포로 가정하였다.

### 3.3 탈출 시나리오

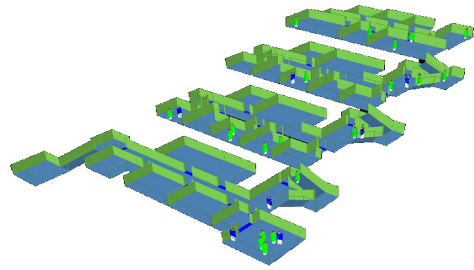
탈출 시뮬레이션에서 시나리오 작성은 그 결과의 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 본 시뮬레이션에서는 화재 등 비상상황이 발생하여 2개의 현관들 중 1개의 현관이 폐쇄되는 것으로 가정하고 시나리오를 구성하였다(현관 1이 폐쇄된 경우: CASE 1, 현관 2가 폐쇄된 경우: CASE 2). 이 때, 대상 시설이 입산부나 아이를 동반한 미혼모들의 종일 생활공간이고 평가항목이 인명에 관련된 사항임을 감안해 화재 발생 시점은 가장 극한의 상황으로 발전할 것으로 예상되는 야간 시간대로 가정하였으며, 그 시점에서의 건물 내 거주 분포는 그림 4에 표시한 바와 같이 2-3층 각 방에 2명씩(엄마+아이)이, 4층의 세 방에 13명의 입산부가 나뉘어 취침 중인 것으로 가정하였다.

또한, 비상상황 발생 시 근무 중인 당직자 수에 따른 탈출시간 변화를 관찰하기 위해 현관 1 옆에 위치한 당직실에 각각 1명, 2명, 3명의 당직자가 근무 중인 경우에 대한 시나리오를 추가로 구성하였다(CASE 3-1 staff, 2 staffs, 3 staffs). 이때 당직자의 역할은 각 방을 돌아다니며 대피를 독려하는 일이며 탈출주체들은 당직자가 도착할 때 까지 탈출을 시도하지 않는 것으로 가정하였다. 당직자가 1명일 경우 당직자가 1-3층 전체를 담당하며, 2명의 경우는 1명은 1층과 3층의 계단에서 가까운 두 방을, 다른 한명은 2층과 3층의 나머지 방을, 3명의 경우는 각자 한 개의 층을 담당하는 것으로 가정하였다.

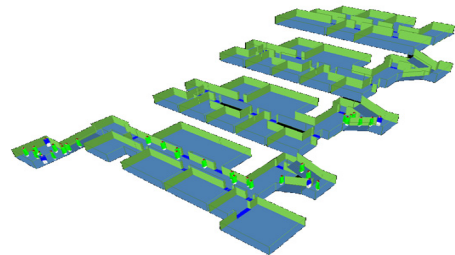
### 3.4 탈출 시뮬레이션

Monte-Carlo 기반의 통계해석을 위해 각각의 시나리오에 대한 탈출 시뮬레이션을 100회씩 수행하고 그 결과를 바탕으로 95 백분위수(95 percentile)로 평가하였다. 참고로, IMO 규정에서는 최소 50회의 실행을 거쳐 95 백분위수를 구할 것을 명시하고 있다.

그림 6과 그림 7은 CASE 1과 CASE 2의 탈출시뮬레이션 광경을 나타낸 것으로 탈출주체들이 각각의 시나리오에서 정의한 탈출 장소로 이동하고 있는 광경을 도시한 것이다.

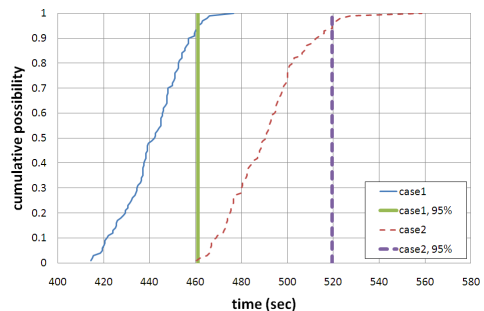


[그림 6] CASE 1 탈출 시뮬레이션 광경



[그림 7] CASE 2 탈출 시뮬레이션 광경

그림 8은 CASE 1과 CASE 2에 대한 탈출 시뮬레이션 결과를 시간에 따른 탈출가능지수로 나타낸 것이며, 표 2는 그 결과를 95 백분위수와 평균값으로 정리한 것이다.



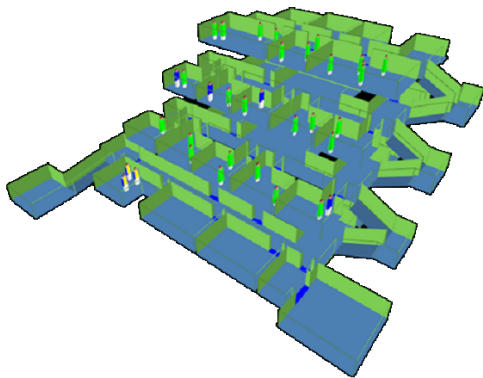
[그림 8] CASE 1과 CASE 2에 대한 탈출 시뮬레이션 결과

[표 2] CASE 별 탈출 소요시간 분석결과

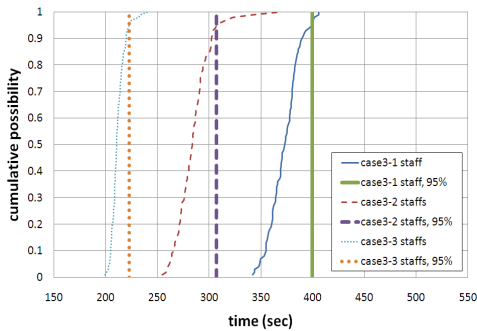
CASE	95 percentile (sec)	Average (sec)
1	461	441
2	520	491

CASE 1의 경우 평균값으로 441초, 95 백분위수로 461초의 탈출 시간을 보인 반면, CASE 2의 경우 평균값으로 520초, 95 백분위수로 491초의 탈출 시간을 보였다. 이는

95 백분위수로 볼 때 CASE 2의 경우가 CASE 1에 비하여 탈출시간이 59초 더 소요된 것이며, 기하학적인 탈출 거리 차이(약 15m)에 의한 시간 증가(0.75 m/s 으로 계산할 경우 약 20초)를 감안하더라도 CASE 2의 탈출 경로 상에서 발생하는 탈출 방해요소(현관으로 이어지는 문의 폭으로 관찰됨)에 의해 약 30초 정도가 더 소요된 것이다. 이는 CASE 1이 CASE 2에 비해 탈출 시간 측면에서 유리하지만 현관 2가 화재 등으로 폐쇄되어 현관 1을 탈출구로 이용해야 하는 경우 경로 상의 탈출 방해요소를 제거할 수 있는 구조변경을 통해 탈출 시간을 줄일 수 있음을 의미한다.



[그림 9] CASE 3-당직자 3인 배치 시 탈출 시뮬레이션 모델



[그림 10] CASE 3에 대한 탈출 시뮬레이션 결과

[표 3] 당직자 수에 따른 탈출 소요시간 분석

No. of Staff	1	2	3
95% (sec)	400	307	223
Average (sec)	373	285	212

한편, 그림 9는 CASE 3에 대해 3명의 당직자가 현관 1 옆에 위치한 당직실에 배치되어 있는 광경을 보인 것이다. 그림 10은 당직자 수에 따른 탈출 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이며, 표 3은 각각의 결과를 95 백분위수와 평균값으로 정리한 것이다.

당직자를 배치할 경우 CASE 1, CASE 2와 같이 당직자를 배치하지 않을 경우보다 탈출 소요시간이 줄어들며 당직자의 수가 증가할수록 그 효과는 점차 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 당직자의 수를 1명에서 2명으로 증원한 경우와 2명에서 3명으로 증원한 경우에 대한 95 백분위수와 평균값을 비교할 때 전자가 후자에 비해 각각 9%와 20% 크게 나타나고 있다. 따라서 당직자를 1명에서 2명으로 증원하는 것이 2명에서 3명으로 증원하는 것보다 탈출시간 감소효율 측면에서 보다 유리하다는 결론을 얻을 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 사회복지시설의 비상 시 인명 안전도를 탈출시간 측면에서 평가할 수 있는 절차와 방법에 대한 탐색적 연구를 수행하였다. 이를 위해 조선공학 분야에서 도구로 적용되고 있는 보행자 모델 기반의 탈출 시뮬레이션 기법을 ‘S’ 미혼모 시설에 적용하였다. 비상상황을 구현할 수 있는 다양한 시나리오를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 탈출 시나리오에 따른 탈출 소요시간 차이를 탈출 시뮬레이션을 통해 사회복지시설의 인명 안전도에 대한 정량적인 평가가 가능하다.

둘째, 다양한 시나리오 개발과 시뮬레이션을 통해 사회복지시설의 비상상황 하에서의 입소자 안전문제를 보다 체계적이고 평가할 수 있다.

셋째, 탈출경로 상의 방해요소에 의해 탈출 시간이 증가될 수 있으며, 당직자의 수와 역할이 탈출 시간에 큰 영향을 미친다. 따라서 탈출 시뮬레이션을 통해 건물의 구조변경이나 당직자 배치 및 비상시 행동요령을 작성이 가능하다.

넷째, 탈출시뮬레이션의 정확도 향상을 위해서는 사회복지시설 입소자와 당직자에 관한 초기반응시간, 보행속도 등의 탈출주체 행동특성 개발을 위한 체계적인 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 대상을 미혼모생활시설에 국한하였으나 향후 그 적용 범위를 확대하여 아동, 노인, 장애인, 노숙자 등의 생활시설에 적용 가능할 것으로 사료되며, 이를 위해 각각의 대상시설에 대한 탈출 시뮬레이션 인자



들에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한, 이러한 탐색적 연구를 통해 사회복지생활시설의 인명 안전도에 대한 정성적 평가가 보편화 될 것으로 기대한다.

### 참고문헌

- [1] 이민아, “노인요양시설 거주노인의 활동공간 이용행동 및 점유형태”, 한국가정관리학회지, 제27권 5호, pp. 77-90, 2009.
- [2] 김정미·조주영·이효원, “전라남도·광주광역시 소규모요양시설의 동선분석연구:공간깊이와 가시영역분석을 중심으로”, 한국의료복지시설학회지, 15권 1호, pp. 23-32, 2009.
- [3] 이민아, “노인요양시설 활동공간 이용의 활성화를 위한 요소분석”, 한국생활과학회지, 제18권 4호, pp. 971-984, 2009.
- [4] 김윤정, 김석준, 윤명오, “노인요양시설의 피난계획에 관한 제도 개선방안 연구”, 한국의료복지시설학회지, 제15권 1호, pp. 13-22, 2009.
- [5] 김진완, “재가노인복지시설 이용자의 위험관리 실태에 관한 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문, 2009
- [6] 조기원, “사회복지시설 안전관리 개선에 관한 연구”, 인제대학교 석사학위논문, 2007.
- [7] G. Sharp, S. Gwynne, and E. Galea, “The Effects of Ship Motion on the Evacuation Process: Critical Review on Model of Evacuation Analysis”, FSEG, University of Greenwich, 2003.
- [8] H. Kim, “Advanced Passenger Evacuation Simulation in a Virtual Ship-Sea Environment”, Universities of Glasgow and Strathclyde, Ph.D. Thesis, 2005.
- [9] D. Vassalos, H. Kim, G. Christiansen, J. Majumder, “A Mesoscopic Model for Passenger Evacuation in a Virtual Ship-Sea Environment and Performance-Based Evaluation”, PED 2001 Conference, Duisburg, Germany, 2001.
- [10] J. Majumder, “Behavioural Modelling of Emergency Evacuation from Ro-Ro Passenger/ Cruise Ships”, SSRC-05-00-JM-01-ER, Ship Stability Research Centre, University of Strathclyde, 2000.
- [11] H. Van Dyke Parunak, “Practical and Industrial Applications of Agent-based Systems”, Industrial Technology Institute, Michigan, 1998.
- [12] T. Huber, “Introduction to Monte Carlo Simulation”, Physics Department, Gustavus Adolphus College, 1997.
- [13] IMO, “Guidelines for Evacuation Analysis for New

and Existing Passenger Ships”, MSC/Circ. 1238, 2007.

### 김 현 석(Hyunseok Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 인하대학교 선박해양공학과 (공학학사)
- 2005년 6월 : 영국 스트라스클라이드대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2006년 8월 : 영국 스트라스클라이드 대학교, 선박안전연구소, 책임연구원
- 2006년 11월 ~ 현재 : 스웨덴 Virtual Systems Scandinavia AB, 대표

<관심분야>

컴퓨터 시뮬레이션 및 가시화, 안전기반 설계, 인간-컴퓨터 상호작용

### 김 국 현(Kookhyun Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대학교 일반대학원 선박공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 부산대학교 일반대학원 조선해양공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2009년 8월 : (주)한진중공업 책임설계원
- 2009년 9월 ~ 현재 : 동명대학교 조선공학과 전임강사

<관심분야>

조선 및 해양공학

### 김 남 숙(Nam-sook Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 부산대학교 일반대학원 사회복지학과(행정학석사)
- 2007년 8월 : 부산대학교 일반대학원 사회복지학과(사회복지학박사)
- 2006년 3월 ~ 2009년 8월 : 창신대학 사회복지학과 조교수
- 2009년 9월 ~ 현재 : 동명대학교 사회복지학과 전임강사

<관심분야>

장애인복지 및 지역사회복지