

# 대피장애 행동특성을 반영한 비상사태 피난 시뮬레이터 개발 연구

리송준<sup>1\*</sup>, 이상현<sup>2</sup>

## A Study on the Development of Emergency Evacuation Simulator Considering the Characteristic of the Behavior Pattern in Crowding

Song-Jun Li<sup>1\*</sup> and Sang-Hyun Lee<sup>2</sup>

**요약** 비상사태 대피 상황을 분석하기 위한 다양한 종류의 시뮬레이터 개발 관련 연구가 있어왔다. 하지만 주목할 만한 것은 비상사태에서 과밀로 인한 대피장애 행동특성을 고려한 연구는 아주 미미하다는 점이다. 본 연구는 화재와 같은 비상사태 시 과밀공간에서 생기는 재실자간의 충돌, 짓밟음 등과 같은 대피장애 행동특성을 반영하는 비상사태 피난 시뮬레이터(EAS: Evacuation Agent Simulator)를 개발하여 건조물 내에서 과밀로 인한 대피장애를 예측함으로써 피난계획 수립에 필요한 정보를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

**Abstract** There has been a lot of research on the creation of emergency evacuation simulators for analyzing the evacuation behaviors. However, it is remarkable that there are very few research on the characteristic of the behavior pattern in crowding, especially the evacuation time delay caused by the collisions and falling-downs, etc. In addition, it is necessary to point out the lack of the research on specifying the location where the collisions and the falling-downs take places. This research aims at creating an emergency evacuation simulator which takes the characteristic of the behavior pattern in crowding - collisions, falling downs, etc - into account. We are also hoping that it will be possible to provide more accurate and useful data for emergency evacuation system design through using this simulator.

**Key Words** : Evacuation, human behavior, crowding

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 목적

기술수준이 발전하고 자원의 효율적 이용의 필요성이 커지면서 대규모 다중 이용 시설, 초고층 이용 시설이 등장하고 있다. 이러한 경향으로 한 건조물 내에 머무르는 이용자수는 급격히 늘어난다. 따라서 건축공간에서 비상사태 시 인명안전대책은 점점 더 복잡한 상황에 직면하고, 화재 등 비상사태로 인한 인명피해는 지속적으로 발생하고 있다.

이러한 문제에 대처하여 인명의 안전을 확보하기 위해서는 긴급 피난에 적합한 공간 구성 및 동선 체계 디자인이 필수적이다. 피난은 위험을 인지하게 된 재실자가 출구, 통로, 계단 등을 통하여 자력으로 이동하는 프로세스에 의해 달성된다. 따라서 비상사태 시 피난안전성에 큰 영향을 미치는 피난행동특성을 정확히 파악하는 것은 건축계획상 대단히 중요한 것이다. 하지만 실제로 직접 실험이 불가능하기에 인간 행태를 예측하는 시뮬레이터를 사용하여 피난행동특성을 파악하고 계획에 반영하고 있다.

이 연구는 한국건설교통기술평가원 지역기술혁신사업 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.  
(과제번호: R&D/05 지역특성 B01-01)

<sup>1</sup>명지대학교 건축대학 건축학과(석사과정)

<sup>2</sup>명지대학교 건축대학 건축학과(부교수), Doctor of Design

\*교신저자: 리송준(612003@naver.com)

접수일 08년 07월 25일

수정일 08년 09월 10일

게재확정일 08년 10월 16일

지금까지 다양한 종류의 시뮬레이터가 사용되고 있고, 그것들은 분석 기준과 방법에 있어서 뚜렷한 특징점을 가지고 있다. 하지만 주목할 만한 것은 비상사태에서 과밀로 인한 대피장애- 충돌, 우회, 정지 등- 에 대한 연구가 아주 미흡하다는 점이다. 화재와 같은 비상사태 시 과밀공간에서 생기는 재실자간의 충돌 및 그로 인한 짓밟음, 정지, 우회 등의 행동특성은 효과적인 대피에 영향을 주는 주요한 요인으로 작용하기 때문이다[1].

본 연구는 과밀로 인해 평상시와는 다르게 발현되는 재실자의 대피행태를 반영하는 대피 시뮬레이터(EAS)를 개발하여 건조물 내에서 대피 시 발생하는 대피장애, 특히 과밀로 인해 생기는 대피장애를 예측함으로써 피난계획의 수립에 유용한 정보를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 크게 두 가지 과제로 구성된다. 그 하나는 기존 피난 시뮬레이터들을 조사, 비교 하는 것이며, 두 번째는 기존 연구의 문제점을 분석하여 대피과정 시 과밀로 발생하는 대피장애- 충돌 및 그로 인해 발생하는 정지, 우회, 엮여짐 등- 로 초래되는 시간지체를 고려한 대피 시뮬레이터를 개발하는 것이다.

첫 번째 목표 달성을 위해서 기존의 피난 시뮬레이터 16가지를 선정하여 분석한다. 이 16가지 시뮬레이터의 선정은 S.Gwynne[2]의 연구를 이용하였다. 그는 크게 활용 목적, 공간을 표현하는 방법, 모델 적용 대상, 행태 예측 방법을 기준으로 기존 16개 시뮬레이터에 대한 비교, 분석을 실시하였다.

하지만 본 연구는 경보, 스프링클러, 배연시설 등의 설비적 효과와 열 및 연기 등의 효과를 배제하고 기존 시뮬레이터들이 과밀공간에서 표현하는 대피행태를 중심으로 비교, 분석한다.

두 번째 목표의 실현은 빌딩데이터모델, 휴먼데이터모델과 대피행태예측엔진 개발이라는 세 가지 세부과제로 구성된다.

빌딩데이터모델은 건조물을 어떻게 표현할 것인가에 관련된 문제이다. 기존 피난 시뮬레이션에서는 다양하고도 많은 수의 빌딩데이터 모델들이 제시되었다. 하지만 그것들 모두 각기 고유한 특정한 목적을 수행하도록 개발된 것이기 때문에, 본 연구에서는 기존의 빌딩데이터모델들을 조사, 평가하여 가장 최적의 빌딩데이터 모델을 선정하고, 그것을 본 연구의 고유한 기본 목표에 맞추도록 수정하는 방식을 택한다.

휴먼데이터모델은 재실자를 어떻게 표현할 것인가에 관련된 문제이다. 현재까지 일반상황과 긴급 상황을 구분

하여 다양한 종류의 휴먼데이터모델이 제안되고 있다. 하지만 본 연구에서는 대피장애로 인한 재실자의 대피행태 변화에 초점을 두고 있으므로 재실자의 속성과 기능은 이에 맞추어 디자인 한다.

대피행태예측엔진이란 주어진 빌딩데이터모델과 휴먼데이터모델을 기반으로 비상사태 시 시뮬레이션을 진행하여 건물피난성능을 평가하는 프로그램이다. 재실자가 건조물 내에서 이동하기위해 수행하는 판단 및 행태를 분석한 후 그에 상응하는 소프트웨어 프로그램을 작성하는 방식으로 이루어진다.

## 2. 문제들의 설정

### 2.1 기존 연구의 한계

시뮬레이터의 구성은 크게 건조물을 재현하는 빌딩데이터모델과 재실자를 재현하는 휴먼데이터모델로 나누어진다.

S.Gwynne[2]의 연구에 따르면 빌딩데이터모델은 아주 잘게 분절된 단위공간의 연결로 표현된 Fine Network와 물리적 크기와 상관없이 하나의 공간을 실단위로 분석하는 Coarse Network로 분류된다. 또한 휴먼데이터모델은 활용목적에 따라서는 최적화모델(Optimization), 시뮬레이션모델(Simulation Model)과 위험평가모델(Risk Assessment)로 분류된다.

대피장애로 인해 발생하는 대피행태 변화를 예측하는 것이 본 연구의 주요 목적이므로 휴먼데이터모델을 중심으로 비교, 연구를 진행하였다. 특히 휴먼데이터모델 중에서도 시뮬레이션모델을 중심으로 분석을 실시하였다. 기존 시뮬레이터 중 시뮬레이션모델에 속하는 것은 BGRAF, DONEGAN'S, ENTROPY MODEL, EXITT, EGRESS, buildingEXODUS, E-SCAPE, EVACSIM, EXIT89, MAGNET MODEL, PAXPORT, SIMULEX, VEGAS 등 13가지가 있다[2].

상기 시뮬레이터들 중에서 buildingEXODUS와 SIMULEX는 활용도가 가장 높은 시뮬레이터로서 재실자들의 피난행태를 시각적(GUI환경)으로 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 재실자들의 탈출시간, 탈출구 등 데이터들을 얻을 수 있다. 본 연구는 과밀공간에서의 재실자간 충돌로 인해 변화되는 대피행태를 연구하기에 실시간으로 재실자들의 상태를 파악하여야 한다. 이러한 이유로 buildingEXODUS와 SIMULEX가 비교대상으로 선정하였다.

Mintz[3]의 과밀공간에서 인간 행태특성에 대한 연구

를 정리하면 표 1과 같은 행동 패턴(behavior pattern)으로 얻을 수가 있었다.

**[표 1]** 과밀공간에서의 재실자 행동 패턴

행동 패턴	구 분	비 고
직진	빠르게	장애물이 없을 때
	일반	
	느리게	
우회	좌측	장애물을 피하여 이동할 때
	우측	
정지		대기할 때
뛰어넘기		장애물을 피하여 이동할 때
몸돌림	순시침	탈출방향을 선택할 때
	역시침	
가속, 감속		충돌을 피하려 하거나 충돌 후
엎어짐		충돌 후 제한된 가속도를 초과할 때

표 1에서 정의한 행동 패턴으로 위에서 선정한 기준 시뮬레이터를 비교, 분석하면 표 2과 같다.

**[표 2]** 휴먼데이터모델을 중심으로 비교한 기존 시뮬레이션

행동 패턴 시뮬레이터	직진	우회	멈춤	뛰어넘기	몸돌림	가속/감속	엎어짐
buildingEXODUS	O	O	O	O	O	X	X
SIMULEX	O	O	O	X	O	X	X

분석결과에서 알 수 있듯이 과밀상태에서 충돌에 의한 엎어짐(injured agent)과 가속, 감속 행태는 기존 시뮬레이션에서 나타나지 않았다.

Keating, J. P.[1]과 Elliott, D. & Smith, D.[4]의 연구에 의하면 비상사태 시 재실자들의 가장 선명한 특징의 하나가 과밀공간을 조성하는 것이라고 지적하였다. 또한 이로 인하여 화재 시와 같은 긴급 사태에서 대피자간의 짓밟힘으로 인한 탈출시간 지체와 인명피해가 발생한다고 하였다.

그러므로 비상사태 대피 시뮬레이션을 연구함에 있어서 과밀공간에서의 가속, 감속행태와 적절한 가속 및 감속 실패로 발생하는 충돌 및 엎어짐(injured agent)요소를 고려하여야만 실제 상황을 적절하게 반영할 수 있을 것이다.

## 2.2 문제들의 설정

긴급 상황에서의 인간 행태에측은 본 연구에서 다루는 과제로서 기존에 많은 연구들이 진행되어 왔고 또한 그 재현방식이 다양하였다. 하지만 주목할 만한 것은 위에서

논의한 바와 같이 과밀로 유발되는 대피성능 변화에 대한 고려가 미흡하였다는 점이다. 많은 연구와 사례들이 실증하다시피 과밀공간에서 피해자들이 부상하거나 사망하는 것은 인파속 무질서한 행동(Nonadaptive crowd behavior)에 의하여 야기된 것이지 화재나 유독가스로 인한 것들이 아니었다. 예를 들면 Iroquois Theatre화재(1903)는 초기 화재 진압이 아주 신속하였음에도 불구하고 602명이 짓밟혀 사망하였으며 Hillsborough English FA Cup Stampede(1981)사건에서는 비상사태가 아님에도 불구하고 과밀로 인한 충돌로 95명이 사망되고 400명이 부상하였다.

인파속 무질서한 행동(Nonadaptive crowd behavior)은 비상사태 시 과밀공간에서 나타나는 현상으로서 재실자간의 충돌로 재현되며 결과적으로 엎어짐(injured agent)을 유발한다. 본 연구는 기존 시뮬레이션에서 반영되지 않은 재실자간의 충돌로 발현되는 대피행태 변화에 초점을 두어 피난 시뮬레이터를 개발하여 과밀공간에서 나타나는 시간지체와 피난행태특징을 적절하게 예측하는 것을 주요목표로 한다.

## 3. 피난 시뮬레이터(EAS)의 구성

### 3.1 빌딩데이터모델

빌딩데이터모델은 건조물 환경을 표현하는 것으로서 벽체(Wall), 출구(Exit), 시설물(Fixed Obstacle)로 구성된다.

#### 3.1.1 벽체(Wall)

벽체는 건조물의 영역을 재현하는 요소이다. Fine Network으로 재현한 Geometry는 오차가 있는 점을 감안하여 본 연구에서는 Coarse Network 방식으로 Geometry를 재현하였다. EAS 시뮬레이터는 AutoCAD 도면을 직접 불러들이는 방식을 택하고 있다. 실제 도면을 분석한 결과 모든 벽체는 Line 형태로 전환이 가능하였으며 EAS 시뮬레이터가 쉽게 인식 가능하였다.

#### 3.1.2 출구(Exit)

출구는 재실자(agent)들이 향하는 목적지이다. 또한 출구는 최종출구와 일반출구로 구별하여야 한다. 여기서 최종출구는 탈출완료 때의 출구를 말하며 일반출구는 그 과정 중에 거쳐야 할 출구를 말한다. 출구를 선택함에 있어서 건물에 대한 친숙도가 높으면 최근 탈출구를 시도하게 하였고 그것이 아니면 근사치 범위 내에서 랜덤으로 출구를 선택하는 것으로 규정하였다.

### 3.1.3 시설물(Fixed Obstacle)

건조물 내의 시설물은 시뮬레이션에서 고정 장애물로 간주한다. 여기서 고정 장애물이라 함은 재실자(agent)들의 행동에 영향을 미치는 요인이 된다. 고정 장애물을 인식한 재실자는 능력에 따라 뛰어넘거나 우회하게 된다.

### 3.2 휴먼데이터모델

휴먼데이터모델은 건조물 내의 재실자를 재현하기 위한 것이다. 재실자는 자체 고유의 속성, 예를 들면 몸무게, 보행속도, 반응시간 등을 가지고 있을 뿐만 아니라 표 1에서 언급한 행동 패턴을 가지고 있다. 재실자는 주위환경 변화에 반응하여 고유속성을 기본으로 행동을 취하게 된다.

휴먼데이터모델은 Agent-based Model로서 객체지향(Object-Oriented Program)방식으로 구현하였다. 즉 agent에 고유속성과 행동능력을 부여함으로써 재실자를 가장 유사하게 재현하고자 하였다.

#### (1) 재실자의 고유속성

재실자는 아래와 같은 고유속성을 갖는 것으로 구현하였다.

[표 3] 재실자 속성(Attributes)

분류	속성	구분	적용범위		
물리적 속성(Physical Attributes)	Gender	성별	Male(남) Female(녀)		
		Age	연령	1-100 years	
	Shoulder_Width	어깨 너비	30-50 cm		
	Torso_Thickness	몸통 두께	20-30 cm		
	Weight	몸 무게	20-100 kg		
	Status	친숙도	Resident(거주자) Visitor(방문자)		
인식속성(Cognitive Attributes)	Exit	출구	V(수직방향) H(수평방향) Other(기타)		
			Obstacle	장애물	Fixed(고정 장애물) Non_Fixed(이동 장애물)
					Region

판단속성(Decision Attributes)	Decision_Accuracy	판단오차	0.1-1 s					
	Tendency	운동경향 판단	Direct(직진) Around(우회) Stop(정지) Leap(뛰어넘기) Accelerate(가속) Decelerate(감속)					
			Collision_Status	충돌결과 판단	None(충돌 없음) Death(사망) Injured(엎어짐) Accelerate(가속) Decelerate(감속)			
					운동속성(Movement Attributes)	Current_Speed	현재 속도	속도함수에 의해 결정
						Initial_Speed	단위공간 평균속도	0-10 m/s
						Collisoned_Speed	충돌 후 속도	충돌함수에 의해 결정
	Tendency_Time	운동경향 유지시간	0.5-2 s					
	Recover_Time	충돌 후 회복시간	0.5-4 s					

#### (2) 재실자의 행동능력

재실자는 아래와 같은 능력-객체능력, 인식능력, 판단능력, 운동능력-을 갖는 것으로 구현하였다.

[표 4] 재실자 행태(Function)

분류	함수	구분	Input	Output/Set
객체능력(Physical Ability)	Initialize_Human()	재실자 초기화	Gender, Age	Shoulder_Width, Torso_Thickness, Weight, Initial_Speed
인식능력(cognition)	Find_Exit()	출구찾기	Exits, Region, Status	Exit
	Find_Obstacle()	장애물 검색	Obstacles, Region	Obstacle
	Find_Region()	위치한 단위공간인식	Agent, Regions	Region
판단능력(Decision)	Find_Tendency()	운동경향판단	Exit, Obstacle, Decision_Accuracy	Direct Around Stop Leap Accelerate Decelerate

운동능력 (Movement)	Check_Collision()	충돌 상태 판단	Current_Speed, Weight	None Death Injured Accelerate Decelerate
	Direct()	직진	Tendency, Collision_Status	NextPosition
	Around()	우회	Tendency, Collision_Status	NextPosition
	Stop()	정지	Tendency, Collision_Status	NextPosition
	Leap()	뛰어넘기	Tendency, Collision_Status	NextPosition
	Accelerate()	가속	Tendency, Collision_Status	NextPosition
	Decelerate()	감속	Tendency, Collision_Status	NextPosition

재실자가 가지고 있는 능력은 그 속성에 따라 발휘하게 되고 또한 취하는 행동에 따라 자신의 속성이 변화되게 된다.

### 3.3 대피행태예측엔진

EAS 시뮬레이션은 Rule Based 방식으로 작동한다. 재실자(휴먼데이터모델)는 건조물(빌딩데이터모델)내에서

단위시간 간격으로 그림 1과 같이 대피행태예측엔진이 정해놓은 Rule Based Behavior에 따라 작동한다.

시뮬레이션은 출구선택으로부터 시작된다. 재실자의 건조물환경에 대한 친숙도에 의존하여 최근 출구 혹은 인근 출구가 선택되면 재실자는 해당건물의 최종 출구- 옥외 혹은 건물 내 대피 공간-에 도착할 때까지 이동하게 된다. 이 과정 중에 과밀로 인한 운동경향의 변화가 발생하는지 체크한다. 즉 과밀공간에서 충돌로 인한 대피행태 변화를 고려하기 위해 실시간으로 충돌체크를 진행한다. 충돌은 재실자가 사전에 결정한 운동경향으로 이동하는 과정 중 예상치 않았던- 적절한 가속/감속에 의한 우회 또는 정지가 불가능한 경우 장애물을 만났을 때 발생한다.

여기서 충돌은 재실자와 건조물 사이의 마찰력을 무시한 전제에서 진행된다. 운동량보존 법칙과 운동에너지보존 법칙을 적용하여 아래와 같은 계산식을 얻을 수 있다.

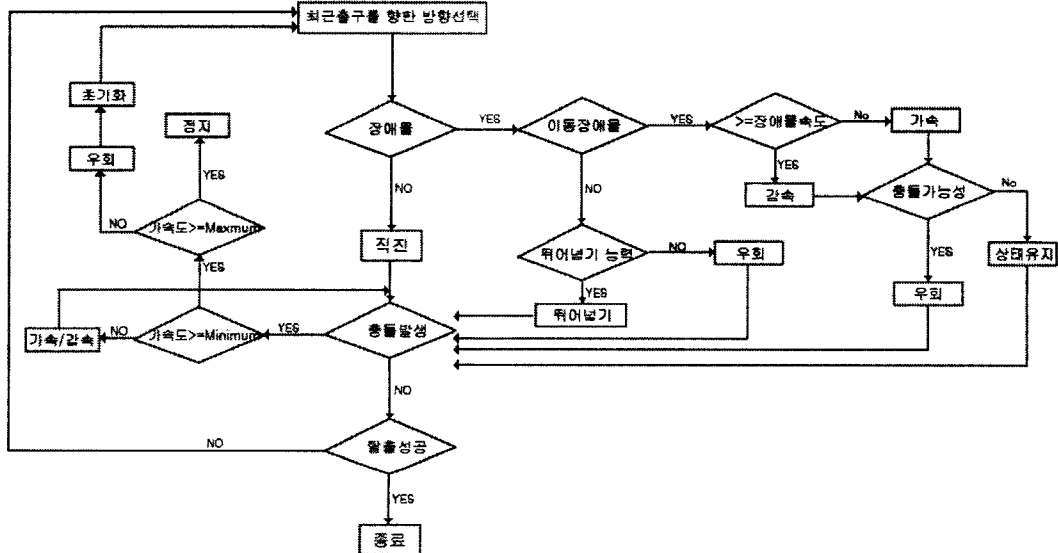
$$V1\_new = (m1-m2)V1 + 2 * m2*V2 / (m1 + m2) \quad (1)$$

$$V2\_new = (m2-m1)V2 + 2 * m1*V1 / (m1 + m2) \quad (2)$$

위의 식으로부터 충돌 후의 새로운 속도를 얻을 수 있다. 가속도 공식(3)에 의하면 충돌 후의 가속도를 얻을 수 있다.

$$a = V1\_new - V1 / time \quad (3)$$

Smith[5]의 인간이 과밀공간에서 받는 외력에 관한 연구에 의거하여, 본 연구에서는 충돌이 생긴 후 가속도가 (4450 N / M몸무게) 초과하였을 때 재실자는 사망하



[그림 1] Rule-based Behavior

게 되고 (2200 N / M몸무게) 초과하였을 때 엎어짐 (injured agent) 현상이 생기며 미만이면 가속 혹은 감속 운동을 하도록 하였다.

### 3.4 레코더

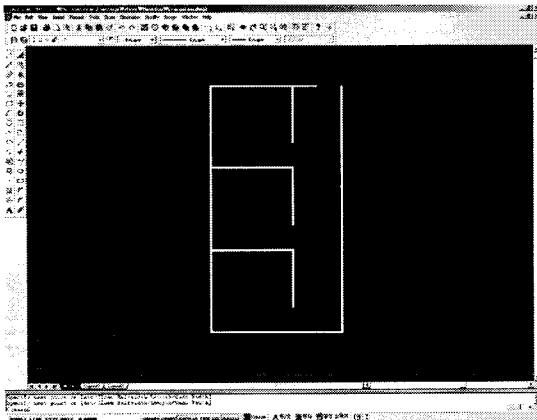
레코더는 시뮬레이션 과정에서 모든 데이터를 기록하는 역할을 한다. 탈출한 재실자 수, 총 대피시간, 평균 대피시간, 최소 대피시간, 최대 대피시간, 출구별 이용률, 엎어진 재실자(injured agent) 등을 기록하여 리포트를 생성한다.

## 4. 구현 및 검증

### 4.1 시뮬레이션 조건입력

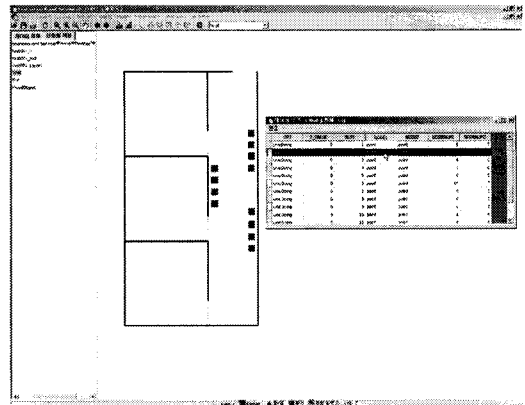
#### 4.1.1 건조물(Environment) 데이터 입력

EAS 시뮬레이터는 AutoCAD에서 작성된 도면을 그대로 활용한다. 다만 불러오기 전 도면중의 벽체와 출구(Exit)를 간단한 Line의 형태로 수정하면 된다. 불러들인 도면은 건조물을 재현하는 벽체, 출구, 시설물별로 별도의 레이어로 표현된다. 건조물 환경정보는 데이터베이스와 링크되어 테이블의 형식으로 표현되며 보기, 수정, 삭제가 가능하다.



[그림 2] AutoCAD도면으로 표현된 건조물

그림 2는 EAS 시뮬레이터에 불러오기 전 AutoCAD로 표현한 건조물이다.

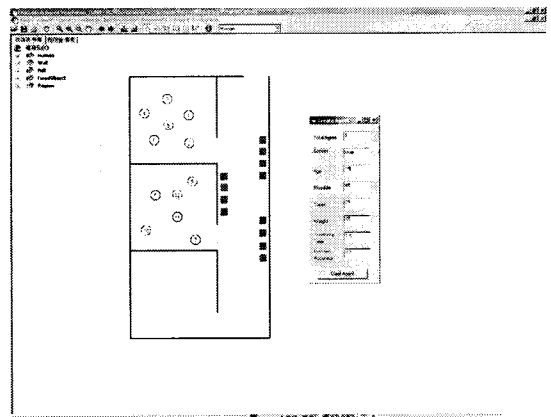


[그림 3] EAS 시뮬레이터가 불러들인 AutoCAD도면

그림 3은 EAS 시뮬레이터에 불러들인 도면이 레벨로 표현되어 데이터베이스와 연결된 상태를 보여준다.

#### 4.1.2 재실자(Agent) 데이터 입력

재실자(agent)는 지정 영역에 특정된 인원수만큼 생성된다. 이때 3.2에서 설명하였던 재실자 속성 값들을 필요한 조건으로 초기화 할 수 있다. 재실자의 모든 속성들은 데이터베이스와 링크되어 저장되며 테이블 형식으로 보기, 수정, 삭제가 가능하다.



[그림 4] 재실자 초기화 생성

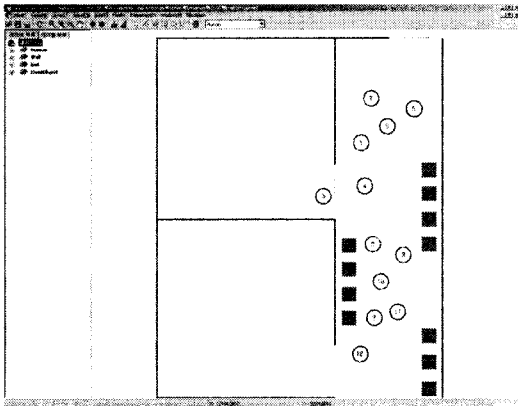
### 4.2 EAS 시뮬레이터의 작동

시뮬레이션이 시작되면 재실자는 객체의 속성 값에 따라 5가지 상태- 정상, 사망, 엎어짐, 가속, 감속 중 하나를 선택하게 된다. EAS 시뮬레이터에서는 위의 5가지 상태를 표 5과 같이 시각화(Visualization) 하였다.

[표 5] 시뮬레이션 과정에서 표현되는 재실자 상태

상태	충돌 여부	Symbol
정상(Normal)	N	⊙ N은 재실자 번호
사망(Death)	Y	●
엎어짐(Injured)	Y	⊗
가속(Accelerate)	Y	⊕
감속(Decelerate)	Y	⊖

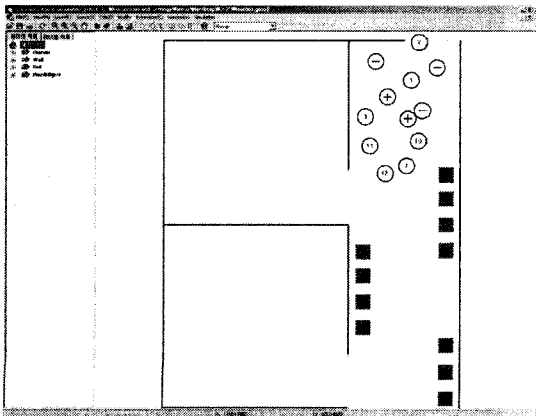
4.2.1 시뮬레이션 시작



[그림 5] 충돌하기 전의 재실자 상태

그림 5는 시뮬레이션이 금방 시작되어 재실자간의 충돌이 발생되지 않았을 때 상태를 보여준 것이다. 시뮬레이션이 시작되면 재실자들은 자신이 위치한 개별 실에서 탈출하여 최종출구로 향하게 된다.

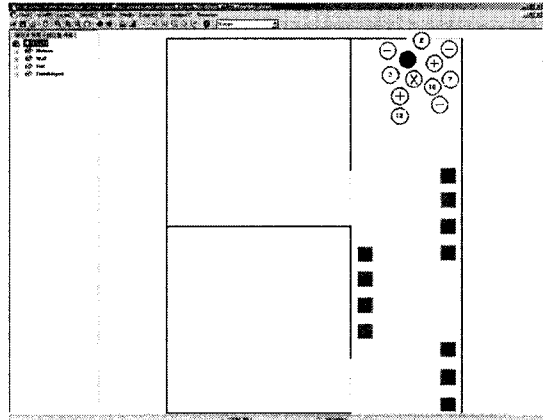
4.2.2 과밀공간에서 나타나는 충돌



[그림 6] 과밀공간에서의 재실자간 충돌

그림 6은 출구에서 과밀공간이 형성되면서 재실자간에 충돌이 일어나는 것을 보여주고 있다. 충돌된 재실자는 속도의 크기 뿐만 아니라 방향의 변화로 운동방향에 변화가 생긴다. 또한 가속도 변화량의 크기로 인해 다음 시각에 사망, 엎어짐, 가속 혹은 감속의 운동행태를 취하게 된다.

4.2.3 과밀공간에서 충돌로 인한 여러 가지 양상



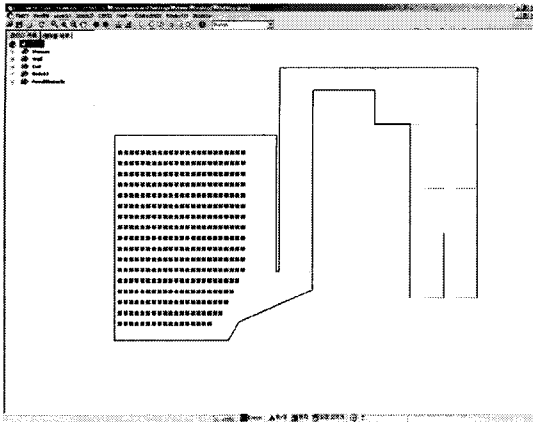
[그림 7] 과밀공간에서 충돌로 인한 여러 가지 양상

그림 7은 출구에서 재실자간 충돌이 일어나면서 대피행태에 여러 가지 변화를 주는 것을 반영하고 있다. agent(2), agent(3), agent(7), agent(10), agent(12)는 현 시각 정상 상태로 나타나고 있으며 “+” 로 표시된 agent는 가속, “-”로 표시된 agent는 감속을 하고 있다. “X”로 표시된 agent는 급격한 가속도 변화로 인해 엎어짐을 나타내고 있으며 검은색 원(●)으로 표시된 agent는 인간이 감당할 수 없는 충격을 받아 사망한 상태를 나타내고 있다.

4.3 EAS 시뮬레이터의 유효성 검증

개발한 시뮬레이터의 유효성을 검증하기 위하여 Hery Weckman[6]이 극장에서 화재 시 피난실험을 실시하여 얻은 결과를 이용하여 비교, 연구를 진행한다. 위의 연구는 750명의 관객을 수용할 수 있는 극장에 612명의 재실자를 배치하고 실제 피난 실험을 진행하였다. 본 연구에서 개발한 EAS를 이용하여 얻은 결과를 기존 연구 결과와 비교하였다. 비교에 사용되는 기존 컴퓨터 시뮬레이터는 2.1에서 기술하였던 buildingEXODUS와 SIMULEX이다.

Hery Weckman의 연구에 따라 피난실험을 하였던 극장을 EAS 시뮬레이터에서 재현 하면 그림8과 같다.



[그림 8] EAS 시뮬레이터에서의 극장 재현

시뮬레이션 검증을 진행하기 위한 속성 값 설정은 기존 실험에서 사용한 수치와 유사한 값을 이용하여 비교 평가를 진행하였다. 표 6은 기존 비교 연구에서 사용하였던 속성 값을 보여준다.

[표 6] 기존연구에서 사용한 속성 값

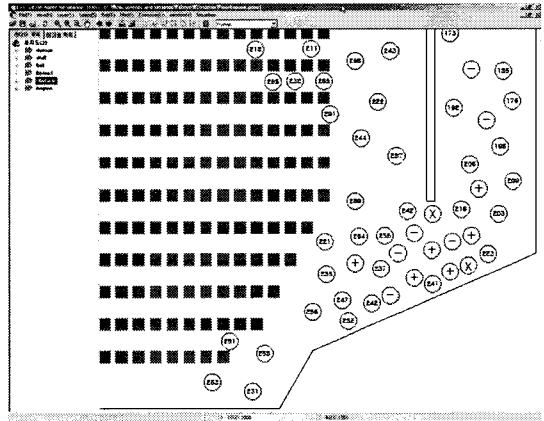
프로그램명	반응 시간(s)	보행속도(m/s)	계단하강 시 보행속도(m/s) 보행속도 x
buildingEXODUS	0 - 30	0.8 - 1.5	x 0.595 - 1.01
SIMULEX	0 - 30	0.8 - 1.7	x 0.5
EAS	0 - 30	0.8 - 1.6	x 0.71-0.88

EAS 피난 시뮬레이터로 612명과 750명의 재실자를 대상으로 대피실험을 하여 얻은 결과와 Hery Weckman 연구에서의 결과 비교는 표 7과 같다.

[표 7] 극장 피난 시뮬레이션 결과 비교

프로그램명	최초 탈출자 도착 시간 (s)	총 대피소요시간 (min:s)		단위시간·미터당 평균탈출인원 ((persons/s m))
		750 (인)	612 (인)	
buildingEXODUS	55	5:46	4:50	0.50
SIMULEX	50	5:40	4:56	0.52
EAS	59	6:46	6:04	0.44
Exercise	70	(6:14)	5:30	
Manual calculation		5:50	5:08	

여기서 실제실험(Exercise)에서의 750명의 대피시간은 수동계산(Manual calculation)방식[7]에 의하여 구한 것이다. 표 7에서 알 수 있는 바와 같이 EAS 시뮬레이션능 통하여 구한 결과 값이 실제실험 결과에 가장 근접하면서 다른 시뮬레이터의 대피시간보다는 다소 길어짐을 보여준다. 이는 EAS 시뮬레이터가 대피장애- 과밀공간에서 충돌로 인한 엎어짐과 가속, 감속 등- 로 야기되는 시간 지체를 정확히 반영하였다는 것을 입증하여 준다.



[그림 9] 대피 시 출구에서의 재실자 상태

그림 9는 대피 시 재실자들이 출구에서 과밀공간을 조성하면서 나타내는 여러 가지 대피형태 - 표 5에서 보이는 5가지 재실자 상태 -를 보여주고 있다.

탈출관련 다양한 소요시간과 함께 본 시뮬레이터를 사용함으로써 얻을 수 있는 또 하나의 기대효과는 대피장애가 발생하는 경우 특정위치, 재실자의 구성 상태 등을 확인할 수 있다는 것이다. 이러한 정보는 건축계획 시대단히 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 비상사태 시 과밀공간에서 나타나는 재실자의 행동 패턴을 기반으로 탈출한 재실자 수, 총 대피시간, 평균 대피시간, 최소 대피시간, 최대 대피시간, 출구별 이용율, 엎어진 재실자(injured agent)등을 예측하기 위한 비상사태 피난 시뮬레이터를 개발하였다. 특히 화재시와 같은 긴급 사태에서 과밀에 의한 대피자간의 충돌과 또한 그로 인한 엎어짐(injured agent)과 같은 대피장애 행동특성을 고려함으로써 실제 상황을 적절하게 반영할 수 있었다.



대피장애 행동특성을 고려한 비상사태 피난 시뮬레이터(EAS)를 사용함으로써 좀 더 정확한 대피소요시간 예측이 가능해지며, 어떤 경우에 어떤 장소에서 사고가 많이 일어날 수 있는지를 파악할 수 있게 된다. 이러한 분석 결과를 활용함으로써 좀 더 효과적인 건물피난계획을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구에서 제외된 부분들, 즉 휴먼데이터 구성요소 중에서 사회 심리학적 피난행태요소와 환경정보에 대한 인식능력요소 등과 같은 것들은 추후 연구과제가 될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] Keating, J.P. "The myth of panic", Fire Journal, pp.57-61, 1982
- [2] S.Gwynne, E.R.Galea, M.Owen, P.J.Lawrence, L.Filippidis, "A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment", Building and Environment 34, pp.741-749, 1999
- [3] Mintz, A., "Non-adaptive group behavior", The Journal of Abnormal and Normal Social Psychology 46, pp.150-159, 1951
- [4] Elliott, D. & Smith, D., "Football stadia disasters in the United Kingdom: learning from tragedy", Industrial & Environmental Crisis Quarterly7(3), pp.208-229
- [5] Smith, R.A. & Dickie, J.F., "Engineering for Crowd Safety", Elsevier, Amsterdam, 1993
- [6] Henry Weckman, "Evacuation of a Theatre: Exercise vs Calculation", Fire and Materials 23, pp.357-361, 1999
- [7] Nelson HE, MacLennan HA. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1999

### 리 송 준(Song-jun Li)

[준회원]



- 2004년 6월 : 중국 연변과학기술대학 건축학과(공학사)
- 2004년 6월 : 중국 연변과학기술대학 전산학과(공학사)
- 2006년 3월~현재 : 명지대학교 건축학과 석사과정

<관심분야>

Design Computation, GIS응용

### 이 상 현(Sang-Hyun Lee)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (박사수료)
- 1995년 4월 : The University of Michigan (M. Arch.)
- 1996년 5월 : Harvard University (M. Des.)
- 1999년 3월 : Harvard University (Doctor of Design)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 건축대학 건축학과 부교수

<관심분야>

Design Computation, GIS응용