

인간의 인지능력 기반의 행동특성이 반영된 분산대피에 관한 연구

장재순* · 이동호**

*인천대학교 안전공학과 대학원 · **인천대학교 소방방재연구센터

A Study for dispersion evacuation by behavioral characteristics based on human cognitive abilities

Jae-Soon Jang* · Dong-Ho Rie**

*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

**Fire Disaster Prevention Research Center, University of Incheon

Abstract

A*algorithm is highly useful to search the shortest route to the destination in the evacuation simulation. For this reason, A*algorithm is used to evaluate the evacuation experiment by the computer simulation. However there are some problems to analyze the outcome in relation to the reality. Because all the people in the building are not well-informed of the shortest route to the exit. And they will not move to the disaster spot though it is shortest route to the exit. Therefore, evacuation simulation program based on A*algorithm raise a problem of bottleneck phenomenon and dangerous result by damage surrounding the disaster spot. The purpose of this research is to prove the necessity for dispersion evacuation simulation by Multi agent system to solve the problems of the existing evacuation simulation program based on A*algorithm.

Keywords : A*algorithm, Multi agent system, Bottleneck phenomenon, Dispersion evacuation

1. 서론

성능위주설계란[1] 이해당사자들의 의견을 종합하여 방호범위 및 정도를 결정한 후, 방재공학적인 분석결과를 토대로 필요한 방재시스템을 구축하는 것으로, 우리나라에서는 2010년 10월 1일 부산 해운대 초고층 건축물 화재 사건이후 성능위주 설계의 중요성이 크게 부각되었다. 또한, 소방방재청은 2011년 7월 1일 ‘소방시설등의 성능위주설계 방법 및 기준’을 제정하였으며, 특히 제 4조 10항인 ‘시나리오에 따른 화재 및 대피 시뮬레이션’은 성능 평가 항목에 포함된다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 화재발생시 재실자의 대피패턴과 동

선을 분석하는 것은 해당 건축물의 위험성 평가에 매우 중요한 요소이다.

미국 및 영국에서는 상용화 대피프로그램을 사용해서 성능위주 설계 연구를 진행하고 있는 실정으로, 대표적인 프로그램은 Simulex와 Building Exodus, Pathfinder 등이 있으며 공통적으로 사용되는 A* 알고리즘[2]은 최단 경로를 찾아가게 하는 알고리즘으로써 게임과 대피 시뮬레이션 등에 광범위하게 이용되고 있다. A*알고리즘이 적용된 시뮬레이션 대피 패턴의 특징은 재실자의 위치에서 가장 근접한 피난구를 향해 이동하면서 대피 시간의 계산을 수행하는 것이며, (1)과 같은 평가 함수를 사용한다.[3]

† 교신저자: 이동호, 인천광역시 연수구 송도동 인천대학교 공과대학 안전공학과

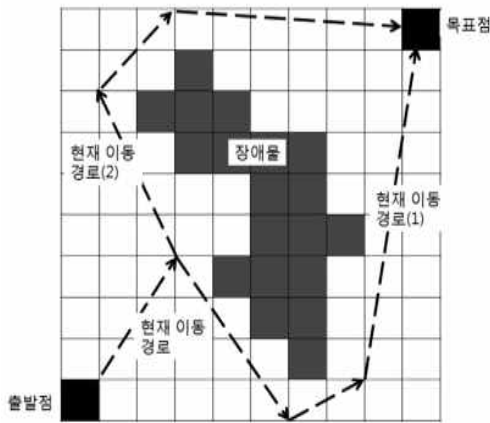
Tel 032-835-8293 E-mail : riedh@incheon.ac.kr

2012년 7월 9일 접수; 2012년 9월 4일 수정본 접수; 2012년 9월 12일 게재 확정

$$F(n) = g(n) + h(n) \tag{1}$$

- g(n) : 출발점에서 현재점(n)까지의 이동경로
- h(n) : 현재점(n)에서 목표점까지의 예상 이동경로
- g(goal) : 출발점에서 현재의 위치로 이동 할 때 걸 정된 최적의 경로 값
- h(heuristic) : 현재점에서 목표점까지의 예상 이동 경로 값

출발점에서 목표점까지의 최적 경로 값이 계산되면 <Figure 1>과 같이 탐색이 될 수 있다.



<Figure 1> A sample result Obstacle Avoidance using A*algorithm[4]

그러나 건물 안에는 비상구까지의 최단 경로를 모르는 비인지자가 존재하기 때문에, 실제 재난상황의 발생에서는 출구를 향해 즉시 대피하는 것이 불가능하며, 피난을 위해 이전에 한 번도 사용해 본 적 없는 출구 통로보다는 잘 알고 있는 출구통로를 이용할 가능성이 상대적으로 높다. 결과적으로, 해당 건물을 빠져나가기 위해 이용하도록 되어있는 경로는 실제 피난상황에서 무시될 수도 있다.[5] 또한, 재난발생구역을 인지한 다음에는 안전한 방향으로 우회할 수 있는 판단능력이 있기 때문에 A*알고리즘과 같은 패턴으로 재난구역을 지나가지 않는다. 따라서, 기존의 대피해석 프로그램은 대피자가 위험지역을 감지하고 분산대피를 수행하지 못함으로써 현실적이지 못한 문제점이 있고, 이를 통해 얻어지는 빠른 대피 시간의 확보는 성능위주설계의 대피 평가 부분에서 저사양의 소방 설비만으로도 충분한 안전성을 확보할 수 있다는 잘못된 결론을 내릴 수 있다. 이런 문제점을 극복하기 위해 연구되고 있는 것이 군중 시뮬레이션이다. 이태형(2010)의 군중 시뮬레이션의 연구 고찰에 의하면[6] Helbing et al.(2000)은 패닉 상태의 군중의 행동 패턴을 수리적으로 모델링 하였고 [7] Musse and Thalmann(2001)은 군중의 행동을 영상

화하기 위해 인간의 행동을 계층화하고, 특정 행동을 모델링 하기 위해 사회학 개념을 도입하였다. 즉, 인간의 행동 패턴을 현실적으로 재현하고자 인간의 인문학적 특성을 반영하였다.[8] 또한 Braun et al.(2005)는 Helbing et al의 모델을 개량한 다음 폭발, 화재 등의 위험 이벤트 개념을 추가하여 에이전트와 위험 이벤트 사이의 영향을 고려하였다.[9] 국내에서는 이태형(2010)이 Helbing et al.이 인터넷으로 공개한 시뮬레이션 프로그램 PanicPackage를 이용하여 기본적인 실험을 통해서 대피 상황에서의 정량적인 결론을 도출하였다.[10] 그러나 이기현(2012)의 연구에 의하면 해외 유수의 연구 기관에서는 심혈을 기울여 에이전트 기반 모델의 인공 재난 연구가 진행되고 있는 반면, 국내는 여전히 연구의 부족함이 확인되었고, 재난 상황에서 인간이 보이는 행동 특성과 서로간의 정보 교환등이 적용된 시뮬레이션을 구현하는 현실적인 연구의 필요성을 강조하였다.[11]

본 연구에서는 대피자 스스로 위험영역을 인지하고 우회해서 분산대피를 구현시킬 수 있는MAS(Multi Agent System)[12] 기반 시뮬레이션 프로그램인 artisoc을 활용하여 기존 대피 프로그램과의 특징과 발생될 수 있는 문제점들을 비교 분석하였다. artisoc을 이용하면 인간의 인지능력 기반의 행동특성이 반영된 분산대피 시뮬레이션을 프로그래밍 언어를 사용하여 구체적으로 구현할 수 있다. GUI(Graphical User Interface) 기반의 상용화 대피 프로그램은 간단한 입력만으로 결과를 출력할 수 있는 반면, 제한된 기능 범위를 벗어나서는 설정할 수 없다. CUI(Character User Interface) 기반의 artisoc은 GUI기반의 이런 한계점을 보완하고 보다 포괄적인 접근이 가능하기 때문에 정보 전달 기능을 적용하며 대피 시뮬레이션을 분석하기에 적합하다. 이를 통해 성능위주설계의 성능평가 기초 연구 자료로써 활용할 수 있도록 대피 안전성 평가의 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 인공지능 대피방식의 필요성

2.1 병목현상과 재해구역 통과 문제

A* 알고리즘은 모든 재실자를 피난구까지 최단거리로 이동시키기 때문에 지정된 대피방향으로만 대피할 수 있으며 이에 수반되는 몇 가지 문제점은 병목현상과 재난구역 접근의 문제 등이 있다.

병목현상은 다수의 재실자가 한 개의 피난구로 빠져나가려고 할 때 이동이 지체되는 현상을 말한다. 피난

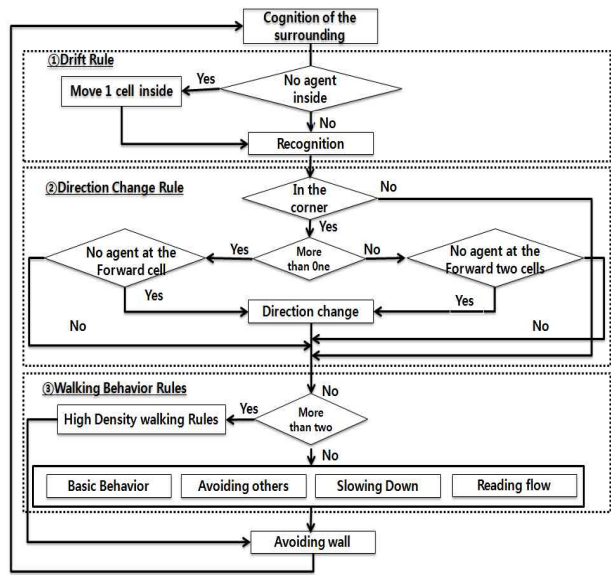
이 용이한 다른 방향의 출구가 인지된다면 건물 내 재실자는 최단거리가 확보되지 않는지만 우회대피경로의 선택이 가능하다. 그러나 A* 알고리즘 기반의 대피프로그램은 대피자 기반 인공 지능적 판단능력의 부재로 분산대피에 의한 병목현상의 해결을 기대하기가 어렵다. 그러나 Pathfinder[13] 2011 버전에서는 병목현상 발생 시 재실자가 목적지까지 걸리는 최단대피시간을 계산하고 그 방향을 선택해서 분산 대피가 되는 기능이 추가는 되었지만, 재난구역 우회대피의 문제는 해결되지 못했다.

상용화 프로그램은 재난 발생 구역이라도 최단거리 피난경로가 설정되면 재난구역을 통과하여 대피하는 모순이 있기 때문에 실제 대피상황을 재현하기에는 다소 무리가 있으며, 이런 시뮬레이션 한계를 극복하지 못한 결과는 성능위주 설계 시 설계 사양을 저하시키는 부정확한 결과를 도출하는 치명적 오류를 범할 수 있다.

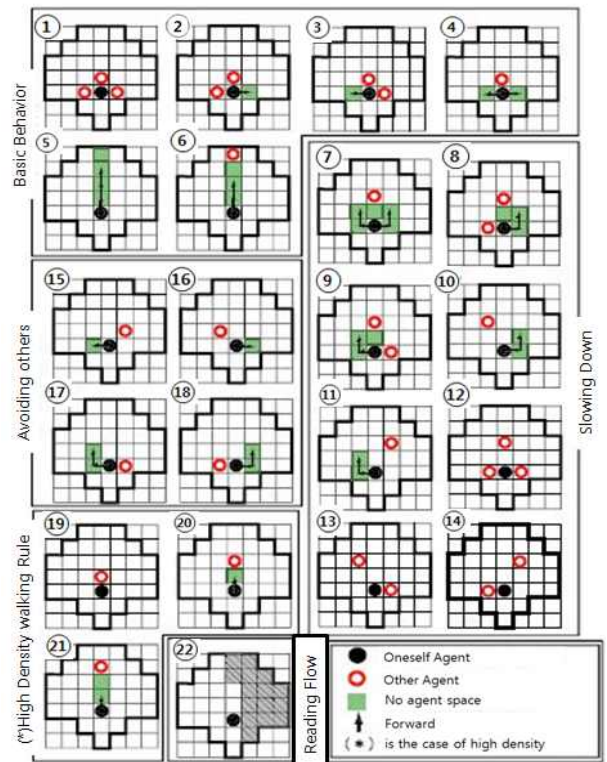
2.2 보행자 행동 방식을 고려한 알고리즘

대피 시뮬레이션은 1가지 이상의 가정으로부터 도출되는 결과를 표현하는 툴(tool)로써, 인간의 행동이 반영되어야만 한다. 또한, 소방학 이론에서는 귀소본능, 지광본능, 추종본능, 퇴피본능, 좌회본능 등을 피난계획시 고려해야 할 인간의 본능으로 보고 있기 때문에, 대피 시뮬레이션에 반영해야 할 연계성을 가지고 있다. 특히, 위험한 장소에서 멀리 벗어나려고 하는 퇴피 본능은 생사를 결정하기 때문에, 대피 결과를 산출하는 데 있어서 가장 중요한 요소이다. 이런 특성은 안전 정보와 위험 정보의 전달 유무에 따라 결정되며, 대피 시뮬레이션에서 군집 유도책의 검토를 가능하게 한다. 따라서 대피 시뮬레이션에서는 최단거리 이동 알고리즘과 더불어 정보 전파에 의해 경로 변경이 가능한 인공지능적인 알고리즘이 필요하다. MAS기반의 프로그램은 Fig 2와 같은 ASPF(Agent Simulation of Pedestrian Flow)[14]의 알고리즘 설정이 가능하기 때문에 정보 전달의 문제를 해결할 수 있다.

보행자 행동 규칙인 ③Walking Behavior Rules에는 기본행동법칙(Basic Behavior), 회피법칙 (Avoiding others), 감속법칙(Slowing Down), 진행추정법칙(Reading Flow), 고밀도 보행법칙(High Density walking Rule) 등이 있다. 각 법칙은 고유의 이동 패턴이 존재하며 Fig 3과 같이 총 22개로 분류된다. 특히 ②②와 같이 진행추정법칙(Reading Flow)은 특정 영역의 영향을 받아 추종 및 회피에 대한 판단을 내리게 되는 것으로써, 보행자가 정보 전달의 영향을 받게 된다.



<Figure 2> Algorithm of Pedestrian Agent in ASPF



<Figure 3> Agent walking rules

2.3 Multi Agent System(MAS)의 개념

Multi Agent System은 자율적으로 판단하고 의사결정을 내리며 행동할 수 있는 다수의 주체들이 상호작용 하는 시스템이다. 시뮬레이션은 실제 상황을 모델링하여 모의실험을 통해 결과를 도출하게 된다. 즉, 실제 상황의 모델링에 따라 시뮬레이션 결과가 달라질 수

있기 때문에, 대피 시물레이션에 있어서 가장 필요한 요소는 인간의 행동 특성을 그대로 반영해야 하는 것이며 가장 큰 특징 중의 하나는 인지능력이다.

MAS는 이러한 인지능력을 가진 Agent들을 시물레이션 함으로써 어떤 특정 상황에 대하여 다양한 변수를 반영할 수 있는 결과들을 도출할 수 있다. 예를 들어, 대피상황 발생시 재난구역을 통과하는 최단거리가 존재하는 경우에도, 안전한 방향의 경로로 우회하여 대피하는 것이 가능하다. 또한, 설정된 안전 정보의 제공에 의해 유도 대피가 가능하다. 이러한 기능적 요소가 시물레이션에 반영된다면 분산 대피를 유도할 수 있으며, 종래의 대피 시물레이션에서 문제되고 있는 병목현상과 재난구역 통과 문제 해결하여 대피 결과의 신뢰성을 더 높일 수 있다.

2.4 시물레이션 프로그램 특징 비교

2.4.1 artisoc의 특징[15]

artisoc은 일본의 구조계획연구소에서 개발된 MAS 기반의 프로그램으로써, 시물레이션을 하기 위해서는 실행될 에이전트의 동작 명령을 프로그래밍 언어로 작성해야 하며 GUI(Graphical User Interface) 기능도 추가 가능하다.

artisoc은 BASIC과 LOGO를 편성 발전시킨 에이전트 모델링 언어로써, 알기 쉬운 2차원, 3차원 공간 표현이 가능하다. artisoc을 이용한 보행자 에이전트 시물레이션에 의해 화재등의 비상 상황시의 피난방책을 검토하는 것이 가능하다는 장점이 있으며, 피난행동 과정을 시각화 할 수 있다. artisoc은 보행자의 운동을 나타내는 미분방정식으로 알려진, 식 (2)와 같은 Helbing의 동역학 모델을 사용한다.[16][17][18][19]

$$m_i \frac{dv}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i^0(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} [f_{ij}^{soc}(t) + f_{ij}^{att}(t)] + \sum_b f_{ib}(t) + \xi_i(t) \quad (2)$$

$v_i^0(t)e_i^0(t)\tau_i^{-1}$: 보행자 구동력

$v_i^0(t)$: 희망 보행 속도

$e_i^0(t)$: 목적방향

$v_i^0(t)\tau_i^{-1}$: 속도벡터(보행자 구동력에 대한 마찰력)

$\sum f_{ij}^{soc}(t)$: 사회작용력(social force)

$\sum f_{ij}^{att}(t)$: 집단응집력

$\sum f_{ib}(t)$: 장애물 회피력

$\xi_i(t)$: 개인의 고유 방향벡터

보행자 구동력과 속도벡터는, 보행자를 목적 방향과

희망 속도에 접근 시키는 힘으로 작용한다.

사회작용력 $\sum f_{ij}^{soc}(t)$ 는 감속회피, 상호간 거리유지 반발력으로 작용하며, 식 (3)과 같다.

$$A_{ij} \exp[(r_{ij} - d_{ij})B^{-1}(t)] n_{ij} (\lambda_i + (1 - \lambda_i)(1 + \cos(\Phi_{ij}))/2) \quad (3)$$

n_{ij} : 보행자 i 에서 j 로의 방향벡터

상수 A_i : 사회작용력

상수 B_i : 거리감쇠

$d_{ij}(t)$: 보행자 i, j 의 행동반경

r_{ij} : 보행자 i, j 의 상호거리

$(1 + \cos(\Phi_{ij}))/2$: cardioid형의 감도계수

Φ 는 운동방향과 반발력을 일으키는 물체의 방향사이의 각도이다. 매개변수 λ_i 는 보행자의 진행방향 이외의 방향에 위치하는 타인의 사회 작용력 비율이다.

2.4.2 Pathfinder의 특징[20][21]

Pathfinder는 미국의 Thunderhead Engineering에서 개발한 대피 시물레이션 프로그램으로써, GUI(Graphical User Interface)를 제공하며 2차원과 3차원 공간 표현이 가능하다. 개발된 공간에서의 이동속도는 재실밀도에 영향을 받으며 제시된 밀도 범위는 0.55~3.8(pers/m²)이다. 재실 범위 미만일 경우는 식(4)를 따르며, 해당 범위인 경우는 식 (5)를 따른다.

$$v(D) = v_{max} \quad (4)$$

$$v(D) = v_{max} \times \frac{k - 0.266 \times k \times D}{1.19} \quad (5)$$

D= 재실자 밀도

v_{max} =설정 이동속도

k =속도상수(평지에서는 1.4)

인원의 밀도가 3.8pers/m²을 초과할 경우에는 해당 구역 전방의 이동이 진행되어 밀도가 감소하기 전까지는 이동이 일어나지 않는다.

3. 실험 및 결과 분석

3.1 Pathfinder와 artisoc의 대피 비교 실험

본 연구에서는 Table 1과 같이 artisoc을 네 가지 case로 나누어 Pathfinder와의 대피 결과를 비교 분석하였다. 재실자의 배치된 범위는 같지만 배치 위치는 임의적인 위치이다. 따라서 대피시간 평균값을 산출하여 실험

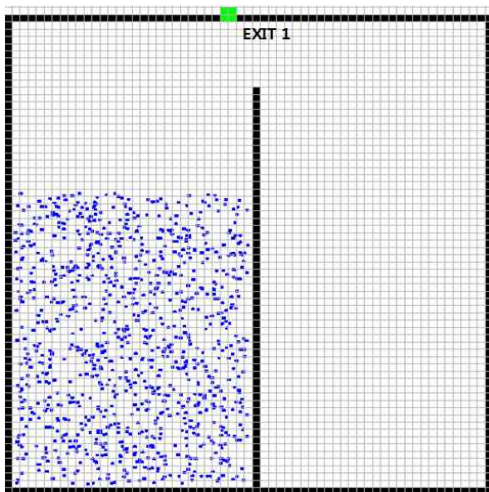
결과를 분석하였다.

artisoc과 Pathfinder의 재실자가 존재하는 공간 모두 1m/s의 속도로 이동하며 전방에 사람이 있을시 감속한다. 또한 두 시뮬레이션의 재실자의 어깨너비는 Pathfinder의 기본값인 0.4558m를 적용하였다. 대피반응시간은 0초로 즉시 대피가 이루어지도록 설정하였다. 'Case 1'은 A*알고리즘 기반의 'EXIT 1'로 대피하는 동일조건 실험으로써, 비교 실험 이전의 대피 시간의 오차 범위를 확인하는 실험이다. 'Case 2~6'은 Pathfinder의 최단대피시간에 의한 분산대피와 artisoc의 정보 전달에 의한 분산대피를 비교하는 실험으로써, 공통적으로 A*알고리즘을 사용하지만 분산대피를 적용시키는 원리에 차이가 있는 비교실험이다.

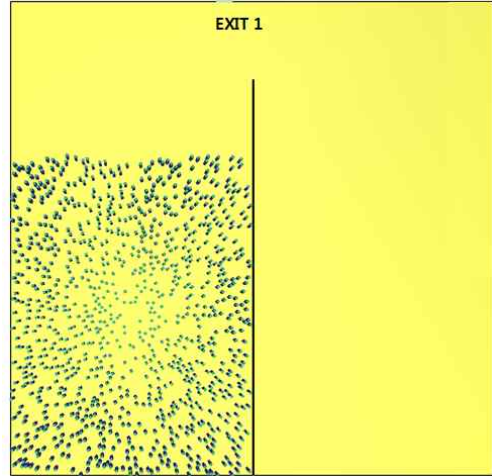
<Table 1> Equal experimental conditions

Condition \ Program		Pathfinder	artisoc
Sapcec size(m×m)		60×60	60×60
Resident location (x, y)		bellow (30,40)	bellow (30,40)
Movement velocity (m/s)		1	1
Shoulder width (m)		0.4558	0.4558
React time(sec)		0	0
Inducer (EA)	Case 1	0	0
	Case 2		3
	Case 3		6
	Case 4		9
	Case 5		12
	Case 6		15

<Figure 4>의 (a)와 (b)는 1000명의 재실자가 배치된 각 artisoc과 Pathfinder의 초기 화면으로 'EXIT 1'까지의 대피 시간을 측정하였다.



(a)Residents in the artisoc

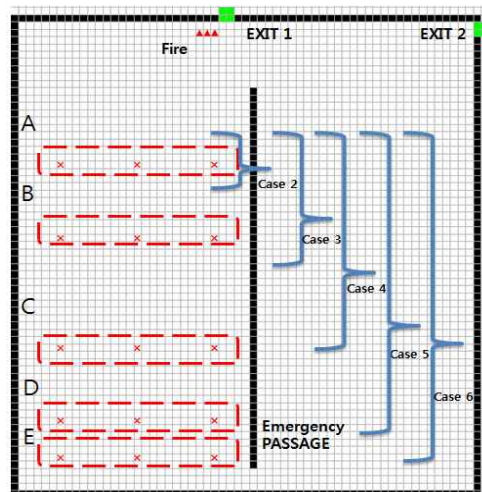


(b)Residents in the Pathfinder
<Figure 4> Setting of Simulation

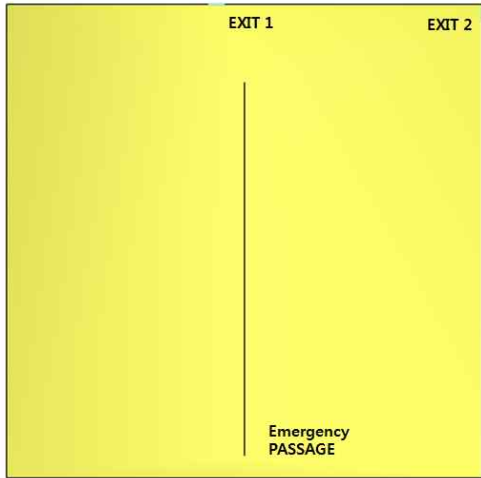
<Figure 5>는 'Case2~6'에 해당하는 조건이 반영된 경우로써, 대공간 안에 화재(Fire)가 발생했을 시 비상 통로(Emergency PASSAGE)로 우회해서 'EXIT 2'로 분산대피를 할 수 있는 시나리오이다.

(a)에는 artisoc의 공간으로써 정보 전달 반경 5m인 'x'표시의 유도원(Inducer)이 세 개씩 설치되고, A행에서부터 E행까지 Case별로 추가가 된다. 대피결과는 전체 대피한 인원의 대피 시간과 Emergency PASSAGE를 통과해서 대피한 인원수로 나타나며, 총 60회의 시뮬레이션을 통해 평균값을 산출하였다.

(b)는 Pathfinder의 공간으로써 artisoc에서 나온 결과와 비교할 수 있도록 'EXIT' 및 '비상 통로 (Emergency PASSAGE)' 등의 공간 조건을 동일하게 유지하되 유도원(Inducer)과 화재(Fire)가 존재하지 않는 시나리오로 시뮬레이션 하였다.



(a)artisoc space with inducer



(b)Pathfinder space

<Figure 5> Additional Emergency PASSAGE

3.2 실험 결과

A*알고리즘에 의해 'EXIT 1'으로 대피하는 동일 조건 실험은 Table 2의 Case 1에 나온 것처럼 3.8초의 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이를 통해서 두 프로그램의 기준점을 설정하였음을 확인할 수 있었다.

<Table 2> Result of simulation

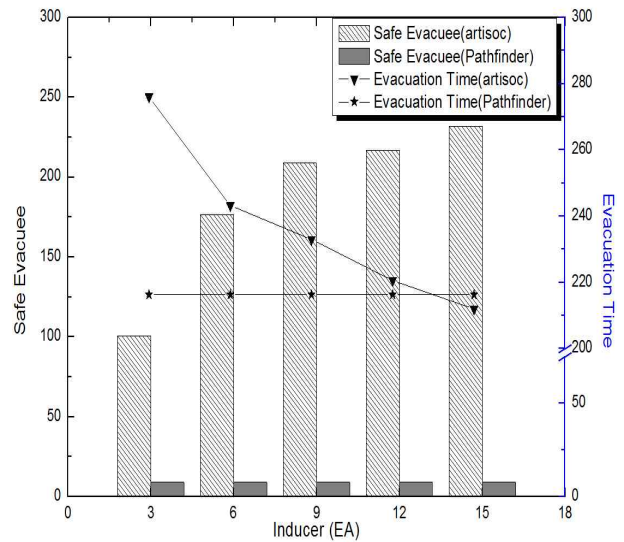
Case	Pathfinder			artisoc		
	Inducer (EA)	Evacuation time (sec)	Safe Evacuee (pers-eon)	Inducer (EA)	Evacuation time (sec)	Safe Evacuee (pers-eon)
Case 1	0	362	0	0	365.2	0
Case 2	0	216.3	9	3	276	101
Case 3				6	243.2	177
Case 4				9	233	209
Case 5				12	220.6	217
Case 6				15	212	232

Case2~6에는 안내유도원의 증가에 따른 대피시간 결과가 정리되어있다.

artisoc에서는 유도원이 증가할수록 대피시간이 감소 하였으며 Emergency PASSAGE를 통과한 안전 대피 인원이 증가하는 하며, 유도원이 15개 일 때 artisoc의 대피시간이 Pathfinder보다 더 빠르게 나왔음을 Fig 6 을 통해 확인할 수 있다.

Pathfinder에서는 유도원의 개념이 없으므로 대피시

간과 Emergency PASSAGE를 통과하는 인원은 증감이 없는 것을 <Figure 6>을 통해 알 수 있다.

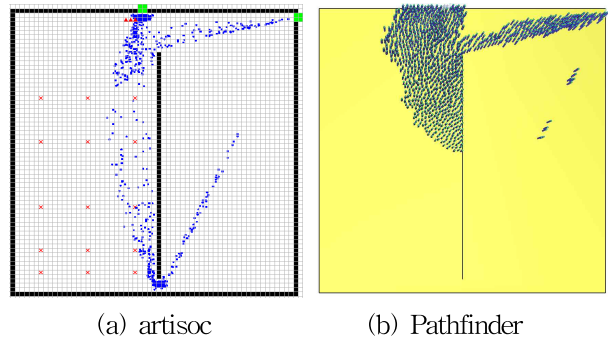


<Figure 6> Safe Evacuee and Evacuation time

<Figure 7>은 분산대피의 모습으로써 유도원의 유무에 따라 안전한 방향으로의 우회를 통한 재실자 분산대피 여부를 확인하며 두 시뮬레이션을 비교할 수 있다.

유도원이 있는 artisoc에서의 우회 분산대피 인원수가 Pathfinder보다 상대적으로 많은 것을 (a)를 통해 알 수 있다. Pathfinder에는 (b)와 같이 최단대피시간 계산에 의해 총 9명이 Emergency PASSAGE를 통과 해서 우회 분산 대피하였다.

이 결과를 통해 대피자의 위험지역을 회피한 우회 대피는 대피 시간의 증가로 이어지지만 안전하게 대피 하는 인원 역시 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a) artisoc (b) Pathfinder

<Figure 7> Dispersion evacuation

4. 결론

본 연구에서는 재난구역 인지와 분산대피 효과등의 인

공지능 기능을 갖는 Multi Agent System 기반의 artisoc 프로그램을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 안전 정보 값의 전달로 인한 분산대피는 단순 대피 시간의 단축이 아닌 안전 대피 인원 수 확보의 대피결과를 보여줌으로써 우회대피의 필요성을 입증하였다.
- 2) 유도원의 설치 개수 증가를 통해서 상용화 프로그램의 대피 결과보다 더 앞선 대피 결과를 도출할 수 있다. 이를 통해 대피 시뮬레이션에서 현실적으로 고려해 줄 수 있는 변수들을 추가적으로 설정해줌으로써 개선된 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 재난구역을 우회해서 분산대피를 하게 되면 위험 인자로부터의 피해를 감소시킬 수 있으나, 재난구역에 상응하는 위험도값이 적용되지 않았기 때문에 위험도 평가를 하기에는 무리가 있었다. 추후 연구에 있어서 위험 변수를 추가하여 분산대피가 적용된 시뮬레이션 평가를 통해 성능위주설계의 평가에 있어서 기초연구 자료로 활용 가능하다고 사료된다.

5. 참고문헌

- [1] 이동호, FDS를 활용한 성능위주 화재위험성평가 프로그램개발에 관한 연구, 한국안전학회지, Vol.23 No.5, pp. 1-6, 2008
- [2] Donald b. Johnson, "Efficient Algorithms for Shortest Paths in Sparse Networks", Journal of the ACM, Vol.24, No.1, pp.1-13, 1977
- [3] 정연철, "A*알고리즘을 이용한 게임 객체의 빠른 이동", 호남대학교 정보통신연구소 논문집 정보통신연구, 제13권, p.115, 2003
- [4] 김운형, "건물피난성능평가프로그램(EVA-DS) 개발", 한국화재소방학회 2002년도춘계학술대회논문집, 01, pp.219-225, 2002
- [5] Guylene Proulx, "The SFPE handbook of Fire Protection Engineering, "Movement of People: The Evacuation Timing", Third Edition, National Fire Protection Association, pp.3-342, 2002.
- [6] 이태형, 김창욱, 군중 시뮬레이션 연구 고찰 및 비상 대피 시뮬레이션 실행과 평가, 대한산업공학회 추계학술대회, pp 3, 2010
- [7] Helbing, D., Farkas, I. and Vicsek, T. "Simulating dynamical features of escape panic", Nature 407(6803), pp. 487-490, 2000
- [8] Musse, S. and Thalmann, D. "Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 7(2), pp.152-164, 2001
- [9] Braun, A., Bodmann, B. and Musse, S. "Simulating virtual crowd in emergency situations", Proceedings of ACM Symp. Virtual Reality Software and Technology, pp.244-252, 2005
- [10] 이태형, 김창욱, 군중 시뮬레이션 연구 고찰 및 비상 대피 시뮬레이션 실행과 평가, 대한산업공학회 추계학술대회, pp 5-6, 2010
- [11] 이기현, 김창욱, 인공재난: 재산 대응을 위한 에이전트 시뮬레이션의 연구동향, 정보와 통신(Journal of The Korean Institute of Communication Sciences), Vol.29 No.5, pp.27-36, 2012
- [12] 兼田敏之, "兼田敏之, artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション 原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで", 発行構造計画研究所發賣書籍工房早山, pp. 29-32, 2010
- [13] Pathfinder 2011 Technical Reference, pp.8
- [14] Kita, Toshiyuki Kaneda and Kiyoshi Arai, "Agent-Based Simulation: From Modeling Methodologies to Real-World Applications: Post Proceedings of the Third International Work shop on Agent-Based Systems 2004 (Agent-Based Social Systems)", 1 edition, pringer, pp.220-224, 2005
- [15] 兼田敏之, "兼田敏之, artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション 原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで", 発行構造計画研究所發賣書籍工房早山, pp.23-25, 2010
- [16] 兼田敏之, "兼田敏之, artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション 原理・方法論から安全・賑わい空間のデザイン・マネジメントまで", 発行構造計画研究所發賣書籍工房早山, pp.151-152, 2010
- [17] Helbing, Farkas, and Vicsde: "Simulation dynamical features of escape panic", Nature 407, pp.487-490, 2000.
- [18] Helbing, Molnár, Farkas, and Bolay: "Self organizing pedestrian movement", Environment and Planning B: Planning and Design 28, pp.361-383, 2000.
- [19] Bierlance on Travel Behavior Research, pp.11, 2003re, M., Antonini, G. and Weber M.: "Behavioral dynamics for pedestrians", International Confer

- [20] Pathfinder 2011 Technical Reference, pp.14
- [21] SFPE Handbook 3-14 Emergency Movement, pp.3-369~370

저자 소개

장재순



인천대학교 안전공학과 학사 취득.
현재 인천대학교 안전공학 석사과정 중
관심분야 : MAS (Multi Agent System), 대피 해석 프로그램, 화재 해석 프로그램

주소: 인천광역시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 8호관 C동 341호

이동호



현재 인천대학교 안전공학과 교수
관심분야 : 화재 일반

주소: 인천광역시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 8호관 C동 351호