

# MAS 기반 피난시뮬레이션을 이용한 분산대피 비교 연구

장재순 · 이동호\*

국립재난안전연구원 안전연구실, \*인천대학교 소방방재연구소  
(2012. 8. 1. 접수 / 2014. 2. 6. 채택)

## A comparative Study for dispersion model in evacuation plan by using MAS-based evacuation simulation

Jae-Soon Jang · Dong-Ho Rie\*\*

Safety Research Division, National Disaster Management Institute

\*Fire Disaster Prevention Research Center, University of Incheon

(Received August 1, 2012 / Accepted February 6, 2014)

**Abstract :** Smoke is one of the most critical factor when escaping from the fire since it reduces visibility and interrupts finding emergency exit lights. Therefore, it is recommended that an evacuation simulation program should incorporate the smoke factor. In addition, it is suggested that the program should include not only the unilateral damage by the smoke but also the detour evacuation by risk communication. In this study, MAS (Multi Agent System)-based simulation program which incorporates the reduced walking speed by smoke and adopts the dispersion evacuation logic during escaping from the fire. To make comparison, a commercial evacuation program, Pathfinder was used. It was found that the simulation results of MAS (Multi Agent System)-based program is better than Pathfinder in terms of safe evacuation. It means that evacuation simulation need a additional evaluation categories that include not only quick evacuation time but also safe evacuee number.

**Key Words :** MAS (Multi Agent System), smoke, visibility, dispersion, detour, evacuation

### 1. 서론

2012년 5월 5일 부산 노래방에서 일어났던 화재 사건은 초기 화재 진압 실패에서 확대된 대형 참사이다. 사망자들 대부분은 연기에 의해 대피가 지연되었고 그 사이 유독가스로 질식사 하였다.

통계자료에 의하면 연기는 화재 발생 시 피난에 가장 큰 지장을 주는 위험 요소로써, 화재로 인한 인명피해 중 60~70%가 유독한 연기에 의한 질식이나 중독에 의해 발생되었다.<sup>1)</sup> 연기는 가시도를 저하시켜서 유도 안내 표지의 식별을 방해하며 방향감각을 감소시키고, 결과적으로 불필요한 불안이나 패닉상태를 유발시킬 수 있다.<sup>2)</sup> 이러한 상황은 피난 속도의 감소와 인명피해의 증가로 이어진다.

이러한 이유로 연기에 의한 인명 피해를 최소화하기 위해서는 피난계획의 수립이 매우 중요하다. 특히, 백화점, 공연장, 호텔, 초고층 건축물 등과 같은 대공간에서의 피난계획은 시뮬레이션을 실시하여 최적 분산대피 계획을 수립하는 것이 바람직하다. 선행연구에 의하면 연기에 따른 가시도 저하 영향을 고려한 프로그램이 개발되어 속도 저하가 반영된 대피시간 산정이 가능하다.<sup>3)</sup> 그러나 대

피자가 공간 위험성을 인지하지 못하고 위험영역을 최단 거리 계산으로만 통과하기 때문에, 우회함으로써 대피위험도를 낮출 수 있는 실제 대피 현상과 차이가 발생하고 있다. 실제로, 상용화 대피프로그램인 Pathfinder나 Simulex는 위험 구역 설정 기능이 없으며, buildingExodus는 설정된 위험지역을 그대로 통과하며 위험도가 누적되는 값을 대피 시간별 결과에 반영하고 있다. 따라서 대피로 상에 존재 가능한 위험 요소 발생 시 우회 및 분산대피를 통해 대피자의 최적 탈출이 가능한 시나리오의 구축이 불가능하다.

본 연구에서는 상호 정보전달이 가능한 MAS (Multi Agent System) 기반 프로그램인 artisoc<sup>4)</sup>을 활용하여 위험 정보에 의한 우회 및 분산대피의 구현이 가능한 피난시뮬레이션을 실시하여 기존 피난시뮬레이션과의 차이점 및 특성을 파악하였다. 또한, 연기 농도에 의한 가시도 저하가 연계된 시뮬레이션을 통해 그 대피 결과를 도출하여 가시도 적용유무 및 위험 정보 전달유무에 따른 분산대피 효과를 비교 검토하였다. 본 실험에서 사용한 artisoc과 비교를 위해 사용한 프로그램은 상용화된 제품인 Pathfinder(2011 버전)였다. Pathfinder 2011버전에서는 병

\* Corresponding Author : Dong-Ho Rie, Tel: 82-32-835-8293, E-mail : riedh@incheon.ac.kr

Department of Safety Engineering, University of Incheon, 119, Academy-ro, Yeonsu, Incheon 406-772, Korea

목현상 발생시 재실자가 목적지까지 걸리는 최단대피시간을 계산하고 그 방향을 선택해서 분산 대피가 되는 기능이 추가되었다.<sup>5)</sup> 그러나 Pathfinder는 재난구역 우회대피의 기능과 연기에 의한 가시도 저하 기능은 없다.

따라서 본 실험에서 artisoc의 대조 프로그램으로 사용하였고, 시뮬레이션 결과의 비교를 통해 기존의 획일적 대피출구지정 방식으로 도출된 피난계획과 MAS기반 피난계획의 차이를 살펴보고 MAS기반 피난계획의 대피자 안전확보에 대한 타당성을 입증하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 MAS 기반 프로그램 artisoc의 활용

artisoc은 일본의 구조계획연구소에서 개발된 MAS 기반의 프로그램으로써, BASIC과 LOGO를 편성 발전시킨 에이전트 모델링 언어를 사용하며 알기 쉬운 2차원, 3차원 공간 표현이 가능하다. artisoc을 이용한 보행자 에이전트 시뮬레이션을 활용함으로써 재난상황에서의 정보전달에 의한 인공지능적인 피난대책을 검토하는 것이 가능하며, 구조계획연구소의 웹페이지에 관련 연구 사례 및 논문 자료가 공개되어 있다.

### 2.2 시뮬레이션 데이터 설정

가시도 저하를 고려한 피난시뮬레이션을 수행하기 위해서는 화재해석 프로그램에서 계산된 연기농도 값과 재실자 대피 속도와의 도식화된 관계를 알아야 한다.

감광계수는 연기농도를 나타내는 방법 중에 하나로써, 연기 속에서 빛이 투과한 정도를 나타낸다. 감광계수와 대피 속도는 반비례 관계로 나타낸다. 또한 선행 연구에 의하면 인공 연기 속에서 실측 실험을 통해 감광계수 변화에 따른 보행 속도 측정값은 Table 1과 같이 보고되어 있다.<sup>6)</sup>

식 (1)은 Table 1을 기준으로 감광계수와 평균속도간의 관계를 도출한 식이며, artisoc에 데이터베이스화 하여 적용하였다.

$$v(x) = -0.7746x + 1.2524 \quad (1)$$

$x$ : 감광계수

$v(x)$ : 이동속도

Table 1. Result of the Walking speed(m/s) of the Extinction coefficient( $m^{-1}$ )

Extinction coefficient	Average speed	Male average speed	Female average speed
0.70	0.71	0.70	0.73
0.64	0.77	0.77	0.76
0.55	0.80	0.79	0.83
0.5	0.87	0.87	0.85
0.44	0.92	0.93	0.91

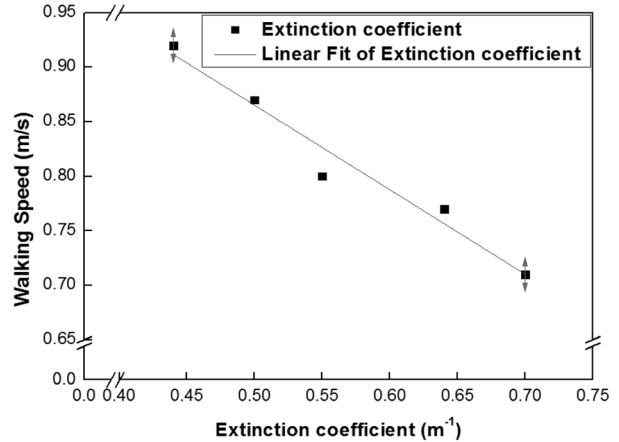


Fig. 1. Relation between the Walking speed(m/s) and the Extinction coefficient( $m^{-1}$ )

(1) 식에 의해 연기농도는 어느 일정 수치에 이르게 되면 보행 속도 값은 0으로 된다. 그러나 본 연구에서는 Jin<sup>7)</sup>의 연구결과로 밝혀진 시계(視界) 불능 조건에서 사람의 최소 속도 0.3m/s를 적용하였으며 기본 보행 속도는 SFPE에 제시된 피난민의 이동속도를 참조하였다.<sup>8)</sup> 관찰 및 실험을 통해 입증된 바에 따르면, 특정 집단의 피난유동 속도는 인구밀도의 함수로써, 인구밀도가 0.54명/ $m^2$ 보다 적을 경우, 피난민들은 다른 사람들의 속도와 상관없이 각자의 속도로 이동하게 된다. 본 연구에 설정된 인구밀도는 0.833명/ $m^2$  이므로 임의적 속도인 1m/s를 설정하였다. Fig. 1은 식 (1)이 도출되는 감광계수와 보행속도와의 반비례 관계를 나타낸다.

### 2.3 시뮬레이션 시나리오 작성

#### 2.3.1 공간 모델링

##### ① artisoc의 공간 모델링

artisoc에서의 공간은 Fig. 2와 같이 가로, 세로,높이 60×60×3  $m^3$ 이며, 중앙 분리벽을 중심으로 A, B의 2 공간으로 분리된다.

비상구의 위치는 artisoc과 Pathfinder 모두 동일한 위치로 EXIT 1~4로 구성되어 있다. 재실자는 EXIT 1 및 2의 후방 20m 이격거리 기준으로 각각 100명씩 랜덤 배치하였다. 주 비상구는 EXIT 1 및 2로써, 인간의 귀소본능에 의해 대피가 이루어지도록 기본적 비상구로 설정하였다. 그러나 EXIT 3 및 4는 위험정보전달에 따른 분산대피시 활용 가능하도록 설정된 비상문으로써 평상시 사용되지 않도록 설정하였다. 따라서 화재발생시 안내 정보를 받은 사람만이 EXIT 3,4의 비상구로 대피 가능하다. artisoc은 Pathfinder와 달리 대피자에게 정보전달 기능부여가 가능하므로, 위험정보 유도 인자를  $x$ 로 표시하였으며, 대피자는 대피도중 연기 농도가 낮은 방향으로 유도 정보를 전달하는 조건으로 설정하였다. A구역과 B구역 사이에는 EXIT 1과 2로 분산대피를 유도하는 인자 ①이 고정되어 있다.

B구역에는 2개씩 추가시켜 ②,③,④,⑤와 ⑥,⑦,⑧,⑨의

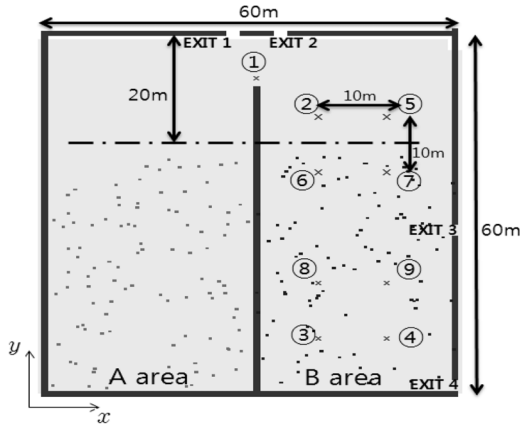


Fig. 2. Space modeling of simulation

유도인자가 각각  $x$ 방향 10m,  $y$ 방향 10m의 간격으로 설치되었고, 증가하는 유도인자에 따른 대피결과의 변화를 분석하였다. 재실자들의 기본적인 대피 동선 알고리즘은 상용화 프로그램에서 사용되고 있는 A\*알고리즘<sup>9)</sup>을 적용하였다.

A구역에는 유도인자를 설치하지 않았고, EXIT 1 및 2로 귀소본능에 의한 대피만 하도록 설정하여, A구역과 B구역의 대피 결과를 비교 분석하였다.

② Pathfinder의 공간 모델링

Pathfinder의 공간 모델링은 artisoc과 동일하게 Fig. 2와 같이 되어있으나 위험정보 유도 인자의 개념 설정의 기능이 불가능 하므로 위험정보 유도인자인 ①~⑨의 기능이 없는 상태로 설정되었으며, 자동적으로 A\*알고리즘을 통해 최단거리 분산대피가 이루어지지만 artisoc과의 안전대피 인원수를 비교하기 위해 EXIT 3 및 4를 설정하여 대피하는 인원수를 산출할 수 있도록 하였다.

2.3.2 위험정보전달 Database 설정

본 연구에서는 화재 시 발생하는 연기의 농도변위를 위험정보 값으로 설정하였으며 artisoc과 연동하여 보행속도를 감속시키도록 설정하였다. 화재가 발생했을 시 화재실에서 생성되는 연기량은 매순간 변동하며, 위치별 연기농도는 실시간적 차이가 발생한다. 따라서 시간에 따른 공간좌표별 정량적인 연기농도 값을 산출하기 위해 화재해석 프로그램인 FDS<sup>10)</sup>를 사용하였다. A, B구역 재실자의 대피를 비교하기 위해서, 프로판이 연소하여 5000kW의 열 방출을 할 수 있도록 화원을 Fig. 3에서 보는 바와 같이 A구역의 좌표 값 (25,30)에 위치시켰다.

연기농도 값은 밀폐된 공간 안에서 110초간 발생하였으며 10초 간격으로 CSV 파일로 출력하였으며, 대피프로그램으로 활용한 artisoc의 공간 정보 값으로 적용하였다. Fig. 4는 Fig. 3의 A구역을 기준으로 나타낸 연기 농도 공간 정보를 나타낸다.

Fig. 5는 대피시물레이션의 수행순서를 흐름도로 나타

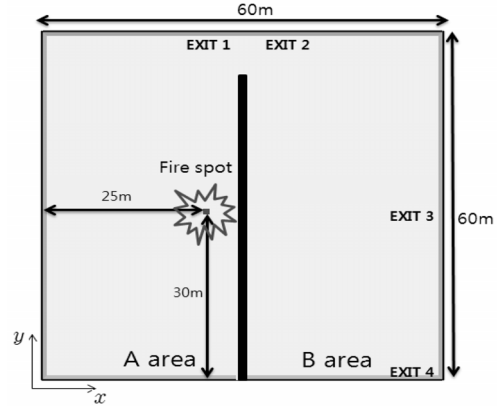


Fig. 3. Position of Fire spot in FDS

	EXIT 1				EXIT 2				
1m	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$
1m	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$
	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$
	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$

(연기 농도 단위 :  $\text{kg/m}^3$ )

Fig. 4. CSV data imported to artisoc

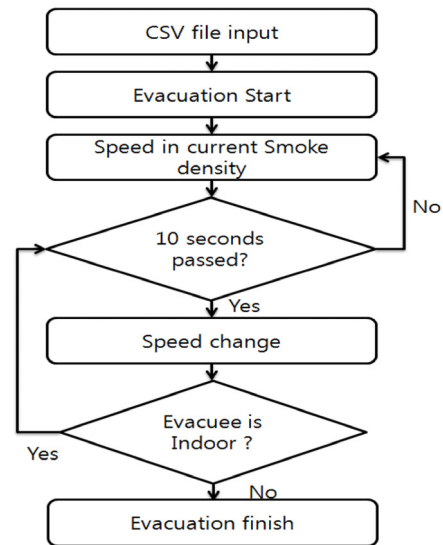


Fig. 5. Flow chart of evacuation simulation by the effectiveness of smoke density

낸 것이다. 대피자는 실시간으로 변화하는 공간좌표를 기준으로 10초 간격의 가시도 공간정보에 의해 대피가 종료될 때까지 대피속도가 변화한다. 모든 대피 공간은 10초마다 색깔의 변화를 주어 연기 농도변화를 나타냈다.

### 3. 시뮬레이션 결과 비교 및 분석

동일 조건이라도 artisoc과 Pathfinder에는 구현 기능상에 차이가 있기 때문에 결과에 대한 정성적·정량적 분석을 함께 하였다.

#### 3.1. 시뮬레이션 결과의 정성적인 비교 분석

Fig. 6은 artisoc, Pathfinder의 시뮬레이션 상황을 30초, 60초, 90초의 3조건 대해 각각을 정성적으로 비교하기 위해 FDS의 연기 확산 모습과 중첩된 화면으로 나타낸 것이다. (a)와 (b)는 30초에서의 artisoc과 Pathfinder의 대피 상황을 나타낸다. (a)에서 A구역의 점선 표시 구간에서는 연기농도에 따른 가시도 저하에 기인하여 대피가 지연되고 있는 현상을 확인할 수 있다. 또한 B구역에서는 EXIT 2로 대피하는 사람과 유도인자에 의해 EXIT 3~4로 우회

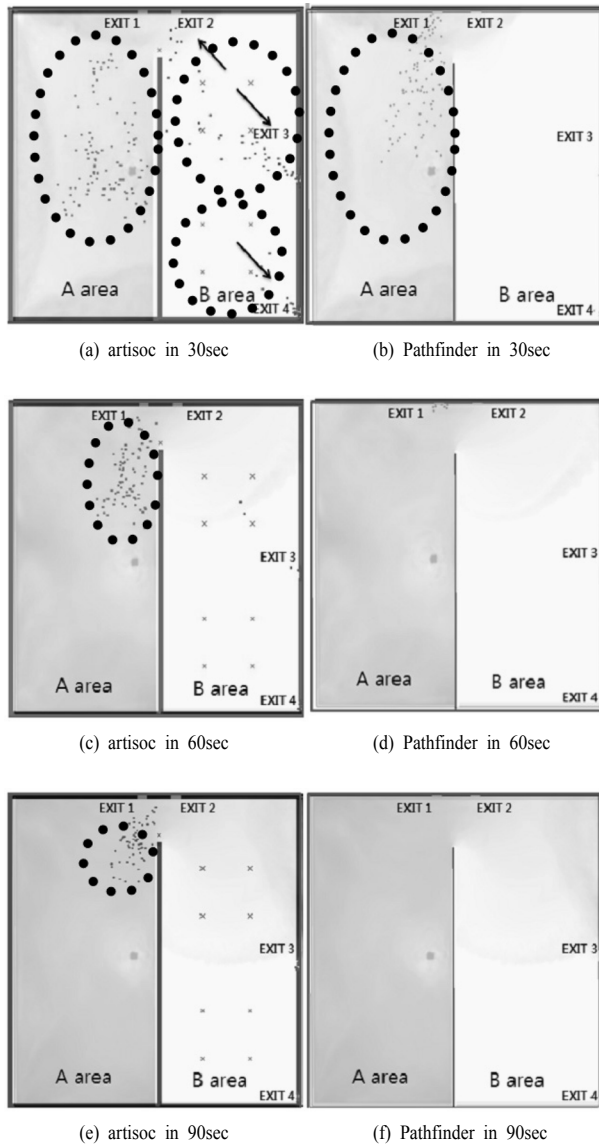


Fig. 6. Overlap result of Simulations

분산 대피하는 효과의 구현을 확인할 수 있다. (b)의 A구역은 연기의 영향에 상관없이 일정한 대피 속도를 유지하여 대피하고 있고, B구역에서는 이미 A\*알고리즘에 의해 최단거리 분산대피가 이루어진 결과를 확인하였다. (c)의 60초에서의 대피 상황은 연기에 의해 계속 감속하여 느리게 이루어지고 있는 동시에 B구역의 분산대피가 종료되어 가고 있는 반면, (d)의 60초에서는 이미 대피가 거의 종료되었다. 90초 조건에서도 (e)의 대피는 가시도 저하에 따른 대피 속도 저하 알고리즘 적용에 의해 종료되지 않음이 확인되었다. 따라서 ‘연기에 의한 가시도 저하’ 변수의 적용 유무를 통해 대피 속도 결과에 차이가 났으며, 이 변수를 적용할 수 없는 Pathfinder의 빠른 대피 결과는 ‘대피 속도 감소’의 위험성이 결여된 것을 알 수 있다.

#### 3.2. 시뮬레이션 결과의 정량적인 비교 분석

artisoc과 Pathfinder의 대피 시간과 안전 대피 인원수의 정량적인 비교는 실험결과와 그래프인 Fig. 7을 바탕으로 3.2.1과 3.2.2에 각각 정리되었다. 총 대피시간의 비교를 위해서는 각 시뮬레이션의 A구역을, 안전 대피율을 비교하기 위해서는 각 시뮬레이션의 B구역을 비교해야 한다.

##### 3.2.1 총 대피시간의 비교 분석

artisoc에서의 A구역은 화재가 발생 하자마자 연기가 급속도로 확산됨에 따라 재실자들의 가시도 저하에 따른 대피 속도가 감소되었고 대피시간은 평균 155초로 산출되었다. Pathfinder는 artisoc과 같은 연기에 의한 가시도 저하 기능이 없으므로 대피 속도의 감소 없이 63초가 산출되었다. 대피 시간 결과 비교를 통해 ‘연기 농도에 의한 가시도 저하의 영향’을 대피 변수에 반영하지 않으면 ‘대피 속도 감소’의 위험성이 결여된 대피 결과가 도출된다는 것을 알 수 있다.

##### 3.2.2 안전 대피율의 비교 분석

artisoc의 B구역에서의 경로 분산 대피자 수는 위험 정

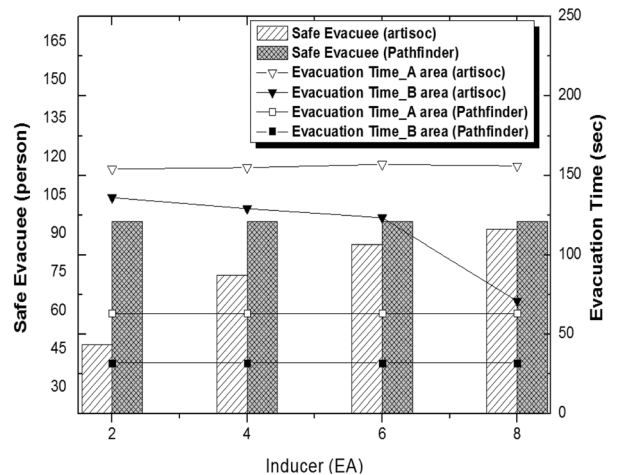


Fig. 7. Evacuation time and number of safe evacuee by number of exit guidance lights

보 유도인자(Inducer)가 2개씩 증가함에 따라 비례하여 47명, 74명, 86명, 92명으로 증가하였고, 대피 시간은 이에 반비례하면서 136.0초, 129.0초, 123.3초, 71초로 감소하였다. B구역의 재실자들은 화재가 발생하자마자 귀소본능에 의해 EXIT 2를 향해 대피를 시작하였다. 그러나 주변에 위치한 위험 정보 유도 인자에 의해 상대적으로 연기 농도가 낮은 방향에 위치한 EXIT 3 및 4로 대피 경로 변경이 이루어졌기 때문에 안전 대피 인원을 대피 시간을 감소시키며 확보할 수 있었다. 반면에, 이러한 인간의 귀소본능, 위험정보 유도인자(Inducer)의 개념을 적용할 수 없는 Pathfinder는 EXIT 3 및 4로 대피한 안전 대피 인원수가 95명으로 일정하였다.

두 시뮬레이션의 안전 대피 인원수 결과만으로 보자면 Pathfinder의 결과가 artisoc의 결과보다 우수하다. 그러나 자신이 주로 이용했던 경로로 이동하는 인간의 ‘귀소 본능’, 화재 발생시 위험 정보를 전달하는 ‘유도 인자’, 위험 정보를 전달 받고 우회해서 대피하는 ‘안전 대피 인원 확보’ 등의 다양한 변수를 고려했을 때, 실제에 근접하여 신뢰할 수 있는 결과는 artisoc의 결과이며 더 우수하다고 볼 수 있다. 대규모 피난 실험을 실제 실험으로 반복해서 대피 안전성을 평가하는 것은 많은 인력과 시간이 필요하며 적지 않은 비용이 소요되기 때문에 컴퓨터 대피 시뮬레이션을 이용해서 분석하는 만큼, 실제 상황에서 고려해 볼 수 있는 다양한 변수들이 적용된 시나리오의 시뮬레이션 평가가 신뢰성이 더 높기 때문이다.

#### 4. 결론

본 연구는 대공간에서의 피난계획 수립을 위해서 화재 발생시 연기농도와 같은 위험인자가 고려된 가시도 저하에 따른 분산 대피를 MAS 기반의 피난시뮬레이션을 활용하여 도출하였으며, 상용화된 피난시뮬레이션과의 비교 분석을 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) 연기에 의한 가시도 저하에 따른 MAS 기반의 피난 시뮬레이션은 상용화 피난시뮬레이션보다 실제 상황에 근접한 다양한 변수가 고려된 결과를 도출함으로써 대피 안전성 평가의 신뢰성을 높일 수 있다.

2) 성능위주설계의 피난 시뮬레이션에 의한 대피 안전성 평가는 최적의 피난계획 수립을 목적으로 하는 만큼, 소방 설비의 설치 사양과 더불어 실제 상황에 기반 한 다양한 변수를 적용해야만 한다. 따라서 본 연구의 결과를 통해 그 필요성을 입증할 수 있었고 향후에 추가적인 MAS 기반 피난 시뮬레이션 연구에 기초 자료로 사용될 수 있다.

#### References

- 1) Gyeonggi-do fire disaster prevention research team, “A Study for Strategic Development of Fatalities Reduction Policy”, 22th Fire Administration Development Research Conference, pp.10-12, 2010.
- 2) SFPE Handbook, “Visibility and Human Behavior in Fire Smoke”, Natl Fire Protection Assn, 3 edition, pp.2-44, 2002.
- 3) D.H. Rie, J.S. Park, “A Study on the Evacuation Time by the Influence of Decreasing Visibility on Fire”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol.22 No.5, pp.21-26, 2007.
- 4) K. Toshiyuki, ‘Pedestrian Agent Simulation Starting with Artisoc’, KOZO KEIKAKU ENGINEERING, pp.7-35, 2010.
- 5) Thunderhead, “Pathfinder Technical Reference”, pp.14, 2011.
- 6) S.H. Lee, J.H. Choi, W.H. Hong, “Analysis on Vertical Walking Speed according to Extinction Coefficient within Smoke Layers in a Staircase”, Journal of the architectural institute of Korea : Planning & design, Vol.27, No.11, pp.357-364, 2011.
- 7) J.H. Klote, “PRINCIPLES OF SMOKE MANAGEMENT”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, pp.32, 2002.
- 8) SFPE Handbook, “Emergency Movement”, Natl Fire Protection Assn, 3 edition, pp.3-369, 2002.
- 9) P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael, “A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,” IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, SSC4, No. 2, pp.100-107, 1968.
- 10) K. McGrattan, “Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide”, pp.6-7, NIST, 2010.