

인공지능 피난유도설비 적용에 따른 최적 대피시뮬레이션 연구

장재순 · 공일천 · 이동호**

국립재난안전연구원 복합재난연구실 · 인천대학교 대학원 안전공학과

*인천대학교 소방방재연구센터

(2012. 10. 9. 접수 / 2013. 6. 5. 채택)

A Study for Optimal Evacuation Simulation by Artificial Intelligence Evacuation Guidance Application

Jae-Soon Jang · Il-chean Kong · Dong-Ho Rie**

Social Disaster Research Division, National Disaster Management Institute

Department Safety Engineering, Graduate School, University of Incheon

*Fire Disaster Prevention Research Center, University of Incheon

(Received October 9, 2012 / Accepted June 5, 2013)

Abstract : For safe evacuation in the fire disaster, the evacuees must find the exit and evacuate quickly. Especially, if the evacuees don't know the location of the exit, they have to depend on the evacuation guidance system. Because the more smoke spread, the less visibility is decreasing, it is difficult to find the way to the exit by the naked eye. For these reasons, the evacuation guidance system is highly important. However, the evacuation guidance system without change of direction has the risk that introduce to the dangerous area. In the evacuation safety assessment scenario by the evacuation simulation has the same problem. Because the evacuee in the simulation evacuate by the shortest route to the exit, the simulation result is same like the evacuation without the evacuation guidance system. In this study, it was used with MAS (Multi Agent System)-based simulation program including the evacuation guidance system to implement the change of evacuation by fire. Using this method, confidence of evacuation safety assessment can be increase.

Key Words : evacuation guidance system, PBD, MAS (multi agent system), dispersion

1. 서론

2012년 8월 13일 국립현대미술관 신축공사현장에서 발생한 화재는 사망 4명, 중경상 24명의 큰 인명피해를 일으킨 사건이다. 급속한 연기의 확산은 현장의 근로자들을 혼란으로 빠트렸으며, 제 때에 피난하지 못한 사람들은 질식사 하였다. 더욱이 연면적 30000m²의 대공간임에도 불구하고 현장에는 피난 유도설비 미설치로 위급 상황 시 작업자들이 입구를 찾지 못하는 대혼란의 상황이 이어져 초기의 대피가 쉽지 않았다. 이어 2012년 8월 16일 전주 롯데시네마에서 발생한 화재에서는 인명피해는 없었지만 적절한 피난 계획에 따른 분산대피가 이루어지지 않았기 때문에 특정 피난로를 향해 관객들이 집중되어 압사 등의 대형 사고가 발생할 뻔하였다.

이처럼 군중이 불특정 위치에 재실하고 있는 공간에서의 화재발생은 연기에 의한 가시도 저하 및 집단적 혼란에 의해 큰 인명피해를 야기할 수 있다. 신축 건축 현장의 화재 예방 연구에서는 지상부와 지하부를 포함하여 화재 위험 저감 대책 중 하나로 피난 경로 유도시설의 설치가 필요하다는 분석결과가 도출되었다.¹⁾ 또한 피난유도설비의 종류

및 위치에 따른 피난 결과가 분석된 연구 결과도 있다.²⁾ 이처럼 설비적인 측면의 조사와 실제 실험에 관련된 선행 연구를 통해서 피난유도설비의 적용은 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 그러나 국내의 피난시뮬레이션 연구 분야의 사례를 보면 피난유도설비의 적용 시나리오는 포함되지 않고 있다. 이는 2011년 시행된 '소방시설 등의 성능위주 설계 방법 및 기준' 4조 10항의 성능위주설계 요소의 성능 평가에 부족한 사항이다. 관련 연구사례를 보게 되면, 상용화된 대피 시뮬레이션을 활용하거나³⁾ 그에 상응하고 기능이 추가된 프로그램을 개발하여^{4,5)} 실제에 근접한 시나리오에 따른 결과를 도출한 대피 안정성을 평가해왔다. 특히, A*알고리즘⁶⁾에 의한 최단거리 대피는 대피시뮬레이션 연구에 있어서 자주 사용되었다. 또한 대피시뮬레이션 결과에 영향을 주는 다양한 변수들은 공학적으로 입증되고 제도적으로 공인된 개념과 수치로써, 상용화된 대피 시뮬레이션 프로그램에 사용자가 쉽게 조작할 수 있도록 프로그래밍 되어 있다.

그러나 현대 공학기술의 발달은 개선된 안전 설비들의 개발 속도를 증가시키고, 이에 부합하는 실제 대피 실험 결과들은 기존의 대피시뮬레이션 평가 방식으로는 설명할 수 없는 우수함을 입증하기도 했다. 실례로 인공지능형 피난유

*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-Gu, Incheon 406-772, Korea

도등 설계에 관한 연구에서는 화재가 발생된 방향과 반대 방향으로 모든 유도등의 방향 제어를 통해 비상출입구로 사람들을 유도시키고자 했다.⁷⁾ 또한 실제 피난 실험에 의하면 대피 상황 시 피난 유도시스템의 화재 지점을 피해 우회하라는 정보 전달에 의해 선택적인 방향 전환의 대피 결과가 나왔다.⁸⁾

따라서 대피시뮬레이션의 연구 방법에 있어서도 실제적인 결과를 얻을 수 있도록, 최신 안전 설비 개념이 변수로 프로그래밍 된 대피시뮬레이션 평가 기법이 필요하다. 대표적인 것이 피난 방향의 선택성이다. A*알고리즘은 대피자를 피난구까지의 최단거리로 대피하게 만든다. 이것은 피난 유도 설비가 없어도 모든 재실자가 혼란 없이 신속하게 대피한다는 시나리오에서의 대피 결과이다. 따라서 건축물 내의 경로를 모르는 불특정 다수에 대한 피난 시나리오에는 적합하지 않으므로, 현실적으로 고려될 수 있는 사항들의 반영이 가능한 시뮬레이션 평가가 필요하다.

본 연구에서는 MAS(Multi Agent System) 기반의 시뮬레이터인 *artisoc*을 활용하여 인공지능기능이 적용된 피난설비의 개념 및 인간의 인지적 특성을 적용하였고, 화재 상황에 따른 대피 방향의 변경을 구현하여 그에 따른 대피자들의 현실에 근접한 우회 대피 효율을 정략적으로 평가하였다. 이를 통해 기존의 대피시뮬레이션으로는 해결 할 수 없었던 문제점을 파악하여 대피 안전성 평가의 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 대피시뮬레이션 연구 동향 분석

실제의 개선된 피난유도 설비의 사항들을 대피시뮬레이션에 적용하기 위해서는 다음과 같은 개념이 필요하다.

1. 건축물 내의 각 위치에 설치된 피난 및 경보 설비의 정보에 의해 길을 찾아가도록 할 수 있어야한다.
2. 재난 발생 시 피난 방향에 대한 정보가 변경 된다면 그 정보에 따라 대피자 역시 피난 방향이 변경되어야 한다.

이와 같은 정보 전달에 의한 대피시뮬레이션을 구현하기 위해 최단 대피 시간만을 계산해서 경로를 설정하고 대피 결과를 도출한 상용화된 시뮬레이터로는 ‘위험 정보의 일방적 수용’이라는 한계가 있다. 실제로 대피 시뮬레이터로 많이 사용되는 *Simulex*, *Pathfinder*, *Exodus* 등은 최단 거리 계산을 마치면 위험 발생 구역일지라도 회피하지 않고 위험도 값을 그대로 수용하며 통과한다.

따라서 다수의 Agent가 상호작용하는 MAS(Multi Agent System) 기반의 시뮬레이터가 필요하다. MAS 기반의 대피시뮬레이션에 존재하는 모든 객체들은 각각의 Agent로 표현되며 특정 변수에 의해 상황 판단을 하고 행동으로 이어지며 상호작용에 의한 결과는 전체 시스템의 현상을 설명할 수 있다.

사회 심리와 물리적 힘의 혼합이 균중의 행동에 영향을 준다고 가정을 하였고, 보행자가 이동할 때 시간동안 상호작용력에 의해 영향 받는 속도에 관한 식이 (1)과 같이 정리되어있다.⁹⁾

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (1)$$

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

f_{ij} : 보행자 상호간의 힘

f_{iW} : 보행자와 장애물 상호간의 힘

식 (1)을 통해서 보행자는 물리적인 법칙과 상호작용력에 영향을 받아 방향 및 속도를 결정하는 것을 알 수 있다. 특히, 귀소본능 및 패닉 상태에 영향을 주는 것은 목적방향 $e_i^0(t)$ 의 값의 변화이다. 그 후 개별 에이전트의 자율성과 다양성을 반영하지 못한 문제점이 각 에이전트의 다양성을 부여한 개량 모델로써 개선되었다.¹⁰⁾ 그 후 이 모델에 폭발, 화재, 홍수 등의 위험 이벤트(hazard event) 개념이 추가되었다. 이 모델에서는 정보의 인지 및 전달이 가능하기 때문에 위험 구역으로의 접근을 막을 수 있으며, 유도 경보 시스템을 통해 균중의 대피 효율을 확인할 수 있었다.¹¹⁻¹²⁾

국내에서는 균중 시뮬레이션 연구 사례에 대해 고찰한 관련 연구가 있으며, Helbing et al.이 인터넷으로 공개한 시뮬레이션 프로그램 *PanicPackage*를 이용한 실험을 하여 대피 상황에서의 안전을 위한 설계 단계에서 세부적 혹은 구체적인 부분을 결정하는 문제에 있어서 정량적인 결론을 도출하였다.¹³⁾ 또한 국내 다른 연구 결과로는 MAS 기반의 시뮬레이터인 *artisoc*을 활용하여 기존 대피 프로그램과의 특징과 발생될 수 있는 문제점들을 비교분석 후 정보 전달에 의한 우회 대피의 필요성을 입증하였다.¹⁴⁾

2.2. 시뮬레이션 대피 안전성 평가

대피 안전성 평가를 위해 *artisoc*을 활용하여 화재 발생 시 연기에 의한 가시도 저하에 따른 속도 감소 개념을 적용하였으며, 연기 농도에 의해 인공 지능적으로 피난 방향을 변화시켜주는 유도 설비의 개념을 추가하여 대피 결과를 분석하였다.

2.2.1. 대피 시나리오 작성

본 장에서는 화재 상황 속에서 에이전트 상호작용력 모델과 위험 인지 모델을 적용한 유도 설비의 개념을 도입하였고, 그에 따른 안전한 장소로의 유도 대피 효율을 분석할 수 있도록 Fig. 1과 같이 시나리오를 작성하였다.

대피가 시작되면 재실자는 기본 설정 속도인 1m/s를 유지하며 A*알고리즘에 의해 최단거리로 움직이는 것이 아니라 이미 학습되어 알고 있는 주된 경로를 통해 대피를 하게 된다. 공간으로 들어왔을 때의 출입구로 다시 되돌아가게 설정한 것은 인간의 귀소 본능을 고려한 것이다. *artisoc*은 Fig. 1의 ㉠의 과정처럼 화재 발생을 판단하는 단계에서 대피 방향을 유지할 것인지의 여부를 결정하며, ㉡

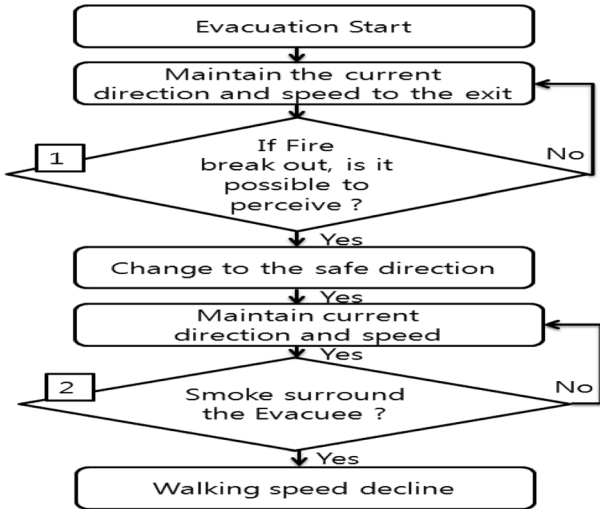


Fig. 1. Flow chart of the evacuation simulation.

의 과정에 이르게 되면 화재 연기에 둘러싸였는지의 여부에 따라 가시도가 저하되어 대피 속도가 감소하게 된다. 본 대피 시뮬레이션 평가에서는 Ⅱ의 과정 여부에 따른 3개의 시나리오를 바탕으로 대피 결과를 비교 분석하였다. 특히, Ⅱ의 과정에는 artisoc의 명령어 내장함수인 ‘MakeOneAgt-setAroundOwn’ 함수를 사용하였고, 가시도 내에 인지한 연기에 대해 회피선택이 가능한 알고리즘을 작성 및 적용하였다.¹⁵⁾

2.2.2. artisoc의 공간 설정

Fig. 2는 artisoc에서의 대피 시뮬레이션 공간 설정 화면

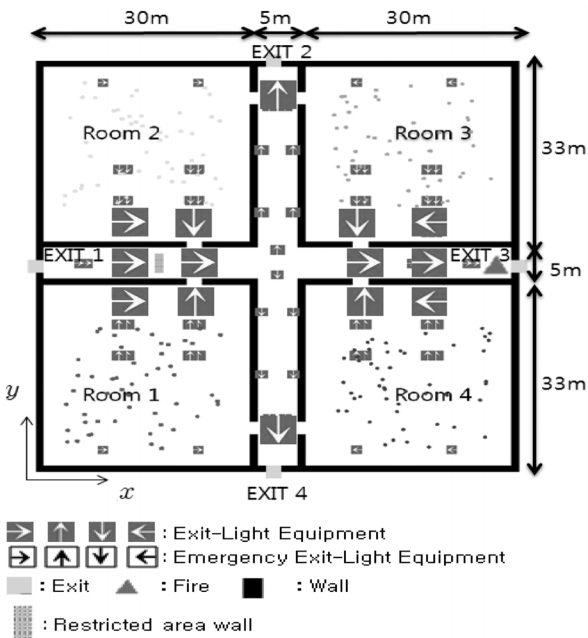


Fig. 2. The initial placement of the evacuee.

이다. EXIT 1은 평상시에는 통행할 수 없는 제한구역의 비상문으로써 통로에는 제한구역 경계막(Restricted area wall)이 설치되어 있다. 대피자들은 들어왔던 곳으로 다시 나가려고 하는 귀소본능을 가지고 있으며 주 피난구는 EXIT 2, EXIT 3, EXIT 4로써 유도등 설비(Exit-Light Equipment)가 피난 방향을 안내한다.

화재 연기를 감지하는 방법에는 두 가지가 있다. 연기 농도를 감지하여 화재 구역을 우회해서 대피 할 수 있는 비상 유도등 설비(Emergency Exit-Light Equipment)로 전환함에 따라 피난 방향이 바뀌게 되는 방법과 유도등 설비 없이 사람이 직접 연기농도를 감지하여 대피하는 방법이 있다.

위험 인자를 인지한 대피자들은 우회대피를 시작한다. 화재의 발생 위치는 Fig. 2의 좌표 값 (69,37) 로써 ‘Fire’ 표시의 삼각형이 있는 위치에 해당된다. 따라서 시뮬레이션 구동시 EXIT 1과 3를 회피한 인원만이 안전 대피 인원수로 계산된다.

2.2.3. 가시도 저하 및 보행속도 설정

화재에 의한 연기 농도 발생 값은 화재 해석 프로그램인 FDS¹⁶⁾를 통해 산출하였고 데이터를 10초 간격으로 정리하여 artisoc의 공간 값에 적용하였다. 가시도 저하와 보행속도의 관계는 선행 연구 결과¹⁷⁾를 토대로 감광계수와 보행속도와의 관계를 적용하였으며, 가시도가 최저값일 경우의 최소 속도 0.3 m/s를 적용하였다.¹⁸⁾ 기본 보행 속도는 SFPE에 제시된 피난민의 이동속도를 참조하여 임의적 속도인 1 m/s를 설정하였다.¹⁹⁾ 따라서 대피자들은 해당 연기 농도에서 가시도 저하에 따른 보행 속도가 감소한다.

3. 시뮬레이션 대피 결과

화재로 인한 연기 농도가 10초마다 공간 정보 값으로 대피자들에게 전달되면서 화재 인지 여부에 따라 차이가 있는 대피 결과로 도출되었으며 나왔으며 Table 1은 대피 시간과 안전 대피 인원수를 나타낸다.

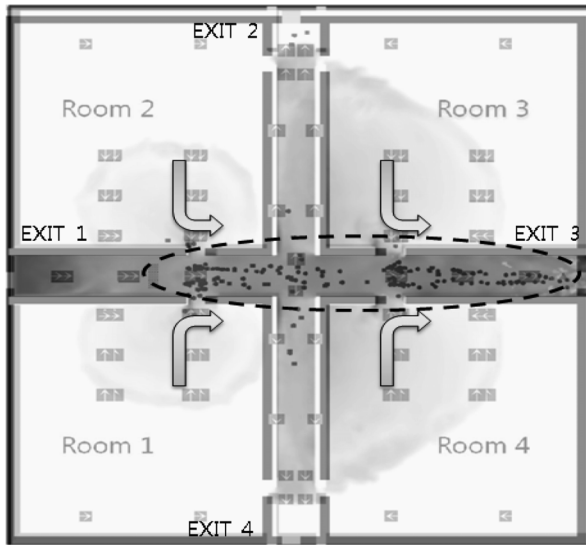
방향 변화가 없는 유도등 설비에서의 대피자들은 화재가 발생한 방향을 포함하여 EXIT 2, EXIT 3, EXIT 4로 85초 동안 분산 대피를 하였으며 안전 대피 인원수는 14명으로 안전대피율이 7%이다.

화재로 인한 연기 농도 값을 감지하여 방향 변화가 있는 유도등 설비에서의 대피자들은 화재가 발생한 방향을 피해 112.5초 동안 EXIT 2, EXIT 4로 200명 전원이 우회 분산 대피를 하였다.

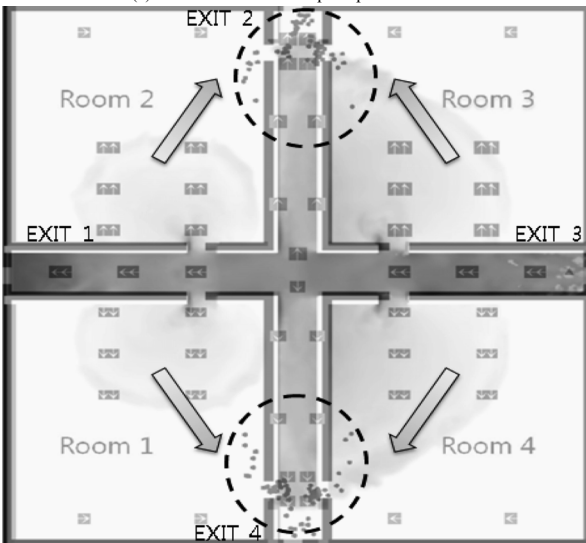
사람이 직접 화재 연기를 인지하고 분산대피한 경우 총

Table 1. Result of evacuation simulation.

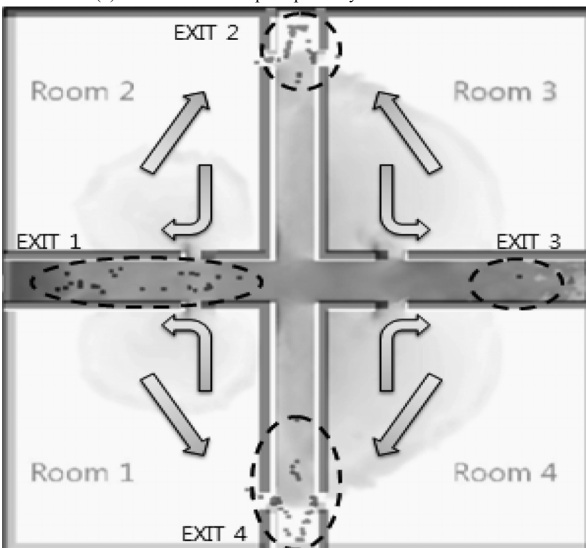
Case	Evacuation time(sec)	Safe Evacuee	
		(per)	(%)
No perception	85	14	7
Perception by inducer	112.5	200	100
Perception by man	128	176	88



(a) Evacuation with no perception at 30sec



(b) Evacuation with perception by inducer at 30 sec



(c) Evacuation with perception by man at 30 sec

Fig. 3. Evacuation by the exit-light equipment.

대피시간 128초, 안전대피율 88%의 인원수 176명의 결과가 도출되었다.

Fig. 3은 FDS의 Smokeview를 통해 확산되는 연기의 모습을 대피 시뮬레이션과 연동시켜 중첩한 것으로, 유도등 설비의 방향 변화 여부에 따른 대피 시뮬레이션 진행과정 중 각각 대피 방향의 차이를 나타낸다. Fig. 3의 (a)는 대다수의 대피가 복도에 가득 차있는 연기를 통과하며 EXIT 3으로 가는 것을 알 수 있다. (b)에서의 대피는 피난 유도등 방향 변화의 영향을 받아서 뒷문인 EXIT 2와 EXIT 4로 우회 대피 하는 것을 알 수 있다. (c)에서의 대피는 우회대피와 최단거리로의 대피, 패닉에 의한 EXIT 3으로 가는 위험구역으로의 대피 모습을 확인 할 수 있다.

실험 결과를 통해 방향 전환이 되는 유도등 설비에서의 대피시간과 사람의 위험 요소 인지에 의한 대피시간은 고정 방향의 유도등 설비에서의 대피시간보다 각각 27.5초, 43초 지연되었지만, 안전 대피 인원 200명과 176명이 EXIT 2와 EXIT 4로 우회 분산 대피함으로써 안전성을 확보하였다.

4. 결론

본 연구에서 적용된 인공 지능 위험 인지 기능을 갖는 MAS기반 대피시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

- 1) 화재시 연기를 위험인자로 고려한 대피 시뮬레이션은 MAS기반의 대피자 인지성능을 적용하여 실제의 대피유도 설비 운영에 따른 대피시나리오의 구축이 가능함을 밝혔다.
- 2) 화재시 연기 농도의 인지 여부와 인지 방식에 따라 안전이 확보된 대피자의 비율이 7%, 100%, 88%로 큰 차이 점을 나타내며 MAS를 적용한 위험인지방식의 도입이 대피자의 안전확보에 효과적임을 밝혔다.
- 3) 기존 시뮬레이션에서는 실현 불가능했던 피난정보전달매체가 대피자에게 피난시간에 미치는 효과를 MAS기반 시뮬레이션으로 실현하였다.

Reference

- 1) Wan-Seok Han, "Drawback and Preventive Measures of Fire Outbreak during New Construction of Buildings", Master Thesis, University of Seoul, pp. 35-36, 2010.
- 2) Geir Jensen, "Fire Protection and Fire Fighting in Nuclear Installations", International Atomic Energy Agency, pp. 110, 2008.
- 3) Ha-Young Kim, Dong-Ho Rie, Jae-Woong Ko and Jung-Yup Kim, "A Study on Fire Risk Assessment of Multiplex Movie Theater", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 2007, No. 4, pp.421-426, 2007.
- 4) Dong-Ho Rie, Se-Ho Ro, Ha-Young Kim and Sung-Wook Yoon, "Development of Pedestrian Evacuation Simulator with Variable Evacuation Speed along with Visibility", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 2010, No. 4, pp. 120-125, 2010.

- 5) Dong-Ho Rie and Jong-Seung 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.
- 6) P. E. Hart, N. J. Nilsson and 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.
- 7) D. O. Kim, H. W. Mun, K. Y. Lee, D. W. Kim, H. J. Gil, H. K. Kim and Y. S. Chung, "The Development of the Escape Light Control System", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 23, No. 6, pp. 52-58, 2009.
- 8) Shin Tadahisa, Yoshikawa Hirotaka and Nagadome kun Ming, "According to the Map Screen and Blinking Arrow for Evacuation Experiments", *Japan Society of Fire Magazine Issue 316*, Vol. 62, No. 1, pp. 40-45, 2012.
- 9) D. Helbing, I. Farkas and T. Vicsek, "Simulating Dynamical Features of Escape Panic", *Nature* 407(6803), pp. 487-490, 2000.
- 10) A. Braun, E. Bodmann, L. Oliveira and S. Musse, "Modeling Individual Behaviors in Crowd Simulation", *Computer Animation and Social Agents 16th International Conference*, pp. 143, 2003.
- 11) A. Braun, B. Bodmann, S. Musse, "Simulating Virtual Crowd in Emergency Situations", *Proceedings of ACM Symposium, Virtual Reality Software and Technology*, pp. 244-252, 2005.
- 12) Tae-hyeong Lee and Chang-Uk Kim, "A Study on Crowd Simulation and an Assessment of Emergency Evacuation Simulation Execution", *Fall Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers* Vol. 20, pp. 569, 2010.
- 13) Tae-hyeong Lee and Chang-Uk Kim, "A Study on Crowd Simulation and an Assessment of Emergency Evacuation Simulation Execution", *Fall Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers* Vol. 20, pp. 572, 2010.
- 14) Jae-soon Jang and Dong-Ho Rie, "A Study for Dispersion Evacuation by Behavioral Characteristics Based on Human Cognitive Abilities", *Journal of the Korea Safety Management & Science*, Vol. 14, No. 3, pp. 159-166, 2012.
- 15) Toshiyuki Kaneda, "Pedestrian Agent Simulation Start with Artisoc", *Shosekikobo Hayama Publishing Co., Ltd*, pp. 69-71, 2011.
- 16) Kevin McGrattan, Editor, "Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide", *National Institute of Standards and Technology*, 2010.
- 17) Soo-Ho Lee, Jun-Ho Choi and Won-Hwa Hong, "Analysis on Vertical Walking Speed according to Extinction Coefficient within Smoke Layers in a Staircase", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 11, pp. 357-364, 2011.
- 18) John H. Klote, "Principles of Smoke Management", *Society of Fire Protection Engineers*, pp. 32, 2002.
- 19) "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", *National Fire Protection Association*, pp. 3-369S, 2002.