

## 업무용 빌딩의 피난 성능 검토에 관한 연구 A Study on the Evacuation Performance Review for the Office Buildings

오혁진<sup>†</sup> · 백승태 · 김우석 · 이수경

Hyuk-Jin Oh<sup>†</sup> · Seung-Tae Baek · Woo-Seok Kim · Su-Kyung Lee

서울산업대학교 안전공학과  
(2003. 2. 25. 접수/2003. 8. 8. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 특정의 업무용 건축물에 대해서 화재 및 피난 시나리오를 선정하여 FAST 3.1.7(전실화재 예측), SIMULEX 32-bit(피난시간의 예측), JASMINE 3.25d(특정시간까지의 연기 유동성 평가) 등의 S/W를 이용하여 이를 평가했으며 그 결과는 다음과 같다. Scenario #1 결과, 화재실에서 전실화재가 발생하지 않았고, 총 피난시간은 25.2 sec로 나타났으며 이때까지의 FAST 3.1.7 결과에서 연기층은 2.4 m를 기록, 연기유동성 평가에서도 채실자들은 연기의 피해(가시거리, 독성)없이 피난이 완료될 것으로 나타났다. Scenario #2 결과, 화재실에서 6 min 33.2 sec에 전실화재가 발생했으며, 수계산에 의한 피난시간은 5 min 23 sec로 나타났다. 본 대상건물에 대해서 선정한 Scenario #1, #2 모두 인명안전설계는 적정하게 설계되었다고 판단된다.

### ABSTRACT

In this study, it reviewed about evacuation performance of a specified Office Building. assessment tools is FAST 3.1.7 (Estimation of Flash Over, Estimation of Layer Height Down Flow Time), SIMULEX 32-bit (Estimation of Evacuation Time), JASMINE 3.25d. (Smoke Flow Assessment of a specified time) Result from Fire Scenario # 1, Flash Over is not generated in Compartment. Evacuation Time is estimated 25.2 sec by SIMULEX 32-bit. layer height until this time (25.2 sec) was estimated 2.4 m by FAST 3.1.7. After ignition until this time (25.2 sec), smoke was not release to the a corridor. In consequence, We concluded that people in building are completing the safe evacuation without the damage of smoke. Result from Fire Scenario # 1, Flash Over generated 6 min 33.2 sec in Compartment. Evacuation Time is estimated 1 min 25.5 sec by SIMULEX 32-bit. layer height down flow time is 1 min 40.8 sec by FAST 3.1.7 and 5 min 23 sec by theoretical calculation. Also, total building evacuation time was estimated 2 min 26.6 sec. After ignition until this time (2 min 26.6 sec), smoke released to the a corridor but it amount was few little. Therefore, generated smoke in compartment not effected to the people in buildings.

**Keywords** : Life safety, Evacuation performance, Fire modeling, Fire hazard

### 1. 서 론

화재 상황을 방화공학적으로 분석하여 Simulation을 통한 적합한 방재대책을 제시하는 성능위주의 방화설계(Performance - Based Fire Protection Design)가 보편화되어 가는 추세에 있다. 따라서, 건축물의 구조

나 용도에 따라 법규에서 정한 기준을 적용하지 않더라도 충분한 안전성이 확보된다면 법규에서 정한 기준을 완화하여 적용함으로써 공사비와 공사기간을 절약할 수 있다.

이에 대해서 최근 들어 증가하는 업무용 빌딩의 화재에 대한 피난성능을 검증하기 위해서 Fire Modeling을 실시해서 이에 대한 대책 및 보완사항을 제시하고자 한다.

<sup>†</sup>E-mail: firedoctor@hanmail.net

## 2. 사례연구 및 Code 검토

### 2.1 사례연구

지난 6년(96-2001년)간 원인별 증가율에서는 전기에 의한 화재가 7.6%, 담뱃불 11.2%, 방화 5.7%, 가스에 의한 경우가 13.8%를 차지했다.

업무시설(사업장)의 화재발생건수를 시간대별로 분석하면 다음과 같다. 11~15시에 전체 36,169건 중에서 64건 발생했으며 19~21시에 37건, 21~23시에는 34건이 발생한 것으로 조사되었다. 따라서, 업무시설의 경우 타 용도에 비해서 화기의 부주의한 관리로 인한 방화에 의한 화재가 주로 발생하며 업무시간 외의 시간에는 신축 건물이므로 설비의 과부하에 의한 화재보다는 설비 사용상의 부주의에 의한 화재가 주로 발생하는 것으로 판단된다.

### 2.2 Code 검토를 통한 안전성 여부 판단

용도분류상 업무시설에 해당하므로 관련 규정을 통해서 설계안의 안전성을 검토하고자 한다.

## 3. 연구 범위 및 평가 절차

### 3.1 연구 범위설정

대상건물에 대하여 다음과 같은 사항을 평가하여 화재 및 피난성능에 관한 적정성을 평가하고자 한다.

- Fire Scenario Selecting
- Evacuation Scenario Selecting
- 대상공간의 연기 층 하강속도 계산
- 대상공간 내 연기확산 평가
- 거주자의 특성 분석
- 대상건물의 피난 시간 및 정체구간 분석
- Simulation 결과를 통한 설계대안의 평가 및 제안

Table 3. Safety review throught NFPA Code-26

구 분	NFPA 101 Life Safety Code-26
용도분류	(신축) 업무시설
수용인원	총 바닥면적의 100 ft <sup>2</sup> (9.3 m <sup>2</sup> )당 1명 이상
Dead End	50 ft(15 m)이어야 한다.
Common Path	100 ft(30 m)로 허용(30명 이하의 수용인원을 갖는 단일 입차공간에 대해서도 허용)
통로폭	44 in(112 cm)
피난로최소폭	36 in(91 cm) 이하여서는 안됨.
출구 용량	- 수직 개구부 : 0.3 in (1.0 cm) - 수평 개구부 : 0.2 in (0.5 cm)
출구의 수	- 각 층마다 설치 - 각 층의 모든 부분으로부터 접근 가능
보행거리	200 ft(60 m) 이하
건물외부의 출구	- 폭 : 10 ft(3 m) 이하 - 길이 : 30 ft(9.1 m) 이하
피난로 수	- 인원 500명 초과~1,000명 이하 : 3개 - 인원 1,000명 초과 : 4개
수용품 분류	중위험 수용품으로 분류.

### 3.2 평가절차

피난에 필요한 피난허용시간(Required Safety Egress Time, RSET)이 화재로 생성된 연기가 바닥에서 2.1 m 이하까지 하강하는데 걸리는 시간인 허용피난시간(Available Safety Egress Time, ASET) 이하가 되는 지를 비교 및 평가하여 피난성능을 검증하고자 한다.

여기서, RSET은 재실자들의 성별, 연령별 구성과 같은 특성과 보행속도, 피난경로의 효율성에 의해서 계산되며, ASET은 피난에 영향을 미치는 조건을 의미한다. RSET을 산출하는 방법은 수계산 공식이나 피난 모델링을 수행하는 방법이 있으며, ASET도 권장되는 수계산 공식이나 화재 모델링을 통하여 예측이 가능하다.

Table 1. Statistical data of fire items at the office building(1996-2001)

구분 \ 연도	1996	1997	1998	1999	2000	2001	증가율
업무시설	591	521	546	530	644	690	2.3%

Table 2. The number of fire items following time(2001)

장소 \ 시간	계	23-03	03-07	07-11	11-15	15-19	19-21	21-23
계	36,169	6089	4696	4680	7144	7314	3,248	2,998
업무시설	349	53	41	56	64	64	37	34

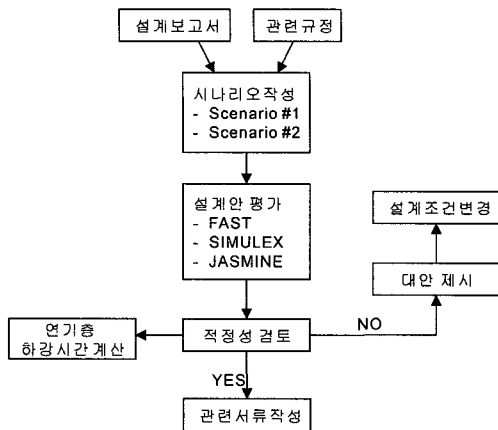


Fig. 1. Process of evacuation appropriateness.

### 4. Fire Modeling

#### 4.1 대상건물의 개요

피난성능 검토를 위한 대상건물의 개요 및 피난계단의 위치는 다음과 같다. 대상건물의 피난설비는 피난

Table 4. Function of each floor

층 별	세부기능	면적(m <sup>2</sup> )
B1	유틸리티시설	528.45
1F	전기실, 통신관련시설	2,171.46
2F	통신관련 및 복지시설	1,626.61
3F	전기설비 및 숙박시설	1,626.61
4F	유틸리티시설	225.90
5F	부대시설	127.44
6F	통제시설	169.02

Table 5. Explanation of Evacuation Staircases

Staircase No.	Width(m)	Length(m)	Connection
Staircase 1	1.8	46.6	B1~F4
Staircase 2	1.8	22.9	F1~F3
Staircase 3	1.13	33.9	F1~F4
Staircase 4	1.13	33.9	F1~F4
Staircase 5	1.0	12.7	B1~F1
Staircase 6	1.0	27.0	F4~F6

계단은 6개소, 비상구 6개소, 비상조명등은 전층에 설치한다.

#### 4.2 Evacuation Scenario

- 실제적인 상황에서는, 건물 안의 모든 사람들이 화재를 인식하여 일제히 피난을 위한 반응행동을 보이지는 않는다. 왜냐하면 매우 넓은 공간으로 인한 시간차에 의한 것으로 경보 및 안내방송을 통해서 일시에 움직일 수 있는 가정.
- 화재 시 전층에 피난 방송이 일제히 발하고 피난 방송을 실시하여 대상건물의 모든 재실자가 일시적으로 피난을 실시.
- 재실자는 층마다 고르게 분포.
- 문은 Open 상태이며, 화재 시 방화셔터가 내려옴.
- 재실자 형태는 Office Staff로 설정을 하였고, 재실자들이 반응시간 설정기준이 분명치 않아 모두 동

Table 6. Personnel setup the evacuation(Fire Scenario #1)

층	B1	1F	2F	3F	4F	5F	6F
인원수	29	100	102	59	10	12	10

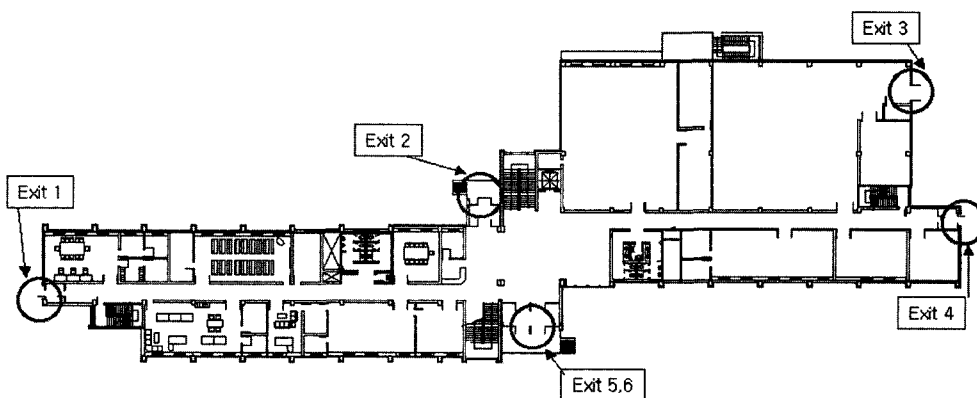


Fig. 2. A location of evacuation staircases.

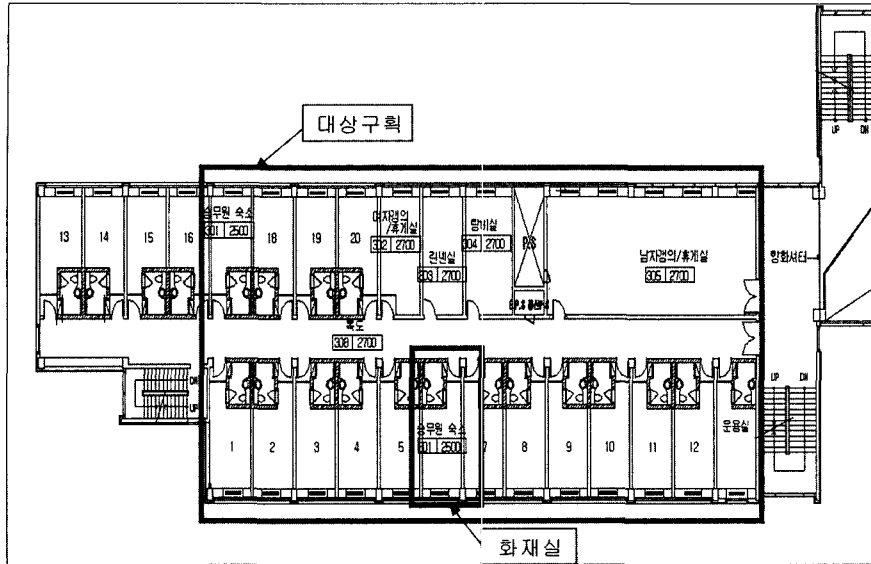


Fig. 3. Scope of the fire room(Fire Scenario #1).

일하게 평균 1.0 sec를 설정하였으며 최대와 최소 값은 0.5 sec를 설정.

### 4.3 Fire Scenario Selecting

#### 4.3.1 Fire Scenario #1

- 화재실 : 3층 직원용 숙소
- 선정이유 : 3층에 위치한 직원용 숙소의 경우 숙소실의 면적이 작고 초기화재 진화에 대비할 수 있는 소화설비가 간이소화기밖에 설치되어 있지 않으므로 초기화재진화 뿐만 아니라 다른 구역으로의 화염 전파·확산이 예상되므로 본 구역을 화재실로 설정하여 시뮬레이션을 실시하기로 한다.
- 화재실의 크기 : 3(W)×6.9(L)×2.4(H)m
- 개구부 면적 : 0.85(W)×2 m(H) 1개소
- 마감재 : T<sup>HK</sup> 12.5 석고보드 2 PLY(Walls)  
경량철골 천장틀 M-BAR(Ceiling)
- 화원 : Mattress with Innerspring, 0.8(W)×2(L)m
- 피난인원 산정 : 대상건물의 인원 산정표에 근거로 층당 사무실 분포로 나누었다.

#### 4.3.2 Fire Scenario #2

- 화재실 : 2층 소장실
- 선정이유 : 2층의 경우에 사무실의 분포가 비교적 높아 존재하는 피난 대상자수가 많으며, 특히 계단실-1을 경계로 건물의 오른쪽 부분은 복도내에 출입문이 별도로 설치되어있어 화재발생시 연기의 정체가 발생, 피난에 영향을 미칠 수 있다고 예측됨

므로 시뮬레이션을 실시하기로 한다.

- 화재실의 크기 : 9(W)×6.6(L)×2.4(H)m
- 개구부 면적 : 1.7(W)×2(H)m 1개소
- 마감재 : T<sup>HK</sup> 12.5 석고보드 2PLY(Walls)  
T<sup>HK</sup>12 압면흡음텍스(Ceiling)
- 화원 : 주화원 Sofa+보조화원 Urethane Chair 3
- 피난인원 산정 : NFPA 101 Code-26의 기준을 적용하였으며 이는 다음의 표 7과 같다.

Table 7. Personnel setup the evacuation(Fire Scenario #2)

층	B1	1F	2F	3F	4F	5F	6F
인원수	57	234	175	175	25	14	19

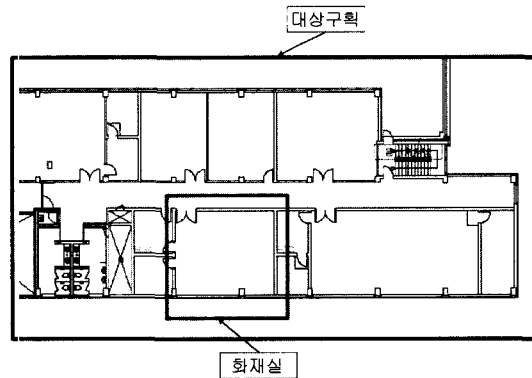


Fig. 4. Scope of the fire room(Fire Scenario #2).

## 5. 평가 결과 분석

### 5.1 Fire Scenario #1

Simulex 32-bit 결과, 3층의 모든 재실자가 화재구획을 벗어나는 시간은 25.2 sec로 나타났다. 25.2 sec까지의 Jasmine 3.25d를 이용한 연기유동 평가 결과 피난

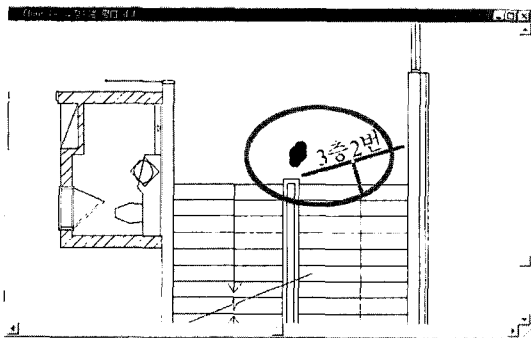


Fig. 5. Evacuation screen of final person in this building (25.2 sec).

Table 8. Results from FAST 3.1.7 until 25.2 sec

	화재실	복도
Upper Layer Temp. (K)	294.5	293.2
Lower Layer Temp. (K)	293.2	293.1
Heat Release Rate (W)	1,679.39	0
Layer Height (m)	1.93	2.4
O <sub>2</sub> Fraction (%)	0.229	0.23
CO <sub>2</sub> Fraction (%)	0.00019	0.00001
CO Fraction (%)	0.00001	0

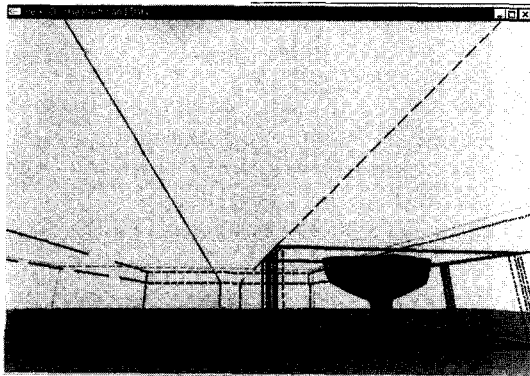


Fig. 6. Results from Jasmine 3.25d until 25.2 sec.

통로인 복도로 연기가 유출되지 않았음을 알 수 있고, FAST 3.1.7 결과에서도 볼 수 있듯이 복도에서의 U.L.T는 293.2K를 기록하였으며, Layer Height는 2.4 m를 기록하여 피난에 지장을 주지는 못한 것으로 판단된다. 대상 구획내의 연기분포에서도 층 피난시간인 25.2 sec에서는 복도로 연기가 누출되지 않았음을 알 수 있어 화재 발생 시 본 대상건물 내의 재실자는 연기로 인한 피해 없이 피난이 완료될 것으로 사료된다.

### 5.2 Fire Scenario #2

FAST 3.1.7 결과, 2.1 m까지의 연기층의 하강시간은 108 sec로 나타났으며 393.2 sec에 Flash Over가 발생한 것으로 나타났으며, U.L.T가 대략 425 sec 경에 900 K를 넘었으며 시뮬레이션 종료시에는 456.7 K를 나타내었다. H.R.R.는 400~410 sec에 최대값(4.2 MW)을 기록하였다. 종료시의 H.R.R.결과와 Sofa의 H.R.R.를 비교해 보면 330초부터 차이가 나는 것을 알 수 있

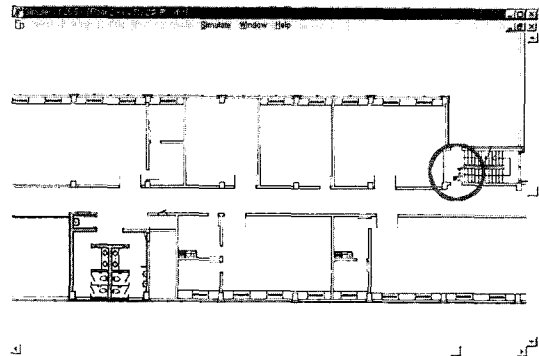


Fig. 7. Evacuation screen of final person in the building (1 min 25.5 sec).

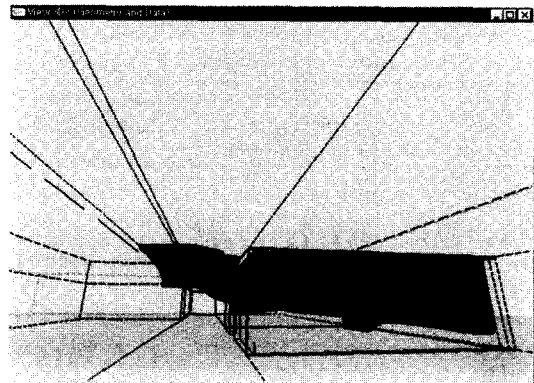


Fig. 8. Results from Jasmine 3.25d until 1 min 25.5 sec.

다. 즉, 330 sec 부근에서 Sofa에서 Chair로 화재가 전파됨을 알 수 있다.

Jasmine 3.25d 결과, 화재실에서 연기의 외부누출에 의한 피난안전성 검토는 다음과 같다.

Simulex 32-bit 결과, 2층의 모든 재실자가 화재구획을 벗어나는 시간은 85.5 sec로 나타났다. FAST 3.1.7 결과, 복도부분의 연기층이 바닥에서 2.1 m(≒2.09 m)까지 하강하는데 걸리는 시간은 대략 108 sec로 나타났다. Simulex 32-bit에서 산출된 수평피난시간은 85.5 sec이고, 면적에 의한 수계산으로 허용피난시간을 산출한 결과 허용피난시간은 5 min 23 sec로 피난에 필요한 피난허용시간이 허용피난시간 이하가 되므로 피난 적정성은 입증된다고 할 수 있다.

### 5.3 감지기 반응시간 예측

#### 5.3.1 Fire Scenario #1

실내에는 차동식 스포트형 감지기(2종)가 설치되어 있고, 복도부분에는 광전식 연기 감지기(2종)가 설치되어 있어 FAST 3.1.7을 이용한 감지기의 반응시간은 246.6 sec로 예측되었다.

#### 5.3.2 Fire Scenario #2

실내에는 차동식 스포트형 감지기(2종)가 설치되어 있고, 복도부분에는 광전식 연기 감지기(2종)가 설치되어 있어 FAST 3.1.7을 이용한 감지기의 반응시간은 119.6 sec로 예측되었다.

### 5.4 피난성능예측

Table 9. Results(Scenario #1)

구분	피난시간	허용피난시간	평가
3F 수평피난시간	4 min 31.8 sec	5 min 23 sec	적정함

표 10. Results(Scenario #2)

구분	피난시간	허용피난시간	평가
2F 수평피난시간	3 min 25.1 sec	5 min 23 sec	적정함

## 6. 결 론

화재 및 피난 성능을 검증하기 위해서는 프로그램의 입력값의 선택이 무엇보다도 중요하다고 판단된다. 본 대상건물의 성능검정 시에 사용된 입력값과 시나리오

를 바탕으로 도출된 결과는 다음과 같다.

(1) 대상건물에 대한 피난 시뮬레이션 결과 층 피난 시간은 각각 Fire Scenario #1의 경우는 25.2 sec, Fire Scenario #2의 경우는 1 min 25.5 sec가 소요되는 것으로 나타났다. 수계산에 의해 산출된 허용피난 시간인 5 min 23 sec 보다 작으므로 연기로 인한 피해 없이 재실자들의 피난이 모두 완료되므로 본 대상건물에 대해서 실시한 피난 적정성은 입증된다고 판단된다.

(2) 피난 적정성의 확보로 인하여 “표 3. Code 검토를 통한 안전성 검토”에서 실시한 인명안전설계시 고려되는 복도 및 통로의 폭, 피난로의 최소폭, 출입문의 용량, 개수 및 보행거리, 피난로의 개수 등이 적정하게 설계되었다고 판단된다.

(3) 본 평가에서 사용된 피난시나리오(가정사항)는 반응시간, 피난개시시간, 안전피난소요시간 등의 가정사항이 제외되어 있기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

(4) 본 연구에서는 특정의 업무용 건축물에 대해서 Fire Scenario#1, #2를 적용하여 화재 및 피난 적정성을 실시를 했으나 추후에는 여러 건축물에 대해서 용도에 맞는 Case Study를 통해서 보다 세밀하게 Fire Scenario 및 Fire Sources를 적용하는 안전성 평가가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Gregory North *et al.*, “Simple Analytical and Numerical Techniques for Modeling Flame Spread on Solids”, Department of Fire Safety Engineering, Report 7014, Lund 2001, Sweden.
2. Peter A. Thompson & Eric W. Marchant, “A Computer Model For the Evacuation of Large Building Populations”, Fire Safety Journal 24, pp.131-148(1995).
3. “Fire Safety in Tall Buildings”, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 8A Published 1992, pp.93-150.
4. 김운형, “할인점 지하매장의 피난성능 개선에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 논문지, 제15권, 제1호(2001).
5. 김운형, “피난계획의 수립, 설계 및 시뮬레이션”, 한국화재보험협회, 방재와 보험 91호(2001. 가을호).
6. 박창복, “건축물의 피난계획”, 한국화재보험협회, 방재와 보험 91호(2001. 가을호).
7. Roderick A. Smith, “Engineering for Crowd Safety”, London, UK, March, pp.17-18(1993).