

오피스빌딩 화재사고 발생 시 피난 적정성 평가에 관한 연구

- A Study on The Estimation of Escape Time In Compartment Fires -

진복권 *

Jin Bok Kweon

정수일 **

Jung Soo Il

Abstract

The trends in building construction these days are moving towards having better work space and greater suitability for the use of information technology, Therefore people can work in a more relaxed, delightful and pleasant environment.

So accidents like fire could cause the mass destruction of human beings. In this paper, we estimated the escape time from a building and simulated the study results on computer to see how safe it would be in a real situation.

Key-word : The estimation of escape time

1. 서론

경기도 화성 씨랜드 화재는 지금도 우리의 가슴을 아프게 한다. 1999년 6월 29일 5~6세의 소망유치원생 29명이 사망하였다. 그 어린아이의 부모는 대한민국이 싫어서 국민연금도 포기하고 캐나다로 이주하였다. 같은 해 10월 인천라이브호프집 화재는 더욱 심각하다. 사망 56명, 부상 81명. 어떻게 이러한 일들이 일어날 수 있을까? 다음 해 9월 19일 전북 군산시 대명동 주택 화재로 20대의 여성 5명이 발화장소를 피하지 못하고 질식사하였다. 2002년 12월 인천시 중구 경향여인숙 화재 시 12명의 사상자를 발생케 하였다. 이와 같이 근래의 건축물화재사고 발생양상은 많은 인명 피해를 수반하고 있으며 이러한 결과 건축물 안전에 대한 위기의식이 심각한 실정이다.

* 인천서부소방소

** 인하대학교

반면 현행의 피난 계획은 대부분 사양규정인 국내법규를 만족시키기에 급급해서 어떻게 하면 최소의 비용으로 최대의 이윤을 추구할 수 있는가에만 초점을 맞추기 때문에 유사시를 고려한 안전공학적 피난계획이 적정하게 검토되지 못하고 건축되고 있는 것이 현실이다.

근래의 건물 설계 및 건축 특징은 office work의 자동화에 기인하는 건물 내 많은 전원의 사용으로 전기 과부하로 인한 화재사고 위험이 높고 지금까지 없었던 건물 내부에 아트리움이라는 대공간을 확보할 뿐 아니라 외부형상도 단순한 각 상형에서 복잡한 형태로 변화하고 있다. 이러한 연유로 사고발생 시 많은 인명 피해를 일으키며 현행 법규만을 만족시키는 건축물 설계로는 그 설계가 사고발생의 경우를 고려한 피난 계획이 아니기 때문에 화재사고 또는 기타 재해사고 시는 위에서 열거한 예와 같이 커다란 인명 손실을 일으키는 원인이 되고 있다.

일반적으로 건축물 설계 시 피난계획이 병행되는 이유로는 건축주 스스로가 자신의 건축물에 대한 안전성 확보를 목적으로 하는 경우와 타의에 의한 조치로 일정 규모 이상의 건물로서 불특정 다수인이 출입하는 용도의 건축물과 특정용도로서 불특정 다수인이 출입하는 특정 용도의 지하심층건물, 그리고 아트리움이 설치되는 건물 등의 특정 건축물에 대하여 허가심의 과정에서 방재계획서 작성을 요구하는 건축물에 한하여 인명의 안전한 대피를 확인하기 위하여 피난계획을 작성하는 경우로 구분하고 있으나 건축주 스스로가 피난계획을 입안하는 경우는 그 빈도가 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 화재 등 비상상황발생 시 건축물에 대한 피난 시간을 현 사양규정에 의한 설계대로 최소피난시간(Require Safety Egress Time : RSET)과 허용피난시간(Available Safety Egress Time : ASET)을 산출 비교 평가하여 건축물에 대한 피난 안전성평가를 하였고 용도별 피난계획은 본 피난 평가에 용도별 요구사항을 수렴하여 시행하면 가능하므로 세부적인 사항은 생략하였다.

또 한편 컴퓨터를 이용하여 실제화재상황을 시뮬레이션 하였고 수치계산과 비교하여 피난적정성 평가를 시도하였다. 본 논문에서는 NFPA101(Life Safety Code : NFPA)와 일본 건축센터의 건축방재 계획지침을 근간으로 기술적인 검토를 하였다.[6]

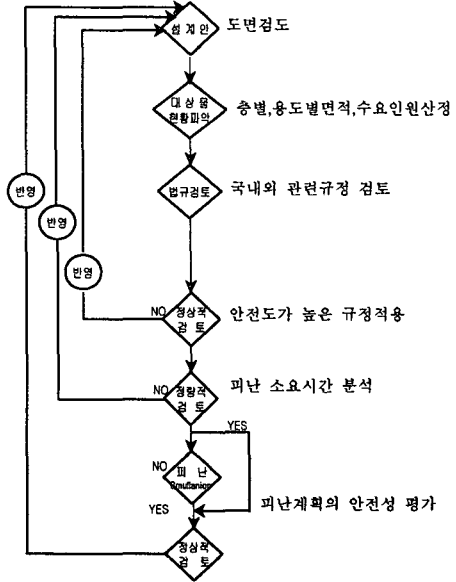
2. 피난 계획과 안정성 평가

2.1 피난계획

화재 등 위급상황발생시 인명안전측면에서 고려할 때 건축물의 피난계획은 가장 중요한 검토 요인이라 할 수 있다. 일반적으로 사고발생시 건물내 재실자의 원활하고 안전

한 피난을 위하여 피난 계획은 피난유도계획과 피난시설계획으로 구분할 수 있으며 그 진행과정은 [그림2-1] 같이 전개 되어간다.

피난유도계획이란 화재 등 사고발생시 재실자들에게 사고발생에 따른 정보를 전달하여 사고상황을 인지할 수 있도록 하는 것을 말하며 이때 피난하는 재실자들이 피난 경로를 상실하지 않도록 하는 조치계획도 포함한다. 피난시설계획이란 피난에 소요되는 시설들의 적절한 배치와 활용성에 대한 검토를 말하는 것으로 계단, 복도 등 피난의 경로가 되는 시설을 말하며 피난동선이 고려된 배치를 통하여 적절한 안전성을 확보하는 것을 말한다.[3]



【그림 2-1】 피난계획의 전개과정

2.1.1 피난계획의 원칙

피난계획의 가장 기본이 되는 원칙은 Fail Safe¹⁾와 Foolproof²⁾이다. Fail Safe는 피난경로의 확보를 목적으로 Foolproof는 위급한 상태에서 인간행동특성이 고려된 피난유도 및 시설배치계획의 수립을 말한다.

2.1.2 피난시설계획

가. 2 방향 피난의 확보

사고발생 시 피난은 건축물내의 모든 공간에서 임의로 선택한 2방향 이상의 피난경로를 계획하는 것이 원칙이다. 불가피하게 막다른 공간이 생기는 경우에는 그 길이를 제한하거나 가능한 작게 해야한다.

나. 피난경로

피난경로는 단순 명쾌한 것이 이상적이며 계단 실까지 여러번 꺾이는 복도, 직각 이외의 구부러진 곳 위치를 알기 어려운 피난계단 등은 피하여야 한다. 피난경로의 구성은 일반적으로 [그림2-2]와 같다.[1]



【그림 2-2】 피난경로의 구성

1) 목적하는 동작이 실패하여 고장이 되더라도 안전한 상태로 되는 것을 의미하며 예를들면 두방향 피난경로의 확보, 고장이 발생하여도 피난설비가 작동하거나 다른 피난시설로의 대체가 가능토록 설계하는 안전공학의 대원칙을 의미한다.
 2) 비정상적인 상태의 인간이 행위를 하더라도 안전한 상태를 유지할 수 있는 안전공학적 배려를 의미하며 사람이 위급한 상태에서도 피난을 원활히 수행할 수 있도록 인간행동적 특성이 고려된 피난유도 및 시설배치계획 등을 말한다.

다. 안전구획의 선정

안전구획이란 피난자를 화염, 연기로부터 재실자를 화염, 연기로부터 보호하면서 계단으로의 연기유입을 방지하는 역할을 하는 공간이다. 오피스 건축물 등 피난에 긴 시간을 요하는 경우에는 발화실로부터 피난계단에 이르는 피난경로상의 화염과 연기로부터 보호된 안전구획은 단계적으로 설정하여 보다 안전하게 방호된 안전구획에 순차적으로 피난하도록 구성한다. 일반적으로 발화실과 가까운 복도를 제1차 안전구획, 특별 피난계단의 전실을 제2차 안전구획, 특별피난계단을 제3차 안전구획이라 한다.

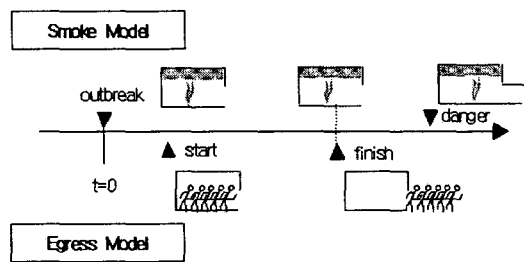
라. 인간특성을 고려

피난은 열악한 환경에서 이루어지므로 비상시의 인간심리를 고려하여 계획하여야 한다. 피난동선은 일상동선과 일치시켜 평소 이용하는 동선을 이용케함으로서 안전피난을 유도한다. 패닉방지를 위하여 장시간 체류의 방지를 위한 조치와 적절한 유도과 정보제공이 가능하도록 하여야 한다.

2.2 피난안전성 평가

2.2.1 개요

피난안전성 평가는 건축물의 설계단계에서 피난설계의 적정성을 검증하기 위해서 수행되며 증, 개축의 경우에도 적용된다. 건축물 피난 안전성 평가는 사양규정의 한계를 극복하려는 성능기준 화재안전설계의 가장 핵심적인 부분이며, 그 전개과정은 [그림 2-3]과 같다.



[2-3] 피난안전성능평가전개과정

2.2.2 평가방법

가. 절차

피난안전성능평가는 예상되는 화재를 가정하고 이에 따른 거실과 복도의 연기유동과 연기층 하강시간을 계산한 후 거실에서부터 안전구획까지의 피난시간을 산출하여 두가지를 비교함으로써 피난 안전성능을 판단한다.

나. 평가요소

피난안전성 평가요소는 최소피난시간(Require Safe Egress Time : RSET)와 허용피난시간(Available Safe Egress Time : ASET)을 산출하여 비교함으로써 평가한다 RSET는 재실자들의 성별, 연령별 특성을 고려한 보행속도, 피난경로의 효율성 안전구

획까지의 거리와 같은 인자들에 의하여 계산된다. ASET의 경우 피난에 영향을 미치는 조건 즉 화재시나리오에 의해 산출된 Flash Over 도달시간, 피난가능높이까지의 연기층 하강시간을 기준으로 하여 산출한다.

다. 평가방법

설계자는 예산되는 화재가 발생하여 피난에 필요한 최소시간과 체류불가능에 이르는 시간과를 비교하여 화실내의 피난자가 피난에 지장을 받는 위험한 상황이 일어나는지의 여부를 분석하여 안전성을 평가한다.

3. Fire Senario Selecting

3.1 개 요

피난계산이란 어떤 층을 발화층으로 보고 그 층에 있던 사람들 전원이 계단실까지 피난하는 상황을 예측하여 그 결과에 따라 건축물의 피난안전성을 평가하는 것이다. 본 연구에서는 표준적인 피난행동 예측방법과 그 결과에 대한 허용기준을 사용하였다. 피난계산에서는 최소피난시간을 구하여 각각에 대한 허용피난시간과 비교평가하는 한편 피난경로상의 혼잡상황도 예측하여 복도나 부속실이 그 곳에 체류하는 사람들을 무리없이 수용할 수 있는 넓이가 되는지의 여부도 확인하였다. 피난평가는 전원이 발화층에서 퇴거하기까지의 시간을 대상으로 한다. 피난평가의 결과에 따라서 피난계획의 변경이 필요할 수도 있으므로 설계단계에서부터 검토하는 것이 바람직하다.

3.2 피난시간의 평가

가. 거실피난시간(T_1)

화재가 발생한 경우 그 거실의 전원이 옥외로 피난을 완료하기까지의 시간으로 원칙적으로 각 거실마다 산출하여 평가한다. 이것은 다음 3가지 식으로 정의된다.

$T_1 = \max(T_a, T_b)$ ----- (3-1)	T_1 : 거실피난시간
$T_a = \frac{p}{1.5 \sum W}$ ----- (3-2)	T_a : P명이 출구를 통과하는데 필요한 시간(sec)
$T_b = \frac{Lx+y}{v}$ ----- (3-3)	T_b : 최후의 피난자가 출구에 도착하는 시간(sec)
	P : 피난자 수(인)
	W : 피난문 폭(m)
	L_{x+y} : (실내보행거리(m))
	V : 보행속도(m/sec)

3식중 식(3-1)은 T_a 와 T_b 값을 산출하여 큰쪽식의 값을 T_1 으로 하며 식(3-2)는 보행 집단이 출입구등의 병목을 통과하는 시간을 구할 때 가장 기본적인 식이다. 식(3-2)에서 계수 1.5는 유동계수(인/m·sec)라 하고 병목의 통과 가능인수를 정한 계수로 그 값을 1.5(인/m·sec)는 과거의 실측도를 근거로 결정되어 지금까지도 널리 채용되어 사용해 오고 있다.

나. 거실허용피난시간(T_2)

$$T_2 = a\sqrt{A} \text{ ----- (3-4)}$$

- a : 천장의 높이가 6m 미만인 거실 또는 그 부분 2
- : 천장의 높이가 6m 이상인 거실 또는 그 부분에서는 3
- A : 그 거실의 면적(m^2)

거실허용피난시간은 그 거실에서 화재가 발생할 경우 실내에서 연기가 퍼지는 방향의 개념을 기초로 하여 화재로 생성된 연기가 바닥에서 1.5m 이하까지 걸리는 시간을 의미한다. 그러나 거실면적이 $100m^2$ 이하이면서 인구밀도가 $0.5\text{인}/m^2$ 미만의 거실에 대하여는 피난평가대상에서 제외할 수 있으며 이들 거실도 총 피난계산시에는 산정하여 평가한다.[4]

3.3. Fire Senario의 구성

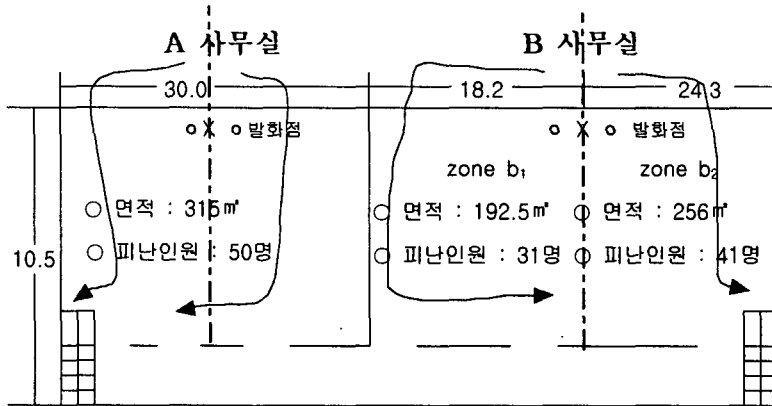
인천시내에 소재한 오피스빌딩으로 지상 30층 지하3층 규모의 건물로서 사무실A와 사무실B 등 2가지 사례를 가지고 시나리오를 구성하는 한편 다음 사항을 가정·평가하였다.

- 가. 발화점을 가상하여 사용불가인 출구는 그 거실에서 피난이 가장 불리한 출구로 가정
- 나. 사무실내의 피난을 위한 RSET 산출
- 다. 적절한 안전시간(Margin of Safety)을 포함한 ASET 계산
- 라. RSET과 ASET를 비교하여 $RSET < ASET$ 여부
- 마. 체류인원산정과 피난계획의 수정 등

3.3.1 건축물의 규모와 피난 특성

가. 건축물의 규모

구분 \ 거실	사무실 A	사무실 B	
		zone b ₁	zone b ₂
면적(m^2)	315	192	256
거실인구밀도P(인/ m^2)	0.16	0.16	0.16
피난인구대상인구P(인)	50	31	41



나. 피난특성

- Occupant Type ----- All male
- Response Time ----- 1.0 sec
- Number of Final Exits ----- 2
- Maximum Dimensions ----- 72.50 , 10.5m

3.3.2 피난시물레이션 소프트웨어

가. Simulex

Simulex는 다층건물에서 거주자가 피난하는 상황을 분석평가하는 피난전용 프로그램으로 개인적인 특성을 반영하면서 비상구를 찾는 전체피난과정을 시각적으로 분석하여 나타낸다. 그러므로 피난시 통로에 정체되어 RSET 시간내에 피난하지 못하는 재실자를 분석할 수 있으나, 화재발생시 연기나 피난시간에 미치는 영향을 반영할 수 없는 한계가 있다.[5]

나. CFAET 316

ASET는 적절한 화재시나리오에 의해 산출된 플래쉬오버시간이나 화재로 생성된 연기가 바닥에서부터 1.5m 이하까지 하강하는데 소요되는 시간 등을 기준으로하므로 Zone Fire Modeling에서 사용되는 CFAST 316을 사용하여 모델링하였다.[7]

4. 피난 평가

사양규정에 의한 피난 출구는 정상인이 화재사고 등이 발생치 않았을 경우 피난하는 것을 고려한 것으로 재난 발생 시 일시에 재실자가 피난할 경우는 예상치 않는 인명의 손실을 초래하게 된다. 본고에서는 일본건축센터에서 사용하고있는 건축 방재 지침에 의한 수리계산으로 평가를 한 후 컴퓨터 시물레이션을 통한 피난 안전성평가를 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.1 수리계산에 의한 거실패난 평가

【표4-1】 거실패난평가

계산항목	사무실A	사무실B	
		zone b ₁	zone b ₂
출구문 폭의 합계(m)	0.8+0.8+0.8=2.4	0.8	0.8
피난문의 폭의 합계ΣW(m)	2.4-0.8=1.6	0.8	0.8
출구 통과시간 T _a (sec)	$\frac{50}{1.5 \times 1.6} = 20.8$	$\frac{31}{1.5 \times 0.8} = 25.8$	$\frac{41}{1.5 \times 0.8} = 34.2$
살내 보행시간 T _b (sec)	31/1.0=31.0	25/1.3=19.2	28/1.3=21.5
거실패난시간 T _i (sec)	31.0	25.8	34.2
거실패용피난시간 _r T _i	$2\sqrt{315.0} = 35.5$	$2\sqrt{192.0 + 256.0} = 2\sqrt{448.0} = 42.3$	
평가 T _i ≤ _r T _i	OK	OK	OK

4.1.1 사무실 A

T_a와 T_b의 소요시간이 T_b가 31.0초이므로 거실패난시간 RSET은 31.0초이고 거실패용 피난시간 ASET는 35.5초이므로 피난에 큰 지장이 없는 것으로, 즉 사고발생시 인명의 피해가 없을 것으로 평가된다.

4.1.2 사무실B의 zone b₁

T_a가 25.8초, T_b가 19.2로 계산되어 그중 큰 것을 RSET로 하므로 RSET은 25.8초이고 Zone b₁의 ASET는 42.3초로 산출되어 ASET>RSET가 되므로 안전한 것으로 분석된다.

4.1.3 사무실B의 zone b₂

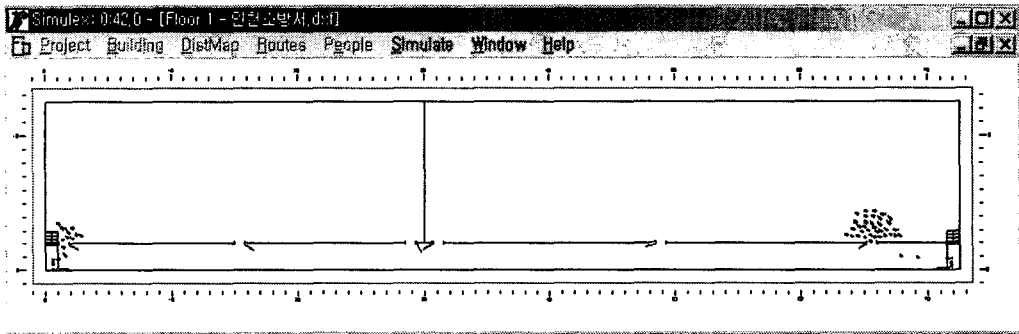
T_a가 34.2초, T_b가 21.5초로써 RSET는 34.2초이며 ASET은 42.3초가 소요되어 피난에 안전한 것으로 평가된다.

4.2 피난시물레이션에 의한 평가

4.2.1 Simulex(사무실A)

[그림4-1]의 경우 피난개시 후 42.0초 경과시의 상황을 나타내는 것으로 8~9명의 체류자가 있는 것으로 분석되며 피난개시 57.6초가 경과될 때 피난완료를 나타내고 있다. 수리계산의 경우 RSET이 31.0초, ASET이 35.5.초로 산출되나 시물레이션의 경우는 57.6sec를 보이고 있어 약간의 차이를 보이고 있다.

【그림4-1】 42초 경과 후 피난상황



【표4-2】 피난시물레이션결과표

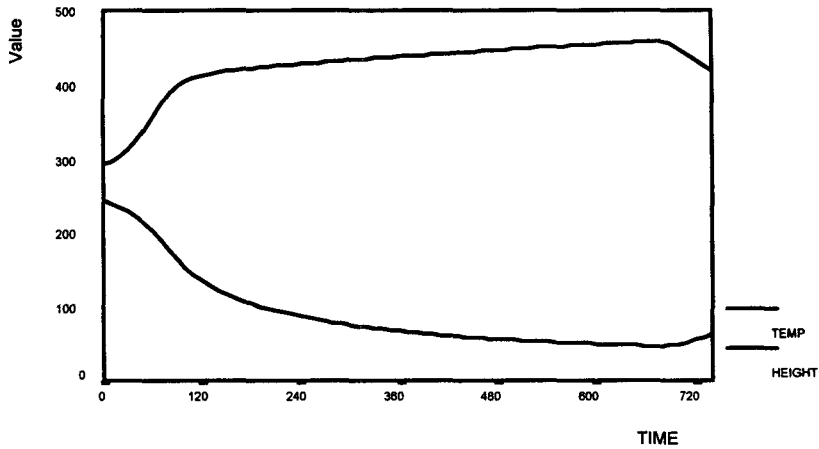
(단위 : 명)

구 분	경과시간		피난개시전		5초		16초		22초		31초		52초		1분24초	
	A실	B실	A실	B실	A실	B실	A실	B실	A실	B실	A실	B실	A실	B실	A실	B실
체류인원	50	72	47	70	33	65	23	47	12	38	피난 완료	29	.	피난 완료		
피난인원	.	.	3	2	17	5	27	25	38	34	50	43	.	72		

4.2.2 C FAST에 의한 평가

화재실의 연기층의 하강이 지면으로부터 1.5m까지 내려오는데 소요되는 시간이 아래 [그림4-2]를 보면 100초가 소요되며 실내온도가 374.07K에 이르는 시간이 70초가 되어 피난에 소요되는 Margin of safety를 ASET가 포함하고 있는 것으로 평가된다

【그림4-2】 Evaluation of Egress



5. 결론

법규에 의한 피난출구의 산정은 정상인이 화재사고 등이 발생치 않았을 경우 피난하는 것을 고려한 것으로 재난발생시 활동상에 재실자가 피난할 경우는 예상치 않는 인명의 손실을 초래하는 사례를 본고서두에서 서술한 바 있다. 그러한 이유로 오피스빌딩 구획공간화재를 가정하여 본 연구에서 피난을 평가하여본 결과는 다음과 같다.

- (1) 사무실A의 피난 안정성 : $ASET > RSET$ 으로 안전함
- (2) 사무실B의 피난 평가 : $ASET > RSET$ 으로 안전함.
- (3) 비상구 체류인원 : 피난완료가 57.6초, ASET가 70초가 되어 비상구에 체류인원이 있어도 연기층이 1.5m 하강 시까지 피난하는데 이상이 없음을 나타낸다.

수리계산의 경우는 피난시물레이션 모두 본 논문에서의 가정 하에서는 피난이 안전한 것으로 평가되나 프로그램자체가 지니는 한계성, 예컨대 가연물의 연소형태에 따른 유독성가스의 시간별 농도변화라든지 장애인이나 노약자들은 본 논문에서 제외되었다. 어쨌든 고층건물 또는 대형 쇼핑몰 등 불특정 다수인이 일시에 많이 모여드는 장소에 대하여는 반드시 공학적인 피난평가를 실시, 건축물 설계에 반영하여 유사시 인명안전에 대비하여야 할 것이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김운형, “건물의 피난시간 설계요소의 분석”, 2003년 춘계 소방학회 학술논문 발표회 논문집, 한국화재 소방학회, pp18~25, 2003
- [2] 김우석, “숙박용도에 대한 피난적정성검토”, 2003년 춘계소방학회 학술논문발표회 논문집, 한국화재.소방학회, pp. 59~65, 2003
- [3] 박창복, “건축물의 피난 계획”, 소방기술자료집 제5권, 소방안전협회, p.16~25, 2002
- [4] 일본건축센터, 건축방재계획지침, 한국화재보험협회, 1997
- [5] Intergrated Environmental Solution Ltd, “Simulex User Manual”, 1998
- [6] NFPA, NFPA 101 Life Safety Code, 한국화재보험협회, 2000
- [7] SFPE, “SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fine Protection Aanalysis and Design of Buildings”, 2000
- [8] Thomson.P.A, “Modeling and Mesurement of Escape Movement”, clbw14, International Symposium and Workshop, 1992

저 자 소 개

진복권 : 소방기술사이고 제4기 소방간부로 인하대학교 대학원에서 경영학석사 및 동 대학원 산업공학과에서 박사과정 중이며, 현재는 인천서부소방서 방호과장으로 재직 중이다. 관심 분야는 안전공학, 방화공학, 시뮬레이션, PBD등 이다.

정수일 : 현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중이고 서울대학교 화학공학과를 졸업. 동 대학교 대학원에서 공학석사. 미국 Univ, of Minnesota에서 공학석사, 홍익대학교에서 경영학박사를 취득하였다. 주요 연구 관심분야는 품질관리, 신뢰성 공학 등이다.