외장재에 의한 동시다발적인 화재의 피난위험성에 관한 연구

민세홍

가천대학교 공과대학 소방방재공학과

A Study on the Evacuation Risk of Simultaneous Fires from Exterior

Se-Hong Min

Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received June 11, 2012; Revised June 28, 2012; Accepted August 13, 2012)

요 약

외장재의 수직화재에 의한 동시다발적인 화재 발생 시 피난위험성을 확인하기 위하여 시나리오에 의한 피난시뮬레이션을 수행하였다. 피난시뮬레이션 결과, 가연성 외장재가 연소하면서 수직화재로 확대되어 개구부를 통해 유입되는 화재에 의해 층 대부분이 550초에서 650초 사이에 허용피난안전시간에 도달하였고, 특히 1층은 358초에, 6층과 10층은 490초와 473초에 피난한계에 도달하였다. 또한, 1층과 26층, 28층~30층의 층 5개 층에서 피난위험성이 나타나는 것으로 분석되었다. 동시다발적인 화재성상으로 인해 모든 재실자가 전관 피난을 하여 15층 이상의 고층 부분에서 병목현상이 심하게 발생하여 피난계단으로 진입이 어렵다는 것을 확인하였다. 특히, 1층의 경우는 발화지점과 가까워서 358초에 허용안전피난시간에 도달하여 상부층에 있는 699명의 피난이 난해한 것으로 분석되었다. 외장재 화재의 위험성 대책으로 불연성 외장재의 사용과 연소·확대를 방지하기 위한 적극적인 진압방법의 도입이 요구된다.

ABSTRACT

In order to study on the evacuation risk when connate fires caused by vertical fire spread of the exterior occurs, the egress simulations based on the relevant scenarios has carried out. As a result of it, ASET (permitted evacuation time) was reached in between 550 to 650 seconds in entire floors after vertical smoke spread from fire of combustible exteriors. In particular, ASET was 358 seconds in the first floor, 490 seconds in the six floor and 473 seconds in the tenth floor. In addition, five floors of all levels, the 1st floor, the 6th floor and the 28th floor ~30th floor, show RSET (minimum evacuation time) which is bigger than ASET as evacuation risk. This result presents occupants in high rise buildings with more than 15 floors might not be able to egress of them using staircases due to huge population attempting to evacuate simultaneously. Particularly, 699 people in the upper levels by smoke from the first floor are having difficulty escaping this building since ASET on the first floor adjacent to the ignition point was 358 seconds which is relatively reached fast. Considering a prevention method of the fire and smoke spread, architects have to use non-combustible exterior in the building's facade to be required as an active fire protection system.

Keywords : Simultaneous fire, Evacuation, Modeling, Pathfinder, Exterior fire, Vertical flame

1. 서 론

건축물 화재 시 발생하는 피해 구분은 크게 인적 피해와 물적 피해로 구분할 수 있으며, 물적 피해보다는 인적 피해 방지에 좀 더 주력하고 있다. 인적 피해를 방지하기 위하여 소방법에서는 피난설비와 경보설비 등을 적용하고 있으며, 건축법에서는 피난계단 또는 특별피난계단을 설치하여 재실자의 피난안전성 확보하는데 노력하고 있다. 이와 더불어 화재 확산을 방지하여 피난안전성을 확보하는 방화구획의 설정 등의 방법이 적용된다.

일반적으로 건축물 내부에서 발생한 화재는 건축법에 따라서 정해진 면적별 방화구획과 층간 방화구획 등에 의해서 화재를 한정시킬 수 있다. 또한, 스프링클러설비 대상 건축물은 화재 발생 시 초기에 작동되어 대부분 헤드가 1~3개 이하가 작동되면서 화재가 제어된다.

그러나 건축물 외장재의 화재는 실내화재와 다른 특징적인 성상을 보여준다. 화재 발생 경로는 크게 2가지로 구분되며, 그 하나는 건물 내부에서 발생한 화재가 개구부를 통해 외부로 분출되어 외장재를 타고 수직 확산하는 경우와 다른 하나는 건물 외부에서 화재가 발생하여 건축물 외

Figure 1. Case of exterior fire.

장재로 전이되어 수직 확산하는 경우이다.

이와 같은 외장재 화재는 실내에서 발생하는 화재처럼 내화구조로 구획하거나 진압할 수 있는 설비가 없어 초기에 소방대에 의해 진압이 되지 않으면 전 층으로 확대되어 동시다발적인 화재 때문에 재실자들의 전관 피난이 필요하게 된다.

Figure 1은 이와 관련된 화재의 사례를 나타내었다. 실내에서 발생한 화재가 외장재를 타고 전 층으로 확대된 해운대 우신 골든스위트 화재와 외부 에어컨디셔너 실외기에서 발생한 화재가 외장재로 옮겨붙어 전 층 확대된 강남 화진빌딩 화재가 대표적인 사례라 할 수 있다.

이러한 동시다발적인 화재의 성상에 대해 허용안전피난시간(ASET, Available Safety Egress Time) 산정은 민세홍과 이재문의 ‘개구부를 통한 동시다발적인 화재 성상에 관한 연구⁽¹⁾’에서 인용하였으며, 본 연구논문에서는 필요안전피난시간(RSET, Request Safety Egress Time) 산정을 위해서 미국의 THUNDERHEAD Engineering에서 개발된 Pathfinder Ver. 2011.1.1104를 이용하여 피난모델링을⁽²⁾ 실시하여 동시다발적 피난에 대한 위험성을 분석하고자 한다.

연구절차는 본 대상건축물의 동시다발적인 화재에 대한 피난을 평가하기 위하여 외장재 화재에 대한 위험분석은 이미 수행한 바 있다⁽¹⁾.

이 연구결과를 바탕으로 시나리오에 의한 피난시뮬레이션을 수행하여 재실자에 대한 피난 안전성을 검증하고, 동시피난 시 나타나는 문제점을 분석하여 이에 대한 대책을 마련하여 외장재 화재에 대한 방호 및 피난안전성을 확보하기 위한 대안을 제시하고자 한다.

2. 연구동향

피난에 관한 연구는 화재와 더불어 소방분야에서 가장 많이 다루어지는 분야이다. 그동안의 연구는 피난 안정성 평가와 시뮬레이션 개발, 피난시스템과 피난계획, 그리고 국내외 피난기준에 대한 분석 등 심도있는 연구가 진행되고 있다.

최근에 민세홍과 이재문⁽³⁾은 공동주택의 화재위험성에

서 실내의 계단을 통해 전층으로 연기가 확대될 경우의 피난대책에 대해서 연구하였으며, 박외철⁽⁴⁾은 고층건물에서 피난 시 계단 폭에 의한 피난효율성과 수용인원 산정의 문제점에 대해서 연구하였다.

정수영⁽⁵⁾은 피난시간계산에서 ASET과 RSET에 대하여 NFPA 101을 인용하여 구성요소에 대한 연구를 수행하였다.

피난안전성 확보 및 효율적인 피난을 위해 조기 피난을 위한 방법으로 우선시 되는 것이 경보 및 안내방송에 대한 연구이다. 백은선⁽⁶⁾은 화재비상경보음의 전달특성을 건축물의 계획 시에 예측 비교한다면 화재 경보의 인지 가능성을 높일 수 있음을 증명하였고, 김종태⁽⁷⁾는 아날로그 주소형 감지기와 자동화재탐지시스템을 통해 화재발생 지역을 인지하여 경보 및 피난이 가능하도록 시스템을 구현하였다.

3. 피난 모델링연구동향

3.1 피난시뮬레이션 Input Data

피난시뮬레이션에 적용된 재실자의 인체치수는 기술표준원 산하 Size Korea에서 제공되는 한국인의 인체치수 데이터베이스를 활용하였다⁽⁸⁾.

보통 피난시뮬레이션에서 사용되는 인체치수는 어깨너비(Shoulder Width)가 반영되며 Table 1과 같다.

피난시뮬레이션에 적용된 보행속도는 일본의 平成12年施行建設省告示(2000)에서 제시된 피난예측시간에서 채용하는 보행속도를 적용하였으며⁽⁹⁾, Table 2와 같다.

3.2 모델 설정

대상 건물은 지상 30층 건물로서 Table 3에 나타낸 바와 같이 각 층당 거실의 바닥면적은 418.5 m²로 하였으며, 용

Table 1. Body Size in Population Unit : (mm)

Type	Child	Adult	Elderly
Male	290.51	400.47	372.44
Female	291.06	361.15	345.6

Table 2. Walking Velocity

Use	Place	Direction	Walking velocity
Office	Stairs	Up	0.58 m/s
		Down	0.78 m/s
	Etc.	-	1.3 m/s

Table 3. Building Descriptions

Use	Floor	Floor area (m ²)	Occupant load
Office	1F~30F	418.5	45 Person
Total		12,555	1,350 Person

Figure 2. Occupant load arranged (floor).

Figure 3. Occupant load arranged (section).

도는 업무시설로 설정하였다.

1개 층당 수용인원 산정은 ‘소방시설 등의 성능위주 설계 방법 및 기준 별표 1’(이하 별표 1로 한다.) 중 수용인원 산정기준에 따라 9.3 m²당 1인을 산정하여 한 층 수용인원은 Figure 2와 같이 45명으로 산정하였다⁽¹⁰⁾. 건물 전체의 수용인원은 Figure 3에 나타낸 바와 같이 1,350명이다.

피난을 위해 사용되는 직통계단은 중앙에 2개소가 특별 피난계단 구조로 되어있다. 특별피난계단의 출입구 폭은 900 mm로 설정하였으며, 계단 너비는 1,200 mm로 하였다.

3.3 피난 시나리오

건물은 (가로 10 m)×(세로 10 m)×(높이 90 m)로 한 층을 3 m로 하여 30층으로 설정하였으며, 개구부는 (가로 1 m)×(세로 1 m)로 한층 당 3개를 설치하였다. 지상 1층에 건물 외부에 설치한 점화원의 열방출량은 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 데이터인 쓰레기 컨테이너의 최대 열방출량인 300 kW를 적용하였다.

Table 4. Recognition Time (min.)

Use	W1	W2	W3
Office	<1	3	>4

설정된 점화원에서 화재가 발생하여 인접한 알루미늄복합패널 외장재에 착화되어 수직으로 화재가 확산하며, 확산한 화재는 외벽에 설치된 개구부를 통해 해당 층으로 유입된다. 피난은 개구부를 통해 연기가 유입될 때 피난을 개시하는 것으로 가정하였다.

피난은 30층에 있는 모든 인원이 전관 피난을 하는 것으로 하였으며, 설치된 2개의 피난계단을 이용하여 재실자가 건물 밖을 벗어났을 때 피난이 완료된 것으로 판단하였다.

피난 시 재실자의 반응시간은 별표 1⁽¹⁰⁾의 피난시간 지연기준에 의해서 W2(3분)를 적용하였다. Table 4에 반응응답시간의 기준을 나타내었다.

W1은 방재센터 등 CCTV 설비가 갖춰진 통제실의 방송을 통해 육성 지침을 제공할 수 있는 경우이며, W2는 녹음된 음성 메시지 또는 훈련된 직원과 함께 경고방송 제공할 수 있는 경우이고, W3는 화재경보신호를 이용한 경보설비와 함께 비훈련 직원을 활용할 상황에 해당된다⁽¹⁰⁾.

4. 결과 및 고찰

외장재 화재에 의한 동시다발적인 화재 시 피난안전성 평가에 대하여 각 영향 인자별로 다음과 같이 분석·정리하였다.

4.1 허용안전피난시간 산정

허용안전피난시간은 개구부를 통한 동시다발적 화재에서 실내로 유입된 연기 및 열적 영향을 층별로 바닥에서 1.8 m 높이(호흡안전선)에서 측정하여 산정된 값이다. Table 5에 층별 허용안전피난시간을 나타내었다.

Figure 4는 시간대별 층별로 피난허용시간에 도달하는

Table 5. Result of Fire Simulation (sec.)

Stories	ASET	Stories	ASET	Stories	ASET
1	358	11	593	21	630
2	548	12	594	22	607
3	670	13	589	23	643
4	627	14	536	24	628
5	620	15	623	25	629
6	490	16	572	26	639
7	642	17	612	27	654
8	587	18	558	28	654
9	575	19	638	29	660
10	473	20	626	30	683

Figure 4. Time-stories graph (visibility 10 m).

Figure 5. Risk of smoke and visibility (X axis).

시간을 나타낸 그래프이다. 층 대부분은 550초에서 650초 사이에 허용피난안전시간에 도달하는 분포를 보였으며, 발화 장소와 가장 가까운 개구부가 있는 1층이 가장 빠른 358초이며, 6층과 10층이 490초와 473초로 피난위험한계에 도달하였다. 층별로 피난위험한계 도달시간의 차이는 외기 조건에 풍속을 2.4 m/s 고려한 것이 가장 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

Figure 5에서 좌측은 최상층 부분에서 벽면을 타고 흐르는 연기가 개구부를 통해 유입되어 683초에 허용안전피난시간에 도달한 모습을 나타내며, 우측은 가장 먼저 허용안전피난시간에 도달한 1층에서 358초에 Visibility에 대한 X축 단면을 나타낸 것이다⁽¹⁾.

4.2 필요안전피난시간 산정

필요안전피난시간 산정 시 각 층의 재실자들이 2개의 특별피난계단을 이용하여 계단실로 이동하여 최종 피난층

Figure 6. Simulation result (30F).

Figure 7. Bottleneck in staircase (200 sec.).

인 1층을 통해 건축물 바깥쪽으로 나갈 때 최종피난이 완료된 것으로 보았다.

층별 필요안전피난시간은 해당 층의 마지막 재실자가 계단 출입문을 통해 계단 내부까지 들어가는 시간으로 측정하였다.

Figure 6은 최고층인 30층에서 피난시물레이션을 실행한 결과로, 피난개시 후 200초까지는 원활하게 피난이 진행되다가 저층부에서부터 피난계단 내에 누적된 피난인원에 의해서 피난개시 후 683초가 넘도록 계단으로 진입을 못하는 상황이 발생하는 것으로 나타났다.

고층건물에서 전관 피난을 할 때 많은 재실자가 동시에 피난하기 위하여 계단으로 몰리는 병목현상으로 피난이 지연되는데 Figure 7은 피난개시 200초 후 건물 내의 피난계단 내부 모습을 보여준다. 계단 내에서의 평균흐름(Flow Average)을 살펴보면 30층의 경우 0.05 person/sec.이며 2층의 경우 0.88 person/sec.로 분석되어 저층부터 정체된 인원에 의해서 고층 부분의 피난 속도가 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다.

Table 6의 층별 필요안전피난시간은 반응응답시간에 피난이동시간을 포함하여 계산된 시간이다. 감지기 동작시간은 동시 피난을 가정한 시나리오를 위하여 포함하지 않았다. 30층 건물에 거주하고 있는 모든 인원은 1,019초에 완

Table 6. Result of Egress Simulation (sec.)

Stories	RSET	Stories	RSET	Stories	RSET
1	1,019	11	374	21	552
2	227	12	398	22	570
3	247	13	402	23	591
4	239	14	428	24	606
5	270	15	453	25	623
6	291	16	490	26	644
7	320	17	491	27	649
8	329	18	495	28	667
9	338	19	509	29	679
10	341	20	537	30	694

전히 건물 밖으로 피난을 완료하는 것으로 나타났다.

4.3 동시다발적인 화재 시 피난위험성 분석

동시다발적인 화재를 가정하여 전관 피난을 시행한 결과, Table 7과 같다.

피난위험성 분석은 ASET이 RSET보다 클 때 안전하게 피난된다고 평가하며 반대의 경우 안전시간 내에 피난이 이루어지지 않는 것으로 평가된다.

Table 7의 결과를 분석해 보면, 안전하게 피난이 이루어지지 못하는 층은 지상 1층, 지상 26층, 지상 28층~지상 30층으로 총 5개 층이 해당한다.

피난안전에 대한 여유시간을 살펴보면 1층을 제외한 15층 이하는 3분에서 최대 7분까지 여유시간이 확보된 것으로 나타났다.

하지만, 15층 이상의 고층은 저층부에서부터 발생하는 병목현상에 의해 피난시간이 증가하여 대부분 여유시간이 2분 이내였으며, 특히 25층과 27층은 여유시간이 5초 내외로 위험한계의 오차범위에 있어 위험 범위에 들 수 있다.

지상 1층은 화재 발생 지점에 개구부가 있어 허용안전 피난시간이 평가대상 층 중 가장 빨리 도달하였다. 대부분의 건축물이 지상 1층(피난층) 상부에 있는 모든 인원이 지상 1층을 지나 건물 밖으로 피난하여야 하는 상황이므로 많은 위험성이 내재해 있다.

대부분 건물이 에어컨디셔너 실외기를 지상 1층이나 옥상에 설치하고 있는데, 민세홍과 배연준⁽¹¹⁾의 멀티시스템형 에어컨실외기의 연소실험에 의하면 2차례의 폭발과 함께 실외기 주변에서 최대온도 787℃까지 상승하였으며, 최대열방출률은 약 5.8 MW까지 올라가는 것으로 분석하였다.

그러므로 지상 1층의 피난안전성을 확보하기 위해서는 멀티시스템형 에어컨디셔너 실외기를 건축물과 일정 거리 이격하여 설치하거나 방화판을 설치하여 화재 발생 시 외장재에 영향이 없도록 해야 한다. 특히, 지상 1층에 가연성 외장재를 설치하는 경우에는 개구부의 설치 제한 및 이격

Table 7. Result of Fire Simulation

Stories	ASET (sec.)	RSET (sec.)	Risk assessment	Margin (sec.)
1	358	1,019	Danger	-661
2	548	227	Safety	321
3	670	247		423
4	627	239		388
5	620	270		350
6	490	291		199
7	642	320		322
8	587	329		258
9	575	338		237
10	473	341		132
11	593	374		219
12	594	398		196
13	589	402		187
14	536	428		108
15	623	453		170
16	572	490		82
17	612	491		121
18	558	495		63
19	638	509		129
20	626	537		89
21	630	552		78
22	607	570		37
23	643	591		52
24	628	606		22
25	629	623	Can be dangerous	6
26	639	644	Danger	-5
27	654	649	Can be dangerous	5
28	654	667	Danger	-13
29	660	679		-19
30	683	694		-11

거리 확보 등 지상 1층의 안전성 확보가 절실히 요구된다.

지상 1층에 거주하는 인원은 화재 발생 시 197초에 피난이 완료되어 피해가 발생하지 않았으나, 상부 층의 거주

Table 8. Deaths and Injuries Due to Fires

Stories	Occupant load	Deaths and injuries
1	45 Person	699 Person
26	45 Person	1 Person
28	45 Person	3 Person
29	45 Person	4 Person
30	45 Person	4 Person

하는 인원은 지상 1층을 경유하여 최종 피난이 이루어지므로 피난시간이 길어져 위험에 노출된다.

Table 8에 의하면 29층과 30층에서 4명의 인명 피해가 발생하였으며, 26층과 28층에서도 각각 1명과 3명이 피해를 보는 것으로 분석되었다. 1층의 경우는 상부 층의 699명이 허용안전피난시간 이후에 피난이 되는 것으로 분석되어 1층이 위험하면 고층부에 있는 많은 인원이 피난불능 상태에 놓일 수 있는 결과가 나왔다.

4.4 동시다발적 화재에 대한 개선대책

외장재의 수직화재는 실내 건축물 화재와 다르게 화재성장 속도도 매우 빠르며 화재에 대한 진압방법도 전무한 실정이다^(12,13). 특히, 에어컨디셔너 실외기 등의 가연물과 접촉되는 저층 부분과 외부에서 소방대의 소화활동이 미치기 어려운 고층 이상의 부분에는 불연성 외장재의 설치를 권장한다.

(초)고층은 실내에서 발생한 화재가 외부로 분출되어 외장재의 수직 확산 화재로 전이될 우려가 크므로 이를 방호하기 위하여 외벽 방호용 스프링클러시스템의 개발과 적용이 요구된다^(12,13).

허용안전시간 내에 피난을 완료하기 위하여 반응응답시간을 줄이기 위하여 비상안내방송에 대한 시스템 보완이 필요하며 계단 내에서 병목현상에 의해서 보행시간이 현저하게 감소하므로 피난계단의 유효 폭을 수용인원에 적합하도록 성능적인 검토가 요구된다.

5. 결 론

외장재에 의한 동시다발적인 화재의 피난 위험성에 관한 연구의 수행 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 동시다발적인 화재 발생에 대한 피난시뮬레이션 결과, 전과 피난에 따른 병목현상 등으로 피난시간이 많이 지연되어 5개 층이 허용안전피난시간 이내에 피난이 완료되지 않는 것으로 분석되었다.

(2) 특히, 지상 1층의 경우, 발화지점과 근접하므로 358초에 허용안전피난시간에 도달하여 상부층에 있는 699명의 피난이 곤란한 것으로 나타났다.

(3) 기존의 피난안전성 평가는 1개소의 실 또는 단일 층에 대하여 피난안전여부를 평가하였는데, 동시다발적 화재는 그 특성상 건물 전체에서 동시에 피난이 이루어져야 하므로 피난 통로에서 발생하는 병목현상 등을 고려한 피난의 원활성에 대해 검토하였으며, 외장재에 의한 동시다발적인 화재 시에는 반드시 피난에 대한 시뮬레이션도 반드시 수행해야 함을 알 수가 있었다.

(4) (초)고층건물은 층별로 많은 재실자들이 동시에 피난층 또는 피난안전구역으로 피난할 때 피난구 및 계단 폭의 유효너비에 의해서 피난시간이 좌우된다. 그러므로 (초)고층건물은 저층으로 갈수록 동시피난인원을 고려하여 계단

의 유효 폭을 법적 기준인 1,200 mm에 일률적으로 적용할 것이 아니라 피난시뮬레이션을 이용하여 유효 폭의 적정성에 대한 정량적인 분석을 하여 계단의 유효 폭을 확정하여야 한다.

(5) 난연 외장재의 경우 초기 연소·확대의 지연은 가능하지만, 근본적인 대책으로는 부족하므로 초고층건물은 불연성 외장재의 설치가 필요하다.

(6) 피난시간의 확보를 위해 에어컨디셔너 실외기 등으로부터 외장재로의 연소·확대를 방지하기 위한 대책과 외장재 수직화재를 진압하기 위한 적극적인 진압대책이 필요하다.

후 기

이 논문은 소방방재청 2010차세대핵심소방안전기술개발사업 지원에 의한 결과임(사업단; 한국소방산업기술원).

참고문헌

1. S. H. Min and J. M. Lee, "A Study on Concurrent Fire Appearance through Openings", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 2, pp. 90-96 (2012).
2. Thunderhead Engineering, "Pathfinder User Manual", (2011).
3. S. H. Min and J. M. Lee, "A Study on the Analysis of Fire Risk by Fire and the Improvement of Evacuation Equipment for Apartment", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 127-135 (2011).
4. W. C. Park, Y. J. Lee and K. C. Ko, "Comparison of Evacuation Efficiency for Stair Width and Code for Occupant Load Calculation in High-rise Buildings", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 1-6 (2011).
5. S. Y. Jung and T. H. Kim, "Evacuation Time for Performance Based Design", Proceedings of 2010 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 179-184 (2010).
6. J. B. Kim, J. K. Kim and E. S. Back, "A Study on the Evaluation of Evacuation Safety Function of an Elderly Care Hospital", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 9-19 (2010).
7. C. T. Kim and S. W. Hong, "A Study on Design and Implementation of an Analog Addressable Detector and a Fire Alarm System", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 1-11 (2010).
8. Korea Agency for Technology and Standard of Homepage, <http://www.kats.go.kr/>.
9. Japan of 平成12年施行建設省告示 (2000).
10. National Emergency Management Agency (NEMA),

- “Performance-based Methods and Standards of Fire Safety Design”, Notification No. 2011-68 (2011).
11. S. H. Min and Y. J. Bae, “A Study on Combustion Experiments of Multi Type Air-Conditioner Outdoor Units by Large Scale Calorimeter”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 168-177 (2011).
 12. S. H. Min, M. S. Kim, Y. J. Jang, J. C. Sa, Y. J. Bae and J. M. Lee, “A Study on the Development of a Head for Prevent the Fire Spread Exterior”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 113-119 (2012).
 13. S. H. Min, J. E. Yun, J. S. Sun, S. H. Jeong, C. H. Chea and S. J. Kim, “Research for the Configuration of the Outside Sprinkler System”, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 102-112 (2012).