필로티 구조 건축물 화재사례를 통해본 Outer Flashover Mechanism 연구

A Study on Outer Flashover Mechanism in View of Pilotis Buildings Fire

노영재*

Noh, Youngjae*

Abstract

Pilotis building structures are increasingly being used to solve housing and parking problems due to the concentration of urban population. The most common features of large fires in recent years have been pilotis building structures where the fire had spread rapidly. This is similar to the 'flashover' phenomenon but with different mechanisms. This study understands the mechanism behind the occurrence of flash fires in pilotis building structures, the phenomenon named 'Outer Flashover' to suggest ways of preventing it.

Key words : Pilotis, Outer Flashover, FDS Fire Simulation

요 지

도시의 인구 집중으로 인한 주택과 주차 문제 해결을 위해 필로티 구조 건축물이 증가하고 있다. 최근 인명피해가 발생한 대형화재의 공통점은 필로티 구조 건축물로서 화재특징은 순발연소와 화재 확산이다. 이는 Flashover와 유사하지만 발생 메커니즘에는 차이가 있다. 본 연구는 필로티 구조 건축물에서 발생하는 순발연소의 원인 규명과 발생 메커니즘을 정립하고 입증하여 Outer Flashover라 명하였으며 예방책을 제시하였다.

핵심용어 : 필로티, Outer Flashover, FDS 화재시뮬레이션

1. 서 론

2009년 '도시 공급 활성화 및 보금자리 주택건설 방안' 발표에 따라 필로티 구조의 건축물이 증가하였다. 기둥으로 구성된 공간으로 부족한 주차공간을 확보하였고 필로티 공간 면적이 건축물의 층수와 바닥면적에서 제외되는 인센티브가 주어졌다. 이로 인해 도시형생활주택 중 90%에 가까운 비율은 1층의 필로티 부분은 주차장 용도로 지어지고 있는 추세다(Choi, 2017). 필로티 구조 건축물의 증가에 따라 필로티 구조 건축물 화재 또한 증가하였다. 최근 발생한 각종 대형화재 중 다수의 인명피해가 발생한 사례들의 공통점 하나는 필로티 구조의 건축물 화재로서, 2015년 1월 발생한 의정부

대봉 그린아파트 화재와 2017년 12월 충북 제천 스포츠센터 화재는 필로티 구조의 대표적인 화재사례이다. 1층에서 발생한 화재는 급격하게 연소 확대되었으며 주출입구를 막고 외벽을 통해 상층부로 급격하게 확산되었다. 2018년 04월 발생한 오산시 원룸주택 화재는 최근의 대형화재와 유사한 사례로 신고자의 증언과 CCTV 분석 결과 화재 신고 시 화염은 1 m 미만이었으나 급격한 연소 확대에 화재발생 후 91초에는 3층 높이까지 화염이 확산되었다.

2018년 전국 소방관서의 평균 출동 소요시간은 7분 41초로 급격히 연소 확대되는 필로티 구조와 드라이비트 건축물의 화재에는 초기 대응에 어려움이 있다(National Fire Data System).

*교신저자, 정회원, 경기대학교 일반대학원 도시방재학과 박사과정(Tel: +82-31-306-2167, Fax: +82-31-8059-7509, E-mail: nyj119@gg.go.kr)
Corresponding Author, Member, Ph.D Candidate, Department of Urban Disaster Management Graduate School, Kyonggi University

필로티 구조 건축물의 화재에서 발생하는 급격한 순발연소 현상의 발생 Mechanism을 이해하고 예방할 수 있는 방안이 마련되면 건물 내의 거주자에게 대피할 공간과 시간이 확보될 수 있을 것이다. 본 연구는 오산시 소재 원룸형 주택 화재에서 발생한 급격한 순발연소 현상을 유사 건축물의 화재사례와 비교 분석하고, 분석 결과를 기초로 화재 시뮬레이션과 재현 실험을 실시하였다. 시뮬레이션과 재현실험을 통해 필로티 구조 건축물에서 발생하는 Outer Flashover Mechanism을 규명하고 안전대책을 제시하였다.

2. Outer Flashover

2.1 기존의 연구

본 연구는 2018년 04월 발생한 원룸 화재로서 필로티 구조 건축물의 필로티 천정과 반자(천정 마감재)사이 공간에서 발생하는 순발연소 현상에 대한 특이한 연소현상의 발생 원인과 전개 과정의 메커니즘을 규명하고 예방법을 연구하였다.

필로티 구조 건축물의 연구로 Choi (2017)는 의정부의 도시형 생활주택 화재를 심층 연구하여 화재 위험성을 밝혔고 화재 경보설비나 소화설비(스프링클러설비) 설치와 양방향 피난 방법 도입 건물이격거리 확보 등 다양한 안전대책을 제시하였다. Lee (2018)는 필로티 건축물의 화재 통계와 사례연구를 통한 화재 위험성을 분석하였다. 화재 발생률에 비해 화재 가혹도가 매우 높아 방화구획 설정이나 양방향 피난 확보 불법주차 방지를 위한 차고지 증명제 실시, 황색

구조 마크제, 소방안전교육사를 통한 시민교육 등 다양한 대책을 제시하고 있다. Kim (2018)은 필로티 천장 내부의 화재 확산에 관한 연구를 하였으며 화재예방을 위해 최소한 배관 보온재를 불연재로 시공하고 천장 반자, 천장 단열재 순으로 불연재 시공을 권고하였다. 본 연구 기간 중 저자가 연구하는 천정과 반자 사이의 열 축적에 의한 순발연소 현상에 관한 명칭을 확인하지 못하였기에 Outer Flashover라는 새로운 명칭으로 정의하였다.

2.2 Outer Flashover 이론 정립

Outer Flashover는 필로티 구조 건축물 화재 시 발생한 열기와 복합가스가 천정과 반자(마감재) 사이 공간에 축적되고, 가연성 천장재와 단열재 등의 열분해로 인한 가연성가스와 혼합 착화되어 발생하는 순발연소 현상이다.

Outer Flashover 현상은 실내에서 발생하는 급속 연소 현상인 Flashover와 발생형태가 유사하지만 천정과 반자 사이의 실내공간과 반자 아래의 실외공간에서 동시에 발생한다는 것과, 가연재가 비정상적으로 빠르게 확산 연소하는 차이점이 있다. 천장과 반자 사이의 빈 공간이 실내와 같은 구획된 공간의 역할을 하고 가연성 반자 마감재와 단열재 등의 연소로 인한 열과 가연성 가스가 축적되어 Fig. 1과 같이, 폭발적으로 화염에 휩싸이게 되는 것이다. 이 과정에서 천장재의 드롭 다운(drop-down)과 코안다 효과(coanda effect)로 1층 주출입구가 파괴되고 주차된 차량과 드라이브(Dribit) 공법으로 시공된 건물 외벽 외장재가 일시에 착화되는 등 건물 내·외부에서 매우 빠르게 연소 확대된다(Fig. 2).

Fig. 1. Outer Flashover Checked with Physical Fire (CCTV image 40sec)

Fig. 2. Occurrence Space and Progress of Outer Flashover

2.3 Outer Flashover 발생 메커니즘과 예방대책

본 논문에서 정립한 Outer Flashover는 필로티 구조 건축물 화재 시 발생한 열기와 복합가스가 천정과 반자(마감재) 사이 공간에 축적되고, 가연성 천장재와 단열재의 열분해로 인한 가연성가스와 혼합 착화되어 발생하는 순발연소 현상으로 첫째 화재의 열기와 복합가스, 둘째 천정과 반자 사이의 공간, 셋째 가연성 반자와 단열재에서 발생하는 가연성가스의 3요소의 조합에서 발생한다.

Outer Flashover의 발생 3요소 중 1가지의 요소만이라도 제거된다면 Outer Flashover는 발생할 수 없다. 발생요소 중 화재의 열과 천정과 반자 마감재 공간의 열 축적과 가연성 가스의 발생은 화재 발생 기본 조건이고 천정과 마감재(반자) 사이의 공간은 제거할 수 없는 요소이다. 그에 반해서 반자 마감재의 열분해는 불연재이면 예방이 가능하다. 현재 대부분의 필로티 구조 건축물은 가연성 플라스틱 자료의 마감재(반자)가 사용되었고 최근에는 금속 천장재가 보급되고 있다.

본 논문에서는 금속 천장재와 가장 많이 사용되고 있는 가연성 플라스틱 천장재의 특성 비교를 통해 Outer Flashover 현상을 예방할 수 있는 대안을 제시하였다.

선행 실험으로 Fig. 3과 같이 가연성 플라스틱 천장재와 금속 천장재(아연도금강판)를 토치로 가열하였다. 실험 결과 금속 천장재(아연도금강판)는 철 재질에 아연을 도금한 제품으로 불에 타지 않았고 유독가스도 발생되지 않은 반면 플라스틱 천장재는 3초 만에 연소가 시작되었고 유독가스도 다량 발생하였다. 선행 실험 결과를 토대로 Outer Flashover 현상을 예방하기 위해서 가연성 마감재와 금속성(불연재)을 중심으로 FDS 화재 시뮬레이션 및 재연실험의 기본 조건으로 구성하게 되었다.

2.4 Outer Flashover 사례분석

필로티 구조에서 발생한 화재사례는 4가지 상황으로 Fig. 4와 Table 1과 같다.

Fig. 3. Burning Experiments of Plastic and Metal Ceiling Finishes

Fig. 4. Fire Cases in Piloti Buildings

Table 1. Comparison of Fire Cases

	Fire Case-1	Fire Case-2	Fire Case-3	Fire Case-4
Fire Data	2018. 04. 22.	2017. 12. 04.	2018. 12. 13.	2018. 10. 16.
Fire Place	Piloti Parking	Piloti Parking	Piloti Parking	Piloti Parking
Ignition Point	Recycling bin	A book hit	Miniature transformer	Electric switch
Ceiling Material	SMC	Gypsum tex	SMC	SMC
Ceiling Insulation	EPS	EPS	.	EPS
Fire damage	People	18 (5/13)	.	80 Evacuation
	Property	1,290 million won	84 million won	50 million won
Cause of a Fire	Inattention (cigarette)	An unknown imagination	An electrical reason	An electrical reason

사례 1은 본 연구의 주된 화재사례로서 인명피해는 중상 5명에 경상자 13명이고 재산피해는 12억 9천만 원이다. 화재 발생 전 상황으로 필로티 구조 주차장 내 드라이비트 벽체에 재활용품 분리수거함과 매트리스 1개가 기대어 있었다. 건물 거주자 1인이 필로티 구조 주차장에서 흡연 후 버린 담배꽂초 불씨가 재활용품 분리수거함에서 발화되었고, 매트리스와 드라이비트 벽체에 연소 확대되었다.

화재는 목격자의 신고로부터 91초, 필로티 천장재(SMC)에 착화 후 40초에 주차장 전체뿐만 아니라 3층까지 연소 확대가 되었다.

최초 발화원은 재활용품 분리수거함에서 발생한 작은 화염이었으며 매트리스에서 드라이비트 벽체, 가연성 천장재(SMC)의 순서로 착화되면서, 천장재의 드롭 다운(Drop-down)과 코안다 효과(Coanda effect)로 주차 차량과 건물 외벽 가연물에 동시에 착화하였다. 이 과정은 사례 1의 실물 화재에서 발생한 Outer Flashover 진행사항이다.

사례 2는 사례 1보다 초기 화재 규모는 컸으나 급격한 연소현상은 발생하지 않았다. 천장 마감재는 EPS를 사용하였으나 반자 마감재는 불연재인 석고텍스로 시공되어 있었으며, 천장 일부만 탄화되었다.

사례 3은 천장 속에 전기적인 요인(접촉불량 단락)에 의해 약 10분 이상 화재가 소량 진행되었고 천장 마감재(EPS)와 배관 단열재가 없어 급격한 연소현상은 일어나지 않았다. 전선과 목재 합판 일부만 소실되고 자체 진화된 화재이다.

사례 4는 주차장 내 분전반 화재로 소방대원이 배전반 문을 개방하자 배전반 상부의 외벽 단열재와 천장 마감재가 급격히 연소 확대되어 배전반 문 개방 20초 만에 10 m² 가량 소실되었다. 반자 마감재로 사용한 가연성 플라스틱 천장재는 소실되지 않았으며, 배전반의 시공 불량으로 인해 상부 공간 틈으로 열기가 유입하여, 외벽 내부의 단열재를 통해 천장 내부 마감재(EPS)가 연소 확대된 사례이다.

상기 4개의 화재사례 데이터와 전국의 주요 필로티 구조

화재사례를 비교·분석하여 필로티 구조에서 연소현상이 발생하였다는 공통점을 도출할 수 있었다. 사례 1은 화재 초기 본 논문에서 정립한 Outer Flashover 현상이 발생하였으며, 건물 1층의 주출입구를 통하여 계단실로, 외벽을 통하여 상층부로 화염과 연기가 빠르게 유입된 화재사례이다.

3. PYROSIM 화재 시뮬레이션 수행 및 결과 분석

3.1 시뮬레이션 수행

본 연구에서는 Fire Dynamics Simulator (FDS) 기반의 PyroSim을 이용하여 화재 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 시나리오는 화재사례 1을 실험 모델로 하여 1층 바닥의 재활용 쓰레기통에서 담뱃불로 인해 화재가 발생한 것을 가정하였으며 화재 장소의 구성 및 모델링 공통조건은 Table 2와 같다.

CASE 1은 화재사례 1과 동일한 조건으로 설정하였고 외벽(드라이비트와 콘크리트) 및 반자 마감재(가연성 플라스틱 천장재[PCF]와 금속 천장재[MCF])의 종류에 따른 4가지 실험 모델을 Table 3과 같이 구성하여 비교·분석하였다.

3.2 결과 분석

Fig. 5는 200초 후의 시뮬레이션 결과로 연기의 흐름은 제외한 화염의 전파 상황만을 나타낸 것으로 화재 발생 200초의 상황으로 플라스틱 천장재(PCF)로 설계된 CASE 1과 CASE 3은 반자 마감재에서 천장 마감재로 연소 확대되고 있다. CASE 2와 CASE 4의 금속 천장재(MCF)는 반자 마감재까지만 화염이 전파되고 더 이상 확대되지 않았다.

Fig. 6은 반자 마감재 위치의 온도 그래프이고, Fig. 7은 천정 마감재 위치의 온도 그래프이다.

Fig. 7의 CASE 1은 118초에서, CASE 3은 194초에서 급격한 온도 변화를 보였다.

Table 2. Basic Data for Common Conditions

	Content
Floor plan
Standard	11 × 15 × 3.2 (m)
Grid	88 × 120 × 25
Mesh	264,000 mesh
HRR	500 KW (m ²)
Simulation time	300sec (10min)

Table 3. Structural and Finish-specific Conditions

	Building Wall	Ceiling finishes material	Temperature measurement location	
			Finishing Material Location (2.7 m)	internal insulation material (3.0 m)
CASE 1	Drivit	PCF	○	○
CASE 2	Drivit	MCF	○	○
CASE 3	Concrete	PCF	○	○
CASE 4	Concrete	MCF	○	○

Fig. 5. Simulation Results of Fire After 200 Seconds

Fig. 6. Temperature Variation of Insulation

Fig. 7. Temperature Variation of Ceiling Materials

CASE 1과 CASE 3에서는 반자 마감재인 플라스틱 천장재(PCF)가 용융·탈락되며 급격히 연소 확대되었고 드라이비트 외벽이 빠르게 연소 확대되었다. CASE 2와 CASE 4에서는 천장 마감재 부분의 온도가 약 20℃로 일정하게 유지되었고 금속 천장재(MCF)가 열로부터 용융·탈락되지 않고 원형을 유지하고 있어 화염이 유입되지 않았다.

시뮬레이션 결과 금속 천장재(MCF)는 화염으로부터 원형을 유지하여 화염전파를 막았으며 Outer Flashover가 예방되었다.

4. Outer Flashover 재현실험 및 결과 분석

4.1 Outer Flashover 재현실험

재현실험은 철골구조와 석고보드를 사용한 구조체로 각 실험마다 Gasolin 1.5 ℓ와 Mattress (PU foam, Rayon) 1ea를 가연물로 사용하였고, 금속 천장재(DMC)와 플라스틱 천장재(SMC) 마감 조건으로 2회에 걸쳐 한국소방산업기술원에서 실시하였다.

온도 계측을 위한 P-type 열전대를 10개소에 설치하였으

며, Data Logger를 연결하여 천정과 반자의 온도를 실시간으로 측정하였다. 또한 열화상 카메라(FLIR 640)를 설치하여 화상으로 온도 변화를 확인하였다. 재연실험 공통조건에 대한 기본 데이터는 Table 4와 같고 마감재별 조건은 Table 5와 같다.

4.2 결과 분석

Fig. 8은 금속 천장재(DMC)와 EPS 단열재의 재연실험 사진이다. 최초 점화 후 960초까지 금속 천장재는 소실되지 않았으며 탈락되지도 않았다. 또한 EPS 단열재도 원형을 유지하고 있다. 최종적으로 금속 천장재의 표면에서 그을음이 관찰되었고 외관의 변형은 발견되지 않았다.

재연실험(DMC + EPS)에서는 실시간 온도 측정을 위해 Data logger는 10채널로 DMC 위치에 3채널을 EPS 위치는 7채널을 설치하고 측정하였다. 측정 결과 DMC 위치의 최고 온도는 34초에 55.2 °C였고, EPS 위치에서는 29초에 1003.4 °C였다. 시간별 온도 측정 결과는 Table 6과 같다.

Fig. 9는 가연성 천장재(SMC)와 EPS 단열재의 재연실험 사진이다. 최초 점화 후 34초에 첫 번째 Flashover가 발생하였

Table 4. Basic Data for Common Conditions

	Content
Reproduced experiment set
Standard	3.6 × 7.2 × 2.4 (1.7) (m)
Combustibles	Gasolin 1.5 L Mattress (pu foam, rayon) 1ea

Table 5. Structural and Finish-specific Conditions

	Building structure	Ceiling finishes material	Temperature measurement location	
			Finishing Material Location (1.7 m)	internal insulation material (2.3 m)
CASE 1	Steel / gypsum board	SMC	○	○
CASE 2	Steel / gypsum board	DMC	○	○

Fig. 8. DMC Ceiling Ignition Test

Table 6. Temperature Measurement Results of DMC+EPS Experiments

Category	location	0sec	30sec	40sec	50sec	70sec	100sec	200sec	300sec	400sec	500sec	700sec	900sec
Experiment	DMC	14.4℃	1002.5℃	611.9℃	311.0℃	179.9℃	113.0℃	152.4℃	129.5℃	162.8℃	418.4℃	303.6℃	74.3℃
	EPS	14.6℃	51.0℃	54.1℃	44.5℃	33.4℃	27.7℃	26.5℃	24.4℃	28.7℃	29.1℃	37.8℃	27.1℃

Fig. 9. SMC Ceiling Ignition Test

으며, 45초에 더욱 강력한 두 번째 Flashover가 발생하였다. Outer Flashover가 재현되었고 두 번째 Flashover 발생과 동시에 폭발적인 연소로 가연성 천장재는 탈락되고 소실되었다.

첫 번째 Flashover 발생 시 SMC 부위의 온도는 1043.1℃ 최고 온도는 화재 발생 44초에 1322.9℃이다. EPS 부위의 온도는 645.2℃였고 최고 온도는 68초에 1184.8℃다. 시간별

온도 측정 결과는 Table 7과 같다.

Fig. 10은 재연실험별 온도 그래프로써 DMC + EPS 조합에서는 화재 초기 Gasolin 가연물에서 발생하는 열 방출 이후 급격한 온도 변화는 관찰되지 않는다. SMC + EPS 조합에서는 화재 초기 Gasolin 가연물에서 방출하는 열 방출과 가연성 천장재와 건축 단열재의 조합으로 급격히 연소 확대 되었다.

Table 7. Temperature Measurement Results of SMC+EPS Experiments

Category	location	0sec	20sec	34sec	40sec	45sec	50sec	60sec	80sec	100sec	150sec	200sec	224sec
Experiment	SMC	15.8℃	914.8℃	1043.1℃	1176.5℃	1103.4℃	798.5℃	805.5℃	360.1℃	343.2℃	135.8℃	68.0℃	59.0℃
	EPS	12.3℃	185.6℃	645.2℃	680.7℃	705.1℃	752.1℃	948.0℃	1163.4℃	881.3℃	135.8℃	98.1℃	85.4℃

Fig. 10. Temperature Measurement Graph

Figs. 8~10의 재현실험은 동일 세트장에 동일 조건으로, DMC 천장재에서 SMC 천장재로 변경하여 실험한 결과이다. SMC 천장재에서만 Outer Flashover가 발생했고 DMC 천장재에서는 급격한 연소 확대는 발생하지 않았다.

5. 결 론

전체 건축물 중 필로티 구조 건축물에서 발생하는 화재는 대형화재의 비중이 높고 필로티 구조 건물의 반자와 천장 구조는 Outer Flashover 현상이 발생할 수 있는 공간과 재질로 이루어졌다.

본 논문은 필로티 건축물 화재에서 발생하는 Outer Flashover의 정의와 발생 메커니즘을 규명하고 예방대책을 제안하고자 한다.

첫째 Outer Flashover의 정의

Outer Flashover란 필로티 구조 건축물 화재 시 발생한 열기와 복합가스가 천정과 반자(마감재) 사이 공간에 축적되고 가연성 천장재와 단열재 등의 열분해로 발생한 가연성 가스가 혼합 착화되어 발생하는 순발연소 현상이다. Outer Flashover 현상은 실내에서 발생하는 Flashover와 유사하지만 실내와 실외공간에서 동시에 발생하는 것과, 반자 마감재와 단열재, 주차 차량 등 외부의 가연물이 빠르게 연소 확대되는 차이점이 있다.

둘째 Outer Flashover 발생 메커니즘

Outer Flashover 발생 메커니즘은 3가지 요소로 이루어진다. 첫 번째는 화재에서 발생한 열과 복합가스이며, 두 번째는 건축물의 천정과 반자(마감재) 사이의 공간이고, 세 번째는 가연성 물질인 마감재와 단열재의 열분해로 발생하는 가연성 가스의 3요소의 조합에서 발생한다.

또한 Outer Flashover 발생 시간을 단축시키는 요인으로, 필로티 구조 건축물의 벽체와 반자 사이 시공 불량에 의한 틈으로 화염과 열기가 유입하여 발생하는 열 축적과 열분해가 있다.

셋째 Outer Flashover 예방대책 및 제안

Outer Flashover 예방대책으로 발생 3요소 중 1가지의 요소가 제거되면, Outer Flashover는 발생하지 않는다. 화재 발생 시 수반되는 열과 복합가스의 발생과 천정과 반자 마감재 사이 공간의 제거는 현실적 어려움이 있다. 이에 비해서 세 번째 요소인 필로티 구조 건축물의 가연성 플라스틱 마감재(반자)를 불연성 또는 금속 천장재로 변경하여 Outer Flashover를 예방하는 것이 현실적인 예방대책이다. 또한 천장재 시공 부실로 인한 벽체와 천장 마감재의 틈으로 화염과 열기유입 또한 예방되어야 한다.

국토교통부에서는 필로티 건축물의 성능 보강 지원을 위해 피난 약자 시설(의료시설, 노유자시설, 청소년 수련원 등)과 3층 이상 다중이용업소 건축물에 대해서 지원 사업을 진행하고 있다. 필로티 구조 건축물의 Outer Flashover 안전 대책으로 불연성 반자 마감재 교체 등 시설 개선도 정책적으로 검토되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 필자가 공동저자(노영재, 정용배, 황인호)인 ‘Outer flashover 발생 원인과 대처방안’, 경기도 소방재난본부, ‘2019 화재조사 학술논문’을 재현실험을 통해 수정 보완하여 재작성 하였습니다. S빌리지 화재 트라우마 치료 중에도 ‘Outer Flashover’ 발생과 예방대책 연구를 제안하신 정용배 선배에게 감사드립니다. 또한 필로티 구조 건축물 화재사례를 조사 분석하며 데이터 기반의 화재조사 기법을 제안한 황인호 화재조사관, 각종 연구 자료와 실험 데이터를 제공하고 재현실험을 위한 조언과 측정 등 연구에 참여하신 경기도 소방학교 최윤종 교수, 이광민 반장, 화재조사관 조용선 박사와 재현실험에 협조해 주신 한국소방산업기술원 관계자분들께도 감사드립니다.

References

- Choi, S.B. (2017). *A study on fire characteristics of pilotis with urban lifestyle housing buildings*. Ph.D. dissertation, Gachon University, pp. 1-13, 69-87.
- National Fire Data System. Retrieved from <http://www.nfds.go.kr>
- Lee, S.M. (2018) *A study on the fire risk of pilotti buildings: Focusing on statistics and fire cases*. Master's thesis, University of Seoul, pp. 60-64.
- Kim, H.S. (2018). *A study on the prevention of flame and smoke rapid dissemination(horizontal) in the event of fire in the ceiling of the piloti building*. National Fire Science Research Center, National Fire Service Academy, 2018 Research Report, pp. 71-74.
- Noh, Y.J., Jung, Y.B., and Hwang, I.H. (2019). *The case of outer flashover and effective measure*. Gyeonggi Disaster and Safety Headquarters, 2019 Fire investigation case announcement. pp. 1-16.

Received	April 25, 2019
Revised	April 25, 2019
Accepted	May 9, 2019