

[Research Paper]

필로티 건물 이격거리에 따른 화재확산 위험성 연구

최승복 · 최두찬* · 최돈묵**†

경기북부지방경찰청 과학수사계, *서울시립대학교 재난과학과, **가천대학교 설비·소방공학과

A Study on the Fire Spread Risk of Resident Buildings With Pilotis

Seung-Bok Choi · Doo-Chan Choi* · Don-Mook Choi**†

Department of Fire Investigation Team, yeonggibukbu Provincial Police Agency,

*Department of Disaster Science, University of Seoul,

**Department of Building Equipment System & Fire Protection Eng., Gachon University

(Received August 2, 2017; Revised August 18, 2017; Accepted August 18, 2017)

요 약

필로티구조를 가진 저층 위주의 도시형생활주택이 날로 증가하고 있는 추세이다. 대부분의 필로티 공간은 주차장으로 활용되고 있어, 이에 따른 화재의 위험이 따른다. 특히 주차장과 같은 공간은 차량으로 인해 화재하중이 높기 때문에 화염의 분출길이 길어진다. 또한 기둥으로만 구성된 필로티의 특성상 바람의 영향으로 화세가 거세져 화염이 주변으로 확산될 경우 같은 필로티 형태의 건물이 서로 인접해 있을 경우 때 건물로의 화염 확산 위험이 있다. 필로티 구조의 주택 대부분은 이곳을 통해 출·입이 가능한 구조이기 때문에 필로티가 막히면 입주자는 건물에 갇혀 유독가스 및 화염으로 부터 안전을 위협받게 된다. 필로티 구조 건물의 주차장이 서로 인접할 때 화염 확산 방지를 위해 일정한 간격이 필요하다. 본 연구는 필로티 주차장에서 화재가 발생하였을 경우 어느 정도 거리를 유지해야 옆 건물로의 화재 확산을 막을 수 있는지에 대하여 화재시뮬레이션을 이용하여 연구하였다. 그 결과 건물은 최소 3.0 m 이상을 이격하여야 하는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

With the common tendency in the accordance with the trend, low-stories built edifices that are Pilotis-oriented structured exponentially and constantly increasing its number of buildings. It inevitably contains its risks of facing conflagrations as most of its part is used as parking lots. In the parking lots, the length of the flame has a heavy-weighted possibility that it would get increased because the heat release rate gets relatively high due to the vehicle insulation. Following on top of that, due to the nature of the Pilotisconsisting of pillars, there is a risk of flame spread to the adjacent building if the same Pilotis-structured buildings are adjacent to each other, if the flame spreads to the surroundings due to the influence of the wind. Because the most of the pilotis-structured-buildings have this entrance that makes the residents be able to enter, if the entrance were plugged the resident get a serious risk of a poisonous gas and a flame. Therefore, if the parking-lots of the pilotis-structured-buildings are adjacent to each other it requires a space to prevent the place from the spread of flame. This research studied how far is appropriate to prevent flame spreading with FDS. As a result, the study found that the distance at least 3.0 m is required.

Keywords : Fire, Pilotis, FDS, Fire Investigation

1. 서 론

소형위주의 도시형생활주택이 증가하면서 주차난을 해결하고자 대부분의 주택 1층을 필로티 구조로 하고 그 공간을 주차장으로 활용하고 있는 실정이다. 필로티 공간은 외부인의 출입이 자유로운 곳으로 방화 또는 실화의 위험으로부터 자유롭지 못하고 다수의 차량이 주차된 장소의

특성상 차량 결함에 의한 화재 또는 필로티 공간의 전기설비에 의해 발화될 위험성 또한 상존하고 있다. 어떠한 유형의 화재가 발생하던지 필로티 주차장에서 화재가 발생하면 이곳에 주차된 차량으로 화염이 확산되어 순식간에 필로티 공간 전체의 차량이 화염에 휩싸이게 된다. 또한 필로티 상단 천장은 거실의 바닥에 해당되기 때문에 지역별 일정한 두께의 단열을 하여야하며 일반적으로 10 cm 안팎의 우레

† Corresponding Author, E-Mail: fire@gachon.ac.kr, TEL: +82-31-750-5716, FAX: +82-31-750-8749

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

Table 1. Space Between Line and Buildings

Objective Architecture	Building Standards set by the Building Ordinance
Buildings in Exclusive Residential Areas	1 m or More and 6 m or Less
Factory Over 500 m ² Floor Area	Semi-Industrial: 1 m or More and 6 m or Less Outside Area: 1.5 m or More and 6 m or Less
Over 1000 m ² Sales Facilities, Accommodation, Cultural Meeting Facilities	1.5 m or More and 6 m or Less
Multi-Use Building	1.5 m or More and 6 m or Less
Public Housing	Apartment: 2 m or More and 6 m or Less Town House: 2 m or More and 5 m or Less Multi-Family House: 1 m or More and 4 m or Less
Other Buildings	0.5 m or more and 6 m or less

Table 2. Spacing of Building Sunbeam

Assortment	Before Revision	After Revision	
		General Apartment House	Urban Living Homes
Separation Distance	H or More	0.5 H or More	0.25 H or More
If the South-Facing Building is low and the Main Opening is South-Facing	More than 0.8 Times of High Building, H of Low Building	More than 0.4 Times of High Building, 0.5 H of Low Building	More than 0.5 Times of High Building, 0.25 H of Low Building

탄폼 단열재 시공이 되어 있다. 그러기 때문에 화재하중이 높은 차량과 우레탄폼 단열재 등으로 인해 필로티 주변으로 화염이 분출된다.

소방법에서 규정하고 있는 주차장은 바닥면적 합계가 200 m² 이상일 경우에 물분무등 소화설비를 하도록 규정하고 있으나 예외적으로 이동식 가스계소화설비도 허용하고 있다. 하지만 일반적으로 1층이 필로티 구조이고 주차장으로 활용하는 저층 주택은 바닥 면적이 200 m²를 넘지 않아 물분무등 소화설비 또는 가스계소화설비를 갖추지 않은 곳이 대부분을 차지하고 있고, 이러한 소화설비를 갖추고 있다고 하더라도 차량의 특성상 화재의 진화가 용이하지 않다. 더구나 천장의 우레탄폼 단열재까지 연소 될 경우 화재 진화를 위해 필로티에 접근조차도 어려울 경우도 있다. 또한 소형 위주의 도시형생활주택은 하나의 대지에 다수의 필로티 구조의 주택을 건축하는 경우가 많다.

도시형생활주택은 채광을 위한 창문 등이 있는 벽면으로부터 건물의 높이 0.25배의 간격을 두는 규정이 있을 뿐 화재 연소 확대 방지를 위한 건축물의 이격거리에 대한 규정이 없어 현재 신축되고 있는 소형위주의 필로티 주차장 구조의 도시형생활주택 대부분의 간격은 체 2 m를 넘지 않는 경우가 많아 이곳 필로티에서 화재가 발생할 경우 이웃 건물로의 연소 확대의 위험이 있다.

본 연구는 이웃건물과 인접한 곳에서 차량 4대가 동시에 연소될 때 어느 정도 이격거리를 유지해야 화염 확산으로부터 안전한지를 확인하기 위해 화재시뮬레이션을 이용하여 분석하였다.

2. 국내 · 외 건축이격거리 기준

2.1 국내 법규

건축법 시행령 제86조에서 「일조 등의 확보를 위한 건축물의 높이제한」 규정에서 9 m 이하인 부분은 인접 대지경계선으로부터 1.5 m 이상, 9 m를 초과하는 부분은 인접 대지경계선으로부터 해당건축물 각 높이의 1/2 이상을 띄어 건축하여야하고, 같은 대지에 두동 이상의 건축물이 서로 마주보고 있는 경우에 건축물의 각 부분 사이의 거리는 채광창이 있는 벽면으로부터 0.25배 이상, 마주보는 건축물 중 높이가 낮고 주된 개구부의 방향이 남쪽을 향하는 경우에는 높은 건축물 각 부분의 높이의 0.2배 이상의 범위에서 건축조례로 정하는 거리를 띄워야 한다고 규정하고 있다.

건축법 시행령 제80조의 2의 별표 2에서 건축선으로부터 건축물까지 띄워야 하는 거리는 연립주택은 2 m 이상 5 m 이하, 다세대 주택은 1 m 이상 4 m 이하, 그 밖에 건축조례로 정하는 건축물은 1 m 이상을 띄워야 한다고 규정하고 있으며 Table 1과 같다.

서울시의 건축조례 제35조는 다세대주택의 경우 채광을 위한 창문 등이 있는 벽면에서 직각방향으로 인접대지 경계선까지의 수평거리는 1 m 이상으로 한다고 규정하고 있다. 또한 같은 대지에서 두동 이상의 건축물이 서로 마주보고 있는 경우에 건축물 각 부분의 높이의 0.8배 이상, 그 밖에 법령에서 정하지 아니한 경우는 0.5배 이상을 그리고 도시형생활주택 중 단지형다세대주택은 4 m 이상으로서 0.25

배 이상을 띄우도록 규정하고 있으며 Table 2와 같다.

하지만 일반적인 연립주택과 다세대 주택은 1 m 이상 또는 2 m 이상만 띄우면 되기 때문에 필로티 구조와 같은 주차장 시설에서 화재가 발생하면 인접 건물로의 화재 확산을 막을 수 없다.

2.2 국외 법규

미국은 NFPA 5000, ‘Building Construction and Safety Code’의 ‘Vertical Separation of Exterior Opening’의 규정에 따르면 스프링클러가 설치되지 않은 건물은 개구부에 접한 외벽 개구부는 규정에 따른 거리만큼 이격되거나 보호되어야 한다고 지적하고 915 mm (36 in) 이상의 스펠드럴판넬이나 1시간 내화성능을 갖춘 벽체를 설치하여 보호하거나, 1시간 내화성능을 갖는 760 mm (30 in)의 수평부재를 설치하여 개구부를 보호하여야 한다고 규정하고 있다. 그리고 일본은 건축기준법시행령 제112조에 제10항에서 수평방향 연소 방지를 위해서 인접주택의 외벽 개구부와 개구부 사이를 0.9 m 이상 확보하거나 0.5 m 이상의 내화구조의 수직 벽을 설치할 것을 규정하고 있다.

3. 기존의 연구 동향

최근 이슈로 제기되는 고층 건물과 외장재에 따른 상층 부로의 화재 확산에 대한 위험성을 평가하거나 연소 확대 방지를 위한 연구는 많이 진행되어 그 대책이 제시되고 있지만, 도시형생활주택과 같은 저층 건물 중 필로티 구조의 주차장에서 화재가 발생하였을 경우 인근 건물로의 확산에 대한 연구는 부진한 상태이다. Kim (2008)⁽¹⁾은 아파트 화재 시 외벽개구부와 발코니 확장에 따른 연소성상의 평가를 위해 실제 아파트를 대상으로 실물모델 연소실험과 화재시뮬레이션을 이용한 연구를 진행하고 외벽 개구부를 개방에 의한 분출성상은 상부가 가장 높은 812.2 °C를 보여 상부로의 화염확산 방지를 위해 발코니 및 커튼월을 설치하여야 하며, 수평 연소에 대한 부재는 0.7 m 이상을 유지하여야 하며 수평 연소 확대에 대한 제도 규정이 필요하다고 지적하였다. Oh and Park (2013)⁽²⁾은 건물 간 이격거리 협소에 따른 개구부 방화설비의 개선방안 연구에서 개구부를 통한 건물 외부로의 화재가 발생할 경우 그 건물과 인접한 건물에 개구부가 있는 경우 연소 확대의 위험에 노출될 수 있다고 보고 서울의 방화지구의 현황 및 운영 실태와 인접건물로의 연소 확대 및 인허가 과정에서의 방화설비의 적용 시 문제점을 분석하고 건물 간 이격거리 협소에 따른 개구부 방화설비의 개선방안에 대하여 연구를 진행하여 화재 확산 방지를 위해 건물 상층 부 뿐만 아니라 인접건물로의 화재 확산 방지를 위해 트렌치 등 방화설비의 적용을 인접 건물의 동일 층 개구부까지도 방화구역으로 설정하여야 한다고 하였다.

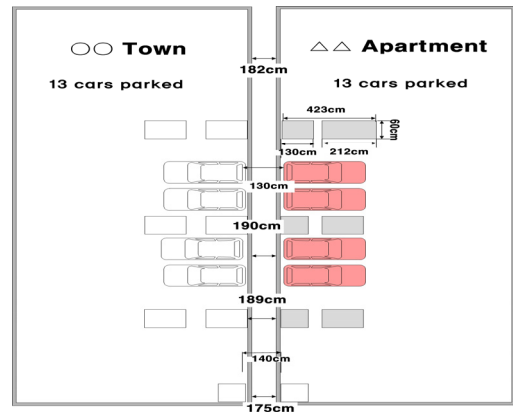


Figure 1. Structure of the building.

4. 화재모델링 및 시뮬레이션

4.1 화재시뮬레이션 프로그램 (FDS) 5.5.3⁽³⁾

화재모델링은 The National Institute of Standards and Technology (NIST)에서 개발한 화재시뮬레이션 Fire Dynamics Simulator (FDS) 프로그램을 사용하였다. Grid Sensitivity가 5 이상 되도록 셀 크기를 설정하였으며, 필로티의 구조 특성상 천장 고도가 낮아 해석의 민감도를 높이기 위해 Cell 크기는 0.2 m×0.2 m×0.2 m로 하고 그리드의 적정범위를 다음과 같이 정하였다. 자동차의 열방출율은 3,431 kW를 적용하여 차량 4대가 동시가 연소하는 것으로 하였으며, 해석 시간은 1,800 s (30 min)이다.

$$D = \left[\frac{Q^*}{\rho \cdot C_p \cdot T_{\infty} \cdot g} \right]^{\frac{2}{5}} \tag{1}$$

$$D^* / \delta > 5 \tag{2}$$

$$\delta > \delta_{x,y,z} \tag{3}$$

- D^* : Characteristic Fire Diameter
- ρ : 주변공기 밀도 (1.204 kg/m³)
- CP : 주변공기 비열 (1.005 kJ/kg.K)
- T_{∞} : 주변공기 온도 (293 K)
- g : 중력가속도 (9.81 m/s²)
- Q^* : 열방출율 (kW)

5 이상 : 무차원수, NUREG 1824 (미국 원자력 위원회)의 민감도 수용범위

$\delta > \delta_{x,y,z}$: 실제 적용된 격자크기

4.2 화재 시나리오 및 건물의 구조

실험은 의정부 도시형생활주택의 필로티 공간화재를 모델링하여 현장에서 실측한 옆 건물간의 간격, 높이, 차량과

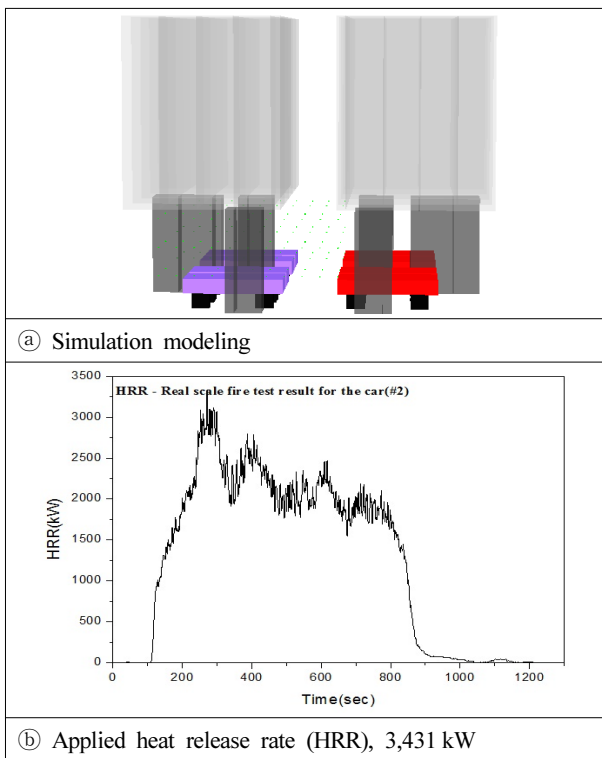


Figure 2. Simulation modeling.

의 간격을 적용하였다. 화재 당시 필로티 공간에는 13대의 차량이 주차되어 있었으나, 본 실험은 옆 건물로의 연소 확산 위험성을 확인하기 위함이기 때문에 Figure 1과 같이 옆 건물에 인접해 있는 4대의 차량이 연소되는 상황을 재현하였으며, 천장의 우레탄 단열재의 연소하중과 바람의 영향은 무시하였다.

본 실험에 비해 실제 현장과 같은 조건에는 차량 13대와 천장 단열재 모두가 연소되면서 바람의 영향으로 필로티 외부로 거센 화염이 분출되기 때문에 시뮬레이션 결과에 비해 훨씬 빠른 연소 확대가 예상되나 본 실험에서는 최소 조건의 시나리오이기 때문에 그 결과를 실제 건물의 간격을 적용하려면 보다 더 넓은 건물 이격거리가 적용되어야 할 것으로 본다.

실제 화재현장의 두 건물의 간격은 1.75 m~1.90 m의 간격을 유지하고 서로 인접해 있으나, 본 실험은 건물의 간격에 따른 온도의 변화를 확인하기 위함임으로 Figure 2의 (a)와 같이 시뮬레이션에 적용된 두 건물은 3.0 m를 유지하였다. 그리고 △△아파트에서 ○○타운 방향으로 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m, 3.0 m, 3.5 m, 4.0 m, 4.5 m, 5.0 m 간격마다 온도 변화를 보기위한 온도센서를 부착하였다. 또한 각 온도센서로부터 수직방향 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m 마다 온도센서를 부착하여 각 높이별 온도 변화를 확인하였다. 차량의 연소 하중은 (b)와 같이 한국건설기술연구원 건축물 화재확대방지를 위한 연소특성 Data Base에서 차량 1대가 연소 될 때 발열량인 3.431 kW를 적용하였으며, 차량의 연소는 필로티

Table 3. Temperature Distribution at 1.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 300 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	225.25	188	241	244	228
2.0	221	190	237	264	193
2.5	212	202	236	217	193
3.0	239	236	332	194	194
3.5	246.5	280	296	216	194
4.0	243.75	281	294	216	184
4.5	230.25	279	278	180	184
5.0	212.75	269	234	172	176

Table 4. Temperature Distribution at 2.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 300 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	171	174	175	169	166
2.0	169.25	175	168	169	165
2.5	177.25	178	187	179	165
3.0	177.25	181	192	169	167
3.5	179.5	190	192	167	167
4.0	198.25	261	196	164	169
4.5	178.75	185	196	164	170
5.0	171.5	181	180	163	162

전체에 화염이 휩싸였을 경우를 가정하여 4대가 동시에 연소되는 것으로 설정하였다.

폴리우레탄의 일반적인 발화온도는 315 °C~370 °C로 알려져 있다.⁽⁴⁾ 그러기 때문에 발화 건물에서 화염이 확산되어 옆 건물에 옮겨 붙을 수 있는 최소 온도인 300 °C에서 목재의 발화온도 450 °C를 적용하여 건물 이격간격 별로 300 °C, 400 °C 그리고 450 °C에 도달하는 시간을 측정한다.

5. 결과 및 고찰

5.1 발화건물로부터 거리별 300 °C에 이르는 시간

5.1.1 수직 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m의 높이

발화건물로부터 확산된 화염이 거리별 떨어져 있는 온도가 지면으로부터 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m 상단에 300 °C에 도달하는 시간은 Table 3, 4, 5와 같다.

수평으로 1.5 m 떨어진 곳의 각각의 온도센서 p1, p2, p3, p4의 평균시간은 225.25 s였고, 수평거리 2.0 m에서는 221 s, 2.5 m는 212 s, 3.0 m는 239 s, 3.5 m는 246.5 s, 4.0 m는 243.7 s, 4.5 m는 230.25 s, 그리고 5.0 m는 212.75 s였다. 수직 2.0 m높이 공간 p1, p2, p3, p4의 온도센서가 300 °C에 이르는 평균 시간은 Table 4와 같다. 수평 1.5 m에서는 171 s,

Table 5. Temperature Distribution at 3.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 300 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	161.25	170	163	157	155
2.0	161.5	176	163	155	152
2.5	162	172	163	161	152
3.0	162	172	162	161	153
3.5	164	177	163	161	155
4.0	162.75	172	163	161	155
4.5	164.25	176	163	162	156
5.0	165.5	173	166	162	161

Table 6. Temperature Distribution at 1.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 400 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	394	359	393	442	382
2.0	463.75	339	573	560	383
2.5	552.5	344	609	629	628
3.0	738.5	345	1213	629	767
3.5	1216.5	519	747	30 min	30 min
4.0	1160	693	347	30 min	30 min
4.5	1016	593	299	30 min	1372
5.0	786	363	323	1361	1097

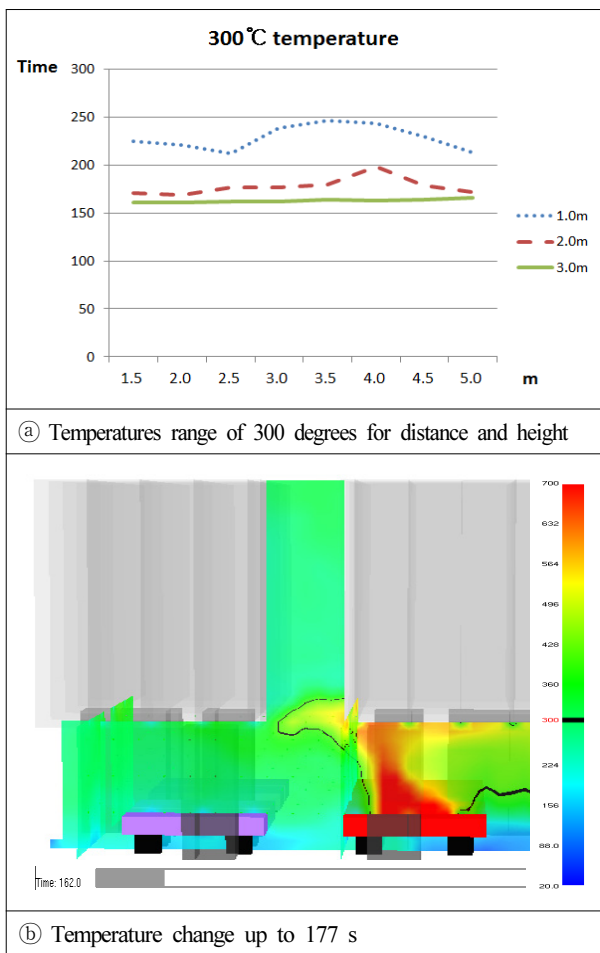


Figure 3. Flame growth form.

2.0 m는 169.25 s, 2.5 m과 3.0 m는 177.25 s, 3.5 m는 179.5 s, 4.0 m는 198.25 s, 4.5 m는 178.75 s 그리고 5.0 m는 171.5 s가 걸리는 것으로 확인되었다. 수직 3.0 m 높이가 300 °C에 도달하는 시간은 Table 5와 같다. 수평거리 1.5 m에서는 161.25 s, 2.0 m는 161.5 s, 2.5 m는 162 s, 3.0 m는 162 s, 3.5 m는 164 s, 4.0 m는 162.75 s, 4.5 m는 164.25 s 그리고 5.0 m는 165.5 s가 걸렸다.

필로티와 같은 구조의 건축물에서의 화염 성장은 천장을 통해 주변 건물로 확산된다. 필로티 구조는 개방된 공간이기 때문에 필로티에 주차된 차량과 천장의 단열재 그리고 이곳에 적재된 이연성재질의 가연물이 풍부한 공기 유입의 영향으로 일반 건축물의 공간적 화재에 비해 연소 속도가 빠르다. 또한 열유속은 상층부를 따라 이동하기 때문에 이격건물의 화재 위험성을 측정하기 위해 건물 한 층의 높이인 3.0 m의 온도 변화를 측정하는 것이 타당해 보임으로 Figure 3의 ①과 ②와 같이 수직 3.0 m 높이에서 300 °C에 도달하는 시간 측정에서 수평 1.0 m 거리에 떨어진 곳은 161.25 s가 걸렸고, 1.5 m 떨어진 곳은 161.5 s, 2.0 m 떨어진 곳은 161.5 s, 2.5 m와 3.0 m 떨어진 곳은 모두 162 s가 걸렸으며, 3.5 m는 177 s, 4.0 m는 162.75 s, 4.5 m는 164.25 s가 걸렸으며 그리고 5.0 m는 165.5 s가 걸리는 것을 확인하였다. 그러므로 높이 3 m에서 300 °C에 이르는 시간이 가장 빠른 위치는 1.5 m 떨어진 위치로 확인되었다.

5.2 발화건물로부터 거리별 400 °C에 이르는 시간

5.2.1 수직 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m 높이

발화 이후 옆 건물로의 화염 확산이 지면으로부터 수직 1.0 m 높이에 400 °C에 이르는 시간을 측정한 결과는 Table 6 과 같다. 수평 1.5 m 떨어진 곳의 평균시간은 394 s가 걸렸고, 2.0 m는 463.75 s, 2.5 m는 552.5 s, 3.0 m는 738.5 s, 3.5 m는 1216.5 s, 4.0 m는 1160 s, 4.5 m는 1016 s 그리고 5.0 m는 786 s가 걸렸다.

수직 2.0 m 높이공간의 온도가 400 °C가 되는 거리별 시간은 Table 7과 같다.

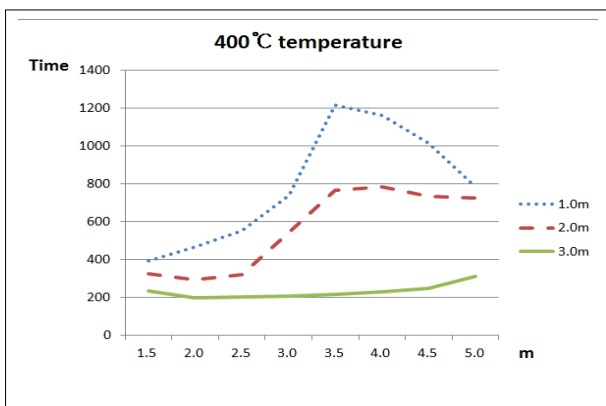
1.5 m는 324.75 s, 2.0 m는 294.5 s, 2.5 m는 312.25 s, 3.0 m는 543 s, 3.5 m는 543 s, 4.0 m는 785 s, 4.5 m는 735.5 s이며 그리고 5.0 m는 726.25 s가 걸리는 것으로 확인되었다. 수직 3.0 m 높이의 온도가 400 °C가 되는 거리별 시간은 Table 8과 같다. 수평 거리 1.5 m 떨어진 곳의 각각의 온도 센서가 400 °C가 되는 시간은 232 s이고, 2.0 m는 199 s, 2.5 m는 201.5 s, 3.0 m는 208.5 s, 3.5 m는 213.5 s, 4.0 m는

Table 7. Temperature Distribution at 2.0 m Height

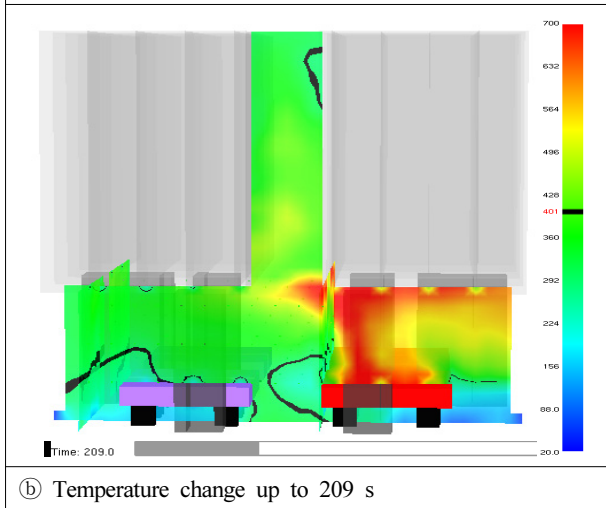
Location (m)	Reaching Time of 400 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	324.75	222	308	387	382
2.0	294.5	222	293	440	223
2.5	312.25	283	293	449	224
3.0	543	281	291	569	1031
3.5	766.75	281	280	1253	1253
4.0	785	282	281	1289	1288
4.5	735.5	282	279	1283	1098
5.0	726.25	280	278	1253	1094

Table 8. Temperature Distribution at 3.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 400 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	232	192	178	196	362
2.0	199	214	179	179	224
2.5	201.5	210	193	179	224
3.0	208.5	211	201	198	224
3.5	213.5	232	213	195	214
4.0	229.5	280	224	200	214
4.5	246.5	280	278	213	215
5.0	310	280	275	213	274



㉑ Temperatures range of 400 degrees for distance and height



㉒ Temperature change up to 209 s

Figure 4. Flame growth form.

229.5 s, 4.5 m는 246.5 s 그리고 5.0 m는 310 s가 걸리는 것으로 확인되었다. Figure 4의 ㉑는 각 지점별 시간을 나타낸 것이다. 이 그래프에서 보듯 400 °C에 이르는 시간이 가장 빠른 위치는 높이 3.0 m로 200 s 전후에서 400 °C를 초과하는 것으로 나타났다. 그림 ㉒는 발화 이후 3.0 m 떨어진 곳의 온도가 400 °C에 이르는 209 s의 온도 변화를 나타낸 것이다.

Table 9. Temperature Distribution at 1.0 m Height

Location (m)	Reaching Time of 450 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	1124	361	535	30 min	30 min
2.0	1435	340	30 min	30 min	30 min
2.5	1546.75	787	30 min	30 min	30 min
3.0	1587.25	949	30 min	30 min	30 min
3.5	1642.25	1169	30 min	30 min	30min
4.0	1444.25	1160	1017	30 min	30 min
4.5	1386	1238	706	30 min	30 min
5.0	1177.25	1352	460	30 min	1097

5.3 발화건물로부터 거리별 450 °C에 이르는 시간

5.3.1 수직 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m 높이

발화이후 수직 1.0 m, 2 m, 3 m 높이의 온도가 450 °C가 되는 시간을 Table 9. 10. 11에 나타냈다.

1.5 m 떨어진 곳은 1124 s가 걸렸고, 2.0 m는 1435 s, 2.5 m는 1546.75 s, 3.0 m는 1587.25 s, 3.5 m는 1642.25 s, 4.0 m는 1444.25 s, 4.5 m는 1386 s가 걸렸다. 그리고 5.0 m에는 1177.25 s가 걸리는 것을 확인하였다. 수직 2.0 m 높이별 거리 1.5 m 이격된 곳은 1069 s, 2.0 m는 1069.5 s, 2.5 m는 1066.5 s, 3.0 m는 1067.25 s, 3.5 m는 953 s, 4.0 m는 1049.75 s, 4.5 m는 1004.25 s, 그리고 5.0 m는 785.75 s가 걸리는 것으로 확인되었다. 일부 온도센서에는 30 min 이상이 경과되는 형태도 보였다. 수직 3.0 m 높이의 온도가 450 °C가 경과되는 시간 중 1.5 m 떨어진 곳은 476.5 s, 2.0 m는 491 s, 2.5 m는 507.25 s, 3.0 m는 509 s, 3.5 m는 650.75 s, 4.0 m는 775.5 s, 4.5 m는 770.5 s 그리고 5.0 m는 766.25 s가 걸리는 것을 확인하였다. 전체 높이별 450 °C에 이르는 시간은 Figure 5의 ㉑와 같으며, 온도 분포는 ㉒에서 나타났다.

발화 이후 2.0 m 지점은 491 s가 지나자 450 °C 이상의 온도를 보였고, 3 m는 509 s에 450 °C 이상의 온도 분포를 보이고 있다.

Table 10. Temperature Distribution at 2.0 m High

Location (m)	Reaching Time of 450 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	1069	332	334	30 min	30 min
2.0	1069.5	336	342	30 min	30 min
2.5	1066.5	333	333	30 min	30 min
3.0	1067.25	333	336	30 min	30 min
3.5	953	334	299	1379	30 min
4.0	1049.75	309	290	30 min	30 min
4.5	1004.25	317	283	1617	30 min
5.0	785.75	317	324	1405	1097

Table 11. Temperature Distribution at 3.0 m High

Location (m)	Reaching Time of 450 °C				
	Average	p1	p2	p3	p4
1.5	476.5	213	305	194	1194
2.0	491	214	283	198	1269
2.5	507.25	284	281	210	1254
3.0	509	283	284	217	1252
3.5	650.75	281	281	787	1254
4.0	775.5	286	280	1268	1268
4.5	770.5	283	279	1268	1252
5.0	766.25	281	279	1254	1251

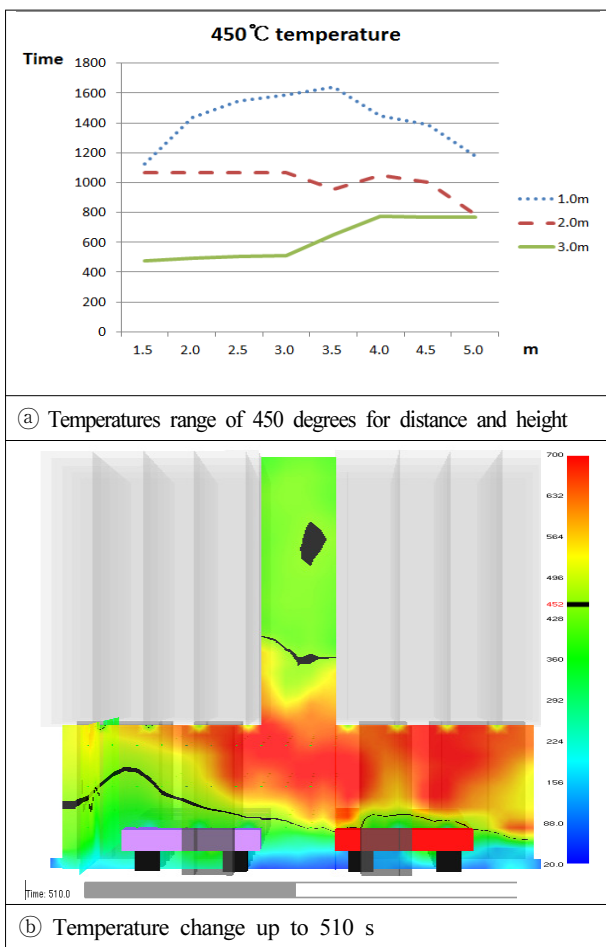


Figure 5. Flame growth form.

5.4 발화 건물로 부터 인근 건물 이격거리 제한

대부분의 저층 위주의 도시형생활주택은 1층을 필로티로 구성하고 그 공간을 주차장으로 사용하는 경우가 많다. 필로티 1층은 건물의 층수와 면적에서 제외되기 때문에 협소한 도시공간에서는 주차장 부지 확보가 곤란하기 때문에 1층을 필로티로 하고 그 공간을 주차장으로 사용할 경우가 보다 더 좋은 혜택은 없을 것이다. 하지만 이러한 필로

티 구조의 주차장을 가진 저층 위주의 도시형생활주택은 필로티를 통해야만 주동으로의 출·입이 가능한 구조이기 때문에 주차장에서 화재가 발생할 경우 입주자가 건물에 갇혀 밖으로의 대피가 곤란하다. 또한 주차장으로 활용되는 필로티 공간은 이곳에 주차된 차량과 단열을 위한 천장의 우레탄폼과 같은 연소하중이 높은 가연물이 많고, 벽체 없이 기둥으로만 구성된 공간이기 때문에 바람의 영향을 많이 받을 수밖에 없다. 화염은 산소의 농도변화와 바람의 영향에 민감하기 때문에 차량과 우레탄폼 등의 연소하중이 높은 가연물이 바람의 영향으로 인해 빠르게 연소되면서 주변으로 확산될 경우 이웃 건물로의 확산 위험이 있다. 하지만 국내의 건축과 소방관련 법규에는 화재확산과 관련된 건축물의 이격거리에 대한 규정이 없고, 일조권과 상층으로의 화염 확산 방지 대책에 대한 일부 규정이 있으나 이는 창문이 있는 벽체로부터 이격거리이기 때문에 창문이 없는 필로티 구조의 건물에는 이 규정이 적용되지 않는다. 그러기 때문에 대부분의 저층 위주의 도시형생활주택의 간격은 체 2 m가 넘지 않게 근접되어 지어지고 있는 실정이며 필로티공간을 주차장으로 활용할 경우 일정한 거리의 이격거리 규정이 필요할 것으로 보인다. 실제로 의정부 △△아파트 도시형생활주택에서 발생하였던 화재 사례에서 보듯 1층 필로티 공간을 통해 확산된 화염으로 인해 2 m 남짓 떨어진 ○○타운 건물이 소훼되어 많은 인명피해를 입혔던 사례에서도 필로티 주차장의 화염 확산에 대한 소화대책과 확산방지 대책이 없었던 이유이기도 하다.

화재시뮬레이션 결과 차량 4대가 연소 될 때 주변으로 화염이 확산되는 온도별 시간을 확인하였다. 우레탄 단열재와 같은 가연물이 연소되는 온도인 약 300 °C에서는 수직높이 1.0~3.0 m 공간 사이 층의 온도는 수평거리 1.0~5.0 m 까지 각 간격별 평균 시간은 약 190 s가 걸렸고, 400 °C에서는 수직높이 1.0~3.0 m 공간사이 층의 온도는 수평거리 1~5.0 m까지 각 간격별 평균 시간은 약 2,770 s가 걸렸으며, 450 °C에서는 수직높이 1.0~3.0 m 공간사이 층의 온도는 수평거리 1.0~5.0 m까지 각 간격별 평균 시간은 약 3,044 s가 걸리는 것을 확인 할 수 있었다. 그러므로 발화건물에서

인근 건물로 확산되기 이전에 화재를 진화할 수 있는 안전 거리를 띄워 건축하던가 아니면 화염 확산을 예방할 수 있는 적절한 소방 설비를 갖추어야 할 것으로 판단된다. 소방 시설등의 성능위주 설계방법 및 기준 별표1의 피난지연시간에 의하면 기숙사, 중·고층 주택이나 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하고, 수면상태일 가능성이 있는 경우에는 화재발생으로부터 5 min 후에 대피를 개시할 수 있다. 이러한 대피 지연시간을 감안하여 피난시물레이션을 연구한 결과에서 2층의 재실자가 1층으로 대피를 완료하는 시간이 484.7 s, 3층은 504.5 s, 4층은 528.5 s, 5층은 531.6 s, 6층은 539.2 s, 7층은 555 s, 8층은 584.6 s, 9층은 605.5 s 그리고 10층은 608 s가 소요되는 것으로 확인된바 있다.⁽⁵⁾ 그리고 화재가 발생하면 목격자나 화재 감지기에 의해 화재가 감지된다. 일반적으로 화재 신고에서 진화를 개시하는 시간은 신고를 받아 출동지령에 걸리는 시간이 1.5 min, 현장에 도착하는 시간이 4.5 min, 그리고 진화준비에 2 min이 걸려 신고에서 진화개시에 걸리는 시간이 전체 8 min이 걸리는 것으로 연구된바 있다.⁽⁶⁾ 그러므로 화재건물로부터 재실자가 화재를 인지하고 밖으로 대피가능한 시간과 소방이 출동하여 화재진화를 개시하는 시간 등을 고려해 볼 때 최소한 건물과 건물사이의 이격거리는 화염의 온도 400 °C에서 600 s 동안 안전한 거리가 필요하다. 그러므로 건물의 간격은 최소 3.0 m 간격을 이격하여 건축되어야 한다.

6. 결 론

소형위주의 도시형생활주택 증가와 답답함과 사생활 침해 등으로 1층을 기피함에 따라 1층을 필로티 구조로 하고 그 공간을 주차장으로 활용하는 경향이 증가하고, 또한 화재확산과 관련하여 건물사이의 안전 이격거리에 대한 규정이 없어 필로티주차장에서 화재가 발생할 경우 이웃건물로의 화재 확산의 위험이 따른다. 또한 화재가 발생하면 재실자가 화재발생 사실을 인지하는데 까지 약 5 min이 경과하고 소방은 신고로부터 약 8 min 후부터 화재 진화를 개시하는 것으로 볼 때 최소한 건물과 건물사이의 이격거리

는 건물의 입주자가 안전하게 밖으로 대피하고 소방이 도착하여 화재를 개시하는 시간을 확보하여야 할 것으로 보인다. 천장 높이 3 m에 일반적인 목재의 연소 온도인 약 400 °C에 도달할 때까지 약 10 min 이상을 확보할 수 있는 거리가 필요하다고 생각된다. 그러므로 본 연구의 화재시물레이션을 통해 거리별 높이별 온도분포 등을 검토한 결과 400 °C에서 건물 한 개 층 높이에 이르는 온도가 최소 600 s 이상을 견뎌야 하는 거리이므로 건물과 건물의 이격 거리는 최소 3.0 m 이상을 유지할 것을 제안하고자 한다. 건축물 이격거리와 관련된 연구는 추후 가연물 조건과 바람의 영향 등에 따라 화염 분출 길이가 어떻게 달라지는지에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

References

1. H. C. Kim, "Evaluation of Fire Spread Phenomena due to Types of Exterior Wall Opening and Balcony for Apartments", Doctorate Thesis, Department of Architectural Engineering Graduate School, Hanyang University (2008).
2. T. H. Oh and C. S. Park, "Improvement of Fire Protection Equipment the Opening of According to Narrow the Distance Between Buildings", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol. 15, No. 1, pp. 61-68 (2013).
3. "Fire Dynamics Simulator User Guide", NIST Special Publication 1019 (2014).
4. Factory Mutual, "Caution-Plastics in Construction, Part 1. Foamed Plastic Insulation", Record, 3rd Quarter, pp. 6-11 (1997).
5. S. B. Choi, D. M. Choi and D. C. Choi, "Study of the Fire Risk of Occupants During Pilotis Space Fires", Fire Science and Engineering, Vol. 30, No. 5, pp. 144-150 (2016).
6. J. J. Choi, "A Study on the Deployment Fire-Service Force in Korea", Doctorate Thesis, Department of Public Administration, Graduate School, Chonnam Nation University (2001).