

공동주택 화재감지 및 소화성능개선에 관한 연구

이채원 · 손봉세*[†]

가천대학교 대학원 소방방재공학과, *가천대학교 소방방재공학과

A Study for Performance Improvement of Fire Detector and Sprinkler Head in Apartment Houses

Chae-Won Lee · Bong-Sei Son*[†]

Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering Graduate School, Gachon Univ.

*Dept. of Fire and Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

(Received November 17, 2014; Revised January 16, 2015; Accepted January 19, 2015)

요 약

본 연구는 공동주택에 일반적으로 설치하는 열감지기와 스프링클러헤드의 작동에 관한 문제점과 개선 대책을 제시한 연구이다. 2010년 인구주택 조사에 의하면, 공동주택은 전체 주거시설의 71.6%이며 최근 7년간 소방방재청의 화재통계 자료에 의하면, 매년 전체 화재의 약 25.0%, 인명피해는 46.4%가 공동주택에서 발생한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 화재안전에 대한 개선대책을 수립하기 위하여 화재원인과 특성을 파악하였고, 국내 공동주택의 대표적인 평형을 대상으로 가상화재시물레이션을 수행하였다. 가상화재시물레이션을 시나리오는 기존 공동주택에 설치된 표준형 스프링클러헤드와 열감지기, 최근에 설치가 요구되는 주거전용 스프링클러헤드와 연기감지기의 작동시간 등을 비교 분석하였다. 시물레이션 수행결과 기존 공동주택에 설치된 표준형 스프링클러헤드와 열감지기는 감지 및 작동시간이 늦어 조기화재진압에 불리한 것으로 나타났으므로 주거전용 스프링클러헤드와 연기 · 열복합형감지기로 교체 · 설치하는 것이 필요하다. 또한, 기존 공동주택 중 스프링클러소화설비의 설치가 제외된 층에도 스프링클러소화설비 설치를 고려해야 한다. 특히, 공동주택 안전관리의 효율화를 위하여 선진국과 같이 원격으로 주거공간의 소방시설을 점검할 수 있도록 시스템을 구축할 필요가 있다.

ABSTRACT

This study suggested the problems and their improvement measures for the operation of fire detectors and sprinkler heads installed at apartment houses. According to a census on population and housing in 2010, apartment houses account for 71.6% of the total housing facilities. And by fire statistics data of the National Emergency Management Agency, approximately 25.0% of fire accidents and 46.4% of casualties occur at apartment houses every year. Therefore, this study conducted for identifying the causes and characteristics of fire to establish the fire safety improvement measures for apartment houses. And this study was carried out virtual fire simulation at domestic apartment houses. The scenario of the simulation contains a comparative analysis on the operation time of standard sprinkler heads and residential sprinkler heads, heat detectors and smoke detectors. As a result of simulation, it was found that standard sprinkler heads and heat detectors installed at the existing apartment houses should be replaced with residential sprinkler heads and smoke detectors for rapid fire suppression. In addition, sprinkler systems should be considered to be installed for excluded floor at apartment houses. Especially, it is necessary to construct remote inspect systems like advanced countries for efficiency of apartment houses safety management.

Keywords : Apartment houses, Fire statistics, Simulation, Fire detector, Alarm valve

1. 서 론

주택법 제2조 2항에 정의된 공동주택은 건축물의 벽 · 복도 · 계단 기타 설비 등의 전부 또는 일부를 공동으로 사

용하며 각 세대가 하나의 건축물 안에서 각각 독립된 주거 생활을 영위할 수 있는 구조로 된 주거시설⁽¹⁾로서 건축법 시행령 별표1 제2호에 따라 아파트, 연립주택, 다세대주택, 기숙사 등이 포함된다⁽²⁾. 2013년 지적통계연보를 기준으

[†]Corresponding Author, E-Mail: bsson@gachon.ac.kr
TEL: +82-31-750-5713, FAX: +82-31-750-5713

ISSN: 1738-7167
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.1.038

로, 전체 주거시설 13,883,571호 중 공동주택은 아파트 8,185,063호(59.0%), 다세대주택 1,246,486호(9.0%), 연립주택 503,630호(3.6%) 등 9,935,179호인 71.6%에 달한다⁽³⁾. 이렇듯 공동주택은 국민 대다수가 거주하는 주거시설로서 다른 용도의 소방대상물보다 가장 높은 수준의 안전이 보장되어야 하는 방호공간이다.

본 연구에서는 연면적 660 m²를 초과하고 주택으로 쓰이는 층수가 5개 이상인 주택 중 소방법에서 규정하고 있는 자동화재탐지설비와 스프링클러소화설비가 설치대상인 아파트를 중심으로 화재안전성능에 대한 문제점 및 개선방안에 대해 연구를 하였다.

최근 국내에서도 공동주택은 초고층으로 건설되고 있으며, 중국 선전 시의 경우 주택의 약 95.0%가 고층아파트일 정도로 공동주택은 갈수록 고층화되고 있다⁽⁴⁾. 초고층 공동주택에서 화재 발생 시, 과학적이고 체계적인 초기대응을 하지 못할 경우 인접세대나 상층세대로 화재가 빠르게 수직 확산할 가능성이 높다. 따라서 화재안전공학적인 측면에서 초고층 공동주택은 기존의 11층 이하 공동주택

보다 잠재 화재 위험성이 높아서 인명 및 재산피해가 많이 발생할 가능성이 높다.

따라서 본 연구는 국내 공동주택의 화재 통계자료 분석, 가상화재시뮬레이션, 화재시스템의 문제점 분석을 통해 공동주택의 화재안전성능 확보에 필요한 기초 연구를 수행하였다.

2. 공동주택 화재 발생 분석

2.1 국내 공동주택 화재 발생 현황

2007년부터 2013년까지 국내에서 발생한 화재 건수에 대한 국가화재정보센터의 화재통계자료는 Table 1과 같으며⁽⁵⁾, 연평균 44,964건의 화재가 발생하여, 1일 평균 123건의 화재가 전국에서 발생하는 것으로 나타났다. 주거시설의 화재는 연평균 11,132건이 발생해 전체 화재 발생의 약 24.7%를 차지했고, 주거시설 중 공동주택의 화재는 연평균 4,205건이 발생해 주거공간 화재 발생의 약 37.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 국내에서 발생한 사망자와 부

Table 1. Statistics of Fire and Injury (2007~2013)

Index	Outbreak of fire					Casualties				
	All	Home		Apartment house		All	Home		Apartment house	
	Number	Number	Percentage (Home/All)	Number	Percentage (Apt/Home)	Number	Number	Percentage (Home/All)	Number	Percentage (Apt/Home)
2007	47,882	11,430	23.9%	4,427	36.0%	2,459	1,066	43.4%	461	43.2%
2008	49,631	12,283	24.7%	4,737	38.6%	2,716	1,137	41.9%	477	42.0%
2009	47,318	11,767	24.9%	4,278	36.4%	2,441	1,080	44.2%	406	37.6%
2010	41,863	10,509	25.1%	3,866	36.8%	1,892	948	50.1%	379	40.0%
2011	43,875	10,645	24.3%	3,942	37.0%	1,862	883	47.4%	374	42.4%
2012	43,249	10,691	24.7%	4,026	37.7%	2,223	1,037	46.7%	463	44.6%
2013	40,932	10,596	25.9%	4,156	39.2%	2,184	1,076	49.3%	522	48.5%
Average	44,964	11,132	24.8%	4,205	37.4%	2,254	1,032	46.1%	440	42.6%

Table 2. Cause of Fire in Apartment House (2007~2013)

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Average
Electricity	664	783	683	737	793	831	844	762.1
Machine	113	115	124	142	156	153	154	136.7
Chemistry	5	8	9	4	7	5	10	6.9
Gas Leak	46	38	24	26	30	23	23	30
Traffic Accident	0	1	0	0	0	0	0	0.14
Carelessness	2,710	2,905	2,641	2,179	2,203	2,369	2,509	2,502.3
Etc.	123	46	35	38	34	40	35	43.9
Spontaneous	4	0	6	5	3	2	1	3
Asron	85	136	113	125	114	66	103	106
Suspected Arson	308	397	297	280	268	204	174	275.4
Unknown	369	308	346	330	334	334	303	332

상자를 합한 인명피해는 연평균 2,254명이며, 이는 1일 평균 6명의 인명피해가 발생한 것이다. 이 중 주거시설에서 발생한 인명피해는 연평균 1,032명이며 전체 인명피해의 약 46.1%를 차지하였고, 주거시설 중 공동주택의 인명피해는 연평균 440명이 발생해 주거시설 인명피해의 약 42.6%를 차지하였다. 이처럼 주거시설은 비주거 시설에 비해 많은 화재가 발생하고, 인명피해의 비율은 더욱 높은 것으로 나타났다. 즉, 주거시설은 화재 발생 대비 인명손실이 크므로 화재안전이 확보되어야 한다.

2.2 국내 공동주택 화재 원인

2007년부터 2013년까지 공동주택의 화재 발생의 주요 원인은 Table 2와 같다. 부주의로 인한 화재가 60.0%를 차지하며 가장 높은 비율을 나타냈고, 이어 전기적인 원인에 의한 화재가 18.1%, 미상 약 8.0%, 방화 의심 6.6%, 기계적 요인 3.3% 등의 순으로 화재가 발생하였다.

2.3 화재통계 자료 분석

2.3.1 한국 소비자원 조사

2012년 1월부터 2013년 10월까지의 화재 관련 안전사고를 분석한 한국소비자원 조사에 의하면, 가정 내에서 발생한 화재품목 총 2,241건 중 ‘전기장판 매트’ 사용으로 인한 화재사고가 18.4%로 가장 큰 비율을 차지했다⁽⁶⁾. 또한 계절 중 겨울에 전체의 26.3%의 화재가 발생해 가장 높은 비율을 보였다. 따라서 화재 장소는 전기장판 매트 사용 중인 ‘침실’에서 23.3%로 가장 많이 발생하였다. 다음 Table 3은 화재사고품목 및 화재 발생장소를 나타냈다.

2.3.2 한국화재보험협회 조사

한편, 한국화재보험협회 특수건물 화재조사분석에 의하면 Table 4와 같이 아파트의 생활공간 화재 478건 중 주방화재가 206건(전체의 43.0%)으로 가장 빈번하게 발생했다⁽⁷⁾. 다음으로는 침실화재 98건(20.5%), 거실화재 63건(13.0%)

등의 순으로 화재가 발생했다.

3. 공동주택 화재시뮬레이션

3.1 화재시뮬레이션 개요

화재시뮬레이션은 zone fire modeling 기법인 CFAST와 field modeling 기법인 fire dynamics simulation (FDS)로 구분된다. 본 연구의 시뮬레이션에 사용한 프로그램은 thunderhead engineering에서 개발된 소프트웨어인 PyroSim (2012)으로, FDS를 보다 간편하게 사용할 수 있다. FDS는 화염이나 연기 등의 유체 흐름에 대해 해석하는 전산 유체역학(CFD) 프로그램으로 사용 field model은 질량 · 운동량 · 에너지 보존식을 따르며^(8,9) 연소 모델(combustion model), 유체역학모델(hydrodynamic model), 복사전달(radiation transport) 등의 이론을 활용해 화재현상을 규명한다.

3.2 대상 및 조건 선정

전체 공동주택의 41.6%로⁽¹⁰⁾ 가장 보편적인 평형인 99 m²의 아파트를 대상으로 화재시뮬레이션을 수행하였다. 아파트 내부구조의 개략도는 Figure 1과 같이 각 세대 방화문과 내화벽체로 구획되고, 너비 1.2 m의 피난계단이 1개 배치되어 있으며 크기는 8.2 m × 14 m, 높이는 2.4 m이다.

화재 발생 위치는 침실, 주방, 거실로 각각 적정의 화재하중을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션은 the national institute of standards and technology (NIST) 등의 자료를 활용해 Table 5와 같은 조건을 적용했다.

침실 화재는 침대 위 전기장판 매트 화재로 열방출율은 NIST의 실물화재데이터에 기초한 매트리스 열방출율 1,000 KW⁽¹¹⁾를 적용하고 다른 가연물의 화재하중은 제외하였다. 화재성장속도는 매트리스의 화재이므로 1 MW의 열방출이 300초 이내에 발생하는 medium fire를 적용하였

Table 3. Item and Site of Fire in Home

Item	Electric Blanket	Washing Machine	Fire Wood Boiler	Refrigerator	Fluorescent Lamp	Electric Boiler	Kimchi Refrigerator	Fan	TV	Receptacle Connector
Percentage	18.4%	6.7%	6.0%	3.9%	3.2%	3.0%	3.0%	2.7%	2.5%	2.4%
Place	Bed Room		Kitchen			Boiler Room			Living Room	
Percentage	23.3%		15.4%			11.75			7.9%	

Table 4. Site of Fire in Apartment

Place	Kitchen	Bed Room	Living Room	Etc Place	Laundry Room	Bath Room	Study Room	Lounge	Total
Number	206	99	63	58	22	22	5	3	478
Percentage	43%	20.7%	13.2%	12.1%	4.6%	4.6%	1.0%	0.6%	100%

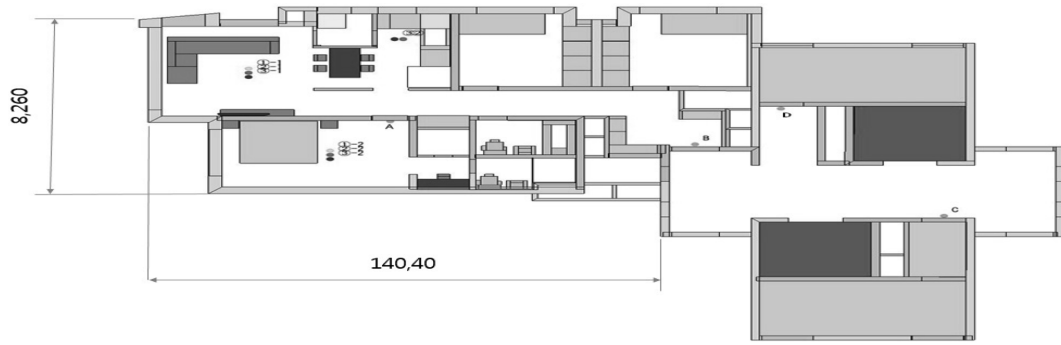
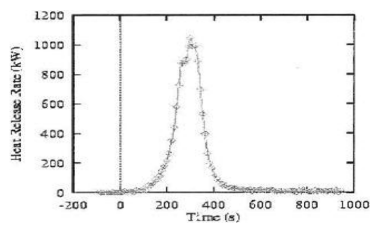
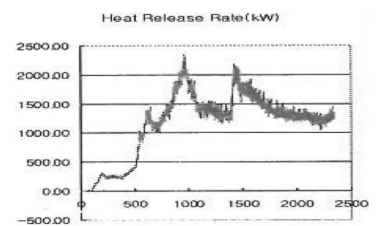
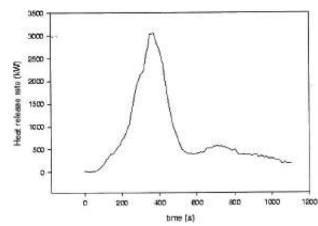


Figure 1. Schematic diagram of room.

Table 5. Condition of Simulation

Index	Room	Kitchen	Living room
Fire Origin	Mattress	Sink	Sofa
Heat Release Rate	1,000 kW	2,363 kW	3,000 kW
Velocity	Medium Fire	Fast Fire	Medium Fire
Basis	The National Institute of Standards and Technology (NIST), General Services Administration (GSA) and Performed at BFRL	Underground Fire and Environment Research Report (Center for Underground Fire and Environment Research)	NFPA 72. (Table B.2.3.2.6.2 Furniture Heat Release Rates)
Data			

다. 주방 화재는 싱크대에서 화재가 발생한 것으로 열방출율은 국토교통부의 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업보고서에 기초한 싱크대 열방출율 2,363 KW⁽¹²⁾를 적용하고 다른 가연물의 화재하중은 제외했다. 화재성장속도는 fast fire를 적용해 1 MW의 열방출이 150초 이내에 발생하도록 하였다. 또한, 거실 화재는 소파 화재로 열방출율은 NFPA Handbook에서 제시한 열방출율 3,000 KW⁽¹³⁾

를 적용하고 화재성장속도는 medium fire를 적용하였다.

3.3 시뮬레이션 결과 및 분석

실별로 설치한 스프링클러헤드와 감지기는 열감지기, 연기감지기, 표준형 스프링클러헤드 및 주거전용 스프링클러헤드를 설치하였다. 단, 주방은 연기로 인한 비화재보를 우려해 연기감지기를 설치하지 않았다.

Table 6. Simulation Actuation Time - Detector and Sprinkler Head

System	Index	Simulation Type					
		Simulation A: Standard Sprinkler Head Use			Simulation B: Residential Sprinkler Head Use		
		Room	Kitchen	Living room	Room	Kitchen	Living room
Sprinkler Head	Operation Temperature	75 °C	105 °C	75 °C	75 °C	105 °C	75 °C
	Actuation Time	221 s	129 s	165 s	181 s	95 s	123 s
Detector	Heat-Actuation Time	218 s	124 s	162 s	-	-	-
	Smoke-Actuation Time	82 s	-	42 s	82 s	-	42 s

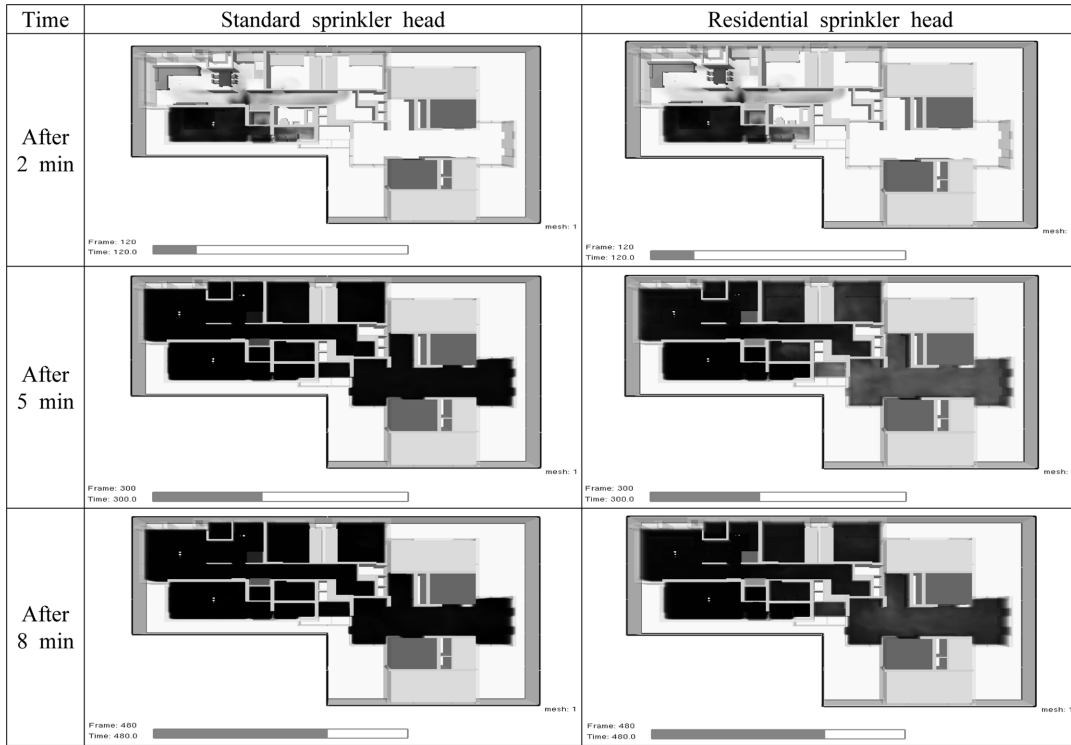


Figure 2. Comparison of smoke view - standard and residential sprinkler head.

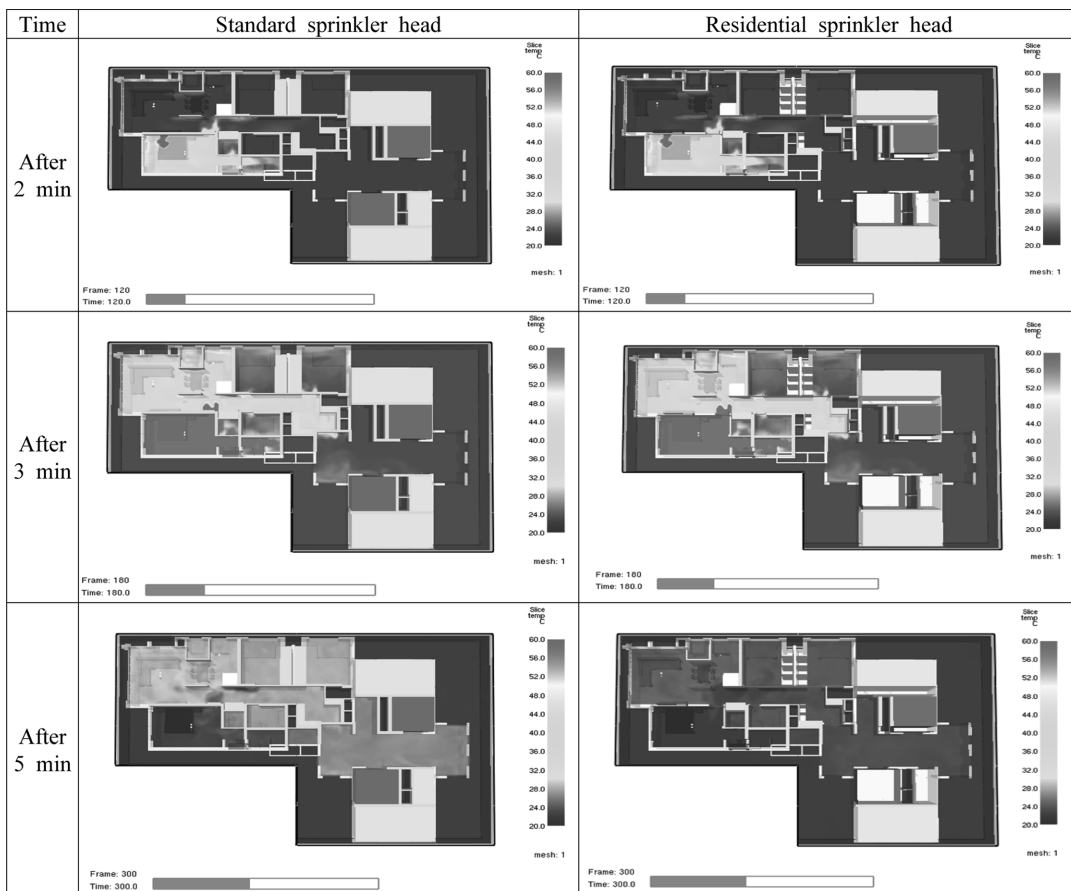


Figure 3. Comparison of temperature - standard and residential sprinkler head.

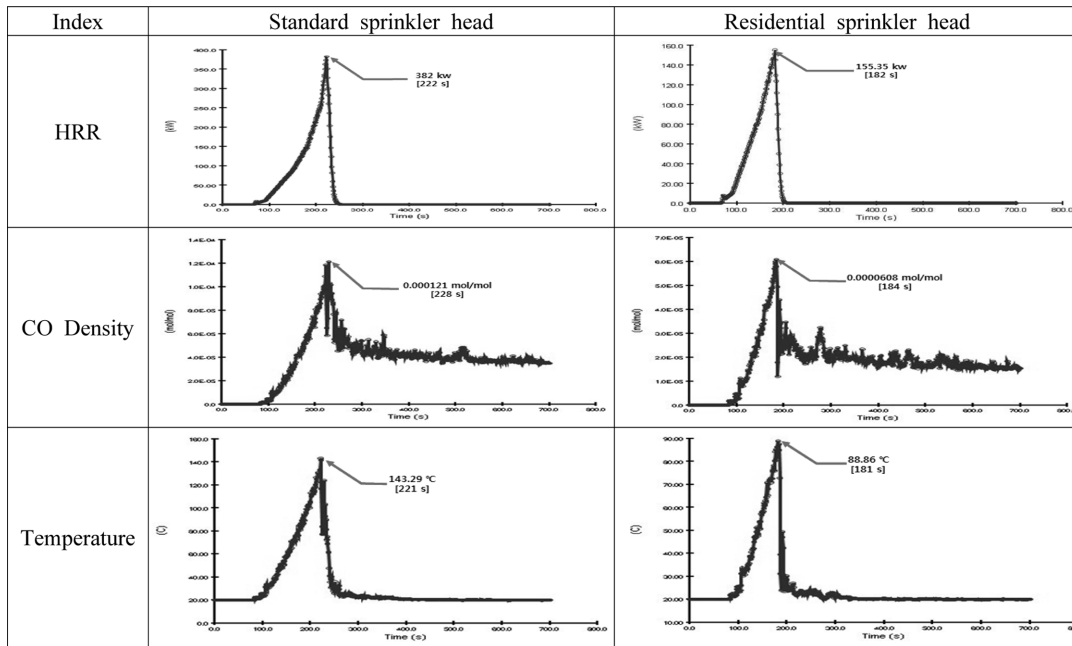


Figure 4. Factor comparison - standard and residential sprinkler head.

시뮬레이션 결과는 Table 6와 같으며 열감지기는 주거 전용 스프링클러헤드가 먼저 작동해 온도를 낮췄기 때문에 작동하지 않았다. 한편, 연기감지기는 열감지기보다 빠르게 동작했으며 표준형 및 주거전용 스프링클러헤드가 작동하기 전에 작동했다. 연기감지기는 평균 62초에 작동했으나 열감지기는 평균 168초에 작동해 연기감지기가 평균 106초 빠르게 작동하였다. 주거전용 스프링클러헤드는 평균 133초에 작동하였으나 표준형 스프링클러헤드는 평균 172초에 작동해 주거전용 스프링클러헤드가 평균 39초 빠르게 작동하였다.

Figure 2와 Figure 3은 침실 화재 발생 후 표준형 스프링클러헤드와 주거전용 스프링클러헤드 작동 시 연기와 온도 변화이다. 두 조건의 연기 및 온도 변화는 주거형 스프링클러헤드 작동 전까지 비슷하였으나 헤드 작동 이후 연기 및 온도 변화 양상은 차이를 보였다.

연기는 사람에게 가시도를 떨어트려 인지능력에 영향을 미치는 가장 중요한 요소로서 가시도의 허용한계 기준인 5 m 미만까지 느리게 감소할수록 유리한 것으로 시뮬레이션 결과, 표준형 헤드 사용 시, 가시도 5 m 미만으로 감소하는 시간은 98초였으며, 주거전용 헤드의 경우 106초로 주거전용 스프링클러헤드를 사용하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 연기감지기는 두 시뮬레이션 모두 82초에 작동해 화재 발생 2분 후까지 화재실의 연기분포는 비슷했으나, 화재 발생 5분 후 표준형 헤드를 설치한 경우 짙은 연기농도가 거실 전체에 확산된 반면, 주거전용 헤드를 설치한 경우 일부 구간에 한정되었다. 따라서 연기 제어를 위해서는 주거전용 스프링클러헤드가 더 효과적임을 알 수 있다.

화재 발생 2분 후 화재실의 온도는 34.9 °C, 3분 후에는 86.3 °C로 같았으나 두 스프링클러헤드가 모두 작동한 이후 화재실의 온도 상승이 급격히 저하되었으므로 화재 발생 4분 후 표준형 헤드가 설치된 화재실 온도는 41 °C, 주거전용 헤드가 설치된 화재실 온도는 22 °C로 주거전용 스프링클러헤드가 온도하강에 약 2배 정도 효과적인 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과, 연기감지기는 열감지기보다 화재의 초기 감지에 적합하고 주거전용 스프링클러헤드는 화재의 초기진압에 적합할 뿐만 아니라 연기 발생 감소와 온도 하강에 효과적인 것으로 나타났다.

Figure 4는 침실 출구의 안전 호흡선인 1.8 m 위치의 열방출율(heat release rate), 일산화탄소(CO) 농도, 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 모든 경우, 스프링클러헤드가 작동하기 직전 최고치를 보였고 표준형 스프링클러헤드가 주거전용 스프링클러헤드를 사용할 때보다 수치가 높았다. 열방출율은 표준형이 382 KW, 주거전용이 155.4 KW로 약 2.45배, 일산화탄소 농도는 표준형이 1.210×10^{-4} , 주거전용이 0.608×10^{-4} 로 약 2배, 온도는 표준형 143.3 °C, 주거전용 88.9 °C로 약 1.6배 높았다.

3.4 공동주택의 화재안전 개선대책

- 1) 열감지기의 작동 온도는 120 °C 이상으로 인명안전기준 온도인 60 °C와 2배 차이가 나므로 열감지기 대신 연기감지기 등 동등 이상 성능을 가진 감지기의 설치가 필요하다.
- 2) 현행 법령에서는 11층 이상인 공동주택은 모든 층에 스프링클러헤드를 설치하도록 규정되어있으나 2005년 이전에 건설된 기존 공동주택의 경우 스프링클러헤드 설치

가 제외된 부분에도 화재안전을 확보하기 위해 스프링클러헤드를 설치할 필요가 있다.

3) 자동화재탐지설비의 경계구역이 600 m²로 여러 세대가 하나의 경계구역으로 구성되어 화재상황을 세대별로 신속하게 숙지 및 대응할 수 없으므로 세대별로 구분하거나, 세대별 화재 발생의 확인이 가능한 단독형 감지기를 설치해야 한다.

4) 방재 선진국과 같이 거주자 부재 시에도 세대별로 소방시설을 원격으로 점검할 수 있는 공동주택 전용 감시 시스템 구축이 필요하다.

4. 결 론

공동주택의 화재 위험성, 자동화재탐지설비의 감지기 성능 및 스프링클러소화설비의 헤드에 대한 작동성능을 파악하기 위해 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 공동주택의 화재 발생을 신속히 감지·통보할 수 있는 단독경보형감지기 또는 열·연기복합형감지기를 설치해야 한다.

2) 기존 공동주택에 설치된 표준형 스프링클러헤드를 작동시간이 빠른 주거전용 스프링클러헤드로 교체·설치할 필요가 있다.

3) 2005년도 이전에 건설된 공동주택의 경우 스프링클러헤드가 미설치된 층에도 스프링클러헤드를 설치할 필요가 있다.

4) 세대별 화재감지 및 경보를 확인할 수 있도록 경계구역을 개선하거나 단독경보형 감지기를 설치하여 세대 내에서 화재 발생을 확인할 수 있도록 하여야 한다.

5) 세대별로 설치된 감지기, 스프링클러헤드 등 소방시설은 외부에서 원격으로 점검할 수 있는 시스템을 구축하고 공동주택의 화재안전을 확보하기 위한 별도의 기준 마련이 필요하다.

후 기

본 연구는 2014년 차세대핵심소방안전기술개발사업

(2012-NEMA14-002-01010001-2014)에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Housing Act" (2014).
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Building Act Enforcement Decree" (2014).
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Cadastral Statistical Annual Report" (2013).
4. The Financial News, 'Shen-zhen' city of apartment, <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=014&aid=0000050279> (2003).
5. National Emergency Management Agency, "National Fire Data System", http://nfds.go.kr/fr_pos_0001.jsf (2014).
6. Korea Consumer Agency, "Case Analysis of Electric Pad Accident in 2012", http://www.kca.go.kr/brd/m_32/view.do?seq=1535&multi_itm_seq=4 (2013).
7. Korean Fire Protection Association (KFPA), "Analyze Special Building Fire", http://www.kfpa.or.kr/data/pdf/02_02/02_2013_01.pdf, p.32 (2013).
8. H. S. Jo, "Performance Based Design 1", pp. 226-246 (2006).
9. Y. G. Kwon, B. S. Son, H. P. Lee and D. M. Lee, "The Mechanics of Fire for PBD" (2012).
10. Statistics Korea, "KOSIS(Korean Statistical Information Service)-Population and Housing Census" (2010).
11. The National Institute of Standards and Technology (NIST), "General Services Administration (GSA) and performed at Building and Fire Research Laboratory (BFRL)" (1991).
12. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Center for Underground fire and Environment research), "Underground Fire and Environment Research Report" (2008).
13. National Fire Protection Association (NFPA), "NFPA 72 : National Fire Alarm and Signaling Code" (2010).