화재통계적 인과관계를 이용한 화재발생 시나리오 도출을 위한 연구

Deriving a Fire Occurrence Scenario Using Fire-Statistical Causation

이수행* · 허동필** · 민세홍***

Lee, Suhaeng*, Heo, Dongpil**, and Min, Sehong***

Abstract

According to the statistics obtained by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in 2019, approximately 40% of the buildings in the nation are buildings aged 30 or more years after completion. The Framework Act on Firefighting Services does not apply to old buildings, and they fall into a blind spot of the fire safety performance system. A large fire in a multi-dense facility causes heavy social casualties. This study therefore aimed to establish the type of fire occurrence and fire source scenario of a building for securing fire safety performance. The current fire scenario derivation method, which was identified as a causation factor among other detailed statistical factors, was analyzed to allow for differentiation from the proposed method. The base data were analyzed to establish fire response and prevention and for developing a performance-based fire-fighting design scenario by deriving a fire occurrence scenario.

Key words : Fire Occurrence Scenario, Fire-Statistical Causation, Performance-Based Design, Multi-Dense Facility

요 지

2019년 국토교통부 통계에 의하면 전국 건축물의 약 40%가 준공 후 30년 이상된, 노후 건축물인 것으로 집계되었다. 이러한 노후 건축물은 90년대 대거 개정된 소방법의 적용을 받지 않아 화재안전성능 관련 제도의 사각지대에 놓여있는 실정이다. 그 중 다중밀집시설의 대형화재가 사회적으로 큰 인명피해를 발생시키고 있으며, 이에 대응하기 위하여 화재안전성능 확보를 위한 용도별 건축물의 화재발생 유형 및 화원의 시나리오를 정립하는 연구를 진행하였다. 기존 화재시나리오 도출방법과의 차별성을 제시하기 위하여, 세부통계요인간의 인과관계를 분석하고 화재발생 시나리오를 도출하여 화재예방 및 대응과 성능위주 소방설계 시나리오 작성을 위한 기반자료를 제시한다.

핵심용어 : 화재발생 시나리오, 화재통계적 인과관계, 성능위주설계, 다중밀집시설

1. 서 론

2017~2019년의 행정안전통계연보(Ministry of Land, 2020)에 의하면 사회재난 중 다중밀집시설 대형화재의 인명피해는 443명으로 가장 많은 인명피해인 62.4%를 차지하였다. 이중 막대한 피해로 사회적 혼란을 야기한 제천 복합건물

화재(2017)는 69명, 밀양 세종병원 화재(2018)는 192명의 인명피해가 발생했다. 이러하듯 불특정 다수인의 다중밀집 시설 이용 시 화재 위험에 노출되어 국민의 화재안전이 위협받고 있는 실정이다. 노후화된 다중밀집시설의 경우, 화재안전성능 관련 제도의 강화 적용 대상에서 사각지대에 놓여 있으므로, 이에 대한 안전대책 마련이 시급하다.

*정회원, 가천대학교 대학원 소방방재공학과 석사과정(E-mail: 2suhaeng@naver.com)

Member, Master Course, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

**정회원, 가천대학교 대학원 소방방재공학과 박사과정(E-mail: jwfc6516@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

***교신저자, 정회원, 가천대학교 설비·소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-5714, Fax: +82-31-750-8749, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

또한 최근 성능위주 소방설계(PBD) 시행의 급격한 증가 추세에 따라 정량적 근거에 의한 화재위험성 평가가 요구되고 있다. 기존의 성능위주 소방설계시나리오는 화재 위험성 평가 시 화재 발생 가능성을 고려하지 않고, 단순히 문헌정보를 활용한 특정 화원의 최대 열발생률을 건축물 용도별 구분 없이 그대로 적용하고 있는 실정이다(Ahn et al., 2017). 이는 ASET 및 최종 화재안전설계의 판정 결과의 신뢰성을 저하시키는 주 요인으로 작용하고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고자, 본 연구에서는 화재통계 요인의 인과관계를 적용한 화재발생 시나리오 도출에 따른 화원에 관한 명확한 근거를 제시한다. 특히, 다중밀집시설에서의 화재발생 가능성을 객관적인 통계형태로 도출하여 화재예방 및 성능위주 소방설계의 신뢰성 구축에 기여하고자 한다.

2. 연구대상의 용도범위 선정

2.1 다중밀집시설

다중밀집시설로서 적용 대상이 되는 건축물의 용도 범위 선정을 위해 다중밀집시설 대형화재 관련 규정을 분석하였다. 국토교통부, 보건복지부 등의 정부 부처에서 작성하고 운영하는 ‘다중밀집시설 대형화재의 위기대응 실무 매뉴얼’에 따른 시설을 검토하였다. 시설 분야로는 다중이용 건축물, 다중이용업소, 다중이용시설, 특정관리대상시설, 화재경계지구가 해당되었다. 이러한 수많은 용도에 해당하는 건축물 및 시설에 적합한 화재통계의 데이터로 소방청 국가화재정보센터(National Fire Data System, 2020)의 ‘다중이용업소’ 2017~2019년 통계자료를 활용하였다. 이는 다중이용업소에 해당하는 용도범위 뿐만 아니라 공동주택, 아파트, 상가빌딩, 전통시장, 지하상가 등이 포함되어 있음을 확인하였고, 이를 다중밀집시설의 범주에 적용이 가능한 통계자료 범위로 선정하였다.

2.2 공동주택과 전통시장

다중밀집시설의 용도범위는 판매시설, 공동주택, 의료시설 등 다수의 종류가 있다. 화재발생 시나리오를 효율적으로 활용하기 위해서는 다수가 포함된 범위가 아닌 특정 용도에서의 화재발생 시나리오의 도출 또한 필요하다. 그러므로 우선적으로 필요한 용도 선정을 위해서 2019년 소방청 화재통계연감(National Fire Agency, 2019)을 분석하여 가장 많은 인명피해 및 재산피해를 발생한 용도의 조사를 진행하였다.

인명피해의 경우 주요 발화장소별 인명피해(Fig. 1)에 의하면 공동주택(아파트, 다세대주택, 연립주택, 주상복합아파트, 기타 공동주택, 기숙사)에서 가장 많은 512명의 사상자가 발생하였다. 재산피해의 경우 주요 발화장소별 재산피해(Fig. 2)에 의하면 다중밀집시설이 아닌 공장시설, 산불을 제외하였을 때, 전통시장에서 가장 많은 765.89억

Fig. 1. Casualties Damage by Major Ignition Place

Fig. 2. Property Damage by Major Ignition Place

원의 피해가 발생하였다.

이러한 이유로 총 3종류의 용도를 연구 및 통계분석 범위로 선정하였다.

3. 기존 화재시나리오 도출방법 분석

Vince and Ramsay (1997)에서는 호주의 다양한 종류의 건물 내 발화장소에 따른 발화기기와 발화요인에 따른 최초 착화물을 Table 1과 같이 통계적으로 제시하여 시나리오를 나타낸 것에 의의가 있다. 그러나 30년 전 호주의 화재조사 통계자료는 현재에 적용하기 어려우며, 도출된 시나리오가 건물 종류별로 1~2건 이내로 다양하지 않아 활용성이 부족하다. 아파트 화재 시나리오의 경우 ‘a scenario of bedroom or lounge room fires originating in soft furniture (possibly through the agency of smoker's materials)’와 같이 발화원인은 배제하거나 가정하는 형식을 보였다.

Park et al. (2011)에서는 초고층 건물 내 장소별 화재발생에 따른 화재발달 모델 및 시나리오를 개발하였으나, 발화요인과 같은 화재발생 인자(확률)는 제외하여 수치적 위험성 평가 및 발생빈도는 고려하지 않았다.

Table 1. Most Common Scenarios for Fires in Australia Apartment Buildings, 1989~1993 (Vince and Ramsay, 1997)

A. By area of fire origin and equipment involved in ignition		
Area of fire origin	Equipment involved in ignition	Fires
Kitchen (24)	Cooking equipment (2)	1,609
Sleeping room (21)	Nil (98)	377
Lounge (14)	Nil (98)	193
Laundry (26)	Dryer (52) or washing machine (53)	135
All	All	4,976
B. By ignition factor and form of material ignited first		
Ignition factor	Form of material ignited first	Fires
Unattended (73), misuse of heat (3) or accidentally turned on (72)	Cooking materials (76)	1,345
Incendiary (1) or suspicious (2)	All	575
Short circuit, ground fault (54) or other electrical failure (55)	All	587
Abandoned, discarded material, incl. cigarettes etc. (31) or falling asleep (33)	Upholstered seating (21), mattresses (31) or bedding (32)	255
All	All	4,976

Kim et al. (2012)의 연구에서는 화재시나리오를 평가하기 위하여 설계 화재 시나리오 특징기술을 참고하여 시뮬레이션 평가 방안을 제시하였으나, 시뮬레이션 사용자의 경향을 판단하는 설문조사를 통해 평가항목(화원의 종류 등) 구축하여 객관성 있는 근거는 부족하였다.

Kim et al. (2014)의 연구에서는 대공간 화재 분석 및 화재시나리오 제안으로서 화재 발생가능 발화장소 및 발화원(요인)을 분석하여 방화, 부주의, 결함 등의 주요 원인으로 발생하는 대공간 화재발생 인자를 요소별로 구분하였으나, 몇 가지의 대공간 화재 사례만을 분석하여 통계적으로 한정된 범위의 분석에 그쳤다.

Lee and Min (2020)의 연구에서는 다중밀집시설의 2017~2019 연평균 화재발생 건수를 이용하여 발화요인, 발화기기, 최초 착화물의 일반적 화재, 전기적 화재를 구분한 ETA를 제시하여 3가지 요인들의 확률을 단순 곱하는 방법으로 화재발생 시나리오를 도출하였으나, 통계요인들의 상호 인과관계를 다루지 않아 실제 일어나는 확률로서 나타나기에는 논리적으로 부족하였다.

이러한 기존 화재시나리오 도출에 관한 연구들을 보완하고 차별성을 제시하는 본 연구의 방안은 다음과 같다.

- (1) 사용자의 경향을 판단하는 것이 아닌 화재발생 시나리오 요인(발화요인, 발화기기, 최초착화물)의 객관성 확립을 위하여 통계적으로 정리된 데이터만을 사용
- (2) 시대성 반영과 표본조사에 따른 오차를 방지하기 위하여 전수조사로 이루어진 최근 3개년(2017~2019)의 화재발생 데이터를 사용
- (3) 화재발생 인자(확률)를 제외하지 않은, 화재발생 시나

리오의 정량적 발생확률 제시

- (4) 기존 1~2건이었던 시나리오를 건물 용도별 5건 이상의 화재발생 시나리오 제시로 활용성 증대
- (5) 통계요인들의 단순 나열방식이 아닌, 상호 인과관계가 적용된 화재발생 시나리오 도출

4. 연구의 활용 목표 설정

화재발생 시나리오를 도출함으로써 얻을 수 있는 활용방안과 기대효과의 방향을 다음과 같이 설정하고 연구를 진행하였다.

- (1) 기존 학술적으로 정립되지 않았던 화재발생 시나리오의 화재통계적 인과관계를 이용한 정립
- (2) 본 연구 대상의 용도범위 뿐만 아니라 그 이외의 용도에서 화재발생 시나리오의 도출이 가능하도록 방안을 제시
- (3) 특정 용도 건축물에서의 화재 발생 가능성을 예측하여 화재예방 및 초기소화에 필요한 행동요령 및 행동매뉴얼 작성에 사용될 기반자료를 제시
- (4) 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제 9조의3 제 2항에 따른 성능위주설계(PBD) 중, 화재 및 피난시뮬레이션 시나리오 작성시 요구되는 ‘연소 가능한 물질들과 그 특성 및 발화원, 최초 발화물’에 대하여 화원의 정량적 특성이 가능하도록 근거 제시
- (5) 통계적으로 발생확률이 낮은 화재발생 시나리오의 배제를 가능하게 하여 효율성 제고

- (6) 다중밀집시설, 공동주택, 전통시장의 화재안전성능 확보에 기여

5. 세부통계요인간 인과관계 분석 및 화재발생 시나리오 도출

5.1 화재 통계요인의 구성 및 활용

화재 통계요인은 최근 3개년(2017~2019) 화재통계 범위의 화재발생 연 평균치를 계산하여 구성되었다. 소방청 통계요인 중 대분류는 발화기기, 발화요인, 최초착화물이며, 중분류는 전기적 요인, 기계적 요인, 부주의(발화요인) 등이 해당된다. 소분류는 세부통계요인의 조합으로서, 단락, 과열, 과부하, 담배꽂초, 음식물 조리 중(발화요인) 등에 해당하고, 이를 통해 화재발생 시나리오가 도출된다. 발화요인과 최초착화물의 화재 통계는 실제 발생한 화재의 건수와 같지만, 발화기기의 화재 통계는 그보다 적은 건수를 기록한다. 그 이유는 발화기기를 특정하지 않는 화재가 발생하기 때문이라고 판단된다. 예를 들면 담배꽂초에 의해 쓰레기류에 화재가 발생한 경우, 발화기기는 화재통계에 기록되지 않는다.

또한 발화기기의 세부통계요인 항목들이 확률적으로 다양하게 분산되어 있음을 확인하였다. 화재발생 시나리오에서 인과관계 확률값을 높이고 보다 유의미한 결과를 나타내기 위하여, 세부통계요인들을 일반적 요인 전기적 요인, 미상으로 분류하고, 콘센트, 플러그와 같이 세부적인 의미가 비슷한 세부통계요인들의 발생건수를 Table 2와 같이 통합하고 분석에 적용하였다.

5.2 용도별 화재 세부통계요인 분석

용도별 발화기기, 발화요인, 최초착화물의 세부통계요인

발생 건수 대비 전체 발생 건수의 비율을 다음과 같이 트리맵 형태로 제시하였다.

Fig. 3에 의하면 다중밀집시설의 연평균 화재발생 건수는 27,250건이며, 같은 시기 전국 화재 발생 건수 42,206건의 절반 이상을 차지하였다. 대분류 각각의 발생확률의 합은 40~60%로 나타났으며, 각각의 상위 5개 세부통계요인들의 표준편차는 약 3%로 나타났다.

Fig. 4에 따르면 공동주택의 연평균 화재발생 건수는 4,993건이며, 같은 시기 전국 화재 발생 건수 42,206건의 10% 이상을 차지하였다. 대분류 각각의 발생확률 합은 약 60~70%로 나타났으며, 발화요인의 상위 5개 세부통계요인들의 표준편차는 8.7%로 상대적으로 높게 나타났다. 이는 음식물 조리중에 의한 화재발생 확률이 29.9%를 차지하여 나타난 결과로, 공동주택의 주요 발화요인은 음식물 조리 중이 크게 차지하는 것으로 분석된다.

Fig. 5에 나타난 바에 의하면 전통시장의 연평균 화재발생 건수는 44건이며 타 건축물 용도 대비 적은 화재발생 건수를 나타냈다. 대분류 각각의 발생확률 합은 약 50~70%로 나타났으며, 발화요인의 상위 5개 세부통계요인들의 표준편차는 8.7%로 높았으나, 발화기기의 표준편차는 2.4%로 낮았다. 이는 단락 및 미확인 단락 요인의 화재발생 확률의 합이 40.9%를 차지하여 나타난 결과로 전통시장 발화기기의 대부분은 전기, 전자 요인으로 주요 발화요인은 전기적 요인의 단락이 크게 작용하는 것으로 분석된다.

5.3 용도별 연소사유확대 세부통계요인 분석

화재가 발생하고 연소가 확대되는 통계요인을 분석하였다. 특정 용도의 연평균 화재발생 건수보다 연소사유확대의 발생건수가 적은 이유는 화재가 확대되지 않고 초기에 소화

Table 2. Integration of Detailed Statistical Factors

Category	Detailed Statistical Factors before Integration	Detailed Statistical Factors after Integration Terms
Ignition Device	Hot wire, electric pad, blanket, and cushion, electric heater and stove, others (seasonal devices), fan, air conditioner, and chiller and heater	Seasonal electric device
	Kimchi refrigerator and refrigerator	(Kimchi) refrigerator
	Switch multi-tap, electric wire and cord for an electric device, socket, and plug	Electric device wiring apparatus
Ignition Factor	Interior lead-in wire, electric wire for interior wiring, and electric wire for power supply	Interior wiring
	Short circuit caused from compression and damage, short circuit caused from insulation aging, short circuit caused from bad contact, layer short, and short circuit caused from tracking	Short circuit
	Arson and suspicion of arson	Arson (suspicion of arson)
Initial Ignition Object	Insulating oil for electric and electronic devices, cases for electric and electronic devices, electronic device board and part, socket, and switch	Electronic devices
	Paper, timber, and plywood	Paper, timber, and plywood

Occurrence Device / Total 13,831 (Case)				Ignition Factor / Total 27,250 (case)				Initial Ignition Object / Total 27,250 (case)			
Gas Range 1,739	Electric Device Wiring Apparatus 1,132	Unknown 536	Distributing Board/Switchboard 531	Short Circuit 4,717	Cigarette Butt 2,954	Unchecked Short Circuit 2,045	Negligence of Embers, Flame,...	Wire Clothing 4,821	Food 3,218	Unknown 2,322	Wastes 2,240
			Welding Cutter (Torch) 458								
Seasonal Electric Device 1,422	Interior Wiring 1,010	Electric Range 334	Wood Boiler 118	Cooking Food 3,514	Unknown 2,931	Overheat and Overload...	Negligence of Proximal Combustibles 1,108	Synthetic Resin 3,700	Paper, Timber, and Plywood 2,937	Electronic Devices 1,509	Others 1,497
							Others (Careless) 1,006				Bedding and Textiles 1,293

Fig. 3. The Annual Average Fire Occurrence Detailed Statistical Factors of Multi-Dense Facility (2017~2019)

Occurrence Device / Total 2,668 (Case)				Ignition Factor / Total 4,993 (case)				Initial Ignition Object / Total 4,993 (case)			
Gas Range 791	Seasonal Electric Device 366	Electric Device Wiring Apparatus 147	Electric Range 143	Cooking Food 1,492	Short Circuit 656	Unknown 369	Unchecked Short Circuit...	Food 1,363	Wire Clothing 667	Electronic Devices 457	Paper, Timber, and Plywood 457
			Others 116				Negligence of Embers, Flame, and Fire Source 241				Wastes 331
	(Kimchi) Refrigerator 222	Distributing Board/Switchboard 59	Washer 80	Cigarette Butt 642	Overheat and Overload 189	Others (Carelessness) 192	Arson (Suspicion of Arson) 171	Synthetic Resin 507	Bedding and Textiles 454	Unknown 257	
			Interior Wiring 43				Negligence of Proximal Combustibles 168				

Fig. 4. The Annual Average Fire Occurrence Detailed Statistical Factors of Apartment Houses (2017~2019)

Occurrence Device / Total 29.3(Case)				Ignition Factor / Total 44.0 (case)				Initial Ignition Object / Total 44.0 (case)			
Seasonal Electric Device 3.7	Electric Device Wiring Apparatus 3.3	Gas Range 2	Fluorescent Light 1.7	Short Circuit 13	Unchecked Short Circuit 5	Unknown 3.7	Negligence of Proximal Combustibles...	Wire Clothing 11.3	Electronic Devices 5.3	Synthetic Resin 4.7	Unknown 4.7
			Others 1.3								
Interior Wirin...	Distributing Board/Switchboard...	Unknown 1.3	(Kimchi) Refrigerat...	Cooking Food 4	Cigarette Butt 2	Negligence of Embers, Flame, and Fire Source 2	Overheat and Overload 2	Food 5.3	Paper, Timber, and Plywood 3	Bedding and Textile 2	Wastes 1.7

Fig. 5. The Annual Average Fire Occurrence Detailed Statistical Factors of Traditional Markets (2017~2019)

된 경우가 제외된 것으로 보인다. 화재발생 시 연소의 확대는 다중밀집시설과 전통시장의 경우 약 50%로 나타나지만 공동주택의 경우 약 20%로 나타났다. 1순위와 2순위는 가연성 물질의 급격한 연소와 화재인지, 신고지연의 사유로 동일하였지만 3순위부터는 이격거리 협소, 방화구획 기능 불충분 등으로 다양하였다.

5.4 화재발생 세부통계요인의 인과관계 분석

화재 세부통계요인 분석 결과를 통해 용도별 화재발생 시나리오 5가지를 도출하기 위해서는 확률 상위 5개 발화요인의 선정이 필요하므로, 3가지 용도의 발화요인 상위 5개 중 공통으로 포함된 6개의 항목을 선정하여 분석하였다.

먼저 화재에 있어서 인과관계를 갖는 통계자료는 2가지

범위를 이용하였다. 어떠한 발화요인으로 화재가 발생하였을 때 착화된 최초착화물이 기록되므로, ‘발화요인 별 최초착화물 현황’ 통계자료를 이용한다. 또한 어떠한 발화기기에서 화재가 발생 하였을 때 그 원인이 된 발화요인이 기록되므로, ‘발화요인 별 발화기기 현황’ 통계자료를 이용한다.

상호 인과관계의 분석은 다음과 같다. 통계자료의 ‘AND’ 조건을 확인해 일반적·전기적·미상의 요인 마다 상위 1가지를 추출, 선정된 3개 중 상위 2가지를 다시 선정하여 Table 3과 같이 도출한다. 이후 Fig. 6과 같이 인과관계의 데이터를 추출하는 형식을 나타낸 다이어그램에 따라, 선정된 세부통계요인에 중 50%가 넘는 인과확률은 가장 높은 것을 적용하고, 50% 미만이면 2가지의 항목의 확률 차이가 약 10% 이하인 인과확률은 2가지 모두 적용하여 화재발생

Table 3. Causation Analysis of Top 6 Ignition Factor by Multi-Dense Facility, Apartment House, Traditional Markets

Ignition Factor	Initial Ignition / Occurrence (Case)		AND Condition (Case)	Causation Probability (%)	Occurrence Device / Occurrence (Case)		AND Condition (Case)	Causation Probability (%)
Cooking Food	Food	3,532	2,832	80.2	Gas Range	1,853	1,386	74.8
	Synthetic Resin	3,532	126	3.6	Electric Range	1,853	161	8.7
Unchecked Short Circuit	Wire Clothing	2,512	1,435	57.1	Interior Wiring	628	311	49.5
	Synthetic Resin	2,512	265	10.5	Electric Device Wiring Apparatus	628	239	38.1
Short Circuit	Wire Clothing	5,028	2,717	54.0	Electric Device Wiring Apparatus	1,277	643	50.4
	Synthetic Resin	5,028	610	12.1	Interior Wiring	1,277	471	36.9
Negligence of Proximal Combustibles	Paper, Timber	1,256	383	30.5	Seasonal Electric Device	673	124	18.4
	Synthetic Resin	1,256	266	21.2	Electric Range	673	111	16.5
Unknown	Unknown	3,778	2,511	66.5	All of Occurrence Device	3,778	59	1.6
	Synthetic Resin	3,778	209	5.5	exclude from causality			
Cigarette Butt	Paper, Timber	5,989	2,887	48.2	All of Occurrence Device	5,989	141	2.4
	Wastes	5,989	2,311	38.6	exclude from causality

Fig. 6. Diagram for Deriving Causation Data

시나리오의 구성요소로 도출한다.

예시 DATA인 발화요인 ‘미확인 단락’의 연간 화재는 2,512건이며 그에 해당하는 최초착화물은 전선피복 1,435건 (57.1%), 합성수지 265건(10.5%) 순으로 인과관계가 높은 것에 비해 자동차·철도·차량·선박·항공기 141건(5.6%), 종이·목재 68건(2.7%)으로 인과관계가 낮음을 확인하였다. 최초착화물 ‘전선피복’의 연간 화재는 5,516건이며, 그에 해당하는 발화요인은 단락 2,717건(49%), 미확인단락 1,435건(26%) 순으로 인과관계가 높은 것에 비해 합성수지 265건

(4.8%), 반단선 152건(2.7%)으로 인과관계가 낮음을 확인하였다.

또한 발화요인 중 미상과 담배꽂초의 경우 발화기기 전체 발생 건수 AND 조건이 2.5% 이하로 나타나 인과관계가 낮음을 확인하였다.

이는 화재통계적으로 발생확률이 낮은 원인관계는 배제하고 원인관계가 높은 요인을 정량적으로 확인하여 도출한 화재발생 시나리오로서 의의가 있다. 통계의 범위는 2019년 전체 화재 발생 건수이고, 2017년과 2018년 또한 AND 조건 발생 건수를 분석한 결과, 2019년 대비 대략 90-99% 이상의 유사도가 보임을 확인하였다.

5.5 화재발생 시나리오 도출

화재발생 시나리오는 각각의 범주인 3가지 세부통계요인들의 상호 인과관계를 이용하여 이루어진다. 발화기기에서 발화요인에 의해 화재가 발생하여 불이 붙는 최초착화물을 각각 특정하는 형식으로 구성한 후, ‘~에서, ~원인, ~요인, ~착화’의 단어와 어미를 표기하여 한 문장으로 표현한다.

이를 화재의 직접적인 원인인 발화요인의 발생순위에 따라 순위화하여 Table 4와 같이 도출하였다. 이는 특정 용도에서 실제 화재가 발생할 수 있는 시나리오를 도출하여 용도맞춤형으로 화재대응을 할 수 있음에 의의가 있다. 발화요인이 ‘미확인’인 경우, 성능위주설계에 직접적으로 적용할 수 없지만, 다른 요인의 발생확률과 비교하여 화재대응에 참고할 수 있다.

Table 4. The Fire-Statistical Causation Applying Fire Occurrence Scenario by Use

Use	Fire Occurrence Scenario	Probability of the Ignition Factor (%)
Multi-Dense Facility	1. The wire clothing ignition caused from the occurrence of a short circuit in the electronic device wiring apparatus	17.3
	2. The food ignition caused from carelessness during the food cooking on the gas range	12.9
	3. The paper, timber, or trash ignition caused from the carelessness in a cigarette butt	10.8
	4. The fire caused from an unknown ignition factor	10.8
	5. The wire clothing ignition caused from an unchecked short circuit in the interior wiring	7.5
Apartment House	1. The food ignition caused from carelessness during the food cooking on the gas range	29.9
	2. The wire clothing ignition caused from the occurrence of a short circuit in the electronic device wiring apparatus	13.1
	3. The paper, timber, or trash ignition caused from the carelessness in a cigarette butt	12.9
	4. The fire caused from an unknown ignition factor	7.4
	5. The wire clothing ignition caused from an unchecked short circuit in the interior wiring	5.0
Traditional Market	1. The wire clothing ignition caused from the occurrence of a short circuit in the electronic device wiring apparatus	29.5
	2. The wire clothing ignition caused from an unchecked short circuit in the interior wiring	11.4
	3. The food ignition caused from carelessness during the food cooking on the gas range	9.1
	4. The fire caused from an unknown ignition factor	8.3
	5. The paper, timber, or synthetic resin ignition caused from the negligence of proximal combustibles in the seasonal electric device or the electric range	5.3

또한 소방청 화재통계연감(2019) 통계자료 중 ‘발화지점에 대한 발화요인별 화재현황’에서 발화지점의 분류는 Table 5와 같이 ‘구조, 기능, 설비, 저장, 생활공간’ 등으로, 발화요인의 분류는 ‘전기적 요인, 기계적 요인, 부주의’ 등으로 구성된다. 이는 특정 용도분류가 아닌 국내 전체 화재발생의 통계자료이며, 발화요인에 대한 분류는 중분류로 구성된다. 또한 ‘발화지점에 대한 발화장소별 화재현황’에서 발화지점은 세부요인으로 구성되어있으나. 이는 전체 화재발생의 통계자료이고, 발화요인의 특징이 없기 때문에 본 연구의 세부통계요인에 따른 화재발생 시나리오에 적용할 수 없는 통계자료임을 확인하였다.

특정 용도분류 및 발화 세부지점에 대한 발화 세부요인의 통계자료를 활용 시 본 연구에서 제시하는 세부통계요인의 인과관계 분석방법을 적용할 수 있으므로, 세부 발화지점을 특정할 수 있는 화재발생 시나리오 도출이 가능할 것으로 예상된다.

5.6 화재발생 시나리오 적용 예시

본 연구를 통하여 도출한 화재발생 시나리오를 활용하여 다음과 같은 사항에 적용할 수 있다.

건축물의 소방시설 등의 성능위주 소방설계 시, ‘화재 및 피난 시뮬레이션의 시나리오 작성 기준’ 중 기재된 ‘건물 용도, 사용자 중심의 일반적인 화재를 가상한다’의 해당

Table 5. Specifying the Ignition Factors for Ignition Points (2019)

Ignition Points	Case
Total	40,103
Structure	4,005
Function	2,046
Facility and Storage	3,770
Living Space	9,443
Exit	1,019
Process Facility	492
Others	18,493
Unknown	835

부분을 화재발생 시나리오를 통해 명확한 근거를 제시할 수 있다. 용도별 화재발생 시나리오로 도출된 ‘발화요인, 최초착화물, 발화기기’로 현재 설명되기 난해한 ‘연소 가능한 물질들과 그 특성 및 발화원’, ‘최초 발화물과 발화물의 위치’, ‘기타 시나리오에 필요한 사항’ 부분을 정량적으로 특정할 수 있다. 예를 들면 일반적인 화재강도 설정에 추가적으로 Fig. 7과 같이 ‘가스레인지, 식품(기름), 주방’에서 기름을 추가적인 화원으로 설정하여 성능위주 소방설계 화재시뮬레이션에 적용이 가능하다.

Fig. 7. Example of Applying the Ignition Factor of the Scenario to the Performance-Based Design

6. 결 론

다중밀집시설 화재통계요인의 인과관계를 적용한 화재 발생 시나리오 도출의 연구를 진행한 결과, 연구의 활용목표 설정에 따른 각각의 항목을 달성하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 다중밀집시설, 공동주택, 전통시장의 주요 발화요인들을 도출하고 각각에 해당하는 발화기와 최초착화물의 확률을 정량적으로 분석하였다.
- (2) 'AND' 조건에 있는 통계 DATA의 구축을 통해 인과관계를 분석하여 발화요인에 따른 최초착화물과 발화기기를 특정할 수 있도록 용도별 5가지의 화재발생 시나리오를 도출하였다.
- (3) 화재발생 시나리오 도출을 통하여 화재발생 가능성에 따른 화재예방 및 행동매뉴얼 작성과, 성능위주 소방설계 시 화재시물레이션에서 발화원, 발화물 등의 화원에 대해 특정하는데 사용이 가능하도록 객관적이고 정량적인 근거를 제시하였다.
- (4) 노후화된 다중밀집시설, 공동주택, 전통시장의 화재발생 가능성을 객관적인 시나리오 형태로 도출하여 화재예방과 PBD 화원 설계에 필요한 정보기술 구축이 가능하였다.

- (5) 본 연구의 화재발생 시나리오 도출방안을 활용하여, 통계자료가 존재하는 타 용도별 건축물의 화재발생 시나리오 도출로서 연구범위 확장이 가능하다.

감사의 글

이 논문은 행정안전부 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2020-MOIS51-003).

References

- Ahn, S.H., Mun, S.Y., Ryu, I.H., Choi, J.H., and Hwang, C.H. (2017). Analysis on the Implementation Status of Domestic PBD (Performance Based Design) -Focusing on the Fire Scenario and Simulation-. *Journal of the Korean Society of Safety, The Korean Society of Safety*, Vol. 32, No. 5, pp. 32-40.
- Kim, H.J., Lee, S.H., Kim, I.H., and Hong, W.H. (2012). A Study on the Evaluation Index through Weight Analysis of Fire and Egress Scenario Factors -Focused on High-rise Mixed-use Apartment-. *Journal of the architectural institute of Korea : Planning & design*,

- Architectural Institute Of Korea*, Vol. 28, No. 12, pp. 371-378.
- Kim, Y.N., Yoo, Y.H., Kim, J.H., and Jang, S.B. (2014). A Case Study on the Fire Scenario of Large-Space Buildings. *Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference 2014*, Korea Institute of Fire Science and Engineering, pp. 231-232.
- Lee, S.H., and Min, S.H. (2020). Multi-dense Facility : Derive Of Fire Occurrence Scenarios Through Fire Statistics Analysis. *Proceedings of the Korean Society of Disaster Information Conference 2020*, Korean Society of Disaster Information, pp. 47-48.
- Ministry of Land. (2020). *2020 National Building Status Statistics*.
- National Fire Agency. (2019). *2019 Fire Statistical Yearbook*.
- National Fire Data System. (2020). *Number of fires in 2017~2019 Publicly Used Establishments*.
- Park, J., Yun, S.W., Kim, H.G., Ha, H.S., and Lee, S.P. (2011). Developing Fire Scenario of High-Rise Buildings. *Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference 2011*, Korea Institute of Fire Science and Engineering, pp. 262-265.
- Vince, P.D., and Ramsay, G.C. (1997). Building Fire Scenarios-Some Fire Incident Statistics. *Fire Safety Science, Proceedings of the Fifth International Symposium*, pp. 643-654.

Received	■ April 23, 2021
Revised	■ April 27, 2021
Accepted	■ July 9, 2021