

# 건축물 화재통계자료를 활용한 스프링클러 작동확률 분석에 관한 연구

## A Study on the Analysis of Sprinkler Operating Probability Using Building Fire Statistics

진승현\* · 김혜원\*\* · 권영진\*\*\* · 서동구\*\*\*\*

Jin, Seunghyeon\*, Kim, Hyewon\*\*, Kwon, Youngjin\*\*\*, and Seo, Donggoo\*\*\*\*

### Abstract

In Korea, considering that the accuracy of fire scenario evaluation is reduced by performance-based design, it is assumed that the sprinkler does not operate. In other countries, the design continues to be researched considering the operation probability of the sprinkler. In particular, the operation probability that divides the effect after operation is analyzed. Therefore, the operation probability was analyzed by considering the effect of sprinkler operation using domestic fire statistics. As a result, it was found that the probability of successful operation for fire extinguishment was 44%, the success of suppression was 32%, and failure to operate was 24%. As a result of a comparison with data from other countries, the probability of operating, 76%, was lower than that of studies from other countries. When comparing the probability results for successful fire extinguishment, success of suppression, and failure to operate, it was confirmed that the probability of successful suppression was slightly different.

**Key words** : Sprinkler Operation Probability, Fire Risk, Fire Risk Assessment, Fire Scenario

### 요 지

국내 성능설계 시 화재 시나리오의 경우 스프링클러가 미 작동한다는 것을 가정하여 설계를 하고 있어 화재 시나리오의 정확성이 저하될 것으로 판단된다. 국외의 경우 스프링클러의 작동확률을 고려한 설계를 위해 지속적인 연구를 진행하고 있으며, 특히 작동 이후 효과를 구분하여 작동확률에 대하여 분석하고 있다. 이에 국내 화재통계자료를 활용하여 스프링클러 작동 이후 효과를 고려하여 작동확률을 분석하였다. 그 결과 소화성공 44%, 억제성공 32%, 미작동 24%의 작동확률을 도출하였다. 또한 국외 자료와 비교한 결과 작동유무에 대한 확률은 76%로 국외 연구 결과에 비해 낮게 분석되었다. 소화성공, 억제성공, 미작동에 대한 확률 결과를 비교했을 때 억제성공의 확률이 다소 차이가 있는 것으로 확인하였다.

**핵심어** : 스프링클러 작동확률, 화재 리스크, 화재위험성 평가, 화재 시나리오

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

건축물의 화재안전성을 확보하기 위해서는 화재위험을 허용 수준 이하가 될 수 있도록 화재안전설계 및 화재위험평

가에 대한 기준이 수립되어야 한다. 국내의 경우 다양화되는 건축물의 화재안전성을 확보하기 위하여 초고층 및 대형시설의 경우 「초고층 및 지하연계 복합 건축물 재난관리에 대한 특별법」을 통해 사전재난영향성검토를 실시하도록 규정하고 있으며, 「소방시설 등의 성능위주설계 방법 및

\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 박사과정(E-mail: golden\_ship1030@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

\*\*정회원, 호서대학교 산학협력단 연구원

Member, Researcher, Industry Academy Cooperation Foundation of Hoseo University

\*\*\*정회원, 호서대학교 소방방재학과 교수

Member, Professor, Department of Fire and Disaster Protection Engineering, Hoseo University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 국민생활연구본부 수석연구원, 공학박사(Tel: +82-31-910-0622, Fax: +82-31-910-0392, E-mail: donggooseo@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Department of Living and Built Environment Research, KICT

기준」의 화재시나리오 작성 방법이 활용되고 있다. 기존 건축물에 대해서는 「다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법」 시행령 별표4에 의해 가연물의 양, 화기취급의 종류 등을 고려하여 화재유발지수를 평가하고 있으며, 「건축물관리법」에 따라 소방시설 등의 자체점검에 관한 정보체계를 구축하고 점검결과에 따라 안전진단을 실시하도록 규정하고 있다.

이와 같이 건축물의 화재안전성을 확보하기 위해 화재안전설계 및 화재위험성평가 방법을 규정하고 있다. 국내 건축물의 성능설계는 결정론적 접근 방법을 사용하여 설계 화재시나리오 7가지 중 최악의 3가지를 바탕으로 공학적 실험 및 분석을 통한 결과와 시뮬레이션 분석 결과를 통해 정량적인 화재위험성을 평가하고 있다(Oh, 2010; Seo, 2014; Yoon, 2016). 하지만 화재 시나리오에 있어 소화설비 및 방화설비의 작동은 스프링클러(이하 SP) 미작동, 방화설비 100% 작동을 가정하도록 되어 있어 설비의 작동유무 상황을 고려하고 있지 않다. 국외의 경우 International Organization for Standardization (ISO), Society of Fire Protection Engineers (SFPE) 등 화재위험평가를 실시함에 있어 SP 및 방화설비의 작동확률에 대해 검토하고 있으나 작동확률 고려 시 작동과 미 작동으로만 분류하고 있는 실정이다. SP 작동에 있어 선행연구 중 Michigoe (2012)는 SP작동 이후 소화 능력은 차이가 있는 것으로 구분하여 작동이후 소화성공할 경우, 완전 소화되지 못해 억제되어 있는 경우를 구분하여 SP의 작동확률을 분석하였다.

성능설계나 화재위험평가를 명확히 수행하기 위해서는 화재 시나리오 구성에 있어 SP의 작동 조건이 미작동이 아닌 작동확률을 분석하여 적용할 필요가 있으며, 작동확률 역시 작동 및 미작동 여부를 판단하기보다 화재발생 이후 소화되는 수준에 따라 구분하고 각 경우의 화재규모와의 관계를 검토할 필요성이 있다(Japan Association for Fire Science and Engineering, 2006).

이에 본 연구에서는 화재 시나리오 개선을 위한 기초 연구로서 10년간(2009~2018) 소방청 화재통계 자료를 활용하여 화재 발생 후 SP 작동 시나리오에 따른 작동확률에 대하여 분석하고자 한다.

## 1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 소방청 정보공개요청에 따라 제공된 10년간(2009~2018) 화재통계자료를 활용하여 건축물 용도별 SP 작동확률을 분석하고자 한다. 화재통계자료는 건축물, 차량, 임야 등 화재가 발생한 모든 데이터가 수집되어 있어 분석결과 신뢰성을 향상시키기 위해 다음과 같은 조건에 따라 데이터 분석을 진행했다.

작동확률을 분석하기 위한 건축물 용도의 선정은 선행연구에서 도출한 화재 리스크가 높은 5가지 시설(주거시설, 판매시설, 의료시설, 창고시설, 운수자동차시설)을 대상으로 분석을

진행한다(Jin et al., 2016). 이 중 운수자동차시설의 경우 10년간 발생한 화재 중 SP가 작동한 화재 건수가 37건으로 분석표본 수가 적음에 따라 제외하고 4개 시설(주거시설, 의료시설, 판매시설, 창고시설)을 대상으로 분석을 진행하였다.

4개 시설 중 건축물의 상태가 사용 중, 공사 중 등의 데이터가 혼재되어 있어 사용 중인 시설만을 대상으로 분석을 진행하였다. 또한, 화재통계자료에 방화로 인한 화재의 경우 전체 데이터 중 0.03%의 비율을 차지하고 있으며, 방화를 목적으로 소화설비를 조작하거나 고장을 인위적으로 발생시킬 수 있음에 따라 방화로 인한 화재는 제외 하였다. 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 시행령 별표5에 따라 SP 및 간이SP가 설치되지 않는 시설의 데이터는 제외하였다. 이와 같이 분류된 데이터를 활용하여 건축물 용도별 SP 작동확률을 분석 하고자 한다.

## 2. SP 작동확률관련 선행연구

화재 시 화재성장을 억제하기 위한 안전 대책으로 일정 규모 이상의 시설에서는 SP를 의무적으로 설치하도록 규정하고 있다. SP는 초기 소화에 매우 효과적이어서 화재로부터 안전성 강화하기 위해서는 설비의 유지관리 및 신뢰성을 확보해야한다. 이에 SP의 작동 신뢰성을 향상시키기 위해 많은 연구 및 조사가 진행 되고 있다. 국내의 경우 SP의 작동 및 유지관리의 오류를 방지하기 위해 한국화재보험협회에서는 1985년부터 특수건축물에 대한 안전점검을 실시하여 결과 분석 보고서를 매년 발행하고 있다. 보고서에서는 방화시설, 소방시설 등의 설비에 대해 세부 항목을 점검하고 그 결과를 점수화 하여 설비의 안전성을 평가한다. 발행된 2019년 보고서에서는 수계소화설비의 점검결과 SP헤드의 양호율(불량사항이 없거나 화재안전에 거의 영향을 미치지 않으며, 유사시 방화대책에 거의 영향을 미치지 않는 경우)은 91.3%로 조사 분석되었다(KFPA, 2019).

Kim (2011)은 SP헤드의 경년변화에 따라 작동율을 분석하기 위해서 사무실, 호텔, 백화점, 공장에 설치된 SP헤드를 5년 단위로 분류하여 작동 시험을 진행한 결과 불량률을 7.1%로 분석하였다. Jeong (2011)은 작동기능점검 및 종합정밀점검 조사 결과를 바탕으로 SP의 헤드, 배관, 가압송수장치 등의 불량률을 분석한 결과 헤드의 불량률이 74%로 가장 높은 것으로 분석하였다.

국외의 SP 작동확률에 대한 연구는 National Fire Protection Association (NFPA), Society of Fire Protection Engineers (SFPE) 등에서 작동확률에 대하여 분석하고 있으며, 각 국가별 작동확률을 조사한 결과 81.3%~99.5%의 작동 신뢰성이 있는 것으로 보고되었다. 국내의 SP 작동확률 조사 결과는 Table 1과 같다(Powers, 1979; Marryat, 1988; Maybee, 1988; Kook, 1990; Taylor, 1990; Yamashita and Siotani, 1994; Richardson, 1985; Edward and Budnick, 2001).

**Table 1.** Reliability of Automatic Sprinkler Systems

Reference	Year	Reliability of Success (%)
NFPA	1970	88.2~98.2
Powers	1979	98.8
Marryat	1988	99.5
Maybee	1988	99.4
Kook	1990	87.6
Taylor	1990	81.3
Yamashita and Siotani	1994	97.9
Richardson	1985	96
Edward and Budnick	2001	92.2/94.6/97.1
Kim	2011	92.9
KFPA	2019	91.3

SP의 작동 확률에 대한 국내의 연구는 건축물의 SP설비 작동 점검 조사 자료를 기반으로 작동 및 미작동을 구분하여 분석함에 따라 화재 발생 상황 이후 SP 작동 여부에 따른 효과를 고려한 연구는 미비한 실정이다. SP가 효과적으로 작동은 했지만 소화에 성공 및 실패 여부를 확인함으로써 SP의 신뢰성을 분석하는 것이 중요 할 것으로 판단된다.

한편 Michigoe (2012)의 연구에 의하면 SP작동 이후 소화 성공 및 실패를 구분하여 분석하기 위해 소손면적을 기준으로 소화성공, 억제성공, 억제실패, 미작동으로 구분하고 각각의 발생확률을 분석할 결과 소화성공 59%, 억제성공 9%, 미작동 32%로 분석하였다. 하지만 분석 데이터가 도쿄도에서 발생한 화재만을 대상으로 분석하였으며, 건축물 용도를 업무시설과 판매시설만을 대상으로 분석하고 있다. 또한, SP 작동확률을 도출함에 있어 초기화재 진화 데이터가 소화기사용, 소화전, SP 등이 혼재되어있어 SP만을 대상으로 분석되지 않아 확률 상 추측되는 부분이 많은 한계가 있다.

이에 본 연구는 건축물 용도를 분류하고 용도별 SP가 작동한 화재만을 대상으로 작동확률을 분석하고자 한다.

### 3. SP작동확률분석 방법

#### 3.1 SP의 작동 효과에 따른 시나리오 패턴 정의

SP 설비는 화재로 인한 열에 의해 작동하여 화재지역에 살수 하게 된다(Kim, 2006). 이때 SP가 작동조건에 도달하여 정상적으로 살수 후 발생할 수 있는 시나리오는 Table 2와 같다.

SP작동 이후 살수로 인해 열방출율이 감소하여 소화에 성공하는 패턴(S1), SP는 정상 작동 하였지만 살수의 영향을 덜 받는 책상 밑과 같은 부분에서 완전소화 되지 못하고 열방출율을 일정한 형태로 억제하는 패턴(S2)으로 나눌 수 있다.

소화에 실패한 화재의 경우 SP 설비가 작동했음에도 연소확대를 따라잡지 못하여 화재가 계속 확산되는 억제 실패 패턴(S3)이 있을 수 있으며, SP의 작동 조건에 도달 했지만

**Table 2.** Operating Condition of SP

Division	SP (Sprinkler) Operating condition	
Occurrence of Fire	SP operating condition not reached	Extinguish with other fire extinguisher
		The fire that SP operating condition not reached
	SP operating condition reached	Success of Extinguishment (S1)
		Success of Suppression (S2)
		Fail of Suppression (S3)
		Not operation (S4)

고장 및 시스템차단 등으로 SP가 작동하지 않는 미작동(S4)으로 나눌 수 있다.

이에 4가지 시나리오를 바탕으로 통계자료를 활용하여 각각의 작동확률을 도출하고자 한다.

#### 3.2 작동확률 도출을 위한 화재통계데이터 분석 방법

SP의 작동 유무 및 효과에 관하여 화재통계데이터에서는 소화설비의 작동 및 효과성 항목에서 Table 2와 같이 분류하고 있다. 이 중 미상 건수는 분석 데이터에서 제외하였다.

SP의 작동 및 효과 분류 항목과 함께 소화기구, 옥내소화전 및 소화용수설비가 같이 사용된 데이터가 혼재되어 있다. SP 이외의 설비 작동 및 사용으로 인해 소손면적에 영향을 줄 수 있으므로 소화기구, 옥내소화전 및 소화활동설비가 같이 작동하지 않은 조건 즉 SP만 작동한 화재를 대상으로 분석을 진행하였다.

각각의 화원 패턴의 확률을 도출하기 위한 조건은 Fig. 1과 같다. 소화성공과 억제성공의 확률을 산출하기 위해서 SP의 작동 조건을 효과적 작동 건수를 분류하여 데이터를 분석하였다. 이 중 소화성공의 소손면적 조건은 1 m<sup>2</sup> 미만으로 산정한다(Ikehata et al., 2011).

소화성공 데이터 중 연소 확대 범위가 발화지점만 연소가 아닌 경우, 사망자가 발생하거나 부상자가 5인 이상 발생한 경우는 소화성공으로 분류할 수 없을 것으로 판단됨에 따라 억제실패로 분류하였다.

억제성공의 조건은 SP는 작동하였지만 소화성공이 아닌 열방출율이 일정하게 유지되는 사례를 의미함에 따라 소손면적이 바닥면적에 비례하여 크지 않을 것으로 판단된다. 이에 따라 억제성공의 소손면적 조건을 산출하기 위하여 SP가 효과적으로 작동한 데이터 중 소손면적 1 m<sup>2</sup> 이상인 데이터를 기반으로 발화지점만 연소한 화재를 분류하였다. 억제성공의 데이터를 산출하기 위해서 소손면적의 기준을 산정하기 위하여 「화재조사 및 보고규정」 제30조 화재의 소실정도 부분소 기준에 따라 소손면적비율(소손면적/바닥면적) 30% 미만 건수의 데이터를 분류하였다.

억제실패 데이터는 SP가 효과적으로 작동한 화재 중 소화

성공, 억제성공을 제외한 데이터로 분류하였다.

미작동의 데이터 분류는 SP 작동 및 효과에서 효과적 작동 및 소규모화재로 미작동을 제외한 데이터로 분류하였다.

소규모 화재로 분류되어 작동할 필요가 없었던 건수에 대한 비율은 주거 54%, 의료 53%, 판매 45%, 창고 34%로 분류되어 소규모화재로 미작동 화재에 대한 분류 및 분석이 필요할 것으로 판단됨에 따라 Fig. 2와 같은 절차에 따라 분류 하였다. 소규모화재로 미작동 화재 중 사상자가 발생한 화재, 사망자가 미 발생한 화재 중 소손면적이 1 m<sup>2</sup> 이상, 소손면적 비율이 30% 이상인 화재는 미작동으로 분류 하였다. 소손면적 비율이 30% 미만인 화재 중에서도 소손면적이 큰 화재가 있음에 따라 이 데이터의 분류를 위해서 초기 소화용구가 사용되지 않은 화재는 미작동으로 분류하였다.

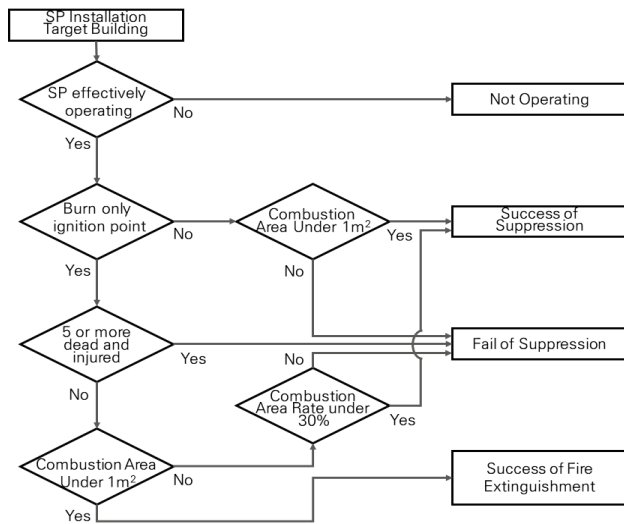


Fig. 1. Classification Method of Sprinkler Operation and Effect

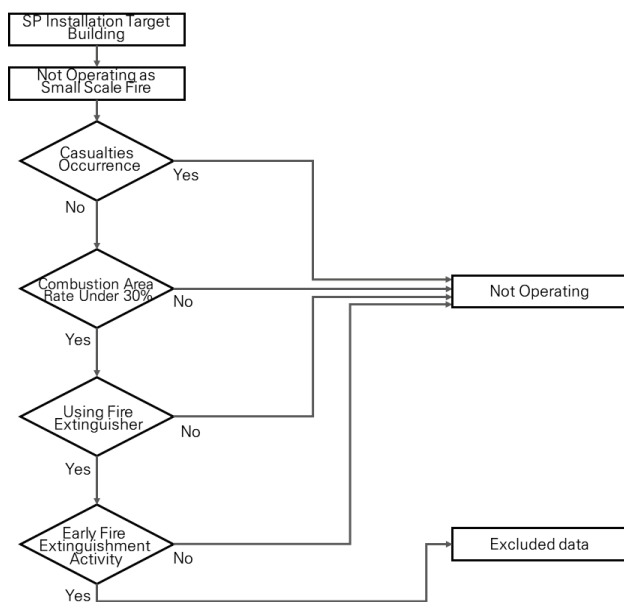


Fig. 2. Classification Method of Small Scale Fire

### 3.3 건축물 용도별 작동확률 도출 방법

S1~S4의 각각 회원패턴의 발생확률을 도출하기 위하여 소화성공( $P_{extinguish}$ ), 억제성공( $P_{sprinkler}$ ), 미작동( $P_{failure}$ )에 대한 발생확률을 화재통계데이터를 이용해서 산출한다. 억제실패와 미작동은 SP 설비의 효과 없이 화재가 확대되는 것으로 판단됨에 따라 미작동과 동일하게 취급한다.

이에 따라 소화성공, 억제성공, 미작동의 확률 산출 식은 Eqs. (1)~(3)과 같다.

$$P_{extinguish} = N_{ex} / N_{total} \quad (1)$$

$$P_{sprinkler} = N_{sp} / N_{total} \quad (2)$$

$$P_{failure} = (N_{fail} + N_{spfail}) / N_{total} \quad (3)$$

#### (1) 소화성공 확률 $P_{extinguish}$ 의 산출방법

SP 설비 작동 이후 소화성공에 이를 확률을 도출하기 위하여 각 용도별 SP가 설치된 시설 중 소화성공으로 분류된 화재 건수  $N_{ex}$ 와 전체 분석화재 건수  $N_{total}$ 와의 비율을 계산하여 확률은 산출한다.

#### (2) 억제성공 확률 $P_{sprinkler}$ 의 산출방법

SP 설비 작동 이후 억제성공에 이를 확률을 도출하기 위하여 각 용도별 SP가 설치된 시설 중 억제성공으로 분류된 화재건수  $N_{sp}$ 와 전체 분석화재건수  $N_{total}$ 와의 비율을 계산하여 확률은 산출한다.

#### (3) 미작동 확률 $P_{failure}$ 의 산출방법

SP 설비 작동 이후 미작동 및 소화실패에 이를 확률을 도출하기 위하여 각 용도별 SP가 설치된 시설 중 소화실패  $N_{spfail}$  및 미작동  $N_{fail}$ 으로 분류된 화재 건수와 전체 분석화재 건수  $N_{total}$ 와의 비율을 계산하여 확률은 산출한다.

## 4. SP 작동확률 분석 결과

### 4.1 건축물 용도별 화재 시나리오에 따른 데이터 분류 결과

주거시설, 의료시설, 판매시설, 창고시설을 대상으로 유효한 데이터를 구축하고자 SP가 설치된 시설에 대한 데이터를 분류한 결과 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

주거시설의 분석 화재 건수 3,570건 중 소화성공 건수를 분류결과 총 726건으로 이 중 사상자가 발생한 1건은 억제실패로 분류하였다. 억제성공 건수 분류 중 1 m<sup>2</sup> 이상 화재에 대한 소손면적 비율 계산 결과 바닥면적이 입력되지 않은 데이터 및 소손비율이 100% 이상인 화재 각각 29건, 3건은 데이터에서 제외하였다. 그리고 발화지점 외 연소 화재 중 소손면적이 1 m<sup>2</sup> 미만 화재 38건을 억제성공으로 1 m<sup>2</sup>

**Table 3.** Results of Data Classification According to Fire Scenario

Division		Number of fires analyzed	Success of Extinguishment	Success of Suppression	Fail of Suppression	Not working	Small scale Fire	Excluded data
Residential	Number of cases	3,570	726	557	123	204	1,928	32
	Rate	1	0.20	0.15	0.03	0.05	0.54	0.01
Medical	Number of cases	192	40	28	9	12	103	-
	Rate	1	0.208	0.146	0.047	0.063	0.536	-
Sales	Number of cases	752	194	107	43	58	344	6
	Rate	1	0.258	0.145	0.055	0.077	0.457	0.008
Storage	Number of cases	83	20	14	9	11	28	1
	Rate	1	0.241	0.169	0.108	0.133	0.349	-

이상 화재 114건을 억제실패로 분류 하였다.

의료시설의 분석화재 건수는 192건으로 소화성공 건수를 분류한 결과 총 40건으로 이 중 사상자가 발생한 화재건수는 없으며, 바닥면적 미 입력데이터 및 소손면적비율이 100% 이상인 화재는 없었다. 발화지점 외 연소 화재 중 소손면적이 1 m<sup>2</sup> 미만 화재 5건을 억제성공으로 1 m<sup>2</sup> 이상 화재 9건을 억제실패로 분류 하였다.

판매시설의 분석 화재건수 752건 중 소화성공 건수를 분류한 결과 총 194건으로 이 중 사상자가 발생한 2건은 억제실패로 분류하였다. 억제성공건수 분류 중 1 m<sup>2</sup> 이상 화재에 대한 소손면적 비율 계산 결과 바닥면적이 입력되지 않은 데이터 인 6건의 화재는 데이터에서 제외하였다. 그리고 발화지점 외 연소 화재 중 소손면적이 1 m<sup>2</sup> 미만 화재 7건을 억제성공으로 1 m<sup>2</sup> 이상 화재 40건을 억제실패로 분류 하였다.

창고시설의 분석 화재건수 83건 중 소화성공 건수를 분류한 결과 총 20건으로 이 중 사상자가 발생한 화재건수는 없으며, 억제성공 건수 분류 중 1 m<sup>2</sup> 이상 화재에 대한 소손면적 비율 계산 결과 소손면적 비율이 100% 이상 인 화재 1건은 데이터에서 제외하였다. 그리고 발화지점 외 연소 화재 중 소손면적이 1 m<sup>2</sup> 미만 화재 2건을 억제성공으로 1 m<sup>2</sup> 이상 화재 9건을 억제실패로 분류 하였다.

소규모 화재로 미작동한 화재 중 유효한 데이터를 분류한 결과는 Table 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 분류한 데이터 중 바닥면적이 기록되어 있지 않아 소손면적비율을 알 수 없는 건수는 주거시설 25건, 판매시설 2건, 창고시설 1건으로 이 데이터는 제외하였다.

#### 4.2 건축물 용도별 작동확률 도출 결과

각 용도별 작동확률을 분석하기 위하여 앞서 분류된 소화성공, 억제성공, 억제실패, 미작동 분류 건수를 활용하여

소화성공, 억제성공, 미작동 확률을 도출하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

- (1) 소화성공 확률  $P_{extinguish}$ 의 산출 결과  
소화성공 확률의 산출을 위해 Eq. (1)을 활용하여 확률을 산출하였다. 전체 분석화재건수 중 소화성공 확률은 주거시설 44%, 의료시설 45%, 판매시설 47%, 창고시설 35%로 도출되었다.
- (2) 억제성공 확률  $P_{sprinkler}$ 의 산출방법  
억제성공 확률의 산출하기 위해 Eq. (2)를 활용하여 확률을 산출 하였다. 전체 분석화재건수 중 억제성공 확률은 주거시설 34%, 의료시설 31%, 판매시설 26%, 창고시설 25%로 도출되었다.
- (3) 미작동 확률  $P_{failure}$ 의 산출방법  
미작동 확률의 산출을 위해 Eq. (3)을 활용하여 확률은 산출 하였다. 전체 분석화재건수 중 미작동 확률은 주거시설 22%, 의료시설 24%, 판매시설 27%, 창고시설 40%로 도출되었다.

#### 4.3 SP 작동확률 분석결과 고찰

국내 SP의 작동 확률을 분석하기 위하여 소손면적을 기준으로 소화성공, 억제성공, 미작동에 대한 확률을 도출하였으며, 기존 연구와의 비교 분석 결과는 Table 6과 같다. 기존 연구 결과에서 SP의 작동확률은 작동유무만을 고려하여 확률을 산출했을 때 81.3%~99.5%의 신뢰성이 있을 것으로 분석하였다. 본 연구에서 SP의 작동유무만으로 확률을 산출한다면 소화성공, 억제성공, 억제실패는 SP가 작동한 것으로 구분할 수 있다. 이에 4가지 시설의 전체 SP 작동확률은 76%로 분석됨에 따라 기존 연구 분석결과 보다 낮은 것으로 나타났다.

**Table 4.** Results of Data Classification for Small Scale Fire Data

Number of Small Scale Fire Cases			Casualties		Combustion Area 1 m <sup>2</sup>		Combustion Area Rate (30%)		Fire Extinguisher		Early fire extinguishing Activity		Excluded data
			Occurrence	Not Occurrence	Under	More than	Under	More than	Use	Not Use	0	X	
Residential	Number of Cases	1,930	3	1,927	1,627	300	273	2	213	60	19	41	25
Medical	Number of Cases	103	0	103	86	17	17	0	16	1	0	1	0
Sales	Number of Cases	344	0	344	263	81	79	0	66	13	2	11	2
Storage	Number of Cases	29	0	28	18	10	8	1	6	2	0	2	1

**Table 5.** Results of SP Reliability Analysis by Building Use

Number of Small Scale Fire Cases		Analysis Fire Cases	Success of Extinguishment	Success of Suppression	Fail of Suppression	Not Operating
Residential	Number of cases	1,656	726	557	123	250
	Percentage	100%	44%	34%	7%	15%
Medical	Number of cases	90	40	28	9	13
	Percentage	100%	45%	31%	10%	14%
Sales	Number of cases	413	194	107	43	69
	Percentage	100%	47%	26%	10%	17%
Storage	Number of cases	57	20	14	9	14
	Percentage	100%	35%	25%	16%	24%
Total	Number of cases	2,216	980	706	184	346
	Percentage	100%	44%	32%	8%	16%

**Table 6.** Results of Comparative Analysis of Operational Reliability

Division	Operation Probability	Success of Extinguishmen (%)	Success of Suppression (%)	Not Operating (%)
This Study	76	44	32	24
Michigoe (2012)	68	59	9	32
NFPA (1970)	88.2~98.2	-	-	-
Powers (1979)	98.8	-	-	-
Marryat (1988)	99.5	-	-	-
Maybee (1988)	99.4	-	-	-
Kook (1990)	87.6	-	-	-
Taylor (1990)	81.3	-	-	-
Yamashita and Siotani (1994)	97.9	-	-	-
Richardson (1985)	87	-	-	-
Edward and Budnick (2001)	92.2/94.6/97.1	-	-	-
Kim (2011)	92.9	-	-	-

각 용도별 작동확률은 비교해 보면 창고시설의 소화성공 확률이 다른 시설에 비해 낮은 것으로 분석되며, 억제실패 및 미작동의 확률은 높은 것으로 나타난다. 창고 특성상 다량의 가연물이 적재되어 있으며, 층고가 높은 특징으로 다른 시설에 비해 소손면적이 크게 나타난 것으로 판단된다.

국외 연구와 비교 분석한 결과 억제성공의 비율의 차이가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 억제성공의 기준에 있어 Michigoe (2012)의 경우 1 m<sup>2</sup>를 기준으로 억제성공의 여부를 판단하는 반면 본 연구에서는 소손면적의 비율로 구분함에 따라 1 m<sup>2</sup> 이상의 건수가 포함되어 차이가 발생한 것으로 판단된다. 소화성공 확률의 경우 국내 통계자료는 SP가 작동한 화재만을 따로 구분할 수 있지만 일본 통계자료는 초기소화 데이터에 소화기사용, SP 사용 등 자료가 포함되어 있어 기본 데이터의 차이가 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 SP의 작동확률을 분석하기 위하여 화재 통계자료를 바탕으로 SP 작동이후 소화성공, 억제성공, 미작동의 확률을 확인하고 화재 시나리오 개선에 있어 기초적 자료를 구축하는 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, SP의 작동유무만이 아닌 작동 이후 소화성공, 억제성공, 미작동 확률은 분석한 결과 4개용도 합계 소화성공 44%, 억제성공 32%, 미작동 24%로 분석되었다. 다만, 창고 시설의 경우 소화성공의 확률이 다른 시설에 비해 낮게 분석되었으며, 미작동 확률은 높게 분석되었다.

둘째, 기존 연구와의 비교에 있어 SP의 작동여부에서는 본 연구에서 도출한 SP 작동 확률은 84%로 유사한 결과가 도출 되었지만 소화성공, 억제성공, 미작동에 대한 확률은 억제성공 기준면적 산정에 차이가 있어 기존연구와 억제성공의 확률이 22% 차이가 있음을 확인하였다.

셋째, 화재 시나리오 구축에 있어 SP의 작동유무만을 판단하는 것이 아닌 작동 이후 소화성공 여부를 확인하는 것이 보다 정확한 화재 시나리오 방법을 구축할 수 있을 판단하여 소화성공, 억제성공, 미작동으로 구분하여 작동확률을 분석하였다. 분석에 있어 소손면적, 사상자만을 고려하여 분석함에 따라 화재시 가연물의 특성 등을 추가 적으로 고려하여 SP 작동 신뢰성을 고도화 할 필요성이 있을 것으로 판단되며, 화재 시나리오 구성에 있어 SP 설비만이 아닌 배연 및 제연설비, 방화설비의 작동 신뢰성도 같이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 ‘건축물의 화재취약 특성을 반영한 화재위험 평가기술 개발(2차년도)’의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Edward, K., and Budnick, P.E. (2001). *Fire protection engineering*. Society of Fire Protection Engineers, pp. 7-9.
- Ikehata, Y., Notake, H., Yamaguchi, J., and Tanaka, T. (2011). Calculation of evacuation risk by application based on statistical data -a study on the design basis evacuation risks in fire safety design-. *Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering*, Vol. 61, No. 3, pp. 37-46.
- Japan Association for Fire Science and Engineering. (2006). *Architecture and fire* (Y.J. Kwon, C.Y. Kim, J.W. Moon, M.H. Baek, S.K. Lee, and S.K. Hong, Trans., pp. 24-26). Seoul: Dong Hwa Technology.
- Jeong, J.C. (2011). *A study on the analyze the pattern of operation troubles in the sprinkler facilities through the self check of fire facilities -focus on the NFSC 103-*. Master's thesis, University of Seoul.
- Jin, S.H., Yoon, U.G., Kim, D.J., Seo, D.G., and Kwon, Y.J. (2016). A study on the analysis of fire risk according to buildings usages through fire statistics investigation, 2016 conference of Japan association for fire science and engineering. *Journal of Japan Association for Fire Science and Engineering*, Vol. 2016, pp. 150-151.
- Kim, T.H. (2006). *A research study on the reliability of automatic sprinkler system*. Master's thesis, University of Seoul.
- Kim, Y.H. (2011). *A study for malfunctioning of sprinkler in automatic sprinkler systems*. Master's thesis, University of Seoul.
- Kook, K.W. (1990). *Exterior fire propagation in a high-rise building*. Master's thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA, USA.
- Korean Fire Protection Association (KFPA). (2019). *Analysis of fire statistics and safety inspection results of special buildings*.
- Marryat, H.W. (1988). *Fire: a century of automatic sprinkler protection in Australia and New Zealand 1886-1986*. North Melbourne, Victoria, Australia: Australian Fire Protection Association.
- Maybee, W.W. (1988). *Summary of fire protection programs in the U.S. department of energy*. Frederick, MD, USA: U.S. Department of Energy.
- Michigoe, Y. (2012). *A study on the residential evacuation safety assessment method based on the concept of*

- risk*. Ph.D. dissertation, Kyoto University, Kyoto, Japan.
- National Fire Protection Association (NFPA). (1970). Automatic sprinkler performance tables. *Fire Journal*, Vol. 64, No. 4, pp. 35-39.
- Oh, H.S. (2010). *Quantitative fire risk assessment for performance-based design of the high rise building*. Master's thesis, Myongji University.
- Powers, W.R. (1979). *Sprinkler experience in high-rise buildings (1969-1979)*. SFPE Technology Report 79-1. Society of Fire Protection Engineers, Boston, MA, USA.
- Richardson, J.K. (1985). *The reliability of automatic sprinkler systems*. Canadian building digest 238. Ottawa, Canada: NRC.
- Seo, D.G. (2014). *The analysis on the design factor such as design fire, occupant density and sprinkler droplet for performance-based fire safety design*. Ph.D. dissertation, Hoseo University.
- Taylor, K.T. (1990). Office building fires a case for automatic fire protection. *Fire Journal*, Vol. 84, No. 1, pp. 52-54.
- Yamashita, S., and Siotani, N. (1994). Fire extinguishing effects of sprinklers in Japan. *Japan Association for Fire Science and Engineering*, Vol. 44, No. 5, pp. 35-41.
- Yoon, U.G. (2016). *A study on predication of descending smoke time and smoke-logging phenomenon for evacuation safety assessment of buildings*. Master's thesis, Hoseo University.

---

<b>Received</b>	November 16, 2020
<b>Revised</b>	November 16, 2020
<b>Accepted</b>	November 30, 2020