

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.1.461>

JCCT 2022-1-53

## 지하주차장 화재 시 스프링클러헤드 작동 여부에 따른 천장 위 단열재의 발화 여부

### Ignition of ceiling insulation depending on working condition of Sprinkler head in underground parking lot fire

김서영\*, 공하성\*\*

Seo-Young Kim\*, Ha-Sung Kong\*\*

**요약** 이 논문에서는 지하주차장 화재 시 스프링클러 작동 여부에 따른 천장 위 단열재의 착화 여부에 관해 연구하였다. 스프링클러 작동 여부에 따라 동일 지점의 온도변화를 측정할 경우 시나리오 1에서는 화재와 인접한 천장부의 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계지점의 화재 내부온도는 658.27 °C로 분석되었으며, 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 발화점인 427 °C보다 최대 내부온도가 높아 화염이 천장 단열재에 착화되어 화재가 확산하는 것으로 나타났다. 시나리오 2에서는 화재와 인접한 천장부의 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계지점의 화재 내부온도는 53.10 °C로 분석되었으며 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재 (발포 폴리스티렌)의 경계지점 최대 내부온도가 발화점 이하가 되어 화염이 천장 단열재에 착화되지 않았다. 이로 인해 스프링클러 작동 여부에 따라 천장 단열재의 점화 가능성을 예측할 수 있었다.

**주요어** : 지하주차장, 스프링클러헤드, 천장, 단열재, 발화점

**Abstract** This study is focused on the ignition of ceiling insulation depending on working condition of Sprinkler head in underground parking lot fire. When temperature changes of same point were measured depending on sprinkler's working condition, in Scenario 1, inner temperature at border of spray applied material(SP-2) of ceiling part near the fire and ceiling insulation(blowing polystyrene) was 658.27°C and its which inner maximum temperature is higher than 427°C which is the ignition point of ceiling insulation(blowing polystyrene), so it was observed that flame is ignited on the ceiling insulation and spread fire. In scenario 2, Inner fire temperature at border of spray applied material(SP-2) and ceiling insulation(blowing polystyrene) near the fire was 53.10°C and it was lower than ignition point so it was observed that flame was not ignited on the ceiling insulation. As a result, it was foreseen that possibility of ignition on the ceiling insulation depending on working condition of sprinkler.

**Key words** : Underground parking lot, Sprinkler head, Ceiling, Insulation, Ignition point

\*정회원, 우석대학교 소방방재학과 석사과정 (제1저자)  
\*\*정회원, 우석대학교 소방방재학과 교수 (교신저자)  
접수일: 2021년 12월 6일, 수정완료일: 2022년 1월 1일  
게재확정일: 2022년 1월 8일

Received: December 6, 2021 / Revised: January 1, 2022

Accepted: January 8, 2022

\*Corresponding Author: 119wsu@naver.com

Dept. of Fire and Disaster Prevention, Woosuk Univ, Korea

## I. 서 론

스프링클러 설비는 특정 소방대상물에 화재 발생 시 스프링클러헤드의 감열체 및 감지기 등 화재감지장치가 자동으로 감지하여 배관 내의 가압수가 스프링클러헤드로 방사되어 소화 작업을 하는 설비로서 건축물 내의 화재 시 소방대상물에 발생한 화재를 초기에 진압하는 것을 목적으로 한다[1].

최근 지하주차장 화재가 자주 발생하고 있는 가운데 지하주차장 단열재로 가연성 제품이 주로 사용되어 대형화재의 위험이 크다는 지적이 있다[2]. 또한 최근 천안에서 발생한 지하주차장 화재 상황에서는 누군가가 고의로 소방시설을 작동정지 시킨 것으로 보고 있다. 이로 인해 스프링클러 설비가 제대로 작동되지 않아 차량 66대가 불에 탄 사건이 발생하였다[3]. 이로 인해 지하주차장에서 발생하는 화재 시 소방시설의 작동이 중요시되었다.

기존 국내 연구는 Hwang과 Kim<sup>4</sup>의 연구에서는 지하주차장에서의 스프링클러 설비 사용시 동파 우려로 인해 습식스프링클러 사용이 대중화되지 않고 있다. 따라서 지하주차장의 겨울철에 층별 스프링클러의 배관 온도를 측정하여 층별 동결 여부에 대한 기초 자료를 제시하고자 하는 연구를 진행하였다[4].

Song 등의 연구에서는 지하주차장과 같이 구획이 넓고 피난 경로가 다양한 곳의 현재 성능위주설계에서 제시하는 피난 안전성 평가 방법으로는 안전성을 확보하기에 어렵다고 판단하였다. 현재 성능위주설계의 시뮬레이션 설정 방법에 대해 고찰한 후 화재 시뮬레이션 2가지와 피난 시뮬레이션 3가지 경우를 수행하여 지하주차장을 대상으로 피난 안전성 평가를 실시하는 연구를 진행하였다[5].

Hwang 등의 연구에서는 지하주차장에 설치된 스프링클러 설비의 작동률 및 미작동 원인에 관한 연구가 이루어지지 않고 있다. 지하주차장에서 발생하는 화재의 종류를 조사하고 지하주차장에 설치된 스프링클러 설비 작동 여부를 조사하여 스프링클러 설비의 신뢰성에 관해 연구하기 위해 국가화재정보시스템의 자료를 기반으로 지하주차장 화재에서 설치된 스프링클러 설비의 작동 여부에 대하여 분석한 결과 총 63건의 화재 발생 중 6건만 스프링클러가 정상 작동한 것으로 나타났다. 따라서 스프링클러 설비의 정상 작동에 관하여

신뢰성은 매우 낮다는 결론을 도출하였다[6].

Lee 등의 연구에서는 건물의 보온 및 단열을 위해 주로 사용되고 있는 발포 플라스틱 단열재에 대해 열 방출 특성과 착화 특성을 분석하였다. 분석을 통해 발포 플라스틱 단열재의 화재 특성을 구명하는 목적이 있다. 연구결과 착화 온도는 SIT가 410 °C ~ 510 °C 범위에 있었으며, FIT는 370 °C ~ 450 °C 범위에 있는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 밀도가 증가하면 착화 시간은 길어지는 현상을 확인할 수 있었다. 또한, heat flux의 크기가 증가하면 착화 시간은 짧은 것으로 나타났다는 연구결과를 도출하였다[7].

해의 연구는 Ye 등의 연구에서는 대형 상업용 건물에서 화재 발생 시 FDS를 이용하여 스프링클러 시스템 활성화 상태를 수치로 조사한 결과 가연성 물질의 열분해가 억제되고 열전달 과정이 느려져 건물 내 대피시간이 길어지기 때문에 초기 단계에서 화재 발생을 억제할 수 있다고 말하였다[8].

Erik의 연구에서는 NFPA 13에 의해 9.5° 또는 18.44°인 스프링클러의 허용된 최대치를 초과하는 천장 경사도에 따라 스프링클러 설비의 작동 시간과 패턴을 비교 분석하는 연구결과 최대 26.57°의 천장 경사가 스프링클러 설비의 활성화에 영향을 미치지 않는다고 말하였다[9].

이처럼 선행연구들에서는 지하주차장에서의 화재 발생 시 연기제어에 관한 연구, 성능위주설계를 통한 피난 안전성 확보에 관한 연구 및 미작동으로 인한 스프링클러 설비의 신뢰성에 관한 연구들이 대부분이지만 지하주차장에서의 화재 발생 시 스프링클러 설비의 작동 여부에 따라 단열재를 통한 화재 확산 여부에 관한 연구는 찾아볼 수 없다.

따라서 이 연구에서는 복합건축물인 주상복합아파트 지하주차장에서의 실제 발생 화재를 토대로 버스 화재의 열 방출률을 통해 스프링클러 설비 작동 여부에 대한 천장 단열재로의 발화 여부를 목적으로 한 연구이다.

## II. 화재 모델링

### 1. 건축물 구조 및 실험모델의 설정

이 연구는 경기도 고양시 일산의 어느 복합건축물의 지하주차장에 주차된 20인용 버스에서 화재가 발생한 상황을 가정하여 Fire Dynamics Simulator (FDS) Ver.5.5.3을 사용하여 시뮬레이션을 구성하였다. 그림 1은 건축

물의 평면도를 나타낸 것이며, 그림 2는 지하주차장의 천장과 화재가 발생한 차량의 위치를 나타낸 평면도이다.

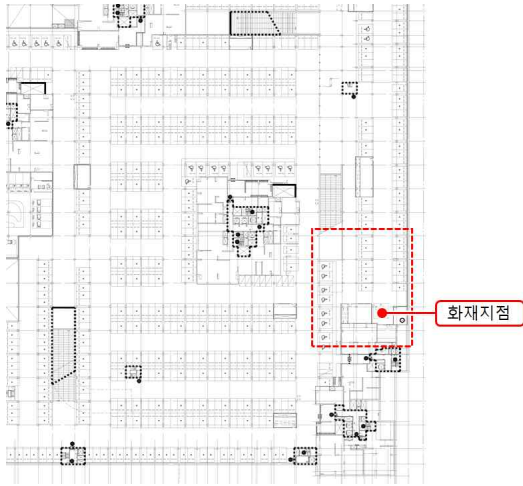


그림 1 건축물 평면도  
 Figure 1. The floor plan of the floor plan

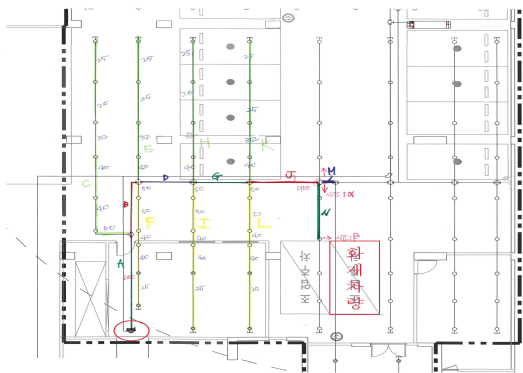


그림 2. 지하주차장 천장 및 화재 차량 위치 평면도  
 Figure 2. The ceiling of the underground parking lot and the floor plan of the location of the fire lane

## 2. 시나리오 구성

시나리오 구성 시 20인용 버스에서 화재가 발생한 것으로 가정하였다. 시나리오는 총 2가지로 표 1과 같이 구성하였다. 시나리오 1은 스프링클러가 미 작동 시 단열재의 발화 온도 변화, 시나리오 2는 스프링클러 작동 시 단열재의 발화 온도 변화에 대하여 분석하고자 한다.

표 1. 시나리오 구성  
 Table 1. Scenario composition

시나리오	구성
1	준비작동식 스프링클러 설비 미 작동 시 천장 단열재 발화 온도 변화
2	준비 작동식 스프링클러 설비 작동 시 천장 단열재 발화 온도 변화

## 3. 화재모델링 설정 사항

시나리오 입력값에는 시뮬레이션을 동작할 때 기본적으로 필요한 입력값들과 화재 발생 시 동작하는 감지기 설정, 스프링클러 설정, 내장재 설정과 관련하여 구분 지어 설정하였다.

### 1) 시뮬레이션 입력값

시뮬레이션 설정에는 격자설정, 열 방출률, 화재 표면적, 단위면적당 최대 열 방출률, CO 발생 분율, 연기 발생분 비율, 내부물질 천장 단열재 발화점, 연소확대방지시설 및 초기 온도에 관하여 표 2와 같이 입력값을 입력하였다. 버스의 열 방출률은 20,000 kW로서 최대 열 방출률 도달시간은 450초로 설정하였으며, 내부물질 중 뿔철재(SP-2)는 크랙이 없는 상태로 가정한다. 화재

표 2. 시뮬레이션 설정  
 Table 2. Simulation settings

구분	내용	
격자크기 (X m x Y m x Zm)	0.2 x 0.2 x 0.2	
열 방출률	최대 열 방출률 (kW)	2,000
	화재 표면적 (m <sup>2</sup> )	59.84
	단위면적 당 최대 열 방출률 (kW/m <sup>2</sup> )	334.2246
CO 발생분율 (kg/kg)	0.168	
연기 발생분율 (kg/kg)	0.133	
내부물질	뿔철재 (SP-2)	
	천장 단열재 (발포 폴리스티렌) 427	
연소확대 방지시설	- 특별피난계단 및 피난계단 출입문은 미개방(폐쇄). - 방화 셔터 및 인근 출입문은 미개방(폐쇄). - 제연설비 미작동. (지하주차장에 제연설비 없음.)	
초기 온도 (°C)	20	

강도 및 성장률은 버스 화재이므로 그림 3과 같이 성장 속도( $\alpha$ )는 0.1, 최대 열 방출률 도달시간은 450 s로서 최대 열 방출률 도달 시 해당 강도를 유지하는 것으로 하였다[10].

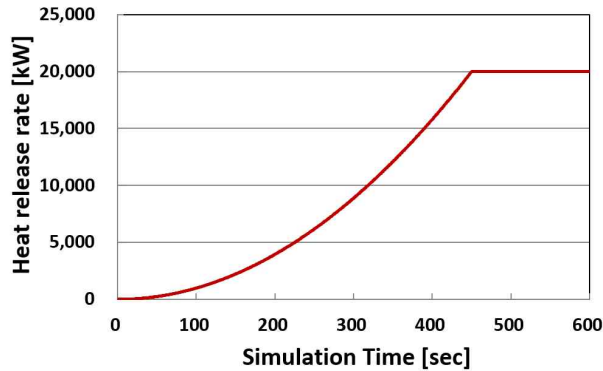


그림 3. 화재 강도 미 성장률  
Figure 3. Fire intensity, unknown growth rate

2) 스프링클러헤드 설정

스프링클러 설정에는 스프링클러 형식, 작동온도, RTI, 오리피스 지름, K-계수, 유량, 헤드의 살수반경, 붕괴상수, 소화계수에 관하여 표 3과 같이 입력값을 설정하였다.

표 3. 스프링클러헤드 설정  
Table 3. Sprinkler head setting

구 분	내 용
형식	표준반응형
작동온도 (°C)	72
RTI ( $m \cdot s^{1/2}$ )	100
오리피스 직경 (mm)	11.2
K 계수 ( $min \cdot atm^{1/2}$ )	80
유량 (L/min)	80
헤드 당 유효 범위 ( $m^2/ea$ )	8.64 [11]
붕괴상수 ( $sec^{-1}$ )	0.010507 [12]
소화계수 ( $m^3/kg/s$ )	0.068083 [13]

3) 내장재 설정

내장재는 천장을 기준으로 뿔철재(SP-2)와 천장 단열재인 발포 폴리스티렌에 관하여 밀도, 비열, 열전도율, 두께에 대하여 표 4와 같이 설정하였다.

표 4. 내장재 설정  
Table 4. Internal ingredients setting

구 분	뿔철재 (SP-2) *	천장 단열재 (발포 폴리스티렌)
밀도 ( $kg/m^3$ )	250 [14]	35
비열 ( $kJ/(kg \cdot K)$ )	0.91	1.5
전도율 ( $W/m \cdot K$ )	0.036	0.024
두께 (mm)	6.18	90.8

\* 해당 제품은 석고, 시멘트, 탄산칼슘 이 3가지 원료가 전체의 약 80%를 차지한다. 그중 석고가 전체의 약 40%~50%를 구성된다. 각 각의 비열은 석고(1.02 kJ/kg K), 시멘트 (0.73~ 0.74 kJ/kg K), 탄산칼슘 (0.8343 kJ/kg K) 이다. 무기질 3주원료 중 비율을 석고 : 시멘트 : 탄산칼슘 많은함량 순서대로 약 6:3:1 정도로 보면 약 0.91 kJ/kg K 로 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시나리오 1

스프링클러헤드 미 작동 시 국토해양부(현, 국토교통부) 발행 도로설계편람에서 제시된 버스 화재의 화재 성장으로 설정된 시나리오에 따라 열 방출률이 상승하여 화재 발생 450초 경과 후 20,000 kW에 도달하는 것으로 나타났으며, 시뮬레이션 종료 시인 1,200초까지 원활한 산소의 공급으로 설계된 열 방출률을 유지하는 것으로 나타났다. 본 시나리오에서의 최대 열 방출률은 그림 4와 같이 20,341.77 kW로 분석되었다.

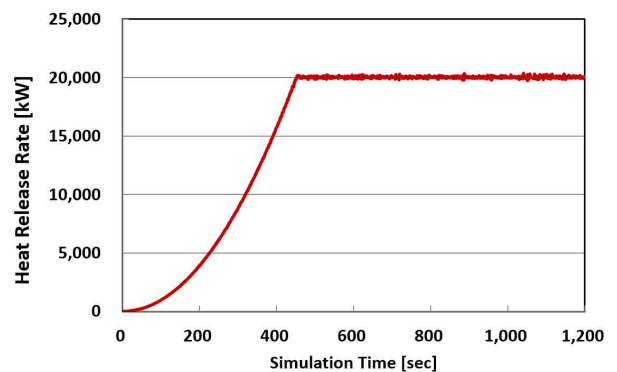


그림 4. 스프링클러 미 작동 시 시간에 따른 열 방출률 변화  
Figure 4. Heat dissipation rate changes over time when sprinklers are not operated

이 시나리오에 의한 화재 발생 시 화재와 인접한 천장부의 뿔철재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계 지점 최대 내부온도는 658.27 °C로 분석되었다.

또한 그림 5에 나타난 바와 같이 시뮬레이션 종료 시점까지 내부온도가 완만하게 상승하므로 20분 이상 화재가 지속할 경우 최대 내부온도는 분석된 내용보다 더욱 상승할 여지가 있는 것으로 판단된다. 그리하여 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 발화점은 427 °C로서 스프링클러 설비 미작동 시 최대 내부온도는 발화점 이상이 되어 화염이 천장 단열재에 착화되어 화재가 급격히 확산하는 것으로 나타났다.

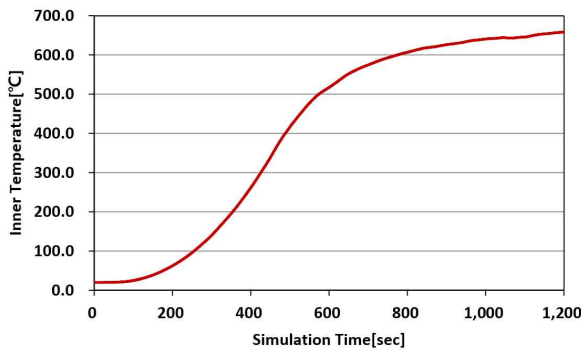


그림 5. 스프링클러 미 작동시 시간에 따른 내부 최대 온도변화  
 Figure 5. When sprinklers are not in operation, the maximum internal temperature changes over time

## 2. 시나리오 2

### 1) 열 방출률 변화

스프링클러헤드 작동 시 화재 설정에 따라 열 방출률이 상승하며 스프링클러가 작동된 이후 소화 수로 인해 열 방출률이 하락하는 것으로 분석되었다. 화재 발생 344.40초 경과 후 열 방출률이 50 kW 이하로 감소하여 대부분 소화되는 것으로 나타났으며, 화재 발생 409.24초 경과 후에는 열 방출률이 20 kW이하가 되므로 버스의 최대 열 방출률인 20,000 kW의 1/1,000으로 저하되어 화재가 99.9% 소화된다고 볼 수 있다. 본

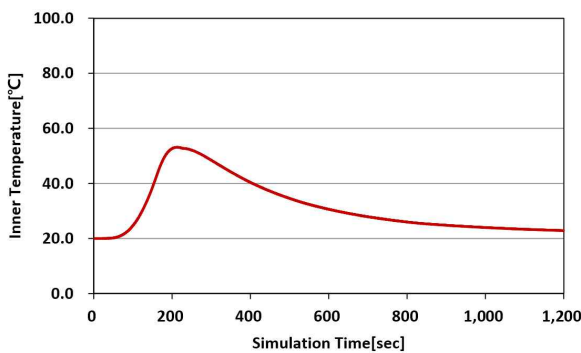


그림 6. 스프링클러 작동 시 시간에 따른 열 방출률 변화  
 Figure 6. Heat dissipation rate changes over time when sprinklers are operated

시나리오에서의 최대 열 방출률은 그림 6과 같이 2,173.77 kW로 분석되어, 스프링클러 미작동 시의 최대 열 방출률에 비해 1/10로 줄어든 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 화재의 세기가 스프링클러 미작동 시와 비교하여 약 90% 감소한다고 볼 수 있다.

### 2) 스프링클러 작동 시 천장재 발화 여부

화재실 내부에 설치된 감지기는 위치에 따라 50.71~80.94초에 작동되었으며, 최초 감지기 2개 회로가 감지 시 소화 수의 이송이 시작되므로 감지기 작동 후 소화수가 헤드까지 이송되는 데 걸리는 시간은 수리계산 결과 13.12초이므로 화재 발생 후 65.23초에 화재지점에 소화수가 도달하게 되는 것으로 분석되었다. 아래의 그림 7과 그림 8은 감지기의 감지온도 및 위치별 감지 시간을 나타낸다.

화재지점과 인접한 스프링클러는 147.01초에 최초 작동되며, 총 4개의 스프링클러가 작동되었다. 이는 스프링클러헤드가 작동하는 시간 이전에 소화수가 도달하게 됨으로써, 스프링클러 작동 시 지연시간 없이 소화수가 방수될 수 있는 것으로 판단된다. 다만, 이 시뮬레이션에서는 천장 쪽에 설치된 각종 설비, 배관 등에 의한 영향은 제외하였으며, 천장 단열재에 점화되기 전에 그 아래에 있는 케이블 트레이의 케이블이나 배관 보온재 등의 각종 설비 배관 등에 옮겨붙으면 스프링클러헤드의 작동 시간은 더욱 빨라질 수 있을 것이다. 그림 9는 스프링클러의 설치 위치를 나타내며, 표 5은 스프링클러별 최대 온도 및 작동 시간을 나타낸다.

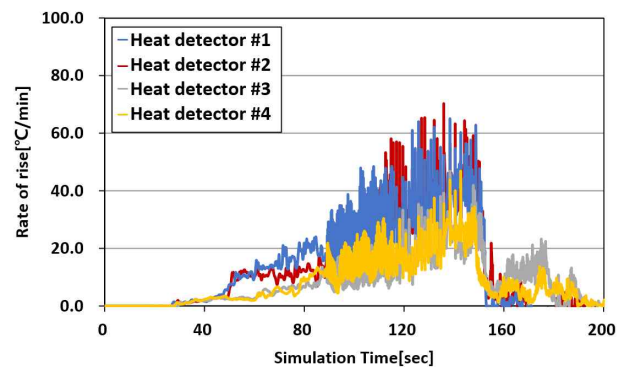


그림 7. 감지기별 감지온도  
 Figure 7. Detection temperature by detector

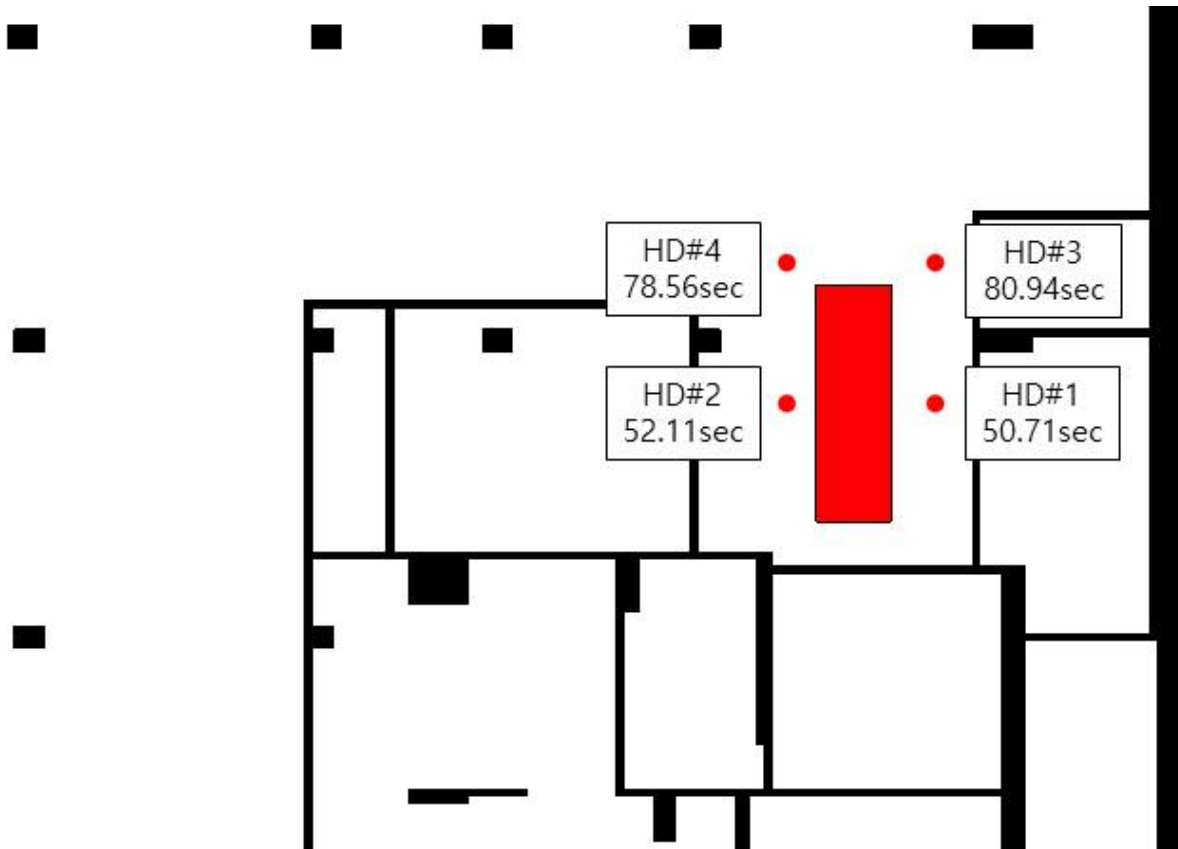


그림 8. 감지기 위치 및 감지 시간  
Figure 8. The location and time of detection of the detector

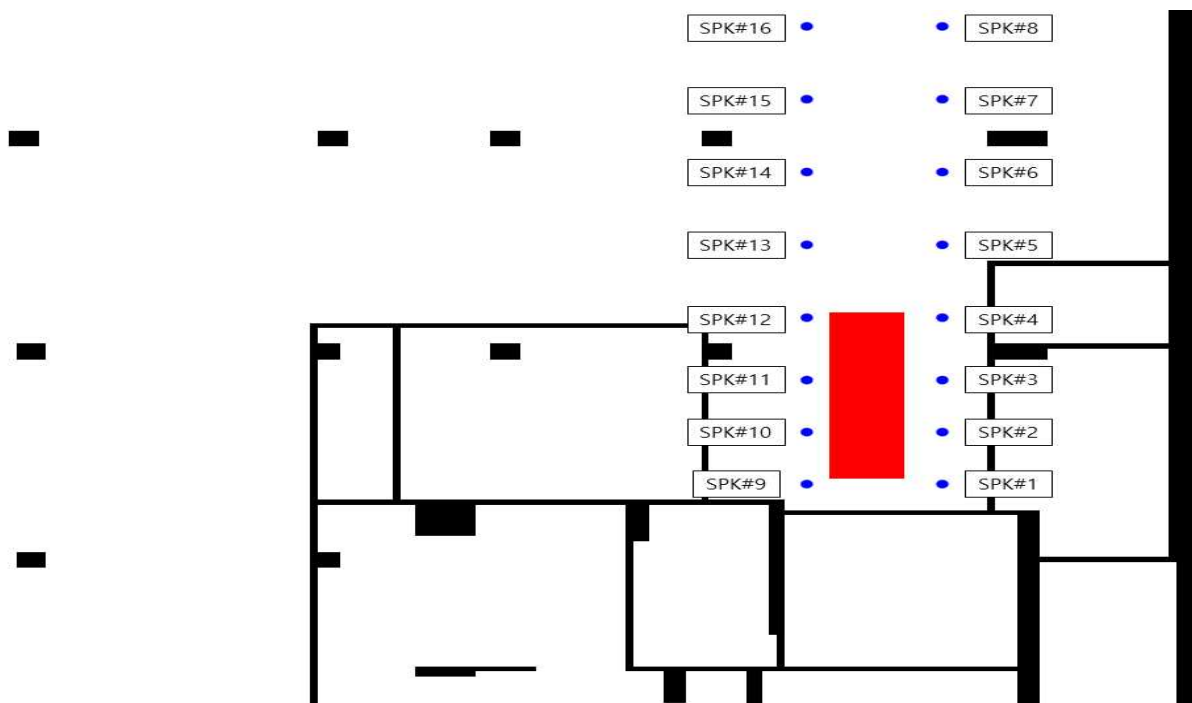


그림 9. 스프링클러 설치 위치  
Figure 9. Sprinkler installation location

표 5. 스프링클러 별 최대 온도 및 작동 시간

Table 5. Maximum temperature and operating time for each sprinkler

구분	최대 온도 (°C)	작동 여부	작동 시간 (s)
SPK#1	63.41	미작동	
SPK#2	72.70	작동	153.70
SPK#3	74.62	작동	149.14
SPK#4	54.20	미작동	
SPK#5	56.32	미작동	
SPK#6	55.36	미작동	
SPK#7	55.46	미작동	
SPK#8	54.05	미작동	
SPK#9	62.04	미작동	
SPK#10	73.19	작동	151.22
SPK#11	76.26	작동	147.01
SPK#12	50.51	미작동	
SPK#13	54.85	미작동	
SPK#14	53.03	미작동	
SPK#15	51.27	미작동	
SPK#16	50.34	미작동	

#### IV. 결론

천장 단열재의 발화 온도 변화에 관한 결과 화재와 인접한 천장부의 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계지점 최대 내부온도는 53.10 °C로 분석되었다.

그리하여 천장 단열재는 발화점 미만으로 되어 착화가 되지 않는 것으로 확인되었다. 그림 10은 스프링클러 작동 시에 대한 시간에 따른 내부 최대 온도변화를 나타낸다.

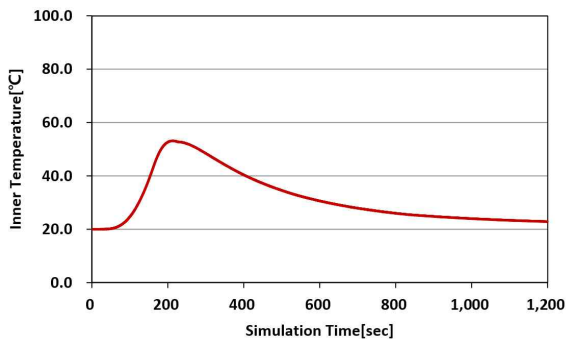


그림 10. 시간에 따른 내부 최대 온도 변화

Figure 10. Changes in internal maximum temperature over time

이 연구에서는 지하주차장에서의 버스 화재를 가정으로 한 열 방출률을 통해 스프링클러 설비 작동 여부에 대한 천장 단열재로의 발화 여부를 연구하였다.

(1) 시나리오 1에서는 스프링클러 설비 미작동 시 천장 단열재 발화 온도 변화에 대하여 살펴보았다. 화재 발생 450초 경과 후 20,000 kW에 도달하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션 종료 시인 1,200초까지 원활한 산소의 공급으로 설계된 열 방출률을 유지하는 것으로 나타났다. 이 시나리오에서의 최대 열 방출률은 20,341.77 kW로 분석되었다. 화재와 인접한 천장부의 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계지점 최대 내부온도는 658.27 °C로 분석되었으며, 시뮬레이션 종료 시점까지 내부온도가 완만하게 상승하므로 20분 이상 화재가 지속할 경우 최대 내부온도는 분석된 내용보다 더욱 상승할 여지가 있는 것으로 판단된다. 따라서 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 발화점은 427 °C로서 스프링클러 설비 미작동 시 최대 내부온도는 발화점 이상이 되어 화염이 천장 단열재에 착화되어 화재가 급격히 확산하는 것으로 나타났다.

(2) 시나리오 2에서는 스프링클러헤드 작동 시 천장 단열대 발화 온도 변화에 대하여 살펴보았다. 화재 설정에 따라 열 방출률이 상승하며 스프링클러헤드가 작동된 이후 소화 수로 인해 열 방출률이 하락하는 것으로 분석되었다. 화재 발생 344.40초 경과 후 열 방출률이 50 kW 이하로 감소하여 대부분 소화되는 것으로 나타났다. 화재 발생 409.24초 경과 후에는 열 방출률이 20 kW 이하가 되므로 버스의 최대 열 방출률인 20,000 kW의 1/1,000으로 저하되어 화재가 99.9% 소화된다고 볼 수 있다. 본 시나리오에서의 최대 열 방출률은 2,173.77kW로 분석되어, 스프링클러헤드 미작동 시의 최대 열 방출률에 비해 1/10로 줄어든 결과를 보였다. 화재지점과 인접한 스프링클러헤드는 147.01초에 최초 작동되며, 총 4개의 스프링클러헤드가 작동되었다. 이는 스프링클러헤드가 작동하는 시간 이전에 소화 수가 도달하게 됨으로써, 스프링클러헤드 작동 시 지연시간 없이 소화 수가 방수될 수 있는 것으로 판단된다. 화재와 인접한 천장부의 뿔칠재(SP-2)와 천장 단열재(발포 폴리스티렌)의 경계지점 최대 내부온도는 53.10 °C로 분석되었다. 그리하여 천장 단열재는 발화점 미만으로 되어 착화가 되지 않는 것으로 확인되었다.

향후 연구과제로 지하주차장에서의 화재 시 스프링클러 설비 작동 여부에 따른 피난 시간에 대한 적합성과 안정성에 대한 연구가 필요하다.

## References

- [1] National Fire Agency, National Fire Safety Code 103, 2019
- [2] KyungSng Ilbo, <http://www.ksilbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=912585/> 2021.09.10
- [3] Kukmn Ilbo, <http://news.kmib.co.kr/article/view.asp?arcid=0016228591&code=61121211&cp=nv/> 2021.09.02.
- [4] C. H. Hwang, H. J. Kim, "A Study on the Freeze of Sprinkler Piping through Temperature Measuring of Underground Parking Lots", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.3, 2016. pp.215-216
- [5] Y. J. Song, I. C. Kong, H. J. Kim, "A Study on Improvement of Evacuation Safety Evaluation for Performance Based Design in Underground Parking Lot", *Fire Science and Engineering*, Vol.33, No.2, 2019, p.88
- [6] C. H. Hwang, Y. J. Choi, H. J. Kim, "A Study on the Reliability for Sprinkler System of the Underground Parking Lot: Focusing on the Underground Parking Lot in Gyeonggi-do", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.3, 2016, pp.209-211
- [7] K. W. Lee, D. I. Son, "Fire Risk Characteristics of Insulating Materials by Plastics Form Manufactured", *Fire Science and Engineering*, Vol.2001, No. forecasting. 2001, pp. 48-53
- [8] Xin Ye·Jian Ma·Yi-xin Shen·Long-yuan Lin. (2016), "Suppression effect of sprinkler system on fire spread in large commercial buildings", *Proceeding Engineering*, (135), 455-462, pp.455-456
- [9] Erik Carlsson. (2013), "Comparison of Sprinkler Activation in Flat and Sloping Ceilings using FDS6", Report, pp.1-3
- [10] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Highway Design Manual. 2011, p.618-51
- [11] National Fire Agency, National Fire Protection Association 13, 2016
- [12] Hurley, Morgan. (2016), "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 5th edition", s-SpringerVerlag, Chapter 42
- [13] NIST, Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference, 2007
- [14] Abdulrazaq Hilal Amir·Assoc. Prof. Dr. Halil Zafer Alibaba. (2018), "Comparison between Heat Conductivity of EPS (Expanded Polystyrene) and XPS (Extruded Polystyrene)", *International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering*, (4)2, 24-31, p.24