

천장형 에어컨이 스프링클러 헤드 작동에 미치는 영향에 관한 연구

이선영¹ · 윤명오² · 이영주³ · 이준^{4*}

¹서울시립대학교 방재공학과 석사과정, ²서울시립대학교 재난과학과 교수, ³서울시립대학교 소방방재학과 책임교수,
⁴한국교통연구원 도로교통본부 교통안전·방재연구센터장

A Study on the Effect of Ceiling Type Air Conditioner on Sprinkler Head Operation

Sunyoung Yi¹, Myong O Yoon², Youngju Lee³, and Jun Lee^{4*}

¹Student of Graduate School, Department of Fire Protection Engineering, University of Seoul

²Professor, Department of Disaster Science, University of Seoul

³Professor, Department of Fire Protection, University of Seoul

⁴Associate Research Fellow, Dept. of Road Transport, Center for National Transport Safety

요약

본 연구는 천장형 에어컨의 기류가 스프링클러 헤드의 작동에 미치는 영향을 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 분석한 내용이다. 시뮬레이션 공간은 10 m×7 m×3 m로, 화원의 크기는 0.8 m×0.8 m×0.6 m로 설정하였다. 에어컨에서 발생하는 찬 기류는 25°C로 설정하고 풍속을 10 %, 8.5 %, 7.5 %의 3가지 CASE로 나누어 진행하였다. 시뮬레이션 결과 에어컨이 작동하지 않았을 때와 비교했을 때 모든 CASE에서 작동 지연이 발생하였으며 10 % 풍속의 경우는 10분경과시까지 스프링클러 헤드가 작동하지 않았다. 이와 같은 결과를 통해 에어컨이 작동하는 공간에서는 스프링클러 헤드가 작동하는 시간의 지연이 나타났음을 확인할 수 있었고 10 %와 같은 강풍의 경우는 초기진화실패라는 최악의 결과를 예측할 수 있었다.

핵심용어: 스프링클러 헤드 반응속도, 천장형 에어컨, FDS 시뮬레이션

ABSTRACT

This paper analyzes the effect of airflow of ceiling air conditioner on the operation of sprinkler head using a simulation program. The simulation space is 10 m × 7 m × 3 m, and the size of the fire is 0.8 m x 0.8 m x 0.6 m. The cold air flow from the air conditioner is at 25 °C and the wind speed is divided into three cases : 10 %, 8.5 %, and 7.5 %. Simulation results show that all cases had operating delays compared to when the air conditioner was not running, and the sprinkler head did not operate until 10 minutes had elapsed at 10 % wind speed. These results confirmed that the sprinkler head was delayed in the air conditioning space and the worst result of early evolution failure was observed in strong winds such as 10 %.

Keywords: Sprinkler head, Ceiling type air conditioner, FDS simulation

*Corresponding author: Jun Lee, junlee@koti.re.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7924-673X>

Received: 31 October 2019, Revised: 20 December 2019, Accepted: 20 January 2020



1. 서론

최근 천장형 냉난방장치 사용이 확산되고 있다. 이로 인해 천장에 설치되는 대표적인 소방기구인 화재감지기와 스프링클러가 냉난방장치의 찬바람에 영향을 받을 것으로 예상된다. 현재 화재감지기의 경우는 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(NFSC203)에 따르면 “실내로의 공기유입구로부터 1.5 m 이상 떨어진 곳에 설치할 것”이라는 규정이 있으나 스프링클러헤드의 경우는 정해진 규정은 없는 상황이다.

수계 소화설비 공학-스프링클러설비 편(Yeo, 2006)에 의하면 스프링클러 헤드는 화재 시 발생한 열에 의해 헤드를 막고 있는 감열체의 파괴온도에 도달하게 되면 감열체가 파괴되면서 방수가 시작된다. 이러한 감열체의 작동온도는 68~70°C가 일반적이지만 헤드에 따라 다양한 작동온도를 가지며 반응속도값(RTI(Response Time Index)지수)에 따라 작동 속도가 달라질 수 있다.

여름철의 경우, 강한 풍속의 찬바람이 냉방장치 송풍구를 통해 나오게 되면 화재 발생 시 천정면으로 형성되는 제트기류 및 천장으로 상승하는 열기류에 영향을 미쳐 스프링클러가 정상 작동하지 않을 가능성이 있다.

Choi(2019)는 천장형 에어컨 기류가 화재감지기 작동에 미치는 영향에 대한 연구와 천장 공조기류 환경에서 화재감지기의 응답특성에 대한 연구(Choi and Lee, 2018)를 진행하였다.

Jang et al.(2011)은 사각 천장형 루버 디퓨저의 토출 각도에 따른 실내유동에 관한 연구를 진행하였다.

본 논문에서는 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 스프링클러 헤드의 설치위치와 에어컨의 풍속, 바람의 온도 등의 다양한 조건들에 따른 스프링클러 헤드 개방시간을 측정하여 에어컨 미작동시의 헤드 개방시간과 비교, 분석하고자 한다.

2. 본론

2.1 시뮬레이션 프로그램 선정 및 공간 구성

본 연구에서 사용된 시뮬레이션 프로그램은 미국 표준기술원(NIST)에서 개발한 FDS(Fire Dynamics Simulator) 프로그램으로 난류 해석에는 LES(Large Eddy Simulation) 모델을 사용하고 있다. 그리고 FDS 프로그램의 전처리 프로그램으로 개발된 미국 Thunderhead Engineering의 Pyrosim 프로그램을 이용하여 공간을 구성하였다.

시뮬레이션을 위한 공간으로는 10 m × 7 m × 3 m(Choi, 2019)의 공간 중 천장 중앙에 천장형 에어컨을 설치하고 4면에서 풍속 10 %, 25°C의 바람이 나오도록 설정하였다. 천장면과 바닥면은 INERT로 설정하여 기류가 통과하지 않는 것으로 설정하였고 벽면은 벽체를 설치하고 OPEN으로 설정하여 에어컨을 통해 들어오는 공기로 인한 공간 내 압력 증가를 방지하였다.

본 시뮬레이션에서는 난류 정상상태 비압축성 유동으로 가정하였다. 시뮬레이션의 셀사이즈는 Table 1에서 보여지는 것과 같이 0.2 m로 설정하였으며 총 셀의 갯수는 85,000개이다.

Table 1. Simulation input data

Mesh Size	10 m×7 m×3 m
Cell Size	0.2 m×0.2 m×0.2 m
No. of Cell	50×35×10
No. of Cells for Mesh	17,500 ea
Total No. of Cells in Model	87,500 ea

풍속과 온도는 실제 천장형 에어컨 송풍구의 풍속을 25°C 기준으로 실측한 값을 사용하였다. 측정거리는 송풍구에서 약 1 cm 떨어진 근접거리에서 측정하였으며 10 %를 풍량 “강”으로 설정하였고 “중”은 8.5 %, “약”은 7.5 %으로 설정하였다. 에

어컨 미작동시를 포함하여 4가지 CASE에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.

실제 천장형 에어컨의 송풍구는 빠른 시간 내에 적용 공간내의 온도를 균일하게 하기 위해 각 제조사마다 편차는 있지만 기류의 방향을 천장과 수평이 아닌 천장과 30°~60°의 각도로 내보내고 있다. 이 기류를 재현하기 위해 시뮬레이션의 1 m×1 m 크기의 공기 배출구 아래에 0.8 m×0.8 m의 방해물을 설치하여 찬 공기의 기류 방향이 실제 기류와 가장 비슷하도록 설정하였다. 설정된 기류의 형상 및 온도분포는 Fig. 1과 같다.

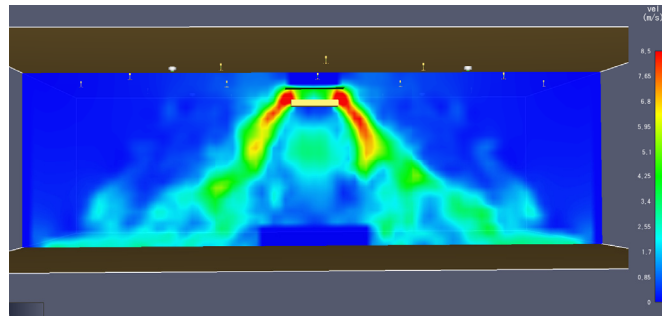


Fig. 1. Shape of air flow from air conditioner

감지기는 일반적으로 사용되는 열 감지기를 설치하였으며, 스프링클러 헤드는 천장에 3 m 간격(일반건축물의 스프링클러 헤드 수평거리 기준 2.1 m를 사용하여 산정)을 기준으로 잡아 최소 수량으로 설치하였다.

2.2 시뮬레이션 방법 및 내용

2.2.1 시뮬레이션 개요

본 시뮬레이션에서는 천장형 에어컨이 작동하지 않는 상황을 기준으로 하고 전체 공간을 4등분하여 분리된 각 공간의 중앙에 화원을 설치하였다. 4등분한 공간은 왼쪽 상단으로부터 시계 방향으로 A, B, C, D 로 명명하였다. 각각의 화원에서 화재 발생 시 스프링클러 헤드의 작동 개시시간을 측정하고 얻어진 데이터를 기준으로 삼아 천장형 에어컨을 작동시켰을 때의 스프링클러 헤드의 작동 개시시간을 측정하여 기준값과 비교하였다. 설치된 화원의 위치와 스프링클러 배치도는 Fig. 2에 표시한 것과 같다.



Fig. 2. Concept of reference situation

2.2.2 스프링클러

본 시뮬레이션에 사용된 스프링클러는 PyroSim 프로그램의 기본 장치(Generic Commercial Spray)로 반응온도는 68.33 °C이고 RTI(Response Time Index)값은 100이다. 헤드 간격은 화재안전기준의 스프링클러 헤드 수평거리 기준 중 일반구조의 2.1 m를 기준으로 계산하여 3.0 m을 기준으로 삼아 실험공간에 맞도록 12개를 배치하였다.

2.2.3 화원

화원의 사이즈는 0.8 m × 0.8 m × 0.6 m로 설정하였으며, 재료는 PyroSim 프로그램에 설정된 우레탄폼을 사용하였고 화재의 Reaction값은 폴리우레탄 값을 적용하였다. 단위면적당 HRR값은 1,000 kW/m²로 설정하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

2.3.1 CASE1 : 기준값

동일한 공간에 천장형 에어컨을 작동시키지 않은 상태에서 4개의 화원 위치에서 화재를 발생시키고 각각의 경우 스프링클러 헤드 작동 개시시간을 측정하였다.

화원의 위치별로 약간의 차이를 보였으나 5초 정도이고 4개의 위치 모두 40초대의 동작 개시시간을 보이고 있다. 측정된 시간은 아래 Table 2와 같다. Fig. 3은 화원이 A 위치에 있을 경우 스프링클러 작동개시 시점과 동작하는 스프링클러의 위치를 보여주고 있다.

Table 2. Sprinkler head activation time

Area	A	B	C	D
Activation Time (sec)	47.4	48.4	42.7	44.0
Sprinkler No.	1	4	12	9

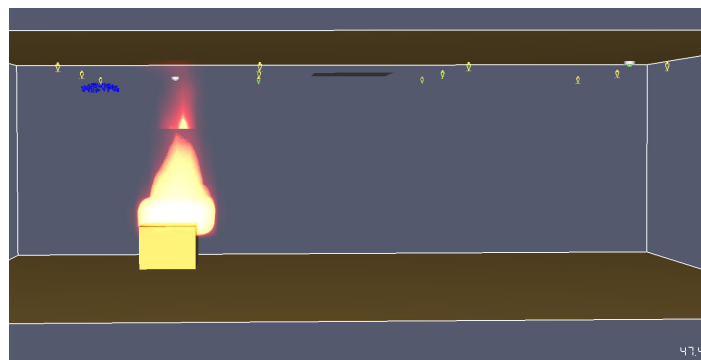


Fig. 3. Sprinkler head activation time in area A

2.3.2 CASE2 : 천장형 에어컨 작동 시 결과(풍속 10 m/s)

천장형 에어컨을 풍속 10 m/s로 작동 시 4개의 화원 위치별 스프링클러 헤드 작동 개시시간을 측정하였다. Table 3에서 보이는 것과 같이 4가지 경우 모두 600초(10분)가 경과하도록 스프링클러 헤드가 작동하지 않았다. Fig. 4는 600초가 경과하였음에도 작동하지 않은 스프링클러 헤드 상태를 보여준다.

Table 3. Sprinkler head activation time (10 ㎥/s)

Area	A	B	C	D
Activation Time (sec)	N.A	N.A	N.A	N.A

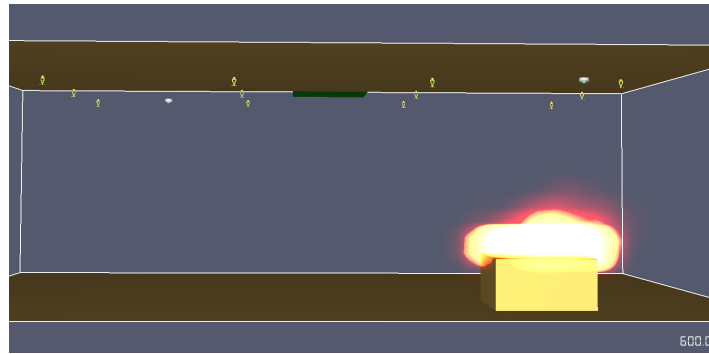


Fig. 4. Sprinkler not working after 600 seconds (Area C)

2.3.3 CASE3 : 천장형 에어컨 작동 시 결과(풍속 8.5 ㎥/s)

풍속 8.5 ㎥/s로 조정하여 스프링클러 작동 개시시간을 측정하였더니 아래 Table 4와 같았다.

풍속이 줄어들어 따라 스프링클러 헤드 동작하였고 개시시간은 기준값과 비교하였을 때 모든 위치에서 늘어났으며 B 위치에서는 최대 600% 정도까지 늘어난 것을 볼 수 있다.

Table 4. Sprinkler head activation time (8.5 ㎥/s)

Area	A	B	C	D
Activation Time (sec)	164.6	304.8	216.6	155.5
Time growth rate	247.26%	604.13%	407.26%	253.41%
Sprinkler No.	1	4	11	6

※ Time growth rate (%) : (activation time on each case-activation time on case1)/activation time on case1×100

2.3.4 CASE4 : 천장형 에어컨 작동 시 결과(풍속 7.5 ㎥/s)

7.5 ㎥/s의 풍속일 때 스프링클러 작동 개시시간을 측정하였더니 4가지 경우 모두 증가하였으나 증가율은 각 위치에 따라 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 각 화원의 위치별 동작개시시간은 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Sprinkler head activation time (7.5 ㎥/s)

Area	A	B	C	D
Activation Time (sec)	89.2	126.4	72.2	44.9
Time growth rate	88.18%	161.16%	69.09%	2.05%
Sprinkler No.	1	4	11	6

※ Time growth rate (%) : (activation time on each case-activation time on case1)/activation time on case1×100

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 C위치와 D위치에 화원이 위치하고 있을때 스프링클러 개시 시점과 동작한 스프링클러 헤드의 위

치를 보여준다.

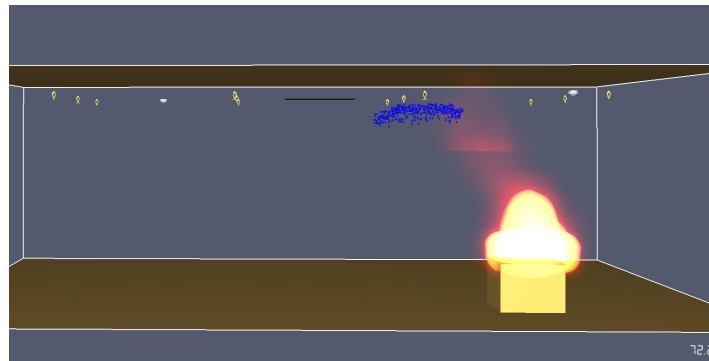


Fig. 5. Sprinkler head activation time in area C (wind speed 7.5 m/s)



Fig. 6. Sprinkler head activation time in area D (wind speed 7.5 m/s)

D위치의 경우는 다른 위치와 다르게 증가율이 매우 적는데 그것은 동작한 스프링클러의 위치가 에어컨 송풍구 바로 옆에 위치하여 기류의 사각지역에 속하였기 때문으로 예측할 수 있겠다. 에어컨 송풍구 주변의 기류 사각지역은 Fig. 7에서 보는 것과 같다.

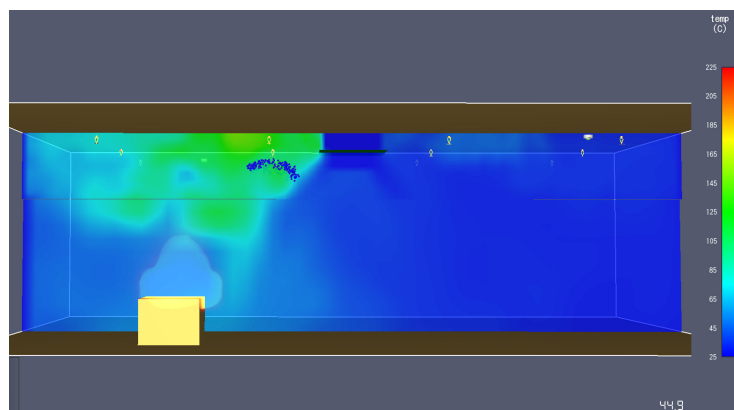


Fig. 7. Temperature distribution during sprinkler operation (Area D)

2.4 시뮬레이션 결과 분석

기준값과 풍속별 스프링클러 동작 개시시간을 비교한 값은 아래 Table 6과 같다.

Table 6. Comparison of sprinkler operation time (sec) by wind speed

CASE	Wind Speed	A	B	C	D	
CASE1	0 %	47.4	48.4	42.7	44.0	
CASE2	10 %	N.A	N.A	N.A	N.A	
CASE3	8 %	Activation start time	164.6	340.8	216.6	155.5
		Time growth rate	247.26%	604.13%	407.26%	253.41%
CASE4	7.5 %	Activation start time	89.2	126.4	72.2	44.9
		Time growth rate	88.18%	161.16%	69.09%	2.05%

※ Time growth rate (%) : (activation time on each case-activation time on case1)/activation time on case1×100

에어컨을 작동시킨 모든 경우에서 스프링클러 동작 개시시간이 기준값에 비해 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 화원에서 올라온 열기류가 에어컨의 차가운 기류와 만나 온도가 낮아지고 기류가 강한 경우(10 %)에는 에어컨의 강한 기류에 의해 스프링클러의 위치와 먼 쪽으로 밀려갔기 때문이라고 판단할 수 있다. 그리고 풍속이 강해질수록 증가율이 더 커지는 것을 알 수 있으며 풍속 10 %의 경우는 화재 발생 10분이 경과했어도 스프링클러가 작동하지 않았다.

화원이 B 위치일 경우 모든 경우 스프링클러가 가장 늦게 동작하였으나 나머지 위치들에서는 서로 다른 순서를 보여 위치에 따른 경향성은 보이지 않았다.

3. 결론

본 시뮬레이션은 동일 공간에서 에어컨의 작동 유무에 따른 스프링클러 동작 개시시간을 비교하여 에어컨의 찬 기류가 스프링클러 동작 개시시간에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 분석한 연구이다.

에어컨 미 작동 시와 비교했을 때 모든 경우에서 스프링클러의 동작 개시시간이 늘어났으며 풍속이 7.5 %일 때 보다 8.5 %로 강해졌을 때 개시시간의 증가율이 높아졌고 풍속 10 %의 경우에는 10분 동안 4개의 위치 모두 스프링클러가 동작하지 않았다. 강한 기류의 경우 천장으로 올라오는 열기류를 바깥 벽쪽으로 지속적으로 밀어내어 스프링클러가 동작할 수 있는 온도까지 도달하지 못하게 하거나 온도를 유지하지 못하도록 하였다고 판단할 수 있다. 에어컨의 강풍(10 %)에 의해 10분이 경과할 때 까지 스프링클러 헤드가 작동하지 않았다는 것은 초기 진화실패라고도 볼 수 있다. 이에 천장형 에어컨이 설치된 공간에는 RTI값이 상대적으로 빠른 조기반응형 스프링클러를 설치하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

다만, D위치의 경우는 풍속이 7.5 %일 경우 에어컨 미작동시와 작동개시시간의 차이가 거의 나지 않았는데 이는 에어컨의 기류 방향으로 인하여 발생한 찬 기류의 사각지대에 설치된 스프링클러 헤드가 작동한 것으로 예측하였다. 이러한 부분이 실제 실험이 아닌 시뮬레이션의 한계라고 할 수 있겠다.

이번 연구의 경우는 에어컨 위치를 중앙으로 고정하고 스프링클러를 배치하였으나 에어컨 동작 환경(설정 온도, 풍속, 풍량, 공간의 크기 등)에 따라 충분히 결과가 다르게 나타날 수도 있다. 그렇지만 하나의 경우에서도 이렇게 스프링클러 동작 개시시간이 증가하는 경향을 보이는 것으로 보아 다른 경우에서도 수치의 차이는 있겠지만 스프링클러의 동작 개시시간이 증가할 것으로 예상된다. 실제 실험을 하는 것이 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이므로 향후 연구에서는 실험을 진행하는 것도 필요할 것이다.

화원의 위치에 따라 스프링클러 동작 개시시간의 편차를 보이고 있었는데 에어컨 송풍구의 위치와 화원의 위치사이에도 상관관계가 있을 것으로 예상되므로 이런 부분들은 향후 더 많은 연구를 통해 분석이 필요할 것으로 생각된다.

References

- Choi, M. -S. (2019). A Study on the Response Characteristics of Fire Detector in Ceiling Air Conditioning Environment, Doctoral dissertation in Seoul National Univ. of Science and Technology.
- Choi, M. -S. and Lee, K. -O. (2018). Study on Influence of Air Flow of Ceiling Type Air Conditioner on Fire Detector Response. *Journal of Fire Science Engineering*. 32(5): 40-45.
- Jang, H. D., Lee, D. H., and Lee, J. H. (2011). A Study on the Indoor Flow According to Vane Angle of Square Ceiling Type Louver Diffuser. *Journal of The Korea Society of Mechanical Engineering*. 2011(10): 1457-1461.
- National Fire Agency (2016). NFSC 203.
- Yeo, Y. -J. (2006). Fire Protection Systems Engineering : Sprinkler System. Korea Fire Safety Laboratory.

Korean References Translated from the English

- 소방청 (2016). 자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 화재안전기준(NFSC 203).
- 여용주 (2006). 수계 소화설비 공학 - 스프링클러설비 편. 한국화재연구소.
- 장헌덕, 이대희, 이진호 (2011). 사각 천장형 루버 디퓨저의 토출 각도에 따른 실내유동에 관한 연구. 대한기계학회 춘추학술대회. 2011(10): 1457-1461.
- 최문수 (2019). 천장 공조기류 환경에서 화재감지기 응답특성에 관한 연구. 서울과학기술대학교 박사논문.
- 최문수, 이근오 (2018). 천장형에어컨 기류가 화재감지기 작동에 미치는 영향 분석. 2018 한국화재소방학회 논문집. 32(5): 40-45.