

소방용 감지기의 설치 위치에 따른 대피시간 효율성 분석

Analysis of Efficiency of Evacuation Time

according to Installation Location for the Detector of Fire Protecting System

Ho Cheol Ryu*, Doo Hyun Kim**

Department of Safety Engineering of Chungbuk National University,
1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

Abstract

By analyzing the operation characteristics according to the installation location of the heat detector and the existence of crossbeam, the purpose of this study is to figure out how they affect to the safe evacuation time. For this, the operation time of the detector was measured in case of general fire and oil based fire, respectively, applying 3 parameters of the open and closed conditions and the existence of crossbeam. In the general fire, the results showed 7 seconds difference between open and closed conditions, and 150 seconds of operation delay in maximum depending on the existence of crossbeam. In the oil based fire, the results were similar in two cases of the open and closed conditions, but there were 20 seconds difference in maximum depending on the existence of crossbeam. In case of general fire, the spreading speed of fire was slow, but the spreading speed was fast in the oil based fire, which resulted in these differences. In addition, the number 5 detector which was close to the wall operated most slowly and it was possible to confirm that the existence of wall and crossbeam affected the operation time of the detector. Thus, to secure the safe evacuation time effectively, it is highly required to review the national fire safety code(NFSC) on the clearance distance and design direction of the wall and the crossbeam.

Key words: fire detector, crossbeam, safe evacuation time, general fire, oil based fire, clearance distance

* Tel. 82-43-250-9713. Fax. 82-43-250-9716 E-mail. ti9713@hanmail.net

** Corresponding author. Tel. 82-43-261-2463. E-mail. dhk@chungbuk.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Apr. 13, 2015 / Revised: May. 28, 2015 / Accepted: June. 2, 2015

국문초록

본 연구는 열감지기의 설치위치와 보 설치 유무에 따른 감지기 동작 특성을 분석하여 안전대피시간에 어떠한 영향을 주는지를 규명하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 실험실에서 일반화재와 유류화재로 분류하고, 개방 및 밀폐상태, 보의 유무의 파라미터를 적용하여 감지기 동작 시간을 도출하였다. 일반화재에서 개방 및 밀폐상태에서는 7초의 차를 보였고, 보의 유무에 따라 최대 150초의 동작지연시간을 보였다. 유류화재의 경우는 개방 및 밀폐상태에서는 비슷하였으며, 보의 유무는 최대 20초를 보였다. 일반화재의 경우는 화염의 확산속도가 느린 반면 유류화재는 확산속도가 빠르게 나타나서 이런 차이점을 보였다. 또한, 벽면에 근접한 5번 감지기가 가장 늦게 동작하였고 이는 벽면과 보가 감지기 작동시간에 많은 영향을 주고 있음을 확인하였다. 따라서 안전대피시간을 효율적으로 확보하기 위하여, 벽면과 보에 대한 이격거리와 설계방향에 대한 국가화재안전기준의 재검토가 필요하다.

주제어: 열감지기, 보, 안전대피시간, 일반화재, 유류화재, 이격거리

1. 서론

현대의 소방대상물은 대형화 및 복합화되어 다양한 시설과 다수의 인원이 거주하고 있으며, 이러한 대상물의 화재 시에는 신속하게 대피하는 것이 최우선이다. 고층아파트에서 화재가 발생하더라도, 인명 손실은 화염보다는 화재 초기에 발생하는 유독 연기에 의한 원인(Jung & Lee, 2003)이 대부분을 차지하고 있으므로, 스프링클러 등의 초기 소화용 자동식 소화설비가 제 역할을 해주기를 기대하는 것 외에 별다른 대응 방법이 없어 속수무책인 실정이다.

이러한 화재 초기 상황에서 스프링클러 등의 자동식 소화설비와 특히 화재 발생을 알려주는 경보설비의 정확하고 신속한 대응이 큰 화재뿐 아니라 귀중한 인명의 손실을 방지할 수 있다. 따라서 고층화 대형화되는 소방대상물의 화재방호를 위한 자동화재탐지설비(ISO 7240-9,2012)는 자동으로 화재를 초기에 감지하여 건물 내에 있는 사람들에게 경보를 발령해주는 설비로 안전대피시간을 확보하도록 해주는 중요한 설비 중 하나이다. 이런 자동화재탐지설비의 정확하고 빠른 경보는 화염이나 연기를 감지하는 감지기가 좌우한다. 감지기의 감지능력은 설치위치에 따라 동작시간의 제약을 받는다. 이는 안전대피시간이 감지기 동작시간에 좌우된다고 해도 과언이 아니다. 국가화재안전기준(NFSC,2013)에서의 화재감지기의 설치기준은 면적과 높이에 관한 사항만을 규정하고 있다. 감지기의 동작시작은 실내의 형상과 열 방출량에 의존하는 중요한 변수임에도 불구하고 국내의 기준은 그 근거를 충족하지 못하고 있다. 또한 화재감지기의 설치면적이나 높이 등에 대한 구체적인 이론이나 실험적인 근거는 전혀 없는 실정이다. 국외(NFPA,2002)에서는 건물 형상이나 화재가 발생했을 때 방출되는 열량 등에 따라 거리별로 화재감지기를 설치하도록 규정하고 있다.

최문수(2014) 등은 천장으로부터 이격거리에 따른 화재감지기 감도 성능변화 실험연구에서 모든 감지기는 천장에 부착된 경우 가장 빠른 응답특성을 보인다고 하였으며, 천장으로부터 이격거리가 멀면

응답특성이 늦어진다고 하였다. 양태선 외(2005)는 연구에서 초기화재 발생 사실을 즉시 알려야 하는 경우 불꽃감지기를 제안하기도 하였으며, 화재시스템의 신뢰성이 절대적으로 중요하다고 하였다. 박동하(2010)는 소방대상물에 감지기 설치 시, 국내 소방법에서 요구하는 수량과 성능위주설계에서 요구하는 수량을 비교하는 연구를 수행하였다. 여기에서 성능위주설계가 경제적이며 과학적 설계기법임을 알리고 있다. 감지기 자체에 대한 연구는 아니지만, 감지기의 동작에 영향을 주는 천장 보와 기류의 변화에 대해서 연구한 결과도 있다. 이복영 외(2004)는 공기 유동이 감지기 응답특성에 미치는 영향에 대한 연구한 결과, 기류순환이 있는 실내에서는 감지기의 감지가 상당히 늦어짐을 보고하였고, 최문수(2013) 등도 천장 기류변화에 따라 화재감지기 반응시간이 늦어짐을 보고하였다.

이상과 같이 감지기에 관한 또는 감지기의 동작에 영향을 주는 기류나 보 등에 대한 연구가 있었으나, 정작 감지기의 설치 위치에 대한 연구는 미흡할 뿐만 아니라 국가화재안전기준에서도 열감지기의 설치 위치에 대하여서는 많은 규약을 두지 않고 있다. 따라서 감지기의 동작에 영향을 주는 건축물의 형상이나, 실내 가연물의 종류 등을 고려한 법 연구와 규정이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 화재실험을 통하여 국내 기준인 면적과 높이 외에 추가적으로 열감지기의 설치위치와 다양한 장애물을 파라메타로 하여 동작시간을 분석하여 안전대피시간에 어떠한 영향을 주는가를 분석하였다. 본 연구의 데이터를 통하여 건물구조에 맞게 감지기를 설치하여 신속한 경보로 인한 국민의 생명과 재산손실을 줄이는데 도움을 주고자 한다.

II. 감지기에 대한 설치기준 및 안전대피시간

1. 국내 기준

자동화재탐지설비의 감지기 설치에 관한 국내의 기준은 국가화재안전기준(NFSC 203 제7조)을 따른다.

<표 1> Type of Detector by Mounting Height

부착높이(m)	감지기의 종류
4m 미만	차동식(스포츠형, 분포형), 보상식 스포트형, 정온식(스포츠형, 감지선형), 이온화식 또는 광전식
4m 이상 8m 미만	차동식(스포츠형, 분포형), 보상식 스포트형 정온식(스포츠형, 감지선형) 특종 또는 1종, 이온화식 또는 광전식
8m 이상 15m 미만	차동식 분포형, 불꽃 감지기 광전식(스포츠형, 분리형, 공기 흡입형) 1종 또는 2종 연기복합형, 이온화식 1종 또는 2종
15m 이상 20m 미만	이온화식 1종, 광전식(스포츠형, 분리형, 공기 흡입형) 1종 연기복합형, 불꽃감지기
20m 이상	불꽃감지기, 광전식(분리형, 공기흡입형)중 아나로그방식

<표 2>는 부착높이 및 소방대상물에 따른 감지기의 종류를 차동식, 보상식 및 정온식 스포트형으로 구분하여 나타내었다. 추가로 열 감지기는 다음의 기준에 따라 설치한다.

- 감지기는 공기유입구로부터 1.5 m 이격한다.
- 감지기는 천장 또는 반자의 옥내에 면하는 부분에 설치한다.
- 차동식 스포트형 감지기는 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상을 설치한다.
- 스포트형 감지기는 45° 이상 경사 되지 아니하도록 부착한다.

위와 같이 차동식 감지기에 대한 설치 국가화재안전기준 외에는 다른 규정은 없다.

2. 국외 기준(NFPA 72)

미국은 NFPA 72에 따라 감지기를 설치하고 있다. 그 내용은 아래와 같다.

- 설치 장소의 가연물을 고려한다.
- 천장 높이와 형상을 고려한다
- 열 감지기는 벽으로부터 10cm 이상 이격한다.
- 미국 방화관리규정에서의 감지기 설치 규정은 화재하중이나, 천정의 높이, 천정의 형태, 실내 환기 등을 고려하여 열감지기 또는, 연기감지기 등을 선택해야 한다. 또한 감지기 설치 시에 설치 간격과 위치를 공학적 검토 결과에 따른다.

<표 2> Type of Detector by Mounting Height and Fire-fighting Object(unit: ㎡)

부착 높이 및 소방대상물의 구분		감지기의 종류						
		차동식 스포트형		보상식 스포트형		정온식 스포트형		
		1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종
4m 미만	주요구조부를 내화구조로 한 소방대상물 또는 그 부분	90	70	90	70	70	60	20
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	50	40	50	40	40	30	15
4m 이상 8m 미만	주요구조부를 내화구조로 한 소방대상물 또는 그 부분	45	35	45	35	35	30	-
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	30	25	30	25	25	15	-

3. 안전대피시간(Available Safe Evacuation Time)

안전대피시간이란 건축물 내에서 화재발견 또는 화재감지시간으로부터 위험한 상태로 돌입하는 시간과의 차이로서 안전하게 대피할 수 있는 시간이다. 위험한 상태에 도달하는 시간에 대하여 여러

가지 제안이 있으나, 연기층의 강하, 즉 상부의 연기층이 사람의 눈높이가 되는 150cm, 연기층의 온도가 115℃ 이상, 유독가스중에서 일산화탄소의 허용농도 50ppm 이하, 이산화탄소의 허용농도 5,000ppm 이하, 산소결핍에 대한 O₂의 허용농도 18%, 일정 높이 이상에서 고온가스는 약 180℃ 이상으로 해당 기준 이상/이하에 도달하는 시간을 말한다(정길순, 1993). 실험 1)에 의하면(한 층에 6개씩 5단의 목재화재) 연기층의 온도가 115℃가 되는 대피시간 378초였으며 20초 후에는 122℃를 초과하였다. 연기층의 강하는 화재전성기에서 70초 이후에 150cm에 도달하였고 10초 이후에는 115cm까지 강하하였다. <표 3>은 연기층의 온도에 대한 대피시간을, <표 4>는 연기층의 하강속도에 대한 대피시간을 나타내었다.

<표 3> Evacuation Times for Smoke Layer Temperature

Time(sec)	Smoke Layer Temperature(℃)
378	115
398	122
418	131
438	136

<표 4> Evacuation Times for Smoke Layer Height

Time(sec)	Smoke Layer Height(cm)
70	150
75	136
80	115

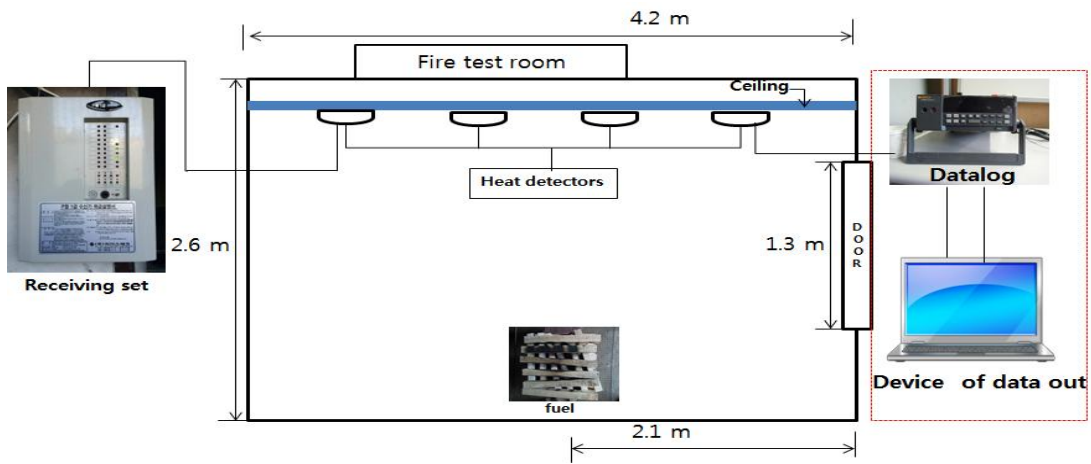
III. 실험장치 및 방법

1. 화재 실험장치

열감지기의 위치에 따른 동작시간을 분석하기 위하여 4.2(L)×2.6(W)×2.5(H)m의 벽돌조로 되어 있는 화재실험실(사공성호, 2009)로 열감지기가 설치되는 천장 면은 석고보드에 철판을 덧대어 만들어진 구조이며, 개구부는 1.3(L) × 1.9(H)m의 구조이다. 열 감지기는 국내 H사의 제품으로 차동식 스포트형 감지기를 나타내었다. P형 수신반의 경우는 국내 L사의 제품으로 20회로 용이다. 일반화재를 가정하기 위하여 사용한 발화원은 목재(wood cribs)를 상온에서 건조한 후 일정한 규격(0.03×0.03×0.30m)으로 만든 후 사용하였다.

감지기 위치 설치 및 방법은 L사의 차동식 열감지기를 사용하여 화재실험실의 중심부를 기점으로 5곳을 선정하여 천정면에 부착하였다. 또한, 각각의 감지기는 송·배전 방식으로 설치하였으며, 감지

기선의 말단이 수신기에 연결되었다. 감지기와 감지기 사이, 감지기와 수신기의 전선은 내화전선(FR cable- 2.5sq)을 사용하여 화재실험 시의 화염과 열에 견디도록 하였다. 수신기는 화재실험실 외부에서 조작할 수 있도록 하였다. 열감지기의 동작하는 시간을 측정하기 위하여 P형 1급 수신기를 이용하였고, 경보에 따른 시간을 측정하였다. <그림 1>은 화재 실험을 위한 개략적인 화재실험 장치를 나타낸 것이다. <그림 2>는 감지기의 설치 위치와 보의 설치 위치를 나타낸 것으로, 감지기 1은 천장 중앙부에 설치하였고, 감지기 동작 시 이를 경보하는 구조(실제 설치 구조)로 하였다. 2~5는 중심으로 부터 각각의 간격으로 설치한 설계도이며, 보는 감지기 D1과 감지기 D4 사이에 설치하였으며, 4.2×0.3×0.3m의 크기로 석고 재질로 제작하였다.



<그림 1> Experimental Setup

<그림 2>는 화재 실험에 사용한 국내 H사의 제품으로 차동식 스포트형 2중 감지기(보통형, 비방수형)를 나타낸 것이다. <그림 3>은 화재 실험에 사용한 수신기로 국내 L사의 제품이며, P형 1급 20회로용을 나타낸 것이다.



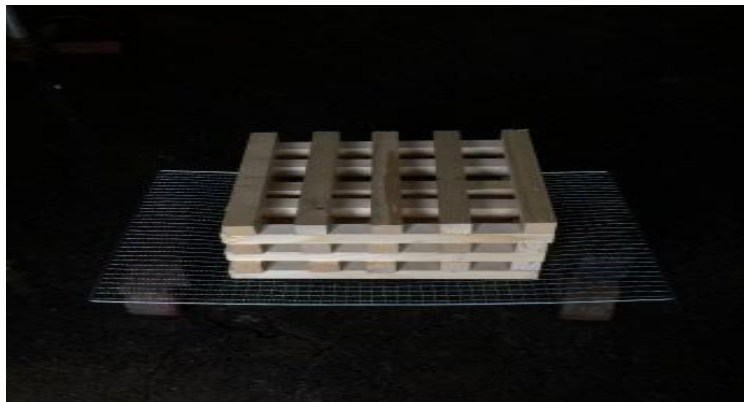
<그림 2> Photo of Detector



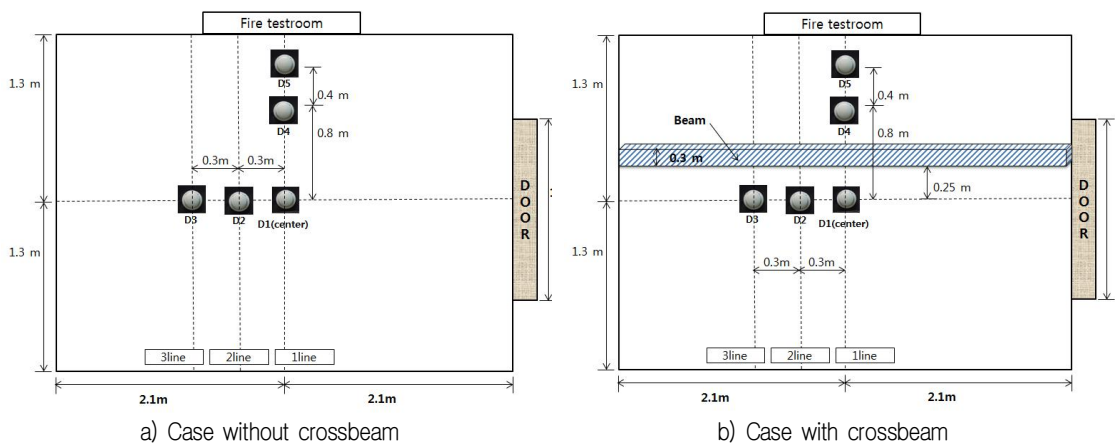
<그림 3> Photo of Receiving Set

2. 화재 실험방법

열감지기 설치 위치에 따른 감지기의 동작 시간을 측정하기 위하여 화재의 종류는 일반화재(wood cribs)와 유류(n-heptane) 화재로 하였다. 또한, 개방된 상태와 밀폐된 상태에서 일반화재와 유류화재 각각에 적용하였다. 일반화재를 가정하기 위하여, 소화기의 소화능력 판정(NEMA, 2012) 등에 사용하는 목재(wood cribs)를 상온에서 건조하여 일정한 규격($0.03 \times 0.03 \times 0.30\text{m}$)으로 만든 후, 한 층에 6개씩 5단으로 설치하였다. 목재는 화재실험실의 중앙, 즉 감지기 D1의 직하부에 설치하였고, 점화보조제로 알코올 200ml를 사용하였다. 목재에 점화된 뒤 알코올을 제거한 후, 감지기가 동작할 때까지의 시간을 측정하였다. 유류화재를 가정하기 위하여 순도 95% n-heptane을 스테인리스 용기(pan, $0.30 \times 0.30 \times 0.10$)에 200ml를 넣고, 점화시켜 감지기가 동작하는 시간을 측정하였다. 헵탄의 점화는 점화기를 사용하였다. 연료의 위치는 목재를 사용한 화재실험과 동일한 위치이다. <그림 4>는 화재 실험에 사용한 목재(wood cribs)를 나타낸 것이다. <그림 5>는 보의 유무에 따른 실험 장치를 나타낸 것이다.



<그림 4> Photo of Wood Cribs



<그림 5> Location of Rise Spot Type Detector Installed on the Ceiling

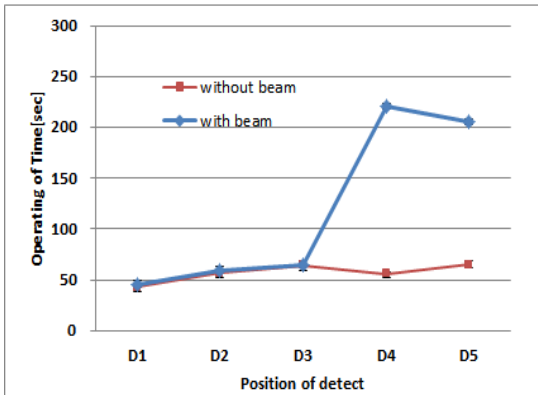
IV. 결과 및 고찰

1. 목재화재

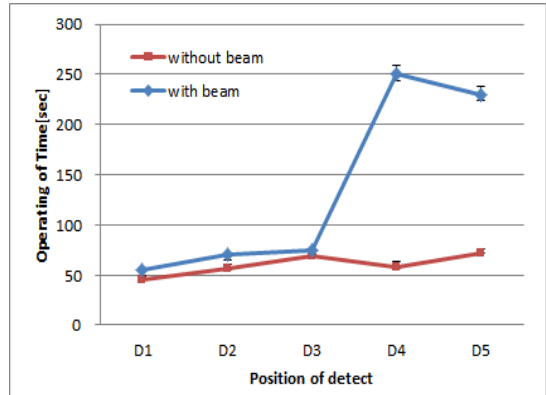
감지기 설치 위치와 개방·밀폐상태 및 보 유무를 각각 분석하였다.

출입문이 밀폐된 경우는 화원에서 가까운 1번 감지기의 동작이 가장 빨랐고, 벽면에 근접한 4번 감지기가 가장 나중에 동작하였다. 가장 빨리 동작한 1번 감지기와의 동작이 가장 느린 4번 감지기는 평균 13초 시간 차이가 발생하였다. 보가 설치된 경우에는 1~3번 감지기의 경우는 큰 변화가 없었으나 열기류의 유동이 방해받을 4번, 5번 감지기의 동작이 보가 설치되지 않은 4번, 5번 감지기보다 최소 140초, 최대 164초로 늦게 작동함을 확인하였다. <표 3>과 <표 4>에 의하면 화재발생시의 연기층의 온도는 20초 간격으로 급변하고 연기층의 하강속도는 5초 단위로 크게 변화함으로 보로 인하여 대피지연시간에 영향을 미침을 확인하였다. 보의 유무에 대한 구체적인 관리방안이 필요하였고, 벽면에 있는 4번 감지기의 경우 벽면에 의한 영향으로 가장 늦게 동작하였다. 따라서 벽면에서의 이격거리에 대한 구체적인 방안이 필요하였다. <그림 6>은 출입구가 밀폐된 경우 목재가 연소할 때 감지기 작동시간을 나타낸 것이다.

출입문이 개방된 경우는 보가 설치되지 않은 경우의 동작시간은 다소 비슷하였고 벽면으로부터 더 멀리 설치된 4번 감지기가 가장 늦게 동작하였다. 보가 설치된 장소의 경우 4번, 5번 감지기의 작동시간은 250초, 230초였다. <그림 7>은 출입구가 개방된 경우 목재가 연소할 때 감지기 작동시간을 나타내었다.



<그림 6> Operation Time by the Location of Rise Spot Type Detector(Case: wood cribs, Closed Gateway)

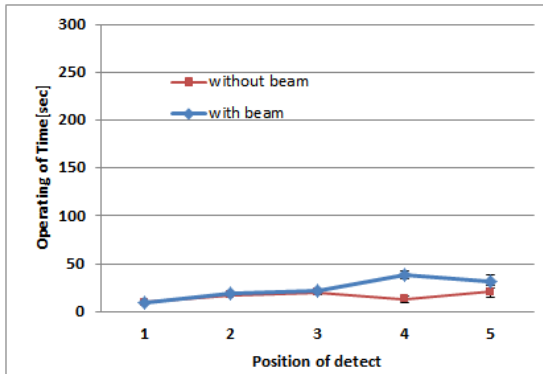


<그림 7> Operation Time by the Location of Rise Spot Type Detector(Case: wood cribs, Open Gateway)

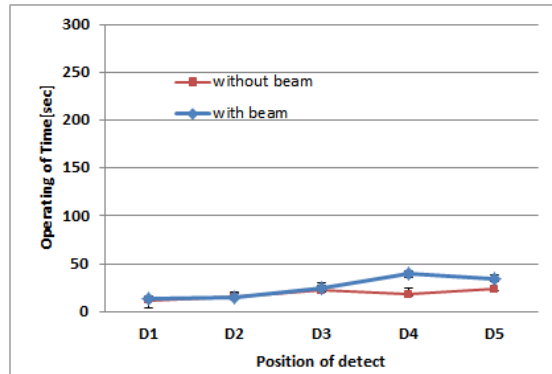
2. 헵탄화재

출입문인 밀폐한 경우에서 화원에서 가까운 1번 감지기의 동작이 가장 빨랐고, 목재화재와 마찬가지로 4번 감지기가 가장 나중에 동작하였다. 이는 벽면과의 이격거리가 작동시간과의 연관성이 있음을 확인하였다. 보가 설치된 경우에는 4번 감지기가 가장 늦게 동작하였다. 목재화재의 경우는 연기의 발생은 많았으나 헵탄화재의 경우는 연기보다 열의 확산이 빠르게 이동하여 보가 없을 때보다 22초의 차를 보였다. <그림 8>은 출입구가 밀폐된 경우 헵탄이 연소할 때 감지기 작동시간을 나타내었다.

출입구가 개방된 경우에도 벽면과 연관된 4번 감지기가 가장 늦게 동작했으며 보가 있을 경우는 보가 없는 4번 감지기보다 24초 늦게 동작하였다. <그림 9>는 출입구가 개방된 경우 헵탄이 연소할 때 감지기의 작동시간을 나타내었다.



<그림 8> Operation Time by the Location of Rise Spot Type Detector(Case: n-heptane, Open Gateway)



<그림 9> Operation Time by the Location of Rise Spot Type Detector(Case: n-heptane, Closed Gateway)

V. 결론

본 연구에서는 화재실험을 통하여 국내 기준인 면적과 높이에 대한 규정 외에 열감지기의 설치위치, 열 방출량에 대한 파라메타인 개방된 상태와 밀폐된 상태 및 장애물 유무에 따른 감지기의 동작 특성을 분석하였고 이를 바탕으로 안전대피시간에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개방 및 밀폐 상태의 경우는 개방일 경우가 감지기의 동작시간은 늦었으며, 특히 벽면에 있는 감지기는 모두 가장 늦게 동작하였다. 보의 유무에 따라 감지기 동작시간은 목재화재의 경우 160여 초, 헵탄화재의 경우에는 22초의 차이를 보였다. 이러한 동작시간의 늦어짐은 안전대피시간을 줄어 들게 한다.

2) 안전대피시간을 효율적으로 확보하기 위하여, 보 또는 열기류의 유동을 방해하는 구조물이 존재할 경우, 감지기를 전후에 이중으로 설치하는 것이 바람직하며, 국가화재안전기준에 벽면으로부터의 이격거리 등을 명시하도록 제정하여야 한다.

참고문헌

- 박동하. 2010. 성능위주설계를 위한 화재감지기 배치의 공학적 연구. 한국화재소방학회지. 24(1): 15-23.
- 사공성호, 김시국, 이춘하, 정종진, 2009. 화재실험을 통한 주택용 연기감지기의 응답특성에 관한 연구. 한국화재소방학회지. 23(4): 98-103.
- 양태선, 김은중. 2005. 터널내 화재의 조기감지방법 및 피난터널에 관한 연구. 한국방재학회 논문집 5(3): 41-46.
- 이병곤, 태순호, 정길순. 1993. 목재연소시의 실내화재성상과 안전대피시간. 한국안전학회지. 8(2): 72-77.
- 이복영, 박상태, 채영무, 백동현, 이병곤. 2004. 공기유동이 감지기 응답특성에 미치는 영향과 대책. 한국화재소방학회 학술대회논문집. 2004(6): 131-137.
- 최문수, 홍성호, 박상태, 유상필, 김갑용. 2014. 천장으로부터 이격거리에 따른 화재감지기 감도성능변화 실험연구. 한국화재소방학회 학술대회 논문집. 2014(4): 111-112.
- ISO 7240-9, Fire Detection and Alarm Systems-Part 9: Test Fires for Fire Detectors, 2012.
- Jung, K. S. and Lee B. K, 2003. A Study on Response Characteristics of Ionization Smoke Detector Influenced by Air Stream. *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*. 17(2): 6-9.
- National Fire Safety Code 2013. 2013. Fire Alarm System.
- NEMA Notification No. 2012-17. 2012. Korean Fire Equipment Inspection Standards for Fire Detectors, 2012.
- NFPA. 2002. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd ed.
- Yoon, C. J. 2013. A Study on the Location and the Placement of Spot-type Photoelectric Smoke Detector in an Area Where Ceiling has Exposed Beam Structures. Master's Thesis, Graduate School, Seoul Industry University.

류호철: 충북대학교 대학원 박사과정을 수료하였으며, 현재 소방감리업에 종사하고 있다. 관심분야는 소방안전분야이다(ti9713@hanmail.net).

김두현: 서울대학교에서 박사학위를 취득하였으며, 현재 충북대학교 공과대학 안전공학과 교수로 재직중이다. 주요연구 및 관심분야는 전기안전, 소방안전 분야이다(dhk@chungbuk.ac.kr).