

화재시뮬레이션을 통한 물류창고 화재 속도와 위치에 따른 공기흡입형 감지기와 일반 연기 감지기 감지시간 비교에 관한 연구

A Study on the Comparison of Aspirating Smoke Detector and General Smoke Detector Detection Time according to the Fire Speed and Location of Logistics Warehouse through FDS

이상범¹ · 김민석² · 민세홍^{3*}

SangBum Lee¹, MinSeok Kim², SeHong Min^{3*}

¹Master Course, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

²Master Course, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

³Professor, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University, Seongnam, Republic of Korea

*Corresponding author: SeHong Min, shmin@gachon.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: Recently, the number of logistics warehouses has been on the rise. In addition, as the number of such logistics warehouses increases, number of fire accidents also increases every year, increasing the importance of preventing fires in large logistics warehouses. **Method:** investigated aspirating smoke detectors that are emerging as adaptive fire detectors in logistics warehouses. Then, through fire simulation (FDS), logistics warehouse modeling was conducted to compare and analyze the detection speed of general smoke detectors and aspirating smoke detectors according to four stages of fire growth and three locations of fire in the logistics warehouse. **Result:** Growth speed in Slow-class fires and Medium-class fires, the detection speed of aspirating smoke detectors was faster regardless of the location of the fire. However, in Fast-class fires and Ultra-Fast-class fires, it was confirmed that the detection speed of general smoke detectors was faster depending on the location of the fire. **Conclusion:** It was confirmed that the detection performance of the aspirating smoke detector decreased as the fire growth speed increased and the location of the fire occurred further than the receiver of the aspirating smoke detector. Therefore, even if an aspirating smoke detector is installed in a warehouse that stores combustibles with high fire growth rates, it is judged that an additional smoke detector is attached far away from the receiver of the general smoke detector to increase fire safety.

Keywords: Logistics warehouse, Aspirating smoke detection, Aspire, Fire Simulation(FDS), Smoke detection

요약

연구목적: 최근 물류 창고 수의 증가 추세에 있다. 또한 이러한 물류 창고의 수가 늘어남에 따라 화재발생건수 또한 매년 증가 추세를 보여 대형 물류 창고에서 발생하는 화재 예방의 중요성이 커지고 있다. **연구방법:** 물류 창고에 적응성 있는 화재감지기로 대두되고 있는 공기흡입형 감지기에 대해 조사하고 화재시뮬레이션(FDS)을 통해 물류 창고 모델링을 진행하여 물류창고 화재 성장 속도 4단계와 화원 위치 3가지에 따른 일반 연기감지기와 공기흡입형 감지기의 감지 속도를 비교 분석하였다. **연구결과:** 성장속도 Slow급 화재와 Medium급 화재에서는 화원위치에 상관없이 공기흡입형 감지기의 감지속도가 더 빨랐다. 하지만 Fast급 화재와 Ultra Fast급 화재에서는 화원위치에 따라 일반연기감지기의 감지속도가 더 빠른 것을 확인할 수 있었다. **결론:** 공기흡입형 감지기는 화재성장속도가 빨라질수록, 둘째 화원의 위치가 공기흡입형 감지기 수신부보다 멀어질수록 같은 위치에 있는 연기감지기보다 성능이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 그렇기에 화재성장속도가 빠른 가연물을 적치하는 창고에서는 공기흡입

Received | 4 August, 2023

Revised | 14 September, 2023

Accepted | 20 September, 2023

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

형 감지기를 설치하더라도 공기흡입형 감지기의 수신부와 멀리 떨어진 위치에는 연기감지기를 추가로 부착하는 것이 화재 안전성을 높이는 방법이라고 판단된다.

핵심용어: 물류 창고, 공기흡입형 감지기, 공기흡입형 감지기 배관 설계 프로그램(Aspire), 화재시뮬레이션(FDS), 일반 연기감지기

서론

물류창고업의 성장 배경으로는 대형 할인점, 아울렛, 백화점 등과 같은 대형소매업체의 성장에 따른 물량 증가와 코로나 19의 영향으로 인해 비대면 전자상거래를 할 수 있는 인터넷 쇼핑물의 급격한 증가와 택배거래 급증 등이 주요 원인으로 볼 수 있다. 연도별 물류창고업 등록현황으로는 2022년을 제외하고 연마다 물류창고 등록 수가 꾸준히 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 이러한 물류창고업의 등록이 증가하면서 더불어 물류창고 관련 화재 건수도 증가하고 있다.

물류 창고의 화재 사례는 안성시 코리아 냉동창고 화재(2013) 경산 타이코 AMP 물류창고 화재(2013), 경기도 군포 물류창고 화재(2020), 그리고 대형 인명 및 재산피해를 발생시켰던 한익스프레스 이천 물류창고 화재(2020) 등이 있으며 최근까지도 국내뿐 아니라 국외에서도 연이은 물류 창고의 화재가 발생되고 있다.

물류 창고 화재는 한번 발생하게 되면 대형화재로 많은 재산피해와 인명피해를 발생시키게 된다. 국가화재정보시스템 NFDS(2014~2022)를 통해 아래 그림과 같이 나타내었다. Fig. 1은 NLIC(2014~2022)를 통한 연도별 물류창고업 등록현황

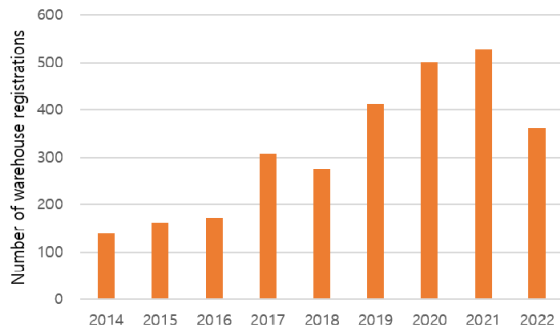


Fig. 1. Status of registration of logistics warehouse business by year

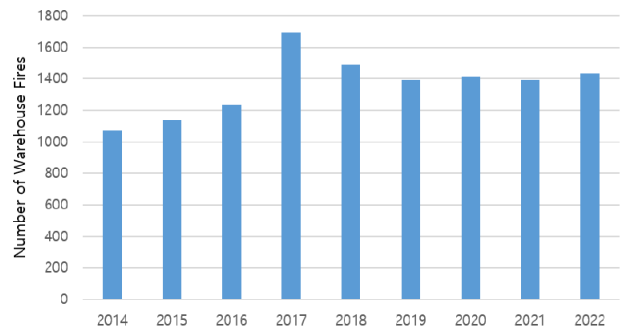


Fig. 2. Number of fires in the warehouse by year

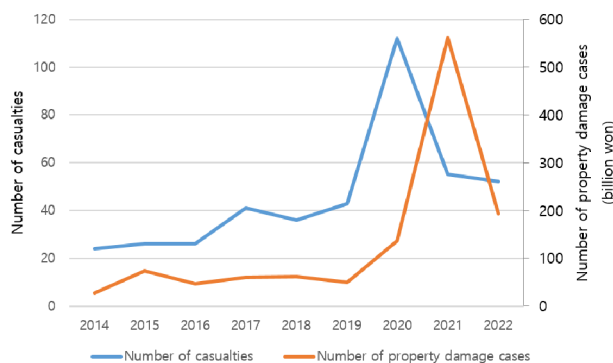


Fig. 3. Status of casualties and property damage caused by warehouse fires by year

으로 코로나가 시작된 후 2019년부터 연간 400개 이상의 물류창고가 생기면서 증가하는 추세이며 Fig. 2는 연도별 물류창고 화재발생 건수로 매년 꾸준히 1,000건 이상의 화재가 발생하고 있다. Fig. 3은 연도별 물류창고 화재발생으로 인한 인명피해 및 재산피해 현황으로 2020년 이후로 매년 100억원이 넘는 재산피해가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

물류 창고의 위험성

위의 내용과 같이 물류 창고의 수는 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 화재 또한 꾸준히 발생하고 재산 및 인명피해 중 특히 재산피해가 급격히 증가하고 있는 상황이다. 물류 창고는 화재안전 측면에서 위험성이 높은 시설로 평가되고 있기에 물류창고의 화재 위험성을 분석해 보았다.

첫 번째는 물류창고 마감재로 사용되는 샌드위치 패널이다. 샌드위치 패널은 알루미늄 등의 합금으로 만든 외부 강판 사이에 스티로폼, 우레탄폼 등의 심재를 채운 마감재를 의미한다. An et al.(2020)은 현재 ‘물류창고업 등록제’에 따라 현재까지 등록된 창고중 대다수가 시공 및 단열성을 위해 샌드위치패널 구조로 되어 있으며, An et al.(2019)은 샌드위치 패널로 인한 건물 화재는 연소확대가 빠르고 화재 위험성이 매우 크다고 판단하고 있다. Kim et al.(2023)에 따르면 샌드위치 패널로 인한 건물 화재의 화재위험성이 높은 원인을 샌드위치 패널은 심재가 화재에 매우 취약한 가연성 물질로 이루어져 있고 철판이 도장용 아연도금 강판으로 이루어져 내구성이 매우 약하기 때문에 심재로 인한 화재 확산 증가 및 화재 진압 시 고온 강판의 변형으로 인한 붕괴 등으로 판단된다.

두 번째는 단열재로 사용되고 있는 폴리우레탄 폼이다. KOSHA(2020)에 따르면 단열재로 사용되고 있는 우레탄 폼 등을 작업 중 화재와 폭발이 발생할 우려가 있다고 한다. 우레탄 뿔칠재의 경우 대부분의 기존 제품들이 난연성 확보가 미흡하기 때문에 착화과 동시에 빠른 연소 및 화재를 확산 시킬 수 있다. 또한, 연소 시 다량의 유독가스를 발생시켜 인명피해를 높이며 유독가스와 밀폐 구조로 인한 폭발위험성 또한 높일 수 있다.

세 번째는 Hong(2020)에 나와있는 물류창고 특히 랙크식 물류창고의 경우 가연물로 이루어진 많은 적재물로 인해 가연물 비중이 높고 화재확산이 급격한 특성을 가지고 있다는 점이다. 랙크식 창고의 적재물들은 대부분 비닐 랩으로 포장되고, 목재 및 가연성 재질의 파렛트에 적재되어 보관된다. 또한 많은 보관물품은 종이박스과 충격흡수를 위한 재료가 포함되어 있어 빠른 화재확산의 우려가 크다. 특히 종이박스와 스티로폼 재질에 의한 충격흡수재를 사용하는 판지박스포장 발포플라스틱으로 구분할 수 있는 가연물은 화재위험성이 매우 높다고 할 수 있으며, 초기 화재진압에 실패할 경우 대규모 피해로 커질 위험이 있다.

따라서, 물류 창고는 샌드위치 패널, 폴리우레탄 폼, 가연물 비중이 높다는 점 등으로 인해 매우 높은 화재 위험성을 가지고 있으며 화재확산이 급격한 특성을 가지고 있기 때문에 초기 화재 진압을 위한 조기 화재 감지가 중요하다.

대형 물류창고에서 공기흡입형 감지와 일반 연기 감지기 적응성 비교

Yoo(2020)에 따르면 대형 물류창고나 저온의 환경을 가지고 있는 냉동창고에서는 일반 연기 감지기(광전식 감지기, 이온화식 감지기)의 적응성이 떨어지기 때문에 이에 따른 대안으로 공기흡입형 감지기가 물류 및 냉동 창고에 적응성 있는 화재 감지시스템으로 떠오르고 있다. 그렇기에 대형 물류창고에서 공기흡입형 감지기와 일반 연기 감지기의 적응성에 대해 비교

해 보았다.

일반 연기 감지기는 on/off 점점 신호를 수신기가 수신하여 경보를 울리고 필요한 소화설비를 연동시키는 단순한 기능을 가지고 있다. 수신기는 물리 화학적인 변화량이 어느 수준 이상이 되면 on/off 점점신호를 수신하기 때문에 화재 이외의 인위적인 환경에 의해 경보하는 비화재보(오보)가 빈번하여 화재경보 시스템의 신뢰도를 떨어뜨리는 한계를 가지고 있다.

반면 공기흡입형 감지기는 아날로그식 감지기로 화재에 대한 판단기능을 갖는 수신기에 주위 온도 또는 연기의 농도변화에 따라 각각 다른 전류를 출력하는 방식으로 시간에 따라 검출되는 연기농도에 대한 정보를 수신기에 송출한다. 또한 공기흡입형 감지기는 Yeon(2018)과 Jung(2016)에서 말하는 것처럼 연소 초기단계의 열분해 시 생성된 초미립자를 감지구역 내에 설치된 흡입배관을 통하여 흡입기에 의해 감지헤드로 흡입시켜 미립자를 분석한다. 그렇기에 화재 신호를 발생하는 재래식 연기감지기보다 빠른 응답특성을 가지고 있어 조기화재감지기로 분류되고 있다. 능동적인 동작특성으로 열분해 단계에서 $0.005\sim 0.02\ \mu\text{m}$ 크기의 초미립자를 검출하므로 화재가 아닌 화재징후를 포착해서 비화재보를 예방할 수 있다. 또한 주조 기능을 가지고 있어 정확환 화점을 파악할 수 있고 다단계 표시기능이 있어 화재 전후 상황에 대해 모니터링이 가능해 적극적인 대처가 가능하다. 물류창고는 화재사례에서 알 수 있듯이 경제적인 손실이 크기 때문에 조기에 화재를 감지하는 것이 무엇보다 중요하다. 조기에 화재를 감지하여 스프링클러설비가 동작해 전실화재 전에 화재가 진압되어야 한다. 초기의 화재 진압 실패 시 막대한 인명, 재산피해는 이미 여러 차례 경험을 통해 알고 있다.

공기흡입형 감지기 검출방식 및 작동원리

공기흡입형 감지기 개요

시대가 변함에 따라 건축가들이 점점 더 혁신적으로 건물을 설계하고 새로운 건축 재료나 건물에 쓰이는 합성물질로 된 설비나 가구들에 맞춰 건축법이 변함에 따라 화재가 발생했을 때 거기에 대응해야 하는 소요시간이 점점 짧아지고 있다. 이 때문에 고효율의 소방 설비를 만들어 내는 것은 필수적인 일이었고 이러한 문제를 해결하기 위해 고안된 소방 설비 중 하나로 공기흡입형 감지기가 있다. 공기흡입형 감지기는 1970년대 중반 오스트레일리아에서 먼저 연구되었으며 이후 유럽에서는 VESDA(Very Early Smoke Detecting Apparatus, 조기경보 연기 탐지설비) 또는 Air Sampling Detection Smoke System 등의 명칭으로 설비가 발전해 오고 있다. 공기흡입형 감지기는 연소초기단계의 열 분해 시 생성된 초미립자의 연기를 감지구역 내에 설치된 흡입배관을 통해 흡입기에 의해 감지헤드로 흡입시켜 미립자를 분석하여 화재신호를 발생하는 장치로 광전식 연기감지거나 이온화식 연기 감지기보다 빠른 응답특성을 가지고 있어 조기화재감지기로 분류된다.

공기흡입형 감지기 검출방식 및 작동원리

공기흡입형 감지기 검출방식으로는 크게 Cloud Chamber Type, Xenon Lamp Type, Laser Beam Type 3가지로 나뉘어진다. Cloud Chamber Type은 초기에 사용되던 공기흡입형 감지기로 감지헤드에 설치된 흡입기로 방호공간의 공기를 상시 흡입하여 흡입된 공기 내에 연소미립자가 존재하는 지 분석해서 화재신호를 발생시키는 장치로 흡입된 미립자를 감지 가능한 크기로 확대하기 위해서 가습기를 통한 Cloud Chamber를 사용한다. 하지만 가습기 사용 및 유지관리의 불편함으로 현재는 거의 사용되고 있지 않다. Xenon Lamp Type과 Laser Beam Type은 광전식 감지기의 산란현상을 이용하며 고정밀도의 연기감지기를 위해 발광부로서 각각 Xenon Lamp 또는 Laser Beam을 사용하여 화재 초기의 미립자를 검출한다.

공기흡입형 연기감지기는 연기발생 여부를 감시하기 위해서 방호공간의 공기를 흡입기를 통하여 지속적으로 공기를 흡입하며 연기입자들을 감지부내로 흡입할 때 기존의 Spot Type의 감지기와는 달리 기류의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 이러한 이유로 공기흐름이 있는 곳이나 정체된 공기흐름 상태에서도 효과적으로 화재를 감시할 수 있는 능동적인 화재감지장치이며, 방호공간에서 발생한 연기는 공기흡입형 감지기 배관을 통해 감지부로 들어오게 된다. 이 배관에는 여러개의 연기를 빨아들이는 흡입부로 구성되어 있으며 이 흡입부로 인해 여러 장소에서 들어오는 공기를 감시할 수 있다. Fig. 4과 같이 공기흡입형 연기감지장치는 시스템의 동작 및 출력을 제어하는 기능을 가지고 있으며 연기감지장치는 흡입부에 의해 배관을 통해 흡입된 공기는 환경상태에서 존재하는 먼지 등을 필터링하는 여과장치를 통과한 후 감지실내로 들어오게 된다. 감지실내에서는 3MW의 Laser광선이 채집된 공기를 통과하고 만약 공기 중에 연기미립자가 존재하면 산란현상을 일으키고 산란된 광선은 고감도 광센서(Photo Diode)에 의해 산란광에 의한 빛에너지가 전기적인 에너지로 변환되며 전기적인 에너지는 제어부로 전달되어 연기농도를 나타내며 사용자가 미리 설정한 등급에 따라 신호를 발생하게 되는 원리이다.

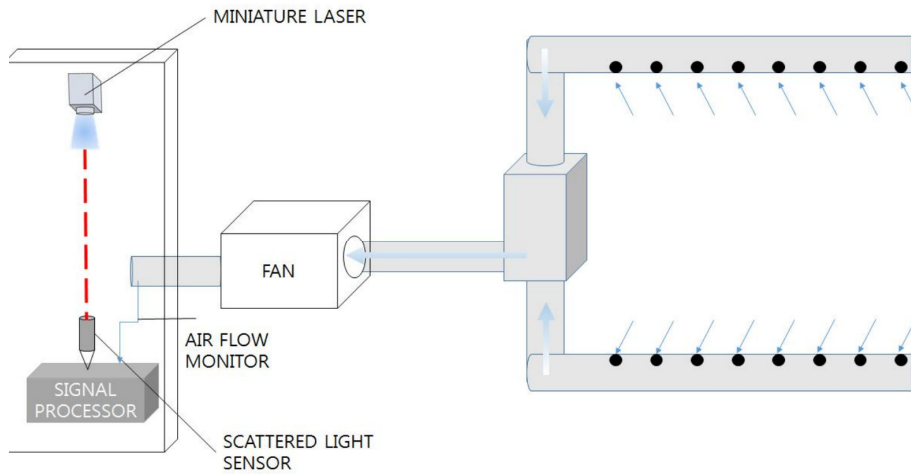


Fig. 4. Operation system diagram of aspirating smoke detector

ASPIRE를 통한 공기흡입형 감지기 모델링

화재시뮬레이션에서의 공기흡입형 감지기 설계 시 필요한 인자값을 구하기 위해 공기흡입형 감지기 설계 프로그램인 ASPIRE를 통해 공기흡입형 감지기 설계를 진행했다.

공기흡입형 감지기 설계 프로그램 ASPIRE

ASPIRE는 아일랜드의 소방 설비 제조회사인 Xtrails사에서 제작한 공기흡입형 감지기 설계 프로그램이다. ASPIRE는 공기표본추출설비의 설계를 간략화하기 위한 공기흡입배관설계 프로그램으로서 연기이송시간, 샘플 배관 사이의 공기 유량, 샘플 홀의 균형, 다양한 End cap 크기의 영향, 다양한 배관재의 영향을 평가하여 제안된 것으로 실제적인 설비에 광범위하게 적용하여 각국의 규제에 적합하게 운용될 수 있도록 만들어졌다.

ASPIRE는 다양한 형태의 공기흡입형 감지설비에서 각 배관에 대해 배관의 길이, 첫 번째 공기 흡입부, 이후 수반되는 공

기 흡입부 위치사이 간격, 공기 흡입부 개수, 공기 흡입부의 내경, 주위 압력과 공기온도와 같은 인자값들을 설정하여 설계할 수 있다. 또한, ASPIRE는 해당 설정 인자값들을 토대로 설계를 진행하면 각 공기흡입부 위치에서 배관의 압력, 유량, 감도, 수신부까지 연기표본을 흡입하는데 걸리는 시간의 값을 도출할 수 있다.

ASPIRE를 통해 공기흡입형 감지기를 설계한 후 도출한 값들은 이후에 진행할 화재시물레이션에서 공기흡입형 감지기 모델링에 필요한 인자값으로 활용하여 보다 더 신뢰성 있는 공기흡입형 감지기 예측 분석을 진행 할 수 있다.

공기흡입형 감지기 가설계

ASPIRE로 공기흡입형 감지기를 설계하기 전 형태를 잡기 위한 가설계를 진행했다. 설계 기준은 VESDA Design Guide (2007)를 따랐다. 우선 시물레이션 대상 공간으로는 이전의 A 물류창고로 선정하였으며 크기는 가로 34m, 세로 44m, 높이 9m이다. 공기흡입형 감지기 설계 기준에 의거하여 감지기 홀에서 벽까지 최대거리가 7.2m를 넘지 않고 감지기와 감지기 사이의 거리가 최대 10.8m를 넘지 않게 설계를 진행하였다. 공기흡입형 감지기 감지부가 왼쪽 벽과 오른쪽 벽에서 각각 약 3.8m 그리고 앞벽과 뒷벽과는 약 2m의 거리를 두어 설계하였다. 그리고 배관은 4개를 두어 배관과 배관사이의 거리는 8.5m로 설정했으며 같은 배관에서 감지부와 감지부 사이의 거리는 3.5m, 마지막 Endcap과의 거리는 2.5m로 설계했다. 또한 수신부의 높이는 0.8m와 1.5m 사이인 0.99m로 설정을 하고 수신부에서 감지기 사이의 높이 거리를 8m로 설정해 천장인 9m보다 0.01m 낮은 8.99m에 감지기 홀이 위치할 수 있게 해 감지기 홀이 최대한 천장에 가깝게 위치할 수 있도록 했다.

ASPIRE를 통한 공기흡입형 감지기 설계

가설계한 공기흡입형 감지기를 바탕으로 ASPIRE를 통한 공기흡입형 감지기 설계를 진행하였다. 우선 감지기 타입은 기본 타입인 VEP, 온도는 20°C로 설정하였고 절대 압력은 1기압인 1,013hPa로 설정하였다. 공기흡입배관의 개수는 총 4개이며 공기흡입배관 1개당 공기흡입구 13개로 설정해 총 52개의 공기흡입구를 설정하였다. 흡입구 간의 거리는 3.5m, 마지막 흡입구인 Endcap까지의 거리는 2.5m로 설정했고, 4개의 공기흡입배관의 길이를 합친 총 길이는 236m로 설정되었다. 샘플링된 공기가 배출되는 배구 부분에는 특별한 장치를 부착하지 않았기 때문에 길이 및 압력강하에 대한 값은 0으로 설정하였다. 최대 공기 지연 시간이란 공기흡입형 감지기 배관 각 흡입부에서 연기를 감지하고 수신부까지 수신하는데 걸리는 시간 중 가장 오래 걸리는 시간을 의미한다. 공기흡입형 감지기는 모든 흡입구로부터 수신부까지 수신되는 지연시간이 120초를

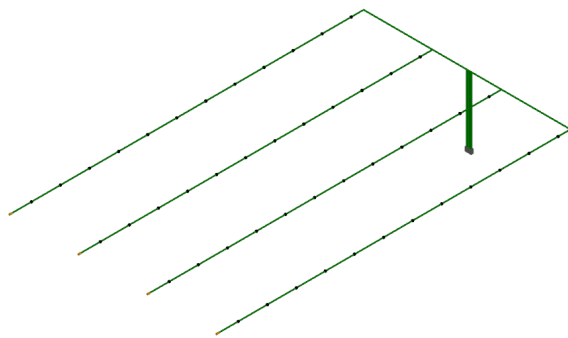


Fig. 5. Aspirating smoke detection pipe modeling through aspire

Table 1. Input Value during Pipe Design

Details	Installation Data
Detector Type	VEP
Air Temperature(°C)	20
Absolute Pressure(hPa)	1,013
Total Pipe Length(m)	236
Number of Sample Points	52
Exhaust Length(m)	0.0
Exhaust Diameter(mm)	21
Exhaust Pressure Drop(Pa)	0

넘게 되면 수신하는데까지 시간이 너무 오래 걸려 위험성이 높아 감지기로 부적합하다고 판단하기 때문에 최대 공기 지연 시간은 120초로 설정하였다. 설계한 공기흡입형 감지기 모델링 그림과 기본 설정 값에 대한 표는 다음과 같다.

위와 같이 설계를 진행하고 입력한 설정값에 대해 샘플링 홀마다의 압력, 지연시간, 유량, 홀 민감도 등의 결과값들을 도출해 낼 수 있었다. 이 중 화재시물레이션에서 공기흡입형 감지기 설계 시 필요한 인자값은 지연시간과 유량 값으로 각 샘플링 홀마다의 지연시간 값은 Table 2, 유량 값은 Table 3과 같다.

Table 2. Delay time(second)

Details	1 st pipe	2 nd pipe	3 rd pipe	4 th pipe
section 1	14	11	10	14
section 2	16	12	12	15
section 3	18	14	14	17
section 4	20	16	16	20
section 5	22	18	18	22
section 6	25	21	21	25
section 7	29	24	24	28
section 8	33	28	27	33
section 9	38	32	32	37
section 10	44	38	37	44
section 11	52	45	45	52
section 12	65	56	55	64
section 13	82	71	71	81

Table 3. Flow rate(l/min)

Details	1 st pipe	2 nd pipe	3 rd pipe	4 th pipe
section 1	3.3	3.6	3.6	3.3
section 2	3.1	3.4	3.4	3.1
section 3	2.9	3.2	3.2	2.9
section 4	2.7	3.0	3.0	2.7
section 5	2.6	2.8	2.8	2.6
section 6	2.4	2.7	2.7	2.5
section 7	2.3	2.6	2.6	2.3
section 8	2.2	2.5	2.5	2.2
section 9	2.2	2.4	2.4	2.2
section 10	2.1	2.3	2.4	2.1
section 11	2.0	2.3	2.3	2.0
section 12	2.0	2.2	2.3	2.0
section 13	2.3	2.6	2.6	2.3

화재시물레이션(FDS) 모델링 및 시나리오 설정

화재시물레이션 프로그램으로는 각종 실험데이터를 기준으로 만들어진 신뢰성 높은 CFD 기반의 시물레이션 프로그램인 FDS Ver.6.7.5를 지원하는 Pyrosim 2020을 활용하여 모델링을 수행하였다. 본 연구에서는 건축물 내의 감지기 작동시간을 확인하기 위해 이천의 모 물류창고를 대상 건축물로 모델링하고 수치해석을 진행하였다.

대상공간의 설정 및 분석방법

화재 시나리오는 물류창고 내부 트레이의 적치물에서 화재가 발생하는 것으로 가정하였다. 물류창고의 크기는 Fig. 6과 같이 이천의 A 대형 물류 창고 도면을 기준으로 36m×37.8m×9m(가로×세로×높이)로 설정을 하였다. 또한 내부 트레이는 행 3개 열 21개로 총 63개의 트레이를 배치시켰다. 트레이의 크기는 2.6m×1m×2.5m(가로×세로×높이)의 랙크가 옆으로 3개 이어붙어져 있는 것으로 설정하였으며 단수 또한 3단으로 설정하였다. 사이의 거리는 가로방향 2.6m, 세로방향 0.8m로 창고 트레이 사이의 이격간격을 좁게하여 가혹한 환경에서의 시물레이션을 진행하였다. 내부 온도는 화재시물레이션의 기본값인 20°C로 설정했으며 화원은 Vent 화재기반으로 진행을 했으며 화원 크기는 2,000kW로 설정하였다.

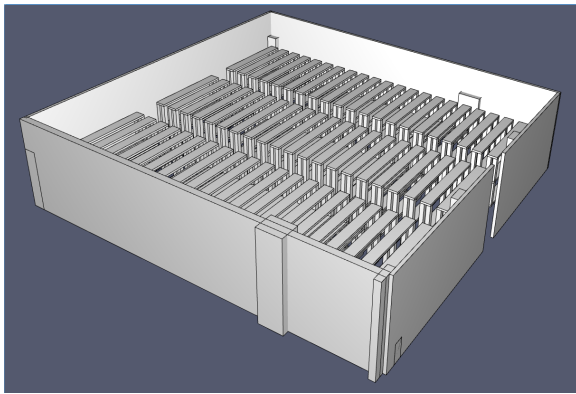


Fig. 6. Logistic warehouse FDS modeling

Table 4. Input Value during Pipe Design

Details	Installation Data
Warehouse Size (Width x Length x Height)	36m×37.8m×9m
Temperature(°C)	20
Fire Size Calculation[KW]	2,000
Reaction	Polyurethane_GM31
Analysis Time(seconds)	480
Cell Size(m)	0.3
Total Number of Cells in Model	Mesh(0.2×0.2×0.2) = 1,530,900
Multi Mesh	8

화재시뮬레이션 시나리오

화재 시뮬레이션 시나리오는 화원의 속도에 따라 Slow, Medium, Fast, Ultra Fast 4가지로 구분하였다. 또한 Table 5와 같이 4가지로 구분한 시나리오 각각에서 창고의 출입구 위치에서 발화 위치가 가까운 트레이에서 발생한 케이스, 창고에서 중

Table 5. Fire simulation scenarios

Scenario	Setting Value (Fire growth rate for t-square fires)	CASE	Setting Value (fire location)	Scenario	Setting Value (Fire growth rate for t-square fires)	CASE	Setting Value (fire location)
Scenario1	Slow	S1_1	close to the entrance	Scenario3	Fast	S1_1	close to the entrance
		S1_2	middle of warehouse			S1_2	middle of warehouse
		S1_3	far from the entrance			S1_3	far from the entrance
Scenario2	Medium	S2_1	close to the entrance	Scenario4	UltraFast	S2_1	close to the entrance
		S2_2	middle of warehouse			S2_2	middle of warehouse
		S2_3	far from the entrance			S2_3	far from the entrance

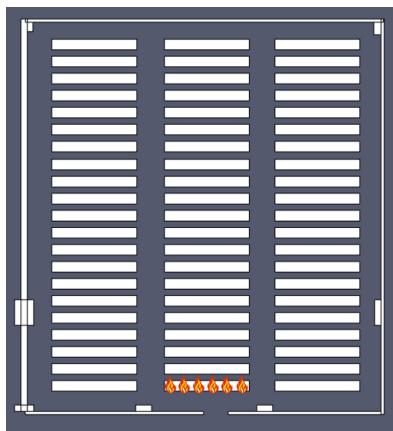


Fig. 7. Fire location(close to the entrance)

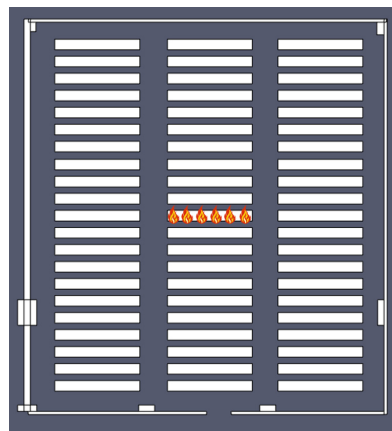


Fig. 8. Fire location(middle of warehouse)

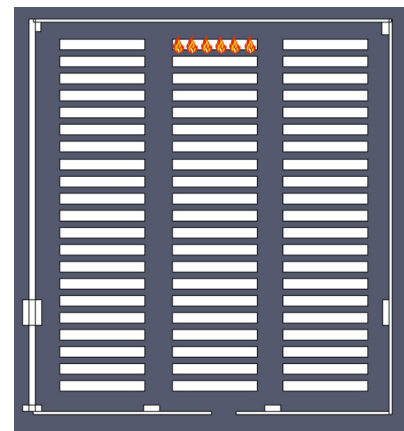


Fig. 9. Fire location(far form the entracne)

간 위치의 트레이에서 발생한 케이스, 창고 출입구 위치에서 발화 위치가 먼 트레이에서 발생한 케이스 3가지 케이스로 나누어 총 12가지의 케이스로 나누어서 분석을 진행하였다. 발화 면적은 트레이 한 단에서 화재가 발생한 것으로 설정해 트레이의 면적 $7.8m \times 1m$ (가로×세로)로 설정하였으며 vent 화재 기반으로 화원의 높이는 바닥인 0m로 설정하였다. 또한 창고의 출입구 위치에서 발화 위치가 가까운 트레이에서 발생한 화재, 창고 중간 위치의 트레이에서 발생한 화재, 창고 출입구 위치에서 발화 위치가 먼 트레이에서 발생한 화재 각각 순서대로 창고 입구로부터 직선거리 2m, 18m, 34m 떨어져 있는 것으로 설정하였다.

화재시뮬레이션 연기 감지기 및 공기흡입형 감지기 설계

물류창고 내부에 공기흡입형 감지기와 연기감지기의 감지 속도를 비교하기 위해 창고 내부에 공기흡입형 감지기와 연기감지기를 설계했다. 연기감지기의 종류는 KfireDB에 공개되어있는 이온화식 연기감지기 3개의 설정값들의 평균값으로 진행했다. 설정값들의 값은 Fig. 10과 같다. 연기감지기는 높이는 천장인 9m보다 낮은 0.01m 낮은 8.99m로 설정했다. 창고의 바닥 면적은 가로 37m, 세로 34m로 $1,258m^2$ 이며 연기감지기는 $75m^2$ 마다 1개가 들어가므로 17개 이상의 연기감지기 배치가 필요하다. 창고 면적에 맞게 연기감지기는 행으로 4개 열로 5개 총 20개의 연기감지기를 배치하였다.

공기흡입형 감지기는 각각의 흡입부와 수신부를 그룹화하여 통용한다. 흡인 시스템은 일련의 위치에서 차폐 측정이 이루어지는 수신부와 수신부로 공기를 끌어들이는 배관의 공기흡입부로 구성된다. 공기흡입형 감지기의 동작시간 예측 알고리즘은 다음과 같다.

$$\text{Obscuration} = \left(1 - \exp\left(-K_m \frac{\sum_{i=1}^N \rho_{s,i}(t-t_{d,i})\dot{m}_i}{\sum_{i=1}^N \dot{m}_i}\right)\right) \times 100\%/m \quad (1)$$

\dot{m}_i 는 흡입부 위치 i에서의 유량이고, $\rho_{s,i}(t-t_{d,i})$ 는 흡입부 위치 i에서의 그을음 밀도, t 는 현재시간, $t_{d,i}$ 는 흡입부 위치 i에서의 지연시간, K_m 은 가시광선의 질량감쇠계수이다.

FDS에서 이러한 알고리즘을 통한 동작시간 예측을 위해서는 인자값으로 각 흡입부의 위치, 유속, 지연 시간 및 감지 작동 임계점이 필요하다. 여기서 필요한 샘플링 위치는 위의 ASPIRE에서 설계한 배관의 샘플링 홀 위치로 설정했고 각 흡입부의 위치와 유속은 ASPIRE를 통해 도출한 Table 2와 Table 3의 값으로 설정했다. 감지 작동 임계점은 ASPIRE로 해당 배관을 설계했을 때 가장 이상적인 임계값으로 도출된 0.084%/m로 설정했다. 해당값들을 Pyrosim 프로그램에 입력한 화면은 Fig. 11과 같다.

수신부는 물류창고 외부에 위치하도록 설계했고 수신부의 높이는 0.8m와 1.5m 사이인 0.99m로 설정하였다. 감지부의 높이는 수신부보다 8m 높게 있는 8.99m로 설정해 천장과 0.01m의 거리를 두었다. 또한 같은 배관의 감지기와 감지기 사이의 거리는 3.5m 배관 사이의 거리는 8.5m로 설정하였다. 한 배관당 11개의 감지부를 만들어 총 44개의 감지부를 설정하였다.

ASPIRE의 결과 값으로 나온 유량의 단위는 L/min(분당 리터)값이고 Pyrosim 공기흡입형 설계 시 입력해야 할 유량의 단위는 Kg/s(초당 킬로그램)값으로 체적유량을 질량유량으로 바꾸는 과정이 필요하다. 체적유량을 질량유량으로 바꾸는 공식은 질량유량(Kg/S) = 밀도(Kg/m³)*체적유량(m³/S)이며 이 공식을 통해 ASPIRE에서 도출해낸 체적유량을 질량유량으로 바꾸어 화재시뮬레이션에 적용시켰다.

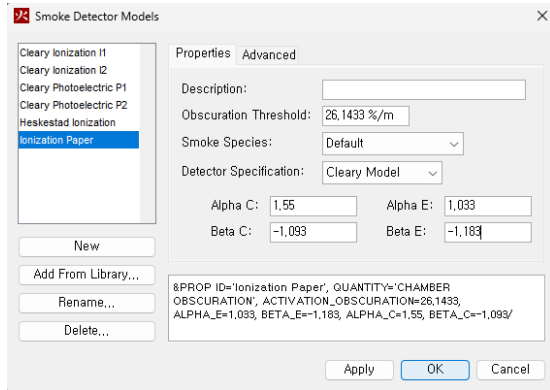


Fig. 10. General smoke detector input value

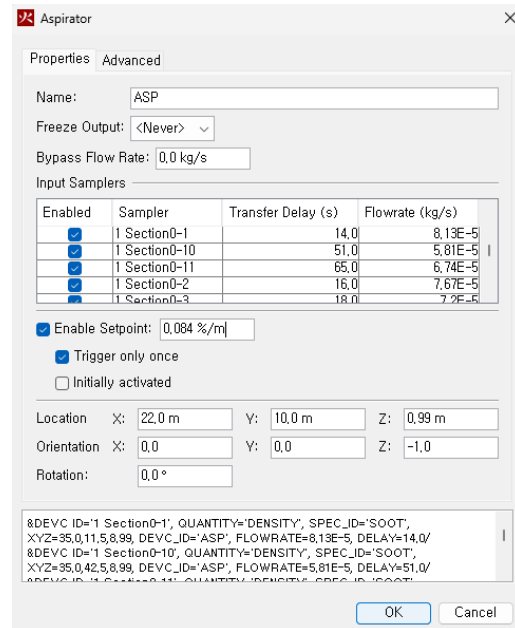


Fig. 11. Aspirating smoke detector input value

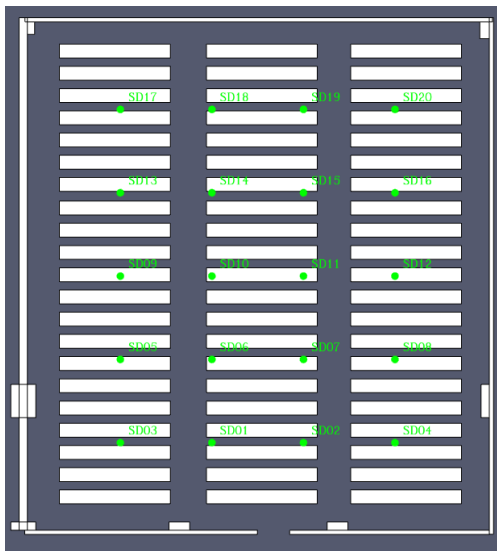


Fig. 12. General smoke detector position

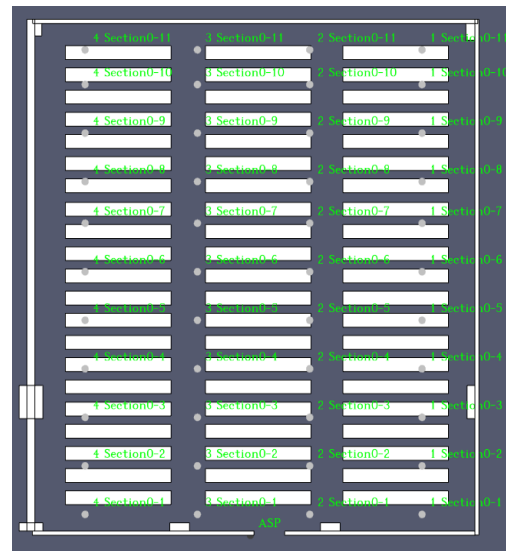


Fig. 13. Aspirating smoke detector position

화재시뮬레이션(FDS) 결과

시나리오 및 케이스별 공기 흡입형 감지기 및 연기 감지기 감지 속도 비교

화재시뮬레이션(FDS) 모델을 이용하여 화재성장속도(Slow, Medium, Fast, UltraFast)와 화원의 위치(창고 출입구에서 가까운 적치물에서 발생한 화재, 창고 중간 위치에서 발생한 화재, 창고 출입구에서 먼 적치물에서 발생한 화재)에 따른 12가지 케이스에 대한 공기흡입형 감지기 및 연기감지기의 감지 속도를 비교 분석을 하였다. 연기감지기는 20개 중에서 가장 빠르

게 동작한 연기감지기를 선정하여 공기흡입형 감지기의 감지속도와 비교분석 하였다.

시나리오1. Slow급 화재

Table 6,7,8은 각각 S1_1, S1_2, S1_3에 대한 그래프이다. S1_1에서는 연기감지기는 SD02가 148.2초로 가장 빠르며, 공기흡입형 감지기는 79.4초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 월등히 높은 것을 확인할 수 있다. S1_2에서는 연기감지기는 SD11이 154.1초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 101초로 연기감지기와 공기흡입형 감지기의 속도 차이가 S1_1보다는 줄었지만 여전히 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 빠른 것을 알 수 있다. S1_3에서는 연기감지기는 SD19이 150.8초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 106.5초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 여전히 빠른 것을 확인하였다.

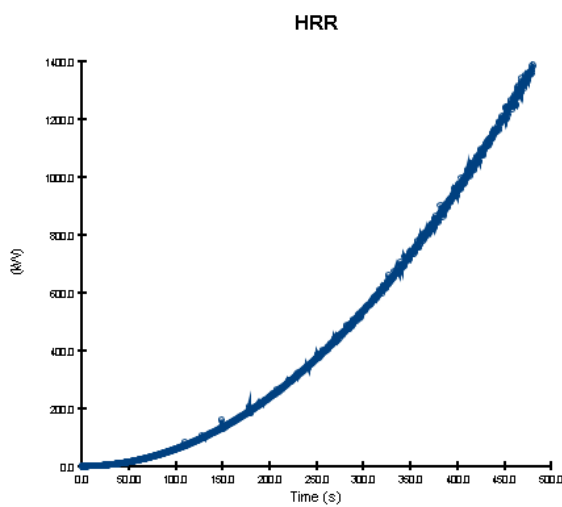


Fig. 14. Slow growth rate fire HRR graph

Table 6. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S1_1

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	79.4	SD 11	205.2
SD 01	155.9	SD 12	196.9
SD 02	148.2	SD 13	242.7
SD 03	164.4	SD 14	242.3
SD 04	155.5	SD 15	235.8
SD 05	186.8	SD 16	208.6
SD 06	181.2	SD 17	267.4
SD 07	181.0	SD 18	280.4
SD 08	169.9	SD 19	264.2
SD 09	212.4	SD 20	215.7
SD 10	230.0		

Table 7. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S1_2

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	101.0	SD 11	154.1
SD 01	239.5	SD 12	209.9
SD 02	240.0	SD 13	223.8
SD 03	226.1	SD 14	193.5
SD 04	252.9	SD 15	198.7
SD 05	226.6	SD 16	199.6
SD 06	213.4	SD 17	249.7
SD 07	189.9	SD 18	233.3
SD 08	188.7	SD 19	227.8
SD 09	218.9	SD 20	250.2
SD 10	159.8		

Table 8. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S1_3

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	106.5	SD 11	231.9
SD 01	291.4	SD 12	224.4
SD 02	286.0	SD 13	200.7
SD 03	266.5	SD 14	187.4
SD 04	258.9	SD 15	182.5
SD 05	225.0	SD 16	202.9
SD 06	262.2	SD 17	189.0
SD 07	243.6	SD 18	151.4
SD 08	243.0	SD 19	150.8
SD 09	204.5	SD 20	187.1
SD 10	232.8		

이를 통해 연기감지기는 화원 위치에 상관없이 일정한 속도를 나타내지만 공기흡입형 감지기는 감지부에서 수신부까지 전달되는 지연시간 때문에 수신부에서 먼 곳에서 화재가 일어날수록 감지시간이 늦어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 Slow급 화재에서는 화원 위치에 상관없이 연기감지기보다 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 모두 빠른 것을 확인할 수 있었다.

시나리오2. Medium급 화재

Table 9,10,11은 각각 S2_1, S2_2, S2_3에 대한 그래프이다. S2_1에서는 연기감지기는 SD02가 77.3초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 59.1초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 높은 것을 확인하였다. S2_2에서는 연기감지기는 SD10이 82.6초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 73.5초로 연기감지기와 공기흡입형 감지기의 속도 차이가 S2_1보다는 줄었지

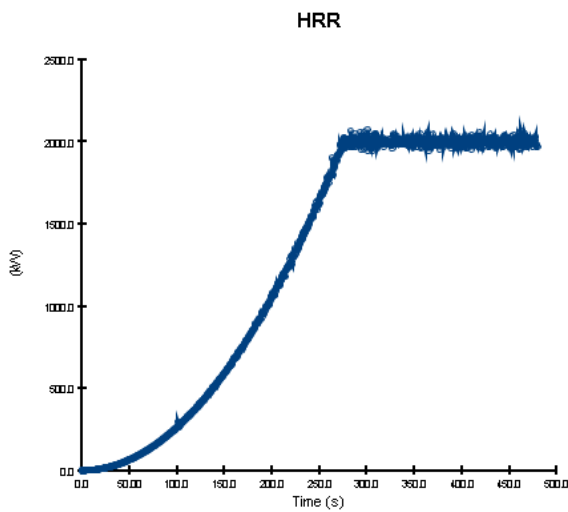


Fig. 15. Medium growth rate fire HRR graph

Table 9. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S2_1

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	59.1	SD 11	125.7
SD 01	86.1	SD 12	108.2
SD 02	77.3	SD 13	141.0
SD 03	89.4	SD 14	141.7
SD 04	87.9	SD 15	133.7
SD 05	100.5	SD 16	130.3
SD 06	114.7	SD 17	152.8
SD 07	112.5	SD 18	148.6
SD 08	95.1	SD 19	149.4
SD 09	122.0	SD 20	139.8
SD 10	132.3		

Table 10. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S2_2

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	73.5	SD 11	83.4
SD 01	142.9	SD 12	110.1
SD 02	143.5	SD 13	123.7
SD 03	140.6	SD 14	121.2
SD 04	148.2	SD 15	110.5
SD 05	109.1	SD 16	118.6
SD 06	110.9	SD 17	140.2
SD 07	110.3	SD 18	131.0
SD 08	128.1	SD 19	130.4
SD 09	111.5	SD 20	152.3
SD 10	82.6		

Table 11. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S2_3

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	82.4	SD 11	134.9
SD 01	171.1	SD 12	128.3
SD 02	158.2	SD 13	106.3
SD 03	153.0	SD 14	103.5
SD 04	149.8	SD 15	106.8
SD 05	138.9	SD 16	118.6
SD 06	133.9	SD 17	96.6
SD 07	140.1	SD 18	87.9
SD 08	137.0	SD 19	84.7
SD 09	130.5	SD 20	111.4
SD 10	128.1		

만 여전히 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 빠른 것을 알 수 있다. S2_3에서는 연기감지기는 SD19가 84.7초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 82.4초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 여전히 빠른 것을 알 수 있다.

시나리오 1과 비교했을 때 시나리오 2는 화재성장속도가 더욱 빨라졌다. 이로 인해 공기흡입형 감지기와 연기감지기의 화재 감지 속도가 둘 모두 빨라졌으나 시나리오 1에서 보다 공기흡입형 감지기와 연기감지기의 감지속도차이가 줄어들 수 있었다.

시나리오 3. Fast급 화재

Table 12,13,14은 각각 S3_1, S3_2, S3_3에 대한 그래프이다. S3_1에서는 연기감지기는 SD02가 47.8초로 가장 빠르며, 공기흡입형 감지기는 43.8초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 더 빠른 것을 확인할 수 있다. S3_2에서는 연기감지기는

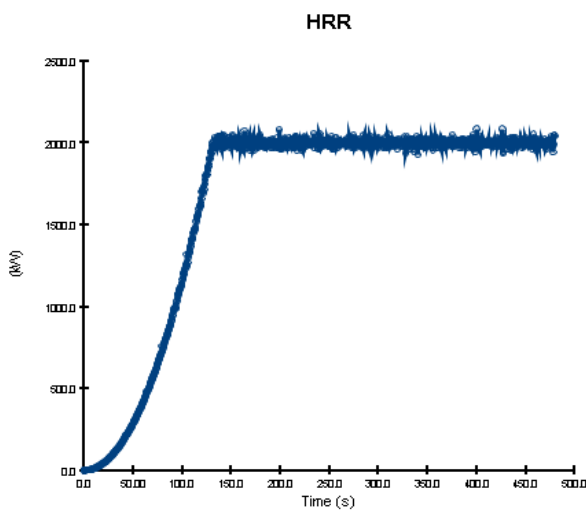


Fig. 16. Fast growth rate fire HRR graph

Table 12. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S3_1

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	43.8	SD 11	73.4
SD 01	48.0	SD 12	72.3
SD 02	47.8	SD 13	89.6
SD 03	50.1	SD 14	92.6
SD 04	54.6	SD 15	87.7
SD 05	64.9	SD 16	83.1
SD 06	62.2	SD 17	100.0
SD 07	62.0	SD 18	108.6
SD 08	62.4	SD 19	99.5
SD 09	77.0	SD 20	91.8
SD 10	76.6		

Table 13. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S3_2

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	57.3	SD 11	51.6
SD 01	80.1	SD 12	68.2
SD 02	78.5	SD 13	70.4
SD 03	85.8	SD 14	68.2
SD 04	79.3	SD 15	68.8
SD 05	72.6	SD 16	71.2
SD 06	63.5	SD 17	89.9
SD 07	64.0	SD 18	75.0
SD 08	73.1	SD 19	75.4
SD 09	69.5	SD 20	87.6
SD 10	50.9		

Table 14. Sensing speed of aspirating smoke detector and general smoke detector in scenario S3_3

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	69.6	SD 11	79.1
SD 01	100.7	SD 12	80.0
SD 02	102.2	SD 13	69.7
SD 03	98.3	SD 14	58.9
SD 04	97.5	SD 15	60.9
SD 05	88.3	SD 16	70.9
SD 06	88.1	SD 17	64.9
SD 07	94.7	SD 18	48.6
SD 08	87.9	SD 19	49.0
SD 09	80.8	SD 20	65.2
SD 10	74.4		

SD10이 50.9초로 가장 빠르며, 공기흡입형 감지기는 57.3초로 처음으로 연기감지기가 공기흡입형 감지기보다 감지 속도가 빨라진 것을 확인할 수 있었다. S3_3에서는 연기감지기는 SD18가 48.6초로 가장 빠르며, 공기흡입형 감지기는 69.6초로 연기감지기와 공기흡입형 감지기의 화재 감지 속도의 차이가 더 벌어진 것을 확인할 수 있었다.

시나리오 1,2와 비교했을 때 보다 화재성장속도가 더욱 빨라졌다. 이로 인해 연기의 전파가 빨라지고 낮은 민감도를 가진 일반 연기 감지기 또한 빠르게 작동할 수 있게 되어 공기흡입형 감지기와 화재감지속도 차이가 줄어들게 된다. 게다가 공기흡입형 감지기는 지연시간이 길어질수록 화재 감지 속도가 늘어나게 되기 때문에 그 결과 S3_2에서 처음으로 일반 연기감지기가 공기흡입형 감지기보다 감지 속도가 빨라진 것을 확인할 수 있었다.

시나리오4. Ultra Fast급 화재

Table 15,16,17은 각각 S4_1, S4_2, S4_3에 대한 그래프이다. S4_1에서는 연기감지기는 SD01가 42.7초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 41초로 공기흡입형 감지기의 감지 속도가 더 빠른 것을 확인할 수 있다. S4_2에서는 연기감지기는 SD11이 40.9초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 53초로 연기감지기가 공기흡입형 감지기보다 감지 속도가 빨라진 것을 확인할 수 있었다. S4_3에서는 연기감지기는 SD18가 40.6초로 가장 빠르며 공기흡입형 감지기는 66.4초로 연기감지기와 공기흡입형 감지기의 화재 감지 속도의 차이가 더 벌어진 것을 확인할 수 있었다.

시나리오4는 전체 시나리오 중 가장 빠른 화재성장속도를 보이는 시나리오이다. 연기의 전파속도가 가장 빠르기 때문에 낮은 민감도를 가진 일반 연기 감지기와 높은 민감도를 가진 공기흡입형 감지기의 화재감지 성능의 차이가 가장 줄어들었고 그렇기에 시나리오3과 같이 공기흡입형 감지기의 S4_2과 S4_3에서 일반 연기감지기가 공기흡입형 감지기보다 화재감지속도가 더 빠른 것을 동일하게 확인할 수 있다.

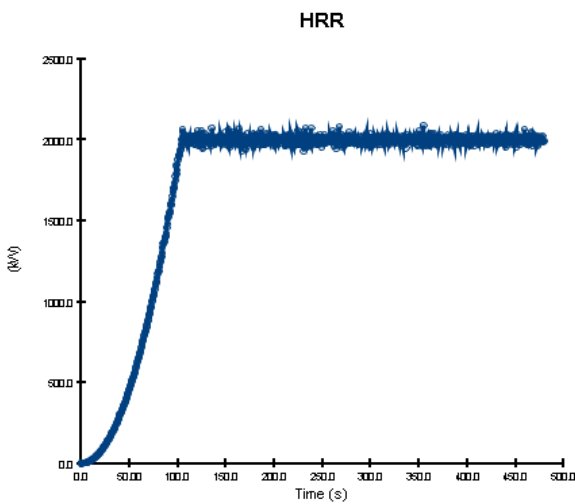


Fig. 17. Ultra Fast Growth rate fire HRR graph

Table 15. Sensing speed of Aspirating Smoke detector and General smoke detector in scenario S4_1

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	41.0	SD 11	64.5
SD 01	42.7	SD 12	63.9
SD 02	43.1	SD 13	79.4
SD 03	46.3	SD 14	77.8
SD 04	47.1	SD 15	78.5
SD 05	58.5	SD 16	75.9
SD 06	55.6	SD 17	87.8
SD 07	50.8	SD 18	90.4
SD 08	53.2	SD 19	85.4
SD 09	69.0	SD 20	83.2
SD 10	69.3		

Table 16. Sensing speed of Aspirating Smoke detector and General smoke detector in scenario S4_2

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	53.0	SD 11	40.9
SD 01	73.4	SD 12	54.3
SD 02	73.2	SD 13	63.7
SD 03	74.5	SD 14	62.9
SD 04	73.4	SD 15	63.7
SD 05	65.7	SD 16	64.3
SD 06	53.7	SD 17	73.9
SD 07	52.5	SD 18	68.8
SD 08	67.2	SD 19	68.8
SD 09	54.5	SD 20	73.2
SD 10	41.1		

Table 17. Sensing speed of Aspirating Smoke detector and General smoke detector in scenario S4_3

Detector Number	Detection Time	Detector Number	Detection Time
ASP	66.4	SD 11	68.0
SD 01	86.2	SD 12	67.5
SD 02	88.7	SD 13	61.1
SD 03	87.7	SD 14	50.8
SD 04	86.6	SD 15	50.6
SD 05	76.5	SD 16	60.9
SD 06	75.3	SD 17	52.9
SD 07	78.5	SD 18	40.7
SD 08	78.7	SD 19	40.6
SD 09	67.2	SD 20	53.4
SD 10	62.8		

결론

본 연구를 통해 물류 창고의 특성 및 위험성을 정립하고, 물류창고 내부 화재에서 화재의 위치, 화재성장속도에 따라 연기 감지기와 공기흡입형 감지기의 감지 속도를 비교하였다.

이전의 A 물류 창고를 참고하여 화재시물레이션(FDS)을 통해 모델링을 진행하였으며 화재성장속도 Slow급, Medium급, Fast급, Ultra Fast급 화재와 화재 위치를 공기흡입형 감지기 수신부 가까이에서 발생한 화재, 창고 중앙에서 발생한 화재, 공기흡입형 감지기 수신부에서 먼 곳에서 발생한 화재 총 12가지 Case로 분류하여 화재시물레이션을 진행하고 공기흡입형 감지기와 연기감지기의 감지속도를 비교하였다. Slow급 화재와 Medium급 화재에서는 화원의 위치가 어디에 위치해 있는 공기흡입형 감지기가 연기감지기보다 더 빠른 감지속도를 나타내었다. 하지만 Fast급 화재와 Ultra Fast급 화재에서는 화원의 위치가 공기흡입형 감지기의 수신부와 가까운 곳에 발생한 화재 이외에 Case에서는 연기감지기가 공기흡입형 감지기보다 더 빠른 감지속도를 나타내었다. 이를 통해 공기흡입형 감지기는 첫째 화재성장속도가 빨라질수록, 둘째 화원의 위치가 공기흡입형 감지기 수신부보다 멀어질수록 감지시간이 연기감지기보다 늦어짐을 확인할 수 있었다. 이에 대한 이유는 공기흡입형 감지기는 능동적인 동작특성으로 열분해 단계에서 0.005~0.02 μm 크기의 초미립자를 검출하기 때문에 화재성장속도가 느린 화재에서 빠른 시간에 적은 연기량만으로도 화재를 조기에 감지할 수 있는 장점이 있지만 화재성장속도가 빨라지면 연기가 전파하는 속도가 빨라짐으로 낮은 민감도를 가진 연기감지기도 빨리 동작할 수 있기 때문에 공기흡입형 감지기와 일반 연기감지기의 변별력이 없어지기 때문이라고 판단된다. 또한 화원의 위치가 공기흡입형 감지기 수신부에서 멀어질수록 감지부에서 연기를 빨아들이고 수신부까지 전해지는 지연시간이 길어지기 때문에 공기흡입형 감지기의 감지속도가 더 느려질 수 밖에 없다. 따라서 화원의 위치가 공기흡입형 감지기 수신부에서 먼 위치이며, 화재성장속도가 빠른 화재라면 공기흡입형 감지기와 일반 연기감지기의 감지속도가 변별력이 없어진 상황이기 때문에 별도의 지연시간 없이 바로 화재가 감지되는 일반 연기감지기가 화재성장속도가 빠르다는 결론이 도출된다. 그렇기에 화재성장속도가 빠른 가연물을 적치하는 물류 창고에서는 공기흡입형 감지기를 설치하더라도 공기흡입형 감지기와 멀리 떨어진 부분의 천장에는 일반 연기감지기를 추가로

부착하는 것이 더욱 빠른 시간에 화재를 감지할 수 있는 방법이고 화재 안전성을 높이는 방법이라고 사료된다.

본 연구논문의 결론은 FDS 단일모델에 의한 것이며 단일 대상에 대한 CASE Study 성격으로 실증 실험이나 다른 선행 연구결과 또는 validation에 대한 내용이 없기에 실무 적용이나 기준 변경의 자료로 사용하기에는 어렵다. 하지만 향후 추가 연구를 통해 실증시험과 비교하여 시뮬레이션의 정확도를 입증하고 창고 크기, 수용 물품 적재 용량, 수용 물품 종류 등 더 구체적이고 세부적인 조건에 따라 공기흡입형 감지기와 일반 연기 감지기의 설치 기준을 정립하게 된다면 물류창고 화재안전 수준을 대폭 향상시킬 수 있는 계기가 될 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00156237, 물류시설 화재 안전성 및 위험도 관리 기술 개발).

References

- [1] An, B.K., Kim, W.H., Seo, D.H., Ham, E.G. (2019). "A experiment of sprinkler system to protect ceiling joints of sandwich panel warehouses." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 1, pp. 98-108.
- [2] An, B.K., Kim, W.H., Yang, S.J., Ham, E.G. (2019). "A study on the improvement of field activity for firemen in sandwich panel warehouse." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 16, No. 3, pp. 421-429.
- [3] Hong, S.H. (2020). "Rack-type logistics warehouse real-scale fire test study." *KFPA*, Vol. 92. <https://www.kfpa.or.kr/webzine/202009/sub/disasters2.html>
- [4] Jung, J.O. (2016). A Study on the Application of Air Sampling Smoke Detection System to Hazardous Area of Gas Explosion. Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- [5] Kim, M.S, Lee., S.B., Min, S.H. (2023). "A study on the adaptability of oxygen reduction system to fire in cold storage through fire simulation analysis." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 19, No. 1, pp. 117-127.
- [6] Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA) (2020). Refrigeration and Logistics Warehouse Fire Accident Prevention Manual. Korea Occupational Safety & Health Agency Technology General Headquarters, Korea.
- [7] National Fire Data System (NFDS) (2014-2022). Retrieved from <https://www.nfds.go.kr/>
- [8] National Logistics Information Center (NLIC) (2014-2022). Retrieved from <https://www.nlic.go.kr/>
- [9] VESDA Design Guide (2007). Very Early Smoke Detection Apparatus Design Guide. Retrieved from <https://Xtralis.com/>
- [10] Yeon, C.K. (2018). A Study on the Aspirating Smoke Detector's Improved pipe and filter performance. Master's Thesis, Hoseo University.
- [11] Yoo, H.J. (2020). A Study on the Fire Risk Analysis and Fire Fighting System of Large Logistics Warehouse. Master's Thesis, Gachon University.