

[Research Paper]

방화구획 완화에 따른 PCB공장의 화재위험평가 및 스프링클러 요구살수유량 산정을 통한 기준개선안에 관한 연구

오찬욱 · 오륜석 · 최준호^{*†}

부경대학교 대학원 대학원생, *부경대학교 소방공학과 교수

A Study on a PCB Manufacturing Plant's Fire Risk Assessment due to the Mitigation of Fire Protection Zone and an Improvement Way through Estimation of Sprinkler Demand Water Flow Rate

Chan-Wook Oh · Ryun-Seok Oh · Jun-Ho Choi^{*†}

Graduate Student, Graduate School, Pukyong National University,

^{*}Professor, Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

(Received February 7, 2018; Revised March 5, 2019; Accepted April 11, 2019)

요 약

스프링클러는 방화구역에 설치된 감지기 또는 헤드가 화재를 감지하여 자동으로 화재를 진압하는 소화설비로 화재 초기에 뛰어난 소화효과가 있어 폭넓게 설치되고 있다. 하지만 국토교통부의 「건축물의 피난·방화구조 기준 등에 관한 규칙」에는 공장 또는 창고의 경우 스프링클러설비를 설치하면 방화구획을 3배까지 완화해 줄 수 있도록 근거를 제공하고 있다. 이에 본 연구에서는 스프링클러설비 설치로 방화구획을 완화한 실제 Printed Circuit Board (PCB) 공장 1개소를 대상으로 화재위험성을 분석하였고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 스프링클러설비의 헤드 개방 특성 및 스프링클러 설비의 설치기준, 감열성능, 작동범위, 방수량 등을 분석하였다. 또한 이를 통해 화재 시 스프링클러 설비 작동의 문제점을 확인하고, 제도 개선을 위한 요구 살수유량 등 근거를 제시하고자 한다.

ABSTRACT

A sprinkler is a fire extinguishing equipment installed in a protected area where a detector or head detects a fire and automatically puts out the fire. However, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport's "Regulations on Building Evacuation and Fire Protection Standards, etc." stipulate that fire compartment area should be reduced to three times by installing sprinkler facilities in the case of factories and warehouses. In this study, fire hazard was analyzed for a real PCB factory which mitigated the fire protection zone by sprinkler installation, and the head opening characteristics of sprinkler facilities through computer simulation, installation standards of sprinkler facilities, thermal performance, operating range, and the amount of water sprayed to identify the problems of operation of sprinkler facilities in case of fire, and to suggest the grounds such as required sprinkling flow rate for system improvement.

Keywords : Sprinkler, Manufactory plant, Factory, Required sprinkler water flow, Fire simulation, Numerical calculation

1. 서 론

Printed Circuit Board (PCB)공장 등 전자부품을 생산하는 사업장에서의 화재 및 폭발사고는 제조설비와 제품 자체에 의해서라기보다는 제조과정 중에서 사용하는 여러 가연성 가스 및 액체, 도장, 용접작업 등으로 인해 발생할 확률이

높다. 공정 자체가 연속적이기 때문에 일단 화재나 폭발사고가 발생하면 공장 내부 전체 공간으로 급격히 연소가 확대될 뿐만 아니라 고가의 제조설비에 직접적인 피해를 입게 됨에 따라 재생산에 차질을 빚게 됨은 물론, 복구 작업 등으로 인한 시간과 비용의 추가투입 등으로 인한 간접피해 또한 매우 크다⁽¹⁾.

[†] Corresponding Author, E-Mail: jchoi@pknu.ac.kr, TEL: +82-51-629-7830, FAX: +82-51-629-7078

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

국가화재정보시스템⁽²⁾에서 집계한 2018년도 화재통계자료를 살펴보면, 야외와 자동차에서 발생한 화재를 제외하고 공장화재⁽¹⁾는 단독주택(6,277건), 공동주택(5,271건) 등 주거지와 음식점(2,829건) 다음으로 높은 2,617건을 기록하고 있다.

한편, 「건축법」 제49조2항과 국토교통부의 「건축물의 피난·방화구조 기준 등에 관한 규칙」에 따르면, 주요 구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 연면적 1,000 m² 이상의 건축물은 면적과 층, 용도별로 방화구획을 해야 하는데, 10층 이하의 층에서는 바닥면적을 1,000 m² 이내마다 구획해야 한다. 이 때, 스프링클러 기타 이와 유사한 자동식 소화설비를 설치한 경우에는 바닥면적을 3,000 m² 이내로 확대할 수 있게 하는 방식으로 방화구획을 완화해 주고 있다. 특수 가연물 및 인화점이 낮은 위험물을 사용하는 PCB제조공장의 경우 빠른 화재 성장속도로 인해, 발화 이후 화재 확산의 위험이 높으나 소방시설의 설치 기준은 방화구획 완화 및 면제 여부와 관계없이 동일하다는 문제점을 가지고 있다.

일반적으로 대규모 전자공장, 석유화학공장, 섬유공장 등은 제조하는 제품에 따라 화재위험성이 다르다. 이에 Ji⁽³⁾의 연구에서와 같이 미국, 중국, 베트남의 경우 생산되는 제품의 위험도, 공장의 면적에 따라 살수유량을 정하고 있다. 그러나 국내 「위험물안전관리법」이나 「화재안전기준」에서는 위험물을 취급·저장하는 시설을 제외하고는 단위면적에 따라 살수유량을 설정하는 내용은 없는 실정이다. 또한, 소방청의 「스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103)」에서는 공장 건축물의 스프링클러설비 헤드 설치개수를 산정할 때, 특수가연물의 저장 또는 취급 여부에 따라 ‘30개’ 또는 ‘20개’만으로 구분하고 있기 때문에 해당 특수가연물 이외의 위험성이 높은 발열공정, 가연성가스나 화학물질 사용 공정이 있는 곳에 대한 위험성은 반영되어 있지 않다. 게다가 바닥면적은 작지만 높은 화재 위험성이 있는 가연물을 저장·취급하는 공장의 경우 스프링클러설비 설치대상에서 제외되어 있는 실정이다.

「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제10조, 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제14조 등에서는 공장 건축물의 물류 이동이나 대형기기를 설치할 경우 방화구획을 완화해 주고 있으며, 앞서 언급한 바와 같이 스프링클러설비와 같은 자동식 소화설비를 설치할 경우 방화구획의 바닥면적을 3배까지 확대해 주고 있다. 그러나 소방시설에 대한 설치 기준은 방화구획 완화 또는 방화구획의 바닥면적 확대 전과 동일하다. 이러한 문제점들을 종합해 볼 때, 국내 공장 건축물들은 화재가 발생할 경우 대형 화재로 번질 위험성을 상시 내포하고 있다고

볼 수 있다. 뿐만 아니라, 공장 건축물에서 화재가 발생하면 스프링클러설비를 이용하여 화재를 진압할 수 있으나 배연시설은 법적으로 설치의무가 없기 때문에 고온의 연기 등이 방화구획 면적보다 확산되면 비화재구역 내 스프링클러 헤드 또한 개방된다. 이 때, 비화재구역에서 개방된 헤드는 화재구역으로의 소화수 공급을 방해할 뿐만 아니라 소화수 살수로 인해 생산공정에 대한 2차 피해를 유발하여 사업장의 입장에서 많은 부대비용을 감당해야 하는 것도 현실이다.

이에 본 연구에서는 우선 공장 건축물의 스프링클러 설치기준에 대한 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위하여 스프링클러설비의 국내외 설치기준을 비교하였다. 또한, 스프링클러설비 설치로 방화구획이 3배 완화된 실제 PCB 공장 1개소를 대상지로 선정하고 현장조사를 실시한 후 화재시물레이션을 수행하여 화재 시 온도, 연기확산과 스프링클러설비의 헤드 작동범위에 대해 분석하여 공장 건축물의 스프링클러헤드 설치 수량 및 살수유량 기준산정에 대한 판단근거를 마련하고자 한다.

2. 공장 건축물의 스프링클러설비 설치기준 및 현장조사를 통한 문제점 분석

2.1 국내외 공장 건축물에 대한 스프링클러설비 설치 기준

스프링클러설비는 화재가 발생하면 방화구역에 설치된 감지기 또는 헤드가 화재를 감지하여 일정 이상의 온도에 이르게 되면 헤드가 개방되며 소화수가 방사됨으로써 자동으로 화재를 진압한다. Ji⁽³⁾에 의하면 우리나라를 비롯하여 미국⁽⁴⁾, 베트남⁽⁵⁾, 중국^(6,7) 공장 건축물의 스프링클러설비 설치기준은 각각 Table 1과 같다. 미국, 베트남, 중국은 창고시설⁽²⁾에 대한 스프링클러설비 설치기준을 저장하는 물품의 위험도, 창고의 높이, 창고의 면적에 따라서 각기 달리 구분하고 있지만, 우리나라에서는 스프링클러설비 설치기준을 건축물의 바닥면적 위주로 구분하고 있어 바닥면적은 작지만 높은 화재 위험성이 있는 가연물을 저장하는 공장이나 창고 건축물은 스프링클러설비 의무설치대상에서 제외된다.

한편, Table 2와 같이 미국, 중국, 베트남에서는 스프링클러설비 배치 간격 및 살수분포면적을 위험도에 따라서 결정하고, 우리나라는 내화구조의 경우 최대수평거리를 2.3 m로 정하고 있다. 스프링클러설비의 수평거리 2.3 m는 1개의 스프링클러 면적을 정방향 기준으로 환산을 하면 약 10.45 m² 정도로, 스프링클러설비 헤드 1개의 최대 살수분포면적이 10.45 m²로 NFPA 중급위험도와 비슷하고, 위험도가 높

1) 창고 또한 1,490건을 기록하고 있음.

2) 제조생산 업무를 수행하는 공장 건축물에서는 사업장영역과 창고영역이 사실상 공정이나 여건, 시기에 따라 구분 없이 상시 혼재되어 사용됨. 또한, 상주근로자가 있어 상시 물류 이동이나 보관, 저장까지도 행하여지고 있어 현재 공장과 창고에 대한 소방시설 설치기준은 동일한 실정임.

Table 1. Comparing Installation Targets of Sprinkler Facilities in Warehouse Facilities

Countries	Subject of Application
South Korea	- A Warehouse with a Height of more than 10 m and a Floor Area more than 1,500 m ² - Floors with a Floor Area more than 1,000 m ² or Higher than 4 Floors - A Factory or Warehouse Facility Handling Special Combustible Materials with a Quantity of 1,000 Times or more Determined by the Enforcement Decree of the Fire Services Act
U.S.A (NFPA, FM)	- A Warehouse for Flammable Liquids - Buildings with Storage Height above 55 ft.
China	- A Typical Warehouse with Floor Area of 1,000 m ² or Higher - A Storage Warehouse for Chemical Fiber, Fur Products etc. with a Floor Area of 600 m ² or more - Storage of Combustible Materials or Storage of Floor Area 500 m ² or more Storage Purpose
Vietnam	- Buildings over 5.5 m High for Warehouse use

Table 2. Foreign Standard of Placement of Sprinkler Facilities

Countries	Installation Placement (Interval Distance)
USA (NFPA, FM)	- Light Risk: Protective Area of a Sprinkler Head Within 18.6 m ² , Maximum Distance between Sprinkler Heads 4.6 m - Intermediate Risk: Protective Area of a Sprinkler Head Within 12.1 m ² , Maximum Distance between Sprinkler Heads 4.6 m - Higher Risk: Protective Area of a Sprinkler Head Within 8.4 m ² , Maximum Distance between Sprinkler Heads 3.7 m
China	- According to Spraying Density (4~20 LPM/m ²), the Maximum Distance between Sprinkler Heads is 3.0~4.4 m and the Protection Area is 9.0~20.0 m ²
Vietnam	- Critical and Intermediate Risk: Protected Area of a Sprinkler Head Within 12.0 m ² - Higher Risk: Sprinkler Head Protection Area 9.0 m ²

은 등급에서는 NFPA, 중국, 베트남에서 규정하는 살수분포면적보다 작다고 할 수 있다.

그러나 우리나라에서는 위험물을 취급·저장하는 시설을 제외하고는 화재안전기준에서 스프링클러의 단위면적당 살수유량에 대한 내용은 다루고 있지 않다. 만약, 화재안전기준에 따라 스프링클러헤드가 방호반경 2.3 m로 정방향 배치가 된다면, 헤드간의 거리는 약 3.25 m이고 살수분포면적은 10.56 m²가 되는데, 이 때 스프링클러설비의 최소방수량은 80 LPM으로 단위면적당 살수밀도는 7.6 LPM/m² (80 LPM/10.56 m²)이 된다.

2.2 스프링클러설비 설치기준 분석을 통한 문제점 도출

2.2.1 취급물질의 위험성을 고려하지 않는 획일적인

스프링클러헤드 기준개수

NFSC 103에서는 스프링클러 헤드의 설치기준개수를 대상 건축물의 용도에 따라 분류하고 있는데, 이 중 공장 또는 창고의 경우 「소방기본법」 제15조에서 정하는 특수가연물을 저장·취급하는지 여부를 기준으로 구분하고 있다. 그러나 해당 특수가연물 이외에 위험성이 높은 발열공정, 가연성가스, 산이나 알칼리 약품 사용에 따른 반응 위험성이 있는 화학물질 사용 공정 등이 있는 공장에 대해서는 그

위험성이 반영되어 있지 않다. 또한 바닥면적은 작지만 높은 화재위험성이 있는 가연물을 저장하는 공장이나 창고는 스프링클러설비 설치대상에서 제외되어 있다. 스프링클러설비가 설치되어 있지 않은 대규모 창고는 화재 시 소화기나 소화전 등 소화설비로 초기대응을 하게 되므로 신속한 대처가 어려워 큰 피해를 입을 수 있다.

2.2.2 방화구획의 완화에도 동일한 스프링클러설비 설치기준

방화구획은 화재가 발생했을 경우 화염의 확대나 전파를 억제하여 건축구조체 및 재실자들의 인명안전을 확보하기 위한 것으로 주로 방화벽이나 방화문, 방화셔터 등에 의한 인위적 구획을 의미한다. 그런데 공장이나 창고 건축물의 경우 국토부의 「건축물의 피난·방화구조 기준 등에 관한 규칙」에 따라 방화구획된 공간에 스프링클러와 같은 자동식 소화설비를 설치하면 방화구획 설치면적을 1,000 m²에서 3,000 m²으로 완화해 주고 있는데, 이 때 방화구획된 바닥면적이 3배나 증가함에도 불구하고 스프링클러헤드의 설치기준개수 및 수원, 살수밀도 등은 변경사항 없이 동일하다보니 화재확산을 차단함에 있어 확신할 수 없다.

2.3 현장실태조사를 통한 문제점 도출

본 연구에서는 현장실태조사를 위해 B도시에 위치한

PCB공장 1개소를 대상지로 선정하였다. 해당 건축물은 철근콘크리트구조의 3층 구조로 층간 높이는 8 m였으며, 외벽은 글라스울 재질의 샌드위치패널로 지어진 공장으로 층당 바닥면적은 약 9,000 m²로 총 연면적 27,000 m²이었다. 또한 모든 내부공간에는 스프링클러설비를 설치하여 「건축물의 피난·방화구조 기준 등에 관한 규칙」에 의거, 1,000 m²에서 3,000 m²로 방화구획을 확대하였다.

한편, 해당 공장에는 전 지역에 청정소화기와 조기반응형 헤드가 설치된 습식 스프링클러와 자동화재탐지설비가 설치되어 있었고, 복도와 사무실엔 매립형 옥내소화전이, 공조실과 기계실에는 노출형 옥내소화전이 각각 설치되어 있었다. 또한 전기실과 발전실에는 청정소화약제 가스계소화설비가 설치되어 있었고 위험물저장소와 취급소에는 포 소화설비가 설치되어 있었다.

해당 PCB 공장은 산, 알칼리 약품을 사용하여 제품의 박리, 세척, 건조 등의 공정이 이루어지므로 화학반응으로 인한 발열 등의 위험성이 상존하며, 높이 4 m (H) × 2 m (W) × 30 m (L)인 대형도금기기를 운영하고 있었다. 해당 장비는 밀폐구조로 인한 화재감지에 장애가 있을 것으로 판단되었다. 또한 다음 Figure 1, Figure 2와 같이 덕트, 배관에 의한 살수 장애 및 헤드 미설치 등 화재안전상의 문제점 또한 존재하고 있었다.

3. 화재 시뮬레이션을 이용한 스프링클러설비 설치기준 문제점 분석

본 연구에서는 앞서 언급한 현행 국내 스프링클러설비 설치기준의 문제점을 검증하기 위해 화재시뮬레이션을 이용하여 방화구획을 3배 완화한 대상지 PCB공장에 대한 화재위험성을 정량적으로 분석하였다. 보다 정확한 결과도출을 위해서는 현장에서 스프링클러의 작동이 뒤따르는 직·간접적인 실물 화재실험을 진행해야 하는 것이 타당하지만 현재 영업 중인 사업장에서 실험을 실시하는 것은 경제적 손실과 안전상의 위험성이 매우 크기 때문에 사실상 불가능하였고 해당 PCB 공장을 대상으로 변인통제를 병행하며 수행할 수 있는 유일한 분석 방법은 사실상 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 화재모델링이 유일하다고 판단하였다.

3.1 화재 시뮬레이션 개요

화재 시뮬레이션을 수행하기 위해 NIST에서 개발한 FDS를 사용하였다. 시뮬레이션 구동을 위한 세부 입력값은 Table 3에 정리하였다. 또한, 스프링클러의 배치는 실제 상황과 마찬가지로 다음 Figure 3와 같이 진행하였다.

3.2 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 화재위험평가

화재시뮬레이션 수행 결과, 화재 시 고온의 상승 열 기류가 발생하였으며, 해당 열 기류는 천정에 부딪힌 후 수평 방향으로 확산되었는데 HRR은 Figure 4와 같이 평균적으



Figure 1. Spray water disturbance by air conditioning duct.



Figure 2. Watering disturbance by utility piping.

Table 3. Fire Simulation Input Condition

Classification	Input Value
Combustible	Two Panel Workstation
Property	Polyvinyl Chloride
Fire Growth	Ultrafast
Initial Temperature	20 °C
Simulation Time	500 s
Combustion Heat	20,000 kJ/kg
Mesh Size	0.2 m × 0.2 m × 0.2 m
Ventilation Type	Isolated

로 약 1,700 kW 정도가 되었다. Figure 4와 Figure 5는 각각 온도분포와 연기의 확산을 보여주고 있다. Figure 5에서 적색으로 표시된 68 °C 이상 구역은 스프링클러설비의 헤드가 작동된 것을 확인할 수 있었고 Figure 6과 같이 최초의 발화로부터 연기는 227 s만에 공간 전체로 확산되는 것으로 나타났다.

일반적으로 화재가 발생하면 고온의 상승 열기류가 발생하는데, 천장이 있는 실내와 같이 층간 구획된 공간에서

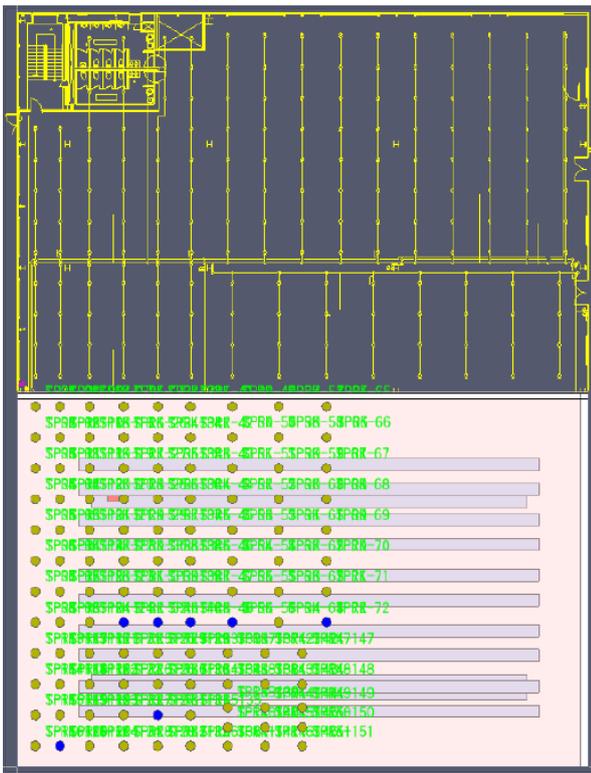


Figure 3. Installation position of sprinkler head on FDS.

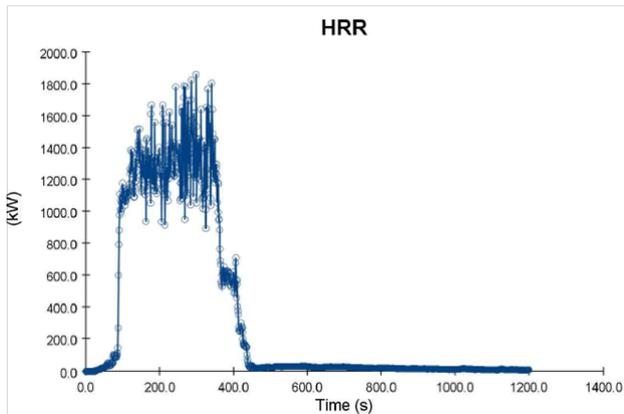


Figure 4. Heat Release Rate (HRR).

의 열기류는 천정에 부딪힌 후 다시 수평방향으로 이동하는 흐름을 보인다. 한편, 스프링클러설비 헤드의 작동은 이러한 고온의 천장 제트류(Ceiling jet)에 의해 감열되어 작동하는데, Figure 7과 Figure 8은 컴퓨터 시뮬레이션 수행 시 스프링클러의 헤드가 작동하는 모양을 보여주고 있다. 이때, 헤드의 개방면적은 가로×세로 각각 20 m로, 작동한 헤드의 수량은 총 34개로 나타났다. 천장 제트류의 두께는 개구부가 있는 실내기준 화원에서 천장까지 높이의 5~12% 범위로, 층고가 8 m일 경우 0.40~0.96 cm 범위를 나타낸다. 천장에 설치된 헤드의 경우에는 이 범위 내에 대부분 포함될 것이나, 덕트로 인해 간섭받는 곳이나 배관 등 장애물이

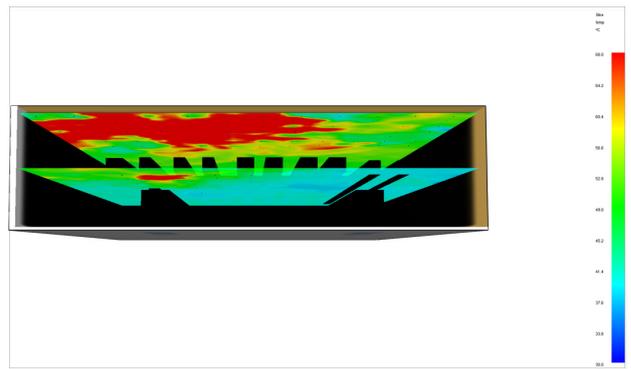


Figure 5. Temperature distribution diagram where red part operates sprinkler above 68 °C.

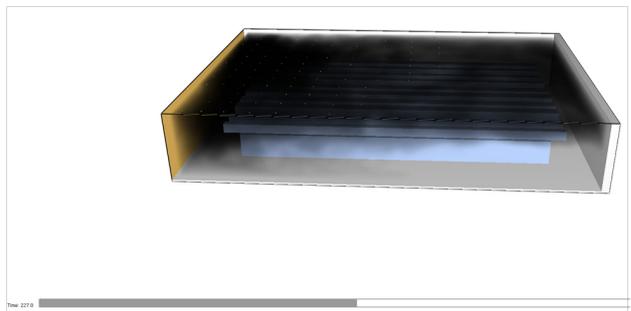


Figure 6. The diffusion range of smoke (t = 227 s).

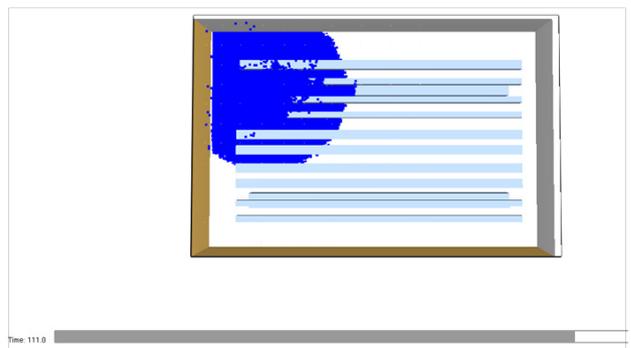


Figure 7. A scene of opening of sprinkler heads.

있는 곳에 노출된 헤드의 경우에는 대부분이 이 범위를 벗어나게 된다.

3.3 스프링클러설비의 헤드 개방시 살수유량 부족

스프링클러 배관 내 물은 높이가 낮은 곳에서 높은 곳으로 중력을 이겨내고 이송해야 하며, 마찰손실에 의한 압력강하 또한 발생하므로 기준 살수량을 만족하기 위해서는 설계 시 수학적으로 소화펌프의 용량을 결정하거나 증축이 발생할 경우, 해당 부분의 용량을 기존의 소화펌프가 충분히 커버할 수 있는지에 대한 검토까지도 계산되어야 한다. 대상지 PCB공장은 스프링클러설비 헤드 20개 기준으로 소화전과 함께 배관 및 펌프를 통합적으로 사용하고 있었는

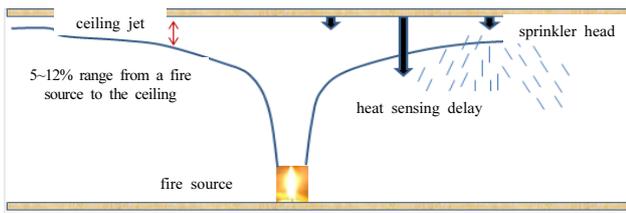


Figure 8. Ceiling jet vs. head operating range of sprinkler facility.

데, 추가 예비량을 감안하여 유량 3,000 LPM, 양정 100 m 사양의 펌프를 사용하고 있었다.

앞서 3.2의 컴퓨터시뮬레이션을 통한 화재위험평가에서 스프링클러설비의 헤드는 총 34개가 개방되었는데, 이 때 법정 기준에 의한 20개를 제외하면 헤드 14개의 수량만큼 살수 유량이 부족하게 된다. 이 때, 살수유량을 수량에 대한 방수량으로 계산해보면, (헤드 34개 × 80 ℓ = 2,720 ℓ) - (헤드 20개 × 80 ℓ = 1,600 ℓ) = 1,120 ℓ만큼 부족한 것으로 나타난다.

4. 요구살수 수량산정을 통한 스프링클러설비 설치기준 개선방안

4.1 요구살수 수량산정을 통한 스프링클러 개선설치 사례

현장실태조사 및 화재위험평가를 수행한 해당 PCB공장의 경우 화재안전기준에 의거하여 스프링클러설비가 설치되었으나, 화재 발생 시, 헤드 개방수량은 20개로 총 1,600 ℓ/min 소화수 공급 용량이 산정되었다. 그러나 현장 실태조사 결과를 토대로 화재시뮬레이션을 수행한 결과 공조덕트, 유틸리티 배관 등의 살수장애 등으로 인해 스프링클러설비의 헤드는 총 34개가 개방되는 것으로 나타나 설계기준안에 대한 차이가 발생하였다. 이에 따라 스프링클러설비 배관망에 대한 수리계산의 필요성이 대두된다.

본 연구에서는 배관망 수리계산을 위해 미국 FPE SOFTWARE의 ‘THE SPRINKLER PROGRAM 2001’을 사용하였다. 스프링클러 헤드의 방수량은 최소 80.8 ℓ/min, 최대 112.2 ℓ/min로 계산되었다. 스프링클러설비 헤드 1개가 담당하는 면적은 3 m × 3 m = 9 m²이므로 이를 방수밀도로 환산하면 8.98~12.47 ℓ/min·m²로 계산된다. 총 방수유량 3,381 ℓ/min으로 기준 1,600 ℓ/min 보다 1,781 ℓ/min 많이 방수된 것을 확인하였다.

한편 화재위험평가 결과, 공장의 경우 스프링클러설비의 헤드의 살수유량은 최소 8.98 ℓ/min·m²에서 최대 12.47 ℓ/min·m²로, 평균 10.72 ℓ/min·m²를 나타내고 있었는데, 실제 대상공장의 살수유량을 기존 8.15 ℓ/min·m²에서 10.72 ℓ/min·m²로 2.57 ℓ/min·m²만큼 증대시켜 화재 시 소화수를 대량 공급 및 화재 진압 효율을 높였으며, 펌프는 병렬운전이 되도록 재구성하였다. 뿐만 아니라 총 부족 살수유량 1,781 ℓ/min은

Table 4. Comparisons of the Improvement Capacity of Fire Extinguishing Pumps

(unit: ℓ/min)

Classification	Before	After	Operation
Main Pump A	3,000	2,839	Parallel
Main Pump B	-	2,839	
Main Pump C	-	1,500	
Pneumatic Pump A	60	95	
Pneumatic Pump B	60	95	
Engine Pump	3,000	4,730	

주펌프 B(2,839 ℓ/min)를 추가 설치하여 충분한 살수유량을 확보하였는데 Table 4는 소화펌프의 용량 개선내역을 보여 주고 있다.

4.2 스프링클러 설치기준 개선방안

화재구역에 대량의 소화수를 공급하여 소화효율을 높이기 위해서 현행 「스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103)의 제4조(수원)」에 ‘특수가연물을 저장 및 취급하는 것’에 따른 스프링클러설비 설치를 위한 기준개수를 위험성에 따른 살수 기준면적에 따라 결정하도록 개정할 필요가 있다. 또한, 「위험물안전관리법시행규칙」중에서 인화점에 따른 살수기준 면적과 같이 제조활동을 위해 사용하는 화학물질 섬유공장과 같이 다수의 고온장비를 사용하는 곳에는 현장 상황에 맞는 정량적 화재위험성평가를 통한 살수면적 산정이 뒤따라야 한다.

5. 결 론

대규모 전자공장, 석유화학공장, 섬유공장 등 제조하는 제품의 특성에 따라 위험성이 다르다. 미국, 중국, 베트남의 경우 물품의 위험도, 면적에 따라 살수유량을 정하나, 우리나라에서는 「위험물안전관리법」에 의한 위험물 취급, 저장하는 시설을 제외하고는 화재안전기준에서 단위면적당 살수유량에 대한 기준은 없는 실정이다. 또한, 공장 건축물의 경우, 화재안전기준에서는 스프링클러설비 헤드의 설치개수를 특수가연물을 저장 또는 취급하는지 그 여부에 따라 분류를 하고 있다. 해당 특수가연물 이외의 위험성이 높은 발열공정, 가연성가스나 화학물질 사용 공정이 있는 곳은 전혀 위험성이 반영되어 있지 않은 실정이다. 또한 바닥면적은 작지만 높은 화재 위험성이 있는 가연물을 저장, 사용하는 공장·창고는 스프링클러설비 설치대상에서 제외되어 있다.

한편 현행 법령에서는 공장, 창고 건물의 물류 이동 및 대형기기를 설치할 경우 방화구획을 완화해 주고 있고, 스프링클러설비 설치 시 방화구획의 바닥면적을 3배까지 확대해 주고 있다. 그럼에도 불구하고 소방시설에 대한 설치 기준은 완화 또는 확대 전과 동일하여 소화성능의 저하가 우려

된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 건축 법령, 소방시설법령, 화재안전기준 등 관련 규정을 확인 해 본 결과, 공장 건축물을 대상으로 성능위주설계 또는 화재위험평가를 통한 정량적인 설계를 실시하는 것이 타당한 것으로 판단되었다. 이를 위해서는 화재 시물레이션을 통해 시나리오별로 개방되는 스프링클러 헤드를 파악한 뒤, 이를 토대로 수리계산을 실시하여 스프링클러설비를 설계하는 방식 등이 필요한데 실제 방화구획 완화로 인해 생기는 비화재구역이나 덕트 및 배관의 간섭까지도 고려하여 정확한 요구설수량을 산정해야 한다. 뿐만 아니라 화재 시 천장기류를 형성하면서 비화재구역까지 확산되는 고온의 연기를 방지하고 공장 내부 사업장의 2차 피해를 막기 위해서는 현재 법적 설치의무가 없는 제·배연시설의 설치 의무화 또한 검토가 필요하다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

참 언

이 논문은 제1저자의 부경대학교 산업대학원 공학석사 학위청구논문⁽⁸⁾ 및 (사)한국화재소방학회 춘계학술발표대회 발표원고⁽⁹⁾를 기반으로 수정, 보완되어 작성되었음.

References

1. Korea Fire Protection Association (KFPA), "Fire Safety Check Manual", pp. 6-8 (2014).
2. National Fire Agency, "National Fire Data System (NFDS)'s Fire Statistics" (2016).
3. J. -H. Ji, "A Study on the Performance Improvement of Sprinkler in Rack-Type Warehouse", Master's Thesis, Graduate School, the University of Seoul (2015).
4. NFPA 13, "Standard for the Installation of Sprinkler Systems", National Fire Protection Association (2010).
5. TCVN 7366 Code, "General Requirements for the Competence of Reference Material Producers", Technical Committee of Vietnam (2003).
6. GB 50016, "《建筑设计防火规范》GB 50016-2014", Standardization Administration of China (2014).
7. GB 50084, "《建筑设计防火规范》GB 50016-2014", Standardization Administration of China (2014).
8. C. -W. Oh, "A Study on Improvement of the Standard for Sprinkler Installation at a Factory Building: focused on the Required Sprinkling Water Flow of a PCB Manufacturing Plant", Master's Thesis, Graduate School of Industry, Pukyong National University (2018).
9. C. -W. Oh and J. -H. Choi, "A Study on Operation Standard of Sprinkler in Alleviating Fire Compartment Area of Factory Buildings", Proceedings of 2017 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 31-32 (2017).