

제205호

2011. 05

위험관리정보

- 방재정보
 - ✓ 저장창고 스프링클러의 설계 진화에 대한 역사적인 관점 / 1
 - ✓ 주차장에서 의 화재 진압 / 10

- 신착자료 목록 / 18

- 안내
 - ✓ 판매도서 안내 / 20

저장상고 스프링클러의 설계 진화에 대한 역사적인 관점



자동식 스프링클러설비는 산업 및 상업분야에 가장 일반적으로 사용되는 소방시설이다. 스프링클러설비는 초기의 고층 건물에 보관해 놓은 장비와 섬유 제품을 보호하기 위해 20세기 초 뉴잉글랜드의 방적공장에서 사용하기 시작했다. 그 천장의 높이는 낮았고, 제품의 대부분은 나무로 된 상자에 보관되었다. 초기 스프링클러설비는 용수의 반은 천정(상향)으로, 반은 바닥(하향)으로 방수되어 가연성 천장 구조를 적셔 보호하도록 설계되었다.

이러한 설계 방식은 FM(Factory Mutual)이 1950년대 “분무식” 스프링클러를 도입하면서 바뀌게 되었다. 그때 당시에는 화재시에 천장 부분이 높은 온도에 도달하지 않고 각 스프링클러로 보다 넓은 바닥 부분에 더 효과적으로 분사할 수 있다면 소화수를 천장으로 방수할 필요가 없다고 인식되었었다. 그래서 새로운 분무식 스프링클러설비는 하향식으로 설계되었으며, 수년간 유효성을 입증하여 1953년 National Fire Protection Association(NFPA)로 부터 미국의 표준형 스프링클러로 선정되기에 이른다. 표준형 스프링클러는 방출계수(K-factor)가 $5.6\text{gpm}/\text{psi}^{1/2}$ ($80\text{min}-\text{bar}^{1/2}$), 공칭 직경 $1/2\text{inch}$ (12mm), 80 l/min으로 산업용으로 사용되었다.

■ 제조 및 저장 방식의 급격한 변화

산업, 제조 및 보관 분야에서는 그 후 10년간 많은 변화가 있었다. 스티로폼 등의 플라스틱류 포장재와 골판지 상자의 사용이 급증하자 이러한 화재를 대비하기 위해 스프링클러설비도 개선이 거듭되었다. 새로운 경량 재료의 사용으로 래크식 창고를 더 높게 만들 수 있었고 저장 공간 설계의 폭을 넓힐 수 있게 되었다. 하지만 높은 래크식 창고로 인해 물품 연소시 발생하는 “연돌 효과”는 화재의 확산 경로를 변경 가능케 하고, 플라스틱 재료는 기존에 사용했던 재료에 비해 다량의 열을 발생시켜 화재위험이 한층 증가하였으므로 점점 이에 적합한 스프링클러설비가 필요하게 되었다.

다시 말해 래크식 창고에서의 화재는 확산이 빠르며 열 방출율과 화재플룸을 높게 해 표준형 스프링클러설비의 변화를 가져왔다. 경우에 따라 가연물이 래크식 배열로 단단한 선반에 보관되어 있거나 적재 높이와 물품에서 발생한 화재는 천장에 설치된 스프링클러설비의 성능을 넘을 때가 있는데, 이러한 경우에는 인-랙 스프링클러설비가 화재를 방호하는데 제격이다.

이런 어려운 상황에서, 주변의 가연물을 습하게 하여 점화되지 못하도록 유지함으로써 설계면적 내의 연소확대를 막을 수 있도록 상대적으로 많은 수의 스프링클러를 통해 충분한 소화수를 공급하기 위한 표준형 스프링클러설비가 요구되었다. 분무식 스프링클러설비를 사용하기 시작한 몇 년 동안 각각의 창고 저장환경에 적합한 설계 필요조건이 결정되었다.

1967년 FM은 광범위한 화재 시험으로 저장창고 환경에서의 화재 방호에 대한 해법을 모색하기 위해 대형 스프링클러 화재시험 설비를 구축하게 되었다. 래크식 창고와 플라스틱 창고 화재 시험 프로그램이 1968년부터 1972년에 걸쳐 시행되었다.

화재 시험 결과에 대한 정확한 자료 제공을 위해 FM(Factory Mutual)은 소위 “평행성(parallelism)” 이라는 개념을 적용했는데, 이는 표준 시험 물품의 수요 곡선 면적 대 기본 밀도(물의 유동)의 확립과 주어진 스프링클러에 해당하는 시험 조건과 관련이 되었다. 보관 물품, 창고의 상태, 그리고 복도의 폭, 래크식 창고의 종류, 스프링클러의 온도등급과 같은 스프링클러의 변수들에 대한 추가 곡선은 새 제품과 시험변수에 대한 단일 테스트로 결정된 기본 곡선에 평행선을 그림으로써

설정되었다. 모든 시험은 네 개의 스프링클러 헤드 중앙 하단에 발화원을 놓은 상태에서 시작되었다. 살수밀도/방호면적의 규칙(density/area rule)에 따라 주어진 밀도 내에서 같은 종류에 해당하는 모든 스프링클러의 성능은 제조업체, 오리피스 크기, 간격, 압력에 상관없이 동일하다고 가정했다.

공교롭게도 수년간 시험 결과는 소요범위 내에서 스프링클러의 모델, 발화점에 따라 상당한 차이가 있을 수 있음을 보여주었다. 그리고 기존 스프링클러설비의 설계 기초로 활용되었던 살수밀도/방호면적의 규칙(the density/area rule)은 현대의 저장 창고 방호에 항상 적합하지만은 않다는 것도 증명되었다.

또한 FM(Factory Mutual)의 “플라스틱 보관창고 프로그램”의 화재 시험은 높이 15ft (4.5m) 이상의 플라스틱 물품을 수용한 래크식 창고가 천장기반의 표준형 스프링클러설비만으로는 방호될 수 없다는 것도 여실히 드러냈다. 완벽한 화재 방호를 위해 천장에 설치된 표준형 스프링클러설비 외에 인-랙 스프링클러(In-rack sprinkler)설비의 보완이 필요했다. 하지만 인-랙 스프링클러(In-rack sprinkler)설비는 창고 사용 중에 손상이 있을 수 있고 창고의 구조변경을 쉽게 할 수 없다는 단점이 있어 비용절감이나 추후 확장, 구조변경을 원하는 창고업자들에게는 스프링클러설비를 설치시 천장만 사용하는 방식이 더 적합했다.



이러한 요구에 부응하기 위해 스프링클러 신기술이 시장에 나오게 되었다. 높이 25ft(7.6m)의 천장 아래 높이 20ft(6m)로 적재된 플라스틱 물품을 방호하고자, 공칭 오리피스 구경이 17/32inch(13mm), 방출계수(K-factor) 8.0(115 l/min-bar^{1/2})인 대구경 스프링클러설비가 개발되었다. 창고의 높이가 높아짐에 따라 보관 물품을 보호하기 위해 천장형 스프링클러설비에는 더 많은 양의 소화수가 필요하였고, 일정한 압력으로 높은 방수량을 유지하기 위한 스프링클러 오리피스 크기도 확대가 필요하였다.

■ 보관창고 스프링클러설비의 효과 측정

1970년대부터 1990년대까지 과학자들과 FM 소속 엔지니어들에 의해 광범위한 연구 프로그램이 계속해서 수행되었다. 이 연구 프로그램 중에는 스프링클러 감도 측정(반응 시간 지수), 스프링클러 동작예측, 화염 속 분무 침투 능력(실제 전달 밀도, ADD), 래크식 창고 화재에서의 화재 진압 요건(필요 방사 밀도, RDD)등이 포함되었다.

이 연구 결과를 통해 스프링클러 소화의 기대효과가 목표가 될 수 있었고, 소화수의 최적량도 결정되었다. 그 결과 창고 내 물품 저장량에 대해 비용을 절감 가능한 최적의 스프링클러설비를 찾아낼 수 있었다.

■ 중요 개념

- 반응 시간 지수(RTI) : 스프링클러 주변 가스의 온도, 속도에 대한 스프링클러의 반응도를 나타낸 값.
- 스프링클러 동작 시 화재규모 예측 : 화재플룸(fire plume), 천장 분출(ceiling jet)의 발달과의 상관관계, RTI를 활용한 스프링클러 반응과 화재플룸(fire plume), 천장 분출의 상관관계.
- 필요 방사 밀도(RDD) : 화재를 진압하기 위해 가연물 상단 표면적에 필요한 소화수의 공급량.

- 실제방사밀도(ADD) : 스프링클러에 의해 화면에 도달하여 화재플룸에 침투하는 실제 소화수량 측정치. ADD는 물방울의 크기, 분무 패턴, 방출량, 화재 규모에 의해 결정된다.

■ “라지 드롭” 스프링클러("LARGE DROP" SPRINKLER)설비의 개발

높이 20ft(6m) 이상의 플라스틱류를 보관한 30ft(9.1m) 높이의 창고를 화재로부터 방호하고자 1970년대 중반, 대구경 스프링클러(LO sprinkler)를 뛰어넘는 라지 드롭 스프링클러(large drop sprinkler) 설비가 개발되었다. 이 스프링클러는 오리피스 공칭 직경이 0.64inch(26mm), 방출계수(K-factor)가 11.0(157 l/min-bar^{1/2})이었다. 참고로 대구경 스프링클러(LO sprinkler) 오리피스 공칭 직경은 17/32inch (13mm), 방출계수(K-factor)는 8.0(115 l/min-bar^{1/2})이다. 예상대로 라지 드롭 스프링클러(large drop sprinkler)는 대구경 스프링클러(LO sprinkler)에 비해 다량의 소화수와 큰 물 입자를 방출하는 등 뛰어난 성능을 보여주었다. 라지 드롭 스프링클러(large drop sprinkler) 설계에는 실제방사밀도(ADD) 측정치가 사용되었다.

라지 드롭 스프링클러설비의 설계 목표는 특정한 용도, 제품 종류, 저장 높이, 배열에 적합하며 스프링클러의 압력과 개수를 최소한으로 줄이는 것이었다. 이러한 접근 방식은 예전의 살수밀도/방호면적 접근방식(스프링클러 방호면적에 대한 소화수의 선속 밀도)과는 차이가 있었는데, 스프링클러 방호면적이 증가할수록 스프링클러 설계 밀도(스프링클러 방출 압력)는 감소하였다. 방출압력이 감소할수록 스프링클러의 실제방사밀도(ADD)도 설비의 효율성이 떨어질 정도로 감소되었다.

■ 화재 조기진압용 스프링클러(Early Suppression Fast Response(ESFR) sprinklers)의 등장

1980년대, 또 다른 신기술이 개발되었는데 이는 화재 조기진압용 스프링클러(Early Suppression Fast Response-ESFR-sprinklers)다. 이 스프링클러는 높이 30ft(9.1m) 이하의 천장 아래 높이 25ft(7.6m) 정도의 플라스틱물품 보관창고를 위험으로부터 보호하면서 필요방사밀도(RDD)보다 높은 실제방사밀도(ADD)를 갖도록 설계되었고 여기에는 조기반응형 감열부가 사용되었다. 조기진압용 스



프링클러(ESFR sprinkler)는 화재발생 초기에 반응하여 다량의 소화수를 방출하도록 설계되었다. 1세대 ESFR 스프링클러는 오리피스 공칭 직경이 0.72inch(18mm), 14.0(200 l/min-bar^{1/2})의 방출계수(K-factor)를 가지며 주로 일반 가연물(class I-IV commodities and cartoned unexpanded plastic, NFPA 138) 보관 창고를 방호하는데 널리 사용되었다.

1990년대에 이르러 K14.0 ESFR 스프링클러 기술이 저장창고에 사용되기 시작했다. K14 ESFR 스프링클러설비의 도입 후, 천장이 크고 높이가 높은 저장창고에서의 대형화재 방호에 ESFR 기술을 활용하자는 요구가 높아졌는데 이는 K14 ESFR 스프링클러의 본래 목적을 넘어서는 것이었다. 그 후 10년간 대형화재를 막기 위한 방편으로 16.8, 22.4 와 25.2(240, 320 and 360min-bar^{1/2})의 높은 방출계수(K-factor)를 갖는 ESFR 스프링클러가 개발되었다. 예상대로 스프링클러 헤드 오리피스가 더 크면 클수록 더 큰 물입자를 방출되었다. 특히 K25.2 ESFR 스프링클러는 높이 40ft(12m) 이상의 플라스틱 물품, 높이 45ft(13.7m)의 창고에 사용하기 위해 최초로 개발되었다.

■ 창고용 스프링클러설비의 분류

ESFR 외에 창고용 스프링클러의 분류에는 CMDA(제어모드(살수밀도/방호면적))와 CMSA(제어모드(특수적용))가 추가되었다. CMDA는 대상면적(예를 들어, 0.6gpm/ft²(24mm/min) over 3000ft²(280m²)) 내에 방출되는 소화수의 살수밀도 계산에 근거한 시스템 설계 방법이다. 이 방식은 천장 높이가 25ft(7.6m)로 제한된다. 제어모드용 스프링클러의 방출계수(K-factor)는 5.6, 8.0, 11.2, 14, 16.8 와 25.2gpm/psi^{1/2}(80, 115, 160, 200, 240 와 360 l/min-bar^{1/2})이다. 방출계수(K-factor)와 오리피스 크기의 증가로 방호면적도 증가되었다.

CMSA 스프링클러설비는 특정용도에서 스프링클러의 최소 압력, 최소 개수로 동작하도록 설계되었으며 라지 드롭 스프링클러(large drop sprinkler)는 첫 번째 CMSA 스프링클러설비다. 이어서 더 큰 방출계수(K-factor : 16.8, 19.6 and 25.2gpm/psi^{1/2}(240, 280 and 360 l/min-bar^{1/2}))를 가진 CMSA 스프링클러가 개

발되었다.

■ 최근의 상고용 스프링클러의 혁신 - 조기반응형이 최선은 아니다.

오늘날의 설계자와 시공사들은 래크형 창고 화재에 적절한 진압성능을 지닌 스프링클러로 “조기반응형” 스프링클러를 떠올린다. 조기반응형 스프링클러는 물입자가 화재플룸에 침투하여, 연소하는 연료에 민감하게 반응하기 때문에 표준형 스프링클러보다 화재에 더 빨리 반응하지만, 빠른 반응이 화재 진압에 있어 충분조건이지 필요조건은 아니다. 더욱더 중요한 것은 실제방사밀도(ADD)가 필요방사밀도(RDD)보다 더 크면 우수한 화재 진압 능력을 기대할 수 있다.

창고화재에서의 스프링클러 성능 연구결과로 40ft(12m) 이상 높이의 천장 내 플라스틱물품 화재를 진압 가능한 큰 K-factor(방출계수)를 가진 표준형 스프링클러가 개발되었다. 그 표준형 스프링클러는 공칭 오리피스 직경 1inch(25mm)와 방출계수(K-factor) 25.2(360 l/min-bar^{1/2})인 하향형 스프링클러다. 스프링클러 온도 등급은 160°F (71°C), 반응시간지수(RTI)는 235(ft-s)^{1/2}(130m^{1/2}-s^{1/2}) 를 갖는다. 방출계수(K-factor)가 큰 스프링클러에서 토출된 대형 물입자(분무)는 화재플룸에 대한 침투 능력을 증가시킨다.

화재 시험에서 표준형 K 25.2gpm/psi^{1/2}(360 l/min-bar^{1/2}) 스프링클러는 천장 높이 40ft(12m)이상의 보관창고를 방호할 때 ESFR 스프링클러만큼 효과적일 수 있다고 결론지었다. 물론 ESFR 스프링클러와 신형 스프링클러는 같은 화재 시나리오에서 평가되었다. <그림-1>과 <그림-2>를 보자. 신형 스프링클러의 성능에 따라 FM Global은 이 스프링클러에도 ESFR 스프링클러와 같이 설비 급수 요구량, 동일한 방수 요구량, 급수 시간을 고려한 12헤드를 장착하게 되었다. 동일한 살수 장애물, 천장 구성요소에 대해 동일한 스프링클러 설치 규칙을 ESFR 하향식 스프링클러와 신형 스프링클러에 적용한다. 하지만 신형 스프링클러는 조기반응형 감열부를 사용하지 않았기 때문에 ESFR 스프링클러가 아닌 CMSA 스프링클러로 분류된다.

이러한 종류의 기술은 예전의 ESFR 기술에 비해 헤드말단 압력을 감소시키며 창고 설계에 적용함에 있어서는 ESFR을 대체 가능하다. 헤드 말단의 압력이 낮은 이 설비는 ESFR 제품에 비해 높이 30-40ft(9.1-12.2m) 천장에서의 토출압

력 요구량을 25-40% 감소시키며 높이 30ft(9.1m)의 천장에서는 25-70% 감소시킨다. 새 저장창고 스프링클러 헤드의 말단압력이 낮아지면 배관 직경도 덩달아 작아지고, 상수도에 의한 소화용수의 공급압력이 클 경우 펌프도 필요 없게 되어 비용절감 효과를 거둘 수 있다.



<그림-1> 35~40 ft 높이의 천장 내 플라스틱물품 창고 화재에서의 표준형 스프링클러 성능

■ 향후 10년

스프링클러 종류의 다양화, 세분화는 화재 방호에 있어 혼란을 야기할 수 있다. 또한 스프링클러의 각 등급별 복잡한 설치 방법은 설계를 더욱 복잡하게 만든다.

2010년이 되기 전, FM Global은 창고용 스프링클러설비의 설계, 설치에 대한 기준이 담긴 데이터시트를 업데이트했다. 목표는 스프링클러 등급에 따른 변수를 최소화하고 스프링클러의 전통적인 이름만이 아닌 성능을 기반으로 한 시스템 설계 규칙을 만드는 것이다. 그래야 시스템 성능에도 일관성을 얻을 수 있다.

화재 진압 및 스프링클러의 성능 제어는 스프링클러의 속성인 설치방향(하향식, 상향식), 반사판(deflector) 설계, 분무 부피의 중앙 직경, 민감도(RTI), 온도등급에 따른다. FM Global의 시스템 설계 규칙의 새 데이터시트는 전통적인 스프링클러의 이름보다는 스프링클러의 성능에 근거하며 매개변수(parameters)에 의해 예측 가능하다.

창고의 공간 설계가 계속해서 진화할수록 이에 따른 화재를 방호하기 위해 새로운 기술도 계속해서 등장할 것이다.

출처 : Fire Protection Engineering (1st Quarter 2011)

번역 : 경기강원지부 사원 류시현