

# 속동형 스프링클러를 중심으로한 NFPA 설치기준 변화

김 동 석 / 방재연구실 선임연구원

## 1. 서 론

1980년대에서 스프링클러 기술에서 발전의 한 획을 그은 것이 스프링클러 감도의 평가 및 제어 기술이었다. 이러한 기술 발달을 바탕으로 새로운 속동형 스프링클러 기술이 제시되었으며 이를 통하여 화재로 인한 생명과 재산의 손실을 예방하는데 기여하였다. NFPA에서 제시된 새로운 코드 및 표준에 의하여 속동형 스프링클러의 기술이 특수한 영역에 활용되고 있다. 본고는 속동형 스프링클러에 대한 원리 및 중요성 그리고 세계적인 적용추세의 소개를 위해 1996년 5월에 영국 버밍햄에서 개최된 화재박람회(FIREX 96)에 Russel Fleming 과 Robert E. Soloman 이 공동 제출한 자료를 번역 정리한 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1 스프링클러 감도의 측정

USFA(미국소방국)의 지원 아래 FMRC에서 수행된 주거용 스프링클러 개발 과정 중에 스프링클러의 감도 측정에 대한 많은 연구가 이루어 졌다. 영국의 FRS와 NIST도 감도 측정 연구에 큰 기여를 하였다.

화재로부터 발생하는 열은 복사, 대류, 전도에 의하여 전달 된다는 사실에서부터 스프링클러 감도에 대한 연구가 시작됐다. 스프링클러를 작동시키는 가장 중요한 열전달은 대류열전달이다. 화재에 의하여 가열된 공기는 원형 기류(plume)형태로

상승하면서 주위에 있는 공기를 유입시킨다. 이 연기 유동은 천장에 부딪히고 일반적으로 천장제트(ceiling jet)를 형성한다. 천장제트의 두께는 보통 화원에서 천장까지 높이의 5~12% 정도이다. 천장에서 화원까지의 1% 거리에서 천장제트는 최고 온도 및 속도를 가진다. 그래서 천장제트 내에 존재하는 스프링클러의 감열체는 고온의 공기로부터 전도에 의하여 가열된다.

스프링클러의 열감도가 정량화 되면서 여러 가지 용어가 사용되어 왔다. 그 용어의 일례로 시간상수  $\tau$ 가 사용되었으며 스프링클러 감열체 열감도 척도를 나타낸다. 이 시간상수는 시간(초) 단위를 가지며, 대류 열전달 계수를 구하기 어렵기 때문에 해석적으로는 쉽게 구해지지 않는다. 대류 열전달 계수는 물체를 지나가는 기류 속도에 따라서 변한다.

1976년에 스프링클러에 적용하기 위해 개발된 감도시험장치(plunge test apparatus)를 이용하여 시간상수를 구한다. 이 장치는 기류의 온도 및 속도를 제어할 수 있는 폐회로 풍동으로 구성된다.

기류는 스프링클러의 공칭작동온도 보다 높은 온도로 설정되고, 이 기류에 넣는 순간의 시간을  $t=0$  으로 한다. 스프링클러가 작동하는 시간을 기록하고, 스프링클러 작동 기구가 실내 온도에서 공칭작동온도 까지 올라가는 데 필요한 기간으로 추정한다.

감도시험장치를 사용하여 시험을 하면 시간 데이터가 두 개 나오기 때문에 시간상수를 결정할 수 있다.  $t=0$  일 때의 주위온도  $T_a$ 와 작동할 때까지 경과된 시간  $t_{act}$ 에서의 스프링클러가 도달하는 공칭작동온도는 알려져 있다. 감열체가 주위와 주

고 받는 열에 의해 나타나는 온도곡선을 근거로 해서 시간상수를 결정할 수 있다. 투입시험(plunge test)에서의 시간상수는 가열온도의 62.8% 에 이르는 데 소요되는 시간이다. 상승율시험(rate of rise test)에서는 초기 시간을 제외하면 몸체가 주위온도를 일정하게 쫓아간다. 이 온도차이 만큼 상승하는 데 소요되는 시간을 시간상수로 정의하고 초기 시간의 1/4에 해당된다.

사용되는 기류의 속도에 따라서 시간상수가 바뀌게 되기 때문에 시간상수는 유용성이 떨어진다. 그래서 FMRC는 유속에 무관한 감도 척도인 RTI를 개발하였다. FMRC는 수직류(cross flow)에서 본체의 대류열전달 계수는 유속의 평방근에 대략적으로 비례한다는 사실을 알아내었다. 시간상수에 해당 유속의 평방근을 곱하여 대류열전달 계수 효과를 제거하였다.

$$RTI = r\sqrt{u} = \text{constant}$$

RTI의 단위는 속도 단위에 따라서  $(m/s)^{1/2}$  또는  $(ft \cdot s)^{1/2}$ 로 표시된다.

다양한 장치의 RTI 값을 구함으로써 천장높이 그리고 화원으로부터 감지기가 있는 위치의 반경을 고려한 화재의 열 발생 이력을 근거로 한 열감지기와 스프링클러의 작동시간을 예측할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발할 수 있게 되었다. 이 프로그램은 실제 상황을 개략적으로 계산하기 때문에 사용할 때 주의를 요한다. 그리고 물이 방출된 후의 스프링클러에 대해서는 사용할 수 없다는 사실에도 유의해야 한다.

최근에는 스프링클러의 후레임, 연결부, 그리고 파이프 내의 물로 전도되는 열손실을 고려한 스프링클러 감도가 제시되었다. 이 새로운 모델은 컴퓨터 모델에서는 아직 적용되지 않고 있다.

전도 열손실의 중요성은 1986년에 다양한 스프링클러를 시험한 결과 알려지게 되었다. 이 시험들을 통하여 스프링클러 몸체와 감열체 사이의 높은 전도성을 갖는 스프링클러의 경우는 저속에서 스프링클러의 RTI가 증가함이 알려졌다.

일정한 RTI를 유지하기 위해서 전도 효과를 제

어하는 방법을 찾는 것도 중요하지만 화원으로부터 멀어질수록 속도는 감소하기 때문에 전도효과가 필요 이상의 스프링클러가 작동하는 것을 방지하는 데 도움이 된다는 사실 또한 증명되었다.

이러한 시험과 연계하여 FMRC에서는 열응답 모델(thermal response model)을 정리하여 전도 열손실 인자를 포함하는 수정된 모델을 제시하였다.

개정된 모델은 스프링클러 연결부가 대기온도와 같고 전도열손실은 스프링클러 감열체의 온도 상승에 비례한다고 가정한다. 그리고 실험을 통하여 개정된 모델의 정확도가 증명되었다.

## 2.2 감도 영역에 대한 국제적인 합의

스프링클러 감도의 요구 조건과 시험에 관한 잠정적인 합의가 ISO에서 1990년 후반에 이루어졌으며 이 분야의 발전은 최고조에 달했다. “스프링클러의 요건과 시험 방법”에 관한 ISO 6182/1의 수정안은 미국과 영국의 연구실에서 개발된 스프링클러 시험 방법의 조합을 담고 있으며, 스프링클러의 감도 특성을 세 영역으로 분류하였다.

이 감도 영역은 RTI와 전도 (C)에 근거한다. RTI는 작동하기 위한 열을 주위로부터 얼마나 빨리 흡수하는 정도를 나타내는 척도이고, C는 스프링클러 연결부와 수로(waterway)로 얼마나 많은 열이 손실되는 가를 나타내는 척도이다. 스프링클러 감도는 넓게 표준형, 특수형, 속도형으로 분류되고 재래식 스프링클러의 하드웨어는 표준 감도 영역에 속한다.

속도형은 새로운 형태의 스프링클러에 사용되어 빠른 반응이 중요한 곳에서 사용되고, 다음과 같은 형식들을 포함한다.

- 주거용(Residential)
- 속도형(Quick Response)
- 속도포용확장형(QREC ; Quick Response Extended Coverage)
- 초기진화속동형(ESFR ; Early Suppression Fast Response)

주거용 스프링클러는 주거 공간에서의 화재로부터 인명을 보호하기 위해 특별히 고안되었다. 속도형 감열체를 사용하고 작은 공간에서 발생하는 화재로부터 인명을 보호하기 위해 고유한 살수 분포를 가진다. 속도형 스프링클러는 제조자가 표준 스프레이 스프링클러에 속도형 감열체를 적용하여 생겨났다. ESFR 스프링클러는 대규모 창고를 보호할 목적으로 개발되었다.

각 나라마다 설치 표준에 적합한 특수한 용도의 스프링클러도 있다. 4mm 유리관 스프링클러가 그 예로서 현재 유럽에서 사용되고 있으며, EC (Extended Coverage) 스프링클러의 일부도 미국에서 특수 스프링클러로 분류되어 있다.

지금까지의 발전에도 불구하고 스프링클러 감도 정의에 대한 연구가 계속되고 있다. recessed, flush, concealed 스프링클러에 대해서는 기존 감도시험장치를 이용하여 RTI 와 C 값을 결정할 수가 없기 때문에, 이러한 스프링클러의 감도를 시험하기 위한 다른 방법이 필요하다.

국제표준에서는 최근 실응답시험(room response test)을 포함하고 있다. 미국 대표단은 최근 다른 시험 방법을 제시하였다. FMRC에서 개발한 이 방법은 스프링클러 주위에 부압(negative pressure)을 걸어 고온 공기를 감열체 주위로 유도하는 감도시험이다.

### 2.3 속도형 스프링클러의 사용

1983년 속도형 스프링클러의 소개 이후, NFPA 13의 면적/밀도 곡선에 의해 예측되는 전형적인 화재 제어 조건의 적용에 대하여 광범위한 관심이 쏠렸다. NFPA의 자동 스프링클러 위원회에서는 수력시스템 설계에 사용되는 기존 면적/밀도 곡선과 연계해서 이러한 스프링클러 사용을 허용하는 것을 꺼렸었다.

위원회 위원들은 대규모 열린 공간에서 발생하는 화재에 너무 많은 수의 스프링클러가 작동할 우려가 있으며 이러한 화재는 스프링클러에 의하여 제어되기는 하지만 쉽게 진압되지는 않는다고 생각하였다.

속도형 스프링클러의 이론적인 불합리성은 스프링클러 감도와 공칭작동온도 사이에 유사성이 존재한다는 가정에 근거하였다. 다양한 시험을 통하여 높은 공칭작동온도의 스프링클러가 사용될 때 더 좁은 영역의 스프링클러가 작동한다는 사실을 발견하였다.

화재 제어의 경우 일반적으로 덜 민감한 높은 공칭작동온도의 스프링클러가 작동하면, 더 민감한 속도형 스프링클러는 더 많은 수가 개방될 것이라는 것에 이 유사성이 근거한다.

그래서 NFPA13 면적/밀도 곡선이 속도형 스프링클러에 사용되는 것이 부적절할 수 있다. NFPA13 1985년 판에 2-2.1.2.1 장이 추가되어, 면적/밀도 곡선이 표준형에 사용되기 위해서 만들어 졌다는 사실을 명시하였다.

1988년 6월에 NFSA는 감도표시와 공칭작동온도 사이의 유사성이 합리적인지 또는 속도형 스프링클러가 NFPA 13 면적/밀도 곡선과 관련하여 성공적으로 적용될 수 있는 여부를 결정하기 위한 실대 규모 실험을 지원하였다.

FMRC는 표준 플라스틱 용품과 주름진 마분지 상자에 폴리스틸렌 컵을 1.8m 높이로 쌓아 놓고 열 두 번의 실대 규모 시험을 수행하는 계약을 맺었다.

UL에서 실시한 같은 용품을 사용한 이전 시험에서는 전형적인 NFPA 13의 물 공급율로는 화재가 쉽게 진압되지 않는다는 것이 증명되었다. 이 시험에서는 화재 진압이 되지 않도록 스프링클러 시스템의 구성과 능력을 특수하게 설정하였다.

표준 오리피스 상향형 스프링클러를 바닥에서 천장까지 거리인 6.1m에 설치하였고 스프링클러의 수직 아래에서 화재를 점화시켰다. 파이프에 의하여 가려져서 수직 아래 화재에 대하여 상향형 스프링클러는 화재진압능력이 거의 없는 것으로 나타났다.

첫 번째 스프링클러가 개방되어 15개의 스프링클러가 개방될 때까지 수공급이 12mm/min에서 7.4mm/min로 선형적으로 감소가 되도록 제어하였다.

이러한 조건 아래 수행되는 열 두 번의 시험 중

에 표준형과 속동형이 각각 5개와 7개가 사용되었다. 네 개의 제조회사가 작동기구만 다른 동일한 스프링클러를 제공하였다. 모든 온도는 68°C와 74°C 사이에 속한다.

연료와 스프링클러 능력의 선택은 화재 제어만 되고 진압은 되지 않는 조건으로 수행되어 시험이 성공리에 수행되었음을 알 수 있었다. 어떤 화재에서도 연소가 제공된 연료 패키지 밖으로 전파되지 않았다. 표준 응답시험에서 점화점 위의 천장에 있는 강철의 최대 온도는 119°C 였다. 속동형에서는 최대 온도가 84°C 였다.

시험의 주요 목적은 화재 제어 조건에서 작동하는 표준형 스프링클러에 비하여 속동형 스프링클러의 상대적인 개수를 비교하는 것이다.

표1을 보면 속동형이 일반적으로 화재를 제어하기 위해 작동되는 표준형 스프링클러보다 개수가 작아서, 표준형보다 성능이 좋다는 것을 알 수 있다. 일련의 시험으로부터 속동형 스프링클러를 사용하는 것이 화재를 진압하지는 못하지만 빨리 제어함으로써 성공적으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

[표 1] 표준형과 속동형 스프링클러의 개발 개수의 비교

제 조 자	스프링클러 개발 개수	
	표준형	속동형
Mfg. F"	25	8
Mfg. M"	10	6
Mfg. K"	20	9
Mfg. Q	7	10
Mfg. S"	8	7
Mfg. Y		7
Mfg. W		11
평균	14	8.3

이 시험에 의하여 1989년에 다음과 같은 NFPA 13의 수정이 있었다. 경미하고 일반적인 위험에 대해서는 면적/밀도 설계와 연계하여 속동형을 사용할 수 있다.

그러나 그때 속동형 스프링클러 사용에 대해서 신뢰성까지 확보된 것이 아니라 다만 대체 방법으로 가능하다는 사실만을 나타낸다.

## 2.4 속동형 스프링클러의 사용 촉진

최근 속동형 스프링클러 기술의 사용이 늘어나고 있다는 사실은 속동형과 주거용 스프링클러가 코드에 삽입되고 있는 것으로부터 알 수 있다.

1991년 판을 시작으로 NFPA 101 인명안전코드에서는 병실을 포함한 의료시설에서 속동형과 주거용 스프링클러 사용을 요구하고 있다.

이러한 코드를 채택하는 지지 성명이 다음과 같이 위원회에 의하여 이루어졌다.

“위원회는 병원 등에 스프링클러를 법규화할 시기가 왔다고 생각하여, 코드에 의하여 인명안전수준을 제시하는 반면 다른 항목들은 적절한 선택 항목으로 규정한다. 새로운 기술은 더욱 융통성이 있다. 인명안전위원회는 속동형 스프링클러라는 새로운 기술로써 화재가 발생한 병실에서도 환자를 보호할 수 있는 가능성이 늘어났다고 주장한다. 그리고 새로운 기술로 인하여 빌딩의 인명안전 설비의 유지 및 운영에 소요되는 경비가 많이 감소되어 인명안전수준을 향상시킬 수 있다는 근거를 토대로 12장을 수정하였다.”

소위원회는 “새로운 병원시설 전반에 걸쳐 설치된 자동식 스프링클러와 수면중인 환자들이 있는 공간의 속동형 스프링클러를 설치하는 화재와 화재 부산물의 위험성을 상당한 수준까지 감소시킬 것”이라는 견해를 피력했다.

소위원회는 심의를 통하여 핵심적인 인명안전요소의 적절한 통합관리의 잠정적인 어려움을 고려하였고, 스프링클러가 설계대로 작동할 확률이 다른 장치들보다 낮다는 견해를 보였다.

1994년 판을 시작으로 속동형과 주거용 스프링클러 설치가 모든 새로운 호텔 등 주거용 건물에 의무화되었다.

또 다시 위원회는 이론적인 근거를 설명하였다.

“속동형과 주거용 스프링클러의 RTI는 표준형 스프링클러보다 빨리 화재에 반응함을 나타낸다. 이러한 스프링클러를 설치하면 1-2.2장의 목적과 부합한다. 이 장은 화재가 일어난 곳과 화재가 발달했을 경우 화재에 노출될 가능성이 있는 사람들을 보호하는 내용을 담고 있다.”

NFPA 1996 판에는 속동형과 주거용 스프링클러에 대하여 강제 코드화할 것이며, NFPA 13에 다음과 같은 장을 추가하여 경급 화재위험(light hazard occupancy groups)에 대해서도 속동형 스프링클러를 사용하도록 하였다.

“5-2.1.3 경급 화재가 발생할 가능성이 있는 곳에 설치할 스프링클러 시스템은 1-4.4.1(1)(a)의 조건을 만족하는 속동형 또는 주거용 스프링클러를 사용하도록 할 것”

NFPA 13에서는 경미한 화재발생 장소를 주거용도, 사무실, 교육시설로 정의한다.

위원회에서는 다음과 같이 자신들의 결정을 확실히 하였다.

“1980년부터 NFPA 13에 속동형 스프링클러의 사용은 선택 사항이었다. 이 스프링클러는 재산과 생명보호능력이 뛰어난 경향을 보였으나 사용을 촉진시킬 수 있는 기준이 없었다. 이 부분의 변화와 기타 제시된 사항을 통하여 속동형 스프링클러의 사용이 촉진될 것으로 생각된다.”

강제규정 없이도 NFPA 13은 속동형 기술을 사용하도록 촉진하여 왔다. 1988년 NFSA의 시험을 통하여 NFPA 13에 큰 변화를 제시하였다.

“등록된 속동형 스프링클러를 전체적으로 사용될 때 다음과 같은 사항을 만족하면 그림1에 나타난 밀도를 수정할 필요가 없다 :

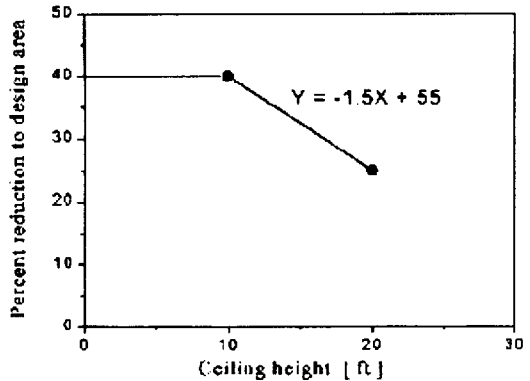
- 습식 시스템
- 경급 또는 일반 화재위험 주거용도
- 천장높이 6.1m 이하

설계면적(design area)에 스프링클러의 수는 최소 5개 이상이어야 한다.”

그림 1과 같이 설계 면적의 감소량은 천장 높이에 반비례한다.

또 다시 위원회는 제시한 변화의 근거를 다음과 같이 설명하고 있다.

“1988년에 실시된 일련의 시험을 통하여 표준형 스프링클러에 비하여 속동형 스프링클러가 평균적으로 같은 화재 대하여 작은 개수가 개방되고 초기 개방 시간도 빠르다. 이러한 현상이 문서화되는 반면 신뢰 및 인증이 아직 주어지지 않고 있다.”



[그림 1] 천장높이에 따른 설계면적 (design area)의 변화

### 3. 결 론

주거용 및 속동형 스프링클러에 대한 새로운 범위 및 촉진책은 스프링클러 기술 혁신의 중요한 부분이다. 이것은 20년 전부터 시작된 스프링클러 감도의 정량화 작업에 대한 노력의 결실이다. 감도를 측정할 수 있는 능력은 제어할 수 있는 능력과 같으며 따라서 인명과 재산을 보호하기 위한 스프링클러의 성능을 개선할 수 있다.

#### 참고문헌

[1] Russell Fleming & Robert E. Soloman, "Change to NFPA 101 and 13-Emphasis on Fast Response Sprinkler", the proceeding of FIREX 96

(FLK)