상수도 직결형 스프링클러설비의 소화 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of Fire Extinguishing of the Waterworks Direct Couple Sprinkler System

정종진* · 사공성호**

Jung, Jong Jin · Sakong, Seong Ho

Abstract

In this paper, in order to evaluate performance of fire extinguishing of waterworks direct couple sprinkler system fire test was executed. The experimental result, when emission pressure of sprinkler head is 0.1 MPa and size of lumber clip is 450×450×320 mm, the fire became completely the extinguishment, then a heat release rate is 250 kW. When emission pressure of sprinkler head is 0.2 MPa and size of lumber clip is 450×450×480 mm, the fire did not become the extinguishment and when emission pressure of sprinkler head is 0.3 MPa. the fire was soon extinguished. Then a heat release rate of fire source is 400 kW. As the result, when waterworks pressure of the general residence is 0.3 MPa, it could verify that the fire of a heat release rate 400 kW class goes out.

Key words : Waterworks direct couple sprinkler system, Heat release rate, Waterworks pressure

요 지

본 연구에서는 상수도 직결형 스프링클러 시스템의 정량적인 소화성능을 평가하기 위하여 화재실험을 수행하였다. 실험결과 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.1 MPa, 목재클립의 크기가 450×450×320 mm 일 때는 화재는 완전히 소화되었으며 이때 화원의 열방출률은 250 kW이다. 또한 목재클립의 크기가 450×450×480 mm이고 헤드의 방사압력이 0.2 MPa이면 완전소화가 되지 않았으며, 헤드 방사압력이 0.3 MPa일 때 소화가 가능하였다. 이때 화원의 열방출률은 400 kW이다. 이 결과로서 일반 주택의 상수도 압력이 0.3 MPa압력이면 열방출률이 400 kW급의 화재는 소화가 가능함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 상수도직결형 스프링클러 시스템, 열방출률, 상수도 압력

1. 서 론

1870년대에 처음 도입된 스프링클러시스템은 화재 발생시에 물을 방출하여 거주자의 초기피난과 재산보호 등의 역할을 수행하는 중요한 소화설비이다. 화재 발생시 스프링클러시스템의 동작여부는 인명과 재산을 화재로부터 보호할 수 있는 보호막 역할을 한다.

최근에 소방방재청 자료 등 여러 문헌에 따르면 화재가 발생하는 빈도를 장소에 따라 구분하여 보면 주택에서의 화재가 24%인 것으로 나타났다(김학근, 2005; 소방방재청, 2009).

그러나 현재 국내에는 4층 이하의 연립주택을 포함한 단독주택은 소방대상물에서 제외되어 있어 이곳에서 사용할 수 있는 소화설비가 미약한 실정이며 또한 이에 관한 연구도 미진한 형편이다.

따라서 본 연구에서는 단독주택 등에서 사용이 가능한 상수도 직결형 스프링클러시스템의 정량적인 소화성능을 평가

하기 위하여 화재실험을 수행하였다. 또한 본 실험은 목재클립의 열방출률, 상수도 직결형 스프링클러시스템의 방수압과 소화능력 관계, 스프링클러헤드 주위 온도, 헤드동작점 등의 특성 파악을 위한 실험을 실시하여 화재제거나 화재진압을 위한 보다 실증적인 연구 자료를 도출하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 시나리오

본 실험은 단독주택이나 4층 이하의 연립주택에서 화재가 발생하였을 때 화재로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위하여 상수도와 바로 연결하는 사용할 수 있는 스프링클러시스템의 성능을 확인하고자 화재실험을 실시하였다.

화재 실험에서 최우선적으로 고려되어야 할 요소는 화원과 그 크기이다. 소화설비의 성능을 결정하는 것은 설비에 적절한 규모의 화원의 선정하는 것일 것이다. 본 연구에서 사용

*정회원 · 한국소방산업기술원 소방산업연구소 팀장 (E-mail : samjjung@hanmail.net, 교신저자)

**정회원 · 한국소방산업기술원 기술사업이사

표 1. 실험 조건

구 분		조 건
출입구(810 mm×1720 mm)		개 방
Air outlet		단 힘
헤드방사압력		방사압력조절
화 원	목재클립	목재클립양 조절

한 목재클립은 소방법 제50조 제5항 및 동법시행령 제37조의 규정에 의한 수동식소화기의 형식승인 및 검정기술기준에서 정한 소화능력 시험에 사용하는 A급화재 제1모형(2단위 모형)기본으로 하고 다만 실험의 안전성을 고려하여 크기를 반으로 축소하여 사용하였다(한국소방산업기술원, 2007).

시나리오를 요약하면 다음과 같다.

- 그림 1과 동일한 모형실험장 구성
- 목재클립을 가연물로 사용
- 가연물 점화
- 화염의 크기 상승
- 가연물의 화염으로 인한 급격한 온도 상승
- 모형실험장내 온도 상승으로 인한 스프링클러 동작
- 소화

또한 일반적으로 일정한 공간에서의 화재는 내부공간의 주 환경에 따라 화재의 성상에 많은 변화가 있다. 본 실험에서는 ISO 6182-10에 있는 형태로 실험을 수행하였다(ISO, 2006). 실험실의 조건은 표 1과 같다.

2.2 시스템 구성

본 실험에서 화원으로 사용한 목재클립은 그림 1 및 표 2와 같다. 목재클립의 높이를 높여가며 실험을 한 것은 화원의 발열량을 점차 높여 스프링클러의 소화능력을 파악하기 위함이다.

또한 본 실험에서는 스프링클러 헤드의 방사 압력을 변화시켜가며 실험을 실시하였다. 먼저 검정기술기준에서의 정한

그림 1. 화원(목재클립)

표 2. 화원의 크기

화원크기(W×D×H)	중 량	축진제(헵탄)
1 450×450×320 mm	7 kg	0.5 l
2 450×450×480 mm	10 kg	0.5 l

표 3. 측정항목

측정항목
스프링클러헤드 주위온도(°C)
화원주위온도(°C)
점화 ~ 헤드작동시간
소 화 여 부

그림 2. 실험장의 구성도

헤드 말단에서의 최소압력인 0.1 MPa와 0.1 MPa 이상으로 나누어 실험을 실시하였다. 이는 일정한 목재클립에 대해서 헤드방사압력의 변화에 대한 화재의 소화정도를 분석하고자 함이다. 실험에서 관심을 가지고 측정하는 항목은 표 3과 같다.

본 실험에서는 스프링클러가 동작하여 소화가 되느냐의 여부와 일정한 발열량을 가지는 화원이 헤드가 동작한 후에 어떤 온도를 나타내는지 주의 깊게 관찰하였다. 이는 스프링클러설비가 동작하여 실내내부온도를 내려가게 하여 거주자가 피난할 수 있는 적정온도로 내려가게 하는지 등의 화재제어의 성능을 판단하기 위함이다.

그림 2는 모형실험실에 설치된 스프링클러시스템의 구성도면이다. 실험은 다음의 각 경우에 대해서 실시하였다. 방사압력을 0.1 MPa 일 때와 0.1 MPa 이상 일 때로 구분하고 또한 화원을 나무목재 클립의 크기별로 구분을 각각의 경우에 대하여 실시하였다.

실험에 사용한 헤드는 조기반응형 헤드로서 감도(RTI) 50 이하, 작동온도 72°C, 50 l/min(0.1 MPa)의 사양을 가진 것

표 4. 헤드 사양

구성요소	사양	
헤드	최대사용압력	1.4 MPa
	방수량	50 l/min(0.1 MPa)
	감열체의 반응지수 (RTI)	50 이하
	주거형 스프링클러헤드 (조기반응형)	퓨즈블링크 72°C, 하향형
배관	40 mm(STS 304)

그림 3. 열전대 센서 배치도

이다. 사양은 표 4와 같다.

그림 3은 열전대 센서 스탠드의 배치를 나타낸 것이다. 열전대는 점화 전·후의 스프링클러헤드가 동작할 때의 천정 온도변화와 동작 후의 실험실 내부 온도변화를 관찰하기 위하여 설치하였다. 설치장소는 화원 주위와 스프링클러헤드 주위에 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 스프링클러 헤드압력 : 0.1 MPa, 화원 1일 때

그림 4는 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.1 MPa이고 화원의 크기는 표 2에서 나타낸 바와 같이 화원1(450×450×320 mm)일 때의 스프링클러 헤드 주위의 온도 특성을 나타낸 것이다.

실험은 목재클립에 촉진제(헵탄)를 0.5 l 팬에 부어 우선 헵탄을 점화하여 목재에 불을 붙게 하였으며, 헵탄이 연소된 후에 화재실험실에 화원을 옮겨 넣었다. 이 시점을 화원의 점화로 보았다. 열전대센서는 SP1~SP5의 5개를 설치하여 헤드 주위의 온도를 측정하였으며 각 센서의 위치는 그림 2와 같다.

점화 후 실험실 내부의 온도는 화원에서 나오는 연기와 열에 의해서 천정에서부터 서서히 차 내려오게 되고 헤드 주위의 온도도 천정주위의 헤드온도가 가장 높고 아래로 내려오면서 낮아지게 된다.

점화 후 150초가 되면 헤드와 가장 가까운 위치의 천정센서가 약 140°C가 되면서 스프링클러가 동작하게 되어 실험실내부의 온도는 40°C 이하로 순간적으로 내려가게 된다.

이후 헤드가 동작한 시점에서 10분간 물을 계속 방사하여

그림 4. 스프링클러헤드 주위 온도 특성

그림 5. RCT를 이용한 열방출률 측정

화재가 소화되는지를 확인하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.1 MPa이고 화원의 크기가 450×450×320 mm 일 때는 화재는 완전히 소화되어 재발화하지 않는 것을 알 수 있다.

실험에서 사용한 수압과 화원으로 스프링클러의 소화성능을 보다 정량적으로 확인하기 위하여 실험에서 사용한 화원(목재클립)을 ROOM CORNER TESTER(RCT)를 사용하여 열방출률을 구하였다. 그림 5는 RCT를 사용하여 실험하는 장면이다. 그 결과로 화원1(450×450×320 mm)의 열방출률은 약 250 kW로 측정되었다. 이 열방출률은 SFPE에 의하면 남성용 재킷의 열방출률 100 kW와 커튼(cotton 260 g/m²) 150 kW, 소형가전제품의 열방출률 보다 큰 정도이다(NFPA, 2002).

위의 실험에서는 스프링클러의 방사압을 0.1 MPa로 했을 경우, 이 정도의 화염은 소화가 가능하다는 것을 의미한다. 또한 스프링클러가 동작직후의 주위의 온도는 40°C 이하로 되는 것을 볼 수 있었다. 이는 이 정도 규모의 화재에서 스프링클러가 동작하게 되면 거주자가 대피할 수 있는 충분한 온도임을 의미한다(NFPA 101 2000).

그림 6은 화원 주위의 온도 특성을 나타낸 것이다. 열전대 센서는 화염1~화염5의 5개를 설치하여 화원 주위의 온도를 측정하였다. 각 센서의 위치는 그림 2와 같다. 화염1은 화원에서 가장 높은 위치에 해당하는 것으로 화염의 끝자락 온도에 해당되며 화염2~화염4는 화염의 중간 온도들이고 화염5는 화염의 가장 낮은 위치의 온도이다.

점화가 되면서부터 화염은 점점 커지게 되고 수직 발화하는 형태의 화염모양을 띠면서 온도가 상승한다. 화염 끝자락의 온도가 가장 높게 200°C 정도까지 상승하고 가장 낮은 위치의 화염도 100°C 정도까지 상승한다.

점화 후 150초가 되면 스프링클러 헤드가 동작하면서 화원

그림 6. 화원 주위 온도 특성

그림 7. 스프링클러헤드 주위 온도 특성

그림 8. 화원 주위 온도 특성

주위의 온도는 서서히 하강하게 된다. 이후 헤드가 동작한 시점에서 10분간 물을 계속 방사하여 화재가 완전히 소화 되면서 온도는 점화전의 수준이 되었다.

3.2. 스프링클러 헤드압력 : 0.1 MPa, 화원 2일 때

그림 7은 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.1 MPa이고, 화원의 크기는 표 2에서 나타낸 바와 같이 화원2(450×450×480 mm)일 때의 스프링클러 헤드 주위의 온도 특성을 나타낸 것이다. 앞의 실험과는 달리 방사 압력은 0.1 MPa를 유지하면서 화원의 크기만을 크게 한 것이다.

화원의 열방출률을 ROOM CORNER TESTER를 사용하여 측정한 결과 약 400 kW로 나타났다. 이는 SFPE의 자료에 의하면 커튼cotton/polyester 328 g/m²일 때 338 kW, 커튼cotton/polyester foam 305 g/m²일 때 338 kW, 소파 1인 용 378 kW정도에 해당된다(NFPA, 200.2).

점화가 되면서부터 실험실 내부의 온도는 화원에서 나오는 연기와 열에 의해서 상승하게 되는데 그 기울기는 화원1일 때 보다 훨씬 커지는 것을 알 수 있다. 이는 열방출률이 약 1.5배 커지면서 화염이 화원1보다 크기 때문이다.

점화 후 약 40초 후에 헤드가 가장 가까운 위치의 천정센서가 약 140°C가 되면서 스프링클러가 동작하게 되어 실험실내부의 온도는 40°C 이하로 순간적으로 내려가게 된다.

이후 헤드가 동작한 시점에서 10분간 물을 계속 방사하여 화재가 소화되는지를 확인하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 점화 후 약 550초부터 온도가 조금씩 상승하는 것을 볼 수 있다. 이 구간은 아직 스프링클러가 방사압력 0.1 MPa로 계속 동작하고 있을 때이다. 이후 헤드 동작 후 10분후에 스프링클러 동작을 정지시키면 다시 재 발화하여 스프링클러 주위의 온도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 화원의 화염이 완전히 소화가 되지 않은 상태에서 스프링클러의 동작을 중지시키면 다시 불을 살인한다는 것을 의미한다.

즉, 화원의 크기가 450×450×480 mm이고 방사 압력이 0.1 MPa일 때는 화재는 완전히 소화 되지 않고 재 발화한다.

그러나 거주자의 대피 관점에서 보면 화재를 인식만 할 수 있다면 방사 압력이 0.1 MPa일 때에도 스프링클러만 동작한다면 대피하기에는 어려움이 없는 실내온도를 유지한다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 화원 주위에서의 온도 특성을 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 바와 같이 점화 후 약 550초부터 온도가 조금씩 다시 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 화원의 화염이 완전히 소화가 되지 않은 상태에서 스프링클러의 동작을 중지시키면 다시 불이 살아난다는 것을 의미한다.

3.3. 스프링클러 헤드압력 : 0.2 MPa, 화원 2일 때

그림 9는 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.2 MPa이고 화원의 크기는 표 2에서 나타낸 바와 같이 화원2(450×450×480 mm)일 때의 스프링클러 헤드 주위의 온도 특성을 나타낸 것이다. 이번 실험은 3.2절의 실험에서 방사압력 0.1 MPa 일 때 화원2가 완전 소화되지 않고 재발화하여 헤드의 방사 압력을 높여 실험을 수행하였다.

화원의 크기는 같고 스프링클러헤드의 방사 압력만 0.2 MPa이기 때문에 헤드가 동작하기전의 전반적인 온도 특성은 스프링클러 헤드압력 0.1 MPa, 화원2일 때와 유사하다.

점화 후 40초 때 스프링클러가 동작하여 스프링클러 주위의 온도는 40°C 이하로 순간적으로 내려가게 된다. 이후 헤드가 동작한 시점에서 10분간 물을 계속 방사하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 스프링클러가 정지한 후 스프링클러 주위의 온도는 다시 상승하는 것을 볼 수 있다.

이는 화원의 화염이 완전히 소화가 되지 않은 상태에서 스프링클러의 동작을 중지시키면 다시 불을 살인한다는 것을

그림 9. 스프링클러헤드 주위 온도 특성

그림 10. 스프링클러헤드 주위 온도 특성

의미한다.

즉, 화원의 크기가 450×450×480 mm이고 방사 압력이 0.2 MPa일 때 화재는 완전히 소화 되지 않고 재 발화한다.

그러나 앞 절 실험의 결과와 다른 점은 방사 압력만 다르고 화원이 같을 경우 0.1 MPa의 실험에서는 물은 계속 방사가 되더라도 화원은 다시 재 발화하는 현상이 나타났지만 이번 실험과 같이 0.2 MPa으로 방사하게 되면 물이 방사되고 있을 때에는 재발화하지 않는다는 것이다.

결론적으로 거주자의 대피 관점에서 보면 화재를 인식만 할 수 있다면 방사 압력이 0.2 MPa일 때에도 스프링클러만 동작한다면 대피하기에는 어려움이 없는 실내온도를 유지한다는 것을 알 수 있다.

3.4. 스프링클러 헤드압력 : 0.3 MPa, 화원 2일 때

그림 10은 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.3 MPa이고 화원의 크기는 표 2에서 나타낸 바와 같이 화원2(450×450×480 mm)일 때의 스프링클러 헤드 주위의 온도 특성을 나타낸 것이다. 이번 실험은 3.3절의 실험에서 방사압력 0.2 MPa일 때 화원2가 완전 소화되지 않고 재발화하여 헤드의 방사 압력을 높여 실험을 수행하였다.

점화 후 45초 때 스프링클러가 동작하여 스프링클러 주위의 온도는 40°C 이하로 순간적으로 내려가게 된다. 이후 헤드가 동작한 시점에서 10분간 물을 계속 방사하였다. 그림에서 보는 바와 같이 스프링클러가 정지한 후 스프링클러 주위의 온도는 재상승하지 않는다는 것을 알 수 있다. 완전소화가 되었음을 의미한다.

즉, 화원의 크기가 450×450×480 mm이고 방사 압력이 0.3 MPa이면, 0.2 MPa압력으로 소화되지 않았던 화염이 소화가 됨을 볼 수 있다.

그림 11은 화원 주위에서의 온도 특성을 나타낸 것이다. 점화 후 45초가 되면 스프링클러 헤드가 동작하면서 화원 주위의 온도는 서서히 하강하게 된다.

그림 11에서 보는 바와 같이 화원은 약 720초가 되면 완전히 소화되어 점화전의 실험실 온도를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 0.3 MPa으로 물을 방사하게 되면 화원2의 규모는 완전히 소화가 가능하다는 것을 의미한다.

그림 11. 화원 주위 온도 특성

4. 결 론

본 연구에서는 상수도 직결형 스프링클러시스템의 성능을 평가하기 위하여 화원의 크기별로 화재실험을 수행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 스프링클러 헤드의 방사 압력이 0.1 MPa이고 화원의 크기가 450×450×320 mm일 때는 화재는 완전히 소화되어 재발화하지 않는 것을 알 수 있다. 이때 화원의 열방출률은 250 kW로서 소형가전제품류와 비슷한 규모이다.
- 2) 화원의 크기가 450×450×480 mm이고 방사 압력이 0.1 MPa일 때는 화원의 화염이 완전히 소화가 되지 않은 상태에서 스프링클러의 동작을 중지시키면 불이 다시 살아나서 재발화한다. 이때 화원의 열방출률은 400 kW로서 1인용 소파와 비슷한 규모이다. 그러나 거주자의 대피 관점에서 보면 화재를 인식만 할 수 있다면 방사 압력이 0.1 MPa일 때에도 스프링클러만 동작한다면 대피하기에는 어려움이 없는 실내온도를 유지한다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 스프링클러 헤드의 방사압력을 0.2 MPa높이고, 화원의 크기를 450×450×480 mm하여 다시 실험하였으나 역시 완전 소화는 되지 않았으며 방사압력을 0.3 MPa하여 실험한 결과 완전소화가 되었다.

결론적으로 일반 주택의 상수도 압력이 0.2~0.3 MPa압력일 때 상수도로 직결하여 스프링클러를 설치하게 되면 화원2

의 열방출률에 해당되는 유사한 화재는 진화가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 물론 화재의 특성상 같은 가연물일 지라도 화재성상이 어떻게 되는가에 따라 소화특성은 다르지만 열량만을 보면 가능하다고 판단된다.

또한 스프링클러를 완전소화의 의미보다 거주자의 대피시간과 환경을 조성한다는 관점 또는 소방관의 출동도착시간 등으로 의미를 확대해 보면 위의 실험결과는 더욱 의미를 가진다고 생각된다.

참고문헌

김학근 (2005) 주택화재에 의한 인명 피해저감을 위한 연구, 서울
시립대 도시과학대학원 석사학위 논문.

소방방재청 (2009) 2008년 전국화재발생현황.

한국소방산업기술원 (2007) 수동식소화기형식승인 및 검정기술기준 (KOFEIS 0101).

ISO 6182-10 (2006) Fire Protection-Automatic sprinkler System-Part 10:Requirements and test methods for domestic.

NFPA (2002) The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3th Ed. Section 1 Chapter 3, pp. 3-10~3-33.

NFPA 101 (2000) Life Safety Code Handbook, 8th Ed, pp. 36.

◎ 논문접수일 : 11년 06월 29일

◎ 심사의뢰일 : 11년 06월 30일

◎ 심사완료일 : 11년 08월 09일