

# 스프링클러 소화설비에 의한 소화시간

손 봉 세 <본 협회 부설 방재시험소 연구원>

-본고는 Fire Safety Science Proceeding of the First International Symposium(1985. 10.. 개최) 논문집에 실린 것을 번역한 것임.

## 개요

본 연구에서는 천정이 높지 않고 연소비와 방수비가 비교적 낮은 화재실에서의 소화시간예측에 대한 방정식을 유도하여 보았다. 소화성능은 부유형성층(buoyant plumes) 및 스프링클러 분무의 상호작용과 방수에 의한 화원(火源)의 냉각효과에 의존한다고 생각된다. 낙하방수속도 대 화재형성층에서의 가스상승속도비는 부유형성층과 스프링클러분무의 상호작용에 의한 것이고 방수율 대 연소율의 비율은 방수에 의한 화원의 냉각효과라고 생각된다. 이상의 요소를 이용하여 차원해석에 의한 스프링클러소화설비 작동 후 소화시간에 관한 일반적인 방정식을 구하였다. 또한 이 방정식으로 사례를 들어 소화시간에 대하여 수치적 계산을 시도하였으며 이때 화목(fire crib)의 연소비는 항상 일정한 경우이다. 스프링클러소화설비에 의한 소화시간은 스프링클러 소화성능에 가장 중요한 요소 중의 하나가 될 것으로 생각된다.

## 1. 서론

스프링클러설비가 화재의 발생을 감지한 후 작동하기까지 필요한 시간계산은 여러가지 원인에 의해 결정되어진다. 하지만 스프링클러 작동에서 소화까지의 예측시간에 대한 공식화된 방정식은 아직까지 알려져 있지 않다. 본 논문에서는 주택건물의 화재로 가정하였으며 차원해석에 의한 소화시간 예측에 대한 방정식을 구하였고 상수는 천정

이 높지 않고 연소비와 방수비가 비교적 낮은 경우에 대한 실험을 통하여 결정하였다. 또한 방정식 이용, 소화시간에 대하여 수치적으로 계산하였다.

## 2. 소화시간 예측에 관한 방정식

스프링클러의 소화효과는 다음 조건에 의존되어진다고 할 수 있다.

(1) 물분무입자가 화원의 상승기류를 통과하여 침투할 수 있는 정도

(2) 화원의 열발생을 진압하고 지속적인 연소를 정지시킬 수 있는 적절한 방수율

조건(1)을 결정해주는 무차원 요소인 화재형성층 내에서의 상승가스속도(UP)와 물입자낙하속도(Ut)의 비율(UP / Ut)은 비교적 방수압력이 낮기 때문에 화재형성층과 물분무입자간의 상호작용이 주로 중력에 의해 영향을 받는 부분이라고 생각된다.

조건(2)를 지배하는 무차원 요소로서 방수초기의 질량연소율(Q) 대 연료의 상부표면의 방수율(Qw)과의 비율(Q / Qw)이 고려되어진다.(이 경우 가스의 상승기류는 무시한다) 또한 소화효과를 표시하는 무차원 요소로서 스프링클러 작동에서 소화까지의 시간(T) 대 화재발생에서 스프링클러 작동까지의 시간(T0)과의 비율이 고려된다. 그러므로 다음 관계식은 이들 무차원요소에 의해 정해진다.

$$T/T_0 = f(up/ut, Q/Qw) \dots\dots\dots (1)$$

또한 화염내에서의 상승가스최대속도(upm)는 다음 방정식으로 표시된다.

$$\frac{upm}{\sqrt{gH}} = 3.16 \frac{\dot{Q}^{1/3}}{H^{1/3}} [Cp, r_0, t_0, g^{1/2}]^{-1/3} \dots\dots (2)$$

여기서

H: 화목상부표면에서 천정까지의 거리

Q: 연료의 열방출비

Cp: 공기의 정압비열

r<sub>0</sub>: 표준상태에서의 공기밀도(20℃, 1atm)

t<sub>0</sub>: 표준상태에서의 공기온도(20℃, 1atm)

g: 중력 가속도

연료상부표면에서 천정까지 확산하는 화염의 속도와 직경은 실질적으로 변화가 없기 때문에 전체의 상승가스속도(U<sub>p</sub>)는 upm으로 나타낼 수 있다. 연료의 방출비는  $\dot{Q} = Qh$ 식으로 계산된다. 여기서 h는 연료 중량당 열방출율이고 Q는 연료의 질량연소비이다. 결과적으로 다음 식이 성립된다.

$$UP \propto \left( \frac{Q}{H} \cdot \frac{hg}{C_p r_0 t_0} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

물방울입자는 반경이 약 2×10<sup>-2</sup>cm 정도이고 대기중에 떨어지는 물방울입자는 뉴우튼법칙에서 정의한 바와 같이 저항을 받는다. 이때의 속도(U<sub>t</sub>)는 다음 방정식으로 표시할 수 있다.

$$Ut = 2.11 \sqrt{\frac{g(r_w - r)}{r}} \cdot \sqrt{\frac{d}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

여기서 r<sub>w</sub>: 물의 밀도

r: 화염에서의 가스밀도

d: 물방울의 직경

r은 r<sub>w</sub>에 비하여 매우 작으므로 r<sub>w</sub> / r은 (r<sub>w</sub> - r) / r 대신 사용할 수 있다. 만일 스프링클러헤드의 형태(Model)가 정해진다면 살수분무 입자직경은 각각의 스프링클러의 형태에 따라 다르며 물방울의 평균 직경(dm)은 d 대신으로 사용할 수 있다. 따라서

$$Ut \propto \left( \frac{g r_w d m}{r} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

방정식 (3)과 (5)로부터

$$\frac{U_p}{U_t} \propto \left( \frac{h}{C_p r_0 t_0 r_w^{2/3} g^{1/2}} \right)^{1/3} \left( \frac{Q}{H} \right)^{1/3} \left( \frac{r}{dm} \right)^{1/2} \dots \dots (6)$$

방정식 (1)과 (6)으로 부터

$$\frac{T}{T_0} = k \left( \frac{Q}{Q_w} \right)^m \left[ A \cdot \frac{Q}{H} \cdot \left( \frac{r}{dm} \right)^{3/2} \right]^{3/1}$$

여기서  $A = \frac{h}{C_p r_0 t_0 r_w^{3/2} g^{1/2}}$ 이다.

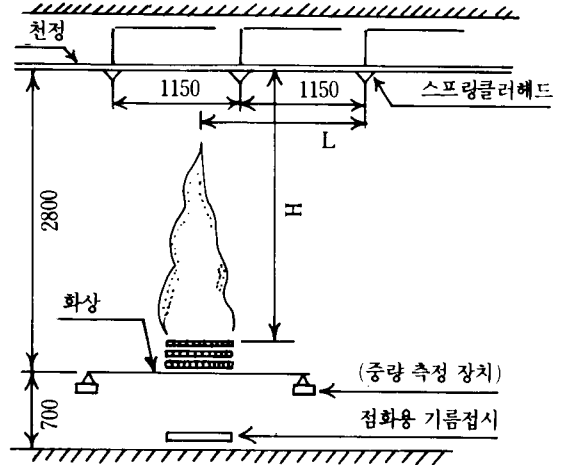
위의 식에 n=1/3를 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{T}{T_0} = K \left( \frac{Q}{Q_w} \right) \left[ A \cdot \frac{Q}{H} \cdot \left( \frac{r}{dm} \right)^{3/2} \right]^n \dots \dots \dots (7)$$

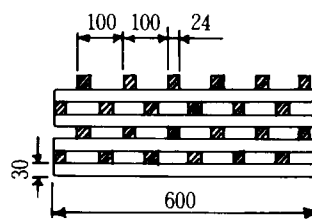
그리고 k, m, n은 실험을 통해 구하여진다.

### 3. 실험과 결과

<그림1>에서 보는 바와 같이 스프링클러헤드 3개를 높이가 3.5m인 천정에 설치하였다. 화원은 삼목(cedar wood)을 사용하였으며 크기는 24×30×600mm이고 습도는 9~12%이다.



<그림 1> 소화시험 개략도



<그림 2> 화목 설치

<그림2>에서 보는 바와 같이 화목을 쌓았고 점화시키기 위하여 600cc의 휘발유가 들어있는 기름통(60×60cm)을 화목 밑에 설치하고 점화후 1분 이내에 이동시킬 수 있도록 했다.

화목의 무게가 30%로 감소되었을 때 방수를 시작하고 점화에서 방수까지의 연소비는(60, 90, 130 kcal/s) 휘발유에 의한 점화이므로 거의 일정한 것으로 고려했다.(열 방출비:190kcal/s) 화목에서 화염이 보이지 않게 되었을 때 소화가 끝난 것으로 간주하였고 <표1>은 실험에 의해 측정된 값이다.

<다음호에 계속> (M)