

# Smoke Mass Concentration의 측정에 의한 난연제의 난연 특성 평가

송영호 · 정국삼

충북대학교 안전공학과

## 1. 서 론

최근 화재 발생시 화재의 열적 영향에 의한 인명 피해보다 연기 발생에 따른 피난로의 미확보, 독성 가스의 발생에 따른 질식사고에 의한 인명 피해가 급증하고 있다. 건물 내 화재시 발생하는 다량의 연기 및 독성 가스는 건물 내의 거주자의 피난을 방해하여 인명 피해의 중요 원인이 된다.<sup>1)</sup>

한편, 난연제란 연소하기 쉬운 성질을 가진 고분자 재료에 할로젠, 인, 질소, 그리고 수산화 금속 화합물 등의 난연성 부여 효과가 큰 화합물을 첨가함으로써 발화를 지연시키고 연소의 확대를 막아주는 물질이다. 최근 연기 및 독성 가스에 의한 인명 피해를 감소시키고자 건축물 내장재의 난연 및 불연처리에 관심이 고조되고 있다.<sup>2)</sup>

난연제는 크게 첨가형과 반응형으로 나뉘고 첨가형은 다시 유기와 무기난연제로 구분된다. 무기계(첨가형)는 난연제 시장의 가장 큰 부분을 차지하는데 가격이 싸고 할로젠화 유기화합물과 상승작용을 일으키며 filler로 사용할 수 있기 때문이다. 유기계(첨가형)는 고분자와 컴파운딩이 쉽다는 장점이 있으며, 반응형은 난연 효과는 뛰어나지만 실제로는 코폴리머로서 작용하기 때문에 비용이 비싸고 제조하는데 시간이 많이 드는 단점이 있다.<sup>3)</sup>

현재 많이 사용되고 있는 난연제의 종류로는 크게 인계, 할로젠계, 수산화 금속 화합물, 안티몬계 난연제로 구분할 수 있다. 인계 난연제는 분리반응으로 탄소가 표면층(char)을 형성하여 물리적으로 플라스틱과 산소를 차폐해 버리고, 할로젠계 난연제는 염화 파라핀이 대표적인 것으로 기상에서 기능을 발휘하며 발생된 불연성 가스는 분해하여 발생하는 가연성 가스를 열과 산소로부터 차단시켜 버린다. 또한, 수산화 금속 화합물은 가열시에 결정수를 방출하여 분해 상변화에 의하여 대량으로 열을 흡수하고 열전도율을 올려 열의 분산을 도모하며, 안티몬계 난연제는 삼산화안티몬( $Sb_2O_3$ )이 대표적인 것으로 연소 초기에 삼산화안티몬이 용융되면 플라스틱 표면에 피막을 형성하여 산소를 차단하여 내부 흡열반응에 의해서 발화온도를 올려 자소성의 효과를 발휘한다.

따라서, 본 연구에서는 열가소성수지들을 대상으로 난연처리 전과 후의 열가소성수지를 small scale의 연소 chamber 내에서 연소시킨 후 광전센서를 이용하여 흡광도에 의한 감광계수로 smoke mass concentration을 측정함으로써 난연제의 난연효과를 평가하였다.

## 2. 이론

### 2.1 Smoke mass concentration

화재안전을 평가하는데 있어서 중요한 파라미터 중 하나는 그 재료의 연소시에 발생되는 연기의 양이다. 고농도의 연기를 발생시키는 재료의 경우 화재 발생 지역으로부터의 피난을 어렵게 한다. 특히, 비행기, 열차, 지하철 등과 같은 수송시스템에서의 화재에 있어서 연기의 발생량을 감소시키는 대책 마련이 아주 중요하다.

Smoke mass concentration(  $m_s$ )은 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>4)</sup>

$$m_s = \frac{\ln(I_0/I)}{\sigma_s L} \quad (1)$$

여기서,  $L$ 은 광로길이이고,  $I_0$ 와  $I$ 는 각각 단일파장의 광원에 대한 입사 및 투사광의 강도를 말한다. 또,  $\sigma_s$ 는 smoke extinction coefficient이다. 이 값은 플라스틱의 경우,  $8.5m^2/g$ 의 값을 갖는다.<sup>5)</sup>

### 2.2 난연제

난연제는 연소하기 쉬운 성질을 갖고 있는 플라스틱과 같은 유기물질을 물리·화학적인 방법으로 개선해 연소를 억제하거나 완화시키는 효과를 갖는 물질이다. 이는 가열, 분해, 발열 등의 특정한 연소단계를 방해함으로써 그 효과가 나타난다. 난연제는 난연성분의 물질을 플라스틱에 물리적으로 혼합, 첨가, 분산하여 난연효과를 얻는 첨가형과 분자 내에 관능기를 가지고 화학적으로 반응하는 타입으로 외부조건에 크게 영향을 받지 않는 반응형으로 분류되며, Fig. 1과 같이 세분화될 수 있다.<sup>3)</sup>

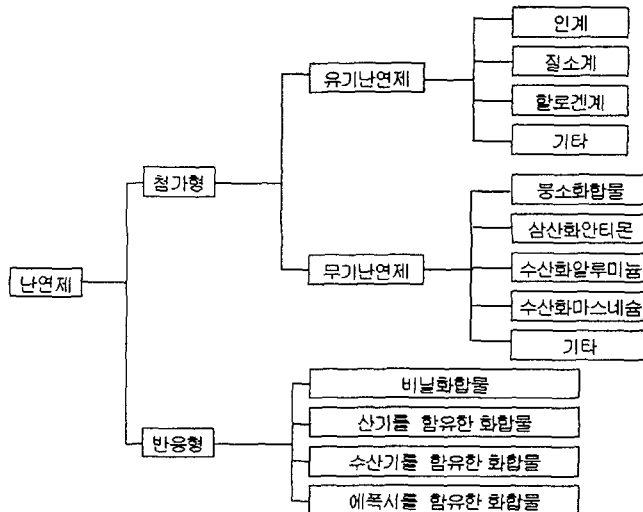


Fig. 1. Types of retardants.

### 3. 실험

#### 3.1 열가소성수지 및 난연제

본 연구에서는 열가소성수지에 대한 난연제의 난연특성을 평가하기 위하여 채택한 열가소성수지는 polypropylene(PP)과 polystyrene(PS)이다. PP의 경우, 용도는 포장용 필름, 테이프 등의 제조에 사용되며, PS의 경우 가정용 전기기기 등으로 사용된다.

실험에 사용된 난연제로서는 할로겐계 난연제의 경우, tricresylphosphate(TCP)와 triphenylphosphate(TPP)이었고, 인계 난연제로서는 trischloropropylphosphate(TCPP)와 ammonium phosphate( $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ , AP)이었으며, 무기계 난연제의 경우, aluminum trihydroxide( $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ATH)와 magnesium dihydroxide( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , MDH)이었다. 난연제는 모두 Aldrich사의 1급 시약으로 실험에 사용되었다.

#### 3.2 실험방법 및 장치

본 실험에서 사용한 장치는 small scale의 밀폐형 연소시험장치(900\*900\*1100mm)로서 연소부, 연기농도 측정부, 연소가스 측정부, 기록부 및 전원부로 구성되어 있으며, 일본 광연(光研)공업주식회사의 제품으로서 모델명은 SMS-38이다.

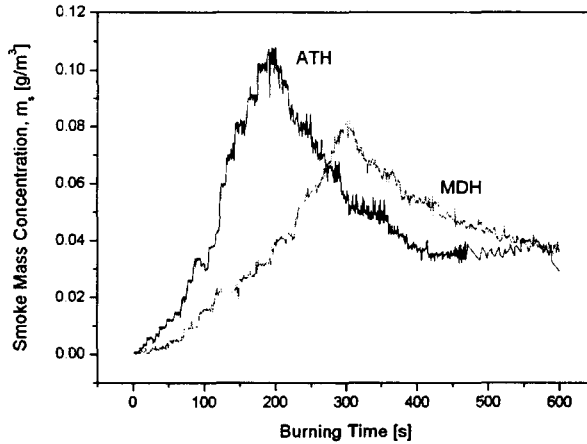


Fig. 2. The behavior of smoke mass concentration for PP.

실험방법은 JIS K 7228 및 KS M 3047의 플라스틱의 연기 농도 및 연소 가스의 측정 방법의 규격을 이용하여 측정하였고, 보다 실험의 정확성을 기하기 위하여 연기가 없는 상태에서 영점을 조정한 후, chamber 내의 연기 교반기를 작동시킨 후 연기 농도를 측정하였다. 또한 시험개시온도는 600°C로 하였으며, 가열로에 의한 가열은 유열 연소 상태의 종료 시점까지 이루어졌고, 감광계수가 평형에 도달한 상태를 연소의 종료 시점으

로 정의하였으며, 시정수는 0.5ms로 설정하여 측정값을 얻었다.

#### 4. 결과 및 고찰

PP에 대한 무기계 난연제의 난연 특성을 smoke mass concentration으로 나타내어 Fig. 2에 제시하였다. 결과를 살펴 보면, PP에 있어서 무기계 난연제의 난연 특성은 ATH가 난연 효과가 더 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 할로겐 난연제의 경우는 TCP가 TPP보다 난연 효과가 더 뛰어났으며, 인계 난연제의 경우는 TCPP가 AP보다 더 뛰어난 것으로 결과가 나타났다. 난연효과가 뛰어난 난연제일수록 smoke mass concentration가 더 큰 값을 나타내었는데, 이는 난연제에 의한 연소방해작용에 의하여 불완전연소에 의한 연기 발생량이 많기 때문인 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 열가소성수지들을 대상으로 smoke mass concentration을 측정함으로써 플라스틱의 난연제의 난연효과를 평가하는데 기초 자료로서 제시하고자 할로겐계, 인계, 무기계 난연제의 난연효과를 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) PP의 경우, TCP, TCPP, ATH가 난연효과가 뛰어났다.
- 2) PS의 경우, TCP, TPP, ATH가 난연효과가 뛰어났다.

#### 참고문헌

- 1) J.F. Widmann, J.C. Yang, T.J. Smith, S.L. Manzello, G.W. Mulholland, "Measurement of the Optical Extinction Coefficients of Post-flame Soot in the Infrared", Combustion and Flame, Vol. 134, pp. 119 ~ 219, 2003.
- 2) 최성수, 임완빈, 김진홍, 황영애, 우제완, "인 및 할로겐 함유 EPDM 고무 혼합물의 난연 특성에 관한 연구", Elastomer, Vol. 37, No. 4, pp. 224 ~ 233, 2002.
- 3) A.R. Horrocks, D. Price, Fire Retardant Materials, CRC Press, pp. 300 ~ 307, 2000.
- 4) G.W. Mulholland, E.L. Johnsson, D.A. Shear, M.G. Fernandez, "Design and Testing of a New Smoke Concentration Meter", NIST Annual Conference on Fire Research, pp. 27 ~ 28, 1998.
- 5) G.W. Mulholland, C. Croarkin, "Specific Extinction Coefficient of Flame Generated Smoke", Fire and Materials, Vol. 24, pp. 227 ~ 230, 2000.