

**A-02**

## 폴리프로필렌의 화재위험 특성

이근원, 김관용, 이두형\*

한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 방재시험연구원\*

### Fire Risk Characteristics of Polypropylene

Keun-Won Lee, Kwan-Eung Kim, Doo-Hyung Lee\*

*Occupational Safety & Health Institute, Fire Insurers Laboratories of Korea\**

#### 1. 서론

산업현장에서는 건물, 설비 등에 폴리프로필렌, 폴리염화비닐 등과 같은 다양한 종류의 플라스틱 제품을 많이 사용하고 있다. 이들은 착화 및 연소속도가 빠르고 연소시 유독사스를 다량 발생시켜 심각한 재산 및 인명피해를 초래하고 있다. 플라스틱류 재료가 화재 조건에 노출되었을 때 야기되는 위험성을 크게 착화성, 열방출률, 화재의 전파 및 유해성 연소가스의 방출 등으로 평가하고 있다. 외부 열원에 의한 재료의 착화 및 열방출은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미치고 있어 정확한 열방출율의 측정은 화재안전 측면에서 매우 중요한 요소로서 인식되고 있다. 선진국에서는 플라스틱 재료들의 화재위험성을 파악하기 위하여 콘칼로리미터를 이용한 착화성, 열방출율 및 연소가스분석 등에 관한 연구가 많이 수행되고 있다. 콘칼로리미터는 실제 화재조건을 가장 잘 모사한 방법으로 평가받고 있으며, 종합적인 화재위험 측정이 가능하다. 그러나, 국내에서는 콘칼로리미터를 이용한 플라스틱류의 연소특성 규명이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 산업현장에서 많이 사용되고 있는 플라스틱류에 대해 다양한 연소조건 하에서 콘칼로리미터를 이용한 열방출 실험과 연소가스의 유해성 실험을 통해 플라스틱류의 화재위험 특성 및 유해성 자료를 제시하여 인명과 재산피해를 최소화시킬 수 있는 예방 대책을 수립하고자 하는데 있다.

#### 2 실험

실험에 사용된 실험재료는 폴리프로필렌으로 같은 용도의 3개사 제품을 선택하였으며, 그 재료의 상세한 명세는 Table 1에 나타내었다.

착화온도 측정을 위한 실험장치로 발화온도시험기(미국, ATLAS사 Setchkin self-ignition tester CS-81)를 사용하였으며, 실험방법은 ASTM D 1929<sup>2)</sup>, ISO 871<sup>3)</sup> 기준을 적용하여 실

시하였다. 착화시간(Time to Ignition, TTI)과 열방출 특성 실험은 Cone Calorimeter(미국, ATLAS사의 AUTOCAL, Model: CONE 2A)를 사용하였다(Fig. 1 참조). 플라스틱 재료의 열방출율, 착화시간 등을 측정하기 실험방법은 ISO 5660<sup>4)</sup>을 적용하였다.

Table 1. Specification of experimental materials

Materials	Composition	Thickness (mm)	Density(kg/m <sup>3</sup> )
Polypropylene	A Co.	PP : 100 %	884
	B Co.	PP : 100 %	882
	C Co.	PP : 100 %	947

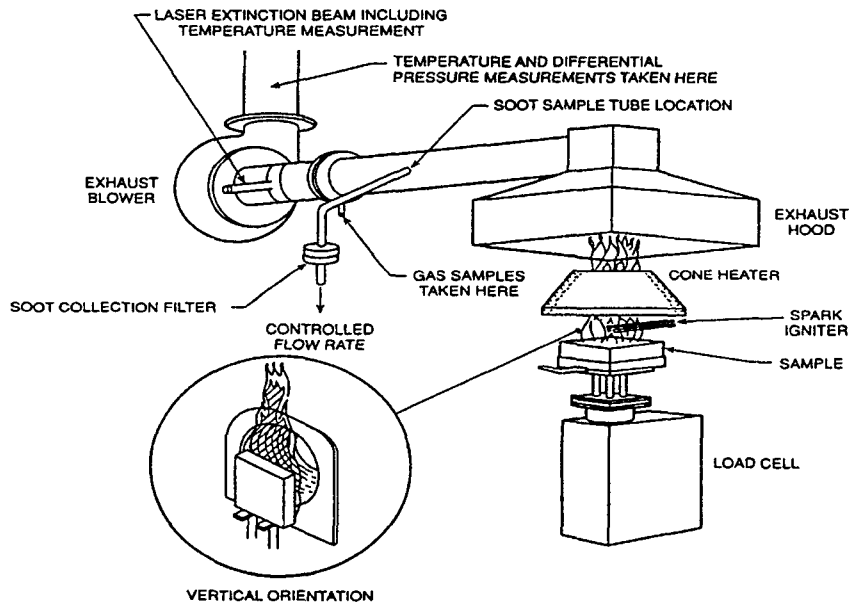


Fig. 1. Schematic apparatus of cone calorimeter

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 착화온도(Ignition Temperature)

실험에 선택된 폴리프로필렌의 착화온도 측정결과를 Table 2에 나타내었다. 폴리프로필렌의 자동착화온도(SIT)는 432-440°C이었으며, 불꽃착화온도는 345-352°C이었다. 폴리프로

로필렌의 SIT가 FIT에 비하여 약 88°C 정도 높은 것으로 나타났다. 이 결과로 점화원이 존재할 때에는 더욱 낮은 온도에서도 착화가 가능하다는 사실을 알 수 있었다. 각 제품별로 밀도에 따른 착화온도의 차이는 별로 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 낮은 온도에서 착화에 필요한 충분한 양의 가연성 가스를 발생하지 못하였기 때문으로 판단된다.

Table 2. Ignition temperature of the polypropylene

Materials	Self-Ignition Temperature (SIT, °C)			Average (°C)	Flash-ignition temperature (FIT, °C)			Average (°C)	
	run 1	run 2	run 3		run 1	run 2	run 3		
	PP	A	435		440	435	437		345
	B	440	435	445	440	350	350	355	352
	C	430	435	430	432	345	350	345	347

### 3.2 착화시간(Time to Ignition, TTI)

폴리프로필렌의 착화시간을 heat flux에 따른 실험결과를 Table 3에 나타내었다. 폴리프로필렌이 25 kW/m<sup>2</sup>의 Heat Flux에서는 착화시간이 상대적으로 길었으나 Heat Flux가 35 kW/m<sup>2</sup>과 50 kW/m<sup>2</sup>으로 증가함에 따라 착화시간이 급격하게 짧아지는 경향을 나타내었다. Heat Flux가 25 kW/m<sup>2</sup>에서 35 kW/m<sup>2</sup>로 증가함에 따라 폴리프로필렌(P.P)의 착화시간은 약 1.7~1.8배 정도, Heat Flux가 35 kW/m<sup>2</sup>에서 50 kW/m<sup>2</sup> 증가했을 때 폴리프로필렌(PP)의 착화시간은 약 1.8배 정도 짧아졌다.

Table 3. Time to ignition of the polypropylene

Materials	Time to ignition (sec)									
	25kW/m <sup>2</sup>			35kW/m <sup>2</sup>			50kW/m <sup>2</sup>			
	run 1	run 2	average	run 1	run 2	average	run 1	run 2	average	
PP	A	111.4	114.1	112.7	62.9	66.5	64.7	34.1	33.9	34.0
	B	111.4	110.9	111.1	61.9	57.4	59.6	32.5	32.9	32.7
	C	114.0	115.2	114.6	60.5	67.5	64.0	33.3	33.1	33.2

### 3.3 열 방출율(Heat Release Rate, HRR)

#### (1) 최대 열방출율(Peak Heat Release Rate, PHRR)

각 heat flux 조건에서 폴리프로필렌의 경우를 Table 4에 나타내었다. 폴리프로필렌에 가해지는 외부의 Heat Flux가 증가함에 따라 실험재료의 최대 열방출율이 커지는 것으로 나

타났다. 또한 25 kW/m<sup>2</sup>, 35 kW/m<sup>2</sup>, 50 kW/m<sup>2</sup>의 Heat Flux 조건에서 밀도의 변화에 따라 최대 열방출율이 어떤 경향성이 없었다. 이는 재료의 밀도가 큰 차이가 없기 때문인 것으로 사료된다.

**Table 4. Peak heat release rate of polypropylene**

Materials		Peak heat release rate(kW/m <sup>2</sup> )								
		25kW/m <sup>2</sup>			35kW/m <sup>2</sup>			50kW/m <sup>2</sup>		
		run 1	run 2	average	run 1	run 2	average	run 1	run 2	average
PP	A	362.1	414.7	388.4	505.5	421.5	463.5	710.4	672.5	691.4
	B	356.2	384.8	370.5	494.2	571.7	532.9	692.3	631.1	661.7
	C	384.4	458.8	421.6	513.5	496.2	504.8	631.9	766.1	699.0

(2) 총방출열량(Total Heat Released, THR)

총방출열량은 각 실험에서 실험재료의 연소로 인해 방출된 총열량으로서 시료표면적당 시간에 대한 함수로 표현되는 열방출율(HRR) 값들을 적분하여 구한다. 본 연구에서는 20 분간의 실험시간에 대하여 계산된 값이며, 폴리프로필렌에 대한 실험결과를 Table 5에 나타내었다. 각 실험재료의 밀도가 증가함에 따라 대체적으로 총방출열량도 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 실험재료가 일단 착화되면 지속적으로 연소 되므로 밀도가 클수록 연소되는 단열재 질량이 커진다고 할 수 있으므로 총방출열량도 증가하는 것으로 판단된다.

**Table 5. Total heat released of polypropylene**

Materials		Total heat release rate(kW/m <sup>2</sup> )								
		25kW/m <sup>2</sup>			35kW/m <sup>2</sup>			50kW/m <sup>2</sup>		
		run 1	run 2	average	run 1	run 2	average	run 1	run 2	average
PP	A	46.5	76.9	61.7	67.2	81.3	74.2	83.3	84.9	84.1
	B	39.6	48.6	44.1	49.4	68.0	58.7	87.6	79.5	83.5
	C	50.4	80.4	65.4	89.5	86.8	88.1	89.9	104.5	97.2

**3.4 가스유해성**

재료의 가스 유해성은 발생된 가스의 개별적인 분석을 통해 연소가스의 특성을 평가할 수 있으나, 결별적인 실험은 가스 분석에 따른 소요비용이 비싸고, 분석시 실재 화재조건

으로 평가하기 어렵다. 따라서, 한국과 일본에서는 연소가스의 유해성을 실제 연소조건에서 마우스의 행동정지시간으로 평가하고 있다. 본 연구에서는 폴리프로필렌에 대해 KS F 2271에 따른 가스유해성 실험을 실시한 결과를 Table 6에 나타내었으며, 이는 한번의 실험에 사용되는 여덟마리 마우스 각각의 행동정지시간을 나타낸다.

KS F 2271에 따르면 가스 유해성 기준은 실험결과에서 각각의 마우스 행동정지 시간의 값이 9분 보다 클 경우 합격으로 한다. 본 연구에서 사용한 폴리프로필렌의 경우는 가스 유해성으로 인한 마우스의 행동정지 시간이 9분 보다 더 행동한 것으로 관측되었다.

Table 6. Activity stop time of mouse from polypropylene combustion gas

Materials		Average	Standard deviation	Activity stop time of mouse
PP	A	12분32초	14초	12분18초
		12분30초	17초	12분13초
	B	12분23초	08초	12분15초
		11분41초	26초	11분15초
	C	12분51초	22초	12분29초
		12분35초	16초	12분19초

#### 4. 결론 및 제언

폴리프로필렌의 착화성과 화재위험 특성을 측정·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폴리프로필렌의 자동착화온도(SIT)는 432-440°C이었으며, 불꽃착화온도는 345-352°C이었다. 폴리프로필렌의 SIT가 FIT에 비하여 약 88°C 정도 높은 것으로 나타났다.

2) 착화시간은 Heat Flux가 25 kW/m<sup>2</sup>에서 35 kW/m<sup>2</sup>로 증가함에 따라 폴리프로필렌(P.P)의 착화시간은 약 1.7~1.8배 정도, Heat Flux가 35 kW/m<sup>2</sup>에서 50 kW/m<sup>2</sup> 증가했을 때 폴리프로필렌(PP)의 착화시간은 약 1.8배 정도 짧아졌다.

3) 폴리프로필렌에 가해지는 외부의 Heat Flux가 증가함에 따라 실험재료의 최대 열방출율이 커지는 것으로 나타났다. 또한 25 kW/m<sup>2</sup>, 35 kW/m<sup>2</sup>, 50 kW/m<sup>2</sup>의 Heat Flux 조건에서 밀도의 변화에 따라 최대 열방출율이 어떤 경향성이 없었다. 각 실험재료의 밀도가 증가함에 따라 대체적으로 총방출열량도 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

4) KS F 2271에 따르면 가스 유해성 기준은 마우스의 행동정지 시간이 9분 보다 클 경우를 합격으로 판정하고 있으며, 폴리프로필렌의 경우는 9분 이상 더 행동한 것으로 관측되었다.

착화시간 및 열방출율 데이터를 이용하여 플래쉬오버 가능성이나 화재성능 지수의 판

단으로 재료의 화재위험 특성을 파악하는 다각적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. G. Gallina, et al., "Application of Cone Calorimeter for the Assessment of Class of Flame Retardant for polypropylene", Fire and Materials, Vol.22, pp. 15-18(1998).
2. U. Sorathia et al., "Screening Tests for Fire Safety of Composites for Marine Applications", Fire and Materials, Vol.25, pp.215-222(2001).
3. ASTM D 1929, Standard Test Method for Ignition Properties of Plastics, ASTM, Philadelphia, 1991.
4. ISO 871, Plastics-Determination of ignition temperature using hot-air furnace, Generer, 1996.
5. ISO 5660, Reaction to Fire Part 1. Rate of Heat Release from building products (Cone Calorimeter), Generer, 1993.