

# 배관 보온필름의 화재특성에 관한 연구

이 영 삼\* · 이 장 원\*\* · 이 동 호\*\*\*

\*인천대학교 대학원 안전공학과 · \*\*소방산업기술원 · \*\*\*인천대학교 소방방재연구센터

## A Study on the fire characteristic of pipe insulation film materials

Young-Sam Lee\* · Jang-Won Lee\*\* · Dong-Ho Rie\*\*\*

\*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

\*\*Korea Fire Institute of Industry & Technology

\*\*\*Fire Disaster Prevention Research Center, University of Incheon

### Abstract

This study was performed to test the combustive properties of the pipe insulation materials which are mainly used in the industries and buildings. Fire characteristic test of pipe insulation film according to the KS F ISO 5660-1 was performed. The experimental materials commonly used in the pipe insulation were used four kinds of films. Two kinds of 4 types of products that have the flame retardant performance and the other two types of them have no flame retardant performance. They were selected for fire characteristic test. The result of finding 25kW/m<sup>2</sup> radiation from the ignition was that flame retardant products were 140sec and the other one were 69sec in average of heat release rate(HRR). The result of flame retardant products in the 50kW/m<sup>2</sup> was 34sec and the other one were 15sec in average of HRR. However, the HRR of flame retardant products was much higher than the other one. Flame propagation test was conducted according to the KOFEIS 1001. The result of flame retardant products was that flame retardant products had a hold without fire spread after firing them. But the other one were completely fired after firing them. Therefore, I want to recommend that flame retardant products need to be used by the regulation to prevent or decrease a fire spread.

**Keywords** : Pipe insulation film, Heat release rate(HRR)

### 1. 서 론

산업 및 도시의 발달로 인해 산업시설은 대단위 규모로 건설되고 있고, 건물은 고층화 되고 있다. 이러한 시설에 화재발생 시 사용되고 있는 석유화학제품에 의한 열이나 연기의 급속한 확산으로 인해 인명 및 재산의 피해가 급격히 증가하고 있는 실정이다.1)

석유화학제품 중 가장 다양한 용도로 다량 사용되고 있는 것이 에틸렌이다. 에틸렌은 고압법 폴리에틸렌,

중·저압법 폴리에틸렌, 염화비닐단위체, 에틸렌옥사이드, 아세트알데히드, 스티렌단위체 등에 쓰인다. 이들은 또한 폴리에틸렌과 같이 중합된 채로 성형가공하는 것도 있으나 대부분은 여러 단계를 거치게 하거나 혼성 중합시켜 합성수지·합성섬유·가소제·세제 등의 최종 제품을 만든다.2)

화학제품은 화재 시 급격하게 착화하여 화재를 확대시킨다. 따라서 이러한 화학제품 내장재의 화재특성을 분석하기 위해 국·내외적으로 많은 연구가 진행 되었다.

† 교신저자: 이동호 교수, 인천광역시 연수구 송도동 12-1

M · P: 032-835-8293 E-mail : riedh@incheon.ac.kr

2012년 3월 13일 접수; 2012년 6월 11일 수정본 접수; 2012년 6월 11일 게재확정

콘칼로리미터(Cone Calorimeter)를 이용한 재료의 화재위험성 평가와 관련된 연구를 살펴보면, 이근원 외3)에 의해 “콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재특성”, 공영건 외4)에 의해 “경질 폴리우레탄폼의 착화성 및 열방출을 특성연구” 등의 연구가 진행되었고 45도 연소시험기를 이용한 재료의 연소실험과 관련된 연구를 살펴보면, 박호천 외5)에 의해 “민속마을 초가집의 방염에 의한 화재확산방지” 등의 연구가 진행되었다.



[Figure 1] Insulation film at the industry and building

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 배관보온 단열재에 주로 사용되고 있는 보온필름을 대상으로 화재특성을 분석하였다. 이러한 배관 보온필름은 건축물에서 상층부로 화재확대의 주요원인이 되고, 산업시설에서는 배관을 타고 전체시설로 확대된다. 따라서 배관 보온필름의 화재특성을 분석하기 위해 콘칼로리미터와 45도 연소실험을 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험시료

보온필름의 주요성분은 PVC이다. PVC는 열가소성 플라스틱의 하나로 ‘폴리염화비닐’, ‘염화비닐수지’라고도 한다.

플라스틱의 대표적인 PVC소재는 원래 딱딱한 물질로 프탈산계(Phthalate, DEHP, DINP, DBP 등) 가소제나 아디핀산계(Adipates, DHEA 등) 가소제를 사용하여 유연성과 탄력성을 높인 뒤 제품화된다.

<Table 1> Property of sample material

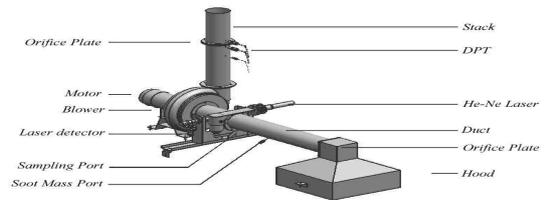
Sample	Quality of the material		Remark
	Ingredient	Thickness	
A	PVC	0.15mm	
B	PVC	0.15mm	
C	PVC+Others	0.15mm	Flame retardant
D	PVC+Others	0.15mm	Flame retardant

본 실험에서 사용된 보온필름의 종류는 Table 1과 같이 4종류로 구분된다. A와 B Type은 비난연성 제품의 재료이고 C와 D Type은 난연성 제품의 재료이다.

## 2.2 실험장치 및 방법

### 2.2.1 콘칼로리미터

본 실험은 ISO 5660-16 시험방법을 기준으로 국내 FESTECS사에서 제작한 콘칼로리미터를 사용하여 실험 재료의 착화시간(Time to ignition) 및 열방출률(Heat release rate) 등의 화재특성을 측정하였다. 본 기기는 콘히터, 무게측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 연기유량측정장치, 점화장치, 열플럭스미터(Heat Flux meter), 교정용 버너 및 데이터 수집 분석시스템 등으로 구성되어 있으며, 실험장치 구성의 개략도는 Fig. 2와 같다.



[Figure 2] Schematic diagram of cone calorimeter

실험방법은 시료를 가로 세로 각각 100mm×100mm 크기로 콘칼로리미터 실험 기준에 따라 준비하였고, 시편은 0.03-0.05mm의 알루미늄 호일로 중앙에 놓았으며 바닥면과 측면을 감싸고 콘히터(Cone heater)와 시편 사이의 거리는 25mm로 유지하였다. 시험에 앞서 산소분석기의 산소농도가 20.95±0.01%가 되도록 교정하였고 배출 송풍기를 켜고 배출유량(Exhaust flow)을 24 ℓ/s로 설정하였으며 실험을 하는 동안 가스의 유량과

농도를 확인하여 초기 조건이 유지되도록 하였다. 준비된 시편과 시편홀더를 질량측정장치 위에 놓고 실험을 개시하였다. 인화 또는 일시적인 불꽃연소가 일어나면 그 시간 때를 기록한다. 또한 지속적인 불꽃이 진행되면 점화장치를 제거한다. 만일 불꽃이 꺼지면 점화기를 재 삽입 한다. 실험하는 동안 필요한 데이터를 수집하고 수집이 완료되면 시편과 시편홀더를 제거한다. 또한 열유속(Heat Flux)는 25kW/m<sup>2</sup>, 50kW/m<sup>2</sup>의 복사열에 노출시켜 착화시부터 모든 연소가 종료될 때까지 실시하였다.

실험시료인 필름은 두께가 0.15mm 내·외로 얇아 발열량 시험시 연소속도가 빨라 분석에 어려움이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 콘칼로리미터 실험기준(ISO 5660-1)에 따라 재료를 6mm 두께로 만들어 실험을 하였다.

2.2.2 45도 연소시험기

본 실험장치는 연소방법에 의한 방염 제품의 방염성능 기준의 부합 여부를 측정하는 장치로서 45°로 장착된 시험시편의 연소특성을 측정할 수 있는 장치이다. 실험장치 구성의 개략도는 Fig. 3과 같다.



[Figure 3] Fire tester for flame propagation

실험방법은 방염성능의 기준(KOFEIS 1001/7)에 의거하여 얇은 포 기준(1m<sup>2</sup>의 중량이 450g이하)을 적용하여 잔염시간(초), 잔신시간(초), 탄화면 적(cm), 탄화길이(cm)을 측정하였고 접염횟수 3회 이상을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 콘칼로리미터 시험

보온필름 4종에 대하여 콘칼로리미터 실험을 실시하였으며, 실험 전·후의 시편에 대한 결과를 아래 Table 2에 각각 사진을 포함하여 나타내었다.

<Table 2> Specimen before and after conecalorim-eter test

Sample	Before	After 25kW/m <sup>2</sup>	After 50kW/m <sup>2</sup>
A			
B			
C			
D			

비난연제품 A, B의 경우는 거의 대부분 소실이 되어 잔재물이 남지 않았으나, 난연제품 C, D의 경우는 비난연제품과 달리 대부분의 잔재물이 남아 있었다.

3.2 착화시간(Time to ignition, TTI)

착화시간은 복사열에 노출된 시험체가 착화되기 위한 필요 충분 조건을 만족하여 가연성 증기를 발생시켰을 때, 콘칼로리미터에 설치된 스파크 점화기의 불꽃에 의해 착화되어 불꽃연소가 지속 되는 시간을 의미한다.8) 본 연구에서는 25kW/m<sup>2</sup>와 50kW/m<sup>2</sup>의 복사열을 이용하여 열에 노출된 보온필름에 대한 착화시간을 측정하였다. Table 3은 각각 복사열에 대한 착화시간을 나타낸다.

<Table 3> Time to ignition of insulation film

Sample	Time to ignition(sec)		Remark
	25kW/m <sup>2</sup>	50kW/m <sup>2</sup>	
A	82	18	
B	56	12	
C	114	22	Flame retardant
D	166	46	Flame retardant

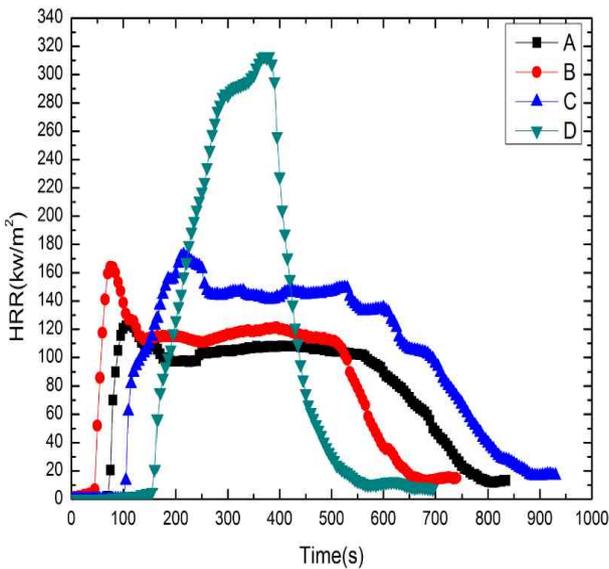
<Table 3>과 같이 25kW/m<sup>2</sup>, 50kW/m<sup>2</sup>의 복사열로 배관 보온필름의 착화시간을 측정하였다.

난연성능 유·무에 따른 영향을 살펴보면 25 kW/m<sup>2</sup>의 Heat flux 경우 난연성능이 있는 제품은 난연성능이 없는 제품보다 착화시간이 길게 나타났다. 특히 D제품의 경우 난연성능이 우수하여 착화시간이 166초로 매우 길게 나타났다. 고온인 50kW/m<sup>2</sup>의 Heat flux 경우 난연성능이 있는 제품과 없는 제품 간에 큰 차이가 없었으나 D제품은 46초로 우수하게 나왔다.

### 3.3 열방출률(Heat release rate, HRR)

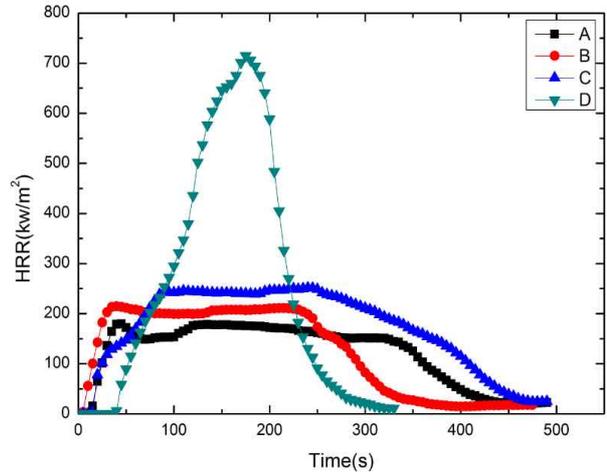
일반적으로 열방출률은 화재가 발생하는 동안 주어진 시간의 한 점에서 순간적으로 방출된 열량을 말한다. 또한 열방출률은 실험재료에서 에너지가 얼마나 빨리 방출되어지는지를 알 수 있다.9)

열방출률은 Fig. 4의 그래프를 보면, 25kW/m<sup>2</sup>의 낮은 Heat flux에 의해 보온필름이 점화가 되어 연소가 진행되다가 100초경에 급격하게 상승한 후 완만하게 하강하였다. 그러나 D제품의 경우 열방출률이 320kW/m<sup>2</sup>으로 실험대상 중 가장 높았고 또한 열방출시간도 647초로 가장 낮았다.



[Figure 4] Heat release rate at 25kW/m<sup>2</sup>

Fig. 5의 50kW/m<sup>2</sup> 실험의 경우 25kW/m<sup>2</sup> 실험보다 높은 Heat flux에 의해 연소가 빠르게 진행되었으나 결과는 거의 대등소요하게 나왔다. 따라서 실험결과 난연성능이 우수할수록 착화지연효과는 우수하나 열방출률은 비난연제품보다 높다는 것을 알 수 있었다.



[Figure 5] Heat release rate at 50kW/m<sup>2</sup>

### 3.4 45도 연소실험(45 degree flame propagation test)

연소실험은 얇은 포의 방염성능기준에 따라 잔염시간, 잔신시간, 탄화면적, 탄화길이의 실험결과를 Table 4, 5에 나타냈다.

잔염시간은 비난연제품의 경우 A는 평균 9.7초이고 B는 56초로 기준인 3초 이내를 초과하였고 난연제품인 C와 D는 열에 의해 녹았으나 연소는 진행되지 않았다.

<Table 4> Results of flame propagation test

Sample	Number of times	Results of Test				Remark
		After glow(s)	After flame(s)	Square(cm <sup>2</sup> )	Length(cm)	
A	1	9.8	△	△	△	△ : completely fired
	2	8.2	△	△	△	
	3	11.2	△	△	△	
B	1	7.2	△	△	△	△ : completely fired
	2	4.5	△	△	△	
	3	5.1	△	△	△	
C	1	□	□	12.9	4.6	□ : No Flame
	2	□	□	14.4	4.7	
	3	□	□	16.3	5.4	
D	1	□	□	7.1	3.6	□ : No Flame
	2	□	□	8.3	3.9	
	3	□	□	6.6	3.8	

<Table 5> Specimen after flame propagation test

Sample	After flame propagation	Remark
A		
B		
C		Flame retardant
D		Flame retardant

잔신시간은 비난연제품의 경우 A와 B는 법적기준인 5초 이내를 벗어나 전소되었고 난연제품인 C와 D는 열에 의해 녹았으나 연소는 진행되지 않았다.

탄화면적은 비난연제품의 경우 기준인 30cm<sup>2</sup> 이내를 벗어나 전소되었고 난연제품인 C는 평균 14.5cm<sup>2</sup>이고 D는 7.3cm<sup>2</sup>으로 기준인 30cm<sup>2</sup>를 초과하지 않았다.

탄화길이는 비난연제품의 경우 A와 B는 기준인 20cm 이내를 벗어나 전소되었고 난연제품인 C는 평균 4.9cm이고 D는 3.8cm로 기준인 20 cm를 초과하지 않았다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 착화시간의 경우 25kW/m<sup>2</sup>의 복사열에서 난연성능이 있는 제품이 난연성능이 없는 제품보다 길게 나타났다. 특히 D제품의 경우 난연성능이 우수하여 착화시간이 166초로 매우 길게 나타났다. 고온인 50kW/m<sup>2</sup>의 Heat flux 경우 난연성능이 있는 제품과 없는 제품 간에 큰 차이가 없었으나 D제품은 46초로 우수하게 나왔다.

2. 열방출률은 25kW/m<sup>2</sup> 실험의 경우 보온필름에 점화가 되어 연소가 진행되다가 100초경에 급격하게 상승한 후 완만하게 하강하였다. 50kW/m<sup>2</sup> 실험의 경우 25kW/m<sup>2</sup> 실험보다 높은 Heat flux에 의해 연소가 빠르게 진행되었으나 결과는 거의 대등소요하게 나왔다. 하

지만 난연성능이 우수한 D제품의 경우 열방출률이 25kW/m<sup>2</sup> 실험에서 320kW/m<sup>2</sup>으로 나왔고 50kW/m<sup>2</sup> 실험에서 700kW/m<sup>2</sup>으로 나와 타제품 보다 높다는 단점을 확인할 수 있었다.

3. 45도 연소실험은 얇은 포의 방염성능기준에 따라 잔염시간, 잔신시간, 탄화면적, 탄화길이의 실험을 하였다. 결과의 차이는 난연제품은 녹아서 천공만 생겼을 뿐 연소확대가 일어나지 않았고 비난연제품은 점화와 동시에 전소가 되었다.

4. 본 실험결과 난연제품이 화염전파 억제효과가 있었다. 단순히 배관동과를 방지하기 위해 보온제품 사용을 규제하기 보다는 연소확대 방지를 위해 난연제품의 사용에 대한 법적규제도 필요하다고 사료된다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] 임용진, “초고층건물에서의 대피방법에 관한 연구 (국·내외 초고층 건물의 사례를 중심으로)” 연세대학교 대학원 석사학위논문, 2007.
- [2] 박정환, 석유화학공업, 동화기술, 2010.
- [3] 이근원, 김관용, “콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재특성”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.17, No.1, pp.76-83(2003).
- [4] 공영건, 이두형, “경질 폴리우레탄폼의 착화성 및 열방출특성 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.17, No.4, pp.117-123(2003).
- [5] 박호진, 김황진, 이승현, 이성은, 오규형, “민속마을 추가집의 방염에 의한 화재확산방지”, 한국화재소방학회논문지, Vol.24, No.3, pp.52-57(2010).
- [6] ISO 5660-1, “Reaction to fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 1 : Heat release rate (cone calorimeter method)”.
- [7] 한국소방산업기술연구원, “방염성능의 기준 및 시험세척”, KOFES 1001.
- [8] Brian T. Rhodes James G. Quintiere, “Burning rate and flame heat flux for PMMA” in a cone calorimeter, Fire Safety Journal Volume 26, Issue 3, Pages 221-240(April 1996).
- [9] M.M. Hirschler, “Heat Release from Plastic Materials”, in Heat Release in Fires, V. Babrauskas and S.J. Grayson eds., Elsevier Applied Science, London and New York, Pages 373-422(1992).

## 저 자 소 개

## 이 영 삼



현재 인천대학교 대학원 안전공  
학과 박사과정 중  
관심분야 : 화재 일반

주소: 인천광역시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 안전  
공학과

## 이 동 호



현재 인천대학교 안전공학과 교수  
관심분야 : 화재 일반

주소: 인천광역시 연수구 송도동 12-1 인천대학교 8호관  
C동 351호

## 이 장 원



현재 소방산업기술원 산업지원본  
부장  
관심분야 : 포소화약제, 연소공학

주소: 경기도 용인시 기흥구 지삼로 331 제 1연구동