



페놀 폼과 폴리우레탄 폼의 난연 및 내열성 연구

이주찬* · 서증석* · †김상범

*한국원자력연구원 핵주기시스템공학기술개발부, 경기대학교 화학공학과
(2013년 1월 14일 접수, 2013년 2월 20일 수정, 2013년 2월 20일 채택)

Study on Flame Retardancy and Thermal Resistance Properties of Phenolic Foam and Polyurethane Foam

Ju-Chan Lee* · Jung-Seok Seo* · †Sang Bum Kim

Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, Suwon 449-760, Korea

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 305-353, Korea

(Received January 14, 2012; Revised February 20, 2013; Accepted February 20, 2013)

요약

본 연구에서는 페놀 폼의 난연성을 증가시키기 위하여 널리 사용되고 있는 인계 난연제의 첨가에 따른 페놀 폼과 폴리우레탄 폼의 난연 성능을 비교 평가하였다. 난연제가 첨가된 페놀 폼과 폴리우레탄 폼을 각각 열분석(TGA)을 통하여 열분해 거동을 알아보고 Cone calorimeter를 이용하여 열방출량(HRR), 연기발생량(TSR) 및 CO 및 CO₂ 발생량과 산소한계지수(Limited oxygen index, LOI)를 통하여 난연성능을 평가하였다. 실험 결과 페놀 폼이 폴리우레탄 폼에 비해 초기 분해는 빠르지만 800°C에서 잔존량이 월등히 많았으며 낮은 열방출속도 값을 나타내었다. 또한 질량 감소율, 연기발생량도 폴리우레탄 폼보다 낮아 우수한 난연성능을 가지는 것을 알 수 있다.

Abstract - In this study, flame retardancy of polyurethane foam and phenolic foam were investigated by addition of phosphorous flame retardants. The thermal degradation behavior of polyurethane foam and phenolic foam in the presence of flame retardants has been studied by thermogravimetric analysis(TGA). Heat release rate(HRR), mean HRR, mass loss rate(MLR), total smoke released(TSR) and limited oxygen index(LOI) were tested by cone calorimeter. From the test results, Phenolic foam showed low HRR, MLR and TSR than polyurethane foam.

Key words : phenolic resin polyurethane, flame retardancy, thermal resistance

1. 서론

폴리우레탄 폼은 매우 우수한 단열성능을 나타내고 있는 단열재이다. 본 연구에서는 열 중량분석과 콘 칼로리미터 분석을 수행하여 새로이 개발되는 페놀 폼과 폴리우레탄 폼의 내열성능 및 난연 성능을 비교하였다.

또한 난연성능 향상을 위해 널리 사용되고 있는 4 ~ 5종의 난연제를 페놀 폼과 폴리우레탄 폼에 각각 첨가하여 난연제에 따른 내열성 및 난연성능 변

화를 고찰 하였다.

할로젠계 난연제를 대체하는 난연제로 인계 난연제가 가장 촉망받고 있다. 인 화합물의 주된 난연 메커니즘은 기상과 고상에서 동시에 작용하는 것으로 알려져 있으며 열분해에 의해 생성되는 인산에 의한 탈수 및 탄화작용과 인 함유 라디칼의 수소 및 히드록시 라디칼 포획작용이 난연에 기인한다. 특히 페놀 폼은 주 사슬에 벤젠고리가 함유되어 있어서 연소 시 char 형성이 용이하여 유용한 난연 메커니즘을 가지고 있다.

인계 난연제의 성능은 난연제 내의 인 함량에 따라 좌우되는데 일반적으로 인 함량이 높을수록 난연성능이 우수한 것으로 알려져 있다. 특히 인과 질소

†Corresponding author:ksb@kgu.ac.kr

는 char의 형성을 증가시켜 난연 성능에 있어서 시너지 효과가 나타나기 때문에 인 함량 증가와 인-질소의 복합화에 대한 연구가 활발히 진행되어지고 있다. M. Modesti 등은 인과 질소를 포함하는 폴리올을 합성하여 폴리우레탄 폼에 적용해 열분해 거동과 LOI를 측정된 결과 인 함량의 증가에 따라 높은 온도에서 많은 양의 char가 형성되어 난연성이 증가함을 확인하였다[1].

큰 칼로리미터는 산소소비율리를 이용한 시험 장치로서 고분자 재료, 건축재료, 항공기 및 선박용 내장재료, 케이블 등의 연소 특성을 평가하는데 사용된다. 큰 칼로리미터에 의한 시험방법은 국제규격(ISO, ASTM, NFTM, MIL 등)으로 채택되어 있으며 재료 및 제품의 열 방출율(Heat release rate), 유효연소열(Effective heat of combustion), 질량감소율(Mass loss rate), 연기발생량(Total smoke release) 등을 동시에 측정할 수 있다[2]. 열 방출량(HRR)은 화재의 성장과 전파에 직접적인 영향을 미치고 있어 화재 특성 평가 시 중요한 요소로서 인식되어지고 있다[3]. Lee[4] 등은 큰 칼로리미터를 이용하여 플라스틱 단일체의 화재특성에 대하여 연구하였고, Kramer, R.H[5]는 큰 칼로리미터를 이용하여 연질 폴리우레탄 폼의 열 방출과 구조변화에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 페놀 폼의 난연성을 증가시키기 위하여 널리 사용되고 있는 인계 난연제의 첨가에 따른 페놀 폼과 폴리우레탄 폼의 난연 성능을 비교 평가하였다. 난연제가 첨가된 페놀 폼과 폴리우레탄 폼을 각각 열분석(TGA)을 통하여 열분해 거동을 알아 보았고 Cone calorimeter를 이용하여 열방출량(HRR), 연기발생량(TSR) 및 CO 및 CO₂ 발생량과 산소한계지수(Limited oxygen index, LOI)를 통하여 난연 성능을 평가하였다.

II. 실험

2.1. 페놀 폼의 제조

페놀 폼 제조에 사용된 페놀수지는 한국 스미더스 오아시스에서 제공된 수지를 사용하였다. PE 발포점에 페놀수지, 유화제, 정포제를 넣고 액의 온도가 27 °C가 되도록 오븐에 넣는다. 액의 온도가 27 °C가 되면 1000 rpm으로 1 min 혼합하고 발포제를 첨가한 후 다시 1 min간 혼합한다. 경화제를 넣은 후 30초간 혼합하고 50 °C 오븐에 넣어 1시간 동안 경화시킨다.

2.2. 폴리우레탄 폼의 제조 및 시약

폴리우레탄 폼 제조에 사용된 폴리올은 KPX 케

미칼(사)의 작용기가 3이고 수산가가 각각 56.1, 30, 53인 폴리에스테르 폴리올(P-3022, FA-410, KE-878N)을 사용하였다. 이소시아네이트는 OCI 사의 NCO 함유량이 48.28%인 T-80 (2,4-Toluene diisocyanate 80%, 2,6-Toluene diisocyanate 20%)을 사용하였다. 계면활성제는 Air-Products 사의 실리콘계 계면활성제인 B-2470, 촉매는 Momentive 사의 아민계 촉매 A-1 (bis (2-dimethylamino ethyl) ether 70%, dipropylene glycol 30%), A-33(triethylenediamine 33%, dipropylene glycol 67%)와 주석계 촉매 T-9을 사용하였다. 그리고 발포제는 삼성정밀화학의 MC(Methylene Chloride)와 증류수를 사용하였다. 본 실험에 사용된 난연제로는 세림 TTC로부터 제공받은 CR-530 (phosphinyl alkyl phosphate ester), 현대하이켄으로부터 제공받은 RDP(Resorcinol bis diphenylphosphate), TEP(Triethyl phosphate), 다이하시사의 D880와 본 연구실에서 합성한 TBPU를 사용하였다. 난연제에 관한 정보는 Table 2에 나타내었다.

Table 3에 나타난 함량으로 폴리올(P-3022, FA-410, KE-878N), 계면활성제, 촉매(A-1, A-33, T-9), 증류수를 PE 컵에 넣고 충분히 교반하여 B액을 제조하였다. B액에 난연제를 첨가하고 다시 충분히 교반한 후 MC와 TDI를 넣고 10초간 교반하여 폴리우레탄 폼을 제조하였다. 제조한 폴리우레탄 폼은 24시간 동안 상온에서 보관하고 제단한 후에 물성을 측정하였다.

Table 1. Formulation of Phenolic Foam

Materials	Contents (g)
페놀수지	800
유화제	10
정포제	8
발포제	varied
산경화제	80

Table 2. Information of Flame Retardants

Flame retardant	Retardant element contents
CR-530	P 13%, Cl 29%
RDP	P 10.2%
TEP	P 17%
D880	P 14.8%
TBPU	P 27.7%

Table 3. Formulation of Polyurethane Foam (php)

materials (g)		PU	PU-CR530	PU-RDP	PU-TEP	PU-D880	PU- TBPU
Polyol	P-3022	40	40	40	40	40	40
	FA-410	40	40	40	40	40	40
	KE-878N	20	20	20	20	20	20
Flame retardant	CR-530	0	5	0	0	0	0
	RDP	0	0	5	0	0	0
	TEP	0	0	0	5	0	0
	D880	0	0	0	0	5	0
	TBPU	0	0	0	0	0	5
Surfactant	BF-2470	1	1	1	1	1	1
Amine catalyst	A-1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	A-33	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Tin catalyst	T-9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Blowing agent	water	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
	MC	9	9	9	9	9	9
Isocyanate	TDI	48	48	48	48	48	48

2.3. 열 안정성 측정

난연제의 종류에 따른 페놀 폼 및 폴리우레탄 폼의 열 안정성을 측정하기 위하여 NETZSCH의 STA-MS를 사용하여 질소분위기에서 승온속도 10°C/min에 따른 무게 감량을 측정하였다.

2.4. 콘 칼로리미터 측정(Cone Calorimeter) 측정

실험에 사용된 난연제의 종류에 따른 폼의 난연성을 측정하기 위하여 영국 FTT사의 dual-cone calorimeter를 이용하여 ISO 5660-1 시험 방법에 따라 실험을 진행하였다. 시편은 100 mm(W) × 100 mm(L) × 8 mm(T)크기로 준비하였으며, heat flux 50kW/m²의 조건하에서 각각 3회 측정하여 평균값을 취하여 시간의 경과에 따른 열 방출 속도(HRR), 총 열 발생량(THR), 유효연소열(EHC), 일산화탄소(CO) 및 이산화탄소(CO₂) 발생을, 질량 감소율(MLR) 및 연기 발생량(TSR)을 측정하였다.

발열량은 연소 시 소비되는 산소 소비량을 측정하여 발열량을 역으로 산출하는 것으로 일반적으로 연소 시 산소 1 kg당 약 13 MJ의 열방출을 한다고 가정하여 다음의 식을 이용하여 계산한다.

$$q(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_0}\right)(1.10)C\sqrt{\frac{\Delta P}{T_c}} \frac{X^o O_2 - X O_2}{1.105 - 1.5X O_2}$$

q(t)는 발열량(Heat release rate, HRR), Δh_c는 메탄의 순연소열, r₀는 양론적 산소/연료 질량비, C는 오리피스 유량계 교정상수, X^oO₂는 산소분석기 초기 값이고 X O₂는 산소분석기 측정 값이다.

2.5. 한계산소지수(Limited oxygen index, LOI) 측정

시료의 연소가 지속되기 위해 필요한 최소한의 산소농도를 의미하는 한계산소지수는 실험이 간편하고 명확한 화염 특성 값을 나타내는 실험으로 난연성을 평가하는 전통적인 기준의 하나로서 활용되어 왔다. 페스텍인테리너셔사의 LOI-2009를 이용하여 ISO 4589 시험 규격에 따라 실험을 진행하였다. 시편의 크기는 10 mm(W) × 10 mm(L) × 120 mm(T)로 하여 3회 평균값을 취하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 열 안정성

난연제의 종류에 따른 페놀 폼과 폴리우레탄 폼의

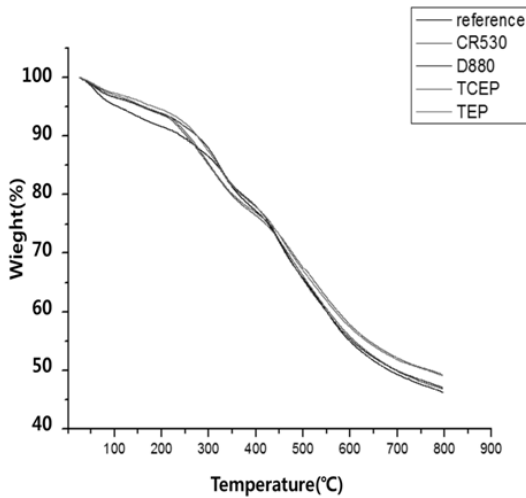


Fig. 1. TGA thermograms of Phenol foam with flame retardants.

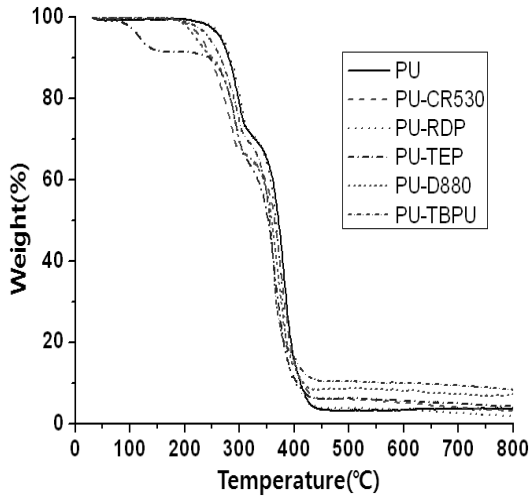


Fig. 2. TGA thermograms of PUF with flame retardants.

TGA를 통한 열분해 결과를 Figure 1과 Figure 2에 나타내었다. 난연제가 첨가되지 않은 폴리우레탄의 경우 254 °C에서 분해가 시작되고 280 °C에서 전체 중량의 10%가 감소한 반면, RDP를 제외한 나머지 난연제의 경우 모두 난연제가 첨가되지 않은 폴리우레탄 폼에 비하여 초기분해온도와 10 wt% 분해온도 모두 낮게 나타났다. 이는 인계 난연제의 경우 낮은 온도에서 분해가 되어 char를 형성하여 고분자 모체

에 열과 산소를 차단하여 난연성을 지니기 때문이다 [6]. RDP가 첨가된 폴리우레탄 폼의 경우 RDP 분자 내에 열에 강한 aromatic ring을 포함하고 있어서 인계화합물임에도 불구하고 고온에서 우수한 내열 성능을 지닌다.

TBPU가 첨가된 경우 약 214 °C에서 분해가 시작되었고 265 °C에서 전체 중량의 10%가 감소하였다. 이는 TBPU의 첨가가 RDP를 제외한 다른 인계 난연제에 비하여 내열성이 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 800 °C에서 char의 양은 8.33%로 많은 양의 char를 형성하는 것을 알 수 있다.

페놀 폼의 경우 폴리우레탄 폼과는 다른 TGA 그래프 결과를 나타낸다. 폴리우레탄 폼의 경우 무게 감량이 일어나기 시작하는 온도가 200 °C부근인 반면 페놀 폼은 온도를 승온한 초기부터 무게 감량이 서서히 나타나기 시작하였다. 또한 10% 무게 감량이 일어난 온도가 폴리우레탄 폼은 240 ~ 280 °C인 반면 페놀 폼은 230 ~ 270 °C로 낮은 온도에서는 페놀 폼의 분해가 더 잘 일어나는 것으로 파악되었다. 그러나 40% 무게 감량이 일어나는 온도가 폴리우레탄 폼은 310 ~ 350 °C인 반면 페놀 폼은 540 ~ 560 °C이고 800 °C에서 남아있는 무게잔량 역시 폴리우레탄 폼은 2 ~ 8 wt%인 반면 페놀 폼은 47 ~ 52 wt%로 월등히 우수한 내열성능을 나타내었다. 이는 탄소와 수소만으로 이루어진 페놀 폼의 특성상 초기 분해는 잘 일어나나 불완전 연소에 의해 만들어진 char가 열을 차단하는 역할을 하여 페놀 폼의 내열성을 향상 시킨 것으로 판단된다.

3.2. 콘 칼로리미터 실험결과

가연성 물질의 난연 시험 중 측정되는 주요 연소 특성은 열 방출 속도이다. 열 방출 속도는 시료 표면 적당 발생한 순간적인 열량으로 연소 위험성을 가장 잘 나타낼 수가 있는 요소이며, 연소모델링을 위한 중요한 측정값이다[7]. Figure 3에 난연제 종류에 따른 폴리우레탄 폼의 연소 시간에 따른 열 방출 속도를 도시하였고, Table 4에 평균열방출속도(Mean-HRR), 최대 열방출속도 (Peak-HRR) 및 총 열 방출량 (THR)을 나타내었다. 난연제를 첨가한 폴리우레탄 폼은 TEP를 제외하고, 난연제를 첨가하지 않은 폴리우레탄 폼에 비해 평균 열방출속도와 최대 열방출속도가 감소하였다.

최대 열방출속도는 화재의 확산 속도와 범위를 나타내는 화재의 최대 강도를 가장 잘 나타낸 매개 변수이다[8].

페놀 폼의 경우 최대 열 방출속도가 32 ~ 52 kW/m²인 반면 폴리우레탄 폼은 359 ~ 384 kW/m²로 페놀

Table 4. Combustion properties of Phenol foam with flame retardants

	Peak HRR (kW/m ²)	Mean HRR (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)	EHC (MJ/kg)	MLR (g/s)	TSR (m ² /m ²)	SEA (m ² /kg)	CO yield (kg/kg)	CO ₂ yield (kg/kg)	CO/CO ₂
Reference	43.69	26.64	8.72	26.57	0.0088	9.92	-4.12	0.284	2.058	0.138
TCEP	37.74	15.24	13.41	21.78	0.0063	70.50	40.28	0.468	1.470	0.318
TEP	32.78	13.34	8.79	17.86	0.0068	9.56	-20.30	0.565	1.103	0.512
CR-530	45.57	15.83	17.10	29.57	0.0049	47.73	-138.4	0.673	1.933	0.348
D880	52.09	17.00	11.78	25.50	0.0060	13.43	20.82	0.635	1.684	0.377

Table 5. Combustion properties of PUF with flame retardants

	Peak HRR (kW/m ²)	Mean HRR (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)	EHC (MJ/kg)	MLR (g/s)	TSR (m ² /m ²)	SEA (m ² /kg)	CO yield (kg/kg)	CO ₂ yield (kg/kg)	CO/CO ₂	LOI (%)
PU	378.05	151.11	10.34	24.61	0.056	126.47	282.66	0.030	1.663	0.018	18.7
PU-CR530	378.18	58.50	9.63	21.14	0.024	303.98	638.28	0.100	1.340	0.075	22.6
PU-RDP	371.50	36.90	8.56	21.49	0.015	177.89	429.31	0.083	1.345	0.062	20.4
PU-TEP	384.86	171.87	10.95	23.48	0.070	201.04	752.44	0.109	1.659	0.066	19.3
PU-D880	373.43	45.08	10.20	21.13	0.012	261.36	591.78	0.070	0.970	0.072	21.6
PU-TBPU	359.76	41.74	10.54	22.84	0.014	180.24	429.61	0.063	1.659	0.038	20.2

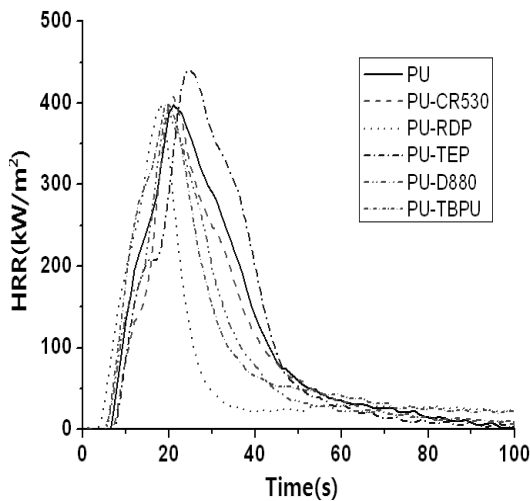


Fig. 3. Heat release rate of PUF with flame retardants.

폼은 폴리우레탄 폼의 1/10배 정도의 낮은 값을 나타내었다. 이는 폴리우레탄 폼은 비록 난연제가 첨

가되더라도 불이 붙은 부분은 급격히 연소되는 반면 페놀 폼은 급격히 연소되는 정도가 폴리우레탄 폼에 비해 매우 약함을 보여주는 것이다. 평균 열방출속도도 최대 열방출속도와 마찬가지로 페놀 폼이 폴리우레탄 폼에 비해 1/2 ~ 1/15의 낮은 값을 나타내었다. 하지만 총 열 방출량의 경우 페놀 폼이 8.72 ~ 17.1 MJ/m²로 폴리우레탄 폼 8.56 ~ 10.95 MJ/m²보다 높은 값을 나타내었는데 이는 난연제가 첨가된 폴리우레탄 폼의 경우 자기소화성이 있어 시간이 지난 후에 화염이 사라진 반면 페놀 폼의 경우 자기소화성이 떨어져 오랫동안 잔염이 지속되어 총 열방출량이 높게 나타났기 때문이다.

유효연소열(EHC)은 질량 감소율과 함께 물질의 화재거동에 추가적인 정보를 제공해 주기 위하여 사용될 수 있다. 유효연소열은 한 가지의 분해형태를 갖는 균일한 시편의 연소시간 동안의 상수로서 이론적인 순연소열의 값보다 작다[9]. 한 가지 이상의 분해형태를 갖는 재료나 복합재료 또는 비균일한 재료의 유효연소열은 반드시 일정하지는 않다[10]. Table 4에 나타난 바와 같이 난연제가 첨가되지 않은 페놀 폼의 유효연소열이 26.57 MJ/kg이고 난연제가 첨가된 페놀 폼은 최대 32.8% 낮은 유효연소열 값을 지니는

것으로 측정되었다. Table 5에 나타낸 바와 같이 난연제가 첨가되지 않은 폴리우레탄 폼은 유효연소열이 24.61 MJ/kg이고 난연제가 첨가된 폴리우레탄 폼은 최대 14.14% 낮은 유효연소열 값을 지니는 것으로 측정되었다. TBPU가 첨가된 폴리우레탄 폼의 경우에도 22.84 MJ/kg으로 약 7.19% 감소하였다.

질량감소율(MLR)은 화재거동에 대하여 추가적인 정보를 제공 한다[11]. 질량 감소는 총발열량과 밀접한 관계가 있어 질량 감소율이 높은 물질은 그만큼 높은 양의 열을 방출하기 때문에 중요한 의미를 갖는다. 난연제가 첨가되지 않은 페놀 폼과 TCEP, TEP, CR-530, D880이 첨가된 페놀 폼의 질량 감소율은 각각 0.0088, 0.0063, 0.0068, 0.0049, 0.0060 g/s로 난연제가 첨가되지 않은 폴리우레탄 폼 CR530, RDP, D880, TBPU가 첨가된 폴리우레탄 폼의 질량 감소율 0.056, 0.024, 0.015, 0.012, 0.014 g/s에 비하여 현저히 낮은 값을 나타냈다. 이것으로 페놀 폼이 폴리우레탄 폼에 비해 연소 억제 효과가 뛰어남을 알 수 있다. 또한 난연제가 첨가된 경우 첨가하지 않은 경우에 비해 페놀 폼은 약 30%, 폴리우레탄 폼은 70%가량의 질량 감소율을 나타내었는데 이는 난연제의 연소억제 효과로 인하여 질량 감소율이 낮아지는 것으로 설명할 수 있다[12].

화재 시 발생하는 연기는 인명피해의 주요 요인으로 난연 성능 평가 시 연기 발생량의 측정은 필수라 할 수 있다. 시편의 연소 중 발생한 연기 발생량을 Fig 4

와 Fig 5에 나타내었다. 페놀 폼의 경우 TEP < reference < D880 < CR530P < TCEP 순으로 연기 발생량이 증가하였으며 폴리우레탄 폼의 경우 PU < PU-RDP < PU-TBPU < PU-TEP < PU-D880 < PU-CR530 순으로 연기 발생량이 증가하였다. 난연제가 첨가됨에 따라 연소억제 효과에 의하여 많은 연기를 방출하게 된다. 하지만 화재 시 발생하는 연기는 인체한 유독 가스이기 때문에 난연성능이 같을 경우 연기 발생량이 낮을수록 좋은 난연제라 할 수 있다. CR530의 경우 분자내에 할로젠 원소를 포함하고 있는데 할로젠 원소는 라디칼 흡수를 통하여 연소를 억제함에 따라 많은 연기를 발생시키게 된다. 상대적으로 연기 발생량이 적은 TEP 및 RDP와 TBPU는 라디칼 흡수에 의한 난연 효과보다는 char 형성에 의한 난연 효과를 나타낸다고 생각할 수 있다. 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂)의 생성율은 재료의 단위무게 당 일산화탄소가 생성된 비율로서 재료의 연기유해성 평가에서 핵심적인 위험요소이다. 일산화탄소 생성량은 페놀 폼이 폴리우레탄 폼보다 최대 20배 이상 많은 생성량을 보였고 난연제 별로는 Reference < TCEP < TEP < D880P < CR530의 경향을 나타내었고 폴리우레탄 폼의 경우는 PU < PU-TBPU < PU-D880 < PU-RDP < PU-CR530 < PU-TEP 순서로 증가하였다. TBPU가 난연제 중 가장 낮은 일산화탄소 발생량을 나타냈고 CO/CO₂ 값도 가장 낮은 값을 기록하였는데 이는 화재 시 유독한 일산화탄소보다는 상

Table. 6. Combustion length of Phenolic foam with flame retardants

	Reference	PU-TCEP	PU-TEP	PU-CR530	PU-D880
평균연소길이(cm)	3.74	3.46	3.74	3.10	3.54
표준편차	0.59	0.80	0.88	0.26	0.48

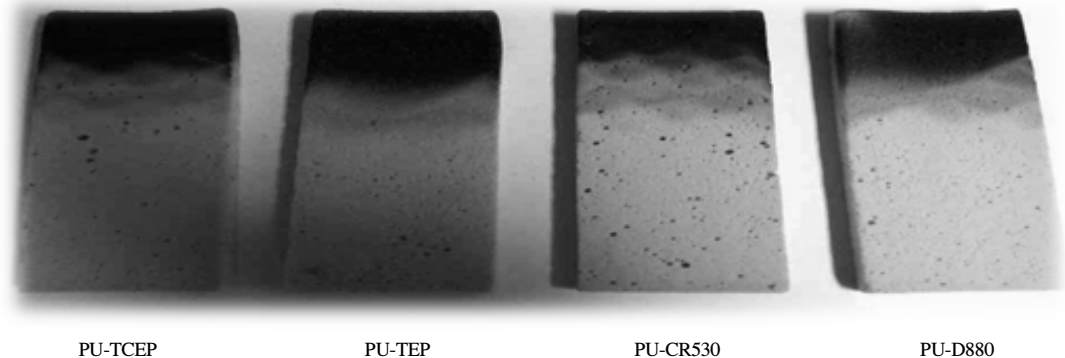


Fig. 4. Combustion length of Phenol foam with flame retardants.

대적으로 유독성이 낮은 이산화탄소를 보다 많이 발생시켰기 때문이다.

3.2. 페놀 폼의 연소 실험

페놀 폼의 실제 연소시 연소거리를 알아보기 위해 50 mm(W) × 200 mm(L) × 10 mm(T)의 샘플을 만든 후 토치로 30초간 가열하여 불꽃이 전파되는 거리를 측정 하여 Fig 4와 Table 6에 나타내었다.

Fig 4와 Table 6에서 보는 바와 같이 CR530의 평균 연소 길이가 가장 짧음을 알 수 있다.

IV. 결론

페놀 폼과 폴리우레탄 폼의 난연제에 따른 난연 특성을 알아보기 위해 4종의 난연제를 페놀 폼 과 폴리우레탄 폼에 각각 첨가하여 내열성 및 난연성에 관한 비교 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 페놀 폼이 폴리우레탄 폼에 비해 초기 분해는 빠르게 진행되었지만 800℃에서 남아 있는 잔존량은 폴리우레탄 폼에 비해 월등히 많음을 알 수 있었다.

2. 페놀 폼은 폴리우레탄 폼에 비해 낮은 평균 열 방출속도와 최대 열방출속도 값을 나타내었다

3. 유효연소열은 TEP가 첨가된 페놀 폼이 17.86 MJ/kg로 가장 낮은 값을 나타내었고 질량 감소율은 페놀 폼이 평균 0.006 g/s로 폴리우레탄 폼의 평균 0.03 g/s의 1/20보다 낮은 값을 나타내었다.

4. 연기발생량은 페놀 폼이 9 ~ 70 m²/m²인 반면 폴리우레탄 폼은 126 ~ 303 m²/m²로 페놀 폼이 폴리우레탄 폼에 비해 1/2 ~ 1/34의 극히 적은 값을 나타내었다.

5. 페놀 폼의 실제 연소거리를 알아본 결과 CR530 난연제가 첨가된 경우가 가장 짧은 연소 거리를 나타내었다.

감사의글

본 연구는 원자력 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] M. Modesti, L. Zanella, A. Lorenzetti, R. Bertani, M. Gleria, Polymer degradation and stability, **87**, 287 (2005)
- [2] Fire protection system & materials lab, Fire protection technology, **42**, 41 (2007)
- [3] V. Babrauskas, S.J. Grayson, Elsevier Applied Science, London/New York, 31 (1992)
- [4] G. W. Lee, G. E. Kim, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, **17**, 76 (2003)
- [5] R. H. Kramer, M. Zammarano, G. T. Linteris, Polymer degradation and stability, **95**, 1115 (2010)
- [6] D. Hoang, J. Kim, B. N. Jang, European meeting on fire retardant polymer materials, 2042 (2008)
- [7] V. Babrauskas, S.J. Grayson, Elsevier Applied Science, London/New York, 31 (1992)
- [8] Y. j. Chung, Y. Kim, S. Kim, Journal of industrial and engineering chemistry, **15**, 888 (2009)
- [9] J. G. Quintire, Principles of Fire Behavior, Chap. 5, Cengage Learning, Delmar, U.S.A. (1998).
- [10] Y. J. Chung, H. M. Lim, E. Jin, and J. K. Oh, Appl. Chem. Eng., **22**, 439 (2011)
- [11] M. Delichatsios, B. Paroz, and A. Bhargava, Fire Saf. J., **38**, 219 (2003).
- [12] M. J. Spearpoint and G. J. Quintiere, Combust. Flame, **123**, 308 (2000).