

자동차 내장재의 연소 특성에 관한 연구

김영탁 · 김해림* · 박영주** · 이해평*

강원대학교 산업대학원 · *강원대학교 소방방재학부 · **강원대학교
방재기술전문대학원

A Study on the Characteristics of Combustion for Car Interior Materials

Kim, Young Tak · Kim, Hae Rim* · Park, Young Ju** · Lee, Hae Pyeong*

Graduate School of Industry, Kangwon National University, *School of Fire &
Disaster Prevention, Kangwon National University, **Professional Graduate School
of Disaster Prevention Technology, Kangwon National University

Abstract

We have carried out the test using the cone calorimeter and the smoke density chamber to evaluate the characteristics of the combustion for the car interior materials passed horizontal burning test. We have analysed many parameters related to fire hazard. These parameters are the ignition time, the heat release rate, the maximum average rate of heat emission, the flashover propensity and specific optical density. There was a significant difference in HRR and optical smoke density. The HRR was 185~446kW/m² and optical smoke density was 119~1207. Only horizontal burning test was performed to evaluate the fire hazard for the car interior materials.

1. 서 론

자동차는 건축물 및 철도차량 등에 비해 화재빈도가 낮기 때문에 내장재에 대한 난연 평가 기준이 엄격하지 않은 것이 사실이다. 하지만 건축물 및 철도차량 등도 이천화재사고, 대구 지하철 참사 등 큰 화재 사건 이후에 난연 기준이 더 엄격해 졌다. 이로 미루어 볼 때, 자동차 역시 화재가 발생하기 쉽지 않지만, 대형 화재 발생 전 미리 내장재에 대한 난연 평가 기준을 엄격히 해 둔다면, 큰 화재를 예방하는데 도움이 될 것이다. 현재 자동차 내장재의 난연 평가는 FMVSS 302(Federal Motor Vehicle Safety Standard, Part 302)에 의한 수평 시험법에만 의존하고 있다. 이는 건축물 내장재 및 철도차량 내장재의 난연 평가 기준에 훨씬 미치지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 자동차 내장재의 난연 성능 평가에 적용되고 있는 수평법 시험을 통과한 제품들을 대상으로 콘칼로리미터 및 연기밀도 시험기를 이용하여 열방출률, 연기밀도 등의 연소특성을 분석함으로써 보다

합리적인 난연 성능 평가를 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 대상

실험에 사용한 시험편들은 자동차 바닥에 설치되어있는 플로우매트와 그 위에 놓여진 보조매트이다. 각 시료는 구성성분에 따라 구분했으며, 실험에 사용되는 두께는 실제 자동차에 적용되는 두께이다. 표1에 이번 시험에 사용된 시험편들의 정보를 정리하였다.

표 1. 시험편 구분

구분	재질	두께(mm)	크기(mm)	
			ISO5660	ISO5659
보조매트 (Auxiliary Matt)	PVC	6	100 x 100	75 x 75
	PE+ PVC	8		
플로우매트 (Floor Matt)	Nylon+ PE	6		
	Nylon+ PE+ EVA	6		

2.2 실험 방법

2.2.1 열방출 특성

플로우매트 및 보조매트의 열방출 등 연소특성을 알아보기 위해서 국제규격 ISO 5660을 만족하는 영국 FTT사의 Dual Cone Calorimeter를 사용하였다. 물질이 연소될 때, 발생하는 열방출률은 산소1kg이 소비되면 약 13.1MJ의 열이 발생하는 원리로 계산된다.¹⁾ 여기에, 일산화탄소 및 이산화탄소의 발생을 첨가하여 불완전연소를 고려한 좀 더 정확한 열방출률 계산을 할 수 있으며, 식 (1)과 같이 계산된다.

$$\dot{q} = 1.10 \left(\frac{\Delta h_c}{r_o} \right) X_{O_2}^a \left[\frac{\varnothing - 0.172(1 - \varnothing) X_{CO} / X_{O_2}}{(1 - \varnothing) + 1.105 \varnothing} \right] \dot{m}_c \quad (1)$$

여기에서, 산소소비계수 \varnothing 는 식 (2)를 통해서 구해진다.

$$\varnothing = \frac{X_{O_2}^0 (1 - X_{CO_2} - X_{CO}) - X_{O_2} (1 - X_{CO_2}^0)}{X_{O_2}^0 (1 - X_{CO_2} - X_{CO} - X_{O_2})} \quad (2)$$

우선 실험하기에 앞서 각 분석기의 교정을 수행 한다. 차압계, 질량유속계, 가스(산소, 일산화탄소, 이산화탄소) 분석기, 로드 셀, 연기측정 시스템 등에 대해서 측정 기준이 되는 Zero 및 Span 값을 설정하는 교정을 실시하며, 최종적으로 1차 수분트랩과 2차 수분 제거제를 점검한 후 시험을 진행한다. 실험을 진행할 때, 가장 주의해야할 사항은 수분트

랩의 과냉이나 시편에 연소에 의한 검댕의 발생으로 인한 필터의 막힘 등으로 가스분석 기로의 가스유량이 변하지 않아야 한다는 것이다.

이번 시험에 사용된 복사열의 강도는 25kW/m^2 이며 Pyrolysis gas를 점화하기 위해서 Spark Igniter를 사용하였으며, 시편홀더의 Retainer Frame를 모두 적용하였다.

2.2.2 연기밀도 특성

플로우매트 및 보조매트의 연기밀도에 대한 특성을 알아보기 위해서 국제규격 ISO 5659를 만족하는 영국 FTT사의 Smoke Density Chamber를 사용하였다. 연기밀도 시험은 규정한 복사열에 노출하였을 때 시험편의 노출면으로부터 발생하는 연기를 측정하는 것이며 식 (3)에 의해 계산된다.²⁾

$$D_s = 132 \log_{10} \left(\frac{100}{T_{\min}} \right) \quad (3)$$

여기서, 132는 시험 챔버의 부피(V), 시편의 노출면적(A) 그리고 광원길이(L)에 의한 V/AL 로 구해진 값이며, T_{\min} 은 특정시간일 때의 투과율 값을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열방출 특성

Cone calorimeter를 이용하여 분석한 열방출률에 관련된 연소 특성에 대한 데이터를 표 2에 정리하였다.

표 2. 열방출률 관련 연소 특성

구분	재질	T_{ig} (s)	HRR peak (kW/m^2)	THR (MJ/m^2)	MARHE (kW/m^2)	FLASHOVER PROPENSITY
보조 매트	PVC	62	185.3	32.6	119.2	2.98 intermediate
	PE+PVC	50	313.6	25.2	123.6	6.27 intermediate
플로우 매트	Nylon+PE	71	387.5	26.4	138.3	5.46 intermediate
	Nylon+PE+EVA	85	446.6	29.2	149.4	5.25 intermediate

3.1.1 Ignition Time(s)

착화시간은 복사열에 노출된 시험편이 스파크 점화기에 의해 착화되어 지속적인 불꽃, 즉 10초 이상 불꽃이 유지되었을 때의 그 시작시간을 의미한다. 각 재질별로 착화시간을 관찰했을 때, PE+PVC 재질로 된 보조매트의 경우가 50초가 가장 짧았으며, Nylon+PE+EVA로 구성된 플로우매트가 85초로 가장 긴 것을 확인할 수 있다. 착화시간이 짧을수록 화재 상황에 노출되었을 때, 빨리 불이 붙어 위험한 상황을 초래할 수 있음을 의미한다. 각 시료에 대한 착화시간 비교 그래프를 그림 1에 나타내었다.

3.1.1 Heat Release Rate(kW/m²)

최대 열방출률의 경우 PVC 재질로 된 보조매트에서 가장 낮은 185.3kW/m²의 값을 보였으며, 반대로 Nylon+PE+PVC로 구성된 플로우매트에서 가장 높은 446.6kW/m²의 값을 보였다. 하지만 최대 열방출률이 상대적으로 크다고 해서 총열방출률이 크지는 않다. PVC 보조매트의 최대 열방출률이 위 시험편 중에서 가장 낮은 반면, 총 열방출률의 경우는 가장 큰 열방출률을 보인 Nylon+PE+PVE 플로우매트의 총열방출보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 각 시험편의 연소 정도에 따라 화재의 진행속도가 달라짐을 의미한다. 시험편에 착화가 일어나면 재료의 연소성 정도에 따라 열방출률이 달라지는데 이는 화재의 크기를 가늠하는데 중요한 요소로 적용된다. 각 시료에 대한 열방출률 그래프를 그림 2에 나타내었다.

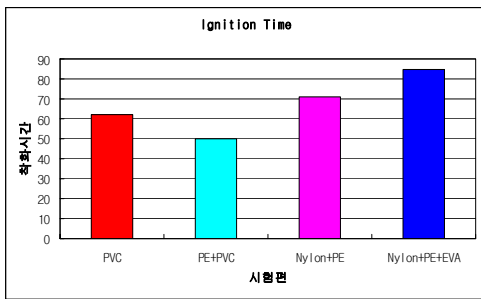


그림 1. 착화시간

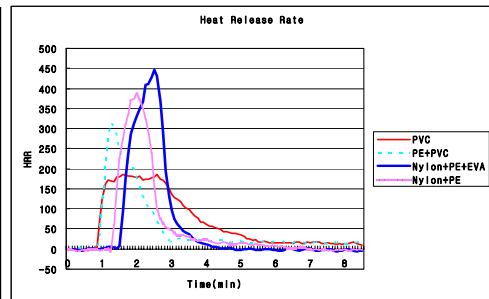


그림 2. 열방출률

3.1.2 Maximum Average Rate of Heat Emission(kW/m²)

MARHE값은 열방출률의 또 다른 요소로서, 현재 유럽 철도차량 내장재의 기준에 적용되고 있다. 이는 총열방출률(THR, MJ/m²)의 값을 각 시간별로 나눈 값으로써, 시간의 흐름에 따른 열방출의 진행정도 및 최대 열방출의 값을 동시에 고려한 값이라고 볼 수 있다. 또한 이 값은 실험의 변화 또는 측정 오차에 크게 영향을 받지 않는다고 보고 되었다.³⁾ 따라서 최대 열방출률 및 총열방출과 함께 고려되면 좋을 것이라고 생각된다. 각 시료에 대한 ARHE 그래프를 그림 3에 나타내었다.

3.1.3 Flashover Propensity

플래시 오버는 모든 가연물이 갑작스레 연소하는 상태를 가리키며, 플래시오버 가능성 예측은 시료의 화재 위험성을 평가하는데 중요한 요소로 사용될 수 있다. Petrella는 플래시오버의 가능성을 최대 열방출률(Peak Heat Release Rate, PHRR)과 착화시간(Time To Ignition, TTI)을 이용하여 계산하였으며, 식 (4)에 의해 계산된다.⁴⁾

$$\text{Flashover Propensity} = \text{PHRR}/\text{TTI} \quad (4)$$

위 식(4)에 의해 계산된 값이 0.1~1.0이면 플래시오버의 가능성이 낮고, 1.0~10이면 중간, 10~100이면 높음으로 분류하였다. 표 1 및 그림 4에서 보여 지듯이 모든 시료가 중간 정도의 플래시오버 가능성이 있는 것으로 나타났다.

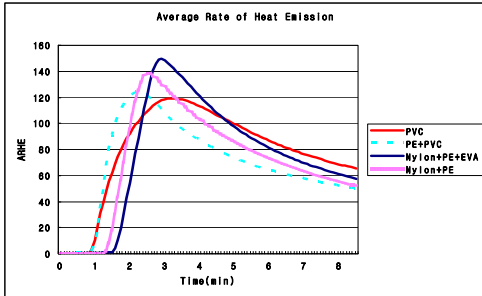


그림 3. ARHE

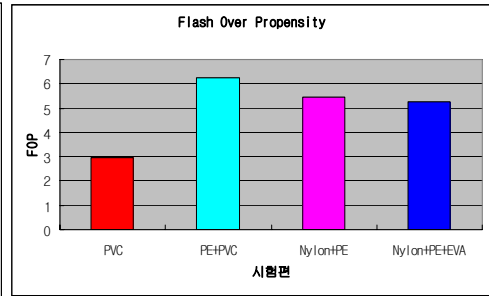


그림 4. Flash Over Propensity

3.2 연기밀도 특성

화재 발생시 연기의 발생은 대피 및 진압의 어려움을 초래하여 인명 및 재산피해에 큰 영향을 미칠 수 가 있으며, 이 연기밀도 또한 난연 평가 요소에 적용되어야 한다고 생각한다. 그림 5 와 그림 6에 각각 각 시료에 대한 시간에 따른 연기밀도의 값과 최고 연기밀도 값을 나타내었다. Nylon+PE+EVA로 구성된 플로우매트에서 가장 낮은 연기밀도 값을 보였으며, PVC로 구성된 보조매트에서 가장 높은 연기밀도 값을 보였다. 두 시료의 연기밀도 차이는 10배 이상으로 많은 차이를 보였다. 또한 큰 연기밀도 값을 보인 두 시료(PVC, PE+PVC)는 시험 초기 상태에서 엄청난 양의 연기를 발생하여 초기화재 진압의 어려움을 초래할 가능성이 있다.

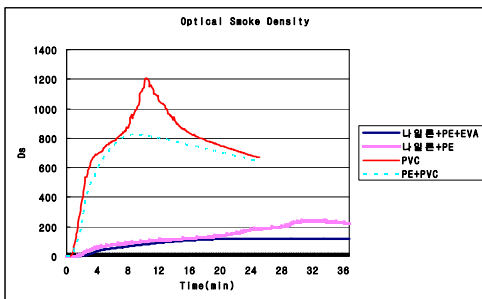


그림 5. 연기밀도

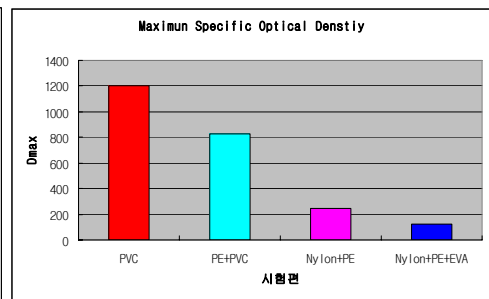


그림 6. 최고연기밀도

4. 결론

보조매트 및 플로우 매트 등의 자동차 내장재의 구성 성분 별 연소 특성을 알아보기 위해서 콘 칼로리미터 및 연기밀도 시험기를 사용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었

다.

- 1) FMVSS302에 따른 수평법 시험을 통과한 자동차 내장재 제품들의 열방출률 특성 및 연기밀도 특성은 각 재질별로 많은 차이를 보였다. 최대 열방출률의 경우는 $185\sim 446\text{kW/m}^2$ 로 최고 및 최저의 차이가 약 2.5배 정도였었고, 연기밀도는 각 재질별 최고 연기밀도가 118~1207로 10배 이상의 현저한 차이를 보였다.
- 2) 자동차 내장재에 대한 난연 평가는 수평법 시험에 한정되어 있다. 본 연구에서 분석되어진 여러 연소 특성들을 바탕으로 추후 난연 특성을 평가함에 있는 좀더 합리적인 방법이 적용될 수 있도록 기초 자료로 활용하고자 한다.

참고문헌

1. ISO 5660-1:2002. Reaction-to-fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate-Part 1: Heat release rate(cone calorimeter method).
2. ISO 5659-2:2006. Plastics-Smoke generation-Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.
3. Gary J. Duggan, S.J Grayson and Kumar(2004). New Fire Classifications And Fire Test Methods For The European Railway Industry.
4. 이근원, 김관웅, 이두형(2004). “콘칼로리미터를 이용한 섬유강화플라스틱(FRP)의 연소특성”, 한국화재소방학회, 제18권 제2호 pp68-72.