

자동차 내장재의 연소 특성에 관한 연구

A Study on the Combustion Characteristics of the Automotive Interior Materials

김 홍* · 강 영 구* · 박 형 주*

H. Kim · Y.G. Kang · H.J. Park

(1997년 10월 21일 접수, 1998년 5월 2일 채택)

ABSTRACT

Five parts of the automotive interior materials were sampled to determine their combustion characteristics. Oxygen Indexer, Smoke chamber, Differential Scanning Calorimeter(DSC) were used as the analysis apparatus.

All LOI values of samples appear less than 21. The combustion phenomena of the interior materials primarily depends on properties of each layer material.

The amount of generated smoke are reached the maximum value within 30 - 90sec after ignition. The experimental results of combustion characteristics and DSC of H/Line also indicated that the layer of foam was melt first and it caused the propagation of flame through the sample.

The combustion characteristics of multi-layer materials primarily depends on thermal characteristics of single layer material.

1. 서 론

국내외적으로 자동차의 경량화를 통한 연소 효율을 높이기 위해 경량 재료의 사용이 증가하고 있다^{1,2)}. 경량화 경향을 보면 75년도에 전체 중량의 5% 범위 내에서 쓰이던 경량 재료는 95

년 현재 12%이상 사용되고 있다. "Delphi VII 북미 자동차 산업의 예상과 분석"의 재료편 자동차용 경량 재료의 향후 10년간의 전망을 보면 Polypropylene, Polyethylene, Nylon, ABS 등의 사용량이 5~12%로 증가하고 PVC의 사용량은 점차 감소될 전망이다³⁾.

* 호서대학교 산업안전공학과

자동차의 경량화에 쓰이는 재료의 대부분은 열가소성의 가연성 플라스틱으로써 비중이 낮고, 가공이 용이한 장점이 있는 반면 열적 성질 및 내연소성들에서는 취약한 단점이 있다. 특히 화재시 다량의 가연성 가스 및 독성 가스를 방출하여 인명 및 재산 피해를 증가시킬 뿐만 아니라 화재 발생시 가연물이 되는 등의 문제점을 안고 있다^{4,5)}.

따라서 본 연구에서는 향후 자동차 내장재의 재료로 많이 사용될 전망인 Polypropylene, Polyethylene 등을 중심으로 일반적인 연소현상에 대해 먼저 규명하고, 현재 쓰이고 있는 자동차 내장재의 각 부위별(D/Trim, P/Tray, I/Panel, F/Carpet, H/Line)로 일정한 크기(15cm×3cm)의 Sample을 산소지수, 연소속도, 연소시간, 연기밀도, 열특성 등을 통해서 내장재의 연소 현상을 고찰하는데 있다. 그리고 자동차 내장재는 서로 다른 Polymer가 2~4층의 다층 구조로 이루어져 있어 단일 물질의 연소 현상과는 다른 형태의 연소 현상을 나타낼 것이라는 가정 아래 우선 자동차 내장재를 이루는 각 물질의 연소 현상을 각기 파악하여 다음 같이 부착된 내장재의 연소 특성 실험을 통해 이들의 차이점 및 물질 상호간의 작용 등에 대해서도 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 시 료

자동차 내장재의 연소 특성에 관한 연구에 사용된 고분자 재료는 국내 자동차 내장재를 생산하고 있는 5개 업체의 D/Trim, P/Tray, I/Panel, F/Carpet, H/Line 등 5부위를 Sampling하여 사용하였으며, 자동차 내장재는 단일의 Polymer로 이루어진 것이 아니라 서로 다른 Polymer가 2~4겹으로 구성되어 있으므로 연소시 이들 상호간의 영향등을 분석하기 위해 각각 분리하여 사용하였다.

2.2 실험장치

2.2.1 연소성 시험(ASTM D2863)

산소·질소 혼합기에서 혼합비를 임의로 변화

시킬 수 있는 연소성 시험기인 Candle type flammability tester(TYPE S-III, Toyo Seiki Seisaku-sho Ltd)로 내장재의 연소성을 시험하였다⁶⁾.

2.2.2 SMOKE DENSITY(ASTM D2843)^{7,8)}

연기밀도 측정장치(Model 7700, US Testing Co. Inc)는 플라스틱의 연소 또는 열분해에 의해 발생하는 연기의 상대적인 양을 관찰하고 측정하기 위한 것이다. 측정은 표준 조건하에서 발생된 연기의 양을 Chamber내에 모아 빛 전달 손실의 단위로 발생하는 연기량을 측정한다.

따라서 측정하는 동안 화염과 연기를 볼 수 있는 구조로 되어 있다.

2.2.3 DSC를 이용한 열분석^{9,10)}

일반적으로 고분자 재료의 열적 특성 연구에 많이 사용되는 DSC(Polymer Laboratories, USA)를 이용하여 자동차 내장재의 열적 거동 및 유리 전이온도(Glass Transition Temperature: Tg)등을 측정조건으로 10°C/min의 승온 속도와 N₂ 분위기 하에서 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연소성 시험(ASTM D2863)

연소성 시험장치를 이용하여 연소의 형태를 질소와 산소의 혼합가스의 흐름 방향과 연소의 진행방향이 동일한 상방연소와 흐름 방향과 반대인 하방연소를 취하였으며, 산소와 질소의 혼합가스 유속을 2cm/sec~6cm/sec로 변화시켜 시험을 행하였다. 그리고 시료의 종류와 두께의 변화에 따른 각 물질의 연소 특성을 파악하기 위해 LOI, 연소속도 등을 측정하였다.

3.1.1 연소의 형태에 따른 각 물질의 LOI

자동차 내장재중 5부위를 15cm×3cm의 크기로 자른 후 50°C 항온조에 24시간 항온 건조시키고, 산소와 질소의 혼합가스 유속을 4cm/sec로하여 유속의 흐름을 일정하게 조절하였다. 시료를 유리칼럼내 중앙에 위치하도록 설치한 뒤 프로판 가스를 이용 5sec동안 시료의 상단 및 하단에 착화시켜 상방연소와 하방연소

를 실시하였다. Table 1은 자동차의 5부위 이용 상방연소 및 하방연소를 실시하여 얻은 결과이다.

Table 1 Determinated LOI values of each part of the automotive interior materials (Flow velocity : 4 cm/sec, ignition time : 5sec)

Combustion material	Type	Upward flame	Downward flame
	D / Trim		16.4
H / Line		12.7	16.4
I / Panel		14.8	16.6
F / Carpet		12.6	16.0
P / Tray		14.9	17.2

위의 결과로부터 알 수 있는 것은 각 물질의 LOI값이 상방 및 하방 연소시 모두 F/Carpet < H/Line < I/Panel < P/Tray < D/Trim 순으로 높아짐을 알 수 있다.

이와 같이 F/Carpet의 LOI 값이 상방연소시 12.6, 하방연소시 16으로 다른 내장재와는 달리 가장 낮은 이유는 표피재를 구성하고 있는 물질이 섬유상인 Nylon으로 되어 있어 외부로부터 내부로의 산소의 공급이 원활할 뿐만 아니라 점화 후 Nylon이 용융되어 흘러내리고 이를 통해 미연소 지역으로 열원이 빨리 전달되는 등의 연소 열에 의한 Feed-back이 원활하게 이루어져 연소의 확대가 지속적으로 전파되어 상대적으로 LOI 값이 낮아진 것으로 사료된다.

LOI 값이 가장 높은 내장재는 D/Trim으로 상방연소시 16.4, 하방연소시 18로 표피재가 PVC sheet와 PP foam으로 이루어져 있으나 기재가 섬유와 폐놀수지를 압착 성형된 Resin felt으로 이루어져 있어 초기 착화시 표피재의 연소에 필요한 연소열이 기재 부분으로 전달되어 냉각되므로 연소를 유지하는데 필요한 열량의 감소했기 때문인 것으로 사료되며, 연소에 필요한 산소의 공급이 F/Carpet에서보다 원활하지 못한 결과라고 생각한다. 그리고 자동차 각 부위별 LOI를 측정한 결과 모든 값이 21이하로 국내 자동차 내장재의 난연화 정도는 미비한 것으로 나타났다.

3.1.2 산소농도 변화에 따른 연소속도 및 연소시간

자동차 내장재중 각 층별 분리가 용이한 D/Trim을 사용하여 산소농도를 18%~26% 범위 내에서 변화시켜 가면서 연소속도 및 연소 시간을 측정하였다. 그리고 3층 구조로 된 D/Trim의 각 물질이 연소시 상호 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보기 위해 PVC sheet와 PP foam으로 구성된 표피재와 섬유와 폐놀수지로 구성된 기재 부분을 분리하여 각각 시험을 행하였다.

Fig. 1은 산소농도 20%에서 D/Trim의 각 층별 연소속도를 나타낸 것으로 표피재의 연소속도가 기재, 기재+표피재의 연소속도 보다 현저히 높다는 것을 알 수 있다.

이로부터 알 수 있는 것은 산소농도(OI값) 측정에 있어서 D/Trim의 LOI가 높은 이유와 같이 초기 착화시 표피재의 연소에 필요한 연소열이 기재 부분으로 전달되어 연소를 유지하는데 필요한 열량이 감소된 것으로 사료된다.

Fig. 2는 D/Trim의 각 층의 OI값의 변화에 따른 연소시간을 나타낸 그래프로서 기재의 경우 연소시간이 산소농도에 큰 영향을 받지 않으나 기재와 기재+표피재의 경우에는 산소농도가 20~22%일 때 급격한 연소 시간의 감소가 나타남에 따라 커다란 영향을 받고 있다. 그리고 PVC+PP form+Resin felt와 Resin felt층은 산소농도 20이하에서 불연소 되었다.

3.1.3 착화시간 및 유속변화 따른 LOI

착화시간과 혼합가스의 유량이 연소현상 및 LOI에 미치는 영향 등을 고찰하고자 착화시간을 5sec~20sec 범위 내에서 변화시켰으며, 2 cm/sec~6 cm/sec로 유속을 변화시켜 실험을 행하였다.

Fig. 3은 하방연소시 점화시간에 따른 LOI의 변화를 나타낸 것으로 착화시간이 5~10sec 구간에 있어서 표피재의 산소농도가, 15sec~20sec 구간에서는 기재의 산소 농도가 낮게 나타났다. 이로부터 유추해 낼 수 있는 것은 자동차 내부의 초기 화재의 경우에 연소의 지속성에 영향을 미치는 인자는 표피재이고, 후기 화재의 경우에는 기재임을 알 수 있었다. 즉 초기화재는 표피재에 의해 화염이 전파되고 화재 후반의 경우에

단 기재를 통하여 화염이 전파 되었다.

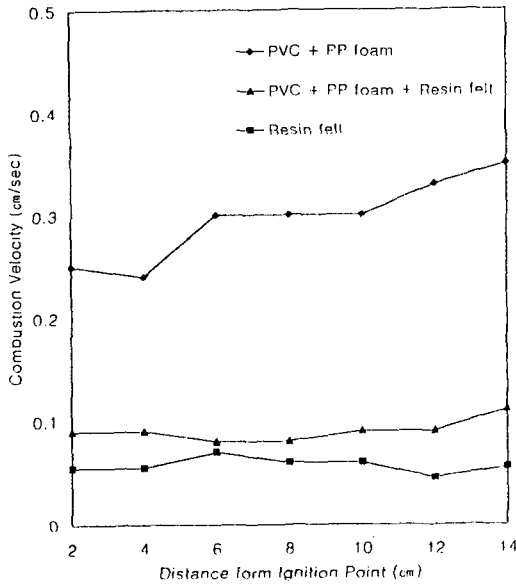


Fig. 1 Comparison of combustion velocity in various samples [Ignition time : 5 sec, downward flame, sample : layer of D/Trim]

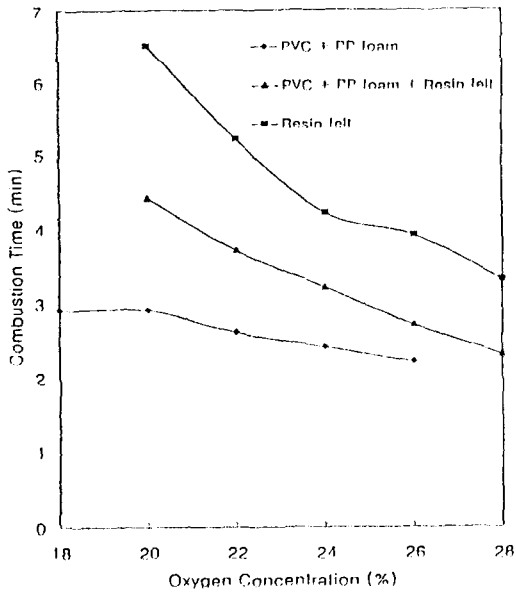


Fig. 2 Combustion time according to the variation of oxygen concentration [Ignition time : 5 sec, downward flame, sample : D/Trim]

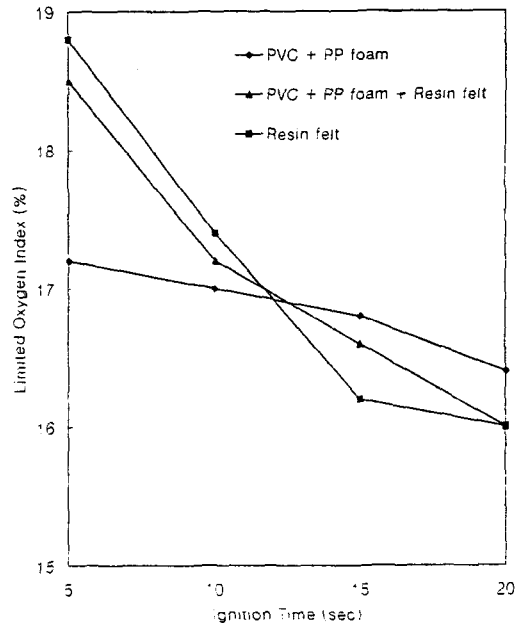


Fig. 3 The change of LOI according to the ignition time [Downward flame, sample : D/Trim]

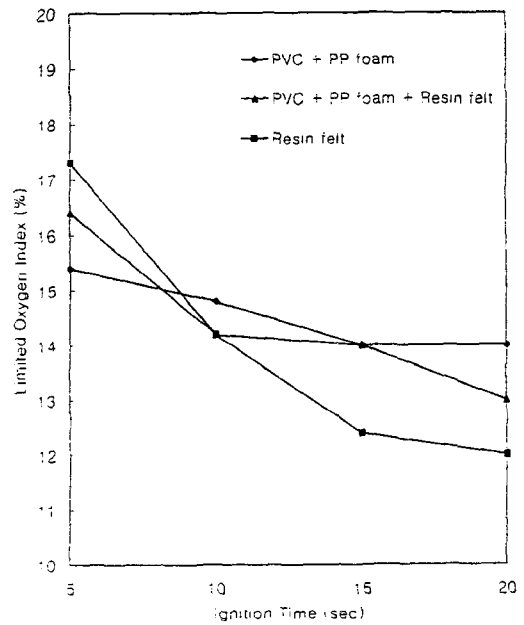


Fig. 4 The change of LOI according to the ignition time [Upward flame, sample : D/Trim]

Fig. 4는 상방연소시 점화시간에 따른 LOI의 변화를 나타낸 것으로 Fig. 4와 유사하게 나타났으나 틀린 점은 상방연소는 연소의 진행방향과 산소 및 질소의 진행방향이 같아 초기 착화열 및 연소열이 미연소 부분으로의 열전달이 하방연소에 비해 좋으므로 착화 시간 10sec부터 기재가 표피재 보다 LOI가 낮게 나타났다.

또한 Fig. 3과 4를 비교해 볼 때 착화시간에 따른 LOI가 상방연소 일때가 낮음을 알 수 있었다. 이로서 하방연소에 의한 열전달보다는 상방연소에 의한 열전달이 좋음을 다시 확인할 수 있다.

Fig. 5는 산소와 질소의 혼합기체의 유속을 2 cm/sec~6 cm/sec로 변화시켜가면서 연소의 형태를 상방연소와 하방연소하여 실험한 것으로 혼합가스의 유속이 증가할수록 LOI가 점차 감소함을 알 수 있으며, 상방연소의 경우 하방연소에 비해 혼합가스의 유속에 대한 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

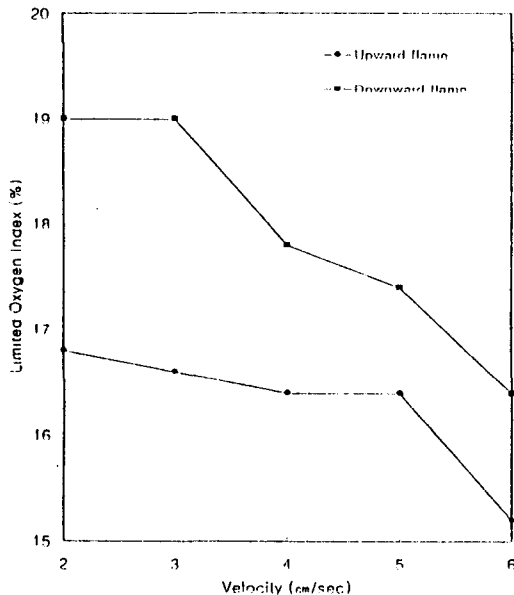


Fig. 5 The change of LOI according to the flow rate of gas mixture [ignition time : 5sec, upward and downward flame, sample : D/Trim]

3.2 연기 밀도 측정

자동차와 같이 좁고 밀폐된 공간 내에서 화재가 발생할 경우 연기 발생으로 인한 산소농도의 감소는 일반 건물 내에서도 급속히 진행될 것으로 추정된다. 따라서 자동차 내장재의 연기 발생량을 고찰함으로써 연기가 다량 발생하는 내장재의 사용 억제 및 억연제를 첨가한 새로운 자동차 내장재의 개발에 필요한 기초 연구의 차원에서 이 실험을 수행하였다.

연기밀도는 4분 간격으로 연실내에서 연기가 존재하는 전체 양을 시간대 빛 흡수의 곡선으로 측정하였으며 시료의 연소시 임의 시간에서 빛 흡수의 최대점을 최대연기밀도로 하였다.

Table 2는 자동차 내장재 각 물질의 연기 밀도의 분석결과를 나타낸 것이다.

Table 2 Data analysis of smoke density for each part of sample

Type	Layer construction	Weight (g)	Smoke density (%)	Max. smoke density(%)
D/Trim	PVC+PP foam + Resin felt	1.59	19	29
		1.11	67	83
H/Line	Nonwoven fabric +PP foam	0.75	5	9
I/Panel	PVC	4.34	73	89
F/Carpet	Nonwoven fabric + Resin felt	0.99	25	33
P/Tray	Wall paper + Wood stock	3.35	13	18

연기밀도 분석 결과 I/Panel의 표피층에서 73%로 가장 높은 연기밀도를 나타냈으며, D/Trim의 표피재에서도 67%라는 높은 연기밀도를 나타내었다. 그리고 최대 연기 밀도에 있어서도 같은 현상이 나타났다. 이로부터 PVC가 연기의 발생에 있어 주된 역할을 수행했음을 알 수 있다.

Fig. 6은 자동차 내장재 각 부위별로 시간에 따른 연기 발생량을 나타낸 그래프로서 연기의 발생량이 가장 많은 것은 I/Panel로, 가장 작은 것은 H/Line으로 나타났다.

그리고 연기의 발생 현상을 살펴보면 모든 시료가 착화 후 30sec~90sec 사이에서 단위 시간

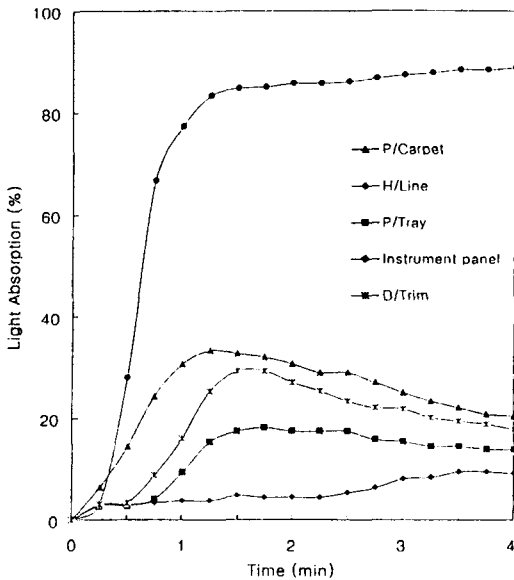


Fig. 6 Smoke density according to the time of each parts of the automotive interior materials

당 가장 많은 연기가 발생한 것으로 보아 연기 발생은 연소 초기의 불안정한 연소에 의해 다량 발생함을 알 수 있고, 자동차와 같이 좁고 밀폐된 공간에서의 화재시 연소초기의 불안정한 연소에 의한 연기발생으로 운전자 및 승객의 질식사 위험성이 높아질 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

Fig. 7은 D/Trim의 표피제를 이루는 PVC와 기재+표피제로 이루어진 시료를 사용하여 연기 밀도를 측정하여 PVC의 함량에 따라 발생하는 연기밀도에 있어 큰 차이가 있음을 알 수 있으며, 최대 연기 밀도에 있어도 83% 대 29%로 큰 차이가 났다. 따라서 PVC 화재시 연기 밀도에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

3.3 열특성 분석

2-4층 구조로 된 자동차 내장재의 연소시험을 통해 얻어낸 LOI값의 변화와 각 층이 연소시 미치는 영향 등을 알아보기 위해 각 시료의 층을 분리하여 열특성 분석을 실시하였다. Table 3은 각 물질이 열 특성 분석을 통해 얻은 결과를 나타낸 것이다.

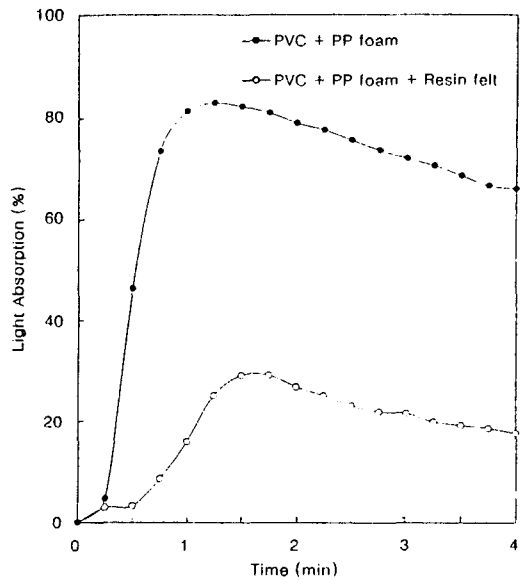


Fig. 7 Smoke density according to the time of D/Trim

열 특성 분석 결과에 있어서 각 물질의 표피층을 이루는 물질의 용점을 보면 F/Carpet < P/Tray < H/Line < I/Panel < D/Trim 순으로 높아짐을 알 수 있다. 이는 연소성 시험의 결과인 Table 1에서와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

Table 3 Data analysis of thermal characteristics for each part of samples

Section	Layer construction	Tg	Melting point(°C)	Heat of fusion (mCal/mg)
D/Trim	PP foam	118	123	0.20
	PVC	291	320	5.22
H/Line	Nonwoven fabric	250	257	0.86
	PP Foam	106	111	0.89
I/Panel	PVC	296	316	6.63
F/Carpet	1 layer	219	225	1.55
	2 layer	257	265	0.80
	3 layer	112	120	5.10
P/Tray	Wall paper	249	256	0.78
	Wood stock	164	172	2.28

Fig. 8과 9는 자동차 내장재인 F/Carpet, H/Line의 열 특성을 분석한 DSC 곡선으로 F/Carpet의 경우 3차층인 Polyethylene이 가장 낮은

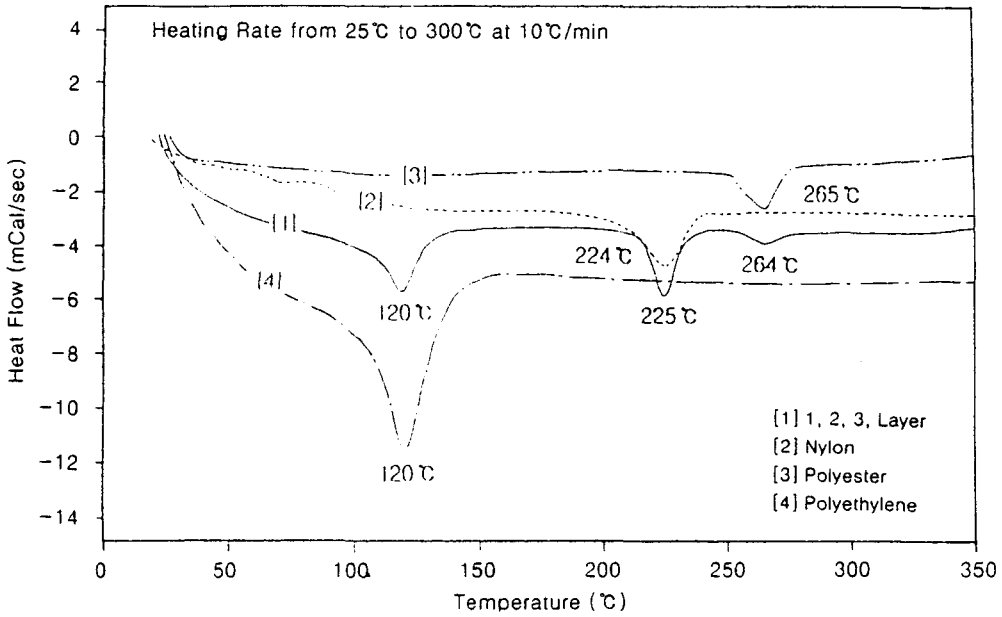


Fig. 8 DSC curve of F/Carpet

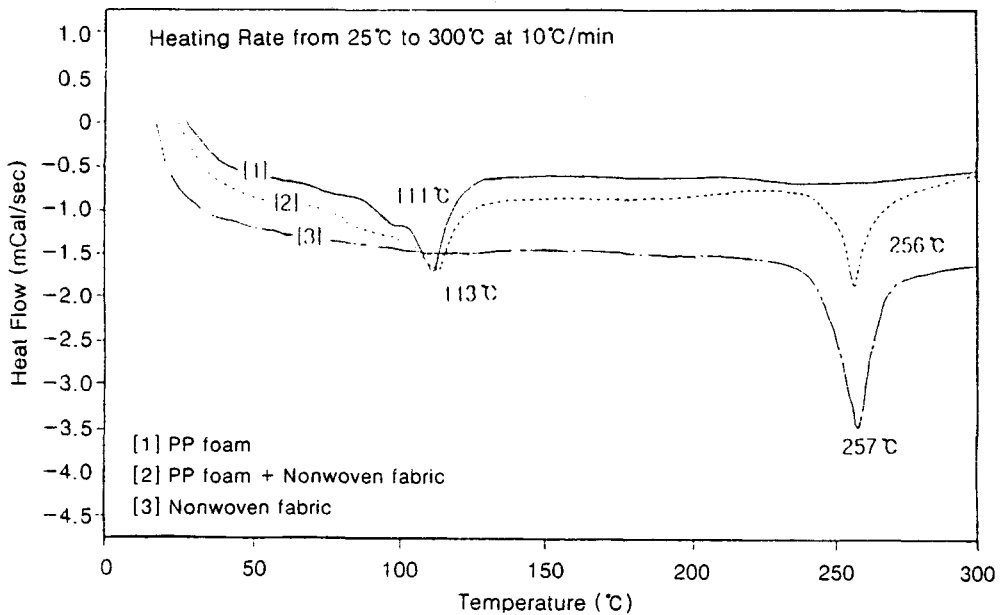


Fig. 9 DSC curve of H/Line

120°C에서 먼저 용융되고 1차층, 2차층 순으로 용융이 발생하였다. H/Line의 DSC 곡선을 보면 PP foam으로 구성된 층이 가장 낮은 온도 113°C

에서 먼저 용융이 발생하고 부직포로 이루어진 표피층이 257°C에서 용융이 발생하였다.

H/Line과 D/Trim의 연소성 시험에 있어 foam

층이 연소열에 의해 먼저 용융되고, 이를 통해 화염 전파가 이루어진다는 것을 이들의 열 특성 분석결과와 상당한 상관관계가 있음을 입증할 수 있었다. 따라서 foam층에 대한 난연화 방법에 관한 연구 및 연소현상에 있어서의 역할에 대한 연구가 계속적으로 선행되어야만 하겠다.

4. 결 론

자동차 내장재의 5부위를 sampling하여 연소성, 연기밀도, 열특성 등 연소 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 내장재의 각 부위별 연소성 측정결과 LOI가 모두 2이하로 나타났다.
- 2) 연소성 측정에서 F/Carpet의 LOI가 상방연소시 12.6, 하방연소시 16.0으로 자동차 내장재 중 열원에 가장 취약한 것으로 나타났다.
- 3) 연기밀도 측정결과 D/Trim과 I/Panel의 표피층을 이루고 있는 PVC에 의해 발생된 연기밀도가 각각 67%, 73%로 가장 높게 나타났다.
- 4) 연기밀도 시험에서 단위시간당 연기 발생량이 가장 높은 구간은 착화 후 30sec~90sec로 화재 초기에 다량의 연기가 발생하였다.
- 5) D/Trim과 H/Line의 연소시험과 DSC을 이용한 열특성 분석 결과 속 표피층을 이루고 있는 foam이 가장 먼저 용융되고 이를 통해 화염이 전파됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) S.Y. Oh and Y.M. Lee, "Current Status and Trend of Elastomers for Automobile", Polymer Science and Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 326~334, 1995.
- 2) B.G. Cho, S.S. Lee and M.H. Cho, "Polymeric Composite Materials for Automobile", Polymer Science and Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 314~325, 1995.
- 3) C.K. Kum and M.G. Lee, "Automotive Plastics: Today and Tomorrow", Polymer Science and Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 307~313, 1995.
- 4) Arthur H. Landrock, "Handbook of Plastics Flammability and Combustion Toxicology", Noyes Publications, pp. 91~128, 1983.
- 5) 내무부 소방학교 연구실, "플라스틱의 연소와 화재에 관한 연구", 소방연구논문, pp. 1~17, 1994.
- 6) Hong Kim, Ki-Hwan Kim, "Smoldering Combustion of Cellulose Insulation and its Transition to Flaming Combustion", J. of KIIS, Vol. 7, pp. 14~21, 1992.
- 7) "Standard Test Method for Density of Smoke from the Buring or Decomposition of Plastics", An American National Standard D 2843-77, pp. 156~163, 1988.
- 8) Arthur H. Landrock, "Handbook of Plastics Flammability and Combustion Toxicology", Noyes Publications, pp. 129~177, 1983.
- 9) "The Criteria of Life Estimation and the Construction of Diagnostic System in Underground Power Distribution Cables", KEPRI-95Y-J16, pp. 28~31, 1996.
- 10) E.A. Turi, "Thermal Characterization of Polymeric Materials", Academic press, 1983.