

Cone-Calorimeter를 이용한 철도차량 시트재료의 연소특성 비교 연구

A Comparative Study on Seat Materials of Railroad Vehicles by Test of Cone-Calorimeter

조희기*·정우성**·권성태***·이덕희****

Cho, Hee Ki·Jung, Woo Sung·Kwon, Sung Tae·Lee, Duck Hee

ABSTRACT

The seat materials are composed of the cover, cushion and plate. In case of fire, the fire characteristics of seat materials show various combustion properties.

In this study, The Heat Release Rate(HRR), Total Smoke Release(TRS), and Mass Lost(ML) values of seat materials were investigated using Cone-Calorimeter testing according to ISO 5660 Part I and II. The combustion properties of cover, cushion, plate and complex body were compared in terms of HRR, TSR, and ML. The results shows that the combustion properties of complex body must be considered

1. 서론

2003년 대구지하철 화재사고 이후 철도차량의 화재안전성 향상을 위한 도시철도차량안전기준에 관한 규칙을 대폭 강화하고 있으며, 철도재료의 교체사업으로 화재안전성을 확보하고 있다. 이러한 철도재료 중 섬유와 스폰지로 구성된 객실의자시트는 다른 재료에 비해 화재에 많이 노출되어 있으며, 화재거동에 가장 중요한 요인이 될 수 있다.

현 도시철도차량안전기준(표1)에는 시트를 구성하는 커버, 쿠션, 몸체를 단일기준을 정하였다. 그러나 실제 철도차량에는 복합체로 시트가 구성되어 있으며, 화재 시 시트복합체 상태에서 화재가 발생하기 때문에 연소특성에 대하여 정확한 예측이 어려운 단점이 있다.

표 1. 차량실내설비의 화재안전 시험방법 및 기준 (제10조 제2항 관련)

구분		산소지수	화염전파		연기밀도		연기독성
시험방법		ISO 4589-2 KS M ISO 4589-2	ISO 5658-2 KS F 2844		ASTM E 662		BS 6853 첨부 B.2
시험항목		산소지수 LOI	연소지속열 Qsb (MJ/m ²)	소화점 임계열류량 CFE(kW/m ²)	연기밀도 Ds (1.5min)	연기밀도 Ds (4.0min)	독성지수 R
의자	커버	28	-	-	100	200	2.0
	쿠션	28	-	-	100	175	3.2
	몸체	32	-	-	100	200	2.0

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

본 연구에서는 ISO 5660의 Part I 과 Part II의 규정에 따른 방법으로 Cone-Calorimeter를 이용하였으며, 2종류의 시트재료 중 커버, 쿠션, 몸체 그리고 복합체의 발열량과 발연량, 질량손실에 대한 연소특성 변화를 평가하였다.

2. 본문

2.1. 시험재료

Cone-Calorimeter 시험평가를 위하여 2종류의 시트재료를 사용하였다. 시트재료는 커버와 쿠션, 몸체로 이루어져 있으며, 각각의 재료의 특성을 표 2에 나타내었다.

표 2. 시트재료특성

구분	단일재료						복합	
	A			B			A 복합 (complex body)	B 복합 (complex body)
시트	커버 (cover)	쿠션 (cushion)	몸체 (plate)	커버 (cover)	쿠션 (cushion)	몸체 (plate)		
특성	울모켓 t=5mm	네오프렌 t=13mm	불포화폴 리에스터 FRP t=7mm	울모켓 t=5mm	우레탄폼 t=11mm	Phenol Laminate t=5mm	울모켓 + 네오프렌 + FRP t=25	울모켓 + 우레탄폼 + Phenol t=21

복합체의 연소특성을 알아보기 위하여 각각의 단일 커버, 쿠션, 몸체에 난연접착제를 사용하여 제작하였으며, 온도 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm 5\%$ 의 조건에서 72시간이상 전처리를 하였다.

2.2. Cone-Calorimeter 시험방법

시험재료로 사용된 객실시트의 발열량 및 발연량, 질량손실을 측정하기 위하여 영국의 FTT사의 dual-Cone Calorimeter를 이용하여 ISO 5660의 Part I 및 Part II 규정에 따라 시험하였다.

그림 2은 dual-Cone-Calorimeter의 구성도를 나타내었다. 이 장치는 cone형태의 복사전기히터, 산소 및 CO, CO2 분석장치, PM tube가 부착되었으며, 시편의 질량손실을 측정하기 위한 weigh cell 등으로 구성되어 있다.

시트재료는 100mm×100mm 크기로 시편홀더에 고정시킨 후 weigh cell에 올려놓고, 복사전기히터를 이용하여 5.0W/cm²의 복사열 조건하에서 수행하였다. 시험에서 시편의 열분해가스에 집화하기 위하여 spark igniter를 사용하였다.



그림 1. dual-Cone Calorimeter 장비

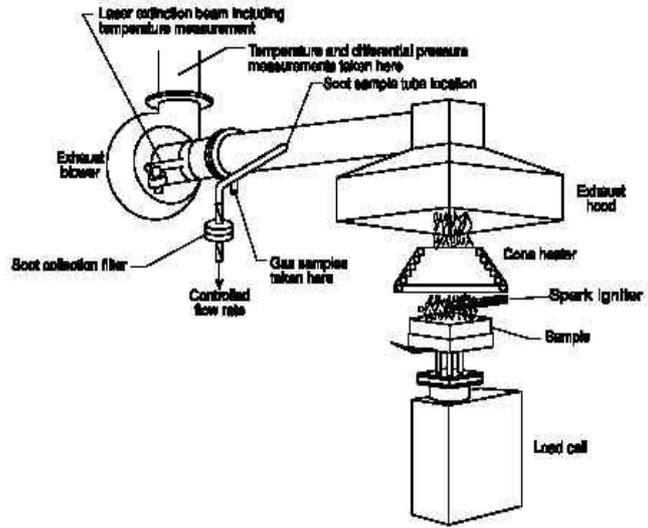


그림 2. dual-Cone Calorimeter 구성도

발열량(Heat Release Rate)은 연소 시 소비되는 산소소비량을 측정하여 발열량을 역으로 산출하는 것으로 일반적으로 연소 시 산소 1kg당 약 13MJ의 열발출을 한다고 가정하여 식(1)을 사용하여 계산한다.

발연량(Smoke Release Rate)은 배연관내의 PM tube의 레이저빔을 통하여 고무발포단열재의 연소 시 발생하는 연기량을 (2)식을 사용하여 계산하였다.

$$q(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_0} \right) (110) C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_c}} \frac{x_{O_2}^0 - x_{O_2}}{1.105 - 1.5x_{O_2}} \quad (1)$$

여기서 $q(t)$ = Heat Release Rate

$$\frac{\Delta h_c}{r_0} = 13.1 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$$

Δh_c = Net heat of combustion

r_0 = Stoichiometric oxygen/fuel mass ration

C = Orifice flow meter calibration constant

$x_{O_2}^0$ = Initial Value of oxygen analyser reading

x_{O_2} = Oxygen analyser reading

$$S_A = S_{A,1} + S_{A,2} \quad (2)$$

$$S_{A,1} = A^{-1} \sum_{i=s}^{i=f} V_s k \Delta t \quad S_{A,2} = A^{-1} \sum_{i=s}^{i=f} V_s k \Delta t$$

$$V_s = (m_e T_s) (12.2 \times 10^3 M)^{-1} \quad k = \ln(I_0/I) L^{-1}$$

여기서 I_0/I : Ratio of incident light to transmitted light

L : Light path length through smoke

k : Linear Napierian absorption coefficient

m_e : Mass flow rate in exhaust duct

T_s : Temperature of the smoke

at the point of measurement

M : Molecular mass of the gases flowing

through the exhaust duct

A : Exposed surface area of specimen

Δt : Sampling time interval

$S_{A,1}$: Total smoke production

per unit area before ignition

$S_{A,2}$: Total smoke production

per unit area after ignition

S_A : Total smoke production

3. 결과 및 고찰

3.1. 시트재료의 발열량 비교

시트재료의 발열량 시험결과는 그림 3과 그림 4에 잘 나타나 있다. 시트재료 A와 B에서 커버의 발열량이 각각 216kW/m^2 과 249kW/m^2 로 가장 높게 발생하였으며, 몸체의 발열량이 각각 75.8kW/m^2 , 12.4kW/m^2 으로 가장 낮게 발생했다. 또한 커버와 쿠션, 몸체를 접착한 복합체는 커버보다 낮게 나타났다. 이는 표 3에서 점화시간이 커버보다 복합이 더 늦은 것으로 보아 열전도에 의해 발열량 감소로 볼 수 있다.

시트재료 A와 B에서 복합과 커버, 쿠션은 발열량이 유사한 경향을 나타내고 있으나, 몸체의 경우 시트재료 A를 보면 149초에서 점화가 발생했으며 발열량이 75.8kW/m^2 발생했다. 반면 시트재료 B에서 몸체는 점화가 발생하지 않았다. 이는 불포화폴리에스터 FRP는 장시간 복사열을 받으면 점화가 발생함을 알 수 있다. 시트재료 B의 몸체(phenol laminate)는 장시간의 복사열에 균열현상이 나타났다.

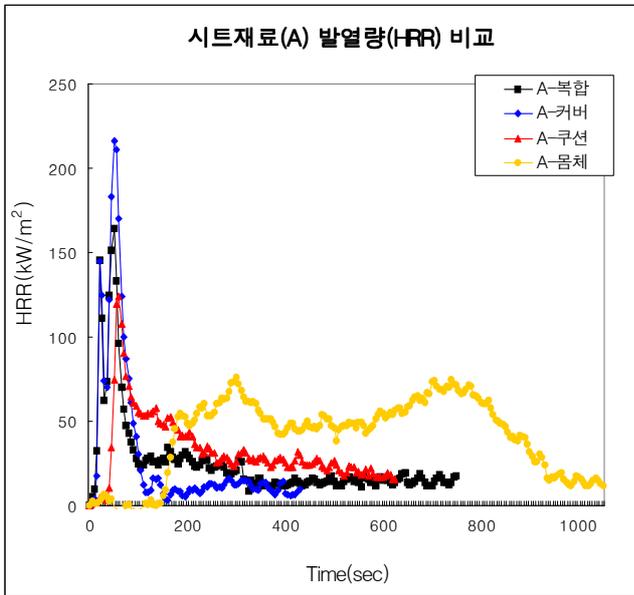


그림 3. 시트재료(A)의 발열량(HRR) 결과

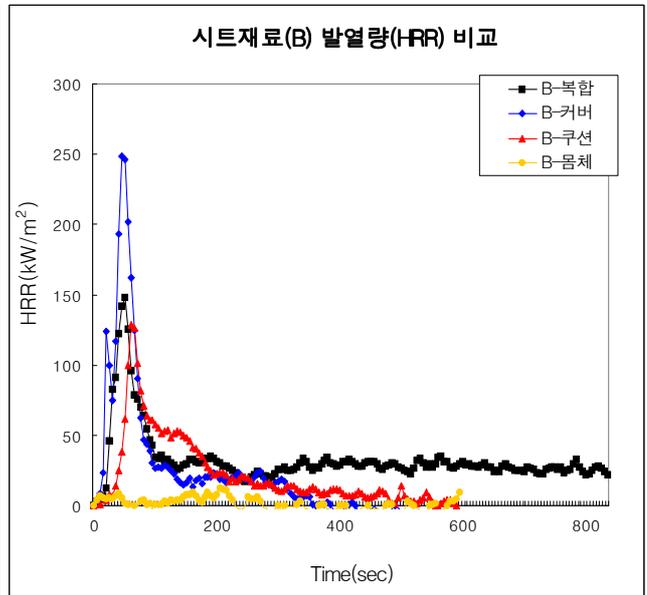


그림 4. 시트재료(B)의 발열량(HRR) 결과

표 3. 시트재료의 연소특성 결과

연소특성	시트재료(A)				시트재료(B)			
	복합	커버	쿠션	몸체	복합	커버	쿠션	몸체
점화시간 (sec)	21	5	31	149	16	7	33	-
최고발열량 (kW/m^2)	164	216	124	75.8	148	249	129	12.4
총발열량	209	72.3	531	387	125	92.0	116	3.7
질량손실 (g)	12.0	7.8	12.7	31.7	19.3	7.8	8.1	14.8

3.2. 시트재료의 발연량 비교

시트재료의 연기발생량은 그림 5와 6 그리고 표 3에 잘 나타나있다. 그림 5를 보면 시트재료 A에서 쿠션의 발연량이 531로 가장 높게 나타남을 알 수 있으며, 시트재료 B에서 복합재가 125로 높은 발연량을 나타냈다. 시트재료 A와 B의 쿠션을 비교해보면 각각 531과 116으로 시트재료 A의 쿠션이 높게 나타났다. 이는 두께 차이와 네오프렌으로 우레탄폼보다 연기발생량이 높다는 것을 알 있다. 시트재료 B에서 복합재의 발연량이 쿠션과 단일재료보다 높은 반면 시트재료 A에서 표 3을 보면 쿠션과 몸체의 총발연량이 각각 531, 387로 복합보다 높게 발생하였으며, 그림 5에서 시트재료 A의 몸체는 500초 이후 연기가 발생 하였다. 이는 장시간 복사열에 의한 점화 후 연소 시 연기가 발생한다는 것을 알 수 있다. 그러나 시트재료 A에서 복합은 열전달과 커버와 쿠션의 차단막 역할을 하여 열차단으로 몸체의 점화가 발생 하지 않았다. 따라서 복합의 발연량은 감소하였다고 볼 수 있다. 시트재료 B 또한 초기에는 커버가 차단막 역할을 하여 연기의 발생을 감소시켰으나 시간의 지나면서 쿠션의 발연량과 유사한 경향을 보이고 있다.

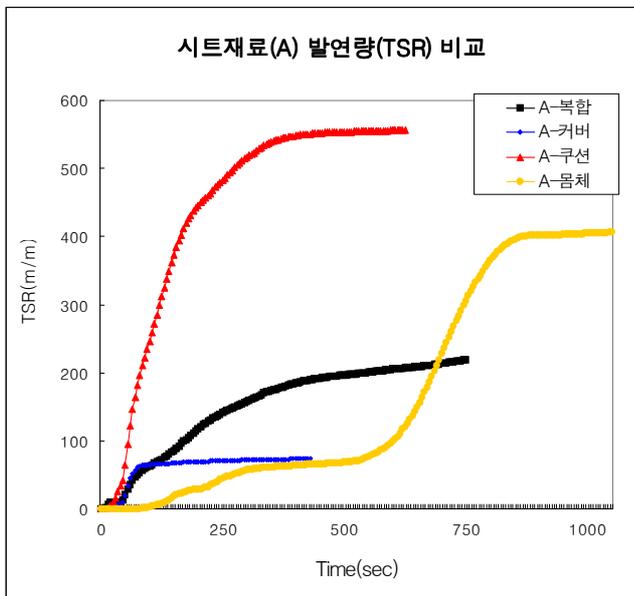


그림 5. 시트재료(A)의 발연량 결과

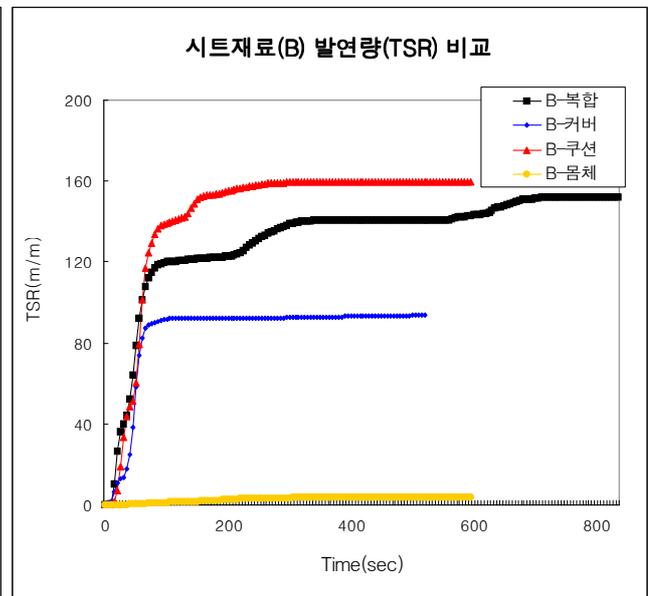


그림 6. 시트재료(B)의 발연량 결과

3.3. 시트재료의 질량손실 비교

시트재료의 질량손실은 그림 7과 표 3에 잘 나타나있다. 그림 7을 보면 시트재료 A의 몸체가 가장 높은 질량손실을 나타냈으며, 쿠션과 몸체는 복합보다 높은 질량손실을 나타냈다. 이는 복합체가 복사열을 차단하여 몸체까지 복사열을 감소시켜 불안전연소에 따른 영향으로 볼 수 있다. 반면 시트재료 B를 보면 복합의 질량손실이 가장 높으며, 점화가 발생하지 않은 몸체에서도 질량이 손실됨을 볼 수 있다. 또한 시트재료 B에서 단일재료의 질량손실 합보다 복합의 질량손실이 더 적은 것으로 보아 복사열의 차단효과는 있지만 시트재료 A 보다는 작다는 것을 알 수 있는데 이는 재료의 특성에 따른 영향으로 볼 수 있다.

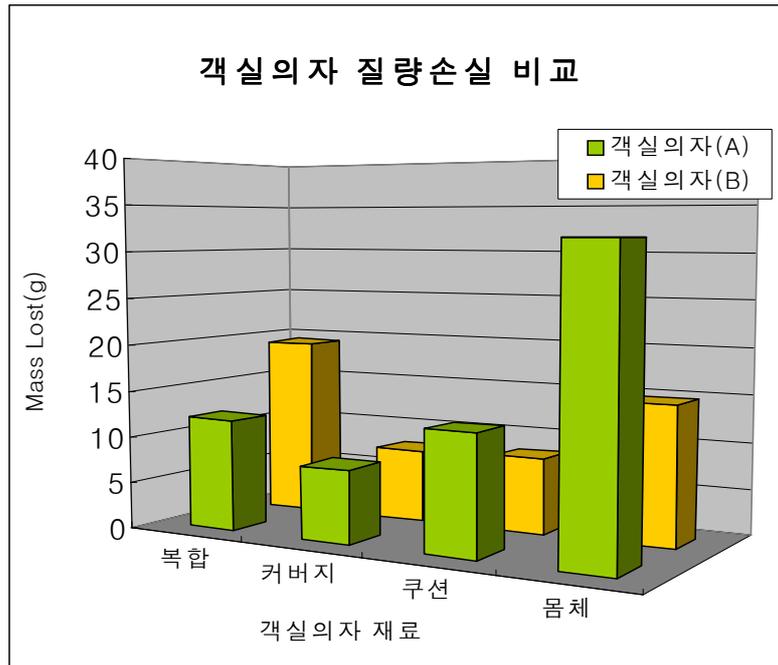


그림 7 시트재료의 질량손실 결과

4. 결론

철도차량의 화재 시 발열량과 발연량은 화재거동의 중요한 인자중의 하나이며, 철도차량재료 중 시트는 높은 발열량과 발연량을 발생하여 화재거동의 중요한 요인이 될 수 있다.

철도차량의 시트재료를 Cone-Calorimeter를 이용하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 시트재료 중 커버의 발열량이 가장 높게 나타났으며, 복합재료는 열전달에 의한 불완전 연소로 발열량이 낮게 나타냄을 확인하였다.

2. 연기발생량은 단일재료의 특성에 영향을 받으며, 커버와 쿠션이 열확산에 의한 차단막 역할을 하며 연기발생에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

3. 시트재료 중 복합재료는 단일재료에 비해 질량감소율이 작아짐을 확인하였다.

따라서 시트의 경우 커버, 쿠션, 몸체뿐만 아니라 복합재료에 대한 더 많은 연구와 시험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. ISO 5660-1, 2(2001), "Reaction-to-fire test-heat release, smoke production and mass loss rate-Part 2. Smoke production rate(dynamic measurement)"
2. 조희기, 이덕희, 이철규, 백민, 정병철 (2005) "Glass fiber cross-Al foil 차단막 두께에 따른 고무발포 단열재 연소특성", 춘계논문집, 한국화재소방학회, pp. 293-298
3. 이근원, 김관용 (2003), "콘칼로리미터를 이용한 플라스틱 단열재의 화재특성", 한국화재소방학회, 제17권, 제1호, pp. 76-83
4. 이철규, 이덕희, 정우성 (2004), "철도차량 내장재료용페놀수지의 내열특성", 한국방재학회논문집, 제4권, 제2호, pp. 29-34