철도차량 시트재료의 개별 및 조립체 시험에 대한 연기특성 비교
Smoke density comparison for composite and single materials of train seat

이은경*　이덕희**　조희기***　이철규****　정우성*****
Lee, Eun Kyoung　Lee, Duck Hee　Cho, Hee Ki　Lee, Cheul Kyu　Jung, Woo Sungg

---

ABSTRACT

Due to the damage which is caused by with the smoke, in the analysis statistics of a fire accident smoke is becoming the important evaluation index of fire quality. We must follow the procedures to use interior material for railway car as stated the Safety regulation for the urban railway car.

In this study, we compared the Smoke Density of the train seat by test between Cone-Calorimeter and Smoke Density-Chamber. The results showed that the smoke density by test between Cone-Calorimeter and Smoke Density-Chamber is visible a similar tendency.

---

1. 서론

현재 대중교통수단으로 역할이 증가하고 있는 도시철도를 포함한 철도차량은 터널과 지하공간을 이용한다는 점에서 화재발생시 대량 인명피해를 발생하는 위험성을 갖고 있다. 2003년 대구지하철화재사고 이후 국내 철도차량용 주요 내장재의 화재관련 기준이 대폭 강화되면서, 내장재 즉, 바닥재, 내장판, 시트어셈블리, 단열재 등으로 품목별 화재안전성을 향상시키기 위하여 다양한 재료가 적용되고 있다.

최근에는 난연성능이 좋은 유리섬유와 멜라민폼, 난연고무발포폼 등의 사용이 검토되고 있다. 기존의 화재사고에 대한 조사 분석 통계에 따르면 화재 발생 시 연기에 의한 피해가 상당량을 차지하고 있어 연기발생량은 화재특성의 주요 평가지표가 되고 있다. 이 재료들의 연소시 위험성을 결정하는데 고려해야할 요소들은 재료의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생되는 열, 열발생 속도, 연기발생량, 연소가스 발생량 등이 있다. 본 연구에서 채택한 Cone-Calorimeter는 재료 연소시 소모되는 산소량을 이용하여 발열량 등을 측정하는 장비로서, 발열량은 단위 질량이나 단위면적의 시편이 연소하는 동안 발생되는 열 에너지로 정의할 수 있다. 발열량 외에도 연기발생량, 일산화탄소/이산화탄소와 같은 유독가스 발생량을 정량적으로 측정할 수 있다.

본 연구에서는 위험성 평가를 위해 도시철도차량용 의자내장재(커버, 쿠션, 몸체, 조립체)의 개체 및 조립체별로 재료를 확보하여 차량내장재용 연기밀도시험법으로 적용되는 ISO 5659 챔버법과 ISO 5660-2 Part 2 규정의 Cone-Calorimeter에 의한 배기관법을 통하여 발생하는 연기발생량을 측정하여 정량분석 및 비교하였다.

---

*　한국철도기술연구원 연구원
**　한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
***　한국철도기술연구원 연구원
****　한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
*****　한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

2. 실 험

2.1 실험 재료

연기발생량을 평가하기 위하여 두 곳의 다른 제조사별로 의자 내장재를 확보하여 온도 20±3℃, 습도 50±5%의 조건에서 72시간이상 전처리를 하였다. 의자 내장재는 개별 및 조립체별로 나누고, 조립체는 각각의 단일재료를 난연성 접착제를 사용하여 접착시켜 준비하였다. 다음 표.1은 실험에 사용된 재료의 주요성분을 정리한 것이다.

표. 1 실험에 사용된 의자내장재의 성분

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

2.2 실험 방법

2.2.1 Smoke density chamber의 시험방법

본 연구에서 사용한 ISO/TC 61의 ISO 5659-2(Determination of optical density by a single-chamber test)기준에 따른 것으로, 연기밀도 chamber(914±3mm×914±3mm×610±3mm)내에 설치된 furnace 와 수직으로 시편을 설치한다. 시편의 크기는 75mm×75mm×25mm이며, 시편 holder를 넣은 노출면은 65.1mm×65.1mm이다. furnace는 2.5W/cm^{2}의 복사열로 시편을 태우며, 30m 정도의 불꽃을 시편에 접하였다. 발생되는 연기의 양은 광원과 광원검출기로 구성된 광도측정시스템으로 측정한다.
다음은 연구에서 사용한 연기chamber의 사진과 구성도는 그림 1과 2에 나타냈다.

그림 1. Smoke Density Chamber

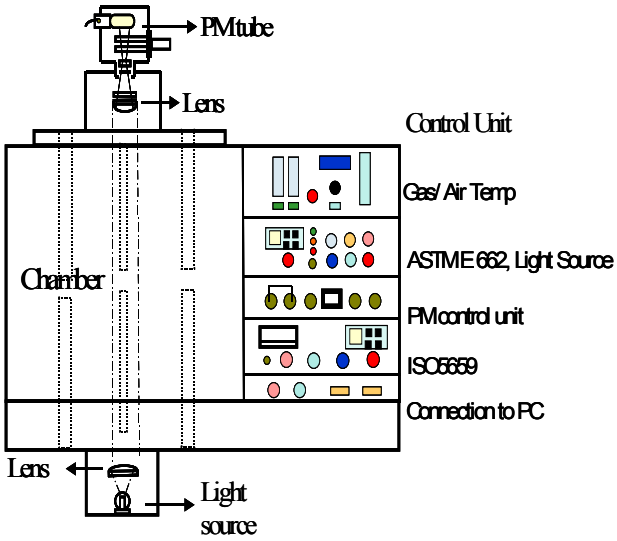

그림 2. Smoke Density Chamber 구성도

대기배출가스측정기(stack sampler)는 CO_2, CO, NO, NO2, SO_2,를 검지하는 EUROTRON사에 GRENLINE MK2 모델을 사용하였고, 검지관은 NES(Naval Engineering Standard) 713의 가스텍(GASTEC) 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 이용하여 평가하였다.

2.2.2. Cone-Calorimeter의 시험 방법

연기발생량 측정을 위하여, 영국 FTT사의 dual-Cone Calorimeter를 사용하였으며 ISO 5660-2 Part 2 규정의 시험방법에 따라 시험하였다. Cone-Calorimeter는 의자 내장재의 연소에 따른 발열량, 질량감소율, 독성가스(CO, CO_2) 방출량 및 발연량 등을 측정할 수 있다. 시편 100mm × 100mm 크기를 홀더에 고정시킨후, weigh cell에 올려놓고, 복사전기히터를 이용하여 5.0W/cm^2 의 복사열 조건하에서 수행하였다. 시편의 열분해가스에 점화하기 위해 spark igniter를 사용하였다.

발연량(Heat Release Rate)은 연소 시 소비되는 산소소비량을 측정하여 발열량을 역으로 산출하는 것으로 일반적으로 연소 시 산소 1kg당 약 13MJ의 열방출을 한다고 가정하여 계산하고, 발연량(Smoke Release Rate)은 배연관내의 PM tube의 레이저빔을 통하여 연소시 발생되는 연기량을 평가한다.

그림 3과 4는 dual-Cone-Calorimeter 장비와 구성도를 나타냈다.

그림 3. dual-Cone Calorimeter

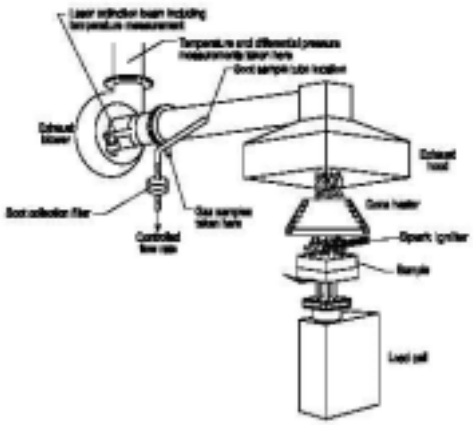

그림 4. dual-Cone Calorimeter 구성도

3. 결과 및 고찰

3.1 의자내장재의 연기발생량 비교

- Smoke density chamber에 의한 연기발생량 비교

그림 5는 두 곳의 다른 의자 내장재의 개별 및 조립체의 연기밀도 특성을 ISO 5659 방법에 따라 시험한 결과이다. 도시철도차량안전기준에관한규칙 중 철도차량실내설비의 화재안전 시험방법 및 기준(제10조 제2항 관련)에 따르면 의자(커버, 쿠션, 몸체)에 대하여 Ds(1.5min)≤100, Ds(4min)≤200 이다.

그림 5에서 A 쿠션 > B 쿠션 > B 조립체 > B 커버 > A 조립체 > A 몸체 > A 커버 > B 몸체 순으로 나타났으며, 가장 연기밀도가 높은 A 쿠션의 Ds(max. 22분) 값이 157이었다.

A와 B는 쿠션, 조립체, 커버, 몸체 순으로 비슷한 경향을 보이지만, A의 커버가 B에 비하여 큰 연기밀도를 보이는 것으로 A의 네오프렌이 B의 우레탄폼에 비하여 많은 연기를 발생시는 것을 알 수 있다.

A와 B의 개별 및 조립체를 비교해보면 A에서는 몸체다음으로 커버의 연기밀도가 현전히 낮고, 쿠션의 연기밀도가 다소 우위를 보이면서, 조립체의 연기밀도는 Ds(max. 21분)값이 80으로 조립체의 연기밀도 값이 낮은 것으로 매우 우수한 연기밀도 특성을 보인다. B에서 역시, 커버의 연기밀도가 제일 낮고, 쿠션의 연기밀도와 조립체의 연기밀도가 비슷한 경향을 보이고 있다.

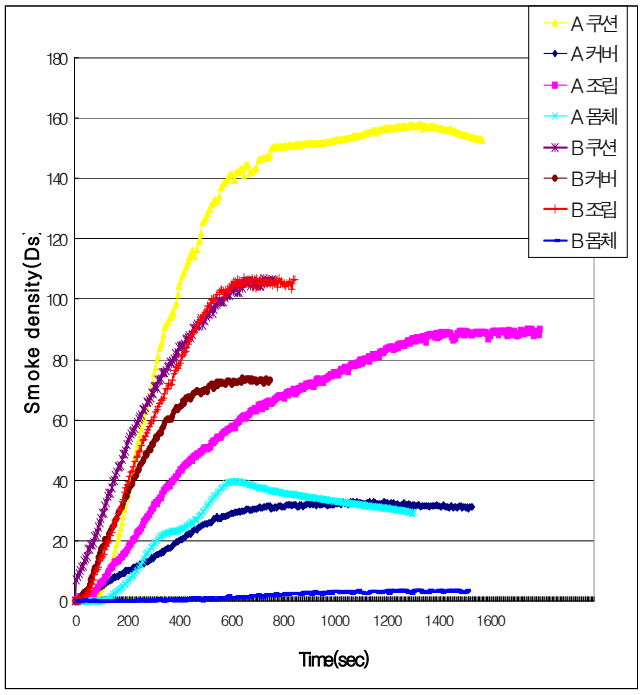

그림 5. A와 B의 단일 및 조립체에 따른 연기밀도 특성

- Cone-Calorimeter에 의한 발연량 비교

의자 내장재의 연기발생량은 그림 6에 나타냈다. 그림 6에서 A 쿠션의 발연량이 531로 가장 높게 나타났고, 다음으로는 A 몸체 > A 조립 > B 쿠션 > B 조립 > B 커버 > A 커버 > B 몸체 순이였다. 이 결과는 연기밀도 챔버에 의한 시험결과와 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. A와 B의 발연량을 비교해 보면, A 쿠션이 B 쿠션에 비해 약 3배정도 큰 발연량을 나타냈다.

A와 B의 쿠션의 TSR이 각각 531과 116으로 A의 쿠션이 높게 나타났다. 이것은 네오프렌으로 우레탄폼보다 연기발생량이 높다는 것을 알 수 있다. A와 B의 조립체의 발연량을 비교해보면 A 조립체의 발연량이 크고, A와 B 모두 쿠션과 커버의 중간쯤으로 커버가 차단막 역활을 하여 쿠션의 연소시에 발생

했던 연기의 발생을 감소시키는 것으로 볼 수 있다.

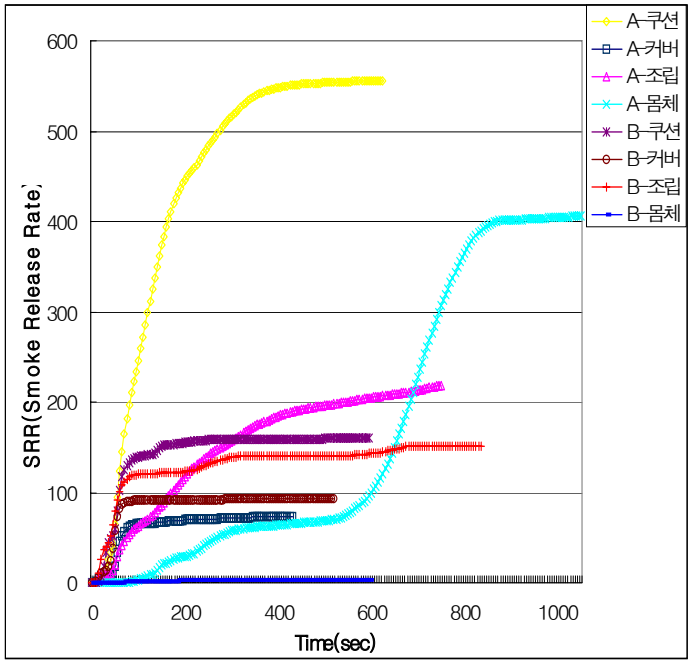

그림 6. A 와 B의 단일 및 조립체의 발연량(TSR)비교

다음의 표 2는 연기밀도 챔버와 Cone-Calorimeter 시험방법에 의한 의자 내장재의 연소특성 결과를 나타냈다. 연기밀도챔버법과 Cone-Calorimeter의 결과는 표와 같이 비슷한 경향을 보여주고 있으며, Cone-Calorimeter의 연기발생량이 큰 것은 시험방법의 차이와 계산방법의 차이이다. A의 연기밀도 값과 발연량값의 차이가 B의 연기밀도와 발연량값의 차이보다 큰것은 연기밀도의 시험방법 즉, 챔버내부의 연기가 일정압력이상일 때 외부로 배출되는 시험법의 차이로 보인다.

표 2. 의자 내장재의 연소특성 결과

구분	A				B			
	쿠션	커버	몸체	**조립체**	쿠션	커버	몸체	**조립체**
연기밀도(Ds)	157(22분)	33(19분)	39(9분)	**80(21분)**	106(12분)	73(12분)	3.5(21분)	**105(10분)**
발연량(SRR)	531	72.3	387	**209**	116	92	3.7	**125**

4. 결과 및 고찰

본 연구를 통하여 우리는 ISO 5659의 규정에 따른 연기밀도 Chamber와 Cone-Calorimeter(ISO 5660-2 Part 2)방법을 이용하여 철도차량 의자내장재의 개별 및 조립체별로 연기발생량을 비교하였다. 의자내장재 개별시험에 따른 결과에서 가장 연기밀도가 큰 것은 쿠션이고, 다음으로 커버, 몸체 순으로 챔버와 Cone-Calorimeter의 결과와 비슷하게 나타났다. 쿠션의 경우, 네오프렌이 우레탄폼 보다 많은 연기를 발생시킨다는 것을 알 수 있고, 몸체의 경우, FRP재료가 Phenol보다 많은 연기를 발생한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 철도차량 의자내장재의 경우, 개별재료들은 연기 발생량이 각각의 물성과 제조방식에 영향을 받고, 조립체에 따른 결과에서는 커버가 차단막 역활을 하여 쿠션의 연소시에 발생했던 연기의 발

생을 오히려 감소시키는 것으로 볼 수 있다.

연기밀도 챔버와 Cone-Calorimeter 시험방법에 따른 결과를 보면 의자 내장재의 연기발생량의 순서는 시험방법에 상관없이 비슷한 경향을 보이고 있고, 이와 같은 시험결과를 통하여 볼 때 현행 철도기준에서 사용하도록 하고 있는 챔버법을 통한 연기밀도 와 Cone-Calorimeter를 통한 발연량과의 비교로 재료들의 경향을 알 수 있는 것으로 판단된다.

5. 참고 문헌

1. ISO 5660-2 (2002), "Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass loss rate - Part 2:Smoke production rate (dynamic measurement)"
2. Tewarson, A. Generation of heat and chemical compounds in fires. In: DiNenno, P. J., Beyler, C. L., Custer, R. L. P., Walton, W. D., Watts, J. M., Drysdale, D. & Hall, J. R. (eds.). SFPE handbook of fire protection engineering. 2nd edition. Boston: Society of Fire Protection Engineers, 1995. Section 3, pp. 53-124. ISBN 0-87765-354-2
3. ISO 5660-1, 2(2001), "Reaction-to-fire test-heat release, smoke production and mass loss rate - Part 2. Smoke production rate(dynamic measurement)
4. “소방백서,” 소방청편, pp. 46-50(1998)
5. 조희기, 이덕희, 이철규, 이동우 (2006), “Cone-Calorimeter를 이용한 철도차량 시트재료의 연소특성 비교 연구” 한국철도학회대회지, 한국철도학회 06 추계학술대회 논문집, pp.67, 2006