

철도차량 시트재료의 개별 및 조립체 시험에 대한 독성 비교

Comparison of toxic test 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 Sung

ABSTRACT

The advanced country established the test standard (e.g., BS, EN) to measure the toxic gases quantitatively and, have applied to enhance the fire safety of railway car. We must also follow the procedures to use interior material for railway car as stated the Safety regulation for the urban railway car.

Currently, various interior materials are used to obtain the fire safety of railway car. The amount of toxic gases moved into colorimetric gas detector tubes from the ISO 5659 chamber was measured and compared the results for composite and single materials. As result of gas analyses, The smoke density(Ds) of combustion gases produced from composite of seat material had the excellent value than single material

1. 서 론

지하터널 등 대부분 밀폐된 공간을 이용하는 지하철 등의 도시철도차량에서 누전, 방화 등의 원인으로 화재가 발생할 경우 인체에 가장 위협적으로 작용하는 것이 내외장재의 연소로부터 발생하는 독성가스이다. 철도에서 대형 화재사고는 빈번하지는 않지만 세계 각 국에서 발생하여 왔으며, 그 원인은 다양하게 조사되었다. 화재로 인한 인명피해를 최소화하기위하여 선진 철도에서는 유독성분에 대한 정량적 측정방법을 ASTM(미국), BS(영국), EN(유럽통합) 등으로 기준화하여 적용하고 있다. 유럽연합에서는 회원국의 전문가 그룹을 구성하여 1996년부터 FIRESTARR 프로젝트를 수행하여 최근 철도차량의 화재안전 기준을 통합화 하고 있으며 특히, 연소가스의 정량적 독성 평가 방법을 표준화하려고 노력하고 있다.¹⁾

국내에서도 도시철도차량 안전기준에 명시된 바와 같이 독성가스 발생량을 평가한 후 내장 재료를 사용토록 하고 있다. 국내 도시철도차량용 주요 내장재는 바닥재, 내장판, 시트어셈블리, 단열재 등으로 구성되며 품목별 화재안전성을 향상시키기 위하여 다양한 재료가 적용되고 있다. 이 재료들의 연소시 위험성을 결정하는데 고려해야할 요소들은 재료의 착화성, 연소성, 재료가 타면서 발생하는 열, 열발생 속도, 연기발생량, 연소가스 발생량 등이 있다.²⁾ 이러한 재료들의 독성가스를 정량적으로 분석하기위하여 개발된 시험방법으로 가스검지관을 이용한 NES 713(British-Naval Engineering Standard)³⁾, 국제 표준화기

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

구(ISO)에서 ISO TR 9122⁴⁾, 국제해사기구(IMO)에서 IMO MSC 61.Part2⁵⁾등이 제정되었고, Tewarson은 연소시 발생하는 연소가스들에 대해 정량분석을 한 성분들을 나타내었다⁶⁾.

본 연구에서는 도시철도차량용 의자내장재의 개체 및 조립체별로 재료를 확보하여 차량내장재용 연기 밀도시험법으로 적용되는 ISO 5659⁷⁾ 챔버법에서 발생하는 유독성분(NO_x, SO₂, CO, CO₂, HCl, HCN, HF, HBr)을 stack sampler 와 가스검지관을 이용하여 정량분석 및 비교하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

실험에 사용된 재료는 지하철 등에 적용되고 있는 실 제품을 확보하여 온도 20±3℃, 습도 50±5%의 조건에서 72시간이상 전처리를 하였다. 의자 내장재의 시편은 두 곳의 다른 제조사별로 개별 및 조립체별로 나누어 ISO 5659 시험기준에 따라 75mm×75mm로 준비하였으며, 조립체는 각각의 단일재료들을 난연성 접착제를 사용하여 접착시켜 준비하였다. 다음 표. 1은 실험에 사용된 재료의 주요성분을 정리한 것이다.

표. 1 실험에 사용된 의자내장재의 성분

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

2.2. 실험 장치

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/cm²의 복사열로 시편을 태우며, 30m 정도의 불꽃을 시편에 접하였다. 발생하는 연기의 양은 광원과 광원검출기로 구성된 광도측정시스템으로 측정한다.

다음은 연구에서 사용한 연기chamber의 사진과 구성도는 그림 1과 2에 나타냈다.



그림 1. Smoke Density Chamber

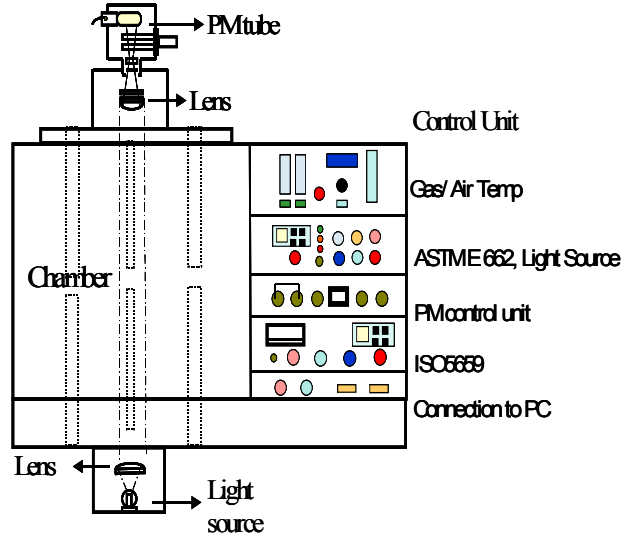


그림 2. Smoke Density Chamber 구성도

대기배출가스측정기(stack sampler)는 CO₂, CO, NO, NO₂, SO₂를 검지하는 EUROTRON사에 GRENLIN MK2 모델을 사용하였고, 검지관은 NES(Naval Engineering Standard) 713의 가스텍 (GASTEC) 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 이용하여 평가하였다.

다음은 가스검지관에 대한 성분 및 특성을 나타냈다.

표. 2 가스검지관의 성분별 특성

구분	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	HCl	HCN	HF	HNO ₃
Measuring Range	0.25-3%	500-1000 ppm	5-200ppm	5-100ppm	1-20ppm	2.5-60 ppm	0.5-20 ppm	2-60ppm
Number of Pump Strokes	1	1/2	1	1	1	1	4	1
Correction Factor	1	2	1	1	1	1	1	1
Color Change	White →Purple	Yellow →Blackish Brown	White →Yellowish orange	Blue →Yellow	Yellow →Pink	Yellow →Red	Yellow →Brownish pink	Yellow →Brownish pink

2.3 실험 방법

ISO 5659 챔버 내에서 76mm×76mm 크기의 시편을 시편지지대에 올려놓고 연소챔버의 밀폐를 확인하였다. 그리고 2.5 kw/cm² (645℃)의 열복사 상태에서 시편의 표면에 Pilot flame을 접촉하도록 하고, 점화하여 불꽃의 높이를 약 30mm로 유지하였다. 이때, 연소시켜 발생된 연소가스를 연기밀도 최대 발생값(Ds)의 85%이상 일 때, 연소챔버 와 sample 배관에 삽입된 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다.

연기밀도(Specific Smoke Density : Ds) 평가방법은 연기상자의 형상으로부터 결정되는 상수 G값과 PM(Photo Multiplier) 튜브에서 감지되는 투과율 T 및 필터조건에 의해서 결정된다.

$$D_s = G \left(\log \frac{100}{T} + F \right)$$

$$G = V / (A \times L)$$

(V : volume of Chamber, A : specimen surface area, L : light pass length)

T=transmittance of light

F=the density of the filter or 0 (depend on filter condition)

3. 결과 및 고찰

3.1 시트 내장재의 연기밀도 비교

그림. 3 과 4는 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. 3에서 쿠션의 연기밀도가 가장 높고, 다음으로 조립체, 커버, 몸체 순으로 쿠션의 Ds(max. 22분)값이 157로 나타났으나, 커버의 경우는 Ds(max. 19분)값이 33 으로 매우 낮은 연기밀도 특성을 보이는 것을 알 수 있다.

그림. 4에서는 쿠션 과 조립체의 연기밀도가 비슷하게 가장 높고, 다음으로 커버 순으로, 조립체의 경우 Ds(max. 10분) 105 로 나타났고, 커버는 Ds(max. 12.5분)값이 73으로 우수한 연기밀도 특성을 보여주었다. 즉, 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 현저히 낮고, 쿠션의 연기밀도가 다소 우위를 보이면서, 조립체의 연기밀도는 Ds(max. 21분)값이 80으로 조립체의 연기밀도값이 낮은 것으로 매우 우수한 연기밀도 특성을 보인다. B에서 역시, 커버의 연기밀도가 제일 낮고, 쿠션의 연기밀도와 조립체의 연기밀도가 비슷한 경향을 보이고 있다.

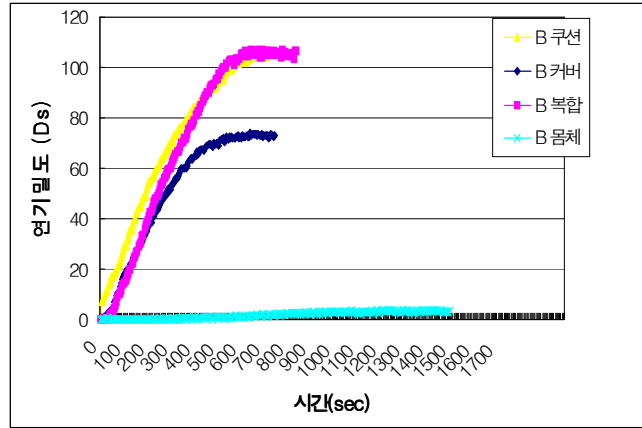
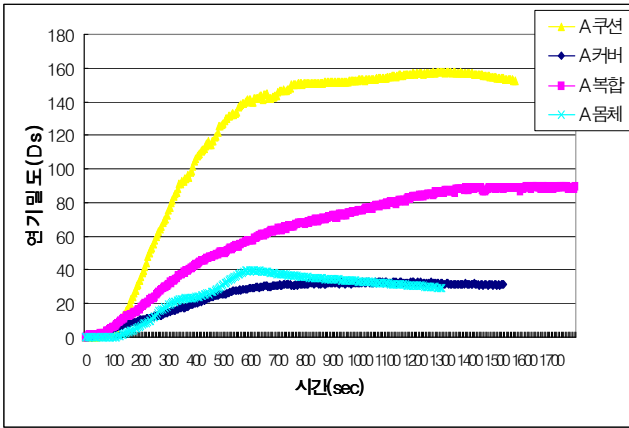


그림. 3 A의 단일 및 복합체에 따른 연기밀도 특성 그림. 4 B의 단일 및 복합체에 따른 연기밀도 특성

3.2 의자내장재의 독성 결과 비교

표. 2에서와 같이 stack sampler와 검지관을 이용해서 분석한 것을 재료별 및 연소가스별로 나타냈다. 본 실험의 결과 도시철도차량 의자내장재의 연소가스 중에서 CO₂가 가장 많이 발생되며, 그 다음으로는 CO, HCN, NO, SO₂, HCl 순이었으며 HNO₃와 HBr은 발생되지 않았다. 본 연구에서 비교적 독성가스 발생량이 큰 것은 쿠션으로 인체에 특히 유해한 CO와 NO_x, HCN의 농도가 많이 검출되었기 때문인 것으로 보여지고, 반면 CO와 NO_x, HCN의 농도가 적게 검출된 재료는 몸체로 나타났다.

표. 3 도시철도차량 의자내장재료의 개별 및 조립체별 유독가스 발생량 비교

구분	A 쿠션		A 커버		A 몸체		A 조립체	
	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관
CO ₂	7500	9750	6500	8000	12900	13900	6500	7500
CO	275.5	245	137	205	201	248	348	370
NO _x	50.5	45.5	42	39.5	3	4	42.5	41
SO ₂	8	23	45.5	63	0.1	0.3	24	28
HCl	-	2.75	-	0.25	-	0.63	-	0.95
HCN	-	109	-	268	-	0	-	134
HNO ₃	-	0	-	0	-	0	-	0
HBr	-	0	-	0	-	0	-	0

구분	B 쿠션		B 커버		B 몸체		B 조립체	
	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관	stack sampler	검지관
CO ₂	7000	7250	5000	6000	5900	6933.3	5500	6750
CO	727	497.5	191.5	235	113	132.7	392	395
NO _x	13	13.5	29.5	31.5	4	4.3	31	20
SO ₂	0	2.25	32.5	48.5	0	0.7	19	22
HCl	-	1.5	-	0	-	0.133	0.75	0.6
HCN	-	24	-	180	-	1.5	-	171
HNO ₃	-	0	-	0	-	0	-	0
HBr	-	0	-	0	-	0	-	0

4. 결론

본 연구를 통하여 우리는 ISO 5659의 규정에 따른 연기밀도 Chamber를 이용하여 철도차량 의자내장재의 개별 및 조립체별로 연기밀도 및 독성가스를 비교하였다. 의자내장재 개별시험에 따른 결과에서 가장 연기밀도가 큰 것은 쿠션이고, 다음으로 커버, 몸체 순으로 나타났다. 쿠션의 경우, 네오프렌이 우레탄폼보다 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 물성에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한, 조립체에 따른 결과에서는 커버가 차단막 역할을 하여 연기의 발생을 감소시키는 것으로 볼 수 있다.

의자내장재의 독성결과 비교에서는 stack sampler와 검지관의 측정값은 CO₂의 경우 1500-2500으로, CO는 50-100으로, NO는 10내외 등으로 반복재현성이 좋았으며 상대적으로 소량 발생하는 것으로 평가되었다. 개체시험의 결과에서는 쿠션, 몸체, 커버 순으로 나타났으며, 쿠션의 경우는 네오프렌이 우레탄 폼보다 2배 이상의 NO_x가 발생하는 것을 볼 수 있다. 몸체의 경우는 CO₂와 CO의 발생량이 클 뿐, 다른 유해가스의 배출률은 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 몸체는 연소 시 발생하는 연기의 발생량도 적고, 유해가스의 배출 또한 적은 것을 알 수 있다. 조립체 시험에 따른 결과에서는 표면재료인 커버 보다는 가연성이 좋은 쿠션의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이와 같은 시험결과를 통하여 불 때 현행 철도 기준에서 사용하도록 하고 있는 챔버법을 통한 연기밀도 및 독성평가 결과는 조립체에서 발생하는 연기량과 독성가스량은 개별 재료에서 평가되는 값들의 합으로는 표현할 수 없는 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. The FIRESTARR Research Project on the reaction-to-fire performance of products in European trains, Peter Briggs, Warrington Fire Research, Y LeTallec, A Sainrat, LNE, France, S Metral, SNCF, France, S Messa, LSF, Italy, H Breulet, ISSeP, Belgium
2. "소방백서," 소방청편, pp. 46-50(1998)
3. Gordon E. Hartzell, "Advances in Combustion Toxicology", Vol.3, Technomic Publishing Co., Inc.,PA, pp. 8-18(1989)
4. ISO TR 9122,"Toxicity testing of effluents", ISO(1989).
5. IMO MSC 61.(67), "Adoption of the international code for application of fire test procedures, Part 2. Smoke and toxicity test", IMO(1996)
6. Tewarson, A. Generation of heat and chemical compounds in fires. In: DiNunno, 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
7. ISO 5660-1, 2(2001), "Reaction-to-fire test-heat release, smoke production and mass loss rate- Part 2. Smoke production rate(dynamic measurement)