도시철도차량 화재안전도 평가에 대한연구(I)
(내장재 화재특성 평가 중심으로)
A study on the fire safety evaluation of the urban rail vehicle
(Fire characteristic evaluation of interiors)

정우성* 이덕희** 이철규*** 이주봉****
Woo-Sung Jung, Duck-Hee Lee, Cheul-Kyu Lee, Ju-Bong Lee

ABSTRACT

Although the urban rail vehicle is exposed to the fire disaster, most country, except only a few advanced country, is insufficient to take a measure against the fire accident. Safety regulation modification, fire safety standard of the materials. and each material's fire resistance of the rail vehicle have been upgraded until the Daegu fire disaster in Korea.

For that reason, In this study, current techniques of fire safety evaluation are analyzed and fire safety degrees of rail vehicles are compared with the change of interiors which is met to the fire safety standard of urban rail vehicle.

---

1. 서론

철도는 에너지효율이 높으며 정시성, 안전성이 보장되는 교통수단으로 현대사회의 대중교통 문제를 해결할 수 있는 적절한 대안으로 평가받고 있다. 그러나 철도 교통이 가지는 경제성 및 편의성은 철저한 안전관리를 통하여만 지속적으로 보장받을 수 있다.

특히 지하철의 경우 언제든지 대형 화재사고의 위협에 노출되어 있는데, 일부 선진 국가를 제외하고는 철도화재 사고에 대한 대비는 매우 미흡한 것이 지금까지의 현실이었다. 최근에 발생하는 화재사고를 고찰하여 보면 대량의 발화원을 동원하는 테러형 방화 위험이 더욱 높아지고 있어 전기적인 발화나 작업장 실수 등에 의한 과거의 화재사고와는 전혀 다른 대응책이 요구되고 있는 실정이다.

대구지하철 사고 이후 정부는 각종 안전기준을 정비하고 철도차량에 대해서도 내장재 재료의 화재안전 기준을 개정하는 등 각 재료의 화재 저항성을 강화하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 현재 수행되고 있는 도시철도차량에 대한 국내외 화재안전도 평가관련 기술을 조사 분석하였고, 또한 도시철도 차량 화재안전기준에 따른 화재 특성 값을 분석하여 내장재 교체에 따른 차량의 화재 안전도를 비교분석 하였다.

---

* 정우성 : 한국철도기술연구원, 정회원, 환경화재연구팀
E-mail :wsjung@krri.re.kr
TEL : (031)460-5361 FAX : (031)460-5319
** 이덕희 : 한국철도기술연구원, 정회원, 환경화재연구팀
*** 이철규 : 한국철도기술연구원, 정회원, 환경화재연구팀
**** 이주봉 : 서울metero, 차량팀, 과장

2. 전동차 내장재 화재 특성 평가

본 연구에서는 기존 전동차 및 내장재 교체 전동차의 내장재 시편 화재특성 평가를 위하여 2004년 12월 개정 고시된 도시철도차량안전기준에관한규칙 개정령의 시험방법과 향후 도입이 예상되는 콘칼로리미터 시험법 등을 활용하였다.(<표 1> 참조)

<표 1> 도시철도차량안전기준 시험장치

구 분	시험장치	규격 및 시험법	구 분	시험장치	규격 및 시험법
화염전파시험기험기		ISO 5658-2 / IMO 653 - 화염전파 속도 및 연소거리	산소지수시험기		ISO 4589-2 -산소/질소 혼합가스에서 시편 연소
연기밀도시험기		ASTM E662 / ISO 5659 - NBS 챔버에 시편을 연소시켜 연기밀도 측정	발열량시험기(콘칼로리미터)		ISO 5660 - 100×100(mm) 시편을 열복사 조건에서 태워 발열량과 연기량, 가스유독성 등을 평가

3. 철도차량 내장재 화재특성 시험결과 및 고찰

3.1 교체전·후 내장재료 비교

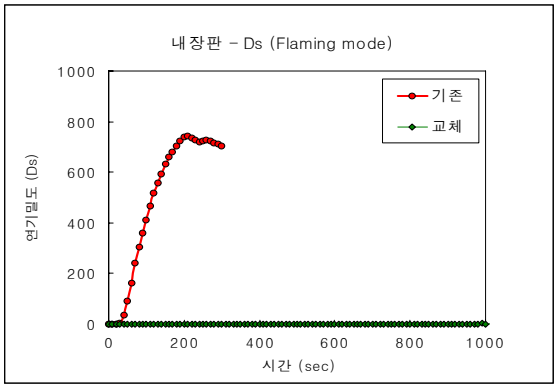
기존의 내장재는 KS 3015 자기소화성을 비롯한 시험기준 만족하도록 하고 있었으나 대체로 기본적인 연소성 규격만으로 검증되었던 반면, 교체 내장재는 해외 철도선진국에서 사용하고 있는 BS 6853 Ia 기준 및 NFPA 130 기준의 화염전파, 연기밀도, 연소가스 독성 등의 기준을 검증하도록 요구하고 있다. 다만 교체된 교체 내장재의 화재특성을 기존 내장재와 비교하기 위하여 당 연구원에서 보유하고 있는 시험 장비를 통하여 비교평가를 수행하였다. 이하의 시험값들은 내장재 사양의 적합성과는 관계가 없으며 샘플링 절차의 유효성 등은 고려되지 않았으므로 참고 값으로만 활용되어져야 할 것이다. 연구에 사용한 교체 전·후의 내장재 사용재료 및 요구기준을 <표 2>에 요약 하였다.

<표 2> 기존 및 교체차량 내장재료

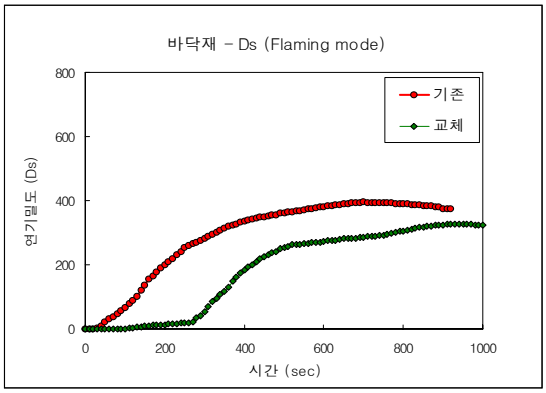
구 분		기존 내장재		교체 내장재	
		사용재료	요구기준	사용재료	요구기준
내장판		불포화폴리에스테르 FRP	KS 3015, 자기소화성	세라믹코팅 알루미늄	도시철도차량안전기준에관한규칙
바닥재		염화비닐수지	KS M 3305	합성고무	〃
의자	커버	폴리에스테르 모켓트	JIS Z 2150	스테인리스	〃
	쿠션	우레탄 폼	FMVSS 302		
단열재		폴리에틸렌 폼	KS M 3808	유리섬유	〃

3.2 연기밀도 평가 결과

기존 내장재의 경우 연기발생량에 대한 허용기준이 없었기 때문에 매우 많은 연기를 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 불포화폴리에스테르 내장판의 경우 4분 연기밀도 값이 725 정도로 매우 많은 연기를 발생시키는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 반하여 신규로 적용된 알루미늄 세라믹 내장판의 경우는 4분 값이 0.8 정도로 매우 향상된 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.



<그림 2> 내장판의 연기밀도 시험결과 비교



<그림 3> 바닥재의 연기밀도 시험결과 비교

3.3 산소지수 평가 결과

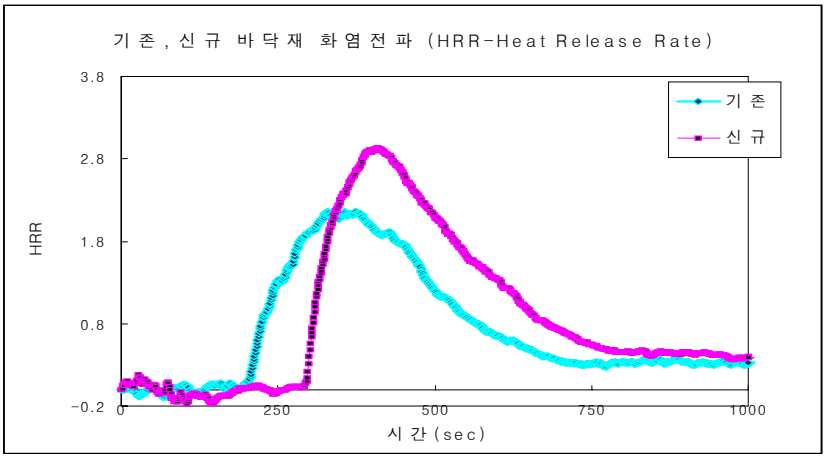
산소지수가 21이상이면 일반 대기 중에서 3분 이상 연소가 지속되지 않으므로 자기소화성 이상의 난연성을 가지는 재료로 평가할 수 있다. <표 3>의 결과를 통하여 기존 내장재를 경우도 의자 쿠션을 제외한 재료의 산소지수는 24.4 ~ 27.2 정도로 어느 정도의 난연성을 가지고 있음을 확인 할 수 있었다.

<표 3> 기존 및 교체 내장재 산소지수 비교

구 분		기존 내장재	교체 내장재
내장판		25.8	90 이상
바닥재		24.4	34.5
의자	커버	26.8	90 이상
	쿠션	20.6	
단열재		27.2	42.6

3.4 화염전파 평가 결과

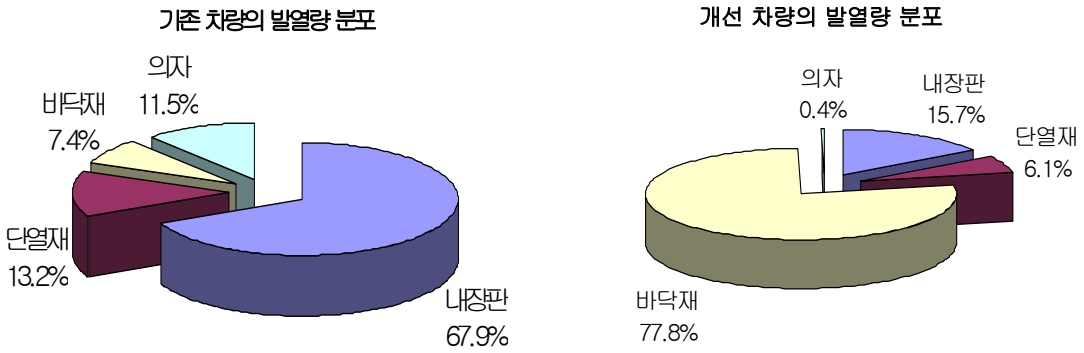
불연급으로 교체된 내장판, 의자, 단열재의 경우 점화가 되지 않아 화염전파 측정이 불가능 했다. 합성고무 바닥재의 경우에는 50초 이상의 착화지연 효과가 나타나 난연성 개선이 확실하게 나타났으며, 소화점 임계복사열이나 연소지속열에 있어서도 100% 이상 개선효과가 검증되었다.



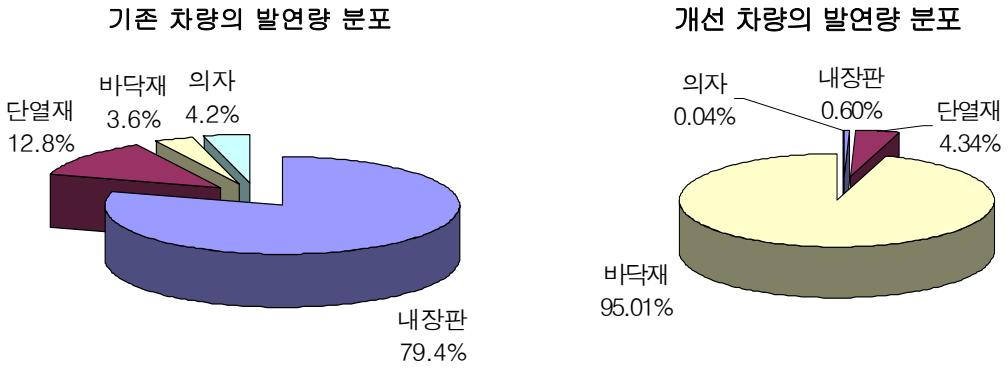
<그림 4> 기존, 신규 바닥재 화염전파

3.5 발열량 및 발연량 평가 결과

교체차량에 적용된 내장재의 발열량 측정결과 총발열량 및 발연량이 대부분 감소한 것으로 나타났으며 특히, 알루미늄 내장판, 스테인리스 의자와 유리섬유 단열재의 경우 발열 및 발연량이 거의 측정되지 않음을 알 수 있었다. 이 경우에는 표면에 처리된 코팅면으로 부터 발생되는 소량의 열량 및 연기만이 측정되었을 뿐이다. 전체적으로 교체 내장재의 발열량 및 발연량 개선효과가 확실하게 나타났다. 합성고무 바닥재의 경우 총발열량, 총발연량은 기존 바닥재가 더 적은 것으로 나타났으며 착화시간과 초기 발생 연기량은 교체 바닥재가 우수한 것으로 평가되었다. 바닥재의 경우 방화시 가연물과의 접촉부가 되므로 난연성을 높여 초기 착화 및 화염 확대를 방지하는 측면의 관리 방법은 적절한 것으로 사료된다.



<그림 5> 기존과 개선 차량의 발열량 분포비교



<그림 6> 기존과 개선 차량의 발연량 분포비교

4. 결론

기존 내장재와 교체 내장재의 시험결과 평가 항목별로 교체 내장재의 안전성 향상을 정량적으로 확인할 수 있었다. 특히 교체 내장재 중 알루미늄 내장판, 스테인리스 의자, 유리섬유 단열재는 불연성 재료에 해당하여 난연성 재료를 사용하였던 기존 내장재에 비하여 매우 안전한 재질을 선정한 것으로 평가된다.

각 내장재 품목별 화재특성 비교 검토결과 연기밀도의 경우 주요 내장재에 해당하는 내장판 및 단열재의 경우 특히 상당한 개선효과가 있었다. 산소지수는 단열재와 의자 및 내장판의 개선효과가 컸다. 화염전파 특성의 경우 불연급으로 개선된 내장판, 시트, 단열재가 난연성 개선에 의한 착화시간 지연효과 및 소화점 임계복사열(CFE), 화염전파 속도의 개선을 반영하는 연소 지속열(Qsb)에서의 성능 향상이 크게 나타났으며, 바닥재의 경우는 착화지연 성능이 향상된 것으로 평가 되었다.

특히 콘칼로리미터 시험을 통하여 계산된 차량전체의 발열량은 기존차량에 비하여 89%, 연기발생량은 96% 이상 저감되어 내장재 개선에 의한 화재안전성 향상이 뚜렷하게 평가됨을 확인할 수 있었다. 이러한 정도의 화재특성 개선 수준은 국내 도시철도차량안전기준에서 요구하는 사항을 모두 충족할 뿐 아니라 현행 운영되고 있는 해외의 어떠한 재료안전기준에도 부족함이 없는 수준이라고 판단된다.

5. 참고문헌

1. NFPA. *Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems* NFPA 130 : 2000, National Fire Protection Association
2. BS. *Code of practice for fier precautions in the design and construction of passenger carrying trains.* BS 6853 : 1999, British Standards Institution
3. ASTM. *Guide for Tire Hazard Assessment of Rail Transportation Vehicles*. ASTM E 2061-03. West Conshohocken, PA, 2003.
4. 이덕희 외, 철도차량 내장재의 화재안전도 평가방법 연구, 2003년도 한국 화재 소방학회 추계학술발표회 논문집
5. Fire safety on intercity and interregional multiple unit trains, Dept. of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 2002