

틸팅차량용 내장재 화염성능에 대한 기준 제시 및 평가 기술

이상진* · 정종철* · 조세현* · 구동회**

Criteria Proposal and Evaluation Technique for Fire Performance of TTX Interior Components

Sang-Jin Lee, Jong-Cheol Jeong, Se-Hyun Cho, and Dong-hae Koo

Abstract

Through investing the criteria and evaluation for fire performance of interior components, this paper introduce the testing items and requirements for Flammability, Smoke density, and Toxicity properties of TTX(Tilting Train eXpress) interior parts. Next time, all trains including TTX will be occupied the components with superior fire-resistance and the sensing and monitoring system for fire in train.

Key Words: Fire performance(화염 성능), Flammability(인화성), Smoke density(연기밀도), Toxicity(독성)

1. 서론

최근 산업의 비약적인 발달은 보다 많은 양의 물류를 보다 빠르게 이동시켜야 하는 필요성을 낳게 되었으며, 자동차 등의 보급이 늘어나면서 고속도로와 같은 운송로의 정체로 인하여 철도의 이용률이 급증하였다. 이용 효율 증대를 목적으로 고속철도를 개발하였으며, 그 개통을 앞두고 있다. 내륙을 남북으로 연결하는 KTX(고속철도) 개통에 즈음하여 산악지형이 많은 동서를 잇는 지선의 수송능력 향상은 국토의 균형 발전에 필수적인 요건이며, 이러한 요건을 충족할만한 최적의 대안으로 틸팅(Tilting) 차량 개발이 부각되고 있다. 이에 한국철도기술연구원은 곡선부의 속도향상과 안정된 틸팅 기능을 위해 경량 복합소재 차량 개발을 진행 중에 있다. 이처럼 세계 각국에서는 철도차량의 재질로 복합소재를 적용하는 것에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 점차 적용 부분이 일차구조물로까지 확산되어 늘어나는 추세이다.

본 논문에서는 차량의 개발에 필수적으로 수행

되어야 하는 성능평가의 기준을 정함에 있어서, 복합소재 차체의 강도나 제작성 측면에서의 평가 보다는 화재에 대한 평가부분에 초점을 맞추었다. 얼마 전 대구에서 발생한 지하철 참사로 인하여 철도차량의 화재에 대한 저항성 평가가 상당히 중요시 되고 있으나 아직까지는 이렇다할 기준 및 평가방법이 확립되지 않은 실정이다. 따라서, 화재에 대한 복합소재 또는 차량을 이루는 여러 부품의 성능평가는 이미 정립되어 적용하고 있는 해외 사례의 검토를 통해 국내 차량 특히 틸팅차량에 적용되어야 할 적절한 기준 제시와 평가 기술을 설명하여 보았다.

2. 국내외 화염성능 평가 기준

2.1 국내 화염성능 평가 기준

내장재의 화염성능 평가에 대해 국내에서 사용 하였던 시험방법과 판정기준은 한국철도용품표준 규격(KRS) 및 한국산업규격(KS)에 의거한 것이 대부분이며, 단순 재질을 근거로한 난연성 시험만을 수행 평가하였다. 그 시험항목 및 기준은 표1과 같다. 국내 철도차량의 내장재로는 불포화 폴리에스테르 수지의 섬유강화플라스틱, MPH(B) (Melamine Pressed Hard-Board), 고충격 플라스틱 소재를 KS규격과 KRS 표준규격을 적용하여 자

* (주) 한국화이버 복합재료연구소

** 한국철도기술연구원 기촌철도기술개발사업단 단장

기소화성 이상의 난연성시험(KS M 3015)을 거쳐 사용하고 있으며, 의자쿠션은 우레탄폼, 의자커버지는 폴리에스테르 모켓트 등 KS규격과 FMVSS 302(미국자동차규격)을 적용하여 자기소화성 내지 방염등급의 화재 안정성을 고려하는 정도이다.

표 1. 기존 객차 내장재 화염성능 평가기준

구분	재질	시험규격	기준	
내장재	좌실	FRP	KS M 3015	자기소화성 이상
	복도 톱포	MPAL	KS M 3015	불연
	화장실 새면실 소면실	고중력 플라스틱	KS M 3015	자기소화성 이상
바닥재	염화비닐수지	KS M 3015	자기소화성 이상	
창, 커튼	-	KS M 0580	난연처리	
의자	커버지	폴리에스테르 모켓트	KS K 2819, JIS Z 2150	방염2급 만족
	쿠션	우레탄 폼	FMVSS 302	자기소화성 이상
벽, 천장 단열재	P.E FOAM	KS M 3808	합격	
전선피복	가교폴리 에틸렌 전선	KS C 3004	5초이내 소멸	
전선관	금속덕트	KS C 8431	불꽃이 자연히 꺼 질것	

2.2 국외 시험규격 및 기준

2.2.1 국외 화염성능 평가 규격

철도선진국에서는 차량내장재의 화재를 방지하고 안전성 확보를 위해 화재의 피해를 줄일 수 있는 화재 예방대책을 마련하여 각종 규격 (ASTM, BS, NF, DIN 및 ISO등)으로 시행하고 있

다. 또한 화재시 승객이 피난할 때까지 화재의 확대를 방지하거나 혹은 표2에서 보듯이 적어도 화재의 진전을 늦추기 위해서 철도차량에 불연성 및 난연성 내장재를 사용하고 있으며 안전 확보 차원에서 인화성, 연기밀도, 독성가스(Flammability, Smoke density, Toxicity) 기술규격을 적용하여 내장재에 대한 화염 특성의 규제방안을 시행하고 있다. 소재의 성능 뿐 만 아니라 열차로부터 승객을 피신시키기 위하여 소요되는 시간에 근거한 구조적 화재 테스트에 대한 허용기준과 화재원으로부터 승객을 대피에 따르는 요구사항들에 근거하여 차량 설계시 화재에 대한 중요성도 제시하고 있다. 영국, 프랑스, 독일, 일본 등 철도선진국에서는 화재 위험수위에 따라 차량을 세분류하여 운행구간별로 규격화하고 있다[1~3].

2.2.2 국외 화염성능 평가 기준 분석

앞서 소개된 국외의 여러 규정 중, 영국의 BS6853:1999[1]의 시험항목 및 기준에 대한 분석을 통해 화재시의 승객 대피 시간 확보 및 인체에 미치는 영향, 위험도를 고려한 허용기준 임을 확인하고자 한다. 먼저, 인화성 평가 항목인 BS 476 Part 7(표면 화염전파)의 경우 범주 Ia에 해당되는 허용기준은 표3에서 Class 1에 해당되며, 시간에 따른 정량적 기준이 제시되어 있음을 확인하였다.

표 2. 각 국가별 내장재 화염 규정 비교

국 가	미 국	영 국	프 랑 스	일 본	한 국
적용기준	(미국) NFPA 130 : Fixed Guideway Transit Systems (영국) BS 6853:1999 : Fire precaution in the design and construction of railway passenger carrying trains (프랑스) NF F 16 - 101 : Railway rolling stock Rolling stock Fire behavior Choice of materials (일본) 1969년 운수성 "전차화재 사고 방지에 대한 지침" 철운 제85호 1973년 운수성 : 전차화재 사고 방지에 대한 지침" 철운 제245호				KS KRS
적용대상	(미국) 신규제작 승객운송용 궤도차량 전반 (영국) Category Ia - 비상출구가 없는 single track 지하철, 무인 운전차 Category Ib - 비상출구가 있거나 Multi-track line, 침대차, 승무차 Category II - Category I 이외의 차량 (프랑스) A1 - 지하철, 다빈도 터널 운행차량 A2 - 교외, 근교 운행 차량 B - 좌석있는 간선차량 (일본) A-A 기준 - 지하철 A 기준 - 도심공간 근교, 장거리 구간 차량 B 기준 - A-A, A기준 이외의 차량				승객운송용
설계지침	방재전반 설계 지침	방재전반 설계 지침	재질 평가 중심	방재 전반 설계 지침	재질 평가 중심
시험방법	별도규정 (NFPA, ASTM)	자체 포함	별도규정(NF)	자체 포함(단순함)	KS M 3015 난연성 시험
Flammability (인화성)	○	○	○	난연, 준난연, 불연으로 규제	자기소화성 이상
Smoke (연기밀도)	○	○	○	-	-
Toxicity (독성가스)	-	○	○	-	-

표 3. 표면 화염진과 시험 허용 등급

Classification	Spread of flame at 1.5 min		Final spread of flame at 10 min	
	Limit	Limit for one specimen in sample	Limit	Limit for one specimen in sample
Class 1	mm	mm	mm	mm
Class 2	165	165 + 25	165	165 + 25
Class 3	215	215 + 25	455	455 + 45
Class 4	265	265 + 25	710	710 + 75
exceeding the limits for class 3				

연기밀도 성능에 해당되는 시험항목인 BS6853:1999 Annex D8.4(내장판)은 그림1 과 같이 구성된다. 본 평가는 그림1에서와 같이 3m 입방공간에 시험편을 60° 기울이고, 그 아래에 1 liter의 알코올에 불을 붙여 연소시 발생하는 연기의 농도를 측벽에 부착된 Photo sensor를 이용한 빛의 투과율로 농도의 정도를 측정하였다. 이에 대한 허용기준은 BS6853:1999에 정하고 있으며, 범주 Ia일 때, Ao(On) < 2.6, Ao(Off) < 3.9 이다. Ao(On)에 대해 허용기준인 2.6의 의미를 분석한다.



그림 1. 연기밀도 시험

여기에서,

Ao(On) : 알코올에 불이 붙어 있는 상태에서의 Optical Intensity.

$$A_o = \frac{A_m \times V}{k \times l} \quad (1)$$

V : the volume of the cube, 27 m³.

l : the length of the optical path between sensor, 3 m.

k : the number of units of material constituting the test specimen (= 1)

$$A_m = \log_{10}(I_o/I_t) \quad (2)$$

A_m : the measured optical density in the cube

I_o : the initial luminous intensity, 100 %.

I_t : the transmitted luminous intensity

으로부터 식(1)의 A_o = 2.6일 때, A_m은 0.29이다.

이 값을 식 (2)에 대입하면 I_t = 75 % 이다.

따라서, Ao(On) = 2.6의 의미는 초기의

luminous intensity(빛의 강도) 100 %에서 75% 로 빛의 강도가 줄어든 상황으로 화재시 승객의 대피에 필요한 시야 정도를 정량화한 것임을 알 수 있다. 독성가스 평가에 대해서는 BS6853 :1999 Annex B에 시험법이 제시되어 있으며, 허용기준은 BS6853:1999내에서 차량 범주 Ia일 때, R < 1로 명기하고 있다. 평가방법은 76 mm × 76 mm 크기의 시험편을 태워 발생된 배기가스를 포집하고, 그 배기가스에 포함된 독성가스의 함유량을 측정하여 기준치와 비교하여 각 가스에 대한 측정치 대 기준치 비율을 계산하고 각 가스의 그 비율값을 합한 R 값을 구한다. 여기에서 각 가스의 기준치는 표4에 제시한다.

표 4. 독성가스의 기준치

Gas	Reference value(mg/m ³)
Carbon Monoxide (CO)	280
Carbon Dioxide (CO ₂)	14,000
Sulphur Dioxide (SO ₂)	53
Hydrogen Chloride (HCl)	15
Hydrogen Bromide (HBr)	20
Hydrogen Fluoride (HF)	4.9
Hydrogen cyanide (HCN)	11
Nitrogen Oxides (NO _x)	7.6

표4의 기준치는 NIOSH(미국, 국립산업안전보건연구원)Guide[4]에서 제시한 대기 중에서 30분 경과시 생명과 인체에 치명적인 각 가스의 농도로 이 또한 화재시 승객에 미치는 영향 및 위험도를 정량화하여 소제평가에 대한 기준으로 삼았다.

2.3 TTX 내장재 화염성능 평가규격 및 기준

현재 개발 진행 중인 틸팅 차량용 내장 부품에 대한 평가항목 및 그 기준은 국내 실정과 해외의 여러 규정 조사를 통해 얻은 필수 평가항목을 고려하여 표5와 같이 제안한다[5].

표 5. 틸팅차량 내장재 화전안전 기준

구분	산소지수 ISO4589-2	화염전파 ISO 5658-2				연기밀도 ASTM E 662			독성 BS6853 Annex B R
		LOI	Qsb (MJ/m ²)	CFE (kW/m ²)	Qp (kW)	Ds (1.5min)	Ds (4min)	Ds (max)	
내장판	≥40	≥1.5	≥20	4	≤50	≤100	≤200	≤1.6	
의자	커버	28	-	-	-	100	200	-	2.0
	쿠션	28	-	-	-	100	175	-	3.2
	음체	32	-	-	-	100	200	-	2.0
동로연결막	28	-	10	6	100	200	-	2.7	
바닥재	28	1.0	7	10	100	200	-	5.0	
단열재	40	-	-	-	-	100	-	1.6	

3. 화염성능 평가 기술 및 화재감지

3.1 화염성능 평가 방법 제시

2.3 절에서 제안된 화염성능 평가항목에 대한 시험법 및 그 장치에 대해 제시한다.

[산소지수] : 그림2와 같이 시편은 산소와 질소가 일정비율로 혼합된 가스 속에서 점화되며, 연소하는데 필요한 산소의 농도를 측정하여 재료가 갖는 화염에 대한 저항성을 알아보기 위한 시험이다.

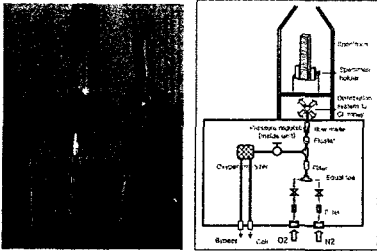


그림 2. 산소지수 시험

[화염전파] : 그림3과 같이 155mm X 800mm 크기의 시편에 복사열(55kW/m² ~ 1.5kW/m²)을 적용하여 발생하는 최대 열 방출률(Qp)의 측정과 화염의 전파 거리로부터 CFE(Critical Flux at Extinguishment)를 계산하는 시험이다.



그림 3. 화염전파

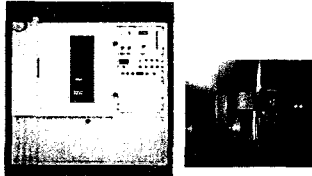


그림 4. 연기밀도

[연기밀도] : 그림 4와 같이 시편을 챔버에 넣고 열을 가하여 연소시 발생하는 연기에 빛을 투과시켜 측정된 투과율로서 연기 밀도(Ds)를 계산하는 시험이다.

[독성] : 그림 5와 같이 연소시 발생된 배기가스에서 FT-IR를 사용하여 각 가스의 함량을 분석한다.

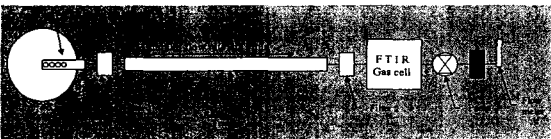


그림 5. 독성

3.2 화재감지 시스템

틸팅열차에 적용하는 화재감지 시스템은 객실

과 부속실에 열, 연기 복합형 감지기를 설치하며 화재시 발생하는 열과 연기를 검출하여 수신기로 전송한다. 수신기에서는 검지된 신호가 화재신호 인지를 최종 판단하여 운전실의 방송장치와 열차 제어 감시시스템(TMS)으로 화재 신호를 출력함으로써 운전자 및 승객에게 음성으로 화재 경보를 알리게 되고, TMS-모니터 및 선두차 수신기를 통해 운전자에게 화재차량 위치를 현시하게 한다. 화재감지 시스템의 기본 구성은 그림6과 같다.

그림 6. 화재감지 시스템의 기본 구성

4. 결론

국내외의 실내 부품에 대한 화염성능 평가 방법 및 기준을 조사 비교하였으며, 이를 바탕으로 향후 틸팅차량의 운행조건과 국내 현 실정을 고려한 화염 평가항목 및 기준을 제시하였다.

후 기

본 연구는 철도청의 철도기술연구개발사업에 의해 지원되고 있으며 이에 감사합니다.

참고문헌

- (1) BS6853:1999, "Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains", British Standards, 2002.
- (2) NFPA 130, "Standard for Fixed Guideway Transit Systems", NFPA, 1995.
- (3) NF F16-101, "Standard for railway rolling stock : Fire behavior - Choice of materials, French Standards, 1988.
- (4) NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)Guide to Chemical Hazards, US Department of Health and Human Services, June, 1997.
- (5) 도시철도 시스템의 안전.방재능력 향상 방안 연구, 한국철도기술연구원, 2003.