

特輯

철도차량의 화재예방을 위한 각 국의 F.S.T. 기술 규정과 동향

(주) 한국화이버 복합재료연구소
여호택, 장기욱, 배동우

1. 서론

우리나라의 철도차량은 1899년에 서울시 노면전차와 경인선 개통을 시작으로 금년으로 104 주년을 맞이하였다. 그 동안 철도 차량 사업은 철강산업과 석유화학 산업 및 전자산업의 발달과 병행하여 짧은 시간 안에 괄목할 만한 발전을 이루었다. 초기의 스티미기관차와 목재형 객차의 도입 시대로부터 발전을 가속하여, 이젠 700여대의 기관차와 수도권 및 지방 5개 도시의 지하철 등 10,000여 량의 여객 열차와 시속 300 km급의 고속열차 개통을 눈앞에 두고 있다. 지난 30여년 동안 고속 성장한 산업발전과 병행하여 철도여객 수송분야도 그 규모가 커지고 고속화가 기본으로 되었으며, 또한 수송비 절감을 위하여 고강도·경량화가 이루어 졌고, 궤도는 터널화·지하화가 대규모로 이루어졌다.

철도차량에 사용된 소재면에서는 경량화를 위하여 차체는 연강재에서 고강도 스테인레스 스틸이나 알루미늄재로, 또 내장재는 역시 연강재나 알루미늄의 금속재에서 석유화학 제품인 불포화폴리에스터(UP)를 기질로 하여 유리섬유로 강화된 유리섬유 강화플라스틱(FRP)으로, 기타 폴리에틸렌(PE), 폴리우레탄(PU)과 같은 석유화학 제품이 대규모로 도입되었고, 이와 같은 가연성 플라스틱으로 말미암아 세계 각처에서 건물뿐만 아니라 선박 및 열차에서 불의의 대형화재 사고로 인해 많은 인명피해와 자산의 손실이 있어왔다.

최근의 가연성 소재 사용 관련 사고로서는 영국의 킹스 크로스 지하철역에서의 화재사고(1987년 31명 사망) 이후로 충주호 유람선 화재사고(1994년, 29명 사망, 33명 부상), 오스트리아에서 관광열차 화재사고(2000년, 172명 사망), 그리고 대구시 지하철 화재사고(2003년 142명 사망, 138명 부상, 85명 실종)등이 있었으며, 가연성 FRP로 인한 대형사고는 계속 이어지고 있다.

선진철도에서는 차량내장재의 화재를 방지하고 안전성 확보를 위해 화재의 피해를 줄일 수 있는 화재 예방대책을 마련하여 각종 규격(NF, BS, NFPA, DIN등)으로 시행하고 있다. 화재 시 승객이 피난할 때까지 화재의 확대를 방지

하거나 혹은 적어도 화재의 진전을 늦추기 위해서 철도차량에 불연성 및 난연성 내장재를 사용하고 있으며, 또한 안전확보 차원에서 F.S.T(화염, 연기, 독성가스) 기술규격을 적용하여 내장재에 대한 화염 특성의 규제방안을 시행하고 있다. 페놀 복합재를 세계 최초로 사용한 영국의 경우 화재사고로 인해 재발대책을 위한 여론의 관심의 증가, 방화재료의 법규 개정으로 관련 규정을 만족시키기 위해 페놀 복합재를 적용하고 있으며, 이 재료의 중요성은 세계적으로 증가해 가고 있다.

국내 철도차량의 내장재는 소재를 KS 규격과 KRS 규격을 적용하여 자기소화성 이상의 난연성 시험(KS M 3015)을 거쳐 사용하고 있으며, 시트등 기타 부수 자재에는 역시 KS등 자기소화성 이상의 화재 안전성을 확보하고 있지만 선진국에 비하여 미비한 실정이다.

본 고에서는 철도차량 내장재에 적합한 불연성 복합재료의 발화원에 대해 차량화재의 발생을 적극 방지함과 동시에, 만일 착화된 경우 연소속도를 최대한 억제시켜 화재에 의한 피해를 최소화한다는 관점에서 복합소재 내장재에 대한 난연성 시험방법 및 기준을 설정하여 화재예방을 통해 여객서비스 향상은 물론 차량 안전성을 확보하고자 한다.

2. 대형화재사고는 왜 발생하는가?

간간 석유산물인 고분자 화학제품이 그 편리성과 경제성에 의해 화재에 무방비한 상태로 “다방면으로 - 대량으로 - 무제한으로” 사용되어 왔다. 한편, 철도 분야에선 여객수송의 대량·고속화와 운송비의 절감을 위해 차량은 고강도·경량화가 지표였으며, 궤도는 터널화·지하화가 또한 대량으로 이루어져 왔다. 이는 공공건축물 즉, 학교·관람장·지하역사·상가의 구조물 또는 부수 자재로서 뿐만 아니라, 대량수송 수단인 철도차량 및 선박 등의 내장재와 단열재로서 사용되어, 불의의 사고 시에 대형화재로 발전하여 막대한 자산피해와 수많은 인명피해가 발생되고 있다.

2.1 화재사고의 원인

기존에 사용된 주된 소재는 대부분 폴리에스터(Polyester) 또는 폴리에틸렌(Polyethylene)계 수지(Resin)의 복합소재(Composite material)로서, 기존에 사용되어온 철과 알루미늄 소재에 비해 고강도·초경량화의 장점과 곡면형상 설계의 자유도가 높아 많이 이용되어 왔으나, 이 소재는 장염저리를 하여도 발화 시 200 ℃ 이상에서는 폭발성 인화물질의 가스가 발생되며, 인화 시에는 강열한 화염과 짙은 연기 및 치명적인 독성가스로 인해 진화가 어렵고, 단시간에 수많은 인명피해가 필연적이다. 그러나, 영국·프랑스·이탈리아 등 서구권과 홍콩·인도·호주 등 동양권에서는 10여년전부터 “극난연 - 극저연 - 극저독성”의 페놀(Phenol)계 수지가 방재용으로 실용화되어 대체 사용되었고, 이로써 유독성의 폴리에스터계 수지사용이 지양되었으며, 철도차량에는 물론, 학교와 공공 건물 등에도 연자별로 신소재로서 개조공사와 신조공사가 시행되어오고 있다.

한편 우리나라의 철도분야에서는 철도청 및 지하철에서 1984년 이후 구입하여 운용하고 있는 철도여객차량 8,300량중 60% 이상이 구형소재를 사용하여 옴으로써 대형 화재와 인명피해의 위험을 안고 운행되고 있으나, 대구시·서울시·광주시 등 근간 구입중인 신조차량에서는 신조규격으로서 개선을 시도하고 있다.

2.2 국내외의 화재사고 사례

열차의 화재사고는 표1에서와 같이 1910년 227명이 사망한 영국 스코틀랜드 열차사고를 시작으로 하여 지금까지 끊임없이 이어지고 있다. 최근의 열차 화재사고는 2003년 2월 18일 오전 9시55분쯤 대구시 중구 남일동 대구지하철 1호선 중앙로역 구내, 진천동에서 안심동으로 운행하던 1079호 전동차안에서 한 정신질환자가 불을 질러, 적어도 승객 142여명이 사망하고 138명이 부상, 85명이 실종된 것으로 추정되는 대참사가 발생했다.(Fig. 1, 2)



Fig. 1 대구지하철 화재 시 발생하는 검은 연기와 독성가스.



Fig. 2 대구지하철 화재 시 불에 탄 전동차와 역구내.

표 1 국내의 주요 열차 화재사고

구분	년 도	내 역	비고
국 외	1910.03	-영국 스코틀랜드 열차사고 (227명 사망)	충돌, 화재
	1970.04	-일본 오사카 지하철 화재사고 (79명 사망, 부상38명)	가스폭발, 화재
	1972.11	-일본 北 터널내 급행열차 화재사고 (30명 사망)	화재
	1987.11	-영국 킹스크로스 지하철 역사 화재사고 (31명 사망과 다수 부상자)	담배꽂초 실화
	1999.08	-인도 서 벵골주 열차사고 (약250명 사망, 1000여명 부상)	충돌, 폭발 화재
	2000.02	-인도 마하라 슈트라 열차 화재사고 (18명 사망, 20명 부상)	성냥실화
	2000.11	-오스트리아 관광열차 화재사고 (172명 사망, 38명 탈출)	화염, 질식
한 국	2002.02	-이집트 열차 화재사고(7명소손) (373명 사망, 65명 부상)	화염, 질식
	1955.03	-부산역 구내 객차 화재사고 (42명 사망, 48명 부상)	화재
	1999.12	-노량진역 객차 화재사고 (새마을호 2량 내장 소손)	방화추정
	2003.02	-대구 지하철 화재사고 (142명 사망, 138명 부상, 85명 실종추정)	방화

3. 열차의 화재 안전을 평가하는 방법에는 어떤 것이 있나?

차량 내장재의 재료는 불연성 혹은 난연성 재질로 한정하고 있다. 화재가 발생하여도 불연성, 난연성, 자기소화성의 재질로 구성된다면 화재의 위험으로부터 승객을 보호할 수 있고 충분한 대피시간을 제공할 수 있기 때문에 차량은 우선 그 재질 선정이 화재안전에서 가장 중요한 요인이 될 수 있다.

바닥재, 내부 벽면 판재, 천장재 그리고 내부를 분리하는 격벽은 승객이 탑승하고 있는 내부에 직접적으로 노출되어 있으므로 유사시 사고에 의한 화재의 발생이 탑승하고 있는 승객의 안전을 위협할 수 있다.

따라서 철도 차량의 내장재로 사용되는 소재는 화염, 연기 그리고 유독가스 배출 등은 엄격히 규제하고 있으며, 규제 항목은 아래와 같다.

3.1 화염(Fire)

3.1.1 화염전파시험(Flammability/Fire Propagation Test)

내장재로 사용하는 Panel은 마감재로 페인트 및 점착제를 사용하게 된다. 따라서 이러한 페인트 및 점착시트에 따른 Panel의 난연성에 미치는 영향을 평가하는데 연소가스의 온도 변화를 측정하여 연소성을 측정하게 된다. Fig. 3에 Fire Testing Technology Ltd(UK)사의 화염전파 시험장비를 나타냈다.

BS 476 part 6에 규정한 화염전파 시험방법은 225×225 mm(두께 50 mm이내) 크기의 완제품 시편을 수직으로 고정시킨 후 가스 불꽃을 가하여 발생하는 연소가스의 온도 변화를 측정하여 연소성을 측정한다.

이 시험에서 요구하는 값은 $il \leq 6$, $I \leq 12$ 이며, 판정 기준은 시험편을 시험기(180kW 전기오븐)에 넣었을 때 온도변화 지수를 나타낸다.

- $il \leq 6$: I 단계 화염전파 값(0.5~3분)
- $I \leq 12$: 화염전파 지수 (0.5~20분)

3.1.2 표면전파시험(Flammability/Surface Spread of Fire Test)

내장재의 난연성에 미치는 영향을 평가하는 방법으로 불꽃이 수평으로 진행한 거리를 측정하여 평가한다. BS 476 part 7 재료에 대한 표면전파속도에 대한 시험방법은 280×925 mm(두께 50 mm이내) 완제품 시험편을 수직복사 열판에 수직으로 고정시킨 후 열을 가하여 시간에 대하여 불이 탄 길이를 측정한다. 판정 기준은 시험편을 1분 5초간 태운 후 연소된 길이가 165 mm이하이면 1등급, 215 mm은 2등급, 265 mm은 3등급, 그 외는 4등급으로 표시한다. 내장재 시험에서는 1등급을 요구하고 있다.

3.2 연기밀도와 불투명성(Smoke Density and Obscuration)

BS6853, NF X 70-102 규격은 화재가 발생하는 동안 대부분의 물질은 화염이나 그로 인한 열에 의해서 연기를 발생하게 된다.

본 항목은 고체 재료가 연소되거나 열분해 될 때 발생하는 연기의 불투명성을 수량화하는 것을 목적으로 하고 있다. Fig. 4는 Fire Testing Technology Ltd(UK)사의 연기밀도 측정 시험장비를 나타낸 것이다.

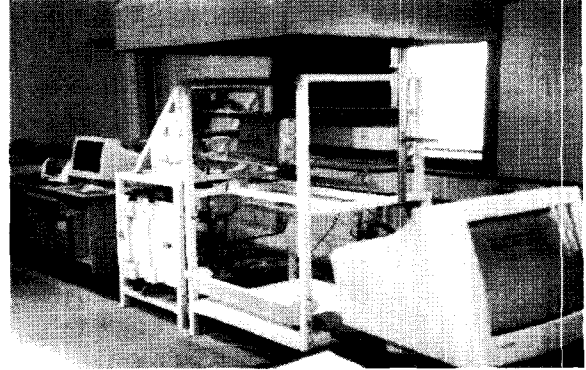


Fig. 3 화염전파 시험 장비.

3.2.1 BS 6853 Annex B 시험방법

Panel의 크기는 완제품 시편으로서 500×1000 mm²이고 두께는 적절해야하고 시료는 최대 폭 25 mm인 모서리로서 지속적으로 지지되어야 한다. 시편을 60°로 고정시킨 후 알코올로 가열하여 발생하는 연기밀도를 빛의 투과율로 측정한다. (단, 여기서는 3 m 입방체 연기밀도시험기를 사용하는 것을 원칙으로 하고있다.)

3.2.2 NF X 70-100 시험방법

연소시 발생하는 연부에 따른 가시도는 우선 0.5 m³의 밀폐된 공간에 시편을 수직으로 고정시킨 후 연소한다. 그 후 20분동안 발생하는 연기에 빛을 투과시켜 빛의 가시도 즉 연기의 특수광학밀도 (Ds)를 측정한다. 그리고 시험 시작 후 4분 동안 발생하는 연기의 양으로 불투명값(VOS4)도 함께 측정한다.

3.3 독 성(Toxicity)

운행 중 사고로 인해 화재가 발생하였을 때 Panel의 면재나 내장재로 사용되는 복합소재에서 독성을 지닌 가스가 발생하면 인명피해를 가중시키는 치명적인 결과를 초래하게 된다. 사실 화염보다 독성가스에 의한 질식사 가장 무서운 것으로 판명되고 있다. 소재에서 발생하는 가스의 성분을 정량 분석하여 규정된 발생가스의 농도에서 독성을 평가한다. Fig. 5에 SHIMATSU사의 독성시험 장비와 표 2에 독성시험에서 입체농도를 나타냈다.

3.3.1 BS 6853 Annex B 시험방법

BS 6853 Annex B에 의한 시험방법은 Interior minor use material of mass 100~500 g, Exterior minor use material of mass 400~2000 g, 직물, 케이블에 적용하고 있다. 또 Panel 시험은 500×1,000 mm 시험편을 사용하고 시험방법은 prEN2824~2826에 따른다.

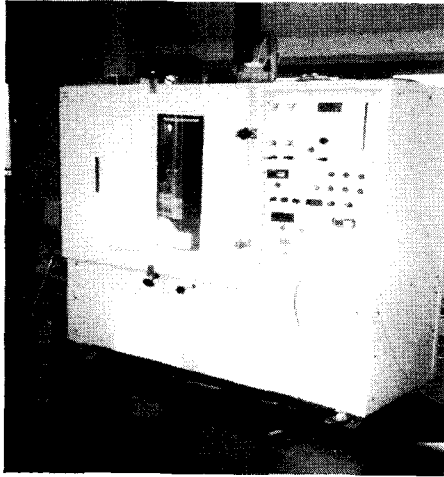


Fig. 4 연기밀도 측정 장비.

시험장치 모델은 ISO 5659-2에 설명된 가열장치로 교체 하여야 하고 화염모드는 25 kW/m²이어야 한다. 단일 smoke 배출 시험만 수행되어야 하고 연기배출물의 85 %에 도달하는 (최고에 도달하지 않는 경우에는 20분에서의 값)시간을 측정한다. 독성은 연기밀도시험의 동일한 시험을 수행할 이전에 확인된 시간에서 독성가스 포집을 한다.

이 때 포집된 각각의 가스에 대하여 독성지수 R를 구한다. 유독성 가스 배출물은 시험편 면적의 0.0058 m²라는 가집에서 재료의 면적당 그래프로 표시한다.

3.3.2 NF X 70-100 시험방법

NF X 70-100에 의한 시험방법은 1 g의 완제품 시편을 400, 600, 800℃의 전기로에서 가열하여 발생하는 독성가스를 포집하여 CO, CO₂, HCl, HBr, HCN, HF, SO₂ 등의 가스의 양을 mg/g으로 측정한다.

표 2 독성시험에서 임계농도

유해 가스	NF X 70-100 임계농도 (mg/m ³)	BS 6853		
		IDLH values		Reference values mg/g or mg/m ³
		임계농도 (mg/m ³)	임계농도 (ppm)	
CO	1,750	1,400	1,200	280
CO ₂	90,000	73,000	14,000	14,000
HCl	150	76	30	15
HBr	170	101	30	20
HCN	55	56	50	11
HF	17	25	30	4.9
SO ₂	260	270	100	53
NO ₂	-	38	20	7.6

¹⁾ IDLH 값 : NIOSH Guided의 기준으로서 대기중에 이 가스의 농도에 30분간 노출되면 생명이나 건강에 매우 위험.

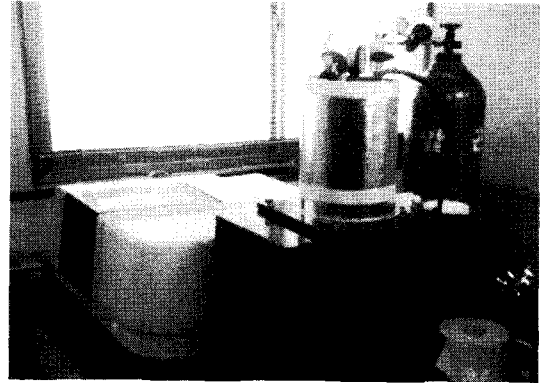


Fig. 5 독성가스 측정장비.

4. 국내의 F.S.T. 규정은 어떻게 되어있나?

4.1 영국

여객을 운송하는 철도차량에서 화재 가능성을 줄이고 화재가 발생했을 경우라도 승객의 위험을 최소화하기 위한 차량의 설계와 제작시험 유지관리 및 화염성과 안전에 영향을 줄 수 있는 모든 사안들에 대하여 기준 및 시험방법을 제시하고 있다. 영국은 킹스크로스 지하철역 화재사고 이후 불연성의 페놀 복합재(Phenolic Composites:PC)를 개발하여 내장재로 채택하였으며, 지하철 화재 규격을 제정하는 등 철도차량의 F.S.T. 규정을 최초로 강화한 나라이기도 하다.

철도차량 소재에 대하여는 정상적인 운전이나 사고 및 방화 등으로 발생 할 수 있는 화재의 위험으로부터 승객들의 안전을 보호하기 위하여 인화성 및 화염전파특성, 연기 밀도와 독성가스등은 화재 위험수위에 따라 세 분류하여 운행구간별 차량으로 규격화하고 있다.(표 3, 표 4)

◆ 분류 I a :

- (1) 터널이나 지하 및 고가 구조물 등의 궤도에서 운행하고 화재 시 사람들이 안전지대로 피신하기 어려운 차량
- (2) 무인조정 시스템의 객차 및 승무 차량

◆ 분류 I b :

- (1) 터널이나 지하 및 고가 구조물 등의 궤도에서 운행하고 화재시 사람들이 안전지대로 피신하기 용이한 차량
- (2) 침대칸을 운영하는 객차 및 승무차량

◆ 분류 II :

- (1) 주로 평지를 운행하는 차량

표 3 영국 철도차량 방화 규격(시험방법)

구분	성능	시험방법
내장재	화염전파성	BS 476 Pt. 6 BS 476 Pt. 7
	연기밀도	BS 6853 Annex D
	독성	BS 6853 Annex B
바닥판	화염전파성	BS 476 Pt. 7
	연기밀도	BS 6853 Annex D
	독성	BS 6853 Annex B
Seat	화염전파성	BS 476 Pt. 6 BS 476 Pt. 7
	연기밀도	BS 6853 Annex D
	독성	BS 6853 Annex B
Cable	화염전파성	BS 4066-3
	연기밀도	BS 6853 Annex D
	독성	BS 6853 Annex B

표 4 영국 철도차량 방화 규격(요구치)

구분	성능	요구치		
		분류 I a	분류 I b	분류 II
내장재	화염전파성	$I \leq 12, ii \leq 6$ class 1	$I \leq 12, ii \leq 6$ class 1	- class 1
	연기밀도	$Ao(on) < 2.6$ $Ao(off) < 3.9$	$Ao(on) < 4.2$ $Ao(off) < 6.3$	$Ao(on) < 9.4$ $Ao(off) < 14.0$
	독성	$R < 1$	$R < 1.6$	$R < 3.6$
바닥판	화염전파성	class 2	class 2	class 2
	연기밀도	$Ao < 220$	$Ao < 350$	-
	독성	$R < 5$	$R < 8$	$R < 18$
Seat	화염전파성	$I \leq 12, ii \leq 6$ class 1	$I \leq 12, ii \leq 6$ class 1	- class 1
	연기밀도	$Ao(on) < 2.6$ $Ao(off) < 3.9$	$Ao(on) < 4.2$ $Ao(off) < 6.3$	$Ao(on) < 9.4$ $Ao(off) < 14.0$
	독성	$R < 1.0$	$R < 1.6$	$R < 3.6$
Cable	화염전파성	2.5m	2.5m	2.5m
	연기밀도	*	$Ao(on) < I \times 1.6$ $Ao(off) < I \times 1.6$	$Ao(on) < I \times 3.6$ $Ao(off) < I \times 3.6$
	독성	$R < 1$	$R < 1.6$	$R < 3.6$

주) (*): $Ao(on) = \frac{\tan^{-1}(d/45)}{45} - \frac{\tan^{-1}d}{2.025}$

$Ao(off) = 1.5Ao(on)$

=dthe cable diameter.

4.2 프랑스

철도차량 화재 예방이나 전파, 확대를 지연시키는 방안은 각각 적용되는 소재의 사용에 대하여 개별적으로 규제하고 있다. 또한, 프랑스의 화재에 대한 규격은 각각의 소재에 대한 다양한 시험 결과를 기초로 하여 매우 복잡한 체계로 구성되어져 있다(표 5). 그러나 BS와는 달리 화염 전파속도에 관한 규정은 미흡하다.

철도차량에 사용되는 모든 재료(비금속류)들의 가연성 및 배출연기와 독성가스의 시험방법 및 기준은 NF F 16-101와 NF F 16-102 및 NF F16-100에 총체적으로 병기되어져 있으며, 철도차량에 대하여 미국과 유사하게 세 분류로 구분하여 제시하고 있다.

- ◆ 분류 A1 : 터널을 통과하는 모든 철도차량
- ◆ 분류 A2 : 터널을 통과하지 않는 차량 중 도시철도 차량
- ◆ 분류 B : 터널을 통과하지 않는 차량중 간선 차량

또한, 철도차량에 사용되는 소재에 대하여 사용되는 위치에 따라서 1)내장재, 2)외장재, 3)특별용도 사용소재(다트, 고전압소재 등)등으로 구분하여 규정을 제시하고 있다.

4.3 미국

미국 열차에 대한 화재 안전 조건들의 대부분은 화재 예방이나 전파, 확대 등을 지연시키도록 설계된 소재 화재 성능 테스트 기준으로 구성되어 있으며, 개별 소재의 화재 특성을 평가하기 위한 테스트 방법에 기초를 두고 있다. 그러나 소재에 대한 화재 특성만에 제한되어 있지 않다.

FRA(Federal Railroad Administration) 및 NFPA(National Fire Protection Association) 등의 지침서에는 화재 시 나타나는 소재의 성능뿐만 아니라 열차로부터 승객을 피신시키기 위하여 소요되는 시간에 근거한 구조적 화재 테스트에 대한 허용기준과 화재원으로 부터 승객의 대피에 따르는 요구사항들에 근거하여 차량 설계 시 화재에 대한 중요성도 제시하고 있다. 미국의 경우는 BS보다는 미흡한 것이 특징인데 이는 국토가 광활하여 상대적으로 지하구간 운행이 적기 때문으로 판단된다.

FRA 및 NFPA등에서 철도차량에 사용되는 소재의 화재 특성 즉, 인화성과 연기배출의 테스트방법 및 규격은 표 6에 요약하였다.

4.4 기타

독일의 철도 화재 예방 규정은 DIN 5510 “철도 차량에 대한 화재예방”에 포함되어져 있다. 이 규정은 고속철도 전철에 이르기까지 다양한 철도 응용체계에 사용되어지며, 특히 분류 4 항목은 가장 높은 단계의 예방책으로 터널을 통과하는 차량에 적용된다.

표 5 프랑스 철도차량의 각 소재에 대한 요구조건(NF F16-101)

구분	Rolling Stock	Rolling Stock	Rolling Stock
	A1	A2	B
Ceilings	M0 F0 2	M0 F0 2	M1 F1 2
Walls	M1 F1 3	M1 F1 3	M2 F1 6
Curtains	M1 F1 5	M1 F1 7	M1 F1 7
Luminaires	M1 F1 4	M1 F1 4	M1 F2 4
Seats(constituent elements)	M1 F1 1~9	M1 F1 1~9	M1 F2 1~9
Floors	M1 F1 5	M2 F1 5/8	M3 F2 10
Interior Cables	A F1 16	A F1 17	B F2 17
Exterior Cables	B F1 16	B F2 18	C F2 18
Exterior materials	M2 F1 2	M2 F2 2	M3 F3 2
Beddings materials	-	M1 F1 5	

주) M:Fire Class, F:Smoke Class

* Toxicity에 대해서는 NF F70-100 참조요(CO, CO₂, HCl, HBr, HCN, H₂, SO₂)

표 6 미국 철도차량의 인화성과 연기배출 규격(NFPA-130)

구분	품명	1) 인화성		2) 연기배출	
		적용 규격	기준	적용 규격	기준
판넬	wall ceiling, partition tables & shelves, windscreen	ASTM E-162	I ≤ 35	ASTM E-662	D(1.5) < 100 D(4.0) ≤ 200
	window light diffuser	ASTM E-162	I < 100	ASTM E-662	
	structural	ASTM E-119	15 min	ASTM E-662	
바닥	covering	ASTM E-648	C.R.F ≥ 5kW/m	ASTM E-662	D(1.5) < 100 D(4.0) < 200
		ASTM E-162	I < 25	ASTM E-662	
의자	cushion mattresses	ASTM D-3675	I ≤ 25	ASTM E-662	D(1.5) ≤ 100 D(4.0) ≤ 175
	seat frames mattresses frames	ASTM E-162	I < 35	ASTM E-662	D(1.5) ≤ 100 D(4.0) < 200
	seat & toilet shroud	ASTM E-162	I ≤ 35	ASTM E-662	D(1.5) < 100 D(4.0) < 200
식당칸	seat upholstery mattresses tisking & covers, curtains	FAR 25.853 (vertical)	flame time ≤ 10s burn length ≤ 6in	ASTM E-662	D(4.0) < 250 coated D(4.0) ≤ 100 uncoated

주) 1) 독성관련 규제항이 없음.

2) 적용규격의 자중별 구분, 즉 지하철·지하철·교외선·본선 여객열차등 차종별로 적용 규격이 분류되어 있지 않음.

철도 차량용 소재의 화재 특성에 대한 시험방법 및 기준은 내장재, 바닥재 벽 및 천장등을 구분하여 제시하고 있으며, 기타 절연물질(전기배선, 케이블)등에 대하여도 규

정을 별도로 제시하고 있다. 또한, 차량 승객을 화재의 영향으로부터 보호하고 화재에 따른 신속한 대피를 위하여 비상출구와 긴급구조계획에 대한 사항을 포함하고 있다.

일본에서는 철도차량 소재에 대하여 차량을 기준으로 다음과 같이 구분하여 운용하고 있으며, 벤치-스케일 소재 시험과 실제-스케일 소재 시험과의 조합이 열차에 대한 화재 안전을 평가하는데 사용되고 있다.

- ◆ A-A 기준 : 지하철
- ◆ A기준 : 도시공간 근교, 장거리 구간 차량
- ◆ B기준 : A-A, A 기준이외의 차량

그러나, 서구 선진국과의 수준격차로 근간 "폐놀 콤포지트 개발전문위원회"를 구성하여 F.S.T에 관해 신소재 개발과 시험에 주력하고 있으며, F.S.T 관련규정의 개정을 서두르고 있다.

홍콩의 지하철에서는 1998년도까지는 화염도시험과 연기밀도 시험에서는 British Standard인 BS 476-part6과 part7 및 BS-6853 Appendix B 5.2를 적용하고, 독성가스시험에서는 프랑스 규격인 NF F16-101을 적용하여 왔다. 1999년 이후에는 BS에서도 독성가스 항목을 보완하여 일괄규정하고 있으므로 BS 6853(1999)을 적용하고 있다.

인도에서는 빈번한 열차사고로부터 여객을 보호하기 위해서 BS를 적용해 왔으며, 최근에는 가장 안전하며 보완된 규정인 BS 6853(1999)을 뉴델리 지하철 등에서 적용하고 있다.

4.5 국내

건설교통부에서는 도시철도차량의 재질을 도시철도법 제22조 1에 근거하여 표준사양에서 규정한 재질을 사용하여야 한다고 규정하고 있으며, 그 재료는 불연성 혹은 난연성 재료로 한정하고 있다. 이러한 재료를 사용할 경우에는 화재가 발생하여도 난연성, 불연성, 자기소화성의 재질로 자체가 구성된다면 화재위험으로부터 1차적으로 승객을 보호할 수 있다. 그러나, 국내에서 사용중인 시험방법과 판정기준은 한국철도용품 표준규격에 의거한 것도 있지만 대부분 한국산업규격에서 제공되는 단순 재질을 근거로 한 일반적인 난연성 시험이어서 연기 밀도 및 독성가스등을 포함하여 국내 철도차량의 특성과 여건에 적합하며 새로이 대처할 수 있는 차량 재질로 난연성을 보완 시행토록 하여야 하겠다. 국내 적용기준인 한국산업규격을 표 7과 8에 나타내었다.

차량 혹은 차량화재시험 장비에 사용될 수 있는 비열가소성 물질인 플라스틱, 유리, 폴리에스테르, 마분지, 나무섬유 덩게, 베니어판에 대한 방화시험은 국내규격을 적용할 수 없으나, UIC규격에는 이러한 재료에 대한 시험을 하고 있다.

표 7 국내의 난연·불연제 관련 규격

구분	적용 규격	내 용
불연제	-	-불에 타지 않는 소재
난연제	KS M 3015	-열경화성 플라스틱의 일반시험 -플라스틱 불연성 및 자기소화성의 정도, 착화후의 연소시간 및 연소거리를 나타냄 -착화후 3분이상 불꽃이 꺼지지 않으면 가연성 -자기소화성 이상
	KS K 0580	-직물의 방염도 시험방법:45° 경사법 -시험편 끝이름 45°경사 착화시켜 연소시간 측정 -1급 : 정상적인 연소성, 2급 : 중간 연소성, 3급 : 강연소성
	KS K 0582	-직물의 방화도 시험방법 -파일 또는 기모, 기물을 방화도 시험기준으로 연소시간을 측정. -3초이내
	KS M 3808	-발포 폴리스티렌 보온재에 대한 규정 -연소성은 양초 시험편에 착화시켜 불꽃이 꺼질 때까지의 시간을 측정 -3초이내
	KRS 2240 -2212	-차량용 순모 모켓트 방염성 시험규격 -시험편에 착화시켜 연소 후 불꽃이 없고 1분 후에 연소가 존재하지 않아야 한다. -방염 2급 이상
	KRS 2240 -2435	-폴리에스테르 모켓트의 난연도 시험규격 -직물의 난연도 시험방법(KS K 0583)으로 측정 -1종 80 이하
	KS C 3004	-전기 절연전선의 난연성 시험규격 -착화후 5초이내 자연 소멸
	KS C 8431	-경질비닐 전선관 -자기소화성 이상

표 8 국내 철도차량의 내장재 시험(KS M 3015)

구분	한국산업규격
시험명	열가소성 플라스틱 내열성 시험
분류번호	KS M 3015
시험방법	A법 : 시험편을 수평으로 고정후 연소기를 30°로 기울여 화염에 시험편을 적용 B법 : 시험편을 수직으로 고정하고 화염을 밑으로부터 적용
판정기준	불연성 : 연소거리가 25mm이하 일 경우 자기 소화성 : 연소거리가 25mm~100mm일 경우

5. 국내 철도차량 화재안전에 대한 전망

5.1 국내 현황과 문제점

영국(BS)을 비롯한 선진국의 지하철 화재 예방을 위한 규정은 예방을 위한 법적 제도와 아울러, 만일의 화재 발생 시 치명적 위험 요소인 화염(F), 연기(S), 독성(T)에 대해 엄격한 기술 규정을 확립하여 피해를 최소화하고 있다. 그러나 우리나라(일본포함)의 경우 화염(Fire)에 대해 매우 낮은 수준의 규정이 제정 되어있고, 연기(Smoke)와 독성(Toxicity)에 대한 규정은 아직 확립되어 있지 않는 실정이다. 그동안 적용해온 규정(KS M 3015)은 상기 화염시험 항의 화염 열량 측정에 해당되는 항목만 규정하고 있어서, 그 이상의 중요한 화염의 확산 속도, 연기밀도와 독성가스 등은 시험대상에서 제외되어 왔다. 따라서, 해외에서는 이미 규제를 강화하고 있는 가연성 FRP(유리섬유 강화플라스틱 / Fiber Reinforced Plastic)을 우리는 KS규정(KS M 3015)에 따라 지속적으로 양산해 왔었다.

기존에 양산된 FRP 제품의 특징은 유리섬유(불연 부독성) + 불포화폴리에스테르(가연유독성)로 구성되어 있다. 유리 섬유는 불연성 비금속 소재로서 유리와 유사하며, 고온에서도 타지 않고 용해되는 특성을 가지고 있다. 그러나, 폴리에스테르 수지는 가연성 액상의 고분자 소재로서 접착제의 역할을 하며, 고체의 형태로 성형이 된 후, 즉 FRP 상태에서도 가열을 하면 점화온도가 낮아 인화가 쉽고, 발화상태에서는 고속 탄화현상으로 인해 연기와 독성기스가 대량으로 발생되며, 가스의 온도가 200 ℃가 넘으면 폭발성 가스로 변하여 화염의 전파속도가 급격히 빨라지는 성질이 있다.

따라서, 우리도 선진 외국의 법제도와 규정을 종합적으로 검토 연구하여, 선진국 수준 또는 그 이상의 수준으로 규정을 보강하여, 열차 화재 시 인명피해 및 국가 재산손실을 최소화하기 위한 국가적 통합차원의 전문대책 수립이 시급히 요망된다.

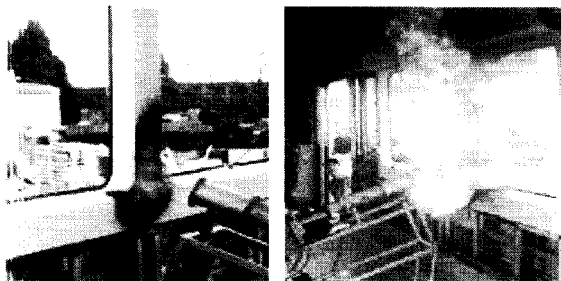
5.2 철도차량 내장재 재료의 변화

지금까지 국내에서 사용되어진 철도차량 내장재(FRP)의 재료는 유리섬유와 불포화폴리에스테르 수지로 이루어져 있다. 불포화폴리에스테르 수지는 난연성을 부여하기 위해 난연성 첨가제를 추가 사용하여야 하며, 일반적으로 사용되고 있는 난연성 첨가제는 수산화 알루미늄, 삼산화 안티몬, 브롬과 같은 할로젠 족 화합물 등이 있다. 이와 같은 난연성 첨가제들은 연소 시 착화는 지연시키나, 일단 착화되면 중금속과 다이옥신 같은 인체에 해로운 유독성 연기를 발생시킨다. 그리고 불포화폴리에스테르 수지는 그 자체가 염화물인 관계로 보통시의 연소(900 ℃ 이상)보다 불완전 연소 시에 특히 유독성 가스가 발생하는 것으로 알려져 있다. 또한, 이러한 난연성 첨가제를 사용할 경우 중량이 증가한다.

페놀 복합재(PC)의 경우, 수지와 유리섬유는 통상 2:1의 중량비이지만, 난연성 불포화폴리에스터 수지는 3:1의 중량에 도달한다. 따라서 전동차의 1차량당 기존의 불포화폴리에스터 FRP는 중량이 약 700 kg인데 비해, 페놀 복합재(PC)는 약 300 kg에 불과하다. 그리고 작업 공정은 불포화폴리에스터 복합재(FRP)는 단판 성형하는 방식이고 페놀 복합재(PC)는 노맥스 하니캡 샌드위치 성형 방식이어서 강성이 좋고, 변형되지 않으며, 고급스러운 제품이다. 즉, 불포화폴리에스터 FRP는 연소성 시험에 합격하기 위해 난연제 첨가제의 양이 많아지기 때문에 수지 전체의 양이 증가하게 되며, 따라서 FRP의 굴곡강도, 내충격성과 같은 물성을 유지하기 위해선 중량이 증가하는 결과를 초래하게 된다.

불포화폴리에스터 복합재(FRP)는 난연제 첨가 방법과 성형 작업 시 작업 조건이 매우 까다롭고 작업성이 나빠 “저가 제품”이라는 단점을 피하기 어렵다. 즉, 페놀 복합재(PC)의 “고가 제품”과 불포화폴리에스터 복합재(FRP)의 “저가 제품”에의 혼동성을 유의하여야 할 것이다.(문화 수준이 향상함에 따라 철도차량, 특히 내장재의 고급화도 추구해야 함)

따라서, 철도차량 내장재의 경우, Fig. 6에서와 같이 불포화폴리에스터 수지는 아무리 개선하더라도 연기, 독성가스 면에서, 그리고 중량 증가 면에서, 페놀수지 경우처럼 근본적 해결책이 될 수 없으므로 철도 선진국과 같이 재료의 변화도 모색해야 될 것으로 본다.(Fig. 7)



(A) 페놀복합재(PC) (B) 불포화 폴리에스터 복합재(FRP)

Fig. 6 페놀복합재(PC)와 불포화 폴리에스터 복합재(FRP)의 화염 비교 시험.



(A) 내장재 (B) 외장재(전두부)

Fig. 7 페놀 복합재(PC)로 제작된 지하철 내·외장재.

6. 맺는 말

이상의 국내 철도차량 내장재 기술규격의 현황과 외국 수준을 고려하여 보면 영국(BS)을 비롯한 선진국의 지하철 화재 예방을 위한 규정은 예방을 위한 법적 제도와 아울러, 만일의 화재 발생 시 치명적 위험 요소인 화염(F), 연기(S), 독성(T)에 대해 엄격한 기술 규정을 확립하여 피해를 최소화하고 있다. 그러나 우리나라(일본포함)의 경우 화염(F)에 대해 매우 낮은 수준의 규정이 제정되어있고, 연기(S)와 독성(T)에 대한 규정은 아직 확립되어 있지 않고 있다. 따라서, 우리도 선진 외국의 법제도와 규정을 종합적으로 검토 연구하여, 선진국 수준 또는 그 이상의 수준으로 규정을 보강하여, 지하철 화재 시 인명피해 및 국가 재산 손실을 최소화하기 위한 국가적 통합차원의 전문대책 수립이 시급히 요망된다.

이와 같은 예방대책 연구검토사항에는 불연자재의 F.S.T 기준의 강화를 선진국 수준으로 하며, 경량의 자재를 적용하여 중량에 의한 운영비 감소와 철로 마모를 최소화하기 위해 중량초과 설계기준을 정립하여야 한다.

한편, 화재 시 비상 대피 탈출구(일반적으로, 전두부에 비상 탈출문을 설치함)로서 차량에 비상문을 설치하여 대피 통로로 활용하는 방안도 검토해 볼 필요가 있다.

끝으로, 본고는 지하철 차량에 국한하여 화재 예방대책을 논하고 있으나, 지하철역사 구내를 비롯하여, 다수의 사람이 모이는 일반 지하상가, 대형 공공건물, 호텔 건물의 방재 규정도 역시 강화되어야 하며, 나아가서 많은 승객을 운송하는 유람 관광선, 여객선 등 일반 선박에도 대형화재의 잠재 가능성이 상존함을 상기하여 지속적인 재난 방지 연구가 지속되어야 할 것으로 본다.

참고문헌

- 1) Kanemasa Nomaguchi, Ken L. Forsdyke, Denver E. Brown, "How Phenolic Composites were chosen(I)," *REINFORCEMENT PLASTICS*, Vol. 48, No.7, 2002, pp. 275-280.
- 2) Kanemasa Nomaguchi, Ken L. Forsdyke, Denver E. Brown, "How Phenolic Composites were chosen(II)," *REINFORCEMENT PLASTICS*, Vol. 48, No.10, 2002, pp. 413-420.
- 3) Kanemasa Nomaguchi, Ken L. Forsdyke, "How Phenolic Composites were chosen(III)," *REINFORCEMENT PLASTICS*, Vol. 48, No.12, 2002 pp. 502-512.
- 4) Kanemasa Nomaguchi, Ken L. Forsdyke, David Beardsworth, "How Phenolic Composites were chosen(IV)," *REINFORCEMENT PLASTICS*, Vol. 49, No.4, 2003, pp. 176-182.