

# 철도 차량 화재 예방 규정 사례 연구 (Case study of fire precautions Regulation for Rolling stock)

이 수 호\*  
Lee, su-ho

이 병 석\*\*  
Lee, byoung-suk

임 용 규\*\*\*  
Lim, young-kyu

## ABSTRACT

The fire precautions regulation for Rolling stock in England, France and America concentrate on ensuring of safety in respect of material choosing method and consideration of design. In order to guarantee fire safety in Korean Rolling stocks, it is necessary to establish the fire precautions regulation at the two respects. Korean Standard of product classifies only incombustibility or not. It is not sufficient to classify various materials by testing method for incombustibility of material. Korean Standard to be reserved should be able to cover the smoke density test for small size and classification of the detail grade of material against the reaction to fire.

### 1. 서론

대구 화재 참사는 지하철 객실에서 방화에 의한 화재로 인명 사상자 및 정신적 물질적으로 많은 피해를 일으켜 안전의 중요성에 대한 생각을 다시 한번 깨우치는 계기가 되었다.

현재 각 연구기관에서는 철도차량에서 발생할 수 있는 화재에 대한 예방 차원에서의 방법 연구 및 화재 발생 대처 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 정부기관에서도 각종 제반 규정을 개정 및 제정을 진행 중에 있다.

철도차량의 오랜 역사를 가진 영국, 미국, 프랑스와 같은 선진국의 경우 크고 작은 철도차량 화재에 대한 경험으로 제반 규정을 토대로 시험 및 평가가 이루어진 차량을 운행하고 있다.

본 연구에서는 철도차량에서 화재예방 및 발생시 대처 방안에 대한 선진국의 규정 사례들을 조사 분석하여 우리나라에 적합한 규정 및 재질 시험 및 평가에 대한 제안을 하고자 한다.

### 2. 각국의 규정 특징

#### 2.1 영국

철도차량의 화재 예방 규격은 BS6853으로 1999년 개정이 되면서 사용 재질의 평가 방법 및 연기 독성시험 등 많은 부분이 변경 및 추가 되어, 현재 규격은 화재에 대한 재질의 선택 방법 및 화재 안전에 대한 설계 측면에서 일반 사항 등을 다루고 있다.

1kW 등급의 작은 발화원 경우에 거의 무한대로 견딜 수 있으며, 10kW 등급의 발화원 경우에 승객이 충분히 대피할 시간을 제공하고, 100kW 등급의 발화원 경우에 차량 객실이 화재로 휩싸인 상태로 전이되는 가능성을 최소화하는 목적이 있다.

또한, 차량은 사용 재질의 평가 방법에 따라 크게 3개의 등급으로 구분된다. 즉, Ia : 단선 터널 내에 측면 비상 탈출구가 없는 구간을 운행하거나, 침대차 중에서 주요구간을 터널로 운행하거나, 승무원 없이 운행하는 차량, Ib : 복선 이상의 터널 내에 측면 비상 탈출구가 있는 구간을 운행하거나,

\* (주) Rotem 중앙연구소 주임 연구원

\*\* (주) Rotem 중앙연구소 책임 연구원

\*\*\* (주) Rotem 중앙연구소 수석 연구원

침대차 중에서 주요구간을 터널로 운행하지 않는 차량, II : 주요 운행 구간이 터널을 통과하지 않는 차량으로 구분하여 사용 재질이 화재에 견딜 수 있는 등급을 구분했다.

특히 1999년에 개정 하면서 연기밀도 및 연기독성 부분을 추가하여 재질평가에 화염의 표면 전파 속도, 연기밀도, 연기독성을 가지고 수행 한다. 소량 사용의 재료, 직물, 전선의 연기 독성 시험 방법은 프랑스 규격을 이용하며, 위치에 따른 독성 시험 방법은 항공기에 사용하는 유럽 공통 규격을 적용하고 있다.

또한, 이 규격은 설계 측면에서 고려해야 할 일반적인 사항으로 화재 전파 차단 기능의 각종 도아 요구 조건, 화재감지 및 방송설비, 비상시에 필요한 차량 제어 기능, 비상 탈출을 위한 조명 및 설비에 대하여 간략하게 기술하였고, 차량에서 사용하는 재질은 사용 위치에 따라 다르게 구분하며, 단품 중량이 실내의 경우 100g 미만, 실외의 경우 500g미만의 경우에 재질 평가를 하지 않는다. 사용 위치에 따라 먼저 실내와 실외의 등급을 다르게 구분하였고, 천정과 같은 수평의 모양 HP (Horizontal Prone), 벽과 같은 수직 V(Vertical), 바닥과 같은 수평 모양 HS(Horizontal Supine)으로 구분 했으며, 단품 중량이 100g이상 500g미만의 소량 사용의 경우도 등급을 다르게 적용하였다.

## 2.2 프랑스

화재예방을 위한 설계 일반 규정이 따로 있으며, 철도차량 사용 재질의 선택 방법은 페인트를 제외한 일반 비철금속 규정과 전장품 규정이 별도로 존재한다.

설계 일반 규정은 UIC(International Union of Railways)및 공기 조화 설비 및 청소 규정을 참고로 화재 탐지, 소화 설비, 비상 탈출 설비 및 장치/위치별 소화 예방 내용들을 규정하고 있다.

재질 선정 기준으로 차량을 3등급으로 구분했으며, 불에 대한 저항과 연기밀도, 연기독성을 조합하여 수행한다. 차량등급은 A1 : 터널을 자주 운행하는 차량(터널길이 200km이상), A2 : 장거리 선로에서 운행하는 침대차 또는 도심이나 시외에서 터널을 자주 운행하지 않는 차량(터널길이 200km미만), B : 장거리 선로에서 터널을 자주 운행하지 않는 차량(터널길이 200km미만)으로 구분한다.

화재에 대한 저항등급 및 연기에 대한 등급을 측정하여 2차원 매트릭스(MxF)에 나타낸다. 만약 측정된 값을 매트릭스 표의 흰색 영역에 있으면 합격이다. 매트릭스는 총 18개이고 차량 등급별 재질에 따라 다른 매트릭스 표를 적용한다. 화재 저항등급 및 시험 방법은 건축물의 화재 저항시험 방법을 적용하고, 연기에 대한 등급에서 연기밀도 측정 방법은 미국의 방법도 유사하고, 연기 독성의 경우 연소 가스 중 지정한 독성 가스량을 측정하고 가중 평가(15분 동안 지정한 독성 가스가 인체에 치명적인 피해가 없는 최대 농도값으로 나눈다)한 다음 합산하여 구한다.

## 2.3 미국

국가화재예방협회(NFPA :National Fire Protection Association)의 규격 NFPA130은 승객 운송용 철도 차량 시스템의 전반적인 화재 안전에 대하여 규정하고 있는데, 역사, 철길 및 역사의 화재시 비상 공기 배출 시스템, 차량 검수고 및 차량의 설계 측면에서 고려해야 할 일반적인 사항 및 표면의 화염 전파 및 연기밀도 시험을 이용한 사용 재질의 선택 방법이 규정되어 있다.

특히 차량에 사용하는 재질의 화재 위험 요소를 평가하는 2가지 방법이 설명되어 있는데 하나는

위험 부하 분석(hazard load analysis) 방법이고, 다른 하나는 적정 재질 선택 방법으로 사용 재질에서 표면의 화염 전파 및 연기 밀도를 제한하여 화재에 견딜 수 있도록 규정하고 있다. 위험 부하 분석(hazard load analysis) 방법은 정해진 면적당 정해진 열량을 가해서 재료에서 얻어지는 열량 및 연기량을 제한하는 방법으로 규격에서 요구하는 사항이 아니고 참고 자료의 목적으로 기술되어 있다.

화재에 견딜 수 있는 적절한 재질 선택 방법은 재질의 화염전파 정도 및 연기밀도를 부위 별로 제한해서 사용하는데 화재 관련 차량 등급 구분이 없으며, 화염전파 및 연기방출의 원인이 되지 않는 작은 재질은 시험을 하지 않는데 작은 재질의 크기나 중량 언급이 없다.

## 2.4 국내

현재까지 고무 규격에는 난연성에 대한 관련 규정은 없다. 또한 난연성에 대한 설명이 있는 다른 제품 규격에 난연 성능 유무로 구분되어 있다. 즉, 강화 플라스틱, 발포 폴리스티렌 보온재, 건축용 방화 도료, 난연 목재 등은 규격내에 난연 성능이 있다 없다로 명시되어 있다. 다만 직물에 대해서는 방염, 방화, 난연 및 연소성에 대해서 시험 방법에 의한 등급이 분류되어 있고, 건축물 내장재에 대해서 난연성 시험 방법에 등급을 규정되어 있으나, 이 규격을 이용하여 철도 차량 화재 예방을 위한 재질 선정에 이용할 수 없다. 또한 설계에 필요한 일반 사항 규정은 없는 실정이다.

도료 및 목재는 건축물 내장재 난연 시험 방법의 일부를 인용했으며, 섬유 강화 플라스틱은 연소거리로 난연성 및 자기소화성으로 구분했고, 발포 폴리스티렌 보온재는 20mm내에 자기소화성을 갖도록 규정했으나, 역시 상기 모든 항목은 연기에 대한 제한은 없는 실정이다.

다만, 플라스틱의 경우에 연기 밀도 및 연소시 발생하는 독성가스 측정 방법은 있으나 적용 방법은 없다. 즉, 연기 밀도의 제한 값이나 가스의 제한 값은 없으며 등급에 대한 분류도 없다.

직물에 대한 화재 관련 시험은 연기 규정은 없으며, 시험 방법은 방염도 (인화성이 강한 직물 시험법, 의류에만 적용, 연소상태, 연소 시간에 따라 1~3등급으로 구분), 연소속도 (직물의 연소속도), 방화도 (연소상태 연소 시간으로 표기), 난연도 (탄부분의 평균치를 mm로 표기), 연소성 (시료에 대한 확산 정도-두꺼운 재료일 경우, 잔염시간, 잔진시간, 탄화거리를 측정-방염성 섬유 제품일 경우)으로 나타냈다.

건축물 내장재의 난연성 시험에서는 난연 1~3등급으로 구분했는데, 난연 1급 : 기재 시험 및 표면 시험, 난연 2급 : 표면 시험, 부가 시험, 가스 유해성 시험, 난연 3급 : 표면 시험, 가스 유해성 시험으로 구분 했으며, 5mm 미만의 얇은 재질의 보드, 플레이트, 시트, 필름, 두꺼운 포지 및 이들과 유사한 평판인 재료의 경우 방염1,2,3등급으로 구분하는데 연기에 대한 규정은 없다.

또한 소방법은 건축물 내장재의 난연 1등급을 불연재, 난연 2등급을 준불연재, 난연 3등급을 난연재로 분류하고 방염 물품의 방염 성능은 잔염시간, 잔진시간, 탄화거리, 탄화면적의 규정치 이내인 경우 방염성능 물품으로 구분하며 시험방법은 KS규격과 다르게 소방법 자체 규정을 사용하고 있다.

## 3. 시험 및 평가 방법

### 3.1 영국

시험항목은 화염 표면 전파 속도, 화염 전파속도, 연기밀도, 연기독성을 측정하여 측정된 결과치가

사용 위치별 차량 등급에 따라 14개의 table로 구분된 기준값을 만족해야 한다.

화염 표면 전파속도 시험은 시편을 수직으로 고정시키고 아래 모서리에서 가스 버너 불꽃으로 가열하여 90초에서 화염 확산 길이 및 불꽃 제거 후, 확산된 화염 전파길이를 class 1부터 class 4까지 정해진 길이에 따라 구분한다,

화염 전파시험은 I값으로 표기 하는데 Ia, Ib 등급의 차량에서만 적용한다. 수직으로 세워진 가스 불꽃과 전기 히터를 이용하여 3개의 시편을 총가열 시간 20분 동안 가열하여 0.5~3분, 4~10분, 12~20분 간격으로 측정된 온도변화 양을 아래 식에 의해서 지수화 한값이 규정치내에 있어야 한다.  
 $I = i_1 + i_2 + i_3$ , ( $i_1: 1/3[(S_1)_A + (S_1)_B + (S_1)_C]$ ,  $i_2: 1/3[(S_2)_A + (S_2)_B + (S_2)_C]$ ,  $i_3: 1/3[(S_3)_A + (S_3)_B + (S_3)_C]$ ), ( $S_1$ : 0.5~3분 사이의 온도 변화량,  $S_2$ : 4~10분 사이의 온도 변화량,  $S_3$ : 12~20분 사이의 온도 변화량)으로 계산 된다.

연기 밀도 시험은 시험체를 혼합 알코올로 지정된 용기에서 40분간 연소시켜서 얻어지는 연기에 빛을 통과시켜 흡광도를 측정하는 것으로 지수( $A_0$ )가 시험 종료 후 보정한 최대값과 시험중 최대값이 규정치 내에 있어야 한다.  $A_0 = (A_m \times V) / (T \times L)$  ( $A_m$ : Beer Lambert식에 따른 측정값,  $V$ : 시험체 체적,  $T$ : 혼합 화염원 연료의 볼루멘량,  $L$ : 광원 길이)의 식으로 계산된다.

연기 독성은 Noish(National Institute of Occupational Safety & Health)에서 주어진 30분간 호흡시 생명이나 건강에 치명적으로 영향을 주는 대기중에 독가스 양으로 시험에서 추출독가스 양을 나눈값들의 총합으로 계산한 R값으로 규정한다.  $R = \sum r_x$ ,  $r_x = c_x / f_x$  ( $c_x$ : 시편에서 추출한 독가스의 양,  $f_x$ : Noish에서 주어진 독가스량)으로 계산 한다.

### 3.2 프랑스

화재 저항시험은 15mm 이상의 고체 재료의 경우, 상부 및 하부의 버너를 이용하여 실시하고, 5mm 이하의 유연성 재료는 하부에서 가열하는 버너를 이용한 시험 또는 화염전파 시험을 수행하고, 열에 녹는 재료는 melting 테스트를 수행하여 등급을 판정한다.

일반적인 경우에는 M값으로, 작은 치수의 경우에는 산소 지수(ISO규정과 동일)와 Glow-Wire 시험값을 환산한 I값으로, 전선의 경우 A,B,C,D값으로 등급 분류하는데, M값은 발화 높이 및 시간을 아래 식에 대입하여 계산된 값을 화재 저항 등급 판정 기준으로 구분한다.

$$Q = 100xh / (t_i \times \sqrt{\Delta T}), h: 30초간 최대 높이, t_i: 발화전 경과 시간, \Delta T: 타는 시간$$

화재 저항 등급 판정 기준은 아래와 같다.

$$M0 : Q=0, M1 : Q < 2.5, M2 : 2.5 \leq Q < 15, M3 : 15 < Q \leq 50, M4 : 50 < Q$$

Smoke 시험은 F값으로 표기하는데 최대 광학 연기 농도( $D_m$ ), 불투명값(VOS4), 독성 지수(CIT)값들을 아래 식에 대입하여 계산된 값을 smoke 등급 판정 기준으로 구분한다.

$$IF = (D_m/100) + (VOS4/30) + (CIT/2), D_m(\text{시험 챔버내 연기 농도값(미국의 연기 농도 값 산출식과 동일)}, VOS4(\text{시험후 초기 4분 동안의 연기 농도의 합 (VOS4 = } D_{S1} + D_{S2} + D_{S3} + D_{S4}/2)), CIT(1g의 시편을 600^\circ\text{C인 튜브에 20분간 놓고 얻은 재료의 그램당 독성 가스 (CO2, CO, HCL 등)의 포함량}$$

Smoke 등급 판정 기준은 아래와 같다.

$$F0 : IF \leq 5, F1 : 5 < IF \leq 20, F2 : 20 < IF \leq 40, F3 : 40 < IF \leq 80, F4 : 80 < IF \leq 120, F5 : IF > 120$$

### 3.3 미국

60도 경사진 판에 시편을 가스 버너로 만들어진 복사 열원으로 상부에서 가열하여 하부로 화염

전파 전도를 측정 하는데 15분 동안 가열 후 시편에서 발생하는 열발생 인자 Q값과 화염 전파 인자 Fs값을 구한 후 그 곱으로 화염 전파 인자 Is(=QxFs)로 나타낸다. Fs는 시간에 대한 인화 거리를 그래프로 작성하여 경사도에 따라 다르게 적용 한다. 시간에 따른 경사도가 일정 하거나 줄어들 경우  $Fs=1+1/(t_3+t_0)+1/(t_3+t_0)+1/(t_6+t_3)+1/(t_9+t_6)+1/(t_{12}+t_9)+1/(t_{15}+t_{12})$ 로 구하고, 경사도가 증가 할 경우 보정 계수를 사용하여 값을 구한다. Q는 CT/β로 구하는데, C는 임의의 상수 5.7, T는 보정용 시편과 시험용 시편에서 작성된 시간에 대한 온도 곡선에서 관찰된 최대 온도차, β는 단위 열 입력율에 대한 온도 상승의 평균값으로 정의되는 시험용 버너의 상수값이다.

연기 밀도의 경우 전기 라디에이터를 사용하여 불꽃 없이 연기를 발생 시키고 또 가스 버너를 이용하여 연기를 발생시켜서 연기의 빛 전달량 측정값 ( $Ds=132\log_{10}(100/T)+F$ )이 제품별 제한치 내에 있으면 합격인데, T는 빛의 투과도(%)이고, F는 빛을 투과시킬 때 필터 사용시 0이고 미사용시 2로하여 계산한다.

### 3.4 국내

소방법에서 규정하는 불연성(난연1급)은 기계 시험 및 표면 시험 조건을 만족해야 하며, 준불연성(난연 2급)은 표면 시험, 부가 시험 및 가스 유해성 시험 조건을 만족해야 하며, 난연재(난연 3급)는 표면 시험 및 가스 유해성 시험 조건을 만족하는 것으로 규정 되어 있다.

기계 시험은 750°C 노내에서 20분 동안 가열시 노내 온도 변화가 50°C이상 상승하지 않은 것을 합격으로 하며, 표면 시험은 앞면에 설치한 전기 히터를 주열원으로, 같은 방향에 LP가스를 연료로 수직 가열하는 버너를 부 열원으로 시험체가 전체 용융이나 뒷면 균열이 없고, 가열 종료후 30초이상 잔류 불꽃이 없고 표준 온도 곡선을 초과 하지 않으면 난연 1급, 표준온도 곡선과 배기 온도곡선의 면적이 100이하 이면 난연 2급, 난연 3급은 350이하로 규정 되어 있다, 또한 연기 밀도를 발연 계수라 하여  $CA=240\log_{10}(I_0/I)$  ( $I_0$ : 가열 시험 개시시의 빛의 세기( $L_x$ ),  $I$ : 가열 시험 개시중의 빛의 세기 최저값( $L_x$ ))의 값이 규정치를 초과 하지 않도록 하고 있다. 난연 2급을 통과한 경우 규정된 시험체로 시험하여 배기 온도 곡선의 면적, 발연 계수, 잔류 불꽃등의 규정치를 만족해야 한다. 또한 독성에 의한 가스 유해성 시험은 주열원으로 3분, 부열원으로 3분간 가열후 시험체에서 발생하는 가스를 8마리의 생쥐에게 노출 시킨후 평균 행동 정지 시간이 9분 이상일 경우 합격으로 한다.

### 4.결론

각국의 화재 예방 규격의 특징을 비교해 본 결과 화재 예방 규정 목적은 화재시 승객이 안전하게 탈출할 수 있도록 하고 있으며, 그것을 위하여 화재에 대비하여 사용 재질의 선택 방법 및 설계 측면에서 고려 사항들을 규정해 놓고 있음을 알 수 있었다.

국내 각 제품 규정은 불에 대한 난연성의 합격/불합격으로 구분되어, 연기에 대한 규정이 없는 이 규정을 이용한 난연성 제품을 철도 차량에 적용할 경우 어려움이 예상된다, 또한 고무 제품 같은 일부 품목은 난연성에 대한 구분이 없음에도 불구하고 새로 제정 예정인 규격에도 누락되어 있어 제정이 필요함을 알 수 있었다.

따라서, 국내 철도 차량의 경우 준불연재를 사용해야 하는지 난연재를 사용해야 하는지 등의 사용 재질의 선택 방법 규정 및 설계 단계에서 고려해야 할 사항에 관한 규정 제정이 필요 하다는 것을 알

수 있었다. 사용 재질의 선택 규정 제정에 앞서 현재의 난연 및 방염 시험 방법인 건축물 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법은 난연 성능의 경우 화재시 녹는 재질, 단단한 재질, 얇은 재질, 천과 같은 재질 등 다양한 재질에 따른 시험 방법도 포함한 등급의 세분화 및 작은 재료의 연기 밀도의 시험이 가능하고, 또한 새로 제정 예정인 연기 독성 측정 시험 방법을 이용하여 등급 분류가 가능한 방향으로 개정이 필요하다,

#### 참고 문헌

1. BS 6853 :1999 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying train
2. BS 476 part6 :1981 Method of test for fire propagation for products
3. BS 476 part7 :1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products
4. NFPA 130 :2000 Standard for Fixed Guide-way Transit and Passenger Rail System
5. ASTM E 162 :1990 Standard test method for Surface Flammability of Materials using a Radiant Heat
6. ASTM E 662 :1992 Standard test method for specific Optical Density of smoke Generated by Solid materials
7. NFF 16-101 :1988 Fire behaviour-Materials choosing
8. NFP 92-507 : 1997 Safety against fire-building materials-Reaction to fire test-classification
9. NFX 70-100 :1986 Analysis of pyrolysis and combustion gases tube furnace method
10. KS F 2271 :1998 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법