

# 철도차량내장재 기준비교

## - 열차에서의 화재안전 기준과 연구동향 -

정우성, 이덕희, 이철규

### 1. 서론

열차의 운행 속도를 증가시키기 위해 혁신적인 기술들이 꾸준히 발전해오고 있다. 이러한 기술들은 기존의 철로 방식뿐만 아니라 자기 부상 방식 등을 포함하고 있다. 그러나 열차의 기술혁신은 속도증가 부분에서만 이루어지는 것은 아니다. 고속화와 더불어 관심을 모으고 있는 것이 안전을 증대시키는 기술이라고 하겠다. 최근 대구지하철 화재사고로 198명의 인명이 사상된 이후 열차와 역사에서의 화재안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 역사적으로도 1987년 30여명의 인명을 앗아간 런던 지하철의 킹스크로스 화재사건, 150여명의 인명을 앗아간 오스트리아 산악열차 화재사건을 비롯하여 크고 작은 철도화재가 있었고 잠정적으로도 심각한 화재로 발전할 수도 있는 환경이 제거되지 않고 있다는 인식이 있기 때문이다. 차량 내장재만 보더라도 시각적 미려함과 안락감을 위해 대부분 고분자재료를 활용하는데 이는 일반적으로 화재에 매우 취약하고, 유독성 가스를 내포하므로 화재발생시 높은 위험요소를 가지고 있다. 비금속 소재들은 좌석 쿠션과 받침대에서 전통적으로 사용되어오고 있었고, 바닥재, 내장판, 기타 차량용 마감재에는 차량 내에서 화재의 가능성을 증가 시키고 왔으며 또한, 인테리어 소재에 더하여 제한된 환풍 시설과 출입이 불편한 비상구는 도시공간이나 통근열차에 대한 잠정적인 화재 위험 요소를 함께 안고 있다.

### 2. 화재안전 평가요소

화재 안전은 다양한 방향으로의 접근을 요구한다. 화재안전을 평가하기 위해서는 각 요소들에 대한 평가결과와 이들의 상호 연관성을 고려한 종합적인 평가가 요구되어 지고 있다. 차량 설계의 효과들, 소재 선택, 탐지와 진압 체계, 그리고 비상 출구와 이러한 사항들과의 상호연계 등 열차에 대한 전반적인 사항들이 그것이다.

이러한 화재안전 평가요소 중에서 가장 기본적인 것은 물론 불에 타는 여건에 놓이게 된 소재들에 대한 과학적인 안전도 평가이다. 소재의 화염거동을 평가하기 위해서 사용되는 대표적인 지표는 다음과 같다.

#### 열방출률(Heat Release Rate)

화재 안전의 평가 지표로 가장 널리 알려진 것은 소재의 열방출률이다. 이것은 어떠한 물질이나 소재가 단위 시간당 단위 면적을 통해서 방출되는 열에너지를 표시하는 것인데 화재의 크기를 가늠할 수 있는 대표적인 지표라고 할 수 있다. 사실상 오랜시간 동안 열방출률은 화재 위험 지표의 유일한 가장 중요한 예측 요소로 발전되어 왔다고 한다.

## 화염전파(Flame Spread)

소재의 화재 거동을 평가하는 두 번째 지수는 화염의 전파를 평가하는 것이다. 이는 전파속도나 전파길이 등에 대한 평가방법을 의미한다. 화염의 전파특성을 평가하기 위해 수직열판 방식이나 수평열판 방식 등의 다양한 시험기가 개발되어 활용되고 있다.

많은 연구자들은 화염 확산보다도 열 방출률이 화재 예측을 하는데 보다 중요한 지표로 작용한다고 주장했지만, 현재는 두가지 요소를 결합하여 평가하는 것이 우세하다. 예를 들자면, ASTM E 162에서와 같이 인화지수(flammability index)  $I_s$ 를 화염확산속도에서 계산된 화염전파 요소  $F_s$ 와 열량 평가요소  $Q$ 를 이용해 다음과 같이 계산하는 방법이다.:

$$I_s = F_s \times Q$$

물론 여기서 인화지수가 높을수록 인화성은 증가한다.

## 연기밀도와 유독성 평가(Smoke density and Toxicity)

소재의 화재 거동 특성을 평가되는 세 번째 요소는 연기밀도와 유독성 평가이다. 열방출률이나 화염전파 특성에 비하여 이 부분에 대한 연구는 비교적 최근에 관심을 모으고 있는 것으로 평가된다. 연기밀도는 일반적으로 ISO 5658-2나 ASTM E 662에 제시된 Smoke Density Chamber를 이용하여 측정하는데 표준 크기의 시편을 연소시켜 발생하는 연기밀도를 광학 빔을 이용하여 평가하는 방법을 사용하고 있다. 각종 소재의 연소시 발생하는 가스를 별도의 채집관을 통하여 흡입하여 가스셀을 통과하게 하면서 적외선 흡광원리를 이용하여 분석하는 FTIR 분석방법은 유독성 평가항목과 방법의 폭을 넓힌 새로운 관심거리로 평가되고 있으며 규격화를 위해 심의를 받고 있는 단계로 알려져 있다.

각국의 화재안전 규격은 위에서 언급한 소재의 화재거동 특성 평가요소와 더불어 보다 체계적이고 종합적인 접근을 위한 별도의 평가 항목들과 안전지침을 규정하고 있다. 많은 다른 요소들이 전반적인 화재 안전에 지대한 영향을 끼칠 수 있기 때문이다. 화재와 연관된 화재 탐지, 복도의 폭이나 문의 작동 여부와 같은 내부구조, 차량 내 의사 소통 기기, 환풍 통제에 대한 승무원훈련 사항, 비상 전등, 구조 요원 긴급 접근 사항과 승객 피신 등이 또한 포함되어야 할 요소들이다. 화재 안전을 위한 다양한 측면의 요구는 안전 지침서의 형식을 빌려 구체적인 주요 목표들과 실행수단으로 표현되기도 한다. 미국의 화재 연구자 Richard D. Peacock는 열차 화재안전을 위하여 다음과 같은 목표들과 수행수단을 소개하였다.

- **화재를 예방하거나 확대되고 번지는 것을 방지하라**
  - 연소 물질에 대한 화재 성향들을 관장하라
  - 적절한 구획 나누기를 하라
  - 화재를 진압하라
- **화재 효과들로부터 승객들을 보호하라**
  - 비상시를 적절하게 통보하라

- 탈출 통로를 확보하라
- 필요한 곳과 가능한 지점에 대피소를 제공하라
- 화재의 영향을 최소화하라
  - 점유 지나 넓은 지역을 분리하라
  - 소유물에 대한 구조적인 일관성을 유지하라
  - 공동의 소유물에 대한 지속적인 운영을 제공하라
- 화재 시 서비스 운용
  - 화재 지역에 대해 확인하라
  - 대피 지역에 대한 믿을 수 있는 의사 체계를 제공하라
  - 화재 부의 접근, 통재, 의사 소통과 물 공급을 신속히 하라

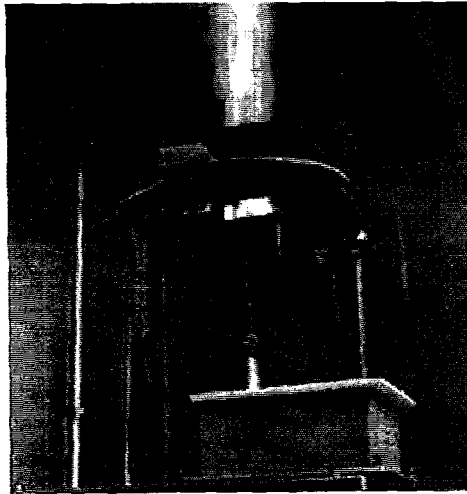


사진1. 소형 소재의 열방출률 평가 시험기

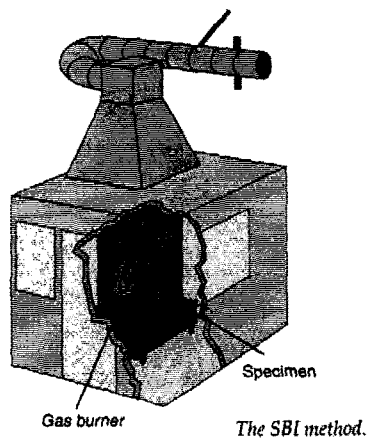


그림1. 유럽표준 시험기(Single Burning Item)

### 3. 각 국의 열차 화재안전 기준

#### - 한국

국내의 화재안전 관리는 각 운영기관이 관리하는 화재안전 관리지침과 건교부에서 작성 고시한 도시철도법 및 안전규칙 등으로 수립되어 있다. 특히, 지하철 운영기관의 경우 화재가 발생할 경우 인명피해의 위험도가 크므로 ‘화재시 구난 대책’ 등의 별도 규정을 마련하여 시행하고 있는 중이다. 그러나 철도사업의 근본적인 적자운영에 기인한 강도 높은 구조개혁에 의하여 인력부족의 문제가 심각하므로 실질적인 안전부문의 교육 및 관리가 수행되기 어렵다는 지적도 나타나고 있다. 특히 재료안전 측면에서 보면 일부 철도차량용 소재 등에 대하여 간단한 화재안전성 평가가 시행되고 있으나 아직까지는 단순한 연소성 평가에 국한되어 화염전파, 연기밀도, 유독성 평가와 같은 종합적인 평가와 차량전체 시스템에서의 총열량관리 등의 기준은 시행되고 있지 않다. 차량 설계시부터 적용소재의 화재위험지수와 구조설계의 안전성 해석 결과를 활용하여 최적의 안전도 확보 방안을 선정할 수 있도록 강구하고 있는 철도선진국의 경우와 견주어 볼 때 화재위험에 대비한 화재안전에 관한 종합지침 및 안전기준이 절실하게 필요한 실정이다.

#### - 미국

미국화재방지협회(NFPA:National Fire Protection Association)는 “철도화재안전 규격”(NFPA 130)에서 차량에 적용되는 각종 소재의 안전 기준과 화염전파와 연기테스트 방법을 제시하여 철도운영기관에서 활용하도록 하고 있다. 이와 더불어 미국연방철도협회(FRA:Fedral Railroad Administration)는 NFPA 130을 근간으로 열차 기기 및 철도시설에 적용되는 화재안전 관리지침을 마련하여 적용하게 하고 있다. 열차 운영주체중 하나인 Amtrak의 경우 “인화성, 연기, 배출과 그 유독성에 대한 구체적인 사항” “승객 차량에 대한 지침 No.352” 등을 별도로 발행하여 관리하고 있다. 미국 열차에 대한 화재 안전 조건들의 대부분은 화재 예방이나 성장, 확대를 지연시키도록 설계된 소재 화재 수행 테스트 기준을 포함할 뿐만 아니라 승객의 대피시간을 확보하는 충분한 화재 내구력을 위한 설비사항 등에 관한 구체적인 내용도 포함하고 있다. FRA는 각 객차가 적어도 4곳의 비상 창문을 가지길 요구하고 있으며, 이러한 요구 사항들은 화재의 영향으로부터 승객을 보호하기 위한 조치를 제공한다. NEPA 130은 화재 탐지, 긴급시의 의사 소통, 비상 등, 그리고 차량 환풍 체계의 단절에 대한 조건들을 포함한다. 이 기준은 또한 정거장, 역 통행로, 차량 보관소와 정비 지역, 비상 절차들과 화재 진압 운용 체계를 지원하는 의사 소통 등에 관한 지침을 정하여 이에 따르도록 하고 있다.

- 프랑스

철도차량에 사용되는 소재들의 가연성 및 배출연기의 시험방법 및 기준은 NF F 16-101와 NF F 16-102에 총체적으로 명기되어져 있다. 화재 예방이나 성장, 확대를 지연시키려는 프랑스의 접근 목표는 미국 측과 유사한데 각각에 적용되는 소재의 사용은 개별적으로 다루었다. 프랑스는 몇 가지 실험결과를 토대로 한 매트릭스 구분법을 활용하여 다소 복잡한 체계를 가지는 특징이 있다. 개별소재의 위험도는 다른 설계 특징에 의해 상쇄되어질 수도 있다. 그러므로 위험은 전반적인 체계로써 관찰되어야하고 단지 개별적인 구성요소로써 판단되지 않도록 하는 것이 프랑스의 안전도 평가 개념이라고 할 수 있다. 철도차량에 대하여는 아래의 세분류로 구분하여 기준을 제시하고 있다.

- 분류 A1 : 터널을 통과하는 모든 철도차량
- 분류 A2 : 터널을 통과하지 않는 차량 중 도시철도차량
- 분류 B : 터널을 통과하지 않는 차량 중 중심노선 차량

화재 경보와 비상 출구(문과 창문 설계) 규정들은 화재의 영향으로부터 내부자들을 보호한다. 프랑스의 안전기준은 화재의 영향을 최소화하기 위하여 설정된 천장을 통한 화재전파 방지책을 포함한 구획구분에 대한 조건들을 또한 포함하고 있다.

- 독일

독일 연방 철도청의 “철도 건설과 교통 규제안”(EBO)은 독일의 철도 운행에 대한 전반적인 안전 사항과 운행 절차를 제공하지만, 화재안전을 포함하는 정보는 포함되어 있지 않다. 주요한 철도 화재예방을 포함하는 독일 기준은 독일 기준 연구소(DIN)에서 발행한 DIN5510, “철도 차량에 대한 화재예방”이다. 이 기준은 고속철도체계에 서부터 전철에 이르기까지 다양한 철도 응용체계에 사용되어진다. 독일의 기준은 화재의 영향을 최소화하기 위한 노력들에 대하여 프랑스나 미국보다 중점을 두고 있다. 고속철도의 경우에도 최근에 DIN5510에 맞추어 보다 엄격한 화재예방 조항을 요구하기도 있다. 차량대피시설과 대피자들에 대한 수용능력을 제공하기 위한 전기체계 설계 요구사항들이 이에 포함이 된다.

DIN5510은 지지구조물 내부시설과 열차의 내부 패널 시설들이 화재에 대비해 선별되어 승객이나 승무원들에 대한 위험을 예비하도록 하며 화재의 확대로 인한 인명구조를 신중히 검토해야 함을 강조한다. 소재 성능을 평가하는 일련의 테스트들은 이러한 조건과 맞는지의 여부를 증명하는데 사용된다. 이러한 측정법은 화재의 예방이나 확산을 지연시키는 방법을 제공한다. 전기배선, 케이블, 전지, 전등, 난방, 공기 정화기 차단, 자동화재 경보기, 소화기에 대한 추가적인 조건들은 차량내부의 사람들을 화재로부터 보호하고 화재에 따른 신속한 처리 조건을 요구한다. 고속철도 체계에 대한 DIN5510과 그 요구사항들은 비상출구와 긴급 구조계획에 대한 사항을 또한 포함한다.

- 영국

영국은 1987년 런던 킹스크로스 역의 화재사건을 계기로 국제적으로 가장 까다로운 화재안전 기준을 적용하고 있는 나라 중 하나로 평가받고 있다. 영국의 철도화재안전 기준은 “철도 차량의 설계와 건축에 따른 화재 예방을 위한 기준(BS6853)”에 근거를 두며, 철도그룹규격 GM/RT 2125 등으로 구체화되어 활용되고 있다. BS 6853은 차량 사용에 따른 두 가지 범주를 정의한다.

분류A: 화재에 대한 보다 강력한 확산 방지를 요구하는 차량들(지하철, 침대차, 무인 운행 차량), 분류B: 모든 다른 차량들

철도그룹규격은 이를 보다 세분하여 세가지로 구분하고 있다.

분류 A : 1) 터널이나 지하 및 고가 구조물 등의 궤도에서 운행하고 화재시 사람들이 안전지대로 피신하기 어려운 차량, 2) 무인조정 시스템의 객차 및 승무차량

분류 B : 1) 터널이나 지하 및 고가 구조물 등의 궤도에서 운행하고 화재시 사람들이 안전지대로 피신하기 용이한 차량, 2) 침대칸을 운영하는 객차 및 승무차량

분류 C : 주로 평지를 운행하는 차량

영국 기준들은 소재 선택에 대한 조항, 구획들(특히 침대차), 전기기기, 요리기구, 비상전력, 비상구 화재안전 예방조치 및 대피안전성에 관한 사항을 포함한다.

- 일본

일본은 우리나라의 철도시스템에 가장 많은 영향을 주어진 나라로써 화재안전 기준 및 시스템 설비에 관하여도 우리철도의 모델이 되어왔다. 일본은 1975년 운수성 철도감독국장이 지방육운국장에게 통달한 “지하철도 화재대책 기준”과 동년 철도감독국 민영철도부 토목전기과장이 각 지방육군국 철도부장에게 통지한 “지하철도 화재대책 기준의 취급”에 관한 문서의 기준을 적용하고 있는 것으로 조사되었다. 이와 관련하여 2002년 국토교통성령 제 19호 철도기술기준에 관한 성령정비에서는 기존의 운수성 구조규칙 등을 폐지하고 새로이 적용될 기술기준 및 안전관련 기준을 정비하였다. 성령 83조 - 85조 “차량화재안전 대책 등”이 현재 적용되고 있는 안전관련 규정으로 일본에서는 철도차량 소재에 대하여 차량을 기준으로 구분하여 1) A-A기준 : 지하철, 2) A기준 : 도시공간 근교, 장거리구간 차량, 2) B기준 : A-A, A기준으로 구분하고있다. 역사의 경우 건축기준법의 기준에 따라 관리되고 있다. 우리나라와 마찬가지로 일본의 경우에도 철도화재안전에 관한 종합적인 통합 코드는 아직 마련되지 않아서 미국이나 유럽의 경우처럼 세련되게 발달하여 있지는 않은 것으로 평가되고 있다. 그러나 일본의 경우 발달된 기초 재료기술과 인적부문에 대한 충분한 투자와 철저한 관리로 실질적으로는 매우 안전한 철도를 구현하고 있다는 평가가 많은 것으로 조사되었다.

## - 다른 나라들

국제 철도연맹의 “승객을 수송하는 철도차량이나 이에 수반되는 차량의 화재안전과 화재 진압 방법 등 연관되는 기준”(UIC564-2)은 유럽에서 국제 체계 하에 승객을 수송하는 철도 차량 설계를 포함한다. 이러한 법규와 프랑스 기준사이에는 상당한 부분이 중복된다. UIC코드 564-2는 차량설계에 대한 전반적인 지침서로써 설계와 내부시설들의 화재의 확산을 방지요구 사항을 포함한다. 이러한 목표를 충족시키기 위하여 소재 테스트 방법들은 프랑스 기준들과 유사한 사항을 포함하고 있는데 이 내용은 차량설계(잠정적인 연소를 줄이기 위하여), 구획(한 차량에서 다른 차량으로의 화재 확산을 방지하기 위하여) 전기설비 체계, 엔진 부분의 화재 감지, 소화기, 화재경보기, 비상출구(문과 창문의 설계)를 포함하고 있다.

다른 나라의 요구사항들은 위에서 논의한 화재 안전 목표를 충족시키기 위한 유사한 방법들을 취한다.

싱가폴의 경우 1980년대 NFPA 130을 근거하여 정류장, 통행로 그리고 차량설계에 대해서 규정하였다.

## 4. 연구동향

화재안전에 대한 연구는 소재 및 제품에 대한 기초적인 물성과 화염의 동특성에 관한 연구에서부터, 연소성 평가방법 및 시험기준에 대한 연구, 화재 발생시 발견 및 초기 진압기술, 전파경로를 차단하는 설계디자인, 대피특성에 대한 평가와 예측기술 등 종합적인 연구를 필요로 한다.

그동안의 전통적인 연구동향은 소재 및 제품에 대한 연소성 평가에 치우쳐 있었는데 소형소재를 평가하는 방법으로는 실질적인 건물이나 차량, 선박에서의 화재에 적용하는 데는 많은 어려움이 있어왔던 것이 사실이다. 따라서 예산 및 기술적 축적을 가진 연구기관들은 최근 실물대형 시험을 시행하므로 소형 시험기에서의 평가방법이 가졌던 오차들을 수정하려고 노력중이다. 그러나 이러한 방법은 많은 비용과 기술인력을 요구하므로 일반적으로 보편화되는 데는 한계가 있기 마련이다. 이러한 틈을 채워주는 기술이 발달된 전산기술을 응용한 컴퓨터 시뮬레이션 평가기술이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 화재 평가연구는 화재의 전파해석에서부터 시작하여 최근에는 화재 대피 예측 프로그램까지 개발되어 있는데 이는 수학적 변수로 취급하기 어려웠던 사람의 위기상황 인식과 대피 경로에 대한 선택 등을 포함시키는 발전을 가져왔다.



사진2. 실물 시험사례(TV 화염성 평가)

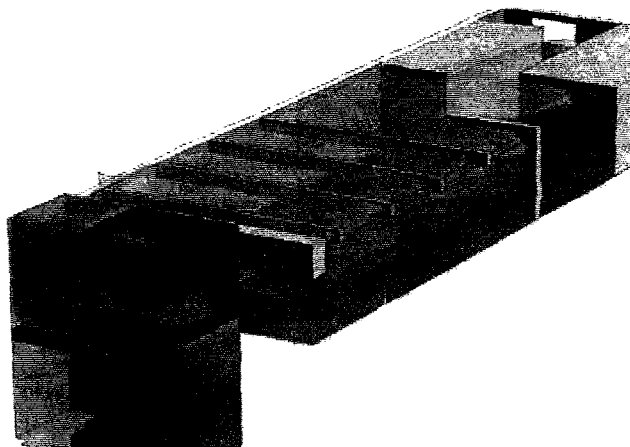


그림2. 화재예측 시뮬레이션 사례



## 5. 결론

화재안전에 관한 우리나라의 안전기준 및 연구기술은 아직까지 미흡한 상황이지만 소방법과 미디어를 통해 전달되는 화재사건에 대한 사회적 관심의 지원을 받아 건축물의 화재안전에 관한 연구는 방재연구소나 생산기술연구원, 건설기술연구원 등에서 몇 년 전부터 추진되어 왔던 것으로 알려져 있다.

이에 비하여 열차에서의 화재안전에 관한 연구는 매우 최근에 관심이 되어 왔는데 이는 건축물 및 선박 등에서의 안전기준과 동등한 수준 이상의 안전기준을 확보하려는 것이다. 그동안 국내 열차에 적용되는 화재안전 기준은 한정된 품목에 대한 품질기준에 언급되는 정도로, 난연성 평가방법도 직접 접촉하는 간단한 불꽃시험 등에 머물고 있어 보완 개선이 요구되고 있다. 따라서 국내 실정에 맞는 종합적인 열차 화재안전 기준 정립이 우선적으로 요구되고 있다. 열차에서의 화재안전과 관련하여 현재 추진되고 있는 국내의 연구는 난연성 복합재료 차량 복합재료 개발과 평가기준에 관한 연구, 도시철도용 화재 안전기준에 관한 연구, 열차 터널에서의 화재환경에 관한 연구 등이 철도연구원과 투자개발업체 등을 중심으로 진행되고 있다.

그러나 본격적인 연구활동을 위해 소요되는 시설에 대한 초기 비용이 높고, 역사가 짧고 체계적인 교육시스템이 없어 기술인력이 부족한 어려움이 있어 종합적이고 장기적인 안목에서의 체계적인 연구가 절실히 요구되고 있다.

### 참고문헌

1. Concepts for fire protection of passenger rail transportation vehicles : Past, Present, and Future. Recharad D. Peacock, Fire and Materials Vol. 19, 71~85(1995)
2. Development of a Hazard-Based method for evaluation the fire safety of passenger trains, Richard W. Bukowski, Interflam'99
3. Fire test instrumentation for the next millennium, Stephen J Grayson, Fire Testing Technology
4. F.S.T 시험법 개발 및 복합재 평가기준 정립, 한국철도기술연구원, 2001