

FRP 복합재의 시험조건 변화에 따른 연기 위해성 평가

Smoke Density Characteristics of the FRP to the variance of test method, resin type and specimen shape

이덕희* 정우성** 김용기*** 김선옥****

Lee, Duck-Hee Jung, Woo-Sung Kim, Yong-Ki Kim, Sun-ok

ABSTRACT

In this study we reported the Smoke Density test method of interior panel of railroad passenger car and investigated the specific smoke density(Ds) by NBS smoke chamber to the variance of some test conditions. First we compared the result of Ds from ISO 5659-2 with that from ASTM E 662 for same phenol FRP. Secondary studied the Ds value to the variance of resin type and to the variance of specimen shape.

1. 서론

철도차량의 경량화 및 쾌적한 객실공간 연출을 위해 형상 가공성이 우수하고 외피처리가 미려한 FRP(Fiberglass Reinforced Plastics) 복합재료가 차량용 내장재로 많이 사용되고 있다. 그러나 차량 내장재로 사용되는 FRP 복합재는 고분자 수지를 이용하여 사용함으로써 일반적으로 화재에 취약한 단점도 가지고 있다. 따라서 선진 철도에서는 차량용 내장재에서 발생할 수 있는 화재위험성을 방지하고 적어도 승객이 피난할 때까지의 내연기능 및 화재의 전파를 지연시키기 위한 적절한 기준을 선정하여 적용하고 있다. 영국의 BS 6853 이나 프랑스의 NF 16-101, 미국의 NFPA 130등이 철도차량의 화재안전성을 종합적으로 규정하는 기준이다.

최근 국내 철도차량의 화재 안전기준도 점차 강화되어 왔는데 현재는 KS 3015(열경화성 플라스틱 일반 시험 방법)의 내연성 평가방법과 KS F 2271(건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법) 시험법을 적용하여 자기소화성 및 발연계수 난연 2급 이상의 제품을 사용하도록 규정하고 있다. 그러나 현재 국내에 적용되고 있는 시험기준은 건축물 내장재료의 시험법을 준용하여 선진 철도에 비하여 허용기준이 낮고, 유독성 평가방법의 경우는 확보가 어려운 마우스법을 따르도록 하는 등 선진철도의 국제기준에 준하여 개선할 여지가 있다고 하겠다.

* 한국철도기술연구원 주임연구원
** 한국철도기술연구원 책임연구원
*** 한국철도기술연구원 책임연구원
**** 한국철도기술연구원 연구원

본 연구에서는 선진철도의 차량내장재용 연기밀도시험법으로 적용되고 있는 ISO 5659 및 ASTM E 662 시험법을 설명하고 이 방법에 따라서 수지 종류와 형상을 변화시켰을 때 FRP 복합재의 연기밀도 시험결과를 정리하였다.

2. 본문

2.1 연기밀도시험기와 시험방법

일반적으로 연기밀도시험법은 그림1과 같이 광원과 광량 감지기 사이에 연기가 통과하는 공간을 두어 연기에 의해서 차단되는 광투과율을 측정하는 방법을 이용한다. 이때 평가되는 연기는 연기상자(smoke box)를 이용하여 정적인 형태로 평가하는 방법과 배기덕트를 통과하는 배기가스의 연기밀도를 직접 평가하는 방법이 있는데 반복시험이나 재현성 면에서 연기상자시험법이 유리하므로 소형 시편을 평가하는 경우 일반적으로 사용되어진다. 그러나 연기상자 시험법은 별도의 상자를 제작하여야 하고, 제한된 크기의 시편을 사용하여야 하므로 실물대형 시험을 하는 경우는 덕트에서 직접 평가하는 후자의 방법이 많이 사용된다. 철도기준에서 사용하는 연기상자는 BS 기준의 3미터 입방체, ISO의 연기상자, JIS 및 KS의 연기포집 상자 등이 있는데 시험법의 국제표준화 추세에 따라 ISO 연기상자가 보편화되고 있다. 본 연구에서 사용한 연기상자는 ISO/TC 61의 ISO 5659-2(Determination of optical density by a single-chamber test)와 ASTM E 662(Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials) 기준에 따른 NBS(National Bureau of Standards) 연기상자(smoke box)이다. 시편은 75mm×75mm의 넓이를 가지며 두께는 형상에 따라 차이가 있다. 시험결과는 동일한 시험조건 아래서 정상적으로 처리된 3개 시험값의 평균으로 처리하였다. 시편의 연소조건은 25kW/m²의 열복사에 노출되고, 시편의 표면에 Pilot flame이 접촉하도록 하였다.

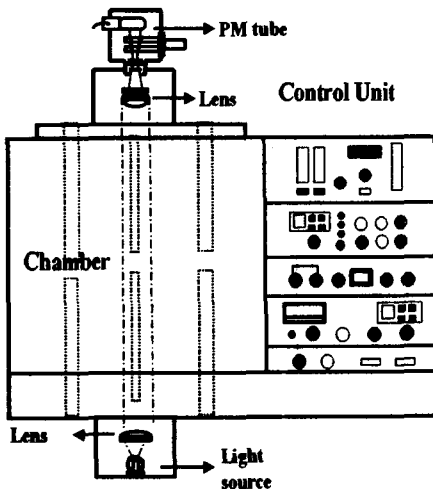


그림1. 연기밀도시험기의 구성도

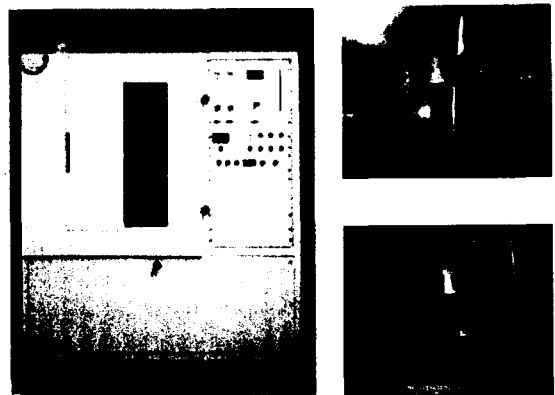


그림2. 연기상자와 ASTM E 662(상), ISO 5659(하) 전기로(Furnace) 형상

2.2 시험법에 따른 연기밀도(Ds) 평가

그림2에 나타내었듯이 ASTM E 662법과 ISO 5659법의 가장 큰 차이는 전기로의 열복사방향에 따라 시편의 연소형태가 수직형과 수평형으로 구분되는 데 있다. 수평연소와 수직연소에 특성에 따른 FRP 복합재의 연기 발생량을 평가하기 위하여 같은 시편에 대하여 25kW/m² 열복사 조건에서 비교시험을 실시하였다.

연기밀도(Specific Smoke Density: Ds) 평가방법은 연기상자의 형상으로부터 결정되는 상수 G 값과 PM (photo multiplier) 튜브에서 감지되는 투과율 T 및 필터조건에 의해서 결정된다.

$$D_s = G \left(\log \frac{100}{T} + F \right)$$

$$G = V / (A \times L)$$

(V : volume of the Chamber, A : specimen surface area, L : light pass length)

T = transmittance of light

F = the density of the filter or 0 (depend on filter condition)

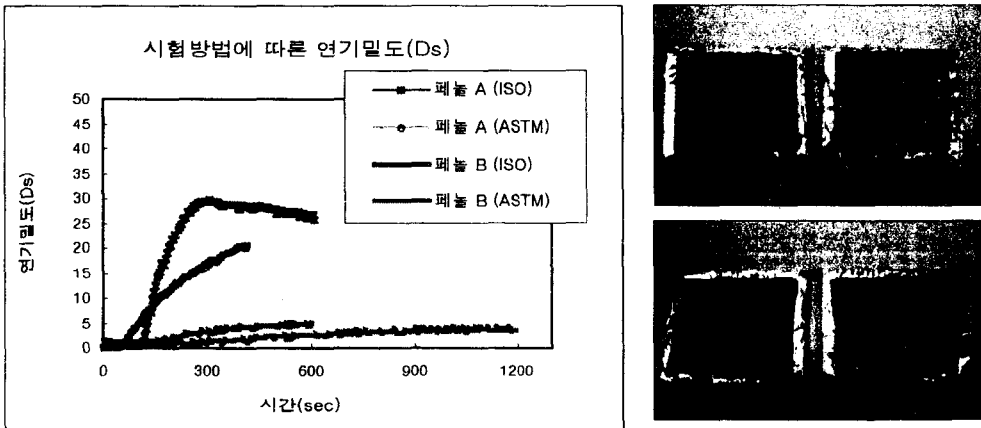


그림 3. ISO 와 ASTM 시험법에 따른 연기밀도 그래프와 연소시편(상-ISO, 하-ASTM)

시험결과는 동일한 조건의 시편에 대하여 ISO 5659-2 방법이 ASTM E 662 방법에 비하여 많은 연기를 발생하였다. ISO 전기로에서 연소되는 시편에서 상대적으로 크고 지속시간이 긴 화염이 발생하는 것을 관측할 수 있었다. 연소후 시편의 무게감소(mass loss)를 평가했을 때도 ISO 방법에 따른 수평연소가 ASTM 수직연소에 비하여 커서, 수평연소에서 더 많은 수지가 연소되었음을 확인 할 수 있었다. 현재 미국의 NFPA 130에서 정하고 있는 철도차량 내장재의 연기밀도 적용기준은 ASTM E 662법에 따라 시험하도록 하였는데, 만약 ISO 수평연소로 평가하고자 한다면 동일한 시편일지라도 위와 같이 연기발생량이 증가한다는 것을 고려하여야 할 것이다.

2.3 수지의 종류와 시편 형상에 따른 연기밀도(Ds) 평가

현재 국내에 적용되는 철도차량용 내장재료는 불포화 폴리에스테르 합성수지 FRP와 페놀 수지를 사용한 FRP, 멜라민 하드보드 내장판과 불연성 칼라강판 등이다. 특히 FRP 복합재료는 유리섬유를 합성수지와 결합시켜 각기 재료의 물성을 강화시킨 특수 결합재료써 가볍고 견고한 물성이 요구되는 분야에 많이 사용되어 왔다. 그러나 플라스틱 수지는 화재에 취약한 특성을 가지므로 철도와 같이 다수 인명의 안전과 관련된 분야에서는 엄격한 기준의 난연/불연 수지를 사용하도록 요구되고 있다. NFPA 130에서 정하는 철도차량 내장재의 연기밀도 적용기준은 $D_s(1.5\text{분}) \leq 100$, $D_s(4\text{분}) \leq 200$ 으로, 국내 철도차량의 연기밀도 기준으로 제시되는 KS F 2271의 발연계수(C_A) 난연2급($C_A \leq 60$) 기준에 비하여 까다로운 것으로 평가되고 있다.

그림 4는 난연성 FRP로 평가되고 있는 페놀 및 에폭시, 페놀-에폭시 FRP의 연기밀도 특성을 ASTM E 662 방법에 따라 시험한 결과이다. 시편은 젤코트나 페인트 마감처리를 생략하여 수지 변화에 따른 연기밀도 특성만을 평가할 수 있도록 하였다. 시험결과 에폭시의 $D_s(\text{max}, 9\text{분})$ 값이 140 정도로 나타났으나 NFPA 철도 기준에 비하여도 양호한 것으로 평가되며, 페놀의 경우는 $D_s(\text{max})$ 값이 10 내외로 매우 우수한 연기밀도 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

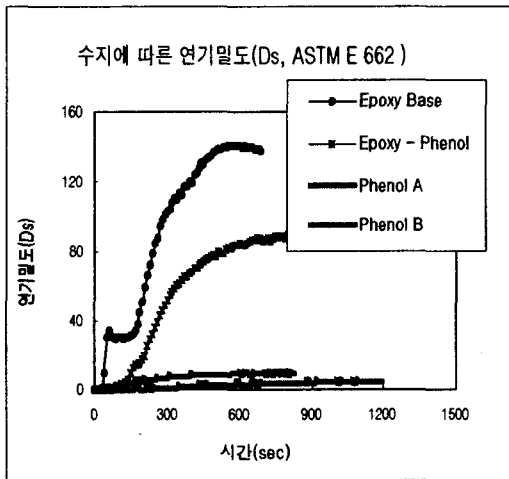


그림4. 수지에 따른 FRP의 연기밀도 특성

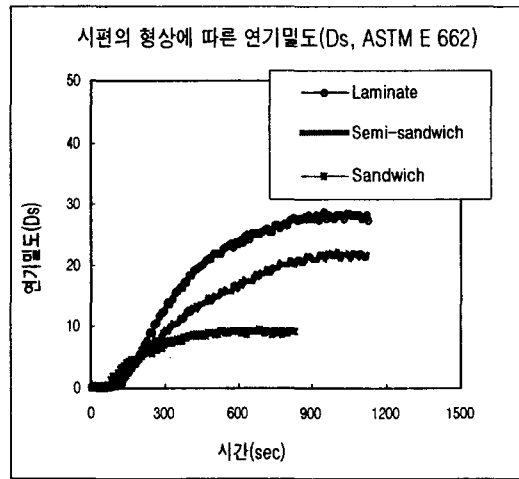


그림5. 시편의 형상에 따른 연기밀도 특성

형상에 따른 특성시험을 위하여 동일한 페놀 수지로 판형(laminate)과 샌드위치 및 부분 샌드위치(semi-sandwich)형으로 시편을 제작하여 ASTM E 662 방법에 따라 연기밀도 특성 시험을 수행하였다. 샌드위치형은 FRP 판재 사이에 벌집구조(Nomex honeycomb)를 삽입한 형상으로 시험결과 착화 및 연소가 먼저 진행하였으나 화염과 접촉하는 판재의 수지연소가 일찍 종결되며 연기밀도는 가장 낮았고 일반 판형이 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 화염에 노출되는 FRP 판재의 두께에 의하여 결정되는 것으로 보인다. 샌드위치 구조는 벌집구조가 중심부에 삽입되면서 화염에 접촉된 1mm 두께의 판재만 연소되고 뒷면은 연소되지 않는 특성이 나타나면서 2.5mm 두께의 단층판이 연소하는 경우에 비하여 연기발생이 적어지게 되었다. 그러나 화염이 일찍 발생하고 빠르게 진행하므로 착화성 및 표면화염전파 측면에서는 불리한 것으로 보인다.

3. 결과 고찰

본 연구를 통하여 우리는 연기밀도평가법의 기본적인 개념을 정리하고, NBS 연기밀도상자를 이용하여 철도차량 내장재용으로 사용되는 FRP 복합재의 연기밀도 특성을 평가하였다. 첫 번째로 ISO 5659-2 수평연소 방법과 ASTM E 662 수직연소 방법을 사용하여 두 가지 타입의 페놀 FRP의 연기밀도 특성을 평가한 결과 시편을 수평법으로 연소시키는 ISO법에서 더 높은 연기밀도 값을 확인할 수 있었다. 둘째로 에폭시와 페놀 수지를 비교하여 ASTM E 662 방법에 따라 시험한 결과 페놀의 연기밀도 값이 에폭시 수지에 비하여 현저하게 낮아 매우 우수한 난연/불연성 소재임을 확인하였다. 세 번째로 FRP 판재를 일반판형과 부분 샌드위치 및 샌드위치형으로 제작하여 연기밀도 시험을 수행한 결과 샌드위치형의 연기밀도 특성이 우수한 것으로 나타나 화염에 접촉되는 판재의 두께가 얇을수록 연기발생량이 적음을 확인하였다.

그러나 기초소재의 화재안전성 평가는 단순한 연기밀도 결과로 판단할 수 없고, 착화성이나 화염전파특성 및 가스유독성 등의 평가결과를 종합적으로 검토하여야 할 것이다.

참고문헌

1. ISO 5659-2, "Determination of optical density by a single-chamber test"
2. ASTM E 662, "Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials"
3. NFPA 130, "Fixed Guideway Transit System"
4. BS 6853, "Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains"
5. KS M 3015, "열경화성 플라스틱 일반 시험 방법"
6. KS F 2271, "건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법"