

철도차량 내장용품의 산소지수와 화염전파 시험에 대한 비교연구

A comparative study on the interior materials of the railroad vehicles by the test of Oxygen Index and Fire Spread

박지영* 정우성** 권성태*** 이덕희**** 조희기*****
Park, Ji Ypung · Jung Woo Sung · Kwon Sung Tae · Lee, Duck Hee · Cho, Hee Ki

ABSTRACT

In this study, we compared Oxygen Index by ISO 4589-2 with Fire Spread by ISO 5658-2. The result shows that the tset values of Fire Spread such as IT, CFE, Qsb have mutual relations with thoses of Oxygen Index values in some samples. And we found that the tset values of Fire Spread make up for the insufficient points of Oxygen Index has its limits to evaluate the properties of fire for the interior materials of the railroad vehicles.

1. 서론

대구 지하철 화재 참사는 객실 내 방화에 의한 화재로 엄청난 인명과 재산피해를 가져와 우리로 하여금 안전에 대한 경각심을 다시금 일깨우게 한 사고였으며 또한, 더욱 강화된 화재안전 기준과 화재안전 성능 확보의 필요성을 불러일으키게 한 계기가 되었다. 이에 철도용품의 화재 규정이 강화되었으며, 이러한 화재규정 중 대표적인 시험이 산소지수, 연기밀도, 화염전파, 독성지수이다.

본 연구에서는 철도차량용품의 화재특성을 알아보기 위하여 수직방향의 소형 시험편(120×10×t 또는 140×50×t)이 연소를 지속하게 하는 산소, 질소의 혼합기체에서 최소 산소농도를 측정하는 산소지수(ISO 4589-2)와 수직방향으로 설치하되, 산소지수의 시험편보다는 규격이 크게 정해져 있는 800*150*t의 시편의 수평 화염 전파를 측정하는 화염전파(ISO 5658-2) 시험을 비교하였으며, 산소지수 값(IO)에 따른 화염전파의 소화점임계열류량(CFE), 점화시간(IT), 연소지속열(Qsb) 등의 상관관계를 유추하였다.

이와 함께, ISO 4589-2에 명시된 것처럼 산소지수 시험 결과는 실제 화재 조건에서 특정 재료 또는 형상에 의해 발현될 화재 위험성을 묘사하거나 평가하는 데 단독으로 이용되어서는 안되며, 시험 결과는 재료가 특정 용도로 사용될 경우에 화재위험성에 대한 평가 시에 고려되어야 할 모든 인자들 중의 하나의 인자로만 이용될 수 있기에, 철도차량 내장용품의 다양한 화재 특성을 평가하는데 있어 한계를 갖는 산수지수에 대한 화염전파의 보완적인 관계도 연구하였다.

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

***** 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

2. 본문

2.1 시험재료

본 연구에 사용된 시험재료로는 철도차량 내장용품 중 카페트, 바닥재, FRP panel, 통로연결막, Control Desk이며, 이들의 각 시험별 규격 명세는 아래의 표 1과 같다.

Table 1. 시험재료의 특성

| 구분 | 산소지수 시편크기(mm) | 화염전파 시편크기(mm) |
|--------------|---------------------|----------------------|
| 카페트 | 140×50×t (t=8.5) | 800×150×t (t=8.5) |
| 바닥재 | 120×10×t (t=2.5) | 800×150×t (t=2.5) |
| FRP panel | 120×10×t (t=3.0) | 800×150×t (t=3.0) |
| 통로연결막 | 120×10×t (t=2.0) | 800×150×t (t=2.0) |
| Control Desk | 120×10×t (t=3.6) | 800×150×t (t=3.6) |

2.2 시험방법

2.2.1 산소지수 시험방법

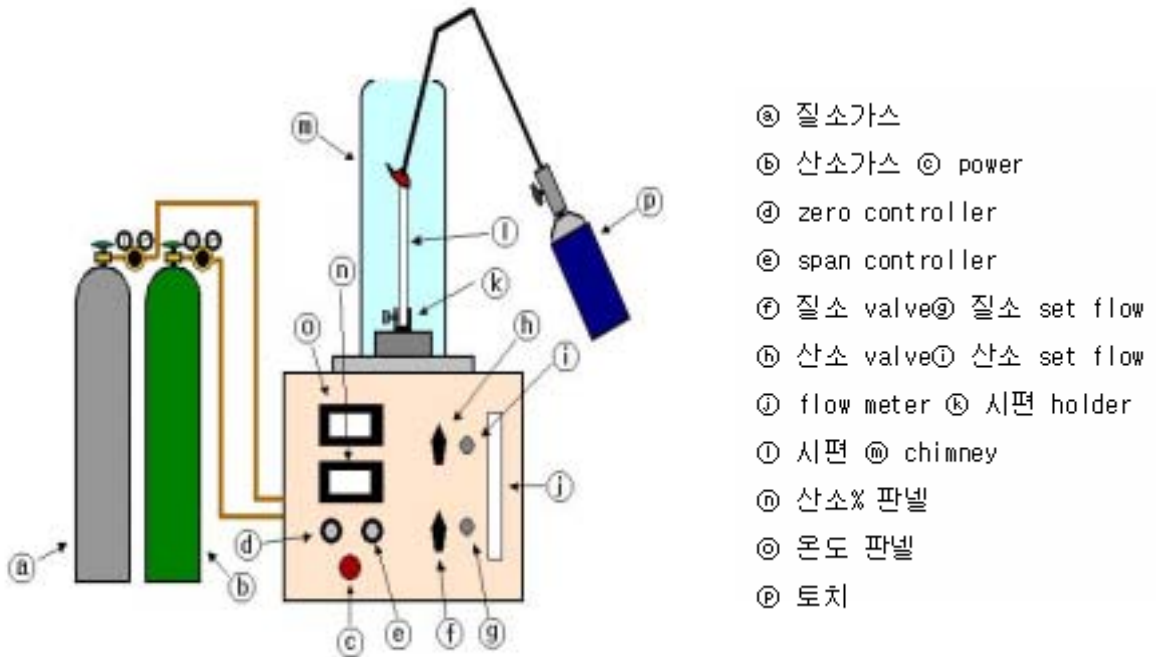


그림 1. 산소지수 시험기 구성도

시험장치가 있는 실험실의 실내 온도는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지한다. 시편 보관함 내부 역시 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 로하고 상대습도를 $50 \pm 5\%$ 로 유지하도록 한다. 먼저 holder에 수직으로 고정시킨 시편($120 \times 10 \times t$)을 위 그림 1의 ㉓ chimney 연소 원통 안에 설치한다. 다음 기체 혼합 및 유속 조건들은 원하는 산소농도를 갖는 산소와 질소 혼합물이 위 그림 1의 ㉓ chimney 연소 원통을 통하여 $40 \pm 2\text{mm}/\text{초}$ 의 속도로 흐르게 설정한다. 때, 산소 농도는 위 그림 1의 ㉔ 질소 set flow 와 ㉕ 산소 set flow로 조절하여 산소농도를 맞추고 burner를 이용하여 시편에 불을 붙인다. 시편에 불이 붙은 후 180초 동안 화염이 지속되거나 50mm 이상 연소가 되는 산소 농도를 찾는다. 이 때 수직으로 세웠을 때 자립이 불가능한 유연한 필름 또는 시트는 $140 \times 50 \times t$ 의 규격으로 준비하고 시편에 불이 붙은 후 180초 동안 화염이 지속되거나 80mm 이상 연소가 되는 산소 농도를 찾는다.

산소지수는 부피 퍼센트에 오차범위에 대한 보정 값을 주는 형식으로 구해지며 다음에 주어진 관계식으로부터 계산한다.

$$OI = C_f + Kd$$

- 여기에서, C_f : 소수점 첫째자리까지 부피 퍼센트로 나타낸 산소농도의 최종 값
- d : 소수점 첫째자리까지 부피 퍼센트로 나타낸 산소농도 수준사이의 간격
- K : 덕슨의 ‘상승 - 및 - 하강’방법에 의해 얻어진 인자

2.2.1 화염전과 시험방법

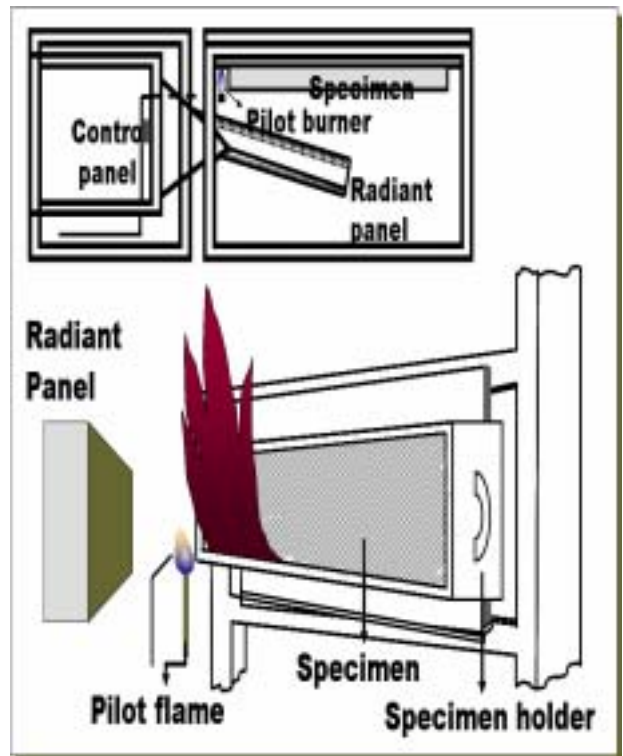


그림 2. 화염전과 시험기

화염전파 시험은 수직방향으로 설치된 시험체의 연소특성을 평가하는 방법이다. 시험체는 가스 연소식 복사패널에 의해 공급되는 적절한 복사열 분포장에 노출시켜, 연소의 진행에 따라 보정된 배기가스용 열전대로 밀리볼트 신호 값을 측정하는 것이 시험의 원리이다. 시험체는 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도, $50 \pm 5\%$ 의 상대습도에서 평형 질량을 갖도록 조절되어야 하며, 시험에 필요한 기간 동안 이 조건을 유지하여야 한다. 실험 절차는 800*150*t크기의 화염전파 시험기 시편을 알루미늄 포일에 싸고 시험체 홀더 속에 삽입하는 것으로부터 시작된다. 그 후, 장비의 전원을 켜고 LNG 가스와 Air밸브를 열고 Rad panel을 점화시킨다. Flux meter로 50, 150, 250, 350, 450, 550, 650, 750 지점의 Flux를 측정한다. 다음, Stack calibration을 한 후, 시편을 넣고 3회 시험하여 평균값을 보고한다. 이 때, 점화가 안 되는 경우에는 점염시험으로 변경하여 시험한다. 이 시험의 결과로 다음의 데이터가 구해져야 한다.

- ignition Time[ti]
- flame out Time[to]
- spreading speed of flame[t of L]
- peak heat release rate[kW]
- total heat release[MJ]

3. 결과 및 고찰

3.1. 산소지수 값에 따른 비교

철도차량 내장용품의 산소지수 값의 비교는 표 2에 잘 나타나 있다. 카페트의 경우 산소지수값이 30.2로 가장 낮게 나타났으며, Control Desk는 52.0으로 가장 높게 나타났다.

| 제품 | 산소지수 | 화염전파 | | | |
|--------------|------|---------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|
| | | 점화시간 (sec) | Qsb (Mj/m ²) | 탄화거리 (mm) | CFE (kW/m ²) |
| 카페트 | 30.2 | 6 | 0.48 | 498 | 8.74 |
| 바닥재 | 35.6 | 40 | 3.73 | 413 | 16.9 |
| FRP panel | 40.2 | 79 | 5.71 | 405 | 17.5 |
| 통로연결막 | 45.6 | 63 | 4.03 | 395 | 18.6 |
| Control Desk | 52.0 | 35 | 2.37 | 375 | 21.0 |

표 2. 철도차량제품의 연소특성 비교

3.2. 화염전파에 따른 비교

화염전파의 결과 역시 표 2에 잘 나타나 있다. 화염전파 시험의 결과를 보면 점화시간이 FRP panel이 79로 가장 높게 나타났다. 화염전파의 평균연소지속열(Qsb)을 보면 FRP panel이 5.71로 가장 높게 나타났다. 또한 화염전파의 소화 시 임계열량(CFE)을 보면 Control Desk가 가장 높게 나타났다. 화염전파시험에서 점화 시간과 평균연속지속열(Qsb)을 비교해 보면 점화 시간이 더 오래 걸릴수록 Qsb값이 높게 나타난 것을 볼 수 있으며, 점화시간에 따른 Qsb의 비교는 그림 3에 잘 나타내었다. 점화시간과 Qsb는 시편물성에 따른 영향 중 화염이 퍼져나가는 특성에 큰 영향을 받지 않으며, 국부적인 연소에 영향을 나타내는 것을 알 수 있다. CFE는 점화시간과 Qsb와는 다른 경향을 나타내고 있다.

CFE의 경우 표 2에서 탄화거리와 비교해보면, CFE값이 8.74인 카페트를 보면 탄화거리는 498이며, CFE값이 21.0인 Control Desk의 탄화거리는 375로 CFE값이 증가할수록 탄화거리가 작음을 알 수 있다. CFE의 경우 시편의 연소거리에 영향을 받음을 알 수 있으며 그림 3에 잘 나타내었다.

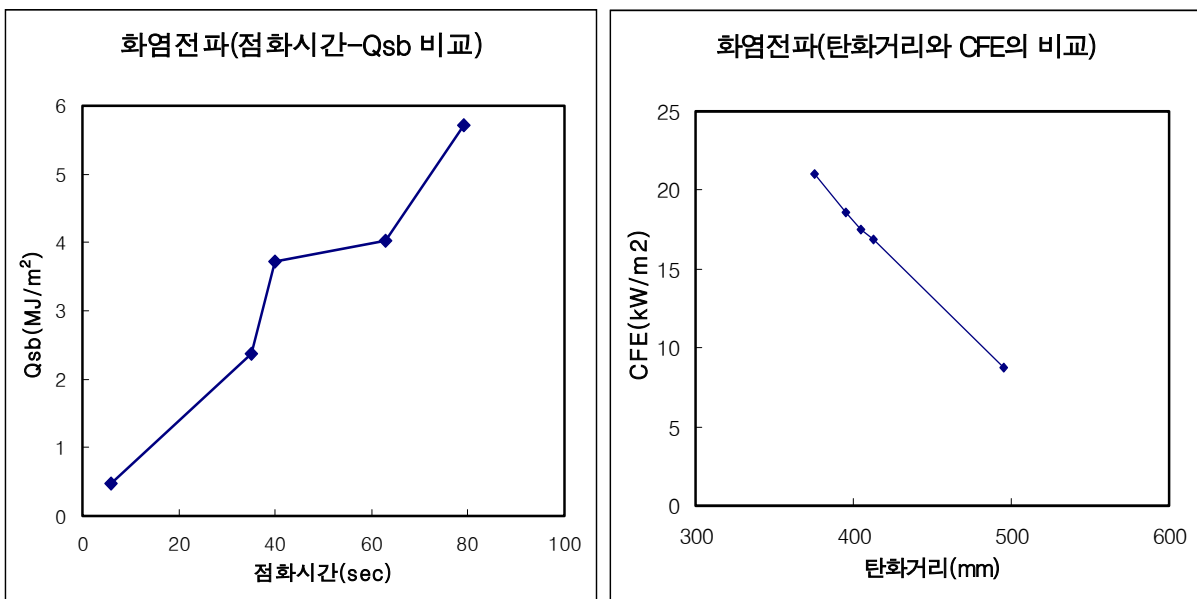


그림 3. 화염전파 시험에서의 점화시간-Qsb, 탄화거리-CFE 비교

3.2. 산소지와 화염전파의 비교

산소지수와 화염전파를 비교해보면 표 2에 잘 나타나있다. 산소지수 값이 30.2로 가장 작은 카페트의 경우 점화시간이 6초로 빨리 점화가 된 것을 알 수 있었다. 그러나 내장판인 FRP panel과 Control Desk의 경우 FRP panel의 산소지수 값이 40.2로 Control Desk보다 작음에도 불구하고 점화시간이 더 크게 나온 것을 볼 수 있다. 이는 국부적인 연소특성을 나타내는 점화시간과 Qsb와 달리 산소지수 시험은 시편의 연소거리에 따라 산소지수 값이 결정된다. 따라서 이와 같은 산소지수에 따른 점화시간과 Qsb는 다른 경향을 나타낸다고 볼 수 있다.

산소지수에 따른 화염전파의 CFE를 비교해보면 산소지수 값이 30.2로 가장 작은 카페트의 경우 CFE는 8.74kW/m²이며, 산소지수 값이 52.0으로 가장 큰 Control Desk의 CFE값은 21.0으로 가장 크게 나타났으며 산소지수 값이 증가할 수록 CFE가 증가함을 알 수 있다. 그 결과는 그림 4에 잘 나타나 있다. 화염전파에서 CFE는 표 2에서 시편의 연소거리에 영향을 받으며 탄화거리가 작을 수록 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 산소지수의 방법이 시편의 연소거리와 화염의 지속 시간에 영향을 받으므로 화염전파의 CFE와 상관관계를 유추할 수 있다.

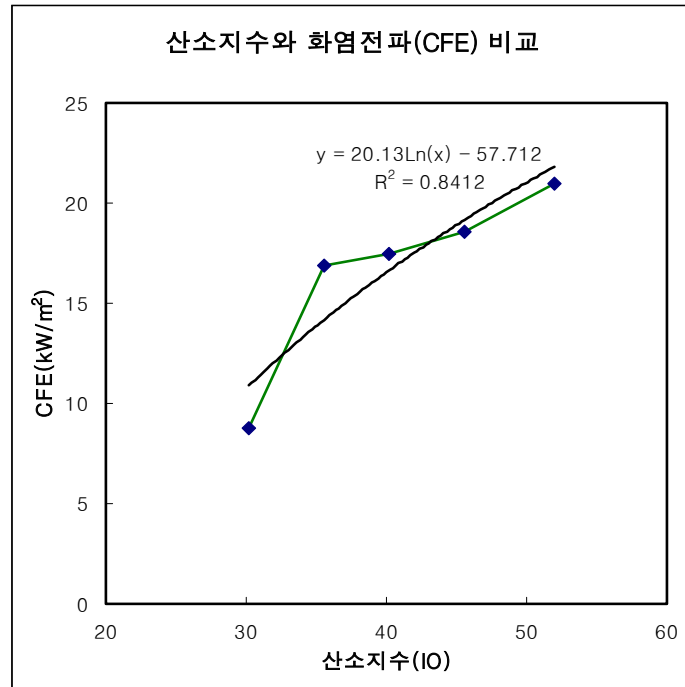


그림 4. 산소지수와 화염전파(CFE)의 비교

4. 결론

본 연구에서는 철도차량용품의 화재성능 평가의 대표적인 시험방법 중 산소지수(ISO 4589-2)와 화염전파(ISO-5658-2)를 비교하였으며, 산소지수의 시험 방법은 화재성능시험의 보편적인 방법이나 화재성능을 평가에는 미흡한 부분이 있어 화염전파 시험을 통하여 산소지수의 평가에 보완을 해주는 역할로 두 시험을 비교 하였다.

산소지수와 화염전파 시험의 비교해보면

1. 화염전파시험 중 점화시간과 Qsb는 서로 비례관계를 나타내고 있으며, CFE는 탄화거리와 반비례관계를 나타내고 있으며, 이러한 관계를 통하여 서로를 유추할 수 있다.
2. 산소지수 시험은 화염전파 시험 중 CFE 상관관계를 나타내고 있으며, 산수지수 값을 통하여 CFE를 유추할 수 있다.
3. 이와 같은 시험결과를 통하여 철도차량의 화재시험방법에 따른 관계를 유추하고 철도차량용품의 화재성능 세부기준에 많은 도움을 줄 것 이다