

얇은 철도차량 내장용품의 산소지수 특성 비교

A property of oxygen index for interior materials of railroad vehicles

박지영* 정우성** 권성태*** 이덕희**** 이동우*****

Park, Ji Ypung · Jung Woo Sung · Kwon Sung Tae · Lee, Duck Hee · Lee, Dong Woo

ABSTRACT

There are A method(Top surface ignition) and B method(Propagating ignition) in Limited Oxygen Index based on ISO 4589-2:2001. In this study, we made an experiment on the thin interior materials such as a cover, a cushion and an advertising board of railroad vehicles by A and B method separately. so the test results were compared to search which is the proper test method for their properties of combustion. And The used experimental materials showed similar values in A and B method.

1. 서론

최근 서울시가 발간한 “2005서울연계통보”에 따르면 서울의 하루 지하철 이용은 2004년을 기준으로 2003년 대비 35.6에서 35.8%로 증가했고, 하루 지하철 이용자 수는 629만 2000명인 것으로 나타났다. 만약 지하철의 화재안전성이 확보되지 않는다면 서울시에서만 하루 평균 약630만 명이 지하철 치명적인 사고의 위험성에 노출되어있다는 말이 되는 셈이다. 이 같은 철도차량 이용객수의 증가추세 속에서 2003년 대구지하철 화재사고의 재연을 막기 위해 철도차량 관련 운영기관과 부품 제작업체에서는 철도차량 용품의 화재성능 향상을 위한 다각적인 노력에 집중하고 있다. 이러한 기준 정립 시, 철도차량의 화재발생초기에 승객이 대피할 수 있는 시간적인 여유를 최대한 확보하고, 인명과 재산피해를 최대한 줄이는 것이 관건이다. 이에 따라 철도차량 소재의 내연기능과 화재의 전파를 지연시키기 위한 적절한 화재안전 기준과 화재안전 성능의 확보라는 측면에서 재료의 연소특성에 적합한 평가방법을 선정하여 적용하고 있다.

본 연구에서는 화재특성시험 중 시료의 연소가 지속되기 위하여 필요한 최소한의 산소농도를 말하는 산소지수(LOI, Limited Oxygen Index) 시험법을 적용하여 ISO 4589 - 2:2001(Plastics-Determination of burning behaviour by oxygen index - Part 2: Ambient - temperature test)규격으로 철도차량 소재 중 의자를 구성하고 있는 커버지와 쿠션, 그리고 광고판의 시험 결과를 평가하였다. ISO 4589 - 2:2001에서는 시험편 형태에 의존하여 A법(상부면 점화)과 B법(전파 점화)의 점화방법이 있는데, 커버지와 쿠션 그리고 광고판을 각각 산소지수 A법과 B법으로 실험한 후, 결과 값을 비교하고 또한 시험형태나 연소형태 등을 고려하여 이 재료들의 특성에 적합한 산소지수 시험법을 확인하는 것이 이 실험의 목적이다.

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

***** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

2. 본문

2.1 시험재료

시험재료는 철도차량 의자 재료 중 커버지와 쿠션, 그리고 차량내부에 쓰이는 투명한 광고판을 사용했다. 본 연구에 사용된 시험편의 명세는 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. 시험재료의 특성

| 구분 | 소재 | 시험크기(mm) |
|-----|-------------|----------------------|
| 커버지 | 울90%+나일론10% | 140*50*t (t=5.0) |
| 쿠션 | 멜라민 폼 | 120*10*t (t=13.5) |
| 광고판 | 폴리카보네이트 | 120*10*t (t=1.2) |

2.2 시험방법

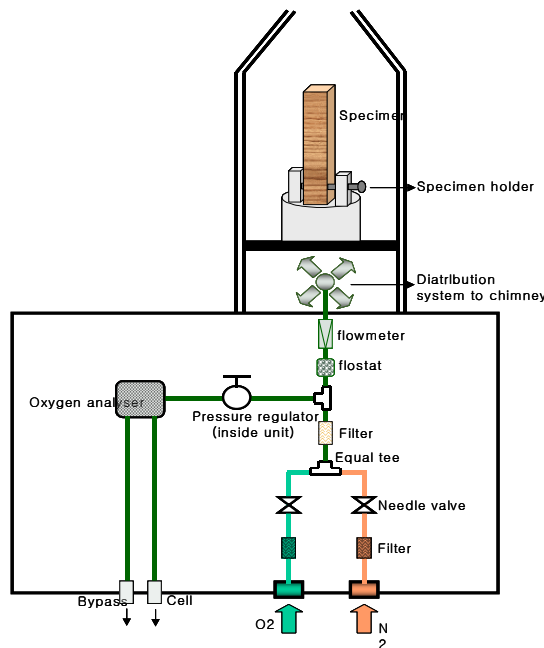


그림 1. 산소지수 시험기 구성도

산소지수 시험의 원리는 다음과 같다. 소형의 시험편은 투명한 연소원통을 통하여 흐르는 산소 및 질소의 혼합물 속에서 수직으로 지지된다. 시험편의 위쪽 끝을 점화시킨 후 시험편의 연소거동을 규정된 연소조건에서 연소가 지속되는 시간 또는 시험편의 연소 길이를 관찰하여 비교해야 한다. 일련의 시험편을 각기 다른 산소농도에서 시험하여 최소 산소농도가 평가된다. 준비된 각 시험편은 사용 전 온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 상대습도 $50 \pm 5\%$ 조건하에서 최소 88시간 동안 상태 조절한다. 아래 Table 2에 주어진 시험편 형태에 대해 규정된 치수를 만족하도록 시험편으로 성형하거나 또는 시험편 모양으로 잘라내어 만든다.

Table 2. 시험편의 모양 및 치수

| 시험편 형태 | 치수 | | | 용도 |
|--------|----------|---------|-----------|---|
| | 길이(mm) | 폭(mm) | 두께(mm) | |
| I | 80~150 | 10±0.5 | 4±0.5 | 성형재료 |
| II | 80~150 | 10±0.5 | 10±0.5 | 발포재료 |
| III | 80~150 | 10±0.5 | ≤10.5 | 시트재료 |
| IV | 70~150 | 6.5±0.5 | 3±0.25 | 전기재료용으로 사용되는 다른 치수의 자체 지지가 가능한 성형 또는 시트재료 |
| V | 140 | 52±0.5 | 10.5 | 유연한 필름 또는 시트 |
| VI | 140~200 | 20 | 0.02~0.10 | 얇은 필름으로 규정된 막대로 롤 형태로 만들 수 있는 필름 |

V번 시험편에 대한 표시선은 지지구에 표시되어 있으나 이 시험편은 열에 안정한 재료를 시험할 때의 편의를 위해서 점화되는 위쪽 끝부분으로부터 20mm 및 100mm에 표시할 수 있다. 방법 B에 따라 I, II, III, IV 및 VI번 시험편은 점화될 위쪽 끝부분으로부터 10mm 및 60mm에 각각 표시선을 그을 수 있다. 위의 표에서 I, II, III, IV 및 VI번 시험편인 경우에는 방법 A를, V번 시험편 경우에는 방법 B를 사용하며 방법 B는 I, II, III, IV 및 VI번 시험편에 대하여 사용될 수 있다. 방법 A는 상부면 점화를 말하며 점화기가 위쪽 끝부분인 상부면에서만 연소가 시작되도록 하기 위해 사용된다. 시험편이 점화된 것을 확인하고 시험편의 상부면 전체에서 불꽃이 붙은 것이 확인되자마자 연소 시간 및 연소된 길이의 측정을 시작한다. 방법 B는 전과점화를 말하며 시험편의 상부를 가로질러 부분적으로 수직면 아래에서도 연소가 이루어지도록 하기 위해 사용된다. 시험편이 점화된 것을 확인하고 눈으로 보이는 시험편의 연소 부위 상부 표시선에 도달하는 순간부터 연소 시간 및 연소 정도를 측정한다. 산소지수 값 결정을 위한 연소시간과 연소정도에 대한 선택기준은 Table 3과 같다.

Table 3. 산소지수측정에 대한 기준

| 시험편 형태 | 점화방법 | 선택기준 | |
|---------------------|-------------|---------------|-------------------------------|
| | | 점화 후 연소 시간(초) | 연소 정도 |
| I, II, III, IV 및 VI | A 상부면 점화 | 180 | 시험편의 상부로부터 50mm아래 |
| V | B 전과점화 | 180 | 상부 표시선으로부터 50mm아래 |
| | B 전과점화 | 180 | 상부 표시선(지지구에 표시됨)으로부터 50mm아래 |

산소지수는 부피 퍼센트에 오차범위에 대한 보정값을 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

3. 결과 및 분석

3.1 의자커버의 산소지수

A법과 B법에 의한 지수 값의 차이는 없었다. 시험결과를 아래와 같이 나타냈다.

3.1.1 A법

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|---------------------------------------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 31.0 | 30.8 | 30.6 | 30.4 | 30.4 | 30.6 | 30.4 | 30.6 | (C _f)30.8 |
| Burning period (s) | >180 | >180 | >180 | | <180 | >180 | <180 | <180 | >180 |
| Length burnt (mm) | >50 | >50 | >50 | | <50 | >50 | <50 | <50 | >50 |
| Response | × | × | × | | ○ | × | ○ | ○ | × |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : -1.25 | | | | | | | | | |
| | | | | | Hence C _f = 30.8 k = -1.25 | | | | |

$$\cdot OI = C_f + Kd = 30.8 + (-1.25 \times 0.2) = 30.55$$

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1150}{5} \right]^{1/2} = 0.15166$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10111 < d < 0.22749 \Rightarrow OI \text{ is valid} \quad \cdot OI = 30.6$$

3.1.2 B법

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 30.0 | 30.2 | 30.4 | 30.6 | 30.6 | 30.4 | 30.6 | 30.8 | (C _f)30.6 |
| Burning period (s) | <180 | <180 | <180 | | >180 | <180 | <180 | >180 | >180 |
| Length burnt (mm) | <50 | <50 | <50 | | >50 | <50 | <50 | >50 | >50 |
| Response | ○ | ○ | ○ | | × | ○ | ○ | × | × |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : -0.14 | | | | | | | | | |

$$\cdot OI = C_f + Kd = 30.6 + (-0.14 \times 0.2) = 30.57$$

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1135}{5} \right]^{1/2} = 0.15067$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10045 < d < 0.22600 \Rightarrow OI \text{ is valid} \quad \cdot OI = 30.6$$

3.2 시트쿠션의 산소지수

A법과 B법에 의한 지수 값의 차이는 0.4 만큼 A법이 높게 나타났다. 시험의 불확도를 고려한다면 이 정도는 차이가 없다고 볼 수 있을 것이다. 시험결과를 아래와 같이 나타냈다.

3.2.1 A법

| | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 36.0 | 35.8 | 35.6 | 35.4 | 35.4 | 35.6 | 35.8 | 35.6 | (C _f)35.4 |
| Burning period (s) | >180 | >180 | >180 | | <180 | <180 | >180 | >180 | <180 |
| Length burnt (mm) | >50 | >50 | >50 | | <50 | <50 | >50 | >50 | <50 |
| Response | × | × | × | | ○ | ○ | × | × | ○ |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.75 | | | | | | | | | |

·OI = C_f + Kd = 35.4 + (0.75 × 0.2) = 35.55

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1150}{5} \right]^{1/2} = 0.15166$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10111 < d < 0.22749 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

·OI = 35.6

3.2.2 B법

| | | | | | | | | | |
|---|------|--|--|--|------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 36.0 | | | | 35.8 | 36.0 | 35.8 | 36.0 | (C _f)36.2 |
| Burning period (s) | >180 | | | | <180 | >180 | <180 | <180 | >180 |
| Length burnt (mm) | >50 | | | | <50 | >50 | <50 | <50 | >50 |
| Response | × | | | | ○ | × | ○ | ○ | × |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : -1.17 | | | | | | | | | |

·OI = C_f + Kd = 36.2 + (-1.17 × 0.2) = 35.97

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5} \right]^{1/2} = 0.15056$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10037 < d < 0.22583 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

·OI = 36.0

3.3 광고판의 산소지수

A법과 B법에 의한 지수 값의 차이는 0.2 만큼 A법이 높게 나타났다. 이 경우에도 시험의 불확도를 고려한다면 차이가 없었다고 볼 수 있을 것이다.

3.3.1 A법

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|--|--|------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 28.0 | 28.2 | | | 28.2 | 28.0 | 28.2 | 28.4 | (C _f)28.2 |
| Burning period (s) | <180 | | | | >180 | <180 | <180 | >180 | >180 |
| Length burnt (mm) | <50 | | | | >50 | <50 | <50 | >50 | >50 |
| Response | ○ | | | | × | ○ | ○ | × | × |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : -0.17 | | | | | | | | | |

$$\cdot OI = C_f + Kd = 28.2 + (-0.17 \times 0.2) = 28.17$$

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5} \right]^{1/2} = 0.15056$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10037 < d < 0.22583 \Rightarrow OI \text{ is valid } \cdot OI = 28.2$$

3.3.2 B법

| | | | | | | | | | |
|--|------|------|--|--|------|------|------|------|-----------------------|
| Oxygen Concentration (%) | 28.0 | 27.8 | | | 27.8 | 28.0 | 28.2 | 28.0 | (C _f)27.8 |
| Burning period (s) | >180 | | | | <180 | <180 | >180 | >180 | <180 |
| Length burnt (mm) | >50 | | | | <50 | <50 | >50 | >50 | <50 |
| Response | × | | | | ○ | ○ | × | × | ○ |
| k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.83 | | | | | | | | | |

$$\cdot OI = C_f + Kd = 27.8 + (0.83 \times 0.2) = 27.97$$

·Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum (ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5} \right]^{1/2} = 0.15056$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.10037 < d < 0.22583 \Rightarrow OI \text{ is valid } \cdot OI = 28.0$$

4. 결론

산소지수 A법과 B법을 비교 실험한 결과, 방법에 의한 산소지수 결과 값에는 차이가 없음을 볼 수 있다. 의자커버의 경우 동일한 결과 값을 보였으므로 규격에 따라 자립이 가능한 것은 A법으로 두께가 얇아 자립이 불가능한 경우 B법으로 실험해야 더 정확한 값을 얻는 것으로 평가된다. 쿠션의 경우 A법 실험 시 상부면 점화와 동시에 표면 전체에 화염이 전파되는 연소특성을 보였으며, B법 실험 시 표면에서의 연소는 끝났지만 폼 내부에서 잔염 연소하는 특성을 보였다. 마지막으로 광고판 역시 상부면 점화만으로도 충분한 화염의 전파가 가능하므로 A법이 적절하다고 판단된다. 이 시험에서 사용된 시험재료들은 시험방법을 달리하면 더 나은 값을 얻을 수도 있다는 논란이 발생했던 재료들이다. 본 연구에서 행한 시험의 결과에 국한 한다면 A법과 B법에 차이에 의한 산소지수 결과는 큰 영향을 없다는 점을 보여준다.

참고문헌

1. KS M ISO 4589-2, "플라스틱-산소지수에 의한 연소거동의 측정-제2부:상온시험법", 2001, 산업표준심의회
2. 이광흠, 박영근, 윤명오, 현성호, 김동일, "소파커버의 연소특성에 관한 연구", 화재소방학회, vol.17, No.2, pp. 35-42(2003)
3. ASTM D 2863, "Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics(oxygen Index), 1997