

철도차량용 통로 연결막의 재질별 산소지수 비교연구

Comparative study on the Limited Oxygen Index of the gangway materials of the railroad vehicles

박지영* 정우성** 권성태*** 이덕희**** 이종민*****

Park, Ji-Young Jung, Woo-Sung Kwon, Sung-Tae Lee, Duck-Hee Lee, Jong-Min

ABSTRACT

According to ISO 4589-2:2001, we studied on the fire characteristics of some gangway materials used as the interior materials of the railroad vehicles.

Currently materials of the gangway used in the railroad vehicles tend to alternate PVC coated fabric mostly used in former days with synthetic rubber or silicone. Accordingly, we compared Limited Oxygen Index on them in this study.

And we found that the test results of the synthetic rubber or silicone gangway are better than those of the PVC coated fabric gangway largely.

1. 서 론

지하철과 같은 철도차량 화재사고의 경우, 주로 밀폐된 공간에서 운행된다는 차량의 특성 때문에 엄청난 인명피해와 더불어 재산피해가 동반되는 대형 참사로 이어질 수 있다는 것을 우리는 이미 2003년 대구 지하철 화재참사를 통해 잘 알고 있다. 철도차량 화재사고의 인명피해 유형을 볼 때, 차량의 화재 시 발생하는 유독성의 연기와 가스 때문에 발생하는 질식사가 큰 비중을 차지하고 있으며, 이에 가장 근본적인 원인인 내장재의 화재 안전도를 높이기 위한 전국 전동차 내장재 교체사업이 2003년 말에 시작되어 2006년 6월말에 완료되었다.

내장재의 교체대상은 내장판, 의자(커버, 쿠션, 몸체), 통로 연결막, 바닥재와 단열재 등이며 미국과 영국 등 여러 선진국 수준의 화재 시험을 국내 실정에 맞게 적용한 연기밀도, 산소지수, 화염전파 및 독성 등의 시험을 거쳤다. 이들 교체된 내장재들은 차량의 화재를 지연시켜 승객들의 대피시간 확보에 기여할 수 있는 불연성 및 난연성을 강화시킨 재료들로 사용되었으며, 이중 통로 연결막의 경우를 살펴보면 기존차량에 주로 쓰이던 PVC COATED 폴타포린 등의 재질이 실리콘이나 합성고무 재질로 교체되었다.

따라서 본 연구에서는 기존에 주로 사용되었던 폴타포린 재질의 통로 연결막과 현재 교체된 실리콘과 합성고무 재질의 통로 연결막을 화재특성시험 중의 하나인 산소지수(Limited Oxygen Index)를 ISO 4589-2:2001에 따라 시험함으로써 이들의 결과 값을 통해 철도차량용 통로 연결막의 재질별 연소 특성을 비교 연구하고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 시험기준팀

E-mail : 3342735@hanmail.net

TEL : (031)460-5374 FAX : (031)460-5539

** 한국철도기술연구원

*** 한국철도기술연구원

**** 한국철도기술연구원

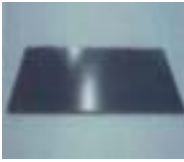





***** 한국철도기술연구원

2. 본 문

2.1 시험재료의 특성

본 시험에 사용된 재료는 철도차량용 통로 연결막이며, 그중 기존에 쓰이던 폴타포린(PVC coated fabric) 재질의 통로 연결막과 현재 교체된 실리콘과 합성고무 재질의 통로 연결막이 사용되었다. 채취한 샘플들은 자립이 가능한 시편이기에 ISO 4589-2:2001규격에 따라 120×10×실 두께의 크기로 제작되어 시험되었다. 시험재료의 명세사항은 아래와 같다.

표 1. 시험재료의 구분

구분	기존차량			교체차량		
재질	폴타포린(PVC coated fabric)			실리콘		합성고무
제작업체	A사	B사	C사	D사	E사	F사
채취샘플						
시편제작 크기	120×10×t	120×10×t	120×10×t	120×10×t (t=3.0)	120×10×t (t=3.0)	120×10×t (t=3.5)

2.2 시험장비 및 시험방법

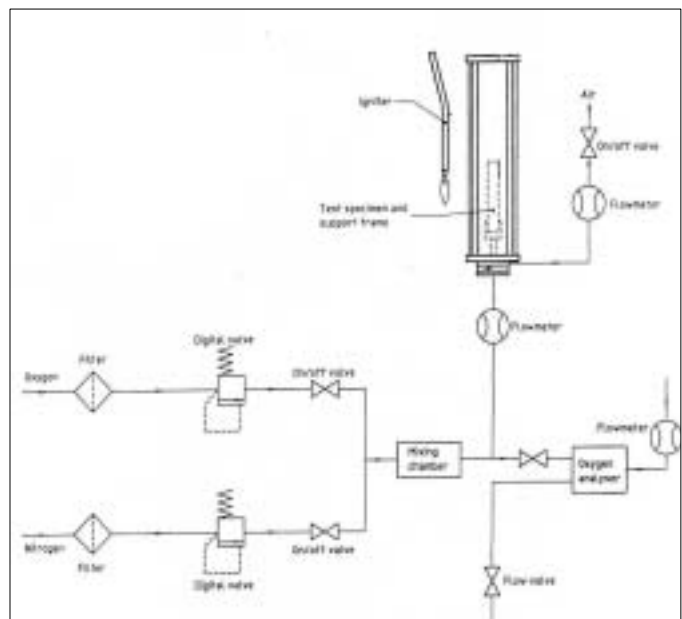


그림.1 산소지수 시험기
1512

수직으로 자립이 가능한 시편은 120×10×t규격으로 잘라 홀더에 끼워 수직으로 고정시킨다. 본 연구에 사용된 통로 연결막은 이 경우에 해당된다. 그러나 자립이 불가능한 유연한 시편은 140×50×t로 잘라 시편의 양 옆을 잡아주는 홀더에 고정시켜 수직으로 세울 수 있다. 이때 시험편의 상태는 연소거동에 영향을 줄 수 있으므로 항상 깨끗하고 흠집이 없도록 해야 하는데 예를 들어 성형 시 발생하는 시험편 주위의 얇은 막 부분 또는 보풀같은 것들을 잘 제거해야 하는 것이다. 정해진 크기의 시편을 산소와 질소의 혼합가스 속에서 연소시켜 180초 이상 불꽃이 유지되는 산소농도와 연소된 길이를 관찰 및 측정하여 산소지수를 평가하며, 이렇게 재료의 연소를 지속시키기 위해 필요한 산소의 최소농도를 혼합가스에서 산소의 부피 퍼센트로 구한 것이 바로 산소지수이다. 시험편의 연소가 180초를 넘지 않고 50mm 이상 연소되지 않으면 O로 표기하고, 그렇지 않으면 O로 표기하고 그렇지 않으면 X로 표기한다. 즉, 시험편의 연소가 180초를 넘거나 50mm 이상 연소되면 X로 표기한다. 앞선 시험편의 시험결과가 X 응답을 준다면 산소농도를 감소시키고, O응답을 준다면 산소농도를 증가시킨다. 이때 시험편의 크기가 140×50×t인 경우에는 상부표시 선으로부터 80mm이상의 연소 유무를 선택기준으로 보며 120×10×t규격의 시편의 경우, 작성된 표의 예는 아래와 같다.

표 2. 시험결과표의 예

. N _T series measurements										
N _L series measurements (8,6,1 and 8,6,2)					(8,6,3)				C _f	
Oxygen Concentration (%)	30.0	30.2	30.4		30.4	30.2	30.4	30.2	30.4	
Burning period (s)	<180	<180			>180	<180	>180	<180	<180	
Length burnt (mm)	<50	<50			>50	<50	>50	<50	<50	
Response	○	○			×	○	×	○	○	
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.04										
					Hence C _f = 30.4 k = 0.04					

위 표에서 N_L계열은 전체기체 농도변화(d)를 0.2%씩 감소 또는 증가시켜 실험하여 얻어진 응답의 반대 응답이 얻어질 때까지 반복 시험한 것과 및 결과를 기록한 것으로 구성되며, N_T는 나머지 값을 구성하는 계열로 4개의 추가 시험편을 d=0.2%를 유지하면서 반복실험하고 마지막 시험편에 사용된 산소농도를 C_f로 한다. 여기서 d는 소수점 첫째자리까지 부피 퍼센트로 나타낸 산소농도 수준사이의 간격을 말하며, K는 덕슨의 '상승-및-하강'방법에 의해 얻어진 인자를 말한다. 이렇게 구해진 C_f, d, K값들로부터 다음의 계산식을 통해 산소지수가 결정된다.

$$OI(\text{Oxygen Index}) = C_f + Kd$$

이때, d값은 다음과 같이 결정된다.

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

여기에서, c_i: N_T 계열의 측정값 중 마지막 6개 측정의 응답에 사용된 부피 퍼센트로 주어지는 각각의 산소 농도 값

OI: 산소지수

n: $\sum (c_i - OI)^2$ 에 기여하는 산소농도 측정 횟수

이렇게 구한 σ 값을 이용해 $\frac{3\sigma}{2} < d < \frac{2\sigma}{3}$ 이면 그대로 0.2%의 값을 사용하고 $\frac{2\sigma}{3} > d$ 이면 보다 큰 d값을, $\frac{3\sigma}{2} < d$ 이면 보다 작은 d 값 사용한다.

3. 결 과

3.1 졸타포린 통로 연결막의 산소지수

기존의 철도차량용 졸타포린 통로 연결막에 대한 산소지수(OI)결과 값들을 아래 표 3과 그림 2와 같이 나타내었다. B사의 것이 24.3으로 가장 높게 나오고 C사의 것이 21.1로 가장 낮게 나오긴 했으나, 3개 업체의 결과 값들이 크게 차이나지 않는 것을 볼 수 있다.

표 3. 업체별 졸타포린 통로 연결막의 산소지수 결과 값

제작업체	A사	B사	C사
OI	23.9	24.3	21.1

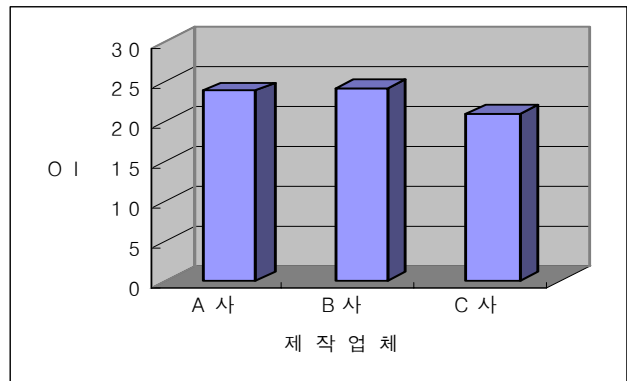


그림.2 업체별 졸타포린 통로 연결막의 산소지수 그래프

3.2 졸타포린 재질과 같은 PVC 계열의 바닥재 산소지수

기존 차량에 쓰이던 바닥재 역시 졸타포린 통로 연결막과 같은 재질인 PVC 계열이며, 이들의 결과 값들을 비교해보면 졸타포린 통로 연결막과 크게 차이나지 않는 비슷한 결과를 나타냄을 볼 수 있다.

표 4. 업체별 PVC 바닥재의 산소지수 결과 값

제작업체	a사	b사	c사
OI	22.9	23.7	25.6

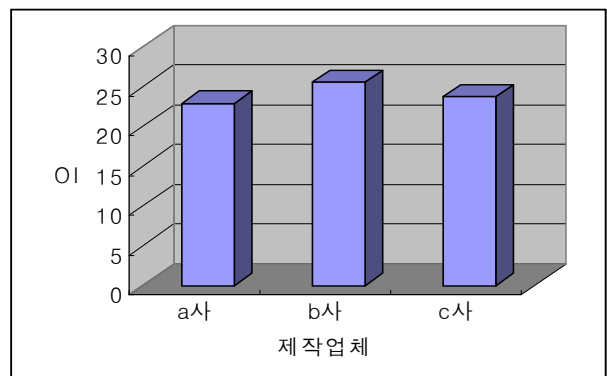


그림.3 업체별 PVC 바닥재의 산소지수 그래프

3.3 실리콘과 합성고무 통로 연결막의 산소지수

교체된 차량의 실리콘과 합성고무 통로 연결막의 산소지수(OI) 결과 값을 보면, F사의 합성고무가 49.8로 가장 높긴 하나 여러 업체별 시편 확보의 어려움으로 실리콘보다 높은 산소지수 값을 가진다고

보기는 힘들다. 이 시험에서 사용된 시편들에 국한해서 본다면 실리콘과 합성고무 역시 산소지수 결과 값이 비슷함을 알 수 있다. 이들의 결과 값을 표 5와 그림 4로 나타내었다.

표 5. 업체별 실리콘과 합성고무 통로 연결막의 산소지수 결과 값

제작업체	D사	E사	F사
재질	실리콘	실리콘	합성고무
OI	48.0	44.8	49.8

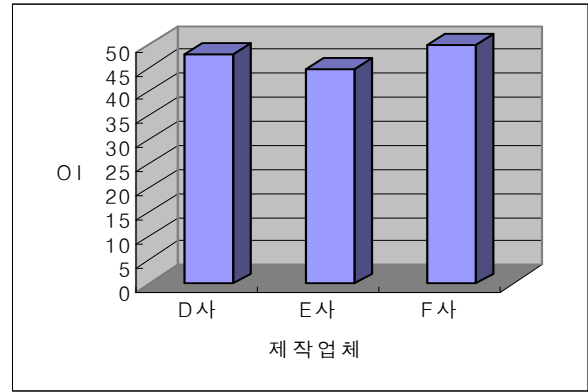


그림.4 업체별 실리콘과 합성고무 통로 연결막의 산소지수 그래프

3.4 합성고무 재질의 바닥재 산소지수

아래 표 6과 그림.5는 합성고무 통로 연결막과 같은 재질인 바닥재의 산소지수 값을 나타낸 결과이다. 하지만 통로 연결막에 비해 낮은 결과 값을 보여 본 시험에 쓰인 합성고무 통로 연결막이 더 강화된 난연성 제품임을 알 수 있다.

표 6. 업체별 합성고무 바닥재의 산소지수 결과 값

제작업체	d사	e사	f사
OI	34.8	35.4	35.0

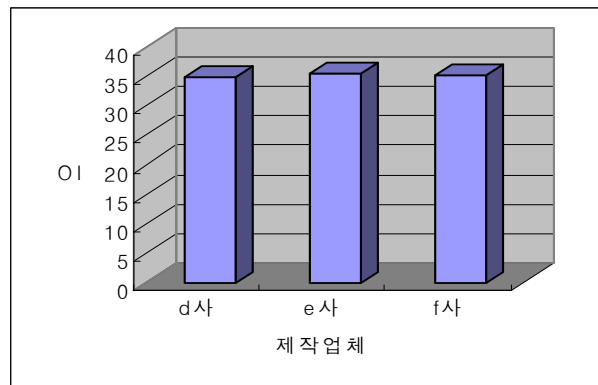


그림.5 업체별 합성고무 바닥재의 산소지수 그래프

3.5 기존차량과 교체차량의 통로 연결막 재질별 산소지수 비교

기존의 줄타포린 통로 연결막과 교체된 실리콘과 합성고무 통로 연결막의 산소지수 값을 비교한 그래프가 그림 4에 나타나 있다. 교체된 것들이 기존의 것보다 산소지수가 20이상 높은 값들을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 물론 산소지수 시험에 국한하여 보는 것이지만 큰 폭의 결과 값 차이로 보아 난연성이 강화되었음을 확인할 수 있다.

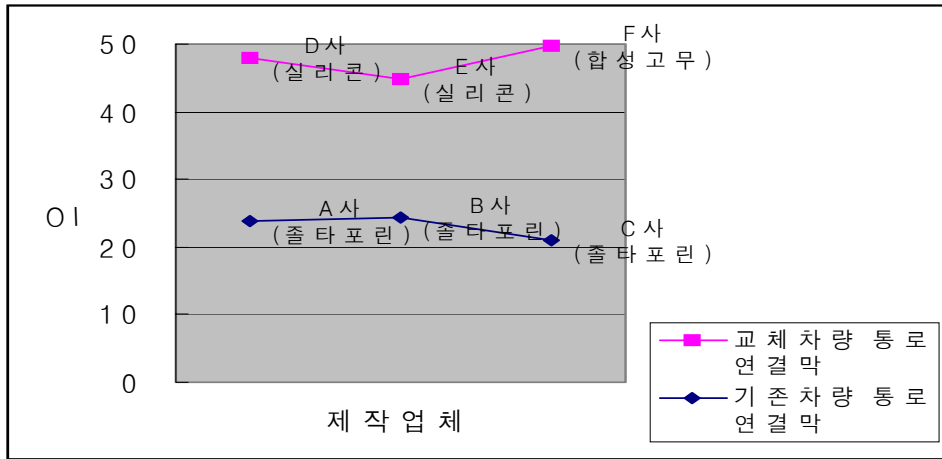


그림6 기존차량과 교체차량의 통로 연결막 재질별 산소지수 비교 그래프

4. 결 론

본 연구를 통해 이루어진 철도차량용 통로 연결막의 재질별 산소지수 결과를 같은 재질의 다른 내장재와 비교해 보면 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서 사용한 기존차량의 통로 연결막은 줄타포린 혼합재 2~4중 막을 사용하였고 제작업체에 따라 아라미드 섬유층을 넣는 등 막의 두께에 차이가 있었다. 이러한 점이 산소지수의 근소한 차이에 영향을 미친것으로 보여 지며 또한, 같은 PVC 계열의 기존 바닥재의 산소지수를 보면 그 값이 약 22~26에 이르러 본 시험에서 확인한 PVC COATED 줄타포린 통로연결막의 21~24의 시험 값과 비슷한 결과를 나타낸다는 것을 확인할 수 있다.

그리고 실리콘과 합성고무의 시험에서는, 이들의 결과 값이 비교적 비슷한 경향을 보였으며 합성고무의 경우, 시편 확보의 어려움으로 여러 번의 비교실험은 불가능했지만 같은 합성고무 계열인 바닥재의 산소지수 결과 값을 비교해 본 결과 합성고무 바닥재가 34~35정도의 값을 가져 본 연구에서 사용한 합성고무 통로연결막이 난연성이 더 강화된 제품인 것으로 추정된다.

마지막으로 기존의 철도차량에 주로 쓰였던 PVC COATED 줄타포린 통로연결막과 교체된 실리콘과 합성고무의 산소지수를 비교해보면, 줄타포린의 통로 연결막이 21~24정도의 결과 값을 가지는데 비해 후자의 재질로 된 통로 연결막에서 45~50정도의 산소지수를 얻을 수 있어 20이상의 큰 폭을 나타낼 수 있었다. 본 연구에서 사용한 시편과 시험방법에 한해서 교체된 차량의 통로연결막이 기존의 것보다 우수한 난연성을 가짐을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 더 많은 화재안전성 확보에 대한 시험과 연구가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

1. KS M ISO 4589-2(2001), “플라스틱-산소지수에 의한 연소거동의 측정-제2부:상온시험법”, 산업 표준심의회
2. 이덕희(2003), “지하철 내장재료의 재료특성에 따른 화재안전도 평가”, 한국철도학회
3. ASTM D 2863(1997), “Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics(oxygen Index)”