

C-12

Glass fiber cross-Al foil 차단막 두께에 따른 고무발포단열재 연소특성

조희기, 이덕희, 이철규, 백민, 정병철*
한국철도기술연구원, (주)로템*

Combustion property comparison of rubber foam insulator by the variation of the glass fiber cross-Al foil thickness

Cho Hee-Ki, Lee Duck-Hee, Lee Cheul-Kyu, Paek Min, Jung Boung-Cheul*
Korea Railroad Research Inst., Rotem Co.*

Abstract

Insulator is being used for material of railroad vehicles as a barrier of heat and noise. But it shows various fire properties in case of fire. In this study, we compared smoke density(Ds) values of rubber foams with the different thickness of glass fiber cross-Al foil according to the standard of ASTM E 662. The result showed that the insulator and barrier property played an important role in decreasing the value of smoke density

1. 서론

주요 교통수단으로 자리 잡은 철도차량에는 상당량의 단열 및 흡음재를 사용하여 차내의 열손실과 차량운행에 의한 외부의 소음을 차단하고 있다. 기존 차량의 단열재에는 폴리에틸렌, 글라스울, 폴리프로필렌 등이 사용되고 있다.

최근 지하철 화재사고로 인하여 개정된 도시철도차량안전기준에 관한 규칙에서는 단열재의 화재관련기준을 대폭 강화하여 규정하고 있다. 이에 따라 최근에는 유리섬유, 멜라민폼, 난연고무발포폼 등의 재료의 사용이 검토되고 있다. 이중 불연성 단열재인 유리섬유인 경우 화재측면에서 매우 안정한 반면 작업성이 좋지 않아 환경유해성 측면의 논란이 있으며, 차량의 에어컨 덕트 또는 냉방기 내부 결로 방지용 단열재는 차내로 흡입되는 공기의 유동과 접하고 있어 특별한 관리가 요구된다.

멜라민폼과 고무발포폼의 경우 재료 자체로는 산소지수시험과 연기밀도시험 기준을 동시에 만족시키는 제품이 제공되고 있지 않다. 따라서 glass fiber cross-Al foil의 화염 차단막을 부착한 상태로 사용되고 있다. 연기밀도시험은 다른 시험에 비해 상당한 범위편차를 인정하고 있다. 다른 화재시험의 경우 연소과정자체가 가지는 재현성 및 정밀성의 부족으

로 시편 간 또는 시험소 간의 측정값의 차이가 커서 보다 정밀한 측정값 확보가 요구된다.

본 연구에서는 ASTM E 662 규정의 연기밀도 시험기를 이용하여 단열재 중 고무발포품의 시험에 의한 연기밀도를 측정하였으며, 차단막의 두께 영향을 알아보기 위하여 Glass fiber cross-Al foil 차단막의 의 두께변화를 주어 각각의 연기밀도 특성변화를 평가하였다.

2. 이 론

2.1. 단열재

단열재에는 폴리에틸렌, 그라스울, 폴리프로필렌 등이 사용되고 있으며, 표면에 방사선 처리를 하여 단열재의 균일도를 강화하여 내구성, 내수성, 내화확성이 강화되어 수명이 길다. 난연성은 수산화알루미늄, 삼산화안티몬 등을 블렌딩하여 발포하고 있으며, 차음성, 흡음성이 우수하여 차량용 흡음차단재로 널리 사용된다. 흡수투습성은 일반 폴리에틸렌 필름 정도의 특성을 가지고 있어 방수 단열 소재로 널리 사용된다.

폴리에틸렌 수지에 발포재, 난연재, 방사선에 의한 가교 및 색소 등을 첨가하며, 원료를 품질에 따른 조성으로 배합하여 압출 수 방사선으로 가교시킨 모판을 발포시킨 후 냉각하여 판산 발포체를 만든다. 이를 규정된 규격으로 적층 열 응착하여 보온 판을 만든다.

시공방법으로는 방사선 가교 폴리에틸렌 폼을 철도차량 구조물에 삽입되도록 재단하고 벽체나 바닥은 본드시공이 거의 불필요하고 천정부위는 고정 및 낙하방지를 위해 본드시공한다. 본드시공 시 롤러를 사용하여 오픈셀 부위에 고르게 전면도포하고 측시 부착한다.

2.2. 연기밀도

연기밀도시험은 ASTM E 662(Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Material) 기준에 따르며, 시편을 25kW/m²의 열복사 상태에서 태워 발생하는 연기의 양을 광전관(PM tube) 광도측정법으로 투과율(T)을 측정하고, 이를 이용하여 연기밀도(Ds)를 계산한다. 연기밀도 시험규격에서는 ASTM E 662규정에 의해 3회 측정한 연기밀도 값 중 최대값이 최소값의 150%이내에 들면 유효한 시험으로 인정하도록 되어 있으며, 유효한 범위를 벗어날 경우 3회 시험을 추가하여 총6회의 측정값의 평균을 보고하도록 되어 있다. 이는 10%이내의 평균값 산포를 유효한 시험으로 판단하는 다른 시험에 비해 상당한 범위편차를 인정하는 것이다.

연기밀도 계산식은 다음과 같다.

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

$$G = \frac{V}{(A \times L)}$$

V : volume of the chamber
 A : specimen surface area
 L : light pass length
 T : transmittance of light
 F : the density of the filter

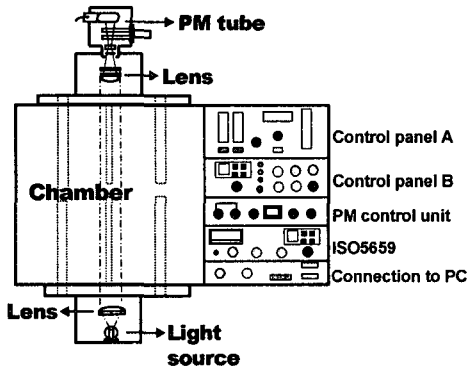


그림 1. 연기밀도시험기의 구성도

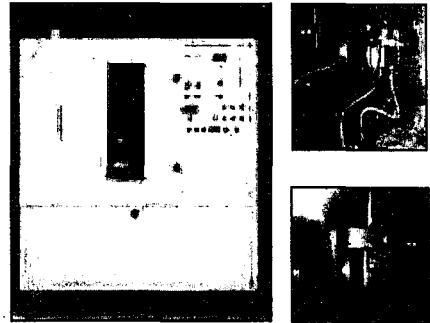


그림 2. ASTM E 662의 복사가열기

3. 연기밀도시험

3.1. 시험장치 및 재료

연기밀도시험은 ASTM E 662규정에 따라 연기밀도 시험기(Fig. 1, Fig. 2)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 단열재는 EPDM과 NBR을 혼합 발포한 것으로 알려진 A사의 난연 고무발포품 CLASSO가 사용되었다. 난연고무발포품의 두께는 각각 6.5mm, 4.0mm 두 종류를 사용하였고, 차단막으로는 Glass fiber cross-Al foil로 유리섬유를 직물형태로 만들고 알루미늄 막을 표면에 붙인 것으로 두께가 각각 0.17mm, 0.29mm, 0.41mm 세 종류를 준비하였다. 또한 알루미늄 막의 두께 영향을 보기 위하여 Al foil의 두께를 각각 0.1mm, 0.05mm 두 종류를 사용하였다.

표 1. 연기밀도시험 내용

(단위:mm)

단열재	차단막		Type A	단열재	차단막		Type B
	Al-foil	Glass fiber cross			Al-foil	Glass fiber cross	
고무발포품 6.5	-	-	A1	고무발포 품 4.0	-	-	B1
	0.05	0.12	A2-1		0.05	0.12	B2-1
		0.24	A2-2			0.24	B2-2
		0.36	A2-3			0.36	B2-3
0.1	0.12	A3	0.1	0.12	B3		

3.2. 연기밀도 시험방법

ASTM E 662의 연기밀도 시험방법 중 flaming 모드에서 시험하였다. 연기밀도 시험기의 챔버 크기는 $914\pm 3\text{mm}\times 914\pm 3\text{mm}\times 610\pm 3\text{mm}$ 이며, 챔버 내부에 복사가열기를 설치하였다. 복사가열기와 시험시편사이에(시편 앞 6.0mm) 버너를 설치하고 공기와 프로판을 각각 $500\text{cm}^3/\text{min}$, $50\text{cm}^3/\text{min}$ 로 불꽃크기를 조절하였다. 시험에 사용된 고무발포폼은 $75\text{mm}\times 75\text{mm}$ 크기로 시험하였다.

$75\text{mm}\times 75\text{mm}$ 크기의 고무발포폼을 홀더 내에 고정시킨 후 복사가열기 앞에 설치한다. 이때 복사가열기의 발광 수준은 $25\text{kW}/\text{m}^2$ 로 유지한다.

시험과 동시에 발생하는 연기의량을 광도측정기(PM tube)를 통하여 연기밀도를 측정한다. 시험시간은 각각의 시편에 5분 동안 진행한다.

4. 결과 및 토론

4.1. 고무발포폼 두께에 따른 영향

Fig. 3과 Fig. 4에서 A1과 B1의 연기밀도(Ds) 결과를 보면 240초일 때 각각 116과 93으로 B1의 연기밀도가 더 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 또한 처음에는 연기밀도 값이 급격히 상승하다 시간이 지날수록 조금씩 상승폭이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 처음 시작과 동시에 버너 불꽃에 의해 고무발포폼이 연소되고, 연소와 같이 연기가 많이 발생하기 때문이다. A1과 B1의 고무발포폼의 두께가 6.5mm, 4.0mm로 B1의 두께가 더 작다. 두께가 얇을수록 연기의 발생량이 더 작음을 알 수 있다. 이는 화재안전 시험기준인 4분일 때 연기밀도(Ds)가 100을 넘지 않아야 한다는 것에 고무발포폼의 두께가 4.0mm의 B1이 더 적합함을 보여준다.

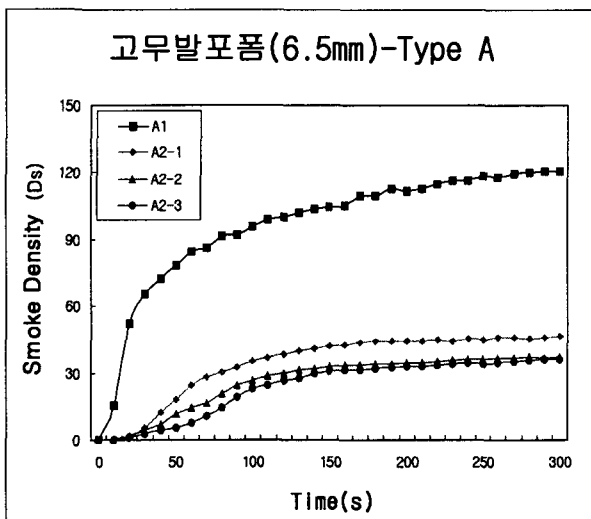


그림 3. Type A에서 연기밀도 시험결과

Type \ 시간 (s)	90	240
	A1	92
A2-1	32	45
A2-2	24	36
A2-3	19	35

표 2. Type A에서 연기밀도값 비교

4.2 차단막(Glass fiber cross-Al foil)의 두께에 따른 영향

차단막의 두께에 따른 영향을 보기 위하여 Fig. 3과 Fig. 4의 결과를 보면 차단막을 했을 때와 하지 않았을 때의 차이를 확연히 볼 수 있다. 고무발포폼에 차단막을 했을 경우 50%이상의 연기발생량이 감소되며, 초기 연기발생 시간이 20초 정도 지연됨을 볼 수 있다. 또한 A2-1, A2-2, A2-3을 보면 차단막의 두께가 두꺼워 질 수록 더욱 연기발생량이 감소함을 알 수 있다. 고무발포폼의 두께 얇아 연기발생량이 적은 Type B에서는 더 확연한 차이를 볼 수 있다. 따라서 단열재의 연기발생량은 차단막 두께에 영향을 받음을 보여 준다.

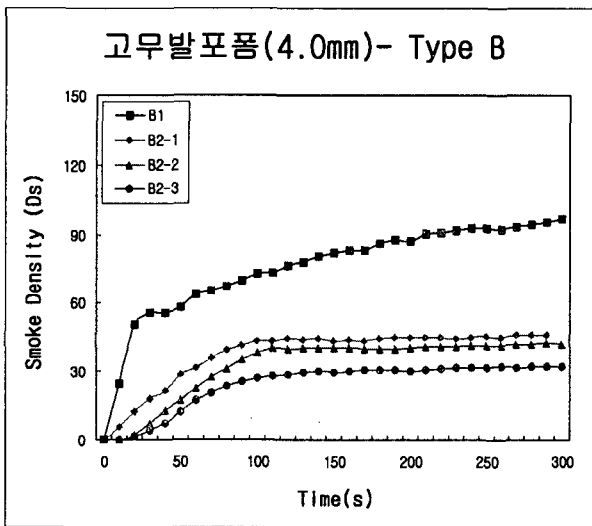


그림 4. Type B에서 연기밀도 시험결과

Type \ 시간 (s)	90	240
	B1	70
B2-1	39	45
B2-2	35	41
B2-3	25	32

표 3. Type B에서 연기밀도값 비교

4.3 Al foil의 두께에 따른 영향

Al foil의 두께에 따른 영향을 보기 위하여 Fig. 5를 보면 A2-1과 B2-1의 Al foil의 두께는 0.05mm이고 A3과 B3은 0.1mm이다. Fig. 5에서 A3과 B3의 연기밀도 값이 A2-1과 B2-1보다 더 작은 것을 알 수 있다. 그러나 A2-1과 A3에서 240초일 때 연기밀도 값은 각각 45와 44로 시간이 갈수록 차이가 나지 않음을 볼 수 있다. 단열재의 두께가 얇은 B2-1과 B3에서는 확연한 차이를 있음을 알 수 있다. 또한 초기 연기발생 시간이 Al foil이 두꺼울수록 지연됨을 보여준다. 따라서 Al foil의 두께가 연기밀도 발생에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

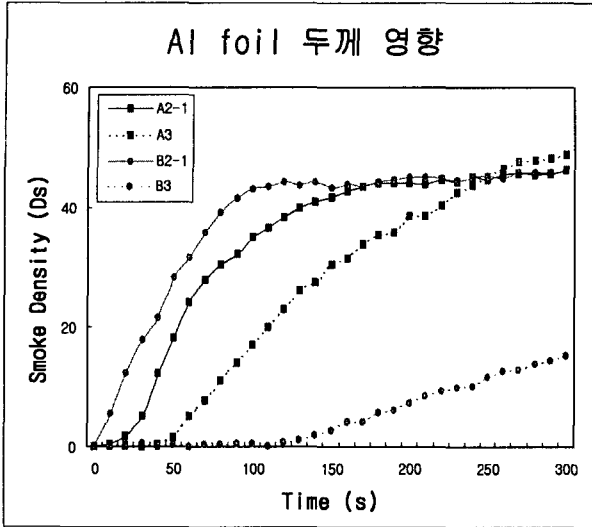


그림 5. Al foil 두께에 따른 연기밀도 시험결과

Type \ 시간 (s)	90	240
	A2-1	32
A3	14	44
B2-1	39	45
B3	0.6	10

표 4. Al foil 두께에 따른 연기밀도값 비교

4.4. 결론

현행 도시철도차량안전기준에 관한 규칙에 제시된 연기밀도시험에서 단열재의 화재안전 시험기준은 연기밀도 값Ds(4.0min)이 100을 넘지 않아야한다.

본 연구는 단열재 중 고무발포폼의 특성에 따른 연기밀도를 알아보았다. 고무발포폼의 두께에 따른 영향을 보면 두께가 얇을수록 연기가 작게 발생한다는 것을 알 수 있으며, 단열재에 차단막을 사용하면 연기의 발생이 50%이상 감소된다는 것을 알 수 있다. 또한 단열재의 두께를 두겹게 할수록 연기의 발생을 감소시키며, 초기 연기발생 시간을 지연 시킨다는 것을 알 수 있다. 연기밀도 값은 차단막 중 Al foil의 두께의 영향을 받으며, Al foil의 두께가 두꺼울수록 연기발생을 감소시키고, 초기 연기발생을 지연 시킨다는 것을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 철도차량에 사용되는 단열재의 제작에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. ASTM E 662, "Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Material."
2. ISO 5659-2, "Determination of Optical Density by a Single-Chamber Test."
3. BS 6853, "Code of Practice for fiber Precautions in the Design and Construction of Passenger Carrying Trains."
4. NFPA 130, "Fixed Guideway Transit System."