

근-적외선분광분석을 이용한 스티로폼의 난연성능 평가 방법 연구

조남욱* · 천지홍* · 이동호** · 신현준*

한국건설기술연구원 · 인천대학교 소방방재연구센터**

A Study on Evaluation method of Combustibility of Styrofoam by Near-Infrared Spectroscopic Analysis

Cho, Nam Wook* · Chun, Ji Hong* · Rie, Dong Ho** · Shin, Hyun Jun*

Korea Institute of Construction Technology* · Fire Disaster Prevention
Research Center-University of Incheon**

요 약

스티로폼샌드위치패널은 건식공법의 시공편리성, 경제적인 공사비용, 뛰어난 단열성능으로 공장이나 창고건축물을 중심으로 많이 사용되고 있다. 그러나 스티로폼의 여러 가지 장 점에도 불구하고 화재에 취약한 단점이 있어 최근 난연성능이 보완된 난연스티로폼패널의 사용이 증가하고 있다. 최근 건축현장에서, 가짜 난연스티로폼패널 사용이 문제되고 있으나 난연성능의 현장 확인에 어려움이 있고 콘칼로리미터 등의 난연성능평가에 시간과 비용이 소요된다. 본 연구에서는 콘칼로리미터를 통해 난연성능이 확보된 난연 스티로폼패널의 심재와 일반스티로폼패널 심재를 대상으로 근-적외선 분광분석을 수행하여 난연성능의 유무에 따라 상이하게 나타나는 고유스펙트럼 흡수를 측정하였다. 각 제품마다 측정된 고유스펙트럼은 통계처리를 통하여 난연스티로폼의 진위여부를 현장에서 구별할 수 있음을 확인하였으며, 비용효율이 높은 현장평가방법으로의 적용이 가능함을 실험을 통해 입증하였다.

1. 서 론

스티로폼 패널은 가연성 심재(발포폴리스티렌)와 철판으로 구성된 복합자재이다. 스티로폼은 희고 가벼우며, 내수성, 단열성, 흡음성, 완충성이 뛰어나기 때문에, 포장재료, 건축재료, 구멍조끼, 장식품, 절연재, 식품용기나 일회용품 등의 생활용품에 이르기까지 널리 사용되고 있다. 그러나 폴리스티렌수지는 열변형 온도가 낮을 뿐만 아니라 용융점도가 낮아 열에 쉽게 변형되며 액화된 후 흘러 내려 연속적으로 연소하는 특성을 가진다.

스티로폼과 같은 가연성 심재를 사용한 샌드위치패널은, 과거 씨랜드 화재 (1999년)에서 최근 발생한 대조동 나이트클럽화재(2008), 이천 냉동창고 화재 사건 (2008년) 까지 대형 인명피해화재사건에 연관되어 있으며 화재안전의 강화 추세에도 불구하고 비난연성 심

제를 사용한 샌드위치패널의 사용이 문제되고 있다.

최근 난연성능이 개선된 난연스티로폼패널의 사용이 증가하고 있으나 현장에 사용되는 제품은 육안으로 난연성능을 확인이 어려워 가짜 난연스티로폼패널의 사용이 문제되고 있다. 모든 현장을 대상으로 현행 국토부고시(2009-866호)에 의한 현장 성능확인 은 매우 어려워 현장을 대상으로 하는 평가방법개발이 필요하다. 따라서 난연성능의 유무에 따른 스티로폼의 성분이 다르다는 것을 착안하여 근-적외선분광분석으로 각각의 시료에 대한 분석을 수행하였으며 상이한 스펙트럼의 흡수를 확인하였다.

2. 샌드위치패널에 대한 콘칼로리미터시험 및 적외선분광분석

샌드위치패널의 심재로 사용되는 스티로폼은 KS M 3808(발포 폴리스티렌 단열재)에 의한 밀도분류에 따라 1호에서 4호로 구분된다. 이번 연구에서 밀도에 따른 4종의 스티로폼 및 시중에 유통되고 있는 5종의 난연스티로폼에 대해 콘칼로리미터시험을 수행하였다. 또한 상대적인 화재위험도 비교를 위하여 샌드위치패널의 심재로 사용되는 그라스울에 대해 콘칼로리미터 시험을 수행하였다. 스티로폼의 난연성능에 따른 근적외선분광분석으로 고유의 적외선 흡수 스펙트럼을 측정하여 통계처리하면 제품의 구분에 사용할 수 있음을 입증하였다.

2.1 콘칼로리미터 시험

시중에 유통중인 스티로폼에 대하여 「건축물 내부마감재료의 난연성능기준」(국토해양부 고시 제2009-866호)의 규정에 따라 콘칼로리미터를 사용하여 열방출률(Heat Release Rate)을 측정하였다. 열방출률은 화재위험성을 결정하는 가장 중요한 변수 중 하나이다. 시험체의 연소로부터 발생하는 열은 측정하기 어렵지만 연소가스로부터 발생하는 산소농도를 측정하는 것은 비교적 간단하며 일반 가연물인 경우 공기 흐름으로부터 소비된 산소 1kg 은 13.1×103kJ과 동일한 열을 방출한다는 기본원리를 이용하여 열방출률을 측정한다.¹⁾ 50 kW/m²의 복사열량을 (100×100×50)mm크기의 수평방향 시험체에 노출시키고, 발생하는 화재생성물은 후드 및 덕트를 통하여 포집되며 덕트에 설치된 열전대, 압력센서, 가스샘플링장치에 의해 기록 분석하여 5분간 열방출율을 계산하였다.

2.2 적외선분광분석

적외선 영역의 스펙트럼은 약 12,800 cm⁻¹ 내지 10 cm⁻¹ 범위의 파수 또는 0.78 μm 내지 1000 μm파장을 갖는 복사선을 망라한다. 적외선 분광법은 정성 및 정량분석에 널리 응용되고 있으며 광학이성질체를 제외하고는 대부분의 경우 다른 화합물로부터 쉽게 구별할 수 있는 독특한 지문을 제공한다. 모든 분자화학종은 적외선으로 인한 여러 가지 진동과 회전상태 사이에 작은 에너지 차를 존재하게 한다. 이러한 에너지차이는 독특한 적외선 흡수 스펙트럼의 특징을 제공하여 특정화합물의 정성 및 정량에 효과적으로 활용된다.²⁾ 이러한 적외선 고유 흡수는 분석하고자 하는 유기물의 고유한 지문영역으로 작용하여 특정제품의 일치성 분석에 활용할 수 있으며 이번 연구에서 스티로폼 분석에 적용하였다.

2.3 적외선흡수 스펙트럼의 주성분분석(PCA)

주성분분석법은 많은 변량의 값을 가능한 정보의 손실 없이 하나 또는 소수개의 종합적 지표(주성분)로 표현하는 방법이다. p변량의 n개 자료는 p차원에서 n개의 점으로 나타낼 수 있지만, p>3인 경우에는 구체적으로 점 사이의 관계를 표현하기 어렵다. 이와 같은 경우에 가능한 n개의 점 사이의 위치관계를 보존하면서 낮은 차원으로 표현하는 방법이 주성분분석법(PCA)이다.³⁾

주성분분석의 목적은 측정된 자료의 변수를 보다 더 적은 변수로 줄여주고 시료나 변량을 단순한 좌표상에 도식화하여 시료와 시료간의 관계, 변량 상호간의 관계, 시료와 변량간의 관계를 새롭게 설정하는 것이다. 그러므로 주성분분석은 복잡한 자료를 좌표상에 나타내어 보편적 특성으로부터 벗어난 특이한 시료를 찾아내는데도 유용하게 이용될 수 있다. 본 연구에서는 근적외선 흡수 스펙트럼을 각각의 함수로 설정하고 수백개의 좌표로 이루어진 함수에 대한 PCA처리를 통하여 일치성분석을 시도하였다.

3. 시험결과 및 고찰

표1. 샌드위치패널 심재의 총열방출율(MJ/m²)

| 구분 | 시험체번호 | | | |
|---------------------------------------|-------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 총열방출률 (5분) (MJ/m ²) | 스티로폼(1호) | 42.9 | 44.2 | 45.0 |
| | 스티로폼(2호) | 37.7 | 34.5 | 37.4 |
| | 스티로폼(3호) | 29.1 | 28.0 | 28.2 |
| | 스티로폼(4호) | 24.1 | 25.6 | 25.7 |
| | 그라스울 보온단열재 | 0.41 | 0.54 | 0.47 |
| | 그라스울 64K | 1.86 | 1.69 | 1.98 |
| | 그라스울 74K | 3.99 | 4.27 | 4.33 |
| | 난연 스티로폼(A사) | 16.4 | 16.4 | 15.5 |
| | 난연 스티로폼(B사) | 16.6 | 15.4 | 13.1 |
| | 난연 스티로폼(C사) | 18.8 | 18.7 | 18.2 |
| | 난연 스티로폼(D사) | 17.0 | 10.4 | 15.3 |
| 난연 스티로폼(E사) | 13.0 | 14.0 | 12.8 | |

표1은 샌드위치패널의 심재로 사용되는 스티로폼(밀도에 따라 1호~4호로 분류됨), 난연스티로폼(5종) 및 그라스울(64K, 74K)을 대상으로한 콘칼로리미터시험 결과이다. 스티로폼은 밀도가 가장 높은 1호 제품이 가연물의 하중이 크므로 열방출율도 가장 높게 기록되었다. 난연스티로폼의 경우 5가지 제품에서 15MJ/m²~18MJ/m²의 총열방출율이 측정되어 일반 스티로폼에 비하여 약

1/2 수준이었다. 또한 그라스울의 경우 약 1MJ/m²~4MJ/m²로 스티로폼에 비해 현저하게 낮은 총열방출률이 기록되어 스티로폼에 비해 화재에 안전한 재료로 측정되었다.

적외선분광분석을 하기 위해 시료를 분말(파우더)로 만들어야 하는데, 스티로폼은 비중이 매우 낮아 일반적인 링밀 또는 디스크밀로 분쇄할 수 없다. 따라서 급속 동결 처리 후 디스크밀로 분쇄하는 냉동밀(Freezer Mill)을 사용하였으며, 냉동밀은 액화질소(끓는점:-195.8℃)에 분쇄될 시료를 노출시켜 급속 동결시킨 상태에서 밀(Mill)로 대상시료를 분쇄하는 장비이다.

그림1에서와 같이 몇 가지 스티로폼은 기본 성분이 비슷하기 때문에 유사한 경향의 흡수를 일으키지만 성분의 차이에 따라 다른 형태의 스펙트럼 흡수를 보인다. 그림2는 5종의 난연스티로폼 및 1종의 일반스티로폼의 적외선흡수 스펙트럼을 PCA통계 처리한 결과

이다. 각각의 포인트는 각 제품에 대한 흡수 곡선을 하나의 벡터량으로 나타낸 것이다. 즉 재료별 흡수스펙트럼의 특성을 한 지점으로 표현한 것이며, 2차원상에 plot하여 각 성분을 한 지점으로 규정화하였다. 2차원상의 각각의 벡터값은 그 값 자체로 고유한 영역을 의미하여 일반스티로폼과 난연스티로폼 영역으로 구분되어 두 제품군의 일치성여부를 확인할 수 있다.

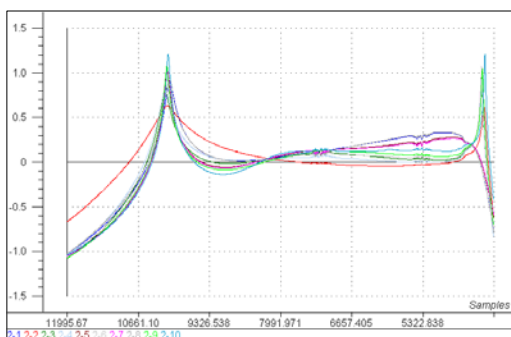


그림 1. 스티로폼의 적외선흡수 스펙트럼

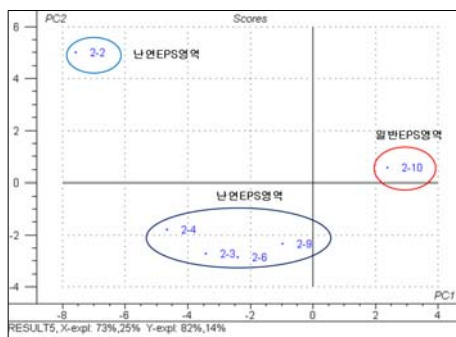


그림 2. 스펙트럼의 PCA통계처리

4. 결론

가연성 유기심재인 스티로폼은 화재에 매우 취약하여 최근 난연성능이 보장된 난연스티로폼 패널의 시공이 확대되고 있으나, 현장에서 시공되는 제품에 대한 난연성능을 확인하는 것이 어려우며, 따라서 현장에서 성능을 확인할 수 있는 현장품질시험은 부재(不在)하였다.

근-적외선분광분석을 통하여 난연스티로폼 및 일반스티로폼의 적외선흡수 스펙트럼의 DATA-BASE를 구축하고, 현장에서 시공되는 제품을 미지시료로 하여 적외선 분광분석을 실시한 후, 두 스펙트럼을 PCA 통계처리의 고유벡터로 표시하면 2차원 평면의 각 지점의 구분을 통해 난연성능 여부를 판단 할 수 있다.

근-적외선분광분석법은 분석시간이 매우 빠르며, 장비의 이동이 자유롭고 비용효율(Cost-effective)이 높아 효과적인 현장품질확인 시험방법으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. KS F ISO 5660-1:2003, (연소 성능 시험-열 방출, 연기 발생, 질량감소율-제1부:열 방출률 <콘칼로리미터법>)
2. Skong D. A., Holler F. J. and Nieman T. A.(1998). Principle of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing pp.47-48, p.328
3. S. K. Handoo(2002). Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing, 2nd Edition, Tech Books International, New Delhi, pp.631 - 659