D-15

X-선 형광분석기를 활용한 난연EPS 성능확인방법 연구

조남욱 · 천지홍 · 최재범 · 이동호* · 신현준
한국건설기술연구원 · 인천대학교 소방방재연구센터*

A Study on Test Method of Flame Retardant EPS using XRF

Cho, Nam Wook · Chun, Ji Hong · Choi, Jae Bum· Rie, Dong Ho* · Shin, Hyun Jun
Korea Institute of Construction Technology · Fire Disaster Prevention Research Center-University of Incheon*

요 약

주로 탄화수소화합물로 구성된 EPS(Expended poly styrene)는 뛰어난 단열성능, 경제성, 건식공법의 시공편리성으로 단열재로 많이 사용되지만 화재에 취약한 단점이 있다. 최근 EPS패널의 다양한 난연화를 통해 난연EPS패널제품이 개발되고 있고 시장에서의 사용이 증가되고 있다. 그러나 가짜 난연EPS제품의 사용이 사회적 문제가 되고 있는 것도 현실이다. 본 연구에서는 난연EPS와 일반EPS가 성분이 다른점을 이용하여, 현장에서 시공되고 있는 시료의 진위여부 판단을 위해 X-선형광분석기(XRF)를 사용한 원소분석을 시도하였다. 분석결과 매우 간단한 방법으로 시료의 진위여부를 확인할 수 있었으며, 따라서 현장에서 사용될 수 있는 분석법으로 적용가능성에 대하여 고찰하였다.

1. 서 론

스티로폼 패널은 가연성 심재(발포폴리스티렌)와 철판으로 구성된 복합자재이다. 스티로폼은 희고 가벼우며, 내수성, 단열성, 흡음성, 완충성이 뛰어나기 때문에, 포장재료, 건축재료, 구명조끼, 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 심재를 사용한 샌드위치패널의 사용이 문제되고 있다.

최근 난연성능이 개선된 난연스티로폼패널의 사용이 증가하고 있으나 현장에 사용되는 제품은 육안으로 난연성능을 확인이 어려워 가짜 난연스티로폼패널의 사용이 문제되고 있

다. 모든 현장을 대상으로 현행 국토부고시(2011-39호)에 의한 현장 성능확인은 매우 어려워 현장을 대상으로 하는 과학적이며 접근성이 높은 평가방법개발이 필요하다. 선행 연구를 통하여 유기물분석을 통한 스펙트럼의 상이한 흡수를 분석할 수 있는 적외선분광분석이 유기심재를 사용한 샌드위치패널에 대한 유용한 현장분석이 될 수 있음을 확인한 바 있다.[1,2] 본 연구에서는 난연성능의 유무에 따른 스티로폼의 성분이 다르다는 것을 이용하여 X-선형광분석으로 각각의 시료에 대한 원소분석을 수행하여 상이한 성분을 확인하였으며 매우 빠르게 난연성분의 유무를 확인할 수 있었다.

2. EPS 샌드위치패널에 대한 콘칼로리미터시험 및 XRF분석

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 난연스티로폼 및 3종의 가짜난연스티로폼에 대해 콘칼로리미터시험 및 XRF분석을 수행하였다. XRF분석을 위해 시료의 전처리(분쇄 및 펠렛제작)가 필요한데 스티로폼은 비중이 매우 낮아 일반적인 링밀 또는 디스크밀로 분쇄할 수 없다. 따라서 액화질소(끓는점:-195.8℃)에 분쇄될 시료를 노출시켜 급속 동결시킨 상태에서 밀(Mill)로 분쇄한 후 20톤으로 프레스하여 펠렛을 제작하여 X선형광분석을 수행하였다.

2.1 콘칼로리미터 시험

시중에 유통중인 스티로폼에 대하여「건축물 마감재료의 난연성능기준」(국토해양부 고시 제2011-39호)의 규정에 따라 콘칼로리미터를 사용하여 열방출률(Heat Release Rate)을 측정하였다. 열방출률은 화재위험성을 결정하는 가장 중요한 변수 중 하나이다. 시험체의 연소로부터 발생되는 열은 측정하기 어렵지만 연소가스로부터 발생되는 산소농도를 측정하는 것은 비교적 간단하며 일반 가연물인 경우 공기 흐름으로부터 소비된 산소 1kg 은 13.1×103kJ과 동일한 열을 방출한다는 기본원리를 이용하여 열방출률을 측정한다.[3] 50 kW/m^2의 복사열량을 (100×100×50)mm크기의 수평방향 시험체에 노출시키고, 발생되는 화재생성물은 후드 및 덕트를 통하여 포집되며 덕트에 설치된 열전대, 압력센서, 가스샘플링장치에 의해 기록 분석하여 5분간 열방출율을 계산하였다.

2.2 X-선 형광분석

X-선 분광법은 전자복사선의 발광, 흡수, 형광 및 회절의 측정에 기초를 두고 있다. 이 측정법은 물질의 조성과 구조에 관하여 많은 유용한 정보를 준다. x-선 형광분광 분석기는 x-선관, 시편 노출장치, 분석용 결정판, 검출기로 구성되어 있다. x-선관에서는 걸어준 전압에 따른 최소파장에서부터 연속 x-선이 방출되어 시료에 있는 원소들을 들뜨게 하여 특성 x-선을 내게 한다. 이 특성 x-선들은 분석용 결정판에서 Bragg의 회절식에 의하여 파장 별로 분광되어 검출기에서 검출되는데, 그 파장은 시료 중의 존재원소를 정성적으로 알아내고, 특성 x-선의 세기를 측정하여 표준물의 그것과 비교하여 정량 분석한다.[4]

XRF(energy dispersive x-ray fluorescence spectrometer)는 주로 중금속분석[5], 금속재료 분석[6], 지질시료 조성분석[7], 보석류, 유리, 요업재료 등의 품질보증을 위한 분석 등에 주로 사용되어 왔으며, 최근에는 특정유해물질 사용 제한지침(RoHS: restriction of the use of certain hazardous substances)시행과 관련하여 환경 유해 물질 분석에도 많이 사용되고 있다.[8]

3. 시험결과 및 고찰

표1은 샌드위치패널의 심재로 사용되는 스티로폼(밀도에 따라 1호~4호로 분류됨)에 대한 콘칼로리미터 및 XRF분석결과이다. 결과에서와 같이 가연성 발포스티로폼의 연소로 밀도에 따라 25.1MJ/m^2~44.0MJ/m^2의 총방출열량이 측정되었으며 샌드위치패널 형태인 경우 그림1과 같이 시험후 심재가 전부 용융된다. 원소분석결과 Al_2O_3, SiO_2, MgO 등의 무기성분은 검출되지 않았으며 CH_2의 탄화수소화합물이 검출되었다.

표2는 시중에서 샘플링된 난연EPS에 대한 콘칼로리미터 및 XRF분석결과이다. 결과에서와 같이 철판에 대한 간접 가열로 인해 0.2MJ/m^2~1.9MJ/m^2의 비교적 낮은 총방출열량이 측정되었으며 그림3과 같이 시험후 심재의 용융이나 관통이 관찰되지 않아 난연등급의 성능이 확인되었다 또한 Al_2O_3, SiO_2, MgO 등의 무기성분이 4~22%가량 검출되어 EPS의 난연제로 사용되었음을 확인할 수 있었다.

그림 1. 시험후 EPS 형상

그림 2. 시험후 난연 EPS 형상

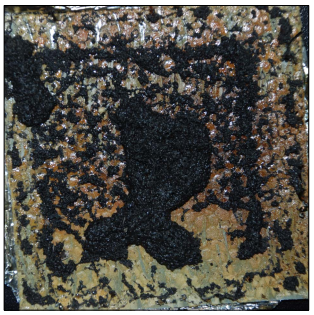

그림 3. 시험후 가짜 난연 EPS 형상

표1. EPS의 콘칼로리미터시험결과(MJ/m^2) 및 XRF분석결과

Sample	THR MJ/m^2	XRF 분석결과				관찰사항
	5분	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	CH_2 (%)	MgO (%)	
[eps]1호	44.0	0.00	0.00	99.30	0.00	심재의 전부 용융
[eps]2호	36.5	0.00	0.00	99.33	0.00	심재의 전부 용융
[eps]3호	28.4	0.00	0.00	99.33	0.00	심재의 전부 용융
[eps]4호	25.1	0.00	0.00	99.30	0.00	심재의 전부 용융

표3은 시중에서 샘플링된 난연EPS중 성능이 미달된 제품에 대한 콘칼로리미터 및 XRF 분석결과이다. 표2와 유사하게 철판에 대한 간접 가열로 인해 0.4MJ/m^2~0.6MJ/m^2의 비교적 낮은 총방출열량이 측정되었으나 그림3과 같이 시험후 심재가 용융 및 관통이 관찰되어 난연성능이 없음이 확인되었다. 또한 Al_2O_3, SiO_2, MgO 등의 무기성분이 표2의 난연EPS에 비해 미량 검출되어 난연제가 정상제품의 함량에 미달하였음을 확인하였다.

표2. 난연EPS의 콘칼로리미터시험결과(MJ/m^2) 및 XRF분석결과

Sample	THR MJ/m^2	XRF 분석결과				관찰사항
	5분	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	CH_2 (%)	MgO (%)	
난연eps 1번	0.2	7.35	0.27	90.17	0.00	용융, 관통없음
난연eps 2번	0.8	7.59	0.31	89.93	0.03	용융, 관통없음
난연eps 3번	1.5	8.41	0.38	89.00	0.00	용융, 관통없음
난연eps 4번	1.9	7.48	0.36	89.90	0.00	용융, 관통없음
난연eps 5번	1.0	4.19	22.08	53.67	15.00	용융, 관통없음

표3. 가짜난연EPS의 콘칼로리미터시험결과(MJ/m^2) 및 XRF분석결과

Sample	THR MJ/m^2	XRF 분석결과				관찰사항
	5분	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	CH_2 (%)	MgO (%)	
가짜 난연eps 1번	0.5	0.00	0.00	99.00	0.00	심재 용융, 관통발생
가짜 난연eps 2번	0.6	2.42	1.34	95.03	0.00	심재 용융, 관통발생
가짜 난연eps 3번	0.4	0.00	0.00	99.53	0.00	심재 용융, 관통발생

4. 결론

가연성 유기심재인 스티로폼은 화재에 매우 취약하여 최근 난연성능이 보강된 난연스티로폼 패널의 시공이 확대되고 있으나, 현장에서 시공되는 제품에 대한 난연성능을 확인하는 것이 어려우며, 따라서 현장에서 성능을 확인할 수 있는 현장품질시험은 부재(不在)하였다. 본 연구에서 제시한 XRF 분석을 통하여 제품별 난연스티로폼 및 일반스티로폼의 원소분석 DATA-BASE를 구축하고, 현장에서 시공되는 제품을 분석하여 해당 제품의 DATA-BASE와 비교하면 제품관리뿐만 아니라 진위여부를 판정하는 현장관리에도 효과적으로 적용할 수 있을것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2010년 한국건설기술연구원의 주요사업인 “건축물의 내부마감재료 샌드위치 패널 화재성능 확보를 위한 현장품질관리 개선 연구”에 대한 수행결과이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 조남욱외(2010). “근-적외선분광분석을 이용한 스티로폼의 난연성능 평가방법 연구”, 2010 한국화재소방학회 추계학술발표회 자료집, pp.279-282
2. 조남욱외(2011). “분광분석을 통한 우레탄샌드위치패널의 난연성능 현장평가방법 연구”, 대한건축학회논문집 구조계 제27권 제7호(통권273호), pp.117-124
3. KS F ISO 5660-1:2003. (연소 성능 시험-열 방출, 연기 발생, 질량감소율-제1부:열 방출률 <콘칼로리미터법>)
4. Skong D. A., Holler F. J. and Nieman T. A.(1998). Principle of Instrumental Analysis, Saunders College Publishing pp.411-437
5. Park SH, Jeong JY, Ryoo JJ, Lee NR, Yu IJ, Song KS, Lee YH, Han JH, Kim SJ, Park JS, Jung HK.(2001). The non - destructive determination of heavy metals in welding fume by EDXRF. J. Korean Soc. Occup. Environ. Hyg. 11: 229-234
6. Kim YM.(1987). X-ray fluorescence spectrometry. J. Korean Inst. Metals 25: 218-222
7. Laursen J, Vestergaard BT, Pind N, Karlsen K, Hansen HCB.(2001). Rapid method for EDXRF analysis of clayey and sandy soil. XRay Spectrom. 30: 186-189
8. 정명실외(2008). “에너지분산형 X-선 형광분석기를 이용한 한약재의 무기질 분석 및 이에 의한 원산지 판별” 한국식품과학회지 vol.40, no.2 pp.135-140