

# X-선 분석법을 이용한 난연 EPS 샌드위치 패널의 화재성능평가 방법에 관한 연구

심지훈 · 조남욱<sup>†</sup>

한국건설기술연구원

## Fire Performance Testing Method for Fire Retardant EPS Sandwich Panel Using X-ray Analysis

Ji-Hun Shim · Nam-Wook Cho<sup>†</sup>

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT)

(Received October 27, 2015; Revised November 24, 2015; Accepted December 14, 2015)

### 요 약

EPS 샌드위치 패널은 난연제의 첨가로 화재 시 발화를 늦춰주며 발열을 적게 발생시켜 연소의 확대를 막는다. 하지만 난연성능 기준에 미달하는 샌드위치 패널을 사용할 경우, 재산 및 인명 피해가 확대되는 사례가 발생할 수 있다. 마감재료의 난연성능은 육안으로는 확인이 어려워 간편하면서도 빠른 평가방법의 개발이 요구된다. 본 연구에서는 X-선 분석법(XRF, XRD)을 이용하여 EPS 샌드위치 패널의 화재안전평가 방법에 대해 분석하였다. X-선 분석법을 적용한 결과 화재시험을 통한 난연 성능에 따라 특정 성분이 검출되는 것을 확인하였다. X-선 형광분석(XRF)을 통해 알루미늄성분이 부적합제품에 비해 적합제품에 훨씬 많이 함유되어있는 것을 알 수 있었다. X-선 회절분석(XRD)을 통해 난연 EPS의 주된 결정성 물질로 확인된 깁사이트(gibbsite)는 적합제품과 부적합제품에 공통으로 함유되어 있었지만 결정성에 있어 차이가 나는 것을 확인하였다. 이러한 X-선 분석을 통한 원소분석과 결정분석으로 난연성능 평가 가능성을 확인하였다.

### ABSTRACT

EPS sandwich panel contains flame retardants that slow down ignition during fires, reduce the amount of heat generated, and block the spread of combustion. However, if a sandwich panel does not satisfy standards for fire-retardant performance, it may increase damage to property and human life. It is difficult to test the fire-retardant performance of a finishing material with the naked eye, so it is necessary to develop convenient and fast evaluation methods that are convenient and fast. In this study, a fire safety evaluation method for EPS sandwich panel was analyzed using X-ray to detect specific components related to the fire-retardant performance. X-ray fluorescence analysis (XRF) indicated that suitable panel products contained more aluminum in comparison to unsuitable products. Gibbsite was identified as the main crystalline material of flame retardant EPS through X-ray diffraction analysis (XRD) and was included in both suitable products and unsuitable products, but there was a difference in crystalline structure. This study verifies the possibility of evaluating fire-retardant performance using ultimate analysis and crystal analysis through these X-ray methods.

**Keywords :** EPS, Sandwich panel, X-ray, XRF, XRD, Fire-retardant performance, Gibbsite

## 1. 서 론

산업이 발달함에 따라 건축물은 점차 경량화, 대형화, 고층화 및 복합 용도로 되어가는 추세에 놓여있다. 샌드위치 패널은 용도에 있어 공업 65%, 창고 25%, 주택 10% 정도로 파악되며, 샌드위치 패널의 여러 장점으로 점차 공업용 건축물뿐 아니라 상업용 건축물 등으로도 확대되는

경향을 보이고 있다. 현재 국내에서 유통되고 있는 샌드위치 패널 중 Expanded PolyStyrene (EPS) 샌드위치 패널은 다른 건축자재에 비해 단열성능이 우수하면서 상대적으로 가볍고 취급 및 시공이 유리하며 가격이 저렴하고 작업자의 안전성에서 수요자의 선호를 받는 이유로 현재 시장의 75% 가량을 점유하고 있다<sup>(1)</sup>. 하지만 EPS 샌드위치 패널 특성상 연소가 쉬운 가연성물질로 화재 시 급속한 화염전

<sup>†</sup>Corresponding Author, E-Mail: nwcho@kict.re.kr  
TEL: +82-31-369-0530, FAX: +82-31-369-0540

ISSN: 1738-7167  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.6.076>

과, 높은 열방출율, 다량의 연기발생으로 인해 화재의 위험성이 상대적으로 높은 단점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 패널의 심재에 난연 성분을 함유시켜 난연화 된 EPS 샌드위치 패널 제조하고 있고, 이러한 EPS는 발화 및 착화를 늦춰주고 연소 시 연기농도 및 독성 가스를 적게 발생시킨다<sup>(2)</sup>. 현재 국내에서는 샌드위치 패널의 난연성에 관한 연구도 계속되어지고 있다<sup>(3)</sup>. 샌드위치 패널의 화재 안정성 확보를 위해 국토교통부 고시 2015-744호의 규정에 따라 화재안전성능을 평가하고 있다. 화재안전성능 평가방법에는 가스유해성 시험(KS F 2271)과 콘 칼로리미터 시험(cone calorimeter test, ISO KS F 5660-1)이 시행되고 있으며, 불연재료, 준불연재료, 난연재료 순으로 시험을 통해 성적서가 부여되고, 난연재료 이상의 성적서를 취득한 제품만이 시공이 가능하다<sup>(4)</sup>. 하지만 이러한 법규에도 불구하고 시공 관리 부재로 인해 불법 난연 EPS 샌드위치 패널의 난립으로 인한 각종 민원이 및 피해가 증가하고 있으며, 이를 근거로 건설현장에서 난연 EPS 샌드위치 패널에 대한 품질확인 필요성이 제기되어지고 있다. 건축물 마감 재료의 난연성능은 가스유해성 시험(KS F 2271)과 콘 칼로리미터 시험(cone calorimeter test, ISO KS F 5660-1)을 통하여 확인할 수 있으나, 직접적인 연소로 재료를 화염에 노출하여 화재안전성능을 확인하는 데는 많은 시간과 비용이 필요하여 현장품질확인에 있어 어려움이 있다.

본 연구에서는 연소 시험이 아닌 X-선 분석(XRF, XRD)을 이용하여 비연소 실험을 통해 난연성능을 확인할 수 있는 평가방법을 제시하고자 한다. 즉 실제 화재시험인 가스유해성 시험과 콘 칼로리미터 시험을 통해 성능을 확인한 후, 각 시료를 X-선 분석법으로 난연제 고유의 구조패턴과 스펙트럼, 성분 및 함유량을 측정하였다. 육안으로 난연 EPS의 시공품질관리에 한계가 있다는 점을 고려하여 본 연구에서는 난연 EPS 샌드위치 패널의 품질을 관리할 수 있는 시스템의 일환으로 X-선 분석법을 적용하였다. X-선 형광(XRF) 분석을 통한 화학 성분 분석과 X-선 회절(XRD) 분석을 통한 고체 결정물질 분석을 실시하고 이를 난연 EPS 제품군에 따라 비교하였다.

## 2. 실험 과정

### 2.1 시료 채취

현장에서 난연 EPS 샌드위치 패널로 시공되는 현장의 난연 EPS 샌드위치 패널을 채취하였다. 채취한 샘플의 시료는 5종(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)이었으며 이를 정상제품 5종(R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)과 비교 분석하였다. 또한, 일반 EPS 샌드위치 패널 2종(N-1, N-2)은 시중에 판매되고 있는 패널을 구입하여 사용하였다. 총 12종의 제품을 국토교통부 고시에 의해 난연성능평가를 통해 적합제품군과 부적합제품으로 분류하였다.



Figure 1. A flow chart for the sample pre-treatment process.

### 2.2 시료의 전처리

현재 건축물 마감 재료의 난연성능은 가스유해성 시험(KS F 2271)과 콘 칼로리미터 시험(cone calorimeter test, ISO KS F 5660-1)을 통하여 확인하고 있으며 본 연구에서도 KS F 2271과 KS F ISO 5660-1 규격에 따라 시험을 수행하였다.

X-선 분석을 위해 EPS 샌드위치 패널의 심재 부분을 분말로 분쇄하여 pellet을 제작하였다. 시료의 전처리 과정은 Figure 1과 같은 순서로 수행하였다. Pellet으로 제작하기 위해 분쇄기를 사용하여 수십  $\mu\text{m}$  정도의 입도로 분쇄하였으며, 사용한 mill은 냉동 분쇄기로서 액화질소를 사용하여 영하 196  $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 10분간 결빙시켜 분쇄하였다. 냉동 분쇄기는 미국 SPEX사의 Freezer Mill 6870 model을 사용하였다. XRD 분석을 위한 전처리 과정은 분쇄에서 종료가 되지만 WD-XRF 분석을 위해서는 분쇄로 인해 얻은 분말을 pellet 형태로 제작하였다. Pellet 제작을 위해 알루미늄 컵에 분말을 넣어준 후 압축기를 사용하여 약 25 ton의 힘으로 6분간 압착시켰다. 사용한 압축기는 냉동 분쇄기와 같은 SPEX사 제품인 35T Automated Hydraulic X-Press model로서 전자동 유압방식이다.

### 2.3 실험장치 및 실험방법

난연성능평가 방법은 ‘건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준’에 의한 국토교통부 고시(2015-744호)에서 정하고 있다. 준불연재료 및 난연재료에서 공통적으로 가스유해성시험을 통한 성능기준을 요구하고 있다. 난연 EPS 샌드위치 패널의 난연성능평가를 위한 가스유해성 시험은 KS F 2271 규격에 따라 시험하였으며, 시험체는 뒷면으로 관통하는 지름 25 mm인 구멍을 3개 뚫은 것으로 하며, 교반기 내의 가스 교반 장치는 분당 회전수를 100회로 한다. 시험은 한 시료마다 2회의 시험을 실시하며, 시험체의 가열은 부열원으로 3분간 가열한 후, 다시 주열원으로 3분간 가열하여 총 15분간 시험한다. 시험용 흰 쥐(ICR 계, 암컷 5주령, 18~22 g)를 1마리씩 넣은 회전 바구니 8개를 피검 상자 내에 넣고 15분간 시험용 흰 쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간을 측정한다. 건축법에서는 흰 쥐의 평균행동정지시간을 측정하여 9분 이상을 적합한 것으로 하고 있다<sup>(5)</sup>. 가스 유해성 시험기는 KS F 2271 규격에 일치되는 장비로서 국내 FESTE C 사의 FT-MT-503 모델이며, 시험조건은 Table 1에 나타내었다.

콘 칼로리미터 시험 방법 역시 ‘건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준’에 의한 국토교통부 고시(2015-744호)에서 정하고 있으며, KS F ISO 5660-1 규격에 따라 콘 칼로리미터 시험은 연소생성물 흐름 속의 산

**Table 1.** Test Method Details for the Combustion Gas Toxicity

Heating Method	Tube Heater, LP Gas						
Heating Time to Sample	6 min						
Heating Condition	Time (min)	1	2	3	4	5	6
	Exhaust Temperature (°C)	70	85	100	140	170	195
Size (mm)	220 × 220, Thickness is under 50						
Emission Rate	10 L/min						
Mouse	ICR, 8 Female Mouses						
Test Time	15 min						

소 농도와 유속으로부터 유도된 산소소비량을 측정하여 재료의 열방출 특성을 평가하는 소형 시험체에 대한 시험으로서, 재료 및 제품의 열방출율(heat release rate), 유효 연소열(effective heat of combustion), 질량감소율(mass loss rate) 등과 같은 항목들을 측정하여 연소 시 열방출율이 재료의 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점에 기초를 두고 있다. 즉, 연소 시 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출된다는 관계가 성립된다. 규정된 외부 복사열을 받는 동안 시험체는 주위 공기조건에서 연소하며, 이때 산소농도와 배출가스 유량을 측정하여 열방출율로 환산한다. 이러한 방법으로 시험체가 화재에 노출되는 동안 열방출율을 평가한다. 이 때 가열 개시 후 3번의 시험 결과가 5분간 총방출열량이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하이어야 하고, 5분간 가열 후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합소재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함) 등이 없어야 한다<sup>6)</sup>. 콘 칼로리미터 시험기는 KS F ISO 5660-1 규격에 일치되는 장비로 FESTEC 사의 FT-CC-105 model이다. 콘 칼로리미터 시험조건은 Table 2에 나타내었다.

X선 분석을 위해 사용한 파장 분산형 X선 형광 분석기(WD-XRF, Wavelength Dispersive X-ray Fluorometer)는 고체, 분말 및 액체 시료에 존재하는 원소의 농도를 식별하고 확인하는데 사용되는 비파괴 분석기술이다. WD-XRF는 독일 BRUKER 사의 S4 PIONEER model이며, 분

**Table 2.** Test Condition Details for the Cone Calorimeter

Heating Method	Radiation, Mass Loss, Smoke Release, CO, CO <sub>2</sub>
Heating System	Cone Heater
Intensity of Radiation	50 kW/m <sup>2</sup>
Heating Time	32 min after Continuous Combustion
Size (mm)	100 (W) 100 (L) 50 (H)
Flow System	Dynamic (Flow) System
Exhaust Flow Rate	0.024 m <sup>3</sup> /s 0.002 m <sup>2</sup> /s

석 조건은 Table 1에 제시된 것과 같다. X선 회절 분석기(XRD, X-ray Diffractometer)는 다양한 범주의 물질을 결정성과 결정성 물질의 구조를 분석하기 위한 고성능 비파괴 분석 장비이며, XRD 역시 같은 회사의 D8 ADVANCE 모델로서 각각의 분석 조건은 Table 3에 제시된 것과 같다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 난연성능평가

콘 칼로리미터 시험 결과는 Table 4와 Table 5와 같다. 총열방출율 결과는 Table 4와 같고 시험 후 형상은 Table

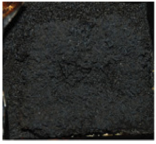


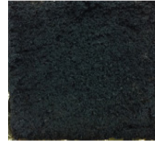
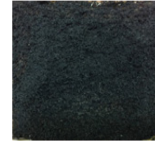
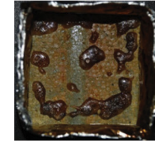
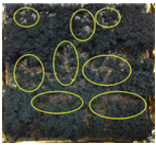
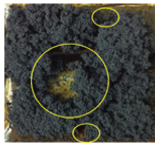
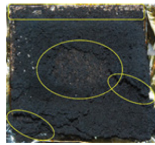
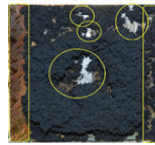
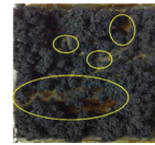

**Table 3.** Operating Conditions for Bench-Top WD-XRF and Portable XRD and XRD

	Bench-Top WD-XRF	XRD	
Model	BRUKER S4 PIONEER	Model	BRUKER D8 ADVANCE
Generator Voltage	60 kV	X-ray source	Copper
Tube Current	50 mA	Scan Axis	2Theta [5~80°], Theta
Collimator	0.23 degree	Synchronous Rotation	On
Collimator Mask	34 mm	Increment	0.00919133
Spectrometer Mode	Vacuum	Time per Step	0.1 s
Crystal	XS-55, PET, LiF 200	Detector	Super Speed LynxEye
Target	Rh	Divergence Slit	0.500°
Detector	Scintillation Counter	Generator Voltage	40 kV
Concentration	ppm ~100%	Generator Current	40 mA

**Table 4.** Cone Calorimeter Test Result for EPS Sandwich Panel Samples

Samples	Cone Calorimeter Test (5 min)			Deformation of Core	Criterion
	Total Heat Release Rate (MJ/m <sup>2</sup> )				
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>		
R-1	1.8	0.4	1.0	No Deformation	Conformity
R-2	0.4	0.4	0.7	No Deformation	Conformity
R-3	0.5	0.2	0.7	No Deformation	Conformity
R-4	1.2	2.3	1.6	No Deformation	Conformity
R-5	1.1	1.1	1.4	No Deformation	Conformity
F-1	9.8	6.7	7.3	Melting and Hole	Nonconformity
F-2	6.5	5.9	5.8	Melting and Hole	Conformity
F-3	3.5	5.1	4.1	Melting and Hole	Conformity
F-4	5.4	8.4	7.6	Melting and Hole	Nonconformity
F-5	5.0	6.3	5.9	Melting and Hole	Conformity
N-1	10.7	10.6	11.1	Melting and Hole	Nonconformity
N-2	11.2	11.0	12.1	Melting and Hole	Nonconformity

**Table 5.** Cone Calorimeter Test Result for EPS Sandwich Panel Samples

R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	N-1
					
Conformity	Conformity	Conformity	Conformity	Conformity	Nonconformity
F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	N-2
					
Nonconformity	Nonconformity	Nonconformity	Nonconformity	Nonconformity	Nonconformity

5과 같다. 총열방출율에서는 F-1, F-4, N-1, N-2가 총열방출율이 단위 시간(5분) 당 8 MJ/m<sup>2</sup> 이상 측정되어 부적합 제품으로 확인되었다. 난연 EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)의 경우 총열방출율이 평균 0.98 MJ/m<sup>2</sup>로 확인되었다, 현장 채취 난연 EPS (F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)는 평균 총열방출율이 6.22 MJ/m<sup>2</sup>, 일반 EPS (N-1, N-2)는 평균 총열방출율이 11.11 MJ/m<sup>2</sup>로 측정되었다.

시험 후 형상은 난연 EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)를 제외한 나머지 7종 모두 관통하는 균열이나 구멍 및 용융이 발견되어 부적합 제품으로 판정되었다. 일반 EPS (N-1, N-2)의 경우, 내부 심재가 모두 용융되어 기존의 형태가 모두 사라진 것을 확인할 수 있었으며, 현장 채취 난연 EPS (F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)는 부분적으로 관통하는 구멍이 발생하는 것으로 확인되었다.

가스유해성 시험 결과는 Table 6과 같다. 가스유해성 시험 결과 12종(R-1, R-2, R-3, R-4, R-5, F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, N-1, N-2) 모두 9분 이상 측정되어 기준치에는 만족하는 것을 보여주고 있다. R-1, R-2, R-3, R-4, R-5의 경우, 흰 위의 평균행동정지 시간이 14분대에 형성하는 반면, F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, N-1, N-2의 경우, 평균행동정지시간이 12분대로 측정되었다. 현장 채취 난연 EPS (F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)와 일반 EPS (N-1, N-2)가 인증된 난연 EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)보다는 유독하다는 것을 알 수 있다.

난연성능시험 결과 가스유해성 시험과 콘 칼로리미터 시험을 종합하여 보면 난연 EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5) 5종을 제외한 나머지 7종은 부적합 제품으로 판정된다. 따라서 난연시험을 통해 적합제품군(R-1, R-2, R-3, R-4,

**Table 6.** Gas Toxicity Test Result for EPS Sandwich Panel Samples

Samples	Average Deed Stopping Time (min, s)	
	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
R-1	14 min 59 s	14 min 13 s
R-2	14 min 18 s	14 min 39 s
R-3	14 min 30 s	14 min 51 s
R-4	13 min 58 s	14 min 37 s
R-5	14 min 14 s	14 min 45 s
F-1	12 min 34 s	12 min 17 s
F-2	10 min 13 s	12 min 06 s
F-3	13 min 10 s	13 min 39 s
F-4	13 min 44 s	13 min 00 s
F-5	11 min 42 s	12 min 34 s
N-1	12 min 23 s	12 min 54 s
N-2	12 min 56 s	13 min 33 s

R-5)과 부적합제품군(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, N-1, N-2)으로 구분할 수 있다.

### 3.2 WD-XRF 분석

화재실험을 통한 난연성능평가 결과에 따라 구분된 적합제품(R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)과 부적합제품(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, N-1, N-2)에 대한 WD-XRF 분석 결과는 Table 7과 같다. WD-XRF 분석 결과는 각 원소의 최대 산화상태를 가정한 산화물 농도로 환산하여 산화형태로 나타내었다. EPS 경우 기본 물질이 탄화수소로서가 (CH)<sub>n</sub> 이므로 matrix를 (CH)<sub>n</sub>으로 보정하여 나머지 원소에 대한 백분율을 산출하였다. 적합제품과 부적합제품의 성분과 그 성분의 백분율을 살펴보면 적합제품과 부적합제품 모두

matrix로 보정된 (CH)<sub>n</sub>의 값이 87% 이상으로 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 다음으로는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 가장 높은 함유량으로 측정되었다. 적합제품에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 약 8% 이상으로 측정된 반면, 부적합제품에서는 5% 미만의 함유량이 측정되었다. 그 중 일반 EPS (N-1, N-2)는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 다른 성분들은 함유량에 있어 소량으로 측정되어 난연성능평가 결과에 크게 관여하지 않을 것으로 판단된다.

난연제의 경우, 연소 시 발열 및 독성 가스의 발생이 적고 기본이 되는 폴리머와의 혼합성이 좋아야 하는 등 여러 가지 요구 조건을 충족시켜야 제품으로 사용이 가능하다. 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 첨가량에 따라 난연의 성능이 달라짐을 확인하였고, XRF 분석 시 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량에서 차이가 나는 것을 확인하였다.

### 3.3 XRD 분석

XRD 분석은 심재 속에 포함된 결정성 물질의 존재를 확인할 수 있다. 적합제품과 부적합제품에 대한 XRD 분석결과 이들의 XRD 패턴이 전체적으로 비슷한 형태의 패턴으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Figure 2는 적합제품(R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)의 XRD 패턴을 보여주고 있고, Figure 3과 Figure 4는 부적합제품(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, N-1, N-2)의 XRD 패턴을 보여주고 있다.

그림에서 x축은 Bragg 회절각에 의한 2θ를 나타내고, y축은 강도를 나타내고 있다. 각 제품의 XRD 패턴에 대한 해석은 International Centre for Diffraction Data (ICDD)에 등록된 powder diffraction file PDF-2 release 2011을 사용하여 이루어졌다. ICDD PDF에서 제공하는 표준값에 비해 측정된 회절 peak의 값이 약간 낮은 각도에서 나타나는 양상을 보이는데 그 이유는 시료 홀더의 깊이와 필터의 높이 차이 때문으로 소프트웨어에서 높이 차이를 확인

**Table 7.** WD-XRF Analysis Result for EPS Sandwich Panel Samples

Samples		Formula (%)								
		(CH) <sub>n</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Br	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
PASS	R-1	87.1	10.49	0.779	0.533	0.338	0.290	0.280	0.033	0.004
	R-2	88.5	8.868	0.734	0.517	0.506	0.294	0.379	0.095	0.007
	R-3	86.3	10.76	0.830	0.580	0.637	0.441	0.252	0.052	0.008
	R-4	89.2	8.262	0.692	0.464	0.578	0.419	0.213	0.051	0.007
	R-5	88.6	7.822	0.883	0.710	0.366	0.233	0.209	0.113	0.015
FAIL	F-1	92.7	2.522	0.136	0.221	0.637	0.214	0.942	0.596	0.042
	F-2	93.8	4.602	0.0607	0.010	0.738	0.227	0.333	0.103	0.018
	F-3	95.0	2.752	0.129	0.067	1.001	0.380	0.215	0.044	0.013
	F-4	94.9	3.831	-	-	0.407	0.161	0.144	0.263	-
	F-5	93.3	4.871	0.097	-	0.879	0.168	0.253	0.352	0.013
	N-1	99.5	0.006	-	0.009	0.013	0.064	0.026	0.031	-
	N-2	99.6	0.001	-	0.011	0.008	0.301	0.019	0.037	-

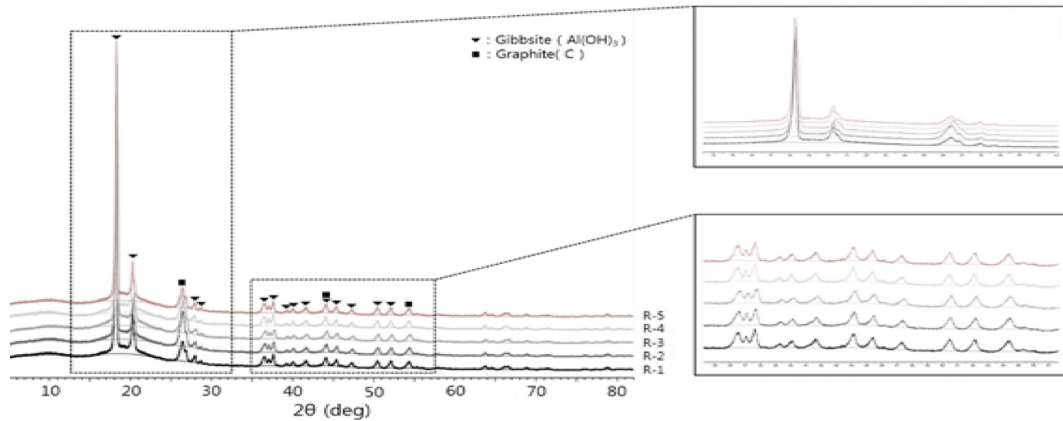


Figure 2. XRD patterns for EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5) sandwich panel samples.

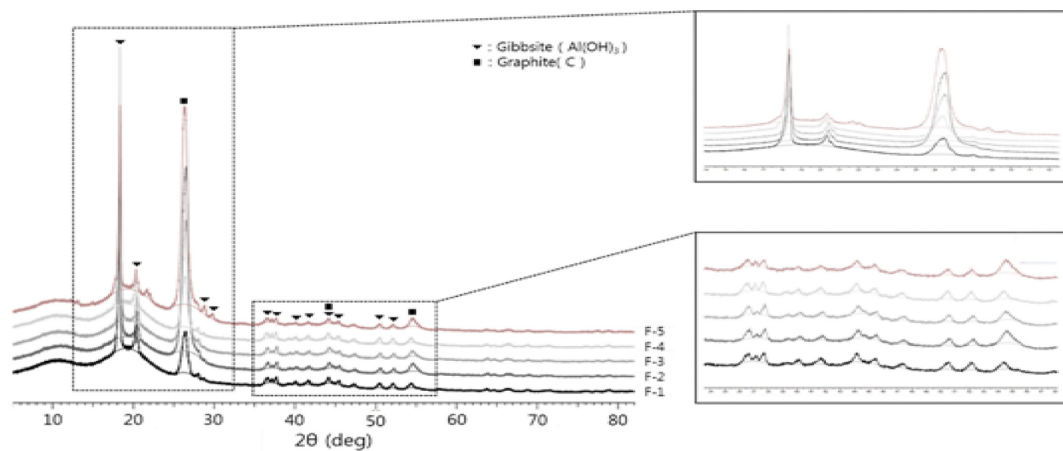


Figure 3. XRD patterns for EPS (F-1, F-2, F-3, F-4, F-5) sandwich panel samples.

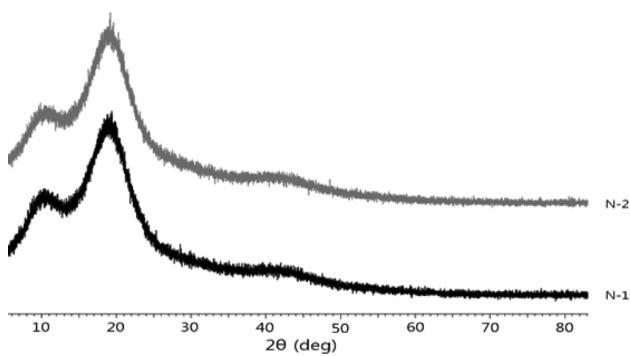


Figure 4. XRD patterns for EPS (N-1, N-2) sandwich panel samples.

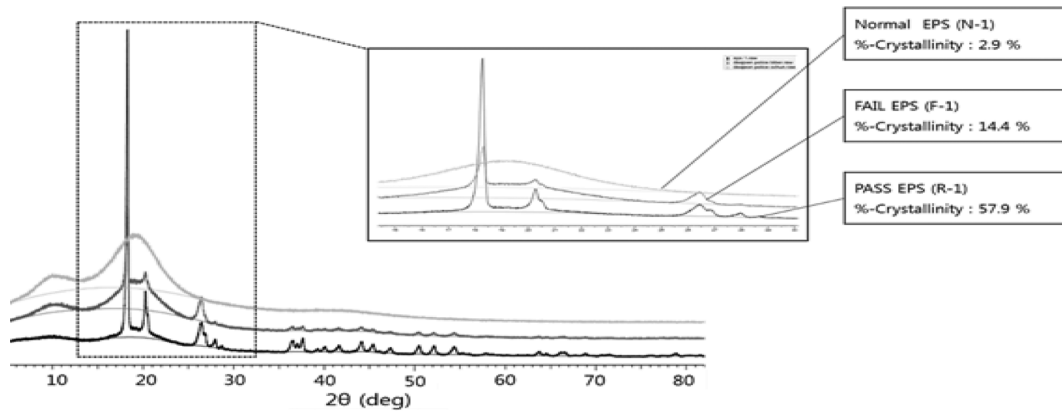
하여 회절패턴을 보정할 수 있으므로 정성분석에 영향을 미치지 않는다. 일반 EPS (N-1, N-2)를 제외한 적합제품(R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)과 부적합제품(F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)의 XRD 패턴은 모두 같은 양상을 보여주고 있다. 제품의 XRD 패턴에 대한 powder diffraction file PDF-2 해석 결과, 모두 무기계 난연제에 해당하는 수산화 알루미늄( $Al(OH)_3$ )인 깁사이트(gibbsite)와 카본(C)인 graphite로

회절 패턴을 형성하였다. 일반 EPS (N-1, N-2)의 경우, XRD 패턴이 측정되지 않았는데 그 이유는 일반 EPS에는 결정성이 있는 물질이 존재하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 Figure 4과 같은 패턴이 형성되었다.

XRD 패턴을 비교해보면 적합제품과 부적합제품 사이에 결정성에 있어서 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그 결과는 Table 8과 같다. 적합제품의 경우 결정성이 55% 이상인 반면, 부적합제품의 경우는 약 30% 이하로 측정이 되었다. Figure 5에서 제시된 것처럼 적합제품, 부적합제품, 일반 EPS 제품 중 대표적인 패턴을 하나씩 선택하여 비교하여 보면 적합제품의 패턴이 부적합제품의 패턴에 비해 상대적으로 큰 강도와 좁은 폭의 피크로 이루어진 것을 확인할 수 있다. 또한 일반 EPS 제품은 결정성 피크가 나타나지 않는 것을 알 수 있다. WD-XRF에서 (CH) $n$  matrix로 설정된 고분자화합물은 가장 많은 양이 포함되어 있지만 비결정성 물질로서 회절패턴을 나타내지 못하여 부적합제품의 결정성이 낮게 측정되는 것을 알 수 있고, 그 다음으로 많이 들어 있는  $Al_2O_3$ 는 결정성 물질로서 분명한 회절 패턴을 나타내므로 적합제품이 부적합제품보다 결정성이 높은 것을 알 수 있다. 알루미늄(Al) 원소 성분이 적합제품

**Table 8.** Crystallinity Values for the Sandwich Panel Sample

Sample	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	N-1
Crystallinity (%)	57.9	55.7	55.9	57.4	57.9	2.9
Sample	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	N-2
Crystallinity (%)	14.4	26.5	19.3	29.8	30.4	7.8

**Figure 5.** Comparison of XRD patterns for EPS sandwich panels.

과 부적합제품에 들어 있는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

Expanded PolyStyrene (EPS) 샌드위치 패널은 우수한 단열성능, 경제성 및 건축공법에 따른 시공편리성 등으로 인해 단열재로 많이 사용되지만 화재에 취약한 단점이 있다. 현행 건축법령(건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙)에 의하면 건축물의 용도 및 규모에 따라 복합자재는 난연성 마감재를 사용하도록 되어 있고, 이를 근거로 현장에서 시공되고 있는 난연 EPS 패널 시료에 대해 X선 분석법으로 화재안전성 평가를 시도하였다. 시료의 적합성 여부를 판단하기 위하여 콘 칼로리미터법(ISO 5660-1)과 가스 유해성 시험(KS F 2271)을 통한 난연성능 평가(국토교통부 고시 2015-744호)를 함께 수행하였다. 본 연구에서는 난연 EPS 샌드위치 패널의 현장품질을 관리할 수 있는 기초연구로 X선 형광(XRF) 분석을 통한 화학성분 분석과 X선 회절(XRD) 분석을 통한 고체 결정상 물질 분석을 수행하였다.

총 12종의 시험체에 대해 콘 칼로리미터 시험(ISO KS F 5660-1)과 가스 유해성 시험(KS F 2271)을 시험한 결과 난연 EPS (R-1, R-2, R-3, R-4, R-5)는 적합제품으로 확인되었고, 현장에서 채취한 난연 EPS (F-1, F-2, F-3, F-4, F-5)와 일반 EPS (N-1, N-2)는 콘 칼로리미터 시험 후 형상에 있어 관통되는 구멍과 용융이 발생하여 부적합 제품으로 확인되었다.

난연성능평가를 통해 적합제품과 부적합제품으로 구분되어진 시료를 X선분석(XRF, XRD)을 시도하였다. XRF

분석에서는 적합제품이 부적합제품에 비해  $Al_2O_3$ 의 함유량이 많은 것을 확인하였다. XRD 분석에서는 적합제품과 부적합제품에 들어있는  $Al_2O_3$  성분이 Gibbsite ( $Al(OH)_3$ )인 것을 확인하였고, Gibbsite ( $Al(OH)_3$ ) 결정성에서 적합제품 부적합제품에 비해 높게 나타나는 것을 확인하였다.

현재 시중에 나와 있는 적합제품들은 난연성능이 인정된 제품이라도 현장시공품질에 있어 신뢰성을 주지 못하는 경우가 있는데 이번 연구에서 X선 분석법을 통해 샌드위치 패널에 들어가는 난연제의 정성, 정량 분석이 가능해짐으로써 EPS 샌드위치 패널의 난연성능 진위 여부를 가릴 수 있다는 것을 보여주었다. EPS 샌드위치 패널의 시공 관리를 위한 용도에 있어 X선 분석법이 기존의 화재성능시험보다 시간과 비용효율이 좋은 것이 특징이다. 그리고 본 연구에 사용된 장비는 분석 실험실 용도로 쓰이는 WD-XRF와 XRD가 주로 쓰였지만 portable XRF과 같은 휴대 가능한 X선 장비를 사용하게 되면 실제 현장의 품질확인 방법으로 적용이 가능할 것으로 기대된다.

#### References

1. J. H. Jeong, H. U. Kim and J. G. Jerng, "Thermal and Sound Insulation Properties of Sandwich Panel Filled with Inorganic Core Material", J. Korean. Soc. Living. Environ. Sys., Vol. 13, No. 4, pp. 320-326 (2006).
2. S. Y. Park, W. S. Lee, H. S. Yeo and H. S. Im, "The Experimental Study for the Smoke Optical Density and Toxic Gases of Sandwich Panel Insulation (Sing Chamber Method)", T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng, Vol. 20, No. 4, pp. 26-32 (2006).

3. O. S. Kweon, Y. H. Yoo, H. Y. Kim and S. H. Min, "An Experimental Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 26, No. 5, pp. 21-27 (2012).
4. H. J. Park, J. H. Oh and J. W. Moon, "A Research on Improving the Performance of the Flame Retardant Sandwich Panels for Cold Storage", Proceeding of 2010 Annual Spring Conference (KIFSE), Korea, pp. 383-388 (2010).
5. KS F 2271 : 2006, "Testing Method for Incombustibility of Internal Finish Material and Element of Buildings", ICS 13.220.50, Korean Agency for Technology and Standards.
6. KS F ISO 5660-1 : 2008, "Reaction-to-fire Tests-heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate-Part 1: Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)", ICS 13.220.50, Korean Agency for Technology and Standards.
7. J. H. Jeong, H. U. Kim and J. G. Jeong, "Thermal and Sound Insulation Properties of Sandwich Panel Filled with Inorganic Core Material", J. Korean Soc. Living Environ. Sys., Vol. 13, No. 4, pp. 320-326 (2006).
8. O. S. Kweon, Y. H. Yoo, H. Y. Kim and S. H. Min, "An Experimental Study on Fire Safety Performance of Glass Wool Sandwich Panel", J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., Vol. 26, No. 5, pp. 21-27 (2012).
9. S-K. Rha and Y. S. Lee, "Estimation of Phase Ratio for TiO<sub>2</sub> Powders by XRD and XAS", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 49, No. 5, pp. 469-474 (2012).
10. D. H. Lee, "The Combustion Characteristics and Fire Safety Performance of Architectural Finishing Materials in Fire", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 11, No. 4, pp. 15-20 (2011).