

## X-선 분석법을 이용한 내화도료의 화재안전성 평가 방법에 관한 기초연구

심지훈 · 조남욱\* · 김강우†

인천대학교 화학과, \*한국건설기술연구원

## A Preliminary Study on the Fire Safety Testing Method for Fire-resistance Paints Using an X-ray Analysis Method

Ji-Hun Shim · Nam-Wook Cho\* · Kang-Woo Kim†

Department of Chemistry, Incheon National University

\*Korea Institute of Construction Technology (KICT)

(Received July 14, 2014; Revised September 12, 2014; Accepted October 17, 2014)

## 요 약

내화도료는 화재 시 발포를 통해 단열 성능을 향상시켜 철골 구조의 열전달을 저감하기 위해 사용되고 있는데, 만일 표준규격을 만족시키지 못하는 내화도료가 사용된다면 철골 구조의 내화 성능에 문제가 발생할 우려가 있다. 내화도료의 내화 성능은 육안으로는 평가가 어려워 현장을 대상으로 하는 간편하면서도 정확한 평가방법의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 X-선 분석법(XRF, XRD)을 이용한 내화도료의 화재안전성 평가 방법에 대한 기초연구를 수행하였다. X-선 분석법을 적용한 결과 실제 화재시험을 통한 내화 성능에 따라 특정 성분이 검출되는 것을 확인하였다. X-선 형광분석(XRF)을 통해 인(P)과 염소(Cl) 원소 성분이 일반도료에 비해 내화도료에 훨씬 많이 함유되어 있는 것을 알 수 있었다. X-선 회절분석(XRD)을 통해 내화도료의 주된 결정성 물질로 확인된 폴리인산 암모늄(ammonium polyphosphate)이 일반도료에는 포함되어 있지 않는 것으로 나타났다. X-선 분석법은 휴대용 XRF와 XRD 분석 장비를 통해 머지않아 현장평가방법으로의 적용이 가능할 것으로 예상된다.

## ABSTRACT

Fire-resistance paints are supposed to become intumescent and diminish heat transfer along the steel frames in case of a fire. If unsatisfactory fire-resistance paints which do not satisfy their standard specification are used, it may result in a severe disaster. Because satisfactory fire-resistance paints are hardly discriminated from the unsatisfactory ones by a simple visual inspection, more reliable and convenient onsite evaluation methods are necessary. Here we report the preliminary study result on the fire safety testing method for fire-resistance paints using an X-ray analysis method. It was found that the existence and quantity of effective constituents in fire-resistance paints can be detected by the X-ray analysis method. X-ray fluorescence (XRF) analyses showed that P and Cl elements are much more enriched in fire-resistance paints, compared to normal paints. X-ray diffraction (XRD) analyses showed that ammonium polyphosphate is present as the main crystalline material in fire-resistance paints, but absent in normal paints. The X-ray analysis method is expected to be used for the onsite inspection of fire-resistance paints with the upcoming availability of portable XRF and XRD instruments.

**Keywords :** Fire safety testing method, Fire-resistance paints, X-ray analysis method, XRF, XRD

## 1. 서 론

산업이 발달함에 따라 건축물은 점점 더 경량화, 대형화, 고층화 및 복합 용도로 되어 가는 추세에 놓여 있다. 이에 주요 구조부(기둥, 보, 바닥, 지붕)의 골격을 이루는 철강재의 소요량도 증가하는 추세인데 이와 더불어 화재에 따른 위험성도 증가하고 있다. 철강재는 불연재료로서 화재

연소의 위험은 없지만 내화 성능이 약하다. 화재 시 철골 구조물의 온도가 임계온도인 500°C~600°C 이상으로 올라가 일정시간이 지나면 인장 강도가 초기 강도의 50%~70%까지 감소하게 된다. 따라서 화재 시 주요 구조부의 내력(인장강도, 압축강도) 저하로 인한 건물 붕괴를 미연에 방지하기 위해 내화 피복재를 철골 구조에 입힘으로써 내화성능을 확보하고 보호 조치를 하도록 법으로 규정하

†Corresponding Author, E-Mail: kimkw@incheon.ac.kr  
TEL: +82-32-835-8237, FAX: +82-32-835-0762

ISSN: 1738-7167  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.5.058>

고 있다. 내화 구조라 함은 건물의 주요 구조부(기둥, 보, 바닥, 지붕 등)가 일정 시간 동안 화재에 견딜 수 있는 성능을 가진 구조로서 국토해양부령으로 정하는 내화 성능을 가진 구조를 말한다<sup>(1,2)</sup>. 내화 성능은 내화도료와 같은 내화 피복재를 철골 구조에 입힘으로써 확보하게 된다. 내화 피복재 중 내화도료의 시공은 고온에서 발포를 통해 단열성능을 향상시켜 철골 구조의 열전달을 저감하는 목적을 가지고 있다. 우수한 공간 확보성과 용이한 보수공사, 탁월한 내후성 및 다양한 시공성과 미관성 등과 같은 여러 장점들과 업계의 지속적인 원가 절감 노력으로 인해 내화도료의 시장은 더욱 확대될 것으로 전망된다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 시공 관리가 부재할 경우 내화도료 피복재의 성능에 문제가 발생할 우려가 있다<sup>(3)</sup>. 현재 내화도료를 사용하는 경우 '내화구조의 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2005-122호)'에 의해 내화구조로서 인정을 받고 있다. 내화구조의 인정 기준은 가열시험을 통하여 허용 내화온도를 넘는 시점 전까지를 내화성능으로 인정하며 1시간 경과 시 까지 허용 내화온도(평균온도 583 °C, 최고온도 649 °C)를 넘지 않으면 1시간 내화구조, 2시간이면 2시간 내화구조로 인정한다. 현장에서는 세부인정내용에 포함된 내화구조 현장체크리스트에 따라 피복두께, 재도장 시간, 부착강도 등의 확인을 요구하고 있다. 이와 함께 물량관리서를 보완하여 현장관련자의 품질관리확인서 작성을 의무화하고 있다<sup>(4)</sup>. 하지만 현재 현장 시공품질관리에 의하면 감리자가 내화구조 현장체크리스트를 작성하게 되어 있으나 현장체크리스트가 내화관련 규정에 의무화되어 있지 않고, 품질관리 감리자와 건설현장 관련자와의 업무소통이 원활하지 않아 현장체크리스트의 활용도가 미흡한 실정이다. 외국의 경우 영국, 독일 및 일본 등 선진국에서는 오래전부터 내화도료에 대한 제품 품질을 평가하고 이에 따른 유지 관리를 실시하고 있으며, 그 중 일본은 지질학적으로 지진에 의한 화재가 빈번히 발생하는 지역으로서 건축물의 내구성과 안전성에 관한 연구의 일환으로 내화도료의 시공관리와 유지관리에 대한 연구가 이루어져 제품 품질을 확인할 수 있는 방법을 제시하고 있다<sup>(5)</sup>. 국내에서는 최근 들어 내화도료의 품질관리를 위한 간접적인 방법으로서 내화도료와 일반도료에 대해 TGA 분석으로 열분해 특성을 비교하고, 열분해에 따른 가스성분 분석을 FT-IR을 이용해 수행함으로써 내화성능을 평가하려는 연구가 수행된 바 있다<sup>(6)</sup>. 또한 PU계 난연도료의 도막물성에 따른 난연효과에 대한 연구가 수행된 바도 있다<sup>(7)</sup>.

본 연구에서는 내화도료의 현장품질을 관리할 수 있는 시스템의 일환으로서 X-선 분석법이 현장평가방법으로서 적용이 가능한지 알아보고자 하였다. 내화도료의 경우 육안으로는 현장 시공품질관리에 한계가 있기 때문에 X-선 형광(XRF) 분석을 통한 화학 성분 분석과 X-선 회절(XRD) 분석을 통한 고체 결정상 물질 분석을 수행하고 그 결과를 일반도료의 경우와 비교해 보았다.

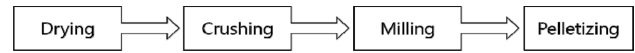


Figure 1. A flow chart for the sample pre-treatment process.

## 2. 실 험

### 2.1 시료의 전처리

시료의 X-선 분석을 위해 액체 상태인 일반도료와 내화도료를 고형화한 후 미분화시켜 분말로 만들었다. 시료의 전처리 과정은 Figure 1과 같은 순서로 수행하였다. 일반도료와 내화도료를 용기에 담고 건조기에 넣어 85 °C의 온도에서 5~7일간 건조하게 되면 완전히 고형화된다. 고형화된 내화도료를 고무망치로 대강 분쇄한 후 분쇄기를 사용하여 수십  $\mu\text{m}$  정도의 입도로 분쇄해준다. 사용한 분쇄기는 냉동분쇄기(미국 SPEX사, 모델 Freezer Mill 6870)로서 액화질소를 사용하여 영하 196 °C의 온도에서 분쇄하였다. XRD 분석을 위한 전처리 과정은 분쇄에서 종료가 되지만 WD-XRF 분석을 위해서는 분쇄에 의해 얻은 분말을 펠렛 형태로 제작하였다. 알루미늄 컵에 분말을 담은 후 압축기를 사용하여 약 1600 kPa의 압력으로 6 분간 압착시켰다. 사용한 압축기(미국 SPEX사, 모델 35T Automated Hydraulic X-Press)는 전자동 유압방식이다.

연구에 사용된 도료는 시중에 유통 중인 백색 도료 제품 중에서 일반도료 3종(N-1, N-2, N-3)과 내화성능이 인증된 내화도료 3종(F-1, F-2, F-3)으로 선정하였다. 사용한 각각의 도료 제품에 포함되어 있는 화학물질은 이들의 GHS-MSDS에 근거하여 최소함량이 10% 이상인 것을 기준으로 했을 때 다음 Table 1에 제시된 것과 같다.

### 2.2 분석 기기

내화도료와 일반도료의 시료 분석을 위해 사용한 파장 분산형 X-선 형광분석기(wavelength dispersive X-ray fluorometer, WD-XRF; 독일 BRUKER사, 모델 S4 PIONEER)와 X-선 회절분석기(X-ray diffractometer, XRD; 독일 BRUKER사, 모델 D8 ADVANCE) 각각의 분석 조건은 Table 2에 제시되어 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 일반도료와 내화도료의 건조 전후 중량 변화

일반도료와 내화도료의 건조 전후 중량 변화를 측정된 결과는 Table 3에 제시된 것과 같다. 일반도료는 약 1/2 이상의 중량 감소를 보이고 내화도료는 약 1/3 이하의 중량 감소를 보이고 있다. 내화도료가 일반도료보다 적은 중량 감소를 보이고 있는데 이로부터 내화도료보다 일반도료에 휘발되는 액체 성분이 더 많다는 것을 알 수 있고, 내화도료에 무기물 충전제의 함량이 높아 내화도료의 중량 감소가 적다는 것을 알 수 있다. 실제로 철골 구조에 두 도료

**Table 1.** Principal Chemical Materials in the Normal and Fire-resistance Paint Samples

Sample		Chemical materials	Content (%)
Normal paint	N-1	Toluene	20~30
		Alkyd resin	10~20
		4-Methyl-2-pentanone	10~20
	N-2	Methacrylic acid-methyl methacrylate-2-hydroxyethyl methacrylate-styrene polymer	29~39
		Toluene	22~32
		Titanium dioxide	18~28
		Dimethyl carbonate	16~26
	N-3	Acrylic resin	31~40
		Titanium dioxide	21~30
		Xylene	21~25
Toluene		11~15	
Fire-resistance paint	F-1	Polyphosphoric acids ammonium salts	10~20
		Methacrylic acid-2-ethylhexyl acrylate-styrene polymer	10~20
		Melamine	10~20
		Xylene	10~20
	F-2	Polyphosphoric acids ammonium salts	22~32
		Xylene	19~29
	F-3	Polyphosphoric acids ammonium salts	21~30
		Butyl acrylate-butyl methacrylate-methacrylic acid-methyl methacrylate-styrene polymer	11~20
		Titanium dioxide	11~20
		Xylene	11~15

**Table 2.** Operating Conditions for WD-XRF and XRD

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

를 시공하는 경우 내화도료를 칠한 쪽이 도막이 더 두텁게 형성된다<sup>(8)</sup>.

### 3.2 일반도료와 내화도료의 WD-XRF 분석

일반도료와 내화도료의 WD-XRF 분석 결과는 Table 4에 제시된 것과 같다. WD-XRF 분석 결과는 각 원소의 최대 산화상태를 가정한 산화물 농도로 환산하여 나타내었

다. Table 1에서 알 수 있는 것처럼 도료의 주된 성분은 고분자수지 물질로서 탄화수소 화합물이므로 XRF 측정 시 CH<sub>2</sub>를 matrix로 고정하고 나머지 원소를 찾아서 분석하였다. 일반도료와 내화도료 모두 TiO<sub>2</sub>가 검출되었는데 함량에 있어서는 상당한 차이를 보였다. TiO<sub>2</sub>는 백색 무기 안료인데 불투명성과 내구성이 다른 백색 안료들에 비해 우수하여 도료에서 가장 일반적으로 사용되고 있다. 일반도

**Table 3.** Difference in Weight Between Before and after Drying for the Normal and Fire-resistance Paint Samples

Sample		Before drying	After drying	Weight loss ratio
Normal paint	N-1	118.5931 g	50.7252 g	57.230%
	N-2	117.2234 g	48.8933 g	58.291%
	N-3	119.0013 g	50.6725 g	57.419%
Fire-resistance paint	F-1	116.2953 g	84.4542 g	27.380%
	F-2	116.7881 g	86.3207 g	26.088%
	F-3	117.3854 g	88.0161 g	25.028%

**Table 4.** XRF Analysis Result for the Normal and Fire-resistance Paint Samples

Sample		Formula (%)							
		CH <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Normal paint	N-1	82.1	17.14	0.598	0.027	0.008	0.029	0.005	0.025
	N-2	77.9	20.35	0.688	0.921	0.016	0.072	0.021	ND
	N-3	73	25.67	1.39	0.174	0.051	ND	0.012	ND
Fire-resistance paint	F-1	69	9.492	0.286	0.636	4.851	0.025	0.006	15.10
	F-2	67	9.663	0.305	0.364	4.748	0.023	0.005	17.47
	F-3	69	10.92	0.435	ND	3.505	0.022	0.004	15.48

ND: No Detection.

료와 내화도료 시료는 모두 백색을 띠는 제품으로서 일정량의 TiO<sub>2</sub>가 포함되어 있는 것이다. 일반도료보다 내화도료의 TiO<sub>2</sub> 함유량이 상당히 적게 나오는 것을 확인할 수 있는데 이는 일반도료에는 거의 포함되어 있지 않은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 Cl 함유량이 증가함에 따라 내화도료에서의 TiO<sub>2</sub> 함유량은 상대적으로 감소한 결과이다. 내화도료에서 다량으로 측정된 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 고형도료성분으로서 무기 난연제로 사용될 수 있는 폴리인산 암모늄(ammonium polyphosphate)과 같은 무기 인산화물에 기인한다. 무기 인산화물은 화재 시 열에 의하여 분해되어 무기산을 방출하며, 탄화수소 화합물과 같은 탄소공급원과 반응하여 탄화층의 형성을 촉진하는 역할을 한다. Table 4에서 보는 것과 같이 일반도료에서는 난연제로 쓰이는 무기 인산화물이 거의 측정되지 않았지만 내화도료에서는 세 가지 제품 모두 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함유량이 15% 이상으로 나타나는 것을 알 수 있다. 염소(Cl)는 일부의 할로젠계 난연제에 포함되어 있는 성분으로서 일반도료에서는 거의 검출되지 않았으나 내화도료에서는 4% 내외의 함유량을 가지는 것으로 나타났다. 클로로폼에 녹인 고무에 염소 기체를 불어 넣어 생성시킨 염화고무의 경우 고무 유도체로서 도막 형성을 위한 주성분으로 내화도료에 사용된다. 최근의 내화도료는 일반적으로 고형도료성분으로서 폴리인산 암모늄과 같은 무기 난연제를 주성분으로 하는데 그 이유는 내화성능이 우수하고 가연성 소재에 도장했을 경우 화재 발생 초기에 연소 방지 및 지연 효과를 발휘하기 때문이다. 인(P)을 기반으로 하는 난연제는 독성이 없고 열적으로 안정하여 내화도료에 널리 쓰

이고 있는 반면, 염소 계통의 난연제의 경우 화재 시 유독 가스 방출에 의한 질식사 유발과 폐기 시 소각과정에서 분해가 되지 않고 생체 축적성이 크면서도 맹독성인 다이옥신이 다량 생성되는 문제가 있어 restriction of hazardous substance (RoHS) 등에 의해 규제가 강화되고 있으며 사용량이 급격히 줄어들고 있는 추세이다. 하지만 내화도료가 내수성이 취약하기 때문에 내수성이 강한 염화고무가 상도로 채택하는 경우가 많아 염소 성분이 내화도료에 일부 검출되는 것을 알 수 있다<sup>(8)</sup>.

### 3.3 일반도료와 내화도료의 XRD 분석

XRF 분석으로부터 일반도료와 내화도료의 원소성분과 성분 함유량을 확인하였다면, XRD 분석에 의해서는 X-선의 회절 패턴을 통해 도료 속에 포함된 결정성 물질의 존재를 확인하였다. 일반도료와 내화도료에 대한 XRD 분석 결과 이들의 XRD 패턴이 서로 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. Figure 2는 일반도료의 XRD 패턴을 보여주고 있고, Figure 3은 내화도료의 XRD 패턴을 보여주고 있다. 두 그림에서 x 축은 Bragg 회절각에 의한 2θ를 나타내고, y 축은 intensity를 나타내고 있다. 각 도료의 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 피크의 값이 약간 낮은 각도에서 나타나는 양상을 보이는데 그 이유는 시료 홀더의 깊이와 필터의 높이 차이 때문으로 소프트웨어에서 높이 차이

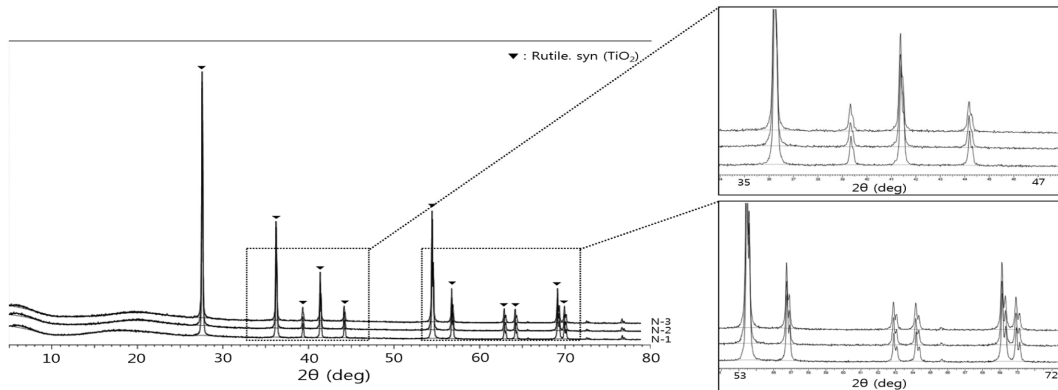


Figure 2. XRD patterns for the normal paint samples.

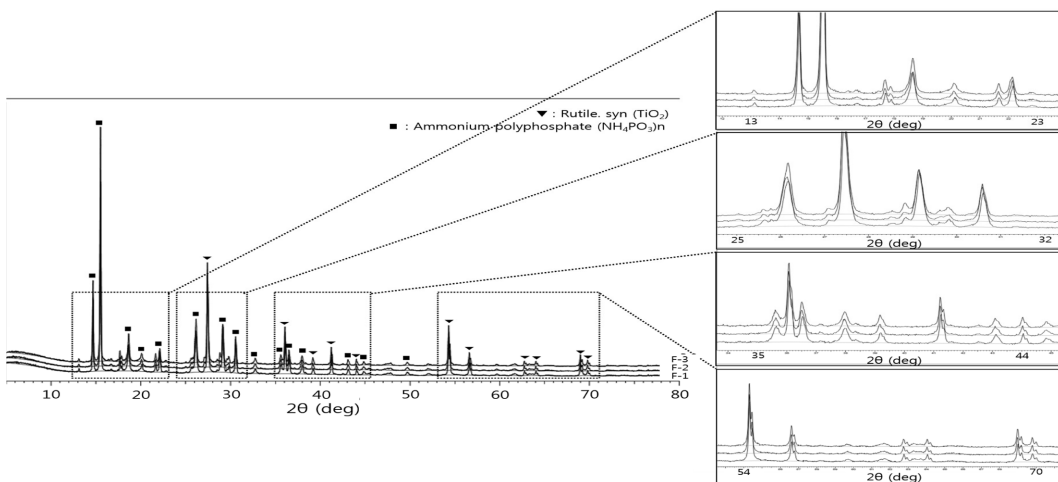


Figure 3. XRD patterns for the fire-resistance paint samples.

를 확인하여 회절패턴을 보정할 수 있으므로 정성분석에 영향을 미치지 않는다. 일반도료의 XRD 패턴은 세 가지 제품 모두 같은 양상을 보여주고 있다. 일반도료의 XRD 패턴에 대한 powder diffraction file PDF-2 해석 결과 모두 이산화 타이타늄(titanium dioxide)인 rutile, syn ( $\text{TiO}_2$ )만이 회절 패턴을 형성하였다. WD-XRF에서  $\text{CH}_2$  matrix로 설정된 탄화수소 화합물은 가장 많은 양이 포함되어 있지만 비결정성 물질로서 회절패턴을 나타내지 못하지만 그 다음으로 많이 들어 있는  $\text{TiO}_2$ 는 결정성 물질로서 분명한 회절 패턴을 나타내는 것을 알 수 있다. 내화도료 역시 세 가지 제품 모두 같은 양상의 패턴을 보여준다. 내화도료의 XRD 패턴 해석 결과 가장 주된 회절 패턴을 보여주는 것은 폴리인산 암모늄(ammonium polyphosphate,  $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$ )이었다. WD-XRF에서 확인된  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 성분이 XRD에서 결정성 물질로 폴리인산 암모늄의 분명한 회절 패턴을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 내화도료 내 다른 결정성 물질로는 일반도료에서도 공통적으로 확인된 rutile, syn ( $\text{TiO}_2$ )였다.

Ti 원소 성분이 일반도료와 내화도료에 들어 있는 것을 XRF 분석을 통해 정량적으로 확인하였지만 어떤 Ti 화합

물인지  $\text{TiO}_2$ 라면 어떤 결정구조의  $\text{TiO}_2$ 인지 알 수 없었다. 하지만 XRD 분석에 의해  $\text{TiO}_2$ 가 들어 있고 이  $\text{TiO}_2$ 는 rutile, syn ( $\text{TiO}_2$ ) 결정구조의 물질이라는 것을 정성적으로 확인할 수 있었다.  $\text{P}_2\text{O}_5$  성분의 정량적인 분석에 의해 인계 무기 난연제가 들어 있는 것도 XRF 분석에 의해 확인하였지만 구체적으로 어떠한 물질인지 알 수 없었으나 XRD에 의해 폴리인산 암모늄,  $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$ 인 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 XRF에 의해 시료의 화학성분과 이의 정량적인 분석이 가능한 반면, XRD로는 시료 속에 어떤 결정구조의 어떤 물질이 들어 있는 지를 알아낼 수가 있다. 따라서 두 가지 X-선 분석법인 XRF와 XRD는 상호 보완적인 분석방법이라고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

3종의 일반도료와 3종의 내화도료 제품에 대하여 X-선 분석법으로 조사한 결과 XRF와 XRD 둘 다에 있어서 일반도료와 내화도료는 확연한 차이를 보여주었다. XRF 분석에 의해 일반도료에서는 탄화수소 화합물을 제외하면  $\text{TiO}_2$ 가 대부분을 차지하고 있는 반면, 내화도료에서는

TiO<sub>2</sub> 함유량이 상대적으로 적고 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 Cl 함유량이 많다는 것을 확인하였다. XRD 분석에 의해서는 일반도료와 내화도료에 들어있는 TiO<sub>2</sub> 성분이 rutile, syn (TiO<sub>2</sub>) 결정 구조의 TiO<sub>2</sub>인 것을 확인하였고, 내화도료에만 들어있는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 성분은 폴리인산 암모늄에서 비롯된 것임을 확인하였다. 현재 시중에 나와 있는 내화도료들은 내화성능이 인 정된 제품이라도 현장시공품질에 있어 신뢰성을 주지 못하는 경우가 있는데 이번 연구에서 X-선 분석법을 통해 내화도료에 들어가는 난연제의 정성, 정량 분석이 가능해 짐으로써 내화도료의 진위 여부를 가릴 수 있다는 것을 보여 주었다. 내화 구조의 시공 관리를 위한 용도에 있어 X-선 분석법이 기존의 화재성능시험보다 시간적으로나 분석에 필요한 양의 측면에서나 큰 이점으로 작용될 수 있을 것이다. 본 연구에 사용된 장비의 경우 분석 실험실 용도로서 비교적 큰 장비들이지만 현재 휴대 가능하고 차량에 장착할 수 있는 X-선 분석 장비들이 나오고 있는 실정이다. 이러한 휴대 가능한 장비들을 활용한다면 머지않아 실제 현장의 품질확인 방법으로도 적용이 가능할 것으로 기대한다.

## 후 기

본 연구는 한국건설기술연구원에서 시행하는 ‘(14주요-사업) X-ray 분석법을 활용한 비연소 난연성능평가방법 개발’의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. KS F 2257-1:2005, Methods of fire resistance test for

elements of building construction-General requirements, Korean Standards Association (2005).

2. KS F 2257-6,7:2005, Methods of fire resistance test for elements of building construction-Specific requirements for beams and columns, Korean Standards Association (2005).

3. E. S. Kang, D. H. Kim and H. Y. Soe, “Evaluation of Fire-resistance Performance for Fire-resistance Paints”, *Fire Protection Technology*, Vol. 39, pp. 38-46 (2005).

4. S. H. Kang, N. Y. Jee and B. Y. Min, “Study of Construction Quality System of Fire Resistance – On a Basis of Intumescent Paint”, *Proceedings of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 25, No. 1, pp. 361-364 (2005).

5. D. H. Choi “The Research for the Establishment of Test Method of Durability on Intumescent Coating System”, *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 23, No. 1, pp. 40-47 (2009).

6. N. W. Cho, H. J. Shin, W. B. Cho, D. H. Lee and H. J. Kim, “Characteristics Study on Fire-resistant Paint used by TGA-IR”, *Analytical Science & Technology*, Vol. 24, No. 3, pp. 168-172 (2011).

7. I. W. Shim, H. J. Jo, H. S. Hahm, H. S. Park and Y. G. Kim, “Effect of Isocyanate Curing Agents on the Physical Properties and Flame Retardancy of Flame-Retardant PU Coatings”, *J. of Korean Oil Chemists’ Soc.*, Vol. 23, No. 3, pp. 264-271 (2006).

8. I. S. Lee, “Technical Characteristics and Construction Use of Fire-resistance Paints”, *Fire Protection Technology*, Vol. 26, pp. 43-50 (1999).