

# FPXRF를 이용한 어린이 놀이시설의 페인트 표면 납 농도 평가

김남수<sup>1</sup> · 최승현<sup>1</sup> · 조광성<sup>1</sup> · 김진호<sup>1</sup> · 함정오<sup>2</sup> · 안규동<sup>1</sup> · 이병국<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>순천향대학교 환경산업의학연구소 · <sup>2</sup>순천향대학교천안병원 산업의학과

## Evaluation of lead concentration on the surface of children's playing equipments using a field portable x-ray fluorescence (FPXRF)

Nam-Soo Kim<sup>1</sup> · Seung-Hyun Choi<sup>1</sup> · Kwang-Sung Cho<sup>1</sup> · Jin-Ho Kim<sup>1</sup>  
Jung-O Ham<sup>2</sup> · Kyu-Dong Ahn<sup>1</sup> · Byung-Kook Lee<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Environmental and Occupational Medicine, Soonchunhyang University*

<sup>2</sup>*Department of Occupational Medicine, Soonchunhyang University Hospital, Cheonan*

In order to evaluate the possible environmental lead hazard in children's playground and to test the practicability of field portable x-ray fluorescence(FPXRF) for environmental lead measurement, authors investigated lead concentration of lead-based paint on the surface of children's playing equipments in the playground of 13 apartments using FPXRF at the site in city A, Choongnam province. 93 spots were determined surface lead concentrations 3 times each using a FPXRF. Out of 93 spots, 83 spots (92%) were revealed to have lead in paint and mean concentration was  $1.12 \pm 1.76 \text{ mg/cm}^2$ . The mean concentration of lead on the surface of playing equipments at the apartments near the main street was  $1.20 \text{ mg/cm}^2$  and higher than those at the apartments far away from the main street( $0.81 \text{ mg/cm}^2$ )( $p < 0.05$ ). The mean concentration of lead on the surface of playing

equipments painted with yellow color was  $3.23 \text{ mg/cm}^2$  and the highest among all colors, whereas equipment painted white color was non-detectable. PVC and etc materials for construction of playing equipment showed higher surface lead concentration than other materials. The result suggests that it is necessary to be taken caution of the lead exposure in the playground of apartment and it should be taken any kind of confirmative action to prevent unwanted lead exposure from surface lead source of playing equipment. Authors found that FPXRF was very reliable and useful for field measurement to detect lead on the painted surface.

**Key Words** : lead-based paint, FPXRF(Field-Portable X-ray Fluorescence)

접수일 : 2007년 10월 30일, 채택일 : 2008년 6월 17일

† 교신저자 : 이병국 (충남 아산시 신창면 읍내리 646번지 학예관 H205,  
Tel: 041-530-1760, Fax: 041-530-1778, E-mail: bklee@sch.ac.kr )

## I. 서론

납은 용점(melting point)이 낮고 재질이 연하며 변질되지 않는 특성을 가지고 있어 인간사회에서 오랫동안 각종 건축재료, 생활도구 등 다양한 용도로 생활에 이용되어왔다. 이러한 편리성과 함께 납은 빈혈이나 중추신경계손상 등 인체에 유해한 영향을 주는 것으로 알려져 있어 과거 30년 동안 생활환경에서 납을 제거하려는 노력도 지속되어왔다. 일본의 경우 유연휘발유의 사용을 1975년부터 규제하여 1980년 이후로는 100%로 무연휘발유를 사용하고 있으며 우리나라도 1993년부터 유연휘발유의 사용을 법률로 금지하여 생활환경의 납 노출을 억제하여 오고 있다. 현재 미국이나 다른 나라의 경우도 실내의 장식에 납이 함유된 페인트를 사용하지 않고 단계적으로 납의 사용을 줄이고 있는 실정이다(Clark 등, 2005; Nichani 등, 2006; Takaoka 등, 2006).

이러한 노력으로 현재 생활환경에서의 납사용은 현저히 감소한 것이 사실이다. 그러나 납 오염으로 인한 인체 노출이 생활환경 중에서 소량의 축적으로도 납 중독을 일으킬 수 있다. 특히 어린이의 경우 다양한 호기심과 활동공간에서 각종 납 오염원(특히, 가솔린, 납 유약을 바른 세라믹, 광산과 제련, 배터리 수리 및 재생, 가내공업, 제분소, 약물과 화장품, 소비재 등)으로부터 쉽게 노출될 수 있으며, 납 흡수율이 성인에 비해 민감하여 저 농도 수준 이하( $10 \mu\text{g}/\text{dL}$ )의 혈중 납 농도에 노출되어도 지능손실, 집중력감소, 활동장애 등이 야기될 수 있는 것으로 보고되었다(Bradman 등, 2001; Lanphear 등, 1998; 1999; 2002). 또한 미국의 질병통제예방센터(CDC: Centers for Disease Control and Prevention)에서는 납으로 인해 성장지하나 청력 손상 등에도 악영향을 줄 수 있으며, 납 노출 감소를 위한 노력에도 불구하고 아직도 많은 어린이에서 혈중 납 수준이  $10 \mu\text{g}/\text{dL}$  이상을 나타내는 것으로 보고하였다(Meyer 등, 2003; Brown과 Jacobs, 2006).

생활환경에서 주거환경의 변화로 2005년 통계자료에 의하면(통계청, 2005) 아파트는 우리나라 주거형태의 53.0%를 차지하며, 아파트에서 어린이들의 활동공간으로 놀이터의 놀이시설이 많은 부분을 차지하였다. 이로 인해 어린이 놀이시설의 페인트에 함유된 납 농도의 평가는 어린이 활동공간에서의 노출평가 및 관리측면에서 의미가 있다. 일반적으로 납은 집에서의 분진, 토양, 음용수, 페인트 중의 납 등이 어린이들의 잠재적인 납 노출원인으로 잘 알려져 있다. 미국 소비자제품안전위원회(CPSC: Consumer Product Safety Commission)는 많은 공공 놀이터의 놀이시설에 칠해진 페인트에서 어린이들에게 납중독을 유발시킬 수 있는 기준량을 초과하는 납을 함유하고 있음을 발견하여 이를 제거 또는 통제할 수 있는 방법을 제시하였고, 캐나다의 한 연구에서는

금속구조물의 놀이시설에 칠해진 납 함유 페인트가 구조물의 노후로 인해 벗겨진 페인트 조각형태로 어린이 납 노출수준 증가에 영향을 주는 것으로 평가하였다(Lindem 등, 2003; Leighton 등, 2003; Lanphear 등, 1998; 2005; Canada communicable disease report, 1994). Takaoka 등(2006)은 일본의 공공놀이터 놀이시설에 칠해진 페인트의 납 조각이 놀이터 토양 표면에 축적되고 있음을 밝힌바 있고, Mathee 등(2007)은 남아프리카의 어린이들의 혈중 납 상승의 위험요인으로 다양한 노출 원인 중 납 페인트 역할에 대해 논의하기도 하였다.

최근 우리나라에서도 일부 어린이 활동공간에 대한 위생성 평가 및 어린이 시설에 대한 유해물질 오염실태 조사에 대한 연구가 논의되고 있으나 이전의 연구는 몇몇 어린이 놀이터의 토양오염에 대한 개별적인 연구이며, 어린이 납 노출에 대한 기준이나 노출환경 평가를 위한 구체적이고 체계적인 연구조사는 물론 관련 기초 자료에 대한 조사가 많이 이루어지지 않았다(이충대 등 2001; 이준복 등 2006). 1997년 놀이시설에 칠해진 페인트의 납 함유기준 등 어린이 납 중독 개선을 위한 한국소비자원의 조사이후 납 관리기준은 대기오염물질의 배출허용기준이 설정되어있으며, 토양오염에 대한 우려기준과 대책기준으로 설정되어 있을 뿐 다중이용시설이나 어린이 관련시설에 대한 기준은 아직 없는 실정이다(한국소비자원, 1997; 환경부, 2007).

한편 XRF 분광분석은 많은 해 동안 실험실에서 이용되어왔다. 또한 휴대용 XRF 기술은 높은 감도와 전자공학이 결합되어 방사성 동위원소 방출을 이용한 분석적 접근이 가능하게 되었다. 이를 이용한 현장분석의 적용가능성으로 토양과 침전물에서의 금속, 얇은 필름/입자, 페인트에서의 납의 현장 분석이 가능하다. 비파괴 분석과 환경시료의 정량, 정성 분석도 가능하다. 현장에서 특별히 표준시료가 필요하지 않으며, 휴대와 사용의 편리성으로 인해 현장에서 이용되고 있고, 지역사회에서 환경시료 분석에 폭 넓게 받아들여지고 있다(Clark 등, 1999; Galke 등, 2005; Jacobs 등, 2002; Kalnicky와 Singhvi, 2001; Morley 등, 1999; Schmehl 등, 1999; Bernick 등, 1995).

XRF의 원리는 다음과 같다.  $^{109}\text{Cd}$ 에서 나오는 감마선을 조사시키면 납 원자는 여기상태(들뜬상태: exciting)가 된다. 그리고 나서 원래의 상태로 돌아올 때 형광성 방사선이 발생되는데 이것을 자료화하여 분석하는 방법이다. 특정한 형광성 광양자의 검출은 대부분의 시료에 포함된 원소의 정성과 정량 분석을 가능하게 한다. 형광성 X선은 전자를 안쪽 껍질에서 바깥쪽 껍질로 이동시킬 수 있는 충분한 에너지를 가진 방사선을 원자에 조사시킬 때 발생하는 원자선의 한 일종이다. 이 원자선은 원자에서 발생하는 여기(excitation)방사선의

에너지에 의존하는데, 이는 L-껍질의 전자(저 에너지) 또는 K-껍질의 전자(고 에너지)에서 방출된다. 안쪽 껍질의 전자가 빈 공간으로 되어 있으면 이를 채우기 위해 더 높은 순위에 있는 궤도의 전자가 이동할 때 에너지가 나오는데 이 에너지가 L-XRF와 K-XRF라는 두 가지의 형광성 방사선을 방출한다. 이렇게 방출된 방사선은 사용된 에너지를 흡수하는 원자의 특성에 따라 달라진다(Kalnicky와 Singhvi, 2001).

납이 함유된 페인트의 노출평가에는  $^{109}\text{Cd}$  방사성원소를 사용하는 현장 휴대용 X-ray Fluorescence(Field Portable X-ray Fluorescence: FPXRF)가 미국 등에서는 많이 활용되고 있다. FPXRF 기기는 현장에서 직독식으로 평가가 가능하기 때문에 미국 환경보호청(EPA: Environmental Protection Agency)과 주택도시국(HUD: Housing and Urban Development)에서는 주택의 개축이나 보수 이전에 납 함유페인트의 노출평가 등에 넓이 이용되고 있고, 이외에도 토양의 표면이나 벌크시료의 분석, 공기 중 납 농도 등 펄티시료분석 등 다양한 분야에서 많은 연구에 이용되고 있다(Clark 등, 1999; Galke 등, 2005; Jacobs 등, 2002).

따라서 본 조사는 FPXRF를 이용하여 A시 일부 아파트의 놀이시설에 칠해져 있는 페인트 표면의 납 함유여부 및 납 농도를 평가하였다. 또한 일반 환경에서 납 함유 페인트의 분석에 FPXRF의 활용성에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

연구는 2005년 7월부터 8월까지 A시에 소재한 일부 아파트의 놀이터 13개소의 놀이시설(미끄럼틀, 그네, 시소, 기어오르기, 회전대, 정글짐, 철봉, 조합놀이기구 등)을 대상으로 하였다. 도로인접여부에 따라 도로와 50m 이내인 주거 밀집

지역과 그 이외지역으로 구분하였으며, 놀이시설에 칠해져 있는 페인트의 납 함유여부와 페인트 표면을 대상으로 놀이기구의 재료, 색상에 따라 분류하여 각각의 납 농도 특성을 조사하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 페인트 표면의 납 측정

페인트 표면의 납 함유여부 및 납 측정은 놀이터별로 각각의 놀이시설을 대상으로 재료, 색상에 따라 구분하고, 측정 표면을 kimwipes로 2-3회 닦아낸 후 각각 3회 측정하여 평균값을 제시하였다.

분석기기는 납 금속만 분석이 가능한  $^{109}\text{Cd}$  방사성원소를 사용하는 현장 휴대용 X-ray Fluorescence (XL-309 Lead analyser, NITON Corp, Bedford, Massachusetts)를 이용하였으며, 분석기기의 원리는 안규동 등(2001)의 연구에서 설명하였다. 페인트 표면에 함유된 납의 분석은 현장 휴대용 X-ray Fluorescence의 페인트 모드(K & L + Spectra Mode)에서 기기의 자체 보정이 끝나는 즉시 측정을 실시하였으며, X-ray 조사 깊이는 0.1~1.0mm이다.

측정 전 분석값에 대한 적합여부는 기기의 자체보정(Calibration) 이후  $1.05 \pm 0.08 \text{ mg/cm}^2$  농도의 표준시료(SRM paint film: standard reference material paint film)를 이용하여 메뉴얼의 참고값( $0.9 \sim 1.2 \text{ mg/cm}^2$ )으로 설정되어 있는 분석농도범위에 측정값이 포함되는지에 대한 여부를 확인한 후 놀이시설 페인트 표면의 납 농도를 측정하였다.

또한 놀이시설의 재료에 따라 페인트 표면 납 농도를 비교하였으며, 놀이시설에 칠해진 페인트 색상에 따라 납 함유여부와 납 농도를 조사하였다.

#### 2) 자료의 분석

자료의 분석은 SPSS version 11.5 통계프로그램을 이용하였다. 측정 장소에 따른 페인트 표면의 평균 납 농도를 비교하

Table 1. Mean concentration of standard reference material(SRM) paint film

SRM <sup>a)</sup> paint film	Reading(mg/cm <sup>2</sup> )			Mean $\pm$ SD
	First	Second	Third	
0.00 $\pm$ 0.01	Negative	Negative	Negative	Negative
0.32 $\pm$ 0.03	0.32	0.40	0.32	0.35 $\pm$ 0.05
1.05 $\pm$ 0.08	1.10	1.00	1.10	1.07 $\pm$ 0.06
1.59 $\pm$ 0.15	1.50	1.80	1.60	1.63 $\pm$ 0.15
3.51 $\pm$ 0.42	3.40	3.70	3.50	3.53 $\pm$ 0.15

<sup>a)</sup>: Standard Reference Material

였으며, 도로인접 여부에 따라 페인트 표면의 납 농도가 차이가 있는지를 보기 위해 독립표본 T-검정을 실시하였다.

### III. 연구결과 및 고찰

표준시료의 농도별 3회 분석결과 FPXRF 기기의 농도별 표준시료는 EPA/HUD의 납 함유페인트의 분석기준에 적합한 것으로 조사되었다(표 1 참조). 또한 미국 국립표준과학연구소(NIST: National institute of standards and technology)에서 FPXRF 기기의 정도관리를 위해 사용되고 있는  $1.05 \pm 0.08 \text{ mg/cm}^2$

$\text{cm}^2$  농도의 표준시료(SRM paint film: standard reference material paint film)에 대한 30회 반복측정결과 평균±표준편차의 분석값이  $1.06 \pm 0.07 \text{ mg/cm}^2$ 으로 재현성이 높은 것으로 나타났다.

A시 일부 아파트 놀이시설에 칠해진 페인트 표면에서 측정된 전체 평균 납 농도는  $1.12 \text{ mg/cm}^2$ 이며, 측정지점 93곳의 납 농도범위는  $0.00\text{--}7.73 \text{ mg/cm}^2$ 이었다. 페인트 표면의 평균 납 농도는 일부 측정 장소에서 유의한 차이를 보였다( $p < 0.001$ ). 이는 페인트 색의 선호도나 건축연한에 따른 시설의 노후화 등으로 인해 시설 보수형태의 하나로 페인트의 덧칠 등이 여러 번 이루어진 경우 페인트표면의 납 농도에 영향을 주고 있는 것으로 보인다(표 2 참조). 한편 우리나라에서 최근까지 놀이

Table 2. Lead concentration on the surface of children's playing equipments in city A

P	Construction year	Add paint	Lead in surface paint ( $\text{mg/cm}^2$ )			p-value
			No. of sample	Mean±SD	Range	
P1	1993	no	7	$0.53 \pm 0.76$	0.03-2.10	<0.001
P2	2000	no	5	$0.08 \pm 0.03$	0.09-0.10	
P3	1993	no	6	$1.04 \pm 0.81$	0.08-2.20	
P4	1990	yes	6	$2.89 \pm 3.73$	0.28-7.73	
P5	1992	yes	9	$1.99 \pm 2.81$	0.14-7.70	
P6	1998	no	8	$1.77 \pm 2.20$	0.17-5.10	
P7	1997	no	4	$0.05 \pm 0.09$	0.00-0.18	
P8	1996	yes	10	$0.93 \pm 0.05$	0.00-5.15	
P9	1996	no	8	$1.54 \pm 1.11$	0.00-4.90	
P10	2001	no	10	$0.62 \pm 0.11$	0.00-3.70	
P11	1994	yes	8	$0.89 \pm 1.20$	0.00-3.33	
P12	1995	yes	4	$0.72 \pm 0.54$	0.10-1.40	
P13	1987	yes	8	$0.79 \pm 0.36$	0.02-2.00	
Total	-	-	93	$1.12 \pm 1.76$	0.00-7.73	

P: playgrounds

Table 3. Lead concentration on the surface paint of equipments by location

	No. of sample	Add paint		Mean±SD	Range	p-value
		No. of sample	%			
Near the main street	73	64	87.7	$1.20 \pm 1.92$	0.00~7.73	0.028
Away from the main street	20	19	95.0	$0.81 \pm 0.91$	0.00~3.33	

Independent samples T-test

시설의 페인트에 대한 측정에 FPXRF를 이용한 사례는 없었다. 다만 어린이 놀이터 토양에 대한 몇몇 실험 연구에서 납 농도에 대한 평가가 이루어졌다(이준복 등 2006; 이충대 등 2001).

도로인접여부에 따라 구분된 놀이시설에 칠해진 페인트 표면의 평균 납 농도는 표 3과 같다. 도로와 인접한 주거 밀집 지역과 기타지역의 놀이시설 페인트 표면의 납 함유율은 각각 87.7%, 95.0%이었고, 도로와 인접한 주거 밀집지역의 놀이시설 페인트 표면의 납 농도는 1.20mg/cm<sup>2</sup>로 기타지역 0.81 mg/cm<sup>2</sup>보다 유의하게 높게 나타났다(p<0.05).

Takaoka 등(2006)은 놀이시설에 칠해진 납 함유 페인트 조각이 토양오염에 영향을 주고 있는 것으로 조사된바 있다. 또한 납에 대한 일부 연구에서 대기 중 납 농도는 도시가 시골지역보다 높으며, 공장지역과 도로와 인접한 지역에 위치한 놀이터 토양에서 납의 농도가 높았고 공장주변의 비산먼지에 함유된 중금속이 토양오염에 영향을 주고 있는 것으로

보고되었다(이준복 등 2006; 이충대 등 2001). 본 조사에서도 도로와 인접한 주거 밀집지역에서 페인트 표면 납 농도가 높게 나타났다. 이는 측정방법을 고려할 때 일부 대기환경의 비산먼지 등의 영향보다는 시설연한에 따른 보수시 한 형태로 페인트의 덧칠이나 납 페인트의 색상 선호도 등에 따른 차이를 고려해 볼 수 있다(표 2 참조).

놀이시설의 재료에 칠해진 페인트 표면의 납 함유여부는 금속재료에 칠해진 페인트의 86.8%와 나무재료에 칠해진 페인트의 92.7%, 기타재료에 칠해진 페인트의 85.5%에서 납이 함유되었고, 총 측정대상 페인트 표면의 89.2%에서 납이 함유되어 있었다(표 4 참조). 윤충식과 백도현(2006)의 연구에서는 유아교육시설의 건축자재 및 기구, 가구 표면의 납 함유 여부에 대한 조사에서 평가시료의 37.0%에서 납이 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 놀이기구 같은 기구 및 가구에서는 조사시료의 31.0%에서 납이 검출되어 본 조사에서 보다 낮은 수준이었다. 측정대상 재료 중 PVC 및 기타 재료

Table 4. Lead concentration on the surface paint of equipments by construction materials

Construction materials	No. of samples	Lead positive		Lead in surface paint (mg/cm <sup>2</sup> )	
		No. of samples	%	Mean ± SD	Range
Metal	38	33	86.8	0.92 ± 1.27	0.00~5.15
Wood	41	38	92.7	1.02 ± 1.90	0.00~7.73
PVC & etc	14	12	85.7	1.97 ± 2.29	0.00~7.65
Total	93	83	89.2	1.12 ± 1.76	0.00~7.73

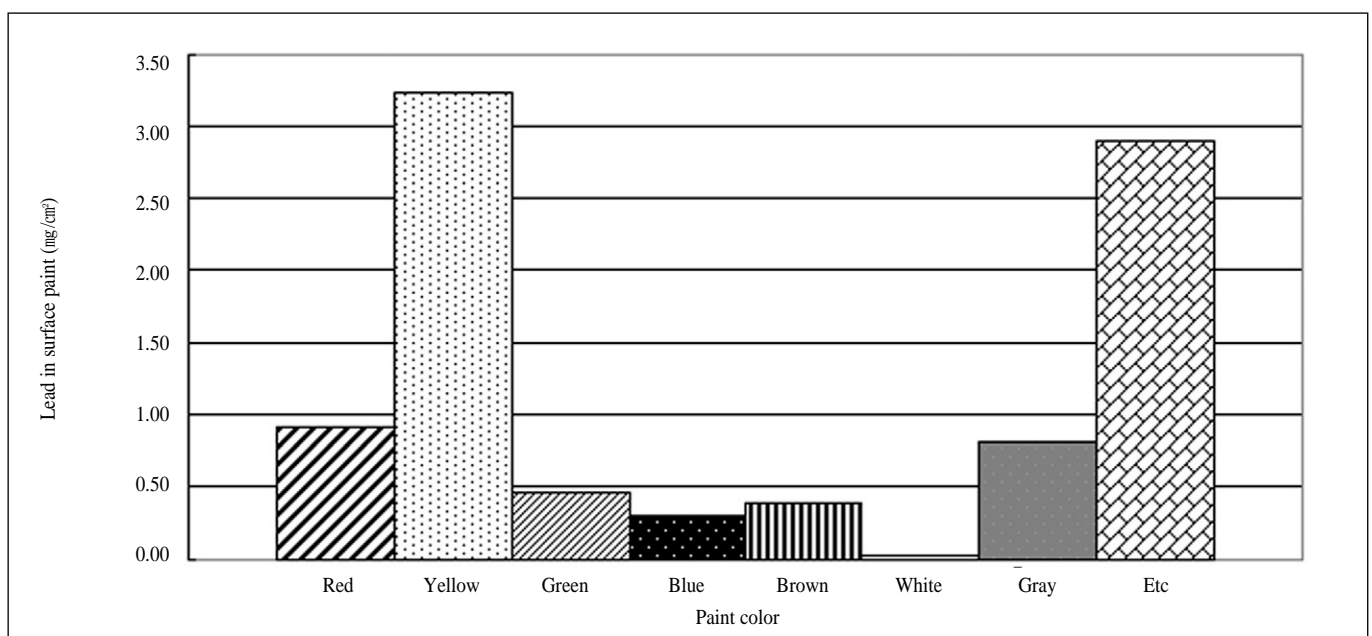


Figure 1. Comparison of lead content by paint color

에 칠해진 페인트의 납 농도가  $1.97\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 가장 높게 나타났으며, 이는 일부 PVC 재료에서 노란색 페인트가 덧칠 되어져 납 농도가 높게 나타난 결과이다. 또한 시설물의 설치연한이 오래된 경우 납이 함유된 페인트의 덧칠이 여러 번 이루어져 페인트 표면 납 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다(표 2 참조).

놀이시설에 칠해진 페인트의 색상에 따른 납 농도는 그림 1과 같다. 전체 측정대상 93곳에서 가장 많이 이용된 색은 청색이며, 노란색의 페인트 표면 납 농도 평균이  $3.23\text{mg}/\text{cm}^2$ 으로 다른 색과 비교하여 가장 높게 나타났다. 그리고 놀이시설에 칠해진 페인트 중 기타색의 농도가 높은 것은 시설의 노후화로 여러 번 페인트가 덧칠된 경우로 여러 색이 함께 있는 경우이다.

최근 연구와 미국 환경보호청에 의하면 어린이의 생활공간에서 주요한 납 노출원으로 바닥이나 벽면, 놀이기구의 표면에 칠해진 페인트 납, 납에 오염된 먼지나 토양이 납의 주요한 노출원으로 잘 알려져 있으며, 실제로 어린이들이 놀이터, 공원 등에서 섭취 또는 흡입되는 양은  $40\sim 200\text{mg}$ 으로 토양에 가장 많이 접촉하고 있는 것으로 보고되었다(Lindern 등, 2003; Montgomery와 Mathee, 2005).

현재 생활환경에서 어린이의 납 노출에 대한 규제 기준은 미국의 경우 소비자제품안전위원회(CPSC: Consumer Product Safety Commission)에서 소비자제품안전법(Consumer Product Safety Act)으로 1978년부터 0.06%를 초과하는 납을 함유한 페인트를 사용한 장난감과 놀이기구 등 어린이용 제품의 판매를 금지하고 있다. 주택도시국(HUD: Housing and Urban Development)에서는 주거용 페인트의 납 함유량을 중량당 0.6%이하로 규제하고 1997년부터 어린이 납 중독 제거 프로그램을 운영하고 있다(Meyer 등, 2003). 한편 FPXRF 기기를 이용한 납 함유 페인트의 노출평가 보고에  $\text{mg}/\text{cm}^2$  단위사용을 권고하고 있으며, 이는 보통 페인트 표면의 손상 없이 평가할 수 있고, 납이 함유되지 않은 페인트의 많은 덧칠 등으로 인한 영향이 없어 중량단위보다 더 알아보기 쉽다고 설명하고 있다. 다만 표면적을 정확하게 측정할 수 없는 경우 또는 면적 내 모든 페인트를 측정할 수 없는 경우 중량단위의 보고를 제안하였다(HUD, 1997). 우리나라는 현행 페인트의 납 성분 함유기준으로 저독성 페인트의 함량 기준을 0.05%이하로 설정하여 완구 등에 적용하고 있다. 우리나라는 완구, 유모차, 보행기, 유아용삼륜차, 유아용침대, 유아용의자, 아동용이단침대, 쌀통 및 어린이용 실내·실외 놀이시설에 칠하는 페인트에 대하여 안전검사기준으로 저독성 페인트의 경우  $90\text{mg}/\text{kg}$ (용출량)을 넘지 않도록 하고 있다(기술표준원 고시 제 2002-1675호). 한편, 어린이 놀이기구 등 사용품질에 대한 안전검사대상공산품이 일부 지정되어 있기는 하나(품질

경영 및 공산품 안전관리법시행규칙, 2005) 어린이 관련시설에 대한 납 함량기준이나 일반 납 페인트의 관리기준은 현재 없는 실정으로 향후 어린이 관련시설에 대한 납 사용량 및 관리현황을 파악하고 어린이의 노출 행태에 대한 관찰 및 놀이시설에 대한 위해성 평가를 통해 관리기준이 설정되어야 할 것이다.

한편, 환경시료의 노출평가에 FPXRF 기기는 시간적, 비용적인 면에서도 유용한 방법으로 다양한 유해물질의 평가에 이용되고 있다. 또한 실험실 분석과 비교하여 사용이 간편하고 측정결과를 현장에서 바로 확인이 가능하며, 미국 환경보호청(EPA: Environmental Protection Agency)과 주택도시국(HUD: Housing and Urban Development)에서는 주택의 개축이나 보수 이전에 납 함유페인트의 노출평가 등에 널리 이용되고 있고, 이외에도 토양의 표면이나 벌크시료의 분석, 공기 중 납 농도 등 필터시료분석 등 다양한 분야에서 많은 연구에 이용되고 있다(Clark 등, 1999; Galke 등, 2005; Jacobs 등, 2002; Kalnicky와 Singhvi, 2001; Morley 등, 1999; Schmehl 등, 1999; Bernick 등, 1995). 우리나라에서는 일부 산업장의 공기 중 납 농도에 대한 필터시료의 노출평가 및 산업장의 토양오염에 대한 노출 평가에 이용되었다(안규동 등, 2001; 2004; 이익진 등, 2004). 또한 공기중 납 농도에 대한 필터시료의 노출평가에서 FPXRF 기기의 분석방법에 대한 정확도와 정밀도, 편의에 대한 연구는 이루어진 바 있다(Kim 등 2007). 다만, 현장 시설물의 불균일성, 원형 파이프, 재질 등에 따른 환경시료의 다양한 특성을 고려할 때 향후 연구에서는 이러한 환경시료의 노출 특성에 대한 신뢰성과 타당성 연구가 이루어져야만 납의 다양한 노출특성에 따라 시간적, 비용적인 면에서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

## IV. 결 론

본 연구는 FPXRF를 이용하여 A시 일부 아파트의 놀이터의 놀이시설에 칠해져 있는 페인트 표면의 납 함유여부 및 납 농도를 평가했다. 또한 FPXRF의 활용을 위한 기초 자료를 얻고자 수행되었으며, 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

전체 놀이시설의 페인트 표면에서의 납 함유여부는 측정지점 93곳 중 83곳(92%)에서 납이 측정되었으며 측정된 납 농도의 평균은  $1.12\pm 1.76\text{mg}/\text{cm}^2$ 이었다. 도로인접여부에 따라 구분된 놀이시설 페인트 표면의 납 농도는 도로인접지역 놀이터의 페인트 표면 납 농도가  $1.20\text{mg}/\text{cm}^2$ 로 높게 조사되었으며, 이는 페인트의 덧칠이나 색상선택도에 따른 차이로 판단된다.

놀이시설의 재료에 칠해진 페인트 표면의 납 함유여부는 재료에 따라 차이를 보였으며 PVC 및 기타 재료에 함유된 납 농도가 1.97mg/cm<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났으며, 페인트의 색상에 따른 납 농도는 노란색 페인트 표면 납 농도의 평균이 3.23mg/cm<sup>2</sup>으로 다른 색과 비교하여 가장 높게 나타났다.

이상의 결과에서 아파트 놀이터의 놀이시설에 칠해진 페인트에 납이 89.2%가 함유되어 있다는 것은 향후 놀이시설 외에도 일반 어린이 활동공간에서 페인트의 납이 어린이의 납 노출과 관련된 잠재적인 납 노출원인으로 중요하게 고려되어야 한다.

한편 FPXRF는 놀이시설의 페인트 표면에 대한 현장 납 측정에서 시간적, 비용적인 면에서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료되며, 환경시료의 노출평가에 대한 신뢰성과 타당성에 대한 연구가 이루어진다면 일반 생활환경에서 납의 다양한 노출특성에 맞게 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- 안규동, 김남수, 김진호, 이익진, 조광성 등. 휴대용 X-Ray Fluorescence와 High Volume Air Sampler를 이용한 작업장 공기 중 납 농도 비교 연구. 한국산업위생학회 2004;11(3):71-76.
- 안규동, 이종천, 조광성, 김남수, 김진호 등. 휴대용 X-Ray 형광기기(XRF)를 이용한 공기 중 납 농도 평가. 한국산업위생학회 2001;11(3):235-240.
- 윤충식, 백도현. 유아교육시설의 표면 및 공기 중 납 농도 평가. 한국환경보건학회지 2006;32(1):1-7.
- 이익진, 안규동, 조광성, 김남수, 이성수. 납 사업장내 토양오염에 관한 연구. 한국산업위생학회 2004;14(3):290-300.
- 이준복, 김교봉, 정권, 김민영. 서울시내 어린이 놀이터 토양오염도 평가. 한국환경보건학회지 2006;32(4): 249-253.
- 이충대, 이윤진, 조남영. I시 어린이 놀이터의 토양 중 중금속 오염에 관한 연구. 한국환경위생학회지 2001;27(3):57-62.
- 산업자원부. 기술표준원 고시 제 2002-1675호. 저독성 페인트의 안전검사기준. 2002.
- 산업자원부. 품질경영 및 공산품 안전 관리법 시행규칙, 2005 통게청. 국가통계포털, 주택 총 조사 2005, Available from: URL:http://www.kosis.kr/
- 한국소비자원. 어린이 놀이터 놀이기구 도장 페인트 납중독 위험, 안전보고서 1997.
- 환경부. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법. 2007.
- 환경부. 대기환경보전법시행규칙. 2007.
- 환경부. 토양환경보전법시행규칙. 2007.
- Bernick MB, Kalnicky DJ, Prince G, Singhvi R. Results of field-portable X-ray fluorescence analysis of metal contaminants in soil and sediment. J Hazard Materials 1995;43:101-110.
- Bradman A, Eskenazi B, Sutton P, Athanasoulis M, Goldman LR. Iron deficiency associated with higher blood lead in children living in contaminated environments. Environ Health Perspect 2001;109(10):1079-1084.
- Brown MJ, Jacobs DE. Sources of blood lead in children. Environ Health Perspect 2006;114(1):A18-19.
- Brown MJ, McLaine P, Dixon S, Simon P. A randomized, community-based trial of home visiting to reduce blood lead levels in children. Pediatrics 2006;117:147-153.
- Clark CS, Thuppil V, Sinha S, Menezes G, D'Souza H, Nayak N, Kuruvilla A, Law T, Dave P, Shah S. Lead in paint and soil in Karnataka and Gujarat, India. J Occup Environ Hyg 2005;2:38-44.
- Clark S, Menrath W, Chen M, Roda S, Succop P. Use of a field portable x-ray fluorescence analyzer to determine the concentration of lead and other metals in soil samples. Ann Agric Environ Med 1999;6:27-32.
- Galke W, Clark S, McLaine P, Bornschein R, Wilson J, Succop P, Roda S, Breyse J, Jacobs D, Grote J, Menrath W, Dixon S, Chen M, Buncher R. National evaluation of the US department of housing and urban development lead-based paint hazard control grant program: Study methods. Environ Res 2005;98:315-328.
- HUD. Guideline for the evaluation and control of lead-based paint hazards in housing, chapter 7: lead-based paint inspection 1997 Revision; 1-47.
- Jacobs DE, Clickner RP, Zhou JY, Viet SM, Marker DA, Rogers JW, Zeldin DC, Broene P, Friedman W. The prevalence of lead-based paint hazards in U.S. housing. Environ Health Perspect 2002; 110(10):599-606.
- Kalnicky DJ, Singhvi R. Field portable XRF analysis of environmental samples. J Hazard Materials 2001;83:93-122.
- Kim NS, Kim JH, Ahn KD, Lee BK. Use of Field-portable x-ray fluorescence(FPXRF) analyzer to measure airborne lead levels in Korean workplaces. J Occup Health 2007;49:493-498.
- Lanphear BP, Burgoon DA, Rust SW, Eberly S, Galke W. Environmental exposures to lead and urban children's blood lead levels. Environ Res Section A 1998;76:120-130.
- Lanphear BP, Howard C, Eberly S, Auinger P, Kolassa J, Weitzman M, Schaffer SJ, Alezander K. Primary prevention of childhood lead exposure: A randomized trial of dust control. Pediatrics 1999;103:772-777.
- Lanphear B, Hornung R, Ho M, Howard CR, Eberle S, Knauf K. Environmental lead exposure during early childhood. Pediatrics 2002;140:40-47.
- Lanphear BP, Hornung R, Ho M. Screening housing to prevent lead toxicity in children. Public Health Reports 2005;120:120.

- Lanphear BP, Matte TD, Rogers J, Clickner RP, Dietz B, Bornschein RL, Succop R, Mahaffey KR, Dixon S, Galke W, Rabinowitz M., Farfel M., Rohde C, Schwartz J, Ashley P, Jacobs DE. The contribution of lead-contaminated house dust and residential soil to children's blood lead levels. *Environ Res Section A* 1998;79:51-68.
- Lead intoxication in a child related to the ingestion of playground paint chips - Quebec. *Canada communicable disease report* 1994;21(2):9-10.
- Leighton J, Klitzman S, Sedlar S, Matte T, Cohen NL, The effect of lead-based paint hazard remediation on blood lead levels of lead poisoned children in New York City. *Environ Res* 2003;92: 182-190.
- Lindern IV, Spalinger S, Petroysan V, Braun MV. Assessing remedial effectiveness through the blood lead: soil/dust lead relationship at the Bunker Hill Superfund Site in the Silver Valley of Idaho. *Science of the Total Environment* 2003;303:139-170.
- Mathee A, Rollin H, Levin J, Naik I. Lead in paint: Three decades later and still a hazard for african children?. *Environ Health Perspect* 2007;115(3):321-322.
- Meyer PA, Pivetz T, Dignam TA, Homa DM, Schoonover J, Brody D. Surveillance for elevated blood lead levels among children-United States, 1997-2001. *MMWR* 2003;52(SS-10):1-21.
- Montgomery M, Mathee A. A preliminary study of residential paint lead concentrations in Johannesburg. *Environ Res* 2005;98:279-283.
- Morley JC, Clark CS, Deddens JA, Ashely K, Roda S. Evaluation of a portable x-ray fluorescence instrument for the determination of lead in workplace air samples. *Appl Occup Environ Hyg* 1999;14:306-314.
- Nichani V, Li W, Smith MA, Noonam G, Kulkarni M, Kodavor M, Naeher LP. Blood lead levels in children after phase-out of leaded gasoline in Bombay, India. *Science of the Total Environment* 2006;363:95-106.
- NITON Corporation: XL 300 & 700 Series User's Guide Version 5.2. [Product Bulletin]. NITON Corporation, Bedford, MA; 1998.
- Ren HM, Wang JD, Zhang XL. Assessment of soil lead exposure in children in Shenyang, China. *Environ Pol* 2006;144:327-335.
- Schmehl RL, Cox DC, Dewalt FG, Haugen MM, Koyak RA, Schwemberger Jr JG, Scalera JV, Lead-based paint testing technologies: Summary of and EPA/HUD field study. *Am Ind hyg Assoc J* 1999;60:444-451.
- Takaoka M, Yoshinaga J, Tanaka A. Influence of paint chips on lead concentration in the soil of public playgrounds in Tokyo. *J Environ Monit* 2006;8:393-398.