

XRF를 이용한 어린이집 보육실내 마감재 중금속 노출연구

박정옥[†] · 최성우 · 김수빈 · 김도훈 · 조정구

부산광역시 보건환경연구원

A Study on the Heavy Metal in the Finishing Materials of Childcare Rooms using XRF

Jeong-ok Park,[†] Seong-woo Choi, Soo-bin Kim, Do-hoon Kim, and Jeong-gu Cho

Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan, 46616, Korea

Received February 1, 2017/Revised February 23, 2017/Accepted March 20, 2017

In this study, hazardous heavy metals used in 1,081 samples from childcare rooms were investigated with X-ray fluorescence (XRF) and inductively coupled plasma (ICP) analyses. Pb > Ba > Zn > Cr > Sb of heavy metals from paints and vinyl sheets were detected in order of descending concentration. A comparison of the analytical results from portable XRF and ICP revealed that, there was a similar tendency although there was a slight difference between the two measured datasets. The evaluation showed that the hazardous heavy metal of the highest concentration was Cd followed by Cr > Cu > Ba > Co > Pb > Sb. Therefore, XRF could be useful for measuring heavy metals above a certain concentration with the primary screening method. To keep childcare rooms healthy, it is necessary to add Ba, Sb and Zn which are contained in high concentrations in interior finishing materials to environmental safety standards.

Key words: X-ray fluorescence (XRF), Inductively coupled plasma (ICP), Finishing material, Childcare room

1. 서 론

도시화가 진행되고 주거형태가 밀집화되어 야외활동 보다는 실내활동을 하는 시간이 늘어나고 있어 실내 환경에 대한 관심이 날로 높아지고 있다. 특히 맞벌이 가정의 늘어나고 누리과정 등 보육에 대한 정부지원이 늘어남에 따라 어린이집 등 어린이시설에 대한 이용도가 계속적으로 증가하고 있어 제2의 가정인 어린이보육시설에 대한 환경관리의 중요성이 커지고 있는 실정이다.

이에 정부에서는 어린이 등의 건강보호를 위해 2006년 놀이터를 시작으로 보육시설, 학교 등으로 조사대상을 점차 확대하여 관리하고 있으며, 2009년에는 환경보건법 개정을 통해 어린이활동공간에 대한 실내공기오염물질, 중금속, 기생충 등 환경안전관리기준을 마련하여 시설의 소유주나 관리자가 유해요소를 안전하게 관리토

록 하는 법적 근거를 마련하였다.

그러나, 환경보건법에서 실내 마감재 중 함유될 수 있는 중금속은 Pb, Cd, Cr⁶⁺, Hg 4항목에 대해서만 기준 설정되어 있고, 환경부 고시(제2013-181호, 2013.12.30.)에서 위해성평가 실시 등의 대상이 되는 환경유해인자로 규정한 14종의 중금속 전체에 대해서는 관리되지 못하고 있다.¹⁾ 또한 실내 활동 중 마감재에서 중에는 어떤 종류의 중금속물질에 노출될 수 있는지 평가한 자료도 국내에는 미흡한 실정이다.

중금속을 관리하기 위한 측정에는 다양한 방법이 있다. 이중 가장 정밀한 방법은 ICP-OES와 ICP-MS법이지만 현장에서 직접 분석할 수 없고 복잡한 전처리과정으로 시료의 원상태가 파괴된다는 한계가 있다.^{2,3)} 따라서 보다 간편하게 측정하고 관리할 수 있도록 하기 위한 분석법과 장비의 필요성이 대두되었고,⁴⁾ 특히 유럽의

[†]To whom correspondence should be addressed.

RoHs 규제가 법제화 되면서 ISO/IEC 62321 RoHs Test Method(111/54/CDV)에서 Portable XRF(X-Ray Fluorescence)장치를 이용한 측정방법을 1차적인 스크리닝 검증방법으로 규정하고 있다. 이 방법은 유기물과 무기물에 대한 원소의 정성 및 정량분석이 가능한 방법으로 ICP나 ICP/MS를 이용한 분석방법과 달리 시료의 전처리과정이 필요 없거나 매우 간단하여 빠른 시험결과를 얻을 수 있기 때문에 산업계에서 품질 관리적 측면에서 유용하게 사용되고 있다.⁵⁾

이에 국내 환경보건법에서도 이러한 방법을 채택하여 어린이활동공간 내 마감재 중 중금속 검사 시에는 XRF를 이용하여 간이검사하고 Pb, Cd, Cr, Hg의 합산 농도가 기준치의 70%를 초과하는 마감재에 대해서 산분해 후 ICP 등으로 분석하여 최종 결과를 도출하도록 정해 놓고 있다.⁶⁾

따라서 본 연구에서는 휴대용 XRF를 이용하여 어린이집 보육실 내의 각종 마감재에 함유되어있는 유해 중금속 12종에 대한 노출 실태를 파악하고 ICP로 분석한 농도와 비교·분석하여 현장 적용성 가능과 환경안전기준 확대를 검토하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상 및 시료채취

본 조사는 2016년 3월부터 10월까지 10개월 동안 부산시 소재 어린이집 422개소 보육실내에 인테리어 또는 마감재로 사용된 도료, 시트지, 벽지, 장판 등 1,081건을 대상으로 실시하였다. XRF 측정은 어린이가 접촉할 수 있는 범위(160 cm 이내)를 고려하였으며 마감재의 재질과 색상이 다를 경우 각각 측정하였다. 일정 기준 이상의 함량을 나타내는 마감재는 칼을 사용하여 하부 재질이 혼입되지 않도록 조심스럽게 떼어내어 2g 가량 채취하여 유리용기에 담아 운반하여 정밀검사 시료로 사용하였다.

2.2. 휴대용 XRF를 이용한 중금속 함량 분석

2.2.1. XRF 분석방법

중금속 함유량 측정을 위해 XRF를 IEC 62321 RoHs

Table 1. XRF analyzer specs & conditions

Conditions	
Model	HD XRF/XOS, USA
SRM	Plastic SRM (PVC&PE)
X-ray tube Voltage	25~50 kV, 200 μ A
Analysis area	1 mm

Test Method 및 미국 소비자용품안전위원회(Consumer Product Safety Commission)에서는 비파괴적으로 빠른 시간에 전체 원소에 대해 분석이 가능한 1차적인 스크리닝 분석방법으로 규정하고 있다.⁷⁾ CPSC는 50 mg/kg 보다 낮은 제품에 대해서는 검출이 불가능할 수도 있으나 스크리닝 도구로서는 매우 유용한 장치이며 ICP결과와의 비교시 30% 내의 편차를 보이고 있고 대부분 XRF의 농도가 ICP 농도보다 높게 나타났다고 보고한 바 있다.⁸⁾

측정 전에는 80~120 mg/kg 농도의 Plastic SRM (PVC&PE)으로 제조사에서 자체 제작되어 ASTM 규정을 준수한 표준물질을 사용하여 기기상태를 확인하였다.

2.2.2. XRF 현장측정

휴대용 XRF 측정 오차를 줄이기 위해 편평한 면에서 XRF의 Scan단면을 검체 표면에 최대한 밀착시켜 30~60초 동안 측정하였다. 또한 동일한 재료라 하더라도 재질과 색상별로 각각 측정하였으며, 여러 겹으로 덧칠해진 도료의 경우에는 최종 마감재의 중금속농도를 측정하기 위해 아세톤과 메탄올을 1:1로 혼합한 액으로 분사하여 아래의 도료를 배제한 최상위 도료를 칼로 벗겨내어 시료를 편평하게 모으고 다져서 XRF 측정부위를 밀착하여 측정하였다.

2.3. ICP 분석방법

2.3.1. 전처리 방법

XRF 장비에 의해 중금속을 측정한 후 환경보건법 상 환경안전관리기준(Pb, Cr, Cd, Hg의 총합이 1,000 mg/kg 이하)의 70%를 초과하는 시료를 선별하여 「환경유해인자공정시험기준」에 따라 질산을 10 mL씩 첨가하여 CEM사 마이크로웨이브 장치로 산분해 후 Varian사

Table 2. Pretreatments and analysis instruments by item

	Items	Instruments
Pretreatments	As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn	Microwave / Mars5 / USA
Analysis	As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn	ICP / 720-OES Varian / USA

ICP-OES로 분석하였다.⁹⁾ 산분해를 위해 시료의 크기는 2 mm 이하 크기로 잘게 잘라 질산을 10 mL 넣고 1시간동안 침윤시킨 후 마이크로웨이브 분해를 실시하였다.

2.3.2. 분석방법 및 정도관리

각각의 기기분석의 정도관리를 위해 검정곡선은 매회 5개 이상의 표준용액을 사용하여 작성하였고, 검정곡선의 직선성은 결정계수(R^2) 값이 0.995 이상이 되도록 하였다. 또한 방법검출한계, 정확도, 정밀도를 구하여 기기 분석 결과의 신뢰성을 확인하였다.

2.4. 결과 비교 및 적용 가능성 검토

중금속 12종에 대해 XRF와 산처리 후 ICP 기기분석 값과의 비교를 위해 상관계수와 유의성 분석을 통해 항목별 현장적용 가능성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시설별 마감재 종류

환경보건법상 어린이활동공간에 대해 중금속 환경안전기준 적용범위는 어린이집 실내 마감재 중에서 도료, 시트지, 장판, 매트(고정형), 종이, 필름 등으로 정하고 있으며, 원목, 플라스틱, 타일, 석재 등은 천연소재로서 제외하고 있다.⁶⁾

본 실험에 사용된 마감재 중 보육실내 문과 문틀에 전체 347건 중 도료가 76%, 시트지가 24% 순으로 사용된 것을 조사되었으며, 창과 창틀은 98건 중 84%가 도료, 시트지는 16% 시공되어 있었다. 벽에는 종이(81%) > 도료(16%) > 시트지(3%) 순으로 많이 사용되었고, 어린이들의 접촉이 가장 많은 바닥재는 전체 93%의 시설에서 장판을 사용하였다(Fig. 1).

도료는 전체 시료수 중 400건으로, 방문, 창문, 벽 등

가장 광범위하게 사용되고 있는 것으로 조사되었으며, 색상은 흰색 > 분홍색 > 노랑색 > 녹색 > 청색 순으로 비교적 밝은 색을 많이 사용하였다. 인테리어를 강조하기 위해 사용되는 시트지는 어린이가 선호하는 대표적인 색상인 녹색, 적색, 황색, 청색 등 원색 위주의 색상들이 골고루 시공되어 있었으며, 그 중에서도 어린이가 가장 선호하는 색상은 황색으로 알려져 있다.¹⁰⁾

3.2. 휴대용 XRF를 이용한 중금속 측정 결과

본 연구에 사용된 마감재로는 도료 400건, 벽지 232건, 시트지 111건, 장판 314건, 데코타일 24건이었으며 현장에서 XRF로 측정된 값을 Table 3에 나타내었다. 도료에서는 Pb > Ba > Zn > Cr > Sb 순의 높은 값으로 검출되었으며, Pb는 175,518 mg/kg, Ba는 40,429 mg/kg Zn는 30,646 mg/kg 농도가 최고치로 나타났다. Pb는 중독성을 가지며, Ba는 장기간 접촉시 피부염을 유발하며 결막염이 발생시킬 수 있는 물질로 알려져 있고, Zn은 필수 미량원소로 극단적인 독성은 없으나 고농도일 경우에는 독성을 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

시트지에서는 Zn > Pb > Ba > Sb > Cr 순으로 높은 농도였고, Zn이 50,523 mg/kg, Sb이 34,274 mg/kg으로 가장 높은 값으로 나타났다. Sb는 피부염, 후두염, 인두염과 폐질환 등을 유발하는 물질로 알려져 있으며, Cr은 3가 이온일 경우 생체에서 당 대사에 관여하는 등 몸에 필요한 원소이지만 6가 이온은 반응성이 강하고 독성이 있는 돌연변이 유발원으로,¹¹⁾ 환경기준에서는 엄격히 규제하고 있어 Cr이 1차적으로 높게 검출되면 반드시 6가크롬 함유량을 확인할 필요가 있다고 사료된다.

벽지에서는 Zn > Ba > Sb > Sn 순이었고, 다른 중금속에 비해 Zn이 최고 133,731 mg/kg의 농도로 나타났고 Sb는 7,655 mg/kg, Ba는 3,523 mg/kg이 최고치

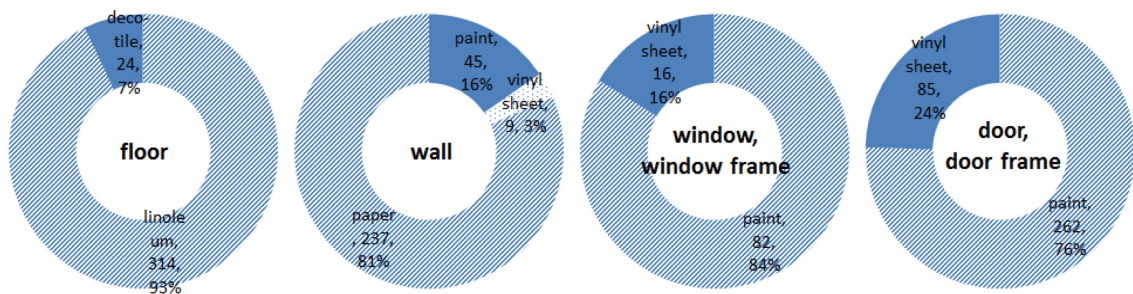


Fig. 1. Finishing material type by facility.

로 나타났으나, 유해 중금속류인 Pb와 Cd은 평균 19 mg/kg, 24mg/kg 의 농도로 각각 나타나 도료나 시트지에 비해 안전한 것으로 조사되었다. Sn은 소화관에서 흡수가 잘 되지 않기 때문에 경구독성이 일반적으로 낮은 것으로 알려져 있다.⁸⁾

장관은 Ba > Zn > Sb > Sn, Cd 순, 테코타일은 Ba > Zn > Pb > Cd > Sb 순으로 검출되었으나 도료와 시트지에 비해 Pb, Cd, Cr과 같은 유해중금속 함량은 훨씬 낮게 조사되었다.

또한 As, Co, Cu, Ni, Se, Sn은 대부분 마감재에서 평균값이 100 mg/kg 보다 훨씬 낮은 값으로 조사되어 원료나 생산 과정에서 유입 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 중금속 농도가 비교적 높은 마감재인 도료와 시트지에 대한 ICP 분석값과 XRF 측정 결과를 비교해 보았다.

3.3. 정밀분석을 위한 정도관리

ICP 분석 결과에 대한 신뢰성 확인을 위해 정량한계

와 직선성, 정확도, 정밀도를 각각 측정하여 Table 4에 나타내었고, 검량곡선 그래프는 Fig. 2와 같다. 정량한계는 0.01 mg/L 용액을 7회 이상 측정하여 구하였으며, 검정곡선 작성을 위해 5개 이상의 농도를 사용하였고, 정밀도와 정확도를 산정하기 위해 같은 농도의 시료를 4개 이상 분석하여 평균값과 표준편차를 구하여 산정하였다. 모든 정밀 시험방법에서 방법검출한계 0.0005~0.0075 mg/L를 구할 수 있었고, 직선성(R²)은 0.9995~1.0000, 정확도는 89.3~102.2%, 정밀도는 0.2~6.2%의 양호한 값을 얻을 수 있었다.

3.4. XRF 및 ICP 기기분석 결과 비교

3.4.1 도료

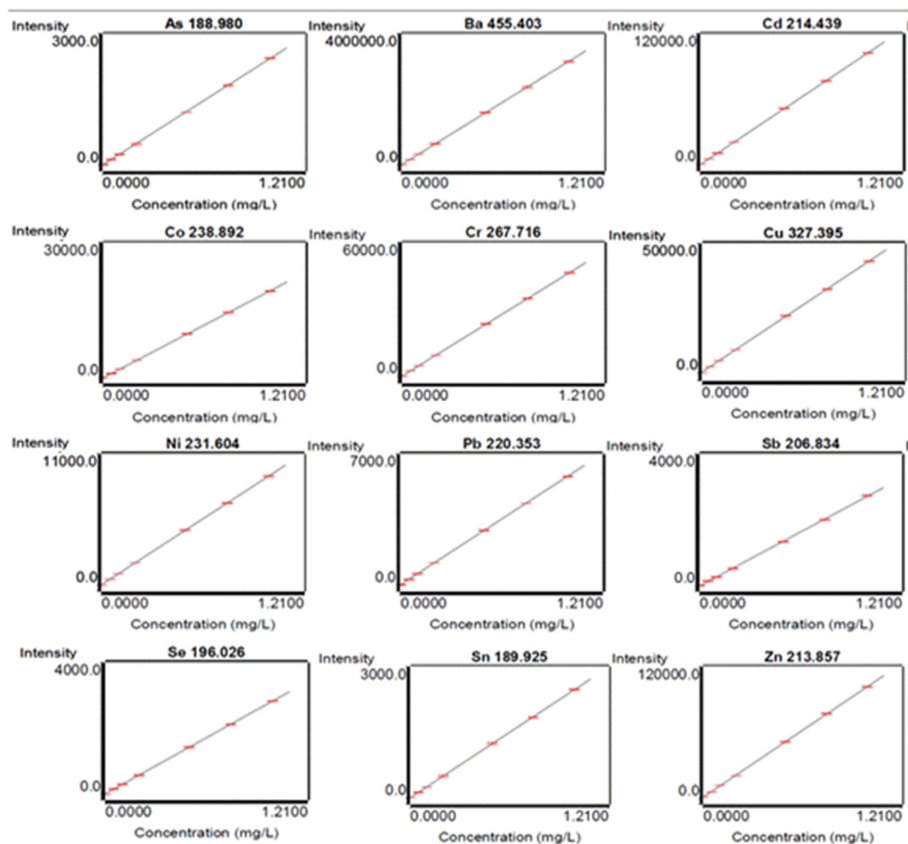
보육실 내에 벽, 방문, 창문 등에 시공된 도료에 대해 XRF 측정법의 현장적용 가능성을 평가하기 위해 시료 84건에 대해 XRF로 검사하고 시료를 채취하여 산처리 후 기기분석으로 ICP를 실시하여 값을 비교하였다(Fig. 3).

Table 3. Portable XRF concentration by finishing material

No. of Samples		Paint (mg/kg)	Vinyl sheet (mg/kg)	Paper (mg/kg)	Flooring	
					Linoleum (mg/kg)	Deco-tile (mg/kg)
		400	111	232	314	24
As	Mean.	29	93	3	3	11
	Range	(1~1289)	(2~2,912)	(1~33)	(1~46)	(2~43)
Ba	Mean.	1489	1231	243	1064	1521
	Range	(40~40,429)	(40~6,330)	(37~3,523)	(7~3,745)	(296~3,999)
Cd	Mean.	32	295	24	35	173
	Range	(2~572)	(5~5,854)	(3~526)	(4~569)	(7~420)
Co	Mean.	29	4	14	8	11
	Range	(1~978)	(3~90)	(6~229)	(2~41)	(6~21)
Cr	Mean.	537	423	17	26	42
	Range	(3~25,180)	(7~11,141)	(4~567)	(6~140)	(27~76)
Cu	Mean.	13	15	6	5	7
	Range	(2~475)	(3~256)	(2~32)	(2~24)	(4~13)
Ni	Mean.	16	17	7	9	13
	Range	(4~339)	(6~108)	(4~69)	(4~17)	(8~20)
Pb	Mean.	2190	1240	19	16	185
	Range	(1~175,518)	(2~24,496)	(1~360)	(1~355)	(4~832)
Sb	Mean.	202	927	120	58	111
	Range	(7~10,437)	(2~34,274)	(1~7,655)	(12~3,503)	(20~682)
Se	Mean.	3	4	1	1	2
	Range	(0~131)	(1~50)	(1~8)	(1~2)	(1~2)
Sn	Mean.	80	71	55	35	55
	Range	(7~4,008)	(7~1,867)	(13~350)	(1~156)	(19~364)
Zn	Mean.	771	1909	1097	323	262
	Range	(2~30,646)	(7~50,523)	(2~133,731)	(2~7,305)	(54~568)

Table 4. Quality control of ICP analysis by heavy metal

QC. value	Detection Limit (mg/L)	Linearity (R^2)	Accuracy (%)	Precision (%)
As	0.0030	1.0000	100.3	2.9
Ba	0.0018	0.9995	94.9	0.6
Cd	0.0005	0.9999	94.9	0.6
Co	0.0015	1.0000	92.3	0.6
Cr	0.0012	0.9999	102.2	0.2
Cu	0.0030	1.0000	89.3	1.6
Ni	0.0013	1.0000	93.0	1.4
Pb	0.0036	0.9997	100.0	6.2
Sb	0.0055	1.0000	98.7	2.5
Se	0.0052	1.0000	91.5	1.1
Sn	0.0056	1.0000	108.5	0.3
Zn	0.0075	0.9999	100.3	3.8

**Fig. 2.** Calibration curves of ICP analyses by heavy metal.

도료 중에서는 Ba, Cr, Pb, Zn이 비교적 높은 농도로 검출되었고 XRF 측정값과 ICP 측정값이 농도 차이는 있지만 비슷한 경향을 보였다. 일반적으로 XRF값이 ICP 값보다 높게 나타난다고⁸⁾ 알려져 있지만 Ba, Cr, Pb은

10,000 mg/kg 이상의 고농도에서 ICP 분석값이 XRF 측정값보다 대체적으로 높은 농도로 조사되었고, Zn은 XRF값이 높게 나타나 항목에 따라 약간의 차이를 보였다. 이는 스캔단면의 두께나 내부재질의 차이, 잦은 덧

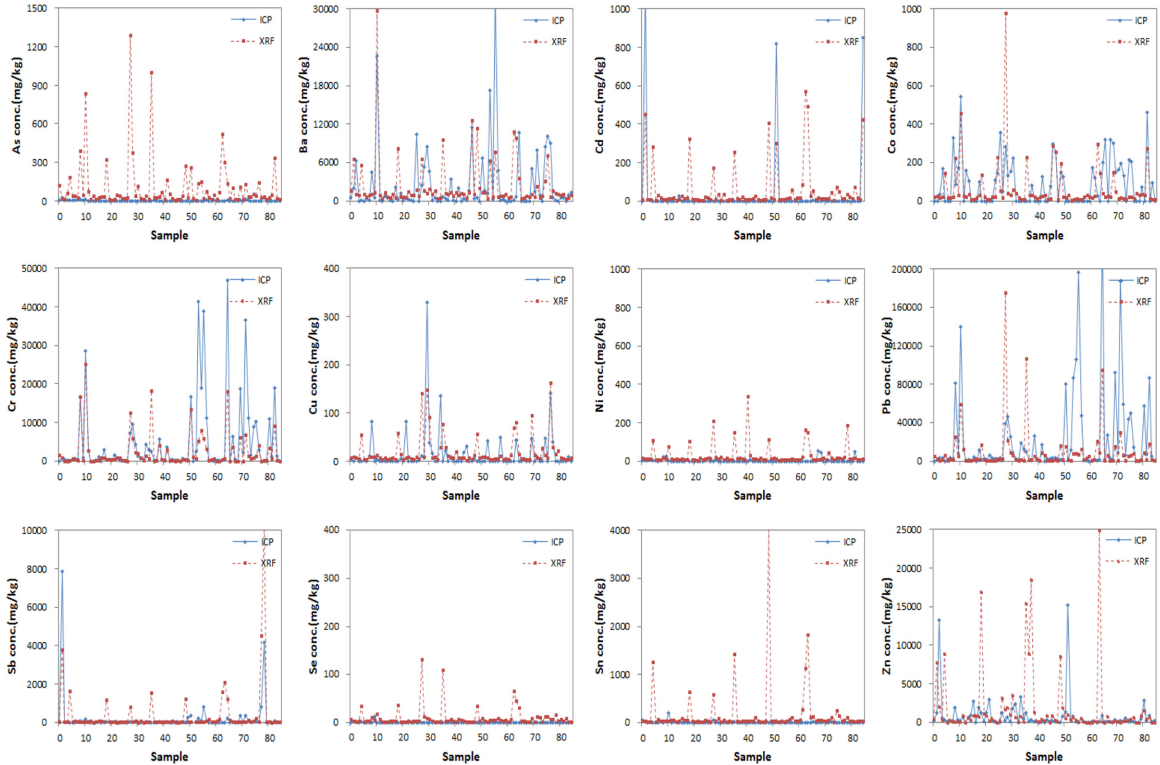


Fig. 3. Comparison of XRF and ICP measurements in paints.

칠 등을 통해 그 전에 시공된 도료성분이 XRF 측정치에 영향을 줬기 때문으로 판단된다.

반면, As, Cd, Ni, Se, Sn 등 XRF에서 낮은 값을 보인 항목들은 ICP분석 결과, 대부분 불검출 또는 XRF보다 훨씬 낮은 농도로 조사되었다.

3.4.2. 시트지

인테리어 시트지 37종에 대한 XRF 측정결과와 ICP 분석 비교 그림은 Fig. 4와 같다. 시트지에서는 Ba, Cr, Pb, Sb, Pb, Zn이 다른 중금속 항목에 비해 검출률이 높았고 두 시험방법에서 비슷한 경향을 보였으며 Ba과 Cd를 제외하고는 XRF측정값이 ICP보다 높게 나타났다. 도료에 비해 시트지에서는 Sb과 Cd이 높게 검출되었는데, Sb는 XRF 측정값이 ICP 분석값보다 4~10배 이상 높게 나타났다. Cd의 경우, ICP 분석결과 0~1,331 mg/kg 범위로 대부분의 시트지에서 검출되었고 독성이 강하고 발암성으로 알려져 있어¹⁰⁾ 관리가 필요할 것으로 사료되며 현행 시험법에서는 기준의 70% 이상 시설에 대해 정밀검사를 하도록 정해져 있는데⁶⁾ 이를 50%로 강

화할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Co, Cu, Zn은 일부 시트지에서 두 가지 방법 모두에서 소량씩 검출되었고, As, Ni, Se, Sn은 XRF에서는 소량 검출되었으나 ICP에서는 모두 불검출로 조사되었다.

3.5. XRF 현장적용 가능성 평가

실내 마감재 중 환경유해인자로 규정된 12종 중금속에 대해 XRF 측정법의 현장적용 가능성을 알아보기 위해 도료와 시트지 121건에 대해 ICP 정밀분석 값과의 상관계수와 유의성 평가를 실시하였다(Table 5). 도료에서 유의성(P-Value)을 보이는 0.05 이하의 값을 보이는 항목은 Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Sb 7항목으로 나타났고 시트지에서는 Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Sb, Zn 7항목으로 조사되었는데 XRF 평균농도가 100 mg/kg 이상을 나타내는 항목에서 유의성이 있는 것으로 나타났다.

도료와 시트지의 전체 마감재에 대한 XRF와 ICP 측정값의 유의성 평가에서 항목별로는 Cd > Cr > Cu > Ba > Co > Pb > Sb 순으로 나타났고 As, Cu, Ni, Se, Sn은 XRF 측정에서 소량 검출되어도 ICP 분석결과

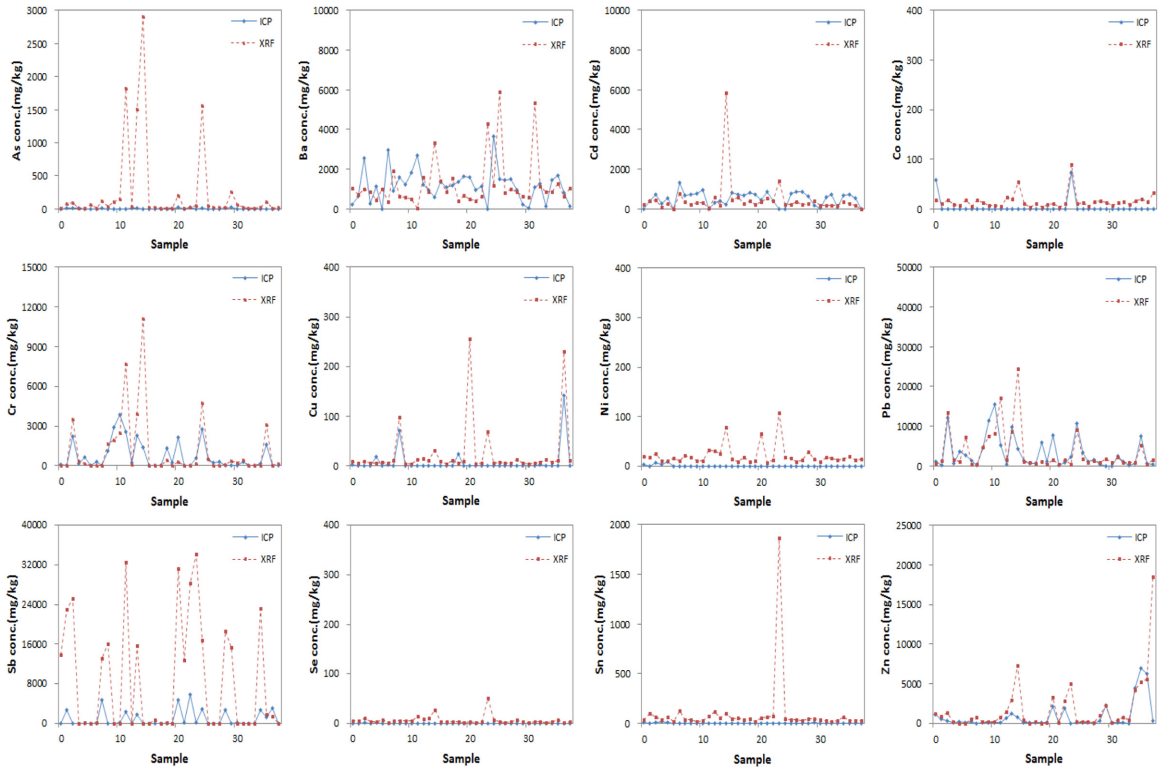


Fig. 4. Comparison of XRF and ICP measurements in vinyl sheets.

Table 5. Coefficient of correlation and significance analysis

	Coefficient of correlation (R^2)			Significance (P-value)		
	Total	Paint	Vinyl sheet	Total	Paint	Vinyl sheet
As	0.0159	0.0005	0.0237	0.1645	0.8379	0.3559
Ba	0.2746	0.2811	0.0206	0.0000	0.0000	0.3897
Cd	0.5324	0.2831	0.3029	0.0000	0.0000	0.0003
Co	0.2308	0.1962	0.4194	0.0000	0.0000	0.0000
Cr	0.4372	0.4566	0.3750	0.0000	0.0000	0.0000
Cu	0.2794	0.3466	0.4111	0.0000	0.0000	0.0000
Ni	0.0044	0.0066	0.0054	0.4671	0.4604	0.6615
Pb	0.1819	0.1671	0.3235	0.0000	0.0001	0.0002
Sb	0.3250	0.4349	0.3699	0.0002	0.0000	0.0000
Se	0.0003	0.0006	0.0026	0.8530	0.8174	0.7592
Sn	0.0001	0.0003	0.0036	0.9084	0.8696	0.7221
Zn	0.0067	0.0003	0.1173	0.7696	0.8842	0.0000

대부분 불검출로 분석되어 정확한 결과값을 도출하기에는 다소 무리가 있을 것으로 보인다. 하지만 어린이집 실내 마감재에서는 이러한 물질들이 대부분 불검출이어서 우려할 수준은 아닌 것으로 조사되어 일정농도 이상의 중금속 측정을 위해서는 XRF가 신뢰성 있는 스크리

닝법으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

5세미만 어린이들에게 제2의 가정인 어린이집의 보육

실 실내마감재 1,081건의 중금속 12종 함량을 휴대용 XRF를 이용하여 측정하고 일부 고농도 시료 121건에 대해 ICP-OES로 정밀 분석하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보육실내 시설별 마감재 종류는 문과 문틀에는 도료(76%) > 시트지(24%), 창과 창틀에 도료(84%) > 시트지(16%), 실내벽에는 종이(81%) > 도료(16%) > 시트지(3%), 바닥에는 장판(93%) > 테코타일(7%) 순으로 많이 시공되어 있었으며, 도료가 가장 광범위하게 사용되고 있었다.

2. 현장에서 휴대용 XRF로 마감재에 대한 중금속 측정 결과, 도료에서 Pb > Ba > Zn > Cr > Sb 순으로 높은 농도로 검출되었으며, 시트지에서는 Zn > Pb > Ba > Sb > Cr 순으로 나타났다. 벽지에서는 Zn > Ba > Sb > Sn 순이었고, 장판은 Ba > Zn > Sb > Sn, Cd 순, 테코타일은 Ba > Zn > Pb > Cd 순으로 검출되었으나 도료와 시트지에 비해 Pb, Cd, Cr과 같은 유해중금속 함량은 훨씬 낮은 농도로 조사되었다.

3. 휴대용 XRF와 ICP 측정값 비교를 위해 환경보건법 기준의 70%를 초과한 도료와 시트지에 대해 ICP로 정밀 분석한 결과, XRF 측정값과 ICP 측정값이 농도차이는 있지만 비슷한 경향을 보였고, XRF 측정 결과가 평균 10,000 mg/kg 이상을 보이는 Pb, Ba, Cr 등에서는 ICP분석값이 더 높은 농도로 나타났다.

4. XRF와 ICP 측정값의 유의성 평가에서 Cd > Cr > Cu > Ba > Co > Pb > Sb 순으로 나타났고 As, Cu, Ni, Se, Sn은 유의성이 없는 것으로 나타났으나 어린이집 실내 마감재에서는 이러한 물질들이 거의 불검출이고 우려할 수준은 아니므로, 일정농도 이상의 중금속 측정을 위해서는 신뢰성 있는 1차 스크리닝법으로 유용하게 사용될 수 있음을 확인하였다.

5. 최근에 개정된 공공체육시설-탄성포장재 KS기준에 Ba, Sb, Zn 등 중금속 15종을 추가하여 관리하게 된 사실은 매우 고무적인 일이다. 어린이들의 실내공간 안전을 위해 고농도로 함유되어 있는 Ba, Sb, Zn도 환경안전기준 추가를 검토할 필요가 있으며, XRF 측정농도가

기준의 70% 초과 시 정밀검사를 의무 실시하도록 하는 현행 규정을 50% 초과로 강화하여 관리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립환경과학원의 「환경분야 시험·검사의 국제적 적합성 기반구축사업」에 따른 국고보조금 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 환경부, 환경보건법, “위해성평가 실시 등의 대상이 되는 환경유해인자의 종류”, 환경부 고시(제2013-181호, 2013.12.30.), 2013.
2. F. L. Melquiades, C. R. Appoloni, “Application of XRF and field portable XRF for environmental analysis”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2004, 262, 533-541.
3. M. Bounakhla, K. Embarch, F. Embarch, E. Zahry, E. Bilal and P. Kump, “Capabilities of elemental analysis by EDXRF for geochemistry”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2007, 275, 467-478.
4. 최수정, 김종혁, 이석근, “Bench-Top ED-XRF 및 휴대용 XRF를 이용한 토양 시료 중의 중금속 비교 분석”, *분석과학회지*, 2009, 22, 293-301.
5. 노문욱, “XRF 분석에 의한 매립지 주변 토양분석에 관한 연구”, 밀양대학교, 2006, 12.
6. 환경부, “어린이활동공간 환경보건 업무지침”, 2017, 6-15.
7. ISO/IEC 62321 RoHs Test Method, 2008, Edition 1.0, 19-29.
8. 김형진, 백영만, 정경훈, 홍석연, 허화진, 성진욱, 박제철, “Portable XRF를 이용한 어린이 야외놀이용품의 중금속 측정”, *한국환경과학회지*, 2013, 22, 471-479.
9. 환경부, “환경유해인자공정시험기준”, 2014, 391-443.
10. 허선훈, 원종일, “어린이 놀이시설의 소재 색상에 따른 유해중금속 분석 연구”, *한국안전학회지*, 2014, 30, 14-20.
11. 식품의약품안전처, 독성정보제공시스템, <http://www.nifds.go.kr/toxinfo>, November 2016.