

어린이 놀이시설의 소재 색상에 따른 유해중금속 분석 연구

허선희 · 원종일[†]

동국대학교 안전공학과

(2014. 7. 24. 접수 / 2015. 2. 3. 수정 / 2015. 4. 14. 채택)

Analysis of Hazardous Heavy Metal in Colored Materials of Playground Facility for Children

Sun Hae Huh · Jong-Il Weon[†]

Department of Safety Engineering, Dongguk University

(Received July 24, 2014 / Revised February 3, 2015 / Accepted April 14, 2015)

Abstract : The content of hazardous heavy metal of materials used in playground facility for children was investigated using X-ray fluorescence (XRF) and inductively coupled plasma (ICP) analyses. In order to examine the content of hazardous heavy metals according to the material color, four colors, i.e., green, red, yellow and blue, were categorized on the materials used. The highest lead content is observed in the yellow plastic samples. The yellow samples with relatively high lead content show that the chrome content is also high. This can be explained that lead chromate, so-called chromium yellow, is normally used as a main pigment to express the yellow color. Therefore, it is concluded that hazardous heavy metal detected in the materials of playground facility for children is due to the pigments used for coloring. Based on above findings, the relationship between the color of materials used in playground facility for children and the content of hazardous heavy metal is discussed.

Key Words : hazardous heavy metal, playground, pigment, plastic, synthetic rubber

1. 서론

21세기 산업 기술의 발달은 인간생활을 풍요롭게 만들었지만, 각종 오염물질의 배출로 인하여 환경이 크게 오염되고 있다. 특히 유해중금속 오염은 생태계의 먹이사슬을 파괴하여 인체 및 생태계에 독성 및 위험성을 초래하고 있다¹⁾. 국제적으로 특정위험물질사용제한지침인 RoHS(restriction of hazardous substances), 폐가전제품의 의무재활용에 관한 규제인 WEEE(waste electrical and electronic equipment), 폐자동차의 의무재활용에 관한 규제인 ELV(european union's end-of-live-vehicle direction), 신화학 물질 관리 제도인 REACH(registration, evaluation, authorization and chemicals) 등의 다양한 환경 규제가 발효되어 유해중금속에 대한 규제를 강화하고 있다. 그 중에서도 어린이 용품에 대해서는 보다 강화된 규제가 적용되고 있다²⁾.

일반적으로 음료수, 식품, 분진, 토양 및 장난감등이 어린이의 잠재적인 유해중금속 노출원인으로 알려져

있다³⁾. 어린이는 손에 잡히는 물건을 입에 가져가거나, 피부에 문지르는 등의 행동학적 특성이 있다. 이러한 특성은 어린이 중금속 중독의 직접적인 원인이 된다. 어린이는 신경계, 생식기계, 호흡기계 및 면역계 등이 미숙한 상태이기 때문에 어린이용품에 대해 별도의 중금속 함유량 규제가 필요하다. 유아는 태어난 후 부터 6 달 동안 태어날 당시 체중의 두 배 이상으로 성장한다. 어린이는 성인보다 1.5 배나 높은 신진대사율을 가지고 있어 중금속 흡수율이 높다. 반면 체내에 들어온 유해중금속을 해독하거나 체외로 배출하는 능력은 떨어진다. 따라서 성인에 비해 어린이들은 유해중금속에 쉽게 중독될 수 있다. 특히 성장하는 시기에 유해물질에 노출되면 성장발육장애, 학습장애, 생식기계 이상 등 평생에 걸쳐 악영향을 받게 된다.

기존 선행연구는 어린이 활동공간에서의 토양오염, 대기오염 그리고 놀이시설에 사용되는 소재 등에 대해 유해중금속 조사가 실시되었다^{4,5)}. 하지만, 소재의 색상에 관한 유해중금속 실태조사가 미흡한 실정이며, 이에

[†] Corresponding Author : Jong-Il Weon, Tel: +82-54-770-2255, E-mail: jiwen@dongguk.ac.kr
Department of Safety Engineering, Dongguk University, 123, Dongdae-ro, Gyeonju, Gyeongsangbuk-do 780-714, Korea.

대한 추가적인 연구가 필요하다. 어린이 놀이시설은 철재나 플라스틱, 목재 등의 원재료로 이루어져 있다. 그리고 어린이의 인지발달을 위해 여러 가지 색상이 사용된다. 일반적으로 어린이 놀이시설은 2~4 색의 원색으로 되어있고, 어린이가 선호하는 대표적인 네 가지 색상으로는 녹색(green), 적색(red), 황색(yellow), 청색(blue) 등이 있다. 그 중에서도 어린이가 가장 선호하는 색상은 황색으로 알려져 있다⁵⁾. 합성고무 및 플라스틱 소재의 착색 시 색상 구현을 위해 안료(pigments)가 사용된다. 과거에는 다량의 유해중금속이 함유된 안료를 플라스틱 착색에 사용하였다. 이러한 유색 플라스틱 장난감 및 어린이 놀이시설이 현재에도 사용되고 있다.

일반적으로 유해중금속에 대한 정밀하고 정량적인 분석을 위해, 유도결합플라즈마(inductively coupled plasmas spectrometry, ICP)분석법을 사용한다. 하지만 ICP 분석법은 시료의 전처리 과정이 복잡하고, 전처리 시간이 오래 걸린다. 또한 파괴적인 분석방법으로 동일한 부위에 대한 재분석이 불가능하다. 이에 전처리 과정이 없이, 시간과 장소에 대한 제약이 적고, 재료에 손상을 주지 않고 재측정이 가능한 비파괴적인 분석법이 필요할 것으로 판단된다^{6,7)}. 본 연구에서는 어린이의 행동특성을 고려하여 피부에 직접 닿는 어린이 놀이시설에 대해 비파괴적인 분석법인 X-선 형광 분석법(X-ray fluorescence spectrometry, XRF)과 파괴적인 분석법인 ICP 분석법을 동시에 이용하여 유해중금속 함유량을 비교·분석하였다. 소재 색상에 따른 유해중금속 실태를 조사함으로써, 향후 어린이 놀이시설 중 소재 색상에 따른 안전기준을 설정할 수 있는 가이드라인으로 활용하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 실험대상 및 시료 명명법

본 연구는 A 시에 소재한 아파트 및 초등학교의 어린이 놀이시설 35 개소를 대상으로 유해중금속 함유량 조사를 실시하였다. 시료의 정확한 분류를 위해 Table 1과 같이 시료를 명명하였다.

Table 1. Nomenclature of sample used in this study

Place		Material		Color	
A	apartment	SR	synthetic rubber	G	green
				R	red
E	elementary school	PL	plastic	Y	yellow
				B	blue

2.2. 실험방법

2.2.1. X-선 형광분석법

X-선 형광분석을 위하여 Elvatech 사의 ElvaX prospector field-potable ED-XRF (energy dispersive X-ray fluorescence)모델을 사용하였다. 시료표면은 3M Dust remover와 증류수를 사용하여 2~3 회 닦아낸 후 IR (infrared ray) 접근센서를 밀착시켜 측정하였다. 측정 전에 크롬, 납, 카드뮴, 수은 등 네 가지 원소를 지정하고, 측정면적(active area)은 6 mm², 분석 시간은 60 초로 설정하였다. 각각의 소재별 측정모드를 개별 설정하였고, 보정(calibration) 후 측정을 실시하였다. 시료는 5 회 이상 연속, 반복하여 측정하고 평균값 및 표준편차를 계산하였다.

2.2.2. 유도결합플라즈마분광분석법

Perkin-Elmer 사의 OPTIMA 4300 ICP-OES(inductively coupled plasma optical emission spectrometer) 분석기기를 사용하여 유도결합플라즈마분광분석을 실시하였다. Milestone 사의 ETHOS 1 microwave digestion system을 사용하여 초단파 분해법으로 시료의 전처리를 하였다. 전처리 공정은 먼저 미세하게 분쇄한 0.25 g의 시료를 테프론 용기에 담아 질산(HNO₃) 7 mL와 불산(HF) 1 mL를 추가하여 용기를 막고, 초단파 분해 장치에 장착한 후 초단파 분해법으로 분해하였다. 시료를 분해한 후 용기를 상온에서 냉각하고, 분해액을 플라스크에 담아 증류수를 50 mL 눈금까지 첨가하여 희석한 후 ICP 분석을 수행하였다. 2 번 이상 분석한 후 평균값을 계산하였다.

3. 연구 결과

3.1. 합성고무 바닥재의 유해중금속 함유량 조사

합성고무 바닥재는 대부분 녹색과 적색 소재인 이우로, 녹색과 적색으로만 구분하여 측정하였다. Fig. 1(a)는 녹색 합성고무 바닥재에 대한 유해중금속의 함유량을 조사하여 나타내었다. 녹색 합성고무 바닥재에서는 미량의 납과 카드뮴이 검출되었고 크롬과 수은은 검출되지 않았다.

Fig. 1(b)는 적색 합성고무 바닥재의 유해중금속에 대한 함유량을 조사한 결과이다. 미량의 크롬(chrome, Cr), 납(lead, Pb), 카드뮴(cadmium, Cd), 수은(mercury, Hg)이 검출되었다. 특히 모든 시료에서 미량의 납이 검출되었다.

2011년 4월 환경부가 발행한 ‘친환경 안심 어린이 활동공간 관리 가이드라인’에 의하면, ‘합성고무 재질

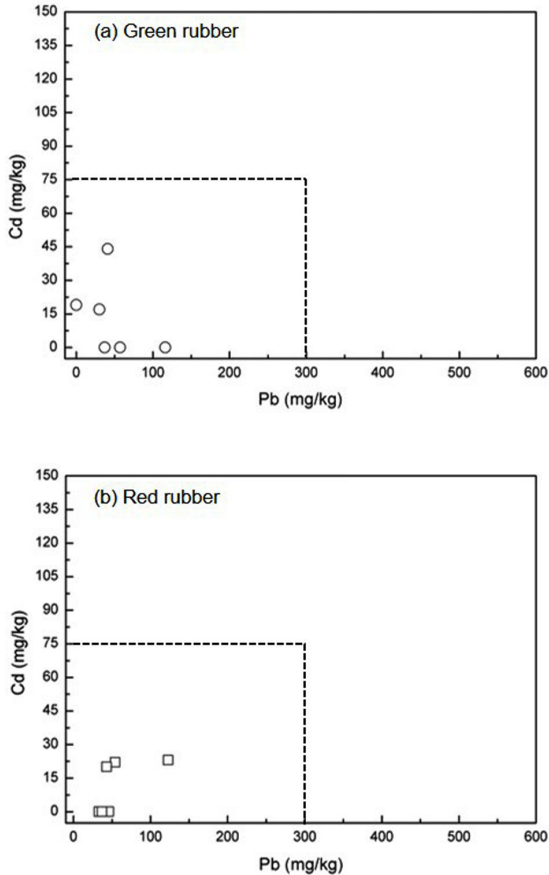


Fig. 1. Hazardous heavy metal content of the synthetic rubber. (criterion: Pb=300 mg/kg, Cd=75 mg/kg)

바닥재의 유해원소는 사용되는 안료에 주로 기인한다.’고 보고하였다⁸⁾. 최근 국립환경과학원의 ‘놀이터 바닥재로부터 용출되는 중금속 노출 특성’ 연구보고서에 의하면, 바닥재에는 크롬 4 mg/kg, 납 15 mg/kg이 함유되었다고 보고하였다⁹⁾. 본 연구에서는 납의 평균 함유량이 각각 녹색은 56 mg/kg, 적색은 53 mg/kg을 나타내었다. 따라서 조사된 모든 합성고무 바닥재는 산업통상자원부와 안전행정부의 국내 어린이용 공산품 및 어린이 놀이기구의 유해물질 안전기준(Pb: 300 mg/kg, Cd: 75 mg/kg)을 초과하지는 않았다. 하지만, 현재 미국의 소비자제품안전개선법(CPSIA)에 의하면, 어린이용 제품의 납 규제 기준을 100 mg/kg이하로 규정하고 있다. 본 연구 결과에서도 일부 시료의 납 함유량이 100 mg/kg을 초과하는 경우가 있었다. 유해중금속인 납은 어린이가 바닥재에 일정시간 접촉할 경우 피부나 호흡기를 통해 체내에 축적되어 만성중독을 일으킬 가능성이 있다. 따라서 국내에서도 합성고무 바닥재 및 어린이 놀이시설에 대한 납 안전기준을 100 mg/kg이하로 강화하는 것이 바람직하다고 사료된다.

3.2 플라스틱 소재의 유해중금속 함유량 조사

3.2.1 X-선 형광분석

Fig. 2는 녹색 플라스틱 소재에 대한 유해중금속의 함유량을 조사한 결과이다. 총 25개 시료 중 4개 시료(16%)가 납의 안전기준을 초과하였다. Fig. 2(a)는 유해물질 안전기준(Pb: 300 mg/kg, Cd: 75 mg/kg)으로 정해져 있는 유해중금속인 납과 카드뮴의 함유량을 조사한 결과이다. 조사된 전체 시료 중 카드뮴의 함유량이 초과된 시료는 없었다. 유해중금속 기준치를 초과한 4개 시료는 모두 납에 대한 기준치만을 초과한 것으로 나타났다. 또한, 납에 대한 기준치를 초과한 시료는 크롬 성분도 함께 검출되는 경향을 보였다(Fig. 2(b)).

적색 플라스틱 소재의 유해중금속 함유량을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 각 시료에 포함된 납과 카드뮴의 함유량을 보여준다. 총 24개의 시료 중에서 5개 시료(21%)가 안전기준을 초과하였다. 그 중 4개는 납의 함유량이 기준치를 초과하였으며, 나머지 시료는 카드뮴의 함유량이 기준치를 초과하였다. 유해중금속의 기준치를 초과한 시료 중, 납의 함유량을 초과한 시

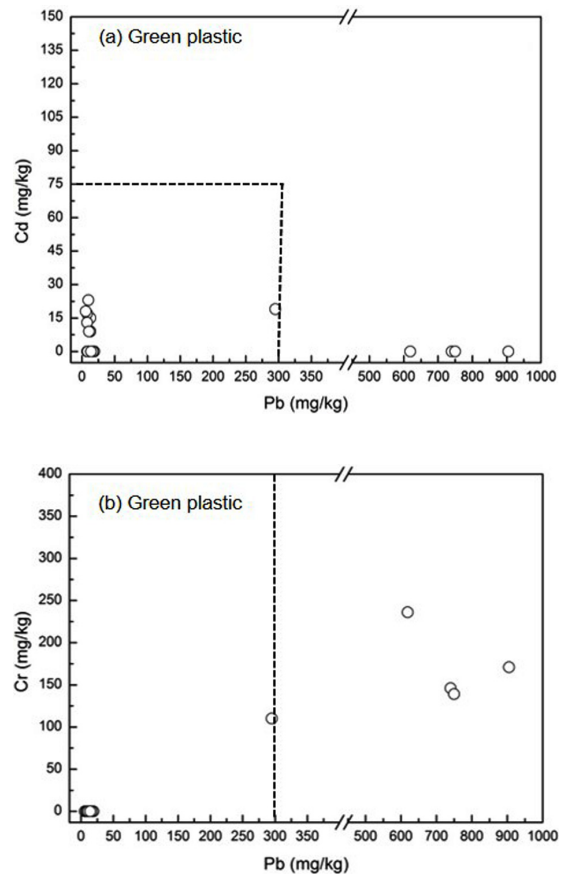


Fig. 2. Hazardous heavy metal content of the green plastic. (criterion: Pb=300 mg/kg, Cd=75 mg/kg)

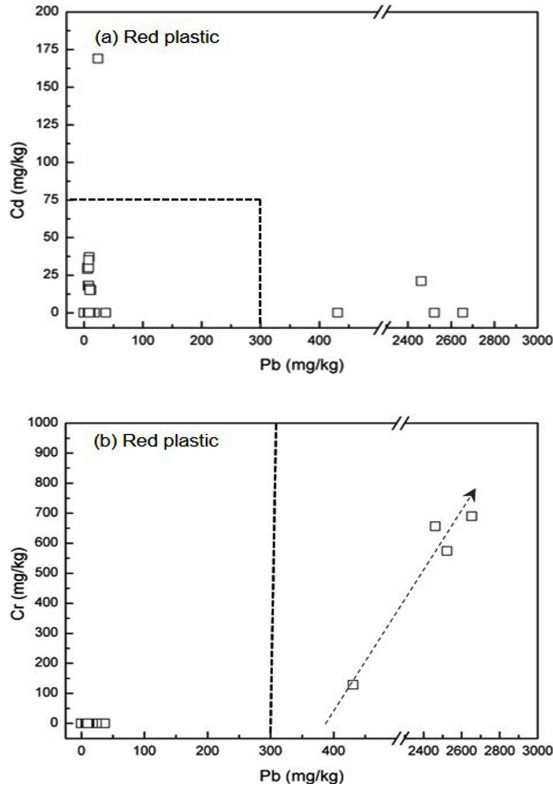


Fig. 3. Hazardous heavy metal content of the red plastic. (criterion: Pb=300 mg/kg, Cd=75 mg/kg)

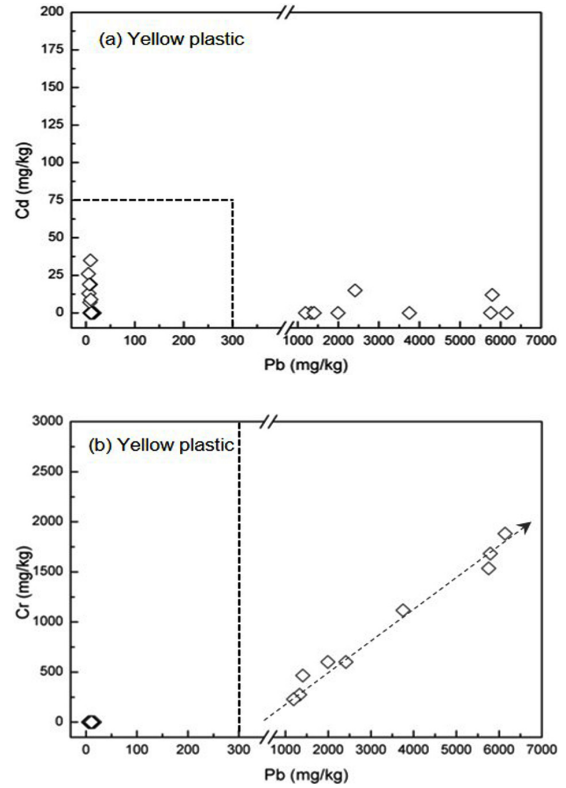


Fig. 4. Hazardous heavy metal content of the yellow plastic. (criterion: Pb=300 mg/kg, Cd=75 mg/kg)

료는 카드뮴의 함유량이 낮았으며, 카드뮴의 함유량이 초과한 시료는 납의 함유량이 낮게 나타났다. 그리고 납에 대한 기준치를 초과한 시료 중 납 성분이 증가할수록 크롬 성분도 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3(b)).

Fig. 4는 황색 플라스틱 소재의 유해중금속에 대한 함유량을 조사하여 나타내었다. 총 27 개 중 9 개(33%)가 안전기준을 초과하였다. 특히, 기준치를 초과한 모든 시료는 납에 대한 안전기준을 초과한 것으로 나타났다. 납과 카드뮴의 함유량 조사 결과에서는 특별한 상관성이 나타나지 않았지만, 납 vs. 크롬의 경우, 적색 플라스틱 소재의 결과(Fig. 3(b))와 같이, 납의 함유량이 기준치를 초과한 시료는 크롬의 함유량도 선형적으로 높아짐을 확인할 수 있었다. 따라서 녹색, 적색, 황색의 플라스틱 시료의 경우, 유해중금속인 납의 함유량이 안전기준을 초과한 시료는 크롬이 함께 검출되는 경향성이 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 청색 플라스틱 소재에 관한 유해중금속 함유량을 조사한 결과이다. 총 23개의 청색 플라스틱 시료를 측정된 결과, 유해중금속 안전기준을 초과하는 시료는 나타나지 않았다. 즉, 청색의 안료에는 상대적으로 유해중금속 함유량이 적다는 것을 추정할 수 있었다.

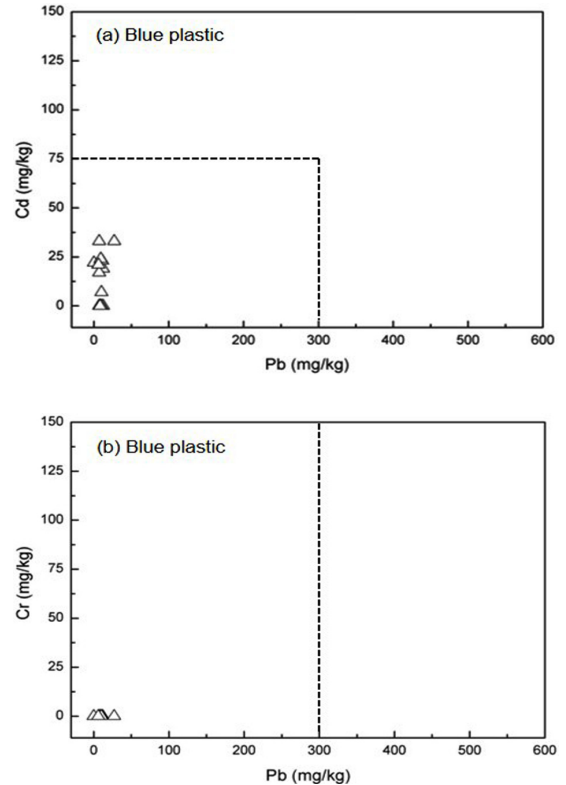


Fig. 5. Hazardous heavy metal content of the blue plastic. (criterion: Pb=300 mg/kg, Cd=75 mg/kg)

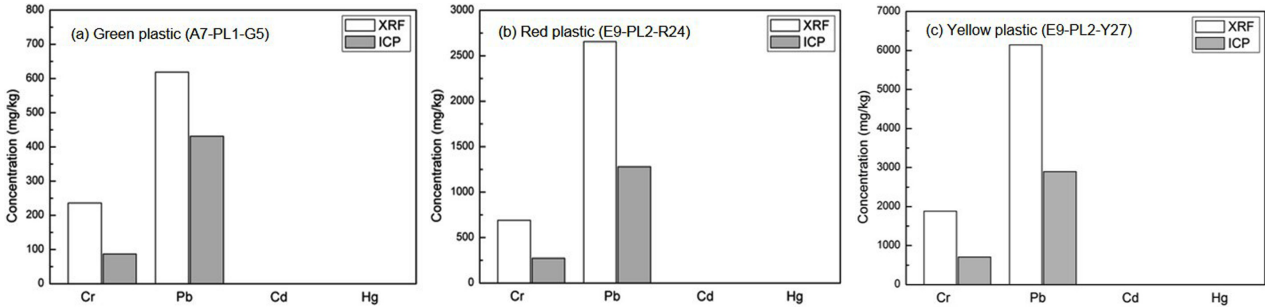


Fig. 6. XRF and ICP analysis results for the plastic samples which contain a higher hazardous heavy metal.

본 연구에서 조사된 어린이 놀이시설용 플라스틱 소재의 색상에 따른 납의 함유량을 비교한 결과, 황색 플라스틱의 납 함유량이 평균 1110 mg/kg으로 가장 높았으며, 다음은 적색 360 mg/kg, 녹색 148 mg/kg 순으로 나타났다. 그리고 청색 플라스틱 소재는 납 함유량이 평균 10 mg/kg으로 가장 안전한 것으로 조사되었다.

3.2.2. 유도결합플라즈마분광분석

앞선 X-선 형광분석(XRF) 결과를 검증하기 위해, 다량의 유해중금속이 검출된 시료를 대상으로 유도결합플라즈마분광분석을 실시하였다. 유해중금속 성분의 함유량이 높은 녹색(A7-PL1-G5), 적색(E9-PL2-R24), 황색(E9-PL2-Y27) 플라스틱 시료를 선택하여 추가적인 유도결합플라즈마분광분석(ICP)을 수행하였다. Fig. 6은 앞서 언급된 세 가지 시료의 XRF 및 ICP 결과를 비교하여 나타내었다. 두 가지 방법(XRF와 ICP)으로 측정된 세 가지 시료 모두에서 어린이 놀이기구의 유해물질 안전기준을 초과하는 납 성분이 검출되었다. XRF 결과가 ICP 결과에 비해 다소 높은 유해중금속 함유량을 나타내었지만 중금속 함유량에 대한 경향성은 서로 일치하였다.

4. 고찰

현재까지 ICP 측정법은 정량적으로 유해중금속을 분석할 수 있는 보편적인 분석법으로 알려져 있다. 하지만 시료의 전처리 과정에 전문적인 기술이 필요하고, 전처리 시간이 비교적 오래 걸리는 단점 뿐 아니라, 전처리 과정 중 분석물질(중금속)이 산(acid)에 의해 소멸될 가능성이 있다^{10,11)}. 또한 분석 재료를 손상시켜야 하는 파괴적인 분석법으로, 재현이 불가능하다는 약점이 있다. 이러한 문제점을 입증하기 위해 추가적인 시료를 조사·분석하였다. Fig. 7은 유해중금속 중 카드뮴의 함유량을 초과한 적색 플라스틱 시료(A10-PL1-R7)에 대한 XRF와 ICP 분석 결과를 보여준다. XRF 분석 결과는

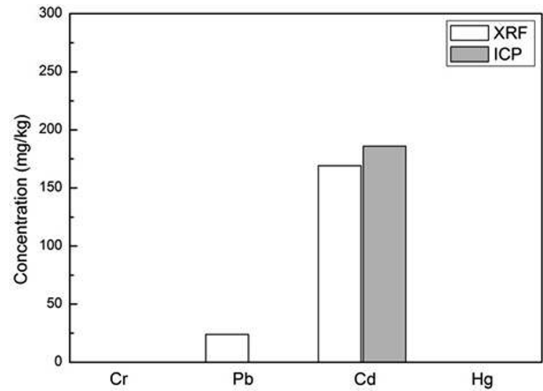


Fig. 7. XRF and ICP analysis results for the red plastic sample A10-PL1-R7.

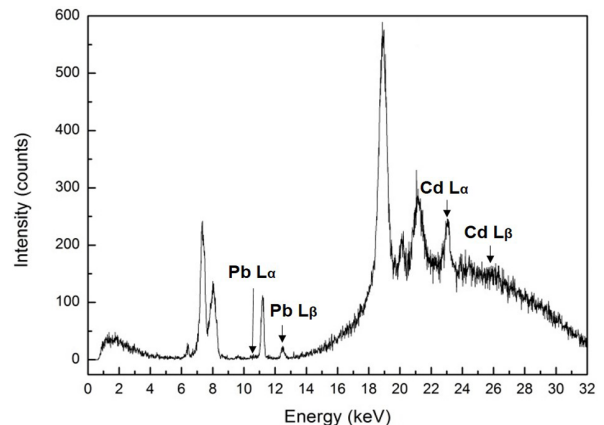


Fig. 8. Spectrum peak analysis of the red plastic sample A10-PL1-R7.

169 mg/kg의 카드뮴과 24 mg/kg의 납이 검출 되었다. 이를 정확히 검증하기 위해, A10-PL1-R7 시료의 스펙트럼 피크(spectrum peak)를 관찰한 결과, 카드뮴과 함께 납의 스펙트럼 피크를 확인할 수 있었다(Fig. 8). 하지만, ICP 분석 시에는 납 성분이 전혀 검출되지 않았다. 이는 미량의 납 성분이 복잡한 전처리 과정 중에서 훼손된 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서 사용된 XRF 분석법은 어린이 놀

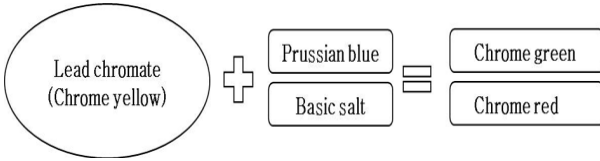


Fig. 9. Example for pigments containing lead chromate.

이시설의 유해중금속 분석을 위한 1차 스크리닝 용도로써 신속하면서도 정확한 분석이 가능한 방법이라고 판단된다. 최근 XRF 분석법은 국제표준 ISO-111-95-CDV 및 IEC 62321 (RoHS test method)로 제정되어, 측정 결과에 관한 유효성과 재현성이 검증된 분석법으로 인정받고 있다¹¹⁾.

네 가지 색상의 플라스틱 소재는 유해중금속의 함유량이 다소 차이가 있었다. 납에 대한 안전기준을 초과한 녹색, 적색, 황색 시료들은 크롬 성분도 함께 검출되었다. 이러한 원인 중의 하나는 플라스틱 소재의 착색 시 크롬산납을 주성분으로 하는 안료가 사용되었기 때문으로 판단된다¹²⁾. 대표적인 크롬산납계 안료에는 크롬녹색(chrome green), 크롬적색(chrome red), 크롬황색(chrome yellow)가 있다. Fig. 9는 크롬산납을 이용하여 만들 수 있는 대표적인 안료를 보여준다. 즉, 크롬산납에 프러시안청색(prussian blue)을 첨가하면 크롬녹색이 되고, 염기성 염을 첨가하면 크롬적색이 만들어진다¹²⁻¹³⁾. 따라서 크롬산납을 이용하여 만들어진 안료는 납과 크롬이 함께 검출되는 경향성을 보일 것이다. 그리고 적색 플라스틱 시료 중 카드뮴의 안전기준을 초과한 시료가 있었다. 이는 적색을 부여하기 위해 카드뮴계 화합물이 사용된 것으로 보인다. 대표적인 카드뮴계 안료에는 적색의 셀렌화카드뮴(CdSe)이 있다. 이것은 카드뮴적색으로 불린다¹²⁾. 반면, 청색 플라스틱 소재의 경우는 안전기준을 초과하는 납과 카드뮴 등이 검출되지 않았다. 이러한 원인을 살펴보면, 청색의 착색안료에는 황산철(II)을 주성분하는 프러시안청색(prussian blue)와 아이론청색(iron blue)이 있으며, 황과 규산염이 주성분인 울트라마린(ultramarine), 코발트를 주성분으로 하는 코발트청색(cobalt blue) 등이 있다¹²⁾.

결론적으로, 어린이 놀이시설에 사용된 합성고무와 플라스틱 소재의 색상에 따른 유해중금속 함유량을 조사하여 유의적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 유해중금속의 검출 원인은 색상 구현 시 사용된 착색안료에 기인한 것으로 사료된다¹⁴⁾.

5. 결론

어린이 놀이시설 35 곳을 대상으로 합성고무 바닥

재, 플라스틱 소재의 색상별 유해중금속 함유량을 조사하였다. 플라스틱 소재는 조사된 시료의 약 18%가 유해중금속에 대한 안전기준을 초과하였다. 소재 색상에 따라 납을 비롯한 유해중금속의 함유량의 차이가 있음을 확인하였다. 그리고 어린이 놀이시설에서 납의 안전 기준을 초과한 소재가 가장 많았으며, 납 함유량이 가장 높은 소재의 색상은 황색이었다. 이는 황색의 색상 구현을 위해 크롬산납이 사용되었기 때문이라 판단된다. 결론적으로 어린이 놀이시설의 유해중금속의 검출 원인으로는 소재의 색상을 위해 사용된 중금속이 함유된 안료에 기인한 것으로 판단된다. 어린이 놀이시설의 보다 안전한 환경을 위해서, 추가적으로 유해중금속에 대한 실질적이고 광범위한 실태 조사와 심도 있는 위해성 평가가 필요하다. 나아가 유해중금속이 미 함유된 친환경 안료의 개발 및 구체적이고 강화된 안전 기준이 필요하다고 사료된다.

References

- 1) R. L. Tate, "Soil Microbiology", John Wiley and Sons, pp. 21-30, 1995.
- 2) B. G. Yu, M. S. Yu and I. S. Sun, "Development of Certified Reference Material for Heavy Metal(Pb, Cd) in Paint", Spring Conference to The Korean Society of Analytical Sciences, pp. 9, 2012.
- 3) Centers for Disease Control(DHHS/PHS). "Preventing Lead Poisoning in Young Children", A Statement by the Centers for Disease Control, Atlanta. 1991.
- 4) H. S. An, J. H. Kim and S. G. Hyum, "Environment Parameters Affecting Heavy Metal Concentration in Sand Collected from Children Playground in Seoul Metropolitan Area" Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, Vol. 46, No. 3, pp. 193-202, 2013.
- 5) S. W. Yoo, K. M. An and J. S. Kim, "A Study on the Color Preference of the Equipment of the Children's Playground", Journal of Korean Society Of Color Studies, Vol. 13, pp. 95-104, 1999.
- 6) C. Mans, S. Hanning, C. Simons, A. Wagner, A. Janben, and M. Kreyenschmidt, "Development of Suitable Plastic Standards for X-ray Fluorescence Analysis", Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, Vol. 62, No. 2, pp. 116-122, 2007.
- 7) F. L. Mclquiades and C. R. Appoloni, "Application of XRF and Field Portable XRF for Environmental Analysis", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 262, No. 2, pp. 533-541, 2004.

- 8) Ministry of Environment, "Management Guideline of Eco-Friendly and Reassuring Children Activity Space", Ministry of environment, pp. 16-17, 2011.
- 9) Y. A. Cho, W. I. Kim, S. K. Shin, Y. Y. Kang, M. S. Kim, S. K. Jeong, J. M. Yeon, N. Kim and J. Y. Lee, "Characteristics of Heavy Metals's Exposure from Playground Flooring", Analytical Science & Technology, Vol. 25, pp. 416-420, 2012.
- 10) M. Bounakhla, K. Embarch, F. Zahry, E. Bilal and P. Kump, "Capabilities of Elemental Analysis by EDXRF for Geochemistry", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 275, No. 3, pp. 467-478, 2008.
- 11) S. J. Choi, C. H. Kim and S. G. Lee, "Comparison of the Heavy Metal Analysis in Soil Samples by Bench-Top ED-XRF and Field-Potable XRF", Analytical Science & Technology, Vol. 22, No. 4, pp. 293-301, 2009.
- 12) T. S. Seo, Y. S. Byeon, Y. S. Kim, Y. C. Park and D. P. Kim, "Chemistry and Application of Pigments", Haksul Intelligence. co. ltd, pp. 74-78, 2001.
- 13) H. C. Choi, S. H. An, H. S. Lee and H. S. Kim, "Exposures to Airborne Lead Chromate in the Producing and Using Industries", Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 18, No. 4, pp. 293-302, 2008.
- 14) N. S. Kim, S. H. Choi, K. S. Cho, J. H. Kim, J. O. Ham, K. D. Ahn and B. K. Lee, "Evaluation of Lead Concentration on the Surface of Children's Playing Equipments Using a Field Portable X-ray Fluorescence (FPXRF)", Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 18, No. 2, 133-140, 2008.