

# 페인트 중 수은의 물질흐름분석 연구 Study on Material Flow Analysis of Mercury in Paint

조윤아 · 정미정<sup>†</sup> · 전태완\* · 이희성 · 김용준 · 연진모 · 조나현 · 신선경  
Yoon A Cho · Mi Jeong Jeong<sup>†</sup> · Tea Wan Jeon\* · Hee Sung Lee · Yong Jun  
Kim Jin Mo Yeon · Na Hyeon Cho · Sun Kyoung Shin

국립환경과학원 자원순환연구과 · \*국립환경과학원 폐자원에너지연구과  
Resource Recirculation Research Division, National Institute of Environmental Research  
\*Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research

(Received January 13, 2017; Revised February 9, 2017; Accepted March 14, 2017)

**Abstract :** For the management of mercury-containing products, the products were selected to do material flow analysis in preference of not having selected in previous studies. Domestically mercury have been added to pigment for prevention of bacterial growth. So, in this study paint containing pigment was selected as a target. 71 samples of paint products collected in 2014 and data of 38 samples of wastes (dust, sludge, paint) analyzed in 2010 were used in material flow analysis. The result shows that mercury was 0~0.25 mg/kg in products and 0.23~0.69 mg/kg in the wastes. In the material flow analysis, the amount of flow in the process of distribution was 10.06 kg/year, but the amount of flow in disposal like a landfill, incineration and recycling was much than distribution as 25.27 kg/year. It was caused by different sampling period between collecting products and data of wastes. Therefore, It could be possible to be affected from regulation by RoHS like decreasing usage of mercury in paint products or eradicated in the industry. Mercury contents in current paint products are very low to affect discharging to the environment.

**Key Words :** Mercury Material Flow, Pigment, Paint, Distribution, Wastes

**요약 :** 안료·페인트 생산 업체 7개를 방문하여 제품 21개(안료 17개, 페인트 4개)를 시료채취 하였으며, 대형 온라인 판매상을 통하여 50개 제품을 구매하였다. 총 71개 제품에 대하여 EPA 7473 방법으로 수은 함량분석을 하였고, 물질흐름 분석을 위한 폐기물 내 수은함량은 타 연구(2010)의 안료·페인트 제조 업체에서 발생되는 분진·슬러지·페인트 38건의 수은 함량 자료를 사용하였다. 물질흐름분석은 제품 또는 특정 화학물질을 대상으로 하는 Micro 수준의 물질흐름 추적방식을 이용하여 흐름도를 작성하였다. 수은분석 결과, 71개 제품에서 0~0.25 mg-Hg/kg, 38개 폐기물에서 0.23~0.69 mg-Hg/kg으로 나타났다. 물질흐름을 살펴보면 유통단계의 수은흐름량이 연간 10.06 kg인데 반해 폐기되는 수은의 양은 25.27 kg으로 유통량 보다 폐기량이 더 높게 나타났다. 이는 제품과 폐기물의 시료채취 시기가 달라 발생된 현상으로 제품은 2014년도 제품, 폐기물은 2010년 분석된 자료를 사용하여 RoHS 등과 같은 규제의 영향으로 수은 함유 페인트 제품이 감소됨에 따른 것으로 판단된다. 현재 생산되는 제품 중 수은의 농도는 매우 낮고 페인트에 의한 수은의 유출은 미미한 것으로 판단된다.

**주제어 :** 수은물질흐름, 안료, 페인트, 유통, 폐기물

## 1. 서론

전 지구적인 수은배출 저감을 위해 2013년 10월, ‘수은에 관한 미나타타 협약’이 채택되었다. 이러한 국제적 움직임에 대응하기 위해 국내에서도 ‘국가 화학물질 기본계획’, ‘수은 관리 종합계획’ 등 다양한 제도적 장치를 마련하여 추진하고 있다. 국내 수은관리는 수질, 대기, 토양 등 매체별로 수은 기준을 정하여 관리하고 있지만 고농도 수은 발생원에 대한 직접적인 관리체계가 미흡하고 해당 배출원에서 환경 중으로 배출되는 양을 파악하기가 어렵다. 따라서 수은 함유 가능성이 있는 제품을 세분화하고 생산·배출량에 따른 수은물질 흐름을 작성하는 노력이 필요하다. 이에 환경부에서는 2010년 형광등, 램프 등의 광원류, 2011년 스위치, 전지, 백라이트 등의 전기·전자 제품류, 2012년은 전지류, 2013년은 화장품 제품 류를 대상으로 수은 물질흐름분석 연구를 시행한 바 있다.<sup>1-4)</sup> 본 연구에서는 국내·외 문헌조사를 통하여 수은함

유 제품의 목록을 작성하고, 국내에서 수은을 함유할 가능성이 있으면서 조사된 사례가 없는 제품 목록을 파악하여 최종적으로 안료·페인트를 대상 제품으로 선정 하였다. 대상 제품의 경우, Park, H. S. 연구<sup>5)</sup>에서 건설도장용, 산업용, 인쇄출판용 제품에 대하여 물질함량을 조사하였으나, 수은은 대상물질에 포함되지 않았다. 또한 Shin, S. S. et al. 연구<sup>6)</sup>에서 수은의 배출계수를 조사하였으나, UNEP의 자료로 국내 실정과는 맞지 않는 계수이다. 이에 본 연구에서는 페인트 내 수은함량을 분석하고, 생산에서 폐기까지의 수은 물질흐름을 작성함으로써 기초 자료를 확보하고 국내 수은함유 폐기물의 관리방안을 찾아보고자 하였다.

## 2. 연구내용 및 방법

### 2.1. 시료채취 방법

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: jeongia@gmail.com Tel: 032-560-7504 Fax: 032-568-1656

Table 1. Result of sampling in this study

Product	Paint	Pigment	Total	Waste <sup>7)</sup>	Paint	Dust	Sludge	Total
Pigment product facility	4	17	21	waste from paint, racker product	1	19	3	23
Online retailer	24	26	50	waste from ink using print product	1	9	2	12
				glue, waterproofing	-	3	-	3
Total	28	43	71	Total	2	31	5	38

제품의 시료채취는 생산제품이 안료, 무기안료이거나 업종이 무기안료 및 기타금속산화물 제조업인 업체 중 안료를 생산하는 업체 7개를 방문하여 생산제품 21개(안료 17개, 페인트 4개)를 시료채취 하였다. 대형 온라인 판매상을 통하여 삼원색, 흰색, 검정색과 같은 기본 삼원색과 필안료, 형광안료, 자석안료 등과 같은 특수 안료를 대상으로 생산 국가를 고려하여 50개 제품을 구매(2014년도 유통분)하여 총 71개 제품을 대상시료로 하였다(Table 1). 물질흐름 분석을 위한 폐기물 내 수은함량은 타 연구(2010)의 페인트 제조 업체에서 발생하는 분진·슬러지·폐페인트 38건에 대한 분석결과를 사용하였다.<sup>7)</sup>

## 2.2. 시료분석 방법

고상 시료의 수은 용출분석을 위하여 폐기물공정시험기준의 용출시험법(ES06150, ES06404.1)에 준하여 분석<sup>8,9)</sup>하였으며, 고상·액상 시료에 대한 함량분석을 위하여 US EPA 7473 방법<sup>10)</sup>을 적용하였다. US EPA 7473 방법은 시료를 직접 연소하여 발생하는 수은증기를 금·아말감으로 포집 후, 재가열 및 기화시켜 수은의 증기를 흡수셀로 유도해 측정하는 열적분해 아말감 원자흡수흡광도법이다. 자동수은분석기(NIC MA-3000 Mercury analyzer)의 분석조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Conditions of mercury analysis (EPA method 7473)

Conditions	Heat Temp.	Heat time	Flow	Slope time
Dry	150℃	60 s	0.4 L/min	60 s
Decomposition	550℃	120 s	0.4 L/min	120 s

## 2.3. 수은 물질흐름 작성

Moll stephan의 2005년 연구<sup>11)</sup>에 의하면, 물질흐름분석은 ‘대상시스템의 경계’와 ‘물질흐름의 추적방식’에 따라 분류될 수 있으며, 대상시스템에 의한 분류의 경우 Macro 수준, Meso 수준, Micro 수준으로 분류할 수 있고, 물질흐름의 추적방식에 따라 제품 수준에서 개별물질 수준으로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 Micro 수준의 물질흐름 추적방식을 적용하였으며 일반적으로 단일 제품이나 서비스 자체를 대상으로 수행하며 이를 통해 제품 또는 특정 물질의 생산에서 소비, 폐기에 이르는 전 과정의 물질흐름을 추적한다. 물질흐름분석 수행 절차는 시스템 경계 설정, 물질흐름의 정량화, 결과 분석으로 진행된다. 시스템 경계 설정에서 대상물질을 선정하고, 지역적 경계, 시간적 경계 등에 대한

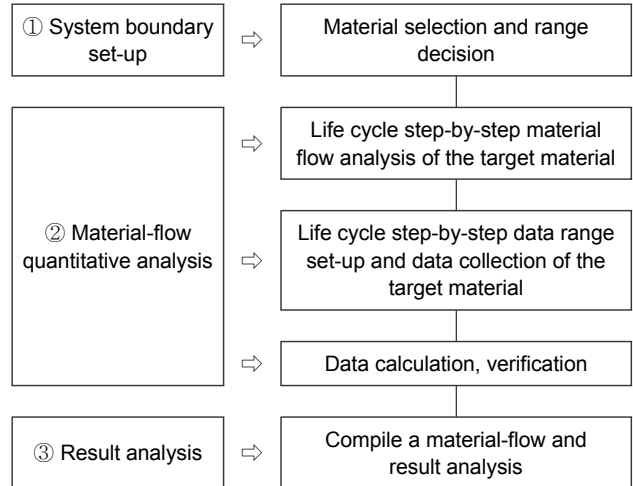


Fig. 1. Procedure of material-flow analysis.

물질흐름분석수행을 위한 범위를 설정하고 물질흐름의 정량화 단계에서데이터 범위를 설정하고 자료를 수집한다. 또한 데이터 계산·검증을 통하여 데이터 부재 또는 오류에 대한 검토를 수행한다. 최종적으로 작성된 물질흐름도를 통해 연구의 목적 및 범위에 따라 정량적인 분석이 이루어진다 (Fig. 1).<sup>12)</sup>

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수은분석 결과

#### 3.1.1. 용출·함량 분석결과

용출분석이 가능한 37건의 고상 제품 및 7건의 폐기물에 대한 용출 시험분석 결과, 온라인 판매 제품 중 1개의 안료 시료에서 검출한계에 가까운 0.0005 mg/L가 검출되었으며, 기타 제품 및 폐기물에서는 검출되지 않았다. 또한, 71개의 제품에 대하여 수은함량을 분석한 결과, 0~0.25 mg/kg 수준으로 검출되어 미국의 어린이용 페인트 수은함량 기준 25 mg/kg과 비교하였을 때 매우 낮은 수준으로 나타났다. 기타 유기·무기 안료의 수은함량은 0.01~0.12 mg/kg 정도 수준에서 검출된 반면, 미나마타 협약에서 수은첨가 가능제품으로서 예외조항으로 두고 있는 ‘전통적 혹은 종교적 관습에 사용되는 제품’인 단청(노랑색)에서는 0.25 mg/kg으로 검출되었다.

#### 3.1.2. 타 연구 폐기물 분석결과 고찰

폐기물은 타 연구(2010)에서 분석된 데이터<sup>7)</sup>를 살펴보았으며,

**Table 3.** Result of mercury analysis in paint sector

	Waste <sup>7)</sup>			Product	
	Dust	Paint	Sludge	Pigment	Paint
Leach- ing					
Concentration (mg/L)	-	-	-	0.0005	-
Detection ratio (%)	0/2 (0%)	-	0/5 (0%)	1/37 (2.7%)	-
Con- tent					
Concentration (mg/kg)	-	0.0230~ 0.6870 (Aver.0.19)	-	0.0101~ 0.2455 (Aer. 0.05)	0.0152
Detection ratio (%)	0/2 (0%)	25/31 (80.6%)	0/5 (0%)	10/43 (23.2%)	1/28 (3.6%)

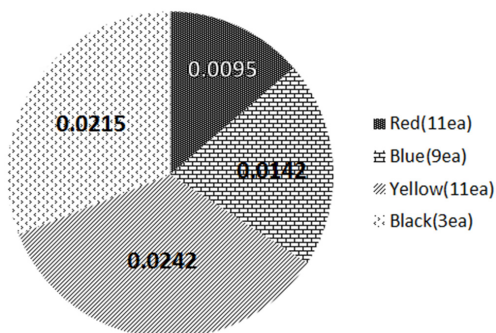
38건의 폐기물시료 중 페인트 25건에서 0.023~0.687 mg/kg의 수은이 검출되었다. 2014년에 채취한 제품시료보다 2010년 조사된 페인트가 상대적으로 높게 나타나, 수은협약 및 제품관련 규제정책에 따른 영향을 받은 것으로 판단된다. Table 3에 제품 및 폐기물의 용출 및 함량 검출범위를 나타내었다.

**3.2. 제품 내 수은함량 특성**

일반적으로 수은은 과거에 주로 빨간색 도료에 사용되었으며, 미국 퍼킨엘머사 조사결과<sup>13)</sup> 노랑, 빨간색의 어린이용품 표면 분석결과에서 수은이 검출된 바 있다. 그러나 본 연구 결과에서는 기본 삼원색인 빨간색, 파랑색, 노란색 모두에서 검출되어 색상은 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 모든 색상은 삼원색을 기본으로 제품이 만들어지기 때문에 모든 색상에서 검출될 가능성이 있는 것으로 판단된다. 이 같이 모든 페인트에서 큰 농도차이 없이 수은이 검출되는 것은 페인트 내 수은이 색을 내기 위해 첨가되는 것이 아니라 세균증식 예방 등 방부제로서 수은 화합물이 사용되기 때문이다.<sup>14,15)</sup> 수은이 검출된 11개 제품 중 안료가 10개, 페인트가 1개로 조사되었으며, 페인트 제품에서 검출비율이 낮은 이유는 안료가 다량의 용제와 섞이면서 희석되기 때문으로 판단된다. Fig. 2에 색상 별 수은의 평균 검출 농도와 분석시료 개수를 표기하였다.

**3.3. 물질흐름 분석절차**

페인트 제품의 물질흐름분석은 Moll. Stephan, 2005 연구<sup>11)</sup>



**Fig. 2.** Average detected concentration of mercury depending on pigment color (unit : mg/kg).

**Table 4.** The calculated factor for mercury flow

	Production	Import	Export	Distribution	Waste
	$P_i$	$I_i$	$E_i$	$P_i + I_i - E_i$	$F_i^p$
Generation (2013) (ton/year)	1,224,283	47,057	118,293	1,153,047	142,471
Mercury flow amount (kg-Hg/year)	10.69	0.41	1.03	10.06	25.27

에서 제안한 ‘대상시스템 경계’방식을 이용하였으며, 제품 또는 특정화학물질을 대상으로 하는 Micro 수준으로 경계를 설정하였다. 공간적 경계는 한국(안료·페인트 생산시설, 산업체, 소비자), 시간적 경계는 2013년으로 설정하였다.

자료수집은 수집이 용이한 하향식 접근방법(Top-down)으로 이루어 졌으며, 이 방법은 주로 산업연관분석, 정부 통계자료, 산업 통계자료 등 각종 통계자료를 통해 데이터를 수집하는 방법이다. 한국 페인트·잉크공업 협동조합의 생산량자료, 올바로 시스템 배출실적자료, 통계청 자료를 기반으로 원료물질로부터 가공 및 제조 단계로 투입되는 흐름을 작성하기 위하여 식 (11)을 적용하여 계산하였다.

$$F_i^p = \sum_i P_i + I_i - E_i - L_i \quad (1)$$

- $F_i^p$  = 정의된 시간 내의 원료 채취로부터 물질의 가공 및 제조단계로의 흐름
- $P_i$  = 해당년도의 대상물질의 생산
- $I_i$  = 해당년도의 대상물질의 수입
- $E_i$  = 해당년도의 대상물질의 수출
- $L_i$  = 물질의 손실(ex. 가공 시 발생하는 공정상 및 자연적 손실)

여기서,  $L_i$ 는 가공 시 발생하는 공정상 및 자연적 손실을 나타내는 것으로 본 연구에서는 원료 투입 및 폐기 단계까지 물질의 손실은 고려하지 않았다. 제품의 생산량·유통량과 페인트 배출량은 2013년 데이터를 적용하였고, 수은의 농도는 제품의 경우 본 연구에서 실측한 2014년 데이터, 폐기물의 경우 타 연구(2010)에서<sup>7)</sup>의 수은 함량 데이터를 적용하였다. 흐름도 작성 식에 사용된 값은 Table 4와 같다.

**3.4. 제품 내 수은 물질흐름 분석 결과**

물질흐름 작성을 위한 페인트 유통량 조사는 한국페인트·잉크공업협동조합의 페인트 용도별, 성분별 생산실적 및 수출·입 실적과 통계청의 페인트와 바니쉬 품목의 수출·입 실적을 활용하였다. 본 연구의 제품 물질흐름 작성에 이용한 2013년 용도별 생산실적은 건축용 도료가 18 %로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 페인트의 연간 생산량은 2010~2013년까지 약 120만톤으로 일정한 수준으로 조사되었다. 관세청의 수출·입 자료를 살펴보면 수출량은 꾸준히 감소

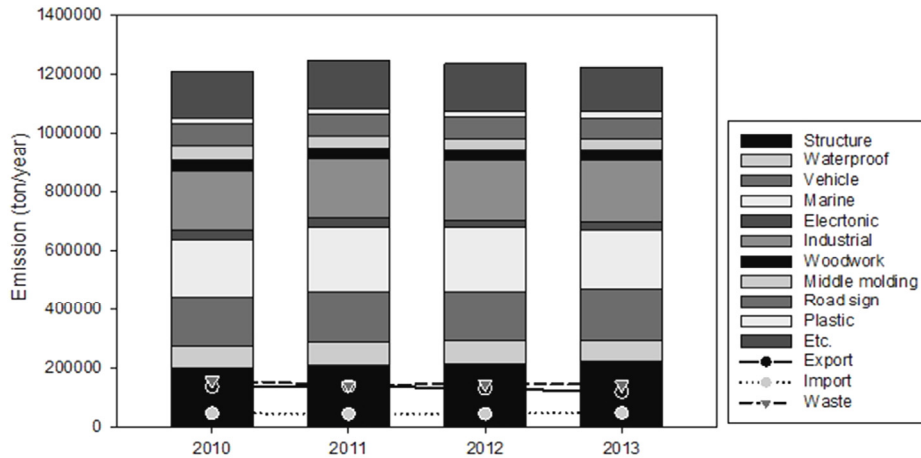


Fig. 3. Annual emissions of paint (unit : ton-paint/year).

하고 있으며, 수입량은 평균 46,209 ton/year로 일정한 수준을 유지하는 것으로 조사되었다. 환경통계포털의 페페인트 및 페락카의 2013년 발생량 중 소각이 87,920 ton/year, 재활용이 37,386 ton/year로 조사되었다. 용도별 페인트 생산량 및 수·출입량, 페페인트 발생량을 Fig. 3에 나타내었다. 페인트 제품의 수은 물질흐름을 작성하기 위하여 2013년 페인트 생산·유통량·수출·수입·폐기물 발생량을 적용하였고 수은 검출농도는 제품의 경우, 본 연구를 위하여 직접 구매·채취한 시료(2014년도)의 농도를 이용하여 수은 물질흐름도를 작성하였다. 폐기물은 타 연구에서 안료·페인트 생산업에서 발생된 폐기물(2010)내 수은함량 분석 자료를 이용하였다. 생산되는 페인트 제품 내 연간 수은 발생량은 Fig. 4와 같이 10.69 kg이며, 이 중 국내 유통량은 10.06 kg/year이다.

### 3.5. 페인트·안료에 사용된 수은의 관리방안

페인트는 안료, 용제, 첨가제 등의 원료를 이용하여 생산되어, 각 용도에 따라 일반 가정집 및 공장 등에 판매된다.

사용 후 페인트가 담긴 통 이외에는 폐기물이 발생되지 않는 제품으로서 발생하는 폐기물은 대부분 페인트가 묻어있는 보루, 담겨있던 드럼통으로 대부분 소각처리 되고 있다. Fig. 4의 물질흐름을 살펴보면 유통단계의 수은흐름량이 연간 10.06 kg인데 반해 폐기되는 수은의 양은 25.27 kg로 유통량 보다 폐기량이 더 높게 나타났다. 이러한 원인은 제품(2014년도 채취)과 폐기물(2010년도 연구결과)의 시료채취 시기가 다르기 때문인 것으로 판단된다. 폐기물에서 수은검출량이 더 높은 이유를 유추해 보면, 수은의 사용을 줄이고 근절하고자 하는 미나마타 협약이나 RoHS(전기전자제품에 유해물질 사용을 금지하는 협약) 등과 같은 규제 영향 때문에 현재 제품의 수은사용량이 현저히 줄었기 때문인 것으로 판단된다.<sup>16)</sup> 실제로 총 5개년에 걸친 수은관리종합대책('11~'15)에서는 수은함유 제품군의 수은 감축목표량을 설정하여 추진하였다.<sup>17)</sup>

그러나 문화재 복원에 이용하는 전통적 안료인 단청의 경우 미나마타 협약의 규제 대상에서 제외되어 있어 사용

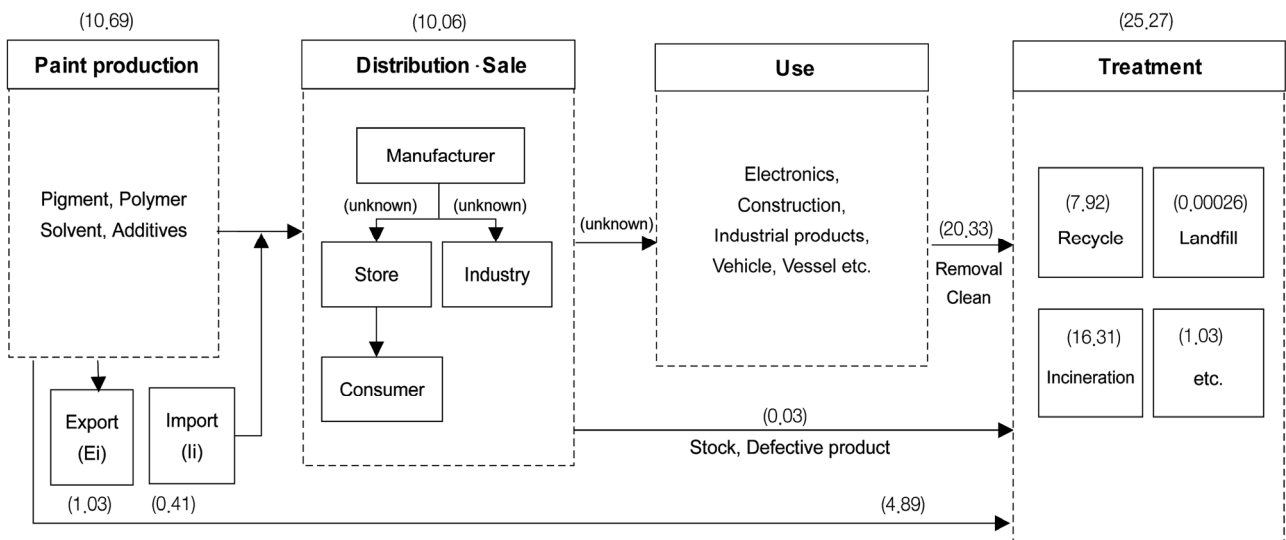


Fig. 4. Mercury flow analysis in paint (unit : kg-Hg/year).

현황을 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구에서 문헌조사 및 전화 설문조사를 통해 확인한 결과 문화재청의 단청·도금용 수은의 연간사용량은 3 kg/year로서 페인트의 물질흐름 분석 결과와 비교하면, 연간 수은 유통량(10.06 kg/year) 중 약 30%가 문화재 보수·복원에 사용되는 것으로 나타나 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다. 이는 안료·페인트 제품의 수은 함량 분석결과와 71개 시료 중 11개 제품(안료 10개, 페인트 1개)에서 수은이 검출되었고 이 중 최고농도가 노랑색 단청(0.25 mg/kg)인 점과 안료 10개 중 3개 시료가 단청 시료인 것과 유사한 결과로 판단된다.

물질흐름 분석결과, 국내유통 페인트 전량에서 발생하는 수은의 폐기량은 25.27 kg/year로 나타났으며, 기존의 수은 함유 폐기물 실태조사 결과<sup>18)</sup>의 연간 수은 발생량(25개 업종 총 33.5 ton/year)의 약 0.07%에 해당하는 적은양으로 나타났다. 8개 지정폐기물 소각시설의 바닥재, 비산재, 폐수처리 오니에서 발생하는 수은양(24.97 kg/year)과 3개 카본블랙 생산시설의 분진(폐카본), 폐수처리오니에서 발생하는 수은양(32.80 kg/year)과 유사한 수준이며, 대부분 지정폐기물로 소각되어 페인트 중 수은은 흡착제나 소각재 등에 함유되어 환경 중으로의 직접적인 노출은 적을 것으로 예상된다. 다만 단청의 경우 지속적으로 사용되기 때문에 관리가 필요한 것으로 판단된다.

수은함유제품 중 형광등의 경우, 연간 5,882 kg으로 가장 많은 양을 사용하고 있으며, 다음으로 전지 4,483 kg, 온도계 800 kg, 치과용 아말감 416 kg이 사용되고 있다.<sup>6)</sup> 이에 비해 본 연구대상인 페인트는 연간 10.89 kg을 사용하고 있어 비교적 적은양의 수은을 함유하고 있으나, 사용범위가 광범위하고 타 수은함유제품과는 달리 회수에 용이하지 않아 제품생산 단계부터 수은을 함유하지 않도록 관리할 필요가 있다.

#### 4. 결론

국내 수은함유 폐기물의 방안을 마련하고자 수은 함유 가능성이 있는 제품을 세분화하고 생산·배출량에 따른 수은물질흐름을 작성하는 노력이 필요하다. 이에 수은을 함유할 가능성이 있으면서 국내에서 조사된 사례가 없는 안료·페인트를 대상 제품으로 선정하여, 물질흐름 특성을 파악하고 관리방안을 도출하였다.

1) 71개의 제품에 대하여 수은함량을 분석 한 결과, 0~0.25 mg/kg 수준으로 검출되어 미국의 어린이용 페인트 수은함량 기준 25 mg/kg에 비교하여 매우 낮은 수준으로 나타났다. 또한, 38건의 폐기물시료 중 폐페인트 25건에서 0.23~0.69 mg/kg의 수은이 검출되어 2014년에 채취한 제품 시료보다 2010년 타 연구의 폐기물 시료가 높은 농도를 나타냈는데 이를 통해서 과거 페인트 내 수은함량이 조금 더 높다는 것을 알 수 있는데 이는 RoHS 등과 같은 규제 영향인 것으로 보인다. 수은이 검출된 11개 제품 중 안료가 10개, 페인트가 1개로 조사되었으며, 페인트 제품에서 검출

비율이 낮은 이유는 안료가 다량의 용제와 섞이면서 희석이 되기 때문이다.

2) 기본 삼원색에 대하여 수은의 검출이 비교적 골고루 분포된 것은 US EPA, UNEP의 보고서에 언급된 바와 같이 페인트 내 수은이 색을 내기 위해 첨가되는 것이 아니라 세균증식 예방 등 방부제로서 수은 화합물이 사용된 영향인 것으로 보인다.

3) 생산되는 페인트 제품 내 연간 수은 발생량은 10.69 kg이며, 이 중 국내에서 유통되는 것은 10.06 kg/year이며, 폐기되는 수은의 양은 25.27 kg로 유통량 보다 폐기량이 더 높게 나타났다. 이는 시간적경계가 상이함에 따라 나타는 결과로서 폐기되는 수은의 양이 더 높은 이유는 수은의 사용을 줄이고 근절하고자 하는 미나타 협약이나 RoHS 등과 같은 국내·외 규제의 영향 때문에 현재 판매되는 제품의 수은사용량이 현저히 줄었기 때문인 것으로 판단된다.

4) 문화재청의 단청·도금용 수은의 연간사용량은 3 kg/year로서 페인트의 물질흐름 분석결과와 비교하면, 연간 수은 유통량(10.06 kg/year) 중 약 30%에 해당한다. 문화재 보수·복원에 사용되는 전통적 안료의 경우, 미나타 협약에서 규제 제외 대상으로 지정하고 있어, 수은배출 차원에서 단청에 대한 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.

KSEE

#### References

- David, J., Yoon, J. I., Im, J. H., Yu, H. Y., Kang, J. G., Lee, D. J., Jeon, T. W., Shin, S. K. and Oh, G. J., Material flow analysis of products containing mercury(I) -Lamps-, NIER, Republic of Korea(2010).
- Kim, W. I., David, J., Shin, S. K., Oh, G. J., KAng, Y. Y., Jeon, T. W., Jeong, M. J., Kim, D. W., Jeong, S. K. and Cho, Y. A., Material flow analysis in mercury-containing electric and electronic equipments (II), NIER, Republic of Korea(2011).
- David J., Lee, J. Y., Yu, H. Y., Yoon, C. W., Lee, M. Y., Shin, S. K. and Oh, G. J., Material flow analysis in mercury-containing electric and electronic equipments (III), NIER, Republic of Korea(2012).
- Lee, J. Y., David, J., Cho, Y. A., Lee, M. Y., Jeong, Y. W. and Choi, H. H., Material flow analysis of mercury containing products(IV), NIER, Republic of Korea(2013).
- Park, H. S., 2<sup>nd</sup> nonpoint source chemical emission research, Ministry of Environment, Government of Korea, pp. 227~252 (2008).
- Shin, S. S., Kim, N. K., Bang, S. S., Lee, T. H., Hong, S. I., Go, S. J. and Kwak, Y. H., "Basic research situation of mercury distribution and emissions in domestic," Ministry of Environment, Government of Korea, pp. 93~96(2009).
- Lee, D. J., Jeon, T. W., Oh, G. J., Shin, S. K., Chung, David, Yoon, J. I., Kim, K. H., Park, J. S., Heo, J. H., Hwang, D. G., Kim, D. U., Cho, Y. A., Nam, S. N. and Jeong, S. K., "A Study on Hazardous Waste Catalogue and Discharging Characteristics (III)," NIER, Republic of Korea, pp. 41~63

- (2010).
8. NIER, Korea Standard Method for Waste, ES06404.1 : Mercury-Atomic Absorption Spectrophotometry, Ministry of Environment, pp. 225~234(2015).
  9. NIER, Korea Standard Method for Waste, ES06150.b : Sample preparation, pp. 25~33(2015).
  10. US EPA, Standard Method 7473, Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry, **7473**, 1~17(2007).
  11. Moll, Stephan, Jose Acosta, Helmut Schutz, Iron and steel-A Materials system analysis : Pilot study examining the material flows related to the production and consumption of steel in the european union, ETC/RWM working paper, 18~19(2005).
  12. Ju, H. S., Hrt, T., Kim, J. H., Jang, J. B., Ha, H. S., Hong, S. J., Lee, J. Y., Kim, Y. H., An, S. H. and Jang, U. S., "Research on Improving method of resource productivity through material flow analysis og key resources," NIER, Republic of Korea, pp. 271~311(2008).
  13. Lee, D. and Joe, G., "Heavy metal analysis for the toy industry by inductively coupled plasma optical emission spectroscopy," PerkinElmer Application Note, 1~6(2007).
  14. US EPA, Consumer and commercial products, Mercury in your environment, [http://www2.epa.gov/mercur\(assess data : 2014\).](http://www2.epa.gov/mercur(assess data : 2014).)
  15. UNEP, Global mercury assessment : Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport, United nations environment programme(2002).
  16. Perchards, Transposition of the WEEE and RoHS directives in other EU member states, Unites Kingdom(2005).
  17. Ministry of Environment in Korea, Mercury management comprehensive countermeasures 2011~2015, 14~19(2010).
  18. National Environment Lab., A Study on the improvement and discharge of wastes containing mercury (III), NIER, Republic of Korea, pp. 215~222(2014).