

## 공공 자료를 활용한 산업폐기물내 유해성 유가금속 회수관련 초기 현황조사 방안

§이 상 훈

계명대학교 환경학부 환경과학전공

### Preliminary Status Analysis Methodology on Hazardous and Valuable Metal Recovery in Industrial Wastes Using Public Database

§Sang-hun Lee

*Dept. of Environmental Science, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Daegu 42601, Korea*

#### 요 약

우리나라는 제조업 중심 국가로서 다양한 분야에 많은 양의 금속이 사용되나, 이들 금속이 대부분 수입에 의존하고 있다. 상당수의 금속은 전세계적으로 제한된 부존량 및 생산량에 비해 소비량이 증가하는 실정이다. 어떤 금속들은 부존 및 생산국가가 편재되어 있는 경우가 종종 있어 향후 공급의 불안정성이 우려된다. 또한 이러한 금속이 유해성을 띠고 있을 경우 환경적 측면에서도 문제가 된다. 이를 해결하기 위해 사업장 폐기물내 유해성 유가금속 회수 및 재활용을 통해 공급을 안정화시키고 환경오염을 예방할 수 있으나, 유가 금속의 종류 및 국내 배출업체와 배출폐기물 종류가 매우 많아 초기에 관련 현황파악이 번거롭다. 따라서, 본 연구에서는 공공기관 공개자료를 통해 향후 국내산업에 중요한 유해성 유가금속 선정결과를 소개하고, 국내 화학물질 배출·이동량 정보 등을 이용하여 이러한 금속(니켈, 코발트, 망간 등)를 함유 폐기물을 배출하는 업체들을 보다 용이하게 초기 현황파악 하는 방안을 순서도 형식으로 제시하였다.

**주제어 :** 유가금속, 폐기물, 화학물질 배출·이동량 정보, 회수, 현황조사

#### Abstract

Korea, one of the manufacturing-oriented countries, consumes a large amount of metals in various industrial areas, but should depend on import of most of the metals from foreign countries. Also, global metal consumption amounts are increasing in relation to those of the world's reserve and production. Some metals are limitedly produced from only several centuries, which might lead to instability of the future supply of those metals. In addition, when such metals are hazardous, those may result in various environmental troubles with contamination. To resolve those issues, the recovery and the recycling of hazardous but valuable metals in industrial waste are desirable. However, there are overwhelming numbers of the metal types, waste generators, and amounts of wastes containing the metals, so it can be troublesome even to implement a preliminary status analysis to screen proper metals, wastes with the metals, and waste producers. Therefore, this study introduces the valuable metals for Korean industry, announced by public institutions. Also, a flow chart is suggested to facilitate a preliminary status analysis, using the domestic PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) database, to screen proper waste producers containing some of hazardous but valuable metals such as nickel, cobalt, and manganese.

**Key words :** valuable metals, waste, PRTR (Pollutant Release and Transfer Register), recovery, status analysis

· Received : March 13, 2020 · Revised : April 6, 2020 · Accepted : April 13, 2020

§ Corresponding Author : Sang-hun Lee (E-mail : shlee73@kmu.ac.kr)

Department of Environmental Science, Keimyung University, Osan Hall 303, 1095 Dalgubeol-daero, Dalseo-gu, Daegu 42601, Korea  
©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

금속은 국내 산업에 큰 영향을 끼치는 중요한 자원이나 부존량이 소비량에 비해 극히 부족하여 99% 이상 수입에 의존하는 실정이다<sup>1,2)</sup>. 이는 최근 일부 금속자원 저품질화 및 고갈과 채광/선광시 환경오염방지 에 따른 비용상승 등의 리스크가 지속되고 있으며, 이와 더불어 자원부국의 금속자원수출제한 등으로 인한 증장기 수급 불안 요인이 대두되고 있다. 이러한 리스크를 해소하고 수급안정화를 도모하기 위한 전략이 필요한데, 이는 산업폐수/폐기물 중의 유기금속 회수를 통한 일종의 자원순환(혹은 도시광산) 시스템의 증진을 통해 가능하다. 이러한 시스템의 기술/경제성만 확보된다면 유기금속 회수는 전략적 가치가 충분하여 관련 기술개발이 시급하다<sup>3,4)</sup>.

국가 전략 및 경제적 측면 외에도 환경적 측면에서 금속 함유 폐기물이 무단 배출될 경우 환경문제가 발생하는 경우가 흔하다. 많은 금속들이 잘 분해되지 않고 장기간 동안 환경내 생태계나 인체내 지속적으로 잔류한다. 어떤 금속은 생체내 비발암/발암성 독성(혹은 유해성) 때문에 반드시 제거되어야 하는 경우도 있다. 예를 들면, 비소, 구리, 카드뮴, 크롬, 니켈, 아연, 납, 수은과 같은 중금속은 특유의 독성 및 화학적 특성으로 인해 주요 오염성분으로 인식된다. 이러한 금속성분이 미처리된 폐수/폐기물에 포함되어 수계나 대기로 배출될 경우 이들의 독성은 생태계 먹이사슬을 통해 인체에 악영향을 미친다<sup>5,6)</sup>. 또한 이러한 금속성분을 제대로 관리 및 처리하지 않으면 관련 유해성은 산업 폐수/폐기물 증가로 인해 더 높아질 가능성이 크다.

전술한 국가경제 및 환경적 측면에서 볼 때 유해성을 띄면서 국가경제적 측면에서 가치가 있는 “유해성 유기금속”을 해당 업체 사업장내 발생한 폐수/폐기물 중에서 우선적으로 회수/재활용하는 것이 경제 및 환경적 가치를 모두 만족시킬 수 있다는 점에서 바람직하다. 이 경우 주요 배출업체를 직접 방문하여 사업장내 유해성 유기금속 함유 폐수 및 폐기물 배출 실태를 상세히 파악한 후 회수 기술 적용여부를 타진해야한다. 이를 위해서 초기 현황조사를 통해 금속배출 업체/사업장/업종, 폐수/폐기물, 성분 등을 직접조사 전에 미리 스크리닝할 필요가 있다. 이때 광범위한 관련 정보를 대상으로 개략적이고 신속한 정보 추출이 필요할 것이다.

문제는 국내 금속 배출업체가 너무 많고, 유기 금속 및

배출폐기물 종류도 다양하여 방문대상 배출업체를 선정하는 초기 현황 파악절차가 매우 번거롭다. 기존 폐기물 분류 방식은 주로 가연성, 불연성 등 처리방법 혹은 유해성을 기준으로 분류한 경우가 많아 본 연구에서 필요한 초기 현황 분석으로 직접 적용하기에는 불충분하다<sup>7)</sup>. 또한 방문업체를 선정한다고 해도 폐수/폐기물 시료 및 배출량 분석 목적 업체의 방문수락 및 협력여부도 관건이다. 이러한 초기 현황조사의 효율성 및 간편성 제고를 위해, 본 연구에서는 인터넷에서 무료로 열람 가능한 공공기관 자료를 이용하여 주요 유기금속의 Value chain별 물질흐름과 유해성 유기금속이 포함된 폐수/폐기물의 배출량 및 배출업체를 파악하고자 한다<sup>8-11)</sup>. 여러 공공기관 자료 중에서 본 연구에서는 화학물질 배출·이동량 정보(PRTR: Pollutant Release and Transfer Register)의 활용성에 중점을 두고자 한다<sup>10,11)</sup>. 국내 화학물질 배출·이동량 정보 공개시스템과 유사한 PRTR 시스템은 해외에도 존재하며 환경, 경제, 보건 등 다양한 목적으로 활용이 되고 있다<sup>12,13)</sup>. 특히, Kolominskas와 Sullivan (2003)의 연구에서는 청정생산 관련 계획 및 체제화 목적 초기 조사 관련, PRTR의 유용성에 대해 언급하였다<sup>13)</sup>. 예를 들면, 특정 오염성분에 대한 다양한 오염원의 규명, 청정생산 대상 제조공정 선정시 우선순위 구축 관련 초기 작업, 혹은 청정생산구축에 필요한 정보가 필요할 때 PRTR이 유용하다고 판단하였다. 다만 이후의 상세조사단계에서는 PRTR의 활용성이 상대적으로 떨어진다고 지적하였다<sup>13)</sup>.

이와 같이 기존연구에서 청정생산을 비롯한 환경관리에 PRTR의 유용성이 강조되었지만, 유기금속 회수와 같은 순환자원 관련 PRTR의 활용은 극히 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 PRTR 시스템, 즉 화학물질 배출·이동량 정보를 중심으로 산업폐기물내 유해성 유기금속 회수관련 초기 현황조사 방안을 제시하고자 한다. 이러한 방식은 알고리즘 형식으로 도식화하고, 일례를 통해 효율성과 향후 개선점을 논하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 우선 한국광물자원공사와 한국희소금속산업기술센터의 연구분석 결과 국가산업에 특히 중요한 성분으로 선정된 유기금속들을 소개하고 이들의 선정 배경을 간략히 설명한다<sup>8,9)</sup>. 이후 환경부 주관 화학물질

배출·이동량 정보공개 사이트의 조사항목(환경적으로 유의미한 유해성분)에서 앞서 선정된 유가금속들이 포함되어 있는지 확인한다<sup>10,11)</sup>. 그 결과 선정된 유해한 유가금속을 대상으로 한국희소금속산업기술센터 주관 국가통합자원관리시스템에서 제공된 금속의 물질흐름을 파악한다<sup>9)</sup>. 참고로 물질흐름분석에서는 특정 물질의 생애주기(유입, 생산, 유통, 폐기, 회수/재자원화) 과정을 분석하고 물질흐름도를 통해 도식화한다. 여기서 유가금속의 Value chain 별 용도와 폐기 및 회수 흐름 현황을 알 수 있다<sup>9)</sup>. 특히 소비된 금속 중의 어느 정도가 회수/재자원화되는지 혹은 그냥 폐기되는지 쉽게 파악할 수 있는데 이를 통해 해당 금속의 회수공정 적용성 여부도 간접적으로 판단할 수 있을 것이다.

또한 화학물질 배출·이동량 정보공개 사이트에서 유해한 유가금속들의 배출업체/업종이나 폐수/폐기물내 배출량 등을 파악할 수 있다<sup>11)</sup>. 여기서 유가금속 배출량이 많은 업체를 적절한 기준에서 후보군을 스크리닝할 수 있고 이후 국가통합자원관리시스템의 물질흐름과 업체정보(업체 홈페이지나 경영/환경 보고서)등을 통해 유가금속 함유 폐수/폐기물의 성상과 이에 따른 개략적 회수기술 등을 추측할 수 있다. 그 결과 회수 가치가 있다고 판단되는 업체에 한하여 직접조사 수행을 고려한다.

### 3. 결과 및 토의

금속 원자재를 거의 수입에 의존하는 우리나라의 경우 사실상 거의 모든 금속을 유가금속으로 볼 수 있지만, 금속회수를 위해서는 다양한 유가금속 중 어떤 금속이 특히 산업적/경제적으로 더 큰 가치를 지니고 있는지 상세히 평가가 되어야 한다. 광물자원공사의 경우 산업적 중요도/희귀성, 매장지역의 편재성, 해당 원자재 관련 무역분쟁 가능성 및 미국지질조사소와 무역협회 자료 등을 토대로 핵심(금속)광물과 관심(금속)광물을 선정하였다<sup>4,8)</sup>. 이들을 선정한 기준은 크게 전략적 중요도 및 시장 중요도로 구분하였다. 전략적 중요도는 국내 유망 신산업과의 기여도, 미래 수요증가 정도, 그리고 해당 금속을 가공 혹은 소비할 국내업체가 있는지를 고려한다. 또한 시장적 중요도는 특정 국가에 해당 금속자원의 부존 혹은 생산이 편재하는지 여부, 부존량에 비해 생산량이 적정한지 여부, 그리고 해당 금속의 국내 수입규모 및 최근 수입증감율을 토대

로 평가하였다<sup>8)</sup>.

한국광물자원공사 평가 결과, 중요도가 가장 높은 5대 핵심 광물은 리튬, 코발트, 텅스텐, 니켈, 망간이며 그 다음 12대 관심 광물은 희토류, 탄탈륨, 몰리브덴, 인듐, 백금족, 크롬, 니오븀, 실리콘, 티타늄, 마그네슘, 갈륨, 바나듐라고 보고하였다<sup>8)</sup>. 여기서 희토류는 통상적으로 가돌리늄, 네오디뮴, 디스프로슘, 란타넘, 사마륨, 세륨, 스칸듐, 이터븀, 이트륨, 툴륨(Tm) 17종을 의미하며, 백금족은 루테튬, 로듐, 백금, 오스뮴, 이리듐, 팔라듐의 6종을 의미한다. 이들의 전략적 및 시장적 중요도 평가 결과를 보면 핵심광물 5종은 전략적/시장적 중요도 모두 상위 약 1/3에 들었다. 그 외 관심광물 중 시장적 중요도는 다소 낮으나 전략적 중요도가 상위 1/3에 든 광물은 탄탈륨, 규소, 티타늄, 희토류, 마그네슘, 인듐, 갈륨으로 평가되었다. 역으로, 전략적 중요도는 다소 낮으나 시장적 중요도가 높은 광물은 백금족, 크롬, 몰리브덴 및 니오븀으로 선정되었다<sup>8)</sup>. 또한 한국희소금속산업기술센터 주관 국가통합자원관리시스템에서 주요 유가희소금속 중 2015년 최우선 5대 원소(갈륨, 백금, 인듐, 텅스텐, 희토류)를 선정하였고, 여기에 니켈, 리튬, 마그네슘, 코발트, 갈륨, 백금, 인듐, 텅스텐, 희토류 등을 추가로 선정하였다. 이들 희귀금속 중 자원고갈 및 지역편중성 증대로 공급불안이 큰 성분에 대해서는 소비량 조감, 대체소재개발 및 회수/재활용 개발을 통해 국내 자급화 추진 계획을 가지고 있다<sup>9)</sup>.

한편, 환경부 화학물질 배출·이동량 정보공개 사이트의 조사항목에 포함된 (유해) 금속(준금속포함) 은 납, 수은, 니켈, 비소, 베릴륨, 카드뮴, 크롬, 알루미늄, 안티몬, 바륨, 붕소, 코발트, 구리, 망간, 셀레늄, 주석, 바나듐, 아연, 은 등과 이들의 화합물이 포함되었다<sup>10,11)</sup>. 이외에 경제적 가치가 낮은 나트륨 화합물이나 갈륨 화합물 등도 포함되어 있다<sup>10,11)</sup>. 한국광물자원공사와 국가통합자원관리시스템에서 선정한 유가금속과 환경부 화학물질 배출·이동량 정보공개 사이트에서 선정한 유해 금속항목을 니켈, 크롬, 망간 코발트, 바나듐 이상 5개 금속이 중복되었다는 것을 알 수 있다. 이중 코발트, 니켈, 망간은 한국광물자원공사의 5대 핵심광물과 국가통합자원관리시스템상의 (확대된)최우선 원소 그룹에도 포함되어 있어 환경 및 국가경제적 측면에서 모두 중요하다고 볼 수 있다.

국가통합자원관리시스템에서 제시한 물질흐름을 참조하면, 우선 니켈제품은 자동차, 기계/구조물, 전기전자, 석

**Table 1.** Summarized metal release and transfer from industrial companies in Korea.

Metals	No. of Dischargers	Atmospheric Discharge (kg/yr)	Water Discharge (kg/yr)	Landfill by Producers (kg/yr)	Transported in Wastewater (kg/yr)	Transported in Waste (kg/yr)
Aluminum & its compounds	970	465,165	164,162	2,297,904	1,196,865	271,409,939
Zinc & its compounds	443	413,043	25,374	3,564,190	170,274	53,417,972
Boron & its compounds	80	144,273	22,596	98,644	138,801	1,821,228
Barium & its compounds	175	72,196	1,981	238,810	21,885	1,629,777
Manganese & its compounds	209	50,372	23,589	752,634	12,330	137,904,805
Copper & its compounds	409	69,584	2,451	432,764	322,100	14,275,203
Nickel & its compounds	412	49,893	2,825	391,926	223,402	4,912,372
Chromium & its compounds	385	27,017	1,558	703,635	473,500	17,866,220
Lead & its compounds	194	15,294	53	1,181,680	4,021	13,292,504
Cobalt & its compounds	50	7,214	5,945	74,890	4,968	905,362
Tin & its compounds	89	10,123	66	0	2,188	361,020
Antimony & its compounds	100	4,912	42	419,530	1,189	1,315,791
Cadmium & its compounds	12	523	1	21,770	105	72,933
Vanadium & its compounds	20	61	347	16	0	890,222
Arsenic & its compounds	14	334	0	3,280	84	374,223
Beryllium & its compounds	1	100	0	0	100	0
Total		1,330,104	250,990	10,181,673	2,571,812	520,449,571

유화학 등 다양한 산업에 사용된다. 우선 전량 수입된 니켈광이 일련의 처리를 통해 페로니켈 또는 산화니켈로 전환된다. 이 후 1차 가공에서 합금이나 니켈 화합물 등이 생산되며 재자원화 단계에서의 투입비율은 약 20% 정도이다. 중간단계는 자동차 부품, 부차용 금속제품, 강관 등으로 투입되고 재활용 단계에서는 스테인리스 스틸로 약 2만톤, 니켈 화합물(탄산니켈)로 50톤, 페로니켈로 250톤이 재자원화되고 나머지 약 1천톤이 폐기되는 것으로 보고되었다<sup>9)</sup>. 한편, 코발트의 주요 용도는 초경합금의 첨가제, 내마모성 합금이나 자성 합금에 사용된다. 특히 이차전지의 양극재에 사용되어 향후 소비량이 지속 증가할 것으로 예측하였다. 코발트 재활용은 대부분 페리튬전지를

중심으로 이루어지고 있다고 하며, 이를 위해 페리튬전지를 해외에서 수입하는 경우도 있다고 보고되었다. 페리튬전지 외 폐기물에서의 코발트 회수는 미미한 시정하다<sup>9)</sup>. 마지막으로, 망간의 물질흐름을 보면 망간 원자재는 대부분은 제강 첨가제, 알루미늄 합금 및 전지 제조에 소비되고 있다. 철강재의 합금원료로 사용된 망간은 철강 스크랩 재자원화시 함유 망간이 간접적으로 재자원화 되는 것으로 보고되었다. 망간전지와 알루미늄 캔에 함유된 망간이 소량만이 수집되고 있으며 주로 철강재 폐기물에서 재자원화된다<sup>9)</sup>.

Table 1은 본 연구에서 제시한 초기 현황분석방안의 일례로서 화학물질 배출·이동량 정보공개 사이트에서 발취

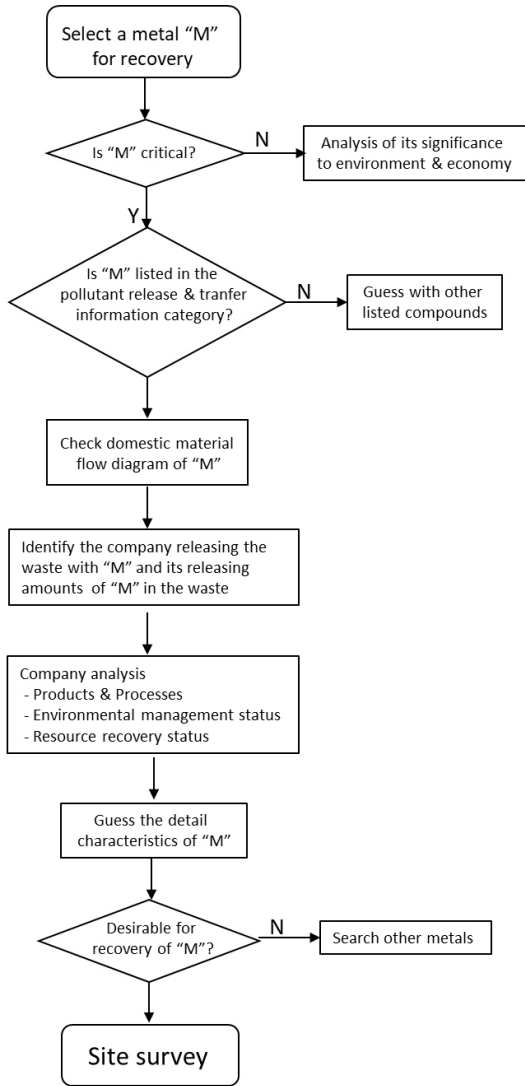
**Table 2.** Summarized metal release and transfer from industrial companies in Daegu city, Korea

Metals	No. of Dischargers	Atmospheric Discharge (kg/yr)	Transported in Wastewater (kg/yr)	Transported in Waste (kg/yr)
Aluminum & its compounds	31	2,182	21,902	2,026,470
Copper & its compounds	12	438	7,353	234,816
Barium & its compounds	4	2,055	33,196	65,475
Boron & its compounds	1	0	0	57,950
Manganese & its compounds	6	13	1	30,170
Nickel & its compounds	13	56	1,773	17,793
Chromium & its compounds	16	199	9,964	10,982
Lead & its compounds	2	18	11	9,548
Cobalt & its compounds	3	27	25	6,030
Tin & its compounds	1	105	5,844	4,027
Total		5,529	87,273	2,468,858

한 국내 전체 사업장을 대상으로하는 배출금속 관련정보이다. 또한 Table 2는 이 중에서 대구광역시에 해당하는 자료를 발췌한 것이다. 참고로 여기서 대기배출량(Atmospheric discharge)은 굴뚝이나 덕트 등 대기배출시설이나 공정 혹은 저장시설의 배기부 및 비산오염원에서 배출되는 해당성분(조사대상 금속 혹은 관련 화합물)의 양을 포함한다<sup>10,11)</sup>. 수계배출량(Water discharge)은 처리 혹은 미처리상태로 배출된 해당 성분의 양을 포함한다. 한편, 자가매립량(Landfill by producers)은 사업장 관할하의 매립지내에 매립된 해당 성분의 양을 의미한다. 폐수이동량(Transported in wastewater)은 폐수를 폐수처리업체(하폐수종말처리시설 혹은 공동방지사설 등)로 이송하여 처리할 경우, 폐수에 함유되어 이송된 해당 성분의 양을 의미한다<sup>10,11)</sup>. 그리고 폐기물 이동량(Transported in Waste)은 폐기물을 위탁처리 하는 경우 폐기물에 함유되어 처리업체로 이동된 성분의 양을 의미한다. 이는 업체내 제품 및 관련 물질의 제조, 사용, 운반, 보관, 저장과정내 발생된 폐기물이나 폐액을 포함된다. 예로, 탈수 케이크 및 필터, 집진기 분진, 폐흡착제, 폐수슬러지 등 방지사설에서 발

생된 폐기물, 정제/추출 과정 후 잔류 폐기물 및 폐용기 또는 탱크 내 잔류물을 등이 있다<sup>10,11)</sup>.

Table 1에 나타난 국내 전체 금속배출 및 이동 실태를 보면 대기로 배출되는 금속(및 해당 금속의 화합물)은 알루미늄과 아연이 많고, 수계배출량은 알루미늄이 압도적으로 많았다. 자가매립량은 알루미늄, 아연 및 납이 많았고 폐수/폐기물 이동량내에는 알루미늄, 망간 및 아연이 많았다. 유해성 유기금속에 한하면 망간이 압도적으로 많고 그 다음으로 니켈이 많았으며 크롬도 꽤 많은 양을 차지하였다. Table 2의 수치를 보면 폐기물 이동량내 알루미늄과 구리 및 그들의 화합물이 가장 많은 것으로 나타났고 본 연구에서 선정된 유해성 유기금속인 망간, 니켈 및 코발트도 비교적 소량이지만 폐기물 이동량에 포함되는 것으로 나타났다. 참고로 Table 2에서의 수계배출 및 자기매립 항목에 해당되는 각 성분의 양은 미미하였다. 환경부 화학물질 배출·이동량 정보공개 사이트에서 제공하는 업종 및 업체명을 통한 조사 결과 대부분의 니켈(84%)과 코발트 전부는 전기장비 제조업 즉 이차전지 양극물질 제조업 폐기물에서 대부분 배출되는 것으로 파악되었다.



**Fig. 1.** Flow chart to demonstrate the procedure for the early status survey for metal recovery from industrial wastes, using public open information.

니켈의 나머지는 약 14% 정도는 고무/플라스틱 제조업체와 전자부품 제조업체에서 배출되었다. 업체명을 통해 파악된 바에 따르면 전자는 자동차 부품(동력전달장치, 선바이저, 스노우체인 등)을 제조하는 업체이며 후자는 인쇄회로기판 제조업체였다. 망간은 언급된 이차전지 제조업체 외에도 1차 금속 제조업체 및 자동차 관련 제조업체에서 상당량 배출하는 것으로 나타났다.

한편, 환경부 배출·이동량 정보공개 사이트내 화학물

질 리스트에 포함되지 않은 유기금속(예: 리튬 등)을 고려하는 경우, 다소의 불확실성을 감수한다면, 리스트에 포함된 다른 성분을 통한 간접적 유추를 시도해 볼 수 있을 것이다. 예를 들면, 이차전지에 사용되는 리튬은 리스트에 포함되어 있지 않으나 이차전지에 자주 쓰이는 다른 금속 예를 들면 니켈이나 코발트 등의 금속을 통해 간접적으로 유추해 볼 수 있을 것이다. 특히 중간재 및 제품에 일정비로 활용되는 복수의 금속 혹은 성분이 있다면 이 중 리스트에 존재하는 성분의 배출·이동량을 통해 해당 금속의 존재 및 배출량도 어느 정도 가능해 볼 수 있을 것이다. 그러나 이러한 유추를 통해서 유기금속을 추가선정하는 것은 무리가 따르기 때문에, 이러한 유추는 현황조사 이후 직접조사를 통해 검증해야 할 것이다.

지금까지는 공공자료를 활용한 유해성 유기금속 자원화 관련 초기 현황분석 절차 및 일례를 들었다. 본 연구에서 제시한 공공기관 공개자료를 이용한 초기 현황조사 절차를 순서도로 도식화하면 Fig. 1과 같다. 현재 공공자료 특히 화학물질 배출·이동량 공개자료의 업체별 배출항목 및 배출량 정보의 효용성이 매우 크지만 향후 개선해야 할 부분도 존재한다. 우선, 환경 및 자원화 측면을 모두 고려하여 향후 화학물질 배출·이동량 공개자료내 미포함항목에 자원화 측면에서 중요한 리튬, 마그네슘, 희토류 등도 포함된다면 본 연구와 유사한 폐기물내 금속 자원화 관련 초기 현황조사가 보다 원활하게 진행될 것이다. 예를 들어 대표적인 전자/전기 폐기물인 폐PCB에는 환경적으로 문제되는 금속 외에도 다양한 유기금속이 함유되어 있으니 이러한 성분을 배출·이동량 공개사이트의 조사항목에 포함시킨다면 국내 자원화 기술적용에 큰 보탬이 될 것으로 판단된다. 또한 폐기물내 금속의 적정 회수 기술 및 경제성 평가를 위해 배출금속의 성상 관련 정보가 필요하다. 일차적으로 배출 폐기물이 과상형태로 형성되어 있다면 회수시 파분쇄 등 고에너지 소모 공정이 적용되어야 할 것이나 폐액이나 미분말의 형태라면 훨씬 저비용으로 회수가 가능할 것이다<sup>14)</sup>. 또한 금속이 어떤 형태의 결정이나 화합물을 이루고 있는지 어떤 성분 혹은 화합물과 공존하고 있는지도 조사 및 공개되면 회수기술 탐색 및 경제성 평가가 보다 용이해질 것이다. 이러한 확장된 정보가 보다 수시로 업데이트되어서 공개된다면 환경측면 뿐 아니라 자원화의 발전에도 크게 이바지 할 것이다.

## 4. 결 론

공공기관인 한국광물자원공사와 한국희소금속기술개발센터의 분석결과, 유가금속 중 리튬, 니켈, 코발트, 마그네슘, 바나듐, 텅스텐, 백금, 희토류 등 상당수의 금속이 국내 경제에 큰 영향을 미칠 것으로 조사되었다. 또한 환경부 주관 화학물질 배출·이동량 정보를 통해 환경오염을 유발시킬 수 있는 유해물질을 확인할 수 있었는데 한국광물자원공사에서 선정한 핵심/관심 유가금속 중 니켈, 코발트, 망간, 크롬, 바나듐이 유해물질 항목에도 포함되었다. 국가통합자원시스템을 통해 이들 금속의 국내 산업내 물질흐름을 Value chain별 파악할 수 있었으며 재자원화율도 확인할 수 있었다. 이후 환경부 배출·이동량 정보공개 사이트에서 조사대상 금속의 배출량 및 배출형태를 대략 확인할 수 있으며 배출업종과 업체명을 통해 별도로 문헌조사를 하여 해당 금속이 포함된 제품과 대략적인 생산공정을 파악할 수 있었다. 이러한 초기 현황조사를 통해 직접조사 대상 업체를 보다 원활하게 스크리닝할 수 있고 이 후 이후 업체 방문을 통한 직접조사를 통해 폐기물 성상 및 배출/처리 실태에 대한 보다 상세한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2019년 계명대학교 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

1. Kim, B., Chae, S., Kim, J., et al., 2018 : Oversea production status of gold, silver, platinum and palladium from scrap. *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 27 (6), pp.76-83.
2. Kim, B., Kim, J., Yoo, K., 2019 : Recycling status of gold, silver, platinum and palladium, *J. Korean Soc. Miner. Energy Resour. Eng.*, 56 (4), pp.359-366.
3. KONMA, 2008 : A study on the mid-to-long term stable supply of industrial commodities (focusing on rare metals).

- Report to Korean Ministry of Knowledge Economy.
4. KOREAXIM, 2018 : The fourth industrial revolution and mineral resource, 2018 ISSUE STUDY, Korea Eximbank.
  5. Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., et al., 2017 : Removal of heavy metals from industrial wastewaters: A review. *Chem. Bio. Eng Rev*, 4(1), pp.1-24.
  6. Mulchandani, A., and Westerhoff, P., 2016 : Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges, *Bioresour Technol.*, 215, pp.215-226.
  7. Korea Resource Recirculation Information System URL: <https://www.recycling-info.or.kr/sds/ruseAcmsltEntrpsSttusByRste.do>. (Accessed 25 March 2020).
  8. KORES, 2019 : A strategy for the stable supply of critical mineral resources for the fourth industrial revolution, Title: acquirement of future strategic resource and its relevant man-power training, KORES seminar, Korea Resources Corporation.
  9. Korean National Material Flow Analysis URL:<https://k-mfa.kr/>. (Accessed 10 March 2020).
  10. National Institute of Chemical Safety in Korean Ministry of Environment, 2019 : Guideline for survey of chemical emission amounts. Rep. No 11-1480802-000066-10. 11. Pollutant Release and Transfer Register URL: <https://icis.me.go.kr/prtr/main.do>. (Accessed 1 March 2020).
  12. US EPA, 2013 : United States Environmental Protection Agency. TRI University Challenge, <http://www2.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/triuniversity-challenge>. (Accessed 26 March 2020).
  13. Kolominskas, C. and Sullivan, R., 2004 : Improving cleaner production through pollutant release and transfer register reporting processes, *J. Clean. Prod.*, 12, 713-724.
  14. Lee, J.R., 2012 ; Pre-treatment technology for urban mine recycling, Professional training program for urban mining companies, Korea Institute of Industrial Technology.

---

## 이 상 훈

- 퍼듀대학교 Biological Engineering 박사
  - 현재 계명대학교 환경학부 환경과학전공 조교수
  - 당 학회지 제27권 6호 참조
-