都市鑛山 再資源化기술의 모듈과 韓國의 非鐵製鍊 프로세스[†]

[†]吳在賢 · 金俊秀* · 文碩敏** · 閔芝源***

延世大學校 名譽教授, *韓國地質資源研究院, **ACN, ***韓國資源리사이클링學會

Technological Modules for the Recycling of Urban Mines and Non-Ferrous Smelting Processes in Korea[†]

[†]Jae-Hyun Oh, Joon-Soo Kim*, Suk-Min Moon** and Ji-Won Min***

Professor Emeritus of Yonsei University,

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,*

***ACN, ***The Korean Institute of Resources Recycling*

요 약

도시광산 재자원화기술의 모듈과 한국의 비철제련 프로세스를 파악하기 위하여 재자원화기술의 전체상과 요소기술, 물리선별, 비철제련 프로세스 및 바람직한 도시광산 처리기술의 단위조작을 밝히고, LS-Nikko동제련(주)과 고려아연(주)의 리사이클링 프로세스를 탐색하였다. 끝으로 일본의 대표적인 비철제련소인 DOWA Holdings 및 JX Holdings 리사이클링 프로세스와 한국의 위 두 비철제련소의 리사이클링 프로세스를 비교검토 하였다.

주제어 : 물리선별, 비철제련, LS-Nikko동제련, 고려아연

Abstract

In order to review the technological modulus of the recycling of urban mine resources and non-ferrous smelting process in Korea, key point of recycling process, physical separation, non-ferrous smelting process, unit operation for the recycling technology, recycling process of LS-Nikko Copper and Korea Zinc were studied. Finally, metal recycling processes of the typical non-ferrous smelters in Japan such as DOWA Holdings and JX Holdings were compared with those of LS-Nikko Copper and Korea Zinc.

Key words : physical separation, non-ferrous smelting, LS-Nikko Copper, Korea Zinc

1. 서 론

도시광산 재자원화기술의 실태를 파악하기 위해서는 먼저 도시광산 재자원화기술의 모듈*을 설정하고 이해하는 것이 필요하다. 그리고 그 다음에 재자원화산업의 현재를, 모듈과 상호 관련시키면서 기술의 향상을 모색하는 것이 바람직하다.

본고에서는 이러한 관점에서 재자원화기술의 전체상

과 요소기술을 기술하고, 중간처리 프로세스, 비철제련 프로세스의 이용 및 바람직한 도시광산 처리기술의 조 작단위 등을 논술하였다. 도시광산 재자원화산업의 현재를 예시하기 위해서 LS-Nikko동제련(주)과 고려아연(주)의 제련 프로세스를 약술하였다. 모든 도시광산 원료는 중간처리 프로세스를 거친 다음, 이 비철제련소에서 최종산물 즉 금속으로 생산되기 때문이다. 중간처리 프로세스는 “한국의 E-waste 리사이클링시스템과 재자원화산업¹⁾”에서 이미 언급하였다.

[†] 2011년 12월 14일 접수, 2012년 2월 2일 1차수정

2012년 2월 13일 수리

[†]E-mail: kirr@kirr.or.kr

* 기술의 설정기준, 즉 기술의 기본이라는 뜻으로 사용.

LS-Nikko동제련(주)과 고려아연(주)은 POSCO와 더불어 우리나라 금속제조산업의 근간이다. 위 두 제련공장이 있기 때문에 우리나라 도시광산 재자원화산업의 개발과 발전가능성을 향유하고 있다. 끝으로 위 두 비철제련회사와 일본의 대표적인 비철제련회사 DOWA 및 JX(日鐵石金屬)를 도시광산 리사이클링면에서 비교하였다. 4대 회사의 강점과 약점을 검토하기 위해서 인 것이다.

2. 도시광산 재자원화기술의 모듈

2.1. 재자원화기술의 전체상

Fig. 1²⁾은 E-waste 처리의 전체흐름을 도시한 것이다. E-waste(WEEE)를 종류별로 분류(sorting)한 다음, 분해(dismantling)해서 재사용품, 선택적 처리를 요하는 부품 즉 LCD, PCB 등과 유해성부품, Fe·Cu·Al 및 플라스틱의 재활용부품, 모터·컴프레서 등의 처리가 곤란한 부품 등으로 수선별한다. 이상 수선별에서 회수한 부품 이외의 잔여물은 파쇄하고(processing) 기계적선별에 의해서 Fe, Al, Cu, 플라스틱 등을 회수한다.

Fig. 2³⁾는 일본 Re-Tem Corporation Mito plant의 processing flowchart로서 파쇄 이후의 처리시스템을 비교적 상세히 도시하고 있다. 그리고 점선 안은 비철

제련소에서의 처리를 도시하고 있다. 비철제련소에서의 처리방법은 구리·귀금속의 함유량에 따라서 다음 세 가지로 분류할 수 있다.

- ① 고품위 품은 비철제련소(동제련소)에서 용융제련 → 습식정제를 사용해서 금속 회수
- ② 저품위 품은 비철제련소(동제련소)에서 소각 → 용융 → 용융제련 → 습식정제를 사용해서 금속회수
- ③ 극 저품위 품은 소각로(발전소)의 가스화 용융로에서 Fe, Al 등의 비철금속의 회수

2.2. 요소기술의 본질

요소기술은 선별·분리기술로서, 분리의 본질을 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 목적물을 물리선별 또는 화학반응에 의하여 분리한다.
- 조립(粗粒)에서 분리는 물리선별이 유리하다.
- 화학반응을 이용한 프로세스는 고순도화 및 분리가 어려운 원소에 대해서 효과적이다.
- 금속제련 프로세스는 물리선별, 화학분리의 조합이다.
- 건식프로세스는 대량처리 및 조분리에 적합하다.
- 습식프로세스는 고순도화에 적합하다.

2.3. 중간처리 프로세스 (물리선별)

국내에 넓게 분산해서 존재하는 사용후제품 등으로부터

Fig. 1. A whole flow on the processing of E-waste.

Fig. 2. Processing flowchart of Mito plant, Re-Tem Corporation.

터 레이메탈을 회수하는 소위 도시광산의 개발은, 이들을 합리적으로 수거할 수 있는 사회기반 정비가 자원화의 제일보가 된다. 한편, 사용후제품 등의 대규모수거가 실현되어도 이들 중에 함유한 모든 금속을 자원화 할 수는 없다. 중간처리, 제련기술이 확립되어 있는 철, 알루미늄, 구리, 귀금속 등과 같이 대규모로 조직적으로 재자원화가 가능한 금속은 그 종류가 제한되어 있다. 특히 많은 종류의 레이메탈은 사용후제품 속에 저농도로 함유되어 있어 그대로 습식제련공정에서 회수하기에는 경제적으로 어렵다. 저농도의 귀금속을 효율적으로 회수할 수 있는 동제련 공정에서도 레이메탈은 슬래그 쪽으로 배분되는 경우가 많아, 그 회수는 기술적으로 곤란하다.

이와 같이 사용후제품 중에 함유되어 있는 많은 종류의 레이메탈에 대해서 자원가치를 부여하는 한가지 방

법은 물리선별에 의한 금속의 일차 농축이다. 사용후제품으로부터 자원을 회수시 최초로 시행되는 프로세스이고, 제련의 전처리공정으므로 “중간처리”라고도 한다. 사용후제품을 해체·분쇄·선별하는 공정으로 되어 있으며, 해체·선별하는 공정은 일반적으로 수선(手選)을 이용하고 있는 것이 실상이다. 그러나 레이메탈을 대상으로 하는 경우, 미세한 부품도 있고 극히 소량 함유되는 수도 있고 해서 수선에 의한 회수가 아주 비효율적일 수가 많다. 그러므로 선별프로세스의 기계화 혹은 기존 선별기의 최적화, 고도화를 시도하는 것이 불가결하다. Fig. 3⁴⁾은 PCB를 기계적으로 선별 처리하는 흐름을 도시한 것이다. 이 흐름에서는 폐가전에서 PCB만을 수작업으로 선별·회수해서 분쇄한 다음, 풍력선별과 부유선별에서 금속성분과 플라스틱성분을 분리한다. 즉 1차적으로 금속성분을 농축시키는 작업이다. 농축된 금

Fig. 3. Flow sheet for the processing DVD-PCBs by mechanical recycling process.

속성분을 자선기와 와전류선별기(Eddy current separator)에 의해서 철과 비철로 분리한다. 그러나 실제조업에 있어서는 분쇄된 PCB를 비철제련소의 용광로에 투입하는 것이 일반적이다. 이때 PCB중에 함유되어 있는 많은 종류의 레어메탈은 슬래그 쪽으로 배분된다.

Fig. 4⁵⁾는 소형 E-waste로부터 동과 레어메탈을 회수하는 흐름으로 인공광상(人工鑛床)⁶⁾을 구상한 방법(stock pile of rare metals)이다. 현재는 기술과 경제적인 면에서 바로 리사이클 할 수 없는 것이지만, 일정품위 이상의 유용금속을 함유한 것을 특정장소에 집약해서 광상 상태로 저장하는 것이다. 장차 기술이 개발되고, 금속 값이 오르면 언제든지 처리할 수 있게끔 저장하는 것이다. 즉 자원화 목적으로 중간처리물의 관리장소인 것이다.

Fig. 4에서는 소형 E-waste를 수작업으로 분해해서 유용물을 회수한 다음 잔여물을 레어메탈 검지기로 검사한다. 레어메탈 비함유물은 선별해서 PCB만을 동제련소로 보낸다. 레어메탈 함유물은 선별해서 stock pile로 보내고 레어메탈 함유 PCB는 분쇄한 다음 비중, 자력, 와전류 선별 후 레어메탈은 Stock pile로 보내고, 금, 은, 동 함유물은 동제련소로 보낸다.

Table 1⁷⁾은 Fig. 3, Fig. 4에서 이용하고 있는 선별 기술과 물성을 일람한 것이다.

Table 1. Separation techniques according to the physical properties in physical processing

물성	선별기술
< 발크 물성 >	
전자기특성(투과성)	광전선별
형상	형상선별
밀도	중선(중액선별)
	자성유체선별
	비중선별 : 지그선별, 박류선별, 스파이럴선별, 테이블선별
	풍력선별
자기적성질	자선(자력선별)
전기적성질(발크전기전도성)	과전류선별
방사능	방사능선별
< 표면물성 >	
색, 광택, (형상·입도·질감), 등	수선
전자파특성(반사성)	광전선별(색채선별을 포함)
전기적성질(표면전기전도성)	정전선별
습윤도	부선(부유선별), 액액추출

Fig. 4. Flow of Recovering rare metals from small sized WEEE.

2.4. 비철제련 프로세스 (화학분리)

화학반응을 이용한 프로세스로 고순도화 및 물리적 분리가 어려운 원소에 대해서 효과적이다. 기본적으로는 종래의 리사이클링시스템과 기술을 충분히 이용하는 것이 필요하다. 충분한 양을 확보하기 어려운 레이메탈의 경우 리사이클링 목적만으로 새로운 설비투자를 하기에는 곤란하다. 종래의 비철제련에서 어떤 원소가 회수되고 있는가를 세밀히 인식해서 새로운 시스템을 검토해야한다. 비철제련의 주체는 동, 아연, 납이고 이 세가지 비철제련 프로세스에서 많은 종류의 레이메탈을 회수하고 있다. 특히 Au, Ag, PGM 및 Se, Te 등은 본질적으로 비철제련의 불순물로서 광석중에 함유되어 있고, 그 회수는 옛날부터 시행되어 왔다. 그 외 In, Ga, Sb, Bi 등 많은 원소가 회수되고 있다. 이러한 원소는 비철제련 프로세스에서 부산물로 회수할 수 있기 때문에 별도로 프로세스를 구축할 필요가 없다(Fig. 5 참조⁸⁾)

귀금속은 고가이기 때문에 종래의 비철제련과는 별도로 회수하고 있는 예도 있다. 그리고 최근에 희토류 원소 및 Li(이온)전지 등, 이제부터 수요가 신장되는 전자기기 부품소재의 리사이클링을 준비해야 한다. 즉 E-

waste와 장래의 자동차전자장부품들은 고체선별(물리선별)을 행한 후, 종래의 프로세스로 회수가능한 원소가 많은 부분과 그렇지 않은 부분을 분리 후, 각기 적합한 수법으로 리사이클링하는 것이 바람직하다. RE, W, Mo, Cr, Nb, Ta, Li 등은 Fig. 5와 같은 비철제련 프로세스에서 분리 회수가 어렵다. 그러나 20여종의 금속원소는 종래의 비철제련 프로세스에서 가능하므로 비철제련소의 존재가 필수적이다. 다행히 우리나라는 LS-Nikko 동제련(주) 및 고려아연(주)과 같은 대규모의 비철제련소를 소유하고 있다.

한편 종래의 비철제련 프로세스에서 회수·분리할 수 없는 원소들은 일시 보관, 축적하여(인공광상) 장래의 원료로 하는 것이 바람직하다. 그러기 위해서는 Fig. 4에서와 같이 레이메탈을 저장·보관하는 프로세스와 기술이 필요하다.

2.5. 바람직한 도시광산 처리기술의 조작단위 모듈⁹⁾

Table 2는 도시광산 처리기술의 조작단위 모듈을 예시한 것이다. 도시광산 처리기술에서 물리적 단위조작을 첫단계로 시도해야하고 그 다음에 화학적 단위조작을 구상해야 한다.

Fig. 5. Base metals and minor metals recovered from primary and secondary resources in non-ferrous industry.

3. LS-Nikko동제련(주)¹⁰⁾ 사례

3.1. LS-Nikko 동제련 (주) 의 역사

1936년	조선제련주식회사 창설(1,500톤/년), 1936년 장항제련소 용광로가 가동을 시작하면서 우리나라 비철제련산업이 태동되었다.
1962년	한국광업제련공사로 국영화
1971년	한국광업제련주식회사로 민영화(5만톤/년)
1979년	온산동제련소 준공(8만톤/년)
1982년	온산동제련소 합병 및 LG그룹 편입, LG금속으로 상호 변경
1988년	온산 전기동 생산능력 증대(제련 14만톤/년, 전련 15만톤/년)
1989년	상호변경 : 주식회사 럭키금속
1990년	럭키금속 기술연구소 준공
1995년	상호변경 : 주식회사 LG금속
1997년	온산 전기동 배가 증설(제련 35만톤/년, 전련 36만톤/년)
1999년	합작법인 LG-Nikko동제련 주식회사 출범
2005년	LS 그룹 편입(LS-Nikko동제련 사명 변경)
2008년	동제련 증설(제련 46만톤/년, 전련 56만톤/년), 토리컴 인수
2009년	리싸이텍코리아 인수
2010년	(주)화창 인수
2011년	GRM 준공

3.2. 생산제품과 생산량

2010년 Capa. 기준

Cu Cathode	▶	560 kton/y
Gold	▶	60 ton/y
Silver	▶	600 ton/y
Selenium	▶	400 ton/y
Tellurium	▶	30 ton/y
Palladium	▶	2,300 kg/y
Platinum	▶	360 kg/y
조황산니켈 (NiSO ₄ , Ni > 18%)	▶	1,800
Bi cake(Bi > 25%)	▶	30 ton/y

9종의 금속을 생산하고 있으며 근간 Re도 생산 예정이다. 매출액은 7조 5810억원(2010년)이며 연간 3천억의 경상이익을 기록하고 있다. 그리고 매출구성은 전기동 70%, 금 20%, 기타 10%로 되어 있다.

3.3. 공정개략

온산동제련소는 제련1공장(FSF process), 제련2공장(Mitsubishi process)과 Chemical process, Electrolytic Refining process, Precious Metal process 및 Recycling process로 구성되어 있다. 약 150만톤의 동정광과 92,000톤의 리사이클링원료를 처리하고 있다. 자용료(FSF process) 프로세스와 Mitsubishi 프로세스가 조화되어

Table 2. Contents of recycling unit operation in the processing of urban mine resources

구분	내용			
리사이클링 단위 조작 기술	물리적 단위 조작	1. 고체 · 고체 분리	(1) 분쇄 (2) 분립 (3) 비중선별 (4) 자력선별 (5) 전기적선별	(6) 부선 (7) 수선 (8) 광학적 선별 (9) 기타
		2. 고체 · 액체 분리	(1) 농축 (2) 여과 탈수 (3) 건조	
		3. 고체 · 기체 분리	(1) 개요 (2) 고기분리(집진)의 원리 (3) 장치의 선택	
		4. 성형	(1) 개요 (2) 조립장치의 분류 (3) 폐기물의 조립(造粒)	
	화학적 단위 조작	1. 건식처리	(1) 배소·소성·열분해 (2) 용융 (3) 휘발 증류	
		2. 습식처리	(1) 침출·용해 (2) 석출·침전 (3) 용매추출	(4) 전해 (5) 기타
리사이클링 시설과 장치	1. 물류기지 2. 물질회수 시설 3. 매립과 소각에 의한 종합 리사이클링 4. 폐기물 처리 야드 5. 수집차량과 장치 6. 처리 장치			
리사이클링 조업	1. 리사이클링 프로그램의 기획과 실시 2. 공중도덕과 안전프로그램 3. 종업원 및 매니저의 훈련 4. 리사이클링 프로그램의 기안, 결정, 방법 5. 리사이클링산업에서의 컴퓨터의 역할 및 자료수집, 코스트 컨트롤			

가동하고 있는 세계 굴지의 동제련소이다.

Fig. 6¹¹⁾과 Fig. 7¹⁰⁾은 Mitsubishi 연속프로세스와 전해정련 프로세스를, Fig. 8¹¹⁾은 귀금속 프로세스를 도시한 것이다. 이 세 프로세스에서 9종류의 금속 생산 과정을 알 수 있다.

3.4. 리사이클링 사업

3.4.1. 온산동제련소에서의 리사이클링¹²⁾

Fig. 9는 온산동제련소에서의 리사이클링 원료별 처리량을 도시한 것이다. 2011년 계획은 Cu-Residue가 48,000톤, Lead Frame이 12,000톤, PM-Residue가

4,000톤 그리고 PCB가 28,000톤으로 되어 있다. 이들 원료는 수입이 대부분이다. PCB의 경우 2010년 약 20,000톤이 처리되었으나 국내 발생 PCB 처리는 6,000-8,000톤이고 나머지는 수입한 것이다. Fig. 10은 원료에 따른 처리프로세스(투입장치)를 도시한 것이다.

3.4.2. 자회사에서의 리사이클링¹³⁾

LS-Nikko동제련(주)은 2008년부터 (주)토리컴, (주)리싸이텍코리아, (주)화창 등 중견 리사이클링기업을 인수하고 GRM을 건설하여 Fig. 11과 같은 총괄기획, 원료 확보 · 공급 및 습 · 건식처리의 총체적인 리사이클링

Fig. 9. Recycling status of the Onsan Copper smelter.

Fig. 10. Recycling process depend on recycling materials at the Onsan Copper smelter. cycling subsidiaries.

Fig. 11. Recycling system of the Onsan Copper smelter including.

체제를 구축·확립하고 있다. 이들 사업장에서의 리사이클링 개요는 다음과 같다.

① RECYTECH KOREA (Established 2001, www.recytechkorea.com)

페스크랩 수집, 원료 트레이딩 전문 기업으로서 도시광산 사업 및 글로벌 리사이클 비즈니스의 핵심을 담당하고 있다. 폐인쇄회로기판, 폐전자제품, 폐핸드폰 및 기타 비철금속류를 분쇄하여 제련용 원료로 가공하는 사업을 비롯하여 귀금속 및 희소금속 회수 사업 등에서 그 입지를 확고히 하고 있다.

- 사업분야 : 리사이클링 원재료 수집, 도시 광산화 사업
- 사업장 : 충남 천안시 동남구 동면 화덕리 106-1

② TORECOM (Established 2000, <http://torecom.co.kr>)¹⁴⁾

귀금속 회수뿐만 아니라 회수된 자원의 2차 가공을 통해 부가가치를 창출하는 리사이클 전문 기업이다. 특히 금, 은, 백금, 인듐, 팔라듐 등 귀금속이 함유된 각종 폐자원들을 이용해 99.99%의 고순도 귀금속을 재생하고, 정밀가공을 통해 2차 상품을 생산하는데 있어 최고의 기술력을 보유하고 있다.

- 사업분야 : 귀금속 리사이클 및 2차 상품 생산, 인듐 메탈 리사이클
- 사업장 : 충남 아산시 둔포면 운운리 180번지

③ WHA CHANG (Established 1975, www.whachang76.co.kr)

폐배터리(Pb 50~60%)를 주원료로 순연과 합금연(Pb 99.9% 이상)을 생산하는 재활용 전문 기업이다. 화창은 환경부로부터 폐산과 폐배터리 처리에 대한 허가를 받았으며, 연간 10만톤의 폐배터리 처리 능력, 연간 4만5천톤의 납 생산능력을 갖추

고 있다. 또한 폐배터리 리사이클링 전문 컨설팅을 비롯해 폐배터리 처리 공장의 플랜트 수출도 진행 중이다.

- 사업분야 : 폐배터리 재활용, 폐배터리 리사이클링 전문 컨설팅, 폐배터리 처리 공장의 플랜트 수출
- 사업장 : 경남 함안군 칠서면 계내리 625-1 칠서지방산업단지

④ GRM (Established 2008, www.grm.co.kr)

폐자원으로부터 유가금속을 회수하는 기업이다. 2011년 5월에 준공한 단양의 GRM공장은 구리(금·은 포함) 1만7천600톤, 슬래그 4만6천700톤, 석고 9천톤 등 연간 총 7만3천300톤의 순환자원과 시간당 1700의 전력을 생산할 수 있도록 설계되어 있다.

- 사업분야 : 저품위 재료, SCRAP 및 ASR 처리
- 사업장 : 충북 단양군 매포읍 상괴리 203번지

4. 고려아연(주) 사례

4.1. 고려아연 (주) 회사개요¹⁵⁾

1974년 8월 고려아연(주)을 설립하고 1978년에 아연 제련 조업을 개시하였다. 1986년 QSL로를 도입하여 연 제련조업도 개시하였다. 1992년 TSL로를 도입하여, 아연제련 잔사의 리사이클링이 시작되었다. 1994년 아연 정광의 직접침출, 1997년 호주 Sun Metals Corp.와 합작투자, 2004년 10월 Copper plant, 2004년 12월 Indium plant 완성 등을 거쳐 2009년 매출액 25,750억원, 순이익 4,130억원의 세계 굴지의 아연 제련회사가 되었다. Table 3은 2009년도 및 2011년도 주 생산품의 생산량과 매상비율이다. 이 외에도 12종의 레어메탈을 생산하고 있다. 2012년부터는 Selenium이 약 85톤/년 생산된다.¹⁶⁾

Table 3. Production volume of major products and sales ratio

Category	Sales ratio in 2009	Production volume in 2009	Production capacity volume in 2012
Zinc (MT)	37%	441,000	550,000
Lead (MT)	19%	222,000	300,000
Gold (KG)	4%	2,750	4,000
Silver (MT)	28%	1,290	2,000
Copper (MT)	5%	19,700	25,000

Fig. 12. Process flow of the Onsan Zinc smelter.

Fig. 13. Flow sheet of Zinc Fumer at Onsan Zinc Smelter.

4.2. 공정개략

Fig. 12는 온산공장의 제련프로세스의 전체상을 도시한 것이다. 아연제련공정과 연, 동제련공정이 한 공장내에 존재하여 제련과정에서 발생하는 잔재들이 유기적으로 통합, 각종 부산물 회수로 높은 원가경쟁력을 갖추고 약 130만톤/년의 리사이클링 원료와 산업폐기물을 처리하고 있다.

- TSL로(Fumer) : 아연제련을 비롯한 각종 비철제련시 필연적으로 발생하는 잔재(Residue/Cake) 또는

타 산업에서 배출되는 폐기물로부터 각종 유가금속(아연, 연, 동, 은, 인듐 등)을 회수하고, 최종 잔여물도 친환경적인 청정 슬래그로 만들어 산업용 골재로 사용함으로써 환경문제를 완전히 해소하고 있다 (Fig. 13 참조¹⁷⁾). 약 100만톤/년의 잔재물을 처리하고 있다.

- QSL로 : 고려아연이 세계 최초로 상용화에 성공한 연제련 공법이다. 종전의 2단계(산화-환원) 공정을 하나의 로(爐)로 통합한 용융-환원 기술로 에너지 절

Table 4. Non-ferrous smelter in Korea and Japan

	한국	일본		
구리 제련소	LS-Nikko동제련 온산제련소	小坂製鍊所 日立製銅工場 東予工場	佐賀關製鍊所 直島製鍊所 小名浜製鍊所	玉野製鍊所
납·아연 제련소	고려아연 온산제련소	細倉製鍊所 神岡製鍊所 八戸製鍊所	彦島製鍊所 安中製鍊所 契島製鍊所	播磨事業所 竹原製鍊所 飯島製鍊所

Table 5. Metal production of Korea and Japan in the non-ferrous smelters

	Cu	Zn	Bi	Sn	Co	In	Pb	Te	Ni	Cd	Au	Se	Ag	Pt	Pd	Rh	Ru	Re	Ir	Sb	Ga	Ge
LS-Nikko	○		○					○	○		○	○	○	○	○			○*				
고려아연	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○*	○	○	○	○				○	○	○
小坂製鍊所	○	○	○			○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○
HMC	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○		○	○		

* 2012년도부터 생산예정. 일부 금속은 화합물 상태로 생산

감 및 공해방지 효과가 우수하며 다양한 원료를 처리할 수 있는 친환경 선진 기술이다. 27만톤/년의 연정광과 10만톤/년의 산업폐기물 및 리사이클원료를 처리하고 있다.

공으로 인듐 100톤/년 생산

⑤ CRT

가전리사이클링 공장에서 발생하는 CRT(TSL로 투입) 처리

4.3. 리사이클링¹⁸⁾

4.3.1. On site recycling (Fumer/TSL공법)

아연 제련 잔사 및 QSL공정 잔재류를 TSL공법에서 처리하여 아연, 연, 인듐 및 귀금속을 회수한다.

예 : goethite(약 10% Zn함유)

처리량 500톤/일

Zn 생산량 : 50톤×365일 = 18,250톤/년

리사이클링비율 : 18,250/441,000 = 4.1%

4.3.3. 광석 대 비광석 비율(추정)

QSL로 : 광석 27만톤/년, 비광석 10만톤/년

TSL로 : 비광석 100만톤/년

배소로 : 아연광석 86만톤/년

비광석비율 : 52%

5. 비철제련 프로세스를 이용한 도시광석 리사이클링의 한·일 비교

4.3.2. 외부리사이클링 원료

① 자동차 폐배터리(QSL로 투입)

처리량 : 1,000톤/월

생산량 : Pb 60% × 1,000 × 12 = 7,200톤/년

리사이클링비율 : 7,200/222,000 = 3.2%

② PCB, 휴대전화(QSL로 투입)

PCB 처리량 : 1,000~1,500톤/년

③ 각종 슬러지

Cu, Cd cake(외국), Zinc dross(국내), Cu dross, Pb dross(국내외)

④ 인듐 스크랩

일본(日本鑛業)에서 인듐 스크랩을 수입하여, 임가

Table 4는 한국과 일본의 구리, 납, 아연 제련소¹⁹⁾를 표시한 것이다. 한국은 구리제련소 및 납·아연제련소가 각각 하나씩 가동하고 있으나 일본은 구리제련소 7개소, 납·아연제련소가 9개 가동하고 있다. 광석 정광만을 처리하고 있는 곳은 玉野製鍊所(구리), 彦島製鍊所(아연) 및 神岡製鍊所(아연) 뿐이고, 한국, 일본 대부분의 구리·납·아연 제련소는 산업폐기물도 같이 처리하고 있다.

Table 5¹⁷⁾는 일본의 대표적인 비철제련소인 DOWA 그룹의 小坂제련소 그리고 JX그룹 JX NMMC(JX Nippon Mining & Metal Corporation)의 HMC(Hitachi Metal Complex)와 한국의 비철제련소인 LS-Nikko동제련

그리고 고려아연에서 생산되는 금속종을 비교한 것이다.

Fig. 5에서 언급한 바와 같이 구리, 납, 아연제련소에서 20종 이상의 금속종을 생산할 수 있으나, RE, W, Mo, Mn, Cr, Nb, Ta, Li 등은 생산할 수 없다. Table 5의 4개 제련소에서도 22종의 금속종을 생산하고 있지만 상기 8종의 금속생산은 볼 수 없다.

5.1. LS-Nikko 동제련 (주)

LS-Nikko동제련(주)에서 회수한 금속종은 9종으로 다른 제련소에 비해 매우 적은 금속종을 생산하고 있다. 그러나 구리스크랩 및 폐 PCB의 많은 양을 처리하고 있어 구리(약 4만톤 추산), 금, 팔라듐 등의 많은 양을 스크랩으로부터 생산하고 있다. 한편 Re의 회수가 가능하여 곧 생산하게 될 것이고, Pb 및 Zn도 회수를 시도하고 있다. LS-Nikko의 강점은 4개의 리사이클링 자회사를 소유하고 있는 점이다. 특히 2011년 5월에 준공한 GRM 단양공장은 많은 양의 도시광산을 처리할 수 있어 기대된다.

5.2. 고려아연 (주)

고려아연(주)에서 회수한 금속종은 17종으로 일본의 두 제련소와 같은 수준의 금속종을 회수하고 있다. 다만 정광 유래의 금속종으로 생각되며, 리사이클링 원료 유래의 금속종은 많지 않다. 그리고 저농도의 귀금속을 효율적으로 회수할 수 있는 건식 동제련 공정이 없는 것이 약점이다.

고려아연의 리사이클링은 아연제련 잔사인 goethite의 처리가 주종으로 Zn을 연간 1,825톤(전체 생산의 약 4%) 회수하고 있다. 전술한 바와 같이 QSL로에서의 리사이클링원료 처리를 합치면 실로 막대한 량이다. PCB, 휴대전화 등의 리사이클링원료도 처리하고 있지만 QSL로의 구조상 많은 량을 처리하기에는 어려움이 있다. 한편, TSL로가 있기 때문에 PbS·ZnS 혼합광도 처리할 수 있는 강점도 지니고 있다.

5.3. 小坂製鍊所

小坂製鍊所는 HMC와 더불어 일본에서 가장 많은 금속종을 생산하고 있는 제련소이다. TSL로를 설치함으로써 많은 량의 산업폐기물을 처리할 수 있고, Akita 지구 에코리사이클링 Network를 구축하여 Cu, Pb 및 Zn 제련소를 공유하게된 것이 강점이다. ASR(Shredder dust)에서 Pb의 회수시설, 백금족 제련(일본 PGM)은 이 회사의 자랑이다.

5.4. HMC (Hitachi Metal Recycling Complex)

2009년 JX그룹 발생지인 日立사업소에 새로운 개념인 HMC 공장이 탄생하였다. 구리 및 아연의 각 제련 사업에서 배양한 기술을 응용한 건식제련공정 및 습식 제련공정을 조합함으로써, 리사이클원료와 구리제련 중간 생산물로부터 17종의 비철금속을 효율적으로 회수하는 복합 리사이클링 공장이다. 특히 이 공장은 日鐵環境(株)와 연계하여 다양한 산업폐기물과 리사이클링원료를 처리하며, 리사이클비율은 구리와 금은 20% 전후이고, 은은 60%가 넘었으며 백금과 팔라듐은 100%이다. HMC에서는 백금족 5개 종류(백금, 팔라듐, 로듐, 루테튬, 이리듐) 금속을 모두 생산하고 있으며, 특히 이리듐의 생산은 특기할 만하다.

6. 맺는말

일본의 도시광산 재자원화 산업은 광산의 정·제련업을 배경으로 폐기물 적정처리와 자원효율이용을 통합하는 고도의 기술과 기술개발력을 소유하고 있다. 특히 광해대책 때문에 발전시킨 환경기술은 잠재적으로 강한 국제경쟁력을 가지고 있다. 즉 일본의 도시광산 재자원화산업은 오랜 역사를 가진 비철제련과 광해대책을 근간으로 발전·전개되어 왔다고 할 수 있다.

우리나라의 경우 1978년 고려아연이 아연제련(년산 5만톤)을 개시하였고, 1979년에 오늘의 LS-Nikko동제련인 온산동제련소(년산 8만톤)가 준공하였다. 그로부터 30여년 동안 양사 다 같이 수직적인 발전을 거듭하여 세계적인 굴지의 동제련소 및 아연제련소를 우리나라가 소유하게 하였다. 실로 우리나라의 자랑이고 저력이 아닐 수 없다.

기술적인면에서 또는 시스템적인면에서 우리나라가 일본에 비해 약간 부족한 점도 있으나 결정적인 약점은 아니다. 현재 LS-Nikko 및 고려아연 양사 모두가 많은 리사이클링 원료에서 다양한 금속을 추출하려고 맹추진 중에 있고, 경제성만 있다면 어떠한 금속도 추출·생산할 수 있는 저력을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 국가청정생산지원센터의 에너지정보화 및 정책지원사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 지원해주신 국가청정생산지원센터에 감사드립니다.

참고문헌

- 오재현, 김준수 외 2명, 2011: 韓國의 E-waste 리사이클링시스템과 再資源化産業, 資源리사이클링, 20(5), pp.16-33, (사)한국자원리사이클링학회.
- T.Nakamura, 2011 : E-scrap and minor metals recycling, EARTH2011 panel discussion 자료, p. 16, The 11th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology(EARTH 2011), Kaohsiung, Taiwan.
- 中島 賢一, 吉川 浩助, 2007: 電子・電氣機器のリサイクル技術, J. of MMIJ, 123(12), pp. 796-798, (社)資源・素材學會.
- Vinod kumar, Jae-chung Lee et al., 2011: Mechanical Recycling Techniques to Separate valuable and rare metal from waste printed circuit boards, 제97회 추계학술발표회 자료집, pp.135-137, 한국지구시스템공학회.
- Takashi Nakamura, Sayaka Ita, Esturo Shibata, 2010 : Trials of small-size E-scrap recycling system in japan, 5th World Recycling Forum, International Conference & Exhibition on Electronics, Battery & Car recycling, Hong-kong, November 17, 2010.
- 白鳥 壽一, 中村 崇, 2006: 人工鑛床構想-Reserve to stockの考え方とその運用に関する提案, 資源と素材, 122(6), pp.325~329, 資源・素材學會, 日本.
- 中村 崇, 2010: 戰略レアメタルの循環使用の戰略としての人工鑛床, 新化學發展協會率李恂亨, 2010. 8. 3., 新化學發展協會, 日本.
- Nakamura Takashi, 2011: Recovery of Minor Metals in a Non-ferrous Industry, 온산동제련소에서의 강연자료, 2011. 7. 26., LS-Nikko동제련(주), 한국.
- Herbert . Lund, 2001: The McGraw-Hill Recycling Handbook, 2nd Edition, Megraw-Hill, New York.
- LS-Nikko동제련(주), 2011: LS-Nikko동제련(주) brochure.
- 안승천, 2002: LS-Nikko동제련 공정, 비철금속 자원활용 및 리사이클링 워크샵 자료집, pp. 19-40, 한국자원리사이클링학회.
- 최낙준, 2011 : 동제련 및 리사이클링사업, 2011년도 동·연·아연·니켈산업의 국제경쟁력 강화를 위한 세미나 자료집, pp. 63-73, 한국비철금속협회.
- 강성원, 2010 : Recycling Business의 현황과 전망, 資源리사이클링, 19(6), pp.3~10, (사)한국자원리사이클링학회.
- 吳在賢, 2011 : 도시광산 재자원화 산업의 현장을 찾아서 -토리컴-, 資源리사이클링, 20(6), pp.118-120, (사)한국자원리사이클링학회
- 고려아연(주), 2010: 고려아연(주) brochure.
- Metal world, 2012: Metal World, Vol. 73, p.27, 2012.1.1, (주)한국철강신문
- 장지원, 2002: Top Submerged Lance(TSL) Technology에 의한 산업폐기물의 자원화, 비철금속 자원활용 및 리사이클링 워크샵 자료집, pp.113-126, (사)한국자원리사이클링학회.
- 고려아연(주)의 내부자료(필자 청취)
- 오재현, 김준수 외 2명, 2011: 非鐵製鍊프로세스를 이용한 日本의 都市鑛山 再資源化産業, 資源리사이클링, 20(3), pp.12~27, (사)한국자원리사이클링학회.

吳 在 賢

- 현재 연세대학교 명예교수
- 현재 한국자원리사이클링학회 명예회장
- 당 학회지 제 10권 5호 참조

金 俊 秀

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제 11권 2호 참조

文 碩 敏

- 현재 ACN 기술이사

閔 芝 源

- 현재 한국자원리사이클링학회 실장