

非鐵製鍊 프로세스를 이용한 日本의 都市鑛山 再資源化産業[†]

[†]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

Recycling Industry of Urban Mines by Applying Non-Ferrous Metallurgical Processes in Japan[†]

[†]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

일본의 주요 비철제련소는 100년 이상의 오랜 역사를 가지고 있으며 환경·리사이클링산업을 주도하고 있다. 이러한 배경에는 오랫동안 배양된 비철제련 프로세스와 환경오염 방지의 고도화된 전문기술과 기술개발력이 기초가 되고 있다. 일본의 도시광산 재자원화산업은 고부가가치 자원의 회수와 유해폐기물 처리의 통합된 비즈니스로 전개되고 있다. 최근 도시광산으로서 E-waste(폐휴대전화, PC 등)의 비중이 높아지고 있다. 레이메탈 등의 유가금속과 유해물질을 함께 함유하고 있는 E-waste의 처리에는 비철제련(특히 북잡황화광)의 고도 분리·정제기술의 이용이 절대적이다. 이러한 관점에서 同和그룹의 리사이클 콤비나트, JX日鑛그룹의 日鑛環境 + HMC의 리사이클시스템과 리사이클기술은 무한 경쟁력을 가지고 있으며, E-waste의 회수시스템 구축이 중요과제로 대두되고 있다.

주제어 : 비철제련, 금속리사이클링, 환경산업, DOWA그룹, JX-NMMC그룹

Abstract

DOWA group has been working on metal recycling applying the smelting and refining process of KOSAKA Smelter. DOWA has developed its metal recycling technologies through the treatment of black ore(complex sulfide ores) that contain many kinds of non-ferrous metals. In addition to these special technologies, DOWA has strengthened its hydrometallurgical process of precious metals and ability to deal with low-grade materials such as used electrical appliances or vehicles. On the other hand, JX Nippon Mining & Metals Corporation(JX-NMMC) carries out its metal recycling and industrial waste treatment businesses employing advanced separation, extraction and refining technologies developed through its extensive experience in the smelting of non-ferrous metals. JX-NMMC collects approximately 100,000t/y of copper and precious metal scraps from waste sources such as electronic parts, mobile phones, catalytic converters, print circuit boards and gold plated parts. These items are recycled through the smelting and refining operations of Saganoseki smelter and Hitachi Metal-recycling complex(HMC). In this like, metal recycling industries combined with environmental business service in Japan have been developed through excellent technologies for mineral processing and non-ferrous smelting. Also, both group, Dowa and JX-NMMC, were contributed to establish Japan's recycling-oriented society as the typical leading company of non-ferrous smelting. Now, it is an important issue to set up the collection system for e-waste.

Key words : non-ferrous smelting, metal recycling, environmental business, DOWA Group, JX-NMMC Group

[†] 2011년 4월 14일 접수, 2011년 5월 14일 1차수정

2011년 6월 1일 수리

* E-mail: kirm@kirm.or.kr

1. 머리말

사용 후 폐기되는 공업제품은 재생 가능한 자원이고 이들을 도시광산이라 부르게 되었다. 공업제품에 함유된 희소 금속류의 성분비가 광석품위보다 높고, 광석으로부터의 정·제련과 비교해서 적은 에너지로 금속을 생산할 수 있다는 것이 도시광산의 특색이기도 하다. 한편 공업제품 특히 전기·전자기기류는 많은 종류의 금속을 함유하는 가치물(價値物)과 유해물과의 복잡 혼합물이고, 그들 제품의 하이테크화가 레어메탈의 수요를 확대시켜 왔다. 따라서 도시광산 재자원화에 있어서 자원의 유효이용과 환경부하 저감의 양자를 달성해야 한다는 것이 사업의 중요한 과제임은 명백하다. 이러한 논리로부터, 도시광산 재자원화산업은 고부가가치자원의 회수와 유해폐기물의 처리와의 통합된 비즈니스라고 할 수 있다.

일본의 도시광산 재자원화산업은 광산의 정·제련업을 배경으로 폐기물 적정처리와 자원유효이용을 통합하는 고도의 기술과 기술개발력을 소유하고 있다. 특히 광해대책 때문에 발전시킨 환경기술·관리시스템·인재육성은 국제적으로 비추어 볼 때 높은 수준에 위치하며, 하드와 소프트웨어를 통합한 환경기술로서 잠재적으로 강한 국제경쟁력을 가지고 있다. 즉, 일본의 도시광산 재자원화산업은 오랜 역사를 가진 비철제련과 광해대책을 근간으로 발전·전개되어 왔다고 할 수 있다.

이러한 관점에서 본고에서는 먼저 일본의 비철제련소

전체상을 파악하고 Dowa(同和) Holdings의 Dowa Metal & Mining Co., Ltd. 및 Dowa ECO-System Co., Ltd. 그리고 JX Holdings의 JX Nippon Mining & Metal Co., Ltd.(JX 日鑛日石金屬株式會社)의 도시광산 재자원화사업을 조사·분석하였다. 이 두 회사를 거론한 것은, Dowa Holdings와 JX Holdings는 다 같이 비철제련소를 배경으로 일본의 도시광산 재자원화사업을 주도하고 있는 전형적이고 대표적인 기업이기 때문이다. 또 한국의 도시광산 재자원화 사업을 추진함에 있어 위 두기업의 재자원화시스템과 리사이클 Network 그리고 비철제련기술을 배경으로 하는 기술력은 많은 것을 시사할 것으로 확신하기 때문이다.

2. 일본의 비철제련 전체상¹⁾

Fig. 1은 일본의 현 비철제련소(일부 리사이클링사업소 포함) 분포를 도시한 것이다. 이 중 (5) (12) (14) (40) (47) (51)번은 구리제련소의 소재지를, (3) (4) (7) (17) (27) (38) (41) (42) (43)은 아연·납 제련소의 소재지를 표시한 것이다. 기타 번호는 Au, Ag, Al, Ni, Co, Ti, Si, W, Sb, Hg, PGM, Ta, V, Mo, ZnO 등의 제련소 소재지를 나타내고 있다. 물론, Fig. 1에는 일본의 비철제련소 전체가 망라된 것은 아니지만, 대부분 포함되어 있다고 할 수 있다. 이들 50개에 가까운 제련소 중 역사가 오래되고, 규모가 큰 것은 구리, 아연·납 제련소이다. 따라서 이들 제련소에 대해서만 논하고자 한다.

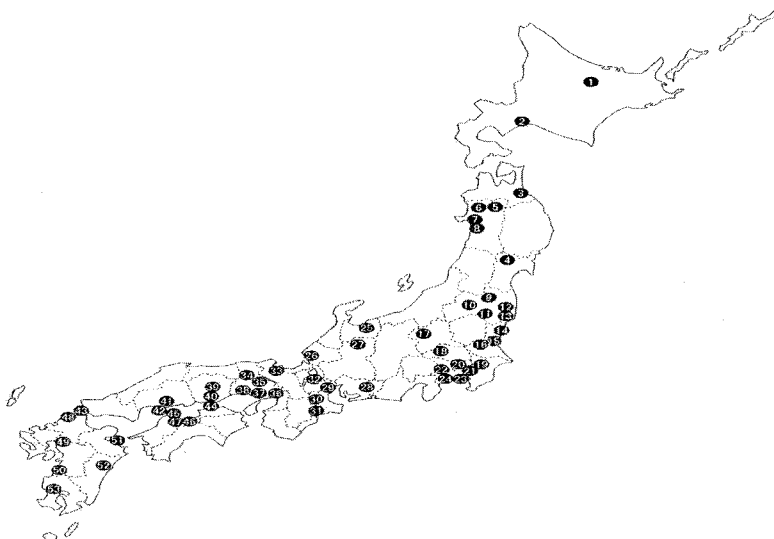


Fig. 1. Location map of the non-ferrous smelter in Japan.

Table 1. Overview of the copper smelter in Japan.

제련소명	조업 개시 년	주요처리 대상물	비고
(5) 小坂製鍊所	1902	정광, 산업폐기물	同和鑛業의 모체
(14) 日立製銅工場	1905	구리Anode, 조은	日本鑛業의 모체
(47) 東予工場	1905	정광, 구리스크랩, 구리슬래그	住友鑛山(別子)의 모체
(51) 佐賀關製鍊所	1916	정광, 스크랩, 산업폐기물, 리사이클원료	日本鑛業의 수입광제련소
(44) 直島製鍊所	1917	정광, 산업폐기물	三菱鑛山の 중앙제련소(三菱Material)
(12) 小名浜製鍊所	1965	정광, 산업폐기물	東邦亞鉛
(40) 玉野製鍊所	1968	정광	日比共同製鍊(株)

자료 : 참고문헌 1)에 의하여 필자가 작성

2.1. 구리제련소

Table 1은 일본의 구리제련소 일람으로서 조업개시 년, 주요 처리대상물이 표시되어 있고, 비고란에는 소속그룹을 표시하였다. 역사가 오래된 일본의 비철제련소는 산원(山元)제련소*로서 채광장, 선광장과 같은 지역에 공존하고 있었다. 채광장이 폐쇄된 후에도 제련소는 그 자리에 남아 처리 대상물을 달리하면서 현재도 가동하고 있다.

필자의 대학시절(1950~1954)만 하여도 광산(채광장)이 모두 가동하고 있었으며, 제련소는 그 광산에서 산출되는 광석(정광)을 처리하고 있었다. 현재는 구시키노(串木野)금광산(53)이 유일하게 남아 있다. 필자가 대학 3학년때 벳씨(俵子) 구리광산에서 실습을 하였다. 채광장, 선광장, 제련소(四阪島) 순으로 10일간씩 한 달간 현장생활을 하였다. 채광장 노두가 있는 산봉우리에서 스미토모은행(住友銀行) 발생한 곳, 스미토모기계(住友機械 Co.) 발생한 곳이라는 팻말을 본 기억이 난다. 別子銅鑛山の 경리부서 및 공장부서의 자리인 것이다.

일본의 재벌은 일반적으로 이와 같이 광산과 제련소 경영으로 시작된 것을 특색으로 꼽을 수 있다. 현재 7개의 구리제련소 중 구리정광만을 처리하는 제련소는 玉野製鍊所만이며, 나머지 제련소는 정광과 산업폐기물 혹은 구리스크랩을 같이 처리하고 있다. 그리고 산업폐기물의 비중이 점점 높아지고 있는 추세이다.

2.2. 아연·납 제련소

Table 2는 아연·납 제련소 일람으로 Table 1의 양식에 따라 기재하였다. 역사가 오래된 細倉鑛山과 神岡鑛山の 제련소는 각기 Mitsubishi 재벌과 Mitsui 재벌의 모체 사업소였다. 후에 神岡鑛山은 아연광이 산출됨에 따라 1943년 아연제련부문이 출발되었다. 9개의 아연·납 제련소

중에서 神岡 및 彦島製鍊所만이 아연정광을 단독 처리하는 제련소이고, 나머지 제련소는 정광(精鑛, concentrate)과 산업폐기물을 함께 처리하고 있다. 細倉제련소와 竹原제련소는 폐납배터리와 산업폐기물만을 처리하는 제련소로 즉 리사이클원료를 처리하는 제련소로 변신하였다.

八戶제련소와 播磨제련소는 ISP 프로세스로 납·아연의 혼합정광과 전기로 제강분진에서 추출한 조산화아연(ZnO)을 처리하는 특색 있는 제련소이다. 이와 같이 일본의 구리·납·아연의 비철제련소는 산업폐기물과 리사이클원료가 제련 원료로 투입된다. 그리고 비철제련은 도시광산으로부터 고부가가치 자원의 회수와 유해폐기물의 처리와 통합된 비즈니스이다. 한편, 도시광산의 일부는 가령 폐납배터리와 저품질전자기판 등은 폐기물 처리요금을 받을 수 있다. 동제련소에서 처리하고 있는 ASR(자동차슈레더잔사)는 자동차리사이클법에 의하여 약 30,000엔/톤(약 40만원/톤)의 처리비를 받고 있다. 이러한 처리비의 수평은 비철제련소 경영에 도움이 되고 있다.

3. DOWA(同和)그룹·DOWA홀딩스 주식회사²⁾⁻⁵⁾

3.1. DOWA 그룹·同和홀딩스(주)의 개요

3.1.1 역사

同和홀딩스의 전신인 후지다구미(藤田組)가 1884년 명치정부(明治政府)로부터 小坂광산을 불하받고, 1902년 용광로를 사용한 자동제련(自熔製鍊) 조업을 개시하였다. 1967년에는 자동로(自熔爐, 오토콤프법의 기술도입) 설비를 완성시키고 조업을 개시하였다. 한편 小坂 内の岱지구(1959), 花岡松峰地區(1963), 花岡深澤地區(1969)에 대규모 흑광(黑鑛)광상을 발견하였다. 흑광(Black ore)은, 황동광(Chalcopyrite, CuFeS₂), 섬아연광(Zincblend, ZnS), 방연광(Galena, PbS) 및 황철광(Pyrite, FeS₂)의 복합황화광이다. 이 흑광에서 동정광, 납정광 및 아연정

* 채광장 및 선광장과 같은 장소에 건립된 제련소

Table 2. Overview of the lead · zinc smelter in Japan.

제련소명	조업 개시 년	주요처리 대상물	비고
(4) 細倉製鍊所	1891, Pb, Zn	폐배터리, 드로스 鉛滓	三菱鑛業(Mitsubishi material)의 모체
(27) 神岡製鍊所	1886(Pb 부문) 1943(Zn 부문)	아연정광, 폐배터리	三井金屬鑛業의 모체
(3) 八戶製鍊所	1967	정광, Pb 함유 Zn 리사이클원료(EAF Dust)	비철 6사 출자, ISP process
(43) 彦島製鍊所	1916	아연정광	三井金屬鑛業
(17) 安中製鍊所	1937	아연정광, 아연소광, 폐건전지	東邦亞鉛
(42) 契島製鍊所	1951	납정광, 폐배터리, 납리사이클원료	三井金屬鑛業
(38) 播磨事業所	1964	납, 아연정광, EAF 더스트부터의 원료	住友金屬鑛山 ISP process
(41) 竹原製鍊所	1970	폐배터리, 산업폐기물	三井金屬鑛業
(7) 飯島製鍊所	1971	아연정광, 산업폐기물, ITO타겟	비철 6사 출자, 秋田製鍊(株)

자료 : 참고문헌 1)에 의하여 필자가 작성

* Pb제련소 : 小坂, 細倉, 神岡, 契島, 竹原

* Zn제련소 : 飯島, 安中, 神岡, 彦島

* I.S.P 법 : 八戶, 播磨

(____ conc. only, ____ conc. + waste, ____ waste only)

광을 생산하는 분리·선별, 즉 선광기술과 이들 정광으로부터 동, 납, 아연 및 희유금속의 제련기술이 오늘날의 환경·리사이클링기술의 기초가 되었다.

광산은 폐쇄되었지만 小坂제련소는 120여년간 시대의 첨단을 개척해 왔다. 그리하여 현재는 제련소를 핵으로 하는 리사이클링 콤비나트를 형성하여 자원순환형 사회의 구축을 주도하고 있다.

3.1.2 회사조직

Dowa는 1884년 창업 이래 광산·제련사업으로 배양된 독자의 기술·노하우를 응용해서 다양한 사업을 전개하고 있다. 제련사업에서는 천연자원을 비롯하여, 여러 자원으로부터 금속을 채취한다. 이 채취된 금속은 전자재료사업, 열처리사업으로, 부가가치를 높이고 고기능화하여 최종제품의 일원이 된다. 환경·리사이클링사업에서

[DOWA그룹]
DOWA홀딩딩스株式會社 DOWA HOLDINGS CO.,LTD
 本社 〒101-0021 東京都千代田区外神田4丁目14番1号 秋葉原UDXビル22階
 HEAD OFFICE 14-1 SOTOKANDA4-CHOME CHIYODA-KU TOKYO 101-0021
 資本金 364.36億円 (2007年12月31日現在)
 CAPITAL ¥36,436 Million (As of December 31, 2007)
 事業内容 非鉄金屬製鍊業、環境・リサイクル業、電子材料、金屬加工業、熱処理業
 ENTERPRISE NONFERROUS METAL SMELTING AND REFINING, ENVIRONMENTAL SERVICES & RECYCLING, ELECTRICAL & ELECTRONIC MATERIALS, METAL PRODUCTION AND FABRICATION, AND HEAT TREATMENT



는 폐기물을 무해화하고 사용후제품으로부터 금속을 분리·회수한다. 회수된 금속은 제련원료로서 리사이클된다.

3.1.3. 제련과 환경·리사이클링에 관한 사업

① 제련사업 : Dowa메탈마이닝(Dowa metal mining) 주식회사

- 귀금속·구리사업, 아연사업, 레어메탈사업
- 주된상품 : 금·은, 구리, 아연, 아연합금, 납, 백금, 팔라듐, 인듐, 비스무스, 테루륨 등
- 매출액 : 1,555억엔(2009년도), 그룹의 45%

② 환경·리사이클사업 : Dowa에코시스템(주)

- 리사이클사업, 폐기물처리사업, 토양정화사업
- 주된상품 : 금속리사이클, 폐기물처리, 토양정화환경 컨설팅, 관리형 최종처리시설, 화물수송
- 매출액 : 648억엔(2009년도), 그룹의 19%
- Dowa 에코시스템(주)는 『에코시스템 리사이클링』, 『에코시스템 小坂』, 『에코리사이클』 등 7개의 자원리사이클회사, 8개의 폐기물처리회사와 2개의 토양정화회사를 가지고 있다. 한편 3개의 영업소, 11개의 해외사업소 및 연구소, 통운회사도 소유하고 있다.

3.2. Dowa그룹의 아키타(秋田) 지구환경 리사이클 콤비나트

Dowa그룹에서는 小坂제련소의 제련프로세스를 활용

한 금속리사이클을 오래전부터 실시해 왔다. 종래는 제련소 자체로 대응 가능한 고동(구리계 스크랩)이 중심이었으나, 현재는 아키타현 북부 에코타운지역에서 제련소를 핵으로 하는 리사이클 콤비나트를 형성하고 있다. 한편 埼玉(本店), 岡山, 熊本 등 전국 각지에 귀금속의 습식 회수 거점, ASR 리사이클시설, 가전리사이클공장을 가동시키고 있으며 금·은·구리를 비롯한 많은 종류의 금속을 회수하고 있다.

Fig. 2는 아키타현 북부 에코타운지역을 중심으로 구성하고 있는 Dowa 그룹의 리사이클 콤비나트(네트워크)를 도시한 것이다. 小坂제련소를 핵으로 하는 小坂지구, 가전리사이클을 핵으로 하는 오타데(大館)지구 그리고 日本 최대의 아연제련소인 秋田製鍊(株) 이지마(飯島) 제련소를 중심으로 하는 秋田지구 등 그곳에 결집한 10개가 넘는 리사이클 관련 기업이 제련프로세스의 전처리기능, 중계가공, 선별거점의 역할을 맡고 있다. 따라서 이 콤비나트에서는 사용후제품 및 ASR 등 저품질원료, 중금속 오염토양 등 다종다양한 리사이클 원료의 취급을 가능하게 하고 있다.

한 예로 2002년부터 가동하고 있는 에코시스템 小坂(주)의 금속·중기 회수공정 프로세스를 Fig. 3, 4에 도시한다. 로 자체는 열회수보일러를 비치한 유동상로(流動床爐)이지만, 기존의 제련프로세스와 연계하여 ASR 및 저품질 원료를 소각, bottom ash를 구리원료로서

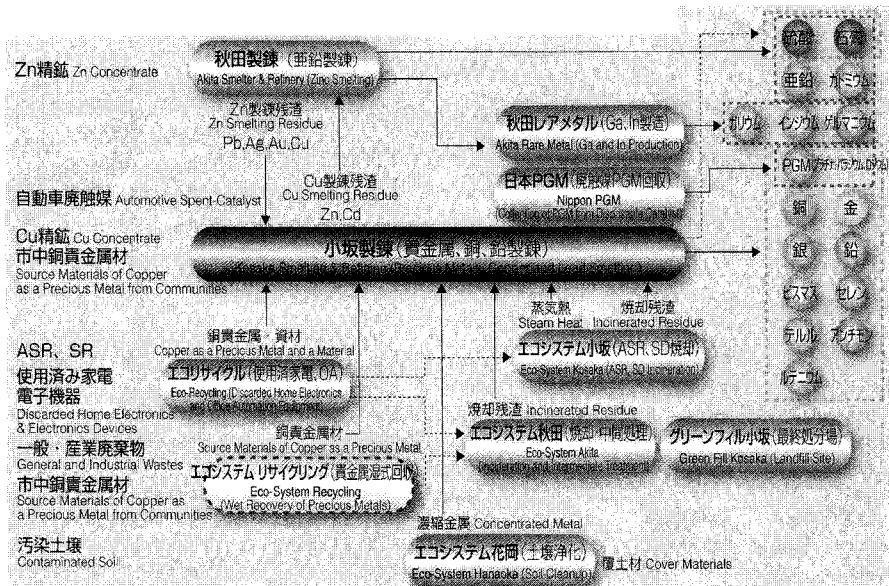


Fig. 2. Dowa Groups Eco-Recycling network in Akita district.

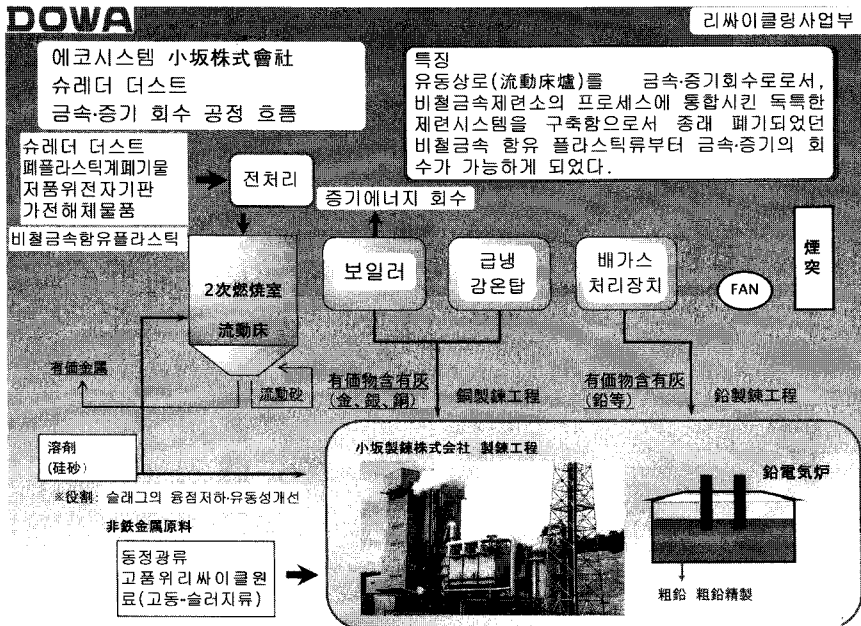


Fig. 3. Process flow of Incinerator for metal and steam recovering.

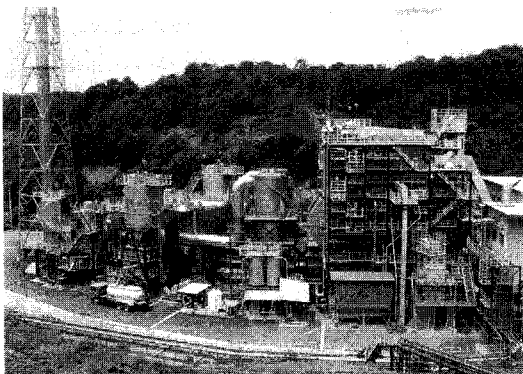


Fig. 4. Incinerator for metal and steam recovering, Eco-System Kosaka Co., Ltd.

TSL(Top Submerged Lance Furnace)로로, bagfilter에서 포집한 fly ash(납주체)를 납전기기로 보내고 있다. ASR에 함유된 0.1-1.0% 정도의 납을 회수할 수 있는 시설은 日本 전국에서 예가 없고, 小坂 KSR(Kosaka Smelting Recycling로 : 유동상배소로)로의 특별 장점이라 할 수 있다. 이 소각 공정에 의해서 종래의 제련프로세스에서는 처리가 곤란했던 저품위원료(Cu 수 %정도)의 처리(5,000톤/월)를 할 수 있게 되었다. 회수한 증기는 각 공정의 열원으로 활용하고 있다.

또 한 예로 귀금속 습식회수를 담당하고 있는 에코시스템 리사이클링 주식회사의 습식회수프로세스(Fig. 5)²⁾를 소개한다. 귀금속을 고농도로 함유하는 폐전자부품을 주원료로 하여 청화 및 왕수 등에 의한 박리·용해를 거쳐 귀금속을 이온교환수지 혹은 전해프로세스로 채취한다. 구리성분을 함유하는 박리 잔재는 小坂제련소로 보낸다. 입하 로트마다 बै치(batch)처리를 하여 귀금속의 단기간 회수가 가능하기 때문에 주로 고농도 소량 로트를 타깃으로 하고 있다.

3.3. 小坂제련소의 복합리사이클 제련 흐름⁵⁾

Fig. 6은 小坂제련소에 있어서 금속의 복합리사이클 프로세스를 도시한 것이다. Dowa그룹에서는 2006년부터 리사이클 신로 「TSL爐」(Fig. 7)의 건설에 착수하여 2008년 초부터 본격 가동하고 있다. 이 TSL爐(Top Submerged Lance Furnace)는 소형으로 광범위한 반응에 대응 가능한 용융로로 로내의 온도·분위기 제어가 용이하며, 투입원료의 입도 및 수분의 허용도가 높고, 바이오매스 등 다양한 연료를 이용할 수 있는 점이 장점이다. 그리고 로부터 출탕한 금속(매트)은 물에 분사되어 분체가 되고, 이것을 산으로 용해하여 전해 채취하기 때문에 전해정제용의 Cu anode를 조동부터 주조하는 공정도 필요없게 되었다.

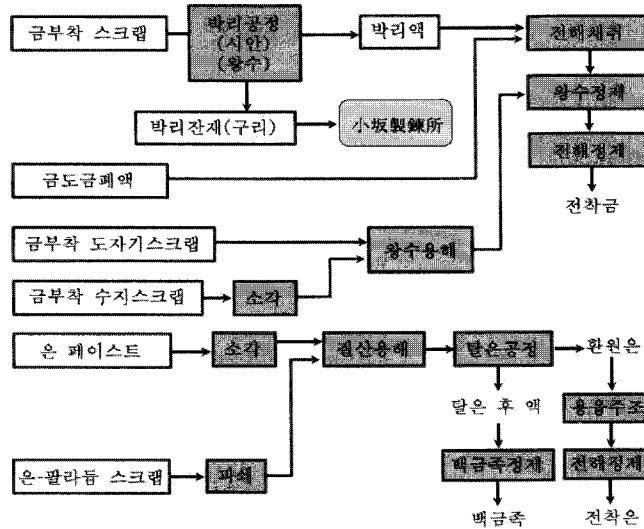


Fig. 5. Hydrometallurgical process of Eco-system Recycling Co., Ltd.

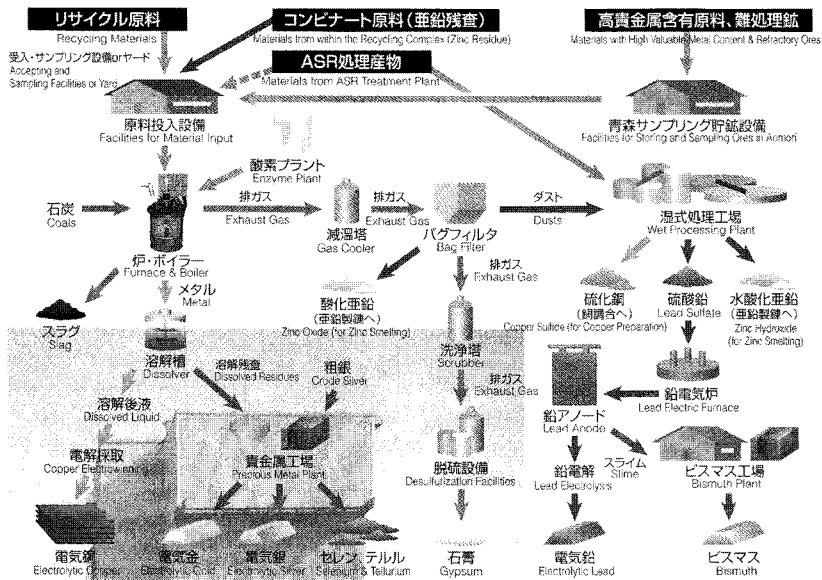


Fig. 6. Smelting processes for combined recycling at Kosaka smelter.

小坂제련소는 1967년부터 자용로를 사용해 왔다. 자용로는 원래 광석부터 유가금속을 채취하기 위하여 설계된 로형으로서 리사이클 원료의 사용을 상징(想定)한 것이 아니었다. 그 자용로에서도 기술개발을 거듭하여 리사이클원료의 비율을 30%까지 높여 왔다. 그러나 리사이클 원료 비율을 그 이상 높이기에는 구조적인 한계가 있었다. 이점에 대해서 TSL로는 코크스 등의 열원을 이용하기 때문에 기술적으로는 리사이클원료의 사용

비율을 100%까지 가능하다. 현재 이 TSL로에서는 리사이클원료 40,000톤/년, 제련 2차계원료 40,000톤/년을 처리하고 있다.

3.4. 리사이클 원료²⁾

Table 3에 현재 취급하고 있는 리사이클원료의 평균 품위를 표시하였다. 종래는 전처리 등이 필요 없고, 전로(轉爐)에 직접 투입되는 고동(Cu : 50-90%)이 주 리사이

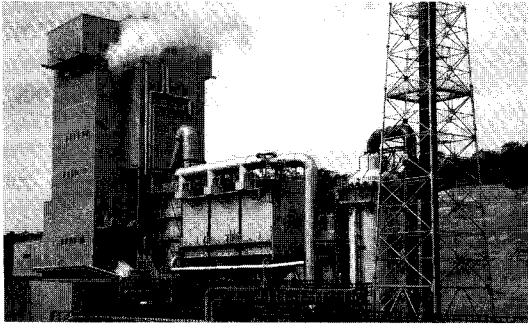


Fig. 7. TSL furnace at Kosaka smelter.

Table 3. Average metal content of recycle materials.

리사이클링 원료	주요 성분과 품위	처리공정
고동	Cu : 50~99%	전로동전해
산화은전지	Ag : 30~75%	전로, 정은로
전자기관 리드프레임	Au : 100g/t Ag : 0.2%~ Cu : 10~20%	파쇄자용로, 전로
필름소각회	Ag : 5~35%	정은로은전해
납슬래그 류	Pb : 30~80%	습식처리, 납전기로
폐촉매	Pt : 0.1% Pd, Rh : 100g/t	귀금속공정
소각회, 슬러지	Au : ~1.5% Ag : ~35% Cu : ~30% Pb : ~2%	자용로, 귀금속공정
금은스크랩	Au : ~1% Ag : ~5% Cu : ~99%	파쇄자용로, 전로
구리기관소각재	Cu : 30~60%	전로
금부착스크랩	Au : 500g/t~	습식처리(박리-용해)
금도금폐액	Au : 3g/L~	전해채취

클원료였으나 근년에는 리드프레임 및 금은찌꺼기(端材) 등 주로 전기·전자 부품공장에서부터 발생하는 공정스크랩과 폐전자기관류가 중요한 리사이클원료가 되고 있다.

이들의 공정스크랩 및 기관류는 파쇄·분쇄 후에 제련프로세스에 투입되는 것도 있고, 소형의 금부착스크랩(부품스크랩, 불량품)과 같은 것은 에코시스템 리사이클(주)의 습식 회수 프로세스에서 귀금속 회수에 제공되는 것도 있다. 이와같이 성분 및 성상, 로트 입도 등에 따라서 신축성이 있는 처리 프로세스를 적용하고 있다.

그리고 전술한 바와 같이 근년에는 많은 종류의 금속

Table 4. Example of metal content in e-waste

	Au g/t	Ag g/t	Cu %	Pd g/t	Pb %	As %
휴대용 MD플레이어	220	1,400	8.7	10	0.005	<0.001
휴대용 CD플레이어	120	1,200	5.5	5	0.180	0.010
카세트 플레이어	40	850	8.2	5	0.140	0.005
디지털 카메라	170	490	5.6	4	0.020	<0.001
디지털 비디오	100	630	6.9	30	0.190	0.015
휴대전화	400	2,300	17.2	100	0.37	0.003
메모리형 플레이어	500	2,400	11.3	50	0.400	0.025

을 함유하는 사용후제품의 리사이클이 이루어지고 있다. Table 4에 E-waste(사용후 전기·전자기기)의 금속 함유 품위의 일례를 표시하였다. 광석원료보다 훨씬 고농도의 귀금속을 함유하고 있는 한편 납, 비소 등의 “유해”금속도 동시에 함유하고 있어 적정처리 혹은 회수가 불가피하다. 小坂제련소의 제련프로세스는 오랜 세월동안 복잡황화광(複雜黃化鑛) 처리에서 배양한 고도기술에 의해서 E-wast와 같은 유용금속과 유해금속을 동시에 함유하고 있는 즉 복잡황화광과 유사한 원료를 용이하게 처리하게 하였다.

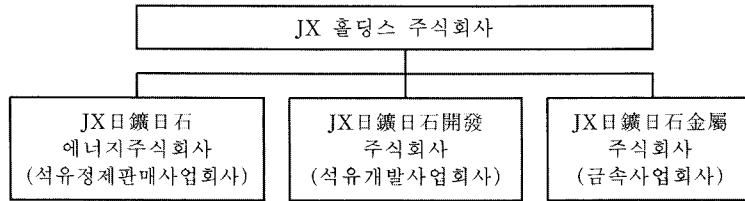
4. JX그룹·JX홀딩스 주식회사⁶⁻¹⁰⁾

4.1. JX홀딩스 회사개요

4.1.1 역사

1905년 창업주 久原房之助가 日立鑛山을 매수해서 조업을 개시하고, 1908년 大雄院제련소(현, 日立공장)를 완성시킴으로서 오늘날 JX그룹의 핵심사업 회사인 JX 日鑛日立金屬주식회사가 출발되었다. 1914년에는 大煙突이 완성되고, 1929년에는 日本鑛業(주)가 설립되었다. 日本鑛業(주)는 발전을 거듭하여 新日鑛홀딩스(주)를 설립하고(2002), 2010년에는 新日本石油(주)와 통합 지주회사JX홀딩스 주식회사를 설립하였다.

日立鑛山은 小坂鑛山, 足尾鑛山 및 別子鑛山과 나란히 日本을 대표하는 구리광산으로 일본의 근대화를 주도해왔다. 그리고 현재는 日立鑛山 자리에 HMC(Hitachi Metal Recycling Complex) 공장을 건설하여 환경·리사이클사업을 전개하여 자원순환형사회 구축에 앞장서



고 있다.

4.1.2 회사조직

전술한 바와 같이 新日鑛홀딩스와 新日本石油는 2010년 4월에 통합지주회사 JX홀딩스 주식회사를 설립하였다. 새로운 통합그룹 JX그룹에서는 일본 국내외의 에너지, 자원, 소재를 안정적으로 그리고 효율적으로 공급하고 있다.

4.2. JX日鑛日石金屬(주) 사업영역

- 회사명 : JX日鑛日石金屬주식회사
(영문명 : JX Nippon Mining & Metals Corporation)
- 자본금 : 400억엔
- 주주 : JX 홀딩스 주식회사 100%
- 본사소재지 : (100-8164) 東京都千代田區大手頂二丁目6番3號 Tel : 03-5299-7000(大代表)
- 사업내용 : 자원개발사업, 금속제련사업, 환경리사이클링사업, 전기재료가공사업

4.2.1 주요 사업영역

- 자원개발사업 : 광산개발 프로젝트에 기획 단계부터 적극적으로 참가하고 있으며, 칠레 Caserones 구리 및 몰리브덴 광상의 개발, 페루 Quechua 구리광상의 경제성조사 등 광산개발을 추진하고 있다. 그 외 칠레의 세 구리광산에 투자하고 있다.
- 금속제련사업 : 국내외의 기업과 업무제휴를 통해서 질·량·다같이 세계 톱클래스의 생산자연합체를 구축해서 구리, 금, 은 등의 비철금속의 생산과 판매를 하고 있다.
- 환경·리사이클사업 : 리사이클 원료로부터 구리 및 귀금속 등을 회수하는 리사이클사업과 2차폐기물을 배출하지 않고, 산업폐기물을 무해화 처리하는 환경사업을 전개하고 있다. 日호광산 자리에 위치한 HMC공장이 가동함에 따라 도시광산의 재자

원화산업을 개발하고 있다.

- 전기재료가공사업 : 압연동박사업, 스파타링 타깃 재료 등 박막재료사업, 각종 금속의 정밀 압연 등의 가공사업을 전개하고 있다.

4.2.2. 금속제련사업

높은 기술력과 세계 톱클래스의 생산능력을 가진 Pan Pacific Copper(PPC) 및 LS-Nikko동계련소로부터 고품질의 전기동을 생산하고 있다. 이 양회사의 제련소로부터 생산되는 구리량은 2008년 1,120천톤/년으로 세계 2위를 차지하고 있다. (1위 : Codeco, 3위 : Freeport, 4위 : Norddeutsche Affinerle, 5위 : Xstrata) 佐賀關製鍊所는 년 45만톤의 조동 생산능력을 보유하고 있으며, 자용로 1기당 동정광 처리량은 210톤/h으로 세계 최대의 것이다. 그리고 금은정련공장에서는 일본 국내 처음으로 습식에 의한 귀금속 회수공정을 도입하고 있다.

현재 연간 10만톤의 리사이클 원료를 처리하고 있으며, 아세아 지역에서 최대급의 구리, 귀금속 리사이클의 거점이 되고 있다.

4.2.3 환경·리사이클사업

JX日鑛日石金屬사에서는 비철금속의 제련사업에서 장기간 배양한 고도분리, 추출, 정제기술을 통해서 유가금속의 리사이클링 및 산업폐기물의 무해화처리를 전개하고 있다. 리사이클사업에 있어서는 처리가 어렵고 가격이 염가인 리사이클원료로부터 철저한 전처리(용융, 소각, 건조, 분쇄, 해체, 선별)를 한 후 佐賀關제련소 및 HMC공장에서 구리귀금속 및 각종 레어메탈을 높은 채취율로 회수하고 있다.

한편 환경사업에 있어서는, 환경그룹 4사(日鑛環境, 苦小牧케미칼, 日鑛三日市리사이클, 日鑛敦賀리사이클)에서 산업폐기물의 감용화 및 무해화 처리를 전개하고 있다. 이들 환경그룹 4사의 입지는 모두 구 日本鑛業시대 제련조업을 하던 곳으로 사업철회시 환경사업으로 전환한 곳이다.

Fig. 8에 2009년도 JX-NMMC(JX Nippon Mining

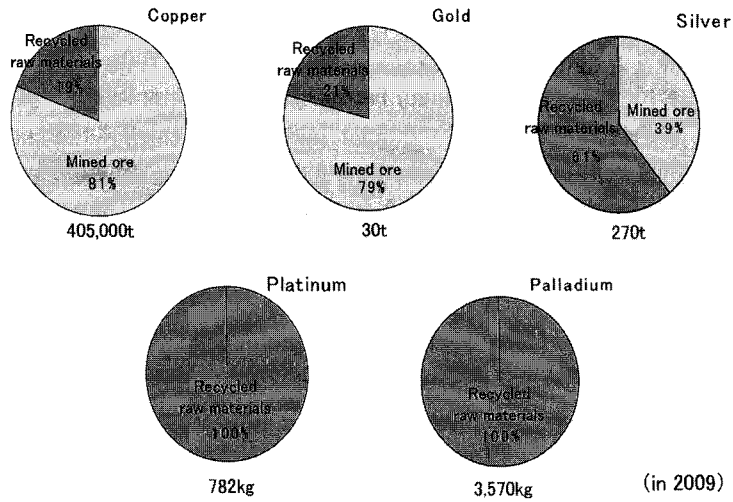


Fig. 8. Ratio of metals recycled to the JX-NMMC's productions.

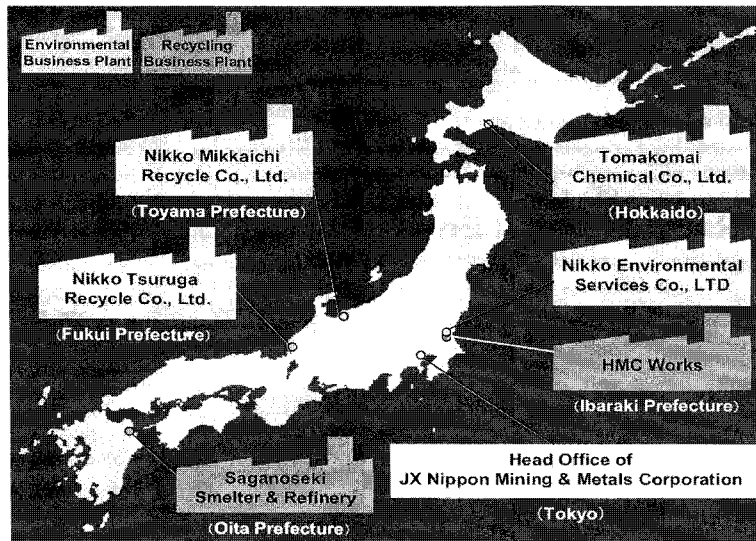


Fig. 9. JX-NMMC's domestic network of the environmental and recycling business plant.

& Metals Corporation)에서 리사이클원료를 사용하여 생산한 구리·귀금속량의 비율을 도시한 것이다. 구리와 금은 20% 전후이고, 은은 60%가 넘었으며 백금과 팔라듐은 100%이다. Fig. 9에는 JX-NMMC의 환경·리사이클사업의 일본내 network를 도시한 것이다.

Fig. 10에 日鑛環境(株)의 처리흐름⁶⁾을 도시하였다. 소각로에서는 폐플라스틱, ASR, 오니, 폐유, 석면, 폐액 등의 산업폐기물을 처리하고 있다. 폐가스는 습식폐가스처리설비에 도입되어 할로겐 등을 제거한 후, 중금속

류를 슬러지로서 고정하고 소각회와 같이 다음 공정 용융로의 원료로 한다.

용융로에서는 소각회, 슬러지와 같이 오니, 분진, 폐석면 등의 산업폐기물과 전자기판 등의 유용금속을 함유한 리사이클원료를 처리하고 있다. 본 용융로는 산소를 활용하여 리사이클원료 중의 유용금속을 고효율로 회수하는 것을 특징으로 하고 있다. Au, Ag, Cu 등의 귀금속류는 매트(황화물)로서, 폐가스처리설비에서 포집한 비회(fly ash(Pb, Zn 함유))는 용융비회설비에서 연

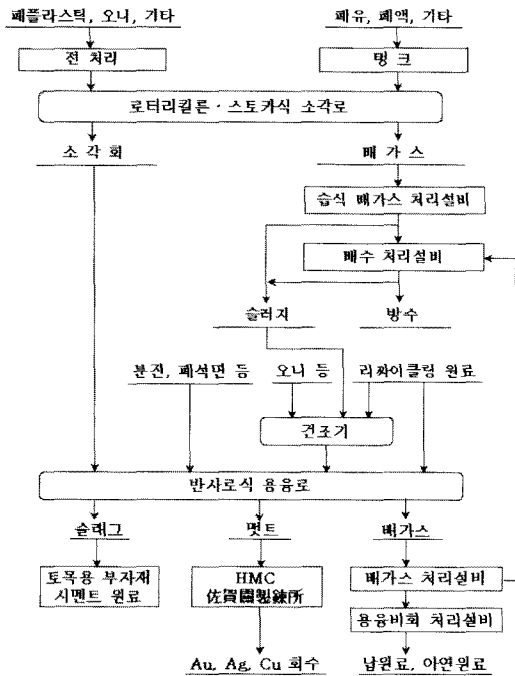


Fig. 10. Flow chart of incineration and melting processes for industrial wastes at Nikko Environmental Service Co.

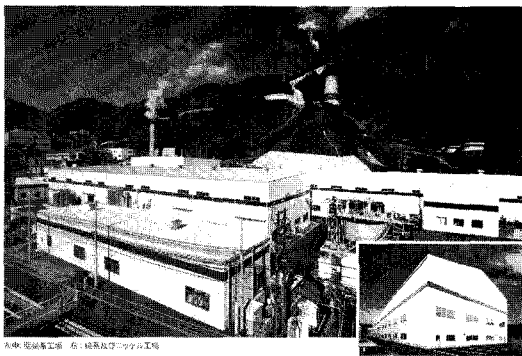


Fig. 11. Overview of the HMC

재(鉛滓), 아연재로 회수하고 있다. 한편 용융처리에서 발생하는 슬래그는 토목공사용 부자재로서 활용하고 있다.

4.3. HMC(Hitachi Metal-Recycling Complex) 공장

2009년 JX그룹 발생지인 日立사업소에 새로운 개념인 HMC 공장이 탄생하였다. 구리·납·아연의 각 제련사업에서 배양한 기술을 응용한 건식제련공정 및 습식제련공정을 조합함으로써, 리사이클원료와 구리제련 중간 생산물로부터 16종의 비철금속을 효율적으로 회수하는 복

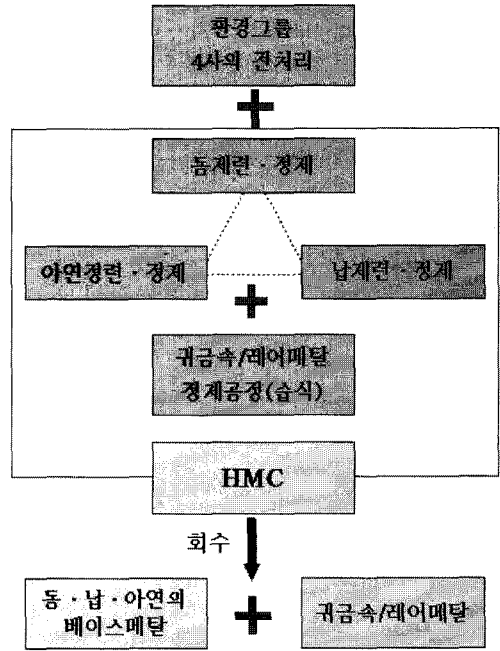


Fig. 12. Scheme of the complex smelting at HMC.

합리사이클 공장이다. Fig. 11은 HMC 공장의 전경이다.

4.3.1 생산프로세스¹⁰⁾

HMC 공장은 건식·습식을 조합한 Zero Emission형 구리/납/아연 복합제련·정제프로세스에 의하여 폭넓은 종류의 금속을 여러 원료로부터 회수, 생산하는 특성을 가지고 있다. Fig. 12는 HMC의 복합제련 구조를 도식적으로 설명한 것이다. 즉 레이메탈을 함유한 다양한 비철금속을 회수하기 위해서는 구리, 아연 그리고 납의 제련·정제기술이 추축되어 있음을 설명하고, 건식과 습식의 복합제련임을 설명하고 있다. Fig. 13은 日鐵環境(株)와 연계한 HMC의 생산프로세스를 도시한 것이다.

Table 5. Production per month of the HMC.

Gold	200 kg/m	Silver	4 t/m
Platinum	50 kg/m	Nickel	40 t/m
Indium	1 t/m	Antimony	14 t/m
Bismuth	19 t/m	Tin	40 t/m
Copper	500 t/m	Zinc	60 t/m

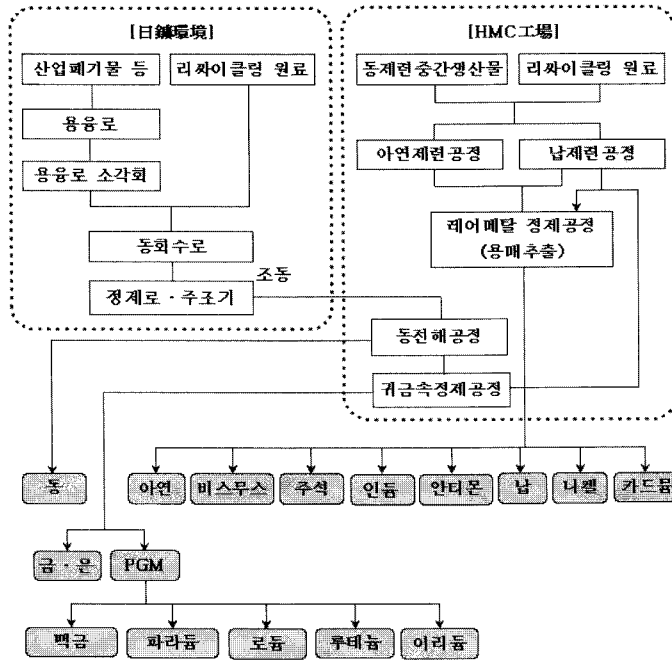


Fig. 13. Production process of the HMC.

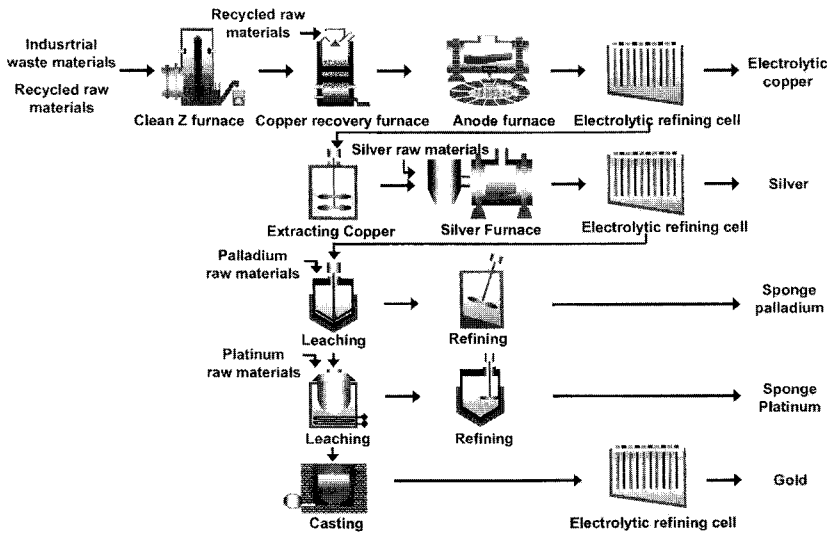


Fig. 14. Process Flow of Copper, Precious metals & PGMs.

이 HMC의 월간 생산량은 Table 5와 같다.

Pb, Sb, Bi 및 기타금속의 공정흐름을 도시하였다.

4.3.2. HMC 공정 흐름¹⁰⁾

Fig. 14에는 구리, 귀금속 및 PGMs의 공정흐름을, Fig. 15에는 아연과 니켈의 공정흐름을, Fig. 16에는

4.4. 전지 리사이클링공장 - 敦賀工場

쓰루가(敦賀)공장에서 사용후 리튬이온전지 및 리튬이온전지의 폐전극재로부터 Co, Ni, Li 및 Mn 등의

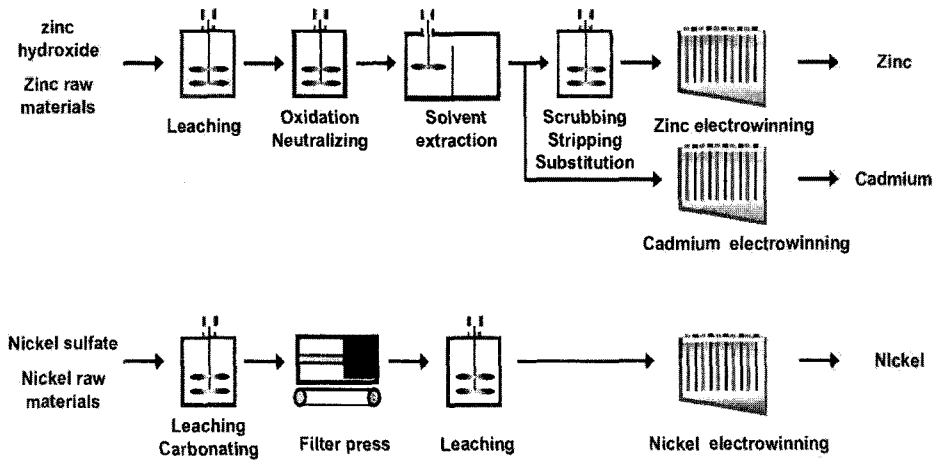


Fig. 15. Process Flow of Zinc & Nickel.

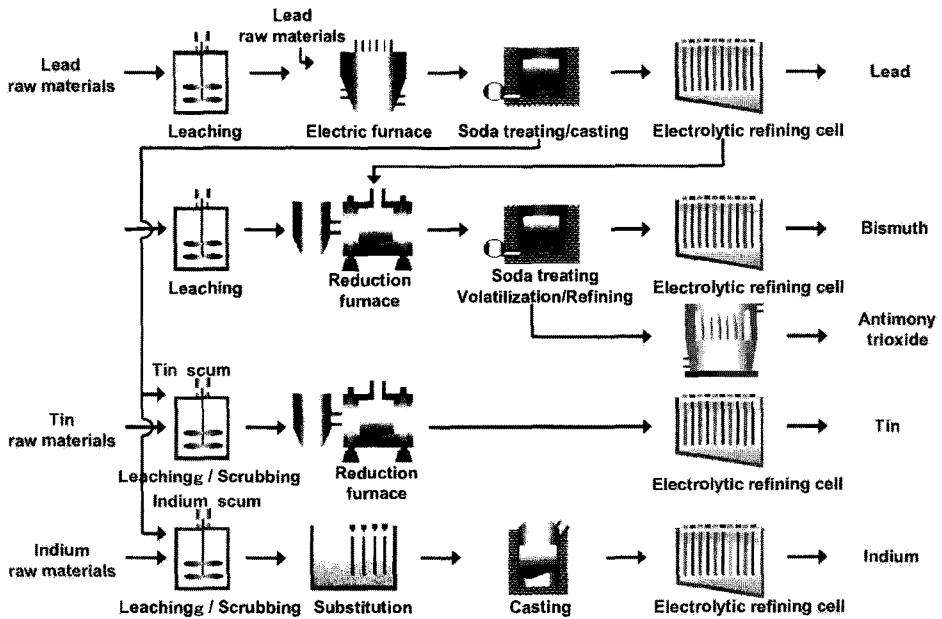


Fig. 16. Process Flow of Lead, Bismuth, Antimony & Other Metals.

유가금속을 회수하는 실증화시험을 행하였다. 이것은 당사가 경제산업성의 산업기술개발사업으로서 공모된 리튬이온전지로부터 레어메탈 리사이클 기술개발의 위탁 연구로 채택되어 대학과 공동으로 실증화시험을 행한 것이며, 敦賀工場이 2010년 완성되어 2011년부터는 상업화운전이 시작된다. Fig. 17은 이 공장의 생산흐름을 도시하였다. Ni 6톤/월, Co 10톤/월, 리튬탄산 10톤/월 생산될 계획이다.

5. 납·아연제련소의 도시광산 재자원화산업¹⁾

3절 및 4절에서는 Dowa홀딩스와 JX홀딩스에 관해서 비교적 상술하였다. 이 양 회사 모두 구리광산, 구리제련소가 기원이다. 이제 납·아연제련소에서의 도시광산 재자원화산업을 간단하게 소개하고자 한다. 9개의 납·아연제련소(Table 2 참조) 중에서 납제련소는 細倉, 神岡, 契島, 小坂, 竹原이고, 아연제련소는 飯島, 安中, 神

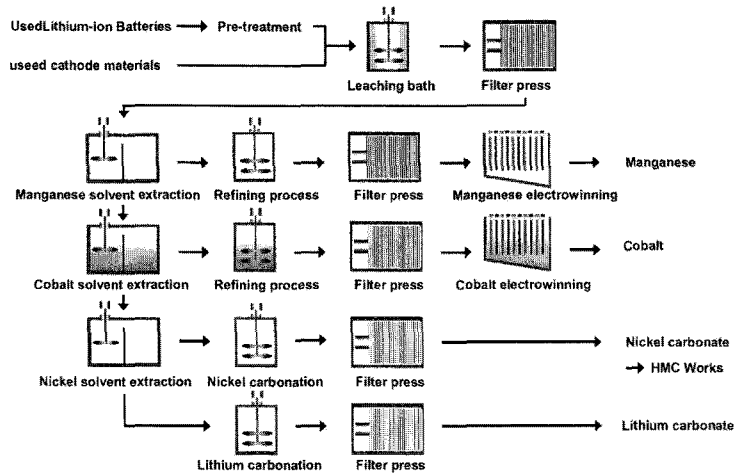


Fig. 17. Extracting Process from Used Lithium-ion Batteries at HMC.

岡, 彦島 등이며, I.S.P 프로세스에 의한 납·아연제련소가 八戸와 播磨이다.

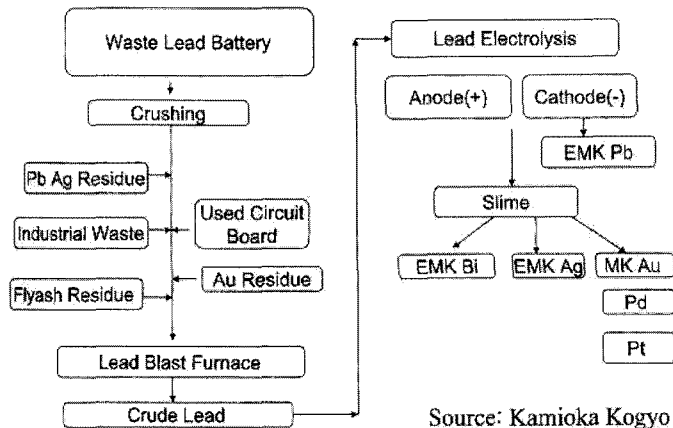
납제련소의 특색은 契島제련소만이 납정광(50%) 및 산업폐기물(50%)을 사용하고 있으며 그 외의 납제련소는 폐 납배터리와 산업폐기물만을 원료로 하고 있다. 아연제련소에 있어서는 神岡와 彦島는 아연정광만을 원료로 사용하고, 飯島와 安中は 아연정광과 산업폐기물을 원료로 하고 있다. 그리고 八戸와 播磨는 납정광 + 아연정광 + 조산화아연(ZnO) + 산업폐기물을 원료로 하고 있다.

아연제련소의 특색은 납제련소와 달리 사용후제품 즉 도시광산에서 원료를 조달할 수 없으므로 정광에 의한 의존도가 높다. 한편 아연의 리사이클링은 EAF더스트(전

기로제강분진)에서 조산화아연(ZnO)을 회수하는 방법으로 이루어지고 있으며 5개의 처리회사(三池제련, 住友금속 四阪工場, 姫路鐵鋼리파인, 曹鐵메탈, 小名浜제련)가 있다.

다음에는 납·아연제련소의 대표적인 예로 神岡제련소에 관해서 설명하고자 한다. 神岡鑛山¹¹⁾은 광석 품위저하 때문에 1995년부터 채광부문이 폐쇄되고, 제련소는 납, 은, 납배터리 주체의 제련소로, 아연은 호주로부터 매광제련소로 이행하였다. 최근에는 리튬이온전지 리사이클에 의한 코발트 회수도 개시하여 리사이클사업을 확충하고 있다. 神岡제련소의 납 리사이클 공정을 Fig. 18에, 리튬이온전지 리사이클 공정을 Fig. 19에 도시한다.

투입원료는 폐 배터리 이외 각종 산업폐기물과 휴대전화, PC의 기관 등이다. 납 리사이클의 주요제품



Source: Kamioka Kogyo

Fig. 18. Kamioka lead recycling factory flow sheet.

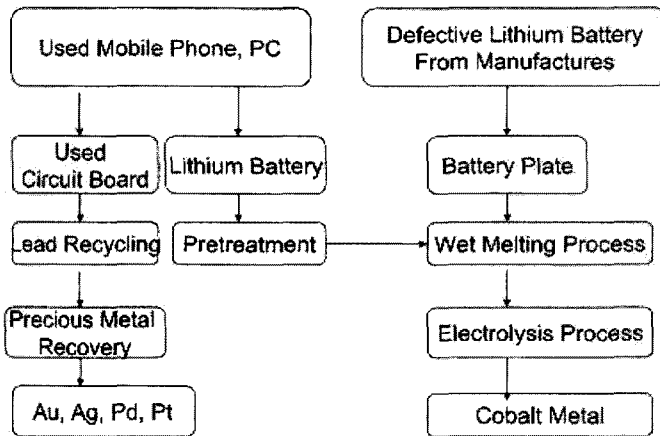


Fig. 19. Kamioka cobalt recycling flow.

(2008)은, 金 491, 은 67톤, 납 23,000톤, 비스무스 117톤, 전지리싸이클의 코발트 112톤이다. 아연제련 부문에서는 아연 68,000톤, 카드뮴 119톤이지만, 이 때문에 호주로부터 아연정광을 103,000톤/년 구입해야 한다. 납 제련에 있어서 폐납배터리와 고품위의 전자기판을 제외한 납리싸이클 원료는 폐기물 처리요금을 수령할 수가 있다.

6. 맺는 말

日本の 주요 비철제련소는 산원(山元)제련소를 모태로 채광, 선광장과 더불어 조업되어 왔다. 그리고 100년 이상의 오랜 역사를 가지고 있다. 광산이 문을 닫고 채광과 선광이 중단 혹은 종식된 후에도 리싸이클·환경사업으로 변신하여 21세기의 지상과제인 자원 순환형 사회 구축을 주도하고 있다. 7개의 구리제련소, 11개의 납 및 아연제련소 중에서 玉野(Cu), 神岡(Zn) 彦島(Zn)의 세 제련소만이 정광(精鑛)만을 제련원료로 조업하고 있다. 이러한 배경에는 오랫동안 배양된 비철제련 프로세스와 환경오염방지의 고도의 전문기술과 기술개발력이 기초가 되고 있다.

日本の 도시광산 재자원화산업은 고부가가치 자원의 회수와 유해폐기물 처리의 통합된 비즈니스로 전개되고 있다. 이때 폐기물의 적정처리에는 환경규제가 중요한 역할을 담당하고 있으며, 적정처리요금(혹은 리싸이클요금)은 처리기업의 운영(이익)에 미치지바 적지 않다.

최근 도시광산으로서 e-waste(휴대전화, PC 등)의 비중이 높아지고 있다. 레이메탈 등의 유가금속과 유해물

질을 함께 함유하고 있는 e-waste의 처리에는 비철제련(특히 복잡황화광)의 고도의 분리·정제기술의 이용이 절대적이다. 이러한 관점에서 同和그룹의 리싸이클 콤비나트, JX 日鑛그룹의 日鑛環境 + HMC의 리싸이클시스템과 리싸이클기술은 무한 경쟁력을 가지고 있다. 이 두기업의 재자원화시스템과 리싸이클 네트워크 및 비철제련 기술력은 우리나라의 도시광산 재자원화사업을 추진하는데 있어서도 많은 참고가 될 것으로 확신한다. 앞으로 e-waste의 회수시스템(회수시스템의 제도화)^{12,13)} 구축이 중요 과제로 대두되고 있다.

감사의 글

본 연구는 국가청정생산지원센터의 에너지 자원순환 촉진을 위한 기반구축사업 과제의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 지원해주신 국가청정생산지원센터에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. of MMIJ, 2007: 製鍊・リサイクリング特集號, J. of MMIJ Vol.123(12), 資源・素材學會
2. 森瀬崇史, 仲雅出, 白鳥壽一, 2007: DOWAグループにおける再資源化・リサイクルの取り組み, J. of MMIJ, 資源・素材學會, Vol.123(12), pp. 194198.
3. DOWAホルディングス株式會社, 2010: Jump up to the New Stage-アニュアル・レポート2010-, DOWAホルディングス株式會社, <http://www.dowa.co.jp/2010>
4. DOWAエコシステム株式會社, 2010: DOWA, DOWAエ

- コシステム株式會社, <http://www.dowa-eco.co.jp/2010>
5. 小坂製鍊株式會社, 2010: 世界の複合リサイクル製鍊所へ, 小坂製鍊株式會社.
 6. 赤木進, 青木威尙, 米田壽一, 成迫誠, 日野順三, 2007: 日鑛金屬グループにおける環境・リサイクル事業への取り組み, J.of MMIJ, 資源・素材學會, Vol.123(12), pp. 199-203.
 7. JX Nippon Mining & Metals, 2010: Corporate Profile(會社案内), JX日鑛日金石屬株式會社, www.nmm.jx-group.co.jp
 8. JX日鑛日金石屬株式會社, 2010: 環境リサイクル事業 (Recycling & Environmental Service), JX日鑛日金石屬株式會社環境リサイクル事業本部
 9. JX Nippon Mining & Metals Corporation, 2010: Recycling & Environmental Service Business, JX Nippon Mining & Metals Corporation
 10. JX日鑛日金石屬株式會社, 2010: HMC WORKS(HMC工場), JX日鑛日金石屬株式會社.
 11. 吉田文和, 2010: 都市鑛山の經濟學 -エレクトロニクス製品を中心-, J. of MMIJ, 資源・素材學會, Vol.126(6), pp. 2-7.
 12. 上田康治, 三下哲, 2010: 使用済み小型家電からのレアメタル回収モデル事業の現状と課題, 資源・素材學會, 資源・素材 2010(福岡講演資料(B)(C)), pp. 145-146.
 13. 藤原徹, 2010: 秋田縣における使用済小型家電の廣域的回収について, 資源・素材學會, 資源遜亮B 2010(福岡講演資料(B)(C)), pp. 147-148.

吳 在 賢

- 현재 연세대학교 명예교수
- 현재 한국자원리싸이클링학회 명예회장
- 당 학회지 제10권 5호 참조

文 碩 敏

- 현재 ACN 기술이사

金 俊 秀

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제11권 2호 참조

閔 芝 源

- 현재 한국자원리싸이클링학회 실장