

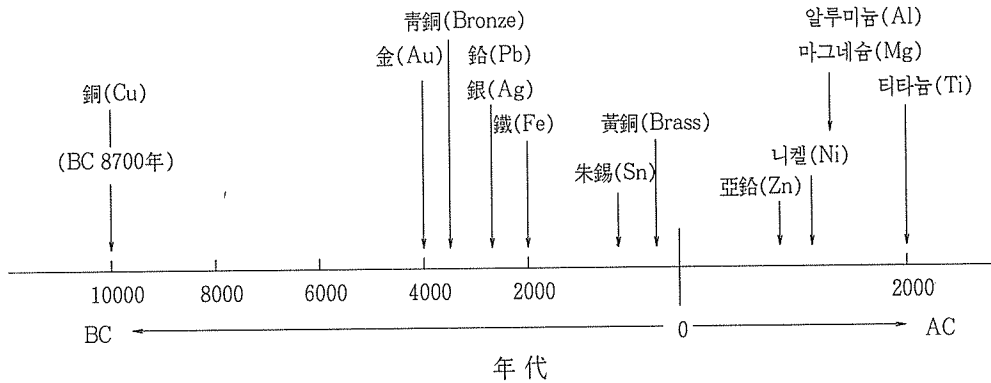
銅의 需給동향 및 리사이클링

釜山工業大學
教授 李鍾文

1. 序 論

銅은 인류가 최초로 사용한 금속인데, 그 사용시기는 약 1만년 전인 BC 8700년 경으로 추정되고 있다. 초기에 동은 自然銅을 두드려서 목걸이나 팔찌 등의 장신구를 만드는데 사용되었다. 동이 간단한 도구나 장식품, 무기 등에 사용되기 시작한 BC 3000~1200년 사이의 청동기 시대를 경과하는 긴 기간에도 불구하고, 1700년대까지 획기적인 용도가 없었다. 1700년대까지 채굴된 동의 전체량은 약 500만톤 정도인데, 이 양은 1989년도 세계 동광석 생산량의 절반에 불과하다. 동이 본격적으로 사용된 시기는 1870~1890년대에 와서 대규모의 전기를 사용하는 시대가 도래한 이후부터이다. 1850년대의 세계 동 생산량은 연간 3만톤 정도인데, 이 양은 1950년대의 1% 수준에 불과하다. 동의 역사 1만년 동안 사용된 양의 75%는 제2차 세계대전 이후의 45년 사이에 소비되는 급격한 수요 증가를 나타내고 있다. 각종 금속의 사용 역사를 〈그림-1〉에 나타내었다.

현재, 동은 철, 알루미늄 다음으로 대량 생산, 사용되는 주요한 비철금속의 하나이다. 근래, 우리나라도 고도 경제성장에 의해 국민의 생활수준이 향상되고, 이와 함께 각종 금속계 폐기물의 배출량도 급격히 증가되고 있다. 이들 폐기물은 일반적으로 철, 알



〈그림-1〉 各種 金屬의 使用 歷史

루미늄, 동 등의 금속 이외에 고무, 플라스틱, 종이, 목재, 유리, 세라믹 등으로 이루어진 복합제품이기 때문에 기술적으로나 경제적으로 처리가 곤란한 것이 많아지고 있다. 인류사회의 발전과 더불어 한편으로는 지구환경의 보전이 더욱 더 어렵게 될 것이다.

동은 광석으로부터 채광, 선광, 제련의 각 공정을 거쳐 가공되어 제품화하게 된다. 제품화되기까지 중간의 각 공정에서 폐기물이 배출된다. 또 제품은 소비자에게 인도되어 최종적으로는 폐기물이 된다. 이 폐기물중에서 경제적으로 유리한 유가물은 회수하여 다시 이용할 수 있다. 그러나 경제적으로 가치가 없는 폐기물은 처리, 처분하게 된다.

동의 제조 공정에서 채광 및 선광 공정으로부터 배출되는 廢材는 採鑛跡에 堆積하거나 퇴적장에 저장하게 된다. 제련 및 가공 단계에서는 슬랙 및 불량품, 동 스크랩이 발생하게 되는데, 슬랙은 시판하고, 불량품과 동 스크랩은 2차 자원으로서 리사이클링(recycling : 再資源化)의 대상이 된다.

이와 같이 품위가 비교적 높은 동 스크랩은 전기동의 생산공정에서 대부분 유효하게 이용되고 있다. 대부분의 자원을 해외에서 수입하고 있는 자원이 빈약한 나라인데도 불구하고, 최근에 와서 소비가 급격히 증가되고 있는 우리 나라의 입장에서 자원의 리사이클링은 필요불가결하다.

금후, 자원은 유한하다는 점에 근거한 자원 절약 대책 및 폐기하는 것로부터의 환경보전 등의 이유 때문에 리사이클링을 추진하지 않으면 안될 것이다.

2. 銅의 特性 및 用途

일반적으로 동은 알루미늄, 아연, 납과 더불어 4대 비철금속이라 불리우는 소재로서 열 및 전기의 양도체이고, 연성과 전성이 풍부하여 가공성이 뛰어나며, 내식성이 양호할 뿐만 아니라, 금·은·니켈·아연 등과의 합금성이 우수한 특성을 가지고 있다.

동은 우수한 전기 전도성을 이용하여 전기·전자 분야의 부품 소재로 사용되고, 높은 열 전도성을 이용하여 발전, 조선, 공기조화 등의 분야에 열 교환기 소재로 사용된다. 그 외에도 탄환, 건축, 주화, 군사용품 및 일상 생활용품 등에 널리 사용되고 있다.

선진국의 경우에는 〈표-1〉에 나타난 바와 같이 전기·전자 기기용이 전체 용도의 절반 이상을 넘고 있으며, 우리 나라의 경우에는 電線類 70%, 伸銅品 25%, 주물 및 기타 5%의 비율로 사용되고 있다.

〈表-1〉 先進國에서의 銅의 用途別 需要比率 (단위 : %)

구 분	미 국	서 유럽	일 본
전기·전자기기	53.8	54.3	52.0
건축	15.4	15.5	8.8
수송	13.5	10.7	17.1
산업용장비	12.3	14.0	15.0
기타	5.0	5.5	7.1
합 계	100.0	100.0	100.0

자료 : Copper, The Next Fifteen Years

한편, <표-2>에 나타난 바와 같이 국민 1인당 동 소비량(신동품 기준)을 주요 선진국과 비교하여 보면, 이미 높은 수준에 도달해 있음을 알 수 있다.

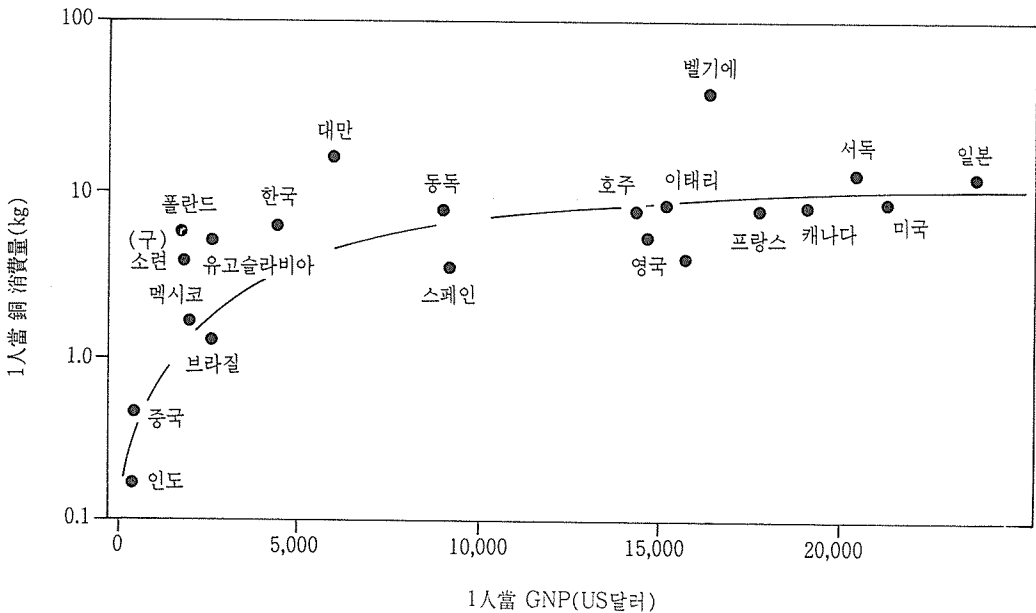
<表-2> 主要先進國의 伸銅品 消費量 比較(1989年度 基準)

(단위 : kg/1人)

독 일	일 본	미 국	영 국	프랑스	스페인	한 국	
						'89	'91
10.1	8.2	5.6	5.3	4.6	3.9	5.5	6.9

<그림-2>에 세계의 국가별 1인당 GNP(국민 총생산)와 동 소비량을 나타내었다.

이 그림을 보면, 동의 소비량은 확실히 국가별 GNP/1인과 관계가 있다는 것을 알 수 있는데, 1인당 GNP가 어느 수준에 도달할때까지는 동 소비량의 증가가 계속된다는 것도 알 수 있다.



<그림-2> 世界의 國家別 1人當 GNP와 1人當 銅 消費量

3. 銅의 製造技術

동제련의 대상이 되는 광석으로서의 황화광이 대부분이다. 그 중에서도 황동광이 중요하며, 휘동광이나 반동광도 제련의 대상이 되고 있다. 또 지역적으로 한정되어 있으나 산화광 및 자연동도 처리하고 있다. 주요한 동광석을 <표-3>에 나타내었다.

(1) 製鍊 및 精練

현재, 공업화된 동 제련시설은 1960년 이전에 개발된 것이 주로 사용되고 있다. 동 제련산업은 에너지가 많이 소비될 뿐만 아니라, 공해가 많이 발생하는 형태의 산업이기 때문에 주로 에너지 및 코스트 절감과 환경 규제의 강화에 의한 공해방지기술, 저품위 광석의 처리기술, 부산물의 회수기술에 주력하고 있다. 그러나 재래식 제련소는 전술한 기술개발이 한계에 도달

〈表-3〉 主要한 銅鑛石

鑛石名		分子式	Cu 含有率(wt. %)
酸化鑛	赤銅鑛(cuprite)	Cu ₂ O	88.8
	孔雀石(malachite)	CuCO ₃ · Cu(OH) ₂	57.3
	硅孔雀石(chrysocolla)	CuSiO ₃ · 2H ₂ O	36.0
黃化鑛	黃銅鑛(chalcopyrite)	CuFeS ₂	34.5
	輝銅鑛(chalcocite)	Cu ₂ S	79.8
	斑銅鑛(bornite)	Cu ₃ FeS ₃	55.4
	銅 藍(Covellite)	CuS	66.4
	黃砒銅鑛(enargite)	Cu ₃ (AsSb)S ₄	48.3
	四面銅鑛(tetrahedrite)	Cu ₃ SbS ₃	32~45

하여 시설 가동을 중지하고 있으며, 더욱 효율적인 공법과 기술을 개발하고자 노력하고 있다.

동은 일반적으로 동광석이 선광과정 → 제련과정 → 정련공정을 거쳐서 만들어진다. 즉, 광산에서 채광한 저품위(동 함량 : 0.3~5.0%) 동광석을 품위가 11~40% 정도인 精鑛으로 선광한 다음, 제련공정을 거친 후, 품위가 99% 정도인 製鍊銅(blister copper : 일반적으로 '粗銅'이라고 한다)이 된다. 이 제련동은 다시 정련공정을 거쳐서 품위가 99.9% 이상인 精練銅(refined copper : 일반적으로 '電氣銅'이라고 한다)이 된다.

일반적으로 동 제련법은 건식법과 습식법으로 대별된다. 세계 동 생산량의 90% 이상이 건식법에 의하여 제조되고 있으며, 습식법은 주로 저품위 산화광이나 황화광의 폐광을 제련할 경우 사용되고 있다. 건식제련법은 선광과 예비처리를 거친 동정광을 용광로에서 용련하여 중간생성물인 '매트(matte)'를 만든 다음, 슬랙(slag)과 분리한 매트를 전로에서 처리하여 '粗銅'을 만든다. 이 조동 중에는 금, 은 등의 유가금속과 Pb, Sb, Se, Te, S 등의 불순물이 함유되어 있다. 그래서 조동을 다시 정련하여 불순물을 제거함으로써 '精練銅'이 얻어지며, 부산물로 유가금속을 회수한다.

건식제련법에는 동광석을 용련하여 매트와 슬랙을 분리하는 방법에 따라 용광로법, 반사로법, 자용로법, 전기로법 및 연속제련법이 있다. 이들 중에서 용광로법과 반사로법은 재래식 제련법으로 공해문제와 경제성·생산성이 낮아서 점차로 자용로법이나 전기로법으로 대체되었다. 현재, 전력이 풍부하고, 또 값

싼 나라에서는 전기로법을 채택하고 있으나 그외는 자용로법이 주종을 이루고 있다.

자용로에 의한 동 제련계통도를 〈그림-3〉에 나타내었다. 자용로법은 산소 부화공기를 취입하여 황화광과 산소의 반응에 의하여 발생하는 산화열로 용융하는 방법이다.

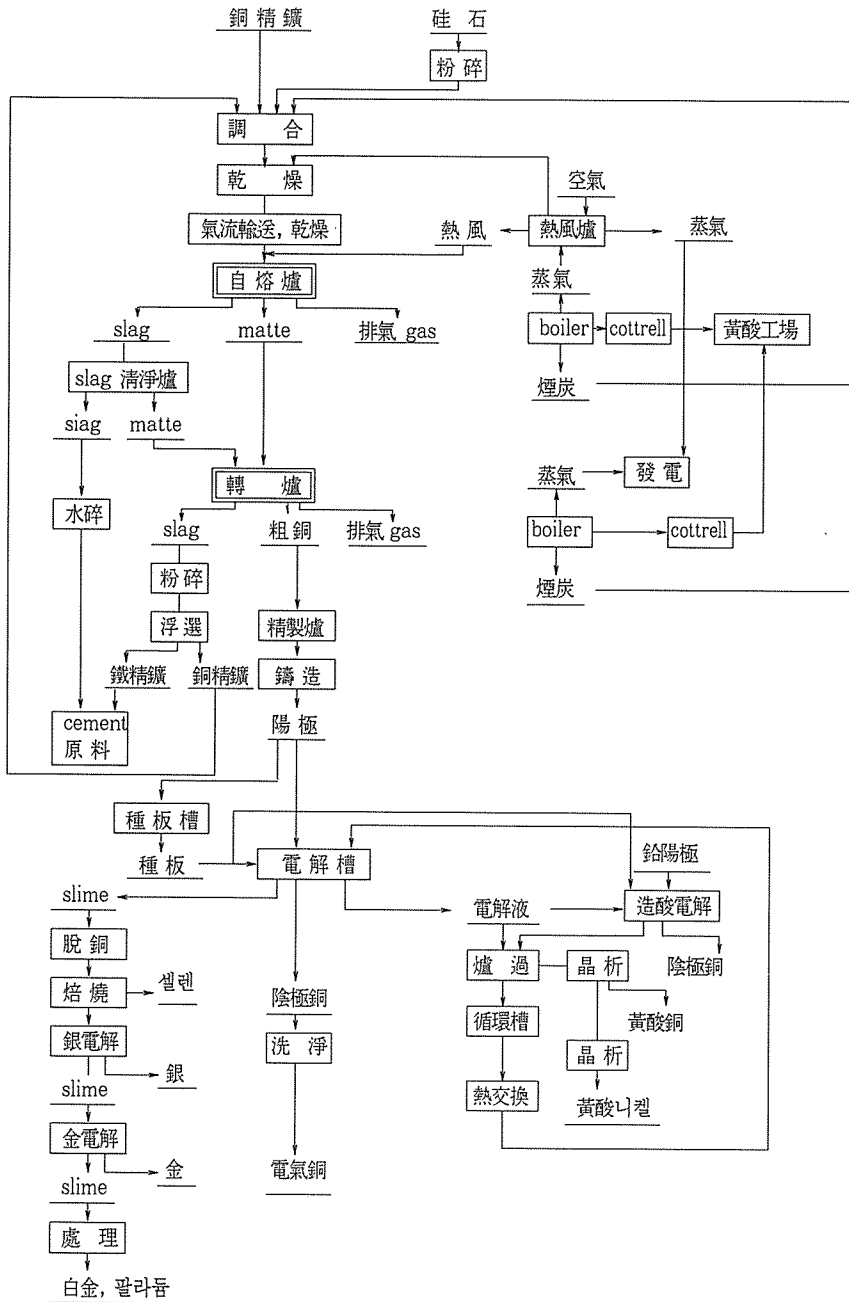
현재, 산소 부화기술을 채택하고 있는 제련법으로 캐나다의 INCO 法과 핀란드의 Outokumpu 法이 있다. INCO 法은 98%의 산소를 취입하여 외부로부터 연료 공급이 전혀 불필요한 완전 자용로법이고, Outokumpu 法은 고순도의 산소 대신에 450~1,000℃의 예열 공기나 산소 부화 공기를 공급하고, 부족한 열 에너지는 연료로 보충하는 제련법이다. 우리나라 온산 동 제련소의 방식은 Outokumpu 법을 도입한 것이다. 그리고 최근에 개발된 제련기술로서 Mitsubishi 법, Vanyukov 법, Isasmelt 법, Noranda 법, Flash 법 등이 있다.

한편, 조동의 정련법은 건식정련법과 전해정련법으로 대별되는데, 실제 조업에서는 2가지 방법을 조합하여 사용한다.

건식정련은 정련로 내에서 산화 환원 반응으로 불순물을 제거하는데, 주로 전해 정련에 사용하는 양극판의 품위를 향상시키기 위한 1차 정련이지만 전해정련에 의하여 얻어지는 음극동에 가공성과 높은 전도성을 부여하기 위한 목적으로 실시한다.

전해정련은 황산용액을 전해액으로 사용하고, 건식정련을 거친 정련 동판을 양극으로 전기분해하여 음극에 전기동을 석출시키는 공정인데, 불순물의 제거 및 유가금속의 회수가 용이하다.

현재, 세계적으로 적용되고 있는 전해정련법에 (ISA법), PCR법이 있다.
 Conventional법(DC법), Permanent Cathode법



〈그림-3〉 自熔爐에 의한 銅製鍊 工程圖

(2) 加工

일반적으로 동의 가공분야는 伸銅, 電線, 주물 부문 등으로 구분된다. 특히 신동부문은 동, 아연, 주석, 니켈, 동 스크랩, 동합금 스크랩 원료로 압연, 압출, 인발 등의 제조공정을 거쳐 동 및 동합금의 板, 帶, 棒, 線, 管 등을 제조하는 것인데, 이 부문을 별도로 신동 산업이라고 한다.

신동품의 품목별 특성과 용도를 분류하면 다음과 같다.

1) 板 및 帶

평면형태의 압연 제품으로서 원재료에 따라 순동 판·대, 황동 판·대, 양백 판·대, 기타 특수 합금 판대 등으로 구별된다. 전기 및 열 전도성, 인장강도, 내식성, 장식성 등이 우수하여 자동차, 선박, 항공기, 전기·전자, 건축, 탄피, 素錢 등 각종 산업분야

에 널리 사용된다.

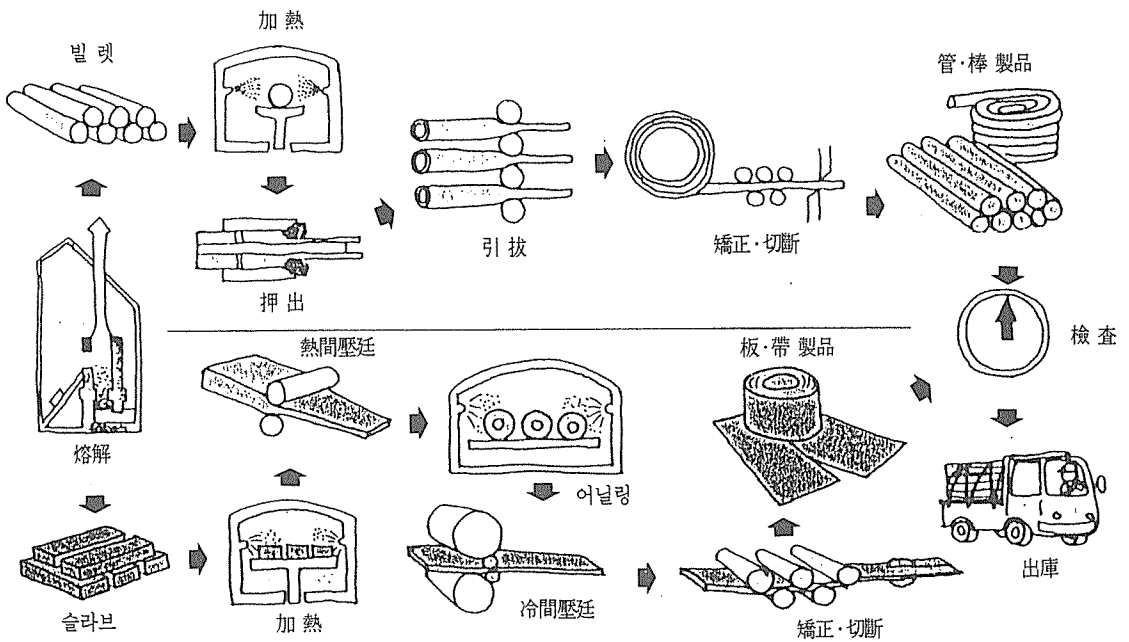
2) 棒 및 線

압출 제품으로서 외곽의 형상에 따라 角棒과 圓棒으로 구별된다. 내마모성, 내식성, 열 전도성 등이 우수하여 각종 리벳, 볼트, 너트 등 산업용 부품에 널리 사용된다.

3) 管

압출 제품으로서 棒·線과는 달리 中空 형태를 가지며, 합금 방법에 따라 純銅管, 黃銅管, 기타 合金管으로 구별된다. 내식성, 열 전도성, 가공성 등이 우수하여 공기조절장치, 냉장고용 급수 및 배수관, 열 교환기, 건축용 난방배관, 해수담수화 설비 등에 사용된다.

신동 제품의 대략적인 제조 공정을 <그림-4>에 나타내었다.



<그림-4> 伸銅製品의 製造工程圖

4. 銅의 供給과 需要

(1) 國內 業界의 動向

동광석은 국내의 10여 개소 광산에서 채광되었으나 광석의 매장량이 적고, 품위도 낮다. 현재, 국내의 생산량은 극히 적으며, 수요량의 대부분을 캐나다, 칠레, 미국 파푸아뉴기니 등지로부터 수입에 의존하고 있다. 국내의 동광석 수급 차이를 <표-4>에 나타내었다.

<表-4> 國內의 銅鑛石의 需給推移

(單位: 톤)

구 분	'80	'87	'89	'91	
공 급	생 산	2,479	600	13	17
	수 입	233,999	411,170	463,175	429,317
합 계	236,478	411,770	463,188	429,334	
수 요	내 수	236,478	411,770	463,188	429,334
	수 출	-	-	-	-

동 스크랩은 그 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 국내의 회수율보다 수입 증가율이 높은 수준에 있는 등 전반적으로 수입의존도가 높은 실정이다. 국내의 동 스크랩의 수급 추이를 <표-5>에 나타내었다.

<表-5> 國內의 銅 스크랩의 需給推移

(單位: 千톤)

구 분	'88	'89	'90	'91	
공 급	생 산	26	30	57	87
	수 입	119	126	130	164
합 계	145	156	187	251	
수 요	내 수	144	154	185	248
	수 출	1	2	2	3

국내의 정련동 수요는 전선 및 신동 부문에서 지속적으로 증가되어 1990년도에 전년대비 20.9%가 증가한 306,000톤, 1991년도에는 53.1%가 증가한 346,000톤의 규모였다. 또 1992년도의 정련동 수요는 전년 대비 4%가 증가한 360,000톤, 생산량은 자급율 56% 수준인 180,000톤의 규모가 될 것으로

전망되었다. 국내 정련동의 수급 추이를 <표-6>에 나타내었다.

<表-6> 國內의 精練銅의 需給推移

(單位: 千톤)

구 분	'88	'89	'90	'91	'92(전망)	
수 요	내 수	266 (47.0)	253 (-4.9)	306 (20.9)	346 (13.1)	360 (4.0)
	수 출	21	33	1	-	-
합 계	287	286	307	346	360	
공 급	생 산	163	193	171	200	202
	수 입	124	93	136	146	158
자급율	56.8%	67.5%	55.7%	57.8%	56.1%	

주: ()내는 전년동기비 %임.

동 가공제품의 생산과 소비는 관련산업의 성장과 함께 지속적으로 증가하였다. 동광석 및 정련동의 경우와는 가공부문의 경우에는 상당량을 수출하고 있으나, 증급 및 저급품이 위주이다. 금후 동 가공제품의 수요는 전선류보다는 냉장고, 에어컨 등 냉방 및 난방부문과 자동차부문 쪽이 크게 신장될 것으로 전망된다. 국내의 동 관련 제품의 수요 추이를 <표-7>에 나타내었다.

<表-7> 國內의 銅 關聯製品의 需要推移

구 분	'88	'91	평 균 증가율(%)	'92	전년비 증가율(%)
전 선 (내수:천톤)	170	218	8.6	225	3.2
냉장고·에어콘 (내수:천대)	3,454	4,088	5.8	4,511	10.3
자 동 차 (내수:천대)	1,084	1,497	11.4	1,766	18.0

(2) 國外 業界의 動向

확인된 세계의 동 매장량은 약 5억톤 정도인데, 이 중의 약 20%는 칠레, 19% 정도가 미국에 각각 매장되어 있다. 이들 두 나라를 위시한 서방 10대 동 보유국의 매장량은 세계 전체의 72.3%에 이르며, 이 중에서 개발도상국이 차지하는 비율은 전체

계의 60%를 넘는다. 이와 같이 동광석이 지역적으로 편재되어 있고, 대부분의 동 소비가 선진국 중심인데 반하여 동자원의 보유는 개발도상국에 몰려 있어 안정적인 동광석 수급 측면에서 근본적인 문제점

이 있다. 세계의 동 매장량 및 생산량을 <표-8>에, 자유세계의 주요 동광산의 동 산출량을 <표-9>에 각각 나타내었다.

<表-8> 世界의 銅 埋藏量 및 生産量

국 별		確認埋藏量 (100만톤)	比 率 (%)	'90년동광생산량 (100만톤)	比 率 (%)
西 方 圈	칠 레	97	19.7	1.59	17.3
	美 國	92 (90)	18.7	1.58	17.2
	잠 비 아	34	6.9	0.52	5.7
	페 루	32	6.5	0.32	3.5
	캐 나 다	32	6.5	0.79	8.6
	자 이 레	24 (30)	4.9	0.36	3.9
	필 리 핀	18	3.7	0.18	2.0
	파 푸 아 뉴 기 니	14	2.8	0.17	1.8
	濠 洲	8 (16)	1.6	0.32	3.5
	남 아 프 리 카	5	1.0	0.18	2.0
기 타	77	15.6	1.17	12.7	
計		433	87.9	7.18	78.2
共 産 圈	구 소 련	36	7.3	0.95	10.4('95년)
	폴 란 드	13	2.6	0.39	4.3('89년)
	기 타	11	2.2	0.65	7.1('89년)
	計	60	12.1	1.99	21.8
世 界 合 計		493 (505)		9.17	

資料 : Chemical Bank, Copper, The Next Twenty Years.
 World Bureau of Metal Statistics, World Metal Statistics
 World Bank, Price Prospects for Major Primary Commodities.
 註 : 매장량의 ()안 數値는 US Bureau of Mines의 추정치임.

<表-9> 西方 主要 銅鑛山의 銅 産出量(1990年度)

順位	鑛山名	國 名	産出量(千톤)	順位	鑛山名	國 名	産出量(千톤)
1	Chuquicamata	칠 레	667	13	Tyrone	美 國	144
2	El Teniente	칠 레	329 (1989)	14	La Caridad	멕 시 코	140
3	Morenci	美 國	312	15	El Salvador	칠 레	130 (1989)
4	Escondida	칠 레	250 (1991)	16	Palabora	南 아 프 리 카	125
5	Bingham Canyon	美 國	236	17	Chino	美 國	124
6	Nchanga	잠 비 아	212 (1989)	18	Andina	칠 레	124
7	Mt. Isa	호 주	179	19	Sierrita	美 國	122
8	Kamoto	자 이 레	176 (1989)	20	La Candelaria	칠 레	120
9	Ok Tedi	파 푸 아 뉴 기 니	170	21	Cuajone	페 루	115
10	Ertsberg	인 도 네 시 아	164	22	Ray	美 國	110
11	HighLand Valley	캐 나 다	164	23	Bagdad	美 國	100
12	Neves-Corvo	포 르 투 갈	160				

세계의 동광석 생산량은 그동안 지속적으로 증가하여 1989년에는 900만톤을 초과하였다. 그중의 약 80% 정도를 서방 국가에서 생산하였으며, 또 서방 국가 생산량의 60% 이상을 개발도상국에서 생산하였다. 나라별 생산량은 칠레와 미국이 비슷한 수준으로 가장 많고, 다음이 캐나다, 잠비아 순이다. 상위 10위의 동광석 생산국 중에서 선진국은 미국, 캐나다, 호주 뿐이고, 나머지 7개국은 모두 개발도상국이다.

이들 주요 생산국 중 미국 90%, 캐나다 60%, 호주 70% 정도를 自國 內에서 제련하고 있기 때문에 세계 동광석 및 동 시장에서 개발도상국의 중요성은 생산량이 차지하는 비율보다 훨씬 크다.

특히 우리 나라의 경우에는 동광석을 수입, 제련하여 동의 국내 수요를 충족시키고 있기 때문에 주요 개발도상국의 동광석 생산량에 대한 自國 內의 제련 비율이 큰 관심이 되지 않을 수 없다.

한편, 상위 10위의 서방권 동광석 생산국 중에서 제련 시설이 없는 나라는 파푸아뉴기니 뿐인데, 전량을 동광석 형태로 수출하고 있다. 그 반면에 일본 및 독일의 경우에는 동광석이 거의 생산되지 않으므로 전량을 수입하여 제련동 및 정련동을 생산하고 있으며, 벨기에는 제련동을 수입하여 정련동을 생산하고 있다. 서방 주요 국가의 제련동 및 정련동 생산량을 <표-10>에, 서방 주요 국가의 국내광에 의한 자급율을 <표-11>에 각각 나타내었다.

<表-10> 西方 主要國家의 製鍊銅 및 精練銅 生産量(1991年度)

(單位: 千噸)

제련동			국명	정련동		
생산량	비율 (%)	순위		순위	비율 (%)	생산량
1,450.4	19.4	1	미국	1	23.4	2,000.6
1,296.1	17.4	2	칠레	2	14.5	1,237.8
1,085.4	14.5	3	일본	3	12.6	1,076.2
* (990.0)			(구 소련)			(1,260.0)
546.5	7.3	4	캐나다	4	6.3	538.3
409.0	5.5	5	잠비아	6	5.0	428.0
* (341.6)			(폴란드)			(440.2)
267.7	3.6	6	자이레	14	1.6	139.7
264.6	3.5	7	페루	9	2.9	244.1
253.2	3.4	8	구서독	5	6.1	522.5
207.0	2.8	9	호주	8	3.3	280.0
186.0	2.5	10	한국	10	2.3	200.8
182.5	2.4	11	멕시코	12	1.8	153.9
87.6	1.2	-	벨기에	7	3.4	287.0
149.1	2.0	-	스페인	11	2.2	189.9
144.0	1.9	-	브라질	13	1.7	144.8
942.6	12.6	-	기타	-	12.9	1,111.3
7,471.7			서방권계		100	8,555

주: *는 '90년치임.

(表-11) 西方 主要國家의 國內鑛에 의한 自給率(1990年度)

	銅		亞鉛		鉛		니켈	
	消費量 ^{a)} (千톤)	自給率 ^{b)} (%)	消費量 (千톤)	自給率 (%)	消費量 (千톤)	自給率 (%)	消費量 (千톤)	自給率 (%)
日本	1,577	0.8	814	15.6	417	4.8	159	0.0
美國	2,150	73.8	991	54.8	1,274	38.8	125	0.2
英國	317	0.3	189	3.8	302	0.5	33	0.0
프랑스	478	0.1	284	8.4	255	0.5	45	0.0
西獨	897	0.0	484	12.0	392	2.2	89	0.0

a) 地金 消費量, b) 國內鑛 比率

세계의 동 소비량은 경제활동의 상황에 따라 변동되어 왔는데, 1951년부터 연평균 2.6%의 비율로 증가하여 1988년에 10,596,000톤 규모였다. 세계 동 소비량의 대부분을 선진국에서 소비하고 있지만 그 상대적인 비율은 점차로 감소하는 추세에 있다. <표-12>에 나타낸 바와 같이 개발도상국의 연평균 증가율은 6.6%로서 선진국의 1.7%에 비하여 훨씬 높은 성장율을 나타내었다. 특히

1970년 이후부터 1988년까지의 선진국의 연평균 성장율은 0.9%에 불과하지만 개발도상국은 6.5%나 되었다. 이것은 건축, 내구소비재 및 기계산업 분야에서의 개발도상국의 동 소비량이 급격히 증가한 것이 주요 원인이다. 금후 선진국의 수요 비율은 점점 더 감소되어 2005년 경에는 전체 소비량의 60% 이하가 될 것으로 전망된다.

(表-12) 世界 主要 經濟地域別 銅 消費量 및 消費增加率

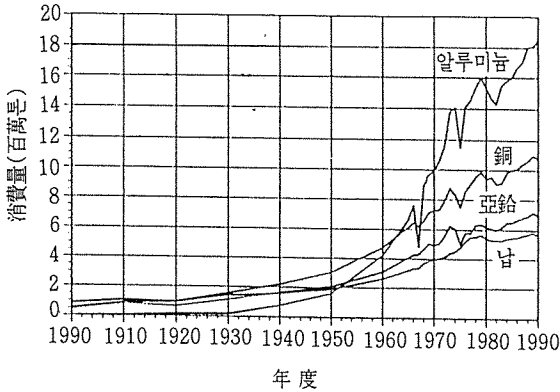
(單位: 千톤)

Countries/ Economies	실 적 치				추 정 치								연평균 성장율(%)		
	'69~ '71	'79~ '81	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	2000	2005	'61~ '88	'70~ '88	'89~ 2005
• 선진권	5,319	6,235	6,589	6,862	6,915	7,043	7,183	7,336	7,462	7,547	8,102	8,685	1.7	0.9	1.5
북미주	2,105	2,252	2,449	2,420	2,375	2,390	2,430	2,470	2,490	2,490	2,620	2,745	0.9	0.5	0.8
미국	1,881	2,021	2,211	2,205	2,195	2,200	2,230	2,265	2,280	2,280	2,390	2,510	0.9	0.6	0.8
EEC-10	2,089	2,396	2,453	2,636	2,650	2,720	2,810	2,900	2,960	2,980	3,130	3,350	1.4	0.5	1.5
선진아시아	811	1,248	1,331	1,447	1,550	1,585	1,590	1,610	1,650	1,710	1,960	2,170	5.3	2.6	2.6
선진오세아니아	107	134	131	132	125	128	130	131	132	134	142	150	1.9	1.0	0.8
• 동유럽및(구)소련	1,278	1,906	1,881	1,771	1,730	1,713	1,730	1,756	1,791	1,827	2,067	2,302	3.1	1.9	1.7
(구)소련	949	1,327	1,250	1,140	1,112	1,100	1,111	1,128	1,151	1,174	1,328	1,466	2.6	1.4	1.6
동유럽	328	579	631	631	618	612	618	628	640	653	739	836	4.5	3.2	1.8
• 개도국	634	1,446	2,126	2,293	2,315	2,381	2,430	2,475	2,555	2,622	3,031	3,521	6.9	6.5	2.7
아시아	274	670	1,284	1,456	1,474	1,513	1,538	1,566	1,628	1,670	1,933	2,228	7.9	8.4	2.7
중국	188	449	465	528	530	540	545	550	570	580	660	750	7.3	6.4	2.2
인도	54	73	130	135	138	142	145	149	153	158	190	225	2.6	5.1	3.2
아프리카	51	110	105	99	101	103	105	107	108	109	122	138	4.5	2.9	2.1
美 洲	196	463	497	464	465	489	509	523	538	560	679	842	6.5	4.7	3.8
브라질	75	215	232	208	205	220	230	235	240	250	300	370	8.8	5.2	3.7
멕시코	60	123	120	134	137	140	145	150	156	162	200	250	6.1	3.9	4.0
世界 合 計	7,231	9,587	10,596	10,925	10,960	11,136	11,342	11,567	11,808	11,995	13,200	14,508	2.6	1.8	1.8

자료: World Bureau of Statistics, Metal Statistics(Actual)

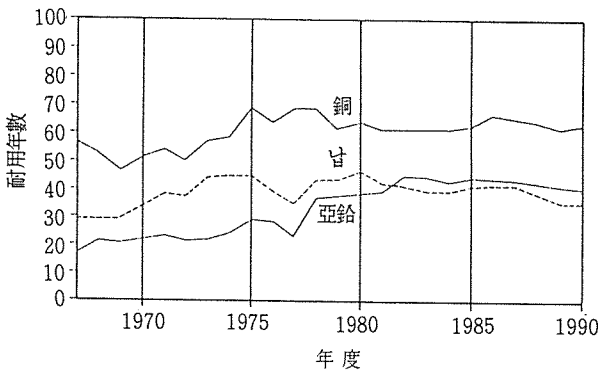
World Bank, Interational Economics Department(Projected).

〈그림-5〉에 4대 비철금속의 세계 소비량의 추이를 나타내었다. 4대 비철금속의 세계 소비량은 20세기 후반의 고도 산업발전과 함께 급격히 증가되고 있음을 알 수 있다.



〈그림-5〉 4대 非鐵金屬의 世界 消費量의 推移

〈그림-6〉에 세계의 주요 비철금속의 耐用年數(‘耐用年數’란 그 해의 전세계 매장량을 전세계 소비량으로 나눈 것을 말한다)를 나타내었다. 주요 비철금속의 내용년수가 짧게는 20년, 길어도 70년에 불과하다는 것으로도 알 수 있듯이 이들 자원의 리사이클링은 후대를 위한 자원 보존이라는 관점에서 세계적인 과제가 아닐 수 없다.



〈그림-6〉 世界의 主要 非鐵金屬의 耐用年數

(3) 日本 業界의 動向

일본은 대부분의 동광석을 국외로부터 수입에 의존하고 있으며, 자급율은 1.3%에 불과하다. 〈표-13〉에 나타낸 바와 같이 일본의 나라별 동 자원의 수입 상황은 캐나다, 칠레, 미국, 필리핀, 잠비아 순으로 되어 있다.

〈表-13〉 日本의 銅鑛石·粗銅·地金の 輸入 狀況 (1989年度)

形態別 國別	鑛石	粗銅	地金	合計	比率 (%)
캐 나 다	228	—	—	228	16.3
美 國	140	—	49	189	13.5
인도네시아	117	—	—	117	8.3
파푸아뉴기니	109	—	—	109	7.8
필 리 핀	102	—	58	160	11.4
칠 레	63	—	145	208	14.8
濠 洲	37	—	26	63	4.5
말레이시아	22	—	—	22	1.6
페 루	14	22	25	61	4.4
잠 비 아	—	—	146	146	10.4
韓 國	—	—	14	14	1.0
남아프리카	—	—	9	9	0.6
其 他	61	—	15	76	5.4
합 계	893	22	487	1,402	100.0

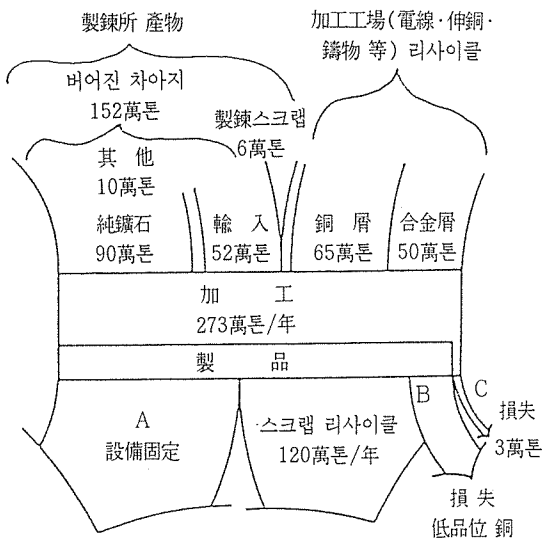
資料：日本鑛業協會資料

일본의 경우 전선, 신동 주물의 리사이클을 포함한 원재료의 전체 수요량은 1989년에 약 270만톤인데, 리사이클로부터의 공급이 연간 120만톤으로 약 44%에 상당한다. 한편, 동 제련소에서 처리하는 스크랩은 약 6만톤인데, 동품위가 평균 75%로서 비교적 높다.

동 스크랩은 가공공정에서 발생하는 新屑이 있는데, 이것의 거의 100%가 리사이클 되고 있다. 또 소비자를 거쳐 폐품으로 리사이클되는 古屑이 있는

데, 이것의 리사이클 비율은 정확하지 않다. 회수하여 처리하고 있는 동 스크랩은 대부분 유상으로 구입한 것이다.

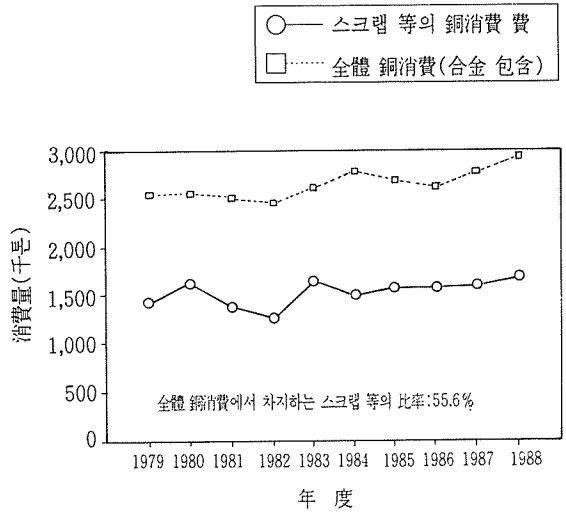
(그림-7)에 나타낸 바와 같이 동 및 동합금 가공공장에서의 전체 수요량은 연간 270만톤인데, 전체 동 가공량에 대한 리사이클 비율은 44%가 되지만 '버어진 차아지(virgin charge)'에 대한 리사이클 비율은 79%가 된다. 그림 중의 설비고정(A)은 장래에 리사이클의 대상이 된다. 여기에서 커다란 문제는 저품위 동(B)이 회수되지 않는다는 점이다.



〈그림-7〉 日本에서의 銅分の 리사이클 狀況

동 리사이클의 문제로서 동 제품은 품종이 많기 때문에 회수 코스트가 비싸게 되어 그것의 회수가 곤란하다는 점이다. 또 동 가격은 국제 시세에 따라 변동하므로 지속적인 안정 회수가 곤란하다.

동의 회수 분리 코스트가 비싸지게 되는 이유로 동이 제품중에 차지하는 비율이 근년에 점차로 감소되고 있는 점과 인건비가 급등함으로써 저품위의 동 제품으로부터 동의 회수가 곤란하게 된 점 등을 꼽을 수가 있다. (그림-8)은 일본에서의 동 스크랩 회수 동향의 예를 나타낸 것이다.



〈그림-8〉 日本에서의 銅 스크랩의 回收 動向의 例(出處: WBMS)

5. 리사이클링 技術의 概要

동 폐기물은 금속이나 동 단체에 가까운 형태로 발생하는 것이 많으나 철 등의 금속 및 고무, 플라스틱 등과의 복합 제품으로서 배출되는 것, 산화물이나 염화물 등의 동 화합물부터 배출되는 것, 동 함유 용액으로 배출되는 것도 있다.

일반적으로 금속 團體에 가까운 형태로 배출되는 동 폐기물은 그 품위가 높고 회수가 용이하기 때문에 적극적으로 회수하여 재 이용하고 있다.

또 동 프린트 基板의 에칭 폐액 등 비교적 동 품위가 높은 것은 경제적 이점이 있으므로 회수하여 재 이용하고 있다. 한편, 철이나 플라스틱이 혼합된 동 품위가 15% 이하인 폐기물은 경제적으로 확립된 재 자원화 처리기술이 없으므로 일반적으로 폐기된다.

그러나 전술한 바와 같이 동 품위가 낮더라도 금, 은 등의 귀금속이 함유되어 있을 경우에는 회수의 대상이 되고 있다. 동 폐기물의 회수 방법으로서 건식의 동 제련소에서 동 원료와 혼합하여 회수, 분리하는 방법과 회수처리를 목적으로 한 전용의 용해

로를 사용하는 방법이 있다. 또 그외에 동을 함유한 용액으로부터 직접 동을 회수하는 방법도 있다.

한편, 저품위의 동 함유 폐기물을 저온 분쇄 처리에 의하여 분별, 농축하는 방법도 있다. 일본의 경우에는 동 스크랩의 회수가 대부분 기존의 동 제련소에서 실시되고 있는데, 그 주된 이유는 다음과 같다.

- ① 汚泥 등과 같이 수분이 많거나 분말상태일지라도 동정광과 혼합하여 처리가 용이하다.
- ② 동 품위가 비교적 높은 고형물은 동 전로에서 용이하게 분리, 회수된다.
- ③ 가연성 물질, 금속 불순물의 분리, 농축에 기존의 설비를 충분히 이용할 수 있으므로 회수율이 높다.
- ④ 동을 회수하기 위한 전체 에너지 코스트, 노동 코스트, 설비 코스트 등이 다른 방법에 비하여 대단히 낮다.

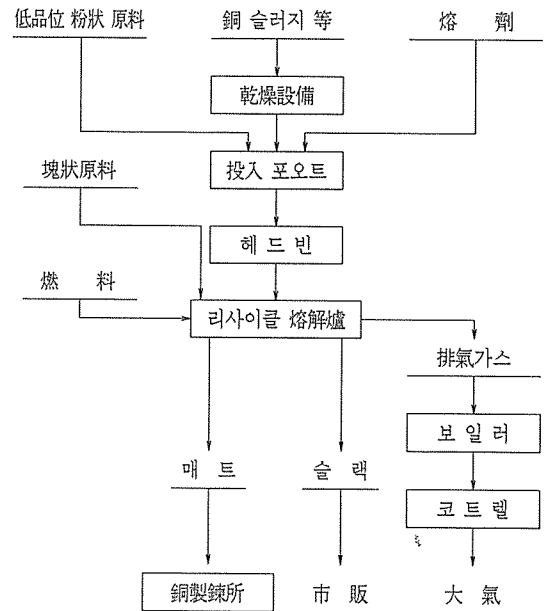
본 고에서는 고온 용융 처리하는 N社의 반사로 형식의 리사이클 용해로, 일본 足尾 제련(주)의 전로를 제조한 용해로 및 O社의 저온 분쇄처리에 대하여 설명하고자 한다.

N社는 1978년에 고온 용융처리에 의한 유가금속의 회수를 리사이클 용해로로 조업을 개시하였다. 銅箔의 제조공정에서 프린트 기판 스크랩이나 폐수 처리 오니, 도금 슬러지, 폐촉매 등의 산업폐기물을 고온에서 용융하여 유해한 금속성분은 슬랙에 고정시켜 無公害化하고, 유가금속 성분은 매트로 회수하는 방법이다.

슬랙화하는데 필요한 용제(flux)는 산업폐기물 중의 Fe, CaO, SiO₂ 등을 유효하게 조합하여 이용함으로써 자급자족하고 있다. 또 에너지源으로는 증유나 폐유를 사용하고 있다. 산업폐기물 중의 에너지源을 사용하여 산업폐기물을 처리함으로써 유가금속은 회수하여 再資源化를 도모하고, 유해성분은 고정시켜 무공해화하고 있다.

한편, 足尾제련소에서는 1988년 2월 해의 수입광석으로부터의 조동 및 황산의 생산을 중단하고, 금 및 은을 함유한 古銅滓와 산업폐기물 슬러지를 원료로 한 'black copper'의 생산으로 전환하였다.

원료의 용해는 자용로의 산물인 매트를 처리하던 전로를 개조한 용광로에서 실시하고 있다. 개조한 주요 개소로서 원료를 연속적으로 장입할 수 있는 裝入孔과 용해로의 양쪽에 증유 버너 取付孔을 설치한 것을 꼽을 수 있다. 용제는 조합할 때 Fe, CaO, SiO₂ 등을 첨가하여 원료 성분을 조정하고 있다. 또 용해를 위한 에너지源은 증유와 산업폐기물인 폐유를 사용하고 있다. 얻어진 'black copper'는 他社의 제련소로 보내서 정련하고, 슬랙은 水碎하여 '水碎 슬랙'으로 시판하고 있다. 전술한 N社의 경우와 마찬가지로 유가금속인 금, 은, 동은 동시에 회수하여 재자원화를 도모하고, 기타의 유해성분은 슬랙으로 고정화하여 무공해화 처리를 하고 있다. 리사이클 용해로를 사용한 처리 공정을 <그림-9>에 나타내었다.



<그림-9> 리사이클 용해로를 사용한 處理工程圖

경제적인 관점에서 본다면 足尾제련소와 같은 단독의 용해로를 사용한 동 리사이클링은 대단히 곤란하다. 현재의 단계에서는 폐유 및 금, 은, 동을 함유한 산업폐기물 등의 처리비가 저렴하고, 또 전체의

에너지 코스트 및 근로 코스트가 지나치게 높아서 경영상 적자가 되고 있는 것이 현재의 상황이다.

그외에도 건식 처리방식으로써 0社에서 개발한 저온 분쇄 기술이 있다. 이 기술은 탄소강을 위시한 다수의 금속은 저온이 되면 신율, 드로오잉 및 충격치가 감소한다는 것을 이용한 방식이다. 일정한 온도 이하에서 급격히 취약하게 되는 성질을 이용하면 각종의 소재를 소재별로 고순도로 분쇄, 회수하는 것이 가능하게 된다. 폐기된 가스기구는 물론이거니와 폐가전제품, 폐자동차 등 광범위한 응용이 가능한 독자적인 시스템이다. 금후 이 기술은 금속계 폐기물의 재 자원화에 커다란 공헌을 할 것으로 기대되고 있다.

습식법으로서는 전자산업에서 프린트 기판을 제조하는 공정으로부터 발생하는 염화 동 에칭 폐액으로부터 금속 동을 회수하는 방식이 있다. 이 방식은 동을 함유한 폐액에 철 스크랩을 첨가함으로써 치환반응을 일으켜 동은 분말상태로 침전시켜 직접 동 분말을 제품으로 사용하거나 제련소 등에서 용해하여 재 자원화한다. 한편, 동과 치환된 철은 염화 제2철 용액으로 시판된다.

이상의 몇가지 실례를 소개하여 회수 기술의 개요를 설명하였다. 금후 점차로 그 종류가 다양화 및 복잡화하게 될 폐기물의 재 자원화에 가장 적합한 처리방법 및 시스템의 개발에 주력할 필요가 있다.

6. 結 論

우리 나라는 1970~1980년대의 높은 경제성장에 의하여 경제의 규모가 현저히 확대되었으나, 보유자원이 빈약한 나라이면서도 자원소비가 많은 나라이

다. 그래서 금후의 산업활동이 지향하는 목표는 유한한 자원을 가급적 적게 사용하여 폐기물이나 汚水를 이 지구에 가능한한 적게 배출하도록 생산활동을 발전시켜 나가는데 있다.

그러기 위해서는 자원의 리사이클링을 실시하지 않으면 안된다. 일반적으로 동의 품위가 15% 이상인 동 및 동합금의 古金屬, 또는 스크랩으로 농축 분리된 발생물의 거의 전부가 리사이클 된다고 보면 무방하다.

문제는 동의 품위가 15% 이하인 폐기물을 매립하지 않고, 회수하여 어떻게 재 자원화하는가에 있다. 일반적으로 이러한 저품위의 舍銅 물질은 산업폐기물이 되며, 품위에 비례한 금일의 처리비를 받아서 그 처리를 맡을지라도 경제적으로 에너지 코스트, 근로 코스트 등이 높아서 일부분 밖에 재 자원화되지 않고 있는 것이 실제의 상황이다.

장래에도 이 저품위의 舍銅 雜物로부터 동의 회수가 가능한 설비는 기존의 동 제련소 이외에는 없을 것으로 전망된다.

기업과 정부는 폐기물의 효율적인 수집과 재처리 기술의 향상 및 개발에 노력하지 않으면 안된다는 것은 당연하다. 그리고 산업폐기물의 재자원화에 공헌하고 있는 회수업자 및 동 제련소 등, 현재 부여되고 있는 중요한 역할에 대하여 국민과 정부가 더욱 이해를 깊이 해야할 필요가 있다.

일반적으로 금속 광물의 편재성과 유한성은 광물 자원이 가진 특성이다. 광물자원은 일단 채굴하여 버리면 지각으로부터 영원히 없어지게 된다. 한정된 자원의 사용년수를 늘이기 위하여, 또 지구환경의 보전을 위하여 자원의 리사이클링 기술은 금후 더욱 더 중요하게 될 것이다.

국경없는 무한경쟁 세계화로 이겨내자