TECH. TREND REPORT
*기술동향분석보고서
KISTI

비철금속 리싸이클링의 현황과 전망

2003. 6

신희덕(전문연구위원)

S&T Information Analysis
KiSTi 한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information

<목차>

제1장 서 론 ····· 1

제2장 국내외 비철금속 산업의 현황 ····· 2

1. 국내 동향 ····· 2
1.1 주요품목별 생산능력 ····· 2
1.2 2003년의 국내 비철금속 수급현황 ····· 4
1.2.1 전기동 ····· 4
1.2.2 연(鉛) ····· 5
1.2.3 아연(Zinc) ····· 6
1.2.4 알루미늄 ····· 8
1.3 국내 알루미늄산업현황 ····· 9
1.3.1 알루미늄 제조업의 발전추이 ····· 9
1.3.2 알루미늄 가공 산업의 기술현황 ····· 10
2. 외국 동향 ····· 12
2.1 미국 ····· 12
2.1.1 동(copper) ····· 13
2.1.2 연 ····· 14
2.1.3 아연 ····· 15
2.1.4 알루미늄 ····· 16
2.2 일본 ····· 18
2.2.1 동 산업 ····· 18
2.2.2 연 산업 ····· 21
2.2.3 아연 산업 ····· 22
2.2.4 알루미늄 산업 ····· 23

제3장 국내외 비철금속 리싸이클링 동향 ····· 26

1. 국내 동향 ····· 26
1.1 동의 리싸이클링 ····· 26
1.2 연의 리싸이클링 ····· 27

1.3 아연의 리싸이클링 ····· 28
1.4 알루미늄의 리싸이클링 ····· 29
2. 미국의 동향 ····· 31
2.1 알루미늄의 리싸이클링 ····· 31
2.2 연의 리싸이클링 ····· 31
3. 일본의 동향 ····· 32
3.1 동의 리싸이클링 ····· 32
3.2 연의 리싸이클링 ····· 33
3.3 아연의 리싸이클링 ····· 34
3.4 알루미늄의 리싸이클링 ····· 35
3.4.1 자동차용 알루미늄; 리싸이클링 ····· 36
3.4.2 폐 음료용 캔 ····· 36

제4장 비철금속처리 요소기술 동향 ····· 38
1. 비철금속스크랩의 정제기술 ····· 38
1.1 Eddy-Current 분리 ····· 38
1.2 Dry Density 분리 ····· 38
1.3 영상분석 ····· 39
1.4 습식 Eddy-Current 분리법 ····· 40
1.5 컬러 소팅법(Color Sorting) ····· 40
2. 알루미늄 리싸이클링 기술 ····· 41
2.1 액상정제법 ····· 41
2.2 기상정제법(진공증류법) ····· 41
2.3 반용융 정제법(半溶融精製法) ····· 41
2.4 비금속 개재물 제거법 ····· 42
2.5 드로스에서 알루미늄 회수법 ····· 42
2.6 가공포일(加工箔)의 분리법 ····· 42

제5장 비철금속 리싸이클링의 과제와 대책 ····· 43
1. 자원순환형 사회체제를 구축 ····· 43
2. 리싸이커불(Recycable) 재료설계 ····· 43

3. 에너지 절약효과와 리싸이클링 ····· 44

<표차례>

<표 2-1> 국내 주요 비철금속 지금 수급동향 ····· 2
<표 2-2> 세계 비철금속 수급 상황(1988) ····· 3
<표 2-3> 국내 알루미늄괴의 수급 현황 ····· 8
<표 2-4> 알루미늄 판(plate)과 박(flim) 그리고 압출(새시)의 수급현황 ····· 9
<표 2-5> 국내 알루미늄 산업 현황 ····· 10
<표 2-6> 미국의 광물매장 및 비철금속 생산현황(2001년) ····· 12
<표 2-7> 미국의 비철금속산업 현황(1989년, 1990년) ····· 13
<표 2-8> 미국의 동 생산시설 가동상황 ····· 13
<표 2-9> 연과 연축전지산업 현황과 전망(천 톤, %) ····· 15
<표 2-10> 미국 아연산업의 현황과 전망 ····· 16
<표 2-11> 미국 알루미늄산업 현황과 전망(천 톤, %) ····· 18
<표 2-12> 일본의 동 생산추이 ····· 19
<표 2-13> 일본의 연 수급량 추이 ····· 22
<표 2-14> 일본의 아연 수급 추이 ····· 23
<표 2-15> 일본의 알루미늄지금 및 제품생산량(톤) ····· 25
<표 3-1> 국내 알루미늄캔 재활용 현황 ····· 30
<표 3-2> 일본 비철금속지금의 국내수요량(2000년) ····· 32

<그림차례>

<그림 2-1> 국내의 동 수급경로 ····· 5
<그림 2-2> 국내 납의 수급동향 ····· 6
<그림 2-3> 국내 아연지금 수급현황 ····· 7
<그림 2-4> 일본의 전기동 생산공정 ····· 20
<그림 3-1> 우리나라 전기동 생산프로세스 ····· 27
<그림 3-2> 일본의 전기동 생산량과 2차 원료 사용상황 ····· 33
<그림 3-3> 일본의 전기 연 생산량과 2차 원료 사용상황 ····· 34

<그림 3-4> 일본의 아연 신 지금 생산량과 2차 원료 사용현황 ····· 35
<그림 3-5> 일본의 알루미늄 리싸이클링 추이 ····· 37
<그림 4-1> 영상분리장치 개념도 ····· 39
<그림 4-2> 습식 Eddy-Current 분리법 개념도 ····· 40

제1장 서 론

근래에 인간사회의 복지와 성장은 대량생산과 소비에 근거를 두고 있고, 그 결과, 대량의 폐기물을 배출하고 있다고 할 수 있다. 그러나 인류가 21세기에도 지속적인 발전을 이어나가기 위해서는 자원 및 에너지를 효율적으로 이용하는 노력을 기울이면서, 순환형사회(循環型社會)로 전환해갈 필요가 있다.

비철금속산업은 전자·전기, 자동차, 건설, 철강, 전선, 화학, 조선 등 주요산업에 기초 원자재를 공급하는 소재산업으로서, 최근에는 반도체, 우주항공, 고속수송기계 등 첨단고부가가치 제품의 소재산업으로 확대되고 있고, 그 중요성도 더욱더 높아지고 있다. 뿐만 아니라 생활방식의 편리화를 위해서 도구를 만들어내고, 그에 따라 자원의 수요가 늘어나게 되었다. 선진국 산업구조에서 보인 금속소비가 후진국과 개도국에서도 점차 증가되는 추세를 나타내고 있다.

우리나라의 경우는 국내의 부존자원이 빈약하여 매년 많은 양의 1차자원과 금속자원을 수입하고 있다. 그럼에도 1970 80년대 정부의 중화학공업 육성방안에 따라 괄목할만한 성장을 이루어, 현재 전기동, 아연 괴, 연 괴 등 제련부문은 단일공장별 생산규모로 세계 2~3위권, 전체적으로는 세계 10위권으로 부상하여 국내자급도 향상은 물론 수출에도 큰 기여를 하여 왔다.

한편 세계의 자원이 유한하여, 주요 비철금속자원은 해가 거듭되면서 부존량도 탐사기술의 발전에 따라 다소 확대되고 있지만, 장기적인 관점에서는 고갈될 것이라는 견해가 지배적이다. 현재도 부존자원의 품위가 낮아져 경제성이 낮은 광산이 증가되고 있고, 그에 따라서 자원의 개발비용이 크게 증가되어 제조업에서 원가부담이 되고 있다. 이러한 상황을 보면서 자원의 절약이 절실히 요구되는데 자원의 수명을 연장시키기 위해서 철저한 리싸이클링을 하여야 한다.

이에 본 연구에서는 우리나라의 비철산업의 수급과 제품화 이후의 각 품목별 스크랩의 유통 상황과 국내외 리싸이클링 기술을 조명하고자 한다.

제2장 국내외 비철금속 산업의 현황

1. 국내 동향

1.1 주요품목별 생산능력

2000년도 국내 주요 비철금속의 생산능력은 전기동 423천 톤/년, 아연 460천 톤/년, 연은 265천 톤/년(전기 연: 200천 톤, 재생 연: 65천 톤), 니켈 40천 톤/년이며, 국내 자급률은 전기동 56.3%, 아연 괴 115.2%, 연 괴 72.3%, 니켈 30.7% 수준이다. <표 2-1>에 국내 주요 비철금속 지금 수급동향을 표시하였고, <표 2-2>에는 세계 주요 비철금속 수급동향을 표시하였다.

< 2-1>

(: , %)

		'98		'99		2000(E)		(2000)
		545 291	8.7 627.5	764 139	40.2 52.2	823 20	7.7 85.6	-Nikko : 420 - : 360 - : 60 : 3
		836	31.2	903	8.0	843	6.6	
		373 463	40.2 24.8	448 455	20.1 1.7	463 380	3.3 16.4	: 423
		514 70	24.0 26.3	848 32	65.0 54.2	869 16	2.5 50.0	
		584	24.3	880	50.7	885	0.6	: 17.5 ('91. 1)
		- 584	- 24.3	- 880	- 50.7	- 885	- 0.6	
		310 167	11.2 83.5	389 163	25.5 2.4	408 199	4.9 22.1	: 350 : 110
		477	8.4	552	15.7	607	10.0	
		388 89	12.5 6.3	426 126	9.8 41.6	470 137	10.3 8.7	: 460
		245 45	16.1 80.0	272 31	11.0 31.1	300 34	10.3 9.7	: 200( )
		290	8.5	303	4.5	334	10.2	: 65( )
		191 99	7.3 28.8	190 113	0.5 14.1	219 115	15.3 1.8	: 265

		8.4 3.7	27.6 516.7	12.3 0.3	46.4 91.9	15.1 0.4	22.8 133.3	: 1.2 : 1.2
		12.1	0.8	12.3	1.7	15.5	26.0	
		- 12.1	- 0.8	- 12.3	- 1.7	- 15.5	- 26.0	: 2.4 ('93)
		74.4 -	8.3 -	94.5 -	27.0	99.5 -	5.3	
		74.4	6.9	94.5	27.0	99.5	5.3	: 40
		20.1 54.3	10.4 5.6	23.2 71.3	15.4 31.3	30.5 69.0	31.5 3.2	
		1,696.8 576.7	14.9 128.4	2,379.8 365.3	40.3 36.7	2,514.6 269.4	5.7 26.3	
		2,273.5	1.2	2,745.1	20.7	2,784.0	1.4	
		972.1 1,301.4	20.4 9.6	1,087.2 1,657.9	11.8 27.4	1,182.5 1,601.5	8.8 3.4	

자료: 한국비철금속협회

< 2-2> (1988)

( )	1988	79	1988	79	1988	79	1988	79
	1,420	-2%	588	-68%	394	-27%	256	-13%
	5,283	13%	86,891	1570	1,930	-4%	4,842	1170
	6,702	9%	87,479	13%	2,324	-9%	5,098	10940
	( )		( )					
	1,043	-22%	5,105	-23%	-	-	-	-
	5,372	15%	26,277	28%	-	-	-	-
	6,415	7%	31,382	15%	-	-	-	-
1								
	1,406	-7%	3,944	-13%	392	-32%	241	-49%
	5,179	20%	9,909	3470	1,861	2%	4,548	18%
	6,585	13%	13,852	16%	2,253	-6%	4,790	10%
2								
	453a	-1%	2,122b	32%	737a	-9%	89[a]	66%
	1,003a	41%	3,275[b]	46%	1,569a	11%	345’	9%
	1,456a	24%	5,397b	40%	2,306[a]	4%	434”	1170
	2,214	2%	6,720	1%	1,236	-8%	1,089	3%

1.2 2003년의 국내 비철금속 수급현황

1.2.1 전기동

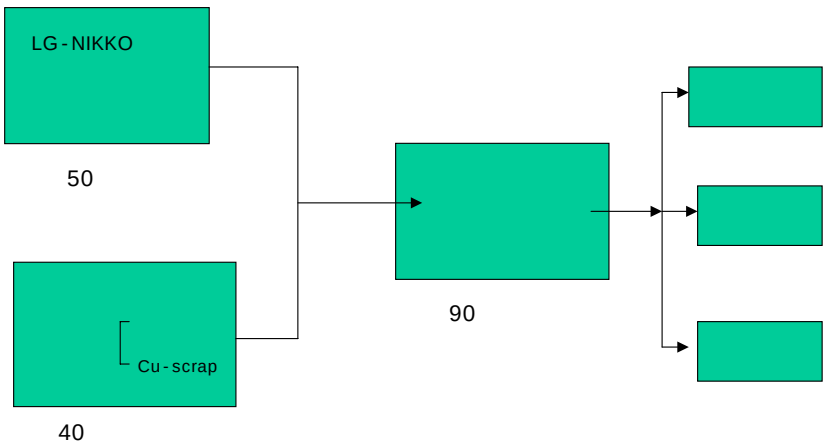
국내에 유통하는 동지금은 전기동(동순도 99.9% 이상의 전기동), 고동 혹은 동 스크랩(동순도 97% 이상인 스크랩), 동합금의 스크랩(동순도 50% 이상의 스크랩) 3종류로 나누어진다. 한국비철금속협회에서 발표한 "비철금속산업의 위치와 2003년 경기전망" 의 골자는 다음과 같다.

국내 전기동 생산은 LG-NIKKO 동제련이 기존 47만3,000톤의 생산능력을 2002년 5월말 51만 톤 규모로 확장했으며, 이외 고려아연(高麗亞鉛)이 아연제련 부산물로 2,500톤 정도를 생산하고 있다.

전기동 수요는 전선 산업이 포화상태에 있고 광섬유산업이 성숙단계에 진입하고 있는 상황이다. 동가공은 전기·전자 및 반도체 등 수요산업의 호조로 지속적인 증가가 예상되고 있다. 전기동의 경우 국내 자급도가 60% 수준에 불과한 관계로 국내 수요업체와의 장기 계약공급이 주를 이루고 있으며 수출물량은 극히 일부에 한정되어 있는 실정이다.

이들 금속자원은 국내의 전선업체와 신동업체에 공급하고 일부는 수출되고 있다. 동 자원은 주로 전선에 사용되어 왔다. 또한 신동업체의 원료조달은 전기동이 매년 30% 이상 점유하고 있고, 동스크랩과 황동스크랩이 각각 약 28% 및 20 22% 정도로 스크랩 비중이 상당히 큼을 알 수 있다. 그 밖의 부재료는 아연이 10% 정도이고 주석이 0.5% 내외 그리고 니켈이 악 0.5% 이하를 점유하고 있으며 기타 재료가 7% 정도 차지하고 있다. 따라서 신동업계의 원료는 순동 60%, 합금동 20%로 동이 80% 이상을 차지하고 있다.

< 2-1>



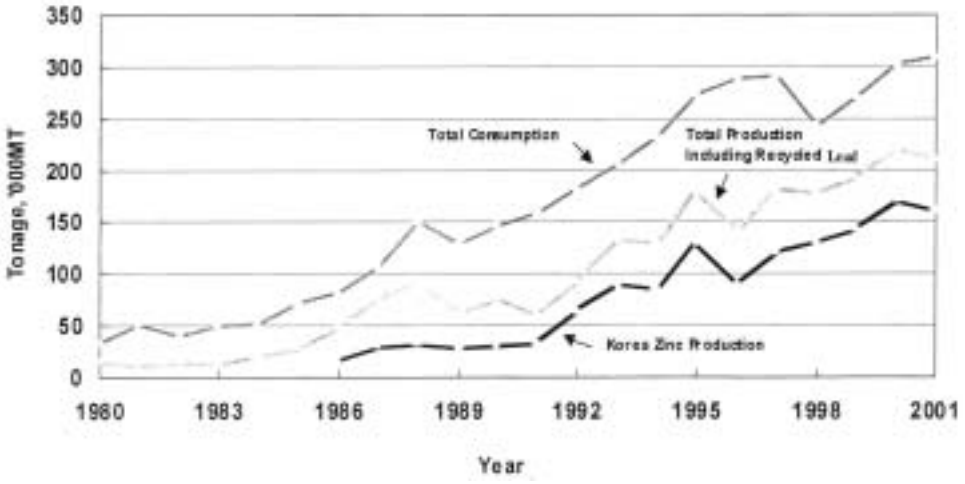
1.2.2 연(鉛)

우리나라의 금속연의 수급현황(1980 2001년)은 평균 11.3%의 증가율을 나타내어 산업발전에 따라 꾸준히 증가한 것을 볼 수 있다. 1997년도의 IMF로 인한 경제적 침체로 인해 소비와 생산량이 감소를 보이기도 했으나 2000년 이후 다시 안정세를 회복하고 있다. 우리나라 연의 주용도는 납축전지용으로 사용되어 내수의 74% 이상을 사용하고 있다. 축전지에 사용된 납은 리싸이클링이 주로 이뤄지는 납의 중요한 이차자원이고, 그 외에 관(管)이나 판(板), 전선(電線) 등이 있는데 이것은 재생하기가 어려운 것이 흠이다.

우리나라의 납의 생산은 정광 부족상태 지속에 따른 수급조절로 전기연 생산이 소폭 감소할 것으로 보인다. 국내 연 생산 감소량만큼의 물량이 내수시장이 아닌 수출시장에서 감소할 것이 예상되고 있으며, 국내외 수급물량을 적절하게 조절하는 일이 중요시 되고 있다. 2002년 납의 연간 LME 평균가격은 2001년 수준을 유지하고 있으나, 하반기부터 가격하락세, 프리미엄 인상 등 판매조건 악화로 수지가 악화되고 있다. 하지만 중국의 납 공급부족으로 2003년 계약조건은 유리하게 전환될 것으로 예상된다.

납은 아연과 함께 지하에서부터 공존하는 형태를 보이고 있다. 그리하여 연 정광에는 항상 아연이 함유되어 있고, 아연정광에는 항상 납이 함유되어 있다. 그러므로 납과 아연의 제련은 같은 장소에서 복합적으로 연결된 공정으로 제련하여야만 공해문제를 해결할 수 있을 뿐더러 원가의 경쟁력 면에도 훨씬 유리하다.

<그림 2-2>



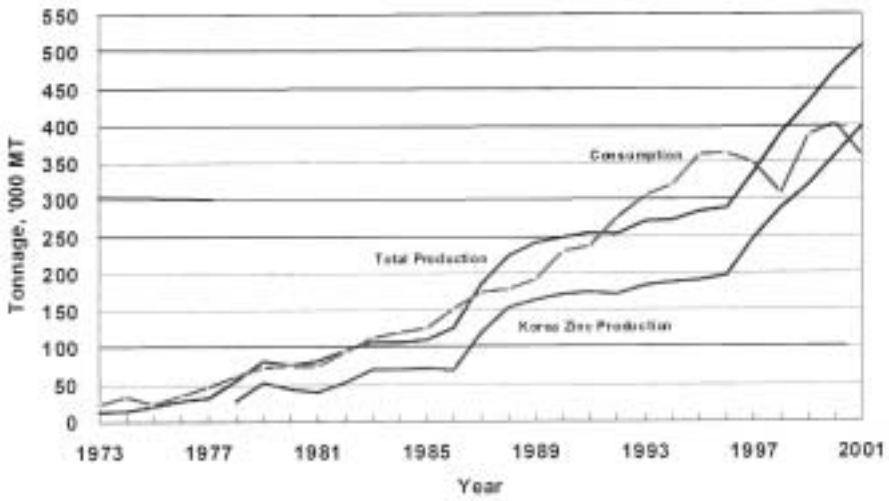
<그림 2-2>에서 보는 바와 같이 우리나라 납지금의 수급량은 IMF라는 외환위기로 한때 감소된 일이 있었으나, 80년대 초반이후 계속해서 증가세를 나타내고 있다. 이것은 납의 주용도인 자동차의 연축전지 생산이 증가된 때문이라고 보여지는데, 이는 80년대 이후의 마이카 시대와 자동차 수출의 호조에 부합되는 현상이다.

1.2.3 아연(Zinc)

국내 아연생산은 2001년 10월 11만 톤에서 20만 톤으로 설비를 확장한 (주)영풍의 영향으로 생산량이 지속적으로 증가하고 있다. 국내 아연 수요의 경우 도금강판용 수요는 지속적으로 증가할 것으로 보이는 반면 컬러도금강판용 등은 아연 원단위(함유율) 감소가 다소 우려되고 있다. 아연의 경우 국내 비철금속 중에 유일하게 생산량의 40% 이상을 수출하고 있다.

아연은 부식방지 즉, 방식(防蝕)을 위한 피복재로 많이 사용되고, 그 밖에 다이캐스팅과 합금에 각각 10% 및 6%가 쓰이고 약 1.6%가 아연화 등 화학약품으로 사용된다. 아연은 다른 재료의 특성을 향상시키기 위해서 부재료(副材料)로 사용되는 것이 대부분이어서 Cu, Pb 그리고 Al 등의 비철금속과는 달리 직접 리싸이클링 하기가 어렵다.

< 2-3>



아연은 주 용도가 아연도강판과 도금용이 50%를 차지하므로 이 부분에서 아연이 농축된 형태로 배출되지 못하고 고철을 처리하는 전기로와 분진으로 발생된다. 이 분진은 철분과 아연 및 연이 주성분으로 단순 매립하여 왔으나 선진국에서는 아연과 연을 회수하고 철을 철 자원으로 활용하거나 일반폐기물로 처리하기도 한다.

국내 최대 아연제련업체인 고려아연주식회사는 연산 30만 톤의 규모로 세계 2위의 생산능력을 갖추어 국내공급은 물론 수출로도 그 역할을 담당하고 있다.

이에 대한 처리법은 Wales법이 널리 일반화되어 있고 전기로법, 플라즈마법 등 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 Wales법이 외국에 널리 실용화 되고 있고, 염화비소법도 적용되고 있으나 국내에서는 아직 전기로 분진의 처리가 이루어지지 않고 있으며, 플라즈마법에 의한 pilot 시험이 진행중이다. 그 외의 아연스크랩은 산화아연 제조에 사용되고 있으며, 합금스크랩은 동종업계에서 재사용되고 있다. 아연의 리싸이클링에서도 아연 및 합금스크랩은 2차 자원으로 활용되지만 공정에서 발생되는 2차 부산물 즉 아연드로스 및 분진의 처리가 고충사항이며 이에 대한 효과적인 처리기술이 환경관리를 겸하여 필요하기 때문에 이에 대한 리싸이클링기술의 개발이 절실하다.

1.2.4 알루미늄

최근 우리나라의 알루미늄 산업은 60년대를 시작으로 70 80년대 성장기를 거쳐 90년대 성숙기를 맞이하는 등 비철금속산업과 그 성장의 맥을 같이해 왔다. 우리나라는 알루미늄의 원료광물인 보크사이트가 전혀 생산되지 않고 있어 한때는 산화알루미늄을 수입하여 제련한 적도 있으나 현재는 금속자원의 전량을 수입에 의존하고 있다. 연도별 국내의 알루미늄괴의 수급현황을 보면 <표 2-3>과 같다.

< 2-3>

			'99	2000		2001		2002		2003(E)	
			703,380	679,331	-3.4	720,988	6.1	779,016	8.0	841,500	8.0
			145,188	198,570	36.8	151,608	-23.7	169,041	11.5	175,500	3.8
			848,568	877,901	3.5	872,596	-0.6	948,057	8.6	1,017,000	7.3
			26,551	4,462	-83.3	1,459	-67,3	6,028	313.2	3,500	-41.9
			5,167	7,362	42.5	6,550	-11.0	18,270	178.9	14,500	-20.6
			31,818	11,824	-62.8	8,009	-32.3	24,298	203.4	18,000	-25.9
			880,386	889,725	1.1	880,605	-1.0	972,355	10.4	1,035,000	6.4
			730,031	683,793	-6.3	722,447	5.7	785,044	8.7	845,000	7.6
			150,355	205,932	37.0	158,158	-23.2	187,311	18.4	190,000	1.4
			880,386	889,252	1.1	880,605	-1.0	972,355	10.4	1,035,000	6.4

수입되는 금속의 형태는 순금속인 잉곳(ingot), 빌리트(billet), 주물합금 등이며, 그 중에서도 순수한 알루미늄 잉곳(ingot)이 주종을 이루고 있다.

국내의 알루미늄 수요처는 경량합금의 주원료로서 구조재료와 건설용이 주용도이며, 그 외에 판(plate)과 박(flim)이 또한 주요 수요처이다. 알루미늄 판이나 박의 수급현황은 근래의 수송기계 분야의 차체경량화로 자동차산업의 발전과 더불어 수요가 크게 증가되고 있다.

우리나라의 알루미늄 수급현황을 보면 산업발전에 따라 지속적으로 증가된 것을 볼 수 있는데, 이는 자동차, 전기·전자, 반도체 등 근래의 산업생산의 증가를 주도하고, 수출의 효자상품으로 자리 잡은 것에서 그 원인을 찾을 수 있다. 그 한 예로 알루미늄 판의 수급현황을 보면 약 10년전인 1994년의 알루미늄 판의 공급량은 약 240,00톤이었으나, 2003년의 공급 추정량은 약 548,000톤으로 거의 100%가 증가된 것을 볼 수 있다.

그러나 수급량의 연도별 증감률의 기복이 심하게 나타나 있는데, 이것은

국제시세에 따라 수출입 조정으로 변화된 것으로 판단되고, 향후 재활용활동의 강화와 수송기기 등의 경량화가 진행되면 그 변동현상은 계속 나타날 것으로 보인다.

< 2-4> (plate) (flim) ( )

(단위 : Mt)

	2000	83,034	332,888	415,922	9.7	282,414	133,508
	2001	69,565	333,428	402,993	-3.1	268,562	134,431
	2002	72,006	403,036	475,042	17.9	306,287	168,755
	2003(F)	70,000	478,000	548,000	15.4	348,000	200,000
	2000	9,092	102,343	111,435	9.8	64,321	47,114
	2001	6,126	96,307	102,433	-8.1	60,453	41,980
	2002	7,780	110,807	118,587	15.8	70,261	48,326
	2003(F)	8,500	115,000	123,500	4.1	69,000	54,500
	2000	1,890	189,999	191,889	5.3	172,626	19,263
	2001	1,759	187,423	189,182	-1.4	172,201	16,981
	2002	1,971	221,675	223,646	18.2	206,549	17,097
	2003(F)	2,000	215,000	217,000	-3.0	199,500	17,500

1.3 국내 알루미늄산업현황

1.3.1 알루미늄 제조업의 발전추이

알루미늄산업은 2000년 현재 업체 수 총 441개 업체, 종업원 수 13,697명, 생산액 총 3.74조 원, 부가가치 액 992,091백만 원으로서 제조업 전체의 0.5%(생산액은 0.7%)를 점하고 있다. 또한 알루미늄산업의 평균종업원 수는 31명으로 제조업 평균 종업원 수 17명에 비하여 약 2배이나 부가가치율은 26.5%로서 제조업 전체 38.8%의 68% 수준에 머물고 있다.

우리나라 알루미늄산업은 1960년대 태동기, 1970 80년대 성장기, 1990년대 성숙단계를 거쳐 왔으며, 1998년 IMF 위기 이후 M&A, 외자유치 등 산업구조조정을 거쳐 산업재편 단계로 진입하고 있다.

< 2-5>

		( )	( )		( )	( )	
		( )			( )		%
		98,110	1,652,590	17	564,834,119	219,424,617	38.8
1		631	23,510	37	9.800,852	2420,961	24.7
1	,	100	1,568	16	760,609	146,862	19.3
	,	211	9,422	45	2,658,948	725,601	24.7
	,	130	2,707	21	321,120	119,628	37.3
		441	13,697	31	3,740,677	992,091	26.5
(%)		0.5	0.5		0.7	0.5	
		70.0	58.3		38.2	41.0	

자료: 통계청 광공업조사통계, 2001

1.3.2 알루미늄 가공 산업의 기술현황

(1) 알루미늄압연 산업

비록 순 알루미늄의 강도는 낮지만 합금화시켰을 때 500Mpa 이상의 강도가 나오므로, 밀도가 낮고 전기 전도도가 높고, 재료의 리싸이클성이 좋으며 전도도가 높으면서 표면내식성이 우수하다. 압연제의 많은 장점을 이용하여 이를 복합적으로 활용하는 방향으로 급격히 변화되고 있다.

대형공급업체간의 경쟁이 극심해지면서 클래드(Clad)재 및 인쇄판 등 90년대 이후 급신장한 제품소재를 특허로 생산을 규제하는 추세이다. 한편 냉간가공된 소재는 열을 가해 강도조절이 가능하므로 가공성(formability)이 요구되는 제품은 H2x소재로 생산되는 경향이 늘어나고 있다.

알루미늄 가공산업은 원가절감과 자동화를 위하여 연구 개발이 활발하게 진행되고 있는데, 그 예를 들면 D&I에 의한 가공제품의 두께 감소를 시도하여, can stock의 경우 body와 end의 두께가 1980년 0.38mm, 0.32mm에서 0.265mm, 0.22mm까지 약 30% 감소가 이루어지고 있다. 또한 자동화 경향은 1960년대에 아날로그회로(Analogue Circuit)와 릴레이에 의해 설비가 제안되었으나 1970년대 PLC제어, 1980년대 미니컴퓨터제어, 1990년대 로컬 네트워크(Local Net Work)제어가 가능해졌고, 21세기에 들어서는 현재의 자동화수준이 대형공정을 중심으로 Leve 3 4 수준으로 상향되어가고 있다.

전자기기와 계측기의 발전으로 인해 분석 및 검사장비의 응용개선이 눈부시게 발전하고 있으며, 압연산업에 있어서는 계측설비의 고도화 및 on-line

화로 신속한 피드백이 가능하여 두께정밀도가 뛰어난 제품의 생산이 가능하게 되었다. 이와 동반한 검사설비의 디지털(Digital)화 검사의 정밀도 향상으로 생산성 및 불량률 감소에 기여하고 있다. 예를 들면 레이저 센서(Laser sensor)에 의한 정밀길이 측정 및 제어, 두께 측정시 성분보상에 의한 정밀제어와 X-ray 시스템, beta-ray 검사설비 등이 있다. 그 외에 냉간 압연은 냉간압연판 두께 및 형상제어에 있어 고속압연을 실현하기 위하여 냉간압연유를 에멀전형으로 대체사용이 추진되고 있다.

(2) 알루미늄박 산업

알루미늄박은 가정용 쿠킹호일이나 박 용기 등으로 박 그대로 사용하는 경우 유리병, 석광판, 종이 판지, 셀로판, 섬유 등과 결합되어 새로운 연포장제의 주축을 이루고 있다. 알루미늄박의 용도로 근래에 관심을 끄는 것은 전도성을 이용한 알루미늄박 포장재료로 전자렌지나 와이어레스 텔레폰 등의 보급에 따른 전자파 차폐포장의 채택이 중요시되고 있는 바, 알루미늄박 포장이 효과적이라고 보고 활용을 적극 권장하고 있다.

그 뿐 아니라 장기 식품보존으로 식품에 유해한 광선, 습기, 물, 악취 등을 완전히 차폐시킬 수 있는 테트라팩, 콤비불럭, 하이파, 액체포장용 High-Barrier성 포장재료가 일반화 되고 있다.

(3) 알루미늄압출 산업

수송기기에서 종래 알루미늄 주물이나 다이캐스트 제품이 주류를 이루었으나, 최근의 안전구조부위 및 자체 구조재에 전신합금의 사용증가에 따라서 압출재의 기계적 성질 균일화를 위한 합금성분 편차 극소, 압출온도 등 각 공정에서의 온도제어 및 시간관리, 스트렛치량 제어, 최적 열처리 조건설정 등 균질압출기술을 개발하는 데 역점을 두고 있다.

2. 외국 동향

2.1 미국

미국은 세계 최대급 광물자원 보유국이고, 세계 제 1위의 매장량을 과시하는 몰리브덴, 은, 레니움, 게르마늄, 텔르리움, 탈리움 외에 금 및 주요 베이스메탈인 동, 아연의 매장량이 세계 제 2위로 많은 광물자원의 매장량에서 세계 10위 이내를 차지하고 있다.

또한 비철금속 생산에 있어서도 연지금(鉛地金), 몰리브덴 광석이 세계 제 1위, 금, 동광석·지금이 제 2위를 점하는 등 주요 생산국으로 되어 있다. 근래 미국에서는 환경보호의 관점에서 슈퍼펀드법, 자원보존재생법, 수질정화법 등 여러 가지의 환경규제, 제도 등의 도입, 강화가 추진되고 있고, 또한 국유지의 광산개발금지 움직임이 보이는 등 광업활동의 실시에 큰 영향이 예상된다.

< 2-6> (2001)

				(A)	(B)	(A)/(B)	
	9,000	650,000	2	1,790.0	15,544.5	11.5	2
	2,000	130,000	3	1,453.9	6,701.7	21.7	3
	80,000	440,000	2	298.5	9,136.6	3.3	10
	40,000	34,000,000	11	2,637.0	24.520.9	10.8	3
	200,000	3,100,000	4	100.0	29,490.0	0.3	7
	2,500,000	160,000,000	11	-	-	-	-

* 알루미늄의 원광은 보크사이트로 함
자료: World Metal Statistics Yearbook 2002 & Mineral Commodity Summaries 2002

미국은 1980년대에 이르러 국내의 비철금속산업이 공황을 맞게 되었고, 많은 광산과 공장, 일부시설의 노후화와 환경규제로 폐쇄되기도 하였다.

1990년에 미국의 산업은 세 개의 종합회사, 즉 Alcoa, Reynolds Metals Company, 그리고 Kaiser Alumiium and Chemical가 주도하게 되었다. 그러나 2000년 여름 Alcoa사는 Reynolds 사를 56억 달러에 인수한다고 발표하였다. 같은 시기에 Alcan사는 프랑스의 Phecineу사와 스위스의 Alusuisse사와 합병할 계획임을 발표하였다. 일차 알루미늄 산업은 24개 제련소로 구성된

12개 회사에서 가동하고 있는데, 이것은 주로 태평양 서북연안에 자리잡고 있다. 한편 중서부에는 주로 200개사 이상으로 형성된 반제품 조립사들이 운집되어 있다. 이곳에는 60,000명 이상의 종업원이 300억 달러 이상을 출하한 실적을 올렸다.

2.1.1 동(copper)

미국은 비사회주의국가 중 최대의 동생산국이고 제 2위의 광산과 1차 제련소를 보유하고 있다. 동의 대부분은 애리조나, 뉴멕시코, 유타, 미시간, 그리고 몬타나에서 생산한다. 주요 해외경쟁자로는 질레, 잠비아, 자이레, 페루 등의 저개발국인데 페루를 제외한 대부분의 국가들은 최대의 동회사가 국영으로 운영하고 있다.

1980년대에 미국의 동산업은 가격과 생산량이 저하되는 이중고를 겪었다. 가격은 1982 86에 0.66 0.77flb이었고, 미국의 1차 동지금 생산은 1982 87년에 100만 120만 톤/년으로 기록되고 있다. 1987년에 시장이 활성화되기 시작하여 1989년에 가격이 1,32$/lb로 상승하였고, 생산량도 150만 톤/년으로 증가되었다. 1980년대 후반에 생산은 1970년대 후반에 비해서 상당한 증가를 보였는데, 예외적으로 제련분야에서는 현격한 감소를 나타내었다(<표 2-7>).

< 2-7> (1989 , 1990)

( )								
	1989	1979	1989	1979	1989	1979	1989	1979
	1,498	4%			408	-24%	278	-5%
	1,120	-16%	NA	NA	-	-	-	-
1	1,477	-3%	4,030	-12%	396	-31%	251	47%
2	477	4%	1,931d	20%	790	-2%	110c	107yo
	2,184	1%	NA	NA	1,228	-9%	1,063	1yo

자료: U.S. Bureau of Mines

< 2-8>

(1990) / (80-90)	1990	198090	1990	1980-90	1990	1980-90	1990	1980-90
	25	4/5	b	a	17	6/2	22	7/5
	8	0/8	6	0/3	4	0/2	4	0/3
			23	0/10	4	0/1	-	-

자료 : U.S.Bureau of Mines

1979 89에 걸쳐 광업생산이 4% 증가하였고, 제련소에서 16%, 1차 정련소에서 3%가 감소되었으나, 2차 정련은 7% 증가하였다. 1980년대에 미국의 동산업을 포함한 많은 회사가 감소되었는데, Anaconda Copper, Amax, Duval, Inspiration, Cities Service, Noranda와 같은 대형 생산업체가 폐업에 들어간 반면, 잔류한 업체는 Montana Resources와 Cox Creek Refining이 잔류하였다.

근래 미국의 5대 1차 동 생산회사는 Phelps Dodge, Magma, Cyprus, Kemecott 그리고 Arasco인데, 이들 회사는 다년간 동 생산을 해왔다. 그들 회사가 보유한 광산, 제련소, 정련소는 대부분 미국에 소재하고 있다. 또한 그들 회사의 전략은 일반적으로 생산원가 저감과 다양한 광종보다는 동광에 중점을 두고 있다. 많은 종업원을 감소시켰고, 고액을 광산현대화와 공장에 투자하였다. 그 결과 미국 국내산업은 현재 가격경쟁력이 높고, 세계에서 가장 현대적인 모습으로 전환하였다.

2.1.2 연

미국은 주요 연 생산국으로 광업생산에서 비사회주의 국가 중 두 번째이고, 전기연 생산에 있어서는 제 1위를 차지하고 있다. 주요 광산과 제련소는 남동부에 위치한 미주리 비브래넘 트랜드에 있다. 콜로라드와 아이다호, 몬태나, 그리고 알래스카가 주요 생산광산이고 몬태나와 네브래스카에 처리공장이 있다. 주요 외국 경쟁국으로는 호주, 캐나다, 멕시코이고, 추가로 페루가 주요 광업생산국이며, 서유럽국가와 일본이 대형 처리시설을 갖고 있다.

미국의 연 산업은 1980년대 중반에 어려움에 봉착하였고, 연 가격도 0.43$/lb를 견지해 오다가 1985년에 0.19$/lb로 폭락되었다가 1987 89년에 다시 0.35$/lb 0.49$/lb로 회복하였다.

< 2-9> (, %)

	95	96	97	98	99	2000	97-98	98-99	99-00	91-98
	394	436	459	493	499	500	7.4	1.2	0.2	0.5
	1,378	1,372	1,432	1,437	1,434	1,460	0.3	0.2	1.8	2.7
1	374	326	343	337	348	350	-1.7	3.3	0.6	-0.4
	1,004	1,046	1,089	1,100	1,086	1,110	1.0	-1.3	2.2	3.8
(%)	72.9	76.2	76.1	76.6	75.7	76.0	-	-	-	-
	1,614	1,648	1,664	1,742	1,805	1,795	4.7	3.6	-0.6	4.9
	1,406	1,449	1,435	1,538	1,596	1,594	7.2	3.8	-0.1	6.2
SLI (%)	70.7	71.3	68.4	70.6	71.9	70.1	-	-	-	-
(%)	29.3	28.7	31.6	29.5	28.1	29.9	-	-	-	-
	264	268	265	267	295	299	0.8	10.5	1.4	12.7
	16,4	16.2	15.9	15.3	16.3	16.7	-	-	-	-
	47	44	37	24	18	18	-35.1	-25.0	-0.0	-17.7

* 1999, 2000년은 예상수치임, 자료 : U.S. Depart of Commerce, ITA

대부분 미국의 연 산업은 1980년대에 경영권이 바뀌었고, 10개 업체가 현재 미국의 연 생산 광산으로 남아 있으며, 그 중에서 Doe Run과 Arasco가 제련 정련시설을 가동하고 있다.

현재 미국 제련산물의 65%가 재생연이고 연축전지는 미국 국내 2차 공정에 공급되는 재생연의 약 85%에 이른다. 미국의 주요 2차 연 제련소는 RSR Corp., Pacific Dunlop/GNB Battery, Schuylkill Metals, Exide Corp. Battery, 그리고 Sanders Lead인데, 이곳에서 국내용량의 70% 이상을 담당하고 있다. 1980년대에 이르러 리싸이클링으로 인한 환경문제가 더욱 심각하게 대두되었다. 미국환경보호국(U.S. Environmental Protection Agency)은 폐 연축전지를 자원절약보호법(RCRA)에 의거 유해폐기물로 분류하였다.

2.1.3 아연

미국은 비교적 작은 아연생산국에 속한다. 비사회주의 국가에서는 과업생산에서 6위이고, 1차 정련생산에서 8위이고, 2차 생산에서 1위를 차지한다. 미국의 주요 아연생산광산주는 테네시이고, 미국 전체 생산량의 절반 이상에 해당된다. 그 외에 아연 생산광산은 미주리, 콜로라도, 알래스카, 아이다호, 몬태나, 뉴욕, 그리고 네바다에 위치하고 있다. 전체 아연생산량의 약 20%가 미주리 주의 연 광산에서 나오는 부산물인데, 대부분의 연 광산에서 나오는 부산물은 중요도가 낮은 제품이다. 아연 처리시설은 테네시, 오크라호머, 펜

실버니아 그리고 일리노이주에 위치하고 있고, 주요 생산국을 든다면 캐나다, 호주, 서유럽국가를 들 수 있다.

미국에서 1개의 신규 아연광산(Pierrepont)과 2개의 아연생산 귀금속광산(Greens Creek, Montana Tunnels) 이 1979 1988 중에 개광하였고, 1985년에 개광한 West Fork 연 광산에서 아연이 생산되고 있다. 한편으로는 1980년대에 5개의 아연광산과 한 개의 아연과 귀금속 공동생산광산이 폐광되었다. 처리시설도 3개의 제련 정련소가 폐쇄되고 신설공장은 세워지지 않았다.

지난 20년간 미국의 아연산업의 사향화는 동, 알루미늄, 연 산업의 그것보다 현저하게 심한 것으로 나타났다. 1970년에 98만 톤의 생산규모가 1980년에는 57만 톤으로, 다시 1988년에는 32만 톤으로 감소된 것은 이를 증명하고 있다. 또한 에너지코스트의 상승과 환경규제로 인하여 정광공급이 감소되어 결국에는 폐업으로 이어지게 되었다.

< 2-10>

	96	97	98	99	2000	97-98	98-99	99-00	91-98
	628	632	755	755	810	19.5	7.3	-0.0	4.7
	366	367	368	370	380	0.3	0.5	2.7	-0.3
	1,212	1,244	1,283	1,355	1,365	3.1	5.6	0.7	4.7
(%)	53.6	55.9	57.3	58.3	58.2	-	-	-	-
(%)	18.9	18.0	19.3	19,2	19.4	-	-	-	-
(%)	13.2	13.2	12.9	12.3	12.2	-	-	-	-
(%)	14.3	12.9	10.6	10.2	10.0	-	-	-	-
( )	827	876	879	965	956	0.3	9.8	-0.9	7.0
(%)	68.3	70.4	68.5	71.2	70.4	-	-	-	-
	2	-4	2	1	1	-50.0	-50.0	-0.0	10.4

*1999, 2000년분은 추정 및 예측치, 자료 : U.S. Department of Commerce, ITA

2.1.4 알루미늄

미국의 보크사이트 광산규모는 소규모로 알려져 있으나, 이것은 현재 비사회주의 국가 중 제 2의 알루미나 정련소와 제 1의 알루미늄 제련시설을 보유하고 있다. 1999년에 미국의 알루미늄산업은 3개의 대형업체(Alcoa, Reynolds Metals Company, Kaiser Aluminium and Chemical)가 주도하였고, 지난 여름에 Alcoa는 56억 달러를 들여 Reynolds와 합병하기로 결정하였다고 발표하였다. 이와 때를 같이하여 Alcan은 스위스의 Alusussie사와 프

랑스의 Phchiney사를 흡수통합하기로 하였다. 1차 알루미늄 산업은 주로 태평양북서부에 위치한 12개의 회사로 형성되고, 반대로 반 조립공정업체는 중서부에 200개 이상의 회사 집단으로 조직되어 있다. 이 회사들은 60,000명의 고용인과 300억 달러 이상의 생산실적을 올리게 되었고, 이들 통합으로 세계 최대 규모의 알루미늄회사를 창출하여, 약 210억 달러의 이익을 올렸다.

(1) 수급 동향

1998년 미국의 알루미늄산업은 약 1,052만 톤의 생산으로 신기록을 수립하였다. 1999년의 생산량은 1,121만 톤으로 6.6%가 증가되고, 주요 소비처를 높은 순으로 열거하면 수송분야, 포장 및 컨테이너분야, 건설분야로 되어 있다. 이들 분야를 합하면 총생산의 2/3에 해당한다. 그리고 전체 생산의 절반 이상이 코일형 제품(판, 포일, 대)으로 되어 있다. 1994년에는 최대 수요분야가 포장 및 컨테이너분야에서 수송분야로 자리를 내준 것인데, 알루미늄 수요는 산업별로 확대가 계속될 것으로 보인다. 수송분야의 알루미늄수요는 전체 생산량의 1/3이고 이것은 알루미늄캔과 거의 같은 양이며, 향후 수송분야의 수요증가는 크게 늘어날 전망이다.

미국의 알루미늄시장은 지난 10년간 몇 개의 사이클을 통해서 진행해 왔다. 즉 가격이 1980 87에 0.47$/lb과 0.76$/lb 사이에서 등락을 거듭했다. 그러나 1980년 후반에는 어느 정도 상승세를 보여 1988년에 1.10$/lb, 1989년에 0.89$/lb를 나타냈다. 미국의 1차 알루미늄지금의 생산량은 1986년에 3백만 톤/년으로 하락하였으나, 1988 89년에는 4백만 톤/년으로 회복하였다. 1989년의 1차 알루미늄지금의 생산은 12%로 1979년보다 12% 감소되었으나, 2차 알루미늄지금은 같은 기간에 20% 이상 증가를 보였다. 기타의 비사회주의 국가에서 1979 88년의 1차 알루미늄지금 생산은 34% 증가되었고, 2차 알루미늄지금은 46% 증가되었다.

미국은 10년간 4개의 알루미나 정련소와 10개의 알루미늄 제련소가 폐업하였고, 더욱 많은 제련소가 가격하락으로 인하여 수시로 폐쇄를 하고 있다. 그런 가운데 새로이 한 공장이 가동을 위하여 문을 열었는데, 이 공장은 미국 사우스 칼로리나에 소재한 Mount Holly 제련소로, 이 시설은 1980년에 생산을 개시한 곳이다.

미국의 알루미늄의 주체그룹이라 할 수 있는 Alcoa, Reynolds, Alumax, Kaiser의 4대 그룹이 미국의 총 제련시설 용량의 2/3를 가동하고 있는데, 이 회사들은 전세계에 알루미늄 제련소와 제작소를 갖추고 있는 다국적기업이다. 그 중에서 Alumax를 제외한 3개사는 자체 보크사이트 광산과 알루미나 정련소를 소유하고 있다. 이들 대부분의 회사는 근래에 1차 알루미늄 공정을 해외에 시설투자하고 있는데, 예를 들면 Alcoa사는 호주에, Alumix와 Reynolds는 캐나다에 각각 투자하고 있다. 미국에서 알루미늄 산업에 중점을 두는 사업은 캔, 포일, 포장 건축물 등이고 4개사에서 보다 부가가치성이 높은 제품의 연구 개발에 중점적으로 투자하고 있다.

미국 알루미늄 제련시설 잔여용량의 1/3는 2개의 캐나다 기업과 7개의 독립회사인데 캐나다 국적기업은 Alcan과 Noranda이다.

< 2-11> (, %)

	1996	1997	1998	1999	2000	97-98	98-99	99-00	93-98
	9,609	10,224	10,518	11,212	11,325	2.88	6.60	1.01	4.56
1	3,577	3,603	3,713	3,800	3,850	3.05	2.34	1.32	0.10
	1,309	1,367	1,265	1,300	1,365	-7.46	2.77	5.00	2.95
	421	361	277	325	340	-23.27	17.33	4.62	-7.27
	888	1,006	988	975	1,025	-1.79	-1.32	5.13	7.44
	2,573	2,805	3,264	3,900	3,950	16.36	19.49	1.28	7.00
	1,940	2,097	2,472	3,050	3,100	17.88	23.38	1.64	5.97
	633	708	792	850	850	11.86	7.32	0.00	10.67
1	2,642	2,258	2324	-	-	-	-	-	-

1.32 o f m-" - -

드뮴 등 30종류에 이르고 있다. 그러므로 최근에는 이들의 축적기술·설비를 이용하여 일반적으로는 처리 곤란한 폐기물, 예를 들면 제강전로더스트, 연축전지, 일렉트로닉스부품·부재, 전지 등으로부터 유용금속을 회수하고 있다.

(1) 동 산업현황

2차 대전 후 일본의 현저한 산업발전과 함께 동지금의 수요는 비약적인 증가를 보이고 있고, 이에 대응하여 동제련 능력도 증가의 시대를 맞이하게 되었다. 한편 일본의 광산은 그럭저럭 쇠약해져, 1970년대에 들어서 폐광이 잇달아 발생하고, 거의 전멸되기에 이르렀다. <표 2-12>에 동 산업 추이를 보이고 있다.

< 2-12>

	(t/y)	(t/y)
1950	89,690	39,483
1960	257,482	86,144
1970	711,255	116,204
1980	1,024,903	48,026
1990	1,022,380	5,899
1999	1,366,409	935
2000	1,456,252	935

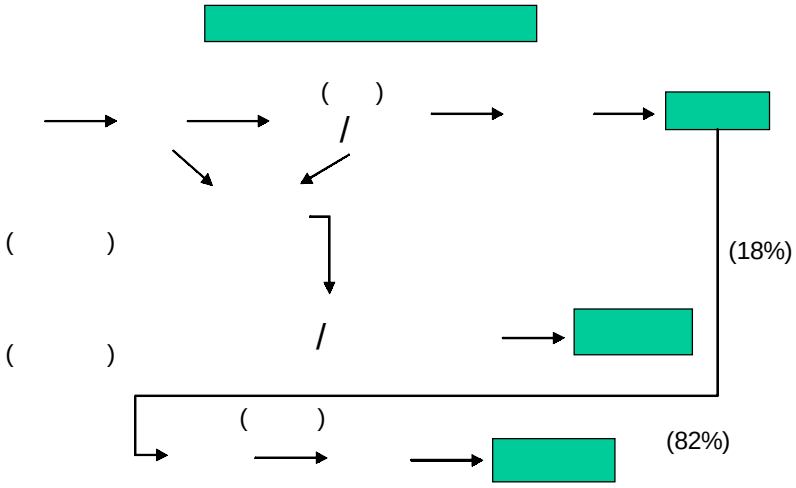
자료 : 資源統計年報

1970년대 후반부터 1980년대에 걸쳐 제련원료의 확보문제가 심각해짐에 따라 자주적 개발의 기운이 고조되어, 일본광업(당시)을 중심으로 한 아프리카·콩고공화국 카당카 주, 미쓰비시금속(三菱金屬)을 중심으로 한 말레이시아, 맘토에서 당시로는 대형광산이 개발되어 소기의 성과를 얻기는 했으나, 안타깝게도 자주적 개발의 후퇴로 이어지는 결과를 낳았다. 현재는 해외기업이 추진하는 개발프로젝트에 소수 주주로 참가하여 전술한바와 같은 참가권익 비율 이상의 원료확보에 노력하고 있는 실정이다. 즉 일본의 동(銅)생산기업은 제련사업에 중점을 두고, 제련원료 확보를 위해 자원부문을 입수한다는 것이 실상을 그린 것이라 할 수 있다.

일본의 동 산업은 광산과 제련을 기본 구조로 하고 있는데, 이 두 가지 기능의 구성은 <그림 2-4>에 보인 바와 같다. 그림에서도 알 수 있듯이 채광

이후의 프로세스는 크게 습식제련과 건식제련으로 분리된다. 광산에서 Leaching SX-EW 프로세스와 재래식 프로세스인 선광공정과 어느 것을 선택할지는 동광물의 화학조성에 따라서 결정되지만 일반적으로 전자는 산에 용해가 쉬운 산화광이 후자는 황화광을 대상으로 한다.

< 2-4>



SX-EW(Solvent Extraction- Electrowinning)은 근래 급속히 늘어난 광산입지의 습식제련법으로, 1991년에는 77만 톤에 지나지 않았던 것이 2000년에는 230만 톤에 달하여 광석에서 직접 채취하는 전기동생산량의 18%에 달하고 있다. 최근의 중요한 진보는 황화광의 리칭을 가속화시키기 위하여 박테리아를 이용하는 것을 들 수 있는데, 이 방법의 적용범위가 2차 황화광(Cu_2S, CuS)까지 확대되었다. 그러나 초생황화광물이고 동 광상 중에 양적으로도 가장 중요한 광물인 황동광에 대하여는 침출속도가 극히 늦기 때문에 적용할 수 없다는 것이 현재의 SX-EW법의 한계점이라고 보여지는데, 이에 대한 기술적인 혁신이 없는 한 수년 내에 쇠퇴될 가능성이 있다고 지적되고 있다.

1999년 전세계적으로는 광산생산동량이 1천 2백 8십만 톤에 이르는데, 이 중 정광이 1천 5십만 톤, SX-EW 동으로 2백3십만 톤으로 발표되었다. 정광 중 6백만 톤 즉 약 60%는 자사 혹은 자사의 그룹의 제련소, 즉 통합 제련소에서 처리한다. 그 대표적인 예가 세계 제 1위의 동 생산 기업인 칠레의 Codelco이고, Phelps Dodge(미국), Grupo Mexico(멕시코)이다. 나머지 4백만

톤(40%)은 매광제련소(買鉱製錬所)에 출하하는데, 국경을 넘어 국제적으로 거래하는 것은 그 중 75%, 즉 전 정광의 30%에 해당한다. 매광제련소의 대표라 할 수 있는 일광금속(日鑛金屬)을 필두로 한 일본의 비철 각사, 한국 LG니코, 독일 N.A이다. 이처럼 일본의 제련기업은 제철원료인 정광을 거의 전량 해외에 의존하고, 이른바 매광제련소방식으로 운영하는 시스템으로 되어 있다.

(2) 일본 동산업의 특징

일본은 1970년부터 2000년까지 약 30년간 세계의 동 소비는 연율 2.5%로서 인구증가율 1.7%를 넘는 신장을 보이고 있으나, 일본은 제 2차 산업의 성숙화와 해외운반으로 1991년의 소비실적 161만 톤을 피크로 감소되는 실정이다. 2000년 통계에 의하면 지금생산량(地金生産量)은 144만 톤인데 반하여 소비는 135만 톤에 그쳐 생산이 소비를 초과하는 것으로 보이고 있다. 그 밖에 약 20만 톤의 지금수입이 있기 때문에 2000년에는 약 30만 톤의 지금을 수출하기도 하였다. 즉 지금생산의 약 20%가 수출하고 있고, 그 비율은 다시 상승할 것으로 전망되고 있는데, 수출대상은 세계에서 가장 높은 신장률을 보이고 있는 동아시아 시장이다. 그러나 일본의 동 제련은 장기적으로 다음과 같은 불안요인을 안고 있다.

① 광산메이저와의 상호보완관계가 계속해서 장기적으로 유지될 수 있을까
② 현재의 투융자 광산에도 각각의 수명이 있어서, 끊임없이 대체를 고려할 필요가 있다.
③ 현행 SX-EW법을 초월하는 습식제련프로세스가 개발되어 황동광을 주로 한 황화광에 그 적용범위가 확대될 경우 광산 산, 전기동생산이 비약적으로 증가하고 정광생산에 큰 제약요인이 발생할 염려가 있다.

2.2.2 연 산업

광산에서 생산되는 연의 생산량은 1987년에 4만 톤이었고, 금속자원 중에는 비교적 좋은 혜택을 받은 나라의 하나이다. 1950년대 후반에는 60개 전후의 광산이 존재하였고 자급률도 높았으나, 그 후 채굴조건의 악화로 광산이

폐광되거나 휴광에 들어가 광산수는 급격히 감소하고 자급률도 미미한 수준에 머무르고 있다. 지금의 생산량은 1987년에는 34만 톤으로 세계 제 5위를 차지하고 있다. 그 밖에 연 제품을 2만2천 톤 수입하고 있고, 주요 수입선(輸入先)은 오스트레일리아(46%), 중국(16%), 페루(11%), 멕시코(11%) 등이다.

한편 수요량은 1987년도에 32만 톤인데, 일본 내의 소비량을 보면 축전지가 60%로 가장 많이 소비하고 다음으로 무기약품의 14%, 연관 및 연판의 8%, 전선의 피복 5% 순으로 되어 있다. 최근에는 자동차용 축전지와 컬러 TV용 브라운관 유리수요가 현저하게 증가하고, 연관 및 연판, 전선피복의 수요가 감소하였다. 지금 중 일부는 수출하고 있고, 수출량은 1만 2천 톤인데, 한국, 태국, 싱가포르에 수출되고 있다.

< 2-13>

(단위: 1000톤)

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	327.0	309.5	299.6	340.7	366.2	354.4	336.3	329.2
	33.0	40.5	35.0	30.8	24.9	31.1	31.2	38.9
	222.2	227.2	222.7	253.0	281.4	287.4	278.1	268.5
	48.6	47.2	51.1	47.6	47.2	49.5	45.8	43.9
	128.7	129.9	132.7	167.4	186.7	185.2	182.3	173.5
	44.9	50.1	38.9	38.1	47.5	52.7	50.0	51.1
	71.8	41.8	41.9	56.1	59.9	35.9	27.0	21.8
	320.1	310.7	289.2	307.5	332.7	335.1	327.3	320.3
	275.3	273.2	248.9	266.5	283.2	279.1	267.9	282.2
	20.7	17.6	16.9	14.4	13.7	11.8	10.5	9.9
	122.6	118.9	109.0	131.5	143.7	153.2	160.6	176.6
	25.5	27.4	21.6	15.8	18.9	13.9	8.2	5.3
	64.5	70.4	64.2	70.6	75.7	71.3	59.4	62.4
	42.0	38.9	37.2	34.0	31.2	28.9	29.2	28.0
	4.3	2.5	9.5	16.1	18.4	24.8	20.5	11.7
	40.5	35.0	30.8	24.9	31.1	31.2	38.9	26.4
(%) *	19.5	21.6	22.6	17.6	16.1	18.3	18.0	18.4

* 일본 국내생산/국내생산+해외개발+수입 , 자료 : 鑛業便覽

2.2.3 아연 산업

일본의 아연산업은 비교적 대규모의 연, 아연광산이 존재하여 아연자원은 타 금속에 비하면 혜택받은 상태이고, 1955년경부터 수년 동안은 적극적으로 수출이 행하여진 기록이 남아 있다. 그러나 1963년 이후 급격한 수요증가에

따라 광석수입이 증가되고, 현재는 자급률이 23%로 하락하였다. 1987년의 일본 광석생산량은 세계금속통계에 따르면 16만 톤으로 세계 제 13위이다.

1987년에 호소쿠라(細倉)광산 외 3개 광산이 잇달아 폐광하고, 광석생산량은 감소되었다. 또한 지금생산량은 66만 톤으로 세계 제 2위에 올라있다. 세계생산량으로 합산한 경우는 9%이고, 생산능력은 86.4톤, 가동률은 76%이다. 그리고 제련된 아연도 수입되고 있는데, 1987년에는 수입량이 12만 톤이다. 주요 수입선은 북한(33%), 한국(25%), 오스트레일리아 14%, 중국 12% 등이다.

한편 수요는 1987년도에는 89만 톤이고, 자동차, 전기기기를 주로 한 아연도금강판 분야가 44%를, 황동제품을 중심으로 한 신동부문이 14%, 다이캐스트가 15% 등으로 되어 있다.

< 2-14>

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
	1012.9	960.3	916.0	924.1	898.6	877.2	872.1	886.2
	266.1	257.7	199.0	152.4	97.7	82.8	78.8	107.5
	708.8	666.3	671.5	726.3	748.6	727.9	696.8	659.9
	238.1	236.5	244.3	248.7	231.3	237.3	206.7	159.7
	369.0	333.1	306.0	360.2	406.6	384.8	415.0	428.4
	101.7	95.7	121.2	117.4	110.7	105.8	75.1	71.8
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	38.0	36.3	45.5	45.4	52.3	66.5	96.5	118.8
	1001.2	749.2	736.8	881.1	864.1	754.6	844.6	885.9
	704.1	698.6	691.8	737.8	735.5	725.4	713.2	747.7
	279.4	284.1	296.4	333.1	334.3	322.0	325.0	350.9
	120.2	115.5	113.2	110.5	109.8	106.1	108.3	103.7
	98.4	93.5	89.4	97.7	100.4	102.8	97.1	103.9
	29.2	27.4	29.6	31.0	27.8	27.8	24.7	24.5
	119.0	115.9	105.1	112.7	111.4	111.4	116.3	110.3
	21.8			31.3	33.1	33.0	31.3	34.6
	57.9	62.2	58.1	52.8	51.8	55.3	48.9	54.3
	39.4	50.6	45.0	45.6	45.6	29.2	23.9	51.1
	257.7	199.0	152.4	97.7	82.9	78.8	107.5	88.2
(%) *	36.9	39.0	41.0	38.0	33.5	34.5	28.8	22.6

* 국내생산/국내생산+해외개발+수입, 자료 : 鑛業便覽

2.2.4 알루미늄 산업

일본은 2차 대전 후 고도경제성장에 따라 알루미늄의 수요가 급격히 증가되었다. 그러나 일본 역시 우리와 마찬가지로 보크사이트의 산출이 없어서

급증하는 수요에 대비하여 보크사이트를 수입하고, 일본 국내에서 환원, 압연, 가공하는 방법이 채택되어 1970년대의 지금생산량은 100만 톤 전후로 미국, 러시아 다음의 알루미늄지금 생산국이 되었다. 그런데 2차례에 걸친 석유파동으로 일본의 전력비는 고등하여 전력을 다량 소비하는 알루미늄제련은 국제경쟁력을 상실하게 되었다.

1980년대에 이르러 지금생산량은 급격히 감소되어, 1985년의 생산량은 23만 톤으로 5년전의 약 1/5로 되었다. 한편 알루미늄 수요는 계속적인 증가를 보여, 국내산 지금감소분을 수입지금의 증가로 보충하였다.

그 결과 1985년의 수입지금은 140만 톤으로 5년전의 1.7배로 증가를 보였다. 주요 수입대상국은 오스트레일리아(23%), 미국(16%), 인도네시아(14%), 베네수엘라(12%), 뉴질랜드(12%), 캐나다(10%) 등이고, 알루미늄 재생지금은 매년 증가하여 1985년에는 92만 톤에 이르러 중요한 공급원이 되었다.

한편 일본의 1955년 이후의 알루미늄 용도별 수요동향을 살펴보면, 1950년대에는 소비주체가 일용품, 금속제품에 그쳤으나, 1950년대 후반의 급속한 소비확대에 따라 수요구조의 전환이 일어나, 기계공업관계, 건축, 전력, 화학 등의 용도가 증가되었다. 그리고 1960년대 후반에는 다시 알루미늄 수요가 급격히 증가하여 알루미늄 새시를 배경으로 한 토목건축 및 주조품, 다이캐스트제품을 중심으로 한 자동차의 2부문을 비롯하여 동선의 대체품으로 알루미늄전선, 철강용 등의 소비량이 급상승하였다. 1970년대 이후는 이미 기술한바와 같이 석유위기를 계기로 일본 국내지금생산량은 감소하였다. 그러나 알루미늄제품은 일반적으로 수요 감소를 나타내고 있으나, 전반적으로는 증가를 계속하고 있는 것이다. 1985년의 일본국내 수요는 250만 톤이고, 자동차 등의 육상운수부문 30%, 토목건설이 28%, 금속제품이 15%, 전기통신이 7%, 식료품이 6%로 되어 있다.

< 2-15> ( )

	1960	1965	1970	1975	1980	1983	1985
	131,239	292,063	727,903	1013,259	1,091,477	255,900	226,547
〃	49,503	131,750	332,062	452,018	821,601	888,931	919,216
〃	113,847	221,516	689,505	957,244	1,428,732	1,624,128	1,699,617
〃	14,063	23,529	87,357	98,915	162,052	107,167	87,839
〃	34,590	59,323	177,831	163,475	269,871	268,501	289,123
〃	26,948	58,581	157,699	197,880	369,149	390,691	491,870
〃	526	760	1,464	1,515	2,450	2,486	2,756
〃	1,098	1,200	8,678	9,984	13,524	12,595	17,087
〃	25,005	51,193	157,136	437,140	694,749	678,208	660,341

*(주) 알루미늄 재생지금은 1961년 이후 수급동태통계에 의함, 자료 : 鑛業便覽

제3장 국내외 비철금속 리싸이클링 동향

1. 국내 동향

비철제련업계에서의 리싸이클링은 스크랩 등을 원료로 비철금속 신 지금을 생산하는 리사이클링과 폐기물로부터 비철금속을 회수하는 리싸이클링이 있다. 여기서는 스크랩을 원료로 하는 즉, 종래형의 리싸이클링 상황을 검토하고자 한다.

1.1 동의 리싸이클링

국내에 유통하는 동지금은 전기동(Cu 99.9%이상의 전기동), 동 스크랩(Cu 97% 이상), 동합금스크랩(Cu 50% 이상)의 세 종류로 분류할 수 있다. 전기동의 내수는 전선제조(약 60%), 신동품 제조(약 35%)에 소비된다. 사용이 끝난 전선, 신동품은 회수되어 동 스크랩, 동합금의 스크랩이 된다(이것들도 다시 가공 되고, 사용이 끝나면 다시 스크랩으로서 회수된다). 동 스크랩은 신동품 제조(약 60%), 전선제조(약 30%) 등에 사용된다.

동 스크랩은 신동품 제조(약 68%), 전선제조(약 30%) 등에 사용된다. 동 합금 스크랩은 신동품 제조(약 68%), 동 합금주물 및 주물(약 10%), 동제련 원료(약 16%)로 사용된다(괄호안의 숫자는 일본의 경우를 말한다).

이와 같은 물질 흐름에서 알다시피, 고순도일 때는 주로 전선제조에 사용되며, 반복 사용하는 과정에서 순도가 저하하여, 신동품제조, 동합금, 주물, 동제련 원료에로 카스케이트식 리싸이클링되고 있음을 알 수 있다.

위에서 언급한 바와 같이 진정한 의미의 동리싸이클율 산출은 어렵다. 거시적으로 생각한다면 100%에 가깝게 리싸이클링하고 있다고 볼 수 있다. 2차 원료는 고동, 통계의 대상이 되지 않은 스크랩, 제련소 배출물(제련공장내의 리싸이클링)로 되어 있다.

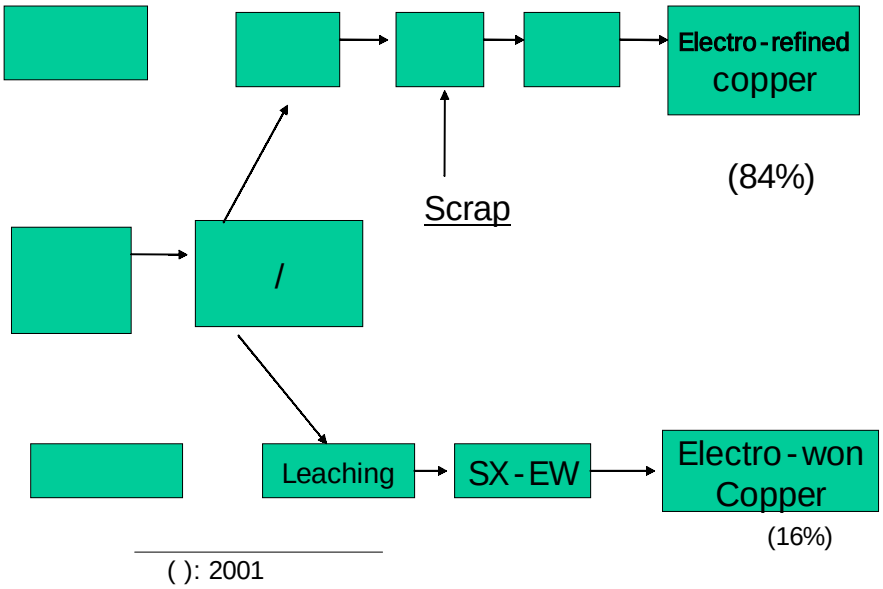
여기서는 동제련소(LG-Nikko)의 내부자료를 기준으로 우리나라 동 리싸이클링 추정치를 산출하면 다음과 같다.

(1) 국내 발생 동 스크랩량 120,000톤/년
(2) 수입 동 스크랩량 150,000톤/년
(3) 전기동 생산량 423,000톤/년
(4) 전기동 수요 843,000톤/년
(5) (1)/(3)에 의한 리싸이클링률 28.4%
(6) (1)+(2)/(3)에 의한 리싸이클링율 63.8%
(7) (1)+(2)/(4)에 의한 리싸이클링율 32.0%
(8) (1)의 품위를 60%로 가정할 때 2차 원료출 전기동량을 사용한 리싸이클링률은 다음과 같이 산출할 수 있다.

120,000 ㅧ 0.6 / 423,000 ㅧ 100 = 17%

동 제련 산업은 자본집약, 환경 비용 등으로 Marginal Business라 볼 수 있고, 우리나라의 제련시설은 기존의 용광로, 반사로가 Flash Smelting-Flash Converting 와 Mitsubishi Continuous Process로 교체되고, 전련시설은 재래식에서 ISA, KIDD 법 등으로 전환되고 있다.

< 3-1>



( ): 2001

1.2 연의 리싸이클링

연의 수요처가 대부분 납축전지이고 그 외에 관이나 판 또는 전선 등으로

다른 금속성분이 적은 납의 스크랩은 수거되는 잔량을 리싸이클링하고 있다. 특히 폐 납축전지는 수직로와 수평로를 사용하여 국내에서도 활발히 리싸이클링되고 있다. 이 방법은 전세계적으로 비슷한 기술이며 국내의 기술도 세계적인 수준으로 기술수출도 이루어지고 있다. 현재 국내의 재생연 업계는 국내에서 발생되는 폐납축전지나 납 스크랩이 부족한 실정으로 원료를 수입하고 있는 상태이다. 문제는 재생연 공정의 2차 부산물에 대한 안정적이고 경제적인 처리기술이 미흡하다는 것이다. 예로서 제련로의 납 분진의 처리문제, 배연가스의 청정처리 문제, 폐 황산의 리싸이클링 문제 그리고 소규모의 폐납축전지 청정 해체공정기술 등이다. 앞으로 보다 깨끗하고 경제적인 공정을 운영하기 위해서는 상기한 기술이 개발되어 납의 리싸이클링이 청정기술로 운전되는 것이 바람직하다.

2000년도 연의 생산은 전기연(고려아연)이 200,000톤이고, 재생연이 65,000톤이다. 따라서 리싸이클링 추정치는 32.5%(65,000/200,000×100)이다. 그러나 국내의 수요(수입을 포함)는 동년 334,000톤이므로 수요를 감안한 리싸이클링은 19.5%(65,000/334,000×100)이다.

현재 국내의 재생 연 업계는 국내에서 발생되는 폐 납축전지나 납 스크랩이 부족한 상태여서 원료를 수입하고 있는 실정이다. 문제는 재생 연 공정의 2차 부산물에 대한 안정적이고 경제적인 처리기술이 미흡하다는 점이다. 예를 들면 제련로의 납분진의 처리문제, 매연가스의 청정처리문제, 폐황산의 리싸이클링 문제, 그리고 소규모의 폐납축전지 청정 해체공정기술 등이다. 앞으로 보다 깨끗하고 경제적인 고정을 운영하기 위해서는 상기한 기술이 개발되어 납의 리싸이클링이 청정기술로 운전되는 것이 바람직하다.

1.3 아연의 리싸이클링

아연은 주 용도가 아연도 강판과 도금용이 50%를 차지하므로 이 부분에서는 아연이 농축된 형태로 배출되지 못하고 고철을 처리하는 전기로의 분진으로 발생된다. 이 분진은 철분과 아연 및 연이 주성분으로 단순 매립하여 왔으나 선진국에서는 아연과 연을 회수하고 철을 철자원으로 활용하거나 일반폐기물로 처리하기도 한다.

이에 대한 처리법은 Wales법이 널리 일반화되어 있고 전기로법, 플라스마

법 등 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 중에서도 Wales법이 외국에서 많이 실용화되고 있고 염화배소법도 적용되고 있으나 국내에서는 아직 전기로 분진의 처리가 이루어지지 않고 있으며, 플라스마법에 의한 pilot시험이 진행중이다. 그 외의 아연 스크랩은 산화아연 제조에 활용되고 있으며, 합금 스크랩은 동종업계에서 재사용되고 있다. 아연의 리싸이클링에서도 아연 및 합금 스크랩은 2차 자원으로 활용되지만 공정에서 발생되는 2차 부산물 즉 아연 드로스(dross) 및 분진의 처리가 고충사항이며 이에 대한 교과적인 처리기술이 환경관리를 겸하여 필요하기 때문에 이에 대한 리싸이클링 기술의 개발이 절실하다.

우리나라 아연 리싸이클링에 관해서는 구체적인 통계치를 찾아볼 수 없다. 아연 스크랩은 아연 드로스를 포함하여 증류아연으로 재생되어 산화아연 제조(60,000톤)에 활용되고 있지만 자료를 얻을 수 없다. 또 고려아연에서 발생한 제련잔류물을 Ausmelt process에 의해 처리함으로써 아연 회수를 시도하고 있는 것으로 알고 있지만 구체적으로는 알 수 없다. 한편 연 30만톤 발생하고 있는 제강분진(Zn품위 약 20%)으로부터 아연을 회수한다면 연 5만 톤을 생산할 수 있지만 현재로서는 그 기색을 엿볼 수 없다.

(주)고려아연 온산제련소는 아연잔사처리를 위하여 Ausmelt법이 지난 수십년 동안 활발하게 연구되었다. 본 공법은 배소공정에서 생성되는 zinc ferrite로부터 추가로 아연을 회수하고 이때 용융된 철분을 여과성이 좋은 철화합물로 만들어서 철을 제거시켜 주는 방법으로 Jarosite, Goethite 및 Hematite 공법들이 개발되었다. 공장에서 배출되는 모든 폐기물은 이 공법을 거쳐 깨끗한 슬래그를 만들어 준 후 배출하면 고체 폐기물의 공해문제를 해결 할 수 있게 된다.

1.4 알루미늄의 리싸이클링

국내의 알루미늄 스크랩은 순금속으로 재용융 처리하여 알루미늄 잉곳(ingot)을 생산하거나 합금생산에 이용되고, 합금-스크랩은 새시나 각종 기계부품 등으로 리싸이클링되고 있어 발생되는 형태가 뚜렷한 스크랩의 경우는 수거만 된다면 리싸이클링에 별 문제가 없다. 알루미늄캔의 리싸이클링은 수거가 관건으로서 국민 개개인이 분리 배출하여 쉽게 수거할 수 있는 환경이

조성될 때 가능할 것이며, 또 국내에서는 캔을 재처리하여 캔의 원료로 사용하지 못하고 탈산재 등으로 활용되는 수준이다.

한국금속캔재활용협회의 자료에 따르면, 2002년도 폐 알루미늄캔 발생량은 17,000톤, 재활용량 12,000톤으로서 재활용률은 70.6%이였다. 2003년도 알루미늄 재활용계획에 있어서, 폐 알루미늄캔 발생량 17,000톤, 재활용 의무량 15,000톤, 따라서 재활용률은 88.2%에 도달할 것으로 추정된다. 또 하나는 포장용 및 간이용으로 사용되는 알루미늄 박(foil)의 리싸이클링이 전혀 이루어지지 못하는 점이다. 알루미늄박의 내수는 꾸준히 증가하여 1997년에는 65천톤에 근접하고 있어 그 양이 캔의 양보다 적지 않다. 문제는 수거가 해결되지 못하여 바로 매립되거나 소각공정으로 소실되어 자원이 낭비되고 있다.

국내에서 알루미늄 재생지금 생산 시 다량의 알루미늄 블랙 드로스가 발생(20,000톤/년)되므로 이를 재처리하여 일부 미회수 재생 알루미늄 지금을 생산하고 있다. 나머지 폐기되는 알루미늄 드로스를 알루미나 시멘트, 뮬라이트 내화물, 내화벽돌, 내산 도자기, 타일 및 알루미나질 캐스타불 등으로 사용할 수 있는 소재로 개발하면 자원 재활용뿐만 아니라 환경오염을 줄일 수 있어 국가경제에 크게 이바지할 것으로 판단된다. 또한 국내에서는 보크사이트를 연간 36만 톤 정도 수입해서 수산화알루미늄과 알루미나 등을 생산하고 있으나, 여기에서 발생된 폐기물은 Red Mud 형태로서 연간 10만 톤 정도이며, 일부 벽돌소재로 이용되는 것 외에 다른 용도로 재활용할 수 있는 방법을 모색해야 할 것이다.

2000년도 우리나라 알루미늄 금속의 내수는 885,000톤이고, 재생지금량은 약 200,000톤으로 알려져 있다. 따라서 재활용률은 22.6%(200,000/885,000×100)로 산출된다.

< 3-1>

		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
		1,182	1,211	1,071	1,408	1,081	856	863
		17	18	20	21	16	13	13.5
		6.6	3.5	4.6	7.3	9.2	8	8.6
	%	38.8	19.4	23.0	34.5	57.5	61.5	63.8

자료 : 한국금속캔재활용협회

2. 미국의 동향

2.1 알루미늄의 리싸이클링

미국의 알루미늄 산업에 있어서 리싸이클링은 매우 중요한 요소이다. 2차 금속의 생산에 소요되는 에너지량은 1차 금속제조에 소요되는 에너지량의 90 95%가 절감된다. 2차 알루미늄의 약 60%는 주로 폐캔으로 형성된 스크랩으로 만들어지고 있다. 1988년에 미국의 폐캔 리싸이클링률은 55%이었고, 대부분의 폐캔은 알루미늄 판 제조업체에 공급되는데, 이들 회사들 또한 대부분이 일차알루미늄 제조회사들이다. 현재 미국에는 약 40개의 2차 알루미늄 제조회사가 가동 중에 있다.

산성비 법률제정은 전기사용에 미치는 영향이 심대하기 때문에 알루미늄산업에 있어서 주요 환경현안이 되었다. 모든 이산화황배출 규제법은 석탄연소시설의 코스트를 어느 정도 상승하게 될 것이 확실시된다. 이러한 코스트 인상여파는 알루미늄 제련소로까지 미칠지도 모른다. 이러한 피해는 알루미늄 가격에 미치는 전력비 변동요금제로 함으로써 어느 정도 짐을 덜어주고 있다. 미국 광무성(U. S. Bureau of Mines)은 자국내 10개 제련소를 대상으로 조사한 결과 각종 산성비 대책안이 제련소 전력비를 3.5 5.5miles/kWh 정도 상승하게 되고, 원가도 약 2.5 4¢/lb가 높아짐을 확인하였다. 그러나 그 상승률은 지역적으로 큰 차를 보이고 있는데, 오하이오와 웨스트버지니아에서는 코스트가 5.2 7.7¢/lb 상승하였으나, 기타지역에서는 상승률이 낮았고, 때에 따라서는 수력발전비와 동등한 수준으로까지 감소되는 현상을 보였다.

2.2 연의 리싸이클링

미국의 연 산업에서 전기연의 약 65%가 이차 연이다. 연축전지는 미국의 2차 정제제품의 약 85%를 차지하고, 주요 2차 제련소는 RSR Corp., Pacific Dunlop/GNB Battery, Schuykill Metals, Exide Corp., Exide Corp. Battery, 그리고 Sanders Lead인데 이 제련소에서 미국의 전 생산용량의 70%를 담당한다. 1980년대 미국의 환경문제가 심각해짐에 따라 리싸이클링이 장려되는 결과를 낳았고, 폐 연축전지는 미국환경보호국(EPA)에서 자원보존회수법

(RCRA)에 의거 유해폐기물로 분류하였다. 수많은 스크랩 수집상과 판매업자들이 슈퍼펀드(Superfund) 하에 위험부담의 두려움으로 축전지의 취급을 거부하기도 했으나, 대형 금속회사와 축전지 메이커 그리고 대규모 독립형 제련소들은 반대로 소단위의 시장을 대단위로 전환시켜 나아가고 있다.

3. 일본의 동향

일본은 비철금속 자원부존량은 많지 않으나 소비량에서는 미국 다음으로 다이용국으로 알려져 있다. 그리하여 자칭 자원소국, 공업대국, 경제대국이라는 표현을 쓰고 있는 실정이다. 특히 일본의 대기업 중에는 비철제련업을 발판으로 성장의 길을 걸은 기업이 적지 않고, 제련기술의 발전과정에서 환경문제도 대두되어 공해방지기술 및 리싸이클링 기술도 발전되었다.

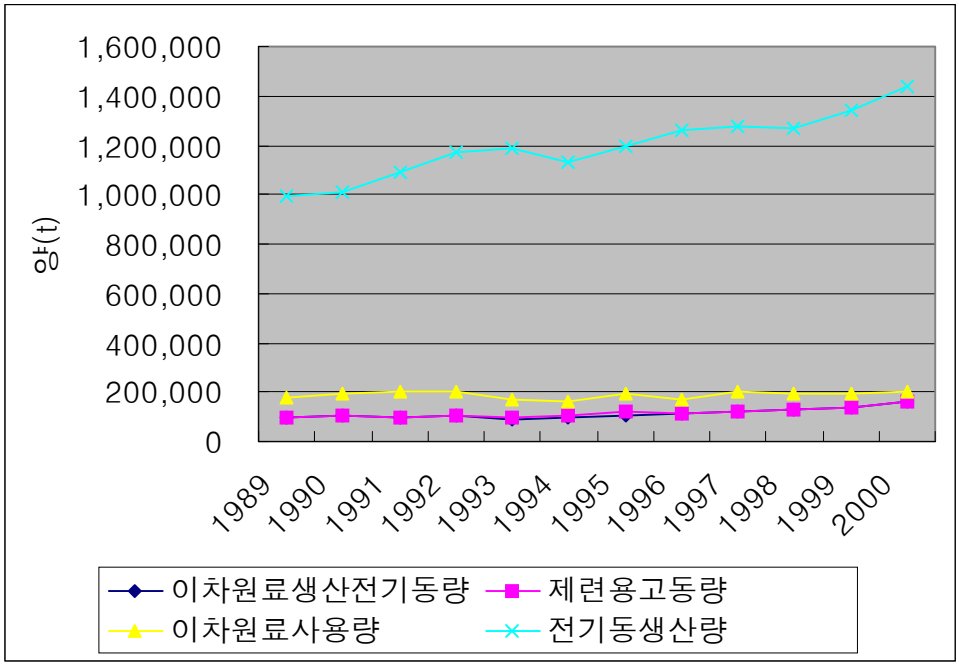
< 3-2> (2000)

(단위 : 천 톤)

크랩으로 된다. 고동 또는 스크랩의 내수는 765,000톤이고 신동품 제조에 62%, 전선제조에 29%가 사용된다.

합금고동 또는 스크랩의 내수는 918,000톤이고, 신동품 제조에 68%, 동합금 주물에 약 6%(2000년의 통계에는 "기타"로 집계되어 있는 것으로 생각되므로 1999년분으로 추정), 동 제련원료로 16%가 사용된다. 이와 같이 매트리얼 플로를 보면 고순도의 재료는 주로 전선제조에 사용되고, 반복적으로 사용하는 가운데 순도가 저하하여 신 동품제조, 동합금 주물, 동 제련원료로 카스케이드 리싸이클(Cascade Recycle)되고 있음을 알 수 있다.

< 3-2> 2



3.2 연의 리싸이클링

일본 내에 유통되는 연지금은 전기 연(연 순도 99.95% 이상인 것으로 주로 광석에서 채취된 것), 재생 연(연 순도 90% 이상인 것), 고연 또는 스크랩(연 순도 50% 이상인 것)으로 나누어 집계하고 있다.

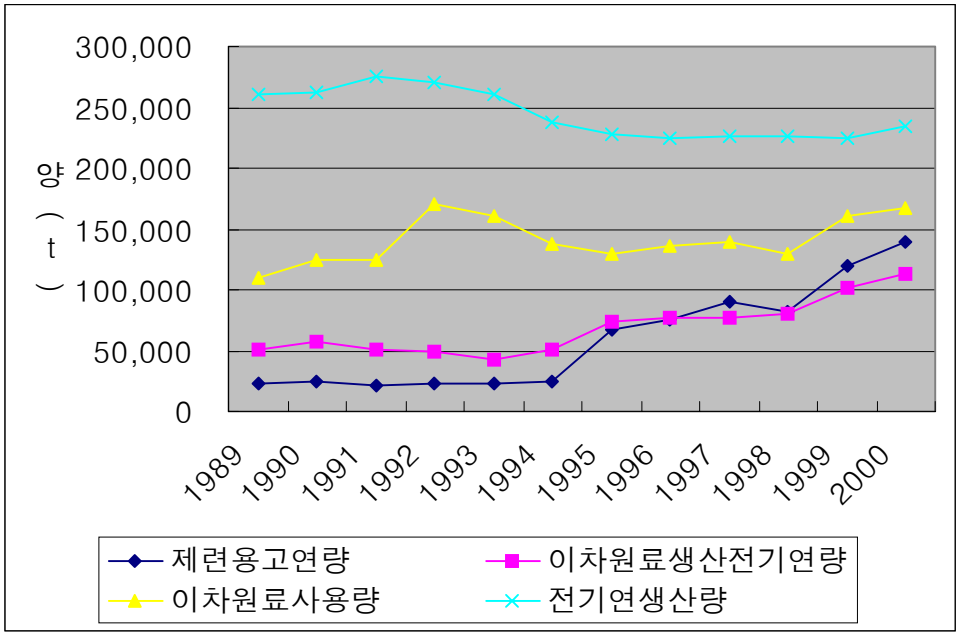
전기연의 내수는 25만5천 톤이고, 축전지제조에 74%, 무기약품제조에 13%가 소비된다. 폐축전지 등은 고연 혹은 스크랩으로 회수되어 제품제조나 재생 연(연 스크랩을 용해하여 부유잔재를 걷어낸 후 주물 및 제품제조의 원료

로 하는 것)의 원료나 연 제련 원료로 된다.

재생연의 내수는 5만 톤이고, 축전지 제조에 66%, 무기약품제조에 10%, 재생 연 제조에 14%가 소비된다. 고연 또는 스크랩의 내수는 23만 7천 톤이고 축전지 제조에 5%, 재생 연 제조에 36%, 연 제련원료로 58%가 소비된다.

동의 매트리얼 플로와 다른 점은, 동은 중간재생을 하는 일이 없이 순도가 저하될 때까지 반복 사용하지만, 연은 '재생'이라는 리싸이클업이 존재한다. 이것은 연은 동보다 산화가 쉽기 때문이라고 보여진다. 따라서 연은 반복 사용하는 일이 적고 회수된 고연의 대부분은 연 제련에 보내진다.

< 3-3> 2



3.3 아연의 리싸이클링

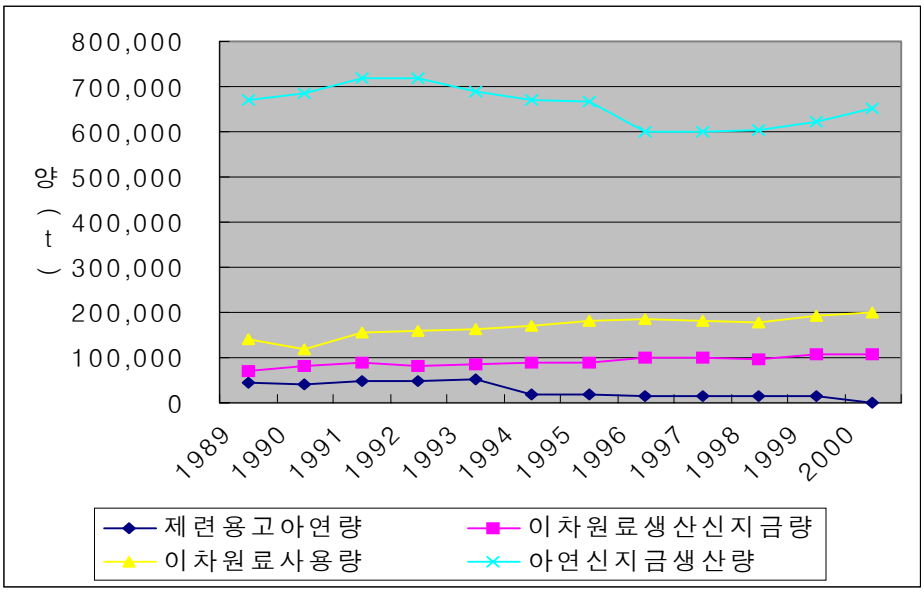
일본 국내에서 유통되는 아연지금은 아연 신 지금(아연순도 98% 이상인 것, 전기아연과 증류아연의 2종류가 있으므로 "아연 신 지금" 이라 칭함), 재생아연(아연순도 90% 이상인 것), 고 아연 또는 스크랩(아연순도 50% 이상 90% 미만인 것)의 3종류로 분류된다.

아연 신지금의 내수는 61만4천 톤이고, 도금용으로 68%, 신동품 제조에 12%, 다이캐스트 제조에 9%, 무기약품 제조에 6%가 소비된다.

사용이 끝난 다이캐스트 등은 고 아연 또는 스크랩으로 회수되고 제품제조 및 재생아연의 원료, 혹은 아연제련원료로 이용된다. 재생아연의 내수는 7만 4천 톤이고, 도금용에 58%, 신 동품제조에 23%, 무기약품 제조에 14%가 소비된다. 고 아연 혹은 스크랩의 내수는 8만8천 톤이고, 도금용으로 14%, 무기약품 제조에 22%, 재생아연제조에 약 60%가 소비되고, 아연제련 원료로는 겨우 2%이다.

매트리얼 플로 형태로는 연과 유사하나, 연에 비해서 제련원료화 되는 것이 적은 것은 통계대상 이외의 고아연이 많기 때문이다. 아연제련용 원료의 중심은 제강더스트이지만 이것은 아연품위가 낮기 때문에 “고 아연”이 되지 못한다.

< 3-4> 2



3.4 알루미늄의 리싸이클링

일본의 알루미늄 수요량은 연간 약 400만 톤의 수준이고 누적된 국내 축적량은 6,000만 톤에 이르고 있고, 알루미늄 스크랩량도 정확한 통계가 나와 있지 않으나, 2000년 기준 200만 톤이 넘는 것으로 알려져 있다.

3.4.1 자동차용 알루미늄; 리싸이클링

알루미늄은 경량성, 강도, 가공성과 그 리싸이클성으로 자동차에 중요한 공업재료이다. 현재로서는 주물, 다이캐스트 부품을 중심으로 각종 알루미늄합금이 사용되고 있는 가운데, 1999년 일본의 알루미늄 사용량의 28%(연간 113만 톤)이 자동차시장에 소비되고 있다. 일본은 폐차가 연간 약 500만 대 발생되는 것으로 추정되는데 중량으로 약 75 80%가 재이용되고 있다. 그러나 해체하여 재이용되는 부분은 엔진, 트랜스미숀 등 25종에 지나지 않고, 기타 부분은 프레스 슈레딩한 후 풍력선별로 더스트가 제거되고, 자력선별기로 강(鋼)과 비철금속으로 분리된다.

일반적으로 알루미늄은 비중선별이나 유동층선별 등으로 95% 정도의 분리회수가 가능하나 자동차는 복잡한 구조상 합금을 사용하는 관계로 Product to Product 순환은 어렵고 품질요구가 낮은 제품으로 Cascade 방식으로 활용되고 있다.

3.4.2 폐 음료용 캔

현재 폐 음료용 캔의 회수는 주로 3개 경로로 행하여지고 있다.

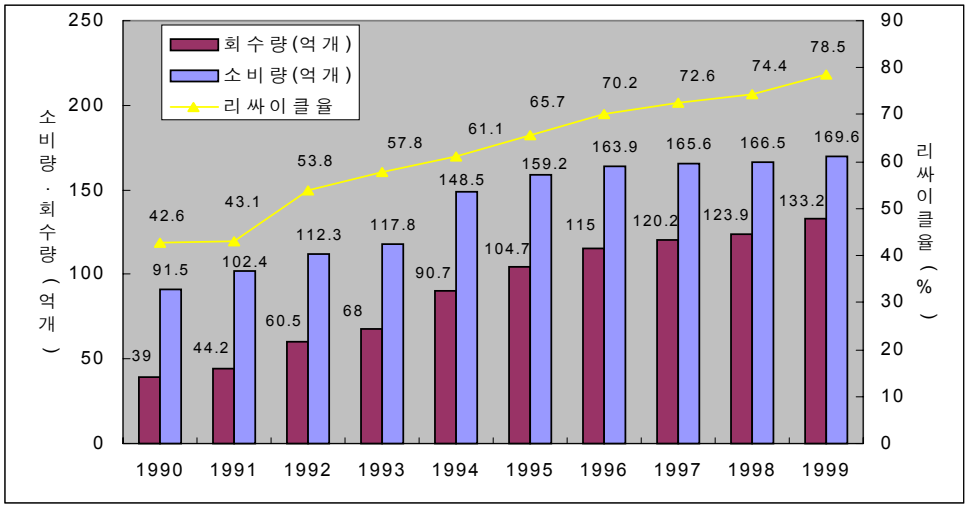
(1) 자치단체가 회수하여 재자원화 시설로 처리.(주로 회수경로)

(2) 집단적으로 회수활동.(동회, 자원봉사단체, 학교 등)

(3) 캔 메이커, 청소업자 등

음료캔이 생활폐기물에 점하는 비율은 1% 이하이나, 생활에 밀접하여 사회적 관심이 높고, 또한 알루미늄판 제품에 점하는 비율도 높다. 관련업계가 알루미늄캔 리싸이클협회를 설립하여 적극적으로 폐 음료캔 회수활동에 나서고 있다. 1999년의 리싸이클링률은 78.5%이고 회수된 알루미늄캔 중 Can to Can 율은 78.5%에 달했다.

< 3-5>


회수량(억개)
소비량(억개)
리싸이클율
소비량·회수량(억개)
리싸이클율(%)
250
200
150
100
50
0
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
39
91.5
42.6
44.2
102.4
43.1
60.5
112.3
53.8
68
117.8
57.8
90.7
148.5
61.1
104.7
159.2
65.7
115
163.9
70.2
120.2
165.6
72.6
123.9
166.5
74.4
133.2
169.6
78.5
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999

제4장 비철금속처리 요소기술 동향

1. 비철금속스크랩의 정제기술

1.1 Eddy-Current 분리

Eddy-Current 분리장치에 의한 입자분리효율은 입자의 전기전도(σ)에 비례하고 입자의 밀도(ρ)에 반비례한다. 이러한 현상은 혼합 폐기물 유동체에서 알루미늄과 동의 분리에 최적의 지수값을 갖는 적합한 기술을 제공한다.

Eddy-Current 분리기술의 기초이론이 나온 것은 100여년 전으로 알려져 있고, 본격적인 발전은 1980년대의 회전식 마그네틱의 개발과 Nd-Fe-B 영구자석의 산업응용에 힘입어 이루어졌다. 본 이론적인 모델링은 마그네트 형성과 적정수로 된 마그네틱 드럼의 설계에 필요한 입자궤도를 예측할 수 있다. 이론적으로 설계된 새로운 마그네트는 Eddy-Current 분리기의 분리효율을 향상시키는 역할을 한다. 또한 운전조건, 컨베이어 벨트의 속도, 벨트의 두께(입자와 마그네틱 드럼 간의 거리), 그리고 마그네틱드럼의 회전방향이 중요한 요소이다.

네덜란드의 Delft 대학과 Bekker Magnetics사는 새로운 차원의 비철금속 분리기를 개발하였고, 기초물리이론에 근거한 이론적 계산법을 개별 마그네트의 형상과 숫자를 감안한 최적 마그네틱 시스템을 개발하였다.

1.2 Dry Density 분리

Dry-Density Separation은 일반적으로 굵기가 100 400μm인 헤마타이트, 모래, 혹은 규산질 질르콘 등의 미립자로 형성된 건식유동층 중의 입자의 차동(差動)현상을 이용한 방법이다. 이 장치에 공급되는 입자크기는 10 50mm 이나, 그보다 작은 크기의 입자도 가능하다. 공급 재료는 적용한 매체보다 굵고, 체질(screening)법으로 매체로부터 분리를 하게 된다.

미립자로 형성되는 유동층은 부유물이나 침강물 어느 것이나 겉보기 밀도상으로 중액(重液)이 될 수 있다. 즉, 혼합금속이 공급될 때 가벼운 금속(예:

알루미늄)은 부유되고, 무거운 금속(예: 동)은 침강한다. 이때 장치 내에 설치된 스플리터(splitter)로 금속을 분리하게 되고, 이동하는 물질에 유동층의 입자가 달라붙지 않도록 건조시켜야 한다. 유동층을 통과하는 데 소요되는 시간은 약 20초이고 순간적인 건조가 요구된다. 금속의 분리 후 물질은 작은 드럼체를 통과하여 유동층 입자를 제거한다. 이것은 층의 후방으로 운반되고, 운전 중 층의 입자분실을 방지할 수 있다.

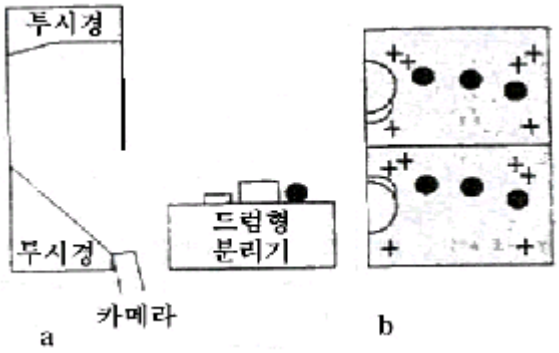
여러가지 종류의 Dry-Density 분리기(직진형, 회전형)가 이용되는데, 현재 직진형 유동층분리기가 현장시험을 마친 상태이다.

1.3 영상분석

영상분석(Image Analysis)은 주물 혹은 정제된 합금 그리고 Eddy-Current 분리를 위해 유동하는 폐기물의 검색에 이용된다. 비철금속편이 Shredder로 처리되었을 때 단조와 주조합금의 확실한 차이가 나타난다. 또한 부서지기 쉬운 특성으로 인하여 주조합금은 더욱 날카로운 모서리 형태를 보인다. 단조합금은 더욱 유연하고 부서질 때 입자는 보다 원형을 갖추게 된다. 이들 합금의 혼합물을 조사할 때 각 입자를 카메라에 통과시켜 혼합물에서 검색하여 제거된다.

생활폐기물의 성분은 계절과 수집지역에 따라 요소가 달라지고 Delft 대학에서는 마그네틱 분리기와 Eddy-Current 분리기의 처리물을 온라인으로 품질평가하기 위하여 센서를 개발하였다.

< 4-1>

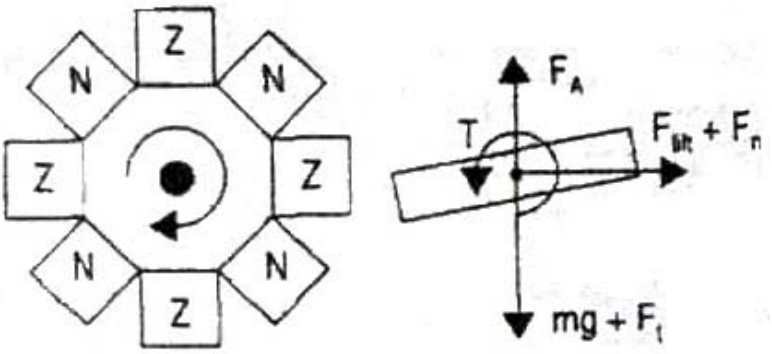


분리입자의 영상은 연속적으로 촬영되고, 이것은 기본 컴퓨터데이터와 비교한다. 그리고 입자의 형상, 낙하괘도 및 입도정보에를 기초로 검증이 가능하다. 또한 이때의 기초 자료는 필요한 비철금속편의 최적분리효율을 창출하기 위한 Eddy-Current 기계세팅에 보정용으로 사용할 수 있다.

1.4 습식 Eddy-Current 분리법

Eddy-Current 분리의 주요문제의 하나는 입자크기의 제한이다. 즉, -8 mm인 작은 입자는 컨베이어벨트에서 이탈하지만, 이것은 공기 중에 부유되는 것일 뿐 양호한 분리작업으로 되지 않는다. 최근에 개발된 습식 Eddy-Current 시스템은 네덜란드 Telft 공대에서 특허출원 중에 있는데, 이것은 입자가 수분에 함입되어 마그네틱 드럼에 접근하게 되는 것을 응용하였다. 폐기물 중에 작용하는 자력과 양력(揚力)을 통합하여 미립자의 효율적 분리가 가능하게 되어 0.5mm인 입자도 분리된다.

< 4-2> Eddy-Current



1.5 컬러 소팅법(Color Sorting)

여러 가지 화학적 에칭에 작용하는 몇 개의 합금에 다른 작용에 기초적 기술이 현재 개발 중이다. 그 첫번째가 이종의 알루미늄 합금그룹을 분리할 수 있도록 하는 시도이다. Alcoa사는 이에 대한 연구를 추진하여 현재 특허를 출원 중이고, 1999년 미국 샌디애고에서 개최된 1999 TMS Anual Meeting에서 발표한 바 있다.

2. 알루미늄 리싸이클링 기술

2.1 액상정제법

지금까지 개발된 액상정제법은 분별결정법과 금속간화합물법이 있는데, 액상정제법은 스크랩용탕을 냉각함으로써 고순도의 초정(初晶)을 강제적으로 발생시켜, 이를 회수하는 방식으로 정제하는 방식이다. 이것은 주로 Si 및 Fe 금속불순물을 저코스트이면서 연속적으로 정제하는 기술을 개발하는 것이다. 지금까지 성과로는 교반냉각법에 의한 초정생성공정과, 초정을 포함한 반 응고슬러리에 압력을 부여하여 초정과 제거성분이 농축된 액상분리를 행하는 초정분리공정을 조합한 연속정제프로세스로 회수율 70%, Si제거율 55%실적을 올렸다.

금속간 화합물법은 스크랩용탕 중에 금속원소를 첨가하여 알루미늄을 함유한 금속간화합물을 정출하여 이를 제가함으로써 불순물인 Fe, Mn을 제거하는 방법인데, 정제효율이 낮기 때문에 실 생산에는 연속결정분별법에 뒤지는 상태이다.

2.2 기상정제법(진공증류법)

금후 대량으로 회수될 구조재스크랩, Zn을 함유한 스크랩 혹은 Zn 다이캐스트제 새시스크랩에서 초기농도에 관계없이 Zn을 0.1% 이하로까지 저감시키기 위하여 용탕분무방식, 용탕교반방식에 대하여 검토한 결과 용탕분무방식의 Zn 제거속도는 기대한 것보다 작고 용탕교반방식이 교반효과에 따라 Zn 제거속도의 향상을 기할 수 있다.

2.3 반용융 정제법(半溶融精製法)

본 방법은 혼합제의 구성합금 융점차를 이용하여 고주파유도가열에 의하여 피재(코팅재)만을 순식간에 용융하고, 심재(芯材)를 고체상태로 잔류시켜 분리 정제하는 방법이다. 이 방법으로 분리 회수된 심재와 피재가 각각 사용에 무리가 없을 정도의 성분으로까지 분리하였으나, 스크랩을 정렬하여 장입하

지 않으면 회수율이 저하하는 등의 실용화면에서 문제가 노출되고 있다.

2.4 비금속 개재물 제거법

전자기력에 의하여 스크랩용탕을 교반하여 원심력으로 개재물(介在物)을 고밀도로 집합시켜 조대화하고 이를 전자기력 원심분리법과 필터골재에 개재물 포착재를 코팅하여 내부여과기구에서 개재물을 포착하는 필터법의 2가지 방법에 대하여 연구개발을 행하였는데, 2가지 모두 목표치인 입경 10μm 이상의 개재물 제거와 개재 물농도 100ppm 이하를 달성하였다. 이것은 자본금과 운전비 면에서 유리한 내부 여과 필터법을 선택하여 연구를 하였는데, 이 기술은 스크랩 리싸이클뿐 아니라 통상의 알루미늄 생산에도 기여할 것으로 보인다.

2.5 드로스에서 알루미늄 회수법

본 법은 MRM(Metal Reclaiming Machine)이라고도 불리는데, 로에서 배출된 뜨거운 상태의 드로스를 회전식 임펠러로 교반하여 알루미늄을 분리한다. 본 방법에서는 포트(pot)를 밀폐하여 비산화성분위기 하에서 처리함으로써 2차 회수를 포함하여 종합금속회수율이 91%의 실적을 올렸고, 이 방법은 스크랩이외에 일반재료의 용해에도 적용이 가능하다.

2.6 가공포일(加工箔)의 분리법

두께 30μm 이상의 프로세스 가공포일(알루미늄、樹脂複合) 스크랩으로부터 알루미늄포일을 분리하여 알루미늄분을 재차 포일로 리싸이클링 함을 목적으로 한 것이다. 가공포일의 분리에 대해서는 촉매를 이용하여 포일의 분리와 동시에 수지를 유화회수(油化回收)할 수 있는 가열분리 조건을 파악, 복합 알루미늄 회수율 83%를 달성하였다.

제5장 비철금속 리싸이클링의 과제와 대책

1. 자원순환형 사회체제를 구축

우리나라는 자원부존량이 부족하여 비철금속원재료는 거의 수입에 의존하고 있는 실정이고, 비철금속소비 측면에서는 세계 상위권에 속해 있다. 더욱이 우리나라의 주요산업으로 국제경쟁에서 선전하고 있는 자동차, 전기·전자, 반도체, 조선, 통신, 컴퓨터 등의 기초소재인 비철금속의 안정적 확보가 중요시 되고 있다.

근래에 자원을 재활용한다는 면에서 여러 분야의 폐기물 재활용을 국가적인 과제로 각종 시책을 마련하고 있다. 그러나 사업성이 유망하고 재활용이 용이한 일부 금속을 제외하고, 대부분이 종래에 금속스크랩을 수거하여 피드백하는 수준에서 크게 전진하지 못한 상태이다. 다행히 비철금속제련업체들은 스크랩을 별도로 수거 처리하는 계열을 갖추고 재생금속을 생산라인에 합류시키는 등의 리싸이클링 시스템을 운용하는 것은 매우 바람직스러운 일로 평가되고 있다.

현재 우리나라의 비철금속산업은 환경문제가 사회적인 이슈로 등장하면서 환경친화적인 사업화를 꾀하고 있으며, 국제적인 경쟁에서도 환경규제가 개입되는 관계로 자원리싸이클링에 대한 인식전환이 가속화 되고 있다.

2. 리싸이커블(Recycable) 재료설계

비철금속의 이용분야는 주로 기계장치와 전선, 포장용기, 건축용 등으로 재활용단계에 들어가기 위해서는 상당한 기간이 경과한 후 수거되는 특성을 갖고 있다. 따라서 비철금속의 대부분은 각종 기계장치의 부품을 해체하여 수집하는 단계를 거치게 되는데, 이를 간편하게 작업할 수 있도록 설계에서 반영되어야 할 것이라는 요구가 높아졌다.

리싸이커블 재료설계란 분리가 곤란한 원소를 포함시키지 않고 가급적 단순한 조성으로 구성되도록 함으로써 리싸이클링에 드는 비용을 절감하게 된다. 그렇게 함으로써 비철금속의 스크랩 혹은 고메탈의 수집과 처리에 매력

을 얻게 됨과 동시에 리싸이클률이 향상될 것으로 전망된다

<참고문헌>

1. 알루미늄 가공산업의 기술발전 전략 수립연구, 2002년 산업자원부
2. Gerrit H. Nijhof and Peter C. Rem, 1999: Upgrading Nonferrous Metal Scrap for Recycling Purposes, JOM 51, pp.20-23.
3. A.I. Naussbaum, 1998: Greenmelt Aluminium Scrap Recycling Plant at Hoogovens Aluminium in Duffel, Belgium, light metal age, 56(1-2), pp.32-41
4. P. Fears: Recycling plant expanded through non-ferrous metal separation, ALUMINIUM, 69(2), pp.121-122, 1993
5. Roger A. P.: Recycling Secondary Aluminium Scrap at Roth Bros. ,Syracuse, NY, LIGHT METAL AGE, 56(1-2), PP.99-101, 1998
6. A. I. Naussbaum: Alu-Billets Scrap Recycling Plant in Bavaria, LIGHT METAL AGE, 55(7-8), PP.10-12, 14-18, 1997
7. T. J. Robare, J. J. Witters, G. M. Kallmeyer and R. H. Keenan: Recycling of Aluminium Alloy Scrap, LIGHT METALS, 1991, pp. 1223-1227
8. www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv.prl/~ota/disk2/1990/9032/903207.PDF
9. www.kasteelchemicals.com/ka_steel/ pdf_files/miidec02.pdf -
10. 阿座上 竹四: 非鐵金屬のリサイクルはどうあるべきか, 金屬, 71(1) 2001, pp.72-76
11. 朝野 秀次郎: アルミニウムとリサイクル, 金屬, 71(1), 2001, pp.67-71
12. 大園 智哉: アルミニウム高度リサイクル技術の研究開發, 50(9), 2000, pp.468-474
13. 吉田 卓司: 非鐵金屬リサイクルの今後の課題, 機能材料, 16(2), 1996,pp.24-35
14. 前田正史 : 環境負荷とリサイクルの現狀, 12(1), 1996, pp.12-19
15. 相本 剛, 本橋孝九: 回轉アㅣク爐によるアルミドロス處理技術, 工業加熱, 35(2), 1998, pp.31-38
16. 伊坪德宏, 山本良一: 非鐵金屬材料製造 における自然環境への 影響評價,

化學工業, 51(9), 2000, pp.705-716
17. 小林正男: ちょつと変 わった非鐵金屬, 材料技術, 17(4), 1999, pp.28-34
18. 在見三郎: 非鐵金屬材料 のリサイクル, 25(9), 1995, pp. 74-75
19. 石川達雄, 上田幹人: アルミニウムスクラップの再生を目指した溶融鹽電解, 表面技術, 49(4), 1998, 347-351
20. 前田 正史: 非鐵金屬材料のリサイクル, 生産研究, 47(4), 1995, pp.197-204
21. 德田 昌則: 金屬生産とエネルギ丨消費, 金屬, 71(1), 2001, pp.60-63
22. 門前兼廣: 非鐵製鍊業界の環境事業について, 資源處理技術, 49(1), 2002, pp.23-31
23. 芦田喜郎: 非鐵金屬 21世紀への 展望, 塑性と加工, 35(400), 1994, pp.459-463
24. 柳澤 進: 非鐵金屬製造業とISO14001, 日本金屬學會會報, 40(1), 2001, pp.31-34
25. 日野順三, 宮林良次: 非鐵金屬リサイクルの現狀について, 資源處理技術, 46(2), 1999, pp.82-87
26. 楓田哲夫: アルミドロスによる電氣爐ダストのリサイクル技術, 資源處 理技術, 47(2), 2000, pp.42-48
27. 吉田卓司: 消費財のリサイクル, 機能材料, 16(1), 1996, pp.59-70
28. 坂本 卓: わが國 の非鐵金屬産業と資源開發, 資源地質, 51(2), 2001, pp.77-80
29. http://www.n.nonferrous.or.kr
30. 김수봉, "한국비철금속산업의 현황과 경쟁력육성방안에 대한 연구", 한외국어대학교, 석사학위논문(2000)
31. 최창영: "우리나라 연·아연 산업의 발전 과정과 전망", 대한금속학회 11(3), 1998, pp.222-232
32. 오종기: "국내 비철금속의 리싸이클링", 대한금속학회회보, 11(3), 1998, pp.299-319