J. of Korean Inst. of Resources Recycling,
Vol. 3, No. 1, 1994, 38-43

≫ 研究論文 ≪

기계적 처리에 의한 반도체 IC칩 스크랩으로부터 유가금속의 분리에 관한 연구

李在天 · 李庚仁 · 李喆京 · 梁東洋
한국자원연구소 소재개발부

Separation of Metals from Intergrated Circuit Chip Scrap by Mechanical Beneficiation

Jae-Chun Lee, Kang-In Rhee, Churl-Kyoung Lee and Dong-Hyo Yang
Materials Development Division, KIGAM

요 약

국내의 반도체 회사에서 발생한 IC칩 스크랩의 기계적인 전처리를 통하여 귀금속 및 유가금속을 분리하는 연구를 행하였다. IC칩 스크랩을 절단, 분쇄한 뒤 분쇄된 스크랩의 입자크기에 따른 금속의 분포도를 조사하였으며 함유되어 있는 금속편을 자력선별에 의하여 분리하였다. 일련의 분쇄공정을 통하여 얻어진 IC칩 스크랩 분쇄물의 입도분포는 +3 mm가 7.5%, 3~1 mm가 17.0%, −1 mm가 75.5%이었다. 분쇄물을 700℃에서 배소하였을 때 중량감소율은 약 18%이었으며 입도분포에 따른 금속의 함량은 +3 mm에서 97%, 1~3 mm에서 96%, 1~0.595 mm에서 13% 및 0.595~0.5 mm에서 3.7%이었다. Au는 99%가 −1 mm의 분쇄물에 존재하였다. 자력선별기를 사용하여 700 및 1,500 Gauss로 Ni, Fe, Cu, Sn, Pb를 분리회수할 수 있었다.

ABSTRACT

The separation of valuable metals from IC chip scrap generated by domestic electronic company was carried out using the mechanical beneficiation such as shredding, crushing, screening and magnetic separation. The distribution of metals in various sizes of crushed IC chip scrap was investigated and metals present in crushed products was separated with the magnetic separator. The particle size distribution of crushed IC chip scrap was 7.5% for +3 mm, 17.0% for 3~1 mm and 75.5% for −1 mm. The weight loss of crushed IC chip scrap was 18% when roasted at 700℃. The content of metals was 96% for +3 mm, 96% for 3~1 mm, 13% for 1~0.595 mm, 3.7% for 0.595~0.5. Au of 99% was present in −1 mm crushed IC chip scrap. Ni, Fe, Cu, Sn and Pb were separated from crushed IC chip scrap by the magnetic separator under 700 and 2,500 Gauss.

I. 서 론

국내의 전자산업이 발달함에 따라 반도체 IC칩 (Integrated circuit chip)의 제조공정에서 발생하는 IC칩 스크랩의 양이 급격히 증가하고 있다. 국내에서 발생하는 IC칩 스크랩은 1993년 현재 약 1200 톤/년으로 추산되고 있는데 한국이 반도체의 주요 생산국으로 부상함에 따라 더욱 늘어날 전망이다[1].

IC칩 스크랩은 크게 약 30%의 금속, 40~45%의 refractory 산화물, 약 25~30%의 플라스틱으로 구성되어 있으며[2] 함유되어 있는 금속의 종류와 함량은 micro 칩, S-RAM 칩, D-RAM 칩 등 칩의 종류에 따라 달라지지만 Au가 200~600 g/t, Ag가 2,000~10,000 g/t정도 함유되어 있다. 또한 lead frame의 모재가 Cu합금인 IC칩의 경우는 Cu가, Ni-Fe합금인 경우는 Ni와 Fe가 주요성분으로 함유되어 있으며 Sn, Pb, Al 등과 같은 금속들도 함유되어 있다.

IC칩 스크랩이 오래 전부터 recycling의 대상이 된 것은 귀금속을 비롯한 Cu, Fe, Ni, Sn, Al 등과 같은 유가금속을 함유하고 있는 경제적 가치때문이다. 이중에서 특별히 Au, Ag 등과 같은 귀금속은 그 자원이 한정되어 있으며 고가이기 때문에 귀금속源으로서 매력적

Table 1. Chemical Analysis of Metals in IC Chip Scrap.

Element	Cu	Ni	Fe	Sn	Pb	Al	Au	Ag
Content(wt %)	14.19	3.86	5.36	1.46	0.52	0.08	0.043	0.11

인 자원이다. 선진국에서는 이미 IC칩 스크랩 뿐만 아니라 다른 전자 스크랩으로부터 Au, Ag 등과 같은 귀금속 및 희유금속을 회수하는 기술을 개발하는 폐자원의 recycling에 의한 막대한 경제적 이득을 얻고 있을 뿐만 아니라 폐기물의 배출에 의해 야기되는 환경오염 문제까지도 해결하고 있다.

IC칩 스크랩으로부터 Au, Ag 등의 귀금속 및 유가금속을 회수하는 방법은 두 가지로 대별된다. 첫째, 스크랩의 부피를 감소하고 성분을 분리하기 위하여 절단, 분쇄, 물리적인 선별처리[3-5]을 한 후에 건식[6] 또는 습식법[1,7-9]으로 목적하는 금속을 회수하는 방법이고 둘째, IC칩 스크랩을 분쇄하여 금속부분을 노출한 뒤 직접 산 또는 알칼리를 사용하여 목적금속을 추출하는 방법이다. 일반적으로 단위 플랜트에서 스크랩에 함유된 여러 종류의 금속을 회수하기에는 어려움이 많기 때문에 먼저 기계적인 처리공정을 통하여 스크랩을 선별하여 금속별로 분리농축한 후 정련을 위하여 농축물을 제련소로 보내거나 귀금속은 직접 회수한다[10].

본 연구에서는 국내의 반도체 회사에서 발생한 IC칩 스크랩으로부터 유가금속을 회수할 목적으로 먼저 기계적인 전처리를 통하여 귀금속 및 유가금속으로 분리농축하는 기초실험을 행하였다. IC칩 스크랩을 절단, 분쇄한 뒤 분쇄된 스크랩의 입자크기에 따른 금속의 분포도를 조사하였으며 함유되어 있는 금속편을 자력선별에 의하여 분리하고자 하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

시료로 사용한 IC칩 스크랩은 반도체 제조공정 중에서 발생한 불량품으로서 본 실험에 사용한 IC칩 스크랩에 함유되어 있는 금속성분의 화학분석치를 Table 1에 나타내었다.

2.2. 실험방법

IC칩 스크랩에서 금속과 비금속을 분리하기 위하여 먼저 IC칩 스크랩을 cutting mill에 투입하여 크기가 5~7 mm가 되게 1차 절단하였다. 절단된 스크랩을 hammer mill에 투입하여 −3 mm가 되도록 1차 파쇄한 다음 roll mill에 투입하여 −1 mm가 되도록 2단 분쇄를 하였다. 분쇄 후 ASTM표준 sieve로 분급을 하여 입도분포 및 입도분포에 따른 금속의 분포도를 조사하였다. 분쇄된 IC칩 스크랩을 분급하여 +3 mm 금속편과 −3 mm~+1 mm 금속편을 선별한 후 미국 Eriez manufacturing Co. 사제 cross-belt magnetic separator를 사용하여 금속편의 자력선별을 행하였으며 성분분석을 하여 수율 및 품위를 조사하였다. 본 실험에서 공정의 흐름도는 Fig. 1과 같다.

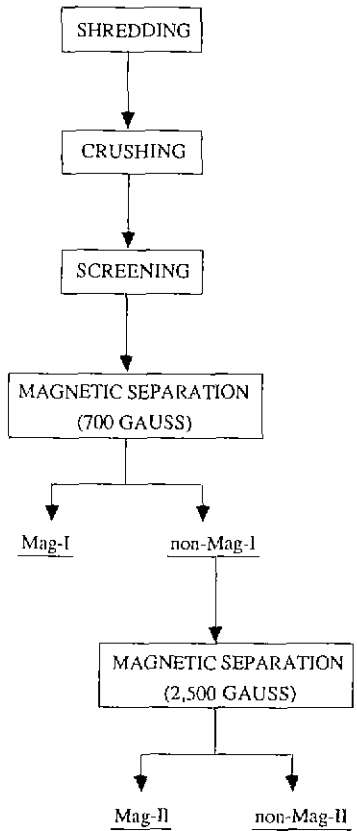

Fig. 1. Flowsheet for Separation of Metals from I.C. Chip Scrap.

분쇄된 IC칩 스크랩 중에서 −1 mm의 입도를 가지는 분쇄물을 200~700℃에서 입도분포에 따라 배소하여 열분해 특성을 조사하였다. 열분해는 100 ml/min.의 공기를 주입하면서 관상로에서 행하였다.

성분분석은 유도결합 플라즈마 발광분광 분석기(ICPA, Inductively Coupled Plasma Analyzer)를 사용하여 행하였다.

Table 2. Particle Size Distribution of Crushed IC Chip Scrap.

Particle size (mm)	Distribution (wt.%)
+3	7.5
3~1	17.0
1~0.595	24.0
0.595~0.5	12.9
0.5~0.297	14.1
0.297~0.25	4.0
0.25~0.21	3.5
−0.21	17.0

3. 실험결과 및 고찰

IC칩 스크랩에서 경제적 가치가 가장 높은 Au와 Ag를 IC칩으로부터 분리하기 위하여 먼저 스크랩을 미세하게 분쇄하여야 한다. 따라서 IC칩 스크랩을 cutting mill에 투입하여 크기가 5~7 mm가 되게 1차 절단하고 절단된 스크랩을 hammer mill에 투입하여 −3 mm가 되도록 1차 파쇄한 다음 ball mill에 투입하여 −1 mm가 되도록 2단 분쇄를 하였다.

−1 mm가 되도록 분쇄한 후 ASTM 표준 sieve로 분급을 하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. Table에서 보는 바와 같이 분쇄된 IC칩 스크랩에서 +3 mm의 입도를 가지는 분쇄물이 7.5%이고 1~3 mm의 입도를 가지는 분쇄물이 17%로서 roll mill에서 −1 mm로 분쇄함에도 불구하고 분쇄된 스크랩의 24.5%가 +1 mm의 입도를 갖고 있다. 이것은 납작한 모양을 갖고 있는 금속편이 전성 때문에 분쇄되지 않고 남아있기 때문이다. −0.21 mm의 입도를 가지는 분쇄물은 17.0%이었다.

IC칩 스크랩에는 플라스틱과 같이 가연성물질이 함유되어 있으므로 분쇄물의 최적 열분해 조건을 얻기 위하여 열분해 실험을 행하여 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 약 200℃ 부근에서부터 분쇄물의 열분해가 시작되어 250~450℃ 에서 급격한 무게감소를 보여주며 600~700℃ 부근에서 열분해가 거의 완료되었다. 450℃ 와 700℃ 에서의 중량감소율은 분쇄물의 크기가 1~0.595 mm인 경우에 17%과 21%. 0.595~0.50 mm일 때, 19%과 23.2%, 0.5~0.297 mm일 때 22%와 24.4%, 0.297~0.25 mm일 때 23.6%와 25%. 0.25~0.21 mm일 때 23.2%와 24.8%, −0.21 mm일 때가 21.6%와 23.2%이었다. 중량감소율은 스크랩의 입자크기가 0.25~0.21 mm일 때 최대이었으며

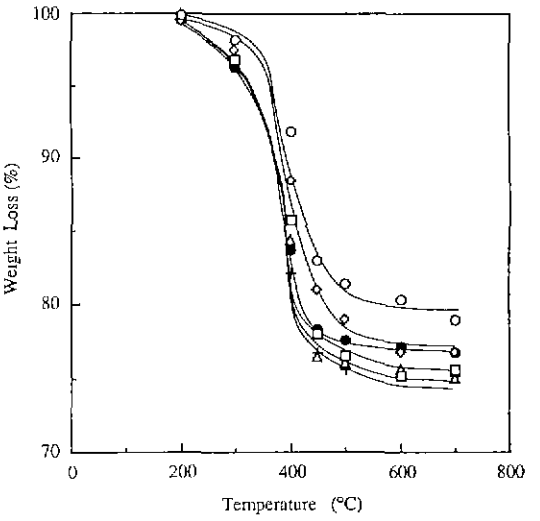

Fig. 2. Thermogravimetric analysis of the Crushed scrap with the respect to the particle size.
○: 1/0.598, ◇: 0.598/0.50, □: 0.50/0.297
△: 0.297/0.25, +: 0.25/0.21, ●: −0.21 mm

Table 3. Distribution of Metals and Gold in Crushed IC Chip Scrap.

Particle size	Distribution(wt.%)		Composition	
(mm)	metals	Au	metals(wt.%)	Au(ppm)
+3	26 6	0.1	97.08	2.84
3~1	60 15	0.9	95.75	24.15
1~0.595	11.1	29	12.9	546
0.595~0.5	1.7	16	3.7	566
0.5~0.297	0.44	17	0.87	535
0.297~0.25	0.01	4	0.9	446
0.25~0.21	−	3	−	387
−0.21	−	30	−	756

1~0.595 mm에서 최소치를 나타내었다. 그러나 1~0.595 mm의 분쇄물이 중량비가 가장 높기 때문에 (Table 2 참조) 입도분포에 따른 가연성 플라스틱의 함유량은 이 입자분포에서 가장 많이 존재하며 그 함량은 스크랩 전체량의 5% 정도였다. 본 실험결과로부터 700℃ 에서 −1 mm의 분쇄물을 열분해하였을 때 입자크기에 따라서 21~25%의 중량감소율을 나타내었으며, 이것은 Table 3에서 보는 바와 같이 +1 mm의 스크랩이 대부분 금속편으로 구성되어 있기 때문에 전체 스크랩의 18%정도에 해당하는 것이다. 따라서 본 연구에 사용된 IC칩 스크랩에는 약 18%의 가연성 플라스틱이 함유되어 있

Table 4. Chemical Composition of Metals in Crushed IC Chip Scrap.

(unit : wt.%)

Element / Particle size	Cu	Ni	Fe	Pb	Sn	Au	Ag	Al
+3 mm	49.18	16.85	23.9	0.01	0.81	2.84 ppm	0.72	0.19
3~1 mm	52.27	12.93	17.77	2.57	6.84	24.15 ppm	0.28	0.32

음을 알 수 있었다.

다음은 분쇄된 스크랩의 입자크기에 따른 Au와 일반 금속의 분포도를 조사하여 Table 3에 나타내었다. +1 mm의 금속편들은 분급으로 회수하여 분포도를 조사하였고 0.25~1 mm의 크기를 갖는 금속편들은 hand picking으로 회수하여 분석하였다. −0.25 mm의 분쇄물로부터 금속의 hand picking이 불가능하였으나 그 양은 작았으므로 무시하였다. 여기에서 보는 바와 같이 함유되어 있는 금속의 85% 이상이 +1 mm의 크기를 갖고 있으며 95% 이상이 +0.6 mm의 입도를 갖고 있다. 그리고 0.6~3 mm의 크기를 갖는 금속편들은 IC칩의 leg들로서 분쇄공정에서 +3 mm의 크기를 가지는 금속편으로부터 절단되어 생성된 것이다. 반면에 스크랩에 함유되어 있던 무기 산화물 또는 plastic은 분쇄공정에서 99% 이상이 −1 mm로 분쇄되었다. 따라서 분쇄물을 +1 mm의 표준체로 분급함으로써 금속편을 무기 산화물 또는 plastic과 용이하게 분리하였으며 스크랩에 함유되어 있는 전체금속의 90% 이상을 회수할 수 있었다. 이와 같이 분리한 금속편의 품위는 +3 mm 및 1~3 mm의 입도를 가지는 분쇄물에서 95% 이상이었으며 나머지는 미분쇄되었거나 분쇄공정 중에 금속편에 눌어 붙은 plastic 및 미분쇄되어 금속편에 붙어 있는 세라믹이었다.

한편 Au의 경우 99%가 −1 mm의 분쇄물에 존재하였다. 즉 스크랩에 함유되어 있는 금속편의 95% 이상이 함유되어 있는 +1 mm의 분쇄물에는 Au가 단지 1% 이하로 존재한다. −0.21 mm의 입도를 가지는 분쇄물에서 Au의 함량이 756 ppm으로 가장 높았으며 전체량의 30%를 차지하였다. 이것은 bonding wire 또는 얇은 막으로 도금되어 있는 Au가 스크랩의 분쇄시 미세하게 분쇄되었기 때문으로 생각된다. 이 결과로부터 Au는 금속편이 거의 존재하지 않는 무기 산화물 또는 plastic 분쇄물에 농축됨을 알 수 있었다.

Table 4는 분쇄물을 분급하였을 때 +3 mm 및 3~1 mm의 크기를 갖는 분쇄물에 함유되어 있는 금속의 화학조성을 나타낸 것이다. 여기에서 보는 바와 같이 +3 mm의 크기를 갖는 분쇄물에 함유되어 있는 주요성분인

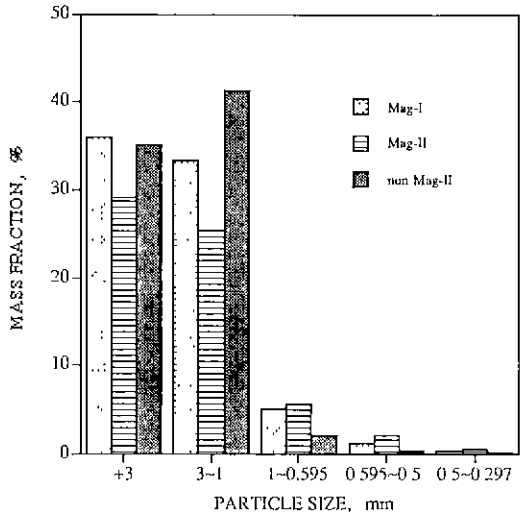

Fig. 3. Mass Fraction of Metals Separated from Crushed I.C. Chip Scrap by Magnetic Separation.

Cu, Ni, Fe의 함량은 각각 49.18%, 16.85% 및 23.9%이었으며 3 mm~1 mm의 분쇄물에서는 각각 52.27%, 12.93% 및 17.77%이였다. 그리고 Au는 2.84 ppm 및 24.15 ppm가 함유되어 있지만 이것은 Table 3에서 보는 바와 같이 전체 함유량의 1% 정도이다. Pb와 Sn의 함량은 3~1 mm인 분쇄물에서 높았으며 각각 2.57%와 6.84%이었다. 이것은 Pb와 Sn이 스크랩 중에 땜납의 형태로 함유되어 있는데 크기가 작은 IC칩의 leg에 붙어 있기 때문으로 생각된다.

분쇄물 중에 함유되어 있는 금속편에는 많은 금속원소들이 함유되어 있기 때문에 물리적인 선별로 1차 분리하는 것이 요구된다 Table 4에서 보는 바와 같이 IC칩 스크랩에 함유되어 있는 금속은 자성물질과 비자성물질로 구성되어 있으므로 자력선별에 의하여 금속편들을 선별, 분리회수하는 것이 가능하다.

먼저 700 Gauss로 磁着물질 (Mag-I)을 분리, 회수하고 非磁着물질 (non-Mag-I)은 2500 Gauss로 다시 磁着물질 (Mag-II)과 非磁着물질 (non-Mag-II)로 각각 분리, 회수

Table 5. Recovery Rate of Metals Separated from the Crushed Scrap by Magnetic Separator.

Particle size	Step	Recovery (%)						
		Cu	Ni	Fe	Sn	Pb	Al	Ag
+3 mm	Mag-I	0.02	93.8	93.1	1.3	1.2	35.9	34
	Mag-II	47.1	5.6	6.88	2.2	2.3	8.2	64.2
	non-Mag-II	52.7	0.6	0.02	96.5	96.6	55.9	1.8
3~1 mm	Mag-I	0.4	96.3	95.3	27.7	33.1	20.2	54.8
	Mag-II	42	3.16	4.65	18.8	9.3	42.6	26.2
	non-Mag-II	57.6	0.54	0.05	53.5	57.6	37.2	19.0

하였으며 Fig. 3은 그 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 700 Gauss로 자력선별하였을 때 얻어진 자착물질 (Mag-I)의 중량비는 +3 mm의 분쇄물에서 35.9 %, 1~3 mm에서 33.3%, 1~0.595 mm에서 5.15%, 0.595~0.5 mm에서 1.2%, 0.5~0.297 mm에서 0.34%를 나타내었다.

1차 자력선별에서 발생한 비자착물질 (non-Mag-I)을 2500 Gauss에서 2차 자력선별하였을 때 얻어진 자착물 (Mag-II)의 중량비는 +3 mm의 분쇄물에서 29%, 1~3 mm에서 25.4%, 1~0.595 mm에서 5.71%, 0.595~0.5 mm에서 2.15%, 0.5~0.297 mm에서 0.53%의 분포를 나타내었으며 1차 자력선별결과와 유사한 경향을 나타내었다.

그리고 700과 2500 Gauss로 1차 및 2차 자력선별을 한 후 배출된 금속편의 비자착물질 (non-Mag-II)은 +3 mm의 분쇄물에서 35.09%, 1~3 mm에서 41.3%, 1~0.595 mm에서 2.05%. 0.595~0.5 mm에서 0.39%, 0.5~0.297 mm에서 0.16%의 중량비를 나타내었다.

자력선별에 의하여 분리된 Mag-I, Mag-II 및 non-Mag-I의 성분분석을 행하여 금속의 회수율을 계산하였으며 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 700 Gauss로 자력선별하였을 때 얻어진 +3 mm 자착물질 (Mag-I)의 주요성분은 강자성체인 Ni 및 Fe로서 이것들의 회수율은 각각 93.8%와 93.1%이었다. 그리고 상자성체인 Al의 회수율은 34%이었으며 반자성체 원소인 Ag의 회수율은 34%이었다. 이와 같이 700 Gauss로 자력선별할 때 Al과 Ag가 상자성체 및 반자성체 물질임에도 불구하고 상당량 회수되는 것은 Lead frame의 제조시 모재로 사용된 강자성체인 Ni-Fe합금이 회수되어질 때, 붙어있던 Al과 Ag가 Ni-Fe합금과 동반회수되기 때문이다. 또한 반자성체 물질인 Sn과 Pb의 회수율은 각각 1.3%와 1.2%이었으며 Cu는 거의 회수되지 않았다 3~1 mm 자착물질의 경우 Ni와 Fe의 회수율은 96.3%와 95.3%로 +3 mm의 경우와 비슷하였지만 Sn, Pb 및 Ag의 회수율은 각각 27.7, 33.1 및 54.8%로 상당히 증가하였다.

1차 자력선별에서 발생한 비자착물질 (non-Mag-I)을 2500 Gauss로 2차 자력선별하였을 때 얻어진 자착물 (Mag-II)의 주요성분은 Cu이었으며 회수율은 +3 mm에서 47%. 3~1 mm의 자착물에서 42%이었다. Ni의 회수율은 3.16~5.6%, Fe의 회수율은 4.65~6.88%정도이었다. Cu가 반자성체임에도 불구하고 이와 같이 회수되는 것은 Cu가 Ni-Fe 합금위에 코팅되어 있거나 Cu합금에 Ni와 Fe가 함유되어 있기 때문으로 생각된다. 그리고 Ag의 회수율은 +3 mm에서 64.2%, 3~1 mm의 자착물에서 26.2%이었다. +3 mm의 자착물에서 Ag의 회수율이 높은 것은 lead frame의 제조시 Ag가 전기도금된 Cu 합금이 2차 자력선별에서 회수되면서 Ag를 동반하기 때문이다.

1차 및 2차 자력선별을 한 후 배출된 금속편의 비자착물질 (non-Mag-II)은 Cu가 주요성분이었으며 회수율은 +3 mm에서 52.7%, 3~1 mm에서 57.6%이었다. 그리고 Fe의 회수율은 0.02~0.05%, Ni는 0.54~0.6%로 비자착물질 (non-Mag-II)에 거의 함유되어 있지 않았다. 반자성체인 Sn와 Pb의 회수율은 +3 mm에서 각각 96.5%, 96.6%이었으며 3~1 mm에서 53.5%, 57.6%이었다.

4. 결 론

국내의 반도체 회사에서 발생한 IC칩 스크랩으로부터 유가금속을 회수할 목적으로 스크랩의 분쇄, 자력선별 등과 같은 기계적인 전처리를 통하여 귀금속 및 유가금속을 분리하는 기초실험을 행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. cutting mill, hammer mill 및 ball mill 등을 사용한 일련의 분쇄공정을 통하여 IC칩 스크랩을 분쇄하였을 때 얻어진 분쇄물의 입도분포는 +3 mm가 7.5 %, 3~1 mm가 17.0%, 1~0.595 mm가 24.0%,

0.595~0.5 mm가 12.9%, 0.5~0.297 mm가 14.1%, 0.297~0.25 mm가 4.0%, 0.25~0.21 mm가 3.5%, −0.21 mm가 17.0%이었다.

2. 700℃에서 −1 mm의 분쇄물을 열분해하였을 때 입자크기에 따라서 21~25%의 중량감소율을 나타내었으며 본 연구에 사용된 IC칩 스크랩에는 약 18%의 가연성 플라스틱이 함유되어 있었다.
3. 입도분포에 따른 금속의 함량은 +3 mm에서 97%, 1~3 mm에서 96%, 1~0.595 mm에서 13% 및 0.595~0.5 mm에서 3.7%이었으며 Au의 99%가 −1 mm의 분쇄물에 존재하였다.
4. 700 Gauss로 자력선별하였을 때 얻어진 자착물질 (Mag-I)의 주요성분은 강자성체인 Ni 및 Fe로서 회수율은 +3 mm에서 각각 93.8%와 93.1%, 3~1 mm 자착물질에서 96.3%와 95.3%이었다.
5. 1차 자력선별에서 발생한 비자착물질 (non-Mag-I)을 2500 Gauss로 2차 자력선별하였을 때 얻어진 자착물 (Mag-II)의 주요성분은 Cu이었으며 회수율은 +3 mm에서 47%, 3~1 mm의 자착물에서 42%이었다.
6. 1차 및 2차 자력선별을 한 후 배출된 금속편의 비자착물질 (non-Mag-II)은 Cu가 주요성분이었으며 회수율은 +3 mm에서 52.7%, 3~1 mm에서 57.6%이었다. 반자성체인 Sn와 Pb의 회수율은 +3 mm에서 각각 96.5%, 96.6%이었으며 3~1 mm에서 53.5%, 57.6%이었다.

참고문헌

1. 이강인, 이재천 등 : "전자스크랩으로부터 유가금속의 회수 공정의 개발", 자원리싸이클링 소식과 정보, 창간호, 14-16 (1992).
2. Elaine, Y.L. Sun : "The Recovery of Metals from Electronic Scrap", *JOM.* **43**(4), 53-61 (1991).
3. G. Edson : "Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap", Recovering and Refining of Precious Metals, Paper 10, Skytop, PA(1980).
4. B.W. Dunning : "Precious Metals Recovery from Electronic Scrap and Solder used in Electronics Manufacture", Precious Metals Recovery Low Grade Resource, IC 9059, 44-56, U.S Bureau of Mines, Washington, D.C. (1983).
5. Y. Masuda, R. Miyabayashi and H. Yamaguchi : Japan Kokai Tikkyo Koho, JP 63 11, 627(88 11, 627) (Cl. C22B11) (1988).
6. J.H. Setchfield : "Electronic Scrap Treatment at Engelhard", Precious Metals 1987, ed. G. Vermeylen and R. Verbeeck, 147-164, Allctown, PA: IPMI (1987).
7. J. Petrovicky, P. Vejnar and J. Harman : Freiberger Forschungsh. A, A746, 115-126 (1987).
8. D. Krupka and B. Chelminski : Freiberger Forschungsh. B, B260, 88-91 (1987).
9. J. Moltasova and I. Peka : Nukleon, **3**, 12-16 (1987).
10. James E. Hoffmann : "Recovering Precious Metals from Electronic Scrap", *JOM.* **44**(7), 43-48 (1992).