

物理的 處理에 의한 廢 컴퓨터 基版으로부터 有價金屬의 分離選別 特性 研究

玄鐘泳 · 蔡泳培 · *鄭洙福

韓國地質資源研究院 資源活用研究部

A Study on the Physical Separation Characteristics of Valuable Metals from the Waste Printed Wiring Boards

Jong-Yeong Hyun, Young-Bae Chae and *Soo-Bok Jeong

Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

요 약

폐 컴퓨터 기판(Printed Wiring Boards, PWBs)은 다양한 종류의 금속 및 합금류, 각종의 유기 및 무기화합물 등으로 구성 되어 있다. 따라서 폐 기판에 포함된 유기물을 경제적인 방법으로 분리 회수하면 2차 자원으로써 활용가치가 매우 클 것으로 판단되어, 물리적인 선별기술에 의하여 유기금속을 분리 회수하는 데에 따른 특성 연구를 행하였다. 본 연구에서는 폐 컴퓨터 기판에 탑재된 소켓류와 칩류를 탈리한 다음 소켓류, 칩류 및 보드류로 분리하여 각각의 산출물의 특성에 따른 적절한 물리적 분리선별 기술을 적용하였다. 소켓류를 파쇄하여 입자크기를 $-2.36 \text{ mm} / +1.18 \text{ mm}$ 범위로 조절한 다음 건식 자력선별을 실시 하였을 때, 자성산물의 약 97 wt%가 금속류였다. 칩류의 경우에는 $-2.36 \text{ mm} / +0.15 \text{ mm}$ 의 크기로 분쇄하고 공기분급 및 건식 자력선별을 행하여 Fe-Ni 97%, Cu 95%를 각각 회수할 수 있었다. 보드류의 경우에는 금속류가 얇게 프린트 된 상태이기 때문에 가능한 단체분리 효과를 향상시키기 위하여 ball mill로 분쇄하였으며, 공기 분급기에 의한 정밀 분급을 행하여 Cu 77%를 회수할 수 있었다.

주제어: 폐컴퓨터 기판, 유기금속, 물리적 분리선별

ABSTRACT

Printed wiring boards (PWBs) of the obsolete computers are composed of various organic and inorganic compounds as well as metals and alloys. As convinced that the valuable metals obtained from the PWBs are effectively utilized as secondary resources when recovered by economical methods, in this study, an investigation for characterizing the physical separation techniques is conducted. For the recovery of them, the sockets and chips dismantled from PWBs by scraping and residual resin boards are subjected to the appropriate separation processes according to the physical properties of each part. In the case of crushed socket scraps size ranged from -2.36 mm to $+1.18 \text{ mm}$, approximately 97 wt% of the product obtained by magnetic separation consists of metallic compounds. In the case of chip scraps, 97% of Fe-Ni alloy and 95% of Cu metal are recovered by the combined process of air classification and dry magnetic separation in the size range from -2.36 mm to $+0.15 \text{ mm}$. Ball milling is adopted in order to improve the removal efficiency of the thin-printed metallic materials on the residual resin boards and approximately 77% of Cu metal is recovered by zigzag separation after ball milling.

Key words: Printed wiring boards, valuable metals, physical separation

* 2001년 7월 30일 접수, 2002년 1월 8일 수리

* E-mail: sbjeong@kigam.re.kr

1. 서 론

현대가 정보화 사회로 접어들면서 개인용 컴퓨터의 보급이 가속화되고 있으며, 컴퓨터의 고성능, 고기능화가 급속히 진행되면서 제품의 life cycle이 짧아졌기 때문에 폐 컴퓨터의 발생량은 해마다 증가하고 있다. 최근 국내에서는 폐기된 컴퓨터를 대상으로 유가금속을 일부 회수하기도 하지만, 대부분은 체계화된 자원회수 방법을 적용하지 못하여 매립처분 되거나 혹은 일부의 부분품만을 선별하여 외국으로 반출하고 있는 실정이다.

폐 컴퓨터 기판(Printed Wiring Boards, PWBs)은 다양한 종류의 금속 및 합금류, 그리고 각종 유기 및 무기 화합물 등으로 구성되어 있으며, 이를 성분별로 분류하면^{1,2)} 유리, 세라믹 및 산화물 등이 30 wt%, 플라스틱류가 30 wt%, 금속류가 40 wt% 정도 함유되어 있으므로 경제적인 방법으로 이들을 상호 분리 회수한다면, 2차 자원으로써 활용가치가 매우 클 것으로 생각된다.

현재까지 알려진 폐 컴퓨터 기판의 처리방법은 기판에 탑재되어 있는 각각의 부품을 분리하지 않고 전체를 파쇄한 후 유가금속을 회수하는 방법과 탑재된 전자부품을 분리한 후 각각의 부품을 종류별로 처리하는 방법으로 구분할 수 있다. 그러나 이들 방법은 각각의 장·단점을 가지고 있기 때문에, 외국의 경우에도 각국의 실정에 맞는 방법을 채택하고 세부기술을 개발·적용³⁻¹¹⁾하고 있다.

본 연구에서는 폐 컴퓨터 기판에 탑재되어 있는 각각의 부품을 상호 분리한 후 물리적 선별방법에 의하여 금속과 비금속을 분리 회수하는 공정을 개발하고자 하였다. 이를 위하여, 컴퓨터 기판에 탑재되어 있는 각종 부품을 탈리기를 사용하여 탈리시켰고, 기판으로부터 탈리된 각종 부품은 소켓류(sockets), 칩류(chips)와 보드

류(boards) 등으로 분리하였으며, 분리된 부품의 물리·화학적 특성을 고려하여 유가물을 분리·회수하는 공정을 선택하여 적용하였다.

소켓류의 대부분은 메인보드(mother board)에 graphic card와 IO card 등을 장착하기 위한 것과 메모리칩(RAM)이나 메인 프로세스(CPU)를 장착하기 위한 것이었으며, 각 부품의 전기적 신호를 전달하기 위한 접촉 부위는 Fe-Ni 합금으로 구성되어 있으나 나머지의 대부분은 열경화성 플라스틱으로 이루어져 있다.

한편, 칩류는 IC, CPU, 메모리 반도체(RAM), 트랜지스터, 저항체, 유전체 등으로써, 이들의 내부는 각종의 금속, 합금, 귀금속이지만, 외부는 반도체 소자를 습기, 충격 및 산화 등으로부터 보호하기 위해 사용된 비금속의 EMC(Epoxy molding compound)로 구성되어 있다.

보드류의 경우에는 대부분이 유리섬유강화 에폭시 수지에 방화제로 브롬을 첨가한 절연재료로 구성¹²⁾되어 있다. 이러한 보드에 함유된 금속은 대부분이 전기적 신호를 전달하기 위해 얇게 프린트된 구리와 뿔납 그리고 일부 탈리기에서 제거되지 못한 작은 금속핀 등으로 이루어져 있다.

본 연구에서는 이러한 부품별 특성과 공정의 경제성을 고려하여 선택파·분쇄, 자력선별, 정밀 공기분급 등의 공정을 선택하여 각 공정에서의 분리효과를 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험을 위하여 수집된 폐 컴퓨터의 기판은 80년도 후반과 90년도 전반에 사용되었던 XT, AT, IO 카드, Graphic 카드 등이 대부분이었다.

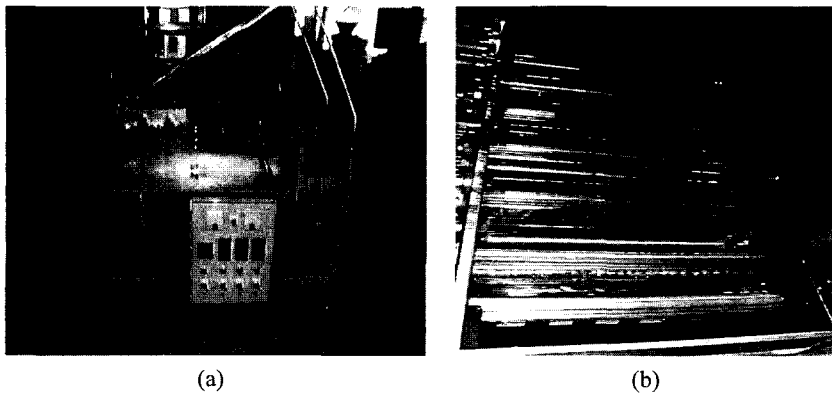


Fig. 1. Components of automatic removal apparatus.

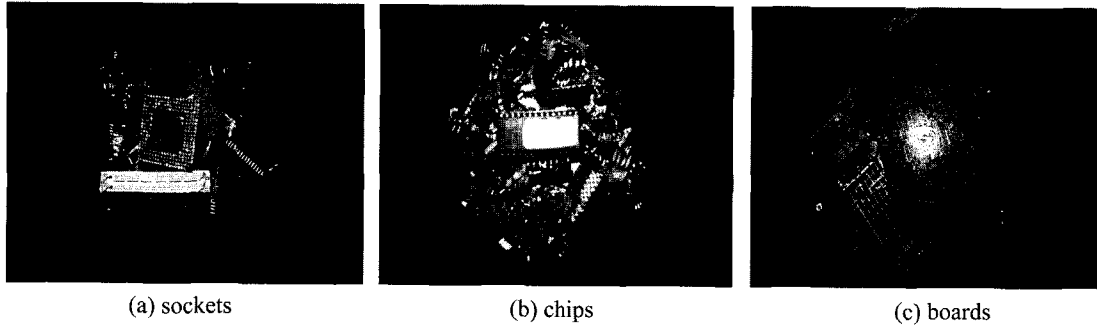


Fig. 2. Photos of dismantled PWBs.

폐 컴퓨터 기판에 탑재된 각각의 부품을 분리하기 위한 공정은 여러 가지 방법이 제안¹³⁻¹⁶⁾되고 있으나, 본 실험에서는 Fig. 1 과 같은 탈리기(Dismantler)를 사용하여 폐 컴퓨터 기판에 탑재된 각종의 전자부품을 분리하였다. 이 탈리기는 폐 컴퓨터에서 분리한 기판을 전처리 없이 약 250°C로 가열함으로써 땀납을 용융시킨 후, 회전하는 스크래퍼를 이용하여 전자부품을 탈리시키는 방식을 채택하고 있다.

폐 컴퓨터 기판으로부터 탈리된 각종 부품은 형상에 따라 소켓류, 칩류 그리고 보드류로 분리하였다. Fig. 2 는 탈리기로부터 분리된 산물의 형상을 나타낸 것으로 각각의 분리 산물에 따른 유용금속의 함유량 및 성상의 차이에 따라 적절한 분리선별 기술을 적용하고자 하였다.

소켓류는 hammer mill을 사용하여 파쇄하였는데, 이는 소켓의 경우 PWB를 구성하는 금속편 및 여타의 금속 구성물에 비하여 상대적으로 취성인 플라스틱으로 이루어져 있으며, 이들은 서로 파쇄특성이 상이하므로 파쇄단계에서 효과적인 단체분리를 유도할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 파쇄는 Hammer mill의 스크린 간격 3 mm, 회전속도 6,000 rpm으로 고정하여 행하였으며, 파쇄된 시료는 표준체로 체가름 한 후, 건식 자력선별기(High-Force Magnetic Separator, L/P10-30, International process Systems, USA)을 이용해 0.8 Tesla에서 자성 및 비자성 산물을 분리하였다.

칩류의 경우에는 효과적인 단체 분리를 위해 hammer mill로 1차 파쇄한 후, ball mill을 사용하여 2차 분쇄하였다. Ball mill을 사용한 2차 분쇄시 시료는

유효공극의 45%를 장입하여 입계 회전수의 80%로 60 분간 분쇄하였는데, 이때 분쇄효율을 향상시키기 위하여 크기가 다른 3종의 강철볼(Φ: 51, 40, 1.8 mm)을 혼합하여 사용하였다. 2차 분쇄산물 중에서는 -2.36 mm/+0.15 mm 입도의 산물에 대해서는 공기 분급(Zig-Zag Classifier, Alpine 1-40 MZM Classifier, Hosokawa Micron Group, Japan) 및 건식 자력선별을, -0.15 mm 입도의 산물에 대해서는 정밀 공기 분급(Multi-Zig-Zag Classifier, Alpine 100 MZR Classifier, Hosokawa Micron Group, Japan)을 각각 행하여 ICP-AES(JY 38plus, JOBIN Ynon, France)를 이용하여 화학성분을 분석하였다.

탑재된 부속물이 제거된 보드류는 shredder를 사용하여 4-6 mm로 1차 절단한 후, ball mill을 사용하여 칩류를 분쇄하였을 때와 같은 조건으로 180분간 분쇄하였으며, 이때의 산물은 다단으로 공기 분급을 행하여 중량물 및 경량물을 분리·회수하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 소켓류로부터 금속의 회수

Hammer mill을 이용하여 1차 파쇄한 시료는 Table 1 과 같이, 산물의 98 wt% 이상이 +0.6 mm의 입자로 산출되었다. 분쇄산물의 형태를 관찰한 결과, 파쇄 산물의 약 17 wt%에 해당하는 +4 mm 입도의 산물은 구성물질 상호간의 단체분리가 거의 이루어지지 않았으나, -4 mm/+0.6 mm 입도의 분쇄산물은 비교적 단체분리

Table 1. Particle size distribution of socket scraps crushed by hammer mill

Particle size (mm)	+4	-4/+2.36	-2.36/+1.18	-1.18/+0.6	-0.6
Distribution (wt.%)	16.8	36.1	34.5	11.3	1.3

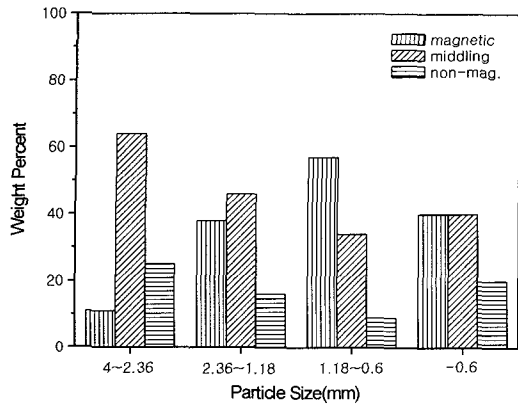


Fig. 3. Weight distribution of the products by dry magnetic separation.

가 양호하게 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 이는 컴퓨터에서 사용되는 소켓류의 연결부위는 Fe-Ni 합금으로 구성되어 있으며, 이를 지지하기 위한 부분은 열경화성 플라스틱으로 구성되어 있으므로 이들의 취성차를 이용한 분쇄 방식이 효과적으로 적용된 것으로 이해되며, 단체분리 효과가 불량한 4 mm 이상의 입도산물에 대해서는 재차 파쇄하여 모두 4 mm 이하의 입자크기로 조절한 후, 각 입도별 산물에 대해 건식 자력선별을 행하였다.

Fig. 3 은 입도별 분쇄산물에 대한 건식 자력선별 결과를 나타낸 것으로, 단체분리의 정도에 따라 분리효과는 상이하게 나타남을 알 수 있었다. 이는 단체분리효과가 비교적 우수한 작은 입자크기에서 선별효과가 양호함을 나타내는 것으로 이해할 수 있다. 즉, 파쇄산물의 입자크기가 0.6 mm로 작아질수록 자성산물의 산출량이 점차 증가하여 -1.18/+0.6 mm 입도에서 가장 우수한 분리효과를 나타낸 반면, 0.6 mm 이하의 입도에서는 오히려 분리효과가 감소하였다. 이는 Graphic card나 IO card 등을 장착하기 위한 비교적 큰 사이즈의 소켓류는 hammer mill에 의한 파쇄만으로도 단체분리가 양호하게 이루어졌으나, CPU나 IC를 보드에 접속시키기 위한 작은 크기의 소켓류는 hammer mill에 의한 파쇄만으로는 완전한 단체분리가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4 는 -1.18 mm / +0.6 mm 분쇄 산물에 대해 자력선별 후 분리된 산물의 성상을 나타낸 것으로, 각 산물의 분리효과를 평가하기 위해 화학성분을 분석하였다. 그 결과, Table 2 와 같이 자성산물(Magnetic)의 약 97 wt%가 Cu, Fe, Ni, Zn, Sn 등의 금속류로 구성되어 있었으며, 중간산물(Middling)의 경우에도 약 71 wt%가 자성산물과 동일한 금속성분으로 구성되어 있는 반면, 비자성산물(Non-Mag.)의 경우에는 약 80 wt%가 플라스틱류로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 따라서, 소켓류

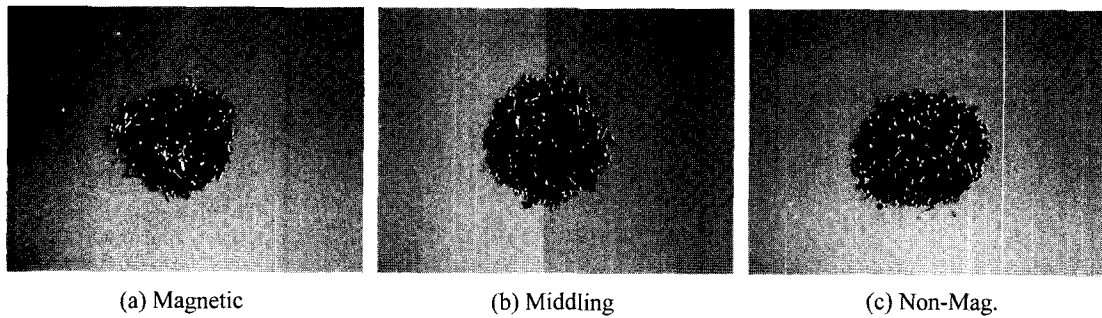


Fig. 4. Magnetic and non-magnetic products obtained in the size range from 1.18 to 0.6 mm by dry magnetic separation.

Table 2. Chemical composition of magnetic and non-magnetic products of socket scraps in -1.18/+0.6 mm fraction (unit : wt%, RE : residue)

chemical product	Al	Ni	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Au	Ag	Sb	RE
Mag.	0.08	13.40	45.23	2.67	9.95	20.90	4.37	0.00	0.01	0.02	3.37
Middling	0.14	10.59	30.59	2.28	5.65	16.60	5.16	0.00	0.01	0.40	28.58
Non-Mag.	0.23	3.54	6.45	0.72	0.28	5.62	1.75	0.00	0.01	1.27	80.13

Table 3. Particle size distribution of ball milling product for the chip scraps

Particle size (mm)	+2.36	-2.36/+1.18	-1.18/+0.6	-0.6/+0.3	-0.3/+0.15	-0.15/+0.075	-0.075/+0.045	-0.045
Distribution (wt.%)	4.9	14.4	5.9	16.1	16.1	5.3	20.6	16.6

의 경우는 hammer mill에 의한 선택 파분쇄 및 건식 자력선별에 의해 대부분의 유용금속을 효과적으로 분리, 회수 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 칩류로부터 금속의 회수

소켓류의 경우 hammer mill을 사용한 1차 파쇄와 자선만으로도 금속류의 대부분을 비교적 양호하게 분리 회수할 수 있었으나, 폐 컴퓨터 기관의 주된 처리 대상이 되는 칩류의 경우는 대부분의 금속이 미립이나 섬유상의 형태로 존재하기 때문에 1차 파쇄만으로는 효과적인 단체분리가 이루어지지 않았다. 따라서, 효과적인 단체분리를 유도하기 위하여 hammer mill을 사용하여 1차 파쇄한 시료에 대해 ball mill을 사용하여 2차 분쇄하였으며, 비중 및 자력 감응력의 차이에 의한 분리효과를 얻기 위해 공기 분급에 의한 입자 분리와 건식

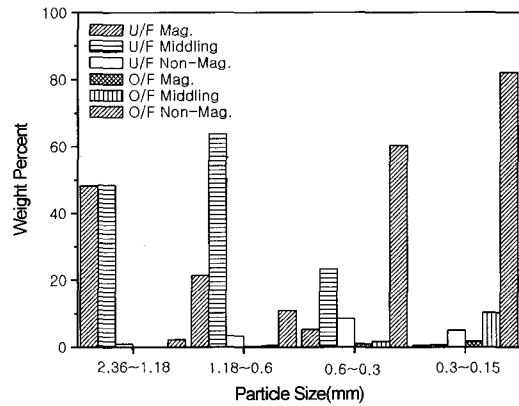


Fig. 5. Weight distribution of the products separated by air classification and magnetic separation.

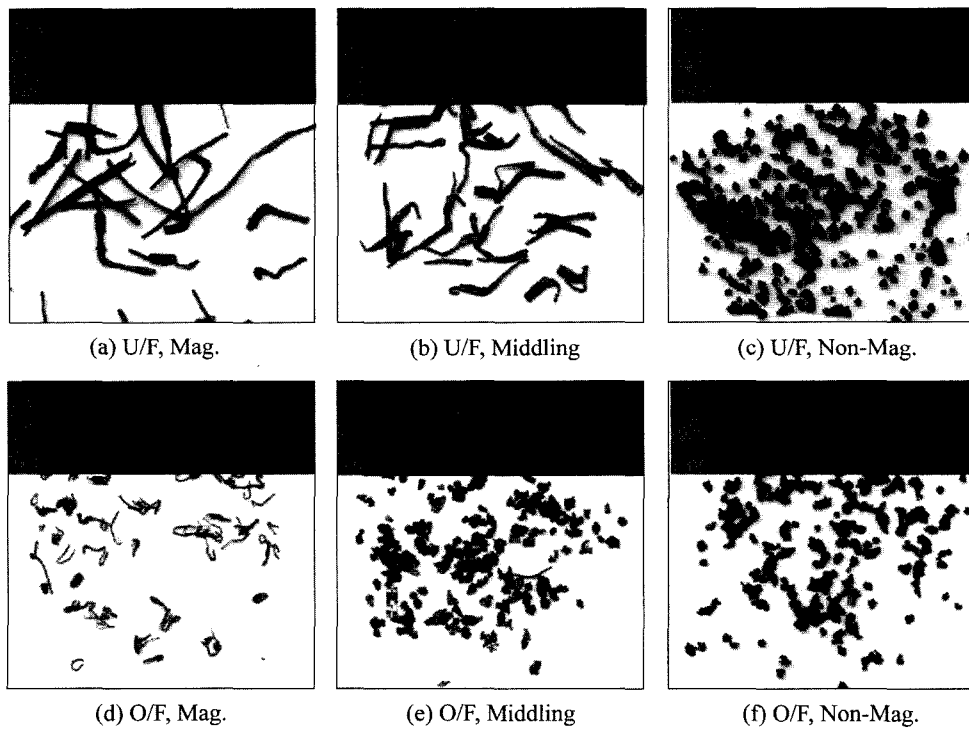


Fig. 6. Photos of the products obtained by air classification and magnetic separation.

자력선별을 병용하여 유용금속을 분리, 회수하였다.

Table 3은 ball mill에 의해 2차 분쇄한 산물을 체분리 한 후 입도별 산출량을 나타낸 것으로, 분쇄산물의 95 wt% 이상이 2.36 mm이하에 분포하고 있었다. 그러나, ball mill에 의해 분쇄된 산물은 체분리를 한 경우에도 입자크기에 따른 선별이 양호하게 이루어지지 않을 뿐만 아니라 동일한 입자크기를 가지고 있는 경우에도 금속과 비금속이 혼재하고 있었다. 따라서, 이들의 분리선별은 단일 선별기술을 적용하는 것만으로는 분리효과를 향상시킬 수 없을 것으로 판단되어, 입자의 비

중치를 이용한 공기분급과 자력 감응력의 차를 이용한 자력선별 기술을 순차적으로 적용시켜 유용성분의 분리효율을 향상시키고자 하였다.

Fig. 5는 공기분급에 의해 분리된 중량물(U/F)과 경량물(O/F)에 대해 각각 자력선별을 실시한 후 분리된 산물의 산출량을 나타낸 것으로, 입자크기가 0.15 mm 이상인 분쇄산물의 경우에는 대부분의 자성 산물이 중량물에 농축되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 분쇄산물의 입자 크기가 작아질수록 비자성 산물의 함유량이 점차 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이는 Fig. 6에서와

Table 4. Chemical composition of the products separated by air classification and magnetic separation (unit : wt%, p : ppm, RE : residue)

			Al	Ni	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Au	Ag	Sb	RE
I	U/F	M	0.079	36.7	3.14	2.0	0.17	54.79	3.11	92p	0.096	95p	0.01
		P	0.0046	0.21	87.18	3.87	0.31	2.37	5.91	12p	0.13	0.014	0.01
		N	0.044	10p	57p	0.058	27p	0.034	59p	297p	0.10	0.17	99.59
	O/F	M	0.033	32.16	1.23	4.42	0.46	54.72	6.68	52p	708p	0.14	0.16
		P	3.79	2.65	78.85	0.65	0.23	4.71	0.93	0.13	0.22	62p	7.84
		N	3.00	0.038	2.77	6.41	0.12	0.25	6.20	17p	0.14	1.45	79.62
II	U/F	M	0.063	30.73	1.95	3.17	0.14	60.75	2.53	80p	0.11	0.065	0.49
		P	44p	0.38	85.54	4.36	0.50	2.06	7.07	20p	945p	0.016	0.07
		N	0.075	0.013	2.55	1.38	0.018	0.11	2.02	62p	200p	0.12	93.71
	O/F	M	0.031	37.61	1.25	1.96	0.17	54.86	3.91	162p	478p	0.21	0.01
		P	1.71	0.71	40.35	3.68	0.75	3.07	4.25	403p	0.25	0.68	44.55
		N	0.86	0.027	1.05	14.41	0.064	0.31	20.42	40p	0.12	1.20	61.54
III	U/F	M	0.043	35.22	1.76	2.88	0.17	53.78	6.13	89p	725p	0.011	0.01
		P	0.0066	0.37	92.32	1.63	0.31	2.00	3.22	54p	833p	82p	0.15
		N	0.074	0.023	3.79	10.43	0.064	0.072	13.45	440p	742p	0.11	71.99
	O/F	M	0.027	34.49	0.44	0.90	0.53	54.04	1.82	173p	993p	0.027	7.73
		P	1.90	0.20	5.66	6.66	0.40	2.09	8.03	186p	0.11	1.04	73.91
		N	0.61	0.016	0.39	3.14	0.031	0.099	1.49	675p	0.18	0.49	93.55
IV	U/F	M	0.035	24.20	0.81	0.30	1.14	51.23	0.22	414p	0.14	71p	21.93
		P	0.06	0.26	31.66	8.34	0.33	1.00	9.75	0.10	0.20	0.099	48.20
		N	0.095	0.017	1.63	7.65	0.47	0.078	5.95	0.16	0.12	0.059	83.77
	O/F	M	0.17	1.58	0.63	0.96	3.97	16.55	1.03	134p	0.13	0.12	74.86
		P	0.84	0.047	0.16	2.91	0.12	0.59	3.26	128p	0.10	0.45	91.52
		N	0.18	0.0065	0.023	1.40	0.17	0.13	0.41	293p	0.13	0.42	97.14

**I: -2.36 mm / +1.18 mm, II: -1.18 mm / +0.6 mm, III: -0.6 mm / +0.3 mm, IV: -0.3 mm / +0.15 mm, U/F : under flow, O/F : over flow, M: mag, P: middling, N: non-mag.

같이 과분쇄 공정에서 금속류가 전성과 연성 때문에 분쇄되지 않은 반면, 비금속 재질의 경우에는 상대적으로 보다 작게 분쇄되었기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4는 산물의 화학성분 분석 결과를 나타낸 것으로, 자성 산물의 경우는 대부분 Fe-Ni 합금으로, 중간 산물의 경우에는 Cu가 주된 성분인 것으로 확인되었으며, 그 외 소량의 Fe, Ni, Pb, Sn등이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 그러나 비자성 산물의 대부분은 플라스틱류가 주류를 이루고 있었다. 따라서 칩류를 구성하는 금속 및 합금류와 비금속류를 각각 분리 회수하기 위해서는 입도별로 체가름 한 산물에 대해 공기 분급 등과 같은 비중선별을 통해 중량물과 경량물을 분리한 후 자력선별에 의해 금속과 비금속을 각각 분리 회수하는 공정이 효과적이라고 판단된다.

또한, 입자의 크기가 작아질수록 자력에 의한 감응력이 급속히 감소하므로, 0.15 mm 이하의 분쇄산물은 정밀 공기 분급을 행하였다. 이는 입자크기가 미세한 경우에는 자력 감응력의 차이를 이용하기보다는 비중차이에 의한 분리효과가 우수할 것으로 판단되었기 때문이다. Fig. 7은 0.15 mm이하의 체 분리 입도별 산물에 대하여 다단으로 정밀 공기분급을 실시하고 중량물, 중간산물 및 경량물로 분리하였을 때 산출물의 입도별 중량분포를 나타내었으며, Table 5 에는 이들 각각의 입도별 산출물에 대한 화학성분 분석 결과를 수록하였다. Table 5 에서와 같이, 중량물로 분리된 산물 중에는 Au와 Ag와 같은 귀금속류는 물론 재활용이 가능한 금속 성분의 함유량이 우세함을 알 수 있다.

Table 4 와 5 의 화학성분조성 분석결과를 종합하면,

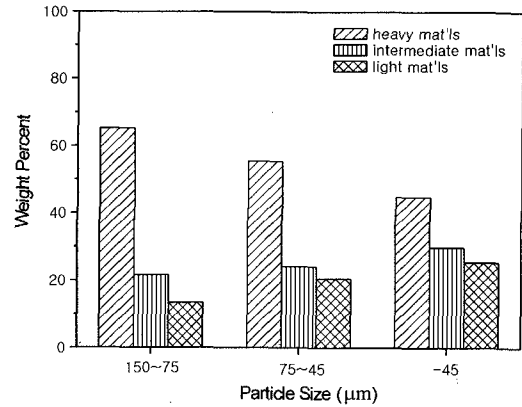


Fig. 7. Weight distribution of the products separated by multi-zig-zag separation under 0.15 mm fraction.

컴퓨터의 칩류로 분류된 부품은 비금속류가 약 57 wt%, 금속류가 약 43 wt%를 차지하고 있는 것으로 판단되며, 금속류 중에서는 약 36 wt%가 Fe-Ni 합금, 약 41 wt%는 Cu, Pb와 Sn은 각각 20 wt%정도 함유되어 있음을 알 수 있었다.

이상의 분리공정에서는 -2.36 mm/+0.15 mm 입자크기 산물에 대한 공기 분급 및 건식 자력선별을 통하여 Fe-Ni 합금이 82% 이상 포함된 자성산물을 약 19 wt%(회수율 97%), Cu가 75% 이상인 약자성 산물 23 wt%(회수율 95%)를 각각 분리 회수할 수 있었다.

3.3. 보드류 (Boards) 에서 금속 회수

컴퓨터의 인쇄회로 기판은 전기전도도가 우수한 Cu,

Table 5. Chemical compositions of the product separated by multi-zigzag separator

(unit : wt%, p : ppm, RE : residue)

size (µm)		Al	Ni	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Au	Ag	Sb	RE
150~75	H	0.19	0.23	0.093	6.27	1.41	1.64	0.97	0.15	0.26	0.28	88.51
	I	0.096	0.039	0.042	0.68	0.14	0.44	0.32	37p	867p	0.75	97.49
	L	0.72	0.22	0.087	3.38	0.73	2.43	0.23	38p	913p	1.07	91.13
75~45	H	0.70	1.11	0.53	9.98	4.25	8.63	1.10	633p	0.24	0.42	73.04
	I	0.22	0.23	0.11	2.62	1.00	1.93	0.34	34p	893p	1.13	92.42
	L	0.61	0.32	0.22	5.87	1.37	5.03	0.53	46p	816p	0.98	85.07
-45	H	0.49	0.75	0.39	8.53	3.19	7.03	0.75	95p	0.14	0.52	78.21
	I	0.36	0.34	0.20	4.96	1.52	5.22	0.46	41p	819p	0.78	86.16
	L	0.53	0.25	0.21	4.85	1.01	4.33	0.51	38p	729p	1.16	87.15

H : heavy materials, I : intermediate materials, L : light materials

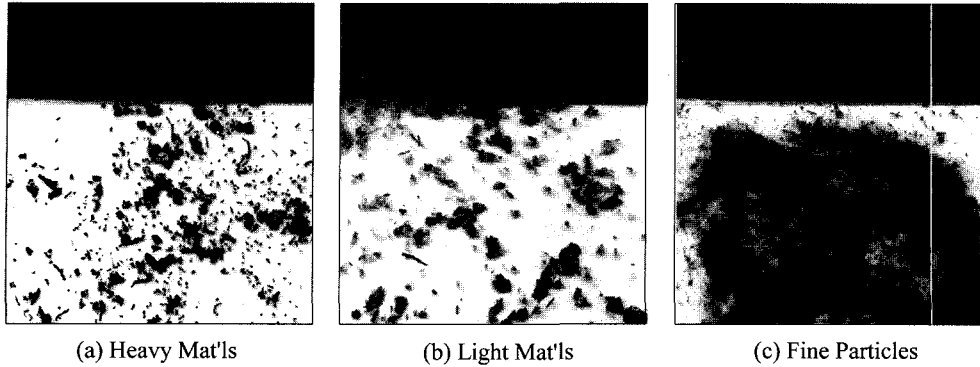


Fig. 8. Photos of the products separated by zig-zag classifier.

혹은 여타의 금속으로 전기회로를 인쇄하였기 때문에 금속의 존재는 얇은 막으로 구성되어 있으며, 기판의 재질은 여러 종류의 비금속으로 구성되어 있기 때문에 물리적 방법에 의하여 금속만을 분리하는 데에는 제한요인이 많다. 따라서, 가능한 단체분리의 효과를 향상시키기 위하여 shredder를 사용하여 1차 절단하고 ball mill을 사용하여 대부분의 분쇄입자의 양호한 단체분리효과를 얻을 수 있도록 1.18 mm 이하로 분쇄하였는데, 이는 금속성분과 비금속 성분의 파쇄특성을 이용하기 위함이며, 이들의 회수에는 비중차이를 이용하는 공기 분급 기술을 적용하였다.

분쇄산물 중 미립산물은 분급기의 분급점을 비중 3.0 이하의 비금속 분체를 기준으로 200 mesh를 분급하는 조건을 부여하였고, 중량물에는 금속편만이 농축되도록 분급조건을 조절하였다. 이때, 분급 산물별 산출물의 성상은 Fig. 8 과 같으며, 각 분리 산물의 산출량은 Fig. 9 에서와 같이 미립 분말상태로 51 wt%, 중량물로는 20 wt%로 각각 분리, 회수되었다.

공기분급 산물에 대한 화학성분을 분석함으로써 분급에 의한 금속성분의 회수특성을 조사하였다. Table 6 의 분석 결과에서와 같이, 중량물로 분리된 산물의 대부분은 Cu로 구성되어 있었으며, 땀납의 주요 성분인 Pb와 Sn이 소량 포함되어 있었다. 또한, 미립 산물로 분리된

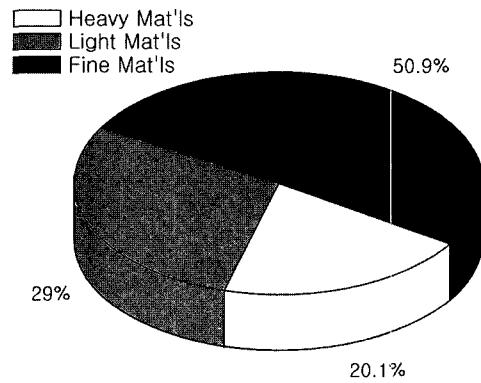


Fig. 9. Weight distribution of the products separated by zig-zag classifier.

산물 중에는 소량의 Al과 Cu가 함유되어 있었으나, 대부분의 성분은 플라스틱 성분이 주류를 이루고 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, Fig. 9 와 Table 6 의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 보드류의 경우에는 ball mill로 분쇄된 후 다단계의 공기 분급공정에 의하여 Cu의 품위가 약 70%인 중량물을 20 wt% 회수(Cu의 회수율 77%)할 수 있었다.

이상의 결과에서와 같이, 각종 전자부품이 제거된

Table 6. Chemical compositions of the products separated by zigzag separator

(unit : wt%, p: ppm, RE : residue)

	Al	Ni	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Au	Ag	Sb	RE
Heavy materials	0.16	0.31	69.19	6.28	0.22	1.85	12.65	76p	756p	0.012	9.33
Light materials	3.78	0.036	8.33	0.15	0.039	1.54	0.25	17p	53p	48p	85.88
Fine materials	4.55	0.047	3.46	0.36	0.023	0.99	0.58	34p	210p	42p	89.99

resin board에는 보드류 등의 비금속이 73 wt%정도이고, 전기배선 등의 금속류가 27 wt%정도로 구성되어 있었으며, 특히 금속류중 Cu가 67 wt%정도 함유되어 있고, Pb나 Sn등의 기타금속의 함유량은 33 wt% 수준임을 알 수 있었다.

4. 결 론

폐 컴퓨터 기판으로부터 유가금속을 효과적으로 분리 및 회수하는 기술개발을 위하여 폐 기판에 탑재된 소켓류, 칩류와 보드류를 탈리하고 이들 각각에 대해 물리적 처리방법에 의한 금속 회수특성을 검토하였는 바, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

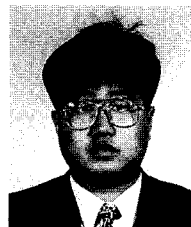
1. 소켓류의 경우에는 hammer mill을 이용한 파쇄 및 자력선별 공정을 이용하여 -2.36 mm / +1.18 mm의 입도에서 금속성분이 97 wt%정도 함유된 산물과 비금속을 80 wt% 함유한 산물로 분리 선별할 수 있었다.
2. 칩류의 경우에는 소켓류보다는 작은 입도에서 단계분리가 이루어졌으며, ball mill로 분쇄하여 2.36 mm이하의 입도로 조절한 후, 공기분급 및 자력선별을 실시함으로써 Fe-Ni은 97%, Cu는 95% 정도를 회수할 수 있었다.
3. 보드류의 경우에는 ball mill로 분쇄된 후, 다단계의 공기 분급공정에 의하여 Cu의 77%정도를 회수할 수 있었다.
4. 이상의 연구결과는 폐 컴퓨터 리사이클공정의 확립을 필요로 하는 경우에는 물리적 처리의 기본특성을 이해하는 데에 참고자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Elaine Y. L. Sun, : "The Recovery of Metals from Electronic Scrap", JOM, 43(4), pp 53-61 (1991).
2. J. E. Hoffmann : "Recovery Precious Metals from Electronic Scrap", JOM, 44(7), pp 43-48 (1992).
3. Schikora Arno : "Mechanical removal of electronic components from printed circuit boards", DE patent, DE-4205405 (1992).
4. Hong C. Zhang and Tsai-Chi Kuo : "Disassembly Model for Recycling-Personal Computer", Technical Papers of

the North American Manufacturing of SME 1996, 1996. 5.21, pp139-144.

5. Peter Kopacek, Gernot Kronreif : "Semi-Automated Robotized Disassembling of Personal Computers" Proceedings of the 1996 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation-Volume 2, v. 2, 1996. 11. 18, pp567-572.
6. Clegg, A. J. and Williams, D. J. : "The Strategic Implications of Recycling and Design for Disassembly in the Electronics Industry", Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1994, pp. 6-12.
7. Feldmann, K. and Scheller, H. : "The Printed Circuit Board-A Challenge for Automated Disassembly and for the Design of Recyclable Interconnect Devices", CONCEPT-Conference on Clean Electronic Products and Technology, 1995, IEE Conference Publication n. 415, pp.186-190.
8. J. G. Day : US. Patent 4,427,442 (1984).
9. J. Kaltenbaeck etc.. Metall (Berlin), v. 39(11). (1985).
10. R. Verbeeck, F. Lauwersand and G. Vermeylen : "The Recycling and Recovery of Precious Metals integrated in Mho's Smelter", Platinum Group Metals Seminar, 1985, pp3-12, Washington D.C. (1986).
11. T. Storbrock Verein Deutscher Ingenieure Nachrichten, v. 38(9), (1984).
12. A. Bernardes, I. Bohlinger and D. Rodriguez et al., "Recovery of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidising/Reducing top Blowing Process", EPD Congress by B. Mishra, The Mineral, Metals & Material Society, pp 363-375, (1997).
13. 富岡恒憲 : "ごみが資源なら日本は資源大國,分別とエネルギー回収に新技術", 1997. 8, pp 51-52, 日経メカニカル.
14. 西堀貞夫 : JP patent, 特開平10-296225 (1998).
15. 金子朋子の : JP patent, 特開平9-103761 (1997).
16. 椎野徹의 : JP patent, 特開平10-147819 (1998).



玄 鍾 泳

- 1990년 상지대 자원공학과 학사
- 1992년 인하대 자원공학과 석사
- 1999년 인하대 자원공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부

