

# 전자산업 폐기물로부터 부품별 자원화 기술 동향

김남철·이재찬\*  
공주대학교 신소재공학부\* / 한국지질자원연구소 자원활용연구부  
nckim@mail.kongju.ac.kr

## 1. 서론

최근 국내 전자산업의 발달과 정보화기술의 발전은 대한민국을 세계적인 IT(Information Technology)강국으로 인식시키는데 지대한 영향을 미치고 있다. 특히, 정보화 시대가 가속화됨에 따라 개인용 컴퓨터(Personal Computer: PC), 무선통신용 휴대폰 및 주변기기 등 정보통신관련 제품은 기존의 TV, 냉장고와 같은 가전전자에 비하여 폭발적으로 증가하고 있다. 그 예로, 컴퓨터의 국내 보급량은 2000년 현재 2,000만대 수준이며, 90년대 중반부터 사용되기 시작한 휴대폰 역시 현재 ~2,000만대 이상 보급되어 있는 것으로 집계되고 있다. 전자기기 관련기술의 비약적 발전과 유선 및 무선의 다양한 인터넷 성능이 더욱 강조되고 있는 컴퓨터를 포함한 정보통신 기기의 경우에는 고성능, 고기능을 구현하기 위한 부품 교체가 잦아지면서 제품의 life cycle이 심지어 수개월로 단축되어, 이에 따라 폐기되는 정보기기의 처리문제가 새롭게 대두되고 있다. 이러한 전자산업의 발전은 결과적으로 컴퓨터, 통신기기 및 전자부품 등을 포함한 전자산업 폐기물의 발생량을 급격히 증가시키고 있다.

1998년 한국자원재생공사가 발표한 자료(Table 1)에 의하면, 폐기되는 컴퓨터의 물량은 1999년도에 20만에서 2000년에 40만대로 예측되었으나, 실제로는 100만여대가 폐기된 것으로 보고되고 있다. 휴대폰(배터리 포함)의 경우 폐기되는 물량에 대한 정확한 자료가 집계되지 못하고 있으나, 주요 업체의 생산량에(Table 2) 근거하면 100 ~ 200만대 이상의 상당한 물량이 폐기되고 있다고 예측된다.

이와 같이 발생량이 급증하고 있는 폐정보기기의 리사이클링은 유가자원의 회수만 아니라 환경오염 방지효과 측면이 고려되어 선진국에서는 재활용업체의 등장 이 이루어지고 있으며, 최근 국내에서도 중고 컴퓨터 재이용업체, 폐정보기기의 해체처리에 의한 유가자원 회수업체, 귀금속 및 희유원소를 포함한 폐 전자스크랩을 수집하여 수출하는 업체 등이 설립되고 있다.

폐기되는 컴퓨터 및 휴대폰 뿐만 아니라 이러한 정보기기용 부품 소재 등을 생산하는 현장에서 발생하는 공정 폐기물도 간과할 수 없다. 특히, 금(Au), 백금(Pt), 탄탈(Ta) 등 귀금속을 함유되어 있는 IC칩류, PCBs(인쇄회로기판), transistors류, connector류, 탄탈 capacitors 등과 Ni, Cu 등 희유금속을 다량 함유하고 있는 적층세라믹 capacitor(MLCC), 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu) 등을 다량 포함하는 IC-lead frame 그리고 Ni, Co 등을 포함하는 폐전지(2차 전지) 등으로부터 유용자원의 회수·활용은 새로운 자원창출의 효과를 얻을 수 있다.

현재 컴퓨터를 포함한 정보통신기기들은 계속된 성능 향상과 폐기 절차의 복잡성으로 적절하게 배출되지 못

Table 1. Estimation of Obsolete Personal Computer in Korea<sup>11)</sup> (천개)

구분	'95	'96	'97	'98	'99	2000
P 배출잠재량	403	637	665	805	1,154	1,386
C 실 폐기량	121	191	200	242	346	416
휴대폰 배출잠재량	163	213	237	415	469	703
휴대폰 실 폐기량	49	64	71	125	141	211

Table 2. Production of Mobile Cellular Phone in the World<sup>19)</sup> (백만)

	'95	'97	'99	2001	2003
세계	150	200	300	380	420
국내	1	6	35	55	75

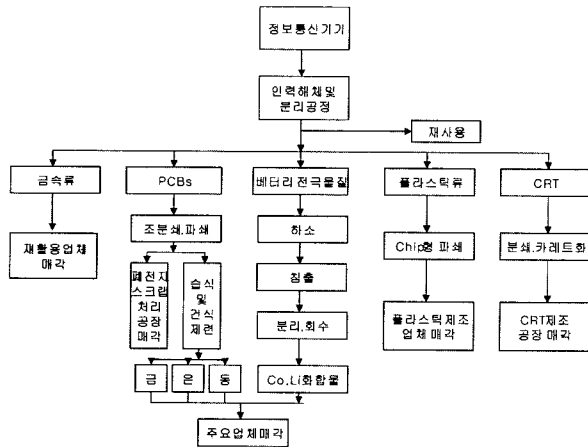


Fig. 1. The Schematic diagram of recovery materials from the obsolete electronics.<sup>13)</sup>

하고 각 가정이나 사무실에 산재되어 있다. 이들 잡재 폐기물은 조만간 막대한 고품폐기물로 쏟아져 나와 중요한 사회적, 환경적 문제로 등장하게 될 것이다. 특히, 보급 대수가 1999년에 280만대, 2000년대에 400만대나 신규 공급되고 있는 컴퓨터의 경우 향후 폐기되는 배출량은 급격히 증가할 것으로 예상됨에 따라 폐컴퓨터의 리사이클링 기술개발에 대한 필요성은 유가자원의 회수 측면뿐만 아니라 심각한 환경오염 문제를 고려할 때에도 증대되고 있으며, 이러한 종합기술의 개발은 다른 폐자원의 리사이클링 분야의 기술 발전에 기여할 것으로 사료된다.

따라서 각종 산업분야에서 발생되고 있는 폐기물 중에서 리사이클링이 가능한 폐자원의 회수기술 개발이 보다 신속하게 이루어져야 할 것이므로, 이러한 2차 자원으로부터 유가물의 회수 및 원료 소재화를 위한 신기술 개발에 대해 보다 능동적인 대처가 필요하다. 그 중에서 컴퓨터를 포함한 폐기되는 정보통신기기는 플라스틱, 유리, 무기소재 뿐만 아니라 금(Au), 은(Ag), 백금(Pt) 등의 귀금속, 동(Cu), 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 철(Fe), 주석(Sn), 납(Pb) 등의 유가금속 그리고 이트륨(Y), 유프리움(Eu) 등의 희토류 원소 등을 다량으로 포함하고 있어 국내자원이 부족한 우리나라의 현실을 고려해 보면 폐기되는 정보통신기기는 중요한 2차 자원이라 할 수 있다. 따라서 본 기고에서는 폐기되는 정보통신기기로부터 귀금속 및 유가자원의 회수기술, 즉 전자

Table 3. Estimation of Recovery of Materials from the Obsolete PC<sup>11)</sup>

	대당 추출 가능량(g) 1년	60만대 처리시 예상회수량
Au	0.3-0.6	180-360 kg
Ag	2.3-9.0	1,380-5,400 kg
Cu	100	60 t
iron	6,000	3,600 t
oil	2,000	1,200 t
Al	500	300 t
plastics	3,000	1,800 t
glass	7,000	4,200 t

산업 폐기물의 리사이클링에 대한 국내의 기술개발 현황을 기술하고자한다.

## 2. 정보통신 기기의 리사이클링 주요 성분

대표적인 정보통신기기인 컴퓨터(PC)는 크게 모니터, 본체 및 키보드로 구성되며, 모니터는 housing(플라스틱)과 CRT로 본체는 housing(플라스틱, 강판)과 PCB류(main board 및 기타) 그리고 키보드는 자판과 PCB류로 구성되어 있다. 휴대폰의 경우는 housing(플라스틱, 금속), 액정표시판, PCB 및 배터리이며, 프린터를 포함한 기타 정보기기 등도 대부분 housing 및 PCB류로 구성되어 있다. 기기 별로 구성에 따라 약간의 차이점이 있으나 대부분의 정보통신기기는 해체-분리-회수의 과정을 거치게 된다. 분리과정 후 플라스틱 등의 비금속류와 PCB(인쇄회로기판), IC 및 범용 칩류, 배터리 등의 귀금속 및 유가금속이 포함된 전자스크랩 류 그리고 고철, glass 및 기타 스크랩 류 등으로 구분되어진다. 이러한 폐기자원에서 회수되는 규모의 한 예로 2000년 폐기 처분된 컴퓨터 60만대를 기준 하여 발표한 자료에 의하면(Table 3), 180~360 kg의 금(Au)이 회수될 수 있다. 이를 현 시세(5,500/1돈)로 계산하면, 26~54억원 수준이고, 부산물로 추출되는 은(2.3~9 g/대), 구리(~100 g/대), 팔라듐, 니켈 등 유가금속을 포함하면 폐컴퓨터 60만대에서 회수되는 유가원소만 대략 100억 원에 육박할 것으로 계산된다.

그러나 위와 같은 재활용의 사례는 컴퓨터를 포함한 폐기되는 모든 정보통신기기 등을 재활용 할 수 있는 전체 처리 시스템이 갖추어져 있어야 하나 국내는 해외에

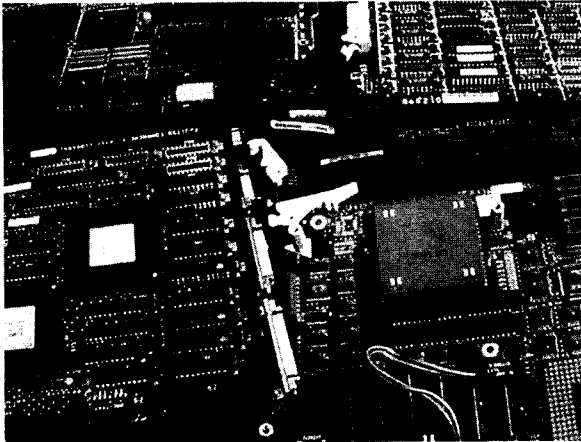


Fig. 2. Print Circuit Boards(PCBs) from the obsolete electronics.

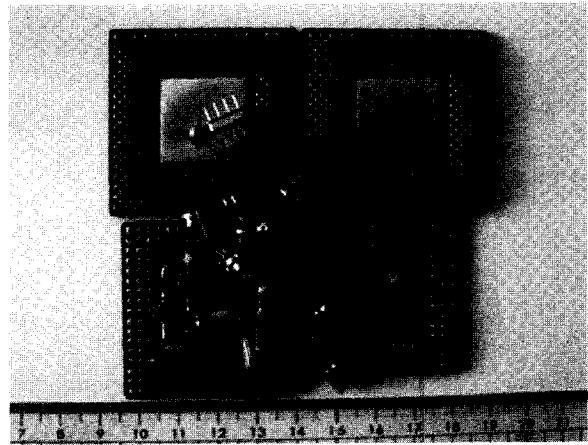


Fig. 3. Electronic devices(CPU, IC, etc.) installed in PCBs.

비하여 아직 미비한 실정이다. 단지, 부분적으로 리사이클링에 관여하는 소규모 업체가 구미 등 몇 곳에 있을 뿐이며, 수작업으로 해체하여 쉽게 회수할 수 있는 유가물만 회수하는 정도이고 일부의 회사에서는 유가물이 집중된 부품을 해외에 판매하는 시스템을 채택하고 있기도 하다.

폐기되는 정보통신 기기의 리사이클링 기술은 이러한 폐기물을 수집하여 분리하는 방법(수동/자동)이 중요한 사항이고 사용 가능한 것은 일부 분리하여 재사용하고 폐기되는 것은 재료 종류별로 분류한다. 여기에서 순수 금속 및 플라스틱류는 손쉽게 재활용 처리 될 수 있으나, 유가자원이 포함되어 있는 CRT, PCB류, 칩류, 배터리에서의 유효자원 회수는 좀 더 복잡한 독자기술을 확보하여야 한다. 일반적으로 컴퓨터, 프린터 등 정보통신기기의 재활용 처리공정은 비슷하므로 세계적으로 알려진 폐컴퓨터의 리사이클링 처리공정의 일부를 Fig. 1에 도시하였다.

폐기되는 정보통신기기를 합리적으로 재활용하기 위해서는 우선 부품별로 해체하여 재사용이 가능한 부품을 선별함이 필요하고, 재사용이 불가능한 부품은 재질별로 분리 선별하는 작업이 이루어져야만 재활용이 가능해진다. 또한, 여러 가지의 기능을 가지는 부품을 탑재한 PCB, 칩류, CRT 그리고 배터리 등은 복잡한 재료들로 구성되어 있으므로 이들의 처리는 별도의 공정을 사용하여만 재질별 분리가 가능하게된다.

### 3. 부품별 리사이클링 회수기술

#### 3.1 PCBs

##### 3.1.1 페PCBs의 주요 원소

대부분의 정보통신기기에 내장되어 있는 PCBs(인쇄 회로기판)에는 다량의 유가금속들이 함유하고 있어 전자폐기물 리사이클링의 원동력이 되고 있다. Fig. 2에서 보듯이 PCBs에는 크게 기판과 기판에 탑재되어 있는 전자부품들로 구분되는데 조성은 성능과 제조 년도에 따라 달라지며 무기 및 유기화합물뿐만 아니라 금속들로 구성되어 있다. 그리고 Fig. 3에서 보여지는 각종 PCBs에 탑재되어 있는 CPU 및 전자부품들에는 Au가 약 0.05 ~ 0.2 g/set 정도가 함유되어 있다. 일반적으로 PCBs의 성분별 함량은 유리, 세라믹과 산화물이 30%, 플라스틱이 30%, 금속이 40% 정도로 알려져 있다. 세부적으로, PCB의 기판은 유리강화섬유(Fiber Reinforced: FR) 에폭시 레진에 방화제로 Br를 첨가하여 만들어지며, 내부에 Cu 도체층이 삽입되어 있다. 표면에는 회로 선로용으로 다량이 Au가 포함되어 있는 Cu 도금 처리를 한다. 또한 기판에는 connectors, IC, transistors, capacitors, inductors, resistors 등과 같은 모든 종류의 전자부품들이 탑재되어 있다. 이러한 전자부품들은 다양한 원소들을 함유하고 있는데 주요 원소로는 Cu, Au, Zn, Ni, Fe, Pb, Ag, Ta, Pd, 등이 있다.

Table 4에 일본과 독일의 연구자들이 보고한 페PC의

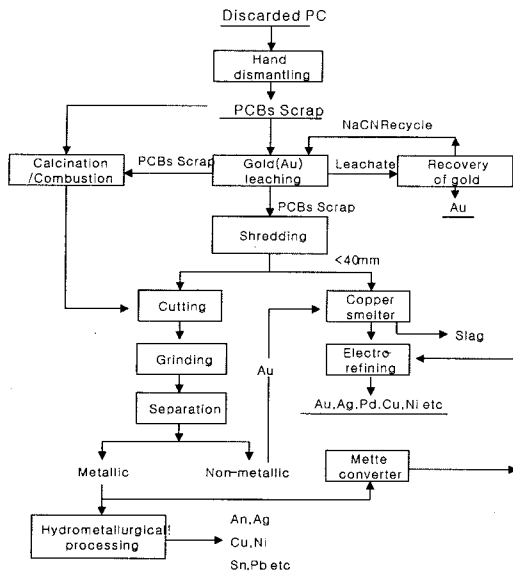


Fig. 4. Flowchart for recovering valuable metal components from the PCBs and chips.<sup>1)</sup>

Table 4. Composition of printed circuit boards(PCBs)<sup>1,4)</sup>

Element	Composition(%)	
	Japan	Germany
Ag	0.065	0.005
Al	0.61	4.74
Au	0.072	0.007
Br		2.95
Ca	1.27	
Cd	0.003	
Co	0.023	
Cr	0.004	0.108
Cu	19.4	2.98
Fe	2.07	7.68
Mn	0.06	1.78
Ni	2.59	0.204
Pb	3.44	1.0
Pd		≤0.15
Rh		≤0.16
Sn	5.36	1.63
Zn	0.171	1.416

PCBs에 함유된 주요 원소들의 조성을 나타낸 것으로 표에서 보듯이 나라별로 폐PCBs의 조성에 차이가 있다. 이것은 앞서 서술한 바와 같이 PC의 성능과 제조 년도에 따라 달라지며, 따라서 문헌상에 발표된 PCBs의 화학분석 결과에도 많은 차이가 있다. 최근 폭발적으로 보급되는 휴대폰용 PCB는 기기의 외형크기의 제약과 고주파 무선통신 특성상 다층 PCBs(Multilayer PCB: MLB)와 고가의 통신부품들을 사용함으로써 Au, Ag, Cu 등의 상당한 고가의 유가금속들을 다량 포함하고 있다.

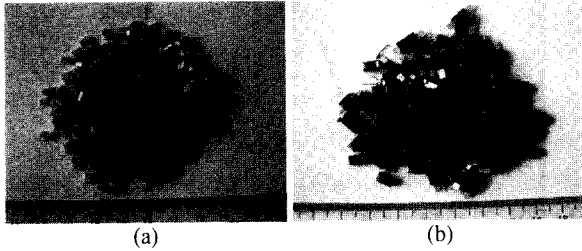
### 3.1.2 PCBs로부터 유가원소 회수기술

PCBs로부터 유가금속을 회수하는 기술은 일반적으로 전처리기술, 건식제련 기술, 습식제련 기술로 대별되며 회수하고자 하는 금속의 종류에 따라서 달라진다. PCBs는 먼저 전처리 공정을 거친다. 적절한 전처리 공정의 선택은 높은 회수율, 쉽고 효율적인 유가금속의 분리정제로 귀결되므로 주의 깊게 선택되어야 한다.

PCBs의 리사이클링 공정은 일반적으로 크게 i)스크랩의 전처리 공정, ii) 농축공정, iii) 정련공정의 세 가지로 나뉘어 진다. 전처리 공정에서 PCBs는 해체, 절단, 분쇄 공정을 거쳐 최종적으로 분류되어지며, 농축공정에서는 분류된 PCBs 분쇄물의 선별, 농축이 이루어지고, 금속 농축 물은 정련단계에서 정제, 회수된다. 상업적인 플랜트의 대부분이 건식법과 습식법을 혼용하고 있다.

#### i) 전처리 기술

- 수작업해체 및 분류(Hand dismantling & sorting) : 작업자가 수작업으로 CPU, IC, Ta-capacitor 등의 귀금속 혹은 다량의 유가원소가 함유된 원소를 분리한다.
- 하소/연소(Calcination/Combustion) : PCBs를 쉽게 절단하기 위하여 플라스틱의 유기물질을 제거하는 공정으로 일반적으로 1000°C의 고온 산화성 분위기에서 연소시킴.
- 절단(Shredding) : PCBs를 작은 칩 크기로 절단하는 공정으로 정제방법에 따라 다양한 크기로 절단한다. 건식법을 활용할 경우 40 mm 이하로 절단 후 용광로에 투입한다.
- 절단 및 분쇄(Cutting & Grinding) : 습식법을 이용하여 유가금속을 회수하는 경우 다음 공정을 용이하기 위하여 파, 분쇄를 행한다. 파쇄기와 충격형 해머 밀로 분쇄하여 얻어진 분쇄 물은 금속과 비금속으로 분리된다.
- 공기분급(Air classification) : 파, 분쇄된 PCBs 물질을 공기 분급기를 활용하여 가벼운 물질을 포집하며, 금속, 비금속 물질들을 완전히 분리한다.
- 자력선별(Magnetic separation) : 자력선별 공정을 이용하여 파쇄물에서 자성/비자성 물질을 분리한다. 이 공정에서 Ni-Fe은 Cu와 Al으로부터 분리된다.
- 와전류선별(Eddy current separation) : 와전류선별로 황동 혹은 청동으로부터 Cu를 분리한다.



**Fig. 5.** Obsolete ceramic capacitors during manufacturing: (a) Ni-electroded MLCC, (b) Tantal-capacitors.

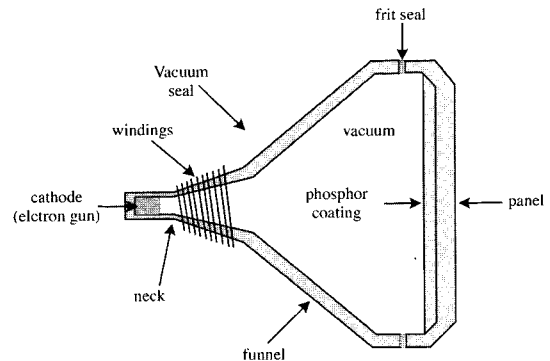
- 정선별법(High-Tension separation) : 정선별 법을 활용하여 비금속과 금속을 완전히 분리한다. HTS를 반복함으로써 폐기물 중에서 금속분의 함량을 0.1% 이하로 제거할 수 있다.

ii) 농축 정련기술

기계적인 전처리 공정을 통하여 얻어진 산물들은 유기원소의 종류 및 품위에 따라 각각 제련공장으로 보내져 건식제련법 또는 습식제련법에 의하여 정련하거나 금속제련의 부원료로 사용되어진다. 1980년 이전에는 대부분 건식법을 사용하였으나, 1980년 중반 이후부터 습식법도 개발되어 부분적으로 적용되고 있다.

- 건식제련법 : 건식제련법에 의한 PCBs의 처리는 소각, 프리즘, 전기아크로 또는 용광로에서의 용융, dressing, 소결 용해, 고온에서의 기상반응 등이 포함된다. 일반적으로 유기물질을 분리하기 위하여 산화제와 함께 유기금속을 회수하기 위한 포집금속을 장입하여 금속과 슬래그를 분리한 후 이를 2차 분리정제공정을 거쳐 유기금속을 얻게된다.

- 습식제련법 : 전처리 공정을 거쳐 선별된 유기금속성분들을 산이나 알칼리로 침출하고 이어 용매추출, 화학침전, 시멘테이션, 이온교환법, 여과 및 증류 등의 기술을 이용하여 목적금속을 분리, 농축한다. Cu 용광로와 습식공정을 연계하여 처리하였을 경우 귀금속의 회수율이 상당히 높다. 즉, Cu를 함유하고 있는 PCBs를 Cu 용광로에서 처리하여 조동을 제조하며 이것을 전해정련하여 99.99%의 Cu를 제조한다. 이 때 발생하는 양극 슬라임에는 귀금속이 함유되어 있으며 이것을 습식법으로 처리하여 회수한다. 귀금속의 회수율은 각각 Au가 98%, Ag이 99%, Pt가 90% 그리고 Pd가 90%



**Fig. 6.** Cross-section of a cathode ray tube(CRT).

정도이다. 이러한 단위기술을 바탕으로 하여 PCBs로부터 유기원소를 회수하기 위하여 개발된 개략적인 공정도를 Fig. 4에 나타내었다.

### 3.2 Electronic Chips

#### 3.2.1 Chip의 주요 성분

전자산업의 핵심은 반도체산업과 범용 부품산업의 발전에 기인한다. 폐칩류(Chips)는 Integrated Circuit(IC), transistor, CPU 등의 반도체 칩류(Fig. 3)와 적층세라믹 콘덴서(MLCC), 탄탈 콘덴서, 적층세라믹 인덕터, 리지스터, 세라믹압전필터, 유전체 칩필터 등 세라믹 적층소자(Fig. 5)로 대별된다. 그러나, 폐정보통신기기 해체 과정에서 발생하는 폐칩류는 일반적으로 금속계와 비금속(대부분 세라믹)계로 구분하여 처리하므로, 폐칩류를 구성하는 주요 물질은 소자의 종류, 용도, 크기에 따라 매우 상이하서 정확한 구성원소 통계는 이루어지지 않고 있다. 일반적인 IC류와 MLCC의 주요성분은 대부분 전도체 혹은 전극 구성을 위하여 사용된 고가의 유기금속들이며, 반도체 IC류에는 Au, Ag, Cu, Al, Ni 등이, 세라믹 소자에는 Ag, Ni, Cu, Pd, Ta 등의 유기금속이 다량 포함되어 있다. 최근 정보통신 산업의 발달에 따라 정보기기용 IC류 및 세라믹적층 소자류의 생산량은 비약적으로 증가하고 있어 이러한 부품 소재 등을 생산하는 현장에서 발생하는 공정 폐기물 등을 고려하면 리사이클링이 가능한 폐칩류는 상당한 규모가 될 것으로 판단된다.

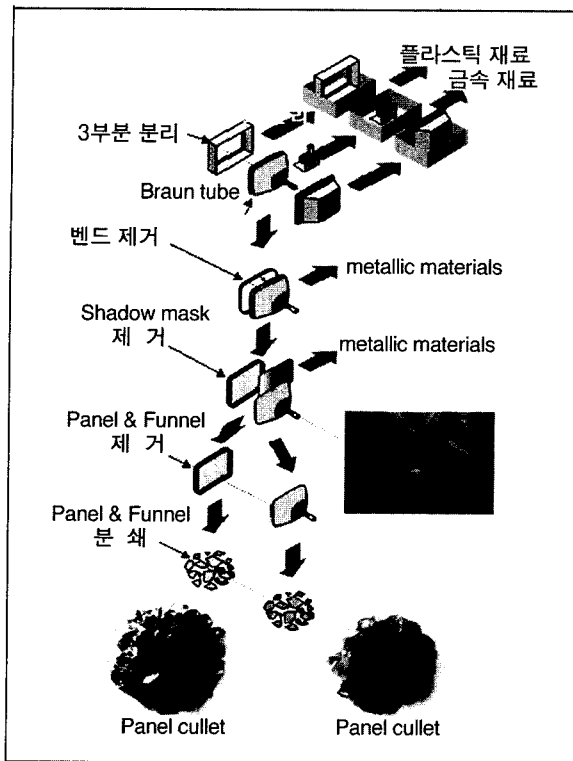


Fig. 7. A block-flow chart of recovery cullet from the obsolete CRT.<sup>13)</sup>

Table 5. Components of CRT's Parts<sup>13)</sup>

부품명	구성성분
Panel	Zero to 2.5% lead oxide alkali/alkaline earth aluminosilicate
Funnel	22% lead oxide alkali silicate
Neck	30% lead oxide alkali/alkaline earth silicate
Frit	70% lead oxide zinc borate
Metallic band or rim band	ferrous metal

### 3.2.2 폐 Chips에서 유기원소 회수 기술

폐기되는 정보통신기기에서 분리되는 폐칩류의 주요 성분은 금속류, 세라믹류, 그리고 이들을 외부의 충격, 습기, 산화 등으로부터 밀봉하기 위하여 사용하는 플라스틱 EMC(Epoxy Molding Compound) 등이다. 이러한 폐칩으로부터 유기원소를 회수하는 기술은 위에 언급한 PCB의 처리기술과 거의 유사한 공정을 거치게 된다. 그러나, 칩류에는 다량의 세라믹이 포함되어 있어 더욱 정밀한 파쇄 공정을 통하여만 금속류와 세라믹류의 선별 작업이 용이하게 된다.

칩류를 파쇄하면 반도체 lead frame 등의 금속성분은 큰 입자에 많이 존재하고, 입자의 크기가 작아질수록 세라믹과 잔류 플라스틱 등으로 구성된 불용분의 양이 증가하게 된다. 이렇게 미립으로 갈수록 금속보다는 불용분으로 존재하는 세라믹류가 많아지는 이유로는 금속은 전성과 연성이 있기 때문에 파쇄가 잘 되지 않는 반면에, 플라스틱류나 세라믹류 등은 취성에 의하여 미립으로 분쇄가 잘 이루어진다. 미세하게 파쇄된 시료는 표준체 (sieve)를 사용하여 입자의 크기별로 분류한 후, 자력선별로 자성/비자성 물질로 분리한다. 세라믹 자성체도 존재하므로 공기분급 등의 비중선별 방법으로 최종적으로 금속류와 세라믹류를 분리한다. 분리 선별된 분말들은 농축, 건식·습식정련 과정을 통하여 유기원소를 회수하게 된다.

폐칩류로부터 유기원소 회수에 있어서 핵심은 이러한 부품 소재를 생산하는 업체에서 공정 중 발생하는 공정 폐기물의 체계적인 수집, 회수에 있다. 이는 회수 단계에서 품목별 분리와 회수하고자 하는 원소의 판별이 가능해져 자동화된 일괄 공정이 가능하기 때문이다.

## 3.3 CRT

### 3.3.1 CRT의 주요 성분

정보통신기기, 특히 컴퓨터에 필수적인 부품인 CRT(Cathode Ray Tube)는 모니터로는 보통 5년, TV 용으로는 10년이면 수명이 다하고 폐기된다. 폐컴퓨터의 중량비로 43%정도를 차지하고 있다. CRT의 구성은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 크게 funnel과 panel, neck 등 3부분으로 구성되어 있다. CRT로부터 분리될 물질의 구성은 유리류가 87%, 금속류가 13%, 그리고 형광체가 0.04% 정도인 것으로 조사된다(Table 5). 이 CRT에는 funnel glass에 다량의 납이 PbO 형태로 함유되어 있으며, panel에는 독성이 강한 형광물질이 함유되어 있다. 이 형광물질의 주된 구성 성분은 황화아연(ZnS)과 황화카드늄(CdS) 등이다. CRT에 도포되어 있는 형광물질의 함량을 Table 6에 나타내었다. Table에서 알 수 있듯이 형광물질의 주요성분은 아연(Zn)이고, 고가의 희토류 물질인 이트륨(Y)도 약 76 ppm 정도가 함유되어 있고, 카드늄이나, 납, 비소 등의 중금속이 함유되어 있다.

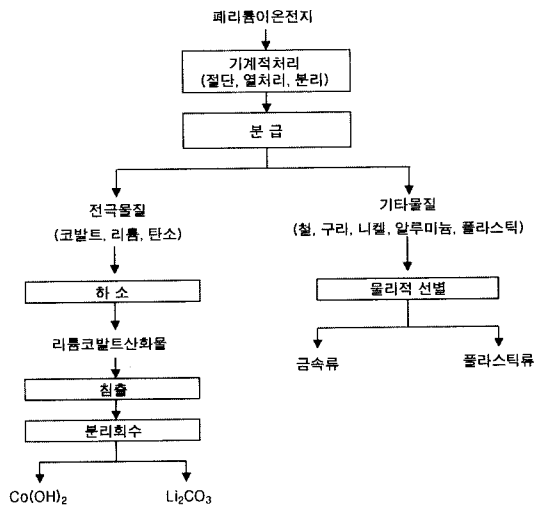


Fig. 8. Flowchart for recovering valuable metal components from the obsolete secondary batteries.<sup>16)</sup>

모니터의 분해 해체에 있어서 중요한 것은 CRT의 유리 부품별 Pb의 구성 성분이 각각 다르기 때문에, 가능하다면 혼합되어 분리하는 것보다는 처음부터 섞이지 않고 각각의 성분대로 분리 회수하는 것이 좋은 방법 중에 하나이다. 이것은 CRT제조회사에서 CRT생산 시 35가지 이상의 원료를 사용하는데 재활용 파레트, 신재 등을 보통 섞어 사용한다. 신재를 이용하여 용융 시에는 용융 온도가 1800°C이나 재활용 파레트를 이용할 경우에는 1300 ~ 1500°C에서도 용융이 가능하다. 따라서 폐 CRT의 파레트를 사용하는 경우 경제적이고 각 약품의 물성을 골고루 퍼지게 하는 특성이 있어 혼합율이 좋아 지므로 재생 파레트를 사용한다. 그러나 neck부분에 40% 정도 함유된 Pb로 인하여 neck 유리는 재활용이 어려운 실정므로, 이 Pb를 회수할 수 있으면 neck-glass의 재활용도 가능할 것으로 판단된다. 또한, Pb 성분이 다량 포함된 funnel-glass와 중금속이 함유된 panel-slag 등은 적절한 처리 없이 폐기할 경우 환경에 심각한 영향을 줄 것이다.

### 3.3.2 CRT의 리사이클링 기술

Fig. 7에 현재 국내에서 CRT를 재활용하는 공정을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 CRT를 각각의 부분별로 절단하여 분리한 다음 화학적 또는 기계적 방법을 통하여 표면에 도포 되어 있는 물질들을 제거한 다음 각각 CRT 제조 원료로 다시 사용되고 있다.

CRT의 리사이클링 처리과정에서 가장 중요한 요소는 panel 유리와 funnel 유리를 어떻게 분리하는가 하는 것과 panel에서 형광물질을 제거하는 것이 관건이다. 먼저 panel/funnel 분리 방법으로는 회전형 절단기로 분리, 부분적으로 물에 잠가 화염으로 가열/절단 분리, 밴드 부위에 고열로 분리, 액체가스로 CRT의 일부를 급랭하여 분리, 내부에 압력 투입하여 파열 등 여러 가지 방법이 제안되었다. 현재는 방폭 밴드 제거방법으로 특수한 와이어를 스크린 유리와 콘형 유리 사이를 감아서 여기에 전류를 통전하여 열이 전달되어 두 물질의 팽창으로 인한 기계적인 스트레스가 2개의 유리에 전파되어 분리되게 하는 방법으로 이러한 열적-기계적 스트레스 적용으로 인한 CRT 분리는 비교적 효과적인 방법으로 보고되고 있다.

CRT에 함유되어 있는 형광물질을 포함한 각종 이 물질의 제거방법은 크게 건식법과 습식법으로 나눌 수 있으나, 일반적으로 습식세정 방식이 건식세정 방식에 비하여 세정 효과가 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 각각의 방법 또한 처리회사에 따라 상당한 차이를 갖고 있다. 국내의 CRT 재생 업체에서는 대부분 불산(0.5 ~ 1%)을 세정액으로 사용하고 있으나, 해외업체(미국: Envirocycle사)는 NaOH 수용액과 자체 개발한 Bi-Fluoride를 사용하여 재활용 처리를 하고 있다.

화학적 처리방식에 의하여 panel-glass로부터 제거된 슬러지는 대부분 매립되어 졌으나, 최근 이러한 CRT 슬러지로부터 고가의 희토류 물질인 이트륨(Y) 및 유포리움(Eu) 등의 원소 회수에까지 리사이클링의 범위가 확대되고 있다.

Table 6. Chemical Composition of Luminescent Coated on CRT Panel<sup>13)</sup>

Elements	Eu	Cd	Y	Al	Ca	Fe	Ni	Cu	Cr	Mn	Co	Pb	Zn
(mg/g)	4.3	43	75.6	11.3	1.1	1.3	0.48	0.03	0.06	0.03	0.01	0.6	260

Table 7. Import(Export) of Secondary Batteries in 1999('99 산업자원부 통계자료)

총 계	단 위	납축전지	니켈계전지			리튬계전지		기 타
			니카드	니켈수소	니켈질	리튬이온	폴리머	
143,257 (29,243)	천개	825 (20,914)	44,071 (412)	22,511 (831)	3,122 (-)	60,831 (3,383)	3,085 (1,267)	8,812 (2,436)
7,617 (151,924)	톤	825 (20,914)	1,561 (38)	509 (27)	19 (-)	2,568 (171)	4 (158)	631 (349)
-	g/개	852 (20,914)	35.4	22.6	22.6	42.2	1.39	71.6

### 3.4 배터리

#### 3.4.1 배터리의 주요성분

일반적으로 전지는 사용 후 폐기되는 1차 전지(망간 전지, 알칼리망간전지)와 재충전에 의하여 사용되는 2차 전지(Ni-MH, 리튬이온, 리튬폴리머)로 구분되며 대부분의 이동정보통신기기에는 2차 전지를 사용하고 있다. 최근 전자산업이 급속히 발전함에 따라 노트북 컴퓨터 및 휴대폰 등과 같은 이동형 정보통신기기의 발전을 가져왔으며, 이러한 무선정보통신기기의 폭발적 수요와 더불어 이동통신기기의 동력원인 2차 전지의 수요는 매년 20 ~ 30%의 수요 신장율을 기록하고 있으며, 대부분 수입에 의존하고 있다(Table 7). 표에서 보듯이 이동통신기기용 니켈전지와 리튬이온 2차 전지의 수요는 99년 기준 8,000 만개를 넘어섰으며, 2003년 국내 휴대폰 생산량(~ 0.8억대)을 기준하면 휴대폰용 2차 전지의 수요는 2억/년 개 수준까지 증가할 것으로 예측된다.

Table 8에 주요 2차 전지의 구성 성분과 용도를 나타내었다. 표에서 보듯이 니켈전지의 주요성분은 Ni이며, 리튬이온 2차 전지의 주요 성분은 Li와 Co이다. 이러한 2차 전지는 종류, 크기, 용량에 따라 약간의 차이는 있으나, 대략 10~20%의 Ni(니켈전지), 5~20%의 Co, 및 1~3%의 Li(이상 리튬이온전지) 등이 포함되어 있는 것으로 조사된다. 현재까지 휴대폰 및 폐전지의 회수 체계의 미비로 정확한 통계가 보고되고 있지는 않으나, 2000년 중반 이후 2차 전지의 폐기량을 1억개/년을 고려하면 연간 Ni ~ 40톤, Co~30톤, Li~1톤 이상의 유기금속을 회수할 것으로 예측된다.

#### 3.4.2 배터리로부터 유기원소 회수 기술

폐전지로부터 유기금속을 회수하는 기술은 크게 i) 선

별 공정, ii) 농축 공정, iii) 정련 공정 등으로 대별되며, 회수하고자 하는 원소의 종류에 따라 처리방법이 달라진다. 선별 공정에서 폐전지를 해체, 절단, 파쇄, 분쇄, 분리하며, 농축 공정에서 분쇄된 스크랩에서 금속과 비금속을 분리 농축한다. 마지막 제련공정에서 금속 농축물로부터 유기금속을 회수하게 된다. 현재까지 페리튬이온전지로부터 유기금속을 회수하기 위하여 유기금속의 농축공정에 따라 기계적 처리에 의한 공정과 고온처리에 의한 공정 등 여러 가지 방법이 제안되었다.

가장 일반적인 방법인 기계적 처리에 의한 처리공정 개략적인 공정도를 Fig. 8에 나타내었다. 이 공정에서는 페리튬전지로부터 전극활성물질을 선별함으로써 Co를 농축하는 방법으로 수선-열처리-절단-비중선별-분급-자력선별 등의 일련의 공정으로 가능하다. 즉, 코발트가 함유되어 있는 전극물질은 다른 구성물질과는 다르게 분말상으로 존재하기 때문에 기계적 처리에 의하여 분말상과 괴상을 분리함으로써 코발트 등의 유기금속을 분말상으로 분리 농축하는 기술이다. 분리 농축된 전극물질은 침출-분리정제-회수에 의하여 코발트 등을

Table 8. Chemical Compositions of Secondary Batteries and Application<sup>16)</sup>

전지종류	구 성			전 압	용 도
	양극	전해질	음극		
납축전지	PbO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pb	2.0 V	자동차 기초전원, 잠수함 전원, 전화기 전원
니켈-카드뮴 전지	NiOOH	KOH	Cd	1.2 V	전동공구, 휴대형 전자기기, 비상전원
니켈-수소 전지	NiOOH	KOH	MH (수소흡장장치)	1.2 V	휴대용 전자제품, 노트북 컴퓨터, 휴대폰
리튬이온 전지	LiCoO <sub>2</sub>	Li-Salt, 유기용액	C	3.6 V	휴대용 전자기기, 휴대폰, 노트북 컴퓨터



회수할 수 있다. 분리정제 기술은 일반적으로 중화, 침전, 용매추출, 화학침전, 시멘테이션, 이온교환법, 전해채취 등을 들 수 있으며, 용액 중으로부터 유가금속을 금속(직접 환원법) 혹은 화합물(불용성 침전법) 형태로 회수하는 회수공정으로 이루어져 있다.

앞서 언급하였듯이 폐 2차 전지로부터 유가원소 회수 기술은 해외에서조차 pilot 기술개발 단계이다. 이는 국내의 적으로 휴대폰이 보급이 10년 미만이라 체계적인 폐전지 회수 절차가 미비하기 때문이다. 그러나, 2000년 중반 이후 대량으로 폐기될 것으로 예측되는 폐전지의 처리기술의 개발은 유가금속의 회수뿐만 아니라 환경오염 방지를 위해서도 필수적으로 개발되어야 할 기술이라 판단된다.

## 4. 국내외 자원회수 처리기술 동향

### 4.1 외국의 자원회수 기술현황

미국, 일본, 독일 등 선진 여러 국가에서는 이미 전자산업 폐기물로부터 유가원소를 회수하는 기술을 개발하여 일부 상업적인 플랜트를 가동하고 있다. 초기에는 폐전자기기로부터의 PCBs, 칩류로부터 Au, Ag, Pd 같은 귀금속이 회수의 대상이었으나, 전자산업 기술 발전에 따른 귀금속 사용량의 감소 그리고 재활용 금(Au)의 가격 하락 등의 원인으로 각 회사의 폐자원 리사이클링의 경제성 확보와 일반 유가금속자원 회수를 위하여 일반 유가금속에까지 리사이클링의 범위를 확대하게 되어 Cu, Al, Ni, Fe, Sn 등과 같은 일반 금속들도 동시에 회수하는 기술로 발전시키고 있다.

유럽에서 대표적인 상업 플랜트로 오스트리아의 Lead Kaldo Plant, 벨기에의 Hoboken-Overpelt lead-copper smelter, 독일의 Degussa, 영국의 Johnson Maghey 등이 있다. 독일의 경우 오래 전부터 PCBs에서 금, 은 등의 귀금속을 비롯한 유가금속을 회수하는 플랜트를 가동하고 있으며, 폐 컴퓨터를 포함한 전자기기의 자동 해체시스템을 개발 활용하고 있다. 미국의 시카고에 소재한 Electric Recovery Specialist는 폐 컴퓨터의 PCBs로부터 Au 또는 회유금속을 회수 및 정련하는 회사이고, ERS사는 주당 10여톤 분량의 폐컴퓨터를 처리한다. 일

본에서는 미쓰비시와 후지쓰사가 자체 판매망을 통하여 회수하는 폐정보기기로부터 유가금속을 회수하는 플랜트를 가동하고 있다. 특히, NEC사는 적외선으로 가열하여 수지 등의 플라스틱을 가루로 만들어 금속을 분리 회수하는 방식으로 폐PCB를 70%이상 재활용 할 수 있는 신기술을 개발했다고 보고하고 있다. 최근에는 IC류, 세라믹 칩류를 포함한 다양한 전자스크랩으로부터 Au, Ag 등의 귀금속 및 희유원소를 회수하는 기술을 발전시켜 폐자원의 리사이클링에 의해 막대한 경제적 이득을 얻고 있을 뿐만 아니라 폐기물에서 야기되는 환경오염 문제까지도 해결하고 있다.

독일의 VICOR CmbH사는 폐컴퓨터 및 TV에서 기계화된 해체라인을 통하여 CRT를 전문적으로 재활용하는 업체이다. 이 회사에서는 열-기계적 방식을 통하여 CRT의 neck을 효율적으로 분리하는 기술을 사용한다. 그 외 미국의 Envirocycle Inc.에서는 다이아몬드 SAW와 Plasma Cutter를 활용하여 CRT를 재생 활용하는 플랜트를 가동하고 있으며, 일본에서도 CRT 처리 공정 중 방폭 밴드에 전류를 통하여 가열-팽창시켜 처리하여 panel과 funnel 유리를 효과적으로 분리하는 공정 기술을 발전시키고 있다.

### 4.2 국내의 자원회수 기술현황

우리나라의 전자산업, 특히 정보통신산업의 발전은 세계가 주목하고 있을 정도로 발전하고 있으며, 최근 컴퓨터를 비롯한 정보통신기기의 보급은 비약적으로 증가하고 있다. 정보통신기기의 짧은 life cycle을 고려하면 폐기되는 정보통신기기의 양 또한 상당할 것으로 예측된다. 그러나, 국내의 리사이클링 기술은 인식의 부족과 체계적인 수거회수 시스템의 미비로 인하여 폐정보통신기기로부터 유가자원 회수 기술은 아직 미흡하다.

앞서 설명하였듯이 PCBs나 칩류 등의 전자스크랩으로부터 Au, Ag 및 유가금속을 회수하는 방법은 두 가지로 대별된다. 첫째는 스크랩의 부피를 감소시키고, 성분을 분리하기 위하여 절단, 분쇄, 분리 등 물리적인 전처리 공정을 거친 후 건식 혹은 습식제련에 의하여 목적하는 유가물질을 회수하는 방법이고, 둘째는 IC류, 세라믹 칩류 등 부품별로 분리-분쇄한 후 노출된 부분을 직접



산 또는 알칼리를 사용하여 침출-회수하는 방법이다. 일반적으로 큰 단위의 플랜트에서 스크랩에 포함된 여러 종류의 물질을 동시에 회수하기에 어려움이 많기 때문에 먼저 기계적인 분리, 파쇄 공정을 통하여 스크랩을 선별하고, 금속별로 분리 농축한 후 정련을 위하여 농축물을 제련소로 보내거나 귀금속은 직접 회수한다.

국내의 전자스크랩으로부터 유기금속을 회수하는 플랜트는 아직 초보적인 단계로서, 귀금속 성분이 비교적 많은 edge connectors, 세라믹 칩류 등의 도체에 Au, Ag, Pd이 많이 함유되어 있는 경우에만 직접 용해하여 회수하며, 귀금속을 미량 함유하고 있는 경우 절단과 같은 간단한 물리적인 전처리 공정을 거쳐 용련 공정에 투입하여 Au, Ag 등을 회수하는 시스템을 적용하고는 있으나, 그의 처리량은 미미한 실정이며 80% 정도가 일본, 미국 등지로 수출되고 있는 것으로 보고되고 있다. CRT의 리사이클링의 경우 국내 구미 소재의 승내사(주)에서 실시하고 있는 폐CRT 처리 기술은 100% 수작업으로 선별, 해체하여 파쇄 등의 처리를 거쳐 재질별로 분리하여 재활용하고 있다.

국내의 재활용 산업은 컴퓨터를 포함한 폐기되는 정보통신기기 및 부품 공정 폐기물 등을 수집, 회수하여 일부 귀금속을 부분 채취한 후 잔류 유기원소 농축물을 해외로 판매하는 방법을 사용하는 업체가 대부분이다. 최근, 삼성, LG, 현대 등의 회사에서는 국내 권역별로 재자원화 시설을 가동하기도 하고, 또한 한국컴퓨터리사이클링(주), 승내사(주) 및 몇몇 회사에서는 이러한 유기자원을 회수하는 시스템을 한국지질자원연구소와 재활용-프론티어사업단 등의 연구기관과 협조하여 연구개발 및 처리 시설을 설치 중에 있으므로 가까운 시일 안에 국내에서 발생하는 폐정보통신기기의 재활용 및 유기자원 회수 기술의 보급은 원활해질 것으로 판단된다.

## 5. 맺음말

최근 정보통신 분야가 혁신적으로 발전·보급 확대됨에 따라 컴퓨터(노트북 포함) 및 무선 정보기기를 사용하지 않으면 모든 생활이 정지되어 가는 시대에 살고 있음을 실감하는 현실이다. 이러한 국제적인 추세에 따라

현재 국내에도 가정 당 1대 이상의 컴퓨터와 2~3대의 휴대폰 및 주변기기의 사용은 일반화 되어있고, 산업용 및 사무실용까지 포함하면 2000년을 기준으로 연간 잠재배출량이 컴퓨터만 400만대, 휴대폰 역시 400만개 수준으로 예측되며, 이 중 30%만이 실제 배출되고 체계적으로 회수·처리한다면 상당한양의 자원회수가 가능하리라 판단된다. 그러나, 현재 상황은 대부분 폐기하거나 매립되고 일부 환경오염 물질은 해외로 이전하는 문제로 까지 발전하여 세계적인 문제점으로 관심을 가지게 되었다.

우리나라가 '96년 경제협력기구(OECD)에 가입한 이후 1989년 OECD 국가 간 체결된 바젤협약(유해폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리의 통제에 관한 협약)을 준수하게 됨에 따라 국내에서 발생하는 폐기물에 대하여 환경적으로 안전하게 처리 관리하도록 하게 되었다. 그에 따라, 컴퓨터를 포함한 폐기되는 폐전자기기의 처리에 대한 국내의 환경관련 법규 및 규제가 마련되어 매년 강화되고 있다.

정보통신기기의 폐기물 및 재활용 처리에 대한 사항은 국가 간 무역거래에까지 영향을 미치고 있다. 즉, 특정물질의 사용 및 제조공정을 제한하고, 제조공정 및 환경기준의 차이에 따른 생산코스트 격차만큼 상계관세를 부과하며, 생산자가 폐기물을 회수·처리하거나 일정비용 이상 재활용하여야 하는 등 산업제품의 제조에서부터 폐기물의 처리에 이르는 광범위한 규제가 이루어지고 있다. 유럽연합(EU)은 전자기기의 폐기물에 대한 생산자(생산자)의 의무 규정을 강조·확대하고 있으며, 북미국가에서도 미국 및 캐나다의 여러 주립정부의 주도 하에 컴퓨터 및 정보통신기기의 폐기물관련 재처리, 재활용 사항을 생산자의 의무 사항으로 규정하고 있어, 국내 전자산업계의 해외 수출에 상당한 영향을 미치고 있다.

유럽 및 미국에서는 이러한 폐기물 및 환경관련 규제에 따라 컴퓨터를 포함한 폐기되는 정보통신기기를 재생(recover), 재사용(reuse) 및 리사이클링(recycling)단계로 구분하여 체계적으로 기술을 발전시켜 폐기되는 전자기기에서 유기금속을 회수하기 위한 공정도 대부분 자동화로 이루어진 일괄 공정을 가동함으로써 환경오염 방지를 최소화하고 있다. 최근에는 이러한 재활용 기술

을 환경 친화적인 제품 설계에까지 반영시키고 있다. 그러나 국내에서는 환경을 고려한 청정생산 기술은 미흡한 실정이고, 폐정보통신기기에서 유가자원을 회수하는 공정 또한 인력해체나 단위기술의 경우가 대부분이다.

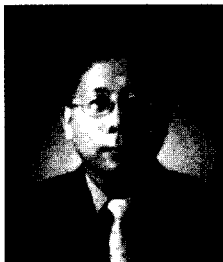
최근 우리나라도 한국지질자원연구소 자원재활용-프론티어사업단 등의 국가연구기관과 대학 등에서 재활용 기술을 위한 연구활동이 활발히 진행되고 있으며 이들 연구기관과 협조 하에 몇몇 기업에서 재활용 처리시설 가동을 준비하는 등 재활용 산업전반의 재활용 산업의 인식이 바뀌어 가고 있는 상황이다. 따라서 폐기물을 처분하여야 할 대상으로만 볼 것이 아니라, 용도개발이 완성되지 않은 미활용자원으로 파악하는 발상의 전환이 요구되는 시점이며, 이러한 개념에 기초한 폐기물 자원화·재활용 기술은 21세기의 각광받는 기술이 될 것이다.

### 감사의 글

본 총론은 한국지질자원연구소 자원활용연구부의 도움과 한국과학재단 지정 공주대학교 자원재활용신소재 연구센터(RRC-NMR)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- 이재천, 정진기, 양정일, 정현생, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 7(3), 58-66 (1998).
- Elaine Y. L. Sun, *JOM*, 43(4), 53-61 (1991).
- J.E. Hoffmann, *JOM*, 44(7), 43-48 (1992).
- A. Bemardes, I. Bohlinger, et al., Proc. of Sessions and Symposia sponsored by the Extraction and Processing Division, TMS Annual Meeting, 363-375, 9-13 Feb. Orlando Fl. (1997).
- 이재천, 이강인, 이철경 외, *자원리사이클링*, 3(1), 38-43 (1994).
- G. Edson, *Recovering and Refining of Precious Metals*, Paper 10, Skytop, PA (1981).
- S. Koyamaka, S. Endoh and H. Iwata, *J. Soc. Powder Technol., Japan*, 32, 368-391 (1995).
- J.C Lee, S. Koyanaka, M. Lee, S. Endoh et al., *MMIJ*, 113(5), 357-362 (1997).
- P. Kopacek and G. Kronrief, Proc. 1996 IEEE Conf. on Emerging Techno. and Factory Auto., 2. 567-572 (1996).
- S. Arno, DE patent, DE-4205405 (1992).
- 한국자원재생공사, 폐 컴퓨터(TV 포함)의 효율적 회수 및 처리방안, 연구보고서, (1998).
- 한국자원연구소, 폐전자기의 리사이클링 기술개발, 연구보고서(1999).
- 한국자원연구소, 폐컴퓨터의 부품별 자원화 기술개발, 연구보고서(2000).
- A.J. Clegg. and D.J. Williams, Proc. the IEEE Intl. Sympto. on Electronic and Enviroment, 51-52 (1994).
- 전준미, 이재천, 정진기, 김남철, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 10(6), 22-28(2001).
- 손정수, 이철경, 양동효, Proc. 5회 폐기물 처리 및 재활용 워크샵, Jun. 1, 한국지질자원연구원, 76-91 (2001).
- 이철경, 김태현, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 9(4), 37-43(2000).
- 한국자원재생공사 연구자료, www.koreco.or.kr (2002).
- 한국전자산업진흥회(EIAK) 통계자료, www.eiak.org (2002).
- 공주대학교 자원재활용신소재연구센터, 폐기물 자원화재활용 기술동향 조사, 과학기술부 연구보고서 (2000).



이재천

- 1979년 한양대학교 금속공학과 공학사
- 1981년 한양대학교 금속공학과 공학석사
- 1986년 한양대학교 금속공학과 공학박사
- 현재 한국지질자원연구소  
자원활용연구부 책임연구원



김남철

- 1985년 한양대학교 금속공학과 학사
- 1991년 Penn State Uni. 석사(전자재료)
- 1993년 Penn State Uni. 박사(전자재료)
- 1994년 Penn State Uni., MRL,  
Post-Doc.
- 1994년 삼성전기 종합연구소 선임연구원
- 1998년 국립공주대학교 신소재공학부  
- 현재 교수