

Waste Management & Research Review

(제목: The status and development of treatment techniques of typical waste electrical and electronic equipment in China: A review)

2015. 5. 28

연구개발팀

I 제목 및 저자

- 제목 : The status and development of treatment techniques of typical waste electrical and electronic equipment in China : A review
- 저널 : Waste Management & Research
- 저자 : Yunxia He and Zhenming Xu
- 기관 : School of Environmental Science and Engineering, Shanghai JiaoTong University, People's Republic of China

II 요약

- 2011년 기준 중국 폐전자제품 이론적 총 수량은 6천9백5십만대로 TV가 2천7백5십만대, 냉장고 7백6십만대, 세탁기 천2백2십만대, 에어컨 1백5십만대, 컴퓨터 2천7십만대 임 (중국가용전기연구원/CHEARI,2012)
- 지속적인 전자제품(Electrical and Electronic Equipment, EEE)의 개발과 사용주기 감소로 중국 내 폐전자제품(WEEE)의 양이 증가하고 있음
- 1990년대 재활용 기술 부족으로 대부분 간단한 방법(적치 및 산 침출)으로 폐전자제품을 재활용 하였으나, 환경 및 작업자에게 치명적인 위협을 가함
- 본 논문에서는 중국에서의 유용자원 회수와 함께 환경 및 작업자의 안전을 고려한 유해 물질 처리하기 위한 PCBs, 냉장고, 토너 카트리지, CRT, LCD 패널, 배터리, 하드디스크 및 전선의 재활용 기술과 공정을 소개하고 있음

III 논문 내용

1) Typical WEEE components

- 2011년 중국에서 폐전자제품 5종류에 대해 구성품과 재활용 방향을 제시함(Table.1)
- 폐전자제품은 유용한 물질뿐만 아니라 환경, 인체에 해로운 물질들도 포함하고 있음(Table.2)
- 해로운 물질을 제거하고, 유용한 물질을 회수하기 위한 선진 재활용 기술들이 필요함
- 중국의 경우 폐전자제품으로부터 금속 회수율이 높음(매년 생산품 내 알루미늄 금속량의 50%↑ 회수)

Table.1 폐전자제품의 주요 구성품

폐전자제품	주요 구성품
냉장고	튜브, 라이너, 냉각기, 전선, 냉매
에어컨	열교환기, 모터, 컴프레셔, 동관, PCBs, 전선, 냉매
세탁기	통, 흡입호스, 모터, 전선, 염화염 폐기물
텔레비전	편광판, 코일, 스피커, PCBs, 전선, CRT, LCD
컴퓨터	스피커, 배터리, 저장장치, PCBs, 전선, CRT, LCD

Table.2 폐전자제품의 구성품 내 주요 유해 물질 및 유용 물질

구성품	유해 물질	유용 물질
PCBs	중금속, 브롬난연제(BFRs)	유리섬유, 레진, 구리
냉장고 본체	프레온가스	구리, 알루미늄, 플라스틱
토너 카트리지	토너	알루미늄, 철, 플라스틱
CRT	납(PbO)	유리
LCD 패널	액정, 접착테(아세트산비닐)	유리, 인듐
HDD	Coating	알루미늄 합금
전선	절연체	구리, 알루미늄, 플라스틱
배터리		
Li-ion	LiPF ₆	철, 알루미늄, 구리, 리튬, 코발트
Ni-Cd	Cd	철, 니켈

- ☞ 국내 RC의 경우 프레온가스, 토너, 납(PbO)등은 대책을 마련하여 처리하고 있으나 나머지 유해물질에 대한 지속적 대책 마련 필요
- ☞ 국내 RC에서 발생하는 구성품으로부터 금속회수는 대부분 위탁처리하고 있음

2) Recycling typical WEEE components

2-1) PCBs recycling

- Printed circuit boards(PCBs)는 약 28%가 금속으로 이뤄져 있음
- Au와 Pd 같은 귀금속은 광석보다 10배이상 함유되어 있음

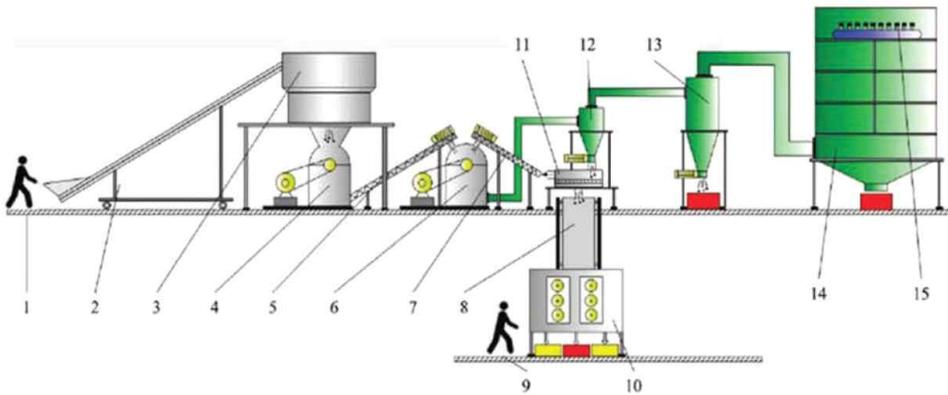


Figure.1 폐PCBs 재활용 공정

- 공정(Fig.1) : 파쇄 → 분쇄 → 정전선별(corona) → 싸이클론(비중선별)
- 처리 용량 : 600kg/h, 금속 회수율 : 95%↑
- 비금속 유가물 생성 : wood plastic composite, nonmetallic plate, phenolic moulding compound
- Shanghai Xin Jingqiao Environmental 社에서 적용 중
- ☞ 국내 PCBs 재활용은 건식제련을 이용하여 금속을 회수 중임
- ☞ 중국의 폐PCBs의 물리적 선별은 국내 RC에 적용가능해 보임
- ☞ RC내에서 발생하는 PCBs으로부터 나올 수 있는 유기물 가치에 대한 지속적 검토가 필요함

2-2) Toner cartridge recycling

- organic polymers와 inorganic compound으로 이루어져 있음
- 철(50%), 자석(1%), 알루미늄(10%) 그리고 플라스틱(30%) 등의 유용 물질이 함유되어 있음

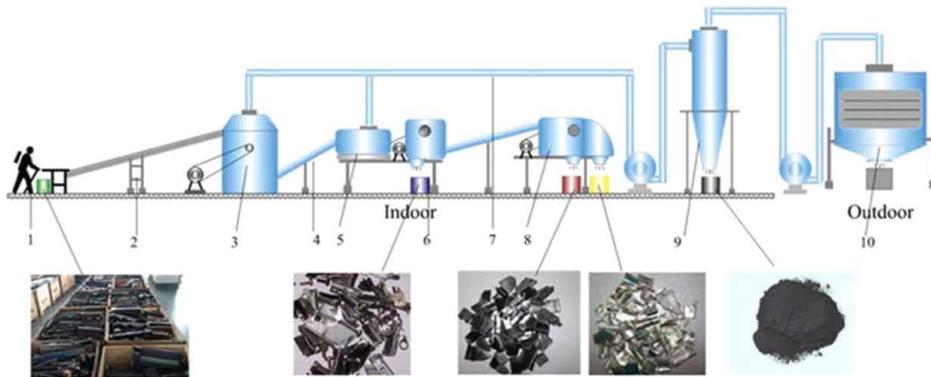


Figure.2 토너 카트리지 재활용 공정

- 공정(Fig.2) : 파쇄 → 교반 → 자력선별 → 와류선별 → 비중선별 → 집진
- 처리용량 : 500kg/h = 100명/h
- ☞ 국내 RC에서는 수작업으로 토너 카트리지를 해체, 분리하며 금속회수는 위탁처리 함(SI 케미컬 등)
- ☞ 후지제록스나 캐논 등 대형프린트 회사에서는 토너 카트리지를 직접 회수하여 재이용 후 폐토너는 자동화 설비를 이용하여 재활용 중임

2-3) Refrigerator cabinet recycling

- 폴리우레탄(polyurethane, PUR) 내 프레온 가스에 의한 환경문제가 대두

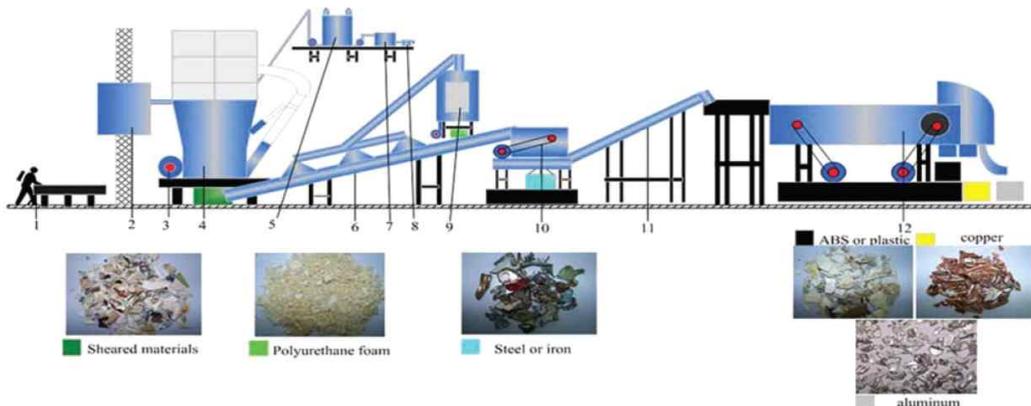


Figure.3 냉장고 본체 재활용 공정

- 공정(Fig.3) : 수선 → 파쇄 → 자력선별 → 와류선별
- 파쇄 시 우레탄에서 나오는 프레온 가스를 활성탄을 이용해 흡착 처리함
- Shanghai Xin Jingqiao Environmental社에서 적용 중
- ☞ 국내 RC와 냉장고 재활용 공정과는 비슷하지만 분쇄 중 프레온 가스 처리에 대한 장치는 따로 마련되어 있지 않음-

2-4) CRT recycling

- 중국에서는 CRT(유리 내 납(PbO)의 함량이 20~30%)를 유해 폐전자제품으로 지정함
- 폐CRT를 이용하여 새 CRT를 만들어 재활용 했으나, 2005년 11월 이후 CRT 재 제조를 금지함
- 공정 : CRT 절단(Hot-wire tech) → 형광체 제거(흡입기) → 유리 제거
- funnel 유리를 제거 후 제련을 통해 유리로부터 납을 회수하는 연구를 진행하였으나 제련 후 발생하는 대량의 폐산 처리로 인해 중지 됨
- Pyrovacuum reduction(진공 건식환원)이 다음 처리방법으로 연구개발이 되었으나, 그 이후 보고서는 전무함
- ☞ 국내 RC에서도 니크롬선을 이용한 절단을 이용하고 있으며, 집진기를 이용 형광체를 제거하고 있음
- ☞ 유리는 고려아연에서 위탁처리하고 있음(RC자체 처리 불가)

2-5) LCD panel recycling

- LCD panel은 크게 편광판, PVA, 액정, LCD유리, 필터, ITO electrode (250ppm)로 이루어져 있음
- 편광판과 액정은 아직 산 침출에 의한 회수가 일반적임
- 건식으로 LCD panel로부터 인듐 회수법이 있으나 아직 lab scale 임
- LCD panel의 친환경적 재활용은 지속적으로 개발 중임
- ☞ 중국도 lab scale의 연구 중으로 국내와 크게 기술차이가 나지 않음
- ☞ Lab scale 연구도 습식제련으로 국내 RC에는 적용이 힘들

2-6) Battery recycling

◆ Li-ion battery recycling

- Li-ion battery 내 음극에 LiCoO_2 가 함유되어 있으며 그 외 유용 금속은 Cu, Al이 있으며, LiPF_6 같은 유해 물질도 함유되어 있음
- pilot project(2009) 공정 : 분쇄 → 초음파 세척 → 침출 → 침전회수
- LiOH용액을 이용한 배터리 재사용 공정이 개발 되었으나 lab scale 임(Fig.4)
- Shenzhen GEM High-Tech社에서 매년 3000t의 배터리를 재활용 중이나 개별적인 보고서는 전무함(공정 : 해체 → 화학적 분리 → Li/Co 회수 및 재생산)

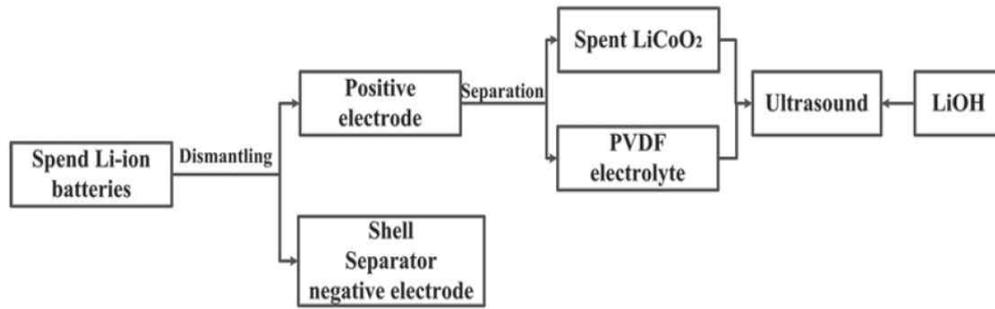


Figure.4 LiOH를 이용한 LiCoO₂ 재사용 공정

◆ Li-Cd battery recycling

- 양극 : nickel oxyhydroxide(NiOOH), 음극 : metallic cadmium(Cd)
- 카드뮴은 환경과 인체에 유해한 금속이기 때문에 분리해야 함
- 금속의 포화압력에 따라 분리가 가능함(Cd>>>Fe,Ni)
- 공정 : 해체 → 비금속 분리(KOH) → Vacuum metallurgy separation → Heating(1023K) → 회수
- Cd 회수율 : 99.2% ↑
- 단점 : Heating시 들어가는 에너지 소비금액이 높음(228.75\$/1ton)
- 카드뮴의 가치 + 부산물의 가치 > 에너지 소비금액(Table.3)
- Lab scale으로 연구가 더 필요한 실정임

Table.3 1ton 배터리 재활용 시 쓰이는 에너지 소비와 유가물 가치 비교

에너지 소비(\$)	카드뮴(\$)	기타 금속(\$)	총 가치(\$)
(-)228.75	(+)1391	(+)146	(+)1308.1

- ☞ 국내 RC에서 발생하는 배터리는 위탁 처리 중임
- ☞ 단석산업, 리사이텍 코리아, 성일 하이텍 같은 전문기업에서 배터리 재활용 중임
- ☞ 용매추출 및 정련 과정은 습식공정이기 때문에 국내 RC에 적용하기 힘들

2-7) HDD recycling

- HDD 구성품 : PCBs, 케이스, 플래터, 헤드 그리고 모터
- HDD는 알루미늄 합금이 70%이상 함유되어 있음
- 2004년부터 HDD내 데이터 제거기술을 적용함
- 제거 기술 : overwriting, degaussing 그리고 chemical destruction
- degaussing과 코팅제거(heating) 기술이 HDD 재활용에 많이 쓰이고 있음
- 공정 : 자기(력)소거(degaussing) → 파분쇄 → 코팅제거(400℃) → 회수
- ☞ 국내 RC에서 구성품별로 분리하는 하나 직접 알루미늄을 회수하지 않음
- ☞ 국내 데이터 제거기술은 대부분 물리적 방법(천공)으로 함

2-8) Wire recycling

- 전선은 기본적으로 금속(전도체)와 비금속(절연체)로 이루어짐
- 금속과 비금속 분리가 가장 중요한 기술임
- 건식처리와 기계적 처리가 있으며 기계적처리가 지속적으로 연구 중임
- 기계적 처리 공정 : 피복제거 → 분쇄 → 자력선별 → 비중선별
- ☞ 국내 RC에서 전선으로 모아 위탁처리 중임(리사이텍 코리아 등)
- ☞ 리사이텍 코리아 전선 재활용 공정
: 분쇄 → 입도선별(5개 입도) → 비중선별 → GRM 이송(건식제련)

3) Future development of WEEE treatment

- 현재는 몇 개의 폐전자제품에 대한 공정만 구축되어 있으며, 위험 물질을 함유하고 있는 폐전자제품(toner 등)에 대한 공정은 아직 lab scale 단계임
- 전처리 단계가 필요한 폐전자제품과 바로 공정에 투입할 수 있는 폐전자제품이 나누어져 있음(Fig.5)
- 구리, 플라스틱 그리고 알루미늄 같은 유가물을 순도 높게 회수 할 수 있는 기술 개발이 더 필요함
- 앞으로 해체 및 재활용, 가치 높은 유가물 생산 그리고 친환경적 공정 설계에 초점을 맞춰 개발을 해야 함

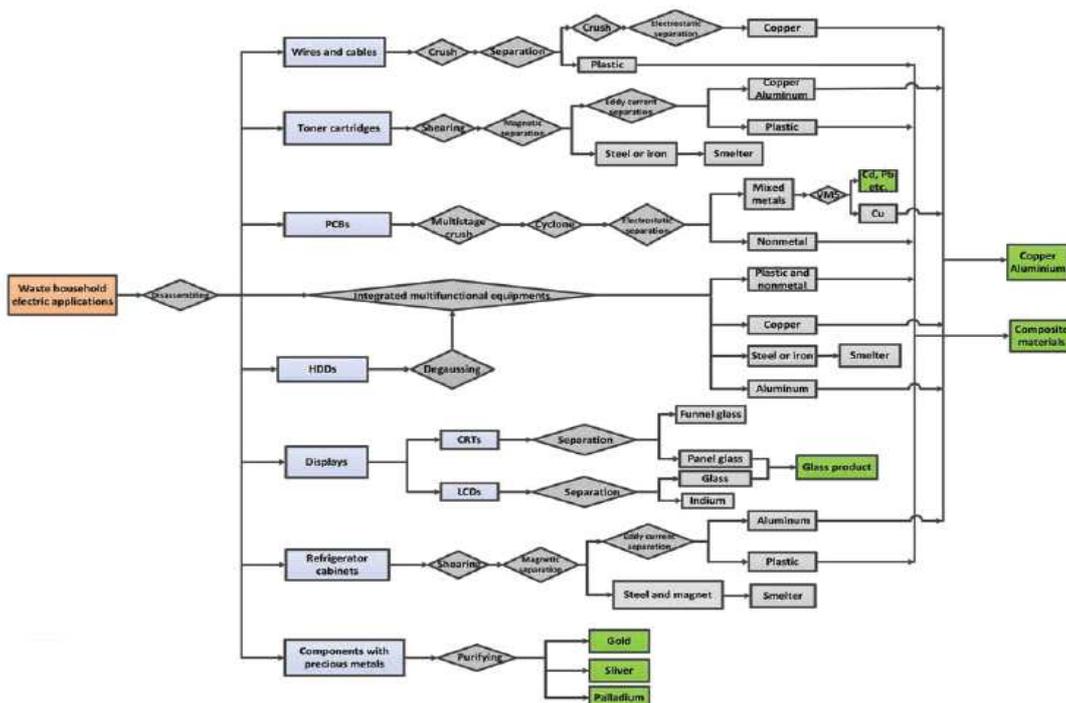


Figure.5 폐전자제품 재활용 통합 공정

- ☞ 국외 기술을 참고로 국내 RC 차원에서 적용할 수 있는 기술개발이 지속적으로 필요함

1. 폐전자제품 내 유용 물질을 포함해서 유해 물질 관련 지속적 처리 검토 필요
 - ☞ 국내 RC의 작업자의 안정 및 공정 적용 시 친환경적 공정 검토 필요
 - ☞ 국내 RC에서 LCD내 수은, CRT내 형광체 등 RC에서 직접 발생하는 유해물질에 대해 검토 필요
2. 국내 RC에 적용 가능한 기술과 국가적으로 개발해야하는 기술을 구분해서 검토 필요
 - ☞ 국내 RC 적용 가능 기술 : PCBs, Refrigerator cabinet, CRT, Wire Recycling
 - ☞ 유가물의 가치, 공정방식, 공정면적, 작업자의 환경 등을 고려하여 RC에 적합하게 수정 적용해야 함
3. 국내 기관에서 lab scale 단계인 기술개발(LCD 패널 회수, 배터리로부터 Li 회수 등)은 중국 내에서도 여전히 같은 단계이므로 지속적으로 개발과 동시에 국외 기술개발 현황도 함께 검토 필요
 - ☞ 폐금속·유용자원재활용기술개발 사업단 외에도 폐전자제품 재활용기술개발 필요
4. 중국뿐만 아니라 선진국에 속하는 유럽이나 미국 등의 폐전자제품별 재활용 공정을 비교하여 국내에 적용할 수 있는 선진기술 검토 필요
 - ☞ 지속적인 기술교류를 통한 해외 기관 및 업체의 선진기술 습득
5. 연구기관이나 학교의 연구도 중요하나 재활용을 하는 기업, 공제조합 그리고 RC간의 지속적인 연구와 논의를 통해 RC에 실질적으로 적용 될 수 있는 공정을 개발 할 수 있을 것으로 보임
 - ☞ 국내기업, RC 그리고 공제조합 간 지속적인 연구 논의 및 개발 필요