

폐휴대폰 내의 인쇄회로기판에 함유된 금속 성분의 변화

정진기 · 이재천 · 최준철

한국지질자원연구원 광물자원연구본부
*ER메탈(주)

Characterization of Metal Composition in Spent Printed Circuit Boards of Mobile Phones

Jinki Jeong, Jae-chun Lee and Jun-chul Choi

Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
*ER metals

요 약

오늘날 개인의 필수 품목이 된 휴대폰은 국내에서 매년 2,000만대 이상이 폐기되는 것으로 추정되고 있다. 휴대폰에는 유가금속 뿐만 아니라 유해금속이 들어있기 때문에 적절한 재활용이 필요하다. 휴대폰에 함유된 유용금속성분의 함량에 따라 재활용공정에서의 경제성이 달라지기에 성분의 분석이 중요하다. 본 연구에서는 폐휴대폰에 함유된 금속 성분의 연도별 변화를 보았다. 2000년에서 2009년에 제조된 휴대폰을 대상으로 휴대폰내의 인쇄회로기판의 성분과 함량을 조사하고 함량의 변화추이를 확인하였다. 분석결과 귀금속인 팔라듐과 중금속인 납의 함량은 감소하는 경향을 보였다.

주제어 : 폐 휴대폰, 인쇄회로기판, 유가금속, 분석, 함량변화

Abstract

Mobile phone has become one of the essential items in our daily life. In Korea, it is estimated that more than 20 million cell phones are discarded each year due to advancement in technology, thus creating disposal and environmental pollution. In order to conserve the resources, their proper recycling is essential as it contains both valuable and toxic metals. The economics of the recycling will depend on the amount and value of the metals. Therefore, it is necessary to determine the composition of the metals present in the different cell phones. In the present study, a report is presented on the variation of metal content per year of waste mobile phones. A review has been made for the mobile phones manufactured during the period 2000-2009 and metal content of the printed circuit boards (PCBs) by analyzing their metals. An example of the precious metal palladium and of the heavy metal lead shows the decreasing trend.

Key words : waste mobile phone, Printed Circuit Boards, valuable metals, analysis, composition change

· Received : February 2, 2015 · Revised : March 5, 2015 · Accepted : May 22, 2015

*Corresponding Author : Jinki Jeong (E-mail : jinkiz@kigam.re.kr)

Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

휴대폰의 기능이 다양화되면서 전화뿐 아니라 사진기, 녹음기 등의 기능이 있어서 현대인의 필수 휴대품이 되었다. 국내에도 휴대폰 가입자 수가 5,000만명이 넘어서면서 휴대폰이 없는 사람이 없는 상황이다. 일반적인 전자기기의 교체주기는 5년 이상 10년 정도 되지만 휴대폰은 교체주기가 짧아서 2010년 기준으로 평균 2.5년 정도에 교체를 하고 있는 상황이다.^{1,3)} 스마트폰의 교체주기는 더 짧아져서 2014년 자료에는 15개월로 파악되고 있다.²⁾ 이 주기를 고려하면 매년 2000만대의 휴대폰이 교체되고 있는 상황이다. 물론 교체된 휴대폰 중에서 상당량이 재사용되고 있기에 실제 재활용에 이르는 것은 반 정도로 추정되어 1,000만대(약 1,000톤)에 해당된다고 볼 수 있다. 하지만 여기서도 많은 수가 재활용되지 못하고 가정 내에 방치되고 있는 상황이다.

휴대폰 내에는 귀금속류(금, 은, 백금, 팔라듐 등), 비철금속류(알루미늄, 구리, 니켈, 아연, 주석 등) 및 희유금속(코발트, 망간, 리튬 등)이 포함되어 있다. 매년 발생하는 폐휴대폰 1,000만 대(약 1,000톤)에 함유된 각종 금속을 재활용한다면 연간 약 270억 원 이상의 경제적 가치를 기대할 수 있다.³⁾

휴대폰은 같은 품목이라도 제조회사에 따라 크기, 모양, 구성 부품 등이 다르며, 같은 회사에서 나온 제품이라도 모델에 따라서도 이러한 것들이 다르다. 전기전자제품에 함유한 유용금속을 재활용하기 위해서는 제품에 따른 부품들의 사양과 금속의 함유량을 확인하는 것이 필요한데, 이를 통하여 회수 대상 금속을 정할 수 있을 뿐 아니라 대략적인 회수 공정을 정할 수 있기 때문이다.^{4,5)}

휴대폰에 함유된 인쇄회로기판(Printed Circuit Boards, PCBs)의 경우에도, 위와 같은 이유로 모델에 따른 함유 성분을 조사할 필요가 있다. 일반적으로 인쇄회로기판에 함유된 금의 함량에 따라, 인쇄회로기판의 품위를 결정하게 되는데 잘 알려진 대로 전기기기보다는 전자기기가, 전자기기 내에서는 휴대폰과 같은 소형의 통신기기들이 금의 함유량이 높다.

PCBs는 기판재와 기판에 장착된 전자부품으로 구성되는데, 구성성분은 대략 플라스틱 30%, 난용성 산화물(세라믹) 40%, 금속 30%로 되어 있다. 물론 이는 부품의 종류에 따라서 비율이 많이 달라진다. PCB 위에는 다양한 IC칩(반도체, 리드프레임), 콘덴서, 저항기 등이 있고, 구리배선, 커넥터, 케이블, 납땀, 접점 등으로 연

결되어 있다. 전자기판에 장착된 IC칩, 반도체, 콘덴서류에는 Au, Ag와 같은 귀금속이 다량 함유되어 있어 회수의 대상이 되고 있다.

PCB 원료는 다음과 같이 일반적으로 금의 등급에 따라 분류된다.^{6,7)}

- 아주 높은 등급 : 금 함량 400 ppm 이상
- 높은 등급 : 금 함량 200 ppm 이상
- 중간 등급 : 금 함량 100 ppm 이상
- 낮은 등급 : 금 함량 50 ppm 이상
- 아주 낮은 등급 : 금 함량 50 ppm 이하

이러한 기준에 따라 가격이 형성되고, 회수공정이 경제성이 있게 도출될 수 있기에 금속의 함량을 확인하는 것이 필요하다. 금이나 귀금속의 함량이 낮은 기판은 구리의 회수에 초점을 맞추어 재활용 공정을 선정하고, 금의 함량이 높은 기판은 금의 회수에 초점을 맞추어 재활용 공정을 구성하는 것이 필요하다. 성분의 변화를 조사하며, 재활용을 효과적으로 하기 위해서는 제조회사에서 판매 시에 재활용을 위하여 기판에 함유된 금속의 성분과 농도를 식품의 경우와 같이 표시하게 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 최근 10년간(2000년~2009년) 사이에 제조되어서 사용되다 폐기된 휴대폰의 기판에 함유된 금속 성분을 조사하였다.

2. 시료의 준비와 분석

폐휴대폰 306개를 확보한 다음, 년도 별로 분류를 하

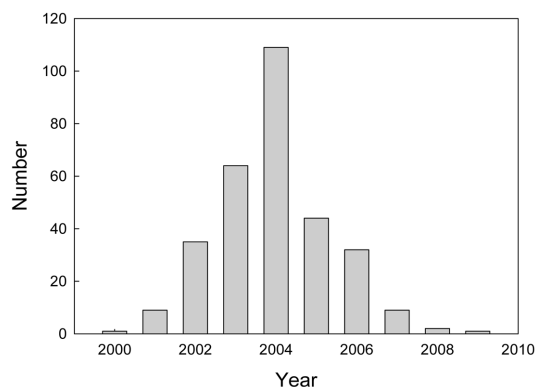


Fig. 1. Number of collected waste mobile phones by year.

Table 1. Average weight of waste mobile phones

Total	Battery	PCBs	etc.
98.62g (100%)	27.05g (27.4%)	15.83g (16.0%)	55.74g (56.5%)

였다. 확보된 휴대폰의 년도별 수량은 Fig. 1과 같으며 2003년에서 2005년 사이에 출고된 제품이 70%를 차지하였다.

분류된 휴대폰을 해체하여 인쇄회로기판, 전지, 및 기타로 나누어 무게를 측정하였다.

분석을 위한 침출 실험을 위하여 기판을 -2 mm 크기로 조분쇄한 다음 Mixer Mill (Retsch MM-301)을 사용하여 2분 동안 미분쇄하였다. 미분쇄한 시료의 입도는 5 μm 정도이다. 분쇄된 기판 시료를 잘 혼합하여 10 g을 샘플링하여 침출 시료로 사용하였다.

분쇄된 시료에 대한 침출 실험을 수행하였다. 침출은 1차 질산침출, 2차 왕수 침출의 2단계로 진행하였다. 먼저 6 M 질산 200 ml에 PCB기판 분쇄물 10 g을 넣고 교반을 하며 90°C에서 1시간 침출 하였다. 질산 침출 실험 후에 고액분리를 하여 미반응 잔사를 건조하여 회수하였다. 용액은 ICP-AES로 금속의 성분 분석을 하였다. 1차 질산 침출 후 발생한 미반응 잔사를 왕수 100 ml에 넣어 교반하며 90°C, 1시간 침출 반응 후에

고액분리를 하였다. 액상 시료를 ICP-AES분석을 하고, 남은 2차 반응 잔사를 건조시켰다. 최종 발생한 잔사는 XRF 로 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 검토

2000년에서 2009년까지 제조된 스마트폰이 아닌 일반 휴대폰 306개를 해체하여 인쇄회로기판의 무게를 측정하였으며 그 결과는 아래 Table 1과 같다. 조사한 휴대폰의 평균무게는 98.62 g 이며 표준편차는 17.49였다. 휴대폰에서의 인쇄회로기판의 무게는 평균 15.83 g이며 표준편차는 6.08이었다.

2단계 침출을 수행한 것은 왕수로 침출 실험을 수행하여도 잔사에 금속이 잔류되어 있기도 하고, 질산 침출 공정을 적용하는 공정개발을 위하여 2단 침출을 하였다. 왕수에 1단계 침출을 수행하고 XRF에 의한 분석을 할 수도 있지만, 이 경우에는 XRF분석에 의한 오차 문제로 미량을 남겨서 분석하였다.

2개의 액상 시료와 1개의 고상 시료를 분석하여 전체 침출율과 기판에 함유된 금속성분의 농도를 확인한 결과가 Table 2, 3과 같다. 전체 금속 함량을 기준으로 질산 침출에 의해 93.73%의 금속이 침출되었고, 왕수에 의해 6.25%가 침출되었으며 잔사에 함유된 금속의

Table 2. Metal content in PCBs of waste mobile phone (wt.%)

Year	Al	Au	Ag	Pd	Ni	Pb	Sb	Cr	Cu	Sn
2000	0.501	0.046	0.522	0.013	1.539	1.842	0.014	0.024	31.511	0.836
2001	0.791	0.065	0.028	0.031	1.924	1.966	0.029	0.041	39.374	1.396
2002	0.891	0.053	0.448	0.018	1.368	1.387	0.030	0.043	39.581	1.452
2003	0.830	0.053	0.379	0.009	1.673	1.649	0.057	0.063	43.505	1.864
2004	1.026	0.139	0.021	0.016	1.910	1.854	0.028	0.276	33.251	1.784
2005	1.000	0.078	0.153	0.008	1.543	1.052	0.038	0.043	43.097	1.729
2006	1.139	0.072	0.021	0.009	1.546	0.795	0.018	0.042	46.356	2.217
2007	1.629	0.059	0.169	0.006	1.482	0.127	0.035	0.077	44.273	2.016
2008	0.959	0.176	0.182	0.005	1.914	0.629	0.014	0.151	42.165	2.891
2009	2.164	0.083	0.319	0.009	1.213	0.881	0.008	0.010	33.896	2.877

Table 3. Average metal content in PCBs of waste mobile phones

	Al	Au	Ag	Pd	Ni	Pb	Sb	Cr	Cu	Sn
농도, wt.%	1.0928	0.0824	0.2241	0.0123	1.6112	1.2182	0.0269	0.0770	39.700	1.9063
표준편차	0.4735	0.0422	0.1834	0.0077	0.2430	0.6168	0.0144	0.0799	5.1614	0.6395

함량은 0.02%로 나타났다. 두 단계의 침출을 통하여 거의 대부분인 99.98%의 금속성분은 침출되었음을 알 수 있다. 기관 중에서 금속 성분이 45%정도 되고, 나머지는 플라스틱성분과 세라믹이다. 구리가 40%에 가깝고 1%가 넘는 성분은 주석, 니켈, 납, 알루미늄이었다. 귀금속으로는 은이 2241 ppm, 금이 824 ppm, 팔라듐이 123 ppm 함유되어 있었다. 평균값에 대한 표준편차를 보면 상대적으로 크롬, 금, 은, 팔라듐이 편차가 큰 것을 알 수 있다. 이것으로 특정 년도 제품들에는 귀금속이 평균보다 훨씬 적게 들어있음을 알 수 있다.

년도 별 구성성분의 농도 변화에 대한 경향성을 살펴보기 위하여 금속별로 나타내었다. Fig. 2은 팔라듐의 함량변화를 나타낸 것이다. 팔라듐의 함량은 감소추세

를 나타내고 있다. Fig. 3는 납과 주석의 함량변화를 나타낸 것이다. 납은 감소하는 경향을 보이고, 주석은 증가하는 경향을 보이고 있다. 납의 감소와 주석의 증가는 EU의 RoHs규정에 따라 전자재료 중 인체유해금속인 납의 사용에 대한 국제 환경규제의 강화규제에 따라 납을 대체하는 물질의 사용에 의해 주석의 함량이 증가한 것이다. 전형적인 솔더에는 37%의 납(나머지는 주석)이 함유되어 있는데, 납을 줄이면서 납보다 대체물질이 소량 첨가됨으로 말미암아 주석이 증가하게 된 것이다.

다른 귀금속, 특별히 금의 추이에 관심을 갖고 확인하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 증가하는 추세를 보이지만 편차가 크음을 알 수 있다. 니켈과 크롬도 현저한 경향성을 보이지 않고 있음을 Fig. 5에서 알 수 있다.

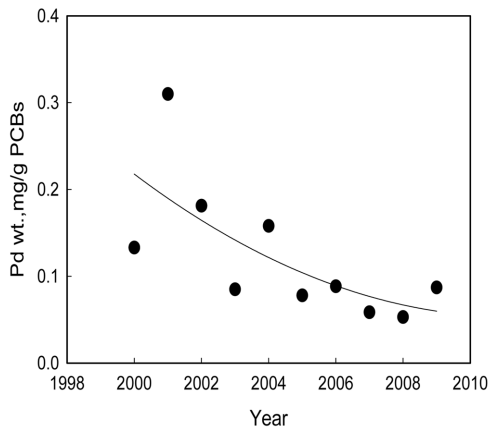


Fig. 2. Trends in Palladium content in PCBs of waste mobile phones.

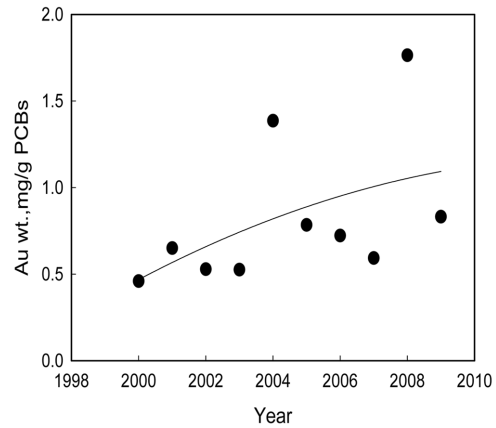


Fig. 4. Trends in Gold(Au) content in PCBs of waste mobile phones.

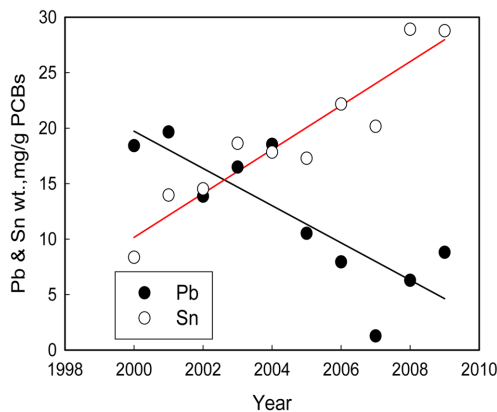


Fig. 3. Trends in Pb and Sn content in PCBs of waste mobile phones.

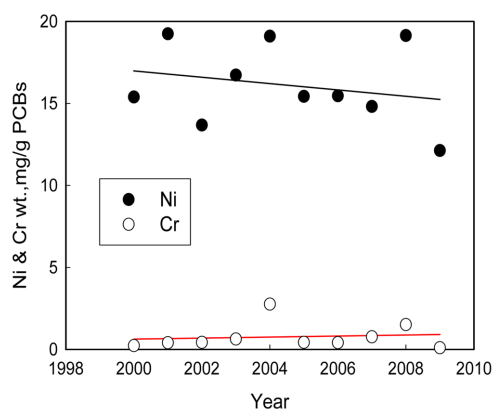


Fig. 5. Trends in Ni and Cr content in PCBs of waste mobile phones.

이러한 금속성분 농도변화 추이를 통하여 감소를 보이는 납의 처리 부담은 줄어들었으며, 증가하는 주석의 회수에 대한 관심이 필요함을 알 수 있다. 그리고 팔라듐의 함량감소로 재활용에 있어서 전체적인 경제성이 낮아짐을 예측할 수 있다.

4. 결 론

최근 10년간(2000년 ~ 2009년) 제조된 휴대폰 중에서 스마트 폰을 제외한 일반 폰을 대상으로 하여 인쇄회로기판의 무게와 기판에 함유된 금속을 분석하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. 휴대폰의 평균무게는 98.62 g이며 표준편차는 17.49였다. 휴대폰에서의 인쇄회로기판의 무게는 평균 15.83 g 이며 표준편차는 6.08이었다.
2. 기판에 함유된 팔라듐의 무게는 감소추세를 나타내고 있다. 납의 품위도 감소하는 경향을 보이고, 주석은 증가하는 경향을 보인다.
3. 다른 금속 성분들은 변화의 경향성을 찾기가 어렵다.

감사의 글

본 연구는 환경부에서 지원하는 폐금속유용자원재활

용기술개발사업단의 사업(과제번호 GT-11-C-01-010-0)으로 이루어 졌음을 밝히고 이에 감사드립니다.

References

1. <http://www.bodnara.co.kr/bbs/article.html?num=89003>, 2012-02-27 12:41
2. http://www.zdnet.co.kr/news/news_view.asp?artice_id=20141013084728, 2014.10.13.
3. Presidential Policy News(Chungwadae Jungcheck Sosik), vol. 75, p6-8, 2010.11.16.
4. Oh, J.-H. and Kang, N.-K., 2013; Economical Review of the E-waste Recycling, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 22(4), pp.12-21.
5. Jeong, J. et al. 2012; Trend on the Recycling Technologies for waste Printed Circuit Boards Waste by the Patent and Paper Analysis, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 21(3), pp. 56-64.
6. Scrap Specifications Circular 2014 (ISRI-metal-codes.pdf), Institute of Scrap Recycling Industries, Inc., p43, 2014. 01.16. (<http://www.isri.org/docs/default-source/commodities/specsupdatesept2013.pdf?sfvrsn=2>)
7. <http://www.preciousmetals.unicore.com/recyclables/eScrap/MaterialsWeTreat/>, 2015.02.03.

정진기

- 부산대학교 화학공학과 학사
- 서울대학교 화학공학과 석사
- 충북대학교 화학공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원

최준철

- 한양대학교 금속공학과 학사
- 한양대학교 금속공학과 석사
- 한양대학교 금속공학과 박사
- 현재 (주)이알메탈 부사장

이재천

- 한양대학교 금속공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원