

E-waste recycling의 經濟性 考察

†吳在賢 · 康南基*

延世大學校 名譽教授, *電子部品研究院

Economical Review of the E-waste Recycling

†Jae-Hyun Oh and Nam-Kee Kang*

Professor Emeritus of Yonsei University

**Korean Electronics Technology Institute*

요 약

E-waste(폐전기전자기기, WEEE)는 많은 종류의 금속을 함유한 유기물과 유해물의 복합혼합물로 자원의 유효이용과 환경부하저감을 위해 리사이클링 처리가 필수로 되어 있다. 특히 최근 레어메탈의 공급계약문제 등으로 도시광산자원 중에서 E-waste의 비중이 높아지고 있다. 한편, E-waste의 리사이클링산업에 있어서 E-waste의 경제적 가치의 파악은 매우 중요하다. 이와 같은 관점에서 본보에서는 E-waste를 대형가전, 소형가전, 휴대전화기 및 PCB(전자인쇄회로기판, 기판)로 분류해서 경제적 가치를 논하였다.

주제어 : E-waste, 경제적 가치, 대형가전, 소형가전, 휴대전화기, PCB

Abstract

Waste electrical and electronic equipment(WEEE or E-waste) is one of the fastest growing waste stream in Korea. The proper management of such equipment has become of major concern for solid waste professionals because of the large growth of the waste stream and the presence of a myriad of toxic materials in it. In this paper, in order to evaluate the economical value of the recycling metallic materials from the E-waste, big size electrical home appliances, small size electrical home appliances, end of life hand phone and PCB(printed circuit board) were reviewed.

Key words : E-waste, economical value, big size electrical home appliances, small size electrical home appliances, end of life hand phone, PCB

1. 머리말

E-waste(폐전기전자기기, WEEE)는 많은 종류의 금속을 함유한 유기물과 유해물의 복합혼합물로 자원의 유효이용과 환경부하저감을 위해 리사이클링 처리가 필수

로 되어 있다. 특히 최근 레어메탈의 공급계약문제 등으로 도시광산자원 중에서 E-waste의 비중이 높아지고 있다. 한편, E-waste의 리사이클링산업에 있어서 E-waste의 경제적 가치의 파악은 매우 중요하다. 리사이클링산업이 성립되기 위해서는 버진원료로부터 생산한

* Received : March 6, 2013 · Revised : April 16, 2013 · Accepted : June 13, 2013

*Corresponding Author : Jae-Hyun Oh (E-mail : kiirr1992@naver.com)

Yonsei University Professor Emeritus, Room 1106, The Korea Science and Technology Center, 635-4, Yeogsam-dong, Kangnam-ku, Seoul, 135-703, Korea

Tel : +82-2-3453-3541 / Fax : +82-2-3453-3540

©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.

제품가격보다 재생원료로 생산한 제품가격이 저렴하여야 하며, 그 가격차가 어느 기간 동안 유지되어야 하기 때문이다.

본보에서는 E-waste를 대형가전, 소형가전, 휴대전화기 및 PCB(전자인쇄회로기판, 기판)로 분류해서 경제적 가치를 논하였다. 대형가전(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV)은 배출량, 처리량 및 물질(철, 알루미늄, 동, 플라스틱 등) 회수량에 대한 통계가 발표되어 경제적 가치의 산출이 가능하다. 그러나 소형가전은 이러한 통계가 부재하여 경제적 가치의 산출이 쉽지 않다. PC(컴퓨터)는 대표적인 소형가전으로 지목되고 있지만, 중고품으로 수출이 많고, 또 중고품으로서 시장상품가치를 가지고 있기 때문에 배출량의 산출이 어렵다. 휴대전화기는 소형가전에 속하나, 도시광산자원의 보고로 최근 각광을 받고 있기 때문에 별도로 논하였다.

E-waste에서 PCB의 경제적 가치의 비중은 매우 높다. 소형가전의 경우 소형가전에 내재되고 있는 PCB의 경제적 가치가 소형가전 전체가치의 98%를 차지하고 있다. 이러한 까닭에 PCB제조사의 관점에서도 PCB 리사이클링의 경제적 가치를 논하였다.

비철금속제련 리사이클링산업의 리사이클링 원료로서 E-waste의 비중은 낮은 편이다. 일본 전체에서도 4%(23천톤/540천톤)¹⁾에 불과하다. 그러나 근년 리사이클링 포텐셜이 점점 높아지고 있다. E-waste 리사이클링 경제학에서는 리사이클링물질의 경제적 가치, 경제

적인 관점에서 본 처리방법의 합리성 및 환경적인 부하 저감(CO₂ 삭감) 등을 통합적으로 개선하여야 하나, 본보에서는 일차적으로 리사이클링 물질의 경제적 가치 산출을 위주로 논술하였다.

2. 대형가전의 경제적 가치

Table 1²⁾은 2009년도 우리나라 E-waste(법정 10개 품목)를 기계리사이클링 처리해서 회수한 재활용 물질의 중량을 표시한 것이다. 6,243톤의 컴퓨터가 재사용 부품으로 되어 있으나 중국 등으로 중고컴퓨터를 수출한 중량이다. 유리, 기타 등은 경제적 가치가 있는 재활용품으로는 간주하기 어렵다. 그리고 기타 비철에는동이 알루미늄 량의 65% 만큼 들어있다. 즉 889톤의 순동이 있고, 나머지 4,266톤은 동합금과 알루미늄의 혼합물로 간주하고 AI 가격을 적용하였다. 그러므로 경제적 가치가 있는 회수된 재활용품 중량의 총계는 합계에서 재사용품, 유리와 기타를 뺀 것이며 76,926톤으로 집계된다. 그중 대형가전의 중량은 73,056톤으로 약 95%를 차지하고 있다.

Table 2는 회수된 유가 재활용품 중량의 총집계 76,926톤에 대한 경제적 가치를 산출한 것이다. 총 경제적 가치는 10,306,501만원이고 톤당 가치는 134만원이다. 만일에 2009년도 배출된 전체 E-waste의 재활용품을 회수한다면 그 경제적 가치는 10,306천만원의 약

Table 1. Amount of the recycling materials from the E-waste (단위 : 톤)

년도	품목	재자원량							
		재사용 부품	고철	알루 미늄	기타 비철	합성 수지	유리	기타	합계
2009	냉장고	0	27,775	682	1,928	12,756	501	3,415	47,056
	세탁기	0	11,260	524	1,952	7,339	146	2,289	23,510
	에어컨	0	1,372	86	264	291	6	246	2,265
	TV	0	3,131	33	431	3,232	9,490	1,213	17,531
	컴퓨터	6,243	912	11	225	216	0	85	7,692
	오디오	0	272	12	45	200	0	52	581
	이동전화 단말기	0	11	7	240	267	0	69	593
	프린터	1	511	3	60	457	1	21	1,054
	복사기	0	211	10	6	91	6	19	344
	팩시밀리	0	54	0	3	43	0	4	104
	합계	6,244	45,511	1,368	5,155	24,892	10,151	7,412	100,733

Table 2. Economical evaluation of the E-waste(2009)

물질	단가(원/kg)	중량(톤)	총액(만원)
철	500	45,511	2,275,550
		※ 43,538	2,176,900
알루미늄	2,706	1,368	3,701,808
		※ 1,325	3,585,450
동	10,615	912	968,088
		※ 883	937,304
혼합비철(Al+Cu 합금)	2,706	4,243	1,148,156
		※ 3,692	999,055
플라스틱	889	24,892	2,212,899
		※ 23,618	2,099,640
합계		76,926	10,306,501
		※ 73,056(95%)	9,798,349(95%)

단가는 2011년 7월 기준의 LME 가격, 환율 원/\$: 1,060원, 고철, 플라스틱은 시중가격을 적용
 ※ 대형가전(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV)의 중량과 금액

Table 3. Economical value of the E-waste and E.L.V.

구분	총계	TV	냉장고	세탁기	에어컨	PC	오디오	휴대전화	복사기	팩시밀리	프린터	자동차
보급 대수 (천대)	190,004	24,637	30,224	16,788	9,084	14,933	3,582	67,032	431	830	5,663	16,800
총가치 (억원)	141,237	4,372	11,488	9,729	3,242	3,908	133	1,121	116	113	170	106,845
연가치 (억원)	10,910	596	1,494	1,271	554	995	20	390	27	22	40	5,501

4배인가) 41,224천만원으로 추정할 수 있다.

Table 2에서 대형가전(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV)의 경제가치는 9,798,349만원으로 E-waste(법정 10개 품목)의 약 95%를 차지하고 있다. 만일에 2009년도 배출된 대형가전의 전체를 회수한다면 그 경제적 가치는 9,798,349만원의 4배인 3,919억원으로 추정할 수 있다.

권역별 7대 Recycling center에서는 대형가전만을 처리하고 있으며 처리프로세스는 대동소이하여 기계처리하기 전에 먼저 수작업으로 분해부터 시작한다. Fig. 1에 수선별작업장과 수선별한 물품을 도시하였다. 수선별한 와이어 허네스, 전장품, PCB, 커넥터, 모터(세탁기)

등은 Table 1에서 제외되었으며 따라서 Table 2의 경제적 가치에도 포함되지 않았다.

Table 3⁴⁾은 2009년 9월 국무회의에 보고된 폐전기전자제품 및 폐자동차의 경제적 가치 현황이다. TV, 냉장고, 세탁기 및 에어컨 4개 품목의 연간 경제적 가치는 3,915억원으로, 전술한 대형가전의 년 경제가치 3,919억원과 유사하여 매우 흥미롭다.

3. 소형가전의 경제적 가치

Table 4⁵⁾는 휴대전화기 및 소형가전의 중간처리에 있어서 PCB 및 금속의 분배상황표이다. 본 자료는 일본 경제산업성과 환경성이 공동으로 설치한 「사용이 끝난 소형가전에서의 레이메탈 회수 및 적정처리에 관한 연구회」 3차회의(2009년 3월 24일)에서 배포된 자료 중,

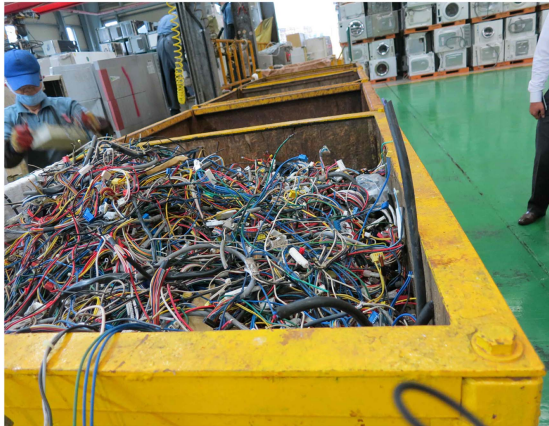
가필자의 E-waste 물질흐름연구³⁾에 의하면, E-waste 배출량의 약 25%만이 생산자에 의하여 리사이클링되고 있고, 약 75%가 통계에 집계되지 않은 흐름에 의해 유통되고 있다.



수선별 작업장(냉장고, 세탁기)



PCB



Wire harness



Connector



전자품



Motor(세탁기)

Fig. 1. Dismantling parts of the refrigerator and washing machine.

Table 4. The metal contents of the end of life hand phone and small size electrical home appliances according to the recycling processing

원자번호	원소기호	원소명칭	단위	원소명칭															
				1	1-0	1-①	1-②	1-③	1-④	1-⑤	2	2-0	2-①	2-②	2-③	2-④	2-⑤		
				휴대전화본체(試算)	휴대전화기관	믹스메탈	집진분	수지류	알루미늄회수물	철회수물	소형가전(試算)	소형가전기관	믹스메탈	집진분	수지류	알루미늄회수물	철회수물		
		전중량(g)		4,170.54							7,869.00								
		전체비율(%)		24.0%	24.0%	10.3%	1.0%	2.0%	6.9%	3.2%	15.8%	15.8%	7.4%	0.8%	2.5%	2.5%	2.1%		
		기관중량(g)		1,000.10	1,000.10	430.00	42.00	81.90	287.70	134.60	1,241.10	1,241.10	582.10	61.30	199.90	196.50	163.90		
		기관비율(%)			100.0%	43.0%	4.2%	8.2%	28.8%	13.5%		100.0%	46.9%	4.9%	16.1%	15.8%	13.2%		
3	Li	리튬	%	0.0033	0.0137	0.0300	0.0200				0.0018	0.0113	0.0180	0.0430			0.0060		
4	Be	베릴륨	%	0.0015	0.0062	0.0130		0.0080											
22	Ti	티타늄	%	0.2067	0.8618	1.6300	2.6200	0.0800	0.1140	0.0860	0.0310	0.1965	0.1480	2.0200	0.0710	0.0730	0.0330		
24	Cr	크롬	%	0.3934	1.6405	0.8130	0.1020			9.5600	0.0613	0.3888	0.5640	0.0530			0.9210		
25	Mn	망간	%	0.0536	0.2234	0.3420	0.0650	0.0540	0.0160	0.4800	0.0488	0.3093	0.5520	0.3920			0.2350		
27	Co	코발트	%	0.0237	0.0990	0.2020	0.0190			0.0840	0.0075	0.0476	0.0870	0.0300			0.0400		
28	Ni	니켈	%	0.7657	3.1929	4.1200	2.3900	4.6600	1.1700	4.4800	0.1740	1.1031	1.5900	1.3400	0.1420	0.0600	1.9600		
31	Ga	갈륨	%	0.0044	0.0184	0.0370	0.0230			0.0110									
39	Y	이트륨	%	0.0039	0.0161	0.0330	0.0460				0.0001	0.0005		0.0100					
41	Nb	니오븀	%	0.0003	0.0011		0.0260				0.0003	0.0018		0.0360					
42	Mo	몰리브덴	%	0.0077	0.0321	0.0530				0.0690	0.0000	0.0000							
46	Pd	팔라듐	%	0.0082	0.0342	0.0520	0.0890			0.0600	0.0073	0.0460	0.0550	0.2150			0.0730		
49	In	인듐	%	0.0000	0.0000						0.0000	0.0000							
51	Sb	안티몬	%	0.0116	0.0484	0.0930	0.0340	0.0440		0.0250	0.0219	0.1389	0.1830	0.0690	0.2430		0.0800		
56	Ba	바륨	%	0.4784	1.9951	3.3600	5.9600	0.3080	0.8080	0.3160	0.0732	0.4643	0.2540	5.0000	0.2290	0.3140	0.0880		
57	La	란탄	%	0.0357	0.1489	0.2830	0.3330		0.0320	0.0300	0.0029	0.0181	0.0230	0.1490					
59	Pr	프라세오디뮴	%	0.0074	0.0308	0.0610	0.1090				0.0004	0.0024		0.0480					
60	Nd	네오디뮴	%	0.0633	0.2640	0.5170	0.8910		0.0150		0.0063	0.0399	0.0600	0.2380					
62	Sm	사마륨	%	0.0053	0.0221	0.0290	0.2300				0.0002	0.0012		0.0240					
66	Dy	디스프로슘	%	0.0002	0.0009		0.0210												
73	Ta	탄탈	%	0.0386	0.1610	0.3500	0.2500				0.0191	0.1208	0.2560	0.0150					
74	W	텅스텐	%	0.2282	0.9518	2.2100				0.0120									
83	Bi	비스무트	%	0.0091	0.0381	0.0800	0.0880				0.0016	0.0099	0.0180	0.0300					
레이메탈 % 합				2.3502	9.8005	14.3080	13.3158	5.1540	2.1550	15.2129	0.4575	2.9005	3.8079	9.7119	0.6850	0.4471	3.4360		
13	Al	알루미늄	%	0.5552	2.3153	3.2100	3.2400	1.2300	2.0200	0.8710	0.8201	5.1996	5.1200	2.9700	2.7600	7.6000	7.6000		
26	Fe	철	%	1.9751	8.2363	5.6200	1.8300	0.1650	0.1270	42.3000	2.1766	13.8004	14.6000	7.7700	0.1870	0.0950	49.4000		
29	Cu	구리	%	7.6368	31.8463	26.4000	16.2000	34.8000	50.6000	17.9000	3.4209	21.6897	25.6000	5.7900	20.0000	34.0000	6.0000		
30	Zn	아연	%	0.3527	1.4707	1.8500	0.5290	5.6900	0.6420	0.0180	0.0875	0.5550	0.7300	1.6900	0.5860	0.1080	0.1340		
47	Ag	은	%	0.0920	0.3837	0.6260	0.8630	0.1760	0.1590	0.1350	0.0216	0.1371	0.2030	0.0490	0.2000		0.0550		
50	Sn	주석	%	0.7880	3.2862	4.3000	6.2400	4.5700	2.2700	1.1000	0.5894	3.7370	5.7600	3.7000	2.3600	1.5000	1.7800		
79	Au	금	%	0.0377	0.1571	0.2800	0.1180	0.1700	0.0250	0.0790	0.0045	0.0282	0.0430	0.0330	0.0270		0.0160		
82	Pb	납	%	0.2500	1.0424	1.3800	1.6400	1.3800	0.6210	0.6580	0.3388	2.1480	2.7400	4.1300	2.2100	0.7290	1.4200		
레이메탈外 % 합				11.6874	48.7380	43.6660	30.6600	48.1810	56.4640	63.0610	7.4594	47.2950	54.7960	26.1320	28.3350	44.0321	66.4050		
35	Br	브롬	%	0.2545	1.0614	0.5500	1.5500	1.5500	1.1800	2.1800	0.2759	1.7492	1.3100	1.9800	1.8200	2.8300	2.2400		

Table 5. Economical value of the end of life hand phone

	휴대전화기 본체				기관		
	분석치 (%)	금속 함량/톤	단가※	금액 원/톤	분석치 (%)	금속 함량/톤	금액 원/톤
Au	0.0377	377(g)	50,667원/g	19,101,459	0.1571	1,571(g)	58,621,719
Ag	0.0920	920(g)	1,493원/g	1,373,560	0.3837	3,837(g)	5,728,641
Pd	0.0082	82(g)	26,435원/g	2,167,670	0.0342	342(g)	9,040,770
Cu	7.637	76.4(kg)	10,615원/kg	810,986	31.846	318.5(kg)	3,380,878
총 가격 : 23,453,675원/톤					76,772,008원/톤		
기관 1톤을 얻기 위한 휴대전화기 본체 중량					4.17톤		

※ 단가는 2011년 7월 기준의 LME 가격, 환율 원/\$: 1,060원을 적용

Table 6. Economical value of the small size electrical home appliances

	소형가전 본체		기관		혼합비철		집진분	
	분석치 (%)	금액 원/톤	분석치 (%)	금액 원/톤	분석치 (%)	금액 원/톤	분석치 (%)	금액 원/톤
Au	0.0045	2,280,015	0.0282	14,288,094	0.0430	21,786,810	0.0330	16,720,110
Ag	0.0216	322,488	0.1371	2,046,903	0.2030	3,030,790	0.0490	731,570
Pd	0.0073	1,929,757	0.046	12,160,100	0.0550	14,539,250	0.215	56,835,250
Cu	3.420	363,033	21.689	2,302,393	25.6	2,717,440	5.790	614,608
총가격 : 4,895,291원/톤		30,797,490원/톤		42,074,290원/톤		74,901,538원/톤		
1톤을 얻기 위한 소형가전 본체중량		6.29톤		기관중량의 46.9%		기관중량의 4.93%		
기관 1톤을 처리 시 경제적 가치				19,732,842원		3,692,646원		

「사용이 끝난 소형가전의 회수모델 사업의 보고(레어 메탈 회수환경관리분)」의 일부를 발췌하여 월간폐기물 21(2009.6.)에 게재한 것을 인용한 것이다.

Table 4로부터 Table 5 및 Table 6을 작성하여 휴대전화 및 소형가전의 경제적 가치를 산출하였다. 소형가전에는 P.C, 오디오, 프린터, 복사기, 팩시밀리, 게임기, 포터블플레이어, 네비게이션, 카메라, 전화기, VTR 등 많은 품목이 혼합된 것으로 추정되지만 상세한 것은 알 수 없다. 경제적 가치에는 비철제련소에서 매광조건으로 평가하는 Au, Ag, Pd, Cu, Pt(Table 4에는 기재 없음.) 금속중에 한해서 산출하였다. Table 5에서 폐휴대전화기(배터리를 회수한 본체)의 경제적 가치는 23,453천원/톤으로 산출된다. 2011년도 우리나라 휴대전화기 배출량은 3,154톤으로 추정되므로 휴대전화기의

년 경제적 가치는 740억원으로 추정할 수 있다. 2009년도 회수량은 616톤이었으므로 144억원이 실제 시장 규모이다. 휴대전화기의 기관만을 회수할시 기관의 경제적 가치는 76,772천원/톤으로 휴대전화기 본체 가격의 2.5배 이상으로 상승하나, 이러한 계산은 현실적이지 못하다. 그 이유는 타소형가전과 달리 휴대전화기 본체를 분쇄 후 통째로 용광로에 투입하기 때문이다. 그리고 최근의 휴대전화기에서 기관만을 분해하기가 쉽지 않다.

Table 6에서 소형가전 본체의 경우 약 500만원/톤의 경제적 가치를 가지고 있으나 소형가전은 분해해서 기관을 선별 회수하여 처리하는 것이 기본으로 되어 있다. 소형가전 기관 1톤의 경제적 가치가 30,797천원으로 산출되어, 휴대전화기 본체의 그것보다 상회하고 있으며

Table 7. Economical value of the PCB, gold and palladium in the end of life hand phone and small size electrical home appliances

		휴대전화기	소형가전
톤당 경제적 가치	본체	23,453 천원	4,895 천원
	기판	97,748 천원	30,797 천원
기판이 차지하는 비중		100%	100%
금이 차지하는 비중	본체	81.4%	46.6%
	기판	81.4%	46.4%
	혼합비철	-	51.8%
	집진분	-	22.3%
Pd이 차지하는 비중	본체	9.2%	39.4%
	기판	9.2%	39.5%
	혼합비철	-	33.5%
	집진분	-	75.9%

Table 8. PCB marketing share by countries in the world (단위 : 백만달러/년)

구분	'08년	'09년	'10년	'11년(E)	점유율 ('10년)	연평균 성장률
중국	15,789	16,894	17,908	19,162	31%	7%
일본	12,111	12,474	12,937	13,454	22%	4%
대만	8,192	8,601	9,031	9,392	15%	5%
한국	5,545	5,291	6,283	7,091	11%	7%
북미	4,650	4,743	4,838	4,840	8%	1%
유럽	3,491	3,421	3,489	3,481	6%	0%
남미	94	93	93	92	0%	-1%
기타	3,498	3,681	3,911	4,106	7%	10%
계	53,370	55,198	58,490	61,618	100%	5%

주) 환율 적용 : '08년→1,019원/\$, '09년→1,219원/\$, '10년→1,130원/\$, '11년→1,110원/\$
(출처 : (사)KPCA, WECC Report, Prisma Report, NTI Report)

로 제련소가 요구하는 입도로 분쇄하면 된다.

K 비철제련소에서는 휴대전화기와 귀금속 품위가 높은 기판은 30 ~ 50 mm 입도로 분쇄만 해서 용광로에 투입하고 있으며, 귀금속 품위가 낮은 가전용 기판은 분쇄선별 시 Al과 Fe를 제거한 후 용광로에 투입하고 있다. 소형가전의 경우 중간 처리 시 산출되는 산물의 톤당 경제적 가치는 산출가능하나, 소형가전 배출량의 추정이 어려워 총체적인 경제적 가치의 산출은 쉽지 않다.

Table 7에서는 휴대전화기와 소형가전의 경제적 가치를 비교하였다. 소형가전 톤당 경제적 가치는 휴대전화기 그것의 약 21%에 불과하나 소형가전의 기판을 선별

회수시 기판 톤당 가치는 휴대전화기 본체의 1.3배로 산출된다. 4종 금속 중 금이 차지하는 가치비중은 휴대전화기의 경우 80% 이상이나, 소형가전의 경우는 50% 미만이다. Pd이 차지하는 비중은 휴대전화기보다 소형가전이 월등히 높다. 이상에서 소형가전의 리사이클링에 있어서 기판만을 분해 선별해서 회수하는 것이 제련소 매광조건을 충족시키는 합리적 방법임을 알 수 있다.

4. PCB의 경제적 가치

Table 8⁶⁾은 연도별 세계인쇄회로기판(PCB)의 시장규

Table 9. PCB marketing share according to the kinds of PCB in the world (단위 : 백만달러/년)

구분	'09년	'10년	'11년(E)	점유율 ('10년)	연평균 성장률
자동차	2,438	2,582	2,711	4%	4%
컴퓨터	16,311	16,845	17,745	29%	3%
휴대전화	13,303	14,323	15,073	24%	5%
게임기 및 MP3	8,157	8,364	8,811	14%	3%
산업용 및 의료기기	3,694	3,860	4,066	7%	3%
군수	3,087	3,275	3,450	6%	4%
반도체	8,208	9,241	9,762	16%	6%
합계	55,198	58,490	61,618	100%	4%

Table 10. Production cost of the PCB in the K company

원단위	내역	비고
매출고	2,400억원	한국 전체의 3.4%
생산량	900,000 m ² /년 (1,800톤)	휴대전화, PC용 주생산 한국 전체의 3.0%
Au 사용량	1,200 kg/년	1.3 g/m ² , 600억원/년 제조원가의 25%
Cu 사용량	1,800톤 × 0.2 = 360톤/년	36억원/년, 제조원가의 1.5%

모를 표시한 것이다. 2010년도 한국에서는 3천만 m²의 PCB를 생산하였고 2010년 매출고는 6,283(약 7조원)백만불로 전 세계 58,490백만불의 약 11%를 점유하고 있다. Table 9⁶⁾는 PCB 용도별 세계시장규모를 표시한 것으로서 2010년도에 PC가 16,845백만불로 전체의 28.8%를, 휴대전화가 14,323백만불로 전체의 24.5%를 차지하고 있으며, 양자의 합은 전체의 53.3%를 차지하고 있다. 이상에서 컴퓨터 및 휴대전화의 기판이 소형 가전의 경제적 가치에서 매우 중요함을 알 수 있다.

즉, 전자기기 중 귀금속은 대부분 PCB에 농집(Table 4 참조)되어 있다. 특히, 전자기기의 경제적 가치에서 PCB 중의 Au가 차지하는 비율이 대단히 높다. Table 10은 PCB 제조업체인 K사의 2010년도 PCB 생산 원단위이다.^{나)} 매출고를 제조원가로 간주하고, PCB 1 m²의 무게를 2.0 kg으로 계산하였다.

우리나라 전체 PCB 매출고(제조원가)에서 Au가 차지하는 비율을 20%로 추정하고 있다. 그러므로 Au의

상당액이 1조 4천억원(Au 28톤, 약 500억원/톤)으로 추산된다. 한편, K사의 Au 사용량 비율로는 우리나라 전체 PCB에 사용되는 Au량은 35톤/년으로 추산된다. 이와 같은 관점에서 30톤/년 전후의 Au가 PCB산업에 사용되고 있다고 할 수 있다.

Table 11⁷⁾은 우리나라 2010년도 Au의 공급과 수요를 표시한 것이다. 수요에 있어 전자산업이 33톤을 나타내어, PCB에 사용되는 Au량에 근접하고 있다.

PC의 PCB중 등 함량은 약 20%, 금은 0.05%로 추정되고 있다.

그러므로 PCB에는 Cu : 200 g/kg(2,000원/kg), Au : 0.5 g/kg(25,000원/kg)이 함유되어 있고, 경제적 가치는 Au 및 Cu 만으로 27,000원/kg이 산출된다.

리사이클링 중간처리업자(2011. 9. 8.)는 공정 PCB 스크랩 중

TV, 냉장고, 세탁기 용 PCB를 300 ~ 500원/kg

PC용 PCB를 8,000 ~ 8,200원/kg

으로 구매하여 중간 처리 후 제련소에 매출시 PC용 PCB 21,000원/kg으로 판매하고 있다. 그리고 휴대전화

나) 개인적으로 접촉하여 입수한 자료임.

Table 11. Supply and demand of the gold in Korea(2010)

Supply & Demand		Amount(kg)	Remarks
Supply	LS-Nikko Copper	50,600	
	Korea Zinc	2,700	
	Scrap	40,000	Estimation
	Import	12,000	from Hongkong, Australia, Germany, Japan
	Total	105,300	
Demand	Jewellery	20,000	
	Electronics	33,000	
	Dentistry	3,000	
	Export	45,294	to Hongkong, Singapore, England, Thailand
	Other	4,006	
	Total	105,300	

Table 12. Economical evaluation of the PCB

	한국전자회로산업협회	K사
생산량/년	3,000만m ² (6만톤)	90만m ² (1,800톤)
매출고	7조원	2,400억원
생산원가/톤	116,600천원(116.6천원/kg)	133,300천원/톤(133.3천원/톤)
생산원가에서 금의 비율	1조4천억원, 20% (23,300천원/톤-PCB) (23.3천원/kg)	600억, 25% (33,300천원/톤) (33.3천원/kg)

기 본체는 19,000원/kg, 배터리는 3,000 ~ 5,000원/kg으로 거래하고 있다.

Table 12는 한국전자회로산업협회와 PCB 메이커인 K사의 자료에 의해서 계산한 PCB의 경제적 가치 비교 표이다. 한국 전체적인 PCB 생산원가는 116,600천원/톤(116.6천원/kg)이고, 생산원가에서 금값이 차지하는 비율은 20%로 총액 1조 4,000억원이며, 23,300천원/PCB-톤(23.3천원/kg)으로 산출된다. 한편, 휴대전화기 및 PC용 PCB를 주로 생산하는 K사의 생산원가는 133,300천원/톤(133.3천원/kg)이고, 생산원가에서 금값이 차지하는 비율은 25%이다.

Table 13은 대형가전, 소형가전 및 휴대전화기의 경제가치를 비교한 것이다. 대형가전은 134만원/톤, 소형가전은 490만원/톤, 휴대전화기는 2,345만원/톤이며, 이 3자의 경제적 가치 총계는 7,523억원/년으로 산출된다.

5. 요약

E-waste 리사이클링의 경제학에서는 물질의 경제적 가치, 경제적인 관점에서 본 처리방법의 합리성 및 환경적인 부하저감(CO₂ 삭감)등을 설명하여야 하나, 본보에서는 물질의 경제적 가치를 위주로 논하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 대형가전(냉장고, 세탁기, 에어컨, TV)에서 회수한 경제성이 있는 물질은 고철, 알루미늄, 동 및 합성수지로 구성되어 있고, 그 경제적인 가치는 배출량 기준으로 3,919억원/년이다.

2. 대형가전의 리사이클링 프로세스에서 수작업으로 분해선별 회수한 와이어 허네스, 전장품, PCB, 커넥터 및 모터(세탁기) 등의 경제적 가치는 상기 금액에 포함되어 있지 않다.

3. 소형가전의 배출량 추정은 쉽지 않다. 일본의 예(대형가전의 20%)를 참작해서 산출한 경제적 가치는

Table 13. The comparison with electrical home appliances and end of life hand phone in the economical evaluation

	대형가전	소형가전	휴대전화기
본체/톤	134만원	490만원	2,345만원
PCB/톤	-	3,080만원	7,677만원
R 중간처리회사 거래가/톤	30 ~ 50만원 (PCB 구입가)	2,100만원 (PC의 PCB 제련소 매도가)	1,900만원 (본체 제련소 매도가)
배출량으로 계산된 우리나라 총 경제적 가치	3,919억원	대형가전 배출량* (73,056톤 × 4) × 20% 58,445톤 × 490만원 = 2,864억원	배출량 3,154톤 × 2,345만원 = 739.6억원

* 일본의 경우 대형가전 배출량 250만톤/년, 소형가전 배출량 50만톤/년 참고

2,864억원/년이다.

4. 소형가전의 리사이클링에 있어서 PCB만을 분해선별회수하는 것이 제련소 매광조건을 감안할 때 합리적인 처리방법이라고 할 수 있다.

5. 휴대전화기의 경제적 가치는 배출량 기준으로 740억원/년이며, E-waste 중량 당 경제적 가치가 가장 높다.

6. 한국의 E-waste(대형가전, 소형가전, 휴대전화기)의 총 경제적 가치는 7,523억원/년으로 추정되나, 실제 리사이클링 되고 있는 E-waste의 경제적 가치는 2,000억원/년 미만(7,523억원/4)으로 산출된다.

7. 한국에서의 PCB 생산량은 3,000만 m²/년(약 6만톤/년)이고, 매출고는 7조원에 달한다. PCB의 생산원가는 116,600천원/톤(116.6천원/kg)으로 산출되며 금이 차지하는 비중이 높다.

8. PCB 생산원가에 금이 차지하는 비율은 약 20%로 1조 4천억원에 해당되며 30톤/년 가까운 금을 PCB 생산에 사용하고 있다.

참고문헌

1. Fumikazu Yoshida, 2010 : An Economic Analysis of Urban Mines-Focusing on Electronics Products-, J. of MMIJ,

Vol.126, pp.166-171, The Mining and Materials Processing Institute of Japan.

2. Yeong-Ki Kim, 2010 : 10 Years History of Electronic Environment, p.268, Korea Association of Electronics Environment.
3. Jae-Hyun Oh, Joon-Soo Kim, Suk-Min Moon and Ji-Won Min, 2011 : Recycling System and Recycling Industries of the E-waste in Korea, J. of KIRR, Vol.20, No.5, pp.16-33, KIRR.
4. Sun Hee Lee and Young Min Jo, 2010 : Review of National Policies on the Utilization of Waste Metal Resources, KIC News, Vol.13, No.1, Korean Institute of Chemical Industries.
5. Ministry of Economy, Industry and Ministry of Environment(Japan), 2009 : A Report of the Rare Metal Recovery from the End of Life of the Small Size Home Appliances.
6. Korea Printed circuit Association, 2011 : Present Status of the PCB Industry in Korea, pp.11-13, KPCA.
7. Jae-Hyun Oh, 2012 : Proceeding of the Urban mine Resources and Recycling of Metals in Korea, The 10th Anniversary Korea/Japan International Symposium on Resources Recycling and Materials Science, pp.45-58, May 28-30, 2012, Daejeon Convention Center, Korea.

吳 在 賢

- 현재 연세대학교 명예교수
- 현재 한국자원리사이클링학회 명예회장
- 당 학회지 제10권 5호 참조

康 南 基

- 연세대학교 금속공학과 석사
- 연세대학교 금속공학과 박사
- 현재 전자부품연구원 부품소재연구본부 본부장