연구논문 「환경정책」 제27권 제4호 2019. 12: 241-269
DOI http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2019.27.4.241
ISSN 1598-835X

폐 전기, 전자제품 유래 금속 자원 관리를 위한 통계기반 구축 제언 연구

A Study on the Proposal of Statistics Base for the Management of Metal Resources from WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)

이종수* · 김도완** · 배재근***
Jongsoo Lee · Dowan Kim · Chaegun Phae

요약: 폐 전기, 전자제품 내에는 다양한 금속이 포함되어 있으며, 구리, 알루미늄 및 금 등은 회수되어 재이용될 경우 자원을 절약하고 경제성을 확보할 수 있지만, 납과 수은과 같은 유해물질은 자연계에 방치되거나 매립될 경우 용출되어 자연환경과 생태계에 악영향을 미칠 수 있다. 우리나라는 광물자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있으나, 폐금속자원 재활용기술수준의 경우 선진국의 50~70% 수준, 폐가전제품 등에서의 유가금속 재활용률은 15~35%로 매우 저조하다. 폐금속 자원의 효율적인 재활용을 위해서는 자원의 발생량 및 재활용량이 정확히 집계되고, 재료구성 및 회수 가능성 등에 정보가 공개되어야 한다. 이를 위해서 관련 통계 구축되어야 하며, 그 흐름이 통계적으로 예측되어야 한다. 그러나 현재 적절한 통계자료가 존재하지 않는다.

본 연구에서는 통계기반 마련을 위한 폐 전기, 전자제품의 발생량을 추정하기 위해 누적확률함수와 수명분포 함수를 이용하였다. 그 결과 EcoAS에서 관리하는 총 27종의 폐 전기, 전자제품은 2019년 631,432톤에서 2023년 745,014톤으로 꾸준히 증가할 것으로 나타났으며, 이를 통해 회수 가능할 것으로 기대되는 폐금속 자원의 양은 2019년 243,569톤에서 2023년 284,774톤으로 증가할 것으로 나타났다.

국제적 기준에 부합하는 신뢰도 높은 통계를 작성하기 위해서는 와이블분포를 이용한 수명분포함수를 통해 발생량을 추정하는 것이 타당하나 현재 국내에서 확보할 수 있는 데이터의 한계로 인해 해당 방법을 적용하기 어렵다. 이에 따라 통계작성에 필요한 출고량 및 수명 데이터의 확보가 필요하며, 제조사를 통한 제품별 유가금속(귀금속 및 희유금속 등)의 함량비 데이터를 확보할 수 있는 제도적 규정 마련이 필요하다. 또한, 관리되지 않고 있는 고물상 등의 민간 영역에 대한 관리체계를 정비하여 통계에서 발생할 수 있는 오류 및 관리체계에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화해야 할 것이다.

핵심주제어: 전기, 전자 폐기물, 도시광산, 통계, 금속자원, 수명분포

Abstract: Waste electrical and electronic products contain various metals, and when copper, aluminum, and gold are recovered and reused, resources can be saved and economy can be ensured. Hazardous substances such as lead mercury are eluted when left in the natural environment or landfilled and can adversely affect the ecosystem. Japan relies on imports for over 95percent of its mineral resources, but in the case of the recycling

* 주저자, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과 박사과정
** 공동저자, 서울과학기술대학교 일반대학원 환경공학과 석사과정
*** 교신저자, 서울과학기술대학교 에너지바이오대학 환경공학과 교수

technology level for urban mining metal resources , it is 50–70 percent in developed countries, while the recycling rate of valuable metals such as waste home appliances is 15%, which is much lower—by at least 35 percent . For efficient recycling of pulmonary metal resources, the amount of resources generated and the amount of recycling must be accurately tabulated, and information such as material composition and recoverability must be made public. To that end, it is necessary to produce related statistics, and the flow of metal resources should be statistically predicted. At this point, however, it is not possible to obtain proper statistics.

In this study, cumulative probability function and life distribution function were used to estimate the amount of waste electrical and electronic products generated for the preparation of a statistics base. As a result, all twenty-seventypes of waste electrical and electronic products managed by EcoAS (Eco-Assurance System of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles) in South Korea are expected to increase steadily from 631,432tons in 2019 to 745,014 tons in 2023, which is expected to be recoverable. The amount of metal resources was predicted to increase from 243,569tons in 2019 to 284,774tons in 2023.

To create reliable statistics that meet international standards, it is appropriate to estimate the amount of generation using the life distribution function via Weibull distribution or to limit the data currently available in Japan. Therefore, it is difficult to apply this method. As a result, it is necessary to secure the shipment amount and life data necessary for the creation of statistics and to create institutional rules that can ensure the content ratio data of valuable metals by product (noble metals, rare metals, etc.) through manufacturers. In addition, a management system for private areas such as unmanaged antiquarian merchants should be maintained to minimize errors that may occur in statistics and problems that may occur in the management system.

Key Words: WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment), Urban Mine, Statistics, Metal Resource, Lifespan Distribution

I. 서론

폐 전기, 전자제품 내에는 다양한 금속이 포함되어 있으며, 구리, 알루미늄 및 금 등은 회수되어 재이용될 경우 자원을 절약하고 경제성을 확보할 수 있지만, 납과 수은과 같은 유해물질은 자연계에 방치되거나 매립될 경우 용출되어 자연환경과 생태계에 악영향을 미칠 수 있다.

선진국은 천연자원의 대체하기 위해 폐금속 자원의 확보에 노력을 기울이고 있고, 그 노력의 일환으로서 미국과 일본, 독일에서는 산업 원료로 활용되는 금속 자원의 40% 이상을 폐금속 자원을 재활용하여 확보하고 있다. 우리나라는 광물자원의 95% 이상을 수입에 의존하고 있으나, 폐금

속자원 재활용기술수준의 경우 선진국의 50~70% 수준, 폐가전제품 등에서의 유가금속 재활용률은 15~35%로 매우 저조하다.[1] 그러나 생활 수준 등의 향상으로 가전제품 및 자동차 등의 소비량이 증가함에 따라 해당 품목들의 제조에 사용되는 각종 유가 자원의 소비량 또한 증가하는 실정이며, 폐기 주기가 빠르게 진행됨에 따라 매년 폐제품의 발생량이 꾸준히 증가하고 있다.

우리나라는 전기, 전자제품 및 자동차의 재활용을 위해 "자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률(재활용촉진법)"을 제정하였으며, 최근 제품의 환경성 보장이 강조되어 유해성 규제와 동시에 재활용성이 중요해짐에 따라 2008년 "전기, 전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률(자원순환보장법)"을 제정하여 관리하고 있다.

전기·전자제품의 재활용을 위해서 전국 권역별 재활용센터를 설치하여 운영하고 있으며, 1998년 중부권리사이클링 센터의 준공을 시작으로 영남권, 수도권, 호남권, 제주권 등 권역별 리사이클링 센터를 순차적으로 준공하여 전국적인 회수, 재활용체계 구축을 완료, 리사이클링 기술 개선 및 개발에 노력을 기울이고 있다. 최근 무상수거 제도의 도입으로 수거율이 증가함에 따라 재활용률 또한 상승하는 추세를 보이고 있다.

폐금속 자원의 효율적인 재활용을 위해서는 자원의 발생량 및 재활용량이 정확히 집계되고, 재료구성 및 회수 가능성 등에 정보가 공개되어야 한다. 이를 위해서 관련 통계 구축되어야 하며, 그 흐름이 통계적으로 예측되어야 한다. 현재 전기·전자제품에 대하여 환경성보장시스템(EcoAS)에 관련 부품에 대한 정보를 공개하도록 규정하고 있으나 관련 정보를 통한 전체 규모와 정도의 파악이 불가능하다. 이에 따라 폐금속 자원을 포함하고 있는 폐 전기, 전자제품에 대한 정확한 발생량의 집계가 어려워 해당 통계의 작성에 어려움이 있으며, 이에 따라 폐금속 자원의 발생 및 처리 현황에 대한 통계 작성을 위해 관련 제도 개편 등 이에 대한 기반 마련이 필요한 실정이다.

---

1) 관계부처합동, 2009,『폐금속자원 재활용대책: 「숨은 금속자원 찾기 프로젝트」전개』.

본 연구는 폐금속자원의 발생량을 산출, 향후 관련 통계 작성을 위한 기초자료로써 활용하고, 통계 작성 시 요구되는 제도·정책적 지원사항에 대하여 검토하기 위하여 수행되었다.

Ⅱ. 연구방법

1. 발생량 예측 방법론

1) 관련 연구 사례 분석

폐 전기·전자제품의 발생량 산정 모델은 명확하게 규정되어 있지 않으며, 국내에 적용 가능한 정확한 발생량 산정 방법론이 구축되지 않아 폐 전기·전자제품의 발생량 예측 및 재활용 정책에 활용하기 어려운 실정이다.

이에 따라, 본 연구에서는 기존에 수행되었던 연구 사례들을 검토하였으며(〈표 1〉), 검토 결과에 따라 채택된 방법론의 적용에 필요한 데이터를 분석하여 발생량 산출을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다.[2)]

〈표 1〉 연구 사례 분석 결과

국가	사용인자	분석방법	
영국[3)]	판매량, 평균수명	수명분포도출	와이블분포
독일[4)]	평균수명, 가정 내 축적, 판매량	수명분포도출	와이블분포
네덜란드[5)]	시장투입, 사용기간	수명분포도출	와이블분포
이탈리아[6)]	시장투입량, 제품수명	수명분포도출	와이블분포
한국[7)]	수명분포	수명분포도출	와이블분포
한국[8)]	내구연한, 전자제품 내수량	폐기비율함수적용	지수분포
EU[9)]	시장투입량, 제품수명	수명분포도출	와이블분포
UN[10)]	시장투입량, 제품수명	수명분포도출	와이블분포

2) 본 연구에서 사용한 연구 사례 검토 결과는 환경부, "전기전자제품 장기재활용 목표량 설정 등 연구"(2017) 및 자체 조사 결과를 활용하였다.
3) WRAP, 2011, Market flows of WEEE materials.
4) Chancerel, P., 2010, Substance flow analysis of the recycling of small waste

분석결과 대부분의 연구 사례에서 발생량 추정을 위한 방법으로 제품의 수명 데이터를 인자로 하는 수명분포함수를 이용하는 것을 알 수 있었다. 이에 따라 해당 방법론의 적정성을 판단하기 위해 수명분포 함수를 이용하여 수행되었던 연구의 방법론 및 데이터를 이용하여 동일한 방법으로 과거의 발생량을 예측하여 보고된 회수량과의 비교·검증을 진행하였다.

2) 수명분포함수를 이용한 발생량 예측

수명분포는 확률밀도함수 또는 누적분포함수로 표현하며 신뢰도, 고장률, MTTF(Mean time to Failure) 등의 신뢰성지표는 수명분포로부터 도출할 수 있다. 수명분포함수를 이용해 발생량을 추정하는 대표적 방법으로 와이블분포(Weibull Distributi on)가 있으며, 와이블분포란 연속확률분포의 하나로써 수명 데이터 분석에 자주 이용되며, 정상분포나 지수분포같은 다른 통계적 분포를 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 2007년 환경부에서 수행한 “전기전자제품 장기재활용 목표량 설정 등 연구”(2017)의 추정 방법론 및 출고량, 수명 데이터를 동일하게 적용하여 TV, 냉장고, 세탁기 세 개 품목에 대한 2016년 발생량을 추정하였다. 이후 추정한 값에 대하여 한국환경공단의 환경성보장제(EcoAS)시스템을 통해 보고된 2016년의 세 개 품목 회수량 데이터와 비교 하였다.

---

electrical and electronic equipment.

5) Huisman et al., 2012, The dutch WEEE flows.

6) Magalini et al., 2012, Household WEEE generated in Italy.

7) Kim, S., M. Oguchi, A. Yoshida, and A. Terazono, 2013, “Estimating the amount of WEEE generated in South Korea by using the population balance model,” *Waste Management*, 33(2), pp.474-483

8) 한국전자산업환경협회, 2012, 폐전자제품 배출실태 조사 및 효율적 회수 방안.

9) EU, 2017, Eurostat.

10) Honda, S., D. S. Khetriwal, and R. Kuehr, 2016, Regional E-waste monitor.

〈표 2〉 추정값과 회수보고량 비교(2016년, 톤)

품목	추정값	회수보고량
TV	24,602	40,988
냉장고	93,549	137,548
세탁기	94,407	48,363

비교결과 2016년 기준 TV과 냉장고의 발생량 추정값은 각각 24,602톤, 93,549톤으로 보고된 회수량인 40,988톤, 137,548톤에 비하여 적은 값을 보였으며, 세탁기의 경우 추정값이 94,407톤으로 회수보고량 48,363톤에 비하여 약 두 배정도 높은 수치를 보였다. 현재 전기·전자제품의 폐제품 발생량 대비 회수량은 정확한 집계가 불가능하나 고물상 등 민간 영역으로 수집되는 일부 양이 존재하기 때문에 추정값이 어느 정도 유의미한 수치를 갖기 위해서는 회수보고량 이상의 값을 보여야 한다. 그러나 해당 방법을 이용한 추정값은 회수보고량에 비해 과소한 값을 보이기 때문에 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다.

이는 수명분포함수를 이용하여 신뢰도 높은 발생량을 추정하기 위해서는 정확한 과거 장기 출고량 데이터 및 수명 데이터가 필요하지만, 현재 확보할 수 있는 데이터는 품목별로 상이하나 최대 과거 약 10년 정도의 데이터를 확보할 수 있는 실정이며, 수명 데이터 또한 표본조사를 통해 조사된 결과치이기 때문에 한계가 있다고 판단된다.

3) 지수분포를 이용한 발생량 예측[11)]

데이터 확보의 어려움에 따라 수명분포함수를 이용한 방법은 신뢰도 높은 결과치를 산출하기 어렵기 때문에, 본 연구에서는 지수분포를 이용한 발생량 예측 방법을 이용하였다.

제품의 수명에 따른 폐제품 발생량을 추정하기 위해 제품의 수명을 고

11) 본 연구에서 사용한 지수분포를 이용한 예측 방법론은 환경부, "제품 등의 자원 순환성 향상 방안 연구"(2006)를 참고하였다.

장률 함수로 지수분포의 형태를 띠는 것으로 가정하였으며, 인자로는 제품의 출고량 데이터 및 수명 데이터를 이용하였다.

일반적으로 사람들이 전기, 전자제품을 사용할 때 해당 제품이 고장 나는 시점에 제품을 교체하는 것은 아니며, 새로운 기능이나 디자인을 가진 신제품이 출시되면 교체를 하게 되는 경우도 발생한다. 해당 수치는 고장률에는 반영하기 어려우나 현장조사를 통한 수명데이터를 통해 반영된 것으로 판단하였다. 실제로 TV의 수명 데이터 현장조사 결과 128개 표본에 대해 평균 수명이 10.7년으로 산출되었는데 사용 경과년수가 짧은(1~2년) 폐제품들이 다수 조사되었다(〈표 3〉).

〈표 3〉 TV 수명 데이터 표본 조사

품목	TV(브라운관)		TV(LCD)		
	용인 RC	HRC(장성)	용인 RC	HRC(장성)	KRC(양주)
1	1999-06-01	2005-09-01	2005-03-01	2010-03-01	2006-10-01
2	2000-12-01	2006-07-01	2008-04-01	2017-01-01	2015-12-01
3	1992-09-01	2007-01-01	2008-11-01	2010-07-01	2007-10-01
4	2003-12-01	1999-03-01	2014-02-01	2008-05-01	2008-06-01
5	2002-05-01	2005-06-01	2008-06-01	2007-09-01	2013-10-01
6	2008-08-01	2004-12-01	2008-08-01	2007-08-01	2010-08-01
7	2004-06-01	2007-10-01	2008-06-01	2010-02-01	2006-10-01
8	2005-06-01	2005-06-01	2009-08-01	2009-08-01	2008-09-01
9	2009-10-01	2005-05-01	2008-11-01	2012-05-01	2008-10-01
10	2009-09-01	2005-09-01	2009-10-01	2010-02-01	2012-01-01
11	2003-05-01	2006-04-01	2009-08-01	2012-11-01	2011-10-01
12	2005-07-01	2007-04-01	2008-10-01	2017-05-01	2011-09-01
13	2004-03-01	2006-05-01	2008-09-01	2017-05-01	2013-05-01
14	2003-07-01	2003-01-01	2009-07-01	2016-08-01	2013-06-01
15	2004-11-01	2006-01-01	2009-07-01	2015-07-01	2013-07-01
16	2002-02-01	2006-07-01	2004-06-01	2015-01-01	2013-06-01
17	2003-03-01	2007-01-01	2008-11-01	2007-02-01	2014-06-01
18	2005-04-01	2001-01-01	2008-06-01	2007-08-01	2014-06-01
19	2006-03-01	2000-02-01	2008-10-01	2010-08-01	
20	2008-02-01	2005-06-01	2008-09-01	2011-07-01	
21	2002-11-01		2010-07-01	2010-09-01	

22	2009-09-01		2009-06-01	2013-08-01	
23	2001-04-01		2010-11-01	2010-07-01	
24	2009-08-01		2008-06-01	2012-07-01	
25	2005-12-01		2013-04-01	2009-04-01	
26	2006-07-01		2009-07-01	2010-07-01	
27	2005-06-01		2008-06-01	2010-06-01	
28	2008-12-01		2008-10-01	2010-08-01	
29	2002-10-01		2010-10-01	2011-08-01	
30	2005-06-01		2010-06-01	2013-10-01	
제조일자 평균	2004-11-10		2010-08-15		
기준 년월	2018-07-01		2018-07-01		
평균 수명(개월)	163		94		
계산값	13.6		7.8		
평균 수명	10.7				

〈그림 1〉 고장률 함수 개형

해당 시기부터 폐제품의 배출량이 급격하게 증가하게 되며, 제품의 수명 기간에 도달한 시점에는 소비자의 일부가 교체를 검토하고 실행한다고 가정하고, 수명 기간의 두 배가 지난 시점에서는 이용자의 전원이 해당 제품을 교체한다고 가정한다. 일반적으로 대부분의 제품에 대한 고장률 함수는 초기의 짧은 기간 동안 감소하게 되며, 이것은 부품의 결함이나

제조, 공정상의 문제 및 설계상의 오류 등으로 인한 초기의 높은 고장률에 이르게 되며, 그 이후 일정기간 동안 제품의 고장이 확률적으로 발생하게 되며 이 시기에는 비교적 제품의 수명에 영향을 받지 않는다. 마지막 구간은 마모 고장기간으로 제품의 수명이 증가함에 따라 고장률이 급속도로 증가하게 되며, 이러한 마모 고장기간에 도달하기 까지를 제품의 수명으로 본다.

위와 같은 고장률 함수를 기본 개념으로 이용하여 2006년 환경부에서 진행한 "제품 등의 자원 순환성 향상 방안" 연구에서 내구성을 가지는 가전제품의 폐기비율의 누적확률함수를 나타낸다.

폐기비율의 누적확률 함수를 식으로 나타내면 수식 (1)과 같다.

$$F(x) = -\frac{3}{16l^4}x^4 + \frac{1}{2l^3}x^3 \quad (1)$$

연도별 폐기비율 함수를 수식으로 나타내면 수식 (2)와 같다.

$$F(x) = -\frac{3}{4l^4}x^3 + \frac{3}{2l^3}x^2 \quad (2)$$

본 연구에서는 환경성보장제에서 관리되고 있는 27개 품목의 발생량을 위의 수식을 이용하여 추정하였다.

2. 분석 데이터

본 연구는 현행 환경성보장제에서 관리되고 있는 27개 품목 중 25개 품목에 대한 발생량 및 해당 품목에서 회수할 수 있는 잠재 유가금속의 양을 추정하고자 한다.

예외적으로 전기 정수기의 경우 일부 기업에서 전체 정수기 보급의 대

다수 비율을 차지하고 있어 해당 업체를 통해 데이터를 확보하고자 하였으나 협조 거부로 인해 데이터 수집이 불가능하였고, 휴대전화의 경우 타 전기·전자제품과의 함유 금속이 상이하며, 상대적으로 짧은 수명으로 인한 신제품의 출시 주기가 짧아 평균적인 금속 함량비를 적용하기에 어려움이 있어 분석 대상에서 제외하였다.

1) 출고량 및 수명 데이터[12)]

분석을 위한 출고량 데이터는 2017년 환경부에서 수행한 "전기전자제품 장기재활용목표량 설정 등 연구"의 품목별 2003년부터 2023년까지의 출고량 데이터를 이용하였으며, 확보된 10년간의 출고량 데이터를 바탕으로 과거 출고량을 회귀분석으로 예측한 후 미래 출고량을 재추정하여 산출하였다.

수명데이터의 경우 SR센터, 대우물류센터(전자레인지), HRC(장성), HRC(논산), KRC(양주), 용인RC를 방문하여 제품품목별 수명데이터를 수집하였다. 통계 분석을 위해 최소 30개 이상의 품목 확보를 목표로 하였으며, 일부 품목을 제외한 대부분의 품목에서 30개 이상의 수명 데이터를 확보하였다. 제품 품목별 발생량을 추정하기 위해 조사된 품목별 수명 데이터를 이용하여 평균 수명을 산출하였다.

2) 폐 전기, 전자제품 내 금속 자원 함량비[13)]

폐 금속 자원의 발생량을 추정하기 위하여 전기, 전자제품 내의 폐금속 자원의 종류별 함량 데이터를 조사하였다.

제품 품목별 유가 금속 함량의 경우 한국환경공단에서 수행한 폐 전기·전자제품 소재구성비 조사 집계표(2017)의 데이터를 이용하였다. 본 자료

12) 본 연구에서 사용한 제품 출고량 데이터는 환경부, "전기전자제품 장기재활용 목표량 설정 등 연구"(2017)를 참고하였다.

13) 본 연구에서 사용한 전기, 전자제품 내 금속 함량비는 한국환경공단, "폐 전기·전자제품 소재 구성비 조사 집계표"(2017) 및 Waldir et al.(2014)의 연구를 참고하였다.

는 15개 제품 및 소형기기 등에 대한 제품 소재 구성비 데이터를 제공하며, 본 연구에서는 해당 소재들 중 금속류 및 기판의 구성비를 이용하였다.

전기, 전자제품 내 희유금속 및 귀금속의 경우 대부분 제품 내 기판에 포함되어 있으며, 기판 내 희유금속 및 귀금속의 함량비는 기수행된 연구결과의 PCB기판 금속원소 함량비의 평균값을 이용하여 산출하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 폐 전기, 전자제품 발생량 추정 결과

1) 경과년도별 발생률 및 발생누적 중량 추정

(1) 제품 수명 측정

폐 전기, 전자제품의 품목별 발생량을 산출하기 위해 25개 품목에 대한 품목별 평균 수명 데이터 산출을 위해 현장 표본조사를 수행하였다(〈표 4〉).

TV의 경우 브라운관 TV와 LCD TV로 구분하여 용인 RC, HRC(장성), KRC(양주)에서 표본조사를 통해 평균수명을 산출하였으며, 표본의 개수는 브라운관 TV 50대, LCD TV 78대로 총 128개의 표본을 이용하여 평균수명을 분석한 결과 10.7년으로 나타났다. 냉장고의 경우 용인RC, HRC(장성), HRC(논산), KRC(양주)에서 조사하였으며, 총 65개의 표본을 이용하여 평균수명을 분석한 결과 10.0년으로 나타났다. 세탁기의 경우 용인RC, HRC(장성), HRC(논산), KRC(양주)에서 조사하였으며, 총 105개의 표본을 이용하여 수명을 분석한 결과 10.0년으로 나타났다. 에어컨의 경우 12.9년, 자판기의 경우 9.0년 데스크탑 컴퓨터의 경우 8.2년, 프린터의 경우 8.1년 등으로 나타났다.

〈표 4〉 전기, 전자제품 평균 수명 조사 결과(년)

품목	Life span
TV	10.7
냉장고	10.0
세탁기	10.0
에어컨디셔너	12.9
자동판매기	9.0
컴퓨터	8.2
프린터	8.1
복사기	7.9
팩시밀리	8.5
전기오븐	13.6
전자레인지	7.3
음식물처리기	9.0
식기건조기	9.0
전기비데	9.0
공기청정기	10.7
전기히터	10.1
오디오	9.3
전기밥솥	10.0
연수기	12.0
가습기	8.6
전기다리미	10.0
선풍기	10.2
믹서기	9.8
청소기	9.8
비디오플레이어	15.8

(2) 제품 품목별 장기 출고량 데이터

제품의 출고량 데이터는 기수행된 연구의 25개 품목에 대한 2003년부터 2023년까지의 출고량 데이터를 이용하였다(〈표 5〉). 전기전자제품의 출고량은 비디오플레이어 등의 시장에서 도태되고 있는 특정 품목을 제외하고 전체적으로 증가하는 추세를 보였으며, 2003년 770,569톤에서 2023년 879,036톤으로 증가할 것으로 예측되었다.

〈표 5〉 품목별 전기,전자제품 누적 출고량 예측(톤/년)

품목	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
냉장고	197,730	241,230	211,016	260,948	260,810	311,815	222,474	234,430	231,792	214,500	223,466	296,920	304,550	339,507	335,346	312,435	319,102	325,770	332,437	339,104	345,771
세탁기	61,613	71,286	98,722	94,899	98,808	102,329	95,470	107,136	97,884	95,689	99,061	122,284	105,724	109,523	118,014	120,237	122,946	125,655	128,365	131,074	133,783
에어컨	84,196	105,447	150,013	136,170	133,835	133,151	126,979	128,790	146,862	126,600	139,278	184,975	151,996	132,653	170,171	165,514	169,096	172,678	176,261	179,843	183,425
TV	75,892	105,181	84,406	90,594	86,412	73,480	74,214	86,300	73,821	82,866	63,918	24,922	27,115	26,953	28,799	28,184	25,629	23,307	21,195	19,274	17,527
자동판매기	21,151	22,152	15,654	12,117	11,082	5,123	5,698	5,616	1,622	984	1,999	2,826	2,564	1,263	1,425	804	648	522	420	339	273
컴퓨터	84,085	72,441	46,303	43,179	48,929	55,472	47,605	54,571	55,506	47,067	42,053	34,874	33,746	35,125	32,822	28,268	25,702	23,136	20,569	18,003	15,437
프린터	38,145	50,124	35,628	21,032	21,374	11,929	11,929	15,097	14,606	3,202	15,696	19,416	22,325	22,907	20,416	10,274	8,864	7,454	6,043	4,633	3,223
복사기	21,452	23,416	32,671	5,909	6,071	6,098	4,636	5,732	5,682	6,136	6,387	9,508	9,175	8,908	5,447	4,860	4,531	4,225	3,939	3,673	3,425
팩시밀리	16,576	33,761	17,701	1,250	1,013	837	468	525	365	210	171	222	78	71	48	21	14	9	6	4	2
전기오븐	4,192	4,299	4,414	4,538	4,673	4,821	4,984	5,164	5,364	3,423	5,522	5,388	5,622	12,569	6,063	9,889	10,877	11,865	12,853	13,840	14,828
전자레인지	7704	7929	8174	8440	8730	9049	9402	9794	10233	2,494	16,917	13,726	17,507	12,878	18,876	21,090	23,192	25,294	27,396	29,498	31,600
음식물처리기	629.3	630	630.8	631.7	632.6	633.5	634.6	635.7	636.8	605	605	567	945	672	507	659	662	664	667	669	672
식기건조기	3,919	3,829	3,126	4,364	2,743	3,044	4,980	6,913	7,998	5,902	3,417	5,869	4,320	4,432	4,069	5,378	5,476	5,574	5,672	5,770	5,868
전기비데	4,473	3,263	4,532	3,703	5,344	7,218	4,090	4,747	4,918	4,771	3,934	5,372	6,108	6,408	6,768	6,220	6,367	6,515	6,662	6,809	6,956
공기청정기	4,028	8,215	5,111	5,754	9,474	3,351	3,482	3,489	4,528	3,532	5,779	6,383	5,851	7,508	9,271	6,546	6,649	6,753	6,856	6,960	7,063
전기히터	-	39,444	3,661	5,336	9,638	2,496	2,914	2,816	3,176	2,927	2,121	4,471	3,277	4,064	4,876	2,341	2,156	1,987	1,830	1,686	1,553
오디오	1,039	1,065	3,044	2,277	2,318	3,908	4,901	4,667	4,277	4,157	3,384	1,348	1,332	2,105	1,913	2,873	2,884	2,895	2,906	2,918	2,929
전기밥솥	9,719	11,866	9,079	13,259	11,342	10,657	11,908	6,153	14,154	14,311	16,233	19,908	21,026	22,741	23,762	22,240	23,219	24,198	25,177	26,156	27,134
연수기	1194	1166	1136	1106	1,048	1,207	1,367	1,146	955	832	525	889	782	762	718	596	540	484	429	373	317
가습기	354	485	483	437	435	439	487	264	1,168	1,178	1,703	1,439	1,627	1,832	1,390	1,801	1,912	2,023	2,134	2,244	2,355
전기다리미	5673	5386	5098	4811	4,613	5,044	4,508	4,230	3,134	3,134	1,760	1,731	1,288	1,788	1,626	1,145	995	864	750	652	566
선풍기	24,410	17,472	22,174	16,289	15,054	6,630	9,682	15,500	7,738	10,354	10,093	15,978	16,895	14,567	11,704	10,206	9,694	9,182	8,670	8,158	7,646
믹서기	1,074	1,555	1,340	953	860	878	1,379	2,391	4,188	5,923	6,882	8,185	10,805	9,179	8,242	10,060	10,785	11,511	12,236	12,962	13,687
청소기	14,201	16,330	17,179	17,020	16,662	13,767	15,215	20,138	11,875	11,419	12,936	18,493	16,034	16,788	16,102	15,525	15,514	15,504	15,493	15,482	15,471
비디오플레이어	44,023	68,962	32,461	21,320	13,475	12,141	889	889	889	889	889	164	182	144	144	45	28	17	11	6	4

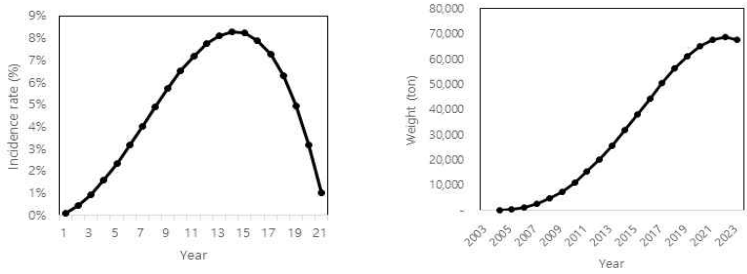
(3) 제품의 경과년도별 발생률을 통한 발생량 추정

품목별 출고량 데이터와 평균수명 데이터를 누적분포 함수에 적용하여 제품별 발생누적 중량 및 경과년도별 발생률을 도출하였다. 본 논문에는 TV, 냉장고, 세탁기의 그래프 개형을 예시로 수록하였다.

경과년도별 발생률 그래프의 경우 특정년도에 출고된 전기, 전자제품의 경과년도에 따른 폐제품으로 발생되는 비율을 나타낸 그래프이며, 발생누적 그래프는 2003년부터 2023년까지 출고된 제품이 연도별 발생률에 따라 2004년부터 2023년까지 연도별로 폐기되는 양의 누적 합계를 나타낸 그래프이다.

TV의 경과년도별 발생률 및 누적 발생량은 출고 후 14년이 경과되는 시점의 발생률이 8.3%로 가장 높으며, 평균수명인 10.7년의 약 두 배가 되는 시점인 출고 후 21년이 경과되는 시점에 전량이 폐제품으로 발생된다. 누적발생량은 2023년 기준으로 67,640톤으로 산출되었다(〈그림 2〉).

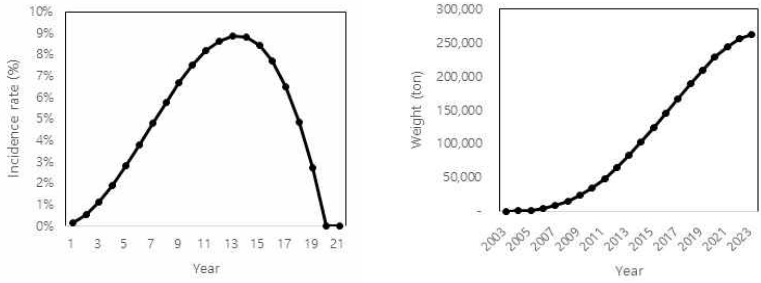
〈그림 2〉 TV: (a)경과년도별 발생률, (b)발생누적 중량



(a) (b)

냉장고의 경과년도별 발생률 및 누적발생량은 출고 후 13년이 경과되는 시점의 발생률이 8.9%로 가장 높으며, 출고 후 20년이 경과하는 시점에 전량이 폐제품으로 발생된다. 누적발생량은 2023년 기준으로 262,033톤으로 산출되었다(〈그림 3〉).

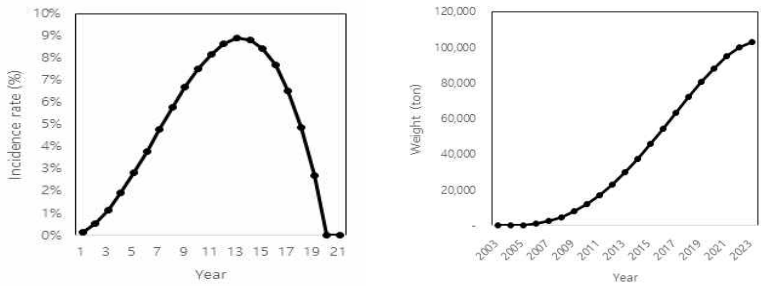
〈그림 3〉 냉장고: (a)경과년도별 발생률, (b)발생누적 중량



(a) (b)

세탁기의 경과년도별 발생률 및 누적발생량은 출고 후 13년이 경과되는 시점의 발생률이 8.9%로 가장 높으며, 출고 후 20년이 경과하는 시점에 전량이 폐제품으로 발생된다. 누적발생량은 2023년 기준으로 102,768톤으로 산출되었다(〈그림 4〉).

〈그림 4〉 세탁기: (a)경과년도별 발생률, (b)발생누적 중량



(a) (b)

2) 폐 전기, 전자제품 발생량 추정 결과

누적분포함수에 품목별 출고량데이터 및 수명데이터를 적용하여 산출한 2019년~2023년까지의 폐제품 발생량을 산출한 결과 2019년 631,432톤에서 2023년 745,014톤으로 증가하는 추세를 보였다(〈표 6〉).

〈표 6〉 폐 전기, 전자제품의 발생량 추정 결과(톤/년)

품 목	2019	2020	2021	2022	2023
TV	61,244	65,169	67,757	68,690	67,640
냉장고	210,053	228,856	244,604	256,104	262,033
세탁기	80,577	88,284	94,861	99,855	102,768
에어컨디셔너	69,583	79,287	89,189	99,116	108,873
자동판매기	8,580	7,557	5,956	4,574	3,565
컴퓨터	49,584	47,306	45,761	44,226	42,133
프린터	18,740	16,580	15,373	14,959	14,805
복사기	8,604	7,243	6,444	6,547	6,610
팩시밀리	4,766	2,861	1,097	388	295
전기오븐	2,299	2,654	3,035	3,443	3,878
전자레인지	10,183	10,913	11,827	12,949	14,296
음식물처리기	612	635	637	640	643
식기건조기	4,378	4,651	4,798	4,945	5,085
전기비데	4,638	4,899	5,033	5,185	5,305
공기청정기	4,201	4,600	4,958	5,255	5,470
전기히터	3,387	3,561	3,649	3,627	3,451
오디오	2,821	2,987	3,107	3,081	3,074
전기밥솥	10,377	11,592	12,747	13,787	14,649
연수기	688	756	818	870	909
가습기	718	820	916	1,001	1,067
전기다리미	3,699	3,804	3,791	3,638	3,321
선풍기	12,412	13,053	13,405	13,392	12,933
믹서기	2,092	2,547	3,119	3,780	4,511
청소기	11,317	11,143	10,991	10,883	11,036
비디오플레이어	8,276	8,919	9,496	9,992	10,392

2. 폐 전기, 전자제품 발생량 추정 결과 타당성 검토

추정된 폐제품의 발생량 값의 타당성 검토를 위하여 2016년의 품목별 추정치와 2016년 환경성보장제에 보고된 회수량 데이터를 비교하였다(〈표 7〉).

환경성보장제 EcoAS시스템으로 보고되고 있는 회수량은 공공회수체계를 통하여 처리되고 있는 양으로써 고물상 등의 민간처리체계로 빠져나가

는 경우도 존재하기 때문에 환경성보장제 보고 데이터보다 큰 값을 보여야 추정 값이 타당한 것으로 판단된다.

본 연구에서 지수분포를 이용하여 산출된 TV, 냉장고, 세탁기의 폐제품 발생량은 환경성보장제 회수량과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 세 품목을 제외한 나머지 품목들의 경우 모두 환경성보장제 보고 회수량 데이터보다 큰 값을 보이고 있는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 연구결과와 회수보고량과의 비교(톤/년)

품명	2016 EcoAS 회수보고량	연구 결과값
TV	40,988	44,402
냉장고	137,548	145,310
세탁기	48,363	54,452
에어컨	3,962	43,023
자판기	1,054	8,923
컴퓨터	8,696	47,504
프린터	2,848	21,616
복사기	4,290	11,527
팩스	100	7,328
오븐	273	1,398
전자레인지	1,920	8,553
음식물처리기	126	466
식기세척기	351	3,110

3. 폐금속 자원 발생량 산출 결과

1) 폐 전기, 전자제품 내 폐금속 자원 함량비

대형기기, 통신사무기기, 중형기기, 소형기기의 폐금속자원 함량비를 1차, 2차로 분류하였으며, 1차는 RC에서 분해하여 분류하는 품목, 2차는 기판에서 회수하는 금속원소로 구분하여 제시하였다(휴대전화 제외).

평균적으로 가장 많은 비율을 차지하는 항목은 고철류이며 순서대로 구리, 알루미늄 순으로 나타났다. 기판 내 희유금속 및 귀금속 등에서 가장

높은 비율을 차지하는 금속원소는 구리, 알루미늄 등으로 나타났다(〈표 8〉).

〈표 8〉 전기, 전자제품 내 유가 금속자원 함량비(%) 조사결과

품 목		대형기기	통신 사무기기	중형기기	소형기기
1차	고철	37.75	37.40	52.57	20.76
	알루미늄	0.84	0.51	0.36	1
	구리	0.94	0.21	0.07	7
	양은	0.14	0.12	0.00	0
	인	0.04	0.05	0.00	0
	백동	0.00	0.01	0.00	0
	비철	0.61	0.15	0.22	1
	스테인레스	1.18	0.00	2.24	0.16
	아연	0.04	0.00	0.00	0
	동	0.00	0.00	0.00	0
	PCB 기판	1.81	7.01	1.96	5.82
	평균	43.35	45.45	57.40	35.74
2차 (PCB)	구리 Cu	0.36	1.41	0.39	1.17
	알루미늄 Al	0.06	0.23	0.07	0.19
	납 Pb	0.04	0.15	0.04	0.13
	아연 Zn	0.02	0.08	0.02	0.06
	니켈 Ni	0.02	0.07	0.02	0.06
	철 Fe	0.07	0.26	0.07	0.22
	주석 Sn	0.06	0.22	0.06	0.18
	안티몬 Sb	0.00	0.01	0.00	0.00
	크롬 Cr	0.00	0.02	0.00	0.01
	나트륨 Na	0.01	0.03	0.01	0.03
	칼슘 Ca	0.02	0.10	0.03	0.08
	은 Ag	0.00	0.01	0.00	0.01
	금 Au	0.00	0.00	0.00	0.00
	카드뮴 Cd	0.00	0.01	0.00	0.01
	칼륨 K	0.00	0.00	0.00	0.00
	안듐 In	0.00	0.01	0.00	0.00
	망간 Mn	0.01	0.03	0.01	0.03
	셀레늄 Se	0.00	0.00	0.00	0.00
	비소 As	0.00	0.00	0.00	0.00
	마그네슘 Mg	0.00	0.01	0.00	0.00
	팔라듐 Pd	0.00	0.00	0.00	0.00
	코발트 Co	0.00	0.00	0.00	0.00
	티타늄 Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
	평균	0.81	2.61	0.72	2.18

산출결과 대형기기 5종의 1차 회수품목 평균 비율은 43.35%이며, 5개 제품 중 자판기의 고철 비율이 81.88%로 가장 높은 수치를 보였으며, 대형기기 5종의 2차 회수품목 평균 비율은 0.67%이며, 5개 제품 중 TV의 2차 회수품목 비율이 2.23%로 가장 높은 수치를 보였다.

통신사무기기 4종의 1차 회수품목 평균 비율은 42.45%이며, 4개 제품 중 복사기의 고철 비율이 62.96%로 가장 높은 수치를 보였으며, 통신사무기기 4종의 2차 회수품목 평균 비율은 2.09%이며, 4개 제품 중 컴퓨터의 2차 회수품목 비율이 3.84%로 가장 높은 수치를 보였다.

중형기기 4종의 1차 회수품목 평균 비율은 57.40%이며, 4개 제품 중 오븐의 고철 비율이 80.95%로 가장 높은 수치를 보였으며, 중형기기 4종의 2차 회수품목 평균 비율은 0.71%이며, 4개 제품 중 오븐의 2차 회수품목 비율이 0.91%로 가장 높은 수치를 보였다.

소형기기의 경우 세부 품목별 데이터를 얻을 수 있는 표본의 수가 적어 전체 소형기기의 함량비 평균을 적용하였다. 소형기기의 1차 회수 품목의 평균 비율은 35.74%이며, 2차 회수품목의 평균 비율은 2.18%로 나타났다.

2) 폐 전기, 전자제품 유래 폐금속 자원 발생량

폐제품의 발생량과 제품별 폐금속 함량비를 통하여 품목 구분별(대형기기, 통신사무기기, 중형기기, 소형기기) 폐금속자원의 발생량을 산출하였다.

폐 전기, 전자제품의 발생량이 증가함에 따라 폐금속 자원의 발생량 또한 증가하는 추세를 보이고 있으며, 폐 전기, 전자제품에서 회수가 가능할 것으로 기대되는 총 폐금속 자원의 양은 2019년 243,569톤에서 2023년 284,774톤으로 증가할 것으로 나타났다. 가장 많은 양을 차지하는 고철의 경우 2019년 197,615톤에서 2023년 232,008톤까지 증가할 것으로 나타났으며, 두 번째로 많은 양을 차지하는 기판의 경우 2019년 17,559톤에서 22023년 18,052톤으로 증가할 것으로 나타났다(〈표 9〉).

〈표 9〉 전기, 전자제품 유래 유가금속자원량 추정 결과

품 목	2019	2020	2021	2022	2023
고철	197,615	207,688	216,891	225,764	232,008
알루미늄	7,853	8,423	8,910	9,275	9,460
구리	9,486	10,189	10,826	11,374	11,796
양은	694	747	805	861	916
인	218	222	224	224	218
백동	27	27	28	27	27
비철	3,885	4,189	4,450	4,644	4,748
스테인레스	5,958	6,362	6,723	7,046	7,251
아연	104	112	119	124	126
동	170	164	164	170	172
PCB 기판	17,559	17,714	17,883	18,070	18,052
합 계	243,569	255,837	267,023	277,579	284,774

PCB기판 내 희유금속 및 귀금속의 경우 2019년 6,542톤에서 2023년 6,735톤으로 증가할 것으로 나타났으며. 이 중 구리가 약 3,600톤, 알루미늄 약 590톤, 납 약 390톤, 아연 약 190톤, 니켈 약 190톤, 철 약 680톤, 금 약 3톤, 은 약 21톤 등으로 추정되었다(〈표 10〉).

〈표 10〉 전기, 전자제품 유래 귀금속 및 희유금속 자원량 추정 결과

품 목	2019	2020	2021	2022	2023
구리 Cu	3,513	3,549	3,583	3,617	3,617
알루미늄 Al	575	578	586	592	591
납 Pb	378	380	385	390	387
아연 Zn	180	182	186	186	187
니켈 Ni	177	181	185	184	185
철 Fe	656	659	669	675	675
주석 Sn	545	549	556	563	562
안티몬 Sb	6	6	6	6	7
크롬 Cr	28	29	28	28	30
나트륨 Na	82	82	86	85	84
칼슘 Ca	249	250	254	255	255
은 Ag	21	21	21	20	20

카드뮴 Cd	21	21	21	20	20
칼륨 K	2	2	2	2	2
안듐 In	6	5	5	5	5
망간 Mn	79	78	82	83	81
셀레늄 Se	-	-	-	-	-
비소 As	-	-	-	-	-
마그네슘 Mg	12	13	13	14	14
팔라듐 Pd	1	-	-	-	-
코발트 Co	4	5	5	5	5
티타늄 Ti	4	5	5	5	5
합 계	6,542	6,598	6,681	6,738	6,735

Ⅳ. 결론

연구결과 환경성보장제 관리품목 27종 중 발생량을 추정한 25개 품목의 2019년 전체 폐제품 발생량은 593,829톤에서 2023년 708,742톤으로 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이들 제품에서 유래되는 폐금속 자원의 회수기대량 또한 2019년 243,569톤에서 2023년 284,774톤으로 증가할 것으로 추정되고 있다. 그러나 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 폐 전기, 전자제품 및 금속자원에 대한 명확한 발생량 및 처리량, 재활용량, 회수량 등은 알 수가 없는 상태이다.

우리나라는 대부분의 금속 자원을 수입에 의존하고 있어 이와 같은 폐 전기·전자제품에 함유되어있는 금속 자원에 대한 관리가 중요하다. 금속 자원을 회수하기 위해서는 기술적인 측면도 중요하나 기술적인 인프라를 구축하기 위해서는 회수 가능성이 있는 금속 자원의 종류 및 그 양에 대한 통계가 선행적으로 구축되어야 한다.

1. 폐 전기, 전자제품 통계구축을 위한 제언

전기, 전자제품의 경우 수입, 수출되는 양이 많기 때문에 분류 체계가

다를 경우 정확한 통계 산출에 어려움이 있을 수 있다. 세계적으로 지역별 폐 전기, 전자제품을 관리하고 있는 제도 및 통계를 보유하고 있는 국가는 41개국으로 각 나라마다 기준이 상이하며, UN에서 제시하고 있는 품목 기준에 부합하는 통계는 EU에서만 보유하고 있다. 해당 기관들은 자체적으로 개발한 통계 툴에 따라 통계를 작성하고 있으며, 해당 통계는 발생량을 와이블분포 및 수명분포 함수를 이용하여 추정하고 있다. 본 연구에서는 국제 통계의 기준에 부합하는 방법론을 제시하기 위해 동일한 방법을 이용하여 발생량을 추정하였으나, 수명분포함수를 이용하여 발생량을 추정할 경우 평균 20년 이상의 누적 출고량 데이터가 확보되어야 하기 때문에, 국내에서 확보할 수 있는 데이터의 한계로 인하여 신뢰성 있는 데이터를 산출할 수 없었다. 또한, 제품에 사용되는 소재 구성비 또한 업체를 통해 얻기가 불가능하여 1차 회수품목의 경우 해체 후 실측한 중량비, 2차 회수품목의 경우 기존 연구 사례를 통해 추정한 결과이기 때문에 정확한 추정값을 얻기에는 한계가 있었다.

이에 따라 통계 작성을 위한 품목 기준을 정비하고, 수명분포함수, 와이블분포를 이용한 발생량 추정에 필요한 출고량 및 수명 데이터의 확보가 필요하며, 제조사를 통한 제품별 유가금속(귀금속 및 희유금속 등)의 함량비 데이터를 확보할 수 있는 제도적 규정 마련이 필요할 것으로 판단된다.

통계시스템의 경우 EU의 WEEE 통계 툴과 같이 한국환경공단의 EcoAS 시스템을 활용하여 확보한 데이터를 통해 DB를 구축하고 입력된 함수를 통해 품목별 통계 데이터를 제공할 수 있도록 하는 방안을 검토해볼 수 있을 것이다.

2. 폐 전기, 전자제품의 관리를 위한 제도적 지원

본 연구를 통해 산출된 추정값 및 EcoAS 회수보고량과의 비교결과 비교대상 품목 13품목의 2016년 추정 총 발생량은 397,612톤, 회수보고량은 250,519톤으로 약 37% 인 147,093톤이 공공 처리 체계가 아닌 고물상 등의 민간 처리 체계를 통해 회수되는 것으로 판단된다. 민간영역으로 회

수되는 전기, 전자제품은 수리되어 중고 제품으로 제 판매되거나 해외 수출, 자체저리 등의 방법으로 처리되고 있다. 현재 국외로의 폐 전기, 전자제품의 수출은 전기, 전자제품 내 카드뮴, 납, 수은 등의 성분이 포함됨으로 인해 유해 폐기물로 취급되어 바젤협약으로 수출이 금지되고 있다.

환경부에서는 폐가전제품 무상 방문 수거 서비스 등을 시행하여 공공처리체계로의 회수율을 높이고자 하고 있으나, 민간 영역인 고물상 등의 현황 등은 파악하지 못하고 있다. 이에 따라, 폐가전제품 및 타 재활용가능자원 등을 수거하여 판매하는 고물상에 대한 전수조사 및 관리체계를 정비하여 통계에서 발생할 수 있는 오류 및 관리체계에서 발생할 수 있는 문제점을 최소화해야 할 것이다.

▌참고문헌 ▐

관계부처합동, 2009,『폐금속자원 재활용대책:「숨은 금속자원 찾기 프로젝트」전개』, 과천: 관계부처합동.

한국전자산업환경협회, 2012,『폐전자제품 배출실태 조사 및 효율적 회수 방안』, (한국전자산업환경협회 용역 보고서), 미발행 보고서(협회협조).

한국환경공단, 2017, "폐 전기·전자제품 소재 구성비 조사 집계표," (한국환경공단 내부자료).

환경부, 2006,『제품 등의 자원 순환성 향상 방안 연구』, 과천: 환경부.

_____, 2017,『전기전자제품 장기재활용목표량 설정 등 연구』, 세종: 환경부.

Chancerel, P., 2010, "Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment," PhD thesis, Technische Universität Berlin, Berlin.

Honda, S., D. S. Khetriwal, and R. Kuehr, 2016, *Regional E-waste monitor*, Bonn: United Nations University ViE – SCYCLE.

Huisman, J., M. van der Maesen, R. J. J. Eijsbouts, F. Wang, C. P. Baldé, and C. A. Wielenga, 2012, *The dutch WEEE flows*, Bonn: United Nations University.

Kim, S., M. Oguchi, A. Yoshida, and A. Terazono, 2013, "Estimating the amount of WEEE generated in South Korea by using the population balance model," *Waste Management*, 33(2), pp.474-483, DOI: 10.1016/j.wasman.2012.07.011.

Magalini, F., J. Huisman, and F. Wang, 2012, *Household WEEE generated in Italy*, ECODOM, Italy.

Waldir, A. B., A. F. Renata, and F. A. Valdelis, 2014, "Characterization of printed circuit boards for metal and energy recovery after milling and mechanical separation," *Materials (Basel)*, 7(6), pp4555-4566, DOI: 10.3390/ma7064555.

WRAP, 2011, *Market flows of WEEE materials*, (Project Code MDD036), Banbury: WRAP.

EcoAS시스템, 2017, www.ecoas.or.kr.

EU, 2017, "Eurostat," https://ec.europa.eu, [2018.3~2018.8]

▌부록 1▐ 전기, 전자제품 내 유가 금속자원 함량비(%) 조사결과

품 목		대형기기(%)					통신사무기기(%)				중형기기(%)				소형 기기
		TV	냉장고	세탁기	에어컨	자판기	컴퓨터	프린터	복사기	팩스	오븐	전자레인지	음식물 처리지	식기 세척기	
1차	고철	9.45	37.74	33.80	25.87	81.88	24.22	34.46	62.96	27.96	80.95	68.38	9.73	51.20	20.76
	알루미늄	0.35	2.35	1.39	0.11	0.00	1.37	0	0	0.67	0.45	0.60	0.37	0	1
	구리	0.65	0.92	0.00	2.77	0.38	0.83	0	0	0	0.27	0	0	0	7
	양은	0.05	0	0	0.64	0	0.41	0.08	0	0	0	0	0	0	0
	인	0.21	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0
	백동	0.02	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0
	비철	0	0.40	2.63	0	0	0.58	0	0	0	0	0	0.87	0	1
	스테인레스	0	0.05	5.57	0	0.28	0	0	0	0	1.11	0	0	7.85	0.16
	아연	0	0	0.12	0	0.08	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0
	동	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PCB 기판	5.97	0.31	1.92	0.62	0.24	10.27	4.40	3.08	10.28	2.48	1.44	2.30	1.61	5.82
	평균	16.7	41.77	45.43	30.01	82.86	37.89	38.94	66.04	38.91	85.26	70.42	13.27	60.66	35.74
2차 (PCB)	구리 Cu	1.20	0.06	0.38	0.12	0.05	2.06	0.88	0.62	2.06	0.50	0.29	0.46	0.32	1.17
	알루미늄 Al	0.20	0.01	0.06	0.02	0.01	0.34	0.14	0.10	0.34	0.08	0.05	0.08	0.05	0.19
	납 Pb	0.13	0.01	0.04	0.01	0.01	0.22	0.09	0.07	0.22	0.05	0.03	0.05	0.03	0.13
	아연 Zn	0.06	0.00	0.02	0.01	0.00	0.11	0.05	0.03	0.11	0.03	0.01	0.02	0.02	0.06
	니켈 Ni	0.06	0.00	0.02	0.01	0.00	0.10	0.04	0.03	0.10	0.03	0.01	0.02	0.02	0.06
	철 Fe	0.22	0.01	0.07	0.02	0.01	0.38	0.16	0.11	0.38	0.09	0.05	0.09	0.06	0.22

주석 Sn	0.19	0.01	0.06	0.02	0.01	0.32	0.14	0.10	0.32	0.08	0.04	0.07	0.05	0.18
안티몬 Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
크롬 Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
나트륨 Na	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
칼슘 Ca	0.08	0.00	0.03	0.01	0.00	0.14	0.06	0.04	0.14	0.03	0.02	0.03	0.02	0.08
은 Ag	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
금 Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
카드뮴 Cd	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
칼륨 K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
안듐 In	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
망간 Mn	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
셀레늄 Se	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
비소 As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
마그네슘 Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
팔라듐 Pd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
코발트 Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
티타늄 Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
평균	2.23	0.1	0.7	0.22	.0.09	3.84	1.63	1.13	3.84	0.91	0.52	0.84	0.59	2.18

▌부록 2▐ 전기, 전자제품 종류별 폐금속자원 발생량 추정 결과(톤/년)

품목		대형기기					통신사무기기					중형기기					소형기기				
		2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
1차	고철	137,323	149,068	158,730	166,282	171,103	25,216	22,532	20,744	20,097	19,552	21,660	21,830	22,464	23,921	25,552	13,416	14,258	14,953	15,464	15,801
	알루미늄	6,347	6,920	7,402	7,755	7,943	711	667	634	609	579	149	149	155	165	177	646	687	719	746	761
	구리	4,290	4,754	5,184	5,565	5,881	412	393	380	367	350	333	310	300	310	319	4,451	4,732	4,962	5,132	5,246
	양은	476	540	605	668	731	218	207	200	193	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	인	129	137	142	144	142	89	85	82	80	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	백동	12	13	14	14	14	15	14	14	13	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	비철	2,959	3,237	3,473	3,650	3,751	288	274	265	257	244	5	6	6	6	6	633	672	706	731	747
	스테인레스	4,617	5,052	5,423	5,703	5,865	0	0	0	0	0	1,238	1,200	1,186	1,225	1,264	103	110	114	118	122
	아연	104	112	119	124	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	동	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	116	112	115	119	45	48	52	55	53
	PCB 기판	6,306	6,805	7,191	7,438	7,507	6,672	6,105	5,687	5,442	5,212	820	806	811	855	902	3,761	3,998	4,194	4,335	4,431
2차 (PCB)	구리 Cu	1,262	1,363	1,441	1,489	1,504	1,336	1,223	1,139	1,090	1,044	163	161	162	171	180	752	802	841	867	889
	알루미늄 Al	207	222	235	243	246	219	200	186	179	170	26	25	27	28	29	123	131	138	142	146
	납 Pb	135	146	154	159	161	144	131	122	117	112	17	17	18	19	19	82	86	91	95	95
	아연 Zn	65	69	75	76	77	68	63	58	56	54	9	9	9	9	9	38	41	44	45	47
	니켈 Ni	64	69	74	76	76	68	62	58	55	53	8	9	9	9	9	37	41	44	44	47
	철 Fe	235	253	269	278	280	249	227	211	203	194	31	30	31	32	35	141	149	158	162	166
	주석 Sn	196	212	224	232	233	207	190	177	168	162	26	24	24	26	28	116	123	131	137	139

안티몬 Sb	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
크롬 Cr	12	12	12	12	13	11	11	9	9	9	1	1	1	1	1	4	5	6	6	7
나트륨 Na	30	32	35	36	35	31	29	28	26	25	4	3	3	3	3	17	18	20	20	21
칼슘 Ca	89	96	102	105	106	95	86	81	77	73	11	11	11	12	12	54	57	60	61	64
은 Ag	8	9	9	9	9	8	7	7	6	6	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
금 Au	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
카드뮴 Cd	8	9	9	9	9	8	7	7	6	6	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
칼륨 K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
안듐 In	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
망간 Mn	29	31	33	35	35	30	27	27	25	24	3	3	3	3	3	17	17	19	20	19
셀레늄 Se	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
비소 As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
마그네슘 Mg	5	5	5	6	7	5	5	5	5	4	0	0	0	0	0	2	3	3	3	3
팔라듐 Pd	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
코발트 Co	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
티타늄 Ti	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

이종수: 서울과학기술대학교에서 환경공학과 학사 및 석사학위를 취득하고 현재 동 대학교 에너지환경대학원 박사과정으로 재학 중이다. 주요 관심 분야는 폐기물 관련 정책 및 통계 분석 등이다(jjong1324@seoultech.ac.kr).

김도완: 서울과학기술대학교 환경공학과에서 학사 및 석사학위를 취득하고, 현재 동 대학교 에너지환경대학원 박사과정으로 진학 예정이다. 주요 관심 분야는 폐기물 관련 정책 분야이다(dowan2050@nate.com).

배재근: 동경공업대학교에서 석사 및 박사학위를 취득하고 현재 서울과학기술대학교 환경공학과에 재직 중이다. 폐기물 관련 전반적인 제도 및 정책 분야에 대한 다양한 연구를 수행하고 있다(phae@seoultech.ac.kr).

투 고 일: 2019년 11월 11일
심 사 일: 2019년 11월 24일
게재확정일: 2019년 12월 17일