

청정부품/제품설계

전기전자제품의 재활용가능률 표준산정방법에 관한 연구

이화조,* 강홍윤,[†] 심강식,[‡] 김진한,[§] 심재술

영남대학교 기계공학부
712-749 경상북도 경산시 대동 214-1

[†]국가청정생산지원센터
135-918 서울특별시 강남구 역삼동 707-34

[‡](주)에코이디에스
440-825 경기도 수원시 장안구 율전동 285-2 SK허브블루오피스텔 13013호

[§]LG전자
641-711 경상남도 창원시 가음정동 391-2

(2009년 2월 17일 접수; 2009년 3월 9일 1차 수정본 접수; 2009년 3월 11일 2차 수정본 접수; 2009년 3월 11일 채택)

A Study on the Standard Method to Calculate Recyclability Rate of Electrical and Electronic Equipments

Hwa-Cho Yi,* Hong-Yun Kang,[†] Kangsik Shim,[‡] Jinhan Kim,[§] and Jaesul Sim

School of Mechanical Engineering, Yeungnam University
214-1 Dae-dong, Gyeongsan City, Gyeongbuk 712-749, Korea

[†]Korea National Cleaner Production Center
707-34 Yeoksam-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-918, Korea

[‡]Eco EDS Co., Ltd.
285-2 Yuljeun-dong, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi 440-825, Korea

[§]LG Electronics
391-2 Gaumjeung-dong, Changwon, Gyeongnam 641-711, Korea

(Received for review February 17, 2009; 1st revision received March 9, 2009;
2nd revision received March 11, 2009; Accepted March 11, 2009)

요 약

EU의 WEEE지침에서는 전기전자제품의 생산자들이 반드시 달성하여야 하는 재활용률과 재생률의 목표치를 설정해 놓았다. 하지만 어떻게 재활용률과 재생률을 계산해야 하는지는 규정하지 않았다. 생산자의 입장에서 설계단계에서 제품의 폐기단계에서의 재활용률과 재생률을 예측하고 결과를 설계의 개선에 반영하기 위하여 제품의 재활용가능률과 재생가능률을 산정해 볼 수 있는 표준방법이 필요하다. 본 연구에서는 전기전자제품의 생산자들이 개발되는 제품의 재활용가능률 및 재생가능률을 산정할 수 있는 방법들을 조사하고 폐기단계에서의 재활용률과 재생률과 유사한 결과를 얻을 수 있는 재활용가능률과 재생가능률의 산정방법을 개발하였다. 개발된 방법은 여러 가지 종류의 가전제품에 적용하여 결과를 검증해 보았다.

주제어: 재활용률, 재활용가능률, 재생률, 재생가능률, 전기전자제품, 폐전기전자제품

Abstract : European directive DIRECTIVE 2002/96/EC requires the minimum recycling & recovery rate on the waste electrical and electronic equipments (WEEE). But, they do not have guidelines on the calculation methods

* To whom correspondence should be addressed.
E-mail: hcyi@yu.ac.kr

for recycling and recovery rate. A standard method to calculate recyclability and recoverability rate of products in the designing stage is necessary for the manufacturers so that they can reflect the calculated result to the improvement of product design. In this work, we investigated the existing calculation methods for the recycling and recovery rates of WEEE and the recyclability and recoverability rates of electrical and electronic equipments (EEE). A method for the calculation of recyclability and recoverability rates for the EEE products in the development stage was developed. The newly-developed calculation method was applied to some EEE products and the calculated results were evaluated.

Key Words : Recycling rate, Recyclability rate, Recovery rate, Recoverability rate, Electrical and electronic equipments, Waste electrical and electronic equipments

1. 서 론

세계적으로 전기전자제품의 폐기물(WEEE)의 증가율은 다른 제품에 비하여 특별히 높다. 예를 들어 유럽의 경우 매년 3-5퍼센트로 증가하고 있으며, 이는 다른 분야의 폐기물들보다 증가속도가 3배나 높은 것이다[1]. WEEE의 상당량이 여전히 매립되고 있으며, 사전처리 없이 소각되기도 한다. 이러한 처리로 인하여 중금속과 브롬 방염처리된 물질들이 토양, 물, 공기 중으로 방출되어 인체 건강에 위험을 불러일으키고 환경오염의 원인이 된다. 이에 유럽연합은 유해물질 제한지침(RoHS) 2002/95/EC[2]와 폐전기전자제품 처리지침 2002/96/EC[3]을 제정하여 시행하고 있다.

EU의 WEEE지침에서는 전기전자제품을 10가지의 카테고리별로 분류하고 각 카테고리별로 최저의 재활용률(recycling rate)과 재활용률에 에너지 회수(energy recovery)를 포함시킨 재생률(recovery rate)을 지정하여 제품 생산자들이 이를 지키도록 규정하고 있으며[3], 현재 발표된 개정안[4]에서는 2011년 12월 31일부터 최저 재활용률과 재생률이 현재의 기준대비 5%씩 상향조정되고, 기존에는 제외되었던 의료기기에 대해서도 최저의무량이 부과되도록 되어 있다(Table 1).

재활용률과 재생률뿐만 아니라 제품을 생산하는 업체의 입장에서 설계단계에서 제품의 재활용가능률(recyclability rate)과 재생가능률(recoverability rate)을 미리 예측해보고 EU의 규정에 자기제품이 적합한지 판단해볼 필요성이 발생한다. 제

품의 개발단계에서 사용가능한 재활용가능률의 계산방법으로는 현재 여러 가지의 방법들이 제시되어 있으나 EU-WEEE지침에서 공식적으로 채택한 방법은 없다. 본 연구에서는 전기전자제품의 제조자가 자기회사에서 개발하고 있는 제품을 설계단계에서 재활용가능률과 재생가능률을 산정해 볼 수 있는 방법을 개발하였다.

2. 재활용률 및 재활용가능률 산정 방법의 조사

2.1. RepTool

EU의 폐전기전자제품 처리업자의 단체인 WEEE Forum에서는 폐제품을 처리하고 재활용결과를 계산할 수 있는 시스템을 개발하였다. RepTool이라고 불리는 이 도구는 폐처리업체가 처리결과의 보고서를 자동으로 작성하는 일종의 보고서 작성도구(reporting tool)이다[5]. 이 방법에서는 처리방법에 따라 재활용률에 차이가 있고, 처리기술의 발달에 따라 재활용률이 높아진다는 것을 고려하기 위하여 노력하고 있다.

이 방법은 Figure 1과 같이 업체는 입력데이터만 제출하면 black box에서 자동으로 계산된다. 계산에 필요한 재활용률은 최신 기술수준을 고려하여 소재별 재활용기준을 재활용업체가 매년 업그레이드한다. RepTool에서는 제품생산자를 위한 재활용가능률 혹은 재생가능률이 아닌 처리결과인 재활용률과 재생률을 계산하는 것으로 본 연구의 대상과는 다소 목적이 다르다

Table 1. Recovery and recycling targets defined by the WEEE Directive[3,4]

Category	Target (wt%)			
	Recovery		Recycling and reuse	
	Present	Proposed	Present	Proposed
Large household appliances (group 1) Automatic dispensers (group 10)	80	85	75	80
IT and telecommunications equipments (group 3) Consumer equipments (group 4)	75	80	65	70
Small household appliances (group 2) Lighting equipments (group 5) Electrical and electronic tools (group 6) Toys, leisure and sports equipments (group 7) Monitoring and control equipments (group 9)	70	75	50	55
Medical devices (group 8)	-	75	-	55

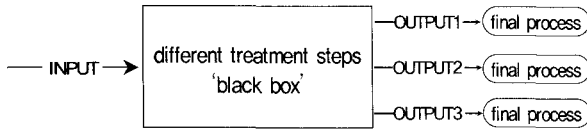


Figure 1. Structure of the RepTool[5].

고 할 수 있다.

2.2. 유럽의 재활용업체

네덜란드의 CoolRec과 독일의 Brech에서 적용하는 재활용률 계산법에서는 각각의 부품에 대해서 계산하지 않고 재질별로 총중량에 대한 무게비율을 계산한다[6].

$$\text{Recycling rate} = \sum (\text{Portion of each recyclable material weight} \times \text{Recycling rate of each materials}) \quad (1)$$

이 방법에서는 매년 재활용업체와 제품군에 따라 재질별 재활용률이 다를 수 있다. 이 방법은 RepTool과 마찬가지로 재활용업체가 매년 자기업체의 제품처리 상황을 보고하기 위하여 사용하는 방법이기 때문에 재활용가능률이 아닌 재활용률의 계산에 쓰이는 도구이다. 생산자가 제품개발시 자기 제품의 평가를 위하여 사용하기에는 다소 무리가 있지만 이 방법에서 사용하는 재질별 재활용률을 계산에 이용하는 부분은 실질적인 재활용률과 유사한 결과를 가지는 재활용가능률의 계산에서 고려할 수 있는 특성이라고 하겠다.

2.3. 일본의 미쯔비시전기

미쯔비시전기의 Katsumi Fujisaki는 일본 가전제품리사이클링법에 의한 문제점을 지적하고 재활용되는 부품의 순도를 고려할 수 있는 계산법을 제안하였다[7].

$$Rr = \frac{\sum_{i=1}^{Ns} (MR_i \times P_i)}{W} \times 100\% \quad (2)$$

추가적으로 재생률에 대해서는 재생률(recovery rate)에 열처리를 통하여 에너지가 회수되는 부품을 고려하였다.

$$Rh = \frac{\sum_{i=1}^{Nr} (MR_i \times P_i) + \sum_{j=1}^{Nh} (MH_j \times P_j)}{W} \times 100\% \quad (3)$$

2.4. 일본의 가전제품리사이클링법

일본 가전제품리사이클링법[8]에는 재활용률과 재활용가능률을 계산하게 되어 있다. 재활용가능률의 계산에서는 이론상으로 가능한 재활용률을 계산하는 것으로 실질적으로 재활용이 되는지의 여부는 고려하지 않는다. 재활용은 이에 반하여 실제

로 분리된 소재가 필요한 업체가 있어 보내어질 경우에만 재활용률로 인정하는 것이다.

$$\text{Recycling rate} = \frac{\sum \text{Weight of parts which sold to material recycler}}{\text{Weight of the product}} \quad (4)$$

하지만 일본의 방법에서는 소재처리업체에서 처리하여 얻을 수 있는 소재의 재취득율(실질적으로 재질이 재활용되어 사용되는 비율)은 고려하지 않는다. 따라서 이 방법을 WEEE에 대응하기 위한 제품의 재활용가능률의 계산에 적용하는 것은 다소 문제가 있다.

3. 재활용가능률 산정 표준방법의 제안

위에서 조사하여본 기존의 재활용률 계산방법들은 대부분 실질적인 재활용 결과를 평가하는 도구들로 개발되었으며, 설계단계에서 설계되고 있는 제품의 재활용가능률은 평가의 주 대상이 아니다. 또한 설계단계에서의 계산대상인 재활용가능률과 사용 후 제품의 처리결과인 재활용률을 구분하지 않고 있다. 본 연구에서는 사용 후 제품의 처리결과에서 제품의 무게대비 재료로 재활용되는 재질무게의 비율은 재활용률, 재료로 재활용되는 재질무게와 열에너지로 회수되는 재질의 무게를 합한 무게의 제품의 무게에 대한 비율은 재생률로 정의하였다.

설계단계에서 제품의 무게대비 재료로 재활용될 것으로 예상되는 재질무게의 비율은 재활용가능률, 재료로 재활용될 것으로 예상되는 재질무게와 열에너지로 회수될 것으로 예상되는 재질의 무게를 합한 무게의 제품의 무게에 대한 비율은 재생가능률로 정의하였다. 재활용가능률과 재생가능률의 산정에서 가장 중요한 것은 현실적인 처리절차와 부품과 재질들의 특성을 제대로 고려하여 결과가 실질적인 재활용률과 재생률과

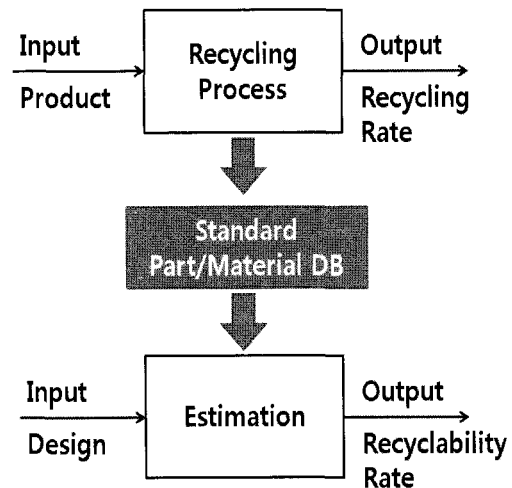


Figure 2. A process to evaluate the recycling rate and the recyclability rate [9].

근접하게 하는 것이다. 이를 위해서는 본 연구에서는 Figure 2에서와 같이 실질적인 라사이클링 공정에서의 처리결과를 고려하는 부품들과 재질들의 재활용률과 재생률의 기준을 표준 DB로 정립하고, 이 DB를 이용하여 재활용가능률과 재생가능률을 산정하여 결과의 신뢰성을 높이도록 하였다. DB의 구축은 여러 국가들의 사례를 조사하여 현실과 유사하게 구현하였고 유럽의 여러 전문가들의 의견을 고려하여 수정하였으며, 이미 Yi et al.[9]에서 기술하였다.

재활용가능률은 다음 식으로 정의하였다.

$$Rr = \frac{\sum_{i=1}^{Nr} (MR_i \times PR_i)}{W} \times 100\% \quad (5)$$

채택한 재생가능률의 계산은 사용자의 편의를 고려하여 재활용되는 부분과 기타 열적으로 처리되는 부분을 합한 값을 이용한다. 이렇게 하면 사용자는 재활용가능률과 열적으로 처리되어 에너지로 회수되는지의 여부를 구분할 필요가 없기 때문에 재생가능률의 산정이 지극히 단순하여진다. 본 연구에서는 사용되는 재활용가능률에 에너지 회수를 고려한 재생가능률은 역시 미리 작성하여 둔 시나리오에 따른 DB를 이용하여 계산하도록 하였다.

$$Rh = \frac{\sum_{i=1}^{Nr} (MH_i \times PH_i)}{W} \times 100\% \quad (6)$$

4. Excel을 이용한 재활용가능률 및 재생가능률 산정절차

기본적으로 소재재활용률 인증기준과 계산방법을 알면 누구나 제품의 재활용가능률과 재생가능률을 계산할 수 있다. 그러나 실무에서 각 부품별로 인증된 재활용기준과 재생기준을 입력하고 계산하게 하는 일은 시간을 많이 소요하는 귀찮고 비효율적인 작업이다.

이러한 작업을 쉽게 해결하기 위하여 본 연구에서는 제품의 카테고리나 부품별로 무게와 재질명을 입력하면 재활용가능률과 재생가능률이 자동으로 계산될 수 있는 간이 프로그램을 마이크로 소프트웨어의 Excel을 이용하여 개발하였다. 엑셀시트를 열면 Figure 3과 같이 초기 엑셀 시트가 화면에 나타난다.

이 시트를 이용하면 재활용가능률과 재생가능률의 계산은 자동으로 이루어진다. 사용자는 G8에 제품의 이름을 입력하고 9번째 열부터 부품의 정보를 입력한다. 부품의 이름과 수량, 단위중량, 재질이름은 반드시 입력하여야 하며, 재질의 이름은 소재재활용기준에서 지정된 이름 중에서 입력하기만 하면 계산이 수행된다. Q6과 S6에는 대상제품의 품목군 관련 정보를 입력한다. 냉장고와 대형가전의 경우, Q6에는 “대형재활용”, S6에는 “대형재생”을 가전소비재, TV, 청소기 등의 경우에는 Q6에는 “가전재활용”, S6에는 “가전재생”을 그리고 소형가전제품과 핸드폰과 같은 소형 IT제품은 Q6에는 “소형재활용”, S6에는 “소형재생”을 입력하여야 해당제품의 재활용가능률과 재생가능률이 제대로 계산된다. 재활용가능률의 계산결과는 Q3과 Q8에서 나타나며, 재생가능률의 계산결과는 S3과 S8에서 나타난다.

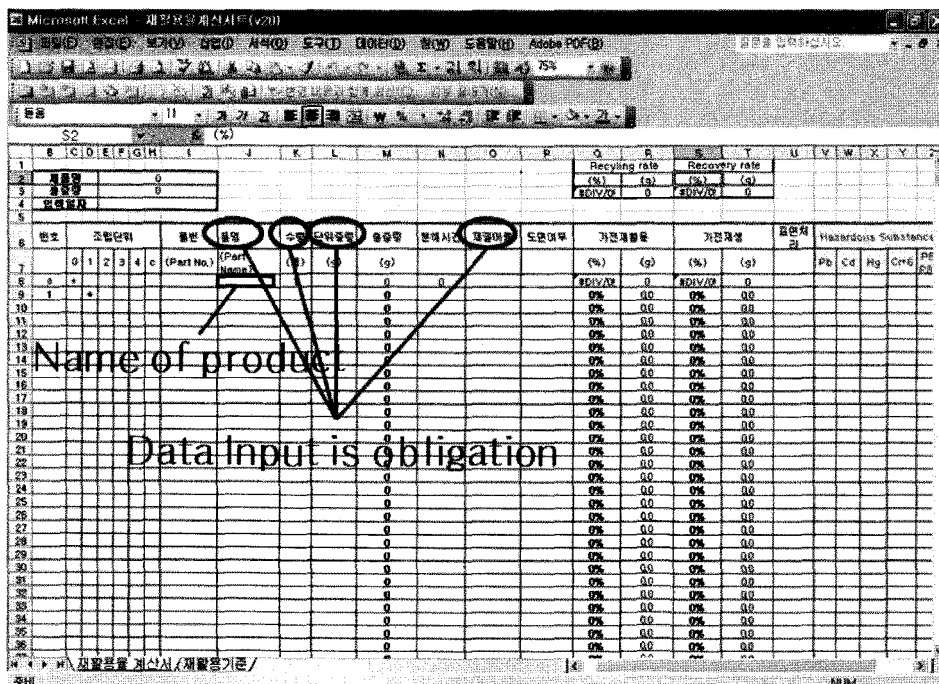


Figure 3. Initial screen of the developed Excel sheet.

입력 시에 유의해야 할 점은 assembly를 입력하고 해당 assembly의 하위구성부품을 입력하는 경우 Figure 4와 같이 assembly의 무게와 재질이름은 입력하지 말아야 한다. 다만 assembly라도 하위 구성부품의 정보를 입력하지 않는 경우에는 무게와 재질이름을 입력하여야한다. Figure 5는 완성된 계산표의 예이다.

5. 엑셀시트를 이용한 WEEE 재활용가능률 산정사례

5.1. 냉장고

제품의 재활용가능률 산정은 원칙적으로 제품의 설계데이터를 기초로 하여 이루어져야 한다. 본 연구에서는 가능한 경우 제

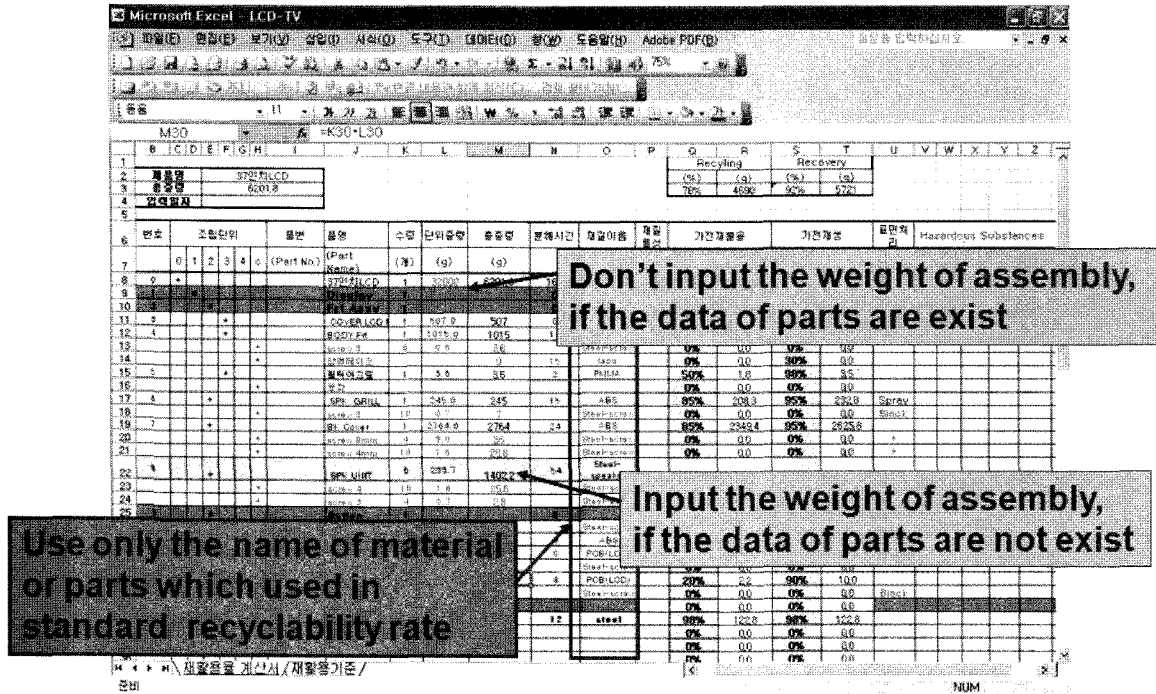


Figure 4. Input data for parts and assembly.

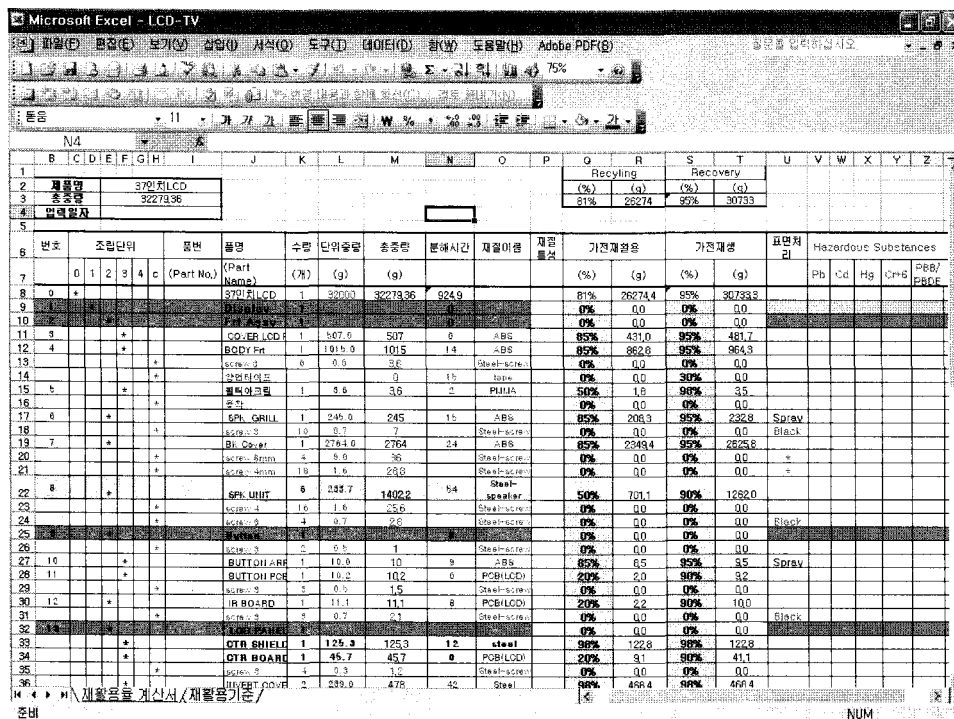


Figure 5. Finished Excel sheet.

품의 BOM (bill of materials)을 근거로 Excel 데이터를 작성하였으며, BOM의 입수가 불가능한 경우 제품을 구입하여 분해실험을 하고 분석된 부품들의 데이터를 입력하였다. 또한 BOM을 입수한 경우에도 분해실험을 수행하여 설계데이터와 비교하여 보았다. 실험 및 재활용가능률 산정대상 제품은 EU-WEEE의 규정에서 “대형가전제품,” “소형가전제품,” “가전 소비재,” 그리고 “정보통신기기”에 해당하는 냉장고, 진공청소기, LCD-TV, set-top box, 그리고 휴대폰을 대상으로 실시하였다.

대상 제품으로 선정된 양문형 냉장고로 부피와 무게가 상당히 크며, 냉장고는 처리 시에 냉매를 제거해야 되는 문제점 등이 있어 분해실험은 국내의 한 리사이클링센터에서 실행하였다 (Figure 6). 냉장고 분해 시에 발견된 특징으로는 사용된 나사의 종류가 많다는 것과 PCB기판에 함유된 유가금속의 추정량이 적다는 것이다(Figure 7). 분해실험결과를 본 연구에서 개발한 Excel 시트에 입력하여 평가한 결과 재활용가능률이 73%, 재생가능률이 83%로 나타났다.

5.2. 진공청소기

진공청소기는 냉장고에 비하면 부피도 작고, 무게도 가볍다. 하지만 구조는 더 복잡하여 부품의 개수는 무려 130개 이상이였다. 대부분의 부품은 합성수지(ABS, PP 등)로 되어 있으나 무게에 있어서는 모터(1.7kg)와 전선(1.3kg)이 전체 무게 7.1kg 중 거의 42%를 차지하였다. PCB는 금속의 함량이 상당히 적은 것으로 판단되었다(Figure 8). 분해실험결과를 본 연구에서 개발한 Excel 시트에 입력하여 평가한 결과 재활용가능률이 68%, 재생가능률이 89%로 나타났다.

5.3. LCD-TV

사용된 LCD-TV는 스탠드형 제품으로 크게 본체와 스탠드로 구성되어 있으며, 스탠드는 LCD-TV가 넘어지지 않게 지지



Figure 6. Disassembly of a refrigerator.



Figure 7. Disassembled parts of a refrigerator.

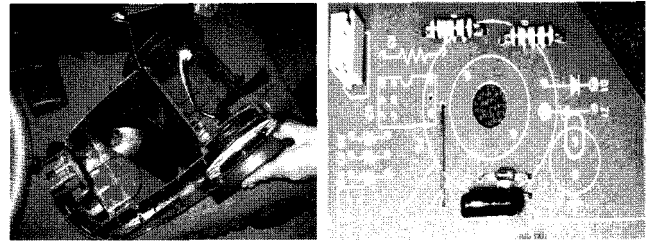


Figure 8. Disassembly of a vacuum cleaner.

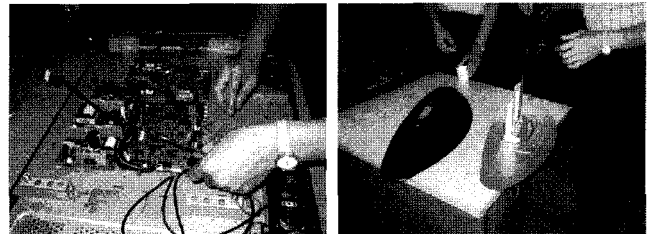


Figure 9. Disassembly of an LCD-TV.

하는 기능을 가지고 있어 상당히 무거웠으며, 철로 된 받침판이 3.9 kg 등 총 5.5 kg이나 되었다(Figure 9). 스탠드의 높은 무게는 철이 상당히 높은 소재재활용률을 가지고 있기 때문에 결과적으로 재활용률을 높이는 긍정적인 역할을 하였다. 구조적으로는 지나치게 많은 나사를 사용하여 분해에 많은 시간이 필요하게 되는 원인이 되었다. 분해실험결과를 본 연구에서 개발한 Excel 시트에 입력하여 평가한 결과 재활용가능률이 81%, 재생가능률이 94%로 상당히 높게 나타났다.

5.4. Set-Top Box

사용된 set-top box는 소형 가정용 비디오레코더 정도의 크기를 가지고 있다. 특이한 사항은 PCB에 튜너(Figure 10)가 달려 있어 다른 제품들의 PCB보다 금속유량이 상당히 높을 것으로 추정된다는 것이다. 분해실험결과를 본 연구에서 개발한 Excel 시트에 입력하여 평가한 결과 재활용가능률이 70%, 재생가능률이 93%로 나타났다.

5.5. 휴대폰

휴대폰은 두 가지 제품에 대하여 실험을 실시하였으며, 제조

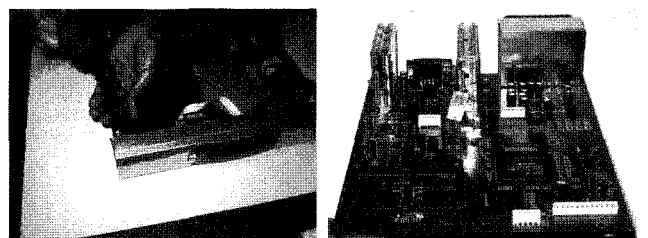


Figure 10. Disassembly of a set top box.

Table 2. Calculated results of the recyclability and recoverability rates for each product

Types of products		Recycling rate			Recovery rate		
		WEEE Target		Recyclability rate	WEEE Target		Recoverability rate
		Present	Proposed		Present	Proposed	
Consumer equipments	LCD-TV	65	70	81	75	80	94
	Set-top box			70			93
Large household appliances (Refrigerators)		75	80	73	80	85	83
Small household appliances (Vacuum cleaners)		50	55	68	70	75	89
IT and telecommunications equipments	Cell phone A	65	70	52	75	80	86
	Cell phone B			52			88

사들의 지원 없이 자체적으로 분해실험을 하였다. 따라서 본 연구에서 실행한 핸드폰의 분해실험과 관련 자료는 다소 오차가 있을 수 있음을 밝혀둔다. 첫 번째 제품(이하 휴대폰 A)의 분해 실험에서는 접착에 의한 시트는 처리 시 별도의 분해를 하지 않으면 케이스와 재질이 섞이는 현상이 발생할 것으로 예상되었으며, 사용된 나사의 종류가 다양하다는 것을 알게 되었다 (Figure 11). 두 번째 제품(이하 휴대폰 B)의 경우 휴대폰의 사전분리 부품으로 지정되어 있는 LCD-Display가 별다른 공구 없이 쉽게 분리되는 구조가 장점으로 생각되었다(Figure 12). 분해실험 결과를 본 연구에서 개발한 Excel 시트에 입력하여 평가한 결과 휴대폰 A의 경우에는 재활용가능률이 52%, 재생가능률이 86%로 나타났으며, 휴대폰 B의 경우에는 재활용가능률이 52%, 재생가능률이 88%로 나타났다.

5.6. 산정 결과의 종합 검토

본 연구에서 개발한 재활용가능률과 재생가능률의 산정 방법을 여러 가전 제품에 적용한 결과를 종합적으로 검토하기 위하여 Table 2에 각 제품군별 제품들의 의무재활용 및 의무재생률과 본 연구에서 개발한 산정 방법에 의해 계산한 재활용가능률 및 재생가능률을 정리하여 보았다. 가전소비재와 소형가전 제품들의 경우 실험한 제품들은 EU WEEE 지침에서 정한 현재의 의무재활용률과 의무재생률 뿐만 아니라 제안되어 있는 개정안 보다 상당히 높은 재활용가능률과 재생가능률을 나타냄을 알 수 있었다. 냉장고의 경우에는 현재 의무규정과 유사한 결과를 나타내었으며, 제안되어 있는 개정안에는 미치지 못하여 2011년 까지는 개선된 제품의 설계가 필요한 것으로 평가되었다. 휴대폰의 경우에는 실험 대상으로 채택한 2가지 제품 모

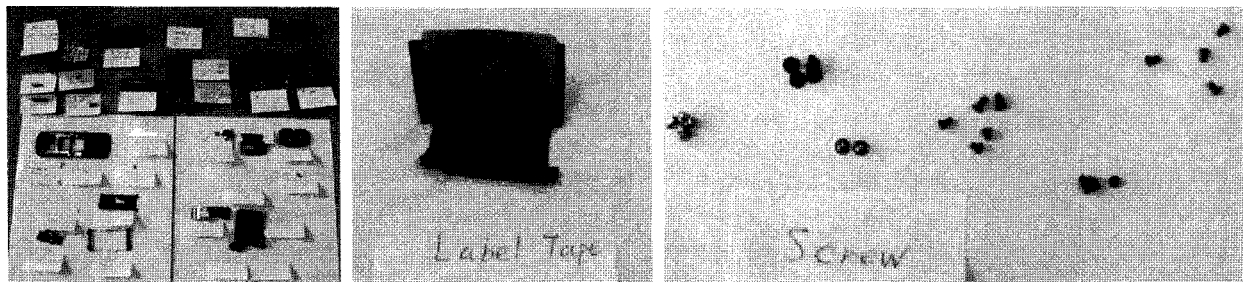


Figure 11. Disassembled parts of cellular phone A.

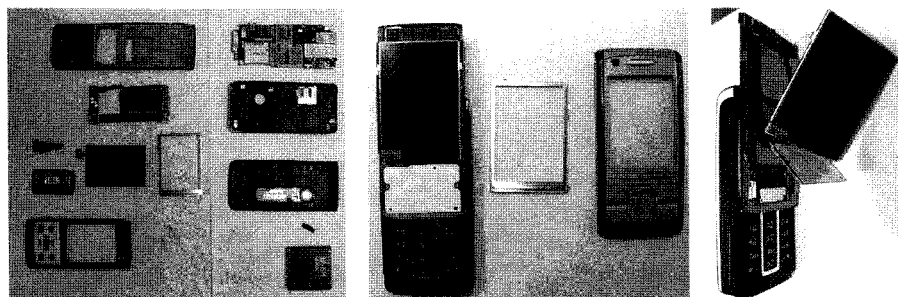


Figure 12. Disassembled parts of cellular phone B.

두 재생률은 만족시킬 수 있는 것으로 평가되었으나, 재활용률의 경우 현재의 재활용률기준조차도 만족시키지 못하는 결과를 나타내었다.

6. 결 론

EU의 WEEE지침을 시작으로 전기전자제품의 재활용에 대한 규제를 여러 나라에서 시행하거나 준비하고 있다. 아직까지는 대부분의 경우 재활용률과 재생률이 리사이클센터에서 처리된 결과에 의존하므로 제품을 생산하는 업체의 입장에서는 자기가 개발하고 있는 제품이 장래에 어느 정도의 재활용률 혹은 재생률을 가지게 될지 예측해 볼 필요가 있으나 현재까지 표준화된 계산방법이 없었다.

본 연구에서는 제품의 개발단계에서 설계자가 제품이 현실적인 재활용절차를 고려하여 재활용가능률 혹은 재생가능률을 계산해 볼 수 있는 계산 방법을 개발하였다. 개발된 계산방법은 EU-WEEE의 규정에서 “대형가전제품,” “소형가전제품,” “가전 소비재,” 그리고 “정보통신기기”에 해당하는 냉장고, 진공청소기, LCD-TV, set-top box, 그리고 핸드폰을 대상으로 적용하여 보았다. 가전소비재와 소형가전제품들의 경우 실험한 제품들은 EU WEEE 지침에서 정한 의무재활용률과 의무재생률보다 상당히 높은 재활용가능률과 재생가능률로 나타났으며, 냉장고의 경우 의무재활용률과 유사한 결과로 나타났다. 냉장고의 경우 현실적으로 유럽의 리사이클센터들의 보고 자료와 크게 차이가 없으며, 결과의 신뢰성은 상당히 높은 것으로 평가된다. 휴대폰의 경우 실험대상으로 채택한 2가지 제품 모두 의무재활용률과 의무재생률을 만족시키지 못하는 결과로 나타났으며, 실제로도 의무재활용률을 만족시키기 어려울 것으로 예상된다.

사용기호

- W: 제품의 무게 (kg)
- Rr: 재활용가능률 (%)
- Rh: 재생가능률 (%)
- P: 재활용되는 부품의 순도
- Nr: 재활용되는 부품의 개수
- Nh: 열재생처리를 통해 전환되는 부품의 개수
- Nu: 재생되는 부품의 개수
- MR: 재활용되는 부품의 무게 (kg)
- MH: 열재생처리를 통해 전환되는 부품의 무게 (kg)
- MR_i: i 번째 재활용되는 부품의 무게 (kg)
- PR_i: i 번째 재활용되는 부품의 부품소재재활용기준(데이터베이스 이용)
- MH_i: i번째 재생되는 부품의 무게 (kg)
- PH_i: i번째 재생되는 부품의 부품소재 재생기준(데이터베이스 이용)

감 사

본 연구는 지식경제부의 “에너지및자원순환기술개발사업”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Savage, M., “Implementation of the Waste Electric and Electronic Equipment Directive in the EU,” EUR 22231 EN, European Commission, Institute for Prospective Technological Studies, 2006.
2. European Union, “DIRECTIVE 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS),” Official Journal of the European Union, (January 27, 2003).
3. European Union, “DIRECTIVE 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE),” Official Journal of the European Union, (January 27, 2003).
4. European Union, “Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE),” Dec. 2008.
5. Gabriel, R., “Reporting System - Treatment Results,” WEEE Forum, Aug. 2005.
6. Coolrec, Uniforme Monitoring Form KVK TV 2006.xls, Internal Report, 2006.
7. Fujisaki, K., “Case Study of a Recycling Parameter Calculation Tool Based on DFD (Second Report), Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing,” 4th International Symposium on Eco Design 2005, Dec. 12-14, 216- 222 (2005).
8. Japanese Government, “Law for Promotion of Effective Utilization of Resources,” METI (the Ministry of Economy, Trade and Industry), Japan, 2001.
9. Yi, H.-C., Kang, H.-Y., Kim, J., Shim, K., Kim, J., and Han, S., “A Study on the Establishment of the Standards for the Recycling Rate of Parts and Materials to Calculate Recyclability Rate of Electrical and Electronic Equipments,” *Clean Tech.*, 14(4), 232-241 (2008).