

청정부품/제품설계

전기전자제품의 재활용가능률 산정을 위한 부품/소재의 재활용기준 정립에 관한 연구

이화조,* 강홍윤,† 김진한,† 심강식,§ 김진호, 한승철#

영남대학교 기계공학부
경상북도 경산시 대동 214-1

†국가청정생산지원센터
서울특별시 강남구 역삼동 707-34

†LG전자
경상남도 창원시 가음정동 391-2

§(주)에코이디에스
경기도 수원시 장안구 울전동 285-2

#영남이공대학
대구광역시 남구 대명7동 1737

(2008년 10월 1일 접수; 2008년 11월 28일 1차 수정본 접수; 2008년 12월 3일 2차 수정본 접수; 2008년 12월 4일 채택)

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

Hwa-Cho Yi,* Hong-Yun Kang,† Jinhan Kim,† Kangsik Shim,§ Jinho Kim, and Seongchul Han#

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

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

†LG Electronics
391-2 Gaumjeung-dong, Changwon, Gyeongnam 641-711, Korea

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

#Yeungnam College of Science and Technology
1737 Daemyung-7-dong, Nam-gu, Daegu 705-703, Korea

(Received for review October 1, 2008; 1st Revision received November 28, 2008;
2nd Revision received December 3, 2008; Accepted December 4, 2008)

요 약

EU의 WEEE 지침에는 전기전자제품의 생산자들이 반드시 달성하여야 하는 재활용률과 재생률의 목표치가 설정되어 있다. 본 연구에서는 전기전자제품의 생산자들이 개발되는 제품의 재활용가능률과 재생가능률을 산정해 보는데 필요한 부품과 소재들의 재활용률과 재생률의 기준을 만들어 보았다. 먼저 전기전자제품의 재활용공정과 부품 및 소재별 재활용 및 재생특성을 분석해 보았으며, 유럽 현지 업체들의 처리결과에 따른 재활용률과 관련된 자료들을 조사하여 분석하였다. 이러한 결과로 작성된 재활용률과 재생률 DB는 유럽의 전

* To whom correspondence should be addressed.
hcyi@yu.ac.kr

문가들의 의견을 반영하여 개선하였다.

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

Abstract : European directive DIRECTIVE 2002/96/EC requires minimum recycling & recovery rates on waste electrical and electronic equipment (WEEE). We tried to make references for recycling and recovery rates of parts and materials used in electrical and electronic equipment (EEE), which could be used to calculate recyclability and recoverability rates of a product in the development phase. First, we investigated recycling processes of WEEE and recycling and recovery characteristics of parts and materials. Based on the investigation results and the european recycling data, we made a data base of parts and materials for calculation of recycling and recovery rates of EEE. The developed DB was improved by reflecting advices of european experts.

Key Words : Recycling rate, Recyclability rate, Recovery rate, Recoverability rate, Electrical and electronic equipment (EEE), Waste electrical and electronic equipment (WEEE)

1. 서 론

청정기술은 제품의 생산단계, 사용단계 및 폐기단계에 관련된 기술로 분류될 수 있다. 이중 폐기와 관련된 내용은 지구의 자원고갈과 폐기장 확보의 어려움으로 점차 법적으로 규제되고 있는 추세이다. 폐전기전자제품의 처리에 관한 정책들은 유럽과 일본 미국 등 선진국들 뿐만 아니라 중국, 태국 등 개발도상국들에서도 유사 정책을 만들어 시행하고 있다. 폐전기전자 제품의 폐기와 관련된 대표적인 지침으로는 EU의 WEEE규정을 들 수 있다[1]. 이 규정에서는 전기전자제품을 10가지의 카테고리 분류하고 각 카테고리별로 최저의 재활용률(recycling rate)과 재활용률에 에너지 회수를 포함시킨 재생률(recovery rate)을 Table 1과 같이 지정하여 제품 생산자들이 지킴으로써 규정하고 있다. 하지만 지금까지 유럽의 각 국가들은 자국법의 제정, 폐전기전자제품의 회수 및 처리 인프라 구축 등에 신경을 쓰고[5, 6] 실질적인 제품들의 재활용률과 재생률의 표준 계산 방법을 제정하거나 개별제품의 재활용률과 재생률의 준수여부는 관리를 하지 않고 있다[2]. 이러한 현실은 생산자들로 하여금 아직 까지 제품의 재활용을 계산에 관심을 기울이지 않는 원

인이 되고 있고 다른 한편으로는 자기 제품의 재활용률과 재생률에 관한 정보의 부재로 항상 불안한 상황을 만들고 있다.

재활용률과 재생률은 리사이클링 공정의 결과에서 얻어지는 결과이다. 제품을 생산하는 업체나 제품의 설계자에게는 제품의 개발과 설계과정에서 이러한 결과를 예측할 수 있는 수단이 필요하고 현실적인 상황들을 고려하여 재활용률과 재생률을 예측하여 산정할 경우 이를 재활용가능률(recyclability rate)과 재생가능률(recoverability rate)이라고 한다.

재활용가능률과 재생가능률의 산정에서 가장 중요한 것은 현실적인 처리절차와 부품과 재질들의 특성을 제대로 고려하여 결과가 실질적인 재활용률과 재생률과 근접하게 하는 것이다. 이를 위해서는 Figure 1에서와 같이 실질적인 리사이클링 공정에서의 처리결과를 고려하는 부품들과 재질들의 재활용률과 재생률의 기준을 정립하는 것이다.

현실적으로 리사이클링 공정에서의 처리결과를 고려하는 것은 리사이클센터 사이의 차이가 존재하고 국가별 지역별 인프라에 따라 실질적으로 차이가 많이 나게 되는 어려움을 가지고 있다. 또한 처리공정의 특성상 이론적으로 부품들과 재질들의 재활용률과 재생률을 구하는 것도 불가능하다. 본 연구에서는 만들어진 DB를 이용하여 계산할 경우 계산결과가 실제 유럽

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

Category	Targets (wt%)	
	Recovery	Recycling and reuse
Large household appliances (group 1) Automatic dispensers (group 10)	80	75
IT and Telecommunications equipment (group 3) Consumer equipment (group 4)	75	65
Small household appliances (group 2) Lighting equipment (group 5) Electrical and electronic tools (group 6) Toys, leisure, and sports equipment (group 7) Monitoring and control equipment (group 9)	70	50
Medical devices (group 8)	No target	

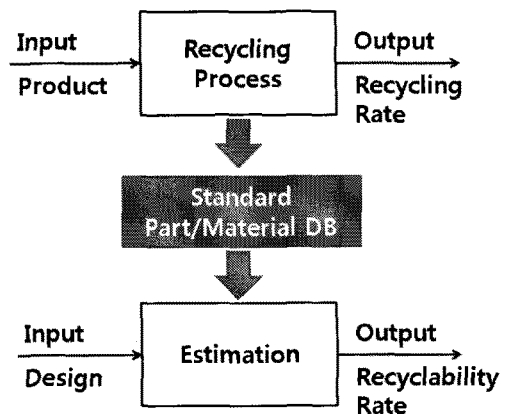


Figure 1. Recycling rate and recyclability rate.

의 리사이클센터에서 처리한 결과에서 얻어진 값과 유사하지만 실제 결과보다는 높은 값이 얻어지지 않는 것을 목표로 하여 기준을 정립하였다. 이를 위해서는 기존의 발표된 처리결과들과 관련분야의 전문가들의 의견을 종합하여 제품의 설계단계에서 재활용가능률과 재생가능률을 산정하는데 기본이 될 수 있는 전기전자제품에 사용되는 부품들과 재질들의 재활용률과 재생률의 기준을 만들어 보았다.

2. 폐전기전자 제품의 처리절차

전기전자 제품이 사용 수명을 다하고 폐기될 때 어떤 부품과 재질들이 재활용 혹은 에너지 재생이 될 수 있는지의 여부는 상당부분 이들이 어떻게 처리되는지의 처리절차와 관계가 있다. 폐전기전자 제품의 처리공정은 제품군별로 다르지만 기본적으로는 크게 파쇄 전 처리공정과 파쇄 및 파쇄 후 처리공정으로 나눌 수 있다. 파쇄 전 처리공정은 수작업 위주로 이루어지며, 특정물질의 별도로 분리하여 처리하도록 지정한 법규, 유해물질의 분리, 귀금속류의 분류, 파쇄설비의 보호 등이 그 주된 이유에서 특정 물질 혹은 부품류를 분리한다.

파쇄 후 처리공정은 철금속, 비철금속, 합성수지 등의 재료 재활용과 재활용이 불가능한 재질이나 재활용 가능한 형태로의 분류가 어려운 쓰레기의 처리로 나누어지게 되며, 이들은 다시 소각에 의한 열회수가 가능한 부분과 매립대상으로 나누어지게 된다. 이론적으로 거의 모든 제품의 부품 및 소재는 재활용이 가능하다. 그러나 실제 재활용 과정에서 몇 가지 원인에 의해 재활용되는 대신 소각 등의 방법을 통한 에너지 재생이나 매립 처리되기도 한다. 이러한 원인으로는 유해물질 규제에 의한 폐기 처리 대상 부품 및 소재의 제거, 재활용 절차에 따라 분진 처리되거나 설비 내에 잔여물로 남는 경우, 비용 효율을 고려한 폐기 그리고 소재 재활용 업체의 부재 등을 들 수 있다.

3. 전기전자 제품의 부품 및 소재별 재활용성 분석

3.1. 합성수지

다양한 전기전자 부품에 적용되는 합성수지는 범용 수지의 경우 단일 소재로 사용되면 재활용성이 비교적 양호한 편이나, 복합 소재(이중 재질의 혼합 플라스틱)를 사용될 경우에는 재활용률이 상대적으로 낮게 나타났다. IT/휴대폰 제품과 같은 정보 및 통신 기기 제품들은 크기가 소형이고 분해, 분리 후의 재질 분류 및 수거가 어려운 관계로 대형 제품군(large household appliances)에 비해 재활용성이 상당히 낮게 평가되고 있다. 소비자재 가전(consumer equipment)이나 소형 제품(small household appliances)도 다소 낮게 평가되고 있다.

ABS 소재는 단일 소재의 경우, 재활용성이 높아지며 페인팅, 도금 등의 표면처리 후 찌꺼기가 남아 있으면 재활용성 저하의 요인이 된다. ABS 복합 소재 또한 복합 소재에 맞는 적용 대상 부품이 한정되어 있는 관계로 일반적으로 단일 소재에 비해 재활용성이 떨어지는 것으로 판단된다. 난연 그레이드도 별도로 수집만 된다면 난연 등급에 적합한 용도로 적용할 수 있으며, 재활용 소재의 청결도가 높아지고 난연 등급이 사전에 분류가

되면 보다 높은 재활용률을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

ASA도 ABS와 같이 유사한 재활용성을 보이고 있으며, EPS (expandable polystyrene)는 완전한 소재의 형태로 회수된다면 좋은 재활용 소재가 되지만 사전 분리되지 않는 기계식 분쇄 처리일 경우 EPS 소재 자체로 회수하기 어려워 재활용이 거의 안 되는 것으로 보인다.

전기전자 제품에 공용으로 적용되는 재질인 PP (polypropylene), PS (polystyrene), PE (polyethylene) 등은 제품 카테고리에 광범위하게 적용되는 관계로 재활용성이 좋으며 특히 수작업으로 분리 시에는 재활용 비율이 더욱 높아진다.

SAN (styrene acrylonitrile), PMMA (polymethyl methacrylate), PC (polycarbonate) 등의 소재도 단일 소재로 구성되거나, 사이즈가 크거나, 수작업 형태로 수집될 경우, 재활용성이 양호한 편이나 대체로 소형 부품에 많이 적용되어 재활용률은 높지 않은 편이다. 기타 PET (polyethylene terephthalate), POM (polyoxymethylene), PA (polyamide) 등은 소형 부품에 적용되어 전반적으로 재활용성이 떨어지는 것으로 보이며, PVC 소재는 경질은 재활용이 잘 되나, 연질 PVC는 재활용이 어려워 대부분 매립 또는 소각 처리한다.

기타 단열재로 사용되는 폴리우레탄(PUR)은 부분적으로 재활용 향상을 위한 연구가 진행되고 있으나, 비용 상승과 기술적 어려움으로 현재까지 대부분 소각 처리되고 있다.

기본적으로 합성수지에 대한 재활용 여부는 재생된 합성수지의 청결도와 재활용성이 차이가 있으며, 재활용하는데 소요되는 비용과 재생 재질의 시장 가격에 의해 결정된다. 그밖에 적용되고 있는 합성수지의 난연 등급 및 보강재 투입 여부에 따라 실질적인 재활용률에서 차이가 커진다.

3.2. 철 금속류

대부분의 철 금속류는 재활용성이 높게 평가되고 있으며 철 표면에 부착된 이물질이나 기계식 분쇄처리 시 손실분을 제외하면 재활용에 어려움이 거의 없는 것으로 보인다. 스테인리스강(stainless steel)은 자석으로 분리 가능한 재질과 불가한 재질로 구분되는데 불가한 재질은 사전에 수작업으로 선별 분류해야 하고, 분쇄 후 별도의 금속 재질 분리가 필요하므로 일반 스틸에 비해 재활용성이 다소 떨어진다.

3.3. 비철 금속류

구리, 알루미늄, 구리/알루미늄 합금과 같은 비철 금속류는 재활용 시설 내에서의 기술적인 기반이 잘 구축되어 있어 높은 재활용률을 보이고 있다. 황동, 청동 구리 합금 외 크롬, 니켈, 주석, 아연, 마그네슘 등의 비철 금속은 국가 원자재 가격의 상승의 영향으로 재활용과 관련하여 높은 경제성이 확보되어 있으나 특정 부품이나 특정 부위에 적용되는 한계성이 있기 때문에 재활용률 자체는 저조하다.

3.4. 전선류

전기전자 제품의 전선, 케이블에서 전선 피복이 비중이 낮은 내부 전선(inner wire)과 고압용 송전선, 동력선 등은 금속(구리) 함유 비율이 35 ~ 50% 수준으로 높은 재활용률을 보이나,

단자, 커넥터, 피복, 튜브 등 플라스틱 비중이 높은 파워 케이블, 어셈블리 전선류는 25 ~ 30% 재활용 수준을 나타내고 있다.

전선 자체로 보면 구리 함량이 40% 수준으로 산업용 일수록 구리 함량은 높아진다.

3.5. 유리

유리 소재는 표면 열처리 여부에 따라 재활용 가능 여부가 판단하는데, TV의 CRT glass나 LCD panel glass는 완전하게 재활용이 되는 소재로 분류되고 있으나, 반면에 국내 냉장고 제품의 선반류(shelf)에 적용하는 안전유리, 강화 유리는 재활용 시 고비용 부담으로 재활용 처리되지 못하고 매립장으로 보내지고 있다.

3.6. PCB 어셈블리

전기전자 제품의 PCB 기관에서는 일반적으로 저급 기관의 경우 10%, 고급 기관은 15%의 구리 회수가 가능한 것으로 보이지만, PCB 어셈블리는 구성 부품에 따라서 재활용성에 있어서 차이가 난다. 특히 LCD TV (tuner 용) PCB 어셈블리나 휴대폰용 PCB 어셈블리 등은 기관에서의 구리 회수율이 상대적으로 높고, 금, 은, 팔라듐 등의 귀금속의 함유하고 있으며, 회로 부품에서의 금속 비율이 높기 때문에 30% 수준의 재활용률이 확보되는 것으로 판단한다. 냉장고 등 대형 제품에서 채취한 PCB는 대체로 낮은 등급과 가치를 가지고 있으며 재활용률이 낮다.

3.7. 냉장고 단열재

사이클로펜탄(cyclopentane)과 함께 폴리우레탄(PUR)을 포함한 냉장고의 경우, 현재의 분쇄기에 투입될 수 없다. 그 이유는 폴리우레탄이 분쇄될 때 탄화수소(HCs)가 폭발할 위험을 안고 있기 때문인데 현재 사용되는 일반 분쇄기는 폴리우레탄 속에 클로로플루오로 카본 CFCs (R12)를 포함하는 냉장고만을 처리하도록 설계되었기 때문이다. 이 설비로는 싸이클로펜탄과 CFC의 혼합물을 처리할 수 없다.

WEEE 규정 첨부 2 문서의 2번 항목은 추가로 1번 항목에 언급된 가스 물질

- Chlorofluorocarbons (CFC)
- Hydrochlorofluorocarbons (HCFC)
- Hydrofluorocarbons (HFC)
- 탄화수소 hydrocarbons (HC)

에 대해 설명하고 있다.

냉장고, 냉동고, 에어컨에 사용되는 탄화수소(HCs)는 15 이하의 지구온난화 잠재값 (GWP, Global Warning Potential)을 가지므로 실제적으로 본 규정에서는 탄화수소를 재활용 요구 항목, 특히 추출과 처리 부분에서 제외시키고 있다.

HFCs는 15 이상의 값을 갖기 때문에 추출되어 적절한 방법에 의해 다루어져야 하며 오존 파괴 가스인 CFCs와 HCFCs 역시 2037/2000 규정에 따라 처리되어야 한다.

업체들로 하여금 15미만의 GWP를 나타내는 탄화수소(HCs)를 추출하여 처리하도록 하는 것은 경제적으로나 환경적으로나 의미가 없다. 이러한 요구는 불필요하게 10유로 정도의 재활용 비용을 가중시킬 것이기 때문에 규정에서 제외되었다. 탄

화수소는 액화석유가스 (LPG)에서 추출되었으며 자연적으로 발생한다. 냉각회로에서는 이소부탄과 프로판이 냉매로 사용된다. 사이클로 펜탄이 냉장고과 냉동고벽의 단열을 위한 발포제에 매체로 사용되며 때로 탄화수소와의 조합되기도 한다.

1990년대에 들어 염소화 기체들인 CFC와 HCFC가 오존 파괴 물질로 판명되면서 사용되지 않으며 대체물질로서 HFC를 사용하고 있다. HFC나 HC는 오존 파괴 가스로 분류되지 않는다.

네덜란드의 Coolrec에서는 극저온 응축 기술(cryogenic condensation techniques)을 이용하여 CFC 가스를 액화시킨 다음 압축 용기에 모아 추후 처리를 위해 전문 업체로 운반한다.

3.8. 사전분리 대상 부품(legal selective treatment)

WEEE에서 요구하는 법적 사전분리 대상 부품 중에서 파워 코드/외부 전선류는 25 ~ 30%수준의 재활용률이며, 수은 함유 물질로 주목 대상인 백라이트 램프(backlight lamp)는 80 ~ 90% 수준이며, 인쇄회로 기관(PCB assembly)은 15 ~ 30% 수준이며, 냉장고용 냉매류는 95% 이상의 높은 수준이며, 가스 방전 램프는 또한 95% 수준이며, LCD 패널도 70 ~ 80% 수준의 재활용률이 확보되는 것으로 나타났다.

4. 유럽 현지 재활용 업체의 재활용 기준

부품/소재별 재활용률 기준에 대한 유럽 재활용 업체의 공식화된 규정은 없지만 EU내 국가/지역별로 다양한 형태의 폐기

Table 2. Recycling rate of parts and materials for refrigerator by Coolrec[4]

Materials	Recycling rate (%)
Aluminium	96.8
Ammonium units	70.0
Asbestos items	0.0
Waste	0.0
Compressor	95.0
Glasswool units	60.0
Wood	95.0
Carton and paper	95.0
Scrap	99.0
Coolers	90.0
Plastics	93.8
Mix	60.0
Oil	0.0
Other appliances	65.0
Pentium units	60.0
Professional units	60.0
Foam	0.0
R11	0.0
R12	0.0
Stainless steel	60.0
Wire	80.0
Steel	94.9
Glass plates	90.0
Sulphur units	60.0

Table 3. Recycling rate of parts and materials for refrigerator by Bresch[3]

Description	Recovery rate (%)	Recycling rate (%)
Ferrous metals	98	33.77
Aluminium-granulate	90	5.6
CFC	100	1.04
Cables	35	0.36
Compressors	98	20.32
Glassware	98	3.81
PU	99	8.98
Plastic-granulate	95	12.30
Oil	100	1.30
Non-ferrous metals	90	0.94
Residual materials	0	0.00
Total		88.42

Table 4. Recycling rate of parts and materials for television by Coolrec (2006.3)[4]

Materials	Recycling rate (%)
Waste	0.0
Funnelglass	100.0
Electronics	50.0
Panel glass	100.0
Guns	90.0
Glass-dust	0.0
Wood	95.0
Carton and paper	95.0
Scrap	99.0
Monitor plastics	90.0
Other appliances	65.0
Mixed glass	95.0
Wire	80.0
Coils	60.0
TV plastics	90.0
TV chassis	99.0

물 수거 체계와 리사이클링 센터 시설, 그리고 국가별 많이 사용하는 재질의 차이와 이로 인한 재활용 재질의 시장활성화 정도가 다르기 때문에 국가와 재활용업체, 그리고 대상제품에 따라 상당한 차이가 있을 수 있다.

유럽 현지의 대표적인 재활용 처리업체인 Bresch사(독일)의 주요 제품별 재활용률의 기준은 Table 3과 Table 5에 그리고 Coolrec사(네덜란드)의 주요 제품별 재활용률의 기준은 Table 2와 Table 4와 같다. 이들은 대부분 기계식으로 처리하는 관계로 부품/소재별로 상당히 높은 재활용률을 나타내고 있다. 이러한 경향은 역내 타 재활용업체에서도 유사한 방향으로 확대되어 갈 것으로 예상된다.

이러한 부품/소재 재활용 기준은 재활용 기술의 수준, 재활용업체의 처리시설, 재활용업체의 개선 의지 등에 의해 많은 영향을 받게 된다. 기계식 방식은 사전처리 대상부품을 1차 분리하여 효율적인 수작업 분류작업을 마치고, 나머지 제품 본체는

Table 5. Recycling rate of parts and materials for television by Bresch (2006.6)[3]

Description	Recovery rate (%)	Recycling rate (%)
Tubes	95	53.20
Circuit boards II	33	0.33
Circuit boards III	25	1.92
Deviate unites	56	5.39
Cables	35	0.35
Ferrous metals	92	7.68
Capacitors	0	0.00
Wood	20	1.34
Plastics	10	0.96
Total		71.17

분쇄하여 처리하는 프로세스이기 때문에 경제성 측면과 함께 소재 재활용을 극대화하는 목적으로 하며, 소재에 문제가 있거나, 분쇄/수거 과정에서 발생하는 손실 외에는 높은 비율의 재활용률을 인정하고 있다.

5. 제품군별 부품/소재 재활용 기준 설정

5.1. 주요 제품군별 재활용 기준

현재 국가별 혹은 EU 전체의 표준화된 계산 방법이 제정되어 있지 않은 상황에서 국내업체들을 위한 재활용기준의 설정은 어렵고 또한 복잡한 상황이다. 기본적으로는 여러 국가의 상황을 고려한 다양한 계산방식에 대응할 수 있는 소재의 재활용 기준 설정이 필요하다. 이러한 방법으로는 가장 보수적인 상황에서도 인정받을 수 있는 기준과 현재 현지 재활용업체에서 일반적으로 적용 가능하다고 인정할 수 있는 기준으로 구분하여 설정하여야 한다.

대부분의 리사이클센터에서는 WEEE에서 분류하는 모든 제품군을 동일한 장소에서 재활용 처리하지 못하는 관계로, 전 제품군을 총괄하는 재활용률을 산정하는데 한계가 있다. 예를 들어 특정 리사이클센터에서 냉장고, 세탁기 기준으로 대형 제품을 처리하는 재활용 설비와 더불어 TV, 모니터 등 소비자 가전품을 처리하는 재활용 설비를 보유하고 있다면, 소형 가전품이나 휴대폰을 대표로 하는 정보 통신 제품은 재활용률 분석 및 측정은 어려울 것으로 보인다.

따라서 소형 가전품, 정보 통신제품의 재활용률은 대형 제품 및 소비자 가전품의 부품/소재별 재활용률 데이터베이스를 기준하여 상호 비교할 수 있다.

본 연구에서는 주로 대형 제품의 부품/소재를 기준하여 조사가 어려운 타 제품군별 부품/소재의 재활용률을 유추하였다. 이러한 유추를 위하여 국내의 재활용업체의 전문가의 조언 받았다. 제품의 크기에 따라 부품의 크기가 다르며, 작은 제품의 경우 파쇄와 파쇄 후의 재질별 회수에서 손실이 많이 발생하게 된다.

5.1.1. 합성수지의 제품군별 재활용 기준

합성수지의 경우, 대형 제품의 재활용률이 확정되면 정보 통신 제품은 소형 size로 인한 소재 재활용 손실 및 특정 소재 사

Table 6. Reference of recycling rate for plastics

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
ABS	85	97	83	97	83	97	60	95
ASA	85	97	83	97	83	97	60	95
EPS	0	97	0	97	0	97	0	95
PA	0	97	0	97	0	97	0	95
PC	75	97	73	97	73	97	50	95
PE	50	97	48	97	48	97	30	95
PMMA	50	97	48	97	48	97	30	95
PUR	0	97	0	97	0	97	0	95
POM	20	97	20	97	20	97	0	95
PP	85	97	83	97	83	97	60	95
PS	80	97	78	97	78	97	60	95

Table 7. Reference of recycling rate for ferrous metals

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Steel (general)	95	95	95	95	95	95	85	85
Black malleable casting	95	95	95	95	95	95	85	85
Ductile casting	95	95	95	95	95	95	85	85
Gray casting	95	95	95	95	95	95	85	85
Stainless steel (magnetic)	90	90	90	90	90	90	80	80
Stainless steel (non-magnetic)	50	50	50	50	50	50	0	0

용에 따른 수거율 저하를 감안하여 대형 제품 대비 재활용률이 20% 수준 감소되고, 소비자 가전품과 소형 가전품은 2 ~ 3% 감소되는 가정으로 재활용 기준으로 산정하였다.

5.1.2. 금속(철, 비철)의 제품군별 재활용 기준

철금속, 비철금속도 합성수지와 동일한 기준으로 대형 제품의 재활용률이 확정되면 정보 통신 제품은 소형 size로 인한 소재 재활용 손실을 감안하여 대형 제품 대비 재활용률이 10% 감소되고, 소비자 가전품과 소형 가전품은 대형 제품과 재활용 기준으로 산정하였다.

5.2. 재질 및 부품들의 제품군별 재활용률 및 재생률 기준 설정

5.2.1. 합성수지

합성수지는 단일 소재인 경우 재활용성이 가장 양호하며 복합 재질(alloy) 형태가 되면 재활용이 다소 떨어지는 것으로 평가된다. 냉장고 제품과 같은 대형 제품과 휴대폰과 같은 정보 통신기기 제품은 소형 사이즈로 인한 재활용 시 손실을 감안하면 20% 재활용률이 낮을 것으로 예측하고 있다. 단일 소재이거나 유해성이 없는 경우, 냉장고를 비롯한 대형제품은 재활용률은 85% 수준이며, TV와 같은 소비자 가전품과 소형 가전품은 83% 수준으로 기준으로 설정하였다. 합성수지들에 대한 구체

적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 6에 나타나 있다.

5.2.2. 철 금속류

순수한 철 금속류는 대부분 95% 수준으로 재활용성이 우수하다. 휴대폰과 같은 정보 통신기기 제품은 소형 스틸로 인해 대형 제품에 비해 10% 재활용률이 떨어지는 것으로 보이며, 자력 선별 여부가 철 금속류의 재활용률에 영향을 주는 것으로 판단하고 기준을 설정하였다. 철 금속류들에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 7과 같다.

5.2.3. 비철 금속

구리, 알루미늄과 그 합금들은 비철 금속은 재활용률이 90% 수준이며, 크롬, 니켈, 주석 등은 50% 수준으로 재활용되고 있는 것으로 판단하여 기준을 설정하였다. 비철금속들에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 8과 같다.

5.2.4. 전선류

외부 전선류(power cable)는 일반적으로 전선 피복 비율이 높고 커넥터/단자 등의 합성수지의 비율이 높아서 재활용률이 25%이며, 그 밖에 내부용 전선류는 구리의 중량비가 35%로 기준을 설정하였다. 전선류에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 9와 같다.

Table 8. Reference of recycling rate for non-ferrous metals

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Aluminium	90	90	90	90	90	90	80	80
Aluminum alloy	85	85	85	85	85	85	75	75
Copper	90	90	90	90	90	90	80	80
Copper alloy	90	90	90	90	90	90	80	80
Brass	90	90	90	90	90	90	80	80
Chromium	50	50	50	50	50	50	50	50
Nickel	50	50	50	50	50	50	50	50
Tin	50	50	50	50	50	50	50	50
Zinc	50	50	50	50	50	50	40	40
Magnesium	90	90	90	90	90	90	80	80
Gallium	0	97	0	97	0	97	0	97
Silicone	0	95	0	95	0	95	0	95

Table 9. Reference of recycling rate for cable and wire

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Wire/cable (inside)	35	95	35	95	35	95	35	95
Power cable	25	95	25	95	25	95	25	95
Cable (assembly)	25	95	25	95	25	95	25	95
Harness wire (assembly)	25	95	25	95	25	95	25	95

Table 10. Reference of recycling rate for glasses

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Glass (LCD, general)	70	70	70	70	70	70	70	70
Glass (tempered)	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 11. Reference of recycling rate for PCB assembly

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Complex (PCB/min. 30% metal)	25	95	25	95	25	95	30	95
Complex (PCB/min. 15% metal)	13	95	13	95	13	95	18	95
Complex (PCB/low value)	8	95	8	95	10	95	10	95

5.2.5. 유리

유리는 열처리가 되면 안전유리, 강화 유리의 형태로 되어 재활용이 힘들지만, TV/LCD/모니터 등의 유리에서는 70% 수준으로 재활용률을 설정하였다. 유리에 대한 구체적인 재활용률과 재생물의 기준은 Table 10과 같다.

5.2.6. PCB 어셈블리

PCB 어셈블리는 냉장고를 비롯한 대형 가전제품은 회로기판에서의 구리 도금 비율이나 회로부품에서의 재활용 비중이 매우 낮아서 10% 수준으로 확인하고 있으나 TV, 모니터, LCD 등은 20% 수준이며, 튜너용 PCB나 휴대폰 PCB 등은 기판에

Table 12. Reference of recycling rate for insulating materials of refrigerator

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
PUR foam (heat insulation)	20	97	0	0	0	0	0	0
PUR-M (massive PUR)	20	97	0	0	0	0	0	0
PUR-H (rigid foamed plastic)	20	97	0	0	0	0	0	0

Table 13. Reference of recycling rate for pre-dismantled parts which should be selectively treatment

Parts and materials	Large household appl.		Consumer equipment		Small household appl.		Information and telecoms	
	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Recycling (%)	Recovery (%)
Power cable	25	95	25	95	25	95	25	95
Ext. cable	25	95	25	95	25	95	25	95
Capacitor (PCB)	65	95	65	95	0	0	0	0
Switch (Hg)	50	95	50	95	50	95	0	0
Backlighting lamps (Hg)	80	95	80	95	0	0	0	0
Batteries (internal)	0	0	0	0	0	0	90	90
PCB (high level)	25	95	25	95	25	95	30	95
PCB (medium level)	13	95	13	95	13	95	18	95
PCB (low level)	8	95	8	95	10	95	10	95
BFR plastics	0	95	0	95	0	95	0	95
Asbestos	0	0	0	0	0	0	0	0
CRT	0	0	90	95	0	0	0	0
CFC - R11, R12	80	80	0	0	0	0	0	0
HCFC - R141b	80	80	0	0	0	0	0	0
HFC - R134a	80	80	0	0	0	0	0	0
HC - R600a	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluorescent tubes	85	95	0	0	0	0	0	0
Others	60	95	0	0	0	0	0	0
LCD	75	95	85	95	0	0	0	0

서 구리 회수와 함께 금, 은, 팔라듐 등의 귀금속 회수와 회로 부품으로부터의 재활용성이 높은 관계로 30% 수준으로 설정하였다. PCB 어셈블리들에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 11과 같다.

5.2.7. 냉장고 단열재

현재의 냉장고 단열재는 재활용률은 거의 20% 수준이며 나머지는 에너지 회수 또는 매립지로 보내진다. 열회수율은 97%로 기준을 설정하였다. 냉장고 단열재들에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 12와 같다.

5.2.8. 사전 분리 대상 부품(parts for legal selective treatment)

법적 사전분리 대상 부품 중에서 백라이트 램프(backlight lamp)는 80 ~ 90% 수준, 인쇄회로 기판(PCB assembly)은 15 ~ 30% 수준이며, 냉장고용 냉매류는 95% 이상의 높은 수준이며, 가스 방전 램프는 또한 95% 수준이며, LCD 패널도 70 ~

80% 수준의 재활용률이 확보되는 것으로 평가하여 기준을 설정하였다. 사전분리대상 부품들에 대한 구체적인 재활용률과 재생률의 기준은 Table 13과 같다.

6. 유럽 현지 전문가의 의견조사

6.1. 재활용률 산정 방법에 대한 유럽 전문가 의견 수렴

본 연구의 내용은 이론적인 방법이나, 다른 실험적인 방법으로 입증하기 어려운 분야이다. 또한 개별데이터들은 보는 관점에 따라 다소 다른 값을 주장할 여지도 존재한다. 이에 대한 신뢰성의 확보를 위하여 유럽의 전문가들의 의견을 알아보고 이들의 의견을 반영하여 생성된 재질/부품별 기준 재활용률에 대한 DB의 값들의 객관성을 높이도록 하였다.

유럽 16개국의 재활용 전문가 100명을 선정하여 이들 중

* 16개 조사 대상 국가: 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 네덜란드, 노르웨이, 폴란드, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국

연락처를 알 수 있는 85명을 대상으로 이메일 설문, 전화 통화 등을 통해 조사하였다. 이들에게는 작성된 재질/부품별 재활용률 기준을 마이크로소프트의 Excel 양식의 파일로 작성하여 보내고 각 재질 및 부품의 재활용률과 재생률의 기준이 현실에 부합한지 질문하였다. 재활용 전문가들은 재활용 업체 운영자, 재활용 관련 연구기관에 재직 중인 연구원, 관련 국가 기관 또는 단체의 담당자들을 포함한다.

선정된 전문가 85명 중 28명(약 32%)의 영향력 있는 기관, 또는 전문가 답변을 획득하였다. 아래에는 종합적인 결과를 정리하였다. 아래의 검토 결과 종합 내용은 위에서 설정한 재질 및 부품 재활용률 및 재생률에 반영되었다.

6.2 유럽 재활용 전문가의 재질 DB 검토 결과

전반적으로 재질 DB는 전반적으로 신뢰할 만한 것으로 평가되었으며, 분리, 분해, 분류 재활용업체 해당 수치와 2차 처리 재활용업체의 해당 수치에 대한 검토 및 조율이 필요한 것으로 평가되었다. 다음은 일부 재질 및 부품과 관련한 전문가 의견을 종합한 것이다.

- 1) 각 재질의 재활용률이 WEEE 제품분류 카테고리에 동일하게 적용되는 것은 현실적이지 않다.
- 2) Refrigerant: 90-95% 대비 mercury from backlighting lamps: 0%는 너무 극단적이다(2명 전문가 지적).
- 3) CRT: 85% 대비 Glass from shelf: 0%는 같은 유리인데 너무 차이가 많지 않은가?
- 4) 플라스틱의 재활용률이 지나치게 낙관적으로 측정되어 있다. 예를 들어 PP의 경우 대부분 상이한 제품(SHA casings, internal components, parts from dishwashers...)으로부터 발생하기 때문에, 선택 분류하기가 어려우며 또한 혼합 플라스틱으로부터 구분하는 것 역시 어렵다.
- 5) 가스방전등의 경우 95% 이상 재활용이 가능하며, 100% 가까이 재생 가능하다. (endcut airpush 기술 적용 형광등에만 적용됨).
- 6) 가스방전등은 최소한 형광등 및 기타 램프 등 두 세부 항목으로 구분되어야 한다. 기타 램프 항목에는 다음 재질 또는 부품이 포함된다: 비 튜브형 형광등, 벨러스트 내장형 소형 형광등(CFL-I) 혹은 벨러스트 비내장형 소형 형광등(CFL-nI), 고밀도 방전램프(HID).
- 7) Backlighting lamps 재활용률 및 재생률 0%는 수은이 재활용되고 있으므로 타당하지 않다.
- 8) ASA는 부분적으로 ABS와 같이 재활용된다(이 사항은 추가확인이 필요하다고 판단된다).
- 9) 전선의 경우 구리의 무게 비율이 플라스틱보다 크며 구리의 재활용률을 매우 높으므로 전선의 재활용률 역시 더 높아야 한다(이 사항 역시 추가확인이 필요하다고 판단된다).
- 10) 배터리는 별도로 분류된다. 전문 처리업체에서의 재활용 및 재생률이 적용되어야 한다.

위의 의견 중 1), 4), 5), 7), 8), 9)의 의견을 추가적인 조사를 거쳐 DB를 수정하였으며, 2)의 의견에 대해서는 대상 재질을

추가 조사하여 DB를 수정하였다. 3)의 의견의 경우 국내의 재활용센터 전문가들과 협의 한 결과 비용문제로 냉장고 선반으로 사용되는 강화유리는 처리되지 않는 것으로 확인하였다. 6)의 의견은 2개 항목으로 분류하여 반영하였다. 10)의 의견은 유럽의 폐가전등록네트워크(EWRN: European WEEE Register Network)에서 마련하고 있는 가전제품의 무게에 배터리를 제외할 예정이므로 제외하였다[7].

7. 결 론

환경보호를 목적으로 여러 나라에서는 전기전자제품의 재활용률과 재생률을 규제하려고 하고 있다. 이러한 법규들은 유럽을 중심으로 세계적으로 확산되는 추세이다. 이러한 계산을 위해서는 재질별 혹은 법적인 혹은 경제적이거나 처리 시 발생할 수 있는 위험의 등의 이유에서 파쇄되기 전에 분리되어야 하는 부품들의 재활용률과 재생률의 표준화된 계산지침이 필요하다.

본 연구에서는 EU의 WEEE지침에 대응하기 위하여 재활용 가능성과 재생가능성을 설계자가 계산하기 위하여 필요한 부품과 재질들의 재활용 및 재생률의 기준을 만들어 보았다.

기준을 만들기 위하여 폐전기전자제품들의 처리절차와 현황을 조사하고 전기전자제품에서 사용되는 부품 및 재질들 특성을 분석하여 보았다. 유럽의 재활용업체들을 방문하여 유럽에서 실질적으로 처리되어 분석된 재활용률과 재생률의 현황들도 조사하였다.

이러한 조사 결과를 바탕으로 국내 재활용업체의 전문가의 조언을 받아 재질별 부품별 재활용률과 재생률의 계산에 활용할 수 있는 기준을 만들었다. 연구내용의 특성상 신뢰성을 입증하기가 어려웠고 이에 대한 대안으로 유럽의 전문가들에게 작성된 DB의 내용을 보내고 회신된 결과들을 반영하여 DB를 현실적으로 수정하였다. 유럽의 전문가들의 설문에서는 대체적으로 작성된 내용은 합리적인 것으로 평가되었다.

본 연구에서 개발된 부품과 소재의 재활용률과 재생률의 기준은 제품을 생산하는 업체들이 개발단계에서 개발될 제품의 재활용가능률과 재생가능률을 미리 산정해보는데 도움이 될 것으로 예상된다.

마지막으로 본연구의 내용은 특성상 재활용기술의 발달과 재활용재질의 시장상황의 변화에 따라 주기적인 개선이 필요하다는 것을 밝힌다.

감 사

본 연구는 2008년 영남대학교 학술연구조성비에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. 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.

2. German Government, "Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz)-ElektroG Vom 16. März 2005," *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2005*, Teil I, Nr. 17, ausgegeben zu Bonn am 23. März 2005. March 23, 2005.
3. Bresch Recycling GmbH, Corporate Presentation, Bresch Recycling GmbH, 2007.
4. Coolrec, Mass Balance Sheet_coolrec.xls, Internal Report. 2006.
5. 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.
6. Huisman, J., Kuehr, R., Magalini, F., Ogilvie, S., Maurer, C., Artim, E., Delgado, C., and Stevels, A., "2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)," Electronics Recycling Summit 2007, Madrid, September 25-26, 2007.
7. Henry, D., "EWRN: European WEEE Register Network," Electronics Recycling Summit 2007, Madrid, September 25-26, 2007.