

# LCA기법을 이용한 렌탈 재제조제품의 환경성 평가 Environmental Evaluation for the Remanufacturing of Rental Product Using the LCA Methodology

곽인호 · 황용우\*\*\* · 박광호\*,† · 박지형\* · 설소영\*\* · 신화정\* · 양은혁\*\*\*\* · 민곤식\*\*\*\*  
In-Ho Kwak · Young-Woo Hwang\*\*\* · Kwang-Ho Park\*,† · Ji-Hyoung Park\*  
So-Young Seol\*\* · Hwa-Jeong Shin\* · Eun-Hyeok Yang\*\*\*\* · Gon-Sik Min\*\*\*\*

인하대학교 대학원 환경안전융합전공 · \*(주)에스오알지 지속가능전략연구소  
\*\*인하대학교 환경연구소 · \*\*\*인하대학교 환경공학과 · \*\*\*\*코웨이 생산 운영팀

Program in ET & ST, Inha University Graduate School

\*Research Center of Sustainable Strategy, YESSorg Co., Ltd

\*\*Research Center of environment, Inha University

\*\*\*Department of Environmental Engineering, Inha University

\*\*\*\*Production Operation Department, Cowey Co., Ltd

(Received July 25, 2016; Revised October 24, 2016; Accepted November 21, 2016)

**Abstract :** Remanufacturing that is the rebuilding of a product to specifications of the original manufactured product by collecting used-product, completely disassembling, cleaning and repairing or replacing with a new part and reassembling has been received attention in aspects of resource, recycling because it is a great environmental improvement. Remanufacturing is the rebuilding of a product to specifications of the original manufactured product by collecting used-product, completely disassembling, cleaning and repairing or replacing with a new part and reassembling. With a great environmental improvement and resource recycling and conservation, many studies were conducted. Up to date, remanufacturing activities are mainly applied to automobile parts and printer toner cartridge in South Korea. However, remanufacturing of rental product is not well conducted although rental products are collected in good condition and could be remanufactured in the same condition as a new product. Therefore, in this study, we conducted life cycle assessment (LCA) to an air cleaner product that is one of rental products. This study attempts to identify the processes in new products and remanufacturing life cycles that contribute the most environmental impacts. The results show that air cleaner remanufacturing could reduce about 20% of environmental impacts compared to new product. The greatest benefit related to environmental impact is with regard to ozone layer depletion potential (ODP), which is reduced by 94%. In the life cycle of air cleaner, raw material extraction stage had the most environmental impacts, especially with regard to abiotic depletion potential (ADP) and global warming potential (GWP). In the environmental impacts in each part, the ABS power had the highest environmental impacts.

**Key Words :** Remanufacturing, Life Cycle Assessment (LCA), Rental Product, Environmental Evaluation

**요약 :** 사용 후 제품을 회수하여 완전 해체하고 부품들을 세척, 수리, 또는 새로운 부품으로 교체하여 재조립함으로써 신제품과 동일한 성능 수준으로 재 제품화 하는 재제조는 천연자원과 에너지 사용의 저감 등 자원순환 측면에서의 환경적 개선효과가 뛰어나 자원 측면에서 주목받고 있다. 재제조는 뛰어난 환경개선 효과 및 자원보존으로 인해 우리나라에서 많은 연구가 수행되어왔으며, 현재 자동차 부품, 프린터 토너 및 카트리지를 중심으로 재제조가 이루어지고 있다. 하지만 코어의 상태가 양호한 상태로 반환되어 재제조 공정을 거쳐 새 제품과 동일한 상태의 재제조품 생산이 가능한 렌탈 제품은 아직까지 활성화 되어있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 LCA 기법을 이용해 렌탈 제품 중 하나인 공기청정기 신제품과 재제조 제품의 환경성평가를 수행하였으며, 이를 통해 렌탈 제품 신제품 대비 재제조품의 환경적 개선 효과를 정량적으로 분석하였다. 분석결과 공기청정기 1대 재제조 시 환경영향은 신제품대비 약 20.7% 감소하는 것으로 나타났다. 환경과 관련된 영향범주 중 오존층 파괴(ODP)가 94% 감소하여 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났으며, 공기청정기의 수명주기에서 원료 추출 단계에서는 자원고갈(ADP) 및 지구온난화(GWP)에 대한 환경개선 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.

**주제어 :** 재제조, 전과정평가, 렌탈 제품, 환경성평가

## 1. 서론

기술과 산업이 발달함에 따라 전 세계적으로 자원소비가 증가하고 있는 가운데 광물자원의 지역별 편재, 자원의 무기화, 자원 매장량의 감소 등의 이유로 산업 생산을 위한 자원 확보에 어려움을 겪고 있다. 국내외 주요 선진국들은 자

원순환을 미래 자원 확보를 위한 수단으로 보고 이를 지원하기 위해 여러 정책들을 펼치고 있으며 우리나라 역시 “환경 친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률”, “자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률” 등을 제정해 자원순환을 위한 지원책을 펼치고 있다.

자원순환(Resource Recycling)이란 생산 공정 중심으로 투

† Corresponding author E-mail: toyess@yess.or.kr Tel: 070-4322-0461 Fax: 02-2643-0470

입·배출되는 천연·재생자원의 효율적 관리를 통해 자원 생산성을 향상시키기 위한 일체의 활동으로 재사용(Reuse), 재제조(Remanufacturing), 물질재활용(Material Recycle), 감량화(Reduce), 에너지회수(Energy recovery)와 같은 활동을 말한다.<sup>1)</sup> 재사용은 간단한 수리 또는 세척을 통해 동일한 용도로 다시 사용하는 것으로 자원 및 에너지 절감효과는 크나 신상품으로서의 효과 또는 가치를 누릴 수 없으며, 물질재활용은 제품 또는 공정 스크랩을 파쇄, 분쇄, 용해 등을 거쳐 소재 및 부품의 원료를 재생산하는 것으로 에너지 소비, 소요 비용이 높다는 단점이 있다.<sup>2)</sup> 반면 재제조란 사용 후 제품·부품을 회수하여 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등 일련의 과정을 거쳐 원래의 성능을 유지할 수 있는 상태로 만드는 것으로 신상품 생산 시 투입되는 에너지와 원재료를 대부분 사용하기 때문에 자원 및 에너지 절감효과가 우수하다.<sup>1)</sup>

재제조제품의 환경적 영향과 환경적 우수성에 대한 평가 기법으로는 제품의 생산, 서비스를 포함한 전과정에서 투입 원료 및 에너지, 폐기물로 인해 발생하는 환경적 영향과 자원 및 에너지 소비량을 객관적으로 파악할 수 있는 LCA (Life Cycle Assessment) 기법이 널리 이용되고 있다. 국내에서 시장규모가 큰 토너카트리지와 복합기, 자동차 부품, 축매 등의 재제조제품의 경우 LCA 기법을 이용한 환경성 평가 사례가 많이 있지만, 렌탈 제품은 아직 재제조가 활성화되어 있지 않고 환경성 평가도 미미한 수준이다.

렌탈 제품은 단순 변심으로 반환된 제품이 발생하는 경우가 잦아 코어의 상태가 양호한 폐제품이 발생하여 재제조 시 위생·성능·안전 면에서 새 제품과 동일한 상태로 재제조 제품의 생산이 용이하며, 재제조시장이 확대가 된다면 환경적 효과가 클 것으로 예상된다.

따라서 본 연구는 렌탈 제품의 하나인 공기청정기를 대상으로 LCA 기법을 이용해 재제조 제품의 환경성을 평가하고자 하였으며, 공기청정기의 신제품과 재제조 제품의 환경성을 평가하여 신제품 대비 재제조 제품의 환경적 개선효과를 정량적으로 분석 및 제시하였다.

## 2. 기존 연구사례 분석

본 연구에서는 LCA 기법을 이용한 재제조제품의 환경성을 평가한 기존 연구사례를 검토하였다.

Jo<sup>3)</sup>는 자동차 부품 중 등속조인트, 시동전동기, 교류발전기, 에어컴프레서 4가지 부품과 A4 흑백토너카트리지를 대상으로 신제품과 재제조제품에 대한 LCA를 수행하였다. 분석 결과 자동차 부품의 경우 재제조제품이 신제품에 비하여 약 50%~89%의 환경영향 저감을 나타내었으며, 토너카트리지의 경우 1회 재제조시 80% 이상의 환경영향 저감을 보였으며 2회 이상 재제조시 신제품과 비슷한 결과를 나타내었다.

Yang<sup>4)</sup>은 재제조된 엔진에 대해 LCA를 수행하였다. 분석 결과 엔진은 재제조를 통해 55 kg의 철, 8.3 kg의 알루미늄

등을 절감하였으며, 565 kg CO<sub>2</sub>, 6.09 kg CO 만큼의 배출량이 감소한 결과를 통해 재제조된 엔진이 경제적 가치와 실용성을 가지고 있다고 밝혔다.

Smith<sup>5)</sup>는 엔진 신제품과 재제조제품을 LCA를 이용하여 비교 분석하였으며, 분석결과 재제조제품이 신제품에 비해 에너지, 원료 소비량 및 폐기물 배출량이 감소하였으며, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>와 같은 대기오염물질이 감소하는 결과를 나타내었다.

## 3. 분석 방법

LCA는 환경영향 평가방법 중의 하나로 LCA (life cycle assessment)란 제품 전 과정에 걸쳐 제품시스템의 투입물, 산출물 그리고 제품시스템의 잠재적 환경 영향을 집계하고 평가하는 기법<sup>6)</sup>으로 어떤 제품의 공정, 활동에 사용되는 물질 및 에너지 그리고 배출되는 오염물질의 양을 정량화 하여 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하여 환경 개선 방안을 모색하고 평가하는 일련의 과정을 의미한다.<sup>5)</sup>

LCA의 궁극적인 목표는 여러 환경 문제에 직면하고 있는 기업 및 행정 기관, 소비자들의 입장에서 친환경적이고 지속 가능한 발전을 실현하기 위하여 제품, 재료 등의 원료·자원의 획득, 제조 공정, 유통, 소비 활동, 폐기로 인한 자원 및 에너지 소비를 줄여 환경오염부하를 최소화하고 이에 따른 환경개선방안을 모색하는데 있다.<sup>7)</sup>

LCA의 수행 절차는 Fig. 1에 나타난 것과 같이, 목적 및 범위 설정(Goal Definition and Scope), 전과정 목록분석(Life cycle Inventory Analysis), 전과정 영향평가(Life cycle Impact Assessment), 결과해석(Interpretation)의 4단계로 구성된다.<sup>6)</sup>

### 3.1. 목적 및 범위 설정

목적 및 범위 설정 단계는 전과정평가의 첫 번째 단계로 LCA의 수행목적, 기능단위, 범위, 데이터 수집방법 등을 설정하는 단계로 LCA를 실시하는 과정에서 반복적인 피드백을 통해 목적 및 범위를 수정 및 보완할 수 있다.<sup>8)</sup> LCA의 목적으로는 의도된 적용, 연구 수행 이유, 예정된 청중 등을 제시해야 하며, 범위는 연구 대상 제품 시스템, 제품 시스템의 기능, 기능단위, 시스템 경계 및 할당 절차 등을 설정한다.<sup>6)</sup>

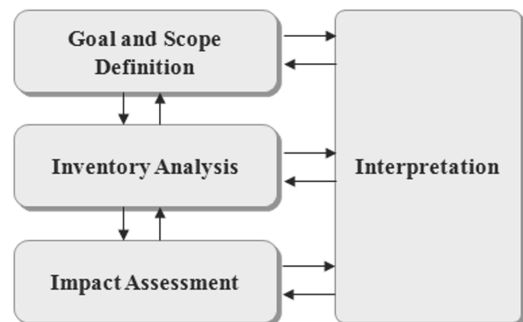


Fig. 1. LCA Assessment framework (ISO 14040).

### 3.2. 전과정 목록분석

전과정 목록분석 단계는 LCA 적용 대상에 대한 투입물과 배출물의 데이터를 정리하고 정량화하는 단계로 데이터는 연구범위에서 고려되어 한다. 투입물에는 원재료, 부재료, 연료, 에너지 등이 포함되고, 배출물에는 대기 배출물, 수계 배출물, 고형 폐기물 등이 포함된다.<sup>7)</sup> 목록분석은 반복적인 단계이며, 연구 목적을 충족시키기 위하여 필요로 하는 신규 데이터 요구사항 및 제한사항을 파악할 수 있다.<sup>6)</sup>

### 3.3. 전과정 영향평가

전과정 영향평가는 전과정 목록분석 결과를 이용하여 잠재적인 환경영향의 중요성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 일반적으로, 이 과정은 목록 데이터를 특정 환경 영향 범주 및 범주지표들과 연관시켜 이들의 영향을 해석하는 과정이다.<sup>6)</sup>

전과정 영향평가 단계는 전과정 목록항목을 영향범주로 분류하는 분류화(Classification), 영향범주 내에서 목록항목의 환경영향을 나타내는 특성화(Characterization), 지역적, 시간적인 기준을 설정하는 정규화 및 특성화 결과를 합산하는 가중치 부여(Weighting)로 구분하고 있다.

## 4. 공기청정기의 신제품과 재제조제품에 대한 LCA

### 4.1. 목적 및 범위 설정

본 연구에서 LCA 수행 목적은 Table 1에 나타난 것과 같이, 공기청정기의 신제품과 재제조제품에 대해 환경영향을 규명하고, 신제품 대비 재제조제품의 환경적 저감 효과를 산정하기 위함이다. 대상 제품은 'C' 회사의 공기청정기의 신제품과 재제조제품으로 기능단위는 2 L 용량의 공기청정기 1대로 설정하였고, 제품의 사용단계 이후는 소비자의 사용패턴에 따라 소비전력에 대한 것이 달라지기 때문에 시스템 경계에서 제외하고 원료 취득 및 생산, 제품 제조까지 고려하는 'from cradle to gate'로 설정하였다.

### 4.2. 전과정 목록분석

#### 4.2.1. 데이터 수집 및 계산

전과정 목록분석 단계는 제품시스템과 관련된 단위 공정

Table 1. Purpose, target product, scope and functional unit of LCA

Purpose	- Analyze the effect of improving the environment of the remanufactured product in preparation for a new product
Target product	1) New product (370*240*505 mm, 2 L) 2) Remanufactured product (370*240*505 mm, 2 L)
Scope	Raw material extraction and production → product manufacturing
Functional unit	Air cleaner product 1 EA (370*240*505 mm, 2 L)

별 투입물과 산출물에 대한 데이터를 수집하여 정리하고, 이를 기능단위에 맞게 정량화하는 일련의 과정으로서 본 연구의 대상이 되는 공기청정기의 신제품과 재제조제품의 데이터 수집기간은 2014년 1월부터 12월까지 1년간 데이터를 수집하였다. 또한 데이터의 수집은 크게 일반정보와 연간 투입 산출 실적 항목을 중심으로 데이터 조사서를 이용해 이루어졌으며, 실제 현장데이터와의 검증을 통해 데이터 신뢰성을 확보하였다.

#### 4.2.2. 원료 취득 및 부품 생산 단계

원료 취득 및 부품 생산 단계에서 목록분석은 대상 제품의 시방서와 제품 생산 정보를 활용해 제품의 포장재를 포함해 신규로 투입되는 부품을 1차적으로 조사하고 각 부품별로 재질분석을 통해 투입물질별로 정량화 했으며, 그 결과를 Table 2~3에 나타내었다.

Table 2. Raw material and weight in the raw material extraction and production phase of new product (per 1 product)

Raw material	New products		Remark
	Weight (g)	Ratio (%)	
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	4,877	53.0	Guide-pen, Cover, Plate etc.
Activated carbon	120	1.3	Deodorizing filter etc.
Aluminum billeta	830	9.0	Motor etc.
Copper road	90	1.0	Power cord etc.
Corrugated paper	870	9.5	Packing-box etc.
EPDM (Ethylene Propylene Rubber)	1	0	Insulation-pen guide etc.
EPS	225	2.4	Packing
HDPE (High Density Polyethylene)	25	0.3	Basket-sterilization etc.
HIPS (High Impact Polystyrene)	845	9.2	Cover-pen guide, Deodorizing filter etc.
LDPE (Low Density Polyethylene)	22	0.2	Plastic packaging-foam, Deodorizing filter etc.
Natural rubber (latex)	16	0.2	Rubber etc.
PCB (Polychlorinated Biphenyl)	175	1.9	PBA
PE Film (Polyethylene Film)	414	4.5	Tank, Filter etc.
PET	229	2.5	Sticker, Humidification filter etc.
PMMA (Poly(Methylmethacrylate))	1	0	Rens
PP Film (Polypropylene Film)	236	2.6	Cover, Body etc.
Stainless steel	24	0.3	Screw etc.
Others	195	2.1	Nut, Screw, Rens, Switch etc.
Total	9,195	100.0	

**Table 3.** Raw material and weight in the raw material extraction and production phase of Remanufactured product (per 1 product)

Raw material	Remanufactured product		Remark
	Weight (g)	Ratio (%)	
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	434	18.6	Cover-assej, Free folter etc.
Activated carbon	120	5.1	Deodorizing filter etc.
Corrugated paper	870	37.3	Packing-box etc.
EPS	225	9.6	Packing-cushion etc.
HIPS (High Impact Polystyrene)	140	6.0	Deodorizing filter etc.
LDPE (Low Density Polyethylene)	22	0.9	Deodorizing filter etc.
Magnet	2	0.1	Magnet
PE Film (Polyethylene Film)	145	6.2	Filter
PET	187	8.0	Sticker, Deodorizing filter, Humidification filter etc.
PP Film (Polypropylene Film)	132	5.7	Sticker, Filter etc.
Printing paper-containing waste paper above 50%	40	1.7	Manual
Others	15	0.6	Deodorizing filter etc.
Total	2,332	100	

**4.2.3. 제품 제조 단계**

제품 제조 단계 데이터는 대상 제품이 생산되는 포천에 위치한 ‘C’ 회사의 공장을 대상으로 수집되었으며, 신제품과 재제조제품의 생산 시 에너지원으로 전력이 투입되며 그 외 원부재료 외의 투입은 없다. 각 제품별로 투입되는 에너지는 제품별로 별도 관리는 이루어지지 않고 있기 때문에 해당 제품에 투입되는 전력사용량에 대한 할당이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 2014년 수집된 에너지 사용량 데이터를 기반으로 대상 제품의 생산량 기준으로 공장 전체 전력 소비량 자료를 식 (1)을 이용해 산정하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

$$EC_{pi}(kWh/EA) = \frac{EC_{total}}{P_{total}} \times \frac{P_i}{P_{total}} \quad (1)$$

where,  $EC_{pi}$  = 대상제품 1대 생산시 에너지 소비량, kWh/EA  
 $EC_{total}$  = 연간 총 전력소비량, kWh/yr  
 $P_{total}$  = 연간 총 생산량, EA/yr  
 $P_i$  = 연간 i제품 생산량, EA/yr  
 $i$  = 대상제품 (신제품, 재제조제품), EA

**Table 4.** Energy consumption in the manufacturing phase

Classification	$EC_{total}$ (kwh/yr)	$P_{total}$ (EA/yr)	$P_i$ (EA/yr)	$EC_{pi}$ (kwh/EA)
New product	3,696,024	1,334,964	28,430	0.0589
Remanufactured product	546,179	64,941	685	0.0887

**4.2.4. 전과정 목록분석**

전과정 목록분석은 각 단계별 투입물질, 유틸리티 사용량 등의 자료에 LCI DB를 연결해 수행되었고, 수행시 사용한 LCI DB는 산업통상자원부 및 환경부 DB를 사용하였으며, 제품의 목록분석 신뢰도 확보를 위해 Cut-off를 신제품 97.88%, 재제조 제품 99.28% 수준으로 수행하였다.

**4.3. 전과정 영향평가**

**4.3.1. 전과정 영향평가 방법**

본 연구에서는 산업통상자원부에서 개발해 사용되고 있는 범용 S/W인 PASS 4.1.1를 이용하여 수행하였다. 고려된 영향범주는 Table 5에 나타난 것과 같이 6개의 영향범주에 대한 영향평가를 수행하였다.

**4.3.2. 분류화 및 특성화 결과**

분류화는 전과정 목록분석 단계에서 작성된 전과정 목록 분석표를 이용해 투입물 및 산출물의 항목에 대하여 각각의 영향범주에 해당하는 물질로 분류하는 단계로 본 연구에서는 Table 5에 나타난 것과 같이 6대 영향범주별로 분류화를 수행하고, CML 2004에서 제시한 특성화 factor를 이용해 산출된 특성화 결과를 Table 6에 나타내었다. 재제조제품의 영향범주별 환경 영향을 살펴본 결과 신제품대비 평균 78% 감축하는 것으로 나타났으며, 오존층과파(ODP)가 94% 감축되어 감축효과가 가장 크고, 산성화(AP)는 신제품대비 50%로 감축하여 6대 영향범주 중 가장 감축효과가 작은 것으로 분석되었다.

**4.3.3. 정규화 및 가중화 결과**

정규화 및 가중화 단계는 특성화 단계를 통해 산출된 투

**Table 5.** Impact category and equivalency unit

Impact category	Equivalency unit
ADP (Abiotic Depletion Potential)	kg antimony-eq./kg
AP (Acidification Potential)	kg SO <sub>2</sub> -eq./kg
EP (Eutrophication Potential)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq./kg
GWP (Global Warming Potential)	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg
ODP (Ozone layer Depletion Potential)	kg CFC-11-eq./kg.
POCP (Photochemical oxidation Potential)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./kg

**Table 6.** Comparison of New product and remanufacturing of characterization

Impact category (unit)	New product	Remanufactured product	Reduction effect (%)
ADP (kg antimony-eq./kg)	2.66E-01	6.12E-02	77
AP (kg SO <sub>2</sub> -eq./kg)	3.41E-02	1.71E-02	50
EP (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq./kg)	3.85E-03	4.03E-04	90
GWP (kg CO <sub>2</sub> -eq./kg)	2.20E+01	3.67E+00	83
ODP (kg CFC-11-eq./kg.)	2.22E-05	1.35E-06	94
POCP (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./kg)	1.60E-02	3.87E-03	76
Average			about 78

Table 7. Result of nomalization & weighting

Impact category	New product			Remanufacturing		
	Charac-terization <sup>1)</sup>	Nomali-zation <sup>2)</sup>	Weight-ing <sup>2)</sup>	Charac-terization	Nomali-zation	Weight-ing
ADP	2,66E-01	1,07E-02	2,47E-03	6,12E-02	2,46E-03	5,68E-04
AP	3,41E-02	8,57E-04	3,08E-05	1,71E-02	4,31E-04	1,55E-05
EP	3,85E-03	2,94E-04	1,12E-05	4,03E-04	3,07E-05	1,17E-06
GWP	2,20E+01	3,98E-03	1,15E-03	3,67E+00	6,63E-04	1,91E-04
ODP	2,22E-05	5,45E-04	1,59E-04	1,35E-06	3,31E-05	9,67E-06
POCP	1,60E-02	1,56E-03	1,01E-04	3,87E-03	3,75E-04	2,44E-05
Total	-	1,79E-02	3,92E-03	-	3,99E-03	8,10E-04

<sup>1)</sup> Refer to Table, 6  
<sup>2)</sup> Using PASS 4.1.1

입 및 산출물의 특성화 결과값의 상대 비교를 위해 단위를 무차원으로 만들고 가중치를 부여하는 단계이다. 본 연구에서는 PASS 4.1.1를 이용하여 신제품과 재제조제품에 대해 정규화 및 가중화를 분석하였으며, 분석 결과는 Table 7과 같으며, 가중화 결과의 경우 신제품 3.92E-03, 재제조제품 8.10E-04로 재제조제품의 환경영향이 신제품대비 79% 감축한 것으로 나타났다.

#### 4.4. 결과해석

영향평가 결과는 신제품 대비 재제조제품의 환경영향 저감 효과를 분석하기 위해 Fig. 2에 나타난 것과 같이 신제품과 재제조제품에 대해서 life cycle 단계별, 주요 원자재별로 구분하여 가중화 결과를 활용해 도출하였다.

##### 4.4.1. Life Cycle 단계별 영향평가 결과

신제품과 재제조제품의 전과정 영향평가 결과는 Table 8과 같

Table 8. Result of new product and remanufacturing of weighting

Impact category	New product			Remanufacturing		
	Raw material	Manu-facturing	Total	Raw material	Manu-facturing	Total
ADP	2,47E-03	9,43E-07	2,47E-03	5,67E-04	1,42E-06	5,68E-04
AP	3,08E-05	1,13E-10	3,08E-05	1,55E-05	1,70E-10	1,55E-05
EP	1,12E-05	1,09E-10	1,12E-05	1,17E-06	1,65E-10	1,17E-06
GWP	1,15E-03	1,52E-06	1,15E-03	1,89E-04	2,29E-06	1,91E-04
ODP	1,59E-04	1,46E-10	1,59E-04	9,67E-06	2,19E-10	9,67E-06
POCP	1,01E-04	1,31E-09	1,01E-04	2,44E-05	1,97E-09	2,44E-05
Total	3,91E-03	2,47E-06	3,92E-03	8,06E-04	3,71E-06	8,10E-04

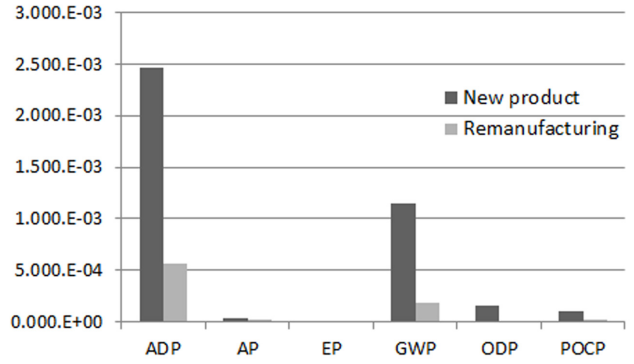


Fig. 3. Result of life cycle assessment of new product and remanufacturing.

고, 신제품 대비 재제조제품의 환경영향은 원료취득 단계에서 신제품 3.91E-03, 재제조제품 8.06E-04로, 약 80% 감소한 것으로 나타났으며, 제조단계의 경우 신제품 2.47E-06, 재제조제품 3.71E-06으로 오히려 증가하는 결과를 나타내었다. 하지만 신제품과 재제조제품은 원료 취득 단계에서 99.9%, 99.5%로 대부분의 환경영향을 나타냈으며, 제품제조 단계의 경우 매우 미비한 영향을 미친다는 결과를 나타내었다.

신제품과 재제조제품의 영향범주별 기여도 분석 결과는 Fig. 3과 같으며, 신제품과 재제조제품 각각 자원고갈 63%, 70% 지구온난화 29%, 24%로 환경영향이 가장 높게 나타났다.

##### 4.4.2. 주요 원재료 투입에 따른 영향평가 결과

신제품과 재제조제품의 원료 취득 단계에서 환경영향이 가장 크다는 결과를 바탕으로 원료 취득단계에서의 주요 원자재 투입에 따른 환경영향을 분석 Fig. 4~5에 나타내었다. 신제품의 경우 ABS powder에 의한 영향이 전체의 61%로 가장 높았다. 재제조제품의 경우 PET (Polyethylene Terephthalate)에 의한 영향이 전체의 44%로 가장 높았으며 ABS powder에 의한 영향이 26%로 PET와 ABS powder가 미치는 영향이 전체의 70%를 차지하였다.

투입량 대비 환경 영향 비율은 Fig. 6~7과 같다. 그 결과 신제품은 PET와 PCB의 환경영향이 높게 나타났으며, 재제조제품의 경우 ABS powder와 PET의 환경영향이 가장 높게 나타났다. 따라서 ABS powder, PET, PCB는 친환경 자재 및 대체재로의 변경에 대한 검토가 필요하다.

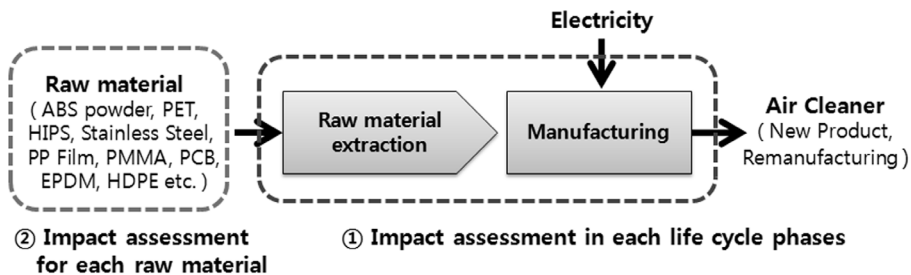


Fig. 2. The framework of result of life cycle assessment interpretation.

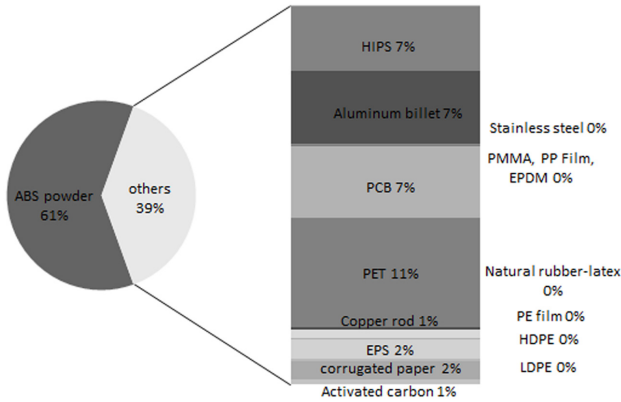


Fig. 4. Result of impact assessment of New product in each raw material.

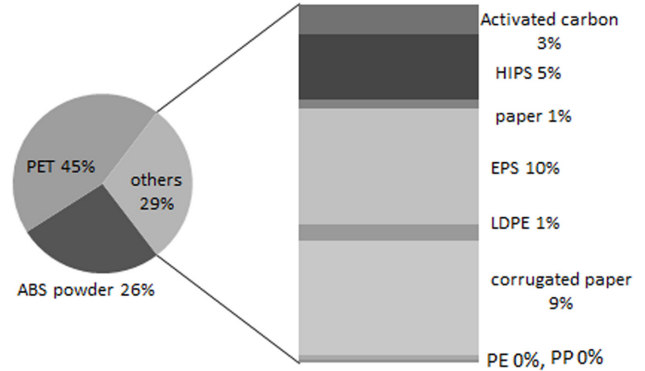


Fig. 5. Result of impact assessment of and Remanufacturing in each raw material.

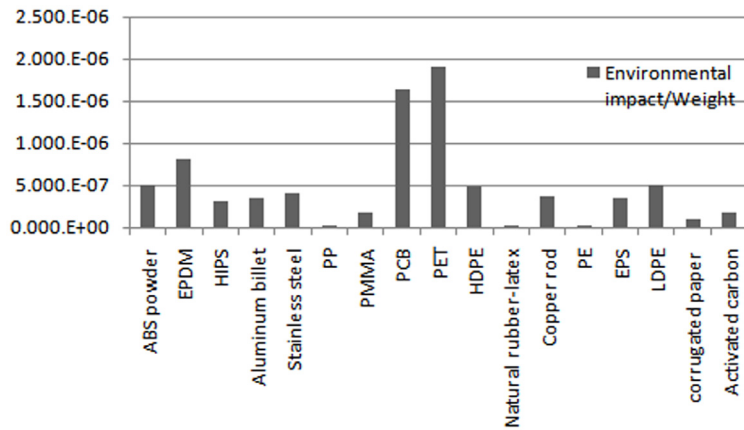


Fig. 6. Environmental impact/weight of new product in each raw material.

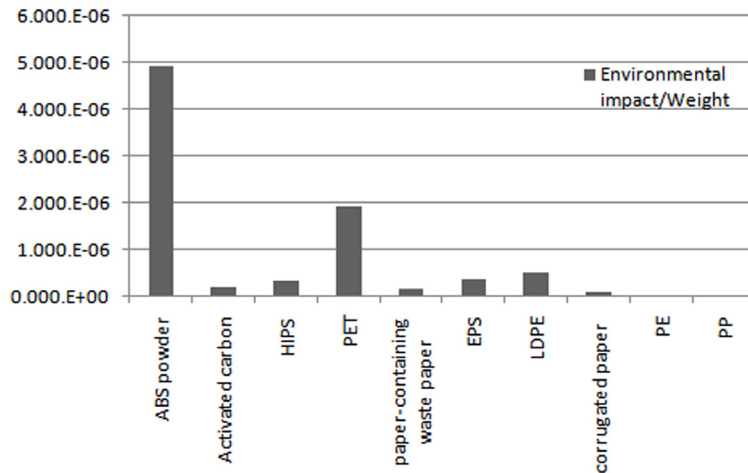


Fig. 7. Environmental impact/weight of remanufacturing in each raw material.

### 5. 결론

본 연구에서는 LCA 기법을 이용해 렌탈 제품 중 하나인 공기청정기 신제품과 재제조제품의 환경성 평가를 통해 신제품 대비 재제조제품의 환경적 개선효과를 정량적으로 분석하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

LCA 분석 결과 공기청정기의 재제조제품은 신제품 대비 약

79%의 환경영향이 감소되는 것으로 나타났고, life cycle 중 원료취득 단계에서 가장 많은 환경영향이 줄어든 것으로 나타났다. 주요 환경영향인자에서도 신규 자원의 투입이 줄어들어 자원고갈 측면에서의 환경영향이 가장 많이 줄어드는 것으로 분석되었다. 제품 제조 단계에서는 신제품보다 재제조제품 제조시 사용되는 전력의 투입량이 더 높아 재제조제품의 환경영향이 높게 나타났으나 투입되는 원재료에 의한 환

경영향이 월등히 작기 때문에 전체적으로 환경영향이 감소하는 것으로 나타났다.

재제조품의 친환경성에 대한 연구는 지속적으로 진행되고 있으나 대부분 자동차부품에 대한 연구에 한정되어 있기 때문에 본 연구를 통해 렌탈 제품에 대한 환경성을 평가한 것은 의미가 있다. 하지만, 수많은 공기청정기 제품 중 하나의 제품에 대한 분석을 통해 결과를 도출한 것으로 더 많은 사례분석을 통해 환경성 평가 결과의 대표성을 확보할 필요가 있다.

## Acknowledgement

본 연구는 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 20148110000280).

**KSEE**

## References

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, Recycling Technology Roadmap 2014.
2. Kang, H. Y., The Conditions of Recycling System in Korea and Plans for it's Improvement, 2004.
3. JO, H.-J., Hwang, Y.-W., Park, J.-H. and Kang, H.-Y., "Environmental Impact Evaluation for the automotive Remanufacturing parts and Remanufacturing Toner Cartridge Using the LCA Methodology," *Korea Solid Wastes Eng. Soc.*, **28**(7), 770~777(2011).
4. Yang, M. and Chen, M., "Life cycle of remanufactured engines," *J. Central South University of Technol.*, **12**(2), 81~85(2005).
5. Smith, V. M. and Keoleian, G. A., "The Valud of remanufactured engines : Life-Cycle Environmental and Economic Perspectives," *J. Ind. Ecol.*, **8**, 193~221(2004).
6. International Organization for Standardization (ISO), ISO-14040, in Environmental management-Life cycle assessment -Principles and framework, 2011.
7. Frank, C., David, A. and Lan, B., etc., "Guideline for Life Cycle Assessment," A Code of Practice, SETAC(1993).
8. Kwak, I. H., Park, J. Y., Lee, Y. S., Seol, S. Y., Kang, K. K., Kim, J. Y., Sin, H. Y., Jang, S. M., Yang, S. R. and Lee, S. S., "Environmental Strategy for Sustainability of Tire Industry Using Life Cycle Assessment and Carbon Footprint," *Korean J. LCA*, **13**, 29~46(2012).
9. Ko, K. H., Hwang, Y. W., Park, K. H., Jo, H. J. and Jae, M. S., "Environmental Impact Evaluation for the Power Generation System Using the LCA Methodology," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **27**(7), 704~711(2005).
10. Kim, J. B., Hwang, Y. W., Park, K. H. and Seo, S. W., "Environmental Efficiency Assessment of Corrugated Board for Packing using the Life Cycle Assessment Method," *Korean Soc. Environ. Eng.*, **25**(5), 588~594(2003).
11. Kang, H. Y., Kim, Y. C. and Lee, I. S., "Current Status and Promotional Measures of Domestic and Overseas Remanufacturing Industry," *The Korean Inst. Resour. Recycl.*, **21**(4), 3~15(2012).