

# 전과정평가를 통한 핸디형 청소기의 친환경적 디자인 개발

유탉호, 이지형, 유희천<sup>21)</sup>  
포항공과대학교 산업경영공학과

## Development of Handy Vacuum Cleaner Eco-Designs by Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments

Taekho You, Jihyung Lee, Heecheon You

Dept. of Industrial and Management Engineering, Pohang Univ. of Science and Technology  
(POSTECH)

th\_you@postech.ac.kr, iwoneye@postech.ac.kr, hcyou@postech.ac.kr

### Abstract

Needs for eco-friendly product design have increased as environmental regulations and public awareness have raised. The present study was performed to develop eco-friendly product design concepts by comparing performance, usability, and environmental impact assessments of two handy vacuum cleaners. Performance measurements of the vacuum cleaners such as suction area, suction power, noise, and electric power were collected. Usability assessments of the vacuum cleaners such as feeling of grip, easiness of cleaning, easiness of recharging were surveyed using a 5-point scale(1: very dissatisfied and 5: very satisfied). Finally, an LCA on the vacuum cleaners was performed, showing the use phase of vacuum cleaner had the highest environmental impact among the product life cycle stages. Eco-friendly product design concepts were proposed based on the assessment results of performance, usability, and LCA. The proposed eco-friendly product design concepts can reduce about 8 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA for handy vacuum cleaner.

*keywords:* Life cycle assessment, Handy vacuum cleaner, eco-design, product design

### 요약문

국가별 환경 규제 강화에 따라 환경친화적 제품설계에 대한 필요성이 증대되고 있다. 본 연구는 상용화된 핸디형 청소기 두 종의 성능, 사용성, 전과정평가를 통해 비교하여 친환경적 제품 개선 전략을 수립하였다. 성능 평가는 흡입 범위, 흡입력, 소음 발생량, 전력량의 4가지 측면에서 평가하였다. 사용성 평가는 파지 적절성, 청소 편의성, 충전 편의성 등 10가지 항목을 5점 척도(1점: 매우 불만족; 5점: 매우 만족)로 평가하였다. 마지막으로 에코디자인 프로세스를 활용한 전과정평가 수행 결과, 핸디형 청소기는 사용 단계에서 환경 영향이 가장 높은 것으로 파악되었다. 본 연구는 성능, 사용성, 전과정평가 결과를 활용하여 에너지 효율과 사용성 측면에서 핸디형 청소기의 친환경적 개선 방안을 제안하였다. 본 연구를 통해 제안된 개선 방안을 적용할 경우 핸디형 청소기의 탄소배출량을 약 8 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.

*주제어:* 전과정평가, 핸디형 청소기, 에코 디자인, 제품 디자인

---

연락처: 유희천 교수, 790-784 경상북도 포항시 남구 청암로 77 포항공과대학교 산업경영공학과, Fax: 054-279-2820,  
E-mail: hcyou@postech.ac.kr

## 1. 서론

국가별 환경 규제가 강화됨에 따라 친환경 제품의 개발 필요성이 강조되고 있다. 2008년 이후 EU는 유해물질 제한지침(Restriction of hazardous substances, RoHS)의 조항을 기존 14항목에서 38가지 항목으로 증가시키고, REACH(Restriction, evaluation, authorization and restriction of chemicals) 제도를 통해 주의가 필요한 물질(Substances of very high concern, SHVC)을 총 30종으로 확대하는 등 환경 규제를 강화시키고 있다<sup>1)</sup>. 또한 EU에 이착륙하는 항공기의 소속 항공사는 탄소배출권 거래제도에 의무적으로 참여하도록 하고 있고, 자동차의 이산화탄소 배출 기준 초과시 벌금을 부과하는 등 제품의 제조뿐만 아니라 사용에 있어서도 환경적 규제를 확대 적용하고 있다<sup>2)</sup>. 따라서 전세계의 환경 규제에 대응하기 위한 친환경적인 제품의 개발 및 개선전략이 필요하다.

친환경 제품의 개발은 제품의 전 과정이 환경에 미치는 영향을 평가하고 이를 근간으로 에코디자인을 적용하여 수행되고 있다. 전과정평가는 제품의 전 과정에서 발생하는 자원소비량 및 에너지 사용량 등을 정량적으로 산출하여 제품이 환경에 미치는 영향을 평가하는 일련의 과정이다<sup>3)</sup>. 에코디자인 프로세스는 제품의 제조부터 폐기까지 전 과정에서 생길 수 있는 환경 영향을 감소시키며 제품 기능과 품질까지 향상시키는 설계 방법이다<sup>4)</sup>. 기존 에코디자인 프로세스는 유해물질을 사용하지 않으면서 장기간 사용이 가능하고, 제품 폐기 단계에서 원료의 분해, 재사용, 폐기가 용이하도록 설계하고, 또한 생산, 사용, 폐기 단계에서 에너지 소비를 감소시킴으로써 환경 영향을 최소화 하도록 제품을 설계한다. 제품의 환경성 개선과 함께 시장 경쟁력 제고를 위해서는 제품이 환경에 미치는 영향뿐만 아니라 사용성과 성능에 대한 평가가 함께 수행되어야 한다.

핸디형 청소기는 책상 또는 좁은 공간의 청소를 위해 간편하게 사용되는 제품으로 사용 시간 대비 배터리 충전에 필요한 전력 양과 충전 시간이 길어 사용 중 에너지 소비에 대한 환경적 개선이 필요하다. 핸디형 청소기는 모터와 연결된 팬이 회전을 통해 발생된 흡입력을 사용하여 머리카락, 휴지조각, 미세 먼지 등을 빨아들이는 청소용 제품이다. 사용 시간이 평균 10~15분 정도에도 불구하고 사용 전력은 600~1,000 W정도로 사용 시간 대비 전력 소모가 많다. 따라서 핸디형 청소기의 환경성 평가를 통하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 핸디형 청소기의 설계 개선 전략이 요구된다.

본 연구는 두 종의 핸디형 청소기의 성능 및 사용성 평가와 환경 영향도 평가를 통해 친환경적인 제품 설계안을 제안하였다. 첫째, 핸디형 청소기의 성능 및 사용성 평가를 통한 인간공학적인 개선 사항을 도출하였다. 둘째, 핸디형 청소기의 전과정평가를 통한 친환경적 개선 요소를 도출하였다. 셋째, 개선이 필요한 요소에 대하여 제품의 전 과정 중 환경에 미치는 영향이 높은 단계와 부품을 도출하여 성능, 사용성, 친환경성을 향상시키기 위한 제품설계 개선 전략을 제안하였다.



Fig. 1. Handy vacuum cleaner.

## 2. 연구 방법

본 연구는 상용화된 핸디형 청소기 중 P사와 S사의 제품을 평가 및 개선 대상 제품으로 선정하고, 핸디형 청소기의 친환경적 디자인 개선을 제안하기 위해 환경산업기술원에서 제시하는 에코디자인 프로세스5)를 활용하여 두 제품을 비교 및 평가하였다. 본 연구는 Fig. 2에 명시된 에코디자인 프로세스에 따라 제품설계 개선 전략을 도출하였다. 핸디형 청소기의 에코디자인 프로세스는 1) 성능과 사용성 평가, 2) 제품 모델링, 3) 제품 환경성 분석, 4) 이해관계자 요구사항 분석, 5) 개선대상 부품 도출, 6) 전략 및 과업 도출, 7) 개념 설계단계를 통해 제품의 친환경적 개선 전략을 도출하였다.



Fig. 2. Ecodesign process.

### 2.1. 제품 성능 및 사용성 평가

제품 성능 및 사용성 평가는 핸디형 청소기의 기본 사양 분석, 사용 성능 측정, 그리고 use scenario에 따른 사용성 평가의 3단계로 이루어진다. 기본 사양 분석 단계에서는 제품에 포함된 사용 설명서에 명시된 사항을 분석하여 크기, 무게, 용량, 충전 시간, 최대 사용 시간을 파악하였다. 사용 성능 측정 단계에서는 Fig. 3과 같이 흡입 범위, 흡입력, 소음 발생량, 전력량의 4가지 category의 9가지 평가 항목에 대해 평가를 수행하였다. 마지막으로 use scenario에 따른 사용성 평가 단계는 제품의 사용 전 평가(심미성, 파지 적절성, 무게 편의성), 사용 중 평가(청소 편의성(바닥, 책상, 선반), 용도 다양성), 사용 후 평가(유지/보수 용이성, 배기 적절성, 충전 편의성)의 10가지 사용성 항목에 대해 핸디형 청소기 사용 경험이 있는 30명의 평가자가 직접 핸디형 청소기를 사용해 보고 5점 척도(1점: 매우 불만족; 5점: 매우 만족)로 평가를 수행하였다.

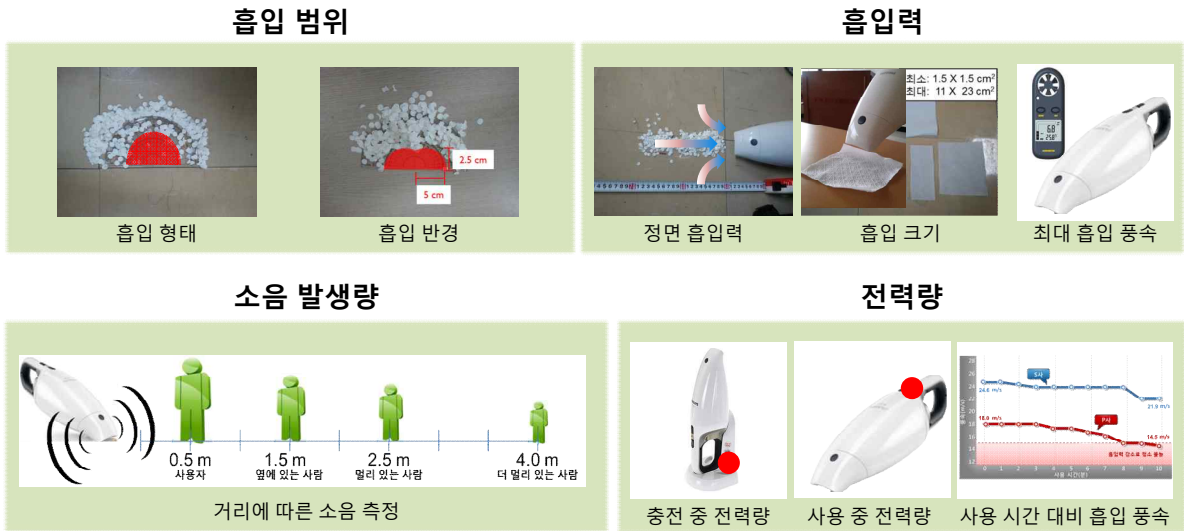


Fig. 3. Performance tests.

## 2.2. 제품 모델링

제품 모델링은 BOM 작성과 환경성 파라미터 분석 단계로 이루어진다. BOM 작성 단계에서는 핸디형 청소기를 분해하여 부품 단위별로 사용된 재료의 종류, 중량, 개수 등의 정보를 기록하는 자재 명세서(Bills of Materials, BOM)를 작성한다. 환경성 파라미터 분석 단계는 작성된 BOM 정보를 바탕으로 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)를 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) 4차 보고서6)를 기반으로 아래 식 1을 이용해 산출하였다.

식 1.

$$GWP(kg \cdot CO_2 - eq.) = \sum_{i=1}^n (m_i \times GWP_i)$$

where  $m_i$  = mass of component  $i$

and  $GWP_i$  = GWP of component  $i$

## 2.3. 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석은 제품 전 과정 단계별 에너지 사용 및 회수량 도출 단계로 이루어진다. 원재료 취득부터 폐기까지 각 단계별로 에너지 사용량 및 회수량은 전과정사고(Life Cycle Thinking, LCT)를 통해  $kg \cdot CO_2 - eq./EA$ 로 정량화하여 분석하였다.

## 2.4. 이해관계자 요구사항 분석

이해관계자 요구 사항 분석은 환경품질기능전개(Environmental Quality Function Deployment), EQFD) 수행과 환경성 벤치마킹(Environmental Bench -Marking, EBM) 수행 단계로 이루어진다. 환경품질기능전개 수행 단계에서는 핸디형 청소기의 제작, 사용 등과 관련된 이해관계자(기업, 정부-환경단체, 소비자)들의 요구사항을 파악하고, 요구사항별로 환경적 중요도(1점: 중요하지 않음, 3점:

중요함, 9점: 매우 중요함)를 평가하였다. 제품 전 과정별로 선정된 환경성 parameter에 대해 이해관계자들의 요구사항과 연관성(1점: 약간 관계있음, 3점: 관계있음, 9점: 매우 관계있음)을 평가하고, 환경성 parameter별 가중치를 식 2를 이용해 산출하였다. 평가 결과 중 가중치가 10% 이상인 parameter를 주요 parameter로 선정하였다.

환경성 벤치마킹 수행 단계에서는 제품 전 과정별로 선정된 환경성 parameter에 대해 두 제품의 환경성 점수에 대한 비교 분석을 통해 개선이 필요한 항목을 도출하였다. 각 환경성 parameter에 대한 평가는 5점 척도(1점: 매우 나쁨, 2점: 약간 나쁨, 3점: 보통, 4점: 약간 좋음, 5점: 매우 좋음)로 평가하였다. 본 연구는 P사의 제품을 자사 제품으로 지정하고 S사 제품을 경쟁사 제품으로 하여 환경성 parameter의 점수가 상대적으로 낮은 parameter를 개선대상 parameter로 선정하였다.

식 2.

$$weight_i(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i \times r_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (s_j \times r_{ij})} \times 100$$

where  $weight_i$  = weight of parameter  $i$ ,

$s_j$  = significance of requirement  $j$ ,

and  $r_{ij}$  = relationship between parameter  $i$  and requirement  $j$

## 2.5. 개선대상 부품 도출

개선 대상 부품 도출은 품질환경 기능전개 (Quality Function Deployment for Environmental), QFDE) 수행 단계로 이루어진다. 기능전개 수행 단계에서는 개선대상 환경성 parameter와 제품 사용과 관련된 특성에 대해 핸디형 청소기의 구성 부품별로 연관성(1점: 약간 관계있음, 3점: 관계있음, 9점: 매우 관계있음)을 평가하고, 식 2를 이용해 산출된 가중치가 20% 이상인 부품을 개선 대상 부품으로 선정하였다.

## 2.6. 전략 및 과업 도출

전략 및 과업 도출은 친환경 제품설계 개선 전략 및 세부 과업 도출과 해결방안 도출 단계로 이루어진다. 제품설계 개선 전략 및 세부 과업 도출 단계는 이해관계자 요구사항 분석을 통해 도출된 환경성 parameter에 대해 친환경 제품설계 개선 전략과 개선 전략에 따른 과업을 도출하였다. 해결방안 도출 단계는 과업별로 개선 대상 부품을 고려하여 친환경적 해결방안을 도출하였다.

## 2.7. 개념설계

개념설계는 친환경적 제품 디자인 개념 설계 단계로 이루어진다. 친환경적 제품 디자인 개념 설계 단계에서는 전략 및 과업 도출을 통해 파악된 개선 대상 부품에 대한 해결방안을 조합해 친환경적 핸디형 청소기의 디자인을 위한 개념을 설계하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 제품 성능 및 사용성 평가 결과

핸디형 청소기의 제품 사양은 Table 1과 같이 충전 시간, motor 출력, 그리고 사용 전력 측면에서 P사에 비해 S사의 제품이 높은 것으로 파악되었다. 충전 시간은 P사 제품이 S사 제품에 비해 약 2배 소요되는 것으로 파악되었다. Motor 출력은 S사 제품이 P사 제품에 비해 1.3배, 사용 전력은 10.8 KWh 높은 것으로 파악되었다. 반면, 무게, 용량, 그리고 최대 사용 시간은 두 제품 간에 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 1. Specification of Handy Vacuum Cleaner.

	Image	무게	용량	충전 시간	최대 사용 시간	Motor 출력	사용 전력
P사		0.82 kg	0.5 L	16 h	9분	3.6 V	162.0 KWh
S사		0.76 kg	0.4 L	8 h	10분	4.8 V	172.8 KWh

흡입 범위의 경우 P사 제품과 S사 제품의 흡입구 형태에 따라 흡입이 이루어지는 것으로 파악되었다(Fig. 4). 흡입 형태가 P사 제품의 경우 앞부분이 편평하게 되어있어 구석 청소에 용이할 것으로 보이고, S사 제품의 경우 반원 형태로 넓게 이루어져 있어 책상 등 넓은 범위의 청소에 용이할 것으로 추정된다.

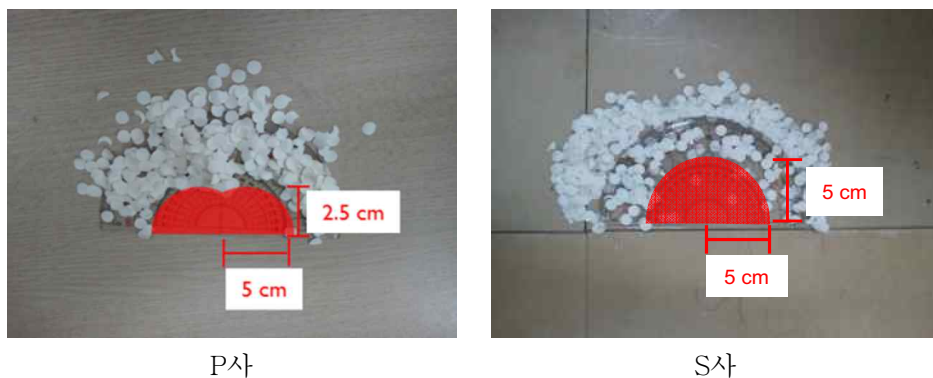


Fig. 4. Comparison of suction areas.

흡입력의 경우 Table 2와 같이 S사 제품이 P사 제품에 비해 정면 흡입 가능 거리는 2배 길고, 최대 흡입 풍속은 1.3배 빠른 것으로 파악되었다. 두 제품의 흡입력에 차이가 나타난 이유는 S사 제품이 P사 제품보다 고출력의 motor를 사용하기 때문인 것으로 파악되었다.

소음의 경우 motor 출력이 높은 S사 제품이 P사 제품에 비해 소음이 평균 6.6 dB 높은 것으로 파악되었다. S사 제품의 경우 사용 시 최대 소음이 77.9 dB로 강하게 들려 사용성 측면에서 개선이 필요한 것으로 파악되었다.

소비 전력의 경우 P사와 S사 제품 모두 사용 전력은 같지만 충전 전력에 따라 충전 시간이 달라지는 것으로 분석되었다. 풍속은 사용 시간 따라 Fig. 5와 같이 두 제품 모두 감소하는 경향을 보였고, 특히 P사 제품의 경우 7분 이후에는 풍속이 16 m/s 이하로 떨어져 먼지 등의 흡입이 어려운 것으로 파악되었다.

Table 2. Results for Suction Power Tests

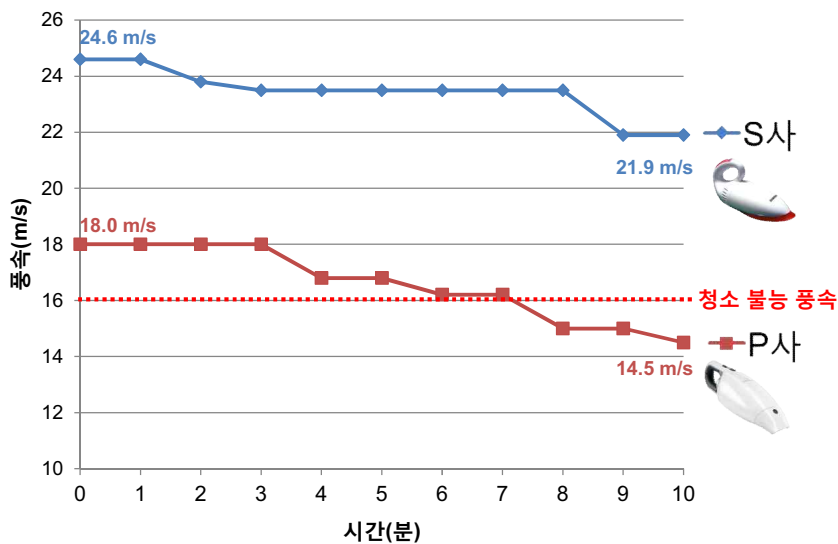
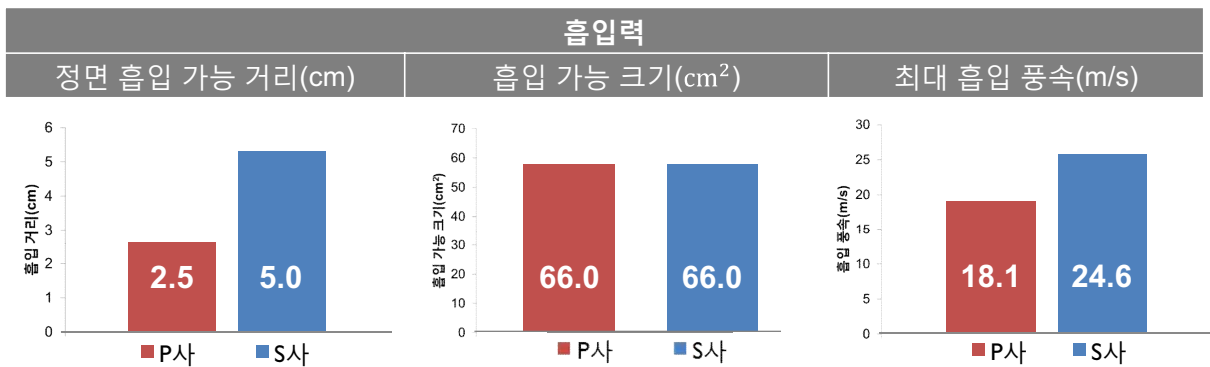


Fig. 5. Comparison of air flow.

사용성 평가 결과 총 10개의 평가 항목 중 심미성, 바닥 청소 편의성, 그리고 선반 청소 편의성의 세 가지 항목에서 두 제품은 모두 3점미만의 점수를 받아 개선이 필요한 것으로 파악되었다. 바닥 청소 편의성과 선반 청소 편의성은 핸디형 청소기의 길이가 짧아 바닥 또는 선반 청소 시 자세가 불편하고, 손잡이가 핸디형 청소기의 윗부분을 잡도록 설계되어있어 선반청소 시 손잡이 부분이 잡기 불편한 것으로 조사되었다.

### 3.2. 환경성 평가 결과

제품을 분해한 결과, P사 제품의 GWP는 S사 제품의 GWP에 비해 1.1배 높고, RCR은 14% 낮은 것으로 파악되었다. 두 제품 모두 motor와 fan의 결합 구조로 인해 분해가 어렵도록 설계되었다. P사 제품의 GWP는 14.2 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA로 S사 제품의 GWP인 12.4 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA보다 1.1배 높았다. P사 제품은 재료 중 GWP가 높은 ABS 수지의 사용비율이 S사 제품에 비해 상대적으로 많아 GWP가 높은 것으로 파악되었다.

### 3.3. 제품 환경성 결과

제품 전 과정 단계별 탄소배출량을 산정한 결과는 Fig. 6과 같이 두 제품 모두 사용 단계에서 탄소배출량이 가장 많고, 사용 단계에서 소비되는 전력 중 충전에 소비되는 전력 비율이 60% 이상으로 높은 것으로 분석되었다. 사용 단계에서 S사 제품은 P사 제품에 비해 탄소배출량이 약 10 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA 더 높은 것으로 파악되었는데, 이는 사용 전력은 같지만 충전에 소비되는 전력이 많기 때문으로 파악되었다.

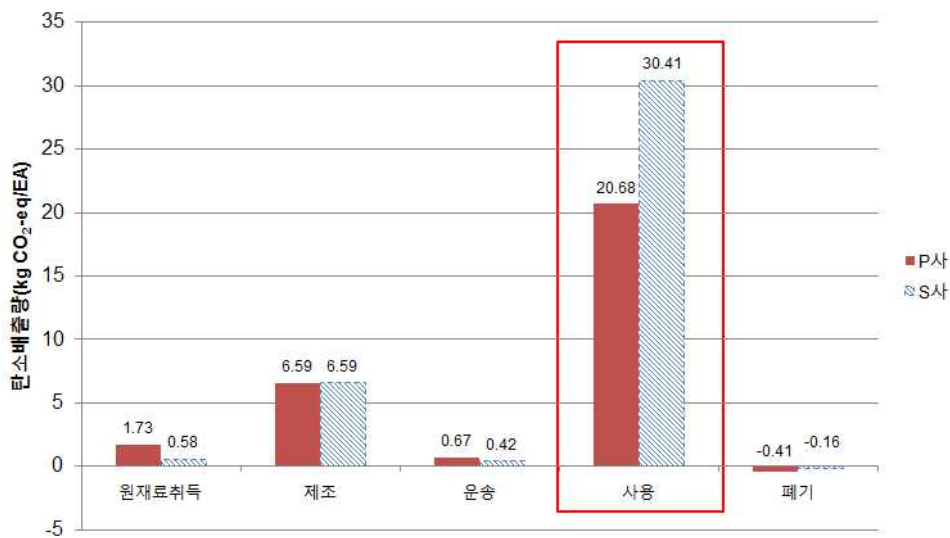


Fig. 6. Result of LCA.



### 3.4. 이해관계자 요구사항 결과

핸디형 청소기의 이해관계자 요구사항을 파악하기 위한 EQFD 수행 결과 Table 3과 같이 유해 물질 사용, 제조 중 에너지 소비, 그리고 사용 중 에너지 소비의 세 가지 항목이 중요한 개선 사항으로 분석되었다. 핸디형 청소기의 이해관계자들의 요구사항은 원재료 비용 절감, 유해물질 사용 금지, 에너지 절약, 제품 내구성 향상, 구매비용 절감 등 15가지 항목으로 파악되었다. 제품 전 과정별로 사용된 원료물질, 제조 중 에너지 소비, 제품 중량, 사용 중 에너지 소비, 재활용률 등 17가지 환경성 parameter가 선정되었다. EQFD 수행 결과 유해물질(13.2%), 사용 중 에너지 소비(12.5%), 제조 중 에너지 소비(10.1%)가 주요 환경성 parameter로 선정되었다. EBM 수행 결과 사용된 원료물질 양, 제품 중량, 포장재, 운송 중 에너지 소비, 재활용률, 분해 시간, 부품 수가 개선 대상 제품의 경쟁력 향상을 위해 고려해야 할 항목으로 선정되었다 (Fig. 7).

### 3.5. 개선 대상 부품

핸디형 청소기 부품 중 환경적 개선이 필요한 부품을 도출하기 위한 QFDE 수행 결과, Table 4와 같이 모터, 배터리, 케이스의 개선이 필요한 것으로 파악되었다. EQFD와 EBM 수행 결과 선정된 10가지 환경성 parameter와 두 가지 제품의 주요 특성에 대해 여덟 가지 제품 구성 부품별로 연관성을 분석한 결과, 모터(29.1%), 배터리(26.8%), 케이스(21.7%)가 환경적 개선이 필요한 부품으로 파악되었다.

Table 3. Result of Environmental Quality Function Deployment (EQFD).

환경성 파라미터 이해관계자 요구사항	중요도	원재료 사용		제품 제조		제품 운송				제품 사용			제품 폐기						
		사용된 원료 물질 양	유해 물질	제조 중 에너지 소비	제조 중 배출물	제품 중량	제품 부피	포장재	운송 중 에너지 소비	사용 중 에너지 소비	유지/관리 소모품	제품 수명	수리성	재활용률	분해 시간	부품 수	부품 재결합 방식	재 사용성	
기업	원재료 비용 절감	3	9	9	1	3	3					3		9					
	가공 공정 비용 절감	9	9	9	9	9									1	3	3	1	
	물류비용 절감	1					9	9	3	9									
	인건비 절감	3		1		1	3	1	3										
정부-환경단체	환경 관련 세금 절감	1	3	9	3	3	1	1	3	1	9	3	9	1	9	3	1	1	9
	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	1	3	9		3								3					
	에너지 절약 (EUP 등)	9			9					9	9			3	1				
	재활용률 준수 (WEEE 등)	3							1				9	9					9
	포장재질 포장방법(환경 부령 392호) 준수 폐기물관리법(대통령령 제 22631호) 준수	3					3	3	9					1					
소비자	제품 내구성 향상	3	1				1				9	9	9	3				1	
	수리 용이성 향상	3										3	9		3	9	3		
	구매비용 절감	9	3	9					1	1	9	3	3	3					
	사용비용 절감	1									9	9	3	3					
	유지보수비용 절감	1										9	9	9		3	1		
총계	-	144	219	168	126	40	22	63	100	207	75	93	103	105	39	58	41	54	
가중치	-	8.7	13.2	10.1	7.6	2.4	1.3	3.8	6.0	12.5	4.5	5.6	6.2	6.3	2.4	3.5	2.5	3.3	

- 중요도 점수 부여(1:중요하지 않음, 3:중요함, 9:매우중요함), 상관관계 점수부여(1:약간 관계있음, 3:관계있음, 9:매우 관계있음)

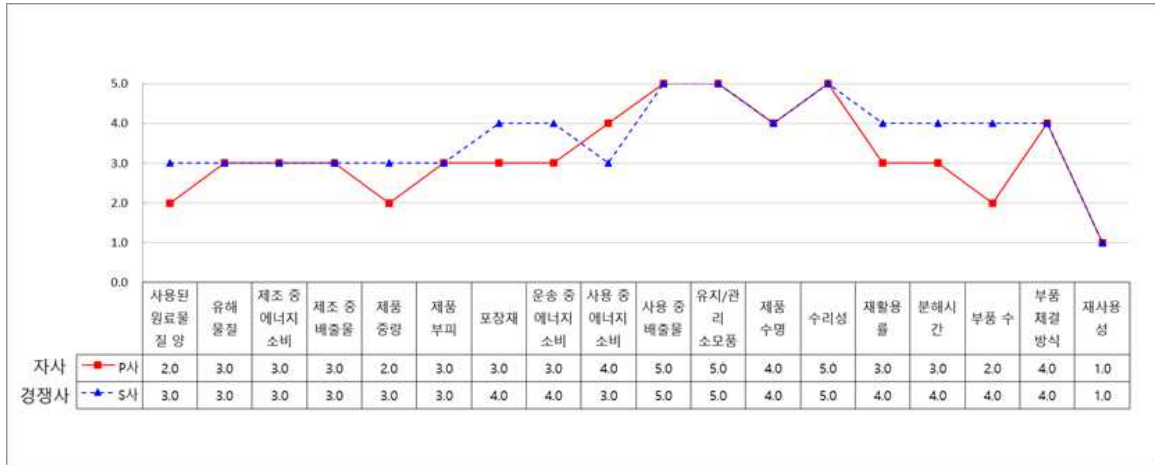


Fig. 7. Environmental benchmarking parameters for handy vacuum cleaner (EBM).

Table 4. Result of Quality Function Deployment for Environment (QFDE).

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	모터	팬	배터리	필터	케이스	스위치	포장재	충전기
제품 특성 (제품의 주요특성, 개선대상 환경성 파라미터)	사용단계 - 에너지 소비	2.2	9	3					1
	유해물질	26.1	9		9				3
	제조 중 에너지 소비	10.5		3		1	9		
	사용된 원료물질 양	17.4					9	1	
	제품중량	2.7	3		3		3	9	3
	포장재	2.9					9	9	
	운송 중 에너지 소비	2.3					9		
	재활용률	5.8	3		3		3	9	
	분해 시간	5.8	9						
	부품 수	3.6	9					3	
	흡입력	7.0	9	3	9				
	사용 시간	8.1			9	1			9
	중계	-	409.7	59.0	378.2	18.6	305.4	10.9	67.3
가중치	-	29.1	4.2	26.8	1.3	21.7	0.8	4.8	11.4

### 3.6. 전략 및 과업 도출 결과

핸디형 청소기의 환경적 개선이 필요한 부품으로 분석된 모터, 배터리, 케이스에 대해 친환경적 제품설계 개선전략과 그에 따른 과업 및 해결방안을 Table 5와 같이 수립하였다. EQFD, EBM 수행 결과로 선정된 10가지 환경성 parameter(사용 단계 에너지 소비, 유해물질 등)와 제품의 성능 및 사용성 평가 결과로 개선의 필요성이 제안된 네 가지 항목(바닥 청소 편의성, 소음 적합도 등)에 대해 12가지 친환경 제품설계 개선전략과 14가지 과업을 도출하였다. 제조 중 에너지 소비와 운송 중 에너지 소비는 제품설계를 통한 직접적인 개선이 어렵기 때문에 개선 전략 도출에서 제외되었다. 과업별로 해결방안을 모색한 결과 총 23가지 해결방안이 도출되었다.

Table 5. Solutions by environmental Parameters.

개선대상 환경성파라미터	친환경 제품설계 개선전략	과업	해결방안		
			1	2	3
사용단계 - 에너지 소비	사용단계 에너지 소비 저감	대기전력량 절감	충전완료 표시등 추가	방전 최소화 배터리 사용	-
		소비전력량 절감	에너지 효율이 높은 모터 사용	필터 교체 시기 표시	강/약 조절 기능 탑재
		친환경 에너지 사용	외부에 수동식 발전기 부착하여 전원 공급	태양 에너지 사용	차세대 전지 사용
유해물질	유해 물질 저감	유해물질이 적은 배터리 사용	친환경 배터리 사용	-	-
제조 중 에너지소비	-	-	-	-	-
사용된 원료물질 양	사용된 원료물질 양 절감	비효율적인 설계 제거	설계 최적화	-	-
제품중량	제품중량 경량화	가벼운 부품 사용	모터 무게 경량화	본체 크기 감소 및 소재 변경	-
포장재	포장재 사용 저감	포장재 무게 감소	외부 코팅 처리 방식 변경	Box 소재 변경	설명서 무게 감소
운송 중 에너지 소비	-	-	-	-	-
재활용률	재활용률 향상	재활용률이 높은 소재 사용	본체 소재 변경	-	-
분해 시간	분해 시간 저감	분해 용이성 증가	나사 체결 수 감소	모터와 팬 분리 구조 개선	-
부품 수	부품 수 감소	불필요한 부품 제거	흡입부와 본체 일체화	-	-
바닥청소 편의성	바닥청소 편의성 증대	제품 구조 개선	탈착형 손잡이	손잡이 디자인 개선	
선반청소 편의성	선반청소 편의성 증대	제품 구조 개선	탈착형 손잡이	손잡이 디자인 개선	
심미성	-	-	-	-	-
소음 적합도	소음 적합도 향상	소음 감소	음악 제공	모터 교체	

### 3.7. 개념 설계 결과

본 연구는 선정된 해결방안을 활용하여 에너지 충전과 사용 효율 증가를 중점으로 한 에너지 중심의 친환경적 개선과 제품을 사용하며 에너지 사용을 줄일 수 있는 사용 중심의 친환경적 개선을 설계 개념으로 수립하였다. 에너지 중심의 친환경적 개선은 에너지 방전의 최소화를 위한 친환경 고효율 배터리 사용, 사용 에너지의 효율성 증가 및 발생 소음 감소를 위한 고효율 저소음 motor 사용, 배기 바람을 재활용한 소비전력 재충전 module 사용, 그리고 8시간 이상의 충전시간 동안 태양 광을 활용한 충전 module 사용 등의 방법을 통해 에너지 사용 효율을 높이고 사용 중 에너지 소비를 감소시키는 설계 개념이다. 사용 중심의 친환경적 개선은 청소기 사용 중 자가 발전이 가능한 module 사용, 강/약 조절 버튼 장착, 충전 완료 표시 설치 등을 통해 사용자가 핸디형 청소기를 사용하면서 스스로 에너지를 절감할 수 있는 설계 개념이다.

## 4. 토의

본 연구는 핸디형 청소기에 대해 성능, 사용성, 그리고 환경영향 측면에서 전과정평가를 수행하여 친환경적인 제품으로 개선하기 위한 전략을 제안하였다. 기존의 친환경 제품 개선과 관련된 연구들(9)은 전과정평가를 통해 제품의 원재료의 변경과 제조 방식의 변경을 제안하였다. 본 연구는 전과정평가를 통한 제품의 환경성 평가를 통한 친환경적 개선안을 수립함과 동시에 성능 및 사용성 평가를 수행하여 친환경적 제품설계 개선 전략 수립 시 사용자를 고려한 개선 전략을 제안하였다. 예를 들어, 사용 중 에너지 소비를 줄이는 개선 전략으로 강/약 조절 버튼 설치를 통해 사용자가 필요

에 따라 청소기의 power를 조절할 수 있도록 하여 사용성과 친환경성을 함께 고려한 전략을 제안하였다.

본 연구에서 수행한 성능 및 사용성 평가는 모터, 팬 그리고 배터리가 핵심 부품으로 구성된 가전제품의 전과정평가 및 설계 개선 전략 수립에서 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구는 제품의 성능을 평가하기 위한 방안을 다각적으로 수립하고, 제품의 use scenario에 따른 사용성 평가 방안을 제안하였다. 예를 들어, 핸디형 청소기의 성능 평가로 고려할 수 있는 요소로 흡입력을 흡입 거리, 흡입 크기, 최대 흡입 풍속으로 세분화하여 제품의 성능을 분석하였다. 또한 제품의 사용 전/중/후를 모두 고려한 사용성 평가를 수행하여, 제품의 사용 시작부터 사용 후 보관까지 고려할 수 있는 제품설계 개선 전략을 제안하였다.

본 연구는 에코디자인 프로세스를 통해 제안한 설계 개선안에 대해 개선 정도를 정량적으로 검증하는 과정이 필요하다. 본 연구에서 제안한 설계 개념은 제품의 원료 교체를 통해 환경 영향을 줄이고, 성능이 좋은 부품 교체를 통해 제품 사용 중 에너지 효율을 향상시킬 수 있도록 하였다. 본 연구를 통한 핸디형 청소기의 개선 효과는 고효율 모터 및 친환경 배터리의 사용 등의 개선을 통해서 약 8 kg·CO<sub>2</sub>-eq./EA의 탄소배출량을 감소시킬 수 있을 것으로 추정되나, 보다 정확한 개선 효과를 파악하기 위해서는 실험을 통해 정량적인 결과를 보여주는 검증과정이 필요하다.

## 5. 사사

이 논문은 환경부의 에코디자인 전문인력양성사업으로 지원되었습니다.

## 6. 참고문헌

- 1) KOTITI, “국제 환경규제 동향 및 산업계 대응 방안”, (2010).
- 2) 한국무역협회, “2012년 주목해야 할 국제환경규제와 기업 대응전략”, (2012).
- 3) 김용기, 김보경, 이재영, 윤희택, 전동차 단열재의 전과정 목록분석(LCIA), 한국화학공학회, 12(1), pp. 549, (2006).
- 4) 백춘열, 박정건, 정인태, 이건모, TRIZ를 이용한 에코디자인 방법론 연구, 대한환경공학회 2006 추계학술연구발표회 논문집, pp.771~778, (2006).
- 5) 환경산업기술원, “에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼(에어컨편)”, (2010).
- 6) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “the Fourth Assessment Report of the IPCC”, Cambridge University Press, United Kingdom and New York (2007).
- 7) Masui, K., Sakao, T., and Inaba, A., “Quality function development for environment: QFDE(1st report) - a methodology in early stage of DfE, In proceedings of the EcoDesign”, pp.852 ~ 857, (2001).
- 8) Masui, K., Sakao, T., Aizawa, S., and Inaba, A., “Quality function deployment for environment (QFDE) to support design for environment (DFE)”, In proceedings of the Computers and Information in Engineering, (2002).
- 9) 황태연, 윤성이, “식품산업에 있어서 포장두부의 전과정평가 사례연구”, 한국유기농학회지, 15(3), pp277~290, (2007).