

# 성능, 사용성, 전과정 평가를 통한 스탠드형 전기 온풍기의 친환경적 설계안 개발 사례

**A Case Study of Eco-Design for Standing-Type Electric Fan Heater  
by Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments**

이지형, 이백희, 유희천  
포항공과대학교 산업경영공학과

Jihyung Lee, Baekhee Lee, Heecheon You

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

# 성능, 사용성, 전과정 평가를 통한 스탠드형 전기 온풍기의 친환경적 설계안 개발 사례

이지형·이백희·유희천<sup>2)</sup>

포항공과대학교 산업경영공학과

A Case Study of Eco-Design for Standing-Type Electric Fan Heater by  
Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments

**Jihyung Lee·Baekhee Lee·Heecheon You**

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

## Abstract

Eco-friendly products are designed to minimize environmental impacts from material extraction to disposal. Life-cycle assessment (LCA) quantifies the environmental impact of a product throughout its life cycle. The present study was performed to establish a product improvement plan for an eco-friendly electric fan heater by comparing two standing-type electric fan heaters ('W' and 'H' models) in terms of performance, usability, and environmental impact. Performance measurements of the heaters such as temperature, humidity, wind speed, noise, and power were collected in a laboratory setting. Then, usability assessments such as operation satisfaction, aesthetics, and overall satisfaction were surveyed for the two heaters using a 5-point scale (1 for very unsatisfied and 5 for very satisfied). Finally, LCA was performed for the heaters using an eco-design process. Of the life cycle phases, the use phase of heater was found having the highest environmental impact. Performance, usability, eco-friendliness, and market competitiveness being considered, two sets of heater design concepts for improvement of energy efficiency and reduction of environment impact were proposed in the study.

Key words: Life cycle assessment, electric fan heater, eco-design, product design

## 요약문

환경친화적 제품은 원료 추출에서 폐기에 이르기까지 환경 영향을 최소화 하도록 설계되며, 전과정 평가(LCA)를 사용하여 제품 수명주기 전과정에 걸쳐 제품의 환경 영향을 정량화한다. 본 연구는 두 가지 스탠드형 전기 온풍기를 성능, 사용성, 환경영향 측면에서 비교하여 친환경적 제품개선 계획을 수립하였다. 온도, 습도, 풍속, 소음 그리고 전력과 같은 제품 성능은 실험실환경 내에서 수집되었다. 조작 만족도, 심미성, 전반적 만족도와 같은 제품 사용성 평가는 5점 척도(1점: 매우 불만족; 5점 매우 만족)를 사용하여 수행되었다. 마지막으로 LCA 평가는 에코디자인 프로세스를 사용하여 수행되었는데, 제품의 수명주기 단계 중 사용단계가 환경에 미치는 영향이 가장 높은 것으로 파악되었다. 본 연구는 성능, 사용성, 환경영향, 그리고 시장 경쟁력 측면을 고려하여 에너지 효율을 향상시키고 환경 영향을 감소시키는 설계 개선 방안들을 제시하였다.

주제어: 전과정 평가, 전기 온풍기, 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

최근 기업들은 에너지 부족 사태와 환경 규제 강화 대응책의 일환으로 친환경적 제품을 개발하고 있다. 국제에너지전문기구(IEA)에 따르면 전 세계 석유 매장량은 2005년 기준 약 1조 5,000억 배럴이며 향후 40년 동안 사용이 가능할 것으로 전망되었다<sup>1)</sup>. 그러나 개발도상국과 선진국들의 에너지 소비량은 지속적으로 증가하고 있어 석유생산정점이 얼마 남지 않았음에 대한 우려가 높아지고 있다<sup>2)</sup>. 2011년 WHO에 제출된 1,101건의 technical barriers to trade(TBT) 통보문 중 에너지·환경 관련 기술규제는 200건으로 2004년 99건에서 2배 이상 증가 하였으며, 이에 따라 각국의 환경규제 활동도 활발해지고 있다<sup>3)</sup>. 예를 들어, EU는 자동차에 CO<sub>2</sub>배출량을 표기하도록 규정하고 있고, 멕시코는 냉장고, 세탁기, 에어컨 등 186개 전기전자제품에 대해 에너지효율 라벨을 부착하도록 규제하고 있다<sup>3)</sup>. 따라서 기업들은 에너지를 효율적으로 소비하며 각국의 환경 규제에 저촉되지 않는 친환경적 제품을 개발하는 것이 필요하다.

친환경적 제품 개발을 위해서는 제품 전과정의 환경성을 평가하고 환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 에코디자인이 적용되고 있다. 제품의 전과정 평가(life-cycle assessment, LCA)는 원료 획득 및 자재 생산에서부터 조립, 운송, 사용, 유지 및 폐기에 이르기까지 제품이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고 개선 방안을 모색하는 체계적인 과정이다<sup>4)</sup>. 에코디자인은 전과정 평가를 통해 파악된 제품의 환경성을 제품 설계 프로세스에 통합함으로써, 제품 개발 과정에서 발생하는 환경피해를 최소화하고 제품의 성능, 사용성, 그리고 품질 및 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있도록 디자인하는 활동이다<sup>5)</sup>. 따라서, 친환경적이면서 경쟁력 높은 제품 개발을 위해서는 환경성 평가뿐만 아니라 성능과 사용성도 함께 고려될 필요가 있다.

스탠드형 전기 온풍기는 겨울철 실내 난방을 위한 대표적인 제품으로서 에너지 소비량이 높아 에코디자인을 통한 친환경적 개선이 필요하다. 스탠드형 전기 온풍기는 모터에 달린 팬의 고속회전에 의해 흡입된 찬 공기를 전기에 의해 고온으로 가열된 열판으로 통과시켜 따뜻한 공기로 전환시키는 제품이다. 2011년 지식경제부의 보고<sup>6)</sup>에 의하면 전기 온풍기의 경우 약 120만대가 보급되어 있으며 동계 전력피크 비중의 6%를 차지하고 있어 난방기기 중 전력 소비량이 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서, 전기 온풍기에 대한 에코디자인을 통하여 에너지 효율과 경제성을 동시에 향상시킬 수 있는 친환경적 전기 온풍기의 설계안이 요구된다.

본 연구는 두 종의 스탠드형 전기 온풍기의 환경성을 평가하고 친환경적 개선 전략을 제안하였다. 첫째, 구조와 기능이 유사한 두 종의 스탠드형 전기 온풍에 대하여 제품의 성능, 사용성, 그리고 환경성 평가를 수행하여 개선 대상을 선정하였다. 둘째, 본 연구는 개선 대상으로 선정된 전기 온풍기에 대한 전과정 평가 결과에 근거하여 환경에 미치는 영향이 높은 전과정 단계와 친환경적 개선이 필요한 부품을 도출하였다. 마지막으로, 개선 대상 온풍기의 성능, 사용성, 친환경성을 향상시키기 위한 제품설계 개선 전략을 제안하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 Table 1과 같이 주로 8평형 공간 난방에 사용되는 W사와 H사의 스탠드형 전기 온풍기를 평가 및 개선 대상 제품으로 선정하였다. 본 연구는 두 가지 스탠드형 전기 온풍기 중 친환경적 개선 대상 제품을 선정하고 개선 전략을 수립하기 위하여 환경산업기술원의 에코디자인 프로세스<sup>7)</sup>를 활용하였다. 본 연구는

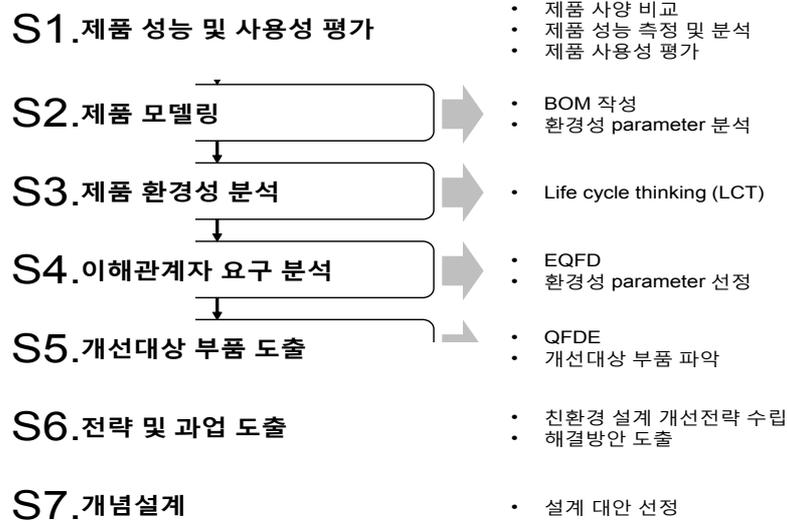


Fig. 1. Eco-design development process

두 제품을 대상으로 Fig. 1에 나타난 에코디자인 프로세스에 따라 제품 성능 및 사용성 평가(S1), 제품 모델링(S2), 제품 환경성 분석(S3), 이해관계자 요구 분석(S4), 개선대상 부품 도출(S5), 전략 및 과업도출 (S6), 그리고 개념설계(S7)의 7단계에 대하여 각 단계별로 평가를 수행하였으며, 개선 대상 제품에 대해서는 친환경적 설계 대안을 도출하였다.

### 2.1. 제품 성능 및 사용성 평가

제품 성능 및 사용성 평가 단계는 두 제품의 사양 조사, 성능 측정, 그리고 사용성을 평가하는 단계이다. 제품 사양은 제품 구입 시 포함된 매뉴얼과 제조업체 문의를 통해 Table 1과 같이 파악되었다. 제품의 성능은 586 cm(가로) × 327 cm(세로) × 260 cm(높이)의 밀폐된 공간에서 온도, 습도, 풍속, 소음, 대기 전력, 그리고 사용 전력을 측정하여 평가되었다. 풍속은 일체형풍속계(VT120, Dywer® instruments, Inc., USA)를 사용하여 온풍 배출구로부터 10 cm 떨어진 곳에서 측정하였고, 온도, 습도, 그리고 소음은 온습도계(DT-616CT, CEM, China)와 소음계 (SL-4001, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taiwan)를 전기 온풍기로부터 100 cm 떨어진 거리에서 76 cm 높이에서 측정하였으며, 대기전력과 사용 전력은 전력측정기(PM-B200-S, Dawon DNS Co., ltd., Korea)를 활용하여 측정되었다. 제품의 성능 측정은 각 측정기기를 위치시킨 후 1분 간격으로 10분 동안 측정되었다. 두 제품의 사용성은 심미성, 버튼조작용이성, 보관 용이성, 풍향조절 적절성, 안전성, 그리고 전반적 만족도의 총 7가지 항목에 대하여 5명의 평가자가 직접 스탠드형 온풍기를 사용해 보고 5점 척도(1점: 매우 나쁨, 2점: 약간 나쁨, 3점: 보통, 4점: 약간 좋음, 5점: 매우 좋음)로 평가되었다.

**Table 1.** Specifications of Standing-Type Electric Fan Heaters

|              | Company W   | Company H   |
|--------------|---|---|
| Illustration |  |  |
| Size         | 347 × 265 × 784 mm <sup>3</sup>   | 328 × 211 × 836 mm <sup>3</sup>   |
| Weight       | 7.5 kg  | 7.1 kg  |
| Power        | 3,000 W   | 3,000 W   |
| Voltage      | 220 V/60 Hz   | 220 V/60 Hz   |

## 2.2. 제품 모델링

제품 모델링 단계에서는 스탠드형 온풍기를 부품단위로 분해하여 재료의 명칭, 종류, 재질, 중량, 개수 등의 정보를 기록하는 자재명세서 (bill of materials, BOM)를 작성하고, 입력된 수치를 사용하여 Equations 1과 2와 같은 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)와 재활용가능률(Re-Cyclability Rate, RCR)을 산출하였다.

$$GWP(kg \cdot CO_2 - eq.) = \sum_{i=1}^n w_i \times GWP_i \quad \dots\dots\dots \text{Equation 1.}$$

where,  $w_i$  = weight of component  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$

$GWP_i$  = GWP of component  $i$

$$RCR(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \times RCR_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Equation 2.}$$

where,  $m_i$  = mass of component  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$

$RCR_i$  = recycling rate of component  $i$

## 2.3. 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석 단계에서는 전과정사고(life cycle thinking, LCT)를 통하여 개선대상 환경성 parameter를 도출하고 원재료 취득, 제조, 운송, 사용, 그리고 폐기의 각 단계 별 원재료, 에너지, 배출물, 폐기물, 그리고 재활용 측면에서의 에너지 사용량 및 회수량을 kg·CO<sub>2</sub>-eq.로 정량화하였다.

#### 2.4. 이해관계자 요구사항 분석

이해관계자 요구사항분석 단계에서는 제품의 전과정에서 환경성 parameter를 도출하기 위하여 환경품질기능전개(Environmental Quality Function Deployment, EQFD)<sup>8)</sup>와 환경성 벤치마킹(Environmental Bench -Marking, EBM)을 수행하여 가중치가 높거나 벤치마킹이 필요한 요소를 파악하였다(Table 4; Fig. 5 참조). 첫째, EQFD에서는 스탠드형 전기 온풍기와 관련된 이해관계자(정부-환경단체, 기업, 소비자)들의 요구사항을 파악하여 list를 작성하고, 각 이해관계자의 요구사항(예: 사용비용 절감) 별로 중요도(1점: 중요하지 않음, 3점: 중요함, 9점: 매우 중요함)를 평가하였다. 이해관계자 요구사항과 제품 전과정의 각 단계 별 환경성 parameter들(예: 사용된 원료물질, 사용 중 에너지 소비)과의 상관정도(1점: 약간 관계있음, 3점: 관계있음, 9점: 매우 관계있음)를 평가하고, Equation 3을 사용하여 환경성 parameter 별 가중치를 산출하였다.

$$weight_i(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \times r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_j \times r_{ij}} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Equation 3.}$$

where,  $weight_i$  = weight of column  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$

$s_j$  = significance of row  $j$ ,  $j = 1, \dots, m$

$r_{ij}$  = relationship between column  $i$  and row  $j$

둘째, EBM에서는 두 가지 제품의 환경성 비교 분석을 통하여 환경영향이 상대적으로 낮은 제품을 경쟁사 제품으로, 환경영향이 상대적으로 높은 제품을 자사제품으로 선정하였다. 본 연구는 자사제품에 대하여 경쟁사 제품과 전과정 단계마다의 환경성 parameter 별로 비교하여 5점 척도(1점: 매우 나쁨, 2점: 약간 나쁨, 3점: 보통, 4점: 약간 좋음, 5점: 매우 좋음)로 평가하였다. 본 연구는 경쟁사 제품 대비 1 ~ 3점 이상 차이가 나는 parameter는 벤치마킹 대상 parameter로 선정하고, 3점 이상인 parameter 들은 경쟁력 향상을 위한 parameter로 선정하여 개선대상 parameter에 포함시켰다.

#### 2.5. 개선대상 부품 도출

개선 대상 부품 도출 단계에서는 품질환경 기능전개(Quality Function Deployment for Environmental, QFDE)<sup>9)</sup>기법의 1단계와 2단계를 순차적으로 적용하여 환경성이 높은 개선 대상 부품을 선정하였다. QFDE 1단계에서는 이해관계자의 요구사항과 제품특성(개선대상 환경성 parameter, 제품의 주요특성)간의 상관정도를 평가하고, 제품특성 별 가중치를 Equation 3을 사용하여 산출하였다(Table 5 참조). 이해관계자의 요구사항 별 중요도는 EQFD에서 사용된 값을 적용하였다. QFDE 2단계에서는 제품특성과 스탠드형 전기 온풍기 구성 부품(예: 구동부, 열판부)간의 상관정도를 평가하고, 부품 별 가중치를 Equation 3을 사용하여 산출하였다 (Table 6 참조). QFDE 2단계 수행 결과 가중치가 높게 산출된 2 ~ 3개의 구성 부품이 개선대상 부품으로 선정되었다.

#### 2.6. 전략 및 과업도출

전략 및 과업 도출 단계에서는 환경성 parameter에 따른 친환경 개선 전략 및 세부과업, 그리고 해결방안을 도출하였다. 전략 및 과업 도출을 위해 제품경쟁력 향상 및 벤치마킹이 필요한 환경성

parameter(예: 사용 중 에너지 소비, 제품 중량, 재활용률)와 도출된 개선대상 부품을 고려하여 친환경 제품설계 전략을 수립하고, 이에 따른 세부적인 과업과 해결방안을 도출하였다(Table 7 참조).

### 2.7. 개념설계

개념설계 단계에서는 선정된 환경성 parameter에 따라 도출된 해결방안들을 조합하여 친환경적 개선을 위한 개념을 설계하였다. 본 단계에서는 전략 및 과업 도출 단계에서 도출된 해결방안을 사용하여 친환경적이면서 시장 경쟁력이 있는 스탠드형 전기 온풍기의 개념 설계가 수행되었다.

## 3. 결과

### 3.1. 성능 및 사용성

W사 제품은 H사 제품에 비해 온도 조절 버튼의 ‘강’과 ‘약’에 따라 출력되는 바람의 온도, 습도의 경우 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 풍속의 경우 ‘강’과 ‘약’일 때 모두 높은 것으로, 소음의 경우 ‘약’일 때 낮은 것으로 나타났다. 온풍기의 사용전력은 제품 사양에 명시된 정보와 같이 3,000 W로 유사하였다. 온도는 ‘강’의 경우 W사 제품 (42.3°C)이 H사 제품(44.3°C)보다 작동 10분 후 2.0°C 낮게 나타났고, ‘약’일 경우 반대로 W사 제품(39.9°C)이 H사 제품(34.3°C)보다 5.6°C 높게 파악되었다 (Table 2 참조). 또한 W사 제품의 경우 작동 후 10분이 지나도록 ‘강’과 ‘약’에 따른 차이가 거의 나타나지 않았으나, H사 제품은 ‘강’일 경우 44.3°C, ‘약’일 경우 34.3°C로 나타나 ‘강’과 ‘약’에 따른 바람의 온도가 약 10°C정도 차이가 있음이 파악되었다. 습도는 W사 제품의 경우 ‘강’과 ‘약’에 따라 습도의 차이가 나타나지 않았으나, H사 제품의 경우 ‘강’일 때는 18.9%, ‘약’일 때는 16.1%로 2.8% 정도의 차이가 있음이 파악되었다(Fig. 2 참조). 풍속은 ‘강’의 경우 W사 제품(3.6 m/s)이 H사 제품(2.9 m/s)에 비해 1.24배 빠른 것으로 나타났고, ‘약’의 경우 W사 제품(2.9 m/s)이 H사 제품(2.5 m/s)에 비해 1.16배 빠른 것으로 파악되었다. 소음은 ‘약’의 경우 W사 제품(41.8 dB)이 H사 제품(45.3 dB)에 비해 소음이 약 1.1배 낮은 것으로 나타났다. 소비 전력(W)은 각 제품의 사양조사에서 파악된 것과 같이 ‘강’의 경우 W사 제품(3,020 W)과 H사 제품(3,042 W) 모두 약 3,000 W의 전력을 소비하는 것으로 나타났고, ‘약’인 경우

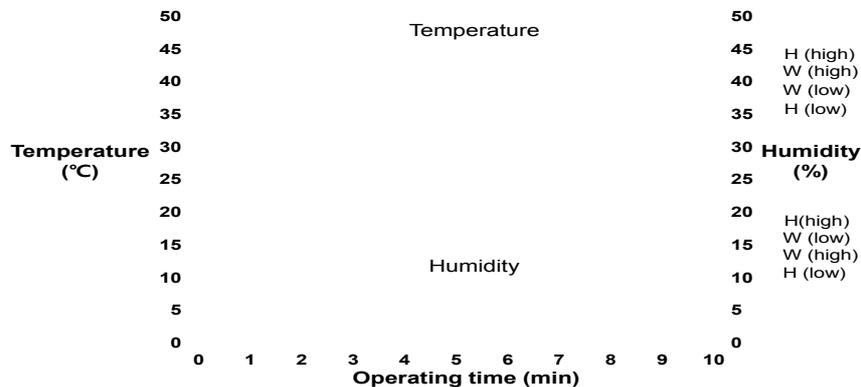


Fig. 2. Temperature/humidity curve by operating time(min)

Table 2. Performance Comparison Results

| Item             | Level | Company W | Company H |
|------------------|-------|-----------|-----------|
| Temperature (°C) | H     | 42.3      | 44.3      |
|                  | L     | 39.9      | 34.0      |
| Humidity (%)     | H     | 16.6      | 18.9      |
|                  | L     | 17.5      | 16.1      |
| Wind speed (m/s) | H     | 3.6       | 2.9       |
|                  | L     | 2.9       | 2.5       |
| Noise level (dB) | H     | 48.9      | 48.3      |
|                  | L     | 41.8      | 45.3      |
| Power (W)        | H     | 3,020     | 3,042     |
|                  | L     | 2,250     | 2,200     |

각각 약 2,250 W와 2,200 W의 전력을 소비하는 것으로 파악되었다(Table 2 참조).

H사 제품은 W사 제품에 비해 Fig. 3에 나타난 것과 같이 버튼조작 용이성, 풍향조절 적절성, 심미성, 그리고 전반적 만족도에서 우수한 것으로 평가되었다. 버튼조작 용이성은 H사 제품(3.6점)은 W사 제품(3.2점)에 비해 0.4점 높게 평가되었는데, 이는 H사 제품의 dial type 조작 버튼의 경우 W사 제품의 2개의 push type 조작 버튼(강, 약)에 비해 한 번에 조작할 수 있어 사용성이 다소 높게 평가된 것으로 debriefing을 통해 파악되었다. 방향으로만 풍향조절이 가능하였으나, H사 제품의 풍향조절범위는 최대 66.5°로 W사 제품의 21.0°에 비해 약 3.2배 정도 상하 조절범위가 넓은 것으로 파악되었다. 풍향조절 적절성은 두 제품 모두 상하 심미성은 H사의 제품(4.8점)이 W사 제품(3.6점)에 비해 1.2점 높게 평가되었으며, 외형적인 디자인과 색감 측면에서 평가자들로 부터 높은 점수를 받은 것으로 조사되었다.

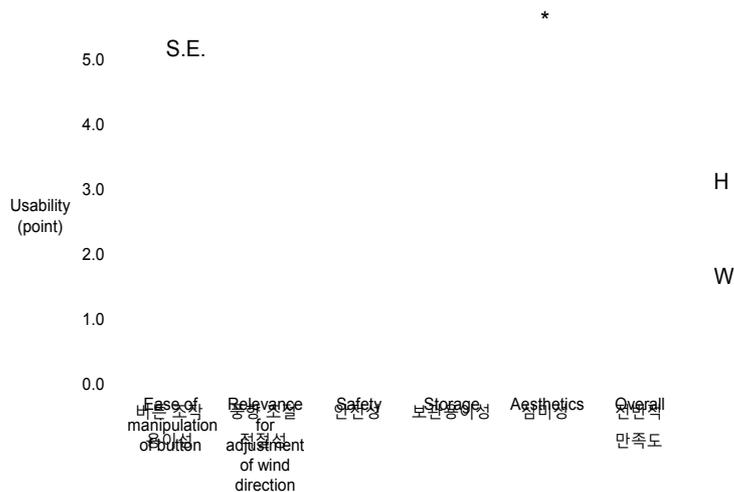


Fig. 3. Usability testing results(n = 5; \*p < 0.05)

### 3.2. 제품 모델링

W사의 GWP는 H사 제품보다 1.3배 높은 것으로 분석되었으나, W사의 RCR은 H사와 동일한 86%로 산출되었다. 제품을 분해한 결과, W사와 H사의 총 부품 개수는 35개와 36개로서 부품 수에서 큰 차이를 보이지는 않았다. W사의 GWP는 215.0 kg·CO<sub>2</sub>-eq. 으로서 H사 제품의 160.8

kg·CO<sub>2</sub>-eq.에 비해 54.2 kg·CO<sub>2</sub>-eq.만큼의 CO<sub>2</sub>를 더 배출하는 것으로 파악되었다. 그러나, W사와 H사 제품의 RCR은 86%로서 두 제품에서 재활용 가능한 원재료의 구성과 양이 유사한 것으로 파악되었다. 한편, W사와 H사 제품 모두 일반 공구를 사용하여 분해가 불가능한 부품들(예: 모터, 회로 기판)은 하나의 부품으로 간주하였다.

### 3.3. 제품 환경성

W사와 H사 제품 전과정 각 단계별 탄소배출량을 산출한 결과 두 제품 모두 사용 단계의 환경영향이 가장 높은 것으로 파악되었다(Fig. 4 참조). 원재료 취득단계에서의 탄소배출량은 W사의 제품(215.0 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)이 H사의 제품(160.8 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)에 비해 1.3배 높게 나타났는데, 이는 W사 제품(193.2 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)에 사용된 전기선(Electric wire UL 1007/1569)의

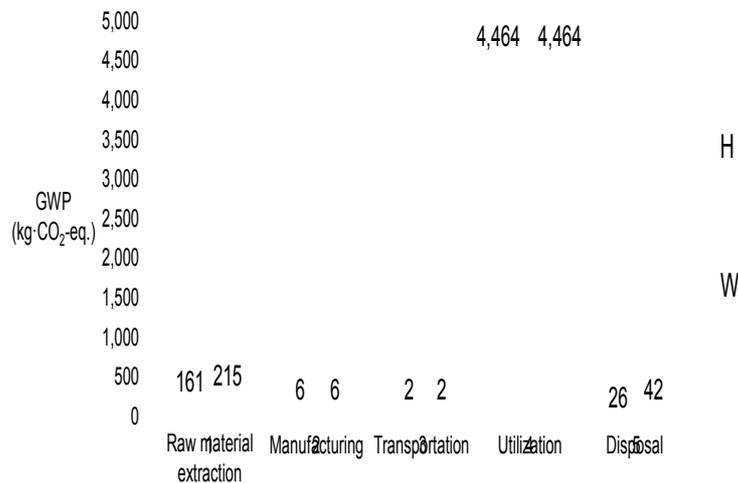


Fig. 4. Global warming potential (GWP) by life-cycle phase

탄소배출량이 H사 제품(138.7 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)에 사용된 것에 비해 54.5 kg·CO<sub>2</sub>-eq.만큼 높았기 때문에 파악되었다. 사용 단계에서의 탄소배출량은 W사와 H사 제품의 소비 전력 3,000 W, 1일 사용 시간 8시간, 겨울철 평균 사용 일수 75일을 기준으로 산출한 결과 4,464 kg·CO<sub>2</sub>-eq.로 동일하게 파악되었다. 폐기단계에서의 탄소배출량은 W사 제품(42 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)이 H사 제품(26 kg·CO<sub>2</sub>-eq.)에 비해 16 kg·CO<sub>2</sub>-eq.정도 높게 나타났다. 한편 제조와 운송단계의 탄소배출량은 10 kg·CO<sub>2</sub>-eq.미만으로 각각 6 kg·CO<sub>2</sub>-eq.와 2 kg·CO<sub>2</sub>-eq.로 두 제품에서 유사하게 파악되었다. 따라서, 스탠드형 전기 온풍기는 사용단계에서의 탄소배출량이 다른 단계 (원재료취득, 제조, 운송, 폐기)에 비해 최소 20배 이상 높은 것으로 분석되었다.

### 3.4. 이해관계자 요구사항

스탠드형 전기 온풍기의 이해관계자 요구사항을 파악하기 위한 EQFD 수행 결과 사용된 원료물질, 사용 중 에너지, 그리고 재활용률의 세 가지 개선이 중요한 사항으로 분석되었다(Table 4 참조). 스탠드형 전기 온풍기의 이해관계자에 따른 요구사항은 10가지(정부-환경단체: 유해물질 사용금지, 에너지 절약, 재활용률 증가; 기업: 원재료물질량 절감, 생분해성 물질량 증가; 소비자: 제품 내구성 향상, 유해 물질 배출 감소, 운송 최적화, 수리 용이성 향상, 폐기 용이성 향상)로 선정되었다. EQFD 수행을 통해 선정된

parameter들은 제품 폐기 단계에서 재활용률(17.6점), 원재료 취득단계에서 사용된 원료물질(11.8점), 그리고 제품 사용단계에서 사용 중 에너지 소비(8.4점)순으로 선정되어 개선이 필요한 것으로 나타났다. EBM 수행 결과 벤치마킹 대상 parameter에는 사용된 원료물질, 제조 중 에너지 소비, 제품중량이 선정되었고, 경쟁력 향상을 위한 parameter에는 사용 중 에너지 소비, 수리 용이성, 재사용성이 개선대상 parameter로 선정되었다(Fig. 5 참조). EQFD와 EBM을 통해 각각 도출된 parameter들 중 중복된 것을 제외한 결과, 사용된 원료물질, 제조 중 에너지 소비, 제품 중량, 사용 중 에너지 소비, 수리 용이성, 재활용률, 그리고 재사용성이 최종 개선대상 환경성 parameter로 선정되었다.

Table 4. Environmental Quality Function Deployment (EQFD)

| 환경적<br>이해관계자<br>요구사항 | 환경성<br>파라미터                  | 중<br>요<br>도 | 원재료 사용          |          | 제품 제조             |             | 제품 운송    |          |     |                   | 제품 사용             |             |                  |          | 제품 폐기     |          |                |     |                |          |
|----------------------|------------------------------|-------------|-----------------|----------|-------------------|-------------|----------|----------|-----|-------------------|-------------------|-------------|------------------|----------|-----------|----------|----------------|-----|----------------|----------|
|                      |                              |             | 사용된<br>원료<br>물질 | 유해<br>물질 | 제조 중<br>에너지<br>소비 | 제조 중<br>배출물 | 제품<br>중량 | 제품<br>부피 | 포장재 | 운송 중<br>에너지<br>소비 | 사용 중<br>에너지<br>소비 | 사용 중<br>배출물 | 유지/<br>관리<br>소모품 | 제품<br>수명 | 수리<br>용이성 | 재<br>활용률 | 제품<br>해체<br>시간 | 부품수 | 부품<br>조립<br>방식 | 재<br>사용성 |
| 정부-<br>환경<br>단체      | 유해물질 사용금지<br>(RoHS, REACH 등) | 9           | 9               |          |                   |             |          |          |     |                   |                   |             |                  |          |           |          |                |     |                |          |
|                      | 에너지 절약<br>(EuP 등)            | 9           |                 | 3        | 1                 |             |          |          | 3   | 9                 |                   |             |                  |          |           | 1        | 1              |     |                | 3        |
|                      | 재활용률 증가<br>(WEEE 등)          | 9           | 3               |          |                   |             |          | 1        |     |                   |                   | 3           |                  |          | 9         |          |                | 1   | 3              |          |
| 기업                   | 원재료물질량 절감                    | 3           | 3               |          |                   | 3           | 3        | 3        |     |                   |                   | 1           |                  |          |           |          | 3              | 1   |                |          |
|                      | 생분해성 물질량 증가                  | 3           | 9               |          | 1                 |             |          | 3        |     |                   | 1                 | 1           |                  |          | 9         |          | 3              |     |                |          |
| 소비자                  | 제품 내구성 향상                    | 3           | 3               |          | 3                 |             |          |          |     | 3                 |                   | 1           | 9                | 3        |           |          |                |     | 3              |          |
|                      | 유해 물질 배출 감소                  | 9           | 3               |          | 3                 |             |          |          |     |                   |                   |             |                  |          |           |          |                |     | 1              |          |
|                      | 운송 최적화                       | 3           |                 |          |                   | 3           | 3        | 3        | 9   |                   |                   | 1           |                  |          |           |          |                | 1   |                |          |
|                      | 수리 용이성 향상                    | 3           |                 |          |                   |             |          |          |     |                   |                   | 1           |                  | 9        |           | 9        | 3              | 9   |                |          |
|                      | 폐기 용이성 향상                    | 9           | 3               |          |                   |             |          | 1        |     |                   |                   |             |                  |          | 9         | 3        |                | 3   | 3              |          |
| 총계                   | -                            | 126         | 81              | 36       | 39                | 18          | 18       | 45       | 54  | 90                | 3                 | 42          | 27               | 36       | 189       | 63       | 39             | 84  | 81             |          |
| 가중치                  | -                            | 11.8        | 7.6             | 3.4      | 3.6               | 1.7         | 1.7      | 4.2      | 5.0 | 8.4               | 0.3               | 3.9         | 2.5              | 3.4      | 17.6      | 5.9      | 3.6            | 7.8 | 7.6            |          |

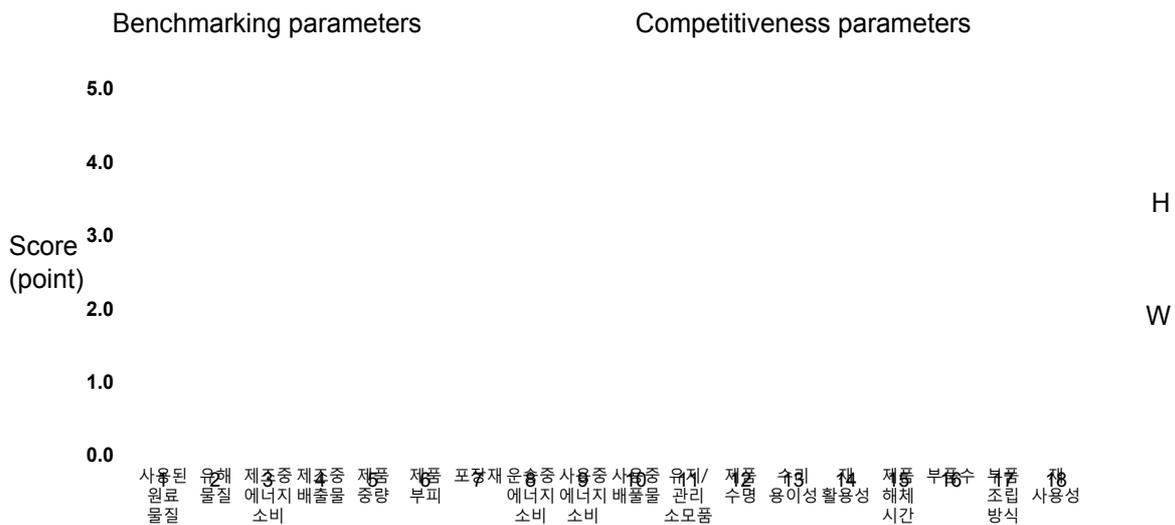


Fig. 5. Environmental benchmarking and competitiveness parameters of electric fan heaters

### 3.5. 개선 대상 부품

스탠드형 전기 온풍기의 개선대상 부품 파악을 위한 QFDE 수행 결과, 열판부와 구동부(모터)의 개선이 필요한 것으로 파악되었다. QFDE 1단계 수행 결과 Table 5와 같은 5가지 제품의 주요 특성과 7가지 개선 대상 환경성 parameter들을 대상으로 총 12가지 제품 특성에 대해 가중치가 산출되었다. 스탠드형 전기 온풍기의 구성 부품 중 개선 대상 부품을 선정하기 위해, QFDE 1단계에서 산출된 가중치를 사용하여 QFDE 2단계를 수행한 결과 Table 6과 같이 구동부(18.0점)와 열판부(18.4점)가 선정되었다.

Table 5. Quality Function Deployment for Environment I (QFDE I)

|         |                           | 제품 특성('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터') |     |     |          |     |           |             |       |             |        |      |      |  |
|---------|---------------------------|------------------------------------|-----|-----|----------|-----|-----------|-------------|-------|-------------|--------|------|------|--|
| QFDE I  | 중요도                       | 온도 변화율                             | 풍속  | 풍량  | 풍향 조절 범위 | 소음  | 사용된 원료 물질 | 제조 중 에너지 소비 | 제품 중량 | 사용 중 에너지 소비 | 수리 용이성 | 재활용률 | 재사용성 |  |
| 정부-환경단체 | 유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등) | 9                                  |     |     |          |     | 9         |             |       |             |        |      |      |  |
|         | 에너지 절약 (EuP 등)            | 9                                  | 9   | 3   | 3        | 3   |           | 3           |       | 9           |        |      |      |  |
|         | 재활용률 증가(WEEE 등)           | 9                                  |     |     |          |     | 3         |             |       |             |        | 9    | 9    |  |
| 기업      | 원재료물질량 절감                 | 0                                  |     |     |          |     |           |             |       |             |        |      |      |  |
|         | 생분해성 물질량 증가               | 3                                  |     |     |          |     | 3         |             | 3     |             |        |      |      |  |
| 소비자     | 제품 내구성 향상                 | 3                                  |     |     |          |     | 9         |             |       |             |        | 9    |      |  |
|         | 유해 물질 배출 감소               | 3                                  | 3   | 1   | 1        | 1   | 3         | 3           |       | 3           | 3      |      |      |  |
|         | 운송의 최적화                   | 9                                  |     |     |          |     | 3         |             |       |             |        |      |      |  |
|         | 수리 용이성 향상                 | 3                                  |     |     |          |     |           |             | 3     |             |        |      |      |  |
|         | 폐기 용이성 향상                 | 3                                  |     |     |          |     |           |             |       |             | 9      |      |      |  |
| 총계      | 9                         |                                    |     |     |          | 3   |           |             |       |             | 9      |      |      |  |
| 가중치     | -                         | 90                                 | 30  | 30  | 3        | 30  | 207       | 36          | 18    | 90          | 36     | 189  | 81   |  |
|         | -                         | 11.9                               | 4.0 | 4.0 | 0.4      | 4.0 | 27.3      | 4.7         | 2.4   | 11.9        | 4.7    | 24.9 | 10.7 |  |

Table 6. Quality Function Deployment for Environment II (QFDE II)

|                                     |             | 제품 구성 부품 |       |       |       |       |        |       |       |       |  |
|-------------------------------------|-------------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--|
| QFDE II                             | 가중치         | 포장재      | 구동부   | 흡입부   | 송풍부   | 열판부   | 외관 케이스 | 스위치   | 나사    |       |  |
| 제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터') | 온도 변화율      | 11.9     |       | 3     | 1     | 3     | 9      | 1     |       |       |  |
|                                     | 풍속          | 4.0      |       | 9     | 3     | 3     |        |       |       |       |  |
|                                     | 풍량          | 4.0      |       | 3     | 3     | 9     |        |       |       |       |  |
|                                     | 풍향 조절 범위    | 0.4      |       |       |       | 9     |        | 1     |       |       |  |
|                                     | 소음          | 4.0      |       | 9     |       | 3     |        |       | 3     |       |  |
|                                     | 사용된 원료 물질   | 27.3     | 3     | 3     | 1     | 1     | 3      | 3     | 1     | 1     |  |
|                                     | 제조 중 에너지 소비 | 4.7      |       | 9     | 1     | 1     | 3      | 1     | 1     |       |  |
|                                     | 제품 중량       | 2.4      | 3     | 9     | 3     | 3     | 3      | 9     | 1     | 1     |  |
|                                     | 사용중 에너지 소비  | 11.9     |       | 3     |       |       | 9      |       |       |       |  |
|                                     | 수리 용이성      | 4.7      |       | 3     | 3     | 1     | 1      |       | 9     | 9     |  |
|                                     | 재활용률        | 24.9     | 3     |       | 3     | 3     |        | 3     | 3     | 3     |  |
|                                     | 재사용성        | 10.7     |       |       |       | 3     |        | 3     |       |       |  |
|                                     | 총계          | -        | 163.6 | 314.2 | 163.6 | 249.0 | 321.3  | 226.9 | 151.8 | 158.9 |  |
| 가중치                                 | -           | 9.4      | 18.0  | 9.4   | 14.2  | 18.4  | 13.0   | 8.7   | 9.1   |       |  |

### 3.6. 전략 및 과업 도출

본 연구는 Table 7과 같이 친환경적이면서 경쟁력 향상과 벤치마킹이 필요한 개선대상 parameter 별 친환경적 개선전략과 과업을 수립하였으며, 이들 과업에 대해 경쟁력 향상을 위한 24가지의 해결방안과 벤

치마킹을 통한 15가지의 해결방안을 제안하였다. 예를 들어, 환경성 측면에서는 사용 중 에너지 효율을 높이기 위해 외부에서 유입된 공기가 열판부를 여러 번 통과하도록 wind guide 구조를 개선할 수 있으며, 사용성 측면에서는 사용자가 원하는 적정 온도와 시간을 설정하기 위하여 다양한 단계의 온도 조절과 사용시간 설정 기능이 추가될 수 있다.

Table 7. Solutions for Product Competitiveness Improvement by Benchmarking Parameter

| 개선대상 환경성 파라미터      | 친환경 제품설계 개선전략           | 과업                             | 해결방안   |                           |                                 |
|--------------------|-------------------------|--------------------------------|--|---------------------------|---------------------------------|
|                    |                         |                                | 1  | 2                         | 3                               |
| 사용중 에너지소비 (경쟁력 향상) | 사용 중 에너지 낭비를 감소 (사용자)   | 고객의 조절 자유도 부여                  | 온도 조절 기능 추가 (조절 단계의 세분화 / 온도 자체 설정)                  | 사용 시간 설정 기능 추가            | 풍속 조절 기능 추가                     |
|                    |                         | 온풍기 자체의 에너지 조절 기능 추가           | 전자식 온도 센서 적용   | 바이메탈 온도 센서 적용             | 강자성 물질의 퀴리온도를 이용한 센서 적용         |
|                    | 사용 중 에너지 사용 효율 극대화 (제품) | 윈드 가이드 구조 및 재질 개선              | 바람이 열판을 여러번 통과하도록 구조 설계                              | 윈드 가이드 재질을 단열재로 사용        |                                 |
|                    |                         | 열판부 구조 및 재질 개선                 | 열판부 주위의 열이 빠져나가지 않도록 단열재 설치                          | 팬 자체를 열판으로 만들어서 부품의 개수 감소 | 소비 전력이 적은 열판을 여러 개 사용 (강, 약 조절) |
|                    | 효율적 온풍 방향 디자인           | 송풍구 위치를 사용자의 발이 따뜻해 질 수 있도록 위치 | 자바라 형태로 송풍구를 설계하여 온풍의 집중도를 향상                        |                           |                                 |
| 수리용이성 (경쟁력 향상)     | 고장 부품 탐색 과정의 단순화        | 제품 구조의 단순화                     | 분해 과정을 고려하여 제품을 모듈화하여 설계하고 모듈별로 조립하도록 함              |                           |                                 |
|                    |                         | 고장 부품 확인의 용이성 향상               | 고장 증상에 따라 바이하는 부품들을 설명하는 설명서와 이를 쉽게 찾을 수 있도록 칼라코딩 실시 |                           |                                 |
|                    | 고장 부품의 수리 용이성 향상        | 제품 분해/조립 용이성 향상                | 나사를 쓰지 않고 부품 간 연결 부분의 구조만으로도 결합할 수 있는 방식으로 조립        | 부품간 접촉부의 사용을 억제           |                                 |
| 재사용성 (경쟁력 향상)      | 제품의 재사용률 향상             | 제품의 사용 모드 다양화                  | 열판부의 On/Off를 통해 여름에도 선풍기로 사용 가능하도록 조취                | 잔열을 이용하여 가습기로 활용          |                                 |
|                    | 부품의 재사용성 향상             | 표준화 된 부품 사용률 향상                | 표준화 된 부품 사용률 향상                                      | 동일사 제품 군 내에서는 부품 통일       |                                 |
|                    | 포장재의 재사용성 향상            | 포장재 회수 용이 프로세스 설계              | 플러그 등을 분리하여 다른 제품에도 사용할 수 있도록 디자인                    | packing 용이한 포장재 구조        |                                 |
| 제품중량 (벤치마킹)        | 제품의 부피 최소화              | 제품 내 부품들의 레이아웃 디자인 변경          | 윈드 가이드 규격 축소   | 열판 규격 축소                  | 팬 규격 축소                         |
| 사용된 원료물질 (벤치마킹)    | 제품 관련 원료 물질 종류의 최소화     | 원료 물질 종류의 통일                   | 내장, 외장 플라스틱, 나사 재질 통일                                |                           |                                 |
|                    | 제품 관련 원료 물질의 환경성 향상     | 생분해성 원료 물질 사용                  | 복차 플라스틱 사용   | 옥수수 플라스틱 사용               |                                 |
|                    | 포장재 재질의 환경성 향상          | 원료 물질의 사용 중량 감소                | 비중이 가벼운 재질 사용  |                           |                                 |
|                    |                         | 친환경 포장재 사용                     | 종이 재질 포장재 사용   | 생분해성 포장재 사용               |                                 |
|                    | 포장재 중량 감소               | 벌집 구조 골판지 사용                   |  |                           |                                 |
| 제조중 에너지소비 (벤치마킹)   | 제조 중 가공에 필요한 에너지 감소     | 부품수 절감                         | 본체와 일체형의 윈드가이드                                       | 일체형 본체                    | 나사 결합 부위 최소화                    |
|                    |                         | 부품 조립 방식 개선                    | 비나사식 조립 구조 설계  | 장식용 구조 제거                 |                                 |
| 재활용률               | 재활용품 분리 용이성 향상          | 복합 재료 사용률 감소                   | 코팅 플라스틱 사용 줄이기                                       |                           |                                 |
|                    | 재활용품 분류 용이성 향상          | 부품 별 재활용 분류 마크 표시              | 눈에 잘 보이는 마크 사용                                       | 큰 부품과 작은 부품의 재질 통일        | 재질 표기 한글화                       |
|                    |                         | 부품 재질의 통일                      | 플라스틱, 합 등 사용 재질 통일                                   |                           |                                 |
| [추가] 소비자 이해도       | 예고 관련 소비자 이해도 향상        | 에너지 효율과 연관된 정보 추가 제공           | 전기 사용료, 탄소 배출량 표기                                    | 온풍기 적정 설치 위치/방식 제공        |                                 |

### 3.7. 개념 설계

본 연구는 선정된 해결방안을 활용하여 제품의 사용 중 경제성 확보를 위한 에너지 효율 극대화 와 안전성 추구를 위한 환경 영향 최소화를 설계 개념으로 수립하였다. 첫째, 에너지 효율 극대화는 소비 전력이 낮은 열원을 사용, 온풍기의 잔열을 활용, 온풍기의 실시간 전기 사용량 표시 등을 통하여 에너지를 효율적으로 활용하면서 사용자 본인이 사용한 전기요금 파악할 수 있도록 하는 개념 이다(Fig. 6 참조).



Fig. 6. Concept for improvement of energy efficiency

둘째, 환경 영향 최소화는 스탠드형 전기 온풍기 제조과정에서 친환경 자재 비율 향상, 유해물질의 사용량 감소, 자동 온/습도 조절, 저소음을 제공 등을 통해 사용자의 온풍기 사용 환경이 건강하게 되도록 하는 개념이다(Fig. 7 참조).

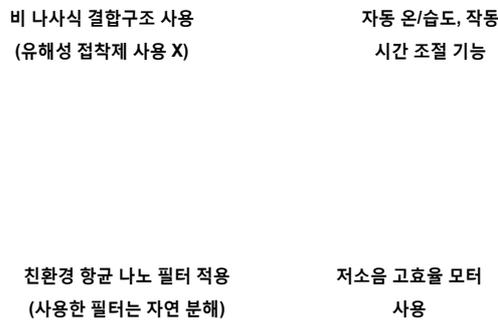


Fig. 7. Concept for reduction of environment impact

#### 4. 토의

본 연구는 겨울철 대표적 실내 난방 기구인 전기 온풍기에 대해 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면의 전과정 평가를 수행하여 친환경적이면서 시장경쟁력을 갖춘 제품으로 개선하기 위한 설계 개념을 제안하였다. 기존 친환경적 제품 디자인을 위한 연구들<sup>10), 11)</sup>은 전과정 평가를 수행하여 주로 원재료 취득 또는 제조 단계에서의 원재료나 구성 부품 변경과 제품을 제작하는 공정 개선 등을 제안해왔다. 본 연구는 친환경적 제품 설계에서 사용되는 전과정 평가에 앞서 제품의 성능과 사용성 평가를 선행하여, 전과정 평가의 친환경적 개선 전략 및 과업 도출과 개념 설계 단계에서 시장경쟁력을 보다 강화시킬 수 있는 설계 개념을 도출에 다각적으로 활용하였다. 예를 들면, 스탠드형 전기 온풍기는 사용 단계에서 탄소 배출량 (4,464 kg-CO<sub>2</sub>-eq.)이 가장 많은 것으로 파악되었는데(Fig. 4 참조), 이를 개선하는 방안으로 구동부와 열판부의 에너지 효율을 높이는 것도 하나의 방안이 될 수 있으나 온도 조절을 다양하게 함으로써 사용자가 사용 단계에서 에너지 소비를 줄일 수 있도록 하는 것도 또 다른 효율성 향상 방안이 될 수 있다.

본 연구에서 제안된 설계 개념들은 사용 단계에서 에너지 소비가 많은 제품들의 친환경적 개선에 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구는 사용 단계에서 에너지 소비가 많은 스탠드형 전기 온풍기의 친

환경적 제품설계 개선 전략, 과업, 그리고 해결 방안을 Table 7과 같이 체계적으로 제안하였다. 예를 들면, 스탠드형 전기 온풍기의 사용 중 에너지 소비율을 감소시키기 위해서는 고객의 온도 조절 자유도 부여, 온풍기 자체의 에너지 조절 기능 등의 과업이 도출될 수 있다. 그리고 각 과업에 대한 해결방안으로 온도 또는 사용 시간 조절 기능 추가, 전자식 온도 센서 탑재 등의 구체적인 해결방안들이 선정될 수 있다. 따라서, 사용단계에서 에너지 소비가 많은 제품들에 대하여 Table 7에 나타난 것과 같은 개선전략, 과업, 그리고 해결방안들이 적절히 활용된다면 친환경적이면서 효과적인 개선 방안을 수립하는데 도움을 줄 수 있다.

본 연구에서 제안된 설계 개념에 대하여 성능, 사용성, 그리고 친환경성 측면에서 개선효과가 정량적으로 검증될 필요가 있다. 사후 분석 결과, 본 연구에서 제안된 설계 개념을 적용하여 동일한 에코디자인 프로세스를 적용해 본 결과, 탄소배출량 15.3% 감소, 사용 중 에너지 소비량 20% 절감, 온도 및 시간 조절 용이성 30% 향상 그리고 제품원가 4% 절감 등의 효과가 나타났다.

## 사사

이 논문은 2012년 환경부의 에코디자인 전문인력양성사업(2012-4.0007076.01)에 의하여 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 1) 박태준, 전풍일, “에너지 소비에 따른 지구온난화 문제와 각국의 대응전략”, 과학기술부와 한국과학기술정보연구원, 1(1), 4 ~ 7(2005).
- 2) 한국에너지기술연구원, “국제 에너지현황 및 수소에너지 연구개발 동향”, 수소정책동향보고서, 1(1), 1 ~ 66(2007).
- 3) 장현숙, “2012년 주목해야 할 국제환경규제와 기업 대응전략”, *Trade Focus*, 11(10), 1 ~ 38(2012).
- 4) Haas, G., Wetterich, F., Köpke, U., “Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment”, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1-2), 43 ~ 53(2001).
- 5) Ben-gal, I., Katz, R., and Bukchin, Y., “Robust eco-design: A new application for air quality engineering”, *IIE Transactions*, 40, 907 ~ 918(2008).
- 6) 지식경제부, “난방용 전력소비를 줄여, 겨울철 전력난을 극복한다.”, (2011).
- 7) 환경산업기술원, “에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼(에어컨편)”, (2010).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) 정현창, 김영운, 조인식, “삼푸의 전과정평가에 관한 연구”, 한국전과정평가학회, 7(1), 57 ~ 62(2006).
- 11) 황태연, 윤성이, “식품산업에 있어서 포장두부의 전과정평가 사례연구”, 한국유기농학회지, 15(3), 277 ~ 290(2007).