

성능, 사용성, 환경성 평가를 통한 소형온풍기 설계안 개발 사례

이백희 · 유희천[†]

포항공과대학교 기계산업공학부

A Case Study of Eco-Design for a Small-Size Electric Heater by Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments

Baekhee Lee · Heecheon You

Department of Industrial and Management Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

Life-cycle assessment (LCA) is often employed to quantify the environmental impact of a product in a comprehensive manner. The aspects of performance and usability as well as that of eco-friendliness should be considered in an integrated manner for the market competitiveness of an eco-friendly product. The present study developed a product improvement plan for an eco-friendly electric heater by benchmarking two small-size electric heaters (companies 'H' and 'T') in terms of performance, usability, and eco-friendliness. The performance measurements such as temperature, humidity, wind speed, noise, and power consumption were collected while the two heaters were operated in a laboratory setting. Then, the usability evaluations such as aesthetics, operation satisfaction, performance satisfaction, and overall satisfaction were surveyed for the two heaters using a 5-point scale (1 for very unsatisfied and 5 for very satisfied). Lastly, the LCA analysis was conducted by following the six-step process of eco-friendly product design provided by KEITI. The analysis results of the two products being integrated with the aspects of product, service, and user, four design improvement directions such as eco-efficient, smart, modularized, and user-support were recommended for an eco-friendly electric heater. These proposed concepts would be useful to develop an eco-friendly electric heater design with a high level of market competitiveness.

Keywords: Electric Heater, Eco-Design, Usability Test, Performance Test, Life-Cycle Assessment

1. 서론

친환경에 대한 사회적 관심이 증대됨에 따라 친환경적 제품 디자인의 중요성이 높아지고 있다. 친환경적 제품 디자인 (eco-friendly product design)이란 제품이 자연 생태계에 부정적 영향을 최소화 하도록 제품을 설계하는 것이다(Seo, 1998). 친환경적 제품 디자인 개발 시 에너지 사용 제품(예 : 온풍기)의 경우 에너지 미사용 제품(예 : 의자)에 비하여 환경에 무해한 원재료만의 사용이 어렵고, 사용 시의 환경에 미치는 영향이

지배적이기 때문에 보다 환경성을 고려하여 설계하는 것이 중요하다(Han and Song, 2010). 예를 들어, Chung *et al.*(2012)은 친환경적 전기 선풍기 설계를 위하여 원재료 획득 단계부터 폐기 단계까지 환경성을 평가하여 제품 개선 방안을 제안하였다.

제품이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 기법으로 전과정 평가(life-cycle assessment, LCA)가 활용되고 있다. 전과정 평가는 서비스를 포함한 제품의 전과정(원재료 획득, 운송, 사용, 폐기)에서 배출되는 에너지 및 물질의 양을 정량화하여 이들이 환경에 미치는 영향을 총체적으로 평가하고 환경개선 방안

본 논문은 2012년 환경부의 에코디자인 전문인력양성사업(2012-4.0007076.01)에 의하여 수행된 연구임.

[†] 연락처 : 유희천 교수, 790-784 경상북도 포항시 남구 청암로 77 포항공과대학교 산업경영공학과, Tel : 054-279-2210, Fax : 054-279-2820,

E-mail : hcyou@postech.ac.kr

2013년 5월 20일 접수; 2013년 7월 30일 1차 수정본 접수; 2013년 10월 14일 2차 수정본 접수; 2013년 12월 16일 게재 확정.

을 모색하는 환경영향평가 기법이다(ISO 14040, 2006). 전과정 평가는 유리병, 캔, 플라스틱 등의 포장용기 에서부터 스마트폰과 같은 복잡한 모바일 기기까지 모든 제품에 대해 적용될 수 있다(KSWM, 2005; Lee *et al.*, 2012a). 그러나 전과정 평가는 환경에 미치는 영향을 평가함에 있어 객관적인 정보(예 : 부품 재질, 중량)를 상당 부분 사용하나 평가자의 주관적 판단(예 : 이해관계자 요구사항의 중요성, 제품 구성 부품과 제품 특성 간의 연관성)에 의해 정량화하는 부분이 많으며 평가에 상당한 시간이 소요되는 한계가 있다.

친환경적 제품 디자인 개발 시 환경성을 고려하는 전과정 평가가 주로 적용되나 제품의 성능 및 사용성 측면도 함께 고려하는 것이 필요하다. 예를 들면, Kim *et al.*(2009)은 유리병 재사용에 대한 전과정 평가를 수행한 결과 원재료 획득 단계에서 규산나트륨(원료 개선 요구도 : 46%)의 사용과 제조 단계에서 신병제조 공정(공정 개선 요구도 : 71%)이 환경에 가장 큰 영향을 준다는 것을 파악하고 친환경적 개선 방법을 제안하였다. 이러한 전과정 평가는 환경성 측면의 해결 방안을 모색하는 기법으로 유용하게 활용되는데, 이와 더불어 제품의 성능(performance)이나 사용성(usability) 측면을 병행하여 제품 평가 및 개선안이 모색된다면 친환경적이면서 시장 경쟁력이 높은 제품을 개발하는데 보다 효과적일 수 있다(Lee *et al.*, 2012b; Na *et al.*, 2008).

본 연구는 디자인이 상이한 두 개의 소형온풍기를 대상으로 제품의 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면에서 비교 평가하여, 시장 경쟁력을 갖춘 신규 친환경 소형온풍기 개발 방안을 파악하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 <Table 1>과 같이 두 가지 소형 전기온풍기(H사, T사)를 평가하였다. 두 가지 소형온풍기는 3만 원 후반대로서 소비전력은 유사하나 크기와 중량 측면에서 상이하였다. 본 연

Table 1. Specifications of small electric heaters

	Company H	Company T
Illustration		
Power	1,200W	1,200W
Voltage	220V/60Hz	220V/60Hz
Size	316×167×358mm	170×80×210mm
Weight	2.7kg	2.2kg

구는 성능과 사용성 평가를 수행한 후 친환경적 디자인 절차(KEITI, 2010)에 따라 전과정 평가를 수행하였다. 제품 성능은 온도, 습도, 풍속, 소음, 그리고 전력량 측면에서 평가되었다. 또한, 제품 사용성은 심미성, 운용 만족도, 성능 만족도, 그리고 전반적 만족도에 대하여 5점 척도를 사용하여 평가되었다.

2.1 성능 평가

본 연구에서는 H사와 T사 온풍기의 제품명세서를 참고하여 두 가지 온도조절 수준(약, 강)에 대하여 온도, 습도, 풍속, 소음, 그리고 전력량이 측정되었다. 온도, 습도, 풍속, 소음은 소형온풍기의 사용 환경을 고려하여 열판 전방 30cm거리에서 온도가 증가하여 충분히 안정화 될 수 있는 10분 동안 측정되었다. 온도, 습도, 풍속 측정에는 디지털풍속계(VT120, Dywer instruments, Inc., USA)가 사용되었으며, 소음 및 전력량은 소음측정기(SL-4001, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taiwan)와 전력측정기(PM-B200-S, Dawon DNS Co., Ltd., Korea)가 각각 사용되었다.

2.2 사용성 평가

소형온풍기의 사용성은 Han *et al.*(2001)의 사용성 평가 기준 중 온풍기 평가에 적합한 심미성, 운용 만족도(단순성, 정보 제공성, 사용자 지원성, 조작 용이성, 사용 안전성), 성능 만족도(소음, 온도, 습도, 풍속), 그리고 전반적 만족도에 대하여 평가되었다. 제품의 사용성은 에코디자인 특성화 프로그램의 인간공학 전공 대학원생 4명이 소형온풍기를 사용해 보고 5점 척도(1점 : 매우 불만족, 3점 : 보통, 5점 : 매우 만족)를 사용하여 평가되었다.

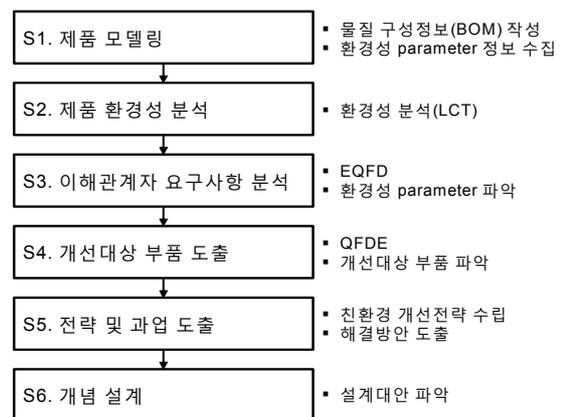


Figure 1. Eco-friendly product design process(KEITI, 2010)

2.3 전과정 평가

본 연구의 소형온풍기에 대한 전과정 평가는 <Figure 1>과 같은 여섯 단계의 친환경적 제품 디자인 절차(KEITI, 2010)에

의해 진행되었으며, 각 단계에 대한 세부사항은 아래와 같다.

(1) 제품 모델링

제품 모델링 단계에서는 소형 온풍기를 분해하여 원재료의 명칭, 종류, 재질, 중량, 개수 등의 정보를 포함한 자재명세서 (bill of materials, BOM)를 작성하며, 이를 기반으로 Equation (1) 과 Equation (2)와 같은 지구온난화 지수(global warming potential, GWP)와 재활용가능률(recyclability rate, RCR)을 산출한다.

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

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

GWP_i = GWP of component i

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

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

RCR_i = recycling rate of component i

(2) 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석 단계에서는 제품 전과정을 통해 제품이 환경에 부정적인 영향을 미치는 정도를 파악하기 위하여 전과정의 각 단계별로 kg CO₂-eq.를 산출하는 전과정 사고(life-cycle thinking, LCT)가 적용된다. LCT에서는 원재료취득, 제조, 운송, 사용, 그리고 폐기의 각 단계에서 원재료, 에너지, 배출물, 폐기물, 그리고 재활용 측면에서의 kg CO₂-eq.를 종합한다.

(3) 이해관계자 요구사항 분석

환경성 parameter 도출을 위하여 환경 품질기능 전개(environmental quality function deployment, EQFD; Masui *et al.*, 2001) 기법을 사용하여 높은 점수를 부여 받은 개선대상 환경성 parameter를 파악한다(<Table 4> 참조). 먼저, 이해관계자 요구사항 분석 단계에서는 소형온풍기 이해관계자(기업, 정부-환경단체, 소비자)의 요구사항을 적시한다. EQFD에서는 이해관계자 요구사항(예 : 원재료 비용절감)별로 중요도(1점 : 중요하지 않음, 3점 : 중요함, 9점 : 매우 중요함)를 평가하고, 이해관계자 요구사항과 전과정 각 단계의 환경성 parameter들(예 : 유해물질, 재활용률)과의 상관정도(1점 : 약간 관계있음, 3점 : 관계있음, 9점 : 매우 관계있음)를 평가하고, Equation (3)을 이용하여 환경성 parameter별 가중치를 산출한다.

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

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

(4) 개선대상 부품 도출

개선대상 부품 도출 단계에서는 품질환경기능 전개(quality function deployment for environment, QFDE; Masui, 2002) 기법을 사용하여 환경성 측면의 중요도가 높은 부품을 선정한다 (<Table 5>, <Table 6> 참조). QFDE I에서는 이해관계자 요구사항에 대하여 개선대상 환경성 parameter와 제품의 주요특성(예 : 중량, 부피)간의 상관정도를 평가하고, 개선대상 환경성 parameter와 제품의 주요특성별 가중치를 Equation (3)을 사용하여 산출한다. QFDE II에서는 개선대상 환경성 parameter, 제품의 주요특성과 소형온풍기 구성 부품(예 : 열판부, 필터)간의 상관정도를 평가하고, 부품별 가중치를 Equation (3)을 사용하여 산출한다.

(5) 전략 및 과업도출

전략 및 과업도출 단계에서는 환경성 parameter별로 과업 및 해결방안을 도출한다. 본 단계에서는 개선대상 환경성 parameter와 사용성 parameter(예: 정보 제공성, 조작 용이성)별 친환경 제품설계 전략을 설정하고, 이에 따른 세부적인 과업과 해결방안을 도출한다(<Table 7> 참조).

(6) 개념설계

개념설계 단계에서는 개선대상 환경성 parameter와 사용성 parameter의 해결방안들을 다양하게 조합하여 최적의 개념설계를 파악한다. 본 단계에서는 파악된 환경성 측면의 해결방안들과 성능 및 사용성 평가를 통하여 파악된 개선방안들을 함께 고려하여 친환경적 소형온풍기 개념설계를 파악한다.

3. 결과

3.1 성능

전반적으로 T사 제품은 H사 제품보다 온도와 전력량은 높고, 풍속과 소음은 낮았으며, 습도는 유사한 것으로 나타났다 (<Table 2> 참조). 온도는 ‘강’인 경우 T사 제품(67.9°)이 H사 제품(55.6°) 보다 12.3° 높게 나타난 반면, ‘약’인 경우 T사 제품(31.7°)이 H사 제품(34.4°)보다 2.7° 낮은 것으로 파악되었다. 습도는 두 제품 모두 ‘강’인 경우(T사 : 12.0%, H사 : 10.1%)가 ‘약’인 경우(T사 : 1.5%, H사 : 3.4%)보다 T사 제품은 8배, H사 제품은 3배정도 낮았다. 풍속은 ‘강’과 ‘약’에 관계없이 H사 제품(강 : 2.3m/s, 약 : 2.1m/s)이 T사 제품(강 : 0.2m/s, 약 : 0.2m/s)보다 11배 정도 높은 것으로 나타났다. 소음은 ‘강’과 ‘약’에 관계없이 H사 제품(강 : 66.3dB, 약 : 62.4dB)이 T사 제품(강 : 46.3dB, 약 : 46.1dB)보다 1.4배 정도 높은 것으로 분석되었다.

마지막으로, 전력량은 ‘강’의 경우(T사 : 1,240W, H사 : 1,190W)가 ‘약’의 경우(T사 : 930W, H사 : 570W)보다 일정하게 높은 것으로 나타났다.

Table 2. Performance comparison results

Item	Level	Company H	Company T
Temperature (°)	H	55.6	67.9
	L	34.4	31.7
Humidity (%)	H	10.1	12.0
	L	3.4	1.5
Wind speed (m/s)	H	2.3	0.2
	L	2.1	0.2
Noise level (dB)	H	66.3	46.3
	L	62.4	46.1
Electric energy (W)	H	1,190	1,240
	L	570	930

3.2 사용성

H사 제품은 T사 제품보다 사용 안전성, 온도 만족도, 그리고 풍속 만족도 측면에서 1점 이상 높게 평가되었으며(<Figure 2> 참조), 이는 4명에 의한 평가 결과로서 평가된 소형온풍기 사용성에 대한 일반적인 결론이 될 수는 없다. 사용 안전성은 H사 제품(3.5점)이 T사 제품(2.3점)보다 1.2점 높게 평가되었는데, 이는 T사 제품의 온도 조절버튼이 열판으로부터 3cm 정도 하단에 위치하여 다소 위험할 수 있기 때문으로 파악되었다. 온도 만족도는 ‘강’과 ‘약’의 경우 H사 제품(강 : 3.5점, 약 : 3.8점)이 T사 제품(강 : 2.8점, 약 : 1.8점)보다 각각 0.7점, 2.0점 높게 평가되었는데, 이는 H사 제품이 가열된 공기를 퍼뜨려주는 방식을 사용하기 때문인 것으로 파악되었다. 풍속 만족도는 ‘강’과 ‘약’의 경우 H사 제품(강 : 3.5점, 약 : 4.0점)이 T사 제품(강 : 2.8점, 약 : 2.3점)보다 각각 0.7점, 1.7점 높았으며, 이는 H사 제품이 가열된 공기를 상하좌우로 분산시키는 fan을 사용하기 때문인 것으로 파악되었다. 한편, 전반적 만족도는 H사

와 T사 제품 모두 3.5점으로 차이가 없었다.

3.3 전과정 평가

(1) 제품 모델링

H사 제품의 RCR은 T사 제품보다 5% 높게 나타났으나, GWP는 1.2배 정도 높은 것으로 파악되었다. 제품 분해 결과, H사 제품의 부품 수(68개)는 T사 제품(60개)보다 8개 많은 것으로 파악되었다. 예를 들어, <Table 3>은 T사 제품을 분해하여 파악한 자재명세서를 보여주는데, 자재명세서로부터 산출된 H사 제품의 재활용가능률은 79%로 T사 제품의 74%인 보다 5% 높은 것으로 나타났다. 또한, H사 제품의 지구온난화지수(kg CO2-eq.)는 84.3로 T사 제품의 72.8보다 11.5만큼 높은 것으로 파악되었다. 한편, H사 제품은 분해가 용이하지 않도록 완전 접합된 부품들(예 : 모터-팬 결합체)을 포함하고 있는 것으로 파악되어 제품 폐기 단계에서의 환경성이 낮은 것으로 분석되었다.

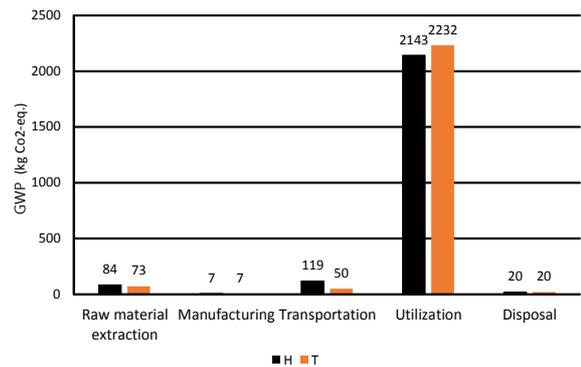


Figure 3. Global warming potential(GWP) by life-cycle phase

(2) 제품 환경성 분석

H사와 T사 제품은 전과정 중 사용 단계에서의 탄소배출량이 가장 높은 것으로 파악되었다(<Figure 3> 참조). 원재료취득 단계에서는 H사 제품의 탄소배출량(84kg CO2-eq.)이 T사 제품

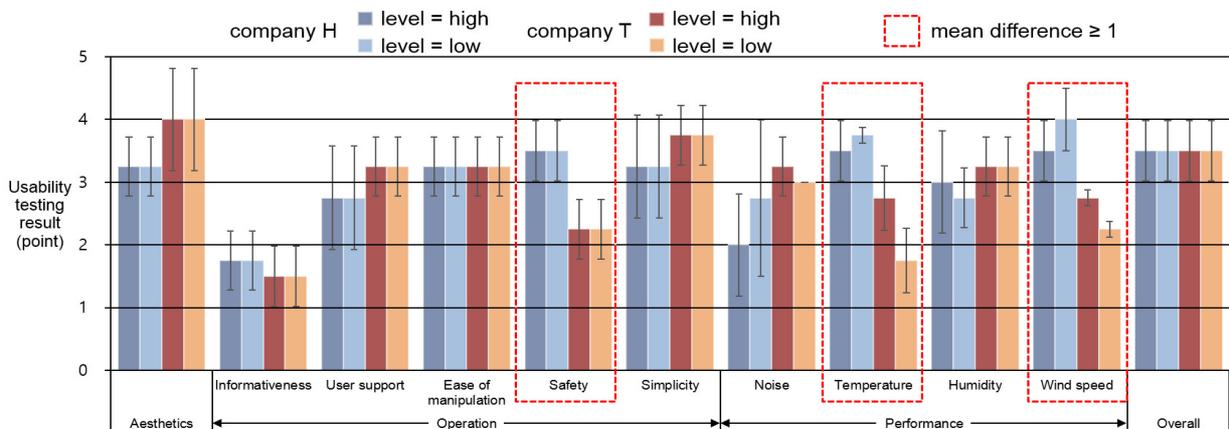


Figure 2. Usability testing results(mean ± SD)

Table 3. Bill of material (BOM) : company T's electric heater

No.	Decomposition unit						Component name	Mass[g]	Material name	GWP [kg CO2-eq.]	RCR[%]
	0	1	2	3	4	5					
1	0						온풍기	1471.2		0.00	0%
2		1					포장재	290.0		0.00	0%
3			2				포장재-종이박스	151.0	Paper, waste paper below 50%(폐지 50% 미만 함유)	0.25	95%
4			2				포장재-비닐팩	14.2	PP(poly propylene)	0.03	85%
5			2				포장재-완충재	96.8		0.00	0%
6				3			완충재-스티로폼	0.0	PS(Polystyrene)	0.00	85%
7				3			완충재-종이	96.8	Paper, waste paper below 50%(폐지 50% 미만 함유)	0.16	95%
8			2				포장재-매뉴얼	26.5	Paper, virgin fiber(인쇄용지)	0.03	95%
9			2				포장재-속지	0.0	Paper, waste paper below 50%(폐지 50% 미만 함유)	0.00	95%
10			2				포장재-노끈	1.0	PE(Polyethylene)	0.00	85%
11			2				포장재-제품고정용끈	0.5		0.00	0%
12				3			제품고정용끈-퍼폭	0.3	Rubber, EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	0.00	0%
13				3			제품고정용끈-철	0.2	Steel Cord(강선)	0.00	98%
14		1					본체	1181.2		0.00	0%
15			2				본체-필터커버	22.2		0.00	0%
16				3			필터커버-본체	21.0	PP(poly propylene)	0.04	85%
17				3			필터커버-필터	1.2	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00	85%
18			2				본체-다이얼	27.7		0.00	0%
19				3			다이얼-본체	8.9	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.03	85%
20				3			다이얼-제어부	17.5	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.05	85%
21				3			다이얼-나사(2개)	1.3	Steel Cord(강선)	0.00	98%
22			2				본체-뒷면	237.4		0.00	0%
23				3			뒷면-본체	101.9	PP(poly propylene)	0.20	85%
24				3			뒷면-전원선고정장치	2.0	PP(poly propylene)	0.00	85%
25				3			뒷면-나사(2개)	1.3	Steel Cord(강선)	0.00	98%
26				3			뒷면-전원선	132.2	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	61.08	35%
27			2				본체-나사(4개)	4.4	Steel Cord(강선)	0.01	98%
28			2				본체-앞면	889.5		0.00	0%
29				3			앞판-본체	230.8	PP(poly propylene)	0.46	85%
30				3			앞판-팬	76.5		0.00	0%
31					4		팬-본체	75.3	PP(poly propylene)	0.15	85%
32					4		팬-팬전선(1개)	1.2	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	0.55	35%
33				3			앞판-팬고정장치(2개)	5.3	PP(poly propylene)	0.01	85%
34				3			앞판-팬고정장치나사(2개)	1.4	Steel Cord(강선)	0.00	98%
35				3			앞판-팬가이드	44.5	PP(poly propylene)	0.09	85%
36				3			앞판-팬가이드나사(4개)	4.4	Steel Cord(강선)	0.01	98%
37				3			앞판-덤프스위치	41.6	PP(poly propylene)	0.08	85%
38				3			앞판-덤프스위치나사(3개)	4.0	Steel Cord(강선)	0.01	98%
39				3			앞판-덤프스위치베어링(1개)	0.3	Steel Cord(강선)	0.00	98%
40				3			앞판-열판	210.6		0.00	0%
41					4		열판-본체	164.0	Aluminum sheet(알루미늄판)	1.70	11%
42					4		열판-열판가이드	45.7		0.00	0%
43					5		열판가이드-본체	29.7	PP(poly propylene)	0.06	85%
44					5		열판가이드-저항	16.0		0.00	0%
45						6	저항-본체	5.9	PCB(Printed circuit board)	0.06	20%
46						6	저항-전선(갈색)(2개)	10.1	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	4.67	35%
47					4		열판가이드-나사(2개)	0.9	Steel Cord(강선)	0.00	98%
48				3			앞판-운영기관	8.1		0.00	0%
49					4		운영기관-본체	6.4	PCB(Printed circuit board)	0.07	20%
50					4		운영기관-전선(검은색)(1개)	1.7	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	0.79	35%
51					3		앞판-전원기관	2.9		0.00	0%
52					4		전원기관-본체	1.5	PCB(Printed circuit board)	0.02	20%
53					4		전원기관-전선(흰색)(1개)	0.4	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	0.18	35%
54					3		앞판-전원기관나사(1개)	1.0	Steel Cord(강선)	0.00	98%
55					3		앞판-트랜스포머	119.3		0.00	0%
56					4		트랜스포머-본체	116.3	Steel Cord(강선)	0.33	98%
57					4		트랜스포머-전선(붉은색)(2개)	2.3	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	1.06	35%
58					4		트랜스포머-전선(검은색)(2개)	0.7	Electric wire UL 1007/1569(전기선)	0.32	35%
59					3		앞판-트랜스포머나사(2개)	1.8	Steel Cord(강선)	0.01	98%
60					3		앞판-열판커버	121.5	PP(poly propylene)	0.24	85%
61					3		앞판-전면하단커버	15.5	PP(poly propylene)	0.03	85%
Total	1	2	12	30	12	2	2			72.79	74%

Table 4. Environmental quality function deployment(EQFD)

이해관계자 요구사항	환경성 parameter	중요도	원재료 사용		제품 제조				제품 운송				제품 사용				제품 폐기			
			사용된 원료 물질	유해물질	제조중 에너지 소비	제조중 배출물	제품중량	제품부피	포장재	운송중 에너지 소비	사용중 에너지 소비	사용중 배출물	유지/관리 소모품	제품수명	수리성	재활용률	분해 시간	부품 수	부품 체결 방식	재사용성
기업	원재료 비용 절감	3	9	9				3							3		3			
	가공 공정 비용 절감	3	3	9	9	3											3	3		
	물류비용 절감	1		3			9	9	9											
	인건비 절감	1		3			3	3									3	3		
	환경 관련 세금 절감	3	1	3		3									3					
정부·환경 단체	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	3	9	9		3					3									
	에너지 절약 (EuP 등)	9	1		9				3	9			3							
	재활용률 준수 (WEEE 등)	9	3											9					3	
	포장재질·포장방법 준수 (환경부령 392호)	3				3	3	9												
소비자	폐기물관리법 준수 (대통령령 제 22631호)	9	9	9		3	3	3				3			9					
	제품 내구성 향상	3	9									9	9						3	
	수리 용이성 향상	3								3		9							3	
	구매비용 절감	3								3										
	사용비용 절감	9								9										
	유지보수비용 절감	3								3		9	9							
	총계	-	210	177	108	54	57	75	54	45	180	36	54	81	54	180	27	30	21	27
가중치	-	14.3	12.0	7.3	3.7	3.9	5.1	3.7	3.1	12.2	2.4	3.7	5.5	3.7	12.2	1.8	2.0	1.4	1.8	

Table 5. Quality function deployment for environment I(QFDE I)

QFDE I	제품 특성('개선대상 환경성 parameter'+ '제품의 주요특성')												
	중요도	사용단계 에너지 소비	사용된 원료물질	유해물질	재활용률	제품중량	제품부피	포장재	부품 수	온풍 온도	온풍 속도	재사용성	
기업	원재료 비용 절감	3		9	9	3		3	3	3		3	
	가공 공정 비용 절감	3		3	9				3	3	3		
	물류비용 절감	1			3		9	9					
	인건비 절감	1			3		3	3					
	환경 관련 세금 절감	3		1	3	3							
정부·환경 단체	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	3		9	9								
	에너지 절약 (EuP 등)	9	9	1						9	9		
	재활용률 준수 (WEEE 등)	9		3		9						9	
	포장재질·포장방법 준수 (환경부령 392호)	3					3	3	9				
소비자	폐기물관리법 준수 (대통령령 제 22631호)	9		9	9	9	3	3				9	
	제품 내구성 향상	3		9									
	수리 용이성 향상	3	3								3		
	구매비용 절감	3							3				
	사용비용 절감	9	9							9	9		
	유지보수비용 절감	3	3										
	총계	-	99	174	174	99	45	63	27	27	99	90	90
가중치	-		10.0	17.6	17.6	10.0	4.6	6.4	2.7	2.7	10.0	9.1	

Table 6. Quality function deployment for environment II(QFDE II)

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	열판부	필터	모터	팬	케이스	스위치	포장재	
제품 특성 ('개선대상 환경성 parameter'+ '제품의 주요 특성')	사용단계-에너지 소비	10.0	9		9				
	사용된 원료물질	17.6	9	3		3	3	3	
	유해물질	17.6		3					
	재활용률	10.0	3	3	9	3	9	3	
	제품중량	4.6	1		3		1	3	
	제품부피	6.4	1		3	3	9	3	
	포장재	2.7						9	
	부품 수	2.7	3		3	1			
	온풍 온도	10.0	9		1	1			
	온풍 속도	9.1			9	9			
재사용성	9.1			9			9		
총계	-	388.4	135.9	395.7	157.8	205.2	205.2	222.5	
가중치	-	22.7	7.9	23.1	9.2	12.0	12.0	13.0	

(73kg CO₂-eq.)보다 11kg CO₂-eq. 높은 것으로 나타났는데, 이는 사용된 원재료의 종류와 개수의 차이에 따른 것으로 분석되었다. 운송 단계에서는 H사 제품의 탄소배출량(119kg CO₂-eq.)이 T사 제품(50kg CO₂-eq.)보다 2배 정도 높은 것으로 나타났는데, 이는 포장재를 포함한 제품 중량이 T사 제품(1,468g)보다 H사 제품(3,500g)이 2.4배 높기 때문인 것으로 파악되었다. 사용 단계에서는 H사와 T사 제품의 탄소배출량(kg CO₂-eq.)이 각각 2,143과 2,232으로 다른 단계들(원재료취득, 제조, 운송, 폐기)보다 최소 18배 이상 높은 것으로 분석되었는데, 이는 소형온풍기를 사용할 때 마다 에너지를 사용(예: ‘강’의 경우 시간당 1,200W)하기 때문이다. 한편, 제조와 폐기 단계의 경우 H사와 T사 제품의 탄소배출량(kg CO₂-eq.)이 각각 7과 20정도로 유사하게 파악되었다.

(3) 이해관계자 요구사항 분석

소형온풍기의 이해관계자 요구사항 분석 결과, 사용된 원료

물질, 사용 중 에너지 소비, 재활용률, 그리고 유해물질의 4가지 개선이 가장 중요한 것으로 나타났다(<Table 4> 참조). 소형온풍기 이해관계자의 요구사항은 에코디자인 특성화 프로그램의 인간공학 전공 대학원생 4명이 인터넷 검색을 통하여 유관 기사 및 문헌들을 바탕으로 파악되었다. 소형 온풍기의 이해관계자에 따른 요구사항은 15가지(기업: 원재료비용 절감, 가공공정비용 절감, 물류비용 절감, 인건비 절감, 환경관련세금 절감; 정부-환경단체: 유해물질 사용금지, 에너지 절약, 재활용률 준수, 포장 재질 및 방법 준수, 폐기물관리법 준수; 소비자: 제품 내구성 향상, 수리 용이성 향상, 구매비용 절감, 사용비용 절감, 유지보수비용 절감)로 선정되었다. EQFD 수행 결과, 원재료 사용단계의 사용된 원료물질(14.3점)의 개선이 가장 필요한 것으로 나타났으며, 사용 중 에너지 소비(12.2점), 재활용률(12.2점), 그리고 유해물질(12.0점) 순으로 개선이 필요한 것으로 나타났다.

Table 7. Solutions by eco-friendly and usability parameter

개선대상 parameter		제품설계 개선전략	과업	해결 방안			
				1	2	3	
환경성	주요	사용 단계 에너지 소비 (온풍온도 포함)	사용단계 에너지 소비 저감	열판의 소비전력 저감	효율이 좋은 열판 재질로 변경	열량별 전력표시화면 제공	-
				친환경 에너지 사용	외부에 수동식 발전기 부착하여 전원 공급	태양 에너지 사용	-
				팬의 소비전력 저감	효율이 좋은 모터로 변경	풍량 조절 장치 제공 (약한 바람, 강한 바람 등)	-
				사용자의 사용량 저감	사용 사용가이드라인 제공	자동 온도 조절 장치 설치	자동 풍량 조절 장치 설치
	사용된 원료물질	재활용률 높은 원료 부품 사용	재활용률 높은 포장재 사용	폐지 50% 이상 함유 종이사용	종이 사용량 감소	-	
			재활용률 높은 본체 부품 사용	ABS를 PP로 교체	-	-	
		사용되는 원료물질 양 감소	연구부품(나사, 볼트 등) 최소화	부품의 모듈화를 통한 제품 나사수 절감	-	-	
			유해물질	-	-	-	-
		재활용률	부품의 표준화	부품의 표준화를 통한 재활용률 증진	제품 디자인을 변경하여 모델별 같은 부품 사용	-	-
		기타	재사용성	제품의 재사용성 증진	제품별 부품 표준화를 통한 재활용률 증진	모터의 표준화 (헤어드라이기 등에 활용)	열판의 표준화
운송중 에너지 소비	운송중 에너지 소비 저감		에너지 효율이 높은 수단으로 운송	에너지 효율이 높은 트럭으로 운송	에너지 효율이 높은 선박으로 운송	-	
제품 수명	제품 수명 증가		제품의 내구성 증가	내구도 높은 모터 사용	내구도 높은 열판 사용	내구도 높은 전선 사용	
		A/S 서비스 확충	주요 수리점별 제품 상세 정보 배포	A/S 가능 수리점 정보 제공	온라인 상담소 운영		
사용성	일반 사용성	단순성	-	-	-	-	
		정보제공성	정보제공성 증진	제품의 사용 정보 제공	-	-	
		사용자 지원	사용 피드백 증진	공간/시간별 온도변화 정보 제공	상황별 가이드라인 제공	온도변화 감지 장치/디스플레이 설치	-
		조작 용이성	-	-	-	-	
		사용 안전성	제품 사용시 화재 안전 예방	사용전력 유지	-	-	
		심미성	-	최대 열판 온도 유지	-	-	
	제품 기반 사용성	소음 적합도	사용시 소음 저감	모터의 소음 저감	저소음 모터 사용	-	
		온도 적합도	적정 온도 유지	사용 환경의 적정 온도 유지	온풍기의 사용 가이드라인 제공	공간 온도에 대한 피드백 지원	자동 온도 조절 시스템
		습도 적합도	적정 습도 유지	사용 환경의 적정 습도 유지	가습기능 설치	-	
		풍속 적합도	적정 풍속 유지	-	-	-	
전반적 만족도	-	-	-	-	-		

(4) 개선대상 부품 도출

소형 온풍기의 개선대상 부품 분석 결과, 열판부와 구동부(모터)의 개선이 가장 필요한 것으로 나타났다. QFDE I 수행 결과는 <Table 5>와 같으며 4가지 개선대상 환경성 parameter들과 7가지 제품 주요 특성들을 대상으로 총 11가지 제품 특성에 대한 중요도 점수가 산출되었다(<Table 5> 참조). QFDE II 수행 결과는 <Table 6>와 같으며 소형 온풍기 구성 부품 개선의 중요도가 분석되었다. QFDE II의 분석 결과, 구동부(23.1점)와 열판부(22.7점)가 다른 부품들보다 2배 정도 환경성 측면에서 중요한 것으로 나타났다(<Table 6> 참조).

(5) 전략 및 과업 도출

본 연구는 <Table 7>과 같은 개선대상 parameter별 개선전략 및 과업을 도출하고, 24개의 환경성과 7개의 사용성 측면의 해결방안을 제시하였다. 환경성 parameter는 ‘주요’와 ‘기타’로 분류되며, ‘주요’ 범주에는 이해관계자 요구사항 분석에서 선정된 4가지 개선사항이 포함되었다. 또한, 사용성 parameter는 ‘일반’과 ‘제품기반’으로 분류되며, ‘제품기반’ 범주에는 사용성 평가 기준 중 성능만족도의 4가지가 포함되었다. <Table 7>에 명시된 용어 및 구분 기준은 친환경적 제품 디자인 절차(KEITI, 2010)에서 제시하는 기준을 그대로 적용하였다. 예를 들면, 환경성 측면에서는 재활용률이 높은 부품 사용을 위하여 acrylonitrile butadiene styrene powder(ABS) 재질(탄소배출량 = 2.99kg CO₂-eq.)이 poly propylene(PP) 재질(탄소배출량 = 1.97kg CO₂-eq.)로 대체될 수 있으며, 사용성 측면에서는 사용 환경의 적정 습도 유지를 위하여 가습기능이 추가될 수 있다.

(6) 개념 설계

본 연구는 상향식(bottom-up) 방식의 전과정 평가로부터 도출된 해결방안들<Table 7>로부터 설계 개념을 도출하기 위하여 하향식(top-down) 방식을 적용하였다. 본 연구의 top-down 방식은 해결방안들을 제품, 서비스, 사용자 측면으로 분류하고, 해결방안들의 적절한 조합을 통하여 제품, 서비스, 사용자 측면 각각의 신규 설계 개념을 도출하는 방법이다. 제품 측면의 설계 개념에 속하는 해결방안의 예를 들면, 고효율 열판 재질 및 모터를 사용하고, 페지가 50% 이상 함유된 종이를 사용하며, ABS 재질을 PP 재질로 교체하는 것이 포함될 수 있다(<Figure 4> 참조).

본 연구는 파악된 과업별 해결방안들을 제품, 서비스, 사용자 측면과 연계하여 <Figure 4>와 같은 네 가지 신규 설계 개념(eco-efficient, smart, modularized, 그리고 user-support)들을 제안하였다. 첫째, eco-efficient heater는 낮은 열원 및 전력 사용과 높은 재활용률을 가지는 부품들의 사용을 통하여 친환경적이면서 사용자의 전기요금 부담을 최소화하는 개념이다(<Figure 5> 참조). 둘째, smart heater는 자동으로 온도, 습도, 풍량을 조절해주는 기능을 추가하고 사용성 증진을 위한 디스플레이에 관련정보를 제공하는 개념이다(<Figure 6> 참조). 셋째, modu-



Figure 4. Concepts of the eco-friendly heater



Figure 5. Concept of an eco-efficient heater

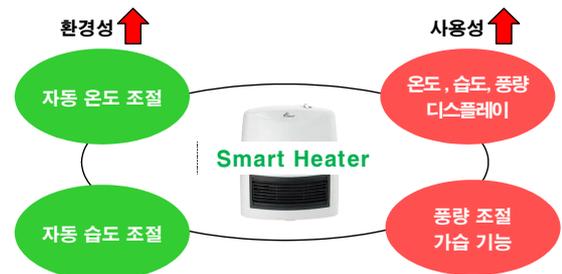


Figure 6. Concept of a smart heater

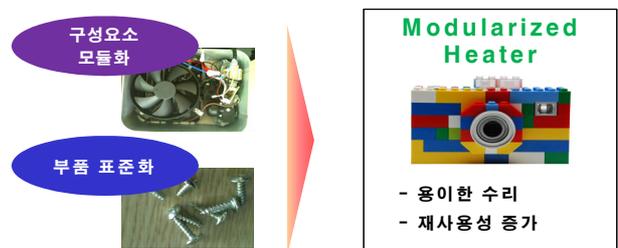


Figure 7. Concept of a modularized heater



Figure 8. Concept of a user-support heater

larized heater는 소형 온풍기 구성요소들의 모듈화와 부품의 표준화를 통하여 제품의 수명 연장, 용이한 수리, 그리고 재사용을 향상을 위한 개념이다(<Figure 7> 참조). 마지막으로, user-support heater는 소형 온풍기 사용지원 가이드라인 및 서비스 제공을 통해 고객의 제품사용을 지원하는 개념이다(<Figure 8> 참조).

4. 토의

본 연구는 제품의 성능, 사용성, 그리고 환경성을 종합적으로 고려하여 설계 개념을 제안했다는 것에 의의가 있다. 본 연구는 Scopus에서 기존 유관 문헌을 조사해 본 결과(검색식 : TITLE ["life cycle assessment" OR "LCA" OR "environmental assessment" OR "environmental evaluation"] AND TITLE ["usability" OR "performance"]) 70건을 파악하였다. 본 연구는 검색된 문헌을 검토한 결과, 대부분 environmental performance를 평가한 연구들로서 본 연구와 같이 성능, 사용성, 환경성을 각각 평가하고 평가결과를 종합한 연구는 부재한 것으로 파악하였다. 따라서, 본 연구가 제안한 제품 설계안은 친환경적 측면뿐만 아니라 성능 및 사용성 측면을 함께 고려했다는 점에서 추후 다양한 측면을 고려한 친환경적 제품 설계에 발판이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안된 설계 개념들은 친환경적이면서도 사용성과 경제성이 함께 고려된 온풍기 설계 방안으로 활용될 수 있다. 본 연구는 1,200W의 소비전력을 가진 두 가지 소형온풍기를 대상으로 전과정 평가를 수행하여 주요 개선대상 전과정 단계와 부품을 파악하였다. 본 연구에서는 사용 단계의 탄소배출량이 나머지 단계(원재료취득, 제조, 운송, 폐기)보다 20배 이상 높은 것으로 분석되어, 온풍기의 적정 성능을 유지하되 전력량을 감소시키는 것이 중요한 개선방안으로 선정되었다. 또한, 전기난방기기 발열의 핵심 부품인 열판부와 구동부가 다른 부품들에 비해 2배 정도의 친환경적 개선이 요구되었다. 본 연구는 상향식(bottom-up) 방식의 전과정 평가를 확장하여 파악된 친환경적 개선방안을 하향식(top-down) 방식인 제품, 서비스, 사용자 측면과 연계함으로써 eco-efficient, smart, modularized, 그리고 user-support heater의 소형 온풍기 설계 개념을 제안하였다. 예를 들어, user-support heater(<Figure 8> 참조)는 사용자에게 스마트기기 기반의 효율적인 온풍기 사용을 위한 서비스 제공을 통하여 사용 단계의 에너지 소비 절감을 유도하는 설계 개념이다. 따라서, 본 연구에서 제안된 설계 개념들(eco-efficient, smart, modularized, user-support heater)은 소형 온풍기를 포함한 온풍기의 친환경적 설계안으로 활용될 수 있다.

본 연구는 두 가지 소형 온풍기를 대상으로 전과정 평가와 더불어 성능 및 사용성을 비교 분석하여 시장 경쟁력 확보를 위한 개선사항들을 파악하였다. 기존 친환경적 제품 디자인을 위한 연구들(Kim et al., 2009; Lee et al., 2012; Chung et al., 2012)

은 전과정 평가를 수행하여 주로 제품을 제작하는 공정이나 구성 부품의 재질 변경 측면의 개선방안을 제안하였다. 본 연구는 소형 온풍기의 전과정 평가뿐만 아니라 성능 및 사용성 평가를 수행하여 소형 온풍기의 효율적인 사용방법을 체계적으로 파악하였다. 예를 들어, 두 가지 소형 온풍기의 '강' 세기의 온도 및 풍속 평가 결과를 종합하면, 상대적으로 온도가 높고 바람의 세기가 약한 T사 제품(68°, 0.2m/s)의 경우 특정 신체 부위 가열에 적합하게 사용될 수 있으며, 온도가 낮고 바람의 세기가 강한 H사 제품(56°, 2.3m/s)의 경우 일정한 공간의 가열을 위하여 적합하게 사용될 수 있는 것으로 파악되었다. 한편, 본 연구는 사용성 평가 인원이 4명으로 적어 통계적 유의성을 가지기 위해서는 추후 많은 인원이 평가될 필요가 있다.

본 연구는 다양한 평가 결과를 고려한 설계 개념 도출에 초점을 맞춘 연구로서 실질적인 설계 제약요인과 경제성까지는 고려하지 못하였다. 제품의 설계 제약요인을 고려하고 경제성을 분석하기 위해서는 실질적으로 부품간 결합 구조, 부품의 단가, 시장 정보와 같은 세부 정보들이 필요한데, 본 연구가 제품 개발보다는 설계 개념에 초점을 맞추고 있어 모든 요소를 고려하기에는 한계가 있었다.

본 연구에서 제안된 설계 개념들은 추후 친환경성, 성능, 그리고 사용성 측면의 개선효과 검증이 필요하다. 개선효과 평가결과의 예를 들면, 기존 소형온풍기 대비 사용 단계의 탄소배출량 15% 감소, 온도적합성 10% 향상, 그리고 조작용이성 5% 향상 등이 될 수 있다. 개선된 제품이 친환경성, 성능, 그리고 사용성 측면에 대하여 정량적으로 평가된다면 제품의 시장 경쟁력을 종합적으로 분석하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Chung, S., Yi, H., Nam, T., Lee, Y., Jeon, E., and Park, J. (2012), The study of optimization using method by comparison and analysis the diversity pans, *In proceedings of the Korean Society for Precision Engineering*.
- Chung, C. and Koo, H. (1996), A study on methodology and application fo life cycle assessment-concerning semiconductor, *Clean Technology*, 2(2), 201-213.
- Chung, C. and Koo, H. (2002), Study on the application of cleaner production using life cycle assessment in the can industry, *Clean Technology*, 8(4), 205-215.
- Han, S. and Song, B. (2010), Environmental effects evaluation application for the eco-friendly design development of products-with a focus on a case study of automobile FOG LAMP HOUSING, *Journal of Korean Society of Design Science*, 24(1), 15-26.
- Han, S., Yun, M., Kwahk, J., and Hong, S. (2001), Usability of consumer electronic products, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(3), 143-151.
- ISO 14040 (2006), Environmental management-Life cycle assessment -Principles and framework, *International Organisation for Standar-*

- disation (ISO).
- Kang, C., Hong, Y., Kim, K., and Park, K. (2011), A Relation-based model for analyzing ecosystems of products, services and stakeholders, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**(1), 41-54.
- Kim, H., Kwon, Y., Choi, Y., Chung, C., Baek, S., and Kim, Y. (2009), Life cycle assessment on the reuse of glass bottles, *Clean Technology*, **15**(3), 224-230.
- Kim, K., Lee, D., and Park, S. (2012), Evaluation of the economic values and optimal deployment timing of R&D investment in new and renewable energy using real option approach, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **38**(2), 144-156.
- Korea Society of Waste Management(KSWM) (2005), Study on LCA of plastic containers, *The Montly Packing World*, 122-147.
- Korea Environmental Industry and Technology Institute(KEITI, 2010), Eco product design process, Retrived from http://ecodesign.konetic.or.kr/04_Comm/02_Pds_List.asp?sltSearchTarget=&txtSearchWord=&szAbsolutePage=1&txtIdx=.
- Lee, N., Lee, S., Kim, K., and Hong, T. (2012a), Environmental assessment of chemically strengthened glass for touch screen panel by material life cycle assessment, *Clean Technology*, **18**(3), 301-306.
- Lee, S., Cho, N., Kim, B., and Cho, C. (2013), Identifying promising IT products for SMEs under the concept of business ecosystem, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(1), 61-72.
- Lee, W., Lee, B., Kim, E., and You, H. (2012b), Ideation of E3 (Eco, Ergonomics, and Economy)-Friendly Products, In *Proceedings of the Korean Society for Life Cycle Assessment*.
- Masui, K., Sakao, T., and Inaba, A. (2001), Quality function development for environment : QFDE(1st report)-a monodology in early stage of DfE, In *proceedings of the EcoDesign*, 852-857.
- Masui, K., Sakao, T., Aizawa, S., and Inaba, A. (2002), Quality function deployment for environment (QFDE) to support design for environment (DFE), In *proceedings of the Computers and Information in Engineering*.
- Na, K., Yang, H., Byun, I., Kim, J., and Jung, Y. (2008), Life cycle assessment of tap water, industrial water, and bottled water, *Korean J. LCA*, **9**(1), 7-19.
- Seo, H. (1998), *A study on DFD (design for disassembly) for environment friendly product development*, Hongik University.