

성능, 사용성, 환경성 평가를 통한 날개 없는 선풍기의 친환경적 설계안 개발 사례

최영근, 이백희, 유희천²⁷⁾

포항공과대학교 산업경영공학과

A Case Study of Eco-Design for a Bladeless Fan by Performance, Usability, and Life Cycle Assessments

Younggeun Choi, Baekhee Lee, Heecheon You

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

sidek@postech.ac.kr, x200won@postech.ac.kr, hcyou@postech.ac.kr

Abstract

Eco-friendly product designs have been developed more actively than ever before to resolve global issues of global warming, resource depletion, and energy cost increase. Life Cycle Assessment (LCA) is often applied to measure the environmental impact of a product. An eco-friendly product should also consider the aspects of performance and usability for market competitiveness. The present study developed an eco-friendly product improvement strategy of a bladeless fan by comparing with a conventional fan in terms of performance, usability, and eco-friendliness. The two fans being operated in a laboratory setting, performance measurements such as wind speed, noise level, and power consumption were collected. Then, usability evaluations such as aesthetics, ease of manipulation, ease of maintenance, mobility, safety, noise, and overall satisfaction were investigated for the two fans using 5-point scale. Finally, LCA was conducted by following the six-step process of eco-friendly product design. As a result, two design improvement directions (natural fan and celestial fan) were suggested for an eco-friendly bladeless fan. The proposed design directions would be of use for eco-friendly fan design with high level of performance, usability, and eco-friendliness.

keywords: Eco-Design, Life Cycle Assessment, Bladeless fan, Usability test, Product design

요약문

지속가능한 발전에 대한 전 세계적인 노력이 증가함에 따라 친환경적 제품설계에 대한 필요성이 증대되고 있다. 전과정평가는 제품의 생산, 운송, 사용, 폐기 등 전 과정에서 발생하는 자원소비량과 에너지 사용량을 분석하여 제품의 환경 영향을 정량적으로 평가하는 방법이다. 본 연구는 두 종류의 선풍기를 대상으로 성능, 사용성, 전과정평가를 수행하여 친환경적 제품 개선 전략을 도출하였다. 성능 평가는 풍속, 사용전력량, 소음의 3가지 측면에서 평가하였고, 사용성 평가는 심미성, 조작 용이성, 관리 용이성, 이동성, 안전성, 소음 만족도, 그리고 전반적 만족도를 5점 척도로 평가하였다. 마지막으로 전과정평가를 통한 에코디자인 프로세스를 활용하여 날개 없는 선풍기의 개선 필요성을 파악하였다. 본 연구는 성능, 사용성, 전과정평가 결과를 활용하여 날개 없는 선풍기의 성능, 사용성, 환경성 측면에서의 개선 전략을 제안하였다.

주제어: 에코디자인, 전과정평가, 날개 없는 선풍기, 사용성 평가, 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

지구 온난화와 자원 고갈과 같은 환경 문제가 심각해져 감에 따라 친환경적 제품 디자인이 중요하게 고려되고 있다. 2012년 국제에너지기구 (International Energy Agency, IEA)의 세계 에너지 전망에 따르면 2012년 이산화탄소 배출량이 2011년보다 1.4% 증가하였다. 또한, 미중앙정보국 (Central Intelligence Agency, CIA) 발표에 따르면 2011년 확인된 석유매장량은 1조 4,747억 배럴로서 향후 37.5년 동안 사용 가능한 양이며 30년 후에는 석유자원이 고갈될 것으로 조사되었다. 이에 따라 에너지를 효율적으로 소비하고 이산화탄소 배출량을 절감시킬 수 있는 친환경적 제품 디자인에 대한 세계 각국의 관심이 증가하고 있다. 친환경적 제품 디자인(eco-friendly product design)이란 자연 생태계에 대한 제품의 부정적 영향을 최소화하는 제품설계 방법으로써(Seo, 1998), 사용 시 에너지를 필요로 하는 제품(energy using product)의 경우 사용 과정에서 환경에 미치는 영향이 상당하기 때문에 에너지를 필요로 하지 않는 제품에 비하여 보다 환경성이 고려될 필요가 있다(Han and Song, 2010).

친환경적 제품설계를 위하여 전 과정에 대한 제품의 환경성을 평가하는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)를 통한 제품 개발 절차가 활용되고 있다. 전과정평가는 제품의 전 과정(원재료 획득, 제조, 운송, 사용, 폐기)에서 소비되는 에너지 및 자원의 양을 정량적으로 측정하여 이들의 환경 영향을 전반적으로 평가하고 개선안을 개발하는 환경영향평가 기법이다(ISO 14040, 2006). 전과정평가는 간단한 포장용기에서부터 복잡한 전자 기기까지 다양한 제품군에 대해 적용될 수 있다(KSWM, 2005; Lee et al., 2012a).



친환경적 제품의 설계에는 환경성과 함께 제품 본연의 성능과 사용성이 함께 고려될 필요가 있다. Ben-gal et al.(2008)은 친환경 디자인을 전과정평가를 통해 파악된 제품의 환경성을 제품 설계에 반영하여 제품 개발 전 과정에서 발생 가능한 환경 영향을 최소화하고, 제품의 성능, 사용성, 그리고 품질 및 가격 경쟁력을 함께 향상시킬 수 있도록 디자인하는 활동으로 정의하였다. 환경성과 함께 제품의 성능과 사용성, 경제성 등의 측면이 고려된다면 친환경성과 시장 경쟁력을 모두 갖춘 우수한 제품을 개발하는데 보다 효과적일 수 있다(Lee et al., 2012b; Na et al., 2008).

본 연구는 날개 없는 선풍기와 기존 스탠드형 선풍기를 대상으로 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면을 평가하고, 날개 없는 선풍기의 친환경적 설계 방안을 파악하였다.

2. 연구방법

본 연구는 Table 1과 같이 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기의 성능, 사용성, 그리고 환경성을 평가하였다. 두 가지 선풍기는 외형과 작동 원리뿐만 아니라 소비 전력도 상이했다. 본 연구는 성능과 사용성 평가를 수행한 후 친환경적 제품 디자인 절차(KEITI, 2010)에 따라 환경성을 평가하고 설계 대안을 도출하였다. 제품 성능은 풍속, 사용전력, 그리고 소음 측면에서 평가되었다. 또한, 사용성은 심미성, 조작 용이성, 관리 용이성, 이동성, 안전성, 소음 만족도, 그리고 전반적 만족도에 대하여 5점 척도를 사용하여 평가되었다.

Table. 1. Specification of fans

	Bladeless fan	Conventional fan
Illustration		
Size	350×350×155 mm	405×370×890 mm
Weight	1.7 kg	4.2 kg

2.1. 성능 평가

본 연구는 두 가지 선풍기의 풍속, 사용전력, 소음을 측정하였다. 풍속과 소음은 선풍기의 일반적인 사용 환경을 고려하여 선풍기 전방 0.5 m, 1 m, 1.5 m 거리에서 1분간 측정되었으며, 소비 전력은 풍속이 ‘약’, ‘강’, 그리고 ‘off’인 상태에서 측정되었다. 풍속 측정에는 디지털풍속계(VT120, Dywer instruments, Inc., USA)가 사용되었으며, 소음 측정에는 소음측정기(SL-4001, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taiwan), 그리고 소비 전력 측정에는 전력측정기(PM-B200-S, Dawon DNS Co., Ltd., Korea)가 각각 사용되었다.

2.2. 사용성 평가

본 연구의 사용성 평가는 심미성, 조작 용이성, 관리 용이성, 이동성, 안전성, 소음 만족도, 그리고 전반적 만족도에 대해 수행되었다. 제품의 사용성은 5명의 평가자가 5점 척도(1점: 매우 불만족, 3점: 보통, 5점: 매우 만족)를 사용하여 평가되었다.

2.3. 환경성 평가 및 설계 대안 도출

본 연구의 환경성 평가는 Fig. 1과 같은 전과정평가 기반의 친환경적 제품 디자인 절차(KEITI, 2010)에 의해 수행되었다.



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

2.3.1. 제품 모델링

제품 모델링 단계에서는 두 가지 선품기를 각각 분해하여 원재료의 명칭, 종류, 재질, 중량, 개수 등의 정보를 포함한 자재명세서(Bill of Materials, BOM)를 작성하고, 이를 기반으로 식 1과 식2와 같은 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)와 재활용가능률 (Re-Cyclability Rate, RCR)을 산출한다.

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

식 2.

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

where m_i = mass of component i
and RCR_i = recycling rate of component i

2.3.2. 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석 단계에서는 두 가지 선품기의 환경 영향 정도를 파악하기 위해 전 과정 (life-cycle)의 각 단계(원재료취득, 제조, 운송, 사용, 그리고 폐기)별로 원재료, 에너지, 배출물, 폐기물, 그리고 재활용 측면에서의 kg·CO₂-eq.를 산출하였다.

2.3.3. 이해관계자 요구사항 분석

이해관계자 요구사항 분석 단계에서는 제품의 주요 환경성 parameter를 도출하기 위해 환경품질기능전개(Environmental Quality Function Deployment, EQFD; Masui et al., 2003) 기법과 경쟁사 제품 benchmarking (Environmental Benchmarking, EBM) 기법을 수행하였다. 환경품질기능전개에서는 정부-환경단체, 기업, 그리고 소비자 등 이해관계자들의 요구사항을 도출하고 중요도(1점: 중요하지 않음, 3점: 중요함, 9점: 매우 중요함)를 평가한 후, 도출된 이해 관계자 요구사항과 제품 전 과정 단계별 환경성 parameter들(예: 사용된 원료물질, 사용 중 에너지 소비)과의 상관정도(1점: 약간 관계있음, 3점: 관계있음, 9점: 매우 관계있음)를 평가하였다. 그리고 식 3을 활용하여 환경성 parameter별 가중치를 산출하여 개선 대상 환경성 parameter를 선정하였다.

경쟁사 제품 benchmarking에서는 두 가지 선품기의 제품 전 과정 단계별 환경성 parameter에 대해 5점 척도(1점: 매우 나쁨, 3점: 보통, 5점: 매우 좋음)로 환경성을 비교 분석한 후 환경영향이 상대적으로 높은 제품을 자사 제품으로, 환경영향이 낮은 제품을 경쟁사 제품으로 가정하여 서로간의 benchmarking 가능한 개선 대상 환경성 parameter를 파악하였다.

식 3.

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

where $weight_i$ = weight of parameter i ,

s_j = significance of requirement j ,

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

2.3.4. 개선대상 부품 도출

개선대상 부품 도출 단계에서는 두 단계 품질환경기능전개(Quality Function Deployment for Environment, QFDE; Masui, 2002) 기법을 통하여 환경성 측면에서 중요도가 높은 부품을 개선 대상으로 선정하였다. 1단계 QFDE에서는 이해관계자 요구사항과 개선 대상 환경성 parameter를 포함한 제품 특성(예: 중량, 부피 등)과의 상관정도를 평가하고, parameter별 가중치를 Equation 3을 사용하여 산출하였다. 2단계 QFDE에서는 개선 대상 환경성 parameter를 포함한 제품 특성과 제품의 구성부품(예: 모터, 날개, 본체 커버 등)간의 상관정도를 평가하고, 부품별 가중치를 식 3을 사용하여 산출한 후, 가중치가 가장 높게 산출된 2~3개의 부품들이 개선 대상 부품으로 선정되었다.

2.3.5. 전략 및 과업 도출

전략 및 과업도출 단계에서는 개선 대상 부품을 중심으로 주요 환경성 parameter별 과업 및 해결방안을 도출하였다. 본 연구는 친환경 설계 개선을 위한 과업 및 해결방안 도출을 위하여 개선 대상 사용성 parameter(예: 소음 적절성, 조작 용이성)와 환경성 parameter(예: 원재료, 사용 중 에너지 소비, 제품수명 등)별 설계 전략을 수립하고 전략에 따른 세부 과업과 해결방안을 도출하였다.

2.3.6. 개념설계

개념설계 단계에서는 도출된 해결방안들을 다양하게 조합하여 몇 가지 설계 대안을 수립하였다. 본 연구는 사용성 개선을 위한 설계 방안과 환경성 개선을 위한 설계 방안을 함께 고려하여 친환경적 날개 없는 선풍기의 설계 대안을 개발하였다.

3. 결과

3.1. 성능

날개 없는 선풍기는 기존 선풍기보다 모터 소음은 크지만 단위 전력 당 풍속이 높은 것으로 나타났다(Table 2 참조). 모터 소음은 풍속을 ‘약’으로 설정한 경우 날개 없는 선풍기(59.2 dB)가 기존 선풍기(41.5 dB)에 비해 17.7 dB 큰 것으로 나타났으며, 풍속을 ‘강’으로 설정한 경우에는 날개 없는 선풍기(73.8 dB)가 기존 선풍기(52.2 dB)에 비해 21.6 dB 큰 것으로 나타났다. 단위 전력 당 풍속은 날개 없는 선풍기가 풍속 ‘약’과 ‘강’에서 모든 거리(0.5 m, 1 m, 1.5 m)에 대해 기존 선풍기보다 높은 것으로 나타났다.

Table 2. Performance Comparison Results

Item	Level	Bladeless fan		Conventional fan
Noise level (dB)	Low	59.2	>	41.5
	High	73.8	>	52.2
Power consumption (W)	Low	5.8	<	24.7
	High	18.1	<	35.3
Wind speed (m/s)	0.5m	Low	<	1.7
		High	<	2.3
	1m	Low	<	2.0
		High	<	2.8
	1.5m	Low	<	1.8
		High	<	2.8
Wind speed/Watt (m/s/W)	0.5m	Low	>	0.1
		High	>	0.1
	1m	Low	>	0.1
		High	>	0.1
	1.5m	Low	>	0.1
		High	>	0.1

3.2. 사용성

날개 없는 선풍기는 기존 선풍기보다 소음 만족도를 제외한 대부분의 측면에서 사용성이 우수한 것으로 평가 되었다(Fig. 2 참조). 심미성은 날개 없는 선풍기(5점)가 기존 선풍기(2.6점)보다 평균 2.4점 높게 평가되었는데, 이는 날개 없는 선풍기가 기존에 없던 새로운 형태이면서 단순성을 강조하여 설계되었기 때문으로 파악되었다. 관리 용이성은 날개 없는 선풍기(4.2점)가 기존 선풍기(2.8점)보다 평균 1.4점 높게 평가 되었는데, 이는 날개 없는 선풍기의 외부 노출 면적이 기존 선풍기보다 적고 날개가 없어 먼지 청소가 용이하기 때문으로 파악되었다. 반면, 소음 만족도는 날개 없는 선풍기(1.2점)가 기존 선풍기(4점)보다 2.8점 낮은 것으로 평가되었는데, 이는 날개 없는 선풍기가 본체에 소형 날개와 모터를 내장하고 있어 일정 수준 이상의 풍속에 도달하기 위해 모터 회전수가 높고 고음역대의 소음을 발생시키기 때문으로 파악되었다.

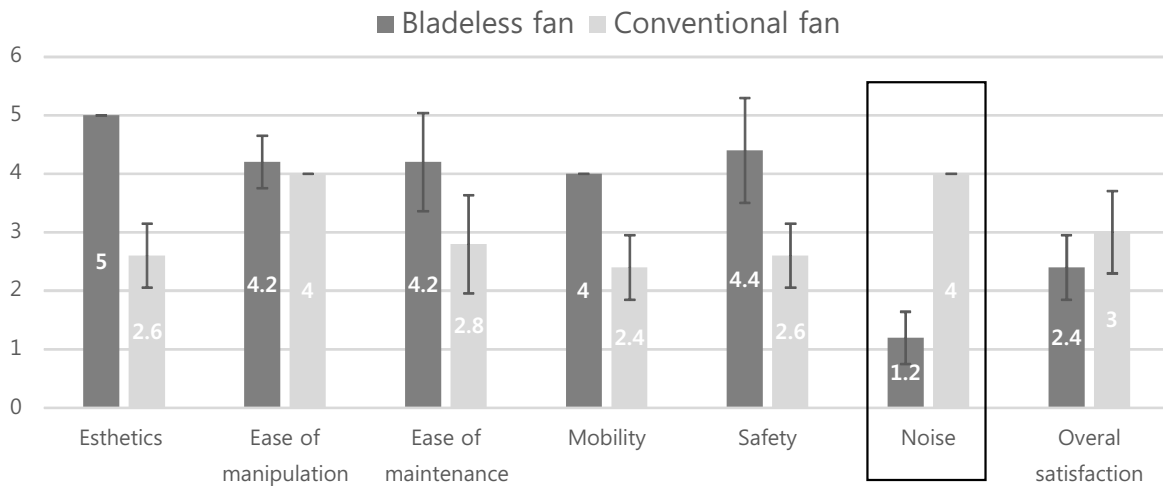


Fig. 2. Usability testing results (mean ± SD).

3.3. 전과정평가

3.3.1. 제품 모델링

날개 없는 선풍기는 기존 선풍기보다 RCR이 1% 높게, GWP는 1.6배 정도 낮은 것으로 나타났다. Table 3은 날개 없는 선풍기를 분해하여 파악한 자재명세서를 보여준다. 제품 분해 결과, 날개 없는 선풍기의 부품 수(39개)는 기존 선풍기(38개)와 큰 차이가 없으나 조립단위가 1단계 간소하여 분해 용이성이 상대적으로 높은 것으로 파악되었다. 제품 분해를 통해 파악된 재활용률(RCR)은 날개 없는 선풍기(75%)와 기존 선풍기(74%) 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 날개 없는 선풍기의 지구온난화지수(GWP, kg·CO₂-eq.)는 5.5로 기존 선풍기의 9.2보다 3.7만큼 낮은 것으로 파악되었다.

Table 3. Bill of material (BOM): Bladeless fan

No.	Decomposition unit						Component name	Mass (g)	Material name	GWP (kg CO2eq.)	RCR (%)
	0	1	2	3	4	5					
1	0						무날개 선풍기 완제품	2081.6		0.00000	0%
2		1					포장재	276.0	Paper, waste paper over 50% (폐지 50% 이상 함유)	0.35052	95%
3		1					매뉴얼	7.3	Paper, waste paper over 50% (폐지 50% 이상 함유)	0.00927	95%
4		1					비닐	5.8	PP(poly propylene)	0.01145	85%
5		1					스티로폼	108.5	EPS(Expanded Polystyrene)	0.21266	0%
6		1					본체 상	378.0		0.00000	0%
7			2				inner ring	176.0	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.52624	85%
8			2				outer ring	202.0	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.60398	85%
9		1					본체 하	1306.0		0.00000	0%
10			2				본체 하 밀판	39.5		0.00000	0%
11				3			본체 하 밀판 base	39.1	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.11691	85%
12				3			고무	0.0	Rubber, EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	0.00000	0%
13			2				본체 하 모터커버	161.3		0.00000	0%
14				3			하판모터	79.2		0.00000	0%
15				3			하판모터기어	8.1		0.00000	0%
16				4			하판모터기어 arm	6.0	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.01296	60%
17				4			하판모터기어 기타부품1	0.7	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.00151	60%
18				4			하판모터기어 기타부품2	0.0	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.00000	60%
19				4			하판모터기어 기타부품3	1.6	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00478	85%
20				3			본체 하 모터커버 상	34.1		0.00000	0%
21				4			본체 하 모터커버 상 base	33.5	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.10017	85%
22				4			본체 하 모터커버 상 부품	0.7		0.00000	0%
23				3			본체 하 모터커버 하	39.1	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.11691	85%
24				3			본체 하 모터커버 상하 이음부	0.8	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00239	85%
25			2				본체 상하 이음쇠	15.1		0.00000	0%
26			2				본체 하 커버	199.4		0.00000	0%
27				3			본체 하 커버 몸통	195.2	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.58365	85%
28				3			본체 하 커버 스폰지	4.2	PE(Polyethylene)	0.00777	85%
29			2				본체 하 슬라이드 커버	167.2		0.00000	0%
30				3			버튼 조작부	65.3		0.00000	0%
31				4			버튼 조작기판	52.6	PCB(Printed circuit board)	0.53652	20%
32				4			버튼 1	1.6	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00478	85%
33				4			버튼 2	0.6	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00179	85%
34				4			버튼 조작 프레임	9.9	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.02960	85%
35				3			슬라이드 커버 상	67.7	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.20242	85%
36				3			슬라이드 커버 하	32.8	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.09807	85%
37			2				본체 하 팬뭉치	616.0		0.00000	0%
38				3			팬모터 base	366.7		0.00000	0%
39				4			팬모터	230.7	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.68979	85%
40				4			팬모터 base 상	53.1	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.15877	85%
41				4			팬모터 base 하	74.3	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.22216	85%
42				4			팬모터 base 내장재	1.8	PE(Polyethylene)	0.00333	85%
43				3			팬 상	58.2	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.17402	85%
44				3			팬 하	165.3	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.49425	85%
45				3			팬 고무패킹	16.8	Rubber, EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	0.07577	0%
46				3			팬 고무지지대	4.3	Rubber, EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	0.01939	0%
47			2				본체 하 전원코드	95.2		0.00000	0%
48				3			전원코드 케이블	85.3	PVC(Polyvinyl Chloride)	0.11430	0%
49				3			어댑터부품	0.6	ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.00179	85%
50				3			플러그 접속부	3.2	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.00691	60%
51				3			플러그 고정재	6.5		0.00000	0%
52			2				하판나사	13.0	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.02808	60%
53				3			나사	5.6	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.01210	60%
54					4		나사	2.9	Stainless Steel (스테인레스 강)	0.00626	60%
합계	1	6	10	22	15	0				5.54129	75%

3.3.2. 제품 환경성 분석

날개 없는 선풍기와 기존 선풍기는 모두 제품의 전 과정 중 사용 단계에서의 탄소배출량이 가장 높은 것으로 파악되었다(Fig. 3 참조). 원재료취득 단계에서는 날개 없는 선풍기의 탄소배출량(6.5 kg·CO₂-eq.)이 기존 선풍기(9.2 kg·CO₂-eq.)보다 2.7 kg·CO₂-eq.만큼 낮게 나타났는데, 이는 기존 선풍기에 사용된 stainless steel 성분이 날개 없는 선풍기에 비해 비교적 많이 포함되었기 때문으로 분석되었다. 사용 단계에서는 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기의 탄소배출량이 각각 57.2와 68.9로 다른 단계들(원재료취득, 제조, 운송, 폐기)보다 최소 8배 이상 높은 것으로 분석되었는데, 이는 선풍기 사용 시 에너지 사용량이 반영되었기 때문이다. 한편, 제조와 운송, 폐기 단계의 탄소배출량은 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기 간에 큰 차이는 없었다.

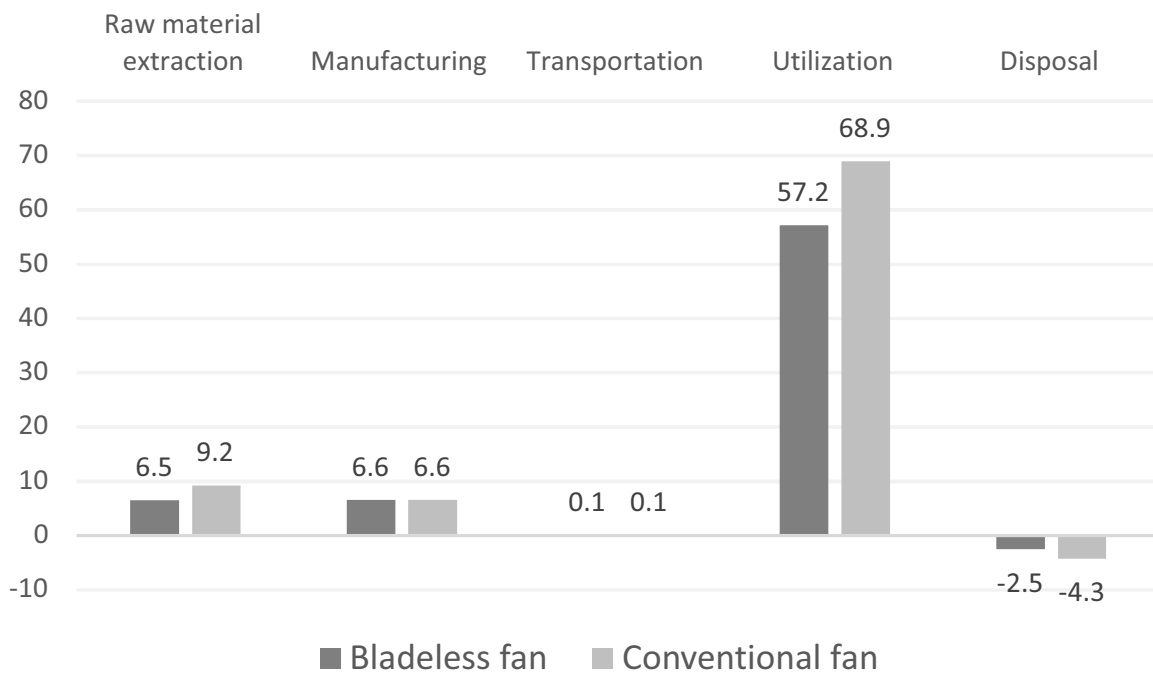


Fig. 3. Global Warming Potential (GWP) by life-cycle phase.

3.3.3. 이해관계자 요구사항 분석

선풍기에 대한 이해관계자 요구사항을 분석한 결과, 사용된 원료 물질, 유해물질, 사용 중 에너지 소비, 그리고 제품 수명이 주요 개선 대상 parameter로 파악되었으며(Table 4 참조), 원료 물질과 수리성 측면의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구의 선풍기에 대한 이해관계자 요구사항은 9 가지(정부-환경단체: 유해물질 사용금지, 에너지 절약, 재활용률 준수, 원재료물질량 저감; 고객: 제품 내구성 향상, 사용 안전성, 제품 성능 충족, 관리 용이성, 소음 절감)으로 선정되었다. 환경품질기능전개(EQFD) 수행 결과, 사용 중 에너지 소비(26.3점)의 개선이 가장 필요한 것으로 나타났으며 사용된 원료 물질(14.7점), 제품 수명(12.3점), 유해물질(11.1점) 순으로 개선이 필요한 것으로 나타났다. 한편, 경쟁사 benchmarking(EBM) 수행 결과, 날개 없는 선풍기의 수리성이 기존 선풍기에 비해 낮은 것으로 나타나 개선 필요성이 파악되었다.

Table 4. Environmental Quality Function Deployment (EQFD)

	중요도	원재료 사용		제품 제조		제품 운송				제품 사용				제품 폐기					
		사용된 원료물질	유해물질	제조 중 에너지 소비	제조 중 배출물	제품 중량	제품 부피	포장재	운송 중 에너지 소비	사용 중 에너지 소비	사용 중 배출물	유지/관리 소모품	제품 수명	수리성	재활용률	분해 시간	부품 수	부품 체결 방식	재사용성
환경 관련 법규	유해물질 사용금지	9	9		3			1										3	
	에너지 절약	3	1	9					1	9			3						
	재활용률 (WEEE 등)	1	3			1	1	3						9	3	1	3		
환경마크	원재료물질 저감	3	1	3		9	9	3								3	1		
고객의 요구 사항	제품 내구성 향상	3	3							3		1	9	1				3	
	사용 안전성	3	1	1							3								
	제품 성능 증속	9											9						
	관리 용이성	1				3	3					3	3	9		1			
	소음 절감	9	1										9					3	
총계	-	111	84	36	27	31	31	21	3	198	9	6	93	12	9	4	10	69	0
가중치	-	14.7	11.1	4.8	3.6	4.1	4.1	2.8	0.4	26.3	1.2	0.8	12.3	1.6	1.2	0.5	1.3	9.2	0.0

Table 5. Quality function deployment for environment I (1 단계 QFDE)

	중요도	제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')									
		중요도	풍속	사용단계 - 에너지 소비	소음	조작 용이성	유해물질	원재료 특성	제품 수명	수리성	
환경성 요구사항 (이해관계자 요구사항)	환경 관련 법규	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	9					9	9		
		에너지 절약 (EuP)	3	3	9				9		
		재활용률 (WEEE 등)	1					3	9		
	환경 마크	원재료물질 량 저감	3				1	1	3		
		제품 내구성 향상	3			3			9	3	
	고객의 요구 사항	사용 안전성	3		1	1	3	9	3		
		제품 성능 증속	9	9	9	3	9			3	
		관리 용이성	1		3			3	3	3	
소음 절감		9	3		9			9	1		
총계	-	117	114	120	93	117	219	75	18		
가중치	-	13.4	13.1	13.7	10.7	13.4	25.1	8.6	2.1		

Table 6. Quality function deployment for environment II (2 단계 QFDE)

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	팬모터	본체 상 (Ring)	본체 하 모 터 커버	본체 하 커 버	버튼 조작 부	팬 (상)	팬 (하)	
제품 특성 ('제품의 주요 특성', '개선대상 환경성 파라미터')	풍속	13.4	9	9		3		9	3
	사용단계 - 에너지 소비	13.1	9	3			3		
	소음	13.7	3		1	9		9	9
	조작 용이성	10.7			3		9		
	유해물질	13.4	3	3			1	3	3
	원재료 특성	25.1		3	3		1	3	3
	제품 수명	8.6	3		3		3		
	수리성	2.1			1		3		
	총계	-	345.4	275.3	148.8	163.9	205.5	359.8	279.4
	가중치	-	19.4	15.5	8.4	9.2	11.6	20.2	15.7

3.3.4. 개선대상 부품 도출

날개 없는 선풍기의 개선대상 부품 분석 결과, 모터, 본체 상부, 선풍기 날개 상/하부의 개선이 필요한 것으로 나타났다. 1 단계 QFDE 수행 결과는 Table 5와 같으며 4가지 개선 대상 환경성 parameter(유해물질, 원재료 특성, 제품 수명, 수리성)를 포함한 총 8가지 제품 특성들을 대상으로 중요도 점수가 산출되었다. 2 단계 QFDE 수행결과는 Table 6과 같으며 날개 없는 선풍기의 구성 부품 개선의 중요도가 분석되었다. 2 단계 QFDE 분석 결과, 팬(상)(20.2점), 팬모터(19.4점), 팬(하)(15.7점), 본체(상)(15.5점) 순으로 환경성 측면에서의 개선이 필요한 것으로 나타났다.

3.3.5. 전략 및 과업 도출

본 연구는 개선대상 부품에 대한 주요 개선 대상 parameter별 개선전략 및 과업을 도출하고 17개의 환경성과 7개의 사용성 측면의 해결방안을 제시하였다. 예를 들어, 환경성 측면에서는 친환경 원재료를 사용하기 위해 Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder(ABS) 대신 대나무를 재료로 활용할 수 있으며, 사용성 측면에서는 조작 용이성을 증대시키기 위해 다이얼 형태의 인터페이스를 적용할 수 있다.

3.3.6. 개념 설계

본 연구는 제시된 해결방안들을 조합하여 Fig. 4와 같은 두 가지 신규 설계 개념(Natural fan, Celestial fan)을 제안하였다. 첫째, Natural fan은 친환경 재료를 활용한 자연을 닮은 바람을 motif로 하는 선풍기이다. 유해성을 최소화하기 위해 목재를 사용하고, 에너지 효율 개선과 소음 절감을 위해 3개의 저전력 팬을 사용하는 설계 개념이다(Fig. 5(a) 참조). 둘째, Celestial fan은 자연 에너지를 효율적으로 활용하여 사용 중 탄소 배출량을 절감하는 선풍기이다. 원형 본체에 태양광 패널을 적용하여 자연 에너지를 사용하고, 기존의 소형 팬 대신 대형 팬을 적용하되 기존의 사용 안전성을 유지할 수 있는 형태로 설계 하여 단위 전력 당 풍속과 사용 안전성을 극대화 할 수 있는 설계 개념이다(Fig. 5(b) 참조).



- 유해성 최소화에 초점
- 자연 소재 사용
- 자연을 닮은 바람
- 에너지사용 효율의 극대화
- 자연 에너지 활용
- 자연 바람과 유사한 쾌적한 바람

Fig. 4. Concepts of the eco-friendly bladeless fans.

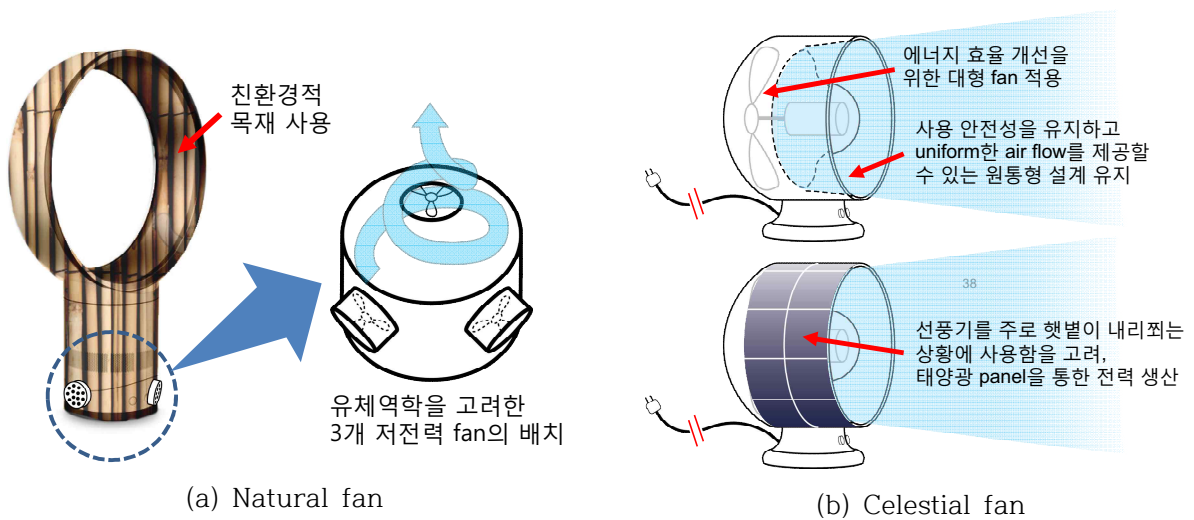


Fig. 5. Eco-friendly bladeless fans.

4. 토의

본 연구에서 제안된 신규 설계 대안들은 날개 없는 선풍기의 친환경적 설계 방안으로 활용될 수 있다. 본 연구는 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기를 대상으로 전과정평가를 수행하여 주요 개선 대상 전 과정 단계와 부품을 각각 파악하였다. 본 연구에서는 사용 단계의 탄소배출량이 나머지 단계(원재료취득, 제조, 운송, 폐기)보다 최소 8배 이상 높은 것으로 분석되어, 선풍기 사용 중 에너지 효율을 극대화 하는 것이 중요한 개선방안으로 선정되었다. 또한, 선풍기의 핵심 부품인 팬과 모터

가 다른 부품들에 비해 2배 정도의 친환경적 개선이 요구되었다. 본 연구는 전과정평가를 활용하여 파악된 친환경적 개선방안을 통해 Natural fan과 Celestial fan의 두 가지 선풍기 설계 개념을 제안하였다. 예를 들어, Natural fan은 선풍기 제조에 필요한 원재료를 친환경적 소재로 대신하고 다수의 저전력 팬을 통해 제조와 사용 단계의 탄소 배출량을 절감시키는 설계 개념이다. 따라서, 본 연구에서 제안된 설계 개념들은 날개 없는 선풍기를 포함한 일반 선풍기의 친환경적 개선 전략에도 활용될 수 있다.

본 연구에서는 신규 설계 대안 개발을 위해 환경성과 함께 성능, 그리고 사용성이 고려되었다. 본 연구는 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기의 환경성뿐만 아니라 성능 및 사용성을 함께 고려하여 두 가지 선풍기의 제품 가치를 체계적으로 파악하였다. 예를 들어, 날개 없는 선풍기와 기존 선풍기의 소음 및 단위 전력당 풍속 평가와 사용성 평가 결과를 종합적으로 고려하면, 소음 문제가 해결될 경우 날개 없는 선풍기를 사용하는 것이 에너지 절약을 위해 더욱 효율적일 수 있으며, 조용한 공간에서 강한 풍속이 필요한 경우에는 기존 선풍기를 사용하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

본 연구에서 제안된 신규 설계 대안들은 추후 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면의 개선효과 검증이 필요하다. 본 연구에서 제안된 신규 설계 대안들은 제품 전 과정(원재료 취득, 제조, 운송, 사용, 폐기 단계)에서 발생하는 에너지 소비량 분석을 통해 기존 설계로부터의 개선 정도가 평가될 필요가 있다. 본 연구에서 개발된 신규 설계 대안이 성능, 사용성, 환경성 측면에서 종합적으로 평가된다면 제품의 시장 가치를 분석하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 사사

이 논문은 환경부의 에코디자인 전문인력양성사업으로 지원되었습니다.

6. 참고문헌

- 1) Ben-gal, I., Katz, R., and Bukchin, Y., "Robust eco-design: A new application for air quality engineering", IIE Transactions, 40, 907-918(2008).
- 2) Han, S. and Song, B., "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(2010).
- 3) International energy agency (IEA), World Energy Outlook (2012).
- 4) ISO 14040, "Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework", International Organisation for Standardisation (2006).
- 5) Korea Society of Waste Management (KSWM), "Study on LCA of plastic containers", *The Montly Packing World*, 122-147(2005).
- 6) Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI), Eco product desi

gn process, Retrived from http://ecodesign.konetic.or.kr/04_Comm/02_Pds_List.asp?sltSearchTarget=&txtSearchWord=&szAbsolutePage=1&txtIdx=.

- 7) Lee, N., Lee, S., Kim, K., and Hong, T., "Environmental assessment of chemically strengthened glass for touch screen panel by material life cycle assessment", *Clean Technology*, 18(3), 301-306(2012).
- 8) Lee, W., Lee, B., Kim, E., and You, H., "Ideation of E3 (Eco, Ergonomics, and Economy)-Friendly Products". In *Proceedings of the Korean Society for Life Cycle Assessment*, (2012)
- 9) Masui, K., Sakao, T., and Inaba, A., "Quality function development for environment: QFDE(1st report) - a monodology in early stage of DfE", In *proceedings of the EcoDesign*, 852-857(2001).
- 10) 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).
- 11) Na, K., Yang, H., Byun, I., Kim, J., and Jung, Y., "Life cycle assessment of tap water, industrial water, and bottled water", *Korean J. LCA*, 9(1), 7-19(2008).
- 12) Seo, H., "A study on DFD (design for disassembly) for environment friendly product development", *Hongik University*, (1998).