

성능, 사용성, 전과정 평가를 통한 헤어 드라이기의 친환경적 설계안 개발

Development of Eco-Design Solutions for an Electric Hair Dryer
through Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments

박현지, 이승훈, 이백희, 유희천
포항공과대학교 산업경영공학과

Hyunji Park·Seunghoon Lee·Baekhee Lee·Heecheon You
Dept. of Industrial and Management Engineering, Pohang Univ. of Science and Technology (POSTECH)

성능, 사용성, 전과정 평가를 통한 헤어 드라이기의 친환경적 설계안 개발

박현지·이승훈·이백희·유희천¹⁾

포항공과대학교 산업경영공학과

Development of Eco-Design Solutions for an Electric Hair Dryer
through Performance, Usability, and Life-Cycle Assessments

Hyunji Park·Seunghoon Lee·Baekhee Lee·Heecheon You

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

Abstract

Eco products are developed to reduce environmental impacts throughout all life cycle phases from material acquisition to disposal. The present study proposed novel design solutions of electric hair dryer by considering performance and usability as well as eco-friendliness. Preferred design features were identified by benchmarking two electric hair dryers (companies 'J' and 'V') using performance measurements (temperature, air speed, noise, and electric power consumption), usability scores (informativeness, ease of learning, ease of button operation, grip fit, and overall satisfaction), and eco-friendliness indexes (global warming potential and recyclability rate). Design solutions (e.g., brushless DC motor, Teflon case, honey comb coil structure, memory button, removable dust filter, and recycling promotion) of electric hair dryer were proposed for better energy efficiency, user friendliness, and recyclability. These proposed concepts would be useful as a design guideline for an eco-friendly electric hair dryer.

Key words: Life cycle assessment, electric hair dryer, eco-design, performance, usability

요약문

친환경적 제품은 제품의 원재료 취득부터 폐기에 이르는 전과정에서 발생하는 환경적 영향을 줄이기 위해 개발된다. 본 연구는 제품의 친환경성뿐만 아니라 성능과 사용성을 고려하여 헤어드라이어 대한 설계 개선안을 제시하였다. 두 가지 헤어드라이어(J사, V사)를 대상으로 제품 성능(온도, 풍속, 소음, 소비전력)을 측정하였고, 사용성(정보제공성, 학습용이성, 버튼 조작용이성, 그립감, 전반적 만족도)을 평가하였으며, 환경 영향(지구온난화지수와 재활용가능율)을 평가하여 비교분석을 통해 선호되는 설계 특성을 파악하였다. 이러한 다양한 분석 결과를 토대로 본 연구는 에너지 효율성, 사용자 친화성, 그리고 재활용성을 향상시킬 수 있는 헤어드라이어 설계 개선안들(brushless DC 모터, Teflon case, 벌집구조 coil, 설정 기억 버튼, 탈부착식 먼지필터, 폐제품 할인쿠폰)을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 설계안들은 친환경적인 헤어드라이어를 위한 설계지침으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

주제어: 전과정 평가, 헤어 드라이기, 에코 디자인, 성능 평가, 사용성 평가

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 환경 규제와 에너지 관련 비용 증가로 인해 친환경 제품 개발의 중요성과 필요성이 증가하고 있다. EU는 통합제품정책 (Integrated Product Policy, IPP)을 수립하여 전기전자제품, 화학제품, 자동차 등 다양한 산업에 걸쳐 환경보호를 위한 규제를 강화하고 있다(Schmidt, 2000). 친환경적 제품 디자인 (eco-friendly product design)이란 제품이 자연 생태계에 피해를 주지 않으면서 자연의 순환과정에 순응할 수 있도록 제품을 설계하는 것이다(Seo, 1998). 예를 들어, Yi et al. (2012)은 친환경 LED 스탠드 설계를 위하여 제품 전과정 중 환경에 부정적 영향을 미치는 요인을 파악하고 재활용률과 에너지 효율성을 동시에 높이는 신규 설계 지침을 제시하였다.

친환경적 제품 디자인을 위해서는 전과정 평가(life-cycle assessment, LCA)를 통한 환경성 측면과 더불어 제품의 성능, 사용성, 시장성 등의 측면이 동시에 고려되는 에코디자인이 적용되고 있다. 전과정 평가는 원료의 획득부터 폐기에 이르는 전과정 동안 소모되고 배출되는 에너지 및 물질의 양을 정량화하여, 이들이 환경에 미치는 영향을 평가하고 개선 방안을 모색하고자 하는 객관적인 환경영향 평가방법이다(ISO 14040, 2006; Rivela et al., 2006; Besnainou and Coulon, 1994). 에코디자인은 전과정 평가로부터 파악된 제품의 환경성을 제품 설계 프로세스에 통합하여, 환경 피해를 최소화하고 제품의 성능, 사용성, 가격 경쟁력 등을 향상시킬 수 있도록 설계한다(Ben-gal et al., 2008). 시장 경쟁력을 갖춘 친환경적 제품 개발을 위해서는 환경성과 더불어 성능과 사용성의 고려가 중요하다.

가전제품은 주택용 전력 소비 중 소비전력이 높은 것으로 파악되어 에너지 소비량을 줄이기 위한 친환경적 개선이 필요하다. 통계청에 따르면 가전제품의 소비전력은 주택용 전력 소비의 85%를 차지하는 것으로 나타났다 (통계청, 2008). 발열부가 포함된 가전제품(예: 전기밥솥, 전기다리미, 헤어 드라이기)은 타 전자제품에 비하여 소비 전력이 높으며, 특히 사용단계에서 대부분의 에너지를 소비하므로 사용단계의 에너지 소비량 감소를 위한 설계가 필요하다(Li et al., 2008). 하지만, 현재 전과정 평가 방법을 사용한 대부분의 연구가 PC(Duan et al., 2009), 휴대폰(Scharnhorst et al., 2006)과 같은 정보통신기기에 대해서 이루어지고 있다. 따라서, 다양한 가전제품에 대하여 전과정 평가를 통한 친환경적인 개선 설계가 필요하다.

본 연구는 두 종의 헤어 드라이기의 환경성을 평가하고 친환경적 개선 전략을 제안하였다. 첫째, 구조와 기능이 유사한 두 종의 헤어 드라이기에 대하여 제품의 성능과 사용성을 평가하였다. 둘째, 본 연구는 헤어 드라이기에 대하여 환경산업기술원의 6단계 에코디자인 프로세스에 따른 전과정 평가를 수행하여 친환경적 개선이 필요한 제품 단계 및 부품을 파악하였다. 마지막으로, 개선 대상 헤어 드라이기의 성능, 사용성, 친환경성을 향상시키기 위한 제품설계 개선 전략을 도출하였다.

2. 연구 방법

본 연구는 Table 1과 같이 J사와 V사의 헤어 드라이기를 평가 및 개선 대상 제품으로 선정하여 성능 및 사용성 평가를 수행하고, 에코디자인 프로세스를 적용하여 친환경적 개선 전략을 도출하였다. 본 연구는 두 가지 헤어 드라이기 중 친환경적 개선 대상 제품을 선정하고 개선 전략을 수립하기 위하여 환경산업기술원의 에코디자인 프로세스를 적용하였다. 에코디자인 프로세스 각 단계별로 평가를 수행하였으며, 개선 대상 제품에 대해서는 친환경적 설계 대안을 도출하였다.

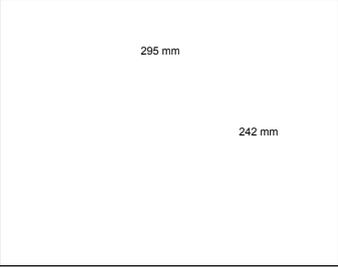
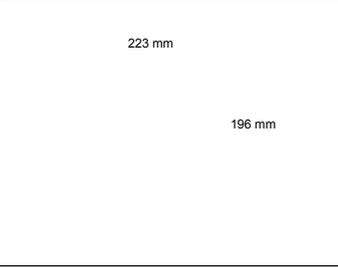
2.1. 성능 평가

본 연구에서는 J사와 V사 헤어 드라이기를 대상으로 두 가지 온도 수준(Cool, Hot)과 풍속 수준(약, 강)에 대하여 온도, 풍속, 소음, 그리고 소비전력이 측정되었다. 제품 사양은 제품에 포함된 매뉴얼과 제조업체 문의를 통해 Table 1과 같이 파악되었다. 온도, 풍속, 소음은 헤어 드라이기의 사용 환경을 고려하여 온풍 배출구 전방 20 cm 거리에서 10초 간격으로 1분 동안 측정되었다. 온도, 풍속, 소음 측정에는 온습도계(DT-616CT, CEM, China), 일체형풍속계(VT120, Dywer® instruments, Inc., USA), 그리고 소음계 (SL-4001, Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd, Taiwan)가 각각 사용되었다. 대기전력과 사용 전력은 전력측정기(PM-B200-S, Dawon DNS Co., Ltd., Korea)를 활용하여 측정되었다.

2.2 사용성 평가

헤어 드라이기의 사용성은 대학원생 15명을 대상으로 심미성, 운용 만족도(정보제공성, 학습성, 버튼 조작용이성, 그립감, 무게감), 성능 만족도(소음 적절성, 온도 적절성, 풍속 적절성, 안전 적절성), 그리고 전반적 만족도에 대하여 7점 척도(1점: 매우 불만족, 7점: 매우 만족)로 평가되었다.

Table 1. Specification of electric hair dryers

	Company J	Company V
Illustration		
Size(mm)	295 × 242	223 × 196
Weight(g)	410	365
Power(W)	1,400	1,600
Voltage(V)	220	220
버튼조절단계	6단계	5단계

2.3. 전과정 평가

본 연구는 두 종류의 헤어 드라이기에 대한 전과정 평가를 위해 6단계 친환경 제품 디자인 절차(환경산업기술원, 2010)를 수행하였다.

3. 결과

3.1. 성능

J사 제품은 V사에 비해 풍속, 온도, 소비전력 측면에서는 우수한 성능을 보였으나, 소음 측면에서는 V사가 우수한 성능을 보였다(Table 2 참조). 풍속은 ‘강’인 경우(J사: 13.7 m/s, V사: 6.6 m/s)와 ‘약’인 경우(J사: 10.5 m/s, V사: 4.4 m/s) 모두 J사 제품이 V사에 비해 2.1~2.4배 높게 나타났다. 온도는 ‘강’인 경우 J사 제품(44.1°C)이 V사(35.1°C)보다 9°C 높게 나타난 반면, ‘약’인 경우는 두 제품

의 온도가 유사(J사: 25.9°C, V사: 26.9°C)한 것으로 파악되었다. 소비전력은 최대, 최소일 경우 모두 J사 제품(최대: 1189 W, 최소: 59 W)이 V사(최대: 1427 W, 최소: 245 W)에 비해 각각 1.2배와 4.2배 낮은 것으로 나타났다. 마지막으로, 소음은 두 가지 풍속 수준(강, 하)에서 모두 J사(강: 81.9 dB, 하: 76.5 dB) 제품이 V사(강: 76.5 dB, 하: 66.0 dB)보다 5~10 dB 높은 것으로 나타났다. J사 제품은 전반적으로 V사에 비해 우수한 성능을 가지는 것으로 평가되었는데, 이는 J사가 저전력으로 고효율을 실현하는 친환경 모터인 brushless direct current(BLDC) 모터를 사용하기 때문인 것으로 파악되었다.

Table 2. Performance comparison results

항목	Level	J사		V사
풍속 (m/s)	H	13.7	>	6.6
	L	10.5	>	4.4
온도 (°C)	H	44.1	>	35.1
	L	25.9	≒	26.9
소비전력 (W)	H	1189	<	1427
	L	59	<	245
소음 (dB)	H	81.9	>	76.5
	L	76.5	>	66.0

3.2. 사용성

J사 제품은 V사에 비해 그림감, 무게감을 제외한 운용 만족도(정보제공성, 학습성, 버튼 조작용이성) 측면에서 1점 이상 높게 평가되었고, 전반적 만족도 또한 더 높게 평가되었다(J사: 5.2점, V사: 4.5점). 그러나 성능 측면의 주관적 만족도는 소음과 안전 적절성 측면에서 V사가 J사에 비해 각각 1.7점과 1.1점 높은 것으로 평가되었다(Figure 1 참조).

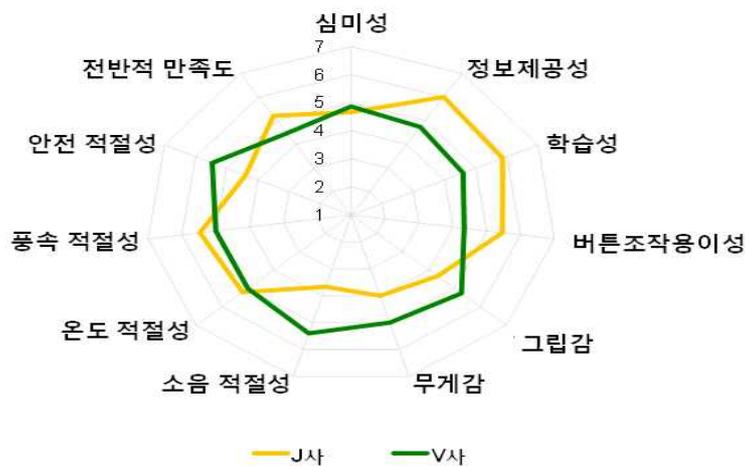


Figure 1. Usability testing results (n = 15)

정보제공성(J사: 6.0점, V사: 4.7점), 학습성(J사: 5.9점, V사: 4.6점), 버튼 조작용이성(J사: 5.5점, V사: 4.3점)은 모두 J사 제품이 V사보다 1.2~1.3점 높게 평가되었는데, 이는 J사 제품의 온도, 풍속 버튼 조작부가 분리되어, 하나의 버튼에 여러 정보가 밀집되어 있는 V사에 비해 직관적 이해가 쉽고 조작이 편리하기 때문인 것으로 파악되었다. 반면, 그립감(J사: 4.3점, V사: 5.3점)과 무게감(J사: 4.0점, V사: 5.0점)은 모두 J사 제품이 V사에 비해 1점 낮게 평가되었는데, 이는 J사의 무게(604 g)가 V사(475 g)에 비해 130g 무거운 제품 사용 시 불편함을 느끼는 것으로 파악되었다. 안전 적절성은 J사 제품(4.4점)이 V사(5.5점)보다 낮게 평가되었는데, 열화상 카메라(T620, FLIR Systems, Inc., USA)를 이용하여 헤어 드라이기 사용 종료 1분 후, 노즐 및 본체에 남아있는 잔열을 관찰한 결과 Figure 2와 같이 J사의 잔열 온도가 6~15°C 높았고, 잔열 범위 또한 넓은 것으로 파악되었다.

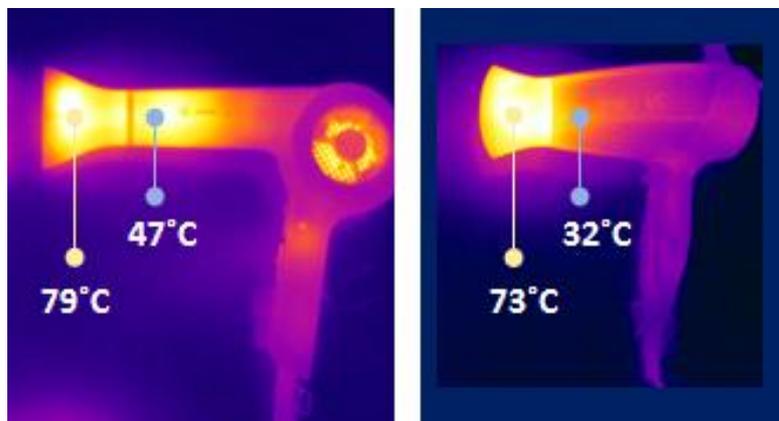
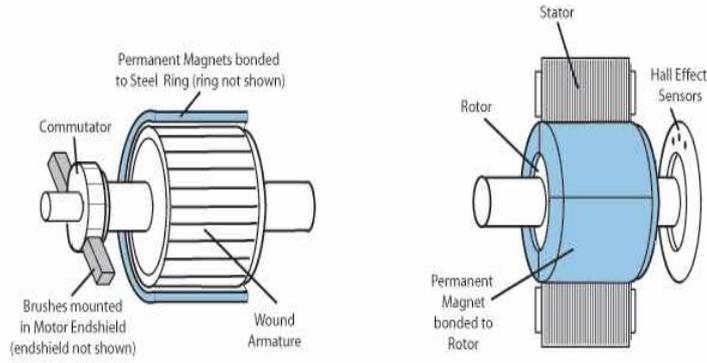


Figure 2. Remaining heats photographed by thermovision camera (left: company J, right: company V)

3.3. 전과정 평가

3.3.1. 제품 모델링

V사의 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)는 J사 제품보다 1.5배 높은 것으로 파악되었으나, 재활용가능률 (Re-Cyclability Rate, RCR)은 V사와 유사한 87%로 산출되었다. 제품 분해 결과, J사와 V사의 구성품 종류는 유사하였으나, 부품 체결 방식에 따라 총 부품 수는 47개와 35개로 차이가 있었다. V사 제품은 억지끼워맞춤 (interference fit) 방식으로 부품을 체결하여 나사 체결 방식을 사용한 J사에 비해 제품 조립 단계에서 나사(J사: 14개, V사: 4개)를 적게 사용하였고, 이는 폐기 단계에서 제품을 분해하는데 소비되는 에너지가 적은 것으로 분석되었다. 한편, J사는 Figure 3과 같이 BLDC 모터를 사용하여 친환경 제품 설계를 실현하였다. BLDC 모터(Figure 3.a)는 일반 모터(Figure 3.b)에 비해 10배의 수명으로, 날개가 없어 미세 유해물질을 발생시키지 않고 에너지 효율이 높은 것으로 알려져 있다.



(a) Brushed DC motor (b) Brushless DC motor

Figure 3. Types of DC motor

3.3.2. 제품 환경성

J사와 V사 제품은 모두 전과정 중 사용 단계에서 CO₂ 배출량이 가장 높은 것으로 파악되었다 (Figure 4 참조). 본 연구에서는 헤어 드라이기의 제품 수명주기를 5년으로 가정하여 CO₂ 발생량을 산출한 결과, 운송

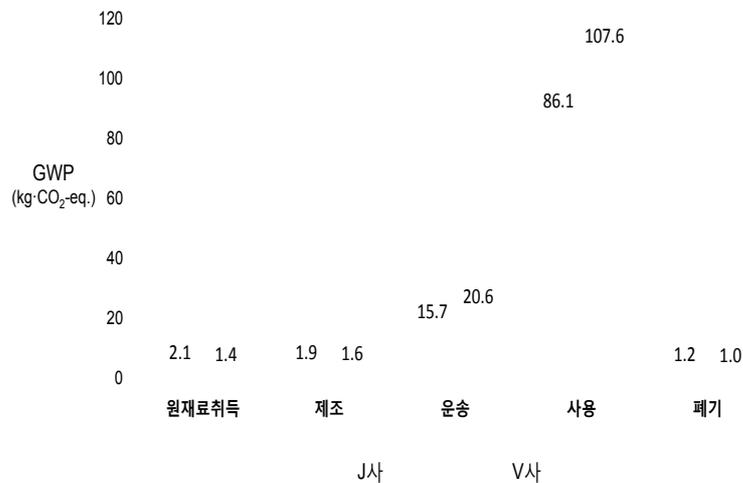


Figure 4. Global warming potential (GWP) by life-cycle phase

단계의 CO₂ 배출량은 V사(21 kg·CO₂-eq.) 제품이 J사(16 kg·CO₂-eq.)에 비해 5 kg·CO₂-eq. 높은 것으로 파악되었는데, 이는 V사는 J사와 달리 국내에 생산 공장이 없어 해외 수입에 의존하므로 운송비용이 많이 드는 것으로 분석되었다. 사용 단계의 CO₂ 발생량은 J사(86.1 kg·CO₂-eq.)와 V사(107.6 kg·CO₂-eq.) 제품 모두 전체의 80% 이상을 차지하였고, J사 제품은 V사보다 CO₂ 배출량이 20 kg·CO₂-eq. 적은 것으로 나타났는데, 이는 친환경적 BLDC 모터 사용으로 헤어 드라이기 1회 사용 시 적은 전력을 소비하기 때문인 것으로 파악되었다.

3.3.3. 이해관계자 요구사항

헤어 드라이기의 이해관계자 요구사항을 파악하기 위해 EQFD를 수행한 결과 사용된 원료물질, 사용 중 에너지 소비, 부품 체결 방식 및 재활용률의 네 가지 사항이 주요 개선 파라미터로 선정되었다(Table 3 참조).

Table 3. Environmental quality function deployment (EQFD)

환경적 이해관계자 요구사항	환경성 파라미터	원재료 사용		제품 제조		제품 운송		제품 사용				제품 폐기								
		중요도	사용된 원료물질	유해 물질	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
원재료 비용 절감		9	9					1								3		3		
제조 비용 절감		9			9	3												3		
물류 비용 절감		3					3	9	1	3										
환경 관련 세금 절감		1		3		9					1									3
분해 조립 용이성		3	1													9	9	9		
제품 내구성 향상		9	3										9	3					9	
구매비용 절감		3	9		3		1	1	1											
사용비용 절감		9								9	1	1							3	
유지보수비용 절감		1								3		3	3						9	
유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)		3		9		9														
에너지 절약 (EuP 등)		9			3				9	9										
재활용률 (WEEE 등)		9	9													9	3	3	9	9
포장재질·포장방법 준수 (환경부령 392호)		3		3					9											
폐기물관리법 준수 (대통령령 제 22631호)		9		9		9						1							9	9
총계		-	219	120	117	144	12	30	42	90	165	19	12	84	63	189	54	108	189	165
가중치		-	12.0	6.6	6.4	7.9	0.7	1.6	2.3	4.9	9.1	1.0	0.7	4.6	3.5	10.4	3.0	5.9	10.4	9.1

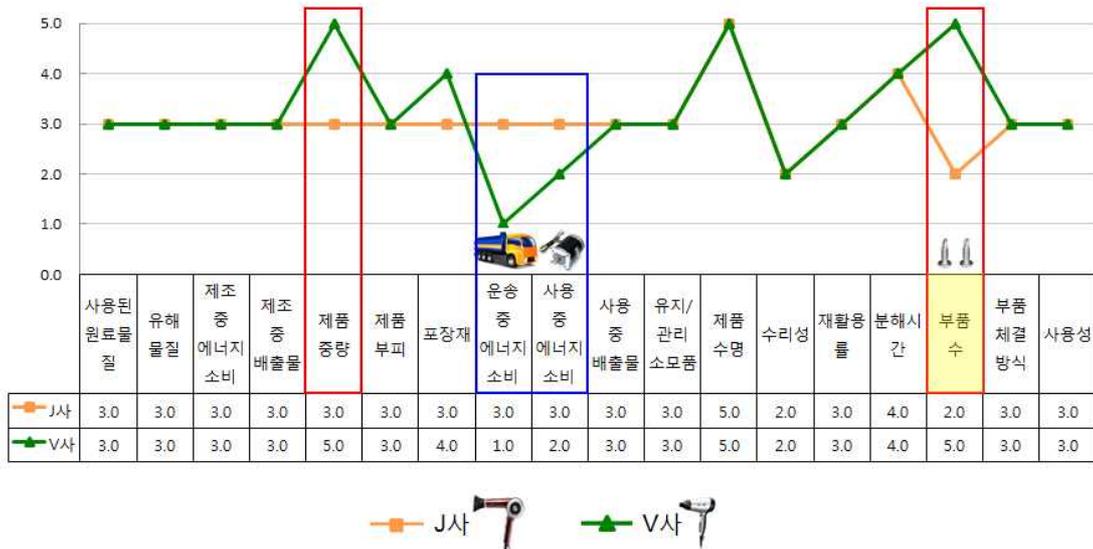


Figure 5. Environmental benchmarking for electric hair dryer

헤어 드라이기 이해관계자의 요구사항은 14가지(기업: 원재료 비용 절감, 제조비용 절감, 물류비용 절감, 환경 관련 세금 절감, 분해 조립 용이성 향상; 소비자: 제품 내구성 향상, 구매비용 절감, 사용비용 절감, 유지보수비용 절감; 정부-환경단체: 유해물질 사용금지, 에너지 절약, 포장 재질 및 방법 준수, 폐기물관리법 준수)로 선정되었다. EQFD 수행을 통해 선정된 파라미터들은 원재료 취득 단계에서 사용된 원료물질(12.0점), 제품 폐기 단계에서 재활용률(10.4점)과 부품 체결방식(10.4점), 그리고 제품 사용단계에서 사용 중 에너지 소비(9.1점) 순으로 선정되어 개선이 필요한 것으로 나타났다. EBM 수행 결과, J사는 에너지 소비 측면에서 우위에 있었으나 제품 중량 또는 부품 수와 같은

사용 측면에서는 V사에 비해 취약하여, 두 제품 간 점수 차이가 가장 큰 부품 수를 개선 파라미터로 선정하였다(Figure 5 참조). EQFD와 EBM을 통해 도출된 개선 대상 환경성 파라미터들 중 중복된 것을 제외한 결과, 사용된 원료 물질, 사용 중 에너지 소비, 재활용률, 그리고 부품 체결 방식이 최종 선정되었다.

3.3.4. 개선대상 부품

헤어 드라이기의 개선대상 부품을 도출하기 위해 2단계의 QFDE를 수행한 결과, 열판부(코일), 구동부(모터), 그리고 팬의 개선이 필요한 것으로 파악되었다. QFDE 1단계 수행 결과는 Table 4와 같으며 2가지 제품 주요 특성과 5가지 개선대상 환경성 파라미터들을 대상으로 총 7가지 제품 특성에 대해 가중치가 산출되었다.

Table 4. Quality function deployment for environment I (QFDE I)

QFDE I	중요도	제품 특성('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')							
		바람온도	바람속도	사용단계 - 에너지 소비	사용된 원료물질	부품체결방식	재활용률	부품수	
기업	원재료 비용 절감	9	1	3		9		3	
	제조 비용 절감	9	1	3					3
	물류 비용 절감	3							
	환경 관련 세금 절감	1							
소비자	분해 조립 용이성	3				1	9		9
	제품 내구성 향상	9	1	3		3	9		
	구매비용 절감	3	1	3		9			
	사용비용 절감	9	9	3	9				
	유지보수비용 절감	1	3	3	3				
	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	3							
정부-환경단체	에너지 절약 (EuP 등)	9	9	3	9				
	재활용률 (WEEE 등)	9				9	9	9	3
	포장재질·포장방법 준수 (환경부령 392호)	3							
	폐기물관리법 준수 (대통령령 제 22631호)	9						9	
총계	-	195	147	165	219	189	189	108	
가중치	-	16.1	12.1	13.6	18.1	15.6	15.6	8.9	

헤어 드라이기의 구성 부품 중 개선대상 부품을 선정하기 위해 QFDE 1단계에서 산출된 가중치를 사용하여 QFDE 2단계를 수행한 결과 Table 5와 같이 코일(22.8점), 모터(17.3점), 그리고 팬(17.3점)이 선정되었다.

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

QFDE II	가중치	제품 구성 부품										
		코일	포장재	본체	흡입구	모터	팬	스위치	노즐	전선	나사	
제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')	바람온도	16.1	9			1			1			
	바람속도	12.1			3	3	9	9	1	9		
	사용단계 - 에너지 소비	13.6	9			1	3	3			3	
	사용된 원료물질	18.1	3				3	3				
	부품체결방식	15.6	1			1	3	3		3	9	
	재활용률	15.6	3	1	9		3	3		3	1	
	부품수	8.9	1							1	3	
	총계	-	392.8	15.6	176.7	81.7	297.8	297.8	37.1	202.7	40.8	182.7
	가중치	-	22.8	0.9	10.2	4.7	17.3	17.3	2.2	11.7	2.4	10.6

3.3.5. 전략 및 과업 도출

본 연구는 개선대상 환경성 파라미터 별 4가지의 친환경 개선 전략과 17가지의 환경성 측면의 해결방안을 제시하였고, 사용성 평가 결과를 바탕으로 4가지의 사용성 측면의 해결방안을 제시하였다 (Table 6, Figure 6 참조). 예를 들어, 환경성 측면에서는 모터의 소비전력을 저감하고 열판부의 열 손실을 최소화하기 위하여 BLDC와 같은 저전력 고효율의 친환경 모터로 교체하거나 코일을 벌집구조로 개선하여 열이 닿는 표면적을 증가시킴으로써 열효율을 높일 수 있다. 사용성 측면에서는 풍속, 온도 버튼 조작부를 분리하고 원터치 방식으로 개선하고, LDPE와 같은 초경량 소재를 사용하여 편의성을 향상시킬 수 있다.

Table 6. Solutions by eco-friendly parameters

개선대상 환경성 파라미터	친환경 제품설계 개선전략	과업	해결방안		
			1	2	3
사용단계 에너지소비	사용단계 에너지 소비 저감	모터의 소비전력 저감	저전력, 고효율 모터로 변경	온도 레벨 조절 장치 세분화 (더 세밀하게)	풍속 레벨 조절 장치 세분화 (더 세밀하게)
		코일의 전력 손실 최소화	온도 변화에 대한 민감성이 큰 코일로 변경 (적은 에너지로 온도 변화 자유자재로)	열 손실을 최소화하기 위한 코일의 길이, 두께, 성분 등을 조절 (벌집구조로 사용하여 표면적 증가)	적정 저항을 갖는 물질로 교체
		팬의 전력 손실 최소화 (열 손실 최소화)	헤어 드라이기 내부의 열을 잘 관리할 수 있도록 설계 (열고 닫을 수 있는 형태)	단열이 잘 되도록 housing 교체	
		친환경 에너지 사용	자가 발전 모터 사용 (사용자가 참여하여 에너지 생산)	친환경 모터 사용	
사용된 원료 물질	사용 원료 물질 및 유해 원료 물질 사용 최소화	사용 원료 물질 최소화	사용설명서와 같은 종이의 경우 전자화 가능 (종이의 이산화탄소 배출량이 많음)	환경에 유해한 원료물질 대체	
재활용률	재활용률 향상	재활용률 낮은 부품 사용 최소화	인쇄회로기판이 아닌, 연성인쇄회로기판 사용 (재활용률이 높음)	합성 제품 사용 (재활용을 쉽게 할 수 있도록)	
부품체결방식	체결 방식 개선	나사 사용 최소화	헤어 드라이기 형태의 변환이 용이하도록 설계 (고정 상태일 경우 부품의 수가 많아질 수 있음)	클립형태의 체결방식 사용	조립 방식의 헤어 드라이기 설계

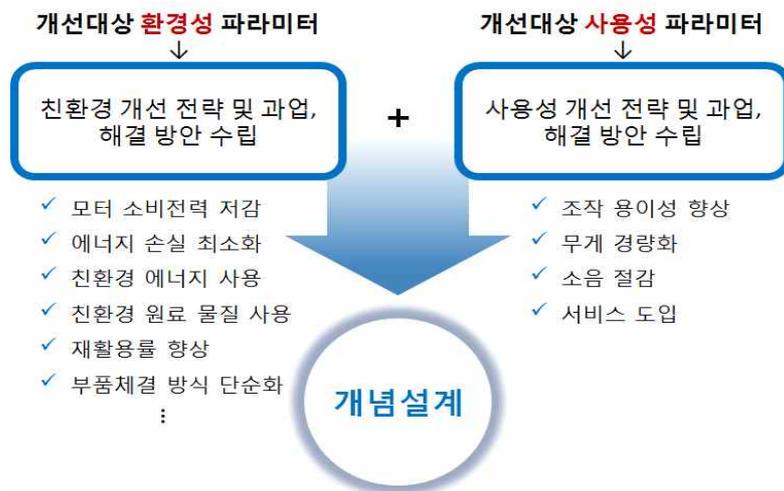


Figure 6. Solutions for eco-friendly and usability parameters

3.3.6. 개념 설계

본 연구는 상향식(bottom-up)과 하향식(top-down)의 다각적 접근 방법으로 에너지, 사용성, 서비스 측면의 세 가지 설계 개념을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 설계 개념들은 상향식(bottom-up) 방식의 전과정 평가 결과와 제품, 사용자, 서비스 측면의 하향식(top-down) 방식으로 접근하여 제안된 해결 방안들을 적절히 조합하여 도출되었다. 첫째, 에너지 효율의 극대화는 헤어 드라이기의 본체, 모터, 코일과 같은 부품의 소재 또는 구조를 개선하여 열효율을 최대화하고 전력 소모를 최소화하는 개념이다. 예를 들면, Figure 7과 같이 헤어 드라이기 본체의 재료를 플라스틱 합성 수지(ABS)에서 단열성이 높은 Teflon으로 교체하고, BLDC 모터를 사용하며, 나선형 코일의 구조를 벌집구조로 개선하는 것이 포함될 수 있다.



Figure 7. Concept of energy-efficient hair dryer

둘째, 사용성 극대화는 실사용자를 고려하여 무게감, 조작용이성, 안전성을 향상시키고 편의성을 최대화하는 개념이다. 예를 들면, Figure 8과 같이 LDPE의 초경량 소재와 초경량 모터 사용, 기능에 따른 버튼 조작부 분리 및 원터치 형태로의 개선, 탈부착식 먼지필터를 사용 등이 포함될 수 있다.



Figure 8. Concept of user-friendly hair dryer

마지막으로, 기업-소비자의 선순환 구조는 제품 폐기단계를 고려하여 제품의 재사용, 재활용률(RCR)

을 향상시키는 개념이다. 예를 들면, Figure 9와 같이 사용자는 수명이 다한 제품을 기업으로 재 발송하고, 기업은 소비자들에게 할인쿠폰을 제공하는 형태로 이해관계자들 간의 선순환 구조를 이루는 것이 포함될 수 있다.



Figure 9. Concept of hair dryer with high recyclability

4. 토의

본 연구는 대표적인 소형 가전제품인 헤어 드라이기에 대해 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면의 평가를 수행하여 시장 경쟁력을 갖춘 신규 제품 설계 개념을 제안하였다. 본 연구는 전과정 평가를 수행하여 환경성 측면의 개선대상 파라미터와 부품들(코일, 모터, 팬)을 선정하였고, 헤어 드라이기의 친환경 개선 전략을 도출하기 위하여 전과정 평가 결과뿐만 아니라 소비자 니즈를 함께 고려하였다. 소비자들의 헤어 드라이기 구매 시 주요 구매 결정 요인은 무게(72%), 성능(19%), 가격(6%)인 것으로 나타나 실용적인 부분을 우선시하는 것으로 나타났다(디지털데일리, 2013). 또한, 본 연구는 헤어 드라이기 구매 시 고려 요소를 조사한 결과, 풍속, 소음과 같은 성능 측면과 더불어 버튼 조작 용이성, 무게감과 같은 사용성 측면이 중요하다는 것을 파악하였다. 따라서, 본 연구가 제안한 세 가지 설계 개념(에너지 효율 극대화, 사용성 극대화, 기업-소비자 선순환 구조)은 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면이 종합적으로 고려되어 헤어 드라이기의 친환경적 설계 가이드라인으로 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구에서 제안된 설계 개념들은 헤어 드라이기와 같이 사용 단계의 에너지 소비가 많은 소형 가전제품들의 친환경적 개선에 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서는 헤어 드라이기에 대한 전과정 평가를 수행하고 사용 단계에서의 탄소배출량이 전체의 80% 이상을 차지한다는 결과를 기반으로 사용 단계의 에너지 절감을 비롯하여 제품을 사용하는 소비자를 고려하여 제안되었다. 예를 들면, 코일, 모터와 같은 구성품의 구조 또는 재질 교체를 통한 전력 손실 최소화, 조작 버튼부의 세분화 및 원터치 방식 도입을 통한 조작 용이성 향상 등의 과업이 도출되었다. 따라서, 제안된 설계 개념들은 헤어 드라이기와 사용 패턴, 구성품이 유사한 소형 온풍기, 열판부를 가지며, 제품 조작이 유사한 전기 포트, 식기 건조기 등과 같은 소형 가전제품에 대한 친환경 제품 설계 전략으로도 활용될 수 있다.

본 연구가 제안한 설계 개념들은 추후 친환경성 및 사용성 측면의 개선 효과 검증과 함께 경제성 측면이 고려되어 시장 경쟁력 확보에 기여할 수 있다. 본 연구는 설계 개념 도출에 초점을 맞추어 실질적인 제약조건과 경제성까지는 고려하지 못하였다. 따라서, 부품의 단가, 생산 절차, 제품의 시장성 등이 고려된 경제성 분석이 뒷받침될 필요가 있다. 본 연구는 추후 친환경성, 사용성, 그리고 경제성 측면의 개선 효과 검증이 필요하다. 6 단계 에코디자인 프로세스를 적용하여 사후 분석을 수행한 결과, 제안된 설계 개념은 개선 전에 비해 사용, 폐기단계의 탄소배출량이 20% 절감(개선 전: 109 kg·CO₂-eq., 개선 후: 87 kg·CO₂-eq.)되는 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서, 친환경성, 사용성, 그리고 경제성 측면의 효과가 종합적이면서 정량적으로 평가된다면 제품의 시장 경쟁력을 확보하는데 보다 효과적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

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

참고문헌

- 1) 장현숙, “2012년 주목해야 할 국제환경규제와 기업 대응전략”, *Trade Focus*, 11(10), 1-38(2012).
- 2) 환경산업기술원, 에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼(에어컨편, 2010).
- 3) Ben-gal, I., Katz, R., and Bukchin, Y., “Robust eco-design: A new application for air quality engineering”, *IIE Transactions*, 40, 907 ~ 918(2008).
- 4) Besnainou, J., Coulon, R., Life cycle assessment, an analytical tool for designing environmentally sound electric and electronic devices, electronics and the environment. *In proceedings of the IEEE International Symposium*(1994).
- 5) Duan et al. Life cycle assessment study of a Chinese desktop personal computer *Sci. Total Environ.*, 407, 1755-1764(2009).
- 6) H.C. Yi, S.Y. Park, J.Y. Shin, and S.Y. Chun., Guideline of eco-friendly LED stand, *In proceedings of the Korean Society for Precision Engineering*(2012).
- 7) Hua Li, Hong-chao Zhang, Derrick Tate, John Carrell, "Improvement of home appliances design based on energy-saving concept: case studies on hair dryer and coffee maker", *In Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, pp. 1-3(2008).
- 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) Rivela, M.T. Moreira, I. Muñoz, J. Rieradevall, G. Feijoo, Life cycle assessment of wood wastes: a case study of ephemeral architecture *Sci. Total Environ.*, 357(1-3), 1-11(2006).
- 11) Scharnhorst et al., Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks *Environ. Int.*, 32(5). 656-675(2006).
- 12) W.P. Schmidt, Integrated product policy (IPP) Workshop and Conclusions for the International Journal of LCA. *The International Journal of Life Cycle*, 5(2), 73-74(2000)