

전과정평가를 통한 스탠드형 전기 온풍기의 친환경적 제품 설계 개선 전략

Product Design Improvement Strategies for Environment for Standing Type Electronic Heaters by Life Cycle Assessment

이지형¹, 곽원식¹, 김재정¹, 박장호¹, 권력환¹, 유희천¹

장필중², 서응수², 송창민², 이준만², 이화조²

¹포항공과대학교 산업경영공학과 / ²영남대학교 기계공학부

Abstract

친환경적 제품은 제품의 생산에서부터 폐기에 이르는 전과정이 환경에 미치는 영향이 최소화된 제품이다. 전과정평가(Life cycle assessment, LCA)는 제품이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 친환경적 제품 설계 또는 개선전략을 도출할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 두 가지 스탠드형 온풍기(H, W사)를 대상으로 제품의 성능 및 사용성을 평가하고, 환경 영향 평가 및 설계개선안 수립을 위해, 6단계(S1. 제품 모델링, S2. 제품 환경성 분석, S3. 이해관계자 요구사항 분석, S4. 개선대상부품 도출, S5. 전략 및 과업도출, S6. 개념설계) 전과정평가 및 분석이 수행되었다. 분석 결과, 본 연구에서는 사용 중 에너지 소비가 높은 열판부와 모터부의 환경 영향이 높은 친환경적 개선 대상 부품으로 선정되었고, 저전력 열판의 병렬 배치, 온풍기의 온도와 풍량 조절 단계의 세분화, 그리고 구성 재질 종류의 축소 등이 제품 설계과정 중 개선전략으로 도출되었다. 본 연구에 적용된 전과정평가와 도출된 개선전략은 사용 중 에너지 소비가 많은 제품에 대한 친환경적 제품설계 시, 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

Keyword: Life cycle assessment, LCA, electronic heater, eco-design, product design

1. 서론

전 세계적으로 기술이 발달함에 따라 개개인의 삶의 질을 향상시키고자 하는 욕구가 높아지고 있다. 한편, 수질오염, 생태계 파괴, 지구온난화에 따른 기후변화 등의 환경문제의 심각성도 날로 증대되고 있다(김진용 외., 2007). 게다가 자원고갈, 에너지 부족 문제도 대두되고 있어 선진국을 중심으로 다양한 환경 규제 강화와 에너지 절약의 실천이 강조되고 있다.

제품 개발 초기 단계에서 제품의 기능, 가격, 성능, 품질, 관련 법규 및 기술적 타당성 등의 설계 요건들뿐만 아니라 제품의 환경 영향을 파악하고, 이를 제품 설계 프로세스에 통합하는 친환경적 디자인의 필요성이 강조되고 있다. 전과정평가는 원료 수집 및 자재 생산에서부터 조립, 운송, 사용, 유지 및 폐기에 이르기까지 제품이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 일련의 과정으로 친환경적 디자인을 하기 위한 필수과정이다. 정현창 외(2006)는 샴푸에 대한 전과정평가 수행 결과, 원료/포장재 생산 단계의 환경영향이 가장 높은 것으로 보고하였다. 황태연과 윤성이(2007)는 포장 두부 제품이 환경에 미치는 영향은 대부분 원료의 채취로부터 제품의 제조에 이르는 과정임을 명시하였다.

본 연구에서는 동절기 실내 난방에 사용되는 대표적 전기제품인 전기 온풍기에 대하여 전과정평가를 수행하여 환경영향이 가장 높은 제품개발 단계와 부품을 파악하고

이를 바탕으로 친환경적 제품설계 개선 전략을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 두 가지 스탠드형 온풍기(HP-3305WS, HEF-3300)의 제품 성능 평가를 수행하고 제품 개발 단계 중 환경에 미치는 영향이 가장 큰 단계와 부품 파악한다. 친환경적 제품 설계 개선전략을 제안하기 위한 전과정평가를 위해 환경산업기술원에서 제작하여 배포한 에코디자인 프로세스를 활용하였다. 에코디자인 프로세스는 두 가지 스탠드형 온풍기에 대해 제품 모델링, 제품 환경성 분석을 수행하고, 제품의 환경성이 높은 제품을 개선 대상 제품으로 선정한 후 이해관계자 요구 분석, 개선대상 부품 도출, 전략 및 과업 도출, 개념 설계순서로 수행되었다(환경산업기술원, 2010., 그림 1참조).

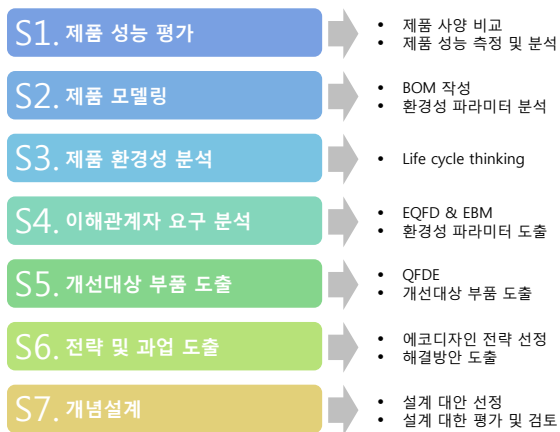


그림 1. 제품 성능 평가 및 에코디자인 프로세스

2.1.1 제품 성능 평가

스탠드형 온풍기의 성능 평가는 제품의 사양을 조사하고, 586 cm(가로) × 327 cm(세로) × 260 cm(높이)의 공간에서 온도, 습도, 풍속, 소음, 대기 전력, 사용 전력을 측정하였다. 온도와 습도는 1분 간격으로 총 10분 동안 측정하였다.

2.1.2 제품 모델링

제품 모델링은 에코디자인 프로세스 수행을 위한 제품정보를 수집하기 위해 제품을 부품단위로 분해하여 각 분해 단계, 부분의

이름, 중량, 분해시간, 재질 등을 작성하여 GWP, 재활용률, 그리고 재활용 중량과 같은 환경 특성을 수집하고 원재료의 목록을 작성하고 환경성 파라미터의 정보를 수집하는 단계이다.



그림 2. HP-3305WS의 부품 단위 분해

2.1.3. 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석은 제품의 전과정 중 환경에 부정적인 영향을 미치는 파라미터를 규명하기 위해, 전과정사고(life cycle thinking, LCT)를 원재료 취득 단계, 제조단계, 운송단계, 사용단계, 폐기단계에 적용하여 투입물과 배출물을 조사하여 개선대상 환경성 파라미터를 도출하는 단계이다.

2.1.4. 이해관계자 요구사항분석

이해관계자 요구사항분석은 이해관계자 요구사항을 만족시키기 위한 환경성 파라미터 도출을 위해 환경품질기능전개(environmental quality function deployment, EQFD), 환경성 벤치마킹(environmental benchmarking, EBM)을 수행하여 주요 환경성 파라미터를 도출하는 단계이다.

2.1.5. 개선 대상 부품 도출

개선 대상 부품 도출은 환경적으로 개선이 필요한 부품 도출을 위해, 품질환경기능전개(Quality Function Deployment for Environmental, QFDE) 1단계를 적용하여 이해관계자 요구사항과 제품과 품질특성간의 관계를 규명하고 1단계의 가중치 결과를 반영한 QFDE 2단계를 수행하여 품질 특성과 부품간의 관계를 규명하는 단계이다.

2.1.6. 전략 및 과제 도출

전략 및 과제 도출 단계는 도출된 환경성 파라미터에 대한 친환경 개선전략 수립을 위해 환경성 파라미터별 친환경 개선 전략 및 세부적인 과업과 해결방안을 도출하는 단계이다.

2.1.7. 개념설계

개념설계는 도출된 친환경 개선방안으로부터 제품의 환경적 사양 도출을 위해 설계 대안을 선정, 평가, 검토하는 단계이다.

3. 결과

3.1 제품 환경성

전기 온풍기 HP-3305WS 제품의 주요 환경 특성을 분석한 결과, 포장재를 포함한 제품의 총 중량 8.9 kg 중 재활용 가능한 중량이 7.6 kg으로 재활용률은 86%로 나타났으며, 지구온난화지수 GWP[kg · CO₂-eq] 은 215.0 kg · CO₂-eq으로 나타났다. 또한, 전과정평가를 통한 단계별 탄소 배출량 분석결과, 그림 3과 같이 사용 단계의 탄소 배출량 4,464 kg · CO₂-eq 이 가장 높은 것으로 나타났다(그림 3 참조)

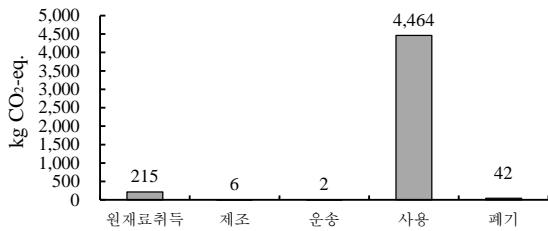


그림 3. 전과정 단계별 탄소 배출량

3.2 이해관계자 요구사항

EQFD를 통해 환경관련 이해관계자들이 중요하게 고려하는 개선 대상 파라미터를 분석한 결과 사용된 원료 물질, 사용 중 에너지 소비, 그리고 재활용률이 개선 대상 주 환경 파라미터로 선정되었다(그림 4 참조). 또한 제품 환경성 분석결과 환경성이 낮은 HEF-3300 제품을 벤치마킹 대상으로 하여 EBM을 수행하여 분석한 결과, 벤치마킹 파라미터는 사용된 원료물질, 제조 중 에너지 소비, 제품 중량이 선정되었고, 제품 경쟁력

항상 파라미터는 사용중 에너지 소비, 수리용이성, 재 사용성이 선정되었다. LCT, EQFD, EBM 수행 결과를 종합한 결과 사용 중 에너지 소비가 주요 개선 파라미터로 선정되었다.

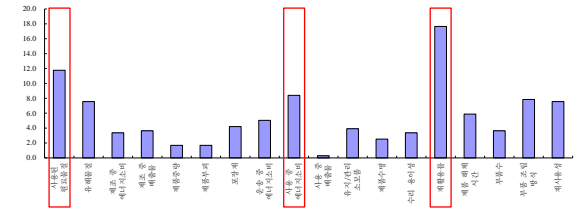


그림 4. EQFD 수행으로 도출된 개선 대상 파라미터



그림 5. HEF-3300과 HP-3305WS와의 EBM분석

3.3 개선 대상 부품

개선 대상 부품을 도출하기 위해 QFDE를 수행한 결과 온풍기의 열판부(19.1%)와 구동부(18.6%)제품 환경성 분석결과와 이해관계자 요구사항 분석 중 EQFD 수행 결과를 바탕으로 사용단계의 에너지 소비를 절감할 수 있는 모터부와 열판부를 개선 대상 부품으로 선정하였다.

표 1. QFDE를 통해 도출된 개선 대상 부품

QFDE II	가중치	제품 구성 부품							
		포장재	구동부	흡입부	송풍부	열판부	외관 케이스	스위치	나사
온도 변화율	13.3		3	1	3	9	1		
풍속	4.4		9	3	3				
풍량	4.4		3	3	9				
풍향 조절 범위	0.4				9		1		
소음	4.4		9		3				3
사용된 원료 물질	18.6	3	3	1	1	3	3	1	1
제조 중 에너지 소비	5.3		9	1	1	3	1	1	
제품 중량	2.7	3	9	3	3	3	9	1	1
사용중 에너지 소비	13.3		3			9			
수리 용이성	5.3		3	3	1	1		9	9
재활용률	27.9	3		3	3		3	3	3
총계	-	147.3	315.9	171.2	231.0	323.9	182.3	158.0	165.9
가중치	-	8.7	18.6	10.1	13.6	19.1	10.8	9.3	9.8

3.4 개선 전략

본 연구의 개선 전략 도출은 ‘가격 경쟁력을 갖춘 따뜻한 바람’과 ‘인체에 무해한 따뜻한 바람’의 두 가지 측면에 초점을 맞춰 개선 대상 환경성 파라미터를 중심으로 제안된 다수의 해결방안을 선정하였다(표 2 참조).

표 2. 개선 해결방안 및 설계대안(사용 중 에너지 소비)

개선대상 환경성 파라미터	친환경 제품설계 개선전략	과업	해결방안		
			1	2	3
사용 중 에너지 소비 (경쟁력 향상)	사용 중 에너지 낭비율 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	강화성 물질의 쿼리온도 센서 적용
		윈드 가이드 구조 및 재질 개선	바람이 열판을 여러번 통과하는 구조 설계	윈드 가이드를 재질을 단열재로 사용	
사용 중 에너지 소비 (경쟁력 향상)	사용 중 에너지 사용 효율 극대화 (제품)	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 집중도 향상	

3.5 개념 설계

연구에서 도출된 첫 번째 설계 대안은 에너지 효율 극대화이고, 두 번째 설계 대안은 인체에 유해한 재료를 최소화하는 것이다. 첫 번째 대안 실현을 위해 제품이 갖추어야 할 주요 사항으로 소비전력이 작은 열판의 병렬 배치와 같은 구조개선, 온풍기의 잔열을 사용한 가습기 기능 추가 등이 제안되었고, 두 번째 설계 대안 실현을 위해 비 나사식 조립구조, 친환경 항균 나노 필터 적용, 자동 온/습도 조절 기능 추가, 저소음 고효율 모터 사용 등이 제안되었다.

4. 토의

본 연구는 겨울철 전기 난방기구인 온풍기를 전과정평가를 통해 환경영향을 평가하고 친환경적 제품 설계 개선 전략을 제안하였다. 온풍기와 같은 전기 난방기구는 제품의 전과정 중에서 사용 단계에서 탄소 배출량이 가장 높은 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 도출된 중요 개선 대상 파라미터는 에너지 효율 개선으로 개선 대상 부품으로는 온풍기의 열판부와 구동부가 선정되었다. 특히, 열판부는 온풍기의 에너지 사용량의 90% 이상을 차지하는 부분으로 개선시 탄소배출량을 감소시킬 수 있는 가장 큰 부분으로 사료된다. 시중에 출시되어 있는 소형 온풍기 또는 탁상형 온풍기(소비전력: 1,200W)의 열판부와 스탠드형 온풍기(소비전력: 3,000W) 소비 전력을 비교하였을 경우 약 2.5배 차이가 나타나는 것으로 파악되었다.

본 연구에서 제안된 소비전력이 낮은 열판부를 2개를 병렬로 배치된 구조의 온풍기를 디자인 했다고 가정할 경우 947.8 kg · CO₂-eq의 탄소 배출량을 절감할 수 있는 것으로 예측되었다(그림 6 참조).

본 연구에서 제안된 설계 방안은 추후 사용 단계에서 환경적 개선이 필요한 제품 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

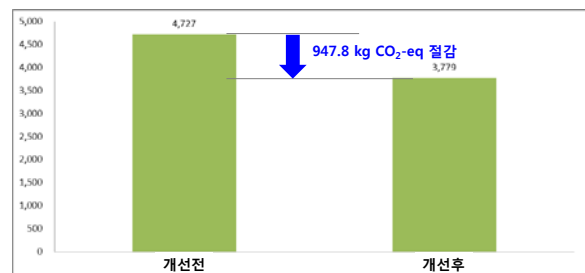


그림 6. 제품 개선에 따른 탄소 배출량 변화

5. 감사의 글

본 연구는 2012년도 포항공과대학교 에코디자인 전문인력양성사업(2012-4.0007076.01)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

환경산업기술원(2010). 에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼.

김진용 외(2007) 서로다른모델의 전동차에 대한 비교 전과정평가. *한국철도학회*

정현창 외(2006). 삼푸의 전과정평가에 관한 연구. *한국전과정평가학회*.

황태연, 윤성이(2007). 식품산업에 있어서 포장두부의 전과정평가 사례연구. *한국유기농학회지*.