

6 단계 에코디자인 프로세스를 이용한 스탠드형 가정용 전기온풍기의 친환경성 개선

이화조, *서응수, *장필중, *손창민
영남대학교 기계공학부
*영남대학교 대학원

Environmental Improvement of Portable Fan Heater Using 6-Step Eco-Design Process

Hwa Cho Yi, Eung Soo Seo, Phil Jung Jang, Chang Min Son
School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

Received: 22 August 2012 / Accepted: 19 September 2012

Abstract

A sustainability assessment, i. e. life-cycle assessment, is conducted to reduce the environmental impacts of all stages of a product's life cycle, from production to disposal.

This life-cycle assessment is a technique used for the scientific and quantitative measurement of pollutant emissions and resource consumption. During the assessment, a list of inputs and outputs is compiled and analyzed, their environmental impacts are assessed, and the results are interpreted to serve the study purposes, helping develop an environmentally friendly product design and an improvement strategy.

In this study, two types of portable fan heater use (A and B) were evaluated for energy efficiency and environmental friendliness. The analysis results revealed that the heating panel and motor parts had high environmental impacts and were therefore selected as environmental improvement targets, and the improvement strategy was developed to divide the airflow rate into high, medium, and low, just like ordinary fans.

Using this technique, the study found that the heating panel and motor parts had poor energy efficiency. Once the strategy was implemented through the life-cycle assessment, their energy efficiency improved dramatically.

1. 서론

전과정평가(LCA: Life Cycle Assessment)는 제품의 생산부터 폐기까지의 전과정에서 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 사용하는 대표적인 평가기법이다[1, 2]. 전과정평가에서는 환경 오염 물질의 배출 및 자원 소모량을 과학적이면서도 계량적으로 측정한다. 이는 투입물과 산출물의 목록을 취합하여 분석하고 이에 대한 환경적 영향들을 평가하며 이 과정에서 얻어진 결과를 연구의 목적에 맞게 해석함으로써 친환경적 제품설계 및 개선전략을 도출할 수 있다. 본 연구에서 두 가지의 가정용 스탠드형 전기온풍기(A, B)를 대상으로 전과정평가를 기반으로 하는 제품의 친환경성평가를 수행하고 결과를 바탕으로 제품의 에너지효율 및 환경적 측면을 분석하여 개선해 보았다.

친환경성 평가는 한국환경산업기술원에서 제안한 에코디자인 프로세스[3]를 기반으로 1.제품 모델링, 2.제품 환경성 분석, 3.이해관계자 요구사항 분석, 4.개선대상 도출, 5.전략 및 과업도출, 6.개념설계로 총 6단계로 수행하였다. 분석결과 에너지 소비가 높은 열판부와 모터부가 환경영향이 높은 부품으로 분석되어 친환경적 개선 대상 부품으로 선정되었으며 일상에서 흔히 사용되는 선풍기와 같은 요령으로 송풍량을 강, 중, 약의 형태로 세분화하는 것이 개선전략으로 도출되었다. 이와 같은 기법으로 연구를 진행한 결과 열판부와 모터부는 에너지 효율이 나쁜 부품으로 분석되었다. 따라서 이러한 문제점을 전과정평가 기법에 의한 개선 결과 효율이 크게 개선된 연구결과를 도출할 수 있었다.

2. 제품의 친환경성 분석

2.1 목적 및 범위 정의

2.1.1 목적 정의

본 연구의 목적은 전과정평가를 수행하여 친환경 스탠드형 전기온풍기에 대한 환경영향을 평가하고 이 결과를 통해 친환경성 제품의 개선 기회를 모색하고자 함에 있다.

Table 1. 연구 목적 정의

연구의 목적	<ul style="list-style-type: none"> ■ 친환경 스탠드형 전기온풍기의 환경성 평가
이해관계자	<ul style="list-style-type: none"> ■ 메이커 제품개발 담당자 ■ 산업체 환경담당자 ■ 전기제품 환경 관련 연구자 ■ 환경에 관심 있는 개인
연구의 이용분야	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 전기온풍기의 친환경적 개선전략 및 제품개발 방향 수립 ■ 환경친화적 전기온풍기 개발을 위한 참고 자료

2.1.2 범위 정의

2.1.2.1 기능 및 기능단위 설정

본 연구의 대상은 국산 전기온풍기로 환경성평가를 통해서 환경적, 에너지효율 측면의 문제점 분석과 환경에 미치는 영향이 가장 높은 부품을 파악하고 에너지효율도 향상되는 친환경적 제품으로 설계 할 수 있도록 개선안을 도출하고자 한다.

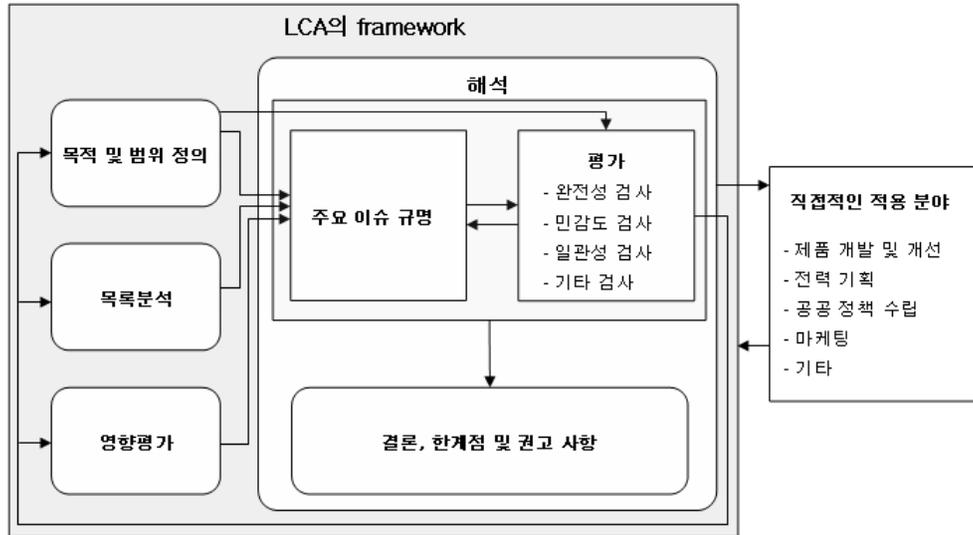


Fig. 1. 전과정 해석 수행절차 및 LCA 단계와의 관계

2.2 제품의 친환경성 평가

2.2.1 제품의 실험방법

2.2.1.1 실험대상 제품

본 연구는 가정용 스탠드 전기온풍기 제품 친환경성 평가를 수행하고 제품 개발 단계 중 환경과 에너지효율에 미치는 영향이 가장 큰 단계와 부품을 파악하여, 친환경적 제품 설계를 위해 개선전략, 에코디자인 프로세스는 제품성능평가, 제품 모델링, 제품 환경성 분석, 이해관계자 요구 분석, 개선대상 부품 도출, 개선전략, 개념설계 순으로 수행하였다.

가정용 스탠드형 전기온풍기로써 A와 B모델을 실험 비교 대상 제품으로 채택했다. 두 제품 모두 3,000W(강), 2,000W(약)의 전기를 사용 하며 항공기 기내에 쓰이는 PTC열관을 사용하고, 2중 안전장치를 보유 하고 있으며, 상하 각도 조절이 가능하며, 필터를 가지고 있다. 제품A는 발열량이 2,580kcal/h이고, 노브식 형태의 스위치이며, 물세척이 가능한 반영구적 프리필터를 가지고 있다. 제품B는 버튼식 형태의 스위치이고, 실내의 쾌적함을 위한 향균 프리필터를 가지고 있다. 사용전력이 3000W로 높은 편에 속하며 일반 가정에서 사용할 시 전기요금이 4~40만원으로 책정되었다. (Figure 2)



· 난방면적	20~33m ²
· 최대 발열량	2,580kcal/h
· 기계식 · 노브타입(로타리방식)	
· 2중 안전장치 설치	
· 강약 조절	
· 공간 절약형	
· 반영구적인 프리필터(물세척 가능)	
· 상/하 각도조절(수동)	
· 탈착식 프리필터(필터OPEN 시 제품전원 OFF)	
· 소비전력	강 : 3,000W, 약 : 2,200
· 중량	7.4kg
· 정격	220V/60Hz
· 규격	211×328×836(W×D×H)mm

Made in Korea

제품 주요규격 및 주요사양

제품규격	제품사양	
모델명	 <p>난방면적 19,83m²~26,44m²</p> <ul style="list-style-type: none"> · 고성능 고효율 안전난방 · 2단계 강, 약 풍속 · 수동 상하 풍향조절 	
제품명		
정격전압		단상교류 220V/60Hz
소비전력		강 3,000W / 약 2,250W
크기		347mm(W) × 265mm(D) × 784mm(H)
중량		7.7kg
코드길이		1.8m

가정용 전기 사용량 및 요금 2010. 8. 01 시행 기준

MODEL	히터 조절	일반가정 월 사용량		1일 3시간 25일 사용시		1일 8시간 25일 사용시		소비전력
		기준사용량	전기요금	전력사용량	사용요금	전력사용량	사용요금	
A	강	월190kw	₩19,220	225kw	₩62,520	600kw	₩321,190	3,000Wh
		월290kw	₩38,800	225kw	₩96,440	600kw	₩376,230	
	약	월190kw	₩19,220	169kw	₩40,850	450kw	₩209,280	2,250Wh
		월290kw	₩38,800	169kw	₩61,630	450kw	₩264,310	

Fig. 2. 제품사양 A(위), B(아래) 및 B 모델의 예상 전기요금

2.2.1.2 제품 성능평가

스탠드형 가정용 전기 온풍기의 성능 평가는 제품의 사양을 조사하고, 585cm (가로) * 327cm (세로) * 260cm (높이)의 공간에서 온도, 습도, 풍속, 소음, 대기전력, 사용 전력을 측정하였다. 온도와 습도는 1분 간격으로 총 10분 동안 측정하였다. (Figure 3)



Fig. 3. 제품성능 측정장치

측정 결과 온도는 21°로 시작해서 10분 때 최대 약 44°를 나타냈다. 습도는 측정 동안 비슷한 값을 보여주거나 상승했다. 풍속은 A제품이 2.9m/s, B제품이 3.6m/s(강)로 0.7m/s 차이가 나타났다. 소음은 두 제품 모두 강, 약 모드에서 비슷한 값을 보였다. 사용 전력의 경우 3,000W로 되어 있지만 그 이상 전력이 사용되는 것을 알 수 있었다. (Table 1 참조)

Table 1. 제품 A(위), 제품 B(아래) 성능평가

성능 측정																																		
실험공간 크기		3270 mm X 5855 mm X 2600 mm																																
실험당 기동시간		10분																																
측정 전														경과 시간(min)																				
히터 종류	히터 설정 단계	0			1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
		온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력	온도	습도	전력			
A	강	21.8	17	29.9	15.9	36.3	15.5	39.6	16.2	41.3	16.9	42.4	17.5	42.8	17.8	43.2	18.1	43.5	18.3	44	18.6	44.3	18.9											
A	약	20.6	16.7	22.9	17.1	26.8	15.8	29.8	15.6	31.5	15.5	32.2	15.6	32.6	15.7	32.8	15.7	33.7	15.9	34	16	34.3	16.1											
B	강	21.3	16.8	30.6	15.6	35.6	15.9	37.5	16.3	38.6	16.4	39.5	16.5	40	16.5	40.1	16.4	40.3	16.4	41.5	16.3	42.3	16.6											
B	약	21.3	17.5	29.2	16	34.2	15.9	36.6	16.3	38.3	16.8	38.7	17	39.3	17.2	39.6	17.3	39.4	17.4	39.5	17.5	39.9	17.5											

제품의 스펙																
입구 크기																
히터 종류	히터 설정 단계	본체의 크기(mm X mm Xmm)			송풍구		송풍구 면적 (m ²)	풍속(m/sec)	풍량 (m ³ /sec)	풍향조절범위 (상하, °)	소음 (dB)	대기전력 (W)	표기된 소비전력(W)	실 소비전력(W)	조작 버튼의 형태	안전 장치
		Width (mm)	Depth (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Height (mm)										
A	강	211	328	836	155	94	1.5	2.9	4.2	66.5	48.3	0	3,000	3042	Dial	X
A	약							2.5	3.6							
B	강	347	265	784	158	90	1.4	3.6	5.1	21	48.9	0	3,000	3020	Push	X
B	약							2.9	4.1							

2.2.1.3 제품의 구조분석

제품을 에코디자인 프로세스에 적용시키기 위해 취급하기 쉬운 물리적인 데이터로 재 구성하는 작업으로, 제품의 기초데이터를 수집하여 DB화 시키는 과정이다. 제품 구조 분석 목록으로 조립 단위, 부품명, 재질명, 중량, 분해시간, Material name, 재질별 중량, GWP(Global Warming Potential), 재활용률, 재활용 중량으로 목록을 구성했다. 제품A를 구조 분석하기 + 드라이버와 니퍼를 이용해서 분해를 했다. 조립단위로는 큰 부품 단계에서 점차 작은 단계로 분류되는 과정으로 총 5단계로 나누었다. 분해시간은 약 39분이 소요되었는데, 스크류 푸는 시간이 가장 많이 걸렸다. 재질은 ABS, PP, PE, 구리, 강철 등 여러 종류가 분류되었다. 재질 품목별로 정리하여 재활용률을 나타내 본 결과 89%정도 재활용 가능한 것으로 나타났다[5]. 제품B는 제품A와 동일하게 분해 했으며 분해가 불가능 하게 되어 있는 부분이 있어 절단을 했다. 절단 시간으로 인해 제품A보다 약 3분 더 걸렸다. (Table 2)

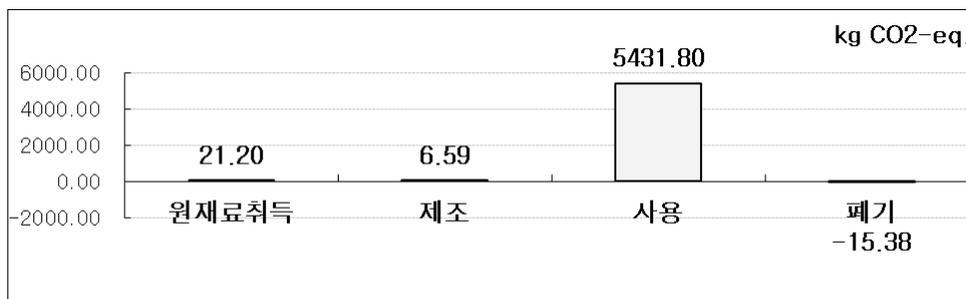
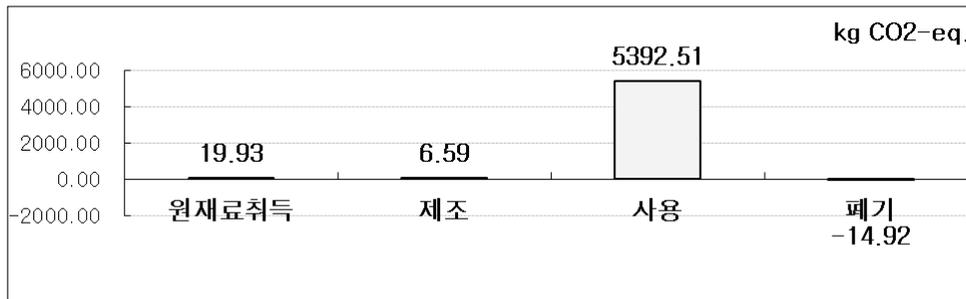
Table 2. 제품 A(위), B(아래)

모델명	조립단위						분해시간[분]	재질별 중량 [kg]	GWP [kg]	재활용률 [%]	재활용중량 [kg]
	0	1	2	3	4	5					
A	1	2	12	12	13	6	39.2	8.08	19.9292	89%	7.16
B	1	2	13	18	14	5	42.7	8.17	21.1973	87%	7.13

2.2.1.4 제품의 환경분석

제품 환경성 분석은 제품을 제조하기 위한 원재료 단계에서부터 사용하고 폐기하는 제품 전과정 평가에서 가장 부정적인 영향을 미치는 단계를 분석한다. 원재료취득, 제조, 사용, 폐기 단계로 나누어 CO₂배출량으로 나타냈다. 제품A(5431.80kg · CO₂-eq)와 제품B(5392.5180kg · CO₂-eq) 두 제품 모두 사용 중 측면에서 열판과 모터의 사용으로 인해 CO₂배출량이 가장 많은 것으로 분석되었다.(Table 3)

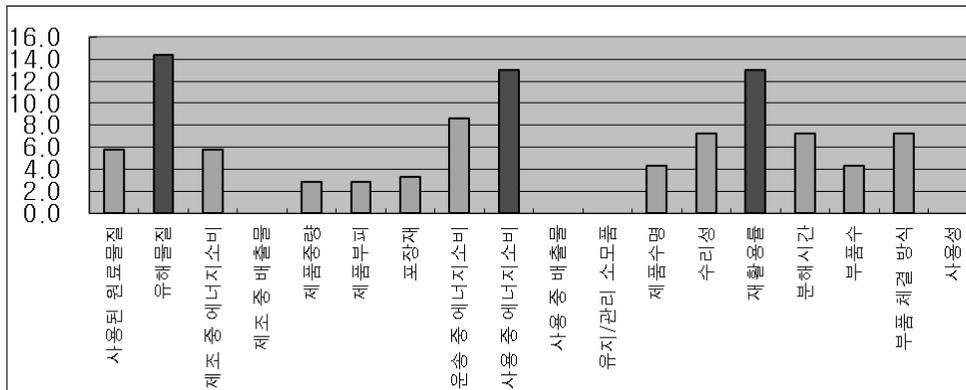
Table 3. 제품 A(위), B(아래) 환경성 분석

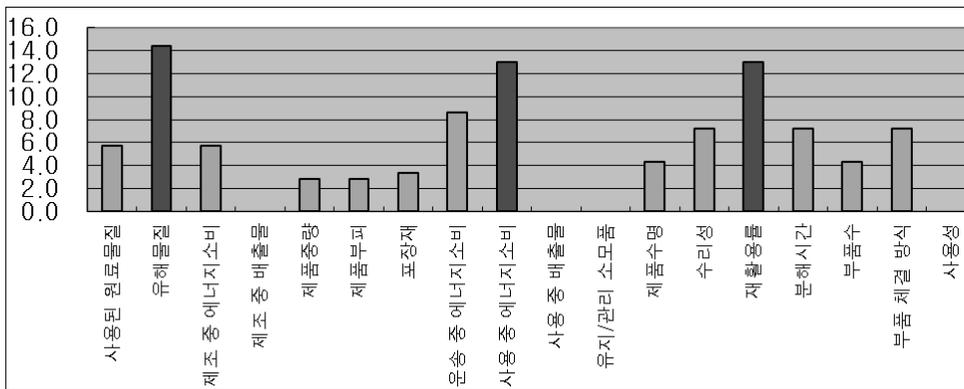
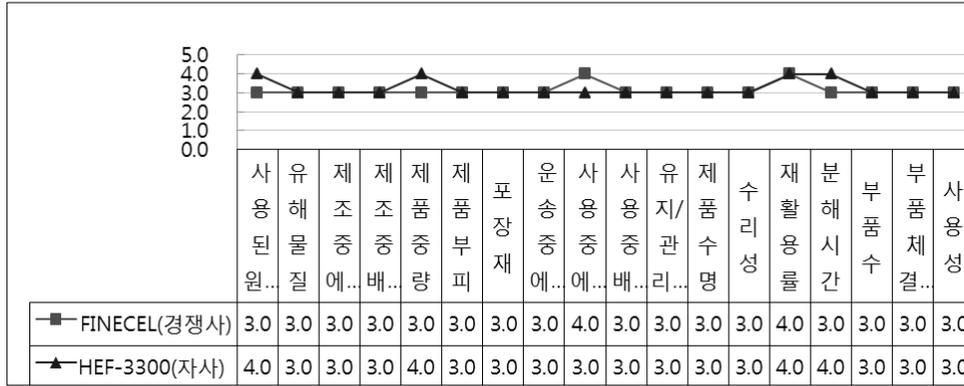


2.2.1.5 소비자 및 공급자 요구사항 분석

여러 이해관계자와 관련이 있다. 법규, B2B/B2C형태의 고객들, 환경마크 등 여러 이해관계를 고려하기 위해 주요 환경성 파라미터를 선정하고 이를 점수로 환산하여 가장 중요한 파라미터들만 선정하는 과정이다. 공급자 요구사항분석에서는 경쟁사와 자사의 제품을 비교하는데 있다. 여러 제품들과 경쟁하게 되는데 경쟁사보다 좀 더 환경적으로 우위에 설 수 있게 하는 작업이다. 환경성 파라미터로 사용된 원재료사용(원료물질, 유해물질), 제품 제조(제조 중 에너지소비, 제조 중 배출물), 제품 운송(제품중량, 제품부피, 포장재, 운송 중 에너지소비), 제품 사용(사용 중 에너지소비, 사용 중 배출물, 유지/관리 소모품, 제품수명, 수리성), 제품 폐기(재활용률, 분해시간, 부품 수, 부품 체결 방식, 사용성)로 목록을 구성하여 중요한 파라미터에 높은 점수를 주었다. 환경적 이해관계자 요구 사항으로 환경관련 법규(유해물질 사용금지, 에너지 절약, 재활용율), 환경마크(원재료물질량 절감), 소비자의 요구사항(제품 내구성 향상, 수리 용이성, 운송의 최적화, 분해 조립 용이성)으로 목록을 구성하여 중요한 파라미터에 높은 점수를 주었다. 환경성 파라미터와 환경적 요구사항 모두 중요하다고 생각되는 목록에 점수로 표시하여 중요 파라미터를 선정하였다. 여기서 A제품을 자사제품으로 두고 B제품을 경쟁사로 하여 비교 하였다. 두 제품 모두 비슷한 수치로 유해물질(14%), 사용중 에너지소비(13%), 재활용률(13%) 순으로 환경성 파라미터가 선정되었다. (Table 4)

Tabel 4. 제품 A(위), B(아래) 의 요구사항 분석





2.2.1.6 문제점 분석 및 개선대상 부품도출

앞에서 시행한 여러 작업들을 분석한 결과 사용중인 경우에 환경적 문제와 에너지소비 두 가지가 문제점으로 나타났다. 환경적인 문제로는 사용중 열판과 모터의 사용으로 CO₂ 배출이 가장 크게 나타났으며(Table 3), 에너지소비로는 열판, 송풍구, 모터, 팬이 문제점으로 나타났다. (Table 5) 개선대상 부품도출은 두 가지 단계로 나뉜다. 첫 번째는 소비자 및 공급자의 요구사항분석과 환경성 파라미터들의 상관관계를 조사하는 단계이다. 환경성 파라미터들은 개선대상 및 제품의 주요특성을 말하며 각 항목들에 대한 가중치를 부여했다. 각 항목의 상관성의 높고 낮음을 점수로 매기며 앞에서 했던 요구사항분석의 중요도를 곱하여 점수로 합산한다. 두 번째 단계에서 중요도와 상관성을 곱한 점수를 기준으로 상위 항목들만 나열하여 그에 해당하는 부품을 선정하고 첫 번째와 마찬가지로 상관성을 점수로 나타내었다. 그 결과 제품이 전기온풍기라는 관점에서 바람온도와 바람속도, 에너지 소비에 관해 열판(16.3), 송풍기(16.3), 모터(17.8), 팬(19.0)이 높은 점수로 나타났다. (Table 5)

Table 5. 제품A(위), B(아래) 개선부품

QFDE II	가중치	열판	송풍기	스크류	포장재	뚜껑+케이스	흡입구	흡입구 망	모터	팬	스위치
바람온도	19.4	9							9	9	
바람속도	19.4		9						9	9	
사용단계 -에너지 소비	19.4	9									9
유해물질	0.0										
재활용률	19.4		9			9				3	
부품수	9.4			9							
부품체결방식	10.8			9		1	3	3	3		3
운송의 안정성	2.2				9						
총계	-	349.640288	349.640288	181.294964	19.4244604	185.611511	32.3741007	32.3741007	382.014388	407.913669	207.194245
가중치	-	16.3	16.3	8.4	0.9	8.6	1.5	1.5	17.8	19.0	9.6

QFDE II	가중치	열판	송풍기	스크류	포장재	뚜껑+케이스	흡입구	흡입구 망	모터	팬	스위치
가열온도	19.4	9							9	9	
가열속도	19.4		9						9	9	
사용단계 -에너지 소비	19.4	9									9
유해물질	0.0										
재활용률	19.4		9			9				3	
부품수	9.4			9							
부품체결방식	10.8			9		1	3	3	3		3
운송의 안정성	2.2				9						
총계	-	349.640288	349.640288	181.294964	19.4244604	185.611511	32.3741007	32.3741007	382.014388	407.913669	207.194245
가중치	-	16.3	16.3	8.4	0.9	8.6	1.5	1.5	17.8	19.0	9.6

2.2.1.6 개선전략

도출은 스탠드형 가정용전기온풍기의 환경적 문제와 에너지효율, 추가적으로 쾌적한 환경 측면에 초점을 맞춰 개선 대상 환경성 파라미터를 중심으로 해결방안을 제시하였다. 에너지효율을 향상된다면 환경적인 측면도 동반하여 향상될 것으로 생각되어 개선안을 나타냈다. 개선안 1은 저전력 열판에 구리관 3개를 설치하여 강, 중, 약의 형태를 만들고 구조를 바꾸는 방안이다. 개선안 2는 저전력 열판에 온도센서를 설치하여 전자적으로 온도 제어, 모터 회전수 조절(강, 중, 약), 복사열로 온도를 유지 하도록 송풍통로에 알루미늄 호일과 같은 역할을 할 수 있는 재료를 부착시키는 방안이다. 두 가지 개선안 모두 최근 제품과 비교 해 볼 때 에너지 측면과 환경적인 측면 쾌적한 환경 측면으로 해결방안을 제시하였다. (Table 6)

Table 6. 개선대상

개선대상 환경성파 라미터	친환경 제품 설계 개선전략	해결방안		
		1	2	3
사용중 에너지소 비	사용중 에너지 감소방안 및 쾌적한 환경 설계	저전력 열판사용	저전력 병렬 열판사용	저전력 열판에 구리관 설치
		온도 센 서추가	가습기능 추가	항균필 터 추가
	구리관 3 개 설치 하여 강, 중, 약의 온도분포 사용	모터 회 전수 조 절(강, 중, 약)		
	사용중 에너지 효율 향상방법	송풍구를 위, 아래 로 모두 배치	와류를 형성하여 온도 유 지 할 수 있도록 블로우 모터 부분 에서 바 람이 나 오는 통 로를 자형 으로 구조 개선	복사열 로 온도 를 유지 하도록 블로우 모터부 분에 알 루미늄 호일과 같은 재 료를 부 착시킴
			V1	V2

2.2.1.7 평가결과

본 연구에서 친환경성평가를 통해 제품 A와 제품 B 두 제품을 비교 분석했다. 분석 결과 환경적인 문제와 에너지효율에 대한 내용을 많이 다루었다. 제품의 문제점을 파악하고 분석하여 개선안을 도출했다. 개선안으로 첫 번째 에너지효율 극대화이고, 두 번째 설계 대안은 쾌적한 환경을 추구하는 것이다. 첫 번째 대안 실현을 위해 제품이 갖추어야 할 주요 사항으로 저전력 열판에 U자형 구리튜브를 3단계로 넣어 열판 자체 내에서도 온도를 강, 중, 약의 형태의 구조개선과 온풍기 내부의 공기 유동특성을 이해하여 알루미늄 호일과 같은 역할을 할 수 있는 재료를 부착하여 복사열을 이용한 저전력 열판을 사용하여 에너지 효율을 증대하는 방법이 제안되었고, 두 번째 설계 대안에는 풍량의 세기를 강, 중, 약의 형태로 세분화하여 모터의 회전 횟수 조절해서 에너지소비를 줄일 수 있는 방법으로 제안되었다.

3. 결론

본 연구는 가정용 스탠드형 전기온풍기를 전과정평가를 통해 환경성을 평가하고 친환경적 제품 설계 개선 전략을 제안하였다. 전기온풍기와 같은 난방기구는 제품의 전과정 중 사용 단계에서 에너지소비가 가장 높은 것으로 나타났다. 중요 개선 대상 파라미터는 에너지 효율 개선과 쾌적환경으로 에너지 개선 대상 부품으로는 온풍기의 열판과 모터가 선정되었다. 열판과 모터는 온풍기의 에너지 사용량 차지하는 부분으로 개선시 탄소배출량을 감소시킬 수 있는 가장 큰 부분이 된다. 쾌적한 환경으로는 가습기능 추가와 공기를 빨아들이는 부분에서 향균필터를 사용하는 것이 선정되었다. 그 외 송풍구 위치를 위·아래 모두 혹은 360°모든 곳에서 송풍이 되는 것이 선정되었다.

이번 연구에서 에너지효율 측면에 개선안을 제시했다. 첫 번째 소비전력이 저전력인 열판에 열전도율이 좋은 U자형 구리튜브를 3개 배치로 인해 3단계 온도 조절이 가능하도록 설계하고 모터 회전속도를 3단계로 조절이 가능하도록 설계한다. 두 번째 모터에서 송풍구까지 통로에 알루미늄 호일과 같은 역할을 할 수 있는 재질로 복사열을 만들게 되면 온도 유지에 효과가 있을 것으로 예상된다. 두 가지 측면이 개선된다면 에너지 효율측면과 환경측면에서 높은 향상이 있을 것으로 예상된다. 또한 쾌적한 환경측면에서 향균필터 적용 및 송풍구 위치선정에 따른 고객들의 체감 향상이 있을 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 환경부의 에코디자인 전문인력양성사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

Reference

- [1] ISO 14040:2006, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework('06.7.1)
- [2] 허탁 외 2인, “전과정평가의 기본원리”, 1995
- [3] 환경산업기술원, “에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼”, 2010
- [4] Jae Edmonds, Marshall Wise, Hugh Pitcher, Richard Richels, Tom Wigley, Tom Wigldy and Chris Maccraken, “An integrated assessment of climate change and the accelerated introduction of advanced energy technologies”, 1997
- [5] Robert G. Hunt, William E. Franklin and R. G. Hunt “LCA - How it came about - Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA”, 1996
- [6] DANIEL C. ESTY & P. J. SIMMONS, “THE GREEN TO GOLD BUSINESS PLAYBOOK”, 2011
- [7] 한국환경산업기술원 “국가 LCI데이터베이스정보망” “<http://www.edp.or.kr>, 2012.
- [8] Reference : GHG value in korea_ver6.0_final.pdf, EuP EcoReport (Ver5_2005-11-28)
- [9] 지식경제부기술 표준원 “KS C 9306에어컨디셔너”, 2010