

성능, 사용성, 전과정평가를 통한 전기포트의 친환경적 디자인

이혜원, 이원섭, 유희천²⁶⁾
포항공과대학교 산업경영공학과

Eco-Design for an Electric Kettle by Performance, Usability, and Life Cycle Assessments (LCA)

Hyewon Lee, Wonsup Lee, Heecheon You

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

lhwon76@postech.ac.kr, mcurry@postech.ac.kr, hcyou@postech.ac.kr

Abstract

To minimize environmental impacts over a product life-cycle, a product design is required to be considered in terms of not only eco-friendliness but also performance and usability of the product. The present study evaluated two electronic kettles in terms of performance and usability, and then analyzed their environmental impacts using a Life Cycle assessment (LCA) method. The evaluation results showed that both the electronic kettles need to be improved in terms of energy efficiency, ease of grip, ease of washing, and appropriateness of surface temperature. The carbon emissions of the kettles showed over 70% in the usage phase over the whole product life cycle; therefore, a dual-wall structure and an widening of heat plate were suggested for better thermal insulation to improve the energy efficiency in the usage phase. The eco-friendly product design considering performance, usability, and LCA proposed in the present study would be useful to develop various eco-friendly electronic products which consume a significant amount of energy during the usage phase.

keywords: Eco-design, usability evaluation, performance evaluation, LCA, electric kettle

요약문

제품의 생산 단계에서부터 폐기 단계까지의 전 과정이 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위해 친환경적 제품 설계가 고려되고 있는데, 경쟁력 있는 친환경 제품 개발을 위해서는 제품의 친환경성뿐 아니라 제품의 성능과 사용성도 함께 고려될 필요가 있다. 본 연구는 두 가지 전기포트를 대상으로 제품의 성능 및 사용성을 비교 분석하였으며, 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 포함된 친환경 제품 설계 절차를 통해 친환경적 제품 설계 개선 전략을 제안하였다. 전기포트의 성능 및 사용성은 에너지 효율, 파지용이성, 세척용이성, 그리고 표면온도 적합성 측면에서 개선될 필요가 있는 것으로 파악되었다. 전기포트는 사용 단계의 탄소배출량이 전 과정 탄소 배출량의 약 70%를 차지하는 것으로 분석되었다. 사용 단계에서의 에너지 소비량 저감을 위한 개선 전략으로 제품의 이중벽구조를 통한 단열기능 강화와 가열판 면적 확장을 통한 열전도 효율 향상이 제안되었다. 본 연구에서 적용된 제품의 성능, 사용성, 그리고 LCA를 고려한 친환경 제품 설계는 사용 단계에서의 에너지 소비량이 높은 전기 제품 개발 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 에코디자인, 사용성평가, 성능평가, 전과정평가, 전기포트

연락처: 유희천 교수, 790-784 경상북도 포항시 남구 청암로 77 포항공과대학교 산업경영공학과,
Fax: 054-279-2820, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

1. 서론

전 세계적으로 환경문제가 대두되면서 각국의 정부 부처 및 기업 등은 친환경 제품 개발의 활성화를 위한 다양한 노력을 기울이고 있다. 정부는 친환경 제품에 대한 환경 규제와 제품 제조 및 폐제품 처리 등에 관련된 정책들을 마련하고 있다. 기업들은 제품의 기능 및 품질뿐 아니라 제품의 환경성도 함께 고려된 친환경적 제품 개발을 위해 자원과 비용을 투입하고 있다¹⁾. 친환경적 제품 개발 (eco-friendly product design)은 제품 생산 단계에서부터 폐기 단계까지의 제품의 전 과정 (life-cycle)이 환경에 미치는 영향을 줄이며 제품의 성능, 품질, 그리고 시장경쟁력을 높이는 활동이다. 친환경 제품을 개발할 수 있는 역량을 갖춘 기업은 앞으로 시장에서의 경쟁력을 가질 수 있으므로 기업들은 친환경 제품 개발에 점차 많은 투자를 하고 있다.

친환경적 제품 개발을 위해서는 개발될 제품이 환경에 미치는 영향을 정량화하는 활동이 필요하다²⁾. 제품의 환경적 영향력을 정량적으로 평가하기 위한 기법으로 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)가 활용되고 있다. 전과정평가란 제품의 전 과정(원재료 획득, 생산, 사용, 폐기)에서 발생하는 투입물과 산출물을 통해 제품의 환경성을 정량화하고 잠재적 환경유해영향을 규명하는 기법이다³⁾. 전과정평가는 다양한 제품 종류에 적용될 수 있으며, 평가 결과는 친환경 제품 개발 및 설계 기준으로 활용될 수 있다.

친환경 제품 개발은 환경 친화적(eco-friendly) 측면뿐만 아니라 사용자 친화적(user-friendly) 측면, 경제 친화적(economy-friendly) 측면이 동시에 고려될 필요가 있다. 제품의 성능과 가격, 그리고 사용성은 제품이 시장 경쟁력을 갖기 위해 필요한 요소로서 제품 개발 시 기본적으로 고려되어야 할 사항들이다⁴⁾. 환경산업기술원⁵⁾에서는 제품의 이해관계자들(예: 기업, 정부, 환경단체, 소비자)의 다양한 의견을 반영할 수 있도록 제품의 친환경성뿐 아니라 시장성을 체계적으로 고려할 수 있는 6단계 친환경 제품 디자인 절차(S1: 제품 모델링, S2: 제품 환경성 분석, S3: 이해관계자 요구 사항 분석, S4: 개선 대상 부품 도출, S5: 전략 및 과업 도출, S6: 개념 설계)를 제시하였다. 이원섭 외⁶⁾는 제품 개발 시에는 제품의 친환경 측면, 사용성 측면, 그리고 시장 경쟁력 측면을 체계적으로 고려할 수 있는 제품 설계 guideline을 제시하였다. 이와 같이, 보다 경쟁력 있는 친환경 제품 개발을 위해서는 제품의 친환경성뿐만 아니라 가격대비 성능(performance)과 사용성(usability) 등이 종합적으로 고려될 필요가 있다.

본 연구는 크기와 성능이 유사하고, 디자인은 상이한 두 개의 전기포트를 선정하여 인간공학적인 전과정평가를 진행하였다. 두 제품은 성능, 사용성, 그리고 환경성 측면에서 비교 평가되었다. 전기포트의 사용성과 환경 영향을 개선할 수 있는 방안이 제시되었다.

2. 연구방법

본 연구는 평가를 위해 Table 1과 같이 두 가지 전기포트(P사, T사)를 선정하였다. 선정된 전기포트들은 가격, 무게, 용량, 부가기능(예: 온도조절)이 유사하며, 크기와 디자인은 상이하다.

Table 1. Specifications of Electric Kettles

		P사	T사
제품 사진			
기본사양	용량 (L)	1.2	1.0
부가기능	화재방지	자동 전원 차단	자동 전원 차단
외관사양	크기 (mm) (W × H × D)	160 × 244 × 222	196 × 196 × 237
	무게 (g)	990	1,000
전원사양	소비전력 (W)	2,000 ~ 2,400	2,000 ~ 2,400

본 연구는 선정된 전기포트들을 대상으로 Fig. 1과 같이 성능과 사용성을 평가한 후 전과정평가를 수행하였다. 성능평가에서는 가열 시 물 온도 변화, 가열 시 발생 소음, 가열 시 소비 전력량, 그리고 가열 후 제품의 표면온도가 측정되었다. 사용성 평가에서는 심미성, 조작용이성, 파지용이성, 세척용이성, 표면온도 적합성, 소음적합성, 그리고 전반적 만족도가 설문지를 기반으로 평가되었다. 전과정평가에서는 제품의 이해관계자를 고려하여 원재료와 설계구조 측면에서 제품의 환경 영향도가 평가되었다.

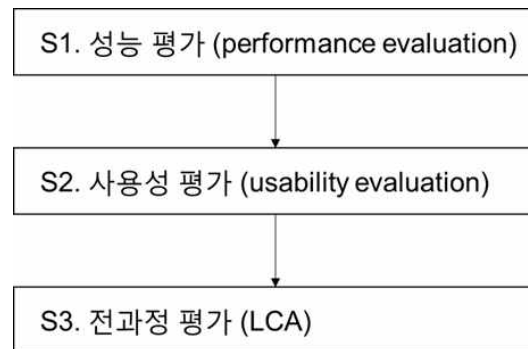


Fig. 1. Research procedure.

2.1. 성능 평가

Fig. 2와 같이 두 가지 온도조절 단계(약, 강)에서 가열 시 물 온도 변화, 소음, 소비 전력량, 그리고 가열 후 표면 온도가 3회씩 반복 측정되었다. 가열 시 물 온도 변화는 10°C의 물 1L를 가열하며 측정하였는데, 막대형태의 디지털온도계(0-219WT, KwangCheon Co., Korea)를 전기포트 내부에 넣어 가열이 자동 종료될 때까지 10초 단위로 측정되었다. 소음과 전력량은 온도와 동시에 측정되었는데, 소음은 전기포트로부터 50 cm 거리에서 소음측정기(SL-4001, Lutron electric

Enterprise Co., Ltd, Taiwan)를 이용하여 10초 단위로 측정되었다. 소비전력량은 전력측정기 (PM-B200-S, Dawon DNS Co., Ltd., Korea)를 콘센트에 연결하여 측정되었다. 사용 후 표면 온도는 가열을 마친 30초 후 열화상카메라(FLIR T620, FLIF System, Inc., USA)를 이용하여 사용자의 손이 접촉할 가능성이 있는 제품의 측면, 뚜껑, 그리고 손잡이 부위에서 측정되었다.

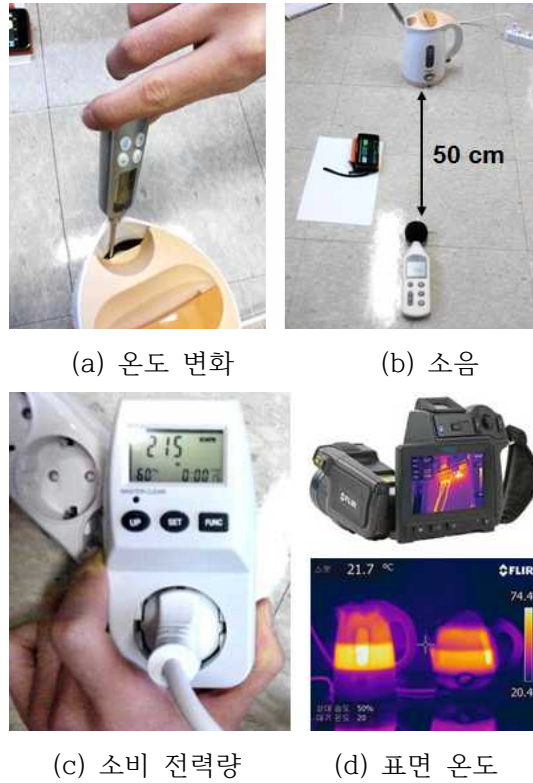


Fig. 2. Performance evaluation.

2.2. 사용성 평가

두 전기포트의 사용성은 심미성, 사용 만족도(조작용이성, 파지용이성, 세척용이성), 성능 만족도(소음적합성, 표면온도 적합성), 그리고 전반적 만족도 측면에서 평가되었다. 전기포트 사용 경험이 있는 20대 15명(남: 10명, 여: 5명)이 실험에 참여하였다. 각 평가 항목들은 5점 척도(1점: 매우 불만족, 3점: 보통, 5점: 매우 만족)로 평가되었다. 실험 참여자들은 Fig. 3과 같이 두 가지 전기포트로 각각 1L의 물을 가열하고, 종이컵에 1회 따르고, 남은 물을 버린 후 내부를 세척하게 하는 작업을 수행하며 조작용이성, 파지용이성, 그리고 세척용이성을 평가하였다. 두 가지 전기포트에 대한 평가 순서는 참여자별로 무작위로 제시되었다.



Fig. 3. Usability evaluation.

2.3. 전과정평가

전기포트에 대한 전과정평가는 Fig. 4와 같이 여섯 단계의 친환경적 제품 디자인 절차(환경산업진흥원, 2010)에 따라 진행되었다.

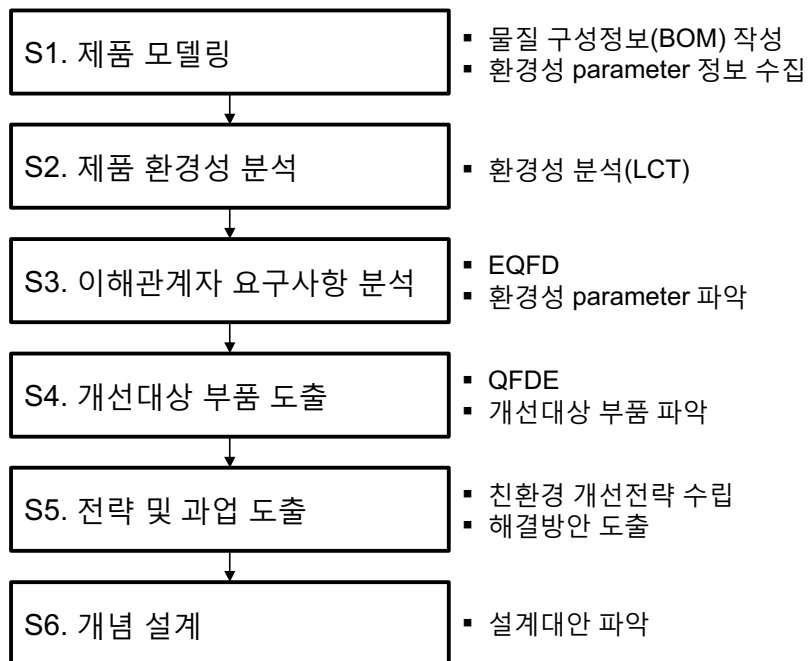


Fig. 4. Eco-friendly product design process5).

2.3.1. 제품 모델링

제품 모델링은 제품을 친환경적 디자인 프로세스에 적용시키기 위해 취급하기 쉬운 물리적인 데이터로 재구성하는 작업이다. 본 연구는 두 가지 전기포트를 각각 분해하여 부품명, 재질명, 개수, 중량, 원재료명 등을 측정하여 자재명세서(bill of materials, BOM)를 작성하였다. 본 연구는 입력된 결과를 이용하여 식1과 같이 지구온난화지수(global warming potential, GWP)를 산출하였다. GWP 계산은 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) 4차 보고서⁷⁾를 기반으로 하였다.

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

.....Equation 1.

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

GWP_i = GWP of component i

2.3.2. 제품 환경성 분석

제품 환경성 분석은 제품의 전 과정 중 가장 부정적인 영향을 미치는 단계를 도출하는 작업이다. 본 연구에서는 전과정사고(Life Cycle Thinking, LCT) matrix를 이용하여 두 가지 전기포트의 원재료 취득부터 폐기까지의 환경성 측면에 대한 정보를 입력하였다. 하루에 3회 제품을 사용한다고 가정한 후, 각 제품 사용 시 방출되는 kg CO₂-eq.를 비교하였다.

2.3.3. 이해관계자 요구사항 분석

본 연구는 이해관계자들(예: 환경법규, 고객, 경쟁사)의 높은 요구사항들을 환경성 파라미터로 도출하기 위해 환경품질기능전개(environmental quality function deployment, EQFD) 기법을 사용하였다⁸⁾. 본 연구에서는 제품의 이해관계자로서 기업, 정부 및 환경 단체, 사용자를 선정하였으며 각 이해관계자의 요구사항들을 선정하여 중요도(1점: 중요하지 않음, 3점: 중요함, 9점: 매우 중요함)를 입력하였다. 그리고 제품의 전 과정 단계에서 영향을 줄 수 있는 환경성 파라미터와의 상관도(1점: 약간 관계있음, 3점: 관계있음, 9점: 매우 관계있음)가 Table 2와 같이 입력되었다. 관련 상관점수들은 에코디자인 전문가 5명의 논의에 의해 결정되었다. 입력된 정보들은 식2를 이용하여 가중치를 적용하는데 이용되었으며, 높은 가중치를 받은 파라미터(예: 사용 중 에너지 소비)가 개선이 필요한 부분이라고 할 수 있다.

Table 2. Environmental Quality Function Deployment (EQFD)

환경성 parameter 환경적 이해관계자 요구사항	중요도	원재료 사용		제품 제조		제품 운송			제품 사용					제품 폐기					
		사용 전 원료 물질	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	재활 용품	분해 시간	부품 수	부품 재결 방식	사용성
기업	원재료 비용 절감	3	1	1				3							3		3		
	가공 공정 비용 절감	1	1	3	3	9	3										3	3	
	물류비용 절감	3					9	9	9	9									
	인건비 절감	1		3			3	3	1								3	3	
	환경 관련 비용 절감 (탄소배출권, 환경세 등)	3	1	3		3									3				
정부 및 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	9	3	9	3
	포장재질, 포장방법 (환경부령 392호) 준수	1				3	3	9											
폐기물관리법(대통령령 제22631호) 준수	3	3	9		3	3				3				3					
사용자	제품 내구성 향상	9	3									9	9				3		3
	이용 편의성 향상	3															1		
	사용 안전성 향상	9															1		
	유지보수비용 절감	1								3		9					3	3	
	사용비용 절감	9								9									
총계	-	108	72	90	30	42	42	46	54	165	18	9	108	81	1081	123	45	114	27
가중치	-	8.4	5.6	7.0	2.3	3.3	3.3	3.6	4.2	12.9	1.4	0.7	8.4	6.3	8.4	9.6	3.5	8.9	2.1

중요도 점수 부여(1: 중요하지 않음, 3: 중요함, 9: 매우 중요함), 상관관계 점수부여(1: 약간 관계 있음, 3: 관계있음, 9: 매우 관계 있음)

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

.....Equation 2.

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

2.3.4. 개선대상 부품 도출

개선대상 부품 도출 단계는 품질환경기능전개 (quality function deployment for environment, QFDE; Masui, 2001) 기법을 이용하여 QFDE I 과 QFDE II 단계로 진행된다 QFDE I 에서는 이해관계자의 요구사항과 제품특성(예: 환경성 파라미터, 제품의 주요 특성)의 상관관계를 파악하고, 각 항목에 대한 가중치를 부여한다. 관련 가중치들은 에코디자인 전문가 5명의 논의에 의해 부여되었다. 그리고 식3을 사용하여 제품의 주요 특성별 가중치를 산출한다(Table 3). QFDE II 에서는 가중치가 높게 평가된 제품특성(예: 가열 능력, 표면 온도)들과 제품의 구성 부품과의 상관정도를 입력하여 부품별로 가중치를 산출한다(Table 4).

Table 3. Quality Function Deployment for Environment I (QFDE I)

QFDE I		제품 특성(제품의 주요 특성, 개선 대상 환경성 parameter)										
		중요도	가열능력	표면온도	사용 중 안전성	조작용이성	사용된 원료 물질	사용 중 에너지 소비	제품 수명	재활용품	분해 시간	부품 체결 방식
환경성 요구사항 (이해 관계자 요구사항)	환경 관련 법규	원재료 비용 절감	3	3	3		1		3	3		
		가공 공정 비용 절감	1				3		3			3
		물류비용 절감	3									
		인건비 절감	1						3			3
		환경 관련 비용 절감 (탄소배출권, 환경세 등)	3					1		3		
	환경 마크	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	3			3	9					
		에너지 절약 (EuP 등)	9	3	3		1	9				
		재활용률 준수 (WEEE 등)	9				3			9	9	9
		포장재질, 포장방법 (환경부령 392호) 준수	1									
	고객의 요구 사항	폐기물관리법(대통령령 제22631호) 준수	3				3			3		
		제품 내구성 향상	9			3	3		9		9	3
		이용 편의성 향상	3	3	3		9					
		사용 안전성 향상	9			9						
		유지보수비용 절감	1				3	9		3		
사용비용 절감	9					9						
총계		-	45	45	117	27	108	165	105	108	165	114
가중치		-	4.5	4.5	11.7	2.7	10.8	16.5	10.5	10.8	16.5	11.4

Table 4. Quality Function Deployment for Environment II (QFDE II)

QFDE II		제품 구성 부품								
		가중치	포장재	전원부	본체	손잡이	가열판	회로	버튼	뚜껑
제품 특성 (제품의 주요 특성, 개선대상 환경성 파라미터)	가열능력	4.5					9	9		
	표면온도	4.5			9	9				9
	사용 중 안전성	11.7			3	9				3
	조작용이성	2.7		3		9			9	3
	사용된 원료 물질	10.8	3	1	9	1	9	1	1	1
	사용 중 에너지 소비	16.5		3	3		9	3		
	제품 수명	10.5		3	3		1	9		
	재활용률	10.8	3	3	3	3	3	3	3	3
	분해시간	16.5		1	3	1	9	3	1	1
	부품 체결 방식	11.4		3	1	9	9	3		
	총계		-	64.9	183.2	347.4	332.7	580.8	311.7	84.1
가중치		-	3.2	8.9	17.0	16.2	28.4	15.2	4.1	7.0

2.3.5. 전략 및 과업도출

전략 및 과업도출은 EQFD를 통해 도출된 환경성 파라미터별로 친환경제품설계를 위한 과업과 해결방안을 도출하는 작업이다. 본 연구는 개선대상 환경성 파라미터로 선정된 5가지 항목(사용단계 에너지 소비, 분리 시간, 부품 체결 방식, 사용된 원료 물질, 제품 수명)을 대상으로 해결방안을 도출하였다(Table 5).

Table 5. Electric Kettle Development Solutions

개선대상 parameter	제품설계 개선전략	과업	해결방안	
			Concept 1. 재질 개선형	Concept 2. 구조 개선형
사용단계 에너지소비	사용단계 에너지소비 저감	열선의 소비전력 저감	열선을 열효율이 좋은 재질로 변경	온도 조절 버튼에 온도 표시
		단열 기능 강화	단열성 높은 재질 사용	이중 커버(내장형, 외장형)
		가열판의 열전도율 향상	열전도율이 좋은 재질로 변경	열선과 판의 접합면적 확장
분리 시간	분리 시간 저감	재질의 유연성 향상	접합부의 재질을 유연하게 설계	
부품 체결 방식	체결 방식 개선	체결점 최소화	체결 구조 분석을 통해 불필요한 체결점 제거	
사용된 원료 물질	환경성 개선	친환경 원료 물질 사용	생분해성 플라스틱 사용	PB-free soldering이 적용되지 않은 경우, PB-free soldering 적용
제품 수명	제품 수명 연장	수리 용이성 향상	부품의 표준화	부품의 모듈화 (조립식으로 분해가 용이하게 개선)

2.3.6. 개념설계

개념설계 단계에서는 도출된 해결방안들을 평가하여 최종 설계대안을 선정하고, 설계대안을 제품에 반영할 경우 제품의 환경성이 어느 정도 개선되는지 예측한다.

3. 결과

3.1. 성능

두 전기포트의 1L 물에 대한 물 가열 성능은 10초에 약 4 °C씩 증가하여 유사한 것으로 나타났다(Fig. 5). 온도 조절 단계를 '강'으로 설정하였을 때, 물이 약 100 °C가 될 때까지 시간은 T사 제품(230초)이 P사 제품(240초)까지 10초 짧았다. 온도를 '약'으로 설정하였을 때 P사 제품은 64 °C, T사 제품은 74 °C에서 자동 종료되었으며, 소요 시간은 P사 제품(140초)이 T사 제품(170초) 보다 약 30초 짧았다. 소음은 두 제품 모두 50 dB 수준이며 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 두 제품은 모두 온도 설정이 '강'일 때 4 dB 정도 소음이 큰 것으로 나타났다(Table 6).

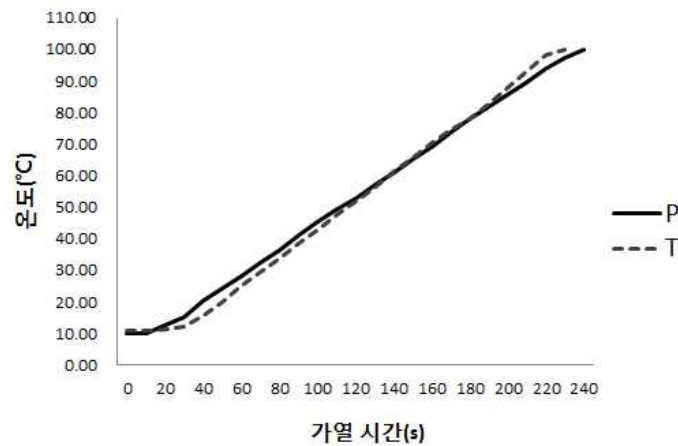


Fig. 5. Change of water temperature.

Table 6. Performance of Two Electric Kettles

평가 항목		P사 (mean ± SD)	T사 (mean ± SD)	t	p
물 온도 변화 (°C)	강	3.9 ± 0.6	4.2 ± 1.2	-0.88	0.38
	약	4.3 ± 0.3	4.2 ± 1.1	0.22	0.83
소음(dB)	강	54.3 ± 9.7	50.8 ± 9.6	1.19	0.24
	약	50.0 ± 12.5	46.8 ± 12.1	0.70	0.49
전력량 (Wh)		124.5 ± 0.6	115.4 ± 0.7	43.16	<.001
표면 온도 (°C)	본체	88.6 ± 0.8	76.4 ± 2.9	121.66	<.001
	뚜껑	50.6 ± 0.6	34.2 ± 1.1	392.66	<.001
	손잡이	82.4 ± 3.0	40.1 ± 2.4	330.31	<.001

1회 사용 시 전력소비량은 P사 제품(124.5 Wh)이 T사 제품(115.4 Wh)보다 약 10 Wh 유의하게 높은 것으로 나타났다($\alpha = 0.05$; Table 6). 이는 욕실 전등으로 주로 사용되는 10 W 전구를 1시간 동안 켤 수 있는 전력량으로서, T사 제품의 가열 효율성이 P사보다 높은 것으로 파악되었다.

마지막으로, 가열 후 표면 온도는 P사 제품의 온도가 T사 제품보다 전반적으로 높은 것으로 나타났다. 제품 본체의 표면 온도는 P사의 제품(88.6 °C)이 T사의 제품(76.4 °C)보다 약 12 °C 높았으며, 뚜껑 표면 온도는 P사 제품(50.6 °C)이 T사 제품(34.2 °C)보다 약 16 °C 높았다 (Table 6, Fig. 6). 손잡이 주변 표면 온도는 P사 제품(82.4 °C)이 T사 제품(40.1 °C)보다 약 42 °C 높은 것으로 나타나, P사의 제품은 외부로의 열 손실이 있으며 사용 시 위험성이 T사보다 높을 것으로 예상되었다. 세 가지 부위 모두에서 T사 제품과 P사 제품 간의 표면 온도는 유의한 차이를 보였다($\alpha = 0.05$).

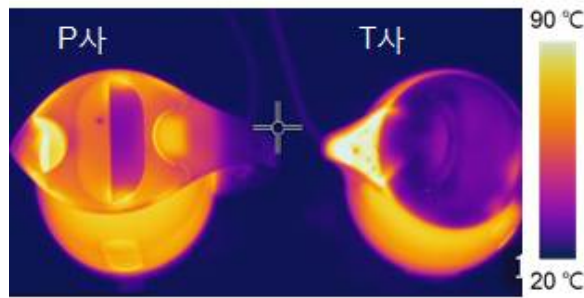


Fig. 6. Thermo-graphic image of kettles.

3.2. 사용성

T사 제품은 P사 제품보다 세척용이성, 표면온도 적합성, 전반적 만족도 측면에서 우수하며, 파지 용이성 측면에서는 만족도가 낮은 것으로 평가 되었다($\alpha = 0.05$; Fig. 7). 세척용이성은 T사 제품이 P사 제품보다 1.3점 높게 평가되었는데, T사 제품의 입구가 P사 제품의 입구보다 넓고 입구에 돌출된 부분이 없어 내부 세척이 용이한 것으로 파악되었다. 표면온도 적합성은 P사 제품의 손잡이 주변 온도(82.4 °C)가 높아 손이 크고 두꺼운 사용자의 경우 손잡이 파지 중에 손이 제품 표면에 닿을 가능성이 있어 만족도가 낮은 것으로 분석되었다. 한편, 파지용이성은 P사의 제품이 T사의 제품보다 만족도가 높은 것으로 평가되었는데, P사 제품의 손잡이는 크기가 크고 손이 들어갈 여유 공간이 상대적으로 넓어 만족도가 높은 것으로 판단된다.

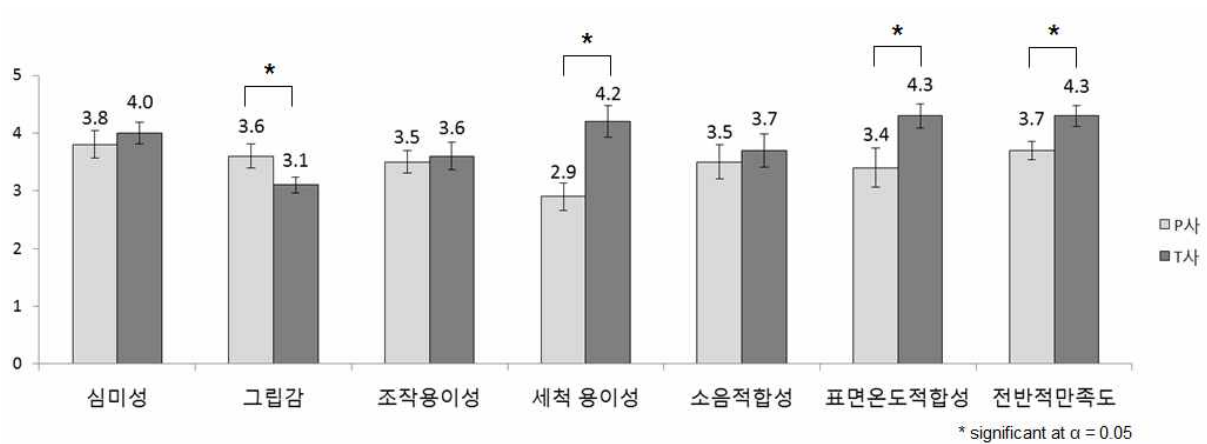


Fig. 7. Usability evaluation results (mean \pm SE).

3.3. 전과정평가

3.3.1. 제품 모델링

두 가지 제품을 분해한 결과, 부품들은 5가지 구성단계로 구분되었으며 P사 제품의 부품수(51개)가 T사 제품의 부품수(46개)보다 9개 많은 것으로 나타났다. P사 제품의 재활용 가능률(86%)은 T사 제품의 재활용가능률(81%)보다 5% 높고, 지구온난화지수도 P사 제품(2.41 kg CO₂-eq.)이 T사 제품(3.65 kg CO₂-eq.)보다 약 1.5배 낮은 것으로 파악되었다. 제품의 분해시간은 P사 제품(120분)이 T사 제품(150분)보다 더 적게 소요되었는데, 분해과정에서 P사 제품의 체결부위는 T사 제품보다 재질

이 유연하고 체결점 개수도 적어 분해가 용이한 것으로 분석되었다.

본 연구는 제품을 분해하면서 두 제품의 표면온도 적합성과 성능 평가 결과가 다른 원인도 예측할 수 있었다. P사의 제품은 부품의 형상과 체결구조 측면에서 T사의 제품보다 열이 방출되기 쉬운 것으로 파악되었다. T사 제품의 뚜껑은 2중 체결구조의 볼록한 형상을 갖고 있어 부품 사이에 공기층이 형성되어 열손실이 최소화되는 것으로 추정된다(Fig. 8a). 반면, P사 제품은 2중 체결구조이나 안쪽으로 오목한 형상을 갖고 있어 공기층이 얇게 형성되어 가열시 외부로 열이 방출되어 전력소모량이 더 크고 표면온도도 높아지는 것으로 추정된다. 또한, T사 제품의 손잡이는 분리형 구조로 제품 몸체와 손잡이 사이에 공기층이 형성되어 손잡이 쪽으로의 열전달이 최소화되지만, P사 제품의 손잡이는 몸체와 일체화되어 있어 전달되는 열이 더 많은 것으로 해석되었다(Fig. 8b).



(a) Lids of two electric kettles

(b) Handles of two electric kettles

Fig. 8. Different assembly structures of two electric kettles.

3.3.2. 제품 환경성 분석

P사와 T사의 전기포트는 유사하게 환경성 분석 결과 사용 단계에서의 GWP가 전체의 약 70%를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 9). 원재료 취득, 제조, 그리고 운송 단계에서의 GWP는 T사와 P사 제품에서 유사한 수준으로 나타났다. 사용단계에서는 P사 제품이 T사 제품보다 약 9 kg CO₂-eq. 높은 것으로 분석되었는데, 이는 사용 시 P사 제품의 전력소비량이 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 폐기 단계의 GWP는 재료의 재활용에 의한 효과로 음의 값(약 -1.3 ~ -0.8 kg CO₂-eq.)을 보여 일부 환경에 도움이 되는 것으로 나타났으나, 전체 GWP(약 190 kg CO₂-eq.)에 비하면 실질적으로 환경에 긍정적인 영향을 미치는 수준은 미미한 것으로 해석된다.

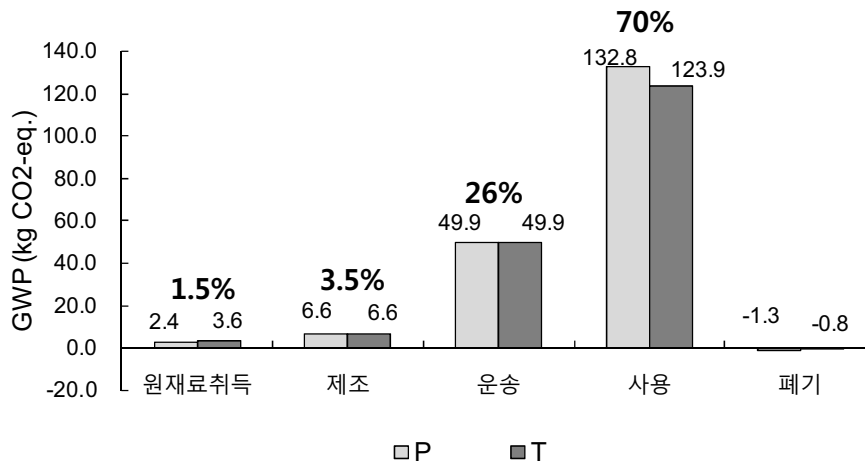


Fig. 9. Global warming potential (GWP) by life-cycle phase.

3.3.3. 이해관계자 요구사항 분석

전기포트의 이해관계자 요구사항 분석 결과, 사용 중 에너지 소비의 개선이 가장 중요한 것으로 나타났다(Table 3). 본 연구는 전기포트 개발의 이해관계자로서 기업, 정부 및 환경단체, 사용자를 선정하였으며, 각 이해관계자별로 5가지씩 세부 요구사항(기업: 원재료 비용 절감, 가공 공정 비용 절감, 물류 비용 절감, 인건비 절감, 환경 관련 비용 절감; 정부 및 환경단체: 유해물질 사용 금지, 에너지 절약, 재활용률 준수, 포장재질 및 방법 개선, 폐기물 관리법 준수; 소비자: 제품 내구성 향상, 이용 편의성 향상, 사용 안전성 향상, 유지 보수비 절감, 사용비용 절감)들을 도출하였다. 본 연구에서는 각 이해관계자들의 요구를 종합적으로 반영할 수 있도록 가중치가 높은 상위 4가지 항목(사용 중 에너지 소비뿐만 아니라 사용 중 원료물질, 분해시간, 부품 체결 방식, 제품 수명)들을 추가 개선 필요 사항들로 선정하였다.

3.3.4. 개선대상 부품 도출

이해관계자의 주요 요구 사항들을 반영하기 위해서는 전기포트의 본체, 손잡이, 가열판, 회로의 개선이 필요한 것으로 분석되었다(Table 4). 개선 대상 부품들은 Table 3, 4와 같이 이해관계자들의 요구사항들과 제품 특성, 제품 구성 부품 간의 상관관계를 종합적으로 고려하여 분석되었다.

3.3.5. 전략 및 과업 도출

본 연구는 Table 5와 같이 개선 대상 파라미터별로 제품설계 개선전략과 과업을 도출하고 두 가지 design concept(재질 개선형과 구조 개선형)으로 해결방안을 제안하였다. 제품의 재질과 구조 개선은 재활용 가능성을 높이며, 에너지 효율을 향상시킬 수 있다^{9, 10}). 본 연구에서 제안된 제품설계 개선전략은 개선대상 파라미터별로 한 가지씩(사용단계 에너지 소비 저감, 분리 시간 저감, 체결 방식 개선, 원료의 환경성 개선, 제품 수명 연장) 도출되었다. 과업은 설계전략을 위한 구체적인 목표가 제시되었으며, 해결방안은 과업을 달성하기 위해 실천할 수 있는 방법들이 제안되었다. 예를 들면, 제품 분리를 용이하게 하고 분리시간을 단축시키기 위해 제품의 부품 중 체결부위는 재질을 유연한 재료를 사용하는 것이 제안되었다.

3.3.6. 개념 설계

본 연구는 과업의 중요도에 따라 가중치를 부여한 후, 과업별 해결방안의 만족도를 평가하여 구조 개선형을 최종 해결방안으로 선정하였다. 제품의 설계 구조 개선은 지난 2009년 친환경제품설계에 대한 국제환경규제인 EU 에코디자인이 시행되면서 중요성이 높아지고 있다. 특히 제품의 설계 구조 개선은 제품의 에너지 효율성을 증대시켜 에너지 관련 제품(Energy-relate Products: ErP)에 더 효과적이다. 따라서 본 연구는 사용단계의 에너지 효율이 중요한 전기포트의 구조를 개선함으로써 환경 영향도를 감소시키고, 동시에 사용성도 높일 수 있는 방법을 제안하였다.

본 연구는 3가지 측면(에너지 효율 향상, 재활용률 증대, 사용성 향상)의 설계 대안들을 도출하였다. 첫 번째, 에너지 효율 향상을 위해 이중구조 단열설계와 열선의 접촉면적 확장이 제안되었다(Fig. 10). 이중구조 단열설계는 외벽과 내벽사이에 공기층이 형성되어 제품 외부로 방출되는 열을 감소시킨다. 외부로의 열손실이 감소될 경우, 가열 시 에너지 효율이 증가할 뿐만 아니라 제품의 표면 온도가 과도하게 상승하는 것을 방지하여 사용 안전성도 향상시킬 수 있다. 또한, 평가된 전기포트들의 열선은 뒷면판 가열판에 접촉되어 있으나, 본 연구에서는 열선을 가열판으로 침투시켜 넣어 접촉되는 표면적으로 넓히는 방법이 제안되었다.



(a) Insulation design by double cover (b) Contact area extension of heat plate

Fig. 10. Solutions for energy efficiency improvement.

두 번째, 재활용률 증대를 위해 제품 체결부의 구조 개선과 체결점을 최소화하는 방법이 제안되었다. 제품의 분해시간을 단축시키기 위해 제품의 일부 체결부위를 손으로도 쉽게 분리할 수 있도록 개선하는 것이 제안되었다. 예를 들면, Fig. 11과 같이 주요 체결부위에 나사와 같은 회전체결구조를 적용하거나, 재질이 유연한 재료를 부분적으로 사용하여 제품 분해가 용이하게 할 수 있다. 또한, 제품 분해가 용이할 경우 세척용이성의 향상도 기대할 수 있다.



Fig. 11. Solution for ease of disassembly.

마지막으로, 본 연구는 두 가지 전기포트의 사용성 평가 결과를 종합하여 적합한 설계안을 파악하였다. 먼저, 파지용이성 개선을 위해서는 T사의 손잡이와 같이 날카로운 부분이 없이 부드러운 형상을 가져야 하며, P사의 제품과 같이 손잡이가 길이가 길고, 여유 공간을 확장하여 큰 손 사용자도 수용할 수 있도록 설계하는 것이 필요하다. 세척용이성 향상을 위해서는 손으로 세척할 경우를 고려하여 입구너비를 충분하게 하고, 불필요한 돌출부위를 제거하여 사용자가 내부세척이 용이하도록 설계하는 것이 필요하다. 표면온도 적합성 향상을 위해서는 제품 몸체의 이중단열구조 적용과 함께, T사 제품과 같이 손잡이를 분리형으로 설계하여 열전달을 최소화하는 것이 필요하다.

4. 토의

본 연구는 제품의 환경 영향도 뿐만 아니라 성능과 사용성을 종합적으로 고려하여 보다 확장된 친환경 제품개발 절차를 수행하였다. 기존의 친환경 제품개발은 주로 전과정평가만을 이용하여 환경 영향도를 최소화하도록 진행되었다. 그러나 제품의 성능과 사용성을 위해서는 제품이 가져야 하는 기본적인 기능이며, 특히 사용성에 대해서는 관련 규제도 정립되어 제품개발 시 고려가 필수적이다⁴⁾. 따라서, 본 연구에서는 제품의 기본적인 성능과 사용성을 향상시키면서 환경 영향도를 감소시킬 수 있도록 제품개발절차를 진행하였다. 또한, 제품에 대한 다양한 이해관계자(예: 기업, 정부, 소비자)들의 요구사항을 고려하여 개발전략을 제시함으로써 제품의 시장 경쟁력이 있도록 하였다.

본 연구는 제품의 성능, 사용성, 환경성의 종합적 평가를 통해 환경성 평가만으로는 확인하기 어려웠던 제품의 세부 특성들을 파악할 수 있었다. 평가된 두 가지 전기포트들은 제품명세서에 명시된 성능 정보가 유사하였으나 본 연구에서 성능 및 사용성 평가를 수행한 결과, 사용 시 소비 전력량과 단열능력에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 평가 결과에 차이가 있는 원인은 제품 분해와 BOM 작성 과정에서 예상될 수 있었다. 예를 들면, T사 제품의 경우 뚜껑이 볼록한 형상의 이중겹 침 구조로 되어있어, 외부로 열이 손실되는 것을 방지하고 가열 효율성도 높여주는 것으로 예상되었다.

본 연구에서 제안된 개선전략들은 제품의 설계구조, 형상, 재질 등 다양한 차원의 접근을 통해 도출되었다. 본 연구는 친환경 제품설계를 위한 과업별로 구조 개선형과 재질 개선형의 해결방안을 도출하고, 만족도 평가 결과와 현재 친환경제품설계 동향을 고려하여 구조 개선형을 최종 해결방안으로 선정하였다. 제안된 해결방안 중 본체에 이중단열설계를 적용하고, 열선의 접촉면적을 확장시키는 방안은 제품의 에너지 효율 향상에 기여할 것으로 기대된다. 그리고 제품의 특정 부위에 나사와 같이 분해, 조립 가능한 회전체결을 적용하거나, 체결부위에 유연한 재료를 적용하는 방안은 제품 분해를 용이하게 하여 사용성과 재활용률 향상에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서 적용된 친환경 제품개발절차와 개선 전략은 사용 시 에너지 소비량이 높은 전기제품 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 평가된 전기포트들은 전 과정 중 사용단계의 탄소배출량이 전체의 약 70% 차지하여 에너지 효율을 높이는 것이 주요 과업으로 선정되었으며, 해결방안으로서 친환경설계방법들이 제안되었다. 본 연구에서 제안된 설계방법들을 추후 제품에 적용하여 개선 정도를 검증한다면, 보다 효과적이고 유용한 친환경 제품개발방법이 될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- 1) 노미진, 장성희, 안현숙, “환경적인 특성을 고려한 지각 요인들이 그린IT 제품 구매의도에 미치는 영향”, 한국정보시스템학회, 19(4), 137~165(2010).
- 2) Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W., Suh S., Weidema B. P., Pennington D. W., “Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications”, Environment International, 30, 701~720(2004).
- 3) International Organisation for Standardisation (ISO), ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, International Organisation for Standardisation. Geneva (2006).
- 4) Kwahk, J. and Han, S., “A methodology for evaluating the usability of audiovisual consumer electronic products”, Applied Ergonomics, 33, 419 ~ 431(2002).
- 5) 환경산업기술원, “에코디자인 프로세스 적용 제품군별 매뉴얼” (2010).
- 6) 이원섭, 박장운, 이백희, 김은하, 유희천, “E3 (Eco, Ergonomics, and Economy) 친화형 제품 개발을 위한 아이디어 개발 방법”. in Proceedings of the Korean Society for Life Cycle Assessment KSLCA, Seoul (2012).
- 7) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press, United Kingdom and New York (2007).
- 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) 환경부, 지식경제부, 한국전자정보통신산업진흥회, “전자제품 재질·구조개선 사전평가 가이드” (2009)
- 10) 한국전자정보통신산업진흥회, “전자제품 에너지효율성 제고를 위한 친환경설계” (2008)