

전과정 평가(LCA)를 통한 전기 포트의 친환경적 설계 개선 전략



이혜원, 태현욱, 고상현, 기영민, 김기훈, 유희천

포항공과대학교 산업경영공학과

lhwon76@postec.ac.kr, taehy@postech.ac.kr



2013년 한국경영과학회·대한산업공학회 춘계공동학술대회

AGENDA

- Introduction
 - Research Objective
 - Methodology
 - Results
 - New Eco-Design Concepts
 - Discussion
-

에코디자인 & 전과정 평가의 정의



- 에코 디자인(Eco design): 제품 설계 단계에서부터 **제품의 환경성을 파악**하여, **전과정에서 생길 수 있는 환경 피해를 줄이는** 환경 친화적 디자인
- 전과정 평가(Life cycle assessment): 원료 수집, 자재 생산, 조립, 운송, 사용, 유지, 폐기까지의 **제품의 모든 과정에서 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가**

※ 출처: 국가환경산업기술정보시스템(www.konetic.or.kr)



제품 선정: 전기포트

□ 제품 specification 비교

		P사	T사
Illustration			
기본사양	용량 (L)	1.2	1.0
부가기능	화재방지	자동 전원 차단	자동 전원 차단
외관사양	크기 (mm)	215 × 228	274 × 206
	무게 (g)	990	1,000
전원사양	소비전력 (W)	2,400	2,000 ~ 2,400
가격(원)		57,000	55,000

전과정평가(LCA)를 통한 전기포트의 친환경적 & 인간공학적 개선

1. 전기포트의 전과정, 성능 및 사용성 평가를 통한 개선 요소 도출
 - ✓ 두 가지 전기포트의 성능 및 사용성 비교 평가를 통한 개선요소 도출
 - ✓ 6단계 친환경적 디자인 절차를 적용하여 전기포트의 환경성 분석
2. 친환경적 & 인간공학적 개선 전략 제안
 - ✓ 제품의 사용성 및 성능 개선 전략 제안
 - ✓ 제품의 크기, 설계구조, 형상, 재질 등의 개선 전략 제안

연구 절차

※ 환경산업기술원, 2011

S1. 제품 모델링

- Performance & usability 평가
- Bill of material (BOM)
- 환경성 파라미터 정보 수집

S2. 제품 환경성 분석

- Life cycle thinking (LCT)

S3. 이해관계자 요구사항 분석

- Environment quality function deployment (EQFD)

S6. 개념 설계

- 설계대안 선정, 평가, 검토

S5. 전략 및 과업 도출

- 친환경 개선전략 및 과업, 해결방안 수립

S4. 개선 대상 부품 도출

- Quality function deployment environment (QFDE)

S1. 제품 모델링: Performance 측정

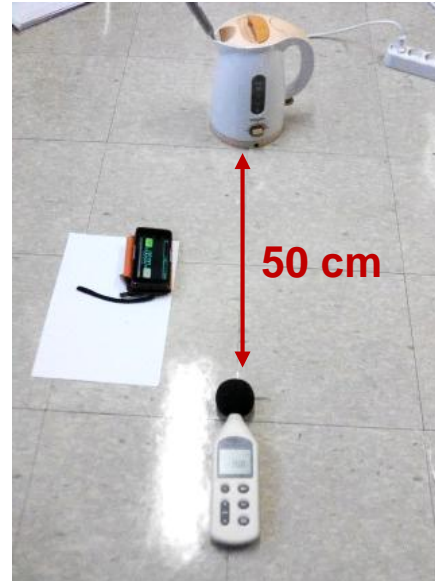
- ❑ 측정 요소: 물 온도, 표면 온도, 소음, 전력량
- ❑ 측정 방법: 온도조절 2 level(약, 강)에서 각각 3회 반복 측정
- ❑ 측정 거리: 실제 사용거리가 고려된 50 cm
- ❑ 실험 시간: 1L의 물을 가열하여 포트가 자동 종료 될 때까지 10초 단위로 측정



물 온도



표면 온도



소음

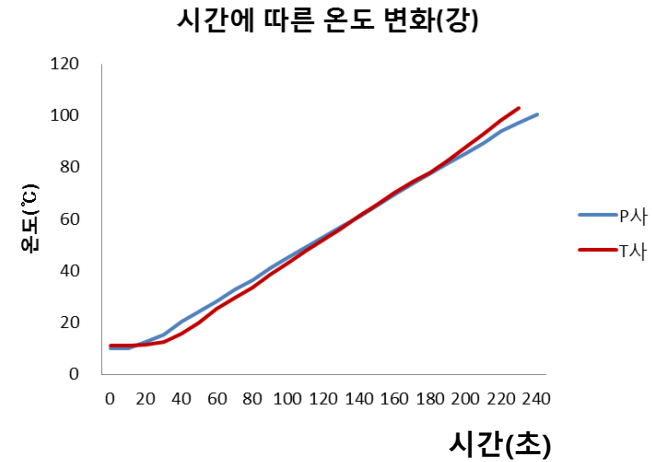
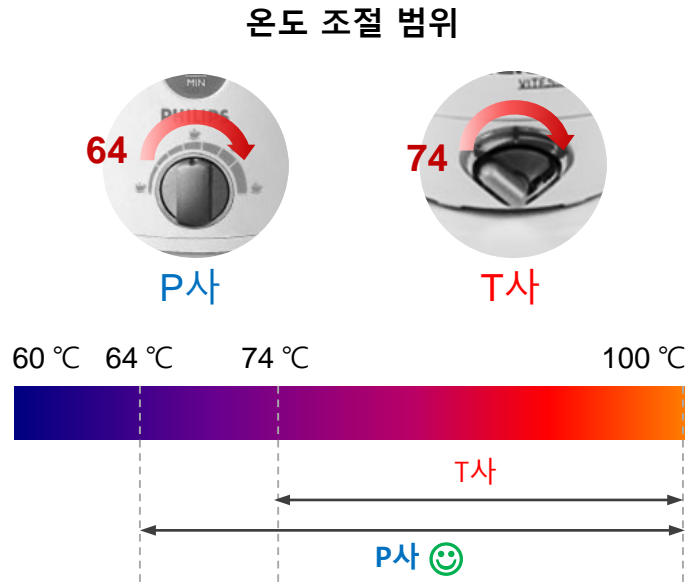


전력량

S1. Performance 측정 결과: 온도

□ 물 가열 성능: P사 ≒ T사 (시간대비 온도 변화량은 유사함)

- ✓ 강: 두 제품 모두 약 4분 동안 99 ~ 100 °C까지 가열
- ✓ 약: P사는 64 °C까지, T사는 74 °C 까지 가열



⇒ P사는 물 온도 설정범위가 더 넓어(64 ~ 100 °C), 사용자의 다양한 온도 선호를 충족시킴

예) 녹차 적정온도: 60 ~ 70 °C, 커피 적정온도: 80 ~ 83 °C

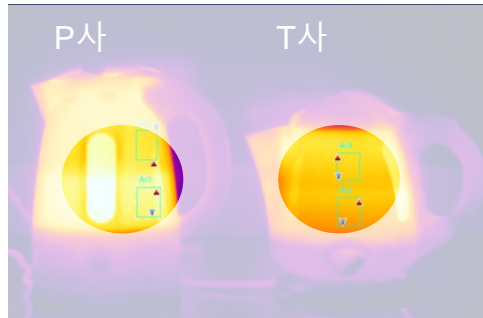
S1. Performance 측정 결과: 표면 온도

□ 표면 온도: **P사 > T사**

S/W: FLIR ResearchIR® ((주)진명옵틱스, Korea)

Mean ± SD

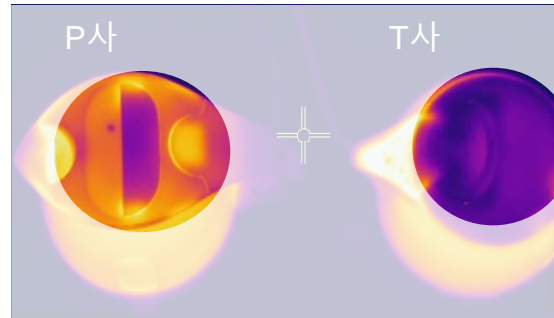
- ✓ P사는 가열 종료 30초 후(사용 시) 표면 온도가 더 높음
- ✓ P사는 손이 닿는 부분의 온도(뚜껑: 50 °C, 손잡이: 82 °C) 가 높음



측면 온도(가열 종료 30초 후)

P사: 88.6 ± 0.8 °C

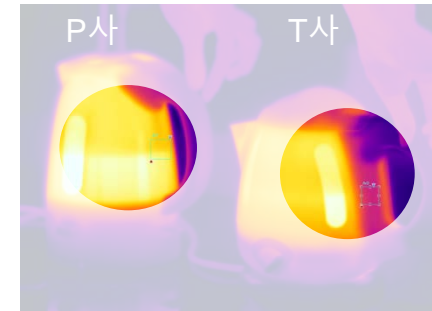
T사: 76.4 ± 2.9 °C



뚜껑 표면 온도

P사: 50.6 ± 0.6 °C

T사: 34.2 ± 1.1 °C



손잡이 주변 표면 온도

P사: 82.4 ± 3.0 °C

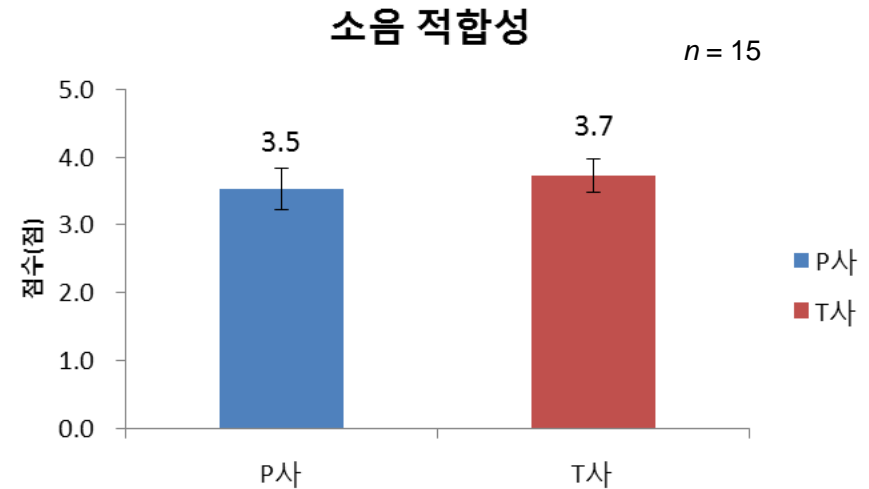
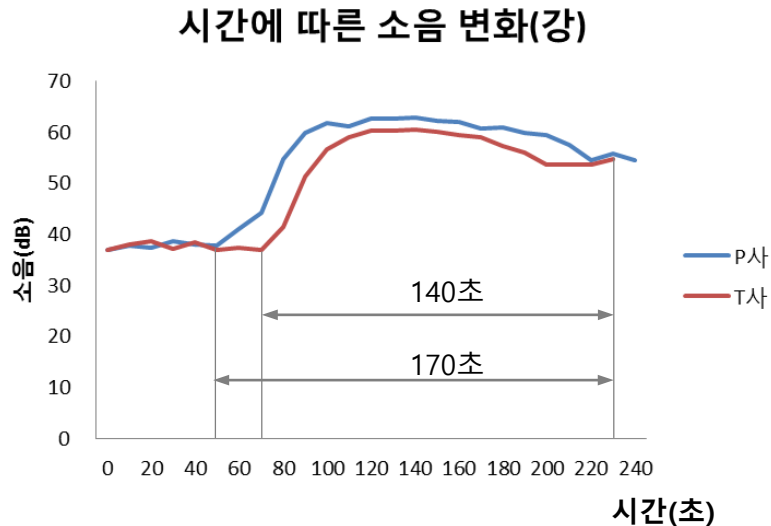
T사: 40.1 ± 2.4 °C

⇒ P사는 표면 온도가 높아 외부로의 **열 손실**이 있고, **사용 시 위험성도 높을 것으로 판단됨**

S1. Performance 측정 결과: 소음

□ 소음: P사 > T사

- ✓ P사가 T사보다 전반적으로 소음이 크고, 최대 소음 수치에 일찍 도달함
- ✓ 동일한 시간 사용 시 P사의 소음 노출 시간이 길게 나타남

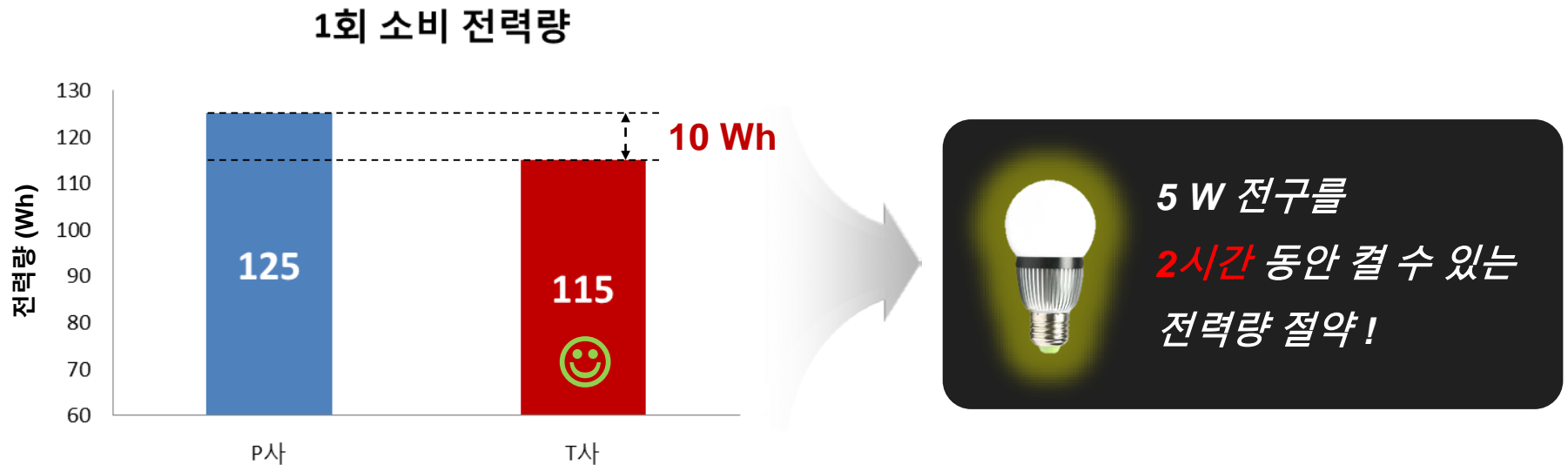


⇒ 소음의 크기와 노출시간은 차이가 있으나, 주관적 평가 결과에는 큰 차이가 없는 것으로 나타남

S1. Performance 측정 결과: 소비 전력량

□ 1회 소비 전력량: P사 > T사

✓ 물 1L를 끓이는 동안(P사: 230초, T사: 220초) T사는 10 Wh 절약



⇒ 가열 성능은 동일하지만 적은 전력량을 소비하는 T사의 효율성이 높음

⇒ P사는 열 손실 문제로 인해 전력 효율이 낮은 것으로 판단됨 → 열 손실이 적은 설계 필요

S1. 제품모델링: Usability 측정

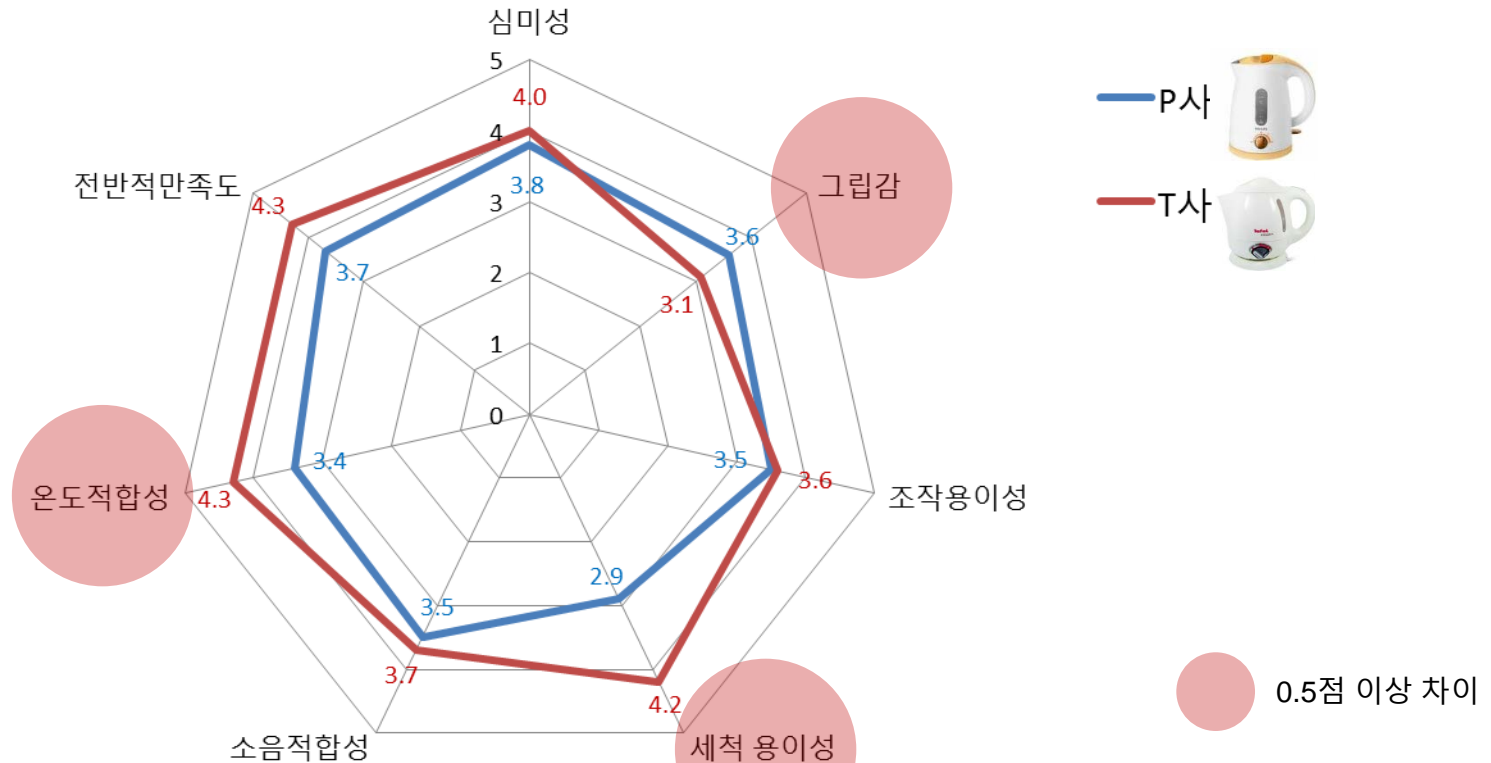
□ Usability test 방법

- ✓ Sample size = 15 (Male: 10, Female: 5)
- ✓ 평가척도: 5-point Likert scale
- ✓ 측정 measure
 - 심미성
 - Operation: 조작 용이성(버튼조작, 물 따르기), 그립감(손잡이, 뚜껑, 버튼), 세척 용이성
 - Performance: 온도 적합성, 소음 적합성
 - 전반적 만족도



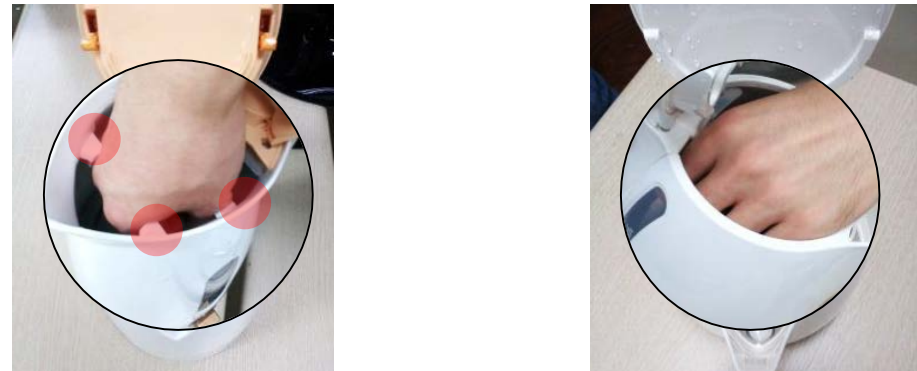
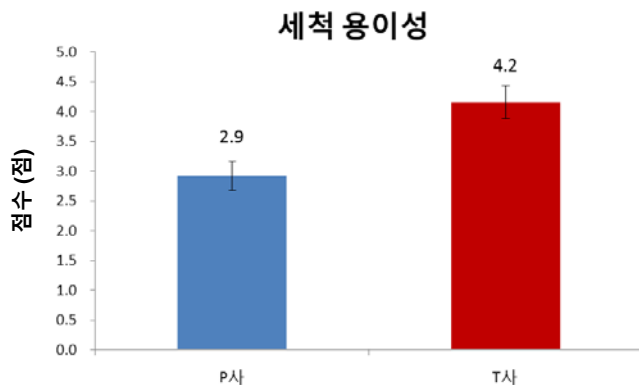
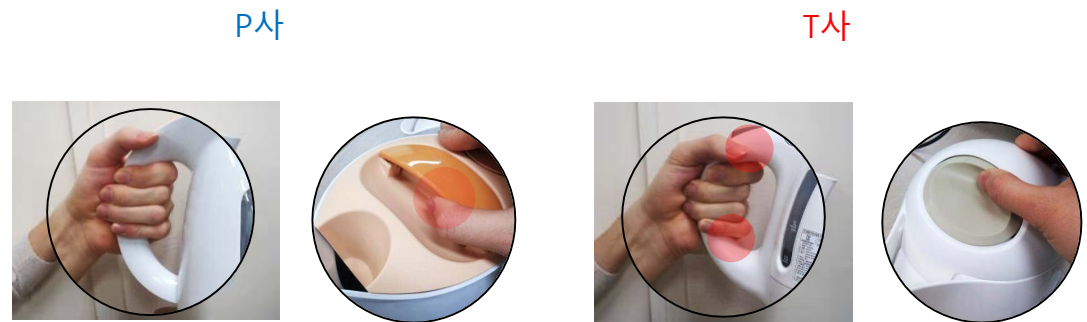
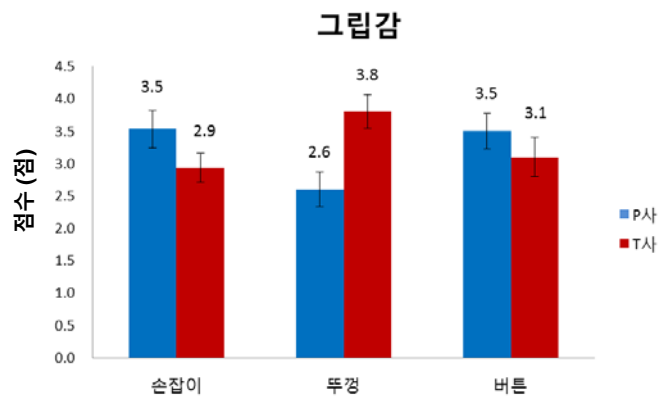
S1. Usability 측정 결과

- 전반적 만족도: P사 < T사
- 그립감: P사 > T사 (P사의 손잡이는 큰 손 사용자 수용 가능)
- 세척 용이성: P사 < T사 (T사 제품은 높이가 낮아 안쪽 세척 용이함)
- 온도 적합성: P사 < T사 (T사 제품은 표면 온도가 낮아 사용시 안전성 높음)



S1. Usability 측정 결과: 그립감 및 세척 용이성

- T사는 손잡이 크기가 작아 큰 손 사용자 경우 손에 압박감을 줌(남성 평균 점수: 2.8점)
- P사는 뚜껑 부분이 상대적으로 날카로워 그립감이 낮게 평가됨(평균: 2.6점)
- P사는 입구 크기가 작고(P사: 80 mm, T사: 93 mm), 돌출 부위가 있어 세척이 어려움



S1. 분해도(BOM): 제품 구조 분석

- T사의 손잡이 설계구조 측면에서 사용자의 안전성이 더 고려됨
- T사는 손잡이와 몸체 사이에 빈 공간이 있어 가열 시 열이 손잡이에 전달되는 것을 방지함
- P사는 체결점 수가 적고, 재질이 유연하여 분해가 용이함

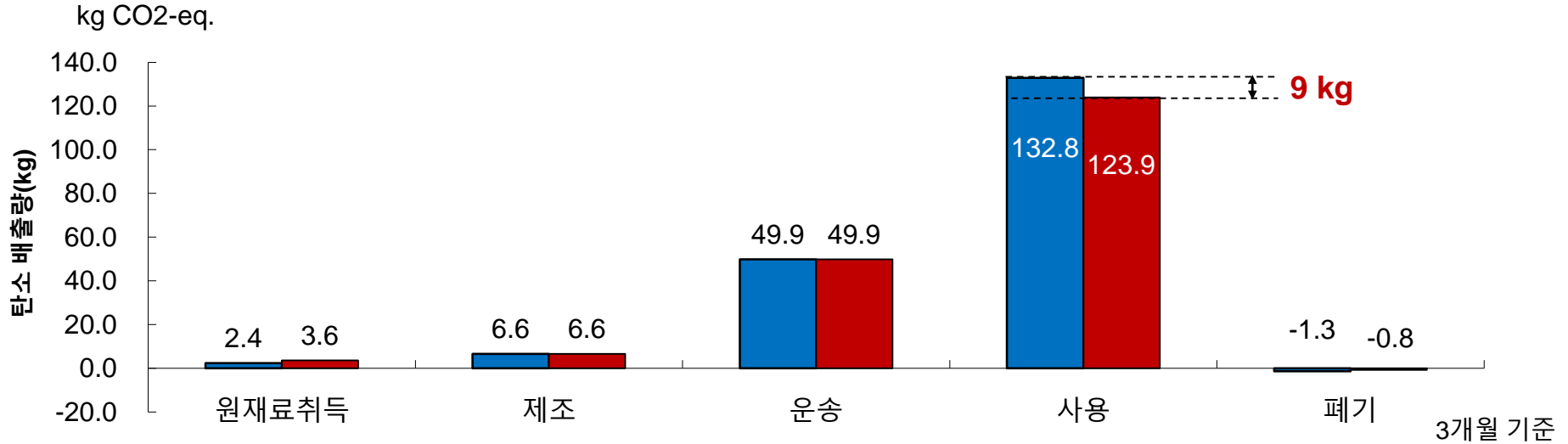


S1. 환경성 파라미터 비교: P사 vs T사

구분	파라미터	P사	T사
원재료 사용	사용된 원료물질	사용된 원재료 종류 : 총 9종	사용된 원재료 종류 : 총 6종
운송 단계	운송 중 에너지소비	해양운송 중국(상하이) → 인천(982 km)	해양운송 중국(상하이) → 인천(982 km)
사용 단계	사용 중 에너지소비	사용시나리오 총사용시간: 23.5시간 사용시간: 0.261시간/일 사용기간: 90일 (3개월)	사용시나리오 총사용시간: 22.1시간 사용시간: 0.246시간/일 사용기간: 90일 (3개월)
		총 전력 사용량 = 246 kWh	총 전력 사용량 = 250 kWh
폐기 단계	재활용률	86 % (재활용 중량 : 1.14 kg)	81 % (재활용 중량 : 1.07 kg)
	분해시간	120분	150분
	부품 수	51개	46개

⇒ 총 재활용 가능 비율은 비슷하나, 제품 분해가 어렵기 때문에 T사 보다 **P사**가 우수함

S2. LCT 비교: P사 vs. T사



⇒ 이산화탄소 발생량은 두 제품 모두 **사용 단계에 집중**되어 있음

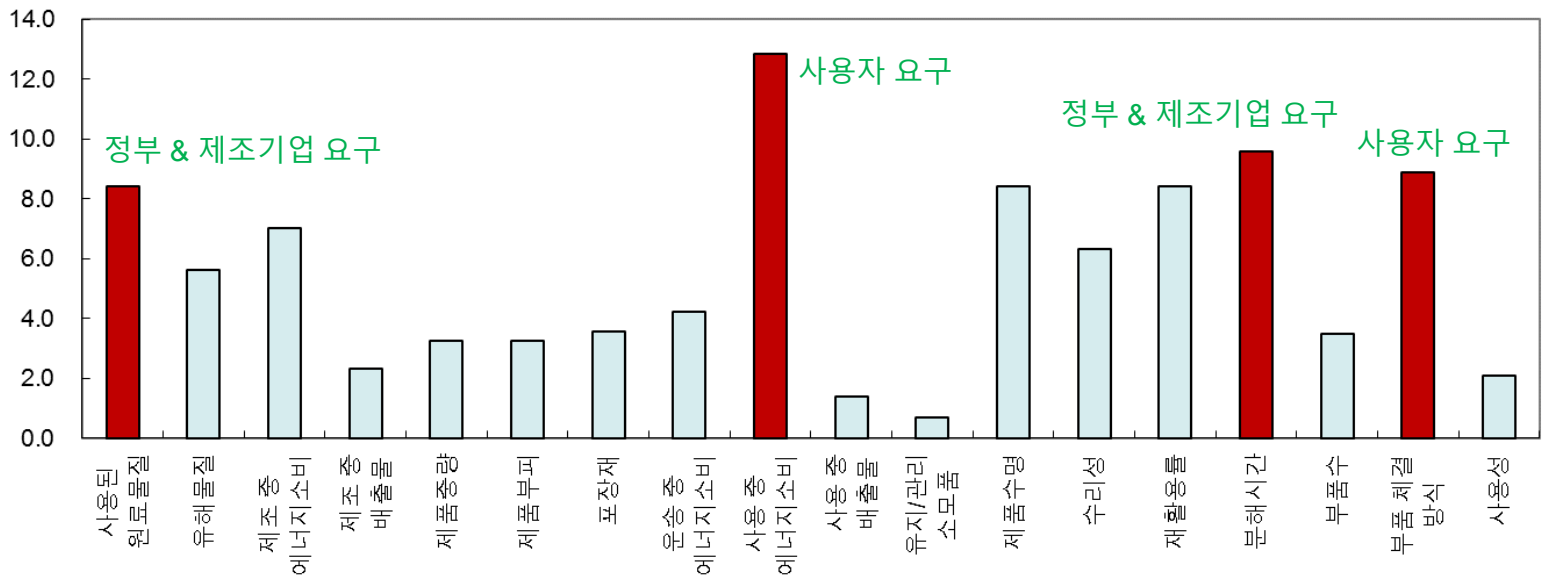
⇒ **P사**는 사용단계에서 제품 1개당

연간 **40kg의 CO₂**(가로수 한 그루가 1년 동안 흡수하는 양)를 더 발생시킴

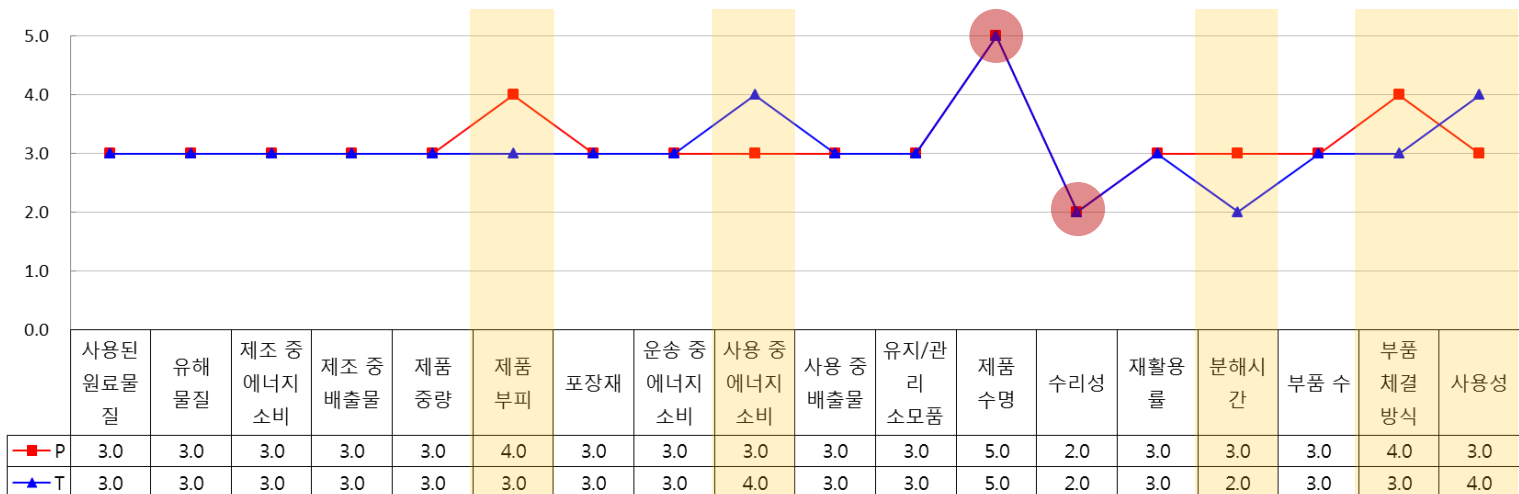
성인 하루평균 커피 섭취량, 연합뉴스, 2008, 2

S3. 이해관계자 요구사항 분석: EQFD & EBM

EQFD



EBM



S4. 개선대상 부품 도출: QFDE

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	포장재	전원부	본체	손잡이	가열판	회로	버튼	뚜껑
가열능력	4.5					9	9		
표면온도	4.5			9	9				9
사용중 안전성	11.7			3	9				3
조작 용이성	2.7		3		9			9	3
사용된 원료물질	10.8	3	1	9	1	9	1	1	1
사용 중 에너지소비	16.5		3	3		9	3		
제품수명	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		
	0.0								
총계	-	64.9	183.2	347.4	332.7	580.8	311.7	84.1	143.5
가중치	-	3.2	8.9	17.0	16.2	28.4	15.2	4.1	7.0

제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')

⇒ 환경적 이해관계자의 주요한 요구사항 반영결과,
 제품의 부품 측면에서는 **본체, 손잡이, 가열판, 회로**의 개선이 필요한 것으로 나타남

S5. 전략 및 과업 도출: 개선 전략

- 환경성 파라미터 선정: EQFD 상위 5개 항목
- 과업 선정: 환경성 파라미터에 영향을 주는 제품의 feature를 개선하는 방향

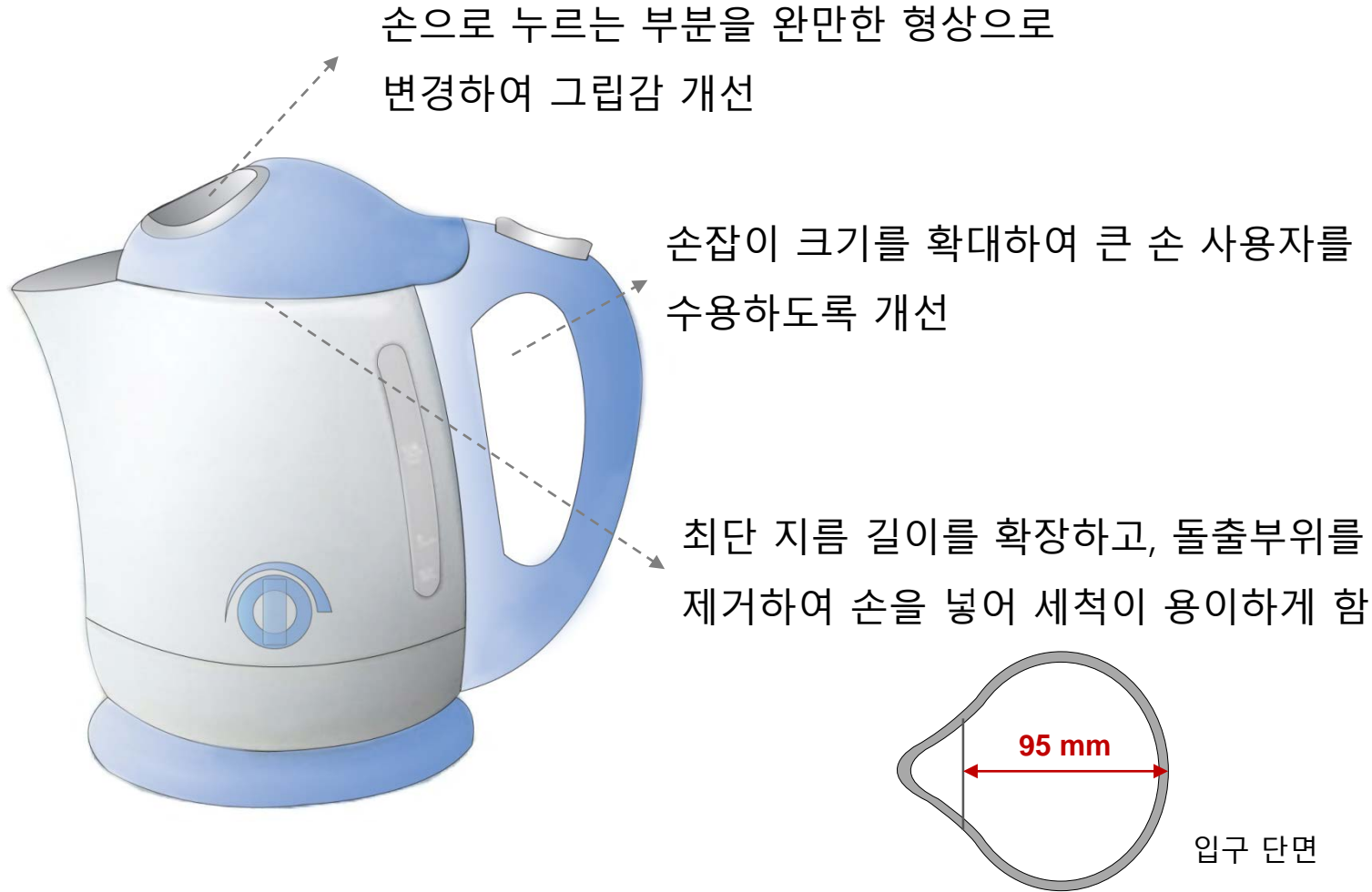
개선대상 환경성 파라미터	친환경 제품설계 개선 전략	과업	해결방안	
			1	2
사용 단계 에너지소비	사용단계 에너지 소비 저감	열선의 소비전력 저감	열선을 열효율이 좋은 재료로 변경	온도 조절버튼에 온도 표시
		열 효율	이중 커버(내장형, 외장형)	단열성 높은 재료사용
		가열판의 열전도율 향상	열선과 판의 접합면적 확장	열전도율 좋은 재료
분해 시간	분해 시간 저감	재질의 유연성	접합부의 재질을 flexible하게 설계	
부품 체결 방식	체결 방식 개선	분해 용이성 체결점 최소화	체결 구조 분석을 통한 불필요한 체결점 제거	
사용된 원료 물질	환경성 개선	친환경 원료물질	Pb-free soldering 적용	생분해성 플라스틱 사용
제품 수명	수명 연장	내구성 향상 수리 용이성 향상	부품의 모듈화 (조립식으로 분해 용이하게)	부품의 표준화

제품의 원료는 유지하되
크기, 형상, 설계 구조를 변경하여
친환경적인 제품을 구현함

Concept 1
구조 개선형

Concept 2
재질 개선형

S6. 개선 전략 도출: 사용성 향상



사용성 향상

에너지 절약

재활용률 증대

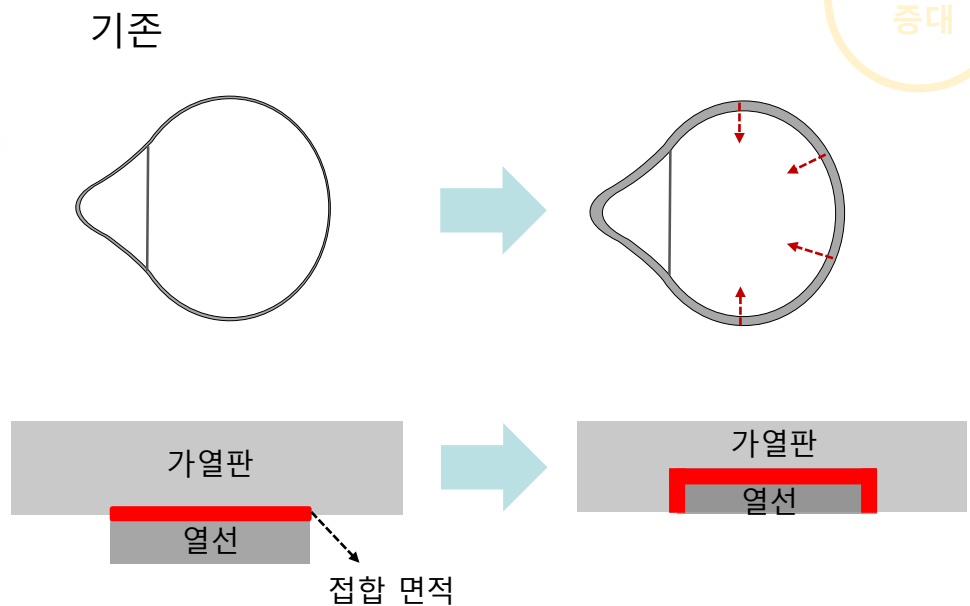
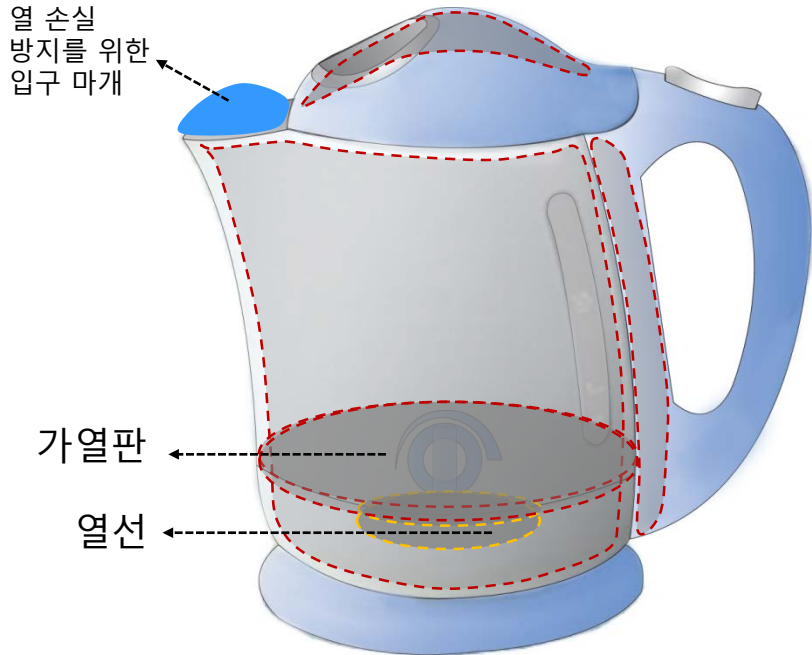
S6. 개선 전략 도출: 에너지 절약

- 뚜껑, 손잡이, 몸체에 이중 구조 적용을 통한 단열 기능 강화
 - ✓ 공기층으로 인한 열손실 최소화 ⇒ 에너지 효율 증가
 - ✓ 표면 온도가 과도하게 높아지는 것 방지 ⇒ 안전성 증가
- 열선과 가열판의 접합면적 확장을 통한 열전도 효율 향상
 - ✓ 방법: 가열판 내부에 열선이 들어 갈 수 있는 요철을 형성
 - ✓ 열전도 효율 증가로 인한 가열시간 단축 ⇒ 전력 사용량 감소

사용성 향상

에너지 절약

재활용률 증대



S6. 개선 전략 도출: 분해 시간 단축

- **접합부 구조 및 재질 변경** 을 통한 분해시간 단축
 - ✓ 손으로 돌려서 분해할 수 있는 체결 구조를 부분 적용
 - ✓ 특정 결합 부위의 재질을 유연하게(flexible) 함
- **체결점 최소화**를 통한 분해시간 단축
 - ✓ 체결 구조 분석을 통해 불필요한 체결부 제거



사용성
향상

에너지
절약

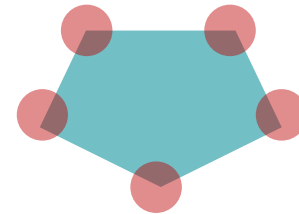
재활용률
증대



구조 or 재질 변경



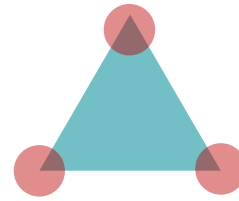
기존



체결점: 5개



제안



체결점: 3개

토의

□ 친환경적 디자인 절차의 확장: 제품 성능 평가 및 사용성 평가 적용

- ✓ 성능 평가 결과: 에너지 효율측면과 표면온도 안전성측면에서 T사가 우수한 것으로 나타남
 - ✓ 사용성 평가 결과: 전반적으로는 T사가 우수한 것으로 나타남
- ⇒ 성능 및 사용성이 우수한 친환경 제품 제안

□ 친환경적 디자인 절차를 통한 전기포트의 친환경 설계 개념 도출

- ✓ 사용단계의 에너지 소비↑: 성능을 유지하고 전력량(W)을 줄이는 방안 제안
 - ✓ 주요 개선대상 부품: 열판부, 본체, 뚜껑
- ⇒ 제품의 크기, 형상, 설계 구조 차원의 접근을 통한 친환경적 제품 제안