

전과정평가(LCA)를 통한 소형온풍기의 친환경적 디자인

*Eco-Friendly Design for Electrical Small Heater
Through Life-Cycle Assessment (LCA)*

2012. 5. 31

이백희¹, 유희천¹, 허준연¹, 이재훈¹, 김진율², 장필중³, 이화조³



- 1포항공과대학교 산업경영공학과
- 2포항공과대학교 기계공학부
- 3영남대학교 기계공학과



연구 개요

- ❑ 본 연구는 에코디자인 전문인력양성사업(2012-4.0007076.01)의 일환으로 수행됨
- ❑ 연구 기간(5일): 2012. 1 .30 ~ 2. 3
- ❑ 대상 제품: 소형온풍기



AGENDA

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

친환경적 제품디자인(Eco-Design)

- 친환경에 대한 사회적 관심이 증가함에 따라 친환경적 제품디자인의 중요성이 점차 높아짐
- 제품의 친환경적 디자인(eco-design)
 - ✓ 제품이 자연생태계에 더 이상 피해를 주지 않으면서 자연의 순환과정에 순응할 수 있도록 하는 디자인(서흥석, 1998)
 - ✓ 제품의 전과정(life-cycle)에서 생길 수 있는 환경 피해를 줄이고 제품기능과 품질 경쟁력을 높이도록 하는 환경 친화 디자인



사용량 조절 캡



직물로 만든 덩개



타이머가 부착된 콘센트

⇒ 친환경적 제품디자인을 위해서는 유해물질을 사용하지 않고 오랫동안 사용이 가능하고 사용이 끝난 것에 대해서는 분해, 재사용 및 폐기하기 쉽도록 설계하는 것이 필요

전과정평가(LCA)

□ 제품과 환경에 관련된 복합적인 문제를 해결하기 위한 전과정평가(life-cycle assessment)

- ✓ 서비스를 포함한 제품 및 공정의 환경성을 종합적, 객관적으로 평가하기 위한 기법
(국가LCI정보망, 2012)
- ✓ 생산 활동, 정책결정에 대한 전과정 즉, **계획단계부터 원료 선택, 제품제조공정, 판매 유통과정, 소비의 전과정**에 대한 에너지 자원소비 및 환경에 미치는 각종 부하들을 가능한 **정량적으로 분석, 평가**하여 환경 오염부하를 최소화 시킬 수 있는 개선방안을 모색하는 기술이고 체계적인 과정

LCA 단계별 평가



현대자동차 LCA 수행기법



전기난방기기의 친환경적 디자인

경제 전기 온풍기가 최고? 요금 폭탄 조심! <세계>
 입력 2011.12.23 (금) 11:47

공자, 品, 函, 圖, 트위E

[이슈] 잠만자고 4주 -48kg 감쪽감량 "네티즌 경악" **[화제] 대명리조트 1.2%**

벽걸이 온풍기를 19,610원에?
 등록일 2008.01.14 18:46:07 추천수 0

공자, 品, 函, 圖, f, t, 品, 圖, 品, 圖

겨울추위가 본격적으로 시작되고 있다. 서울에 사는 40대 한설희 주부는 (있다. "우리 아파트가 20년이 넘어서 외풍이 세요. 저녁때가 되면 어깨와 이이지요. 요즘 전기 절약해라, 전기료 많이 나온다고 뉴스에서 매일 방송이 고 어떻게 해야 할지 망설이고만 있다니까요"

가정집뿐만 아니라 사무실, 매장, 학교, 체육관 등의 직원들도 난방기 선택 무가 많다. 중소기업 사무실의 김찬우 과장은 "사무실이 한 40평 되는데 사무실 공기가 쾌적했으면 좋겠다" 고 말한다.

난방을 높이고자 난방기의 필요성을 느낀 소비자들은 대부분 처음에, 어떤 것을 구입해야 할지 난감해 하는 경우가 많다. 전기온풍기, 열풍기, 라디에이터, 원적외선 히터, 전기난로, 선풍기형 히터, 전기스토브 등 난방기의 종류도 다양하기 때문이다. 난방기의 종류는 난방 원료에 따라 기름, 전기, 가스 등에 따라서도 나뉘어지며, 사용하는 공간의 크기에 따라서, 또 천정용 등 부착방식에 따라서도 나뉘어진다.

전국의 영하권 추위가 계속 이어지면서 추축하던 난방기기 시장이 다시인기를 얻고있는 가운데, 옥션에서 예티 벽걸이형 온풍기 DF-512를 초특가 19,610원에 판매중이다.

제품은 평균가 26,800원에 팔리는 제품으로서, 비교적 짧은 시간에 금방 따뜻해 지는 특징을 가진 전기 온풍기의 특징이 부각된 제품이다.

또한, 공기청정 방식의 벽걸이 온풍기로 산소를 태우지 않아 온종일 가동해도 산소부족으로 인한 두통이 발생하지 않으며 짙은 실내 환기를 하지 않아도 되는 제품으로서 환경친화적인 제품이다.

전기난방기기별 소비전력 및 전기요금 비교 (자료:에너지관리공단)

구분	정격 소비전력	6시간씩 한달 사용시 전기요금	누진세 적용 가정용 전기요금
 전기장판 (2인용)	200W	36kWh/월 (+10,500원)	353kWh/월 (59,500원)
 선풍기형 전기히터 (10㎡용)	800W	가구당 평균 전기사용 144kWh/월 (+54,320원)	461kWh/월 (103,320원)
 전기 온풍기	1,200W	317kWh/월 (49,000원)	216kWh/월 (+102,720원)
 전기히터 (30㎡용)	3,000W	450kWh/월 (+281,140원)	767kWh/월 (330,140원)



전과정평가(LCA)를 통한 소형온풍기의 친환경적 디자인 개념 설계

1. 소형온풍기의 전과정, 성능 및 사용성 평가를 통한 친환경적 개선사항 도출
 - ✓ 6단계 친환경적 디자인 절차를 적용하여 소형온풍기의 환경성 분석
 - ✓ 두 가지 소형온풍기의 성능 및 사용성 비교 평가를 통한 개선전략 도출
2. 친환경적 전기난방기기 설계의 가이드라인 제공
 - ✓ 3가지 solution(product-driven, service-driven, user-driven)기반의 친환경적 소형온풍기 설계 concept 도출
 - ✓ 친환경적 소형온풍기 분석을 통한 전기난방기기 설계 지침의 일반화

Target Product: 소형온풍기

□ 제품 specification 비교

		한일전기 HFE-1230	동양매직 HER-121M
Illustration			
기본사양	난방면적(m ²)	13	-
	연료	전기식	전기식
주요기능	안전장치	안전자동 스위치	과승방지/자동전원차단 /경사안전장치
외관사양	크기(mm)	316 x 167 x 358	170 x 80 x 210
	무게(kg)	2.7	2.2
기타	소비전력(W)	1,200	1,200
	전원(V)	220	220

방법: 친환경적 디자인 절차

S1. 제품모델링

- 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. 개념설계

- 설계대안 선정, 평가, 검토

S5. 전략 및 과업도출

- 친환경 개선전략 및 과업, 해결방안 수립

S4. 개선대상 부품 도출

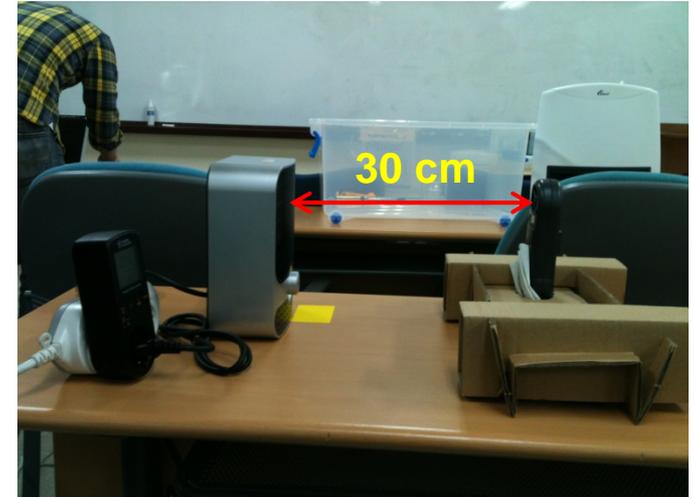
- Quality function deployment environment (QFDE)

※ 환경산업기술원, 2010

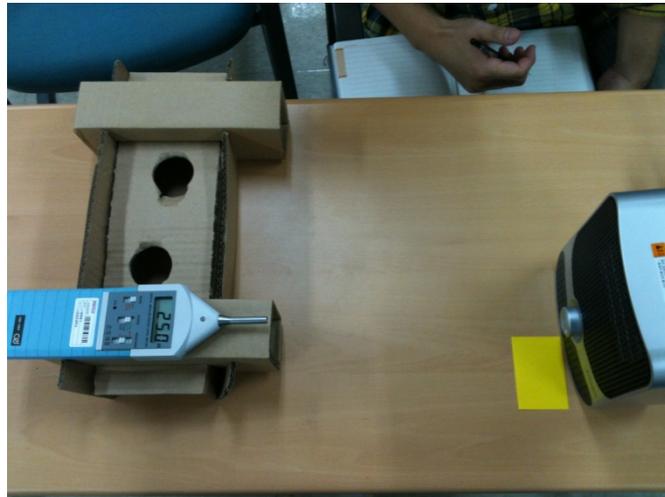
NEW ECO DESIGN CONCEPT

S1. 제품모델링: Performance 측정

- ❑ 측정방법: 온도조절 2 level(약, 강)에서 각각 측정
- ❑ 측정거리: 실제 소형온풍기 사용거리가 고려된 30 cm
- ❑ 실험 시간: 10분
 - ✓ 시작 ~ 1분: 10초 단위로 측정
 - ✓ 1분 ~ 10분: 1분 단위로 측정



온도, 습도, 풍속



소음

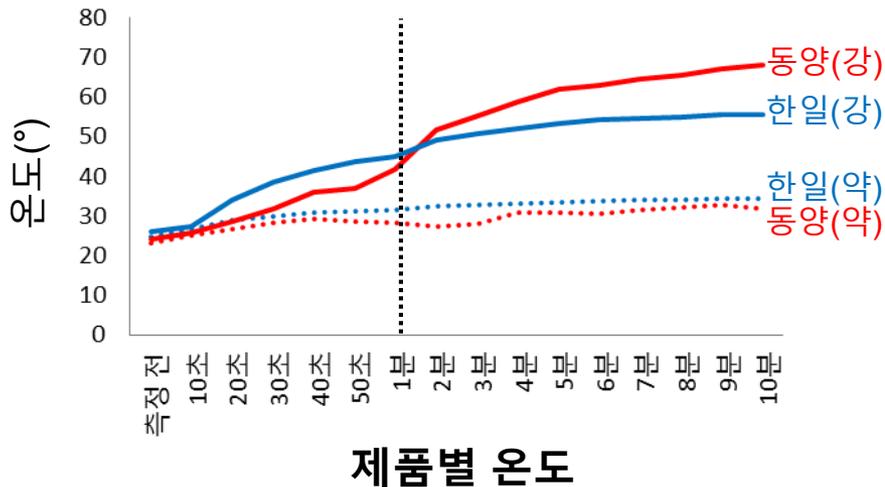


전력량

S1. 제품모델링: Performance 측정 결과(1/5)

□ 온도: 동양(강) > 한일(강)

- ✓ 동양: 한 곳에 집중해서 가열
- ✓ 한일: 팬을 이용하여 가열된 공기를 퍼지게 함



한일



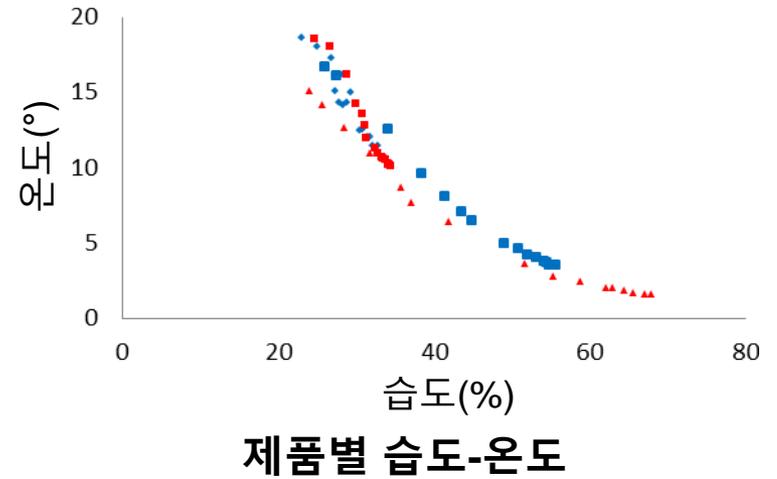
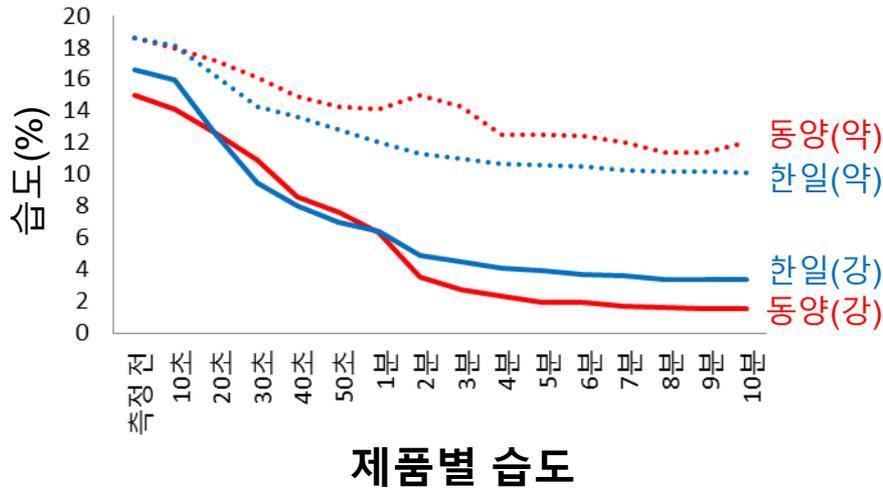
동양

⇒ 한일온풍기는 일정한 공간에 대해서,

동양온풍기는 일정 신체부위에 대해서 효율적인 사용이 가능함

S1. 제품모델링: Performance 측정 결과(2/5)

- 습도 및 습도-온도: 두 제품 모두 온도와 습도는 반비례 관계로 나타남



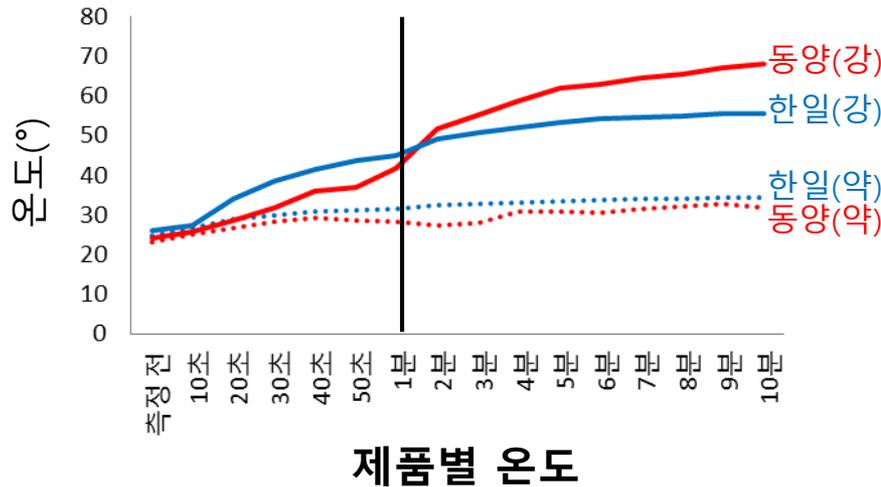
⇒ 두 제품 모두 온도가 상승함에 따라 습도가 낮아지기 때문에

건조함을 방지해 줄 수 있는 가습기능을 추가하는 것이 고려될 수 있음

S1. 제품모델링: Performance 측정 결과(3/5)

□ 풍속: 한일 > 동양

- ✓ 동양: 팬 사용 없이 한 곳에 집중해서 가열
- ✓ 한일: 팬을 사용하여 가열된 공기를 퍼지게 함



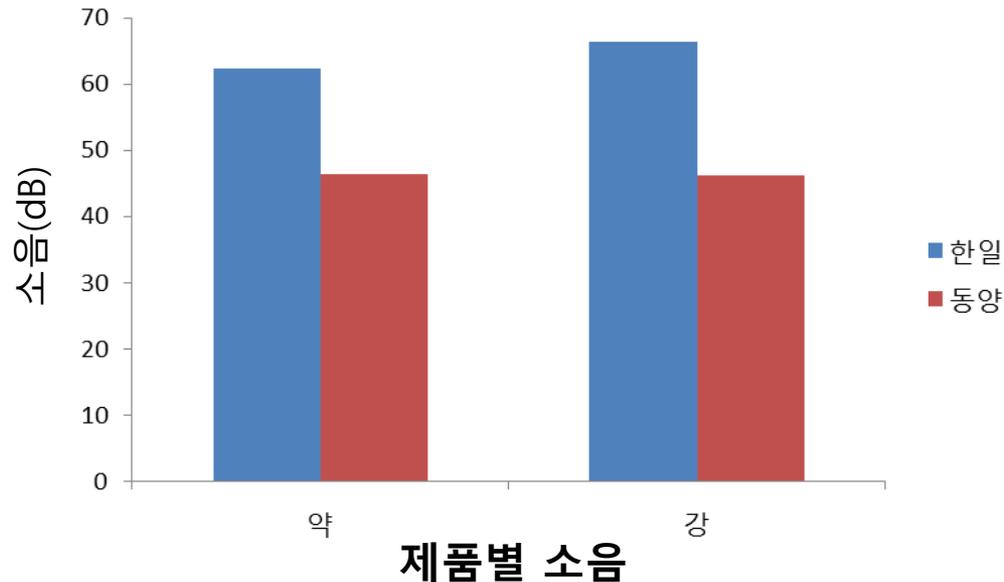
⇒ 효율적인 사용을 위해서 **사용목적에 따라 사용하는 것이 권장됨**

(예: 다리부분만 따뜻하게 사용하기 위해 한일 제품을 사용하는 것은 비효율적)

S1. 제품모델링: Performance 측정 결과(4/5)

□ 소음: **한일** > **동양**

✓ **한일**이 팬을 사용하기 때문에 **동양**보다 소음이 큼

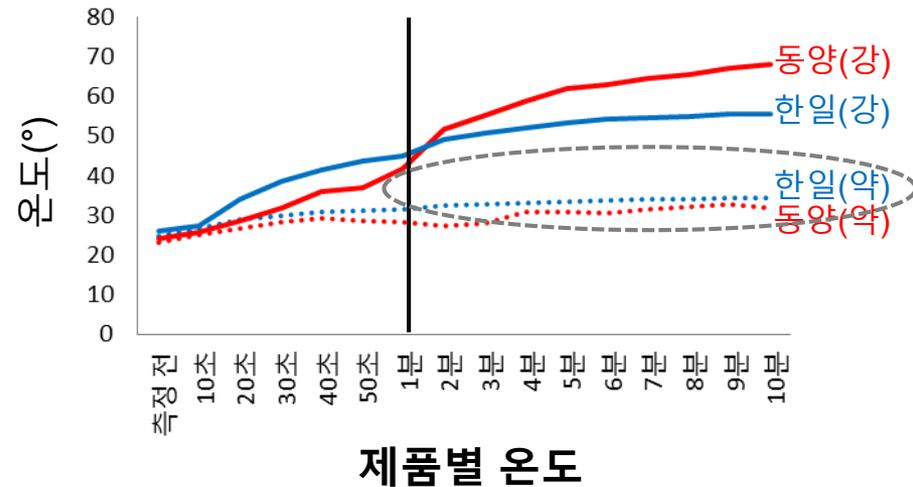
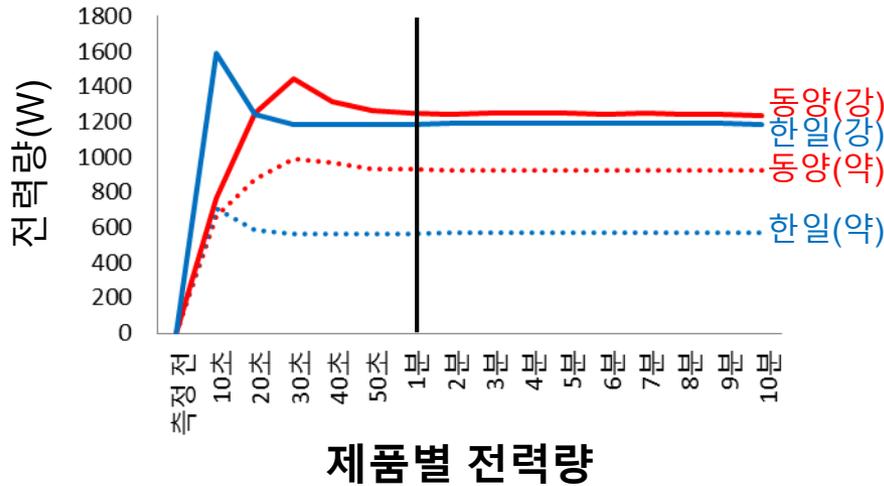


⇒ 정량적인 소음 수치는 한일이 크게 나왔으나 사용자가 느끼는 주관적 만족도가 같이 고려될 필요가 있음

S1. 제품모델링: Performance 측정 결과(5/5)

□ 전력량

- ✓ 강: 동양(1,250 W) ≒ 한일(1,200 W)
- ✓ 약: 동양(910 W) > 한일(580 W)



⇒ 동양은 기준전력량(1,200 W)보다 **50 W 초과**

⇒ 온도측면에서 유사한 성능을 보이는 '약'에서는 **한일**의 열 효율성이 높은 것으로 나타남

S1. 제품모델링: Usability 측정

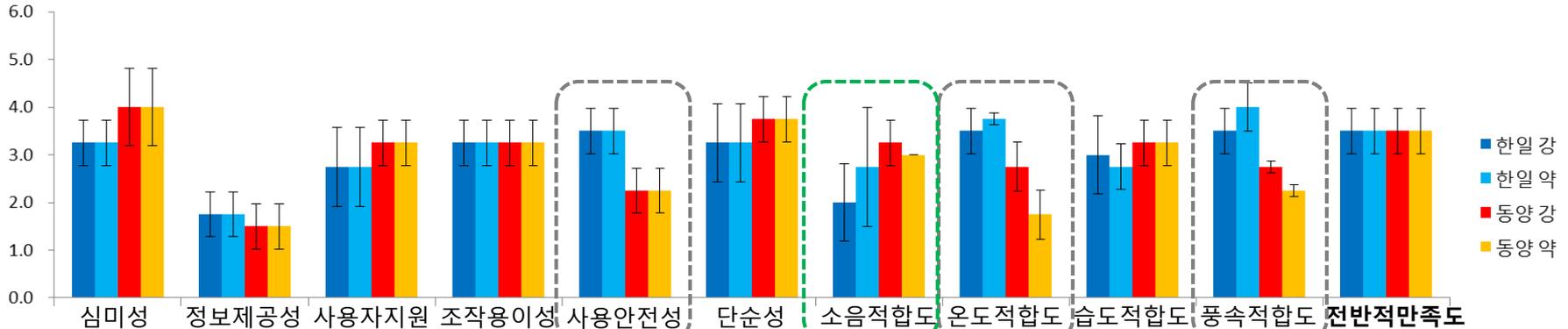
□ Usability test 방법

- ✓ Sample size = 4
- ✓ 평가척도: 5-point Likert scale
- ✓ 측정 measure
 - 심미성
 - Operation: 단순성, 정보 제공성, 사용자 지원, 조작 용이성, 사용 안전성
 - Performance: 소음적합도, 온도적합도, 습도적합도, 풍속적합도
 - 전반적 만족도



S1. 제품모델링: Usability 측정 결과

- ❑ 전반적 만족도는 유사한 것으로 나타남
- ❑ 사용안전성: **한일 > 동양**
 - ✓ 동양의 온도조절버튼이 열판 하단에 위치하여 부적절함
- ❑ 온도 & 풍속적합도: **한일 > 동양**
 - ✓ **한일온풍기**는 fan을 이용하여 가열된 공기를 고르게 뿌려주기 때문임



소음이 더 많이 발생하는 한일이 동양보다 주관적 만족도가 높음

⇒ 소음이 크다고 무조건 안 좋은 것은 아님

⇒ 사용자가 기대하는 소음 존재(예: 일정 수준의 소리로 인해 문제없이 작동하고 있다고 인식)

S1. 제품모델링: 분해도(BOM)

□ 두 제품의 부품 수는 거의 차이가 없음(한일: 68개, 동양: 60개)

한일



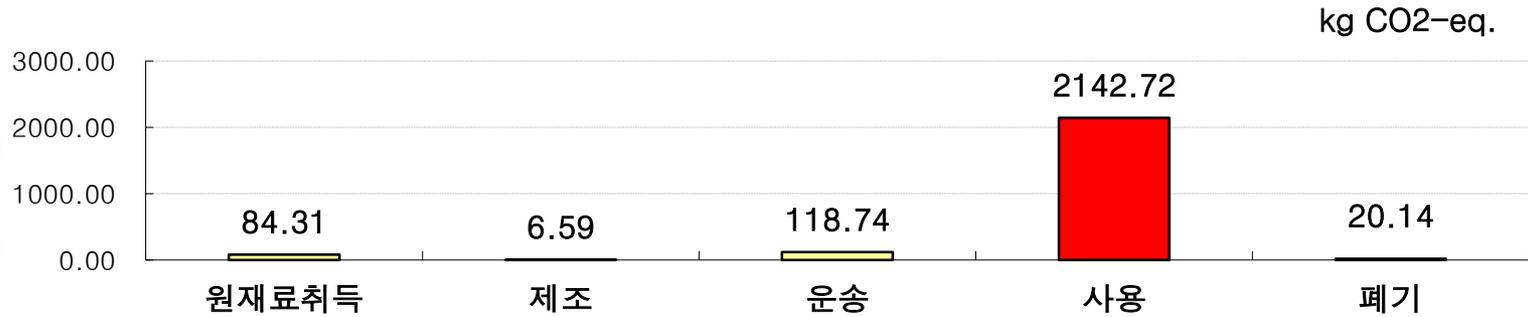
동양



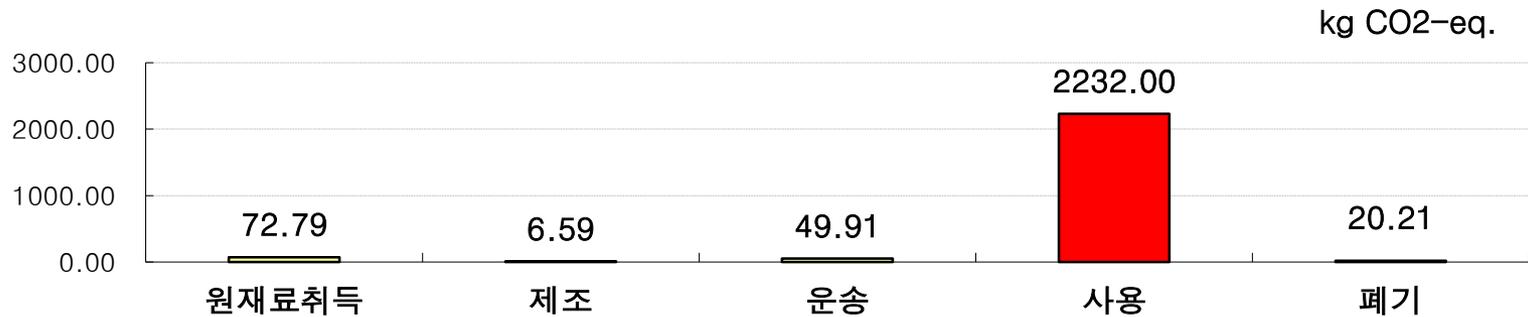
⇒ 동양온풍기는 모듈화(modularization)가 잘되어 분해가 용이함

S2. 제품 환경성 분석

한일



동양



⇒ 두 제품 모두 **사용단계**에서의 탄소배출량이 상대적으로 높은 것으로 나타나, 성능을 유지하고 전력량(W)을 줄이는 방안 필요

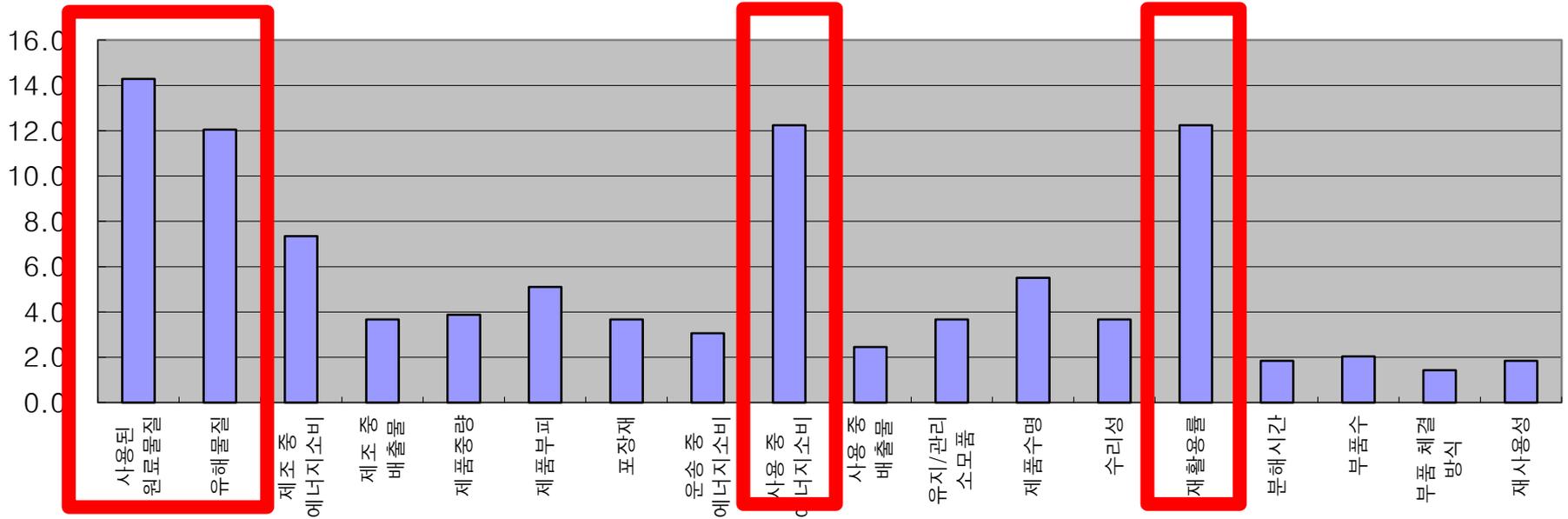
S3. 이해관계자 요구사항 분석: EQFD

환경성 파라미터 환경적 이해관계자 요구사항	중요도	원재료 사용		제품 제조		제품 운송				제품 사용				제품 폐기					
		사용된 원료질	유해물질	제조에너지소비	제조배출물	제품중량	제품부피	포장재	운송에너지소비	사용에너지소비	사용배출물	유지/관리소모품	제품수명	수리성	재활용률	분해시간	부품수	부품체결방식	재사용성
기업	원재료 비용 절감	9	9					3							3		3		
	가공 공정 비용 절감	3	3	9	3												3	3	
	물류비용 절감	1	3			9	9	9	9										
	인건비 절감	1	3			3	3										3	3	
	환경 관련 세금 절감	3	1	3		3									3				
정부-환경단체	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	9	9		3						3								
	에너지 절약 (EuP 등)	9	1		9				3	9			3						
	재활용률 준수 (WEEE 등)	9	3												9				3
	포장재질·포장방법(환경부령 392호) 준수	3				3	3	9											
	폐기물관리법(대통령령 제 22631호) 준수	9	9	9	3	3	3				3				9				
소비자	제품 내구성 향상	3	9									9	9		9			3	
	수리 용이성 향상	3								3	9						3		
	구매비용 절감	3						3	3										
	사용비용 절감	9								9									
	유지보수비용 절감	3				3	9			3		9	9	9					
총계		210	177	108	54	57	75	54	45	180	36	54	81	54	180	27	30	21	27
가중치	-	14.3	12.0	7.3	3.7	3.9	5.1	3.7	3.1	12.2	2.4	3.7	5.5	3.7	12.2	1.8	2.0	1.4	1.8

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

제품과 관련된 **환경적 이해관계자**로 기업, 정부-환경단체, 소비자
 입장에서의 요구사항 반영

S3. 이해관계자 요구사항 분석: EQFD



환경성 파라미터

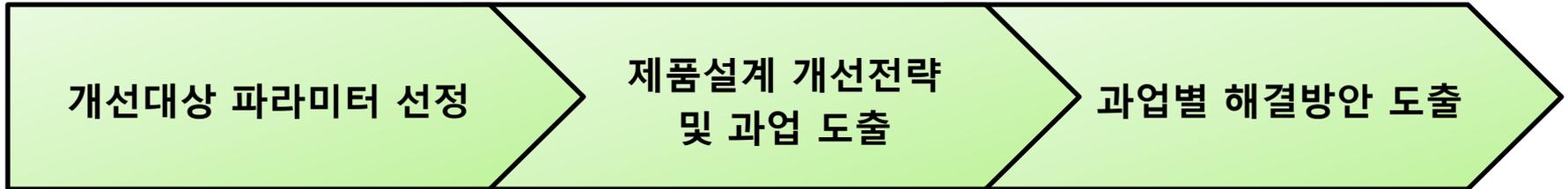
⇒ 환경적 이해관계자의 주요한 요구사항 반영결과, **환경성 파라미터 중 원료물질, 유해물질, 사용 중 에너지소비, 재활용률**이 중요한 것으로 나타남

S4. 개선대상 부품 도출: QFDE

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	열판부	필터	모터	팬	케이스	스위치	포장재	
제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')	사용단계-에너지소비	10.0	9		9				
	사용된 원료물질	17.6	9	3			3	3	
	유해물질	17.6		3					
	재활용률	10.0	3	3	9	3	9	9	
	제품중량	4.6	1		3	3	1	1	
	제품부피	6.4	1		3	3	9	9	
	포장재	2.7							9
	부품 수	2.7	3		3	1			
	온풍 온도	10.0	9		1	1			
	온풍 속도	9.1			9	9			
	재사용성	9.1			9				9
	총계	-	388.4	135.9	395.7	157.8	205.2	205.2	222.5
	가중치	-	22.7	7.9	23.1	9.2	12.0	12.0	13.0

⇒ 환경적 이해관계자의 주요한 요구사항 반영결과, 열판부와 구동부(모터)의 개선이 **에코디자인 측면에서 가장 효과적(effective)** 방법으로 나타남

S5. 전략 및 과업도출



- 선정 방식
 - QFDE 결과 우선 반영
 - 기타 파라미터 고려
 - 사용성 파라미터 추가 고려
- 선정 결과
 - 환경성 (7개)
 - 사용성 (11개)

- 개선전략 도출
 - 파라미터 별 개선전략 도출
 - 환경성 총 7개 도출
 - 사용성 총 7개 도출
- 과업도출
 - 개선전략 별 과업 도출
 - 환경성 총 12개
 - 사용성 총 7개 고출

- 해결방안 도출
 - 과업별 해결방안 도출
 - 환경성 총 24개 도출
 - 사용성 총 14개 도출

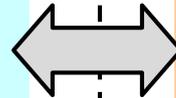
개선대상 파라미터		제품설계 개선전략	과업	해결방안	
환경성	주요	사용단계 에너지 소비 저감 (온풍온도 포함)	열판의 소비전력 저감	효율이 좋은 열판 재질로 변경	
			친환경 에너지 사용	외부에 수동식 발전기 부착하여 전원 공급	
			팬의 소비전력 저감	효율이 좋은 모터로 변경	
		사용된 원료물질	재활용률 높은 원료 부품 사용	사용자의 사용량 저감	사용 사용가이드라인 제공
			사용되는 원료물질 양 감소	재활용률 높은 포장재 사용	폐지 50% 이상 함유 종이사용
	기타	유해물질	-	-	-
			부품의 표준화	부품의 표준화를 통한 재활용률 증진	제품 디자인을 변경하여 모델별 같은 부품 사용
		재활용률	제품의 재사용성 증진	제품별 부품 표준화를 통한 재활용률 증진	모터의 표준화(헤어드라이기 등에 활용)
		재사용성	운송중 에너지소비 저감	에너지 효율이 높은 수단으로 운송	에너지 효율이 높은 트럭으로 운송
		운송중 에너지소비	제품 수명	제품의 내구성 증가	내구도 높은 모터 사용
제품 수명	제품 수명 증가	A/S 서비스 확충	주요 수리점별 제품 상세 정보 배포		

S6. 개념설계(1/3)

Bottom-Up Approach

- 과업 별로 해결방안을 조합
 - ▶ 유용한 방안 조합
 - ▶ 비슷하게 제공될 수 있는 방안 조합
- 해결방안 별 평가 수행
 - ▶ 중요도 평가, 환경영향도 평가

Mapping



Top-Down Approach

- 제품에 대한 주요 요인 선정
 - ▶ Product
 - ▶ Service
 - ▶ User
- 주요 요인별 제품 개념 도출

Bottom-Up & Top-Down Approach를 고려한 개념설계

Concept #1
Eco-Efficient
Heater

Concept #2
Smart Heater

Concept #3
Modularized
Heater

Concept #4
User-Support
Heater

S6. 개념설계(2/3)

Top-down Approach

열판의 소비전력 저감

사용자의 사용량
저감

Objectives

제품별 부품
표준화를 통한
재활용률 증진

사용전력 유지

사용 환경의 적정 습도
유지

Bottom-up Approach

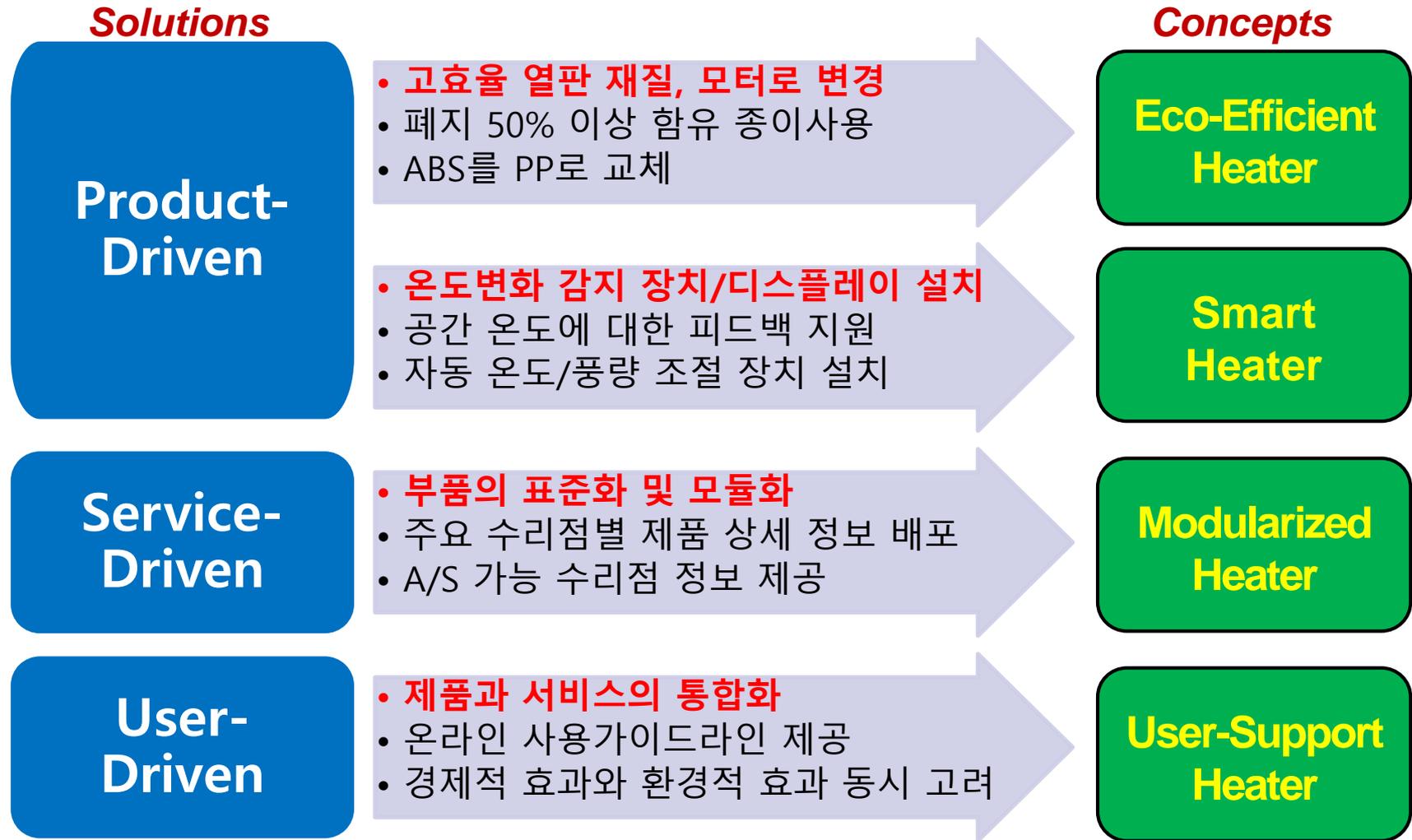
Solutions

Product-Driven

Service-Driven

User-Driven

S6. 개념설계(3/3)



Concept #1: Eco-Efficient Heater

열원 전력 최소화과 부품 재활용률의 최대화를 통해

전기요금 부담 없고 환경친화적

Low Price



Low Waste



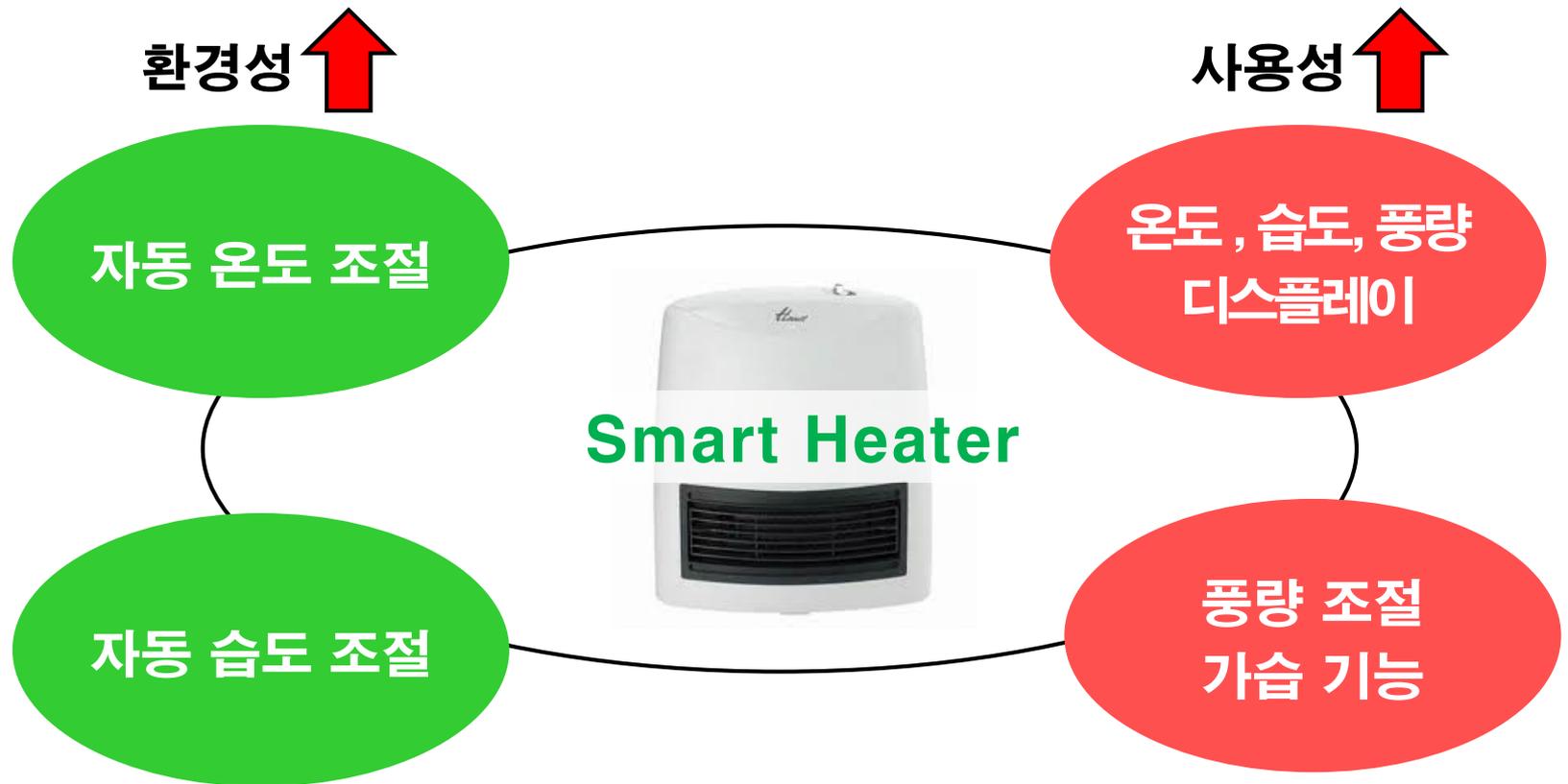
**Eco-Efficient
Heater**



Concept #2: Smart Heater

자동 조절 장치와 제품 사용성 증진을 통해

고객에게 맞춤형 기능을 제공



Concept #3: Modularized Heater

제품 모듈화와 부품 표준화를 통해

구성요소
모듈화



부품 표준화



제품의 수명 연장을 제고

Modularized Heater



- 용이한 수리
- 재사용성 증가

Concept #4: User Support Heater

제품 사용지원 가이드라인 및 서비스 제공을 통해

고객의 똑똑한 제품사용을 지원



Concept – Summary

	경제성	성능	친환경성	사용성
Eco-Efficient Heater	😊	😊	😊	-
Smart Heater	-	-	😊	😊
Modularized Heater	😊	-	😊	-
User Support Heater	😊	-	😊	😊



경제성과 친환경성을 동시에 고려하는 에코디자인

토의

□ 소형온풍기의 친환경적 디자인 절차를 통한 전기난방기기의 친환경 설계 개념 도출

✓ 사용단계의 에너지 소비↑: 성능을 유지하고 전력량(W)을 줄이는 방안이 필요

✓ 주요 개선대상 부품: 열판부, 구동부(모터)

⇒ Top-down 및 bottom-up 전략이 혼용되어 도출된 3가지 solution(product-driven, service-driven, user-driven) 기반의 4가지 설계개념(eco-efficient, smart, modularized, user-support) 도출

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

✓ 성능 평가 결과: 사용목적에 따라 사용되어야 효율적(예: 국소 가열 → T사, 일정공간 가열 → H사)

✓ 사용성 평가 결과: 전기난방기기의 온도조절버튼은 열판 근처에 있는 경우 비선호됨

⇒ 친환경적 디자인 분야에도 학제적(interdisciplinary) 접근 필요

□ 본 연구에서 적용된 친환경적 디자인 절차의 한계점

✓ 평가자의 주관적인 결정사항이 많음(예: EQFD 및 QFDE의 가중치 결정, 이해관계자 선정 등)

✓ 주로 대상제품 부품 개선에 초점이 맞춰져 있음

⇒ 다기준(multiple-criteria) 의사결정에 적합하도록 계층분석법(AHP)과 같은 방법의 적용 필요

⇒ 부품 및 과업의 개선 외에도 설계개념단계의 대안이 제시될 수 있는 절차의 개선 필요

Q & A

Thank You 😊

