

전과정 평가(LCA)를 통한 핸디형 청소기의 친환경적 디자인



2013. 5. 24



유탉호¹, 이정혜¹, 김태훈¹, 김병목¹, 조한동², 이지형¹, 유희천¹

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과 ² 포항공과대학교 기계공학부

¹{noelfly, jung6180, kithsme, kimbm}@postech.ac.kr,
²hyvaa@postech.ac.kr, ¹{iwoneye, hcyou}@postech.ac.kr

2013년 한국경영과학회·대한산업공학회 춘계공동학술대회

Agenda

- Introduction
 - ✓ Eco-design
 - ✓ Life Cycle Assessment
- Objectives
- Methods & Results
- Discussion

에코디자인(Eco-Design)

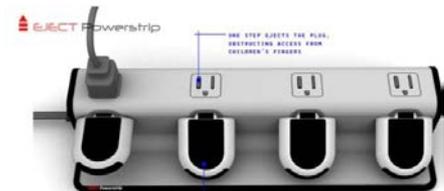
- 제품의 제조부터 폐기까지 생길 수 있는 환경적 영향을 감소시키며 제품 기능과 품질을 높이도록 하는 **환경 친화 디자인**¹⁾
- **유해물질을 사용하지 않으면서** 오랫동안 사용이 가능하고, 사용이 끝난 것에 대해서는 **분해, 재사용, 폐기하기 쉽도록 설계**
- 생산 및 사용시 에너지소비 감소 등 환경 영향을 배려하여 제품 설계



연필심 인쇄기



태양전지를 이용한 친환경 스트랩

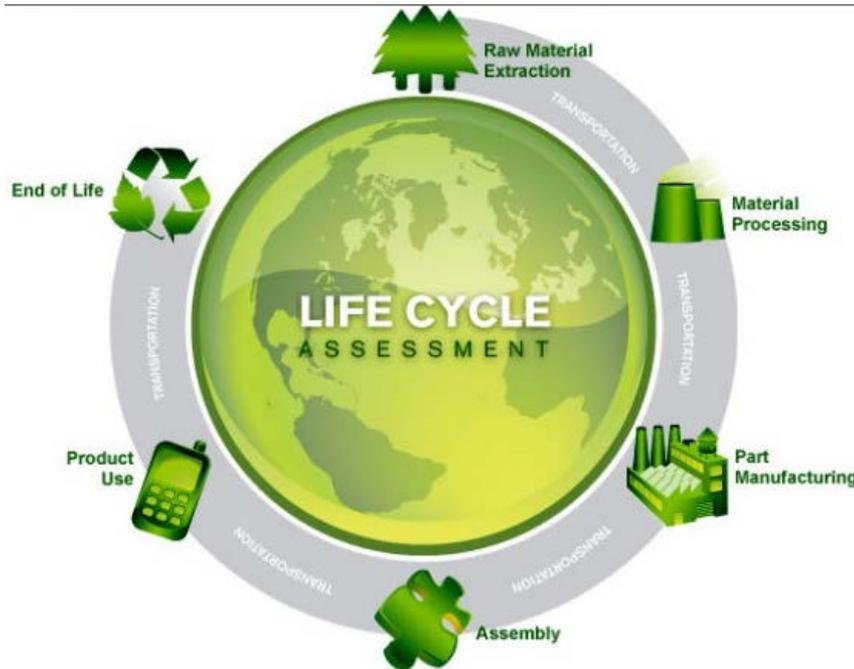


발로 제어하는 멀티탭

1) 출처: 백춘열 외(2006), TRIZ를 이용한 에코디자인 방법론 연구, *대한환경공학회 2006 추계학술연구발표회 논문집*, pp. 771-778

전과정평가(Life Cycle Assessment)

- ❑ 전과정(life cycle): 원료 수집 및 자재 생산에서부터 조립, 운송, 사용, 유지 및 폐기까지의 과정
- ❑ 전과정평가: 제품의 전과정이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 일련의 과정



추가 고려사항

- ✓ 제품의 성능
- ✓ 사용성

연구 목표

전과정평가를 통한 핸디형 청소기의 환경 영향 평가 수행 및 사용성을 고려한 친환경적 제품 설계 개선 전략 도출

1. 핸디형 청소기의 제품 성능 및 사용성 평가를 통한 인간공학적 개선 사항 도출
2. 핸디형 청소기의 전과정평가를 통한 친환경적 개선 요소 도출
3. 사용성 및 고객 요구사항을 고려한 친환경 제품 설계 개선 전략 도출



제품 선정

- 간편하게 청소가 가능하나 장시간 충전 대비 낮은 사용 시간을 가진 **핸디형 청소기**를 평가 대상 제품으로 선정

경쟁사 제품	개선 대상 제품
 <p>Philips FC-6140</p>	 <p>Samsung VC-H20</p>

무게	0.82 kg	0.76 kg
용량	0.5 L	0.4 L
사용구조	on/off	on/off
필터	물청소	물청소
충전 거치대 유무	유	무
흡입용 노즐 수	2개	1개
충전 시간	16시간	8시간
최대 사용 시간	9분	10분
Motor 출력	3.6 V	4.8 V

핸디형 청소기의 전과정평가 절차

S1. 제품 성능 및 사용성 평가

- 제품 사양 비교
- 제품 성능 측정 및 분석
- 제품 사용성 평가

S2. 제품 모델링

- BOM 작성
- 환경성 파라미터 분석

S3. 제품 환경성 분석

- Life cycle thinking (LCT)

S4. 이해관계자 요구 분석

- EQFD & EBM
- 개선 대상 환경성 파라미터 선정

S5. 개선대상 부품 도출

- QFDE
- 개선대상 부품 도출

S6. 전략 및 과업 도출

- 에코디자인 전략 선정
- 해결방안 도출

S7. 개념설계

- 설계 대안 선정
- 설계 대한 평가 및 검토

S1. 제품 성능 실험 설계

- 성능 평가 요소: 흡입력, 흡입 범위, 소음 발생량, 전력량(대기, 소비)

흡입 범위



흡입 형태



흡입 반경

흡입력



정면 흡입력



흡입 크기



최대 흡입 풍속

소음



거리에 따른 소음 측정

전력량



충전 중 전력량



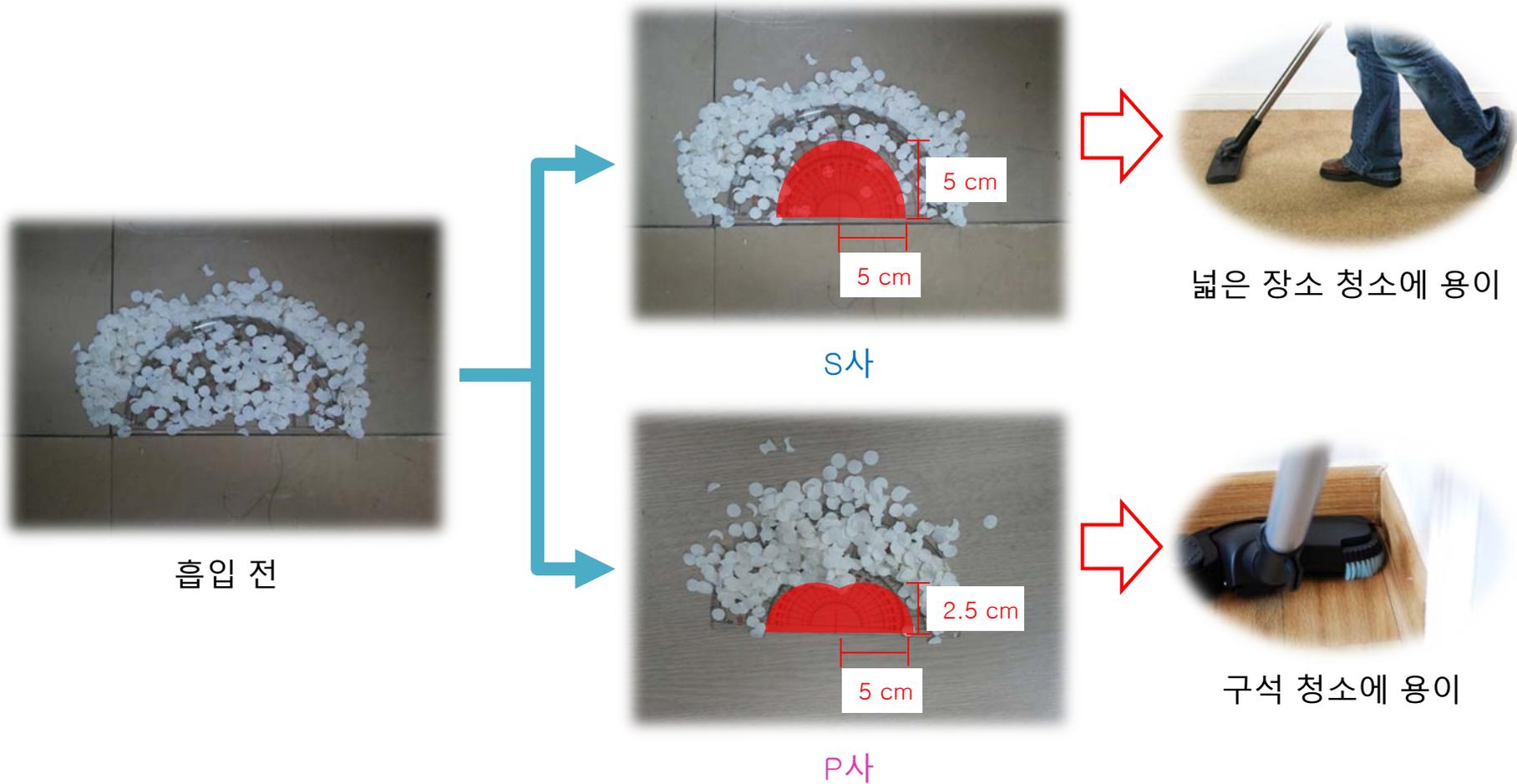
사용 중 전력량



사용 시간 대비 흡입 풍속

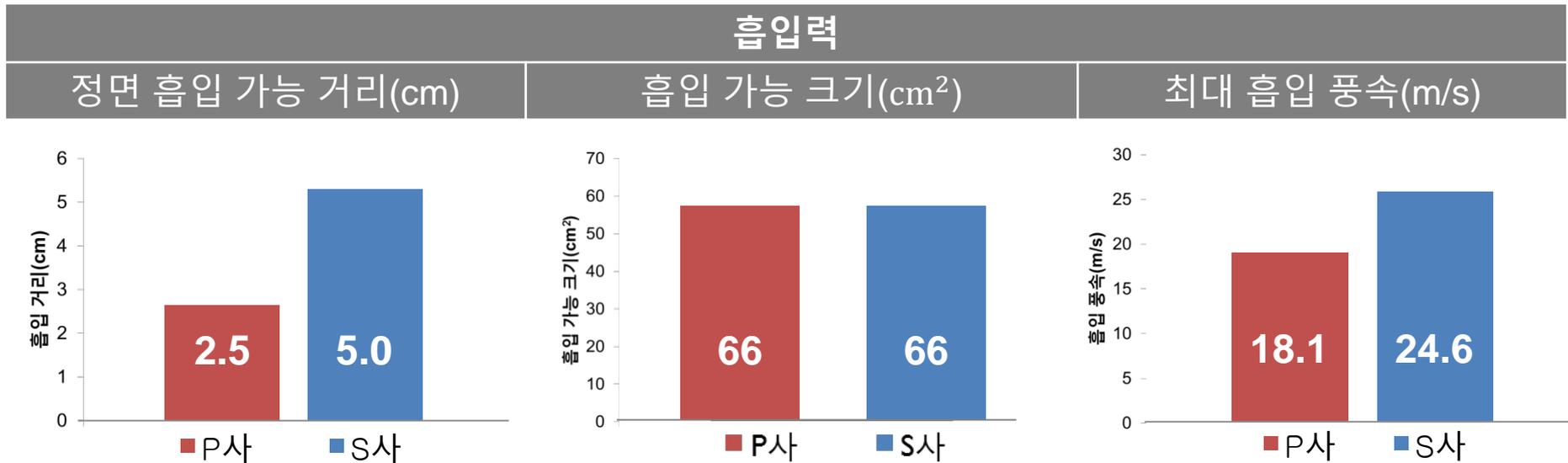
S1. 제품 성능 평가: 흡입 범위

□ 각 청소기의 흡입구 모양 차이에 따른 흡입 범위 측정



S1. 제품 성능 실험 평가: 흡입력

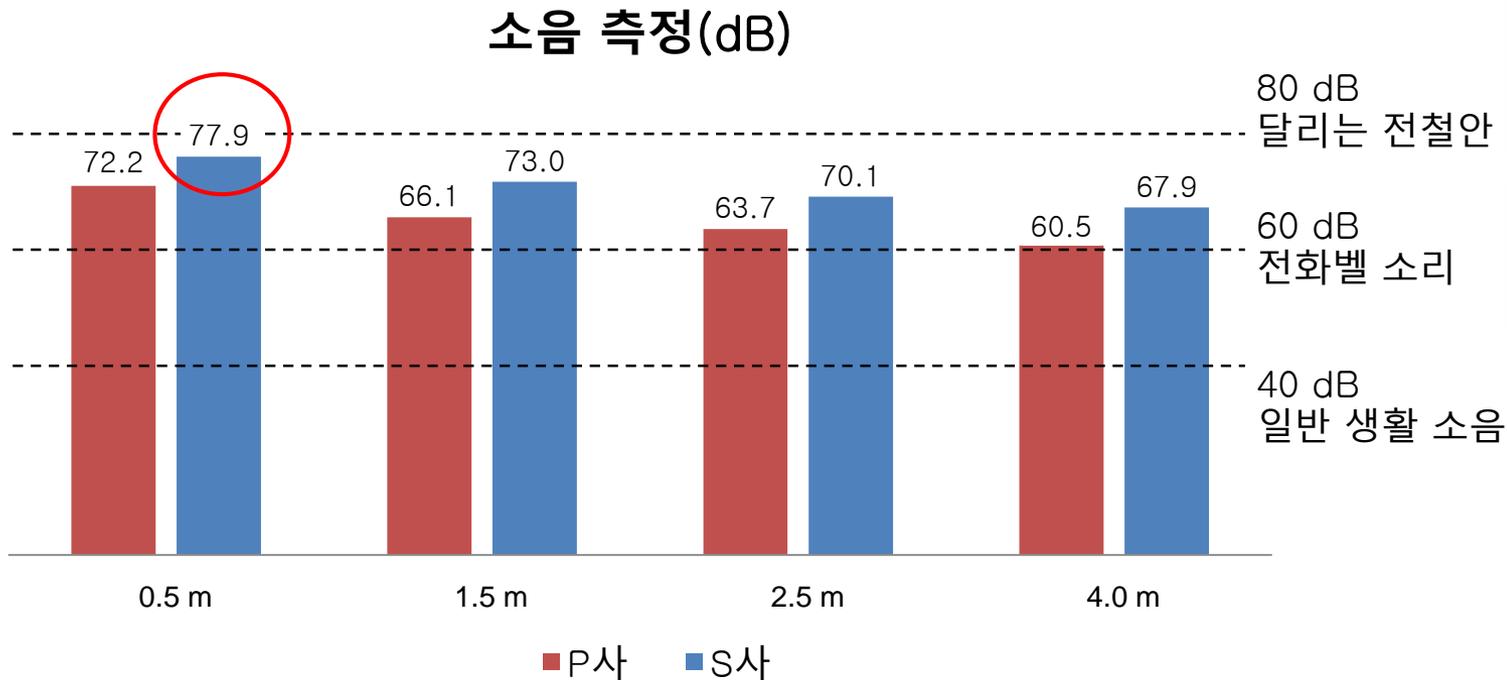
□ 정면 흡입 가능 거리, 흡입 가능 크기, 최대 흡입 풍속 측정 비교 평가



⇒ 흡입력은 S사 제품의 성능이 전반적으로 우수한 것으로 파악됨

S1. 제품 성능 실험 평가: 소음

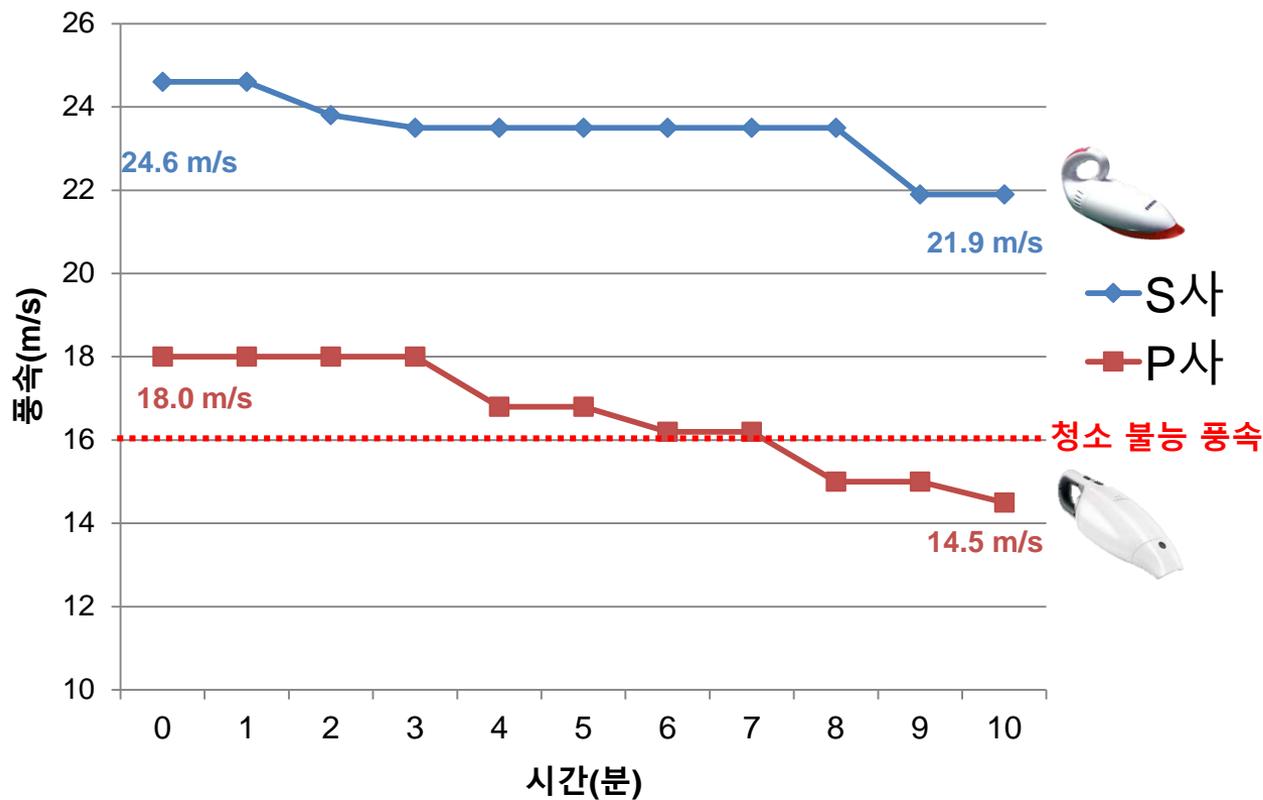
□ 핸디형 청소기로부터 측정거리에 따른 소음 측정



⇒ S사 제품의 소음이 높게 측정된 이유는 motor의 성능, fan의 구조 차이에 의한 것으로 파악됨

S1. 제품 성능 실험 평가: 전력량

□ 청소기 사용 시간에 따른 흡입 풍속 측정



⇒ P사 청소기의 경우 사용 시간 7분 이후 흡입력의 급격한 감소에 대한 사용이 불가능한 것으로 파악됨

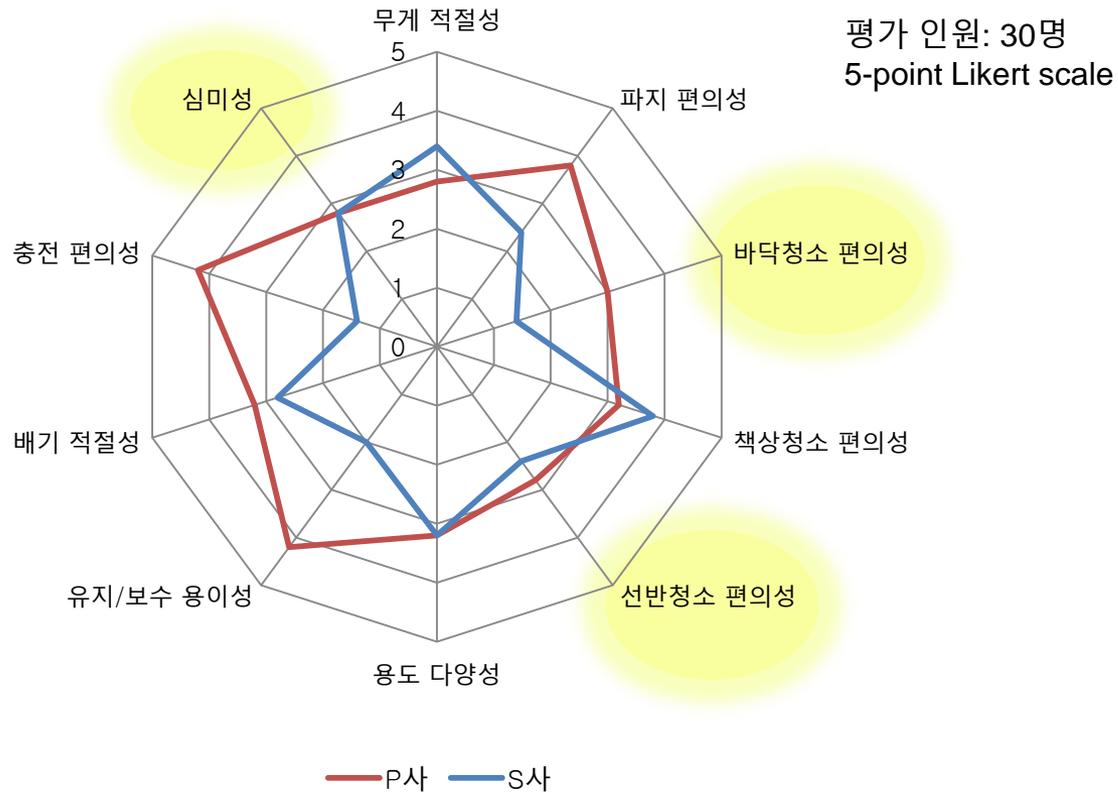
S1. 제품 사용성 평가 항목

□ 핸디형 청소기 사용과 관련된 10가지 항목에 대해 사용성 평가를 수행

평가 항목	설명
심미성	제품 디자인이 보기 좋은 정도
무게 적절성	제품을 손으로 들었을 때 무게가 적절한 정도
파지 편의성	손잡이를 잡았을 경우 잡기 편한 정도
바닥청소 편의성	바닥을 청소할 때 자세가 편안한 정도
책상청소 편의성	책상을 청소할 때 자세가 편안한 정도
선반청소 편의성	선반을 청소할 때 자세가 편안한 정도
용도 다양성	흡입 노즐 종류 및 구석을 청소하기 편리한 정도
유지 / 보수 용이성	먼지 제거구 탈/부착이 용이한 정도
배기 적절성	제품 작동 시 바람이 빠져나오는 방향이 사용자에게 영향을 주는 정도
충전 편의성	거치대 유무 / 충전 선 관리

※ 평가 척도: 1 ~ 5점

S1. 제품 사용성 평가 결과



⇒ 바닥청소, 선반청소 편의성과 심미성의 개선이 필요한 것으로 파악됨

S2. Bills of Materials

- ❑ S사 제품에 비해 P사 제품의 부품 수가 많음(S사: 37개, P사: 54개)
→ P사 거치대(7개), 분리형 흡입구(4개)로 인한 부품 수 차이가 발생
- ❑ 두 제품 모두 motor와 fan의 결합 구조가 복잡해 분해가 어려움



P사 거치대

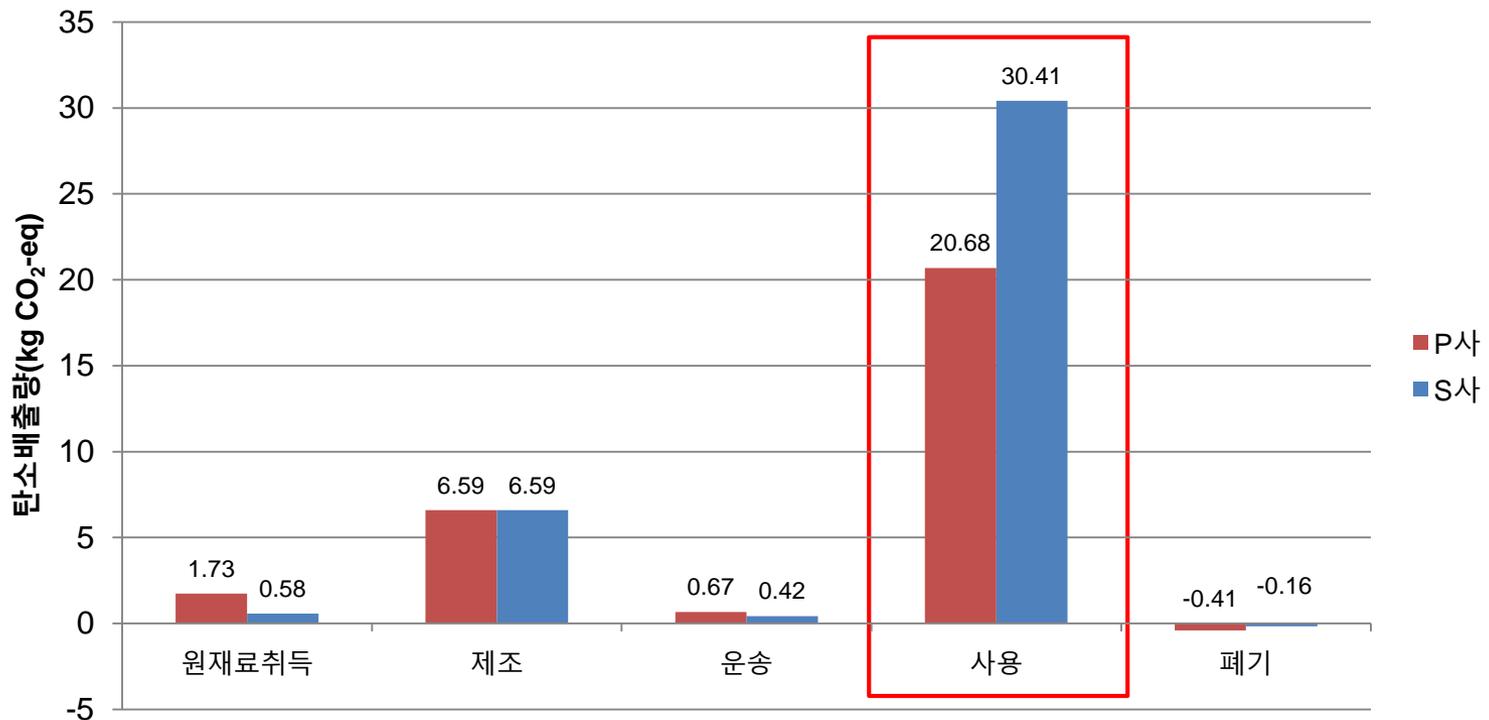


P사 motor 결합부

S3. 제품 환경성 분석

- 두 제품의 사용 단계에서 탄소배출량이 가장 많고, 사용 측면에서 대기 전력량이 큰 것으로 분석되어 대기 전력을 효율적으로 개선할 방안 필요

사용 단계에 따른 탄소 배출량



S4. 이해관계자 요구사항 분석: EQFD

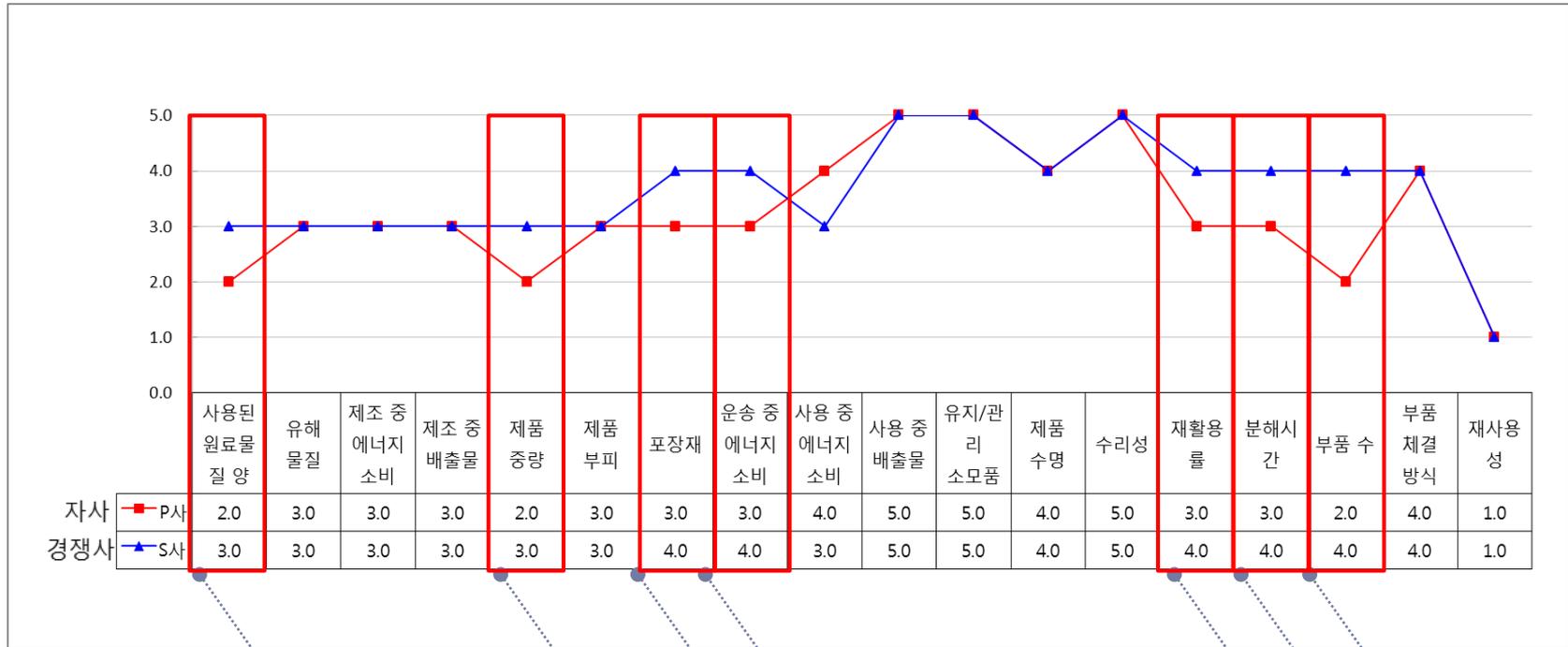
- 환경적 이해관계자의 주요한 요구사항 반영결과, 환경성 파라미터 중 **유해물질, 제조 중 에너지소비, 사용 중 에너지소비**가 중요한 것으로 나타남

환경성 파라미터 이해관계자 요구사항	중요도	원재료 사용		제품 제조		제품 운송				제품 사용			제품 폐기						
		사용된 원료 물질 양	유해물질	제조 중 에너지 소비	제조 중물 배출물	제품 중량	제품 부피	포장재	운송 중 에너지 소비	사용 중 에너지 소비	유지/관리 소모품	제품 수명	수리성	재활용률	분해 시간	부품수	부품체결 방식	재 사용성	
기업	원재료 비용 절감	3	9	9	1	3	3					3		9					
	가공 공정 비용 절감	9	9	9	9	9									1	3	3	1	
	물류비용 절감	1					9	9	3	9									
	인건비 절감	3		1		1	3	1	3										
	환경 관련 세금 절감	1	3	9	3	3	1	1	3	1	9	3	9	1	9	3	1	1	9
정부-환경단체	유해물질 사용금지 (RoHS, REACH 등)	1	3	9		3								3					
	에너지 절약 (EuP 등)	9			9					9	9			3	1				
	재활용률 준수 (WEEE 등)	3							1				9	9					9
	포장재질·포장방법(환경부령 392호) 준수	3					3	3	9					1					
	폐기물관리법(대통령령 제 22631호) 준수	3		3		9			3					3	3				3
소비자	제품 내구성 향상	3	1				1				9	9	9	3					1
	수리 용이성 향상	3											3	9		3	9	3	
	구매비용 절감	9	3	9					1	1	9	3	3	3					
	사용비용 절감	1									9	9	3	3					
	유지보수비용 절감	1										9	9	9			3	1	
총계	-	144	219	168	126	40	22	63	100	207	75	93	103	105	39	58	41	54	
가중치	-	8.7	13.2	10.1	7.6	2.4	1.3	3.8	6.0	12.5	4.5	5.6	6.2	6.3	2.4	3.5	2.5	3.3	

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

S4. 이해관계자 요구사항 분석: EBM

□ 비교 대상 제품의 경쟁력 향상을 위해 고려해야 할 파라미터 선정



재료의 종류와 양이 많음

중량이 30% 더 무거움

포장재가 더 많이 쓰임

해외 생산으로 운송 에너지 소비 과다

경쟁사 재활용률의 80%

분해시간 1.5 배 더 소요

부품이 1.5 배 더 사용

S5. 개선대상 부품 도출: QFDE

- 모터, 배터리와 외관의 개선이 에너지 소비와 유해물질 부분의 개선에 효과적인 방법으로 나타남

QFDE II	제품 구성 부품								
	가중치	모터	팬	배터리	필터	케이스	스위치	포장재	충전기
제품 특성 ('제품의 주요특성', '개선대상 환경성 파라미터')	사용단계 - 에너지 소비	2.2	9	3					1
	유해물질	26.1	9		9				3
	제조 중 에너지소비	10.5		3		1	9		
	사용된 원료물질 양	17.4					9	1	
	제품중량	2.7	3		3		3	9	3
	포장재	2.9					9	9	
	운송 중 에너지 소비	2.3					9		
	재활용률	5.8	3		3		3	9	
	분해 시간	5.8	9						
	부품 수	3.6	9					3	
	흡입력	7.0	9	3	9				
	사용 시간	8.1			9	1			9
	총계	-	409.7	59.0	378.2	18.6	305.4	10.9	67.3
가중치	-	29.1	4.2	26.8	1.3	21.7	0.8	4.8	11.4

S6. 전략 및 과업 도출

□ 모터, 배터리, 케이스를 주 개선 대상으로 한 사용자 중심, 환경 중심의 제품 개선안 도출

개선대상 환경성파라미터	친환경 제품설계 개선전략	과업	해결방안		
			1	2	3
사용단계 - 에너지 소비	사용단계 에너지 소비 저감	대기전력량 절감	충전완료 표시등 추가	방전 최소화 배터리 사용	-
		소비전력량 절감	에너지 효율이 높은 모터 사용	필터 교체 시기 표시	강/약 조절 가능 탑재
		친환경 에너지 사용	외부에 수동식 발전기 부착하여 전원 공급	태양 에너지 사용	차세대 전지 사용
유해물질	유해 물질 저감	유해물질이 적은 배터리 사용	친환경 배터리 사용	-	-
제조 중 에너지소비	-	-	-	-	-
사용된 원료물질 양	사용된 원료물질 양 절감	비효율적인 설계 제거	설계 최적화	-	-
제품중량	제품중량 경량화	가벼운 부품 사용	모터 무게 경량화	본체 크기 감소 및 소재 변경	-
포장재	포장재 사용 저감	포장재 무게 감소	외부 코팅 처리 방식 변경	Box 소재 변경	설명서 무게 감소
운송 중 에너지 소비	-	-	-	-	-
재활용률	재활용률 향상	재활용률이 높은 소재 사용	본체 소재 변경	-	-
분해 시간	분해 시간 저감	분해 용이성 증가	나사 체결 수 감소	모터와 팬 분리 구조 개선	-
부품 수	부품 수 감소	불필요한 부품 제거	흡입부와 본체 일체화	-	-
바닥청소 편의성	바닥청소 편의성 증대	제품 구조 개선	탈착형 손잡이	손잡이 변형 개선	-
선반청소 편의성	선반청소 편의성 증대	제품 구조 개선	탈착형 손잡이	손잡이 디자인 개선	-
심미성	-	-	-	-	-
소음 적합도	소음 적합도 향상	소음 감소	음악 제공	모터 교체	-

S7. 제품 Concept: Eco-friendly



“소음을 줄이지만 power는 강하게”

“친환경적인 소재로 제조 및 폐기에서도 환경성을 강조”

“깨끗하게 빨아들이고, 깨끗하게 사용한다”

- 제품 주요 특징 -



친환경 소재를 사용해 분해율↑

친환경 배터리 사용을 통한
유해물질 감소



친환경 에너지 충전
(태양열 충전, 자가 충전 등)

저소음 고효율 모터 사용

S7. 제품 Concept: User-friendly



“사용자가 스스로 인지하여 환경적 조절(예: 충전량 조절)이 가능하게”
“다양한 장소에서 용이하게 사용 가능한 구조”

“사용자가 편리하게 사용할 수 있는 친환경 청소기”

- 제품 주요 특징 -



탈착식 손잡이 구조

자가 발전 기능을 통한
경제성 증가



충전 완료 표시등
(사용자에게 충전 정보 인지)

강/약 조절 기능 탑재

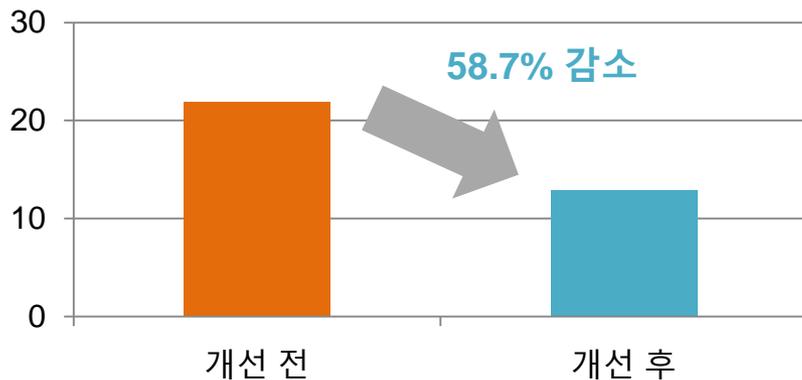
개선 제품의 환경 영향 평가

□ 개선 전 후의 핸디형 청소기에 대한 환경영향 평가 결과 예측 및 비교

개선대상 환경성 파라미터	개선 전	개선 후	개선 전 (*kg CO ₂ -eq)	개선 후 (*kg CO ₂ -eq)	개선 효과 (*kg CO ₂ -eq 외)	개선 효과 도출 기준 및 방법
사용 중 에너지 소비	40 kWh	25 kWh	20.62	12.89	7.73 kg CO ₂ -eq 감축	모터 교체를 통한 사용전력량 절감 효과 측정 및 충전 효과
제품 중량	1642 g	1420 g	1.73	1.49	경쟁사와 유사한 정도의 제품 중량 감소를 통한 0.24 kg CO ₂ -eq 감축	
사용된 원료물질	13종	10종	-	-	3종의 감소	PS, PA, PE재질을 ABS로 교체
재활용률	69%	86%	-0.41	-1.49	1.08 kg CO ₂ -eq 감소	PS, PA, PE재질을 ABS로 교체 한 경우 폐기 단계에서 감소하는 CO ₂ 발생량 측정
합계			21.94	12.89		

(단위: *kg CO₂-eq)

탄소 배출량 감소 효과



가상 시나리오에 의한 개선 효과

- ✓ 약 9.05 kg CO₂-eq를 절감
- ✓ 재질 교체 및 통합을 통한 재활용률 향상
- ✓ 충전 완료 표시로 인한 대기 전력 사용량 감소

토의

- ❑ 본 연구는 제품의 성능 및 사용성이 고려된 친환경적 설계안 도출에 활용될 수 있음

- ❑ 사용 중 에너지 소비량이 높은 제품의 친환경적 설계 개선에 활용 가능
 - ✓ 제품의 사용과 관련된 핵심 기능의 개선을 통한 친환경적 설계
 - ✓ 전과정평가를 통한 제품의 에너지 사용이 높은 기능 또는 부품을 파악하여 개선

- ❑ 핸디형 청소기의 친환경적 설계 개선 효과
 - ✓ 탄소배출량 9.05 kg CO₂-eq를 감소할 것으로 예상됨
 - ✓ 소재 개선을 통한 재활용률 향상
 - ✓ 사용 시 전기 소모 감소

- ❑ 한계점
 - ✓ 제조사와의 협조 필요: 원재료 사용, 제조, 운송, 폐기 단계의 상세 정보 필요

감사합니다.

