

에코디자인 프로세스를 통한 날개 없는 선풍기의 환경 영향 평가 및 개선전략 제안

2012. 5. 11

최영근¹, 곽우람¹, 정기욱¹, 류성남¹, Jason Ree¹, 유희천¹
남택준², 정상태², 이영아², 이화조²

¹ 포항공과대학교 산업경영공학과

² 영남대학교 기계공학부



POSTECH
POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
포항공과대학교



영남대학교
Yeungnam University

Agenda

- ❖ 연구 배경 및 목적
- ❖ 연구 방법
 - ✓ Performance & Usability Evaluation
 - ✓ 환경 성적 기반의 설계 대상 도출
 - ✓ 개선 전략 제안
- ❖ Discussion

기존 선풍기의 개선

고급화!!



아름다운 디자인

안전의 극대화

관리의 편리성

감성적인 바람



날개 없는 선풍기의 등장



메어 멀티플라이어 직접 써보니

"바람의 질이 다르다"

프레젠테이션이 끝나고 메어 멀티플라이어 제품을 직접 테스트 해봤다. 피부에 바람이 동시에 닿는 느낌은 일반 선풍기와 확연히 다른 점을 알 수 있을 정도로 부드럽게 다가왔다. 이에 다이슨 측이 "바람의 질이 다르다"고 강조하고 있는 것, 이는 곧 **체감 온도를 더 낮게** 느껴지게 하는 요인이 된다.

또한 일반적인 선풍기에서 가능한 풍량 조절이나 풍향 조정도 가능하다. 다만 풍량 조절을 단계식(미풍, 약풍, 강풍 등)이 아닌 볼륨 조절 방식을 채택해, 자신에게 가장 적합한 세기의 바람을 선택할 수 있게 한 것이 차이점이다.

이 외에도 날개가 없어 **안전도** 뛰어나다. 기존 선풍기는 고속 회전하는 날개 탓에 안전망이 필수였다. 그러나 메어 멀티플라이어는 날개가 없어, 부주의로 인한 안전사고 발생 가능성을 떨어뜨렸다. 또한 청소도 용이해 장시간 깨끗한 바람을 맞을 수 있게 했다.

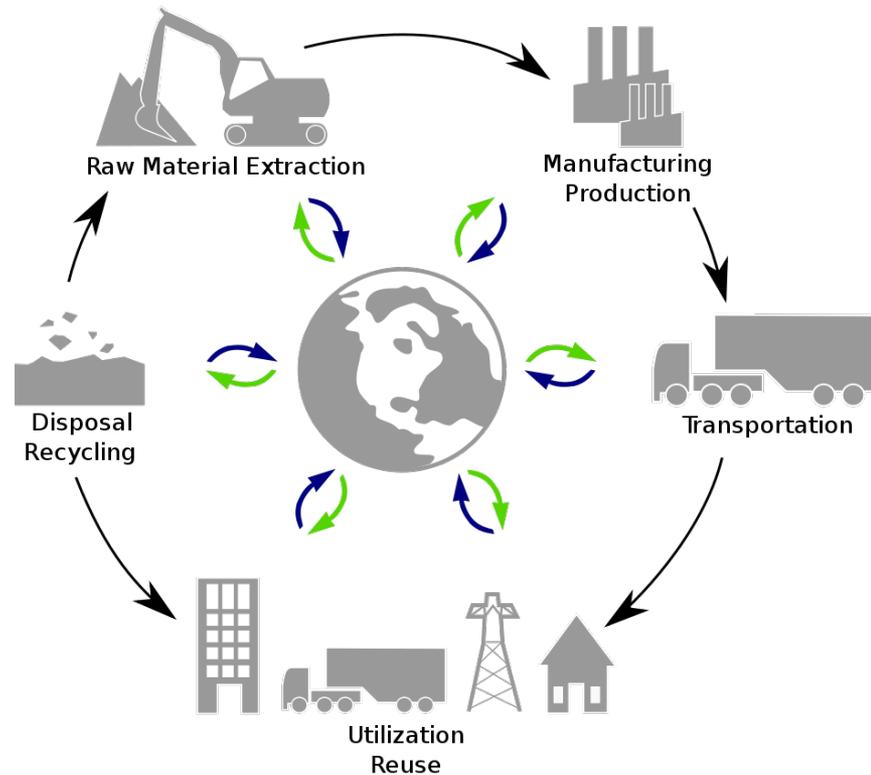
그러나 그중에서도 메어 멀티플라이어의 최대 장점은 디자인이다. 기존 선풍기는 인테리어 '테러리스트' 중의 하나였다. 어떤 가구와도, 어떤 가전과도 어울리지 않았던 선풍기는 손님이 올 때 숨기고 싶은 품목 중의 하나였다. 그러나 메어 멀티플라이어는 견고하고 우수한 소재에 미니멀한 디자인으로, 자랑하고 싶은 정도의 고급스러운 디자인을 자랑한다.

출처: 한경닷컴 bnt 뉴스

(http://bntnews.hankyung.com/apps/news?popup=0&nid=05&c1=05&c2=05&c3=00&nkey=201104121722393&mode=sub_view)

전과정 평가(Life Cycle Assessment)

- ❖ 제품의 **전과정(product life cycle)**이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 일련의 과정



Product life cycle



날개 없는 선풍기의 인간공학적 & 친환경적 개선

- ❖ 에코디자인 프로세스 및 사용성 평가를 통한 개선 요소 파악
- ❖ 친환경적 & 인간공학적 개선 전략 제안

연구 절차

사용성
관점

S1. 제품 선정

S2. 성능 및 사용성 평가

S3. 제품 환경성 분석

S4. 이해관계자 요구사항 분석

S5. 개선 대상 부품 선정

S6. 전략 및 과업 도출

S7. 개념 설계

친환경
관점

에코디자인 프로세스(환경산업기술원, 2009)

S1. 제품 선정

		한국모리타 기계식 선풍기	휴플라자 무날개 선풍기
Illustration			
외관사양	크기 (mm)	405 × 370 × 890	350 × 350 × 155
	완제품 무게 (g)	4158.4	1746.4
	포장재 무게 (g)	373	400
대기전력 (W)		0	0.98

❖ 무날개 선풍기는 기계식 선풍기에 비해 무게 측면에서 **월등한 이동성**을 보유

S2. Performance & Usability 평가

❖ Performance Measure

- ✓ 소음
- ✓ 풍속
- ✓ 전력

❖ Usability Measure

- ✓ 심미성
- ✓ 조작 용이성
- ✓ 관리 용이성
- ✓ 이동성
- ✓ 안전성
- ✓ 소음 만족도
- ✓ 전반적 사용성 만족도

❖ Apparatus



소음계



전력량 측정기



풍속기

Performance 평가 Protocol

❖ 소음 측정

- ✓ 측정 위치: 모터부위, 0.5m, 1.0m, 1.5m
- ✓ 바람세기: Min., Max.

❖ 풍속 측정

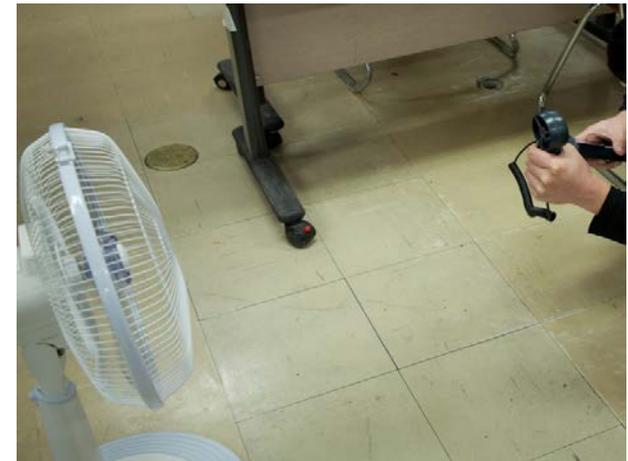
- ✓ 측정 위치: 0.5m, 1.0m, 1.5m
- ✓ 바람세기: Min., Max.

❖ 사용 전력 측정

- ✓ 바람세기 Min., Max., off 상태에서 측정



소음 측정



풍속 측정

Usability 평가 Protocol

❖ Usability Measurements

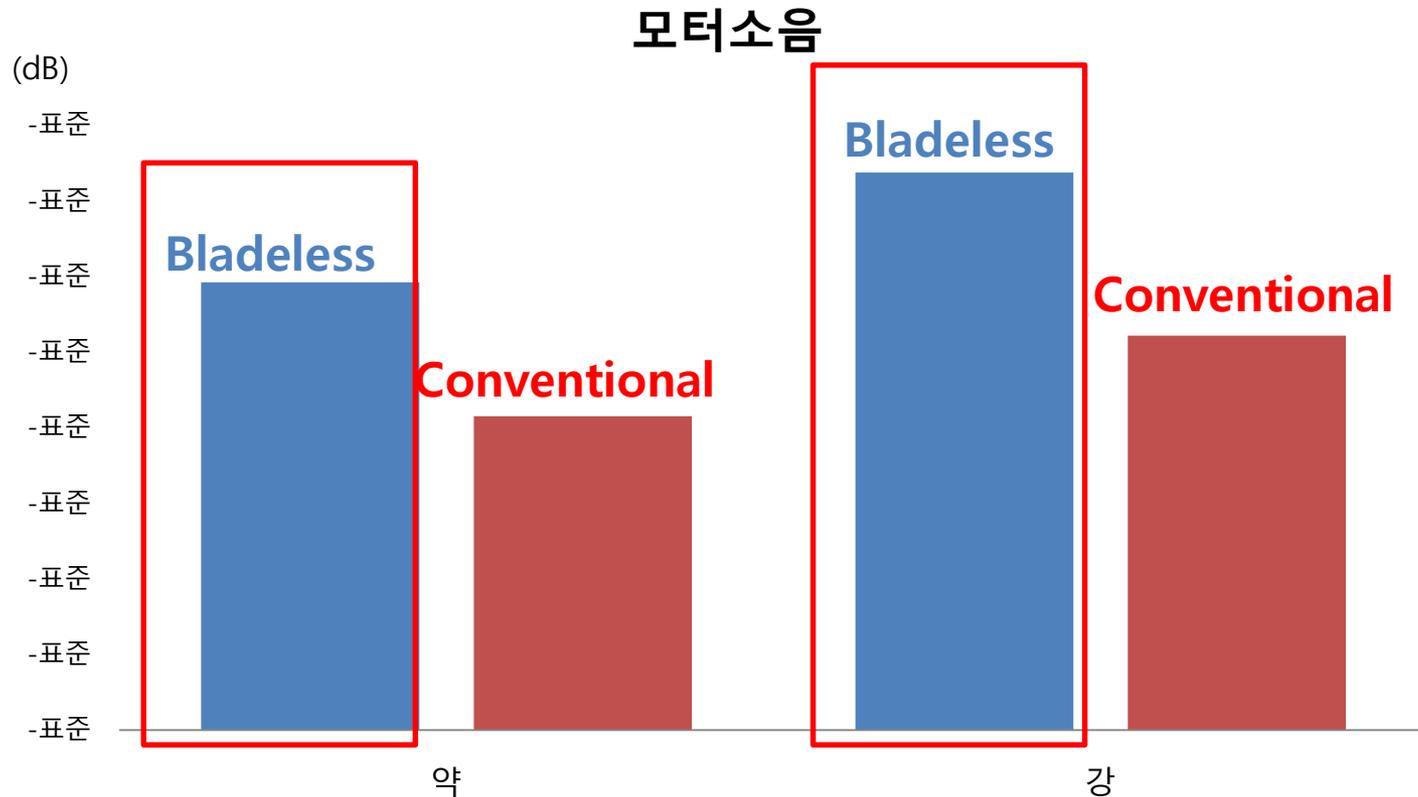
- ✓ 심미성
- ✓ 조작 용이성
- ✓ 관리 용이성
- ✓ 이동성
- ✓ 안전성
- ✓ 소음 만족도
- ✓ 전반적 사용성 만족도

❖ 5 point scale 주관적 만족도 평가

히터 종류	평가자	심미성	조작 용이성	관리 용이성	이동성	안전성	소음 만족도	전반적 사용성 만족도
#1 Bladeless	최영근							
#2 Conventional	최영근							
#1 Bladeless	Jason							
#2 Conventional	Jason							
#1 Bladeless	곽우람							
#2 Conventional	곽우람							
#1 Bladeless	정기욱							
#2 Conventional	정기욱							
#1 Bladeless	류성남			+				
#2 Conventional	류성남							
#1 Bladeless	종합							
#2 Conventional	종합							

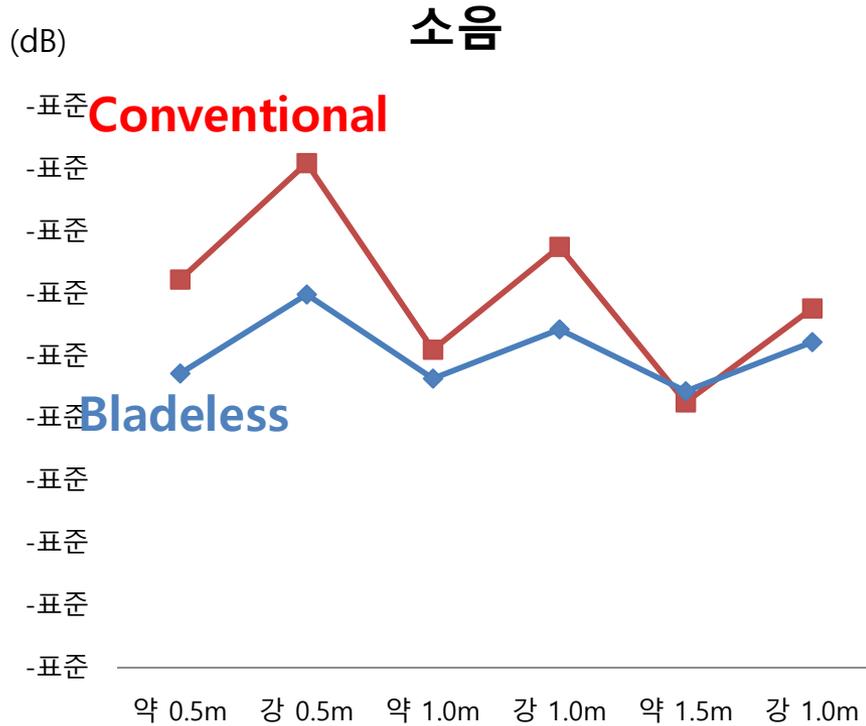
모터 소음 분석 결과

❖ **Bladeless** 제품이 Conventional 제품보다 모터 소음이 큰 것으로 측정 됨

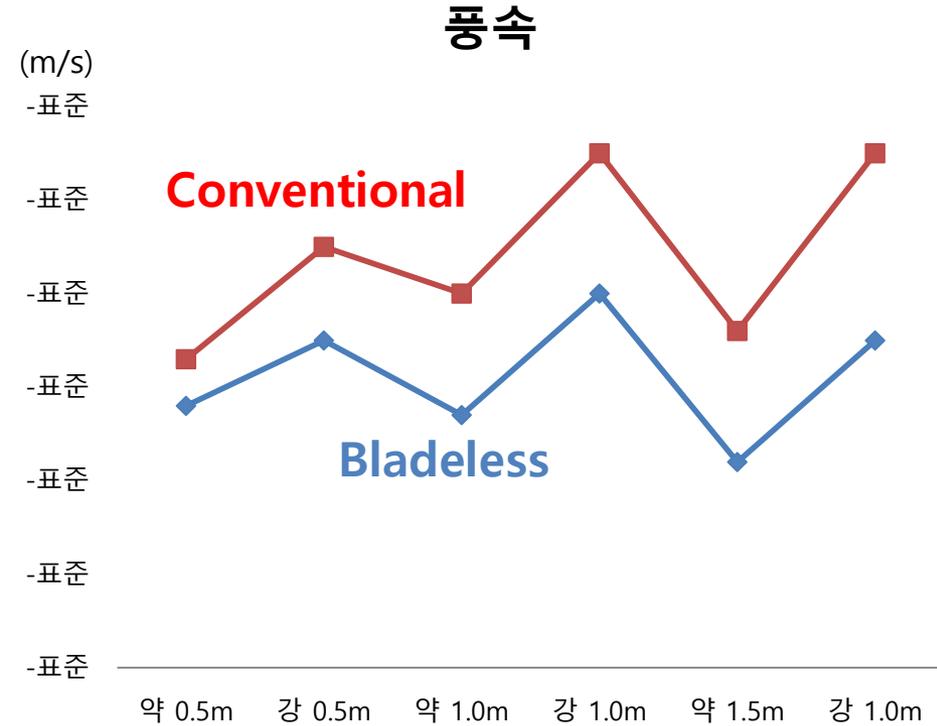


소음 및 풍속 분석 결과

❖ Conventional 선풍기의 소음이 더 높음

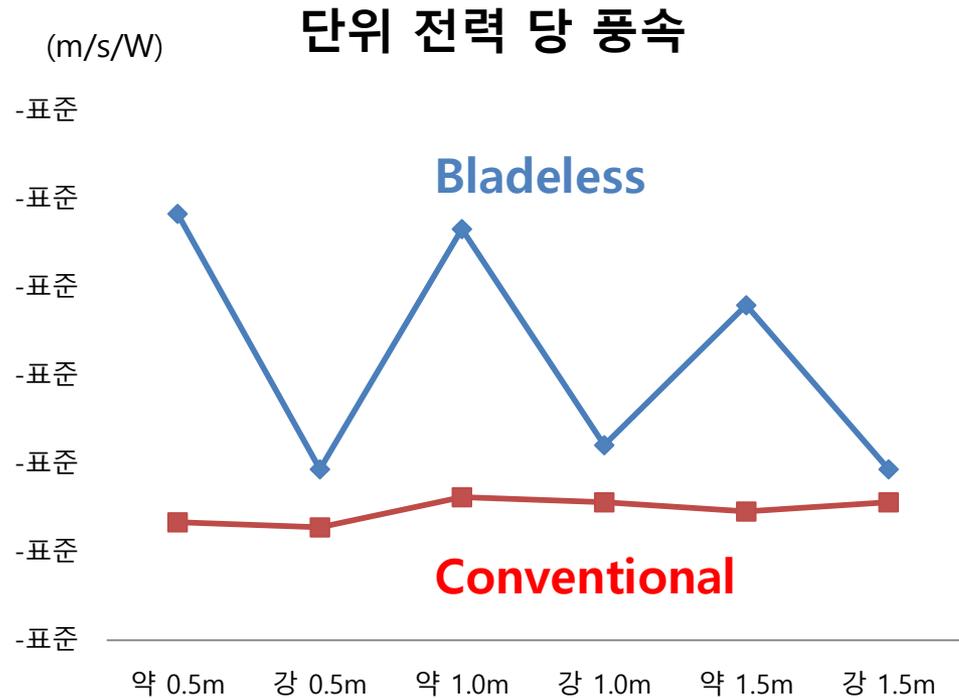
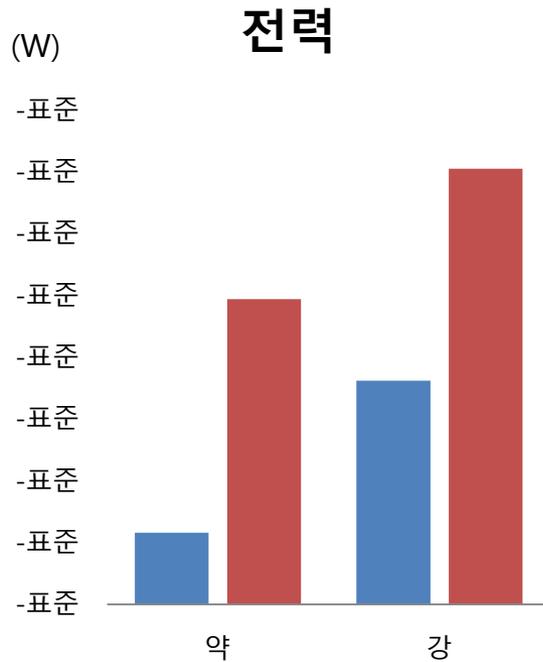


❖ Conventional 선풍기의 소음이 높게 측정 된 것은 Conventional 선풍기의 **강한 풍속으로 인한 마찰음**으로 판단 됨



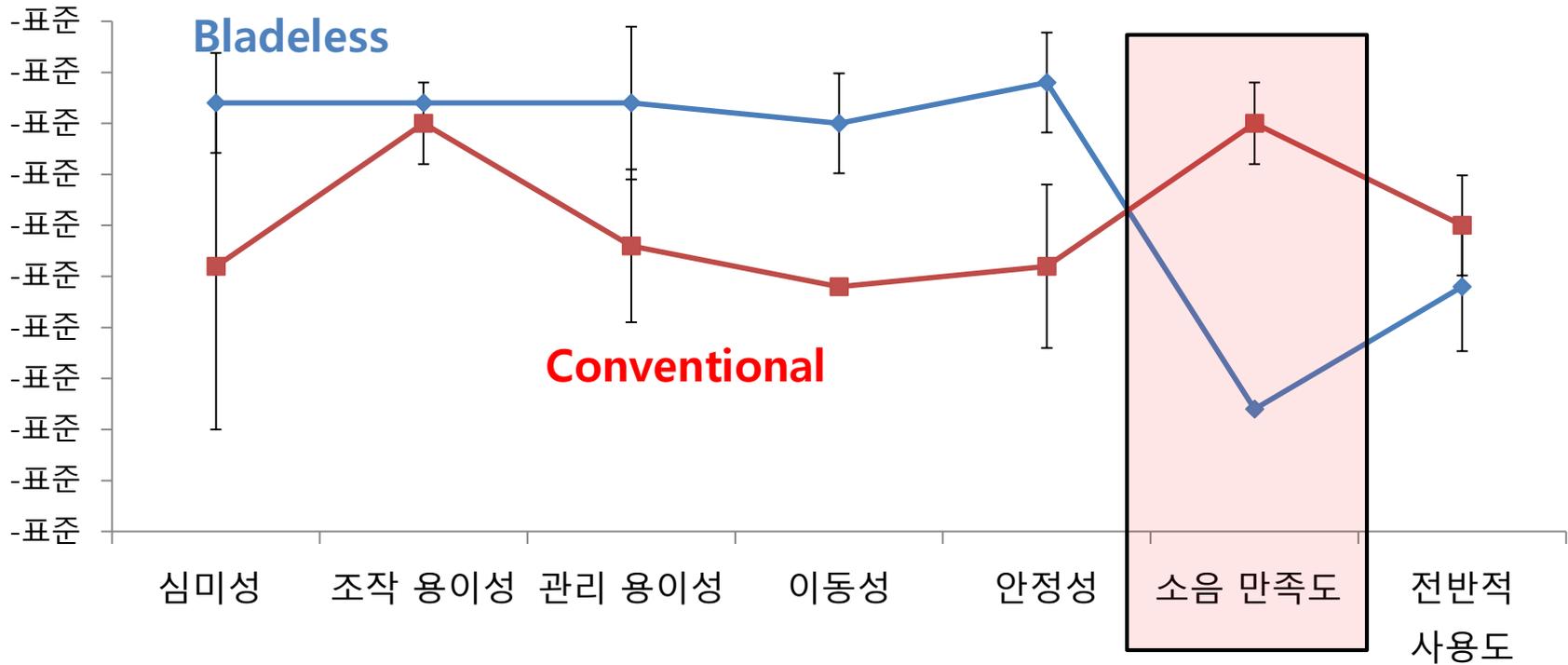
전력 사용량 및 단위 전력 당 풍속 분석 결과

- ❖ Conventional fan의 전력 사용량이 더 높으며,
단위 전력 당 풍속은 **Bladeless fan이 더 우수**



Usability 평가 결과

❖ 소음을 제외한 모든 사용도 항목에서 **Bladeless 선풍기**가 우수



S3. Bill of Material (BOM) (1/2)

제품 분해 및 BOM 작성 예

번호	조립 단위						부품명 (제조사)	재질명 (제조사)	중량 [g]	분해 시간 [분]	Material name (LCI DB or EuP Eco report)	재질별 중량 [kg]	GWP [kg CO2e q.]	재활 용률 [%]	재활용중 량 [kg]
	0	1	2	3	4	5									
1	0						날개 선풍기 완제품		4531.4			0.00	0.00000	0%	0.00
2		1					포장재		773.0	35.0	Paper, waste paper over 50% (폐지 50% 이상 함유)	0.77	0.98171	95%	0.73
3		1					선풍기 본체		2080.0			0.00	0.00000	0%	0.00
4			2				날개고정캡		5.5		ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.01	0.01645	85%	0.00
5			2				밀판연결프레임		103.4		ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.10	0.30917	85%	0.09
6			2				밀판고정부품		11.6		ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.01	0.03468	85%	0.01
7			2				선풍기 본체 base		2020.0			0.00	0.00000	0%	0.00
8				3			선풍기헤드		1388.0			0.00	0.00000	0%	0.00
9					4		선풍기헤드 프레임 (앞)		63.9		ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.06	0.19106	85%	0.05
10					4		선풍기헤드 프레임 (뒤)		91.4		ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	0.09	0.27329	85%	0.08
11					4		선풍기 모터부		1186.0			0.00	0.00000	0%	0.00
12						5	선풍기 모터		1112.00		Stainless Steel (스테인레스 강)	1.11	2.40192	60%	0.67

S3. Bill of Material (BOM) (2/2)

- ❖ **Conventional 선풍기**는 bladeless 선풍기 대비 깊은 BOM 구조와 많은 부품수로 인해 **제품 분해가 난해함**

Conventional



Bladeless



Level 1	12종	4종
Level 2	8종	3종
Level 3	11종	16종
Level 4	14종	14종
Level 5	5종	

S3-1. 구성원재료 별 중량

Conventional

투입 원재료 현황	중량[kg]
Stainless Coil (스테인레스 코일)	0.01
PVC(Polyvinyl Chloride)	0.10
EPS(Expanded Polystyrene)	0.01
PP(poly propylene)	0.07
Paper, waste paper over 50% (폐지 50% 이상 함유)	1.06
ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	1.07
Stainless Steel (스테인레스 강)	2.01

Bladeless

투입 원재료 현황	중량[kg]
Paper, waste paper over 50% (폐지 50% 이상 함유)	0.28
PP(poly propylene)	0.01
EPS(Expanded Polystyrene)	0.11
PCB(Printed circuit board)	0.05
PE(Polyethylene)	0.01
Rubber, EPDM(Ethylene-Propylenediene Rubber)	0.02
PVC(Polyvinyl Chloride)	0.09
ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene Powder)	1.38
Stainless Steel (스테인레스 강)	0.03

공통적으로 높은 ABS함유량

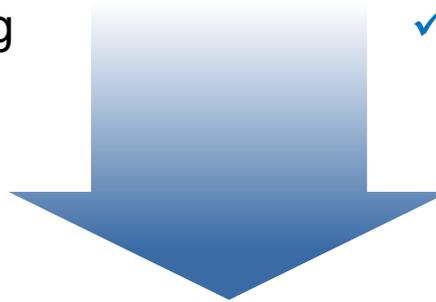
S3-2. 주요환경 특성 분석

❖ Conventional fan

- ✓ 총 중량 : 4.33 kg
- ✓ GWP[kg CO₂eq] : 9.24399
- ✓ 재활용률 : 74%
- ✓ 재활용중량 : 3.19 kg

❖ Bladeless fan

- ✓ 총 중량 : 1.98 kg
- ✓ GWP[kg CO₂eq] : 5.54129
- ✓ 재활용률: 75%
- ✓ 재활용 중량 1.44kg



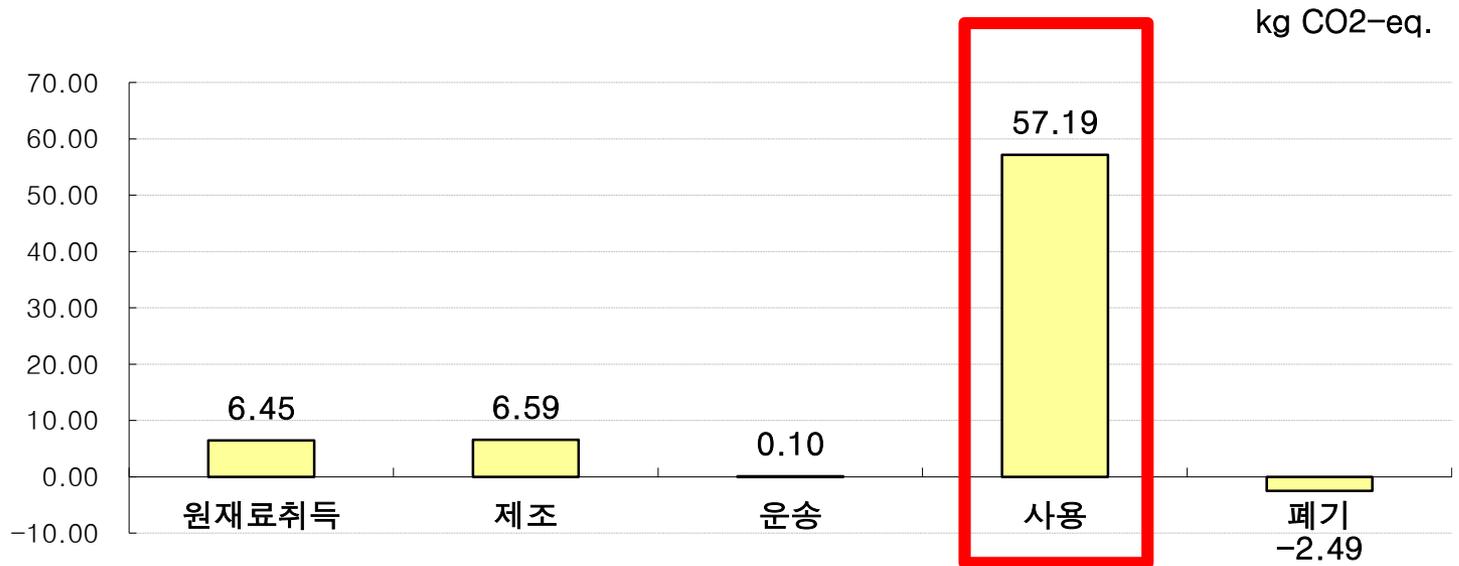
- 재활용율은 서로 유사함
- 원재료로 인한 총 탄소 배출량 측면에서 **Bladeless fan**의 환경 친화성이 높음

S3-3. 단계별 탄소배출량

- ❖ 제품 전과정(product life cycle)에 대한 탄소배출량 분석 결과,
사용 중 탄소배출량이 가장 높음

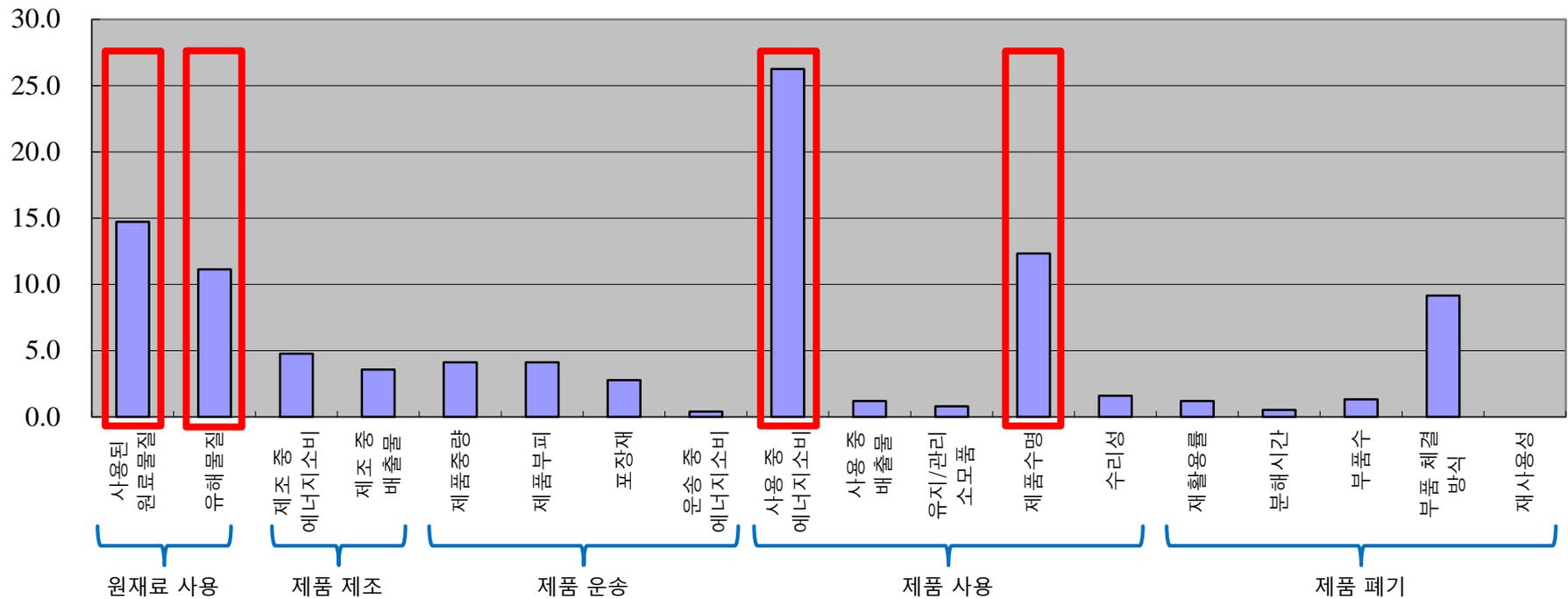


Bladeless fan



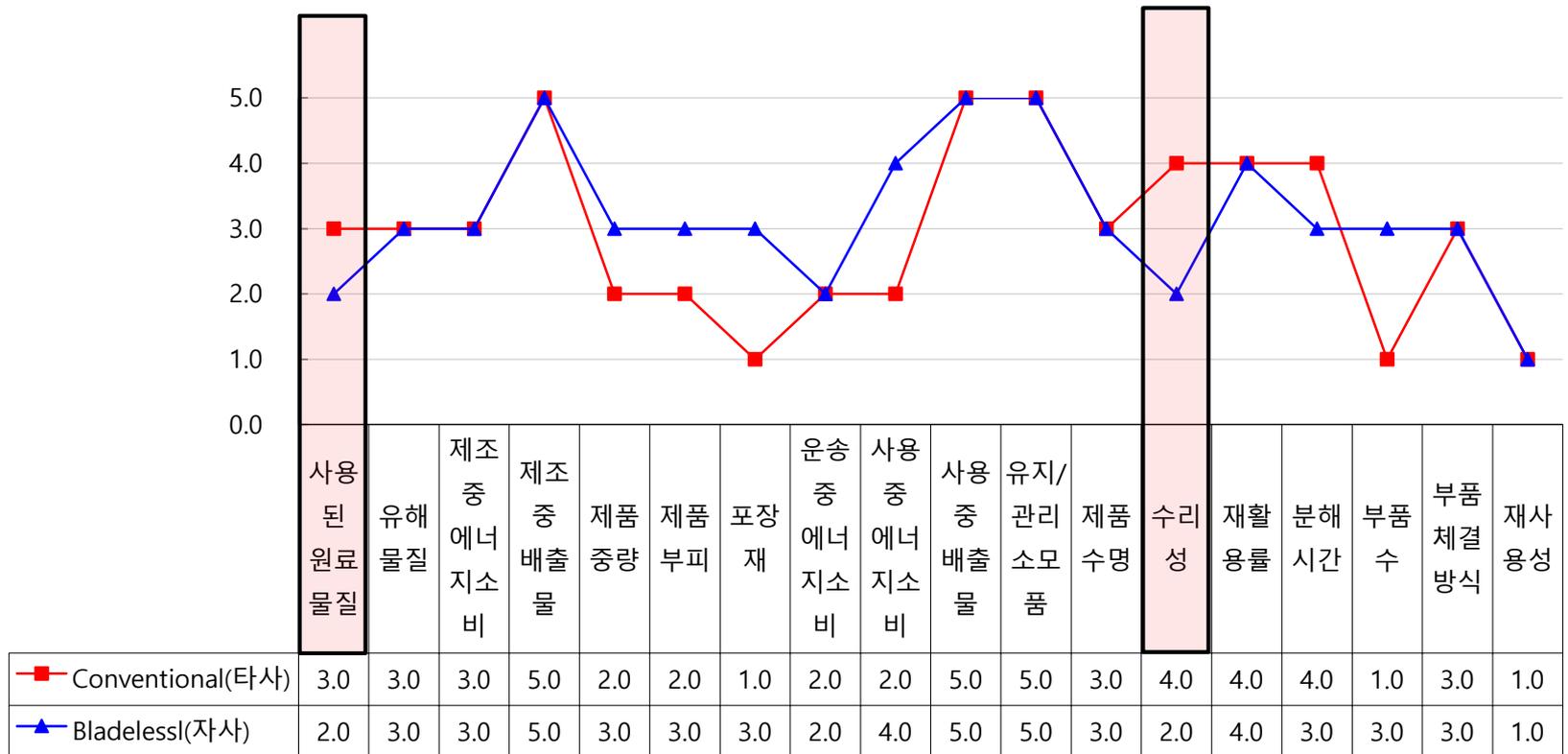
S4-1. 이해 관계자 요구사항 분석 - 환경품질기능전개(EQFD)

- ❖ 이해관계자의 요구사항 가중치에 따라 관련 주요 개선 대상 파라미터 선정
- ❖ **사용된 원료 물질, 유해물질, 사용중 에너지소비, 제품수명**이 선정됨



S4-1. 이해 관계자 요구사항 분석 - 환경성 벤치마킹(EBM)

- ❖ Bladeless 제품은 타사 제품 대비 사용된 **원료물질**과 **수리성**에 있어 열등하나 **포장재, 사용 중 에너지 소비** 그리고 **부품 수**에 있어 우수



S5-1. 개선대상 환경성 파라미터 도출

❖ 다양한 분석 도구를 통해 '사용 중 에너지 소비'가 주요 개선대상으로 도출 됨

분석도구	친환경 설계 개선 POINT	선정 이유	선정
LCT	원재료취득 - ABS소재대체	유사재료대비 CO2-eq 값이 높음	0
LCT	사용 중 에너지소비	사용단계의 CO2-eq 값이 제일 높음	0
EQFD	사용된 원료물질	유해 물질 제한 법규 및 제품 내구성에 영향	0
	사용 중 에너지소비	EuP 등 에너지관련 법규의 영향	X(중복)
	유해 물질	유해 물질 제한 법규에 영향	0
	제품 수명	제품 내구성 향상 및 제품 성능 충족에 영향	0
EBM	사용된 원료 물질	타사 제품에 비해서 떨어짐	X(중복)
	수리성	타사 제품에 비해 분해가 용이하지 않음	0

S5-2. 개선대상 부품 선정 - 품질환경기능전개(QFDE)

- ❖ 이해관계자의 요구사항과 제품의 특성을 고려하여 개선 대상 부품 도출
- ❖ **팬모터, 원형 본체, 팬(상), 팬(하)**가 개선 대상으로 도출 됨

QFDE II	제품 구성 부품							
	가중치	팬모터	원형 본체	본체 하 모 터 커버	본체 하 커 버	버튼 조작 부	팬(상)	팬(하)
풍속	13.4	9	9		3		9	3
사용단계 - 에너지 소비	13.1	9	3			3		
소음	13.7	3		1	9		9	9
조작 용이성	10.7			3		9		
유해물질	13.4	3	3			1	3	3
원재료 특성	25.1		3	3		1	3	3
제품 수명	8.6	3		3		3		
수리성	2.1			1		3		
총계	-	345.4	275.3	148.8	163.9	205.5	359.8	279.4
가중치(%)	-	19.4	15.5	8.4	9.2	11.6	20.2	15.7

S6. 개선 전략 및 과업 수립 (1/2)

친환경 개선 전략 및 과업,
해결 방안 수립

+

기타 핵심 전략 및 과업,
해결 방안 수립

- ✓ 친환경 재료 사용
- ✓ 에너지 사용 효율 개선
- ✓ 유해물질 사용 지양
- ✓ 내구성 향상
- ✓ 부품체결 방식 단순화

- ✓ 소음 절감
- ✓ 조작 용이성 증대

개념설계

S7. 개선 전략 제안

Nature Born

친환경 재료로 만든
자연을 닮은 바람

- 유해성 최소화에 초점
- 자연 소재 사용
- 자연을 닮은 바람

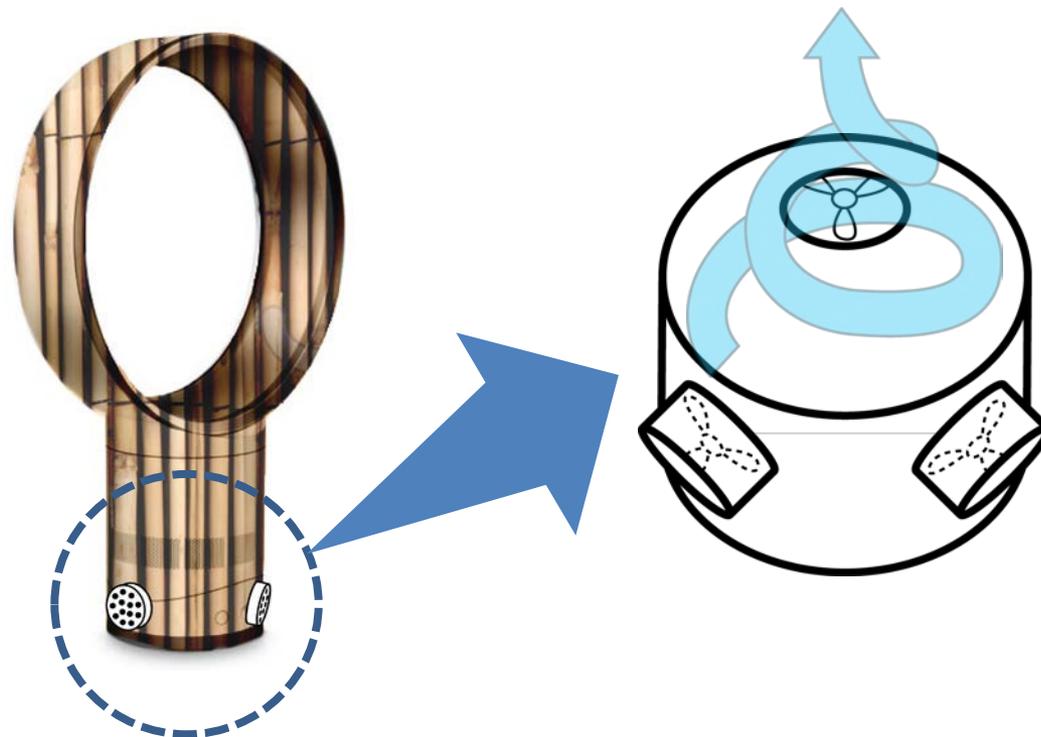
Celestial Technology

자연의 능력을 활용한
천상의 바람

- 에너지사용 효율의 극대화
- 자연 에너지 활용
- 자연 바람과 유사한 쾌적한 바람

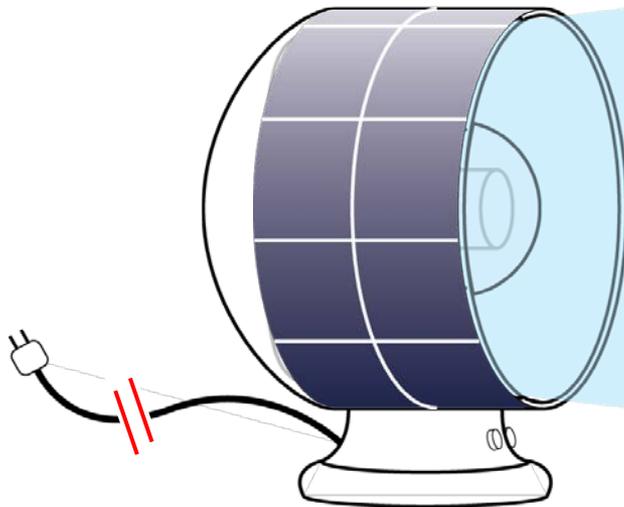
S7. 개선 전략 제안 - Nature Born

- ❖ 친환경적 재료를 사용하면서 모터부의 원통형 형태를 구현하기 위해 두꺼운 **대나무 재질** 사용
- ❖ 소음 억제와 에너지 효율 개선을 위해 **3개의 소형 fan** 적용



S7. 개선 전략 제안 - Celestial Technology

- ❖ Blade를 fan의 뒤쪽에 배치하여 **safety 유지 & 에너지 효율 개선**
- ❖ 선풍기를 사용하는 대부분의 상황이 **햇빛이 내리쬐는** 더운 날 인 것에 착안, solar panel을 부착하여 약 20W의 **친환경 전력 생산**



Discussion

- ❖ 일반 선풍기와 날개 없는 선풍기의 전과정 평가를 통한 환경 특성 파악
 - ✓ **제품 사용 단계**에서 가장 높은 탄소배출량
 - ✓ 주요 개선 대상 파라미터: **에너지 효율**, 원료물질, 유해물질, 제품 수명
- ❖ 에코 디자인 프로세스 기반 인간공학적 & 친환경적 개선 전략 제안
 - ✓ 개선 전략 도출을 위해 **에코디자인 프로세스** 전 단계 및 인간공학적 성능 평가 수행
 - ✓ 에너지 효율, 제품 원료 물질 개선을 위한 개념적인 해결 방안 예시 제안
- ❖ 추후 연구
 - ✓ 원재료 취득과 제조단계의 에너지 소비에 대한 심층적 분석
 - ✓ 개선안 적용 시의 환경특성 평가 후, 개선 설계의 유용성 평가 및 설계 보완

Thank you

