

휴대폰부품의 재사용률 극대화를 위한 설계 지침 개발

김찬석*, 이화조#

Development of the Design Guideline to Increase the Reusing Rate of Cellular Phone Parts

Chan Seok Kim* and Hwa-Cho Yi#

ABSTRACT

Reusing is one of the most environmentally friendly recycling methods. For the economical remanufacturing of used cellular phone, the cellular phones should be design for easy disassembly. In this paper, we analyzed the components and connecting elements of cellular phones and developed a guideline for the design of the cellular phones. A software for the disassembly assessment was also developed. Redesigned cellular phone by the developed guideline and its original phone was analyzed by the disassembly assessment software. Disassembly time could be reduced about 40% and reusing rate could be improved about 37%.

Key Words : Cellular Phone(휴대폰), Recycling(리사이클링), Reuse(재사용), Remanufacturing(재제조), Design Assessment(설계 평가), DFD(분해고려 설계)

1. 서론

휴대폰은 크기와 무게가 점점 작아지고 있다. 1980 년대에 생산된 휴대폰의 무게는 10kg 에 달하였지만, 오늘날 생산되는 휴대폰들은 100g 보다 가볍다. 이미 전세계의 휴대폰 연간 생산량은 4 억대에 넘어섰으며, 추정되는 전체 무게는 약 4 만 톤에 다다른다. 여기에 배터리, 충전기 및 기타 부품까지 포함하면 무게는 2 배 이상이 될 것이다.¹ 이러한 휴대폰 생산량의 급증은 폐기단계에서 환경오염을 발생시키며, 이를 방지하기 위하여 국내에서는 휴대폰에 대한 생산자 책임 재활용제인 EPR (Expended Producer Responsibility) 제도가 2005 년부

터 시행되었고,² EU 지역에서는 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)환경 규제 지침이 2006 년에 발효될 예정이다.³ 이러한 환경 규제에 대응하기 위해 많은 휴대폰 제조업체들이 친환경 활동을 하고 있으며,^{4,5,6,7,8} 제품 폐기 단계 시 법적 규제를 만족할 수 있는 친환경적인 방법의 개발이 필요하게 되었다. 일반적으로 폐기단계 시 제품들은 리사이클링 과정을 거치게 되는데, 폐기물이 재료적인 처리가 되는지 여부에 따라 제품 리사이클링과 재료 리사이클링으로 분류되며, 제품 리사이클링이 재료 리사이클링보다 친환경적이라고 볼 수 있다.⁹

휴대폰은 무게가 경량이고, 복합 재료가 많이

접수일: 2005 년 9 월 29 일; 게재승인일: 2006 년 6 월 16 일

* 영남대학교 대학원

교신저자: 영남대학교 기계공학부

E-mail hcyi@yu.ac.kr Tel. (053) 810-2579

사용되어서 재료 리사이클링을 하기에는 적절하지 못하다. 따라서 무게를 기준으로 하는 법적 규제에 훨씬 적합한 제품 리사이클링 방법 중 재제조를 통한 재사용이 보다 효과적이다.¹⁰

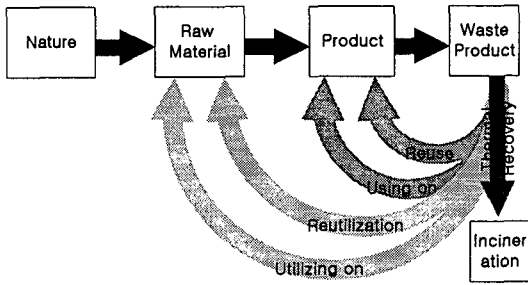


Fig. 1 Environmental friendliness of recycling

Table 1 Differences of processes and product characteristics of remanufacturing and repairing ¹¹

Remanufacturing	Repairing
Processes	
- Used products	- Defective Products
- Complete disassembly	- Failure detection
- Cleaning of all parts	- Disassembly of defective part
- Reconditioning of parts/ Replenishment by new parts	- Restoration or replacement of defective part
- Product reassembly	- Reassembly of part
- Remanufactured products	- Repaired product
Characteristics	
- Industrialized process	- Mechanic's work
- Overall restoration to like new conditions	- Individual repair of defect
- Customer receives anonymous product	- Customer keeps his own product
- Like-new or lifetime warranty	- warranty covers repair work only
- Upgrading/Upcycling to state-of-the-art technologies	- Product keeps its earlier standard

제품의 재사용을 위해서는 수리 혹은 재제조 (Remanufacturing) 공정이 필요하다. 재제조는 제품의 리사이클링 범주에 들어가는 친환경적인 생산 방법으로써 사용된 제품을 수리, 세척, 검사를 통하여 새로운 제품과 동일한 조건을 유지하며 재생

산하는 방식을 말한다. 재제조는 수리와 공정과 제품의 특징에서 구분된다.¹¹

이러한 재제조를 통하여 폐기단계에 다다른 휴대폰의 부품을 재사용함으로써 법적인 중량 규제를 만족시킬 수 있다. WEEE의 규제 지침에서 정의하는 휴대폰의 리사이클링률은 Fig.2에 제시한 기준을 만족시켜야 한다.¹²

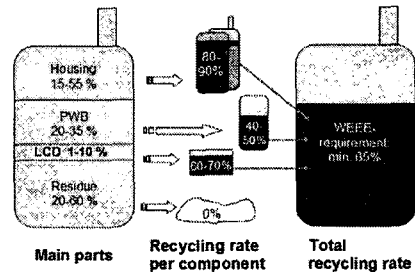


Fig. 2 Recycling rate based on WEEE Directive ¹²

법적 규제를 만족하는 효과적인 재제조를 수행하기 위해서는 기존의 휴대폰의 리사이클링률에 대한 친환경성 평가가 선행되어야 하며, 평가 결과에 따른 친환경 설계 지침을 개발하여 적용하여야 한다.¹³ 재제조의 관점에서 친환경성 평가는 제품의 분해 용이성을 평가하는 것이다. 또한 분해성 평가 결과를 토대로 설계 단계에서부터 적용될 친환경 설계지침을 개발하는 것은 사용 부품 수와 부품의 조립요소를 최소화시킴으로 재제조를 할 때 작업을 쉽게 하고 비용 절감 효과를 가져온다.¹⁴

본 논문에서는 기존 휴대폰에 대해 분해성 평가 프로그램으로 분해성을 평가하고, 휴대폰의 재제조를 위한 설계 지침을 개발하여 재설계 한 후 다시 분해성을 평가한다. 그리고 평가 결과를 토대로 기존의 휴대폰과 설계지침이 적용된 재설계된 휴대폰 사이에 분해성을 비교하여 친환경 설계 지침의 적용 효과와 필요성을 검증하고자 한다.

2. 기존 휴대폰의 분석

친환경 설계 지침을 개발하기 위해서는 기존의 휴대폰에 대한 분석이 선행되어야 한다. 분석 방법은 국내에 출시된 5대 제조업체의 휴대폰을 직접 분해하여 관찰하였다. 휴대폰은 크게 휴대폰의

구성 부품과 부품간의 체결요소로 구성되어있다.

2.1 휴대폰의 구성 부품 분석

휴대폰을 구성하는 부품은 아래와 같이 크게 7 가지 종류로 분류할 수 있다.

Table 2 Basic components of a cellular phone

No.	Parts	Description
1	Electronic Circuitry	Microprocessor, Digital signal processor, Flash memory, Connector, PCB including small mic. & speaker
2	Antenna	Normal Antenna & Antenna including circuit
3	Screen	LCD technology and Glass
4	Battery	Enclosed by plastic case, using 3 technologies of Batteries(Ni-Cd, Ni-Mh, Li-ion Polymer)
5	Case	Plastic cover made of 1,2,3,4 parts, sometimes coated by metal
6	Charge base or Connector	For using Rechargeable battery small low voltage D.C. current transformer
7	Accessories	Ear-phone or Data cable

2.2 휴대폰의 체결 요소 분석

2.2.1 외부 체결 요소

1) 하우징 상세 분석

(1) 스크류(Screw)

스크류는 하우징을 서로 체결하는데 사용되는 부품으로 최소 6 개에서 최대 10 개가 쓰인다. 스크류의 길이와 체결 위치가 기종 별로 다르다.

(2) 후크(Hook)

하우징을 조립하는 체결요소로 스크류 체결 전에 이루어진다. 휴대폰 디자인에 따라 후크의 종류, 크기, 위치, 수가 전부 다르다. 또한 조립 용이형 체결요소이기 때문에 분해 시 많은 시간이 소요되며, 수 회 분해하게 되면 파손의 위험이 있다.

(3) 스프링 힌지(Spring Hinge)

디스플레이부와 작동부 간의 결합에 사용된다. 휴대폰의 분해에 있어서 가장 많은 시간을 소모하는 부품 중 하나로써, 조립 시에는 쉽고 빠르게 조립할 수 있으나, 분해시에는 특정 공구를 필요로 한다. 또한 수 회 반복하여 분해 조립하게 되면 힌지와 체결되는 하우징에 크랙이 발생한다.

(4) 양면테이프(Bond & Both-side attached Tape)

휴대폰의 디스플레이부에 있는 투명 플라스틱 유리와 하우징 간의 체결에 사용된다. 조립 시에는 쉽게 결합할 수 있으나, 분해 시 파손 될 수 있다.

2) 안테나(Antenna)

안테나는 휴대폰 간의 모양이 가장 유사한 부품 중에 하나임에도 불구하고 체결요소의 크기와 길이, 안테나의 길이, 모양 등이 다르다.

3) 배터리(Battery)

휴대폰과 배터리, 배터리와 충전기 사이에 충전용 단자가 존재하는데, 단자의 수와 위치, 크기 등이 기종 별로 다르다. 또한 배터리 내부에는 단락 방지 안전장치 회로가 포함되어있다.

4) 충전기(Rechargeable Unit)

배터리의 전기용량을 채우는 기기로써 2 개의 배터리를 동시에 충전할 수 있도록 되어있다. 충전기는 여러 개의 스크류로 체결되어 있으며, 내부 PCB 기판은 하우징 사이에 삽입 되어 있어 스크류만 풀면 쉽게 분해된다.

5) 인쇄 회로 기판(PCB)

인쇄회로기판(PCB)의 체결은 하우징에 삽입되는 형태, 하우징과 함께 스크류로 체결되는 형태, 삽입과 체결이 동시에 이루어지는 형태로 체결된다.

2.2.2 내부 체결 요소

LCB 모듈과 PCB 모듈간의 연결 방식을 내부 체결(Interconnecting) 이라고 한다. 솔더링 방식, 필름 삽입형 방식, 소켓 연결 방식 등의 다양한 방식이 존재한다. 하지만 모듈간의 표준화 된 방식이 없어 호환성이 전혀 없다.

2.2.3 기타 연결 장치

1) 데이터 케이블(Data pin & Rechargeable Connector)

데이터 케이블은 휴대폰의 하단에 연결 소켓에 연결되며 시리얼 통신 방식과 USB 통신 방식이 존재한다. 18 핀과 24 핀의 2 종류가 존재하였으나 최근에는 24 핀으로 통일 되었다. 충전 커넥터는 데이터 핀 커넥터와 인터페이스 방식은 같으며

용도가 충전용으로 사용된다.

2) 헤드셋 소켓(Headset Socket)

이어폰 또는 외장형 카메라를 연결하는 슬롯으로써 대부분의 휴대폰에 존재한다. 대부분의 소켓은 원형(Radial) 방식이나 최근 스테레오를 지원하기 위한 사각형(Square) 소켓방식이 개발되었다.

3. 분해성 평가 프로그램

3.1 설계 지침 개발을 위한 분해성 평가 프로그램

분해성 평가를 수행하는 소프트웨어는 범용 소프트웨어와 전용소프트웨어로 구분된다. 기존에 개발되었던 자동차 해체용 소프트웨어는 평가기준이 소형 가전제품에 적용하기에는 적합하지 않다. 그 이유는 자동차의 경우 분해 작업 자체의 스케일이 크며, 작업자가 서서 또는 여러 장비를 동원해야 하는 부피가 큰 제품에 해당하는 작업이므로, 주로 앉아서 행동의 큰 움직임 없이 작업이 가능한 소형 전자제품의 경우와 영향요소의 상관관계가 맞지 않기 때문이다. 따라서 소형 전자제품에 맞는 전용 분해성 평가 프로그램을 개발했다.

분해성 평가 알고리즘의 구조는 Fig. 3 과 같다.

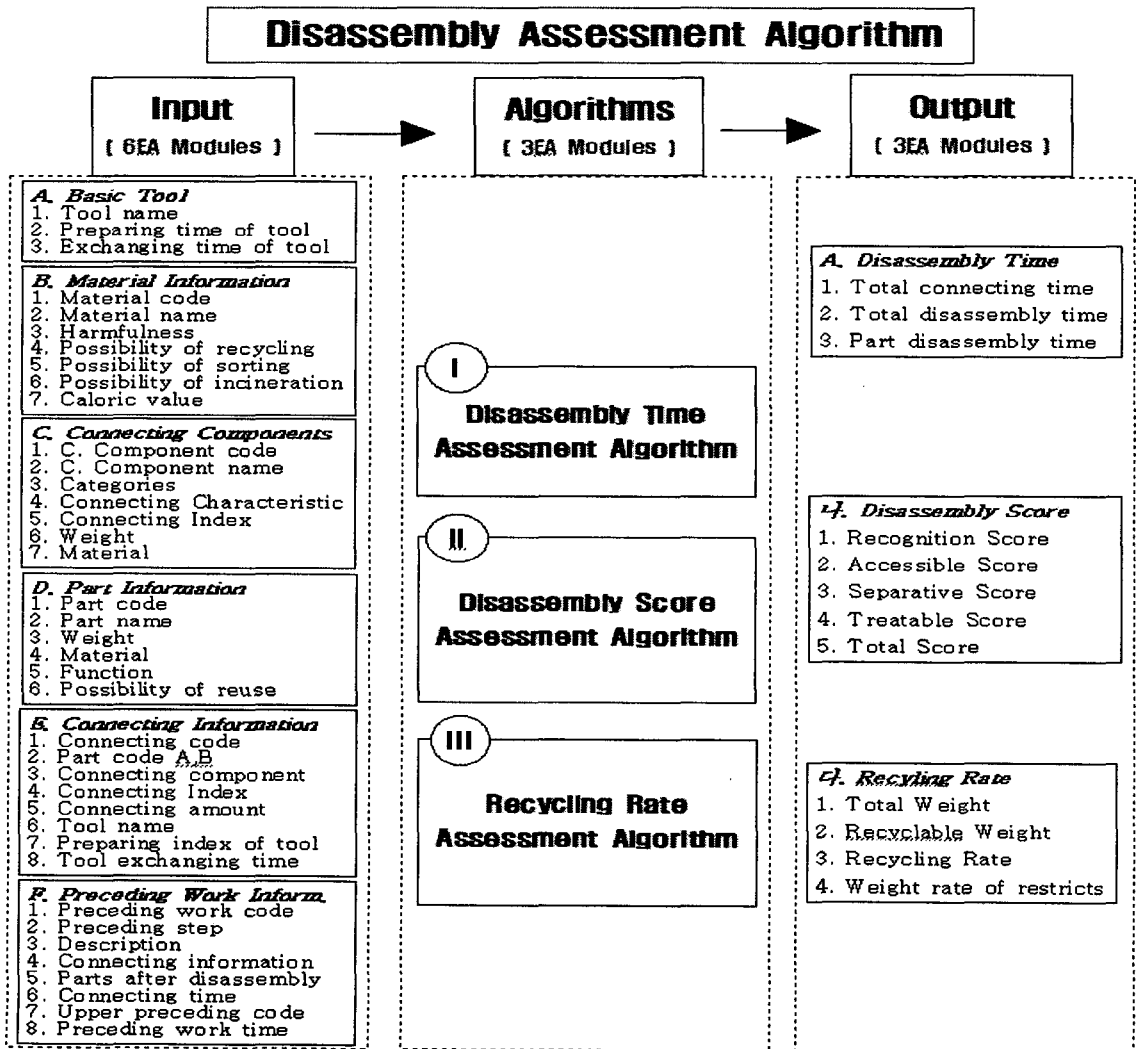


Fig. 3 Structure of the disassemblability assessment algorithm

입력으로 들어가는 기본 정보로 기본공구, 재질 정보, 체결요소가 있고 제품 정보로 부품정보, 체결정보, 선행 작업 정보 등 전체 6 가지 모듈이 입력으로 들어간다. 이 정보들을 이용하여 분해시간 평가 알고리즘, 분해성 점수 평가 알고리즘, 재사용률 알고리즘의 3 가지 모듈 알고리즘이 적용된다. 여기서 적용된 정보들은 출력으로 분해시간 평가, 분해 점수 평가, 재사용률의 3 가지 평가 결과 모듈을 통하여 전체적인 분해성 평가 결과 값들이 출력되게 된다.

3.2 분해 시간 평가 알고리즘

1) 체결 정보별 분해 작업 시간

체결은 부품과 부품을 조립하는 것이다. 하나의 제품은 여러 개의 체결로 이루어지며, 각 체결을 하나씩 분해할 때마다 걸리는 시간이 있다. 각 부품과 부품을 체결할 때 걸리는 시간을 역으로 환산하면 분해 시간을 산출할 수 있으며, 체결의 종류에 따라, 체결 대비 분해 난이도에 따라 가중치가 적용되어 시간을 산출하여 좀더 정확한 분해시간을 산출할 수 있다. 따라서 체결 정보별 분해 작업시간은 단일 부품을 얻기 위해 분해하는데 걸리는 시간을 의미한다.

2) 총 분해시간

각 단일 부품별 분해 작업시간의 총 합으로 나타내어지는 시간이며, 완전 해체 분해하는데 걸리는 시간을 말한다.

3) 선행 작업시간

부품을 선택하면 최 상위 모듈까지 체결 정보를 로직 트리(Logic tree) 형식으로 확인할 수 있는 모듈이다. 하위 부품을 분해하기 위해서 반드시 선행 분해 해야 하는 부품을 사전에 확인할 수 있어 분해시간을 단축시키는 효과도 있다. 따라서 각 부품의 분해시간은 상위 부품을 분해하는데 걸리는 선행작업시간을 포함한다.

3.3 분해 점수 평가 알고리즘

1) 가중치 산출

가중치를 이용하여, 여러 설계안과 연관된 수치들 간에 중요도를 구분할 수 있다. 이는 추출된 모든 요소의 중요도가 똑같지 않기 때문이다.

본 논문에서 가중치는 0 에서 1 사이의 값을 갖는다. 모든 평가 기준들(최하위 단계에서의 부분

목표들)이 가지는 가중치의 총합을 1 이 되게 함으로써, 모든 부분목표들이 각자 차지하는 백분율을 알 수 있다.

Fig. 4 는 분리성 평가를 위한 각 요소들의 목표 수행도이다. 복잡성 감소 순서에 따라 목표를 모두 네 단계로 나누고 가중치를 부여하였다. 평가는 고위 복잡성 단계(분리성)에서 하위 복잡성 단계(형상, 무게 등등)로 순서대로 진행된다. 먼저 2 단계의 요소인 「체결, 구조, 취급」에 대하여 그들이 각각 1 단계 요소인 「분리성」에 미치는 정도를 구한다. 이 논문에서는 「체결, 구조, 취급」에 대하여 부여된 가중치는 각각 0.2, 0.7, 0.1 이다. 다음에 2 단계 요소와 관련해서 3 단계의 각 요소에 가중치를 부여한다. 상위 요소 「체결」에 대해 「체결요소, 방향성」이 가지는 상대적 가중치 각각 0.7, 0.3 으로 정한다.

여기서 중요한 것은 어느 단계에서도 가중치의 총합은 1 이어야 한다. 이런 방식으로 다른 목표들에 대해서도 같은 방식으로 진행한다.

3.4 재활용률 평가 알고리즘

WEEE 에서는 재활용률을 제품 총 중량 중 재활용 가능한 부품의 중량에 비율로 정의한다. 따라서 우리는 재활용 가능 부품의 중량을 제품의 총 중량으로 나누어 백분율로 나타내어 재활용률을 나타낸다.

1) 총 중량

부품 중량의 총합과 체결요소 중량의 총합을 더한 값으로 나타낸다.

2) 재활용 가능 부품 중량

재사용 가능한 부품 중량과 재료 회수 가능 부품 중량, 그리고 재사용 가능한 체결요소 중량의 총합으로 나타낸다.

3) 재활용률

재활용 가능 부품 중량을 총 중량으로 나누어 백분율로 나타낸 값이다.

4) 법적 규제 중량 비율

WEEE 에서 규정한 제품 종류별 정해진 재활용 규제비율을 따로 DB 로 구축하여 나타낸다.

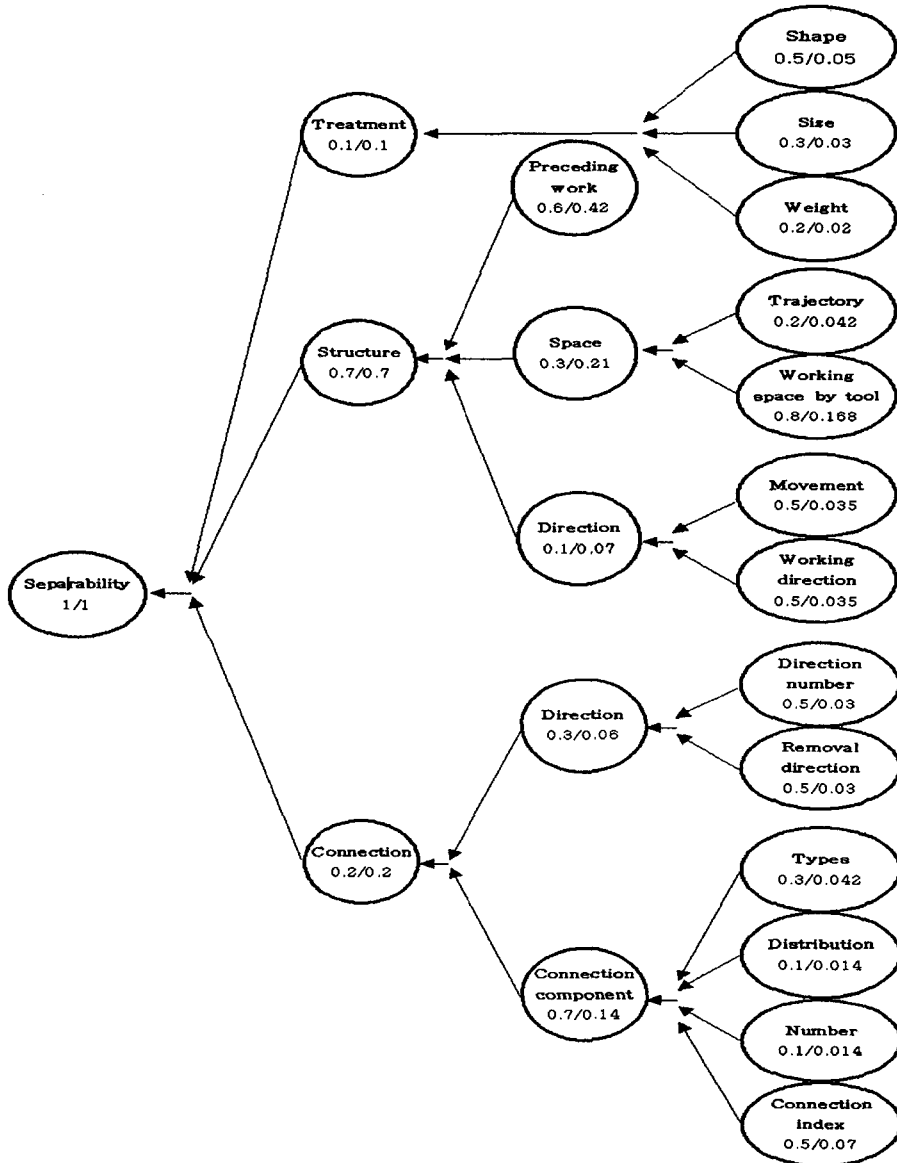


Fig. 4 Objectives tree of disassemblability assessment

3.5 평가 프로그램

앞 절에서 평가 프로그램의 알고리즘 개발 과정을 살펴보았다. 앞의 알고리즘을 이용하여 프로그램을 개발하였다. 프로그램 개발 환경은 MS OFFICE ACCESS 2003 을 이용하였다. 개발된 알고리즘을 그대로 적용하여 6 개의 입력 모듈과 3 개의 평가 알고리즘, 3 개의 출력 모듈로 구성하였다.

다음의 Fig. 5 는 개발된 소프트웨어의 메인 화면을 보여준다.

기본 메인 창에는 2 개의 주 메뉴로 구성되어 있다. 정보입력에 기본 정보 입력, 제품 정보 입력, 분해성 평가가 있고, 분석 결과에는 시간 평가 결과, 점수 평가 결과, 재사용률 결과가 있다. 각 메뉴를 선택하면 정보를 입력하고, 출력 결과물을

볼 수 있다.

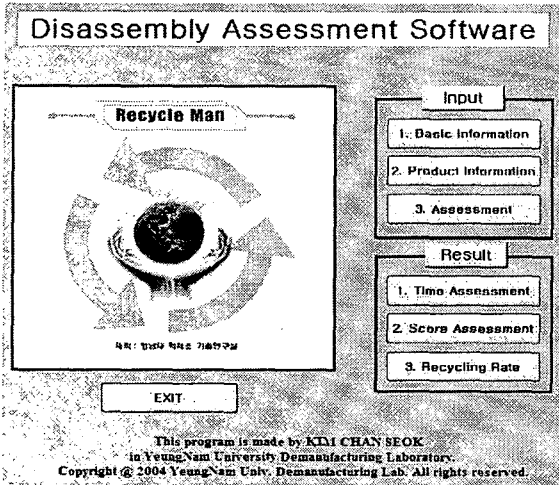


Fig. 5 Main window of the disassembly assessment software

4. 휴대폰 친환경 설계 지침 개발

휴대폰 구성 부품 및 체결 요소 분석을 통하여 발견된 문제점을 토대로 친환경 설계 지침을 개발하였다. 친환경 설계 지침에서는 휴대폰을 설계 단계에서 고려해야 할 부품의 표준화, 공용화, 설계 개선 등을 제시하였다. 아래의 Table 3 은 부품 별로 적용되어야 할 친환경 설계 지침을 보여준다.

본 논문에서는 기존 휴대폰의 분해성 평가 결과 중 가장 점수가 취약한 체결 부분에 대한 설계 개선을 예시로 한다. Fig. 6 은 각 부품간에 체결 정보를 나타낸다. Fig. 6 에서 살펴보면 Upper, Lower, Front, Rear 하우징간의 체결정보인 C_0003 ~ C_0007 부분이 분해성 평가시 가장 취약한 부분으로 나타났다. C_0003 ~ C_0007 계열의 체결 정보 부분이 취약한 이유는 하우징과 하우징 간에 체결 요소인 후크와 소형 스크류의 다량에 사용으로 인해 기인된다.

제품의 분해성을 향상시키는 방법 중 하나인 체결 요소를 줄이는 방법과 체결 방향을 하나로 통일하는 방식을 적용한다. 일반적으로 휴대폰은 하우징에 Front 와 Rear, Upper 와 Lower 에 각각 4 개씩의 소형 스크류가 체결 요소로 사용되고, 이 스크류를 모두 제거한 후 다시 평균 6 개 정도의

Table 3 Design guidelines for a cellular phone remanufacturing

Parts		The design guideline for remanufacturing
H O U S I N G	Screw	1. reduce variety 2. minimize the number of screw 3. standardize the assembly direction of screws 4. easy access to screw
	Hook	1. minimize the number of hook 2. mirroring the assembly positions 3. improve the durability by changing the design of product
	Hinge	1. consider the disassembly 2. improve the durability by changing the design of connecting part 3. change the design to use general-purpose tools
	Bond	1. ensure the space for the departing 2. consider the area of the bonding
Antenna		1. standardization of connecting element 2. standardization of all parts except housing
Battery		1. separate battery and battery housing 2. standardization of size of battery 3. standardize size of electric circuit 4. standardization of recharge connector
Charger		1. use the same standard as battery 2. minimize volume of charger
PCB		1. standardize formation of pcb 2. reduce number of connecting element 3. standardize position of connector
Interconnector		1. standardize connections between modules by using socket 2. standardize assembly direction of socket connectors 3. use the same standard socket connectors
Data pin & Charger connector		1. standardize with 24 pins (already done) 2. standardize computer interface
Ear-phone Socket		1. standardize the socket

ID	체결번호	체결부품A	체결부품B	체결요소
▶	1. C_0001	Rear	Antenna	소켓형
	2. C_0002	Rear	Battery	납땀
	3. C_0003	Rear	Front	후크연결
	4. C_0004	Rear	Front	소형스크류
	5. C_0005	Lower	Front	스프링인지
	6. C_0006	Upper	Lower	소형스크류
	7. C_0007	Upper	Lower	후크연결
	8. C_0008	PCB	MIC	납땀
	9. C_0009	LCD panel	Speaker	납땀
	10. C_0010	LCD panel	B.C Battery	납땀
	11. C_0011	Guide_Housing	Upper	삽입
	12. C_0012	Camera	Front	스프링인지
* 호)				

Fig. 6 Assembly information of the connectors

플라스틱 후크로 결합되어있다. 분해성 평가결과

에서 보면 이 체결 부분에서 가장 많은 분해 시간이 소요되고, 분해성 점수에서도 마이너스 요인으로 작용한다.

Fig. 7 은 기존 휴대폰의 후크 및 소형 스크류 홀에 대해 3 차원 모델링 작업을 한 것이다. 기존의 휴대폰들은 대부분 6 후크, 4 스크류 방식을 채택하고 있다.

Fig. 8 은 1 후크 2 스크류 방식의 설계지침이 적용된 휴대폰이다. 4 개의 스크류 홀을 측면 방향의 2 개로 통일 시키고 소형 후크 6 개를 단일의 긴 후크로 변경하는 방식으로 설계를 개선한다. 3 차원으로 시뮬레이션을 통한 결과 조립한 두 하우스 간에 간섭이 없었으며, 체결요소의 수를 획기적으로 줄일 수 있는 방식이다.

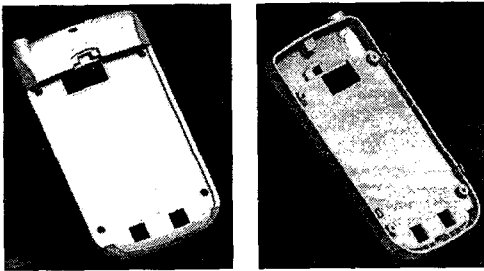


Fig. 7 Hook and screw hole design of a conventional phone

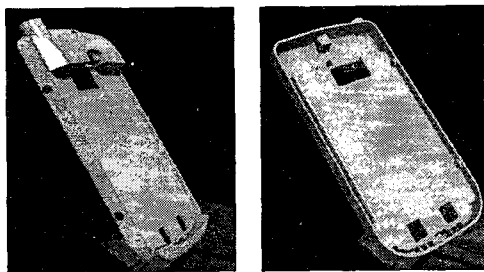


Fig. 8 Hook and screw hole design changed by the design guideline

5. 개발된 설계지침의 적용 효과 평가

5.1 분해 시간 평가 결과

체결정보	체결시간	선행작업시간	분해작업시간
C_0002	2	0	2
C_0001	5	0	5
C_0004	10	0	10
C_0003	1	10	11
C_0005	7	11	18
C_0006	10	0	10
C_0007	1	10	11
C_0009	4	11	15
C_0010	4	11	15
C_0008	2	11	13
C_0011	2	10	12
C_0012	7	18	25

Fig. 9 Disassembly time assessment results

Fig. 9 는 친환경 설계 지침의 개발이 적용된 설계지침이 적용된 휴대폰의 분해 시간 결과 값이다. 기존 휴대폰에 비해 체결요소의 개수가 줄었기 때문에 분해시간 절감 효과가 발생했다.

때문에 Fig. 10 에서처럼 기존 분해시간이 77 초 걸리던 것이 55 초로 22 초 감소되었다.

분해작업시간의 합계	
▶	55

Fig. 10 Total disassembly time

5.2 분해성 평가 결과

Fig. 11 은 설계지침이 적용된 휴대폰의 분해성 평가 점수 및 총 점수의 평균 결과 값을 나타낸다. 설계지침이 적용으로 고려되었던 C_0003 ~ C_0007 계열의 분해성 점수가 향상된 것을 알 수 있다. 또한 전체 총 점수값 역시 기존의 71.4 에서 84.4 로 점수 값이 증가된 것을 볼 수 있다. 분해성이 향상된 정도를 쉽게 파악하기 위하여 아래의 그래프를 참고한다.

체결정보	체결점수	구조점수	회급점수	총점수
C_0001	73.750001376	97.500000681	99.99999404	93.000000156
C_0002	100.00000149	99.999999297	99.99999404	99.99999951
C_0003	76.000000536	87.999999523	99.99999404	86.799999177
C_0004	75.000001583	97.500000681	99.99999404	93.250000197
C_0005	65.499997894	76.99999639	99.99999404	76.999996454
C_0006	75.000001583	97.500000681	99.99999404	93.250000197
C_0007	76.000000536	82.000000136	99.99999404	82.599999607
C_0008	100.00000149	70.000001362	99.99999404	79.000000656
C_0009	100.00000149	70.000001362	99.99999404	79.000000656
C_0010	100.00000149	70.000001362	99.99999404	79.000000656
레코드를 (14) < > > > 전체: 12				
총점수의 평균				
84.8083327834805				
레코드를 (14) < > > >				

Fig. 11 Disassembly assessment score of each component and total average

Fig. 12 의 그래프를 살펴보면 기존 휴대폰에서 보여준 그래프와 비교했을 때, 전체적으로 C_0003 ~ C_0007 계열의 분해성 점수가 상승된 것을 알 수 있다.

Fig. 13 는 설계지침이 적용된 휴대폰의 총 분해성 점수 값을 나타낸다. 기존 휴대폰에서 분해성이 취약했던 체결 정보들이 전체적으로 상승되었다. 하지만 분해성 설계를 적용하지 않은 카메라 모듈에 대해서는 여전히 취약한 부분으로 작용되어 전체 분해성 점수의 저하를 초래하고 있다.

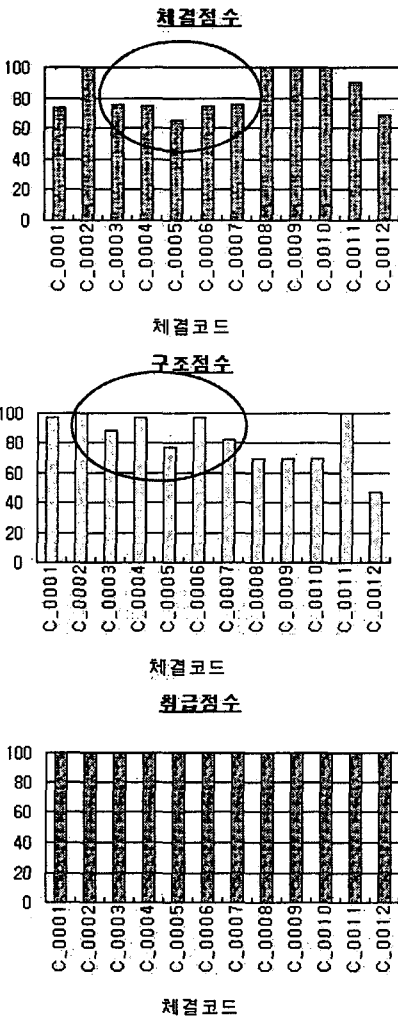


Fig. 12 Disassembly assessment score of each connections, structure, and treatments

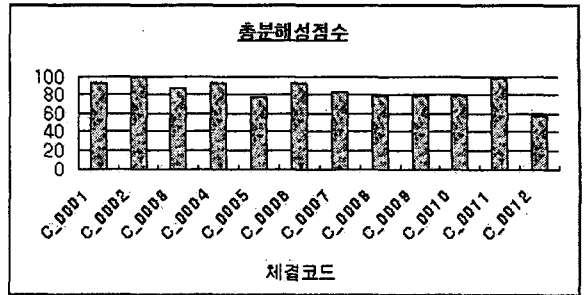


Fig. 13 Total disassembly assessment score

5.3 재사용률 평가 결과

Fig. 14 은 설계지침이 적용된 휴대폰의 총 중량 계산 결과 값을 나타낸다. 체결요소를 줄였기 때문에 총 중량의 감소가 이루어졌다. 따라서 부품 중량과 체결요소 중량의 합은 121.73g 이다.

부품명	중량	부품요소	중량	계수	중량합계	부품중량	재품중량	총중량
Battery	28	배터리연결	0.05	0.05000000		120	1.73	121.73
Upper	7	스트럿링개	0.5	1	0.5			
Lower	9.5	스트럿링개	0.5	1	0.5			
Frame	7.5	스프링부	0.02	2	0.04			

Fig. 14 Calculation of total weight

Fig. 15 는 설계지침이 적용된 휴대폰의 지속 가능한 중량 계산 결과 값을 나타낸다. 재사용 가능한 부품요소에 배터리를 포함함으로써 지속 가능한 부품 중량이 112g 으로 증가되었다.

부품명	재사용가능	중량	부품명	재사용가능	중량	재사용가능재품중량	중량합계
Antenna	2		Upper	7		78.5	35.5
Battery	28		Lower	9.5			
PCB	17		Front	7.5			
LCD panel	24		Rear	9.5			
Camera	5.5		Guide pinhole	2			

Fig. 15 Weight of recyclable materials

Fig. 16 은 설계지침이 적용된 휴대폰의 재사용률 결과 값을 나타낸다. 중량 대비 재사용률이기 때문에 기존 휴대폰에서 가장 무게가 많이 나가는 요소인 배터리부분을 재사용 가능하게 함으로써

재사용률이 92.01%까지 상승되었다.

3. 재사용률(%)		
총중량	중량합계	재사용률
121.73	112	92.01%

Fig. 16 Recycling rate

5.4 분해성 점수 비교 평가

Table 4 는 기존 휴대폰의 분해성 점수 평가 후 분해가 취약한 부분에 대한 체결요소 4 개를 샘플링 하였다.

Table 4 Comparison of disassemblability score

Connecting Number	Connecting Component Name	Connection Score		Structure Score		Treatment Score		Total Score		Total Improve-Ment Rate
		Old	New	Old	New	Old	New	Old	New	
		C_0003	Hook	57.3	76.0	44.5	87.9	100.0	100.0	
C_0004	Small Screw	55.7	75.0	55.5	97.5	100.0	100.0	59.9	93.2	55.6%
C_0006	Small Screw	55.7	75.0	55.5	97.5	100.0	100.0	59.9	93.2	55.6%
C_0007	Hook	54.7	76.0	44.5	82.0	100.0	100.0	52.1	82.6	58.5%

4 개의 샘플 데이터의 분해성 개선 정도를 평가 하기 위하여 각 항목 점수별로 기존 휴대폰과 개선된 휴대폰에 대한 점수를 비교하고 총 개선율을 도출하였다. 표에서 나타난 것처럼 각각의 개선율은 65%, 55.6%, 55.6%, 58.8%로서 50%이상의 높을 개선율을 보인다.

5.5 분해 시간 비교 평가

Table 5 는 기존 휴대폰과 개선된 휴대폰 간의 분해시간을 비교한 표이다. 각각의 체결요소를 줄이고 설계 개선하여서 체결시간은 44 초에서 22 초로 40% 개선되었고, 선행 작업 시간 역시 체결시간이 개선됨에 따라 32 초에서 20 초로 37.5%가 개선되었다.

Table 5 Comparison of disassembly time

Connection Number	Connecting Component Name	Connection Time(s)		Preceding Time(s)		Disassembly Time(s)	
		Old	New	Old	New	Old	New
C_0003	Hook	6	1	16	10	22	11
C_0004	Small Screw	16	10	0	0	16	10
C_0006	Small Screw	16	1	0	10	16	11
C_0007	Hook	6	10	16	0	22	10
Total		44	22	32	20		
Improvement Rate		40%		37.5%			

5.6 총체적 분해성 비교 평가

Table 6 은 기존 휴대폰과 개선된 휴대폰 간에 전체적인 개선율을 도출한 표이다. 기존 휴대폰을 분해성 평가한 결과를 바탕으로 분해성이 가장 취약한 부분의 설계 개선안으로도 총 분해시간이 77 초에서 55 초로 28.6%가 개선되었다.

Table 6 Comparison of analysis results

Assessment Type	Old Phone	Improved Phone	Improvement Rate
Total Disassembly Time	77s	55s	28.6%
Total Disassembly Score	71.4	84.8	18.8%
Recycling rate	67.04%	92.01%	37.2%

총 분해성 점수는 71.4 점에서 84.8 점으로 18.8%가 개선되었다. 분해성 점수가 높아졌다는 것은 재사용을 위한 분해시 비용이 절감된다는 것을 의미한다.

또한 환경 규제에서 주요 항목으로 작용하는 중량 기준 재사용률은 67.04%에서 92.01%로 무려 37.2%가 개선되었다.

6. 결론

본 논문에서는 휴대폰의 부품 재사용률을 극

대화를 위해 휴대폰에 대한 환경 동향을 조사 분석하였다. 그리고 휴대폰의 부품에 대한 정보를 분석하고, 재사용률을 올리기 위해 분해성 평가를 수행하였다. 분해성 평가를 수행함에 있어서 기존의 무게나 부피가 큰 제품에 적합한 분해성 평가 알고리즘을 활용하여 소형 가전제품에 적합한 분해성 평가 프로그램을 개발하였다.

이렇게 개발된 프로그램을 이용하여, 국내에서 생산되는 휴대폰 중 한 대를 선정하여 분해성 평가를 수행하였으며, 평가 결과를 이용하여 친환경 설계 지침을 개발하여 설계 개선을 이론적으로 수립하였다. 이렇게 설계 개선을 통해 설계지침이 적용된 휴대폰에 대하여 다시 분해성 평가를 수행하여 각각의 기존 휴대폰과 설계지침이 적용된 휴대폰간의 비교 평가를 통하여 분해시간, 분해성, 재사용률에 대한 개선정도를 정량화 하여 제시하였다. 친환경 설계 지침을 설계 단계에서부터 적용함으로써 분해시간은 28.6%, 분해성은 18.8%, 재사용률은 37.2%까지 향상된다는 것을 제시하였다.

본 논문에서 제시한 설계 지침은 현실 상황에 따라 적합한 방법을 고려해야 한다. 본 연구를 수행하면서 휴대폰에 대한 정보와 자료를 구하기 힘들어서, 실질적으로 휴대폰을 개선 제작해보지 못하였지만, 기존 휴대폰에 대한 충분한 분석을 바탕으로 설계지침이 적용을 제시하였기 때문에 설계 단계에서 분해성을 고려한다면 제품의 분해성은 충분히 개선될 여지가 많다는 것을 보여주었다. 이러한 결과로 앞으로의 각종 환경규제나 재사용 및 친환경 제품에 대한 세계적인 동향에 설계 단계에서 분해성을 고려하는 것이 반드시 필요하다는 것을 입증하였다.

참고문헌

1. IPMI, "Environmentally Sound Management Used Mobile Telephones," http://ipmi.org/pdf/IPMI_Guidance_Used_Mobile_Phones.pdf
2. Sung, K. S., "Trend of Environmental Regulations and Correspondence of EE-Industries - Focused on Regulations of EU," Samsung Electronics, Bureau of Environment Management Promotion, pp. 26-29, 2004.
3. Korea Environment & Resources Corporation, "EPR - Extended Producer Responsibility," <http://www.epr.or.kr/info/info.asp>
4. Hoffman, B., "Design for Environment at Motorola : Integration of Environmental Aspect into Product Design," Motorola Labs, 2003.
5. Pitkanen, R. and Park, F., "Environmental Report of Nokia Cooperation 2000," Nokia Cooperation, 2001.
6. Mikkonen, O., "Environmental Report of Nokia Cooperation 2002," Nokia Cooperation, 2003.
7. Samsung Electronics, "Together with Nature and Customer," Green Management Report, pp. 29-35, 2004.
8. LG Electronics, "Environmental Report2003," pp. 19-27, 2004.
9. Yi, H. C., "Disassembly Technology for Automotive Recycling," KSME, Vol. 36, No. 2, pp. 120-136, 1996.
10. Seliger, G., Basdere, B., Ciupek, M. and Franke, C., "Contribution to Efficient Cellular phone Remanufacturing," 10th CIRP seminar on life cycle engineering Copenhagen, pp. 162-165, 2003.
11. Steinhilper, R., "Remanufacturing - The Ultimate Form of Recycling," Fraunhofer IRB Verlag, 1998.
12. Stutz, M., "Cost Element of Recycling and the Design of Mobile Phones in the context of WEEE," Motorola, 2002.
13. Yi, H. C., Joo, H. H. and Cho, K. I., "Disassemblability Evaluation for the Products Using an Ease-of-Disassembly Design Method," J. of KSPE, Vol. 16, No. 8, pp. 88-99, 1999.
14. Im, T. H., "Analysis of Disassembly Characteristics of Product Using Guidelines of DFD," Mater's Thesis, Yeungnam University, pp. 12-39, 2002.