

휴대폰 재제조를 위한 친환경 설계 지침 개발 및 비교 평가

김찬석* (영남대 대학원 기계공학과), 이화조 (영남대 기계공학과)

The Development of the Design Guideline and the Comparative Evaluation For the Remanufacturing of a Cellular Phone

C. S. Kim(Mechanical Eng. Dept. YNU), H. C. Yi(Mechanical Eng. Dept., YNU)

ABSTRACT

Concern over the negative environmental impacts associated with the production, use and End-of-Life(EoL) of cellular phones is particularly high due to large production volumes and characteristically short time scales of technological and stylistic obsolescence. Therefore we have to research the environment-friendly technologies and the recycling methods. This paper introduces an improvement of cellular phone remanufacturing processes and develops the Directive of DFE(Design for Environment) for the remanufacturing of a cellular phone. Then We discuss the results of the comparative evaluations.

Key Words : Cellular Phone(휴대폰), Recycling(재활용), Remanufacturing(재제조), Design Assessment(설계 평가)
The Directive of DFE(친환경 설계 지침)

1. 서론

휴대폰은 크기와 무게가 점점 작아지고 있다. 1980 년대에 생산된 휴대폰의 무게는 10kg에 달하였지만, 오늘날 생산되는 휴대폰들은 100g보다 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 환경 오염을 발생시키며, 이를 방지하기 위하여 국내에서는 휴대폰에 대한 생산자 책임 재활용제인 EPR (Expended Producer Responsibility) 제도가 2005 년부터 시행되고², EU지역에서는 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)환경 규제 지침이 2006 년에 발효된다.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 재활용 방법의 개발이 필요하게 되었다. 일반적으로 폐기단계 시 제품들은 리사이클링 과정을 거치게 되는데, 폐기물이 재료적인 처리가 되는지 여부에 따라 제품과 재료 리사이클링으로 분류되며, 제품 리사이클링이 재료 리사이클링보다 친환경적이라고 볼 수 있다.⁹

휴대폰은 무게가 경량이고, 복합 재료가 많이 사용되어서 재료 리사이클링을 하기에는 적절하지 못하다. 따라서 무게를 기준으로 하는 법적 규제에 훨씬 적합한 제품 리사이클링 방법 중 재제조 방식을 선택하는 것이 보다 효과적이다.¹⁰

재제조는 제품의 리사이클링 범주에 들어가는 친환경적인 생산 방법으로써 사용된 제품을 수리, 세척, 검사를 통하여 새로운 제품과 동일한 조건을 유지하며 재생산하는 방식을 말한다. 이러한 재제조를 통하여 폐기단계에 다다른 휴대폰의 부품을 재사용함으로써 법적인 중량 규제를 만족시킬 수 있다. WEEE의 규제 지침에서 정의하는 휴대폰의 리사이클링률은 Fig.1 에 제시한 기준을 만족시켜야 한다.¹¹

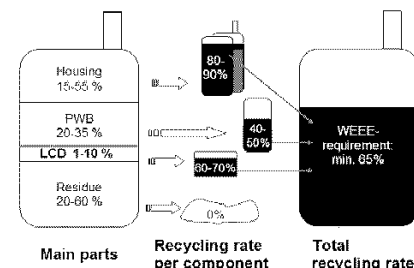


Fig. 1 Achieving the Recycling Rate(65%)
(Source : /Markus stutz(2002)/)

법적 규제를 만족하는 효과적인 재제조를 수행하기 위해서는 기존의 휴대폰의 리사이클링률에 대한 친환경성 평가가 선행되어야 하며, 평가 결과에 따른 친환경 설계 지침을 개발하여 적용하여야 한다.¹² 재제조의 관점에서 친환경성 평가는 제품의 분해 용이성 평가하는 것이다. 또한 분해성 평가 결과를 토대로 설계 단계에서부터 적용될 친환경 설계지침을 개발하는 것은 사용 부품 수와 부품의 조립요소를 최소화시키므로 재제조를 할 때 작업을 쉽게 하고 비용 절감 효과를 가져온다.¹³

본 논문에서는 기존 휴대폰에 대한 분해성을 평가하고, 휴대폰의 재제조를 위한 설계 지침을 개발하여 재설계 한 후 다시 분해성을 평가한다. 또한 평가 결과를 토대로 기존의 휴대폰과 재설계 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 5 대 제조업체의 휴대폰을 직접 분해하여 관찰하는 방식과 분해성 평가 소프트웨어를 이용한 간접 평가 방식을 사용하였다.

2.1 휴대폰의 구성 부품 분석

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

순번	구성품	설명
1	전자 회로 (Electronic Circuitry)	마이크로프로세서, 디지털 신호 프로세서, 플래시 메모리, 커넥터, 소형 마이크 및 스피커를 포함한 회로기판
2	안테나 (Antenna)	일반 안테나 또는 회로를 내장하고 있는 안테나
3	화면 (Screen)	LCD 기술과 유리
4	배터리 (Battery)	자체 케이스로 봉해져 있음, 3 가지 배터리 기술이 사용됨: 1)니켈-카드뮴, 2)니켈-수소, 3)리튬-이온 폴리머
5	케이스 (Case)	1,2,3,4 를 일체로 만들어주는 플라스틱을 말함, 때로는 금속으로 코팅되어 있음
6	충전기및커넥터 (Charge base or Connector)	충전식 배터리를 사용하기 위한 작은 저전압 직류 전류 변압기, 와이어, 플라스틱, 구리 연결 점
7	악세서리류 (Accessories)	이어폰 또는 컴퓨터와의 통신 케이블 등

[Table. 1] The basic components of a cellular phone

1) 하우징

Upper 와 Lower 하우징은 LCD 모듈을 포함하고 있는 하우징 부품을 말한다. 외부 액정이 표시되는 부분의 하우징이 Upper, 내부 액정이 표시되는 부분의 하우징이 Lower 이다. 또한 Front 와 Rear 하우

징은 PCB 모듈을 포함하고 있는 하우징 부분을 말한다. 키패드가 있는 부분에 하우징이 Front, 배터리가 결합되는 부분의 하우징이 Rear 이다.

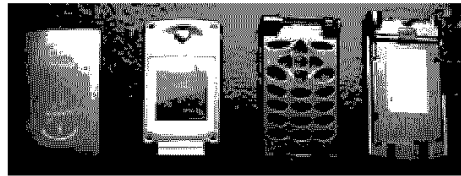


Fig. 2 Upper, Lower, Front, Rear(From Left)

2) PCB

Printed Circuit Board 의 줄임 말로써 주요 통신칩, 프로세서, 메모리, 기타 부품들을 포함하고 있는 중요부품이다.



Fig. 3 PCB Mainboard

3) LCD

휴대폰의 통화 상태, 기능 등의 여러 가지에 관한 정보를 표시하는 디스플레이부이다.

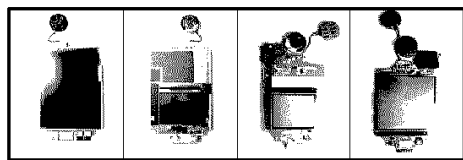


Fig. 4 LCD Mainboard

4) 키패드

실리콘 소재의 키패드는 휴대폰의 정보입력과 제품을 동작시키는데 이용된다.

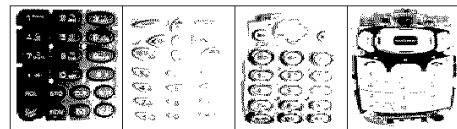


Fig. 5 Several kinds of the keypad

5) 스피커 & 마이크 & 버튼셀 배터리

전화기의 기본 기능인 송수화를 위한 부품으로써 스피커와 마이크가 사용된다. 버튼셀 배터리는 휴대폰의 전원이 끊겼을 때 기본적인 내용을 기억하기 위한 보조 전력으로 사용된다.



Fig. 6 Speaker, Mic, Buttoncell(From Left)

6) 배터리

배터리는 휴대폰에 전기 에너지를 공급하는 부품이다. 최근에는 대부분 리튬-이온 배터리가 사용된다.

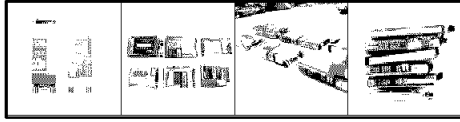


Fig. 7 Many kinds of the battery

7) 충전기

휴대폰 배터리를 충전하는 기기로서 사용자의 편의에 따라 3 종류가 존재한다. 탁상용, 여행용, 차량용의 충전기가 있다.

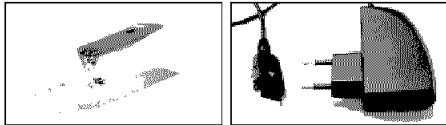


Fig. 8 Desktop & Travel Charger(From Left)

8) 데이터 통신 케이블

컴퓨터와 휴대폰 간의 통신을 할 때 사용하는 부품으로써 휴대폰 내의 자료를 저장하거나 휴대폰의 Firmware를 업그레이드 할 때 주로 사용한다.

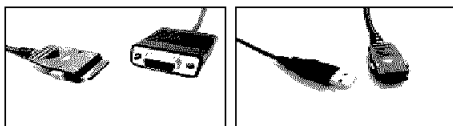


Fig. 9 Serial & USB Data cable(From Left)

9) 핸즈프리 이어폰

주로 차량 운전시 안전을 위해 사용된다. 최근 MP3 기능과 통합된 휴대폰에서는 음악을 듣기 위한 용도의 이어폰이 출시되고 있다.

2.2 휴대폰의 체결 요소 분석

2.2.1 체결 외부 요소(Outerconnecting)

1) 하우징 상세 분석

(1) 스크류

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

(2) 후크

하우징을 조립하는 체결요소로 스크류 체결 전에 이루어진다. 휴대폰 디자인에 따라 후크의 종류, 크기, 위치, 수가 전부 다르다. 또한 조립 용이형 체

결요소이기 때문에 분해 시 많은 시간이 소요되며, 수 회 분해하게 되면 파손의 위험이 있다.

(3) 스프링 힌지

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) 본드 & 양면테이프

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

2) 안테나

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

3) 배터리

휴대폰과 배터리, 배터리와 충전기 사이에 충전용 단자가 존재하는데, 단자의 수와 위치, 크기 등이 기종별로 다르다. 또한 배터리 내부에는 단락방지 안전장치 회로가 포함되어있다.

4) 충전기

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

5) PCB

PCB 기판의 체결은 하우징에 삽입되는 형태, 하우징과 함께 스크류로 체결되는 형태, 삽입과 체결이 동시에 이루어지는 형태로 체결된다.

2.2.2 회로 내부 체결 요소(Interconnecting)

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

2.2.3 기타 장치 인터페이스

1) 데이터 핀 & 충전 커넥터

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) 이어폰 소켓

이어폰 또는 외장형 카메라를 연결하는 슬롯으로써 대부분의 휴대폰에 존재한다. 대부분의 소켓은 라디얼 방식이나 최근 스테레오를 지원하기 위한 스케어형 소켓방식이 개발되었다.

3. 휴대폰 친환경 설계 지침 개발

휴대폰 구성 부품 및 체결 요소 분석을 통하여 발견된 문제점을 토대로 친환경 설계 지침을 개발한다. 친환경 설계 지침은 휴대폰을 설계 단계에서 고려해야 할 부품의 표준화, 공용화, 설계 개선을 제시한다. 아래의 Table. 2 는 부품 별로 적용되어야 할 친환경 설계 지침을 보여준다.

부 품		설 계 지 침
하 우 징	스크류	1.규격을 통일 2.개수를 최소화 3.조립 방향을 단방향으로 설계 4.조립 공간을 개선
	후크	1.개수를 최소화 2.조립 위치를 대칭화 3.설계 개선을 통한 내구성을 강화
	힌지	1.연결부에 대한 분해성을 고려 2.하우징의 힌지 연결부의 설계 개선을 통한 내구성을 강화 3.범용 공구를 사용하도록 설계를 개선
	본드&양면테입	1.분해 시 부품의 파손이 일어나지 않는 분리 공간을 확보 2.접착 부분의 면적을 고려
안테나	1.체결 요소 규격을 표준화 2.외관을 제외한 나머지 부품은 표준화	
배터리	1.배터리 하우징 부분과 배터리들 분리 설계 2.용량별 배터리의 크기를 표준화 3.단락 방지 회로의 크기를 표준화 4.충전용 단자의 크기와 위치, 개수를 표준화	
충전기	1.표준화 된 충전지와의 규격을 일치 2.충전기의 부피를 최소화	
PCB	1.회로 기판의 형태를 규격화 2.설계 개선을 통하여 체결 요소를 최소화 3.외부 연결 장치 커넥터의 위치를 표준화	
내부연결	1.모듈간의 연결 방식을 소켓 방식으로 통일 2.소켓 커넥터의 조립 방향을 일치 3.소켓 커넥터의 규격을 표준화	
데이터핀 & 충전커넥터	1.규격을 24핀 표준화(이미 표준화됨) 2.컴퓨터와의 인터페이스를 표준화	
이어폰 소켓	1.소켓 방식의 규격을 하나로 표준화	

[Table. 2] The directives of the design for environment for the remanufacturing of a cellular phone

4. 기존 설계와 재설계 휴대폰간의 비교 평가

친환경 설계 지침이 재제조에 미치는 효과를 평가하기 위하여 기존 설계 휴대폰과 재설계 휴대폰간의 분해성 평가를 수행한다. 또한 평가 결과로 친환경 설계 지침이 휴대폰의 재제조에 미치는 효과를 평가한다.

4.1 소프트웨어 작업 화면

휴대폰의 분해성 평가를 위해 사용된 소프트웨어는 Recyclemanager1.0 버전을 이용했다. 이 소프트웨어는 제품의 분해성 평가 및 유해물질 평가, 작업시간 평가 등에 사용되는 소프트웨어이다.

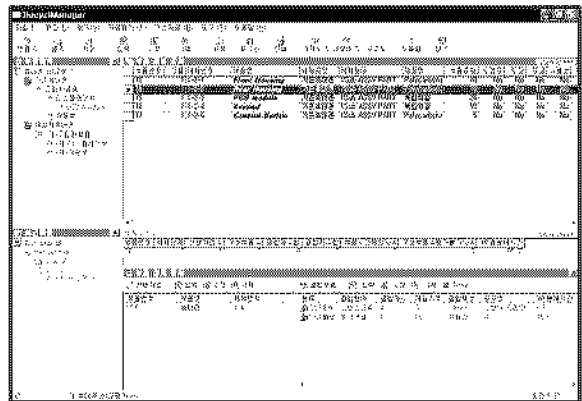


Fig. 10 Working screen of the Recyclemanager1.0

Fig. 10 는 Recyclemanager1.0 의 메인 화면을 보여주고 있다. 좌측상단에 부품의 계층트리를 살펴보면 기존 휴대폰과 재설계 휴대폰의 2 종류에 목록을 볼 수 있다. 각각의 계층 트리를 선택하게 되면 개별적인 부품정보가 오른쪽 상단 화면에 출력되고, 각 부품별 세부내역을 확인할 수 있다. 오른쪽 하단을 살펴보면 부품간의 체결요소를 입력할 수 있는 창이 있고, 부품간에 선행작업을 입력하는 창이 있다. 사용 방법은 기존 설계 휴대폰과 친환경 설계 지침이 적용된 재설계 휴대폰에 부품에 관한 정보를 입력하고, 각각의 체결요소 및 분해 순서를 정하기 위한 선행 작업을 입력하고 평가를 수행한다.

4.3 기존 설계와 재설계의 비교 평가

평가 대상으로 선정한 휴대폰의 부품은 LCD 모듈을 포함하고 있는 디스플레이부, PCB 모듈을 포함하고 있는 작동부, 안테나 그리고 배터리의 4 가지로 하였다. 기존 휴대폰과 재설계된 휴대폰 각각의 부품과 체결요소 정보를 입력하고 분해성을 평가한 후 그래프로 나타내었다. 또한 각 부품에 대한 분해성 점수 비율을 비교하여 재설계 한 휴대폰의 분해성 향상 값을 도출하였다.

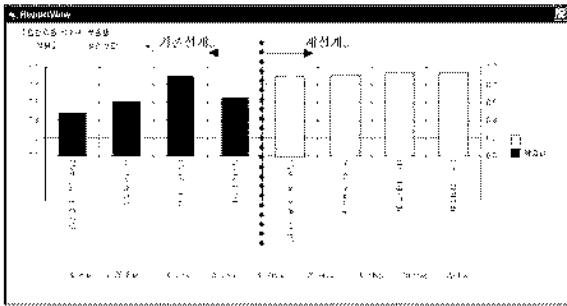


Fig. 11 Evaluation results between cellular phones

Fig. 11 은 평가 결과를 나타내는 차트이다. 기존 설계의 분해성 점수는 점선을 기준으로 좌측편의 그래프이며, 재설계 된 휴대폰의 분해성 점수는 점선을 기준으로 우측편의 그래프로 나타나 있다. 그래프의 축 항목은 좌측에서부터 디스플레이부, 작동부, 안테나 배터리 순으로 결과가 출력되어 있다.

그래프를 보면 디스플레이부와 작동부의 분해성 점수가 친환경 설계 지침을 적용한 재설계 후 분해성 개선이 이루어진 것을 알 수 있다.

부품명	기존설계(%)	재설계(%)	개선율(%)
디스플레이부	48.2	89.2	+41.0
작동부	61.7	90.0	+28.3
안테나	90.2	94.0	+3.8
배터리	66.7	92.0	+25.3

Table. 3 The improvement rates of the parts

Table.3 은 부품에 따른 개선율을 나타낸다. 디스플레이부는 41%, 작동부는 28.3%, 안테나는 3.8%, 배터리는 25.3%의 분해성이 향상된 것을 알 수 있다. 디스플레이부와 작동부의 개선율에 비해 안테나의 개선율이 낮은 이유는 안테나의 체결 방법이 기존의 휴대폰에서 한가지밖에 없어서 상대적으로 다른 부품에 비해 개선율이 낮은 것처럼 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 앞으로 다가올 휴대폰에 대한 각종 국내외 환경규제들에 대응하기 위하여 리사이클링 방법 중 재제조 방법을 이용하는 방법을 제시하였다. 또한 기존 휴대폰의 분석을 통한 휴대폰의 친환경 설계 지침 개발을 통하여 효과적으로 재제조를 수행하고자 하였다.

친환경 설계 지침을 개발하기 위하여 휴대폰 부품과 체결요소를 상세히 분석하였으며, 이 분석을

토대로 한 재설계 폰에 대해 분해성 평가 프로그램을 통하여 평가를 수행하고 분해성 점수를 도출하였다.

또한 기존 휴대폰과 재설계된 휴대폰간의 비교를 통하여 높은 개선 효과가 있음을 수치화하여 제시하였으며, 친환경 설계 지침의 개선 효과와 필요성을 입증하였다.

참고문헌

1. IPMI, "Environmentally Sound Management Used Mobile Telephones", http://ipmi.org/pdf/IPMI_Guidance_Used_Mobile_Phones.pdf
2. 성규식, "전자 산업의 환경규제 동향과 대응 - EU 환경규제를 중심으로" 삼성전자, 환경경영추진사무국, pp26-29
3. 한국자원재생공사, "EPR - 생산자책임재활용제도 안내", <http://www.epr.or.kr/info/info.asp>
4. Bill Hoffman, "Design for Environment at Motorola : Integration of Environmental Aspect into Product Design", Motorola Labs, 2003
5. Risto Pitkanen, Fountain Park, "Environmental Report of Nokia Cooperation 2000", Nokia Cooperation, 2001
6. Outi Mikkonen, "Environmental Report of Nokia Cooperation 2002", Nokia Cooperation, 2003
7. 삼성전자, "자연과 함께 고객과 함께", 2004 녹색경영보고서, pp.29~35
8. LG 전자, "Environmental Report2003", pp19~27, 2004
9. LG 전자, "Environmental Report2002", pp23~34, 2003
10. Gunther Seliger, Bahadir Basdere, Markus Ciupek, Carsten Franke, "Contribution to Efficient Cellular phone Remanufacturing", 10th CIRP seminar on life cycle engineering Copenhagen, pp.162-165, 2003
11. Markus Stutz, "Cost Element of Recycling and the Design of Mobile Phones in the context of WEEE", Motorola, 2002
12. 조광익, "분해용이 설계기법을 이용한 제품의 분해성 평가", 영남대학교, pp.5-9, 1998
13. 임태호, "분해 고려 설계 지침을 이용한 분리성 평가에 관한 연구", 영남대학교, pp.12-39, 2002