

스마트폰의 효율적인 분해를 위한 설계 가이드라인 및 분해 용이도 평가 체크리스트 개발

Development of Design Guidelines and a Checklist of Ease of
Disassembly for Effective Disassembly of Smartphone

이지형, 김성호, 정하영, 이창호, 유희천

포항공과대학교 산업경영공학과

Jihyung Lee, Sungho Kim, Hayoung Jung, Chang-Ho Lee, Heecheon You

Dept. of Industrial and Management Engineering, Pohang Univ. of Science and
Technology (POSTECH)

사단법인 한국전과정평가학회

The Korean Society for Life Cycle Assessment

스마트폰의 효율적인 분해를 위한 설계 가이드라인 및 분해 용이도 평가 체크리스트 개발

이지형, 김성호, 정하영, 이창호, 유희천*

포항공과대학교 산업경영공학과

Development of Design Guidelines and a Checklist of Ease of Disassembly
for Effective Disassembly of Smartphone

Jihyung Lee·Sungho Kim·Hayoung Jung·Chang-Ho Lee·Heecheon You

Dept. of Industrial and Management Engineering, Pohang Univ. of Science and Technology
(POSTECH)

Abstract

While the volume of smartphone production has kept increasing due to increase in the number of smartphone users and shortening in cycle times of new model release and replacement, the volume of discarded smartphone has dramatically increased due to low rates of recycle and reuse. The present study developed design guidelines for ease of smartphone disassembly and a checklist for assessment of ease of smartphone disassembly. A set of 24 design guidelines of smartphone disassembly for material, fastener & connection, and structure was established based on literature review of disassembly guidelines of home appliances and cellular phones and were applied to 11 smartphone parts, resulting in 155 check items for assessment of ease of smartphone disassembly. An assessment of 15 smartphone models using the disassembly checklist in the study found Dell Streak mini 5 most preferred and HTC One least preferred. The design guidelines and a checklist for ease of disassembly developed in the study are expected to apply to improve the design of smartphones for efficient and safe disassembly for reuse of parts with high values.

Key words: Smartphone, Disassembly, Guideline, Checklist

요약문

스마트폰 사용자 수 증가, 신제품 생산 주기 및 교체주기 단축으로 스마트폰 생산량은 증가하고 있으나, 스마트폰의 낮은 재활용 및 재사용률로 인해 폐기되는 스마트폰이 급격히 증가하고 있다. 본 연구는 가치가 높은 스마트폰 부품의 재사용성을 향상시키기 위해 분해 용이성 향상을 위한 설계 가이드라인과 분해 용이도 평가를 위한 체크리스트를 개발하였다. 기존 가전제품과 휴대폰의 분해를 위한 가이드라인과 15종의 스마트폰 분해를 통해 스마트폰에 적합한 분해를 위한 24개 가이드라인(재료측면: 6; 고정 및 부품간 연결측면: 10; 구조측면: 8)을 수립하였고, display, memory, battery를 포함한 11개의 스마트 폰 주요부품의 분해 용이도 평가를 위해 155개 항목으로 구성된 체크리스트를 개발하였다. 실험실 환경에서 15종의 스마트폰의 분해 용이도 평가결과 Dell Streak

연락처: 유희천 교수, 790-784 경상북도 포항시 남구 청암로 77 포항공과대학교 산업경영공학과, Fax: 054-279-2820, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

mini 5 모델의 분해가 가장 쉬운 것으로 평가되었으며, HTC One모델의 분해가 가장 어려운 것으로 평가되었다. 본 연구의 스마트폰 분해를 위한 가이드라인과 분해 용이도 평가 체크리스트는 스마트폰의 다양한 부품과 복잡한 구조를 고려하여 제안되었으며, 고가의 스마트폰 부품을 신속하고 안전하게 분해하여 재사용할 수 있도록 설계를 개선하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

주제어: 스마트폰, 분해, 가이드라인, 체크리스트

1. 서론

스마트폰의 생산량과 사용자 수의 증가에 따라 스마트폰의 폐기량이 급격히 증가하고 있다. 2014년 IDC Worldwide Mobile Phone Tracker에 의하면 2세계 스마트 폰의 생산량은 2013년에 약 10억 960만대로 조사되었다⁽¹⁾. 또한, 국내 스마트 폰 보유율은 2011년에 24.2%에 불과하였으나 2014년에 79.5%로 3년 동안 55.3%가 증가하였고⁽²⁾, 한국인터넷진흥원 조사에 의하면 스마트 폰을 한 대 이상 보유하고 있는 가구 비율이 2012년에 65.0%⁽³⁾, 2013년에 79.7%⁽⁴⁾, 2014년에 84.1%⁽⁵⁾로 2년 동안 19.1%가 증가하였다. 이와 같이 스마트폰 보유량이 증가와 함께 폐기되는 스마트폰의 양도 증가하고 있다.

스마트폰을 포함하여 폐 모바일폰 발생량 증가 원인은 낮은 재활용률, 신제품 출시 주기와 제품 교체주기 단축으로 파악된다. 스마트폰을 포함하여 국내 폐 모바일폰 발생량은 최대 약 3,537 ton(약 1,844만대)까지 증가하였나⁽⁶⁾, 재활용량은 약 731 ton(약 310만대)으로 폐 모바일폰 발생량의 20.7% 정도를 차지하는데, 이는 2003년 생산자책임재활용제도에서 명시하고 있는 모바일폰 재활용 의무율 23.0%⁽⁷⁾에 미치지 못하는 양이다. 또한, S사와 A사 같은 스마트폰 생산업체들의 신제품 출시 주기가 1년 이하로 줄어들었으며, 사용자들의 제품 교체주기가 평균 1년 7개월로 점점 짧아 지고 있어 당분간 폐 모바일폰 발생량은 점점 증가될 수밖에 없는 상황이다⁽²⁾.

폐기된 모바일폰은 각 구성 부품의 재사용 가치가 높기 때문에 분해를 고려한 설계의 필요성이 증대되고 있다. 모바일폰은 사용 후 자체 보관되는 경우는 45%로서 회수되는 비율이 55%이다. 회수된 모바일폰은 매립 및 소각이 25%, 파쇄시켜 금, 은, 구리, 주석, 니켈, 리튬 등의 금속을 추출하여 재활용하는 비율이 15%, 분해하여 수리, 재조립 후 국내 재판매 또는 해외 수출하는 비율이 15%를 차지한다^(8, 9). IHS Inc.의 스마트폰 부품별 비용으로부터 스마트폰 1대의 부품의 재사용 가치는 평균 약 13만원으로, 폐 모바일폰 1대의 금속 자원을 재활용하는 가치인 약 3,500원에 비해 최대 37배 높은 가치를 가진다. 이와 더불어 스마트폰을 포함하여 중고 모바일 폰의 해외 수요가 꾸준히 증가하고 있어 그 시장 규모가 약 4조원⁽¹⁰⁾에 이를 전망이다. 따라서, 스마트폰 부품의 재사용성을 향상시킬 수 있는 설계 가이드라인과 제품을 분해하기 쉬운 정도를 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

본 연구는 스마트폰의 효율적인 분해를 위한 설계 가이드라인 및 분해 용이도 평가를 위한 체크리스트를 개발하고 상용화된 스마트폰의 분해 용이도를 평가하였다. 첫째, 체계적으로 스마트폰 구조 분석 및 문헌조사를 수행하여 스마트폰의 효율적인 분해를 위한 설계 가이드라인을 개발하였다. 둘째, 수립된 스마트폰 분해를 위한 설계 가이드라인을 기반으로 분해 용이도 평가를 위한 체크리스트를 개발하였다. 셋째, 개발된 체크리스트를 사용하여 상용화된 스마트폰의 분해 용이도를 평가하였다.

2. 연구 방법

효율적인 분해를 위한 설계 가이드라인 및 분해 용이도 평가를 위한 checklist 개발 및 상용화된 스마트폰의 분해 용이도를 평가하기 위해 Fig. 1과 같이 1) 스마트폰의 BOM 및 구조 분석, 2) 기존 분해 가이드라인 조사 및 분석, 3) 분해 가이드라인 수립, 4) 분해 용이도 평가 체크리스트 개발 및 평가의 네 단계 절차로 수행되었다.

2.1 스마트폰 BOM 및 구조 분석

스마트폰의 BOM 및 구조 분석은 S사와 L사를 포함한 6개 제조업체의 15종의 스마트 폰(총 20개)를 대상으로 수행되었다. Fig. 2와 같이 실험실환경에서 분해할 수 있는 스마트폰의 최소단위 부품까지 분해하여 파악 가능한 재료의 재질, 중량, 개수 등의 스마트폰 BOM이 작성되었고, 각 부품의 단계별 분해에 소요되는 시간이 측정되었다. 분해에 사용된 장비는 54가지 driver kit, 2개의 opening tools, 족집게, 나이프 등 스마트폰과 같이 작고 정교한 장비를 분해하는데 필요한 분해도구 세트인 Pro Tech Toolkit(Ifixit, Inc., USA)이 사용되었다. 스마트폰 각 재료의 재질 정보는 별도의 표기가 되어 있는 부품에 대해서만 수집되었으며, 중량은 스마트폰 부품과 같이 중량이 작은 부품을 측정하기 위해 0.01g 단위까지 측정 가능한 계측기 CB-300를 사용하였다.

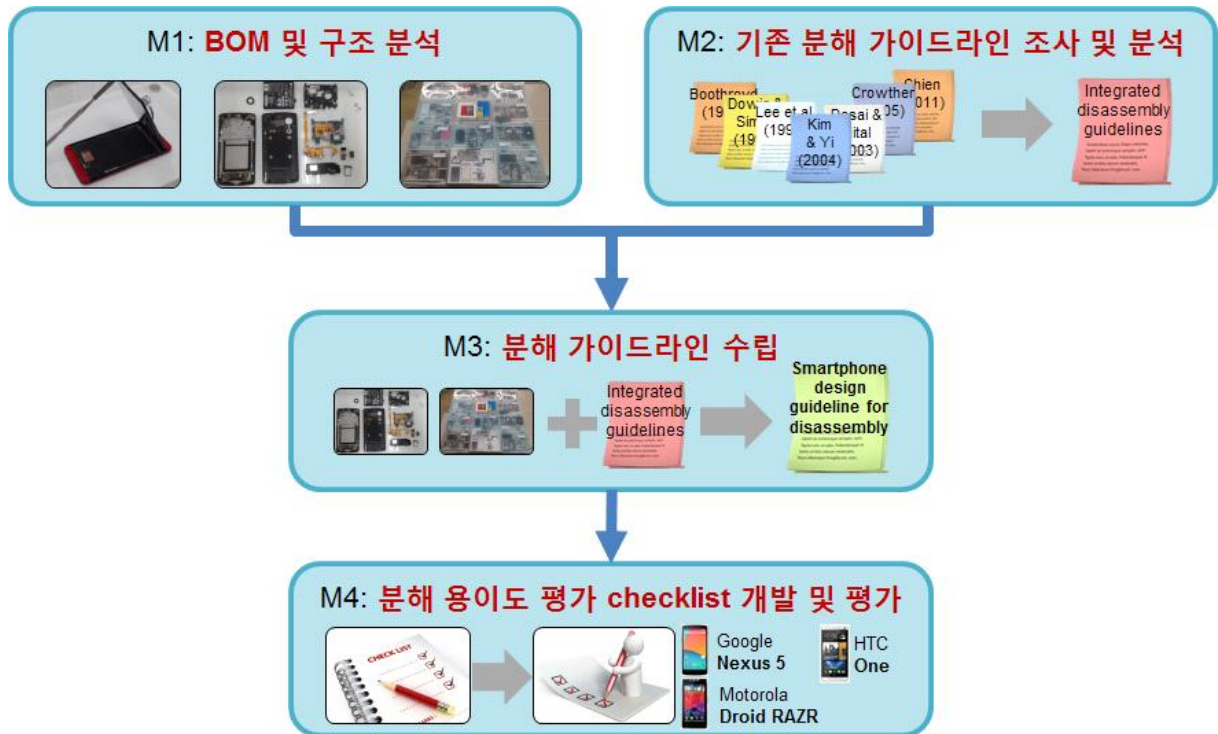


Fig. 1. Research procedure



Fig. 2. Disassembled smart phones

2.2 기존 분해 가이드라인 조사 및 분석

기존 연구들에 의해 제시된 분해 가이드라인은 (1) 분해 가이드라인 관련 keyword 선정, (2) 유관 논문 검색 및 선별, (3) 최종 대상 논문 선별 및 분석의 세 단계 절차를 통해 최종 14건의 문헌을 대상으로 수행되었다. 첫째 단계에서는 스마트폰과 관련된 분해 가이드라인 관련 키워드로 smartphone, disassembly, design, guideline, DfD, disassemblability를 선정하고 유관 논문을 검색하였다. 둘째 단계에서는 ScienceDirect, Google Scholar, 그리고 DBpia 사이트에서 제목, 초록, 그리고 키워드 검색을 통해 문헌 조사를 수행하였다. 셋째 단계에서는 수집된 문헌에 대해 제목과 초록을 검토하여 선별 후, 관련도에 따라 상, 중, 하로 분류한 후, 최종적으로 상과 중에 해당되는 논문을 대상으로 심층 분석을 수행하였다. 최종 선정된 논문은 Table 1과 같이 상 11개의 논문과 중 1개의 논문이 선별되었다.

2.3 스마트폰 분해를 위한 설계 가이드라인 수립

스마트폰 분해를 위한 설계 가이드라인 수립은 선별된 문헌 자료를 review한 결과에 근간하여 재료(material, M), 고정 및 부품간 연결(fasteners and connections, FC), 구조(structure, S)의 세 가지 측면으로 분류하고 두 개 이상의 문헌에서 공통적으로 다뤄진 가이드라인을 선별하여 재구성하였다. 문헌별 유사한 가이드라인은 동일한 항목으로 통일하고 각 가이드라인을 참고한 논문을 표기하여 중요도를 파악하였다. 선별된 가이드라인이 하나의 문헌에서만 다루어졌더라도 스마트폰 분해의 효율성을 고려하였을 때 중요한 사항일 경우 최종 가이드라인에 포함시켰다.

Table 1. List of literature reviewed for disassembly guideline review

No.	Author	Year	Title	Source	관련도
1	Boothroyd	1992	Design for Assembly and Disassembly	<i>CIRP Annals - Manufacturing Technology</i>	상
2	Dowie & Simon	1994	Guidelines for designing for disassembly and recycling	<i>Manchester Metropolitan University</i>	상
3	Yi et al.	1998	Disassemblability Assessment With Design For Ease-Of-Disassembly	<i>Korean Institute of Industrial Engineers</i>	상
4	Desai & Mital	2003	Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production	<i>International Journal of Industrial Ergonomics</i>	상
5	Kim & Yi	2004	The Development of the Design Guideline and the Comparative Evaluation For the Remanufacturing of a Cellular Phone	<i>Korean Society for Precision Engineering</i>	상
6	Crowther	2005	Design for disassembly—themes and principles	<i>Design for disassembly—themes and principles</i>	상
7	Kim & Yi	2006	Development of the Design Guideline to Increase the Reusing Rate of Cellular Phone Parts	<i>Korean Society for Precision Engineering</i>	상
8	Barsan et al.	2007	Design for Disassembly as an essential step in fulfilling the ecodesign goals: reuse, repair, remanufacture, recycle	<i>The Romanian Society of Engineering Graphics SORGING</i>	상
9	Hultgren	2012	Guidelines and Design Strategies for Improved Product Recyclability	<i>Chalmers university of technology</i>	상
10	Mule	2012	Design for Disassembly Approaches on Product Development	<i>International Journal of Scientific & Engineering Research</i>	상
11	Germani et al.	2013	A Case-Based Reasoning Approach to Support the Application of the Eco-Design Guidelines	<i>CIRP International Conference on Life Cycle Engineering</i>	상
12	Chien	2011	Reduction of End-of-Life Impacts Through Design for Disassembly (DfD)	<i>Berkeley University of California</i>	중

2.4 스마트폰 분해 용이도 평가 체크리스트 개발 및 분해 용이도 평가

스마트폰 분해 용이도 평가 체크리스트 개발은 문헌 및 스마트폰 구조분석을 통해 최종 수립된 가이드라인을 스마트폰의 display, CPU, camera 등과 같은 11가지의 주요 부품들에 적용 가능한 항목들로 구성하여 개발하였다. 체크리스트 항목은 스마트폰 주요 부품 중 부품의 특성에 따라 재료, 고정 및 부품간 연결, 구조의 세 가지 측면을 모두 고려해야 하는 경우도 있고, 재료와 구조 측면만 고려하면 되는 경우도 있다. 예를 들어, display 부품의 경우 CPU와 memory와 같은 다른 부품과 연결이 되기 때문에 재료와 구조뿐만 아니라 고정 및 부품간 연결에 대한 항목들도 고려되어야 한다.

상용화된 스마트폰 분해 용이도 평가는 상용화된 스마트폰 15종을 대상으로 본 연구에서 개발된 체크리스트 항목들 중 실험실에서 평가가 가능한 항목을 선정하여 평가를 수행하였다. 보다 명확하게 스마트폰 분해 용이도를 평가하기 위해서는 제조사로부터 원료 정보, 가공 절차, 사용된 에너지, 원료 및 자재 운반 비용 등 실험실에서 얻을 수 없는 정보를 수집하는 것이 필요하나 각 정보들은 제조사의 기밀 사항이기 때문에 본 연구에서는 front & rear camera, user interface (UI) & sensor, mechanical parts, 그리고 electro-mechanical connection의 네 가지 부품에 대해서 재료, 고정 및 부품간 연결, 구조의 세 가지 측면에 대해 분해 용이도 평가가 수행되었다.

3. 결과

3.1 스마트폰 BOM 및 구조

스마트폰 BOM 분석 결과 CPU, memory, 배터리와 같은 부품들은 최소 두 가지 이상의 재질(금, 은, 동, 니켈, 금, 주석 등)로 구성되거나, 부품의 크기가 작아 재질표기가 되지 않았다. 스마트폰 구조는 제품별로 상이하였으며, 부품 간 분해지점 식별이 곤란하거나 Fig. 3과 같이 접착제, 납땜과 같은 재결합이 어렵거나 불가하도록 설계된 부분이 80% 이상 되었다. 재결합이 어렵거나 불가능한 부분은 스마트폰 분해과정에서 시간이 많이 소요되며 칼, 족집게, 흡입컵 등 다양한 분해도구를 함께 사용해야 하며 분해과정에서 부품이 파손될 위험도 상당히 높다.

3.2 스마트폰 분해 가이드라인

스마트폰 분해 가이드라인은 Table 2와 같이 재료(material, M) 측면에서 6 가지, 고정 및 부품간 연결(fasteners & connections, FC) 측면에서 10 가지, 구조(structure, SC) 측면에서 8가지의 총 24개 항목을 설정하였다. 재료 측면에서 재활용 불가능한 물질 사용 최소화(M5)와 원자재 종류 최소화(M6), 고정 및 부품간 연결 측면에서 범용 공구 사용(FC1), fastener & connections가 접근이 용이하도록 설계(FC2), fastener & connections 개수 최소화(FC8), 마지막으로 구조적 측면에서 구성부품 크기, 무게, 형상 표준화(SC2), 접근 및 분해 지점이 쉽게 식별되도록 설계(SC3), 기능적으로 분리된 구성부품 설계(SC6), 구성 부품의 개수 및 종류의 최소화(SC7)의 총 9개 가이드라인은 12개의 문헌 중 5개 이상의 문헌에서 수립한 분해 가이드라인으로 분석되었다.

3.3 스마트폰 분해 용이도 평가 체크리스트

스마트폰 분해 용이도 평가 체크리스트는 Table 3과 같이 수립된 24개의 가이드라인 중 display, CPU, memory와 같은 스마트폰 주요부품 11가지에 적용 가능한 항목들로 구성하여 총 155개 항목으로 구성되었다. 분해 용이도 평가 체크리스트의 대상이 되는 주요 부품 11가지는 display, CPU processor, WLAN/GPS/BT/FM, memory (NAND flash, SDRAM), printed circuit board (PCB), power management, battery, front & rear camera, UI & sensor (earjack, MIC, antenna, speaker), mechanical parts (plastic, metal), electro-mechanical connection (wire, cable)이다.

Soldering












Fig. 3. Disassembly tools and methods (www.ifixit.com)

Table 2. Design guidelines for smartphone disassembly

Category	Guideline	Literatures												
		Boothroyd (1992)	Dowie & Simon (1994)	Yi et al . (1998)	Desai & Mital (2003)	Kim & Yi (2004)	Crowther (2005)	Kim & Yi (2006)	Barsan et al . (2007)	Chien (2011)	Hultgren (2012)	Mule (2012)	Germani et al . (2013)	Total #
Materials (M)	M1. 플라스틱 부품에 금속물질 삽입 최소화	0	0											2
	M2. 합성물질 사용 최소화(화학적 물질 혼합)											0		1
	M3. 유해 물질 최소화	0	0		0		0		0	0	0			7
	M4. 재활용 불가능한 물질 사용 최소화	0	0				0		0	0	0			6
	M5. 원자재 종류 최소화	0	0				0		0	0	0	0		7
	M6. 원자재 종류 식별 마크 표시						0					0		2
Fasteners & Connections (FC)	FC1. 범용 공구 사용			0	0	0		0	0			0		6
	FC2. FC에 접근이 용이한 설계		0		0	0		0	0		0			6
	FC3. Fastening points가 쉽게 식별되도록 설계		0	0					0	0				4
	FC4. FC의 설계 개선을 통한 내구성 강화				0	0	0	0			0			4
	FC5. 조립 위치 대칭화					0	0							2
	FC6. 집착제 사용 최소화		0				0		0		0			4
	FC7. 조립방향의 단방향 설계				0									1
	FC8. FC개수 최소화		0			0	0	0	0		0			6
	FC9. 공구 개수 최소화		0											1
	FC10. FC 크기 · 무게 · 형상 표준화		0											1
Structure (SC)	SC1. 병렬 구조 설계						0				0			2
	SC2. 구성부품 크기, 무게, 형상, 표준화			0	0				0	0	0			5
	SC3. 접근 및 분해 지점이 쉽게 식별되도록 설계	0	0	0	0		0				0			6
	SC4. 구성부품 파손이 일어나지 않도록 내구성 강화		0									0		2
	SC5. 재활용 가능/불가능 구성부품을 군집하여 설계		0		0									2
	SC6. 기능적으로 분리된 구성부품 설계		0	0			0		0	0		0		6
	SC7. 구성부품 개수 및 종류 최소화			0		0	0	0	0	0			0	7
	SC8. Snap-fits 구조 적용 등 부품 체결 단순화					0		0						2

분해 용이도 평가 체크리스트는 기 수립된 24가지의 스마트폰 분해 가이드라인에서 각 부품별 적용 가능한 항목을 선정하여 구성하였다. Plastic 또는 metal의 단일 재질 또는 복합재질로 제작되는 mechanical parts(plastic, metal)는 24가지 가이드라인 중 재활용 가능/불가능 구성부품을 군집하여 설계(SC5)와 snap-fits 구조 등 부품 체결 단순화(SC8) 항목을 제외한 22가지 가이드라인이 체크리스트 항목으로 선정되었다. 반면, battery는 9가지 가이드라인만 체크리스트 항목에 선정되었다.

Table 3. Checklist of ease of disassembly for smartphone parts

Category	Guideline	 Display	 CPU processor	 WLAN /GPS /BT/FM	 Memory (NAND flash, SDRAM)	 Printed circuit board (PCB)	 Power management	 Battery	 Front & rear camera	 UI&sensor (ear-jack, MIC, antenna, speaker etc.)	 Mechanical parts (plastic, metal)	 Electro-mechanical connection (wire, cable)
Materials (M)	M1. 플라스틱 부품에 금속물질 삽입 최소화										<input type="checkbox"/>	
	M2. 합성물질 사용 최소화(화학적 물질 혼합)	<input type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	M3. 유해 물질 최소화	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M4. 재활용 불가능한 물질 사용 최소화		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M5. 원자재 종류 최소화	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	M6. 원자재 종류 식별 마크 표시	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fasteners & Connections (FC)	FC1. 범용 공구 사용	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	FC2. FC에 접근이 용이한 설계	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC3. Fastening points가 쉽게 식별되도록 설계	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC4. FC의 설계 개선을 통한 내구성 강화	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	FC5. 조립 위치 대칭화	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC6. 접착제 사용 최소화	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
	FC7. 조립방향의 단방향 설계	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC8. FC개수 최소화	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC9. 공구 개수 최소화	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
	FC10. FC 크기·무게·형상 표준화	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>					<input type="checkbox"/>	
Structure (SC)	SC1. 병렬 구조 설계	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	SC2. 구성부품 크기, 무게, 형상, 표준화	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	SC3. 접근 및 분해 지점이 쉽게 식별되도록 설계	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	SC4. 구성부품 파손이 일어나지 않도록 내구성 강화	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	SC5. 재활용 가능/불가능 구성부품을 군집하여 설계		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	SC6. 기능적으로 분리된 구성부품 설계	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	SC7. 구성부품 개수 및 종류 최소화											<input type="checkbox"/>
	SC8. Snap-fits 구조적용 등 부품 체결 단순화	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

3.4 스마트폰 분해 용이도 평가 결과

스마트폰 분해 용이도 평가를 위해 15개의 스마트폰을 대상으로 실험실 환경에서 평가가 가능한 네 가지 부품 front & rear camera, UI & sensor(ear-jack, MIC, antenna, speaker), mechanical parts (plastic, metal), electro-mechanical connection (wire, cable)에 대한 59개의 체크리스트를 사용하여 평가한 결과, Fig. 4와 같이 가장 높은 46점을 받은 Dell Streak mini 5 모델의 분해 용이도가 가장 낮은 22점을 받은 HTC One에 비해 2배 이상 높게 평가 되었다. HTC one 모델은 타 스마트폰에 비해 접착제를 많이 사용하거나 결합구조가 복잡한 것으로 조사되었다.

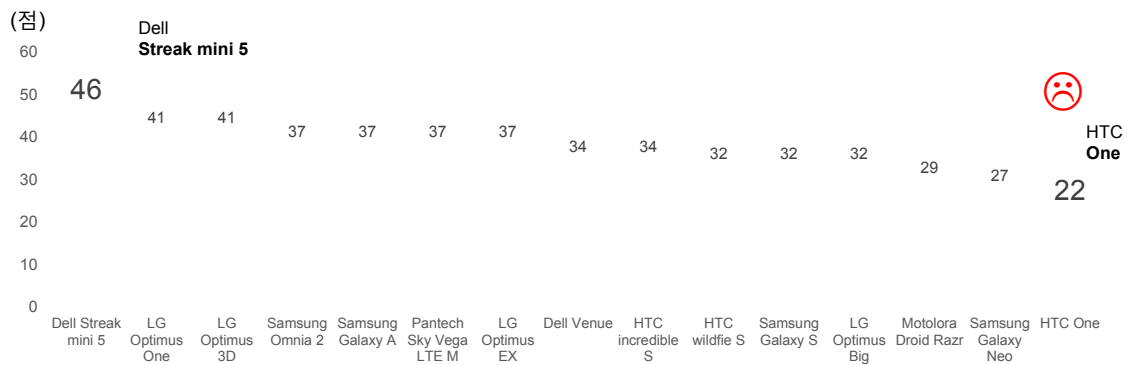


Fig. 4. Assessment of ease of smartphone disassembly

4. 고찰

본 연구는 기존 스마트폰을 보다 친환경적으로 개선하기 위해 분해 용이성을 향상시키는 설계 가이드라인을 제안하였다. 기존의 연구들은 분해 용이성과 재활용률 향상을 위해 설계 가이드라인을 수립하였고, 대상은 냉장고, 진공청소기, 복사기 등의 가전·사무용품으로 규격이 큰 제품에 적용될 수 있는 항목들로 구성되었다. 한편, 주요 부품들의 가치가 높은 스마트폰에 대한 분해 용이성과 재활용률 향상을 위해 설계 가이드라인을 수립의 필요성이 높아지고 있다. 스마트폰의 주요부품의 재사용 가치는 스마트폰을 포함한 모바일폰을 녹여 기기에 포함된 금속을 추출하여 재활용하는 가치에 비해 최대 37배나 높기 때문에, 기능과 내구성이 유지될 수 있도록 스마트폰의 각 부품을 쉽고, 빠르게, 그리고 안전하게 분리하여 재사용한다면 기존의 스마트폰에 비해 친환경적이며 높은 가치를 가질 수 있으며 분해 시간과 비용까지 절약할 수 있다. 따라서, 본 연구의 설계 가이드라인은 환경을 고려한 스마트폰 설계에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

본 연구는 각 부품별 가치가 높은 스마트폰 부품의 재사용 측면뿐만 아니라 원자재의 재활용 측면에서 재료의 중요성도 강조하였다. Kim & Yi (2006)는 스마트폰 출시 이전의 휴대폰 부품의 재사용률을 극대화하기 위한 설계 지침을 개발하였다. 특히, 고정 및 부품간 연결과 구조 측면에서는 휴대폰 주요 부품에 대해 설계 지침을 수립하였으나, 사용되는 재료 측면에 대한 설계 지침은 고려되지 않았다. 그러나, 본 연구는 재료 측면에서 여섯 가지 설계 가이드라인을 제안하여 분해를 보다 효율적으로 진행할 수 있으며 재사용이 어렵거나 불가한 부품의 재활용률을 높일 것으로 기대된다. 따라서, 가이드라인 중 유해

물질 최소화(M3)와 원자재 종류 식별 마크 표시(M6)는 분해자나 분해환경의 안정성 확보에도 유용할 것으로 사료된다.

본 연구는 기존 모바일 폰에 비해 구조가 더 복잡한 스마트폰의 주요 부품을 11가지로 확대 선정하여 분해 가이드라인 수립과 분해 용이도 평가 체크리스트를 개발하였다. Kim & Yi (2006)는 휴대폰의 주요 부품이 housing, battery, PCB, interconnector, ear-phone socket & antenna, charger 그리고 data pin & charger connector까지 총 일곱 가지로 구분되었으나 본 연구에서는 스마트폰의 주요 부품을 Table 4와 같이 총 11가지로 세분화하여 설계 가이드라인을 수립하고 체크리스트를 개발함으로써 보다 다양한 재료와 복잡한 구조를 가진 스마트폰의 기술적·디자인적 특성이 반영되었다.

Table 4. Comparison of parts of cellular phone and smartphone

No.	Kim & Yi (2006)	Present study
1	Housing	Mechanical parts (plastic, metal)
2	Battery	Battery
3	Printed circuit board (PCB)	Printed circuit board (PCB)
4	Interconnector	Electro-mechanical connection
5	Ear-phone socket & antenna	UI & sensor
6	Charger	
7	Data pin & Charger connector	
8		Front & rear camera
9		Display & touch screen
10		CPU Processor
11		WLAN/GPS/BT/FM
12		Memory (NAND flash + SDRAM)
13		Power management

추후 연구에는 보다 정확한 분해 용이도 평가를 위해 분해 능력이 유사한 분해자를 대상으로 분해 시간 측정과 분해 동작 분석이 추가적으로 고려되어야 한다. 본 연구는 스마트폰의 분해를 실험실 환경에서 가능한 부품 수준까지 분해하면서 시간을 측정한 결과 그림 5와 같이 display & touch screen의 분해 시간이 365.5초로 가장 오래 걸렸으며 battery의 분해시간이 평균 23.2초로 가장 짧게 나타났다. 그러나 각 분해자의 스마트폰 분해 능력에는 개인 차이가 있어 각 부품별 분해 시간의 편차가 크게 나타날 수 있다. 따라서, 보다 정확한 측정을 위해서는 동일한 제품에 대해 분해기술 수준이 비슷한 사람들로 비교 평가될 필요가 있다. 스마트폰은 부품이 작고 정교하며, 조립된 구조가 복잡하기 때문에, 모델에 따라 분해 단계별 분해 동작이 달라질 수 있고 분해 시간을 결정하는 중요한 요소 중 하나로 사료된다. 각 부품별 분해 동작 분석은 스마트폰 분해과정에서 어떠한 방법이 분해 시간이 많이 소요되는지 보다 정확하게 비교 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

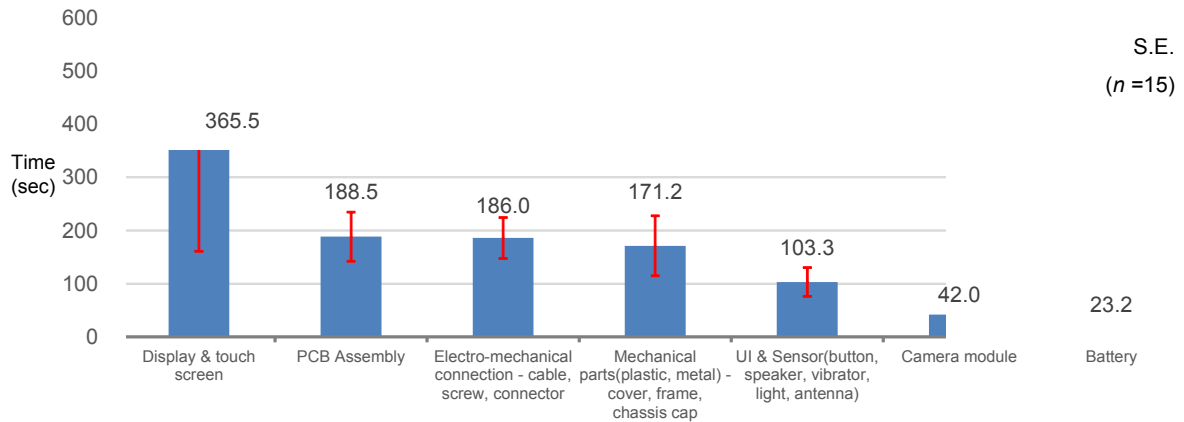


Figure 5. Comparison of disassembly time for smartphone parts

5. 사사

이 논문은 환경부의 지식기반 환경서비스(에코디자인) 전문인력양성 사업으로 지원되었습니다.

6. 참고문헌

- 1) International Data Corporation, "IDC Worldwide Mobile Phone Tracker", (2014).
- 2) 신지형, 하형석, "2011년~2014년 미디어보유와 이용행태 변화", ICT 통계분석센터, pp. 1~10(2014).
- 3) 임재명, 유지열, 장세정, 유재민, 김승혜, "2012년 인터넷이용실태조사", 방송통신위원회, 한국인터넷진흥원, pp. 47(2012).
- 4) 임재명, 유지열, 장세정, 이정환, 유재민, "2013년 인터넷이용실태조사", 방송통신위원회, 한국인터넷진흥원, pp. 47(2013).
- 5) 임재명, 장세정, 김민영, 이정환, "2014년 인터넷이용실태조사", 방송통신위원회, 한국인터넷진흥원, pp. 45(2014).
- 6) 환경부, "폐휴대폰 재활용률 40% 이하, 환경도 자원도 '퐁퐁'", (2013).
- 7) 홍승민, 정봉주, 민경범, 손동민, "EPR 제품 역공급망에서의 최적회수량 및 재활용량 결정", 대한산업공학회 공동학술대회 논문집, pp. 2491-2496(2012).
- 8) 환경부, "폐금속자원 재활용 대책", (2009).
- 9) 한국전자산업환경협회, "폐휴대폰 배출 측정 및 유통 매커니즘 연구 조사", (2011).
- 10) 아시아경제, "중고폰 2000만 시대 스마트폰 강국, 중고폰 수출국으로", <http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2013110613390018015>
- 11) Boothroyd, L. A., "Design for Assembly and Disassembly", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 41(2), pp. 625~636(1992).

- 12) Dowie, T. & Simon, M., "Guidelines for Designing for Disassembly and Recycling", *Manchester Metropolitan University*, pp. 1~10(1994).
- 13) Yi, H. C., Joo, H. H., Cho, G. I., "Disassemblability Assessment With Design For Ease-Of-Disassembly", *In Proceedings of the 1998 Spring Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 908~912(1998).
- 14) Desai, A. and Mital, A., "Evaluation of Disassemblability to Enable Design for Disassembly in Mass Production", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(4), pp. 265~281(2003).
- 15) Kim, C. S. and Yi, H. C., "The Development of the Design Guideline and the Comparative Evaluation For the Remanufacturing of a Cellular Phone", *In Proceedings of the 2014 Spring Conference of the Korean Society for Precision Engineering.*, pp. 124~128(2004).
- 16) Crowther, P., "Design for Disassembly-Themes and Principles", *RAIA/BDP Environment Design Guide*, pp. 1~9(2005).
- 17) Kim, C. S. and Yi, H. C., "Development of the Design Guideline to Increase the Reusing Rate of Cellular Phone Parts", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 23(8), pp. 108~118(2006).
- 18) Barsan, L., Barsan, A., and Bolos, C., "Design for Disassembly as an essential step in fulfilling the ecodesign goals: reuse, repair, remanufacture, recycle", *JIDEG - the SORGING Journal*, 2(1), pp. 21~24(2007).
- 19) Hultgren, N., "Guidelines and Design Strategies for Improved Product Recyclability", Unpublished master thesis, Chalmers university of technology, (2012).
- 20) Mule, J. Y., "Design for Disassembly Approaches on Product Development", *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(6), pp. 996~1000(2012).
- 21) Germani, M., Mandolini, M., Marconi, M., Morbidoni, A., Rossi, M., "A Case-Based Reasoning Approach to Support the Application of the Eco-Design Guidelines", *20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore*, pp. 81~86(2013).
- 22) Chien, J., "Reduction of End-of-Life Impacts Through Design for Disassembly (DfD)", *Berkeley University of California*, (2011).