

## 휴대폰 케이스의 지속가능성 평가 및 나노 입자를 사용한 전자기파 흡수성능 개선

강윤철\*(서울대학교 기계항공공학부 대학원), 정우균(서울대학교 기계항공공학부 대학원), 안성훈(서울대학교 기계항공공학부)

### Evaluation of sustainability of mobile phone case and improvement of electromagnetic shielding by nano particles

Y. C. Kang(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU),  
W. K. Jung(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU) and  
S. H. Ahn(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU)

#### ABSTRACT

In this paper, the concept of sustainability was applied to mechanical design and manufacturing of mobile-phone case. A new evaluation method to find products' good and weak point for sustainability was developed. Two mobile phones were evaluated using the evaluation tool. As a result, electro-magnetic (EM) wave was considered as a harmful factor of the products, and improved front panel was made using nano particles that absorb EM waves. The EM shielding tests revealed that silver nano powders absorbed EM while MWCNT had no effect.

**Key Words** : Sustainability(지속가능성), Design for Environment(환경고려설계), Electromagnetic shielding(전자파 차폐), Silver nano powder(은나노입자), Multiwall carbon nano tube(다중벽 탄소나노튜브)

#### 1. 서론

지속가능성을 고려한 설계는 기존의 환경 고려 설계를 기반으로 하여 사회적 책임과 경제적 효율의 개념을 더한 한차원 더 발전된 설계방법이다.

유엔 환경 계획(UNEP)에서 주도적으로 보급하고 있는 청정 생산 개념<sup>1</sup>에 따르면, 생산자들은 공정, 제품 그리고 서비스 등의 모든 분야에서 그 효율을 극대화 하여야 한다. 또한, 이와 동시에 인체와 환경에 미치는 영향을 최소화 하려는 노력을 병행해야 한다. 이러한 개념을 근거로 하여 많은 기업들이 환경을 고려한 제품생산을 시도해 왔는데, 1990년대에는 주로 생산 공정상에서 발생하는 오염원들을 제거하거나 감소시키는 데에 주된 노력을 해 왔다.

최근에는 구미 선진국 및 유럽에서 발달해온 LCA(Life Cycle Analysis)의 영향으로 제품의 재료수집 및 설계부터 폐기까지의 전 과정에 걸쳐서 환경에 미치는 영향과 환경비용발생을 최소화 하려는 쪽으로 연구를 진행하고 있는 실정이다<sup>2</sup>. 환경고려설계는 이러한 흐름을 제품 설계에 반영하고 있는

것으로, 제조 고려 설계(Design for manufacturing), 분해고려설계(Design for disassembly)등의 DFX 맥락에서 이름 붙여진 것이다.

한편, 최근 들어 지속가능성에 대한 사람들의 관심 증대와 함께 환경에 대한 고려에서 한걸음 더 나아가 제품에 대하여 사회적 책임과 인류의 지속가능한 발전에 대한 고민을 요구하는 소비자들이 늘어나고 있고 UN에서도 이 같은 흐름이 전 세계로 확산 되도록 노력을 기울이고 있는 실정이다<sup>3</sup>. 하지만, 국내에서는 선진화된 기업이라고 해도 겨우 초보적인 환경고려설계의 수준에서 머무르고 있는 것이 현실이다.

본 연구는 이러한 상황을 고려하여, 차세대의 소비흐름으로 대두되고 있는 지속가능성 개념을 제품 설계에 반영하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 지속가능성의 3대 축으로 여겨지고 있는 경제적 가치창조, 환경에 대한 배려, 사회적 책임구현<sup>4</sup>의 목표를 실제 제품에 구현하기 위하여 어떠한 방법이 필요한지에 대한 연구를 진행하였으며, 보다 효과적인 논의와 실제제품에의 적용을 위하여 그 범위를 핸드

폰, 특히 그 케이스로 한정하였다.

## 2. 지속가능성 평가방법

### 2.1. 지속가능성 평가방법의 개발

지속가능성을 제품에 구현하기 위해서 가장 먼저 필요한 것은 현재의 제품이 지속가능성 구현의 측면에 있어서 어느 정도 수준에 올라와 있는지를 파악하는 것이다. 그리고, 이러한 정보를 바탕으로 평가의 대상이 되는 제품이 어떠한 강점과 약점을 가지고 있는가 하는 것을 알아보고 약점으로 지적된 것에 대한 개선방안을 도출하여야 한다.

이를 위하여 기존의 여러 가지 환경성 평가 방법과 지속가능성에 대한 연구들을 참고하여, 새로운 지속가능성 평가방법을 개발하였다. 이 평가방법의 특징은 최근의 경향을 반영하여 제품의 전체 Life Cycle을 Premanufacture, Product Manufacture, Product Delivery, Product Use, Refurbishments & Recycle의 5 단계로 나누어 이에 대하여 평가를 진행하려는 시도를 했다는 점이다. 또한, 각각의 단계에서 중점적으로 살펴보아야 할 지속가능성과 관련된 사안을 Cycle, Energy Preservation(E.P.), Efficiency(Effi.), Sociality(Socia.), Safety, User Acceptance(U.A.)의 6개의 범주로 나누어 이를 매트릭스화 하였다.

### 2.2. 평가 매트릭스의 구체적인 평가방법

이 평가 매트릭스는 평가결과를 제품의 설계 과정에서 반영하기 위해서 매트릭스의 개별 셀(Cell) 하나하나에 5점 만점의 평가 점수를 배정하고 있다. 이 평가 점수를 매기는 방법은 이 평가 매트릭스의 활용을 위해서 아주 중요하기 때문에 기존의 환경성 평가 방법들에 대한 연구를 참고하여<sup>5</sup> 가장 적절하다고 생각되는 셀에 대한 평가방법을 연구하였다.

그 결과 제품의 체크리스트 평가방법을 응용하여 각각의 셀에 해당하는 체크리스트를 개발하고 그 체크리스트들을 종합적으로 고려하였다. 이렇게 점수를 매긴 후에는 여러 가지 용도로 사용 가능한데, 각각의 행의 합과 열의 합의 평균치를 서로 다른 제품끼리 스파이더 웹과 같은 방법을 사용하여 비교함으로써 소비자가 한눈에 비교하기 쉽도록 사용하는 용도와, 또 상대적인 우위에 있는 요소와 상대적으로 열세를 보이는 요소를 찾아내어 설계에 반영 하는 용도로 쓰이게 된다.

## 3. 평가방법의 적용

### 3.1. 평가 예제 - 핸드폰 케이스

이 평가 방법을 우리가 예제로 삼고 있는 핸드폰

의 외장 케이스에 적용하여 보았다. 여기서 핸드폰의 외장 케이스란 핸드폰의 PCB기판부분과 LCD패널 부분을 제외한 모든 부분을 의미한다. 우리는 이 평가 방법을 최근에 출시된 P사의 슬라이드형 핸드폰과 폴더형 핸드폰 두 종류에 적용하여 보았다. 이 평가 결과 환경적으로 좀 더 나은 평가 결과가 도출되는 핸드폰을 선정하여 취약점 개선을 시도하였다.

### 3.2. P사의 슬라이드형 핸드폰 케이스 평가

Table 1. Evaluation of sliding mobile phone

	Cycle	E. P.	Eff.	Socia.	Safety	U. A.
Premanufacture	3/5	N/A	3/5	3/5	5/5	N/A
Product Manufacture	2/5	3/5	3/5	N/A	4/5	N/A
Product Delivery	3/5	3/5	3/5	N/A	2/5	N/A
Product Use	4/5	4/5	3/5	2/5	4/5	4/5
Refurbishments & Recycle	1/5	N/A	2/5	2/5	2/5	2/5

Table 1은 P사의 슬라이드형 핸드폰에 대한 평가 결과를 나타낸 것이다. 이 평가에서 N/A로 표시된 것은 해당되는 셀의 평가내용이 핸드폰 케이스와는 무관한 내용이거나 제작 관련 정보의 보안유지에 따른 제약으로 인한 정보 부족으로 판단하지 못한 경우이다. 평가를 하고 평균점수를 도출함에 있어 N/A로 표시되는 부분은 제외하는데, 서로 다른 제품을 평가 할 때마다, 이 N/A로 표시되는 셀(cell)은 달라질 수 있다.

### 3.3. P사의 폴더형 핸드폰 케이스 평가

Table 2. Evaluation of foldable mobile phone

	Cycle	E. P.	Eff.	Socia.	Safety	U. A.
Premanufacture	2/5	N/A	3/5	3/5	5/5	N/A
Product Manufacture	1/5	3/5	2/5	N/A	2/5	N/A
Product Delivery	3/5	3/5	3/5	N/A	2/5	N/A
Product Use	4/5	4/5	1/5	2/5	4/5	3/5
Refurbishments & Recycle	1/5	N/A	1/5	2/5	1/5	2/5

아래의 Table 2는 폴더형 핸드폰에 대한 평가 결과를 나타낸 것이다. 앞에서 사용한 방법과 마찬가지로의 방법을 사용했으며, 표의 Refurbishments & Recycle 행을 살펴보면 알 수 있듯이, 이 단계에서의 평점 평균이 1.4로 다른 행에 비하여 낮은 것을 포함하여 전체적인 평가 점수의 구성은 슬라이드형 핸드폰 케이스 평가와 비슷한 평점을 보인다. 다만, 세부

적인 점수를 살펴보면 약간 차이를 보이는데 이는 다음 절에서 구체적으로 비교해 보도록 한다.

### 3.4. 각 핸드폰 케이스의 평가 비교

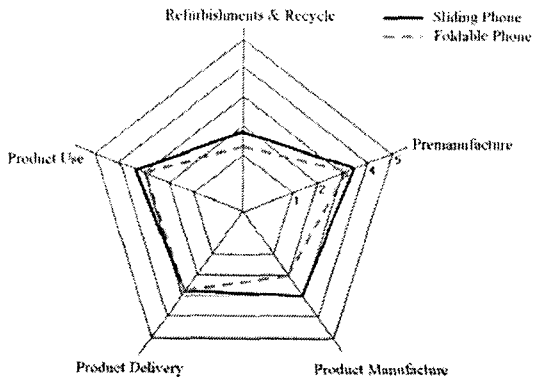


Fig. 1 Spider web diagram of life cycle stages

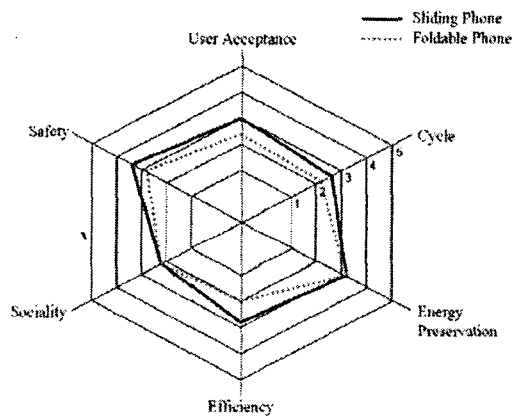


Fig. 2 Spider web diagram of six category

평가 결과의 비교를 보다 쉽게 하기 위하여 스파이더 웹 형태의 비교방법을 이용하였다. 이 방법의 장점은 제품의 환경성 정보를 한눈에 쉽게 알아 볼 수 있다는 점과 하나의 웹에 여러 제품의 정보를 표기하거나 넓이를 비교해 보는 식으로 비교에 편리하다는 점이다. 위의 Fig 1은 다섯 개의 Life Cycle Stage 별로 셀이 가지는 점수를 평균하여 스파이더 웹 그래프에 나타낸 것이다. 이 그래프를 참고하면, 각각의 단계에서 어느 정도의 환경적 영향을 미치는지를 한눈에 알아 볼 수 있다. 그리고, 포함하고 있는 넓이의 단순 비교만으로도 어느 제품이 더 지속가능성을 고려한 제품인지를 비교 할 수 있다.

예제로 살펴 본 두 제품의 경우 그래프에서 살펴 볼 수 있는 것처럼, 폴더형 핸드폰에 비하여 슬라이딩형 핸드폰이 더 지속가능성의 측면에서 우수한 핸드폰임을 알 수 있다. Fig 2는 여섯 개의 범주별로

셀이 가지는 점수를 평균하여 스파이더 웹 그래프에 나타낸 것이다. 위에서 비교해 본 것과 마찬가지로의 방법으로 비교하면 쉽게 각각의 범주별로 더 나은 지속가능성을 보이는 제품과 전체적으로 지속가능성을 더 잘 구현한 제품을 한눈에 알아볼 수 있다.

그래프를 잘 살펴보면, 전체 Life Cycle Stage중에서 사용 후 Refurbishments & Recycle 단계에서의 평점 평균이 특히 낮았는데 이는 분석에 사용된 예제 휴대폰 케이스가 사용 후 재활용 및 재이용하기가 어려움을 보여주는 결과이다. 6가지의 평가 범주 중에서는 크게 환경성 부분과 사회성 부분으로 범주를 나누어 보았을 때에 환경성 측면에서는 역시 재료의 재활용이 용이하지 않다는 측면에서 Cycle 범주에서의 평균 점수가 낮았고, 사회성 측면에서는 Sociality 범주에서 평균점수가 낮음을 알 수 있다. 특히 Sociality 범주에서 점수가 낮게 나온 이유는 휴대폰 사용에 있어서 사회적으로 이슈가 되고 있는 전자파의 문제를 케이스 측면에서 좀 더 개선할 수 있기 때문이다.

## 4. 평가를 통한 개선 - Improving Sociality

### 4.1. 개선 사항의 도출

앞선 평가 결과를 토대로 여러 가지 개선 사항을 생각해 볼 수 있지만, 본 연구에서는 우선 핸드폰 케이스의 재료선택과 관련이 있는 Sociality 부분의 개선을 첫 번째 과제로 삼았다. 현재 사용되고 있는 휴대폰의 경우 따로 전자파 차폐에 유리한 재료를 집착하거나 아니면 PCB기판 자체에서 전자파 차폐를 시도하고 있지만, 외부 케이스를 형성하는 플라스틱의 재질 개량문제는 간과하고 있었다. 평가에서 휴대폰 케이스의 사회성 평가점수가 낮았던 주된 이유가 이것이었기 때문에 지속가능성의 개선을 위한 첫 번째 과제로 전자파 차폐를 위한 휴대폰 케이스의 재질 개선 방안을 연구하였다.

### 4.2. 핸드폰 케이스 재료 개선

#### 4.2.1. 전자파 방출 측정 및 재료 제작

재료개선 전후의 휴대폰에서 방출하는 전자기파의 양을 측정하여 재료의 개선이 얼마만큼의 전자기파 차폐 효과를 나타내는지 객관적으로 측정해 보도록 한다. 휴대폰에서의 전자파 방출측정은 휴대용 전자파 측정기를 이용하여 휴대폰의 전면 상·하체에 대하여 자기장(0 ~ 100mG)과 전기장(0 ~ 100kV/m), 그리고 마이크로파( $mW/cm^2$ ) 범위에 대하여 각각 측정하였는데, 대기중인 평상시와 전화가 울때, 전화를 걸때, 그리고 통화중인 경우에 대하여 측정하였다.

본 연구에서 기존 핸드폰의 ABS 플라스틱을 대

제하기 위해 선택한 시편은 1차 전자파 방출 특성 측정결과 가장 높은 신호를 방출하며, 인체에 직접적인 접촉이 많은 버튼 앞면 판에 대하여 우수한 전자파 차폐특성을 지닌 실버 나노 파우더(Silver Nano Powder, SNP)와 다중벽 탄소나노튜브(Multi Wall Carbon Nano Tube, MWCNT)를 이용하여 제작하였다. 이 실험은 실리콘을 이용하여 주형을 제작하고 에폭시 수지에 각각 30vol%의 첨가제를 첨가후 120°C의 온도에서 30분간 경화시켜 시편을 제작하였다.

#### 4.2.2. 전자파 방출 측정 및 재료 제작

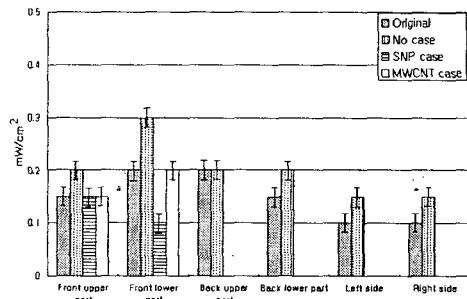


Fig 3. Radio/Microwave field at in calling

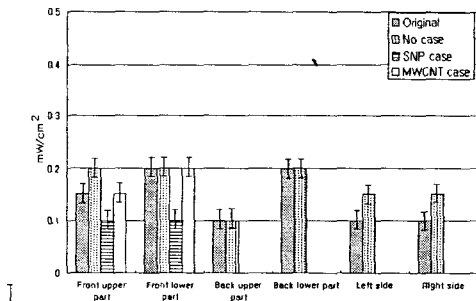


Fig 4. Radio/Microwave field at Out Calling

새로 제작된 시편의 전자파 차폐 성능을 측정하기 위하여 전기장, 자기장, 마이크로파의 세가지 전자파를 측정하였다. 측정 대상은 기존 핸드폰에 케이스가 없는 경우, 케이스가 있는 기존 핸드폰, 그리고 SNP 30vol%의 시편이 적용된 핸드폰과 MWCNT 30vol%의 시편이 적용된 핸드폰, 이렇게 네 가지의 경우에 대하여 측정하였다.

Fig3 과 Fig 4는 인체에 유해한 전자파로 규제되고 있는 마이크로파의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 측정 결과를 분석해 본 결과 우리가 후보 재료로 선정한 재료 중에 실버 나노 파우더 복합재의 전자파 차폐 특성이 각 측정에 대하여 주목할만한 개선성과를 보이고 있음을 알 수 있다.

이 실험을 토대로 하여 지속가능성을 개선한 휴대폰 케이스의 재질을 실버 나노 파우더(Silver Nano Powder, SNP)로 선택하게 되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 지속가능성이라는 새로운 개념을 제품의 개념 및 상세 설계 시에 반영하기 위한 여러 가지 방법을 강구하였다. 먼저, 제품이 지속가능성의 측면에서 어느 정도의 수준에 와 있는지, 강점과 약점은 무엇인지를 자체적으로 개발한 평가 방법을 통하여 파악하려는 시도를 하였다. 이를 위하여 핸드폰 케이스에 평가방법을 적용하여 보았으며, 그 결과 핸드폰 케이스의 지속가능성 측면에서의 약점을 파악해 낼 수 있었다. 또한, 파악된 약점 중 하나인 케이스 자체의 전자파 차폐성능을 개선하기 위하여 여러 가지 실험 재료를 통한 실험을 실시하였으며, 그 결과 적절한 차폐 성능을 갖는 새로운 핸드폰 케이스의 재료를 선정할 수 있었다. 앞으로, 평가방법을 통하여 파악된 약점 중에 나머지 부분을 새로운 핸드폰 케이스 디자인을 통하여 개선하고 이 두가지를 통합한 새로운 케이스 디자인을 제안하고 프로토타입까지 제작하는 연구를 계획하고 있다.

## 후기

서울대 BK21과 실험에 조언 및 자료를 제공한 펜택엔큐리텔 제품신뢰성 3팀의 정준규 차장에게 감사드립니다.

## 참고문헌

1. United Nations Environment Programme, UNEP's 7<sup>th</sup> International High-Level Seminar on Cleaner Production(CP-7), <http://www.uneptie.org/pc/cp7/>, 2005
2. Kosuke Ishii, "Design for Environment and Recycling: Overview of Research in United States", Invited Presentation, CIRP 5th International Seminar on Life Cycle Design, September 17, 1998, Stockholm, Sweden.
3. UNEP, "Sustainable consumption - A global status report", 2002
4. 김성덕, 이종호, 은중환, 남택진, 강홍윤, 권몽주, 윤창현, 지속가능제품개발을 위한 기반구축 방안? 국가청정생산지원센터, pp.3, 2004.
5. 하상선, ?실용적 친환경 설계 방법론 전자제품을 중심으로? 아주대학교 대학원 환경공학과 석사학위논문, 1997