

## 지속가능한 제품재설계를 위한 신뢰성기법의 적용방법

이종범\* · 정 원\*\*

한국표준협회 신뢰성기술경영센터\* · 대구대학교 산업시스템공학과\*\*

### Application of Reliability Technology for Sustainable Product Redesign

Jong-Beom Lee\* · Won Jung\*\*

Reliability Technology Management Center, Korean Standards Association\* ·  
Department of Industrial and Systems Engineering, Daegu University\*\*

#### Abstract

One of the recent hot issues in the manufacturing business is how to incorporate environmental attributes into product and process design. Design for environment considers the potential environmental impact of a product throughout its life-cycle. In the case of something breaks, it can become waste immediately, hence reliability and durability is the essential part of product design. This paper presents reliability technology for sustainable product design to improve the product longevity that extends performance life, serviceability and durability. The presented method will help to develop a sound design and avoid weak links to minimize the waste.

Keywords: redesign, environment, reliability, recycling, sustainable

## 1. 서 론

환경문제는 모든 국가의 생존을 위한 중대한 문제가 되었으며, 인류생존을 위한 가장 기본적인 전제조건이 되고 있다. 브라질, 러시아, 인도, 중국 등 BRICs로 불리는 공업국들의 급진적인 에너지사용의 증가와 막대한 화석연료의 소비는 위협적으로 환경파괴를 초래하고 있으며, OECD국가들의 각종 유해화학물질의 배출과 과도한 연료소비 역시 환경파괴물질을 급격하게 증가시키고 있는 실정이다 월드워치연구소(2008).

인구 증가와 인류의 문화수준 향상등은 보다 더 많은 에너지소비를 불러오고 있으며, 전기 및 전자공업에서부터 화학, 중공업분야 이르는 눈부신 발전과 공학적인 발전은 인류사회를 복지사회와 미래지향적인 사회로 변환시키는데 지대한 공헌을 하였으나, 발전의 이면에는 환경파괴와 유해물질 배출이라는 지구환경의 파괴적인 부분도 동시에 양산시킴으로써 21세기 현재 인류의 가장 큰 난제로 인식되고 있다. 특히, 일반 상품에서부터 중공업 제품까지 발생되는 각종 폐기물과 제품의 짧은 내구성으로 인한 각종 오염물질의 과다 배출은 지구생태계의 광범위한 오염을 초래하고 있다 Stead, E.W. & Stead J.G.(2004).

따라서, 본 연구에서는 폐기물과 각종 오염물질을 줄이기 위한 대안으로써 제품의 설계방식을 바꾸어서 친환경적이면서 내구성이 확보되고, 성능이 우수한 제품으로 재설계하는 방법론을 연구함으로써 지속가능한 제품 재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론을 제시하고자 한다.

## 2. 제품재설계 기법

제품재설계는 기존의 환경위해적인 제품의 형태를 친환경적으로 바꾸기 위한 설계형태를 정의한다. 제품의 재사용, 재활용 및 재제조를 통한 자원순환성을 높이고, 기존의 환경위해적인 제품의 형태를 친환경적으로 바꾸기 위한 설계방법론을 정의한다. 즉, 기존제품의 성능을 유지하면서 제품의 내구성과 신뢰성을 높여 제품수명주기(life cycle)를 연장하기 위한 방법론의 적절한 대안을 강구하여 친환경적인 제품으로 재설계하기 위한 목적으로 진행된다 Rurgelman, R.A et al(2004).

제품재설계 기술은 지속가능성을 고려한 설계(sustainable product design)기술로서, 청정생산기술, 환경, 정치, 사회, 성별, 인간공학적 요소와 시장성(경쟁력)을 고려한 설계이며, 환경적인 속성을 제품설계 및 공정설계에 구체화할 수 있는 체계적인 방법을 다룬다. 특히 친환경설계(design for environment)와 관련하여서는 제품의 life-cycle을 통하여 나타날 수 있는 잠재적인 환경영향, 즉, 독성화학물질의 방출, 재생불능형태의 자원소비, 또는 과도한 에너지 소비 등을 고려한다.

제품재설계 기술의 기본인 친환경설계 방법론은 다음과 같다 Stead, E.W. & Stead J.G.(2004).

- 1) 다음 방법론의 구체적인 실행목표와 프로세스 및 기술을 확립한다.
  - 분해를 고려한 설계 DFDa(Design For Disassembly)
  - 보수(회복)을 고려한 설계 DFRe(Design For Refurbishment)
  - 부품 재활용성을 고려한 설계 DFCR(Design For Component recyclability)
  - 소재 재활용성을 고려한 설계 DFMR(Design For Materials Recyclability)
  - 소재 대체를 고려한 설계 DFMS(Design For Material Substitution)
  - 자원절감을 고려한 설계 DSR(Design For Source Reduction)
  - 쓰레기절감을 고려한 설계 DFWR(Design For Waste Reduction)
  - 제품수명연장을 고려한 설계 DPLE(Design For Product Life Extension)
  - 재제조를 고려한 설계 DFRM(Design For ReManufacturing)
  - 에너지 및 소재복구를 고려한 설계 DFEMR(Design For Energy and Materials Recovery)
- 2) 제품재설계를 위한 적용TOOL의 선정
- 3) 기본원리, 개념과 프로세스의 확인, 시스템운용비용의 분석, 시스템의 안정성 혹은 안전성 분석
- 4) 지속가능경영을 위한 제품재설계 요건분석 및 실현가능성, 완전성, 정확성, 분명도, 명료성, 검증성, 기능지향, 추적가능성, 유일성, 프로세스 자유도등의 분석
- 5) 물리적 & 화학적 해결 프로세스 설계 활동
- 6) 논리적 해결 프로세스 설계 활동
- 7) 효과성 평가 및 의사결정 프로세스의 실시
- 8) 제품재설계 시스템 프로세스의 규격화
- 9) 제품으로 변환
- 10) 검증과 확인
- 11) 지속가능경영을 위한 사업관리, 위험관리

### 3. 제품재설계의 적용방법

현업적용을 위한 방법으로는 지속가능한 제품개발이 이루어질 수 있는가에 대한 타당성 조사를 위해 현재 생산되고 있는 제품과 생산시스템에 대한 재검토가 필요하다. 또한 제품재설계 이전과 이후의 다양한 방법론의 적용을 어떤 방식으로 실무에 적용할 것인가를 분석하기 위해 현재의 관리체계에 대한 분석이 이루어져야 한다.

### 3.1 현재 생산의 재검토

생산재검토를 통하여, 환경리스크를 최소화 할 수 있는 지속가능한 제품개발의 타당성을 조사하여야 한다. 기업의 입장에서는 안전하고 지속가능경영을 위한 신뢰성 있는 제품을 개발하여야 하는데, 이를 달성하기 위해서는 Design For Reliability를 실행하여야 하며, DoD(2000)를 활용하는 위험물질에 대한 광범위한 환경리스크의 조사에 기반하는 제품재설계를 하여야 한다.

제품재설계에 대한 타당성의 조사 절차는 1)타당성의 추출, 2)제품재설계 재료의 구성요건 조사, 3)재설계 부품의 구성조건 조사, 4)제조립의 접근방안 조사, 5)제품재설계 실행, 6)재설계된 제품의 사용 및 현장적용에 관한 조사, 7)제품 재설계 이후의 처분(폐기)단계에 대한 조사 실시로 진행되어야 한다.

일반적인 제품재설계 방법론은 품질경영방법론과 신뢰성기술경영방법론의 결합에 의하여 보다 더 진보된 재설계방안을 강구할 수 있다고 판단된다. 특히, 제품재설계를 위한 기본적인 접근 방법론은 DOE(Design Of Experiments), RD(Robust Design), CPM(Critical Parameter Management), QFD, FTA, FMEA, DRBFM(Design Review Based on Failure Mode analysis) 등이 기본적인 Tool로 인식되어 있다.

제품재설계에 대한 접근은 미시적인 관점의 접근과 생태계 중심의 접근이 있으며, 올바른 제품재설계 방법론은 환경리스크의 조사 및 연구를 기반으로 하는 거시적이면서도 경제성을 중시하는 방향으로 제품재설계가 이루어져야한다.

### 3.2 제품재설계를 위한 관리체계 분석

제품재설계에 대한 관리체계의 기본은 PLM(Product Life-cycle Management)에 근거하여야 하며, PLM을 실행하기 위해서는 제품재설계 이전과 이후의 다양한 방법론의 적용을 어떤 방식으로 실무에 적용할 것인가에 대해 분석하여야 한다. 특히, 제품재설계에 대한 관리는 복잡하기도하지만 제품재설계 자체가 가지는 위험성을 어떻게 증명하고 얼마나 적합성이 높은 분석을 통하여 실무에 적용시킬 것인가 하는 문제를 해결하여야 하기 때문에 보다더 정밀한 검토방법론을 적용하여야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로써 IPPD(Integrated Product and Process Development) 방법론이 있으며, 이개념은 동시공학적인 엔지니어링 방법론을 기본으로 하고 있다. 물론 Process측면에서 MRM(Manufacturing Resource Management)을 생각할 수 있으며 이러한 방법론은 PD의 모든 과정에서 검토 되고 적용되어야 한다.

제품재설계의 실행에 따른 관리는 informational design단계, Conceptual design단계, Detailed design단계, Production preparation단계, Product launch단계에 이르는 모든 과정을 어떻게 관리할 것인가에 중점을 두고 관리하여야 하며, 필요한 정보와 지식의 범위는 Project Management, Sustainability management, Marketing management, Product design, Process design, Supply management, Quality management, Cost management, Reliability management등의 관리가 이루어져야 한다.

제품을 재설계한다는 것은 말처럼 쉬운 일이 결코 아니며, 인간이 저질러놓은 각종 파괴 행위를 자연으로 되돌려 놓기 위한 것을 전제로 하여야 하기 때문에 제품재설계이전의 상태에 대한 대안으로서 무엇을 어떻게 바꿀 것 인가를 모색하자는데 문제의 핵심이 있다고 보아야 한다. 따라서, 기존에 인간이 파괴한 각종 자연환경을 파괴당시에 사용하였던 각종 공학적인 메커니즘을 다시 사용함으로써 파괴당시에 적용되었던 공학적인 시스템을 반추하여 문제점을 재확인하고 해당 문제점에 대한 회복방안을 설계하고 재설계하자는데 있다.

### 3.3 제품재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방안

제품재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론과 재설계기법을 소개하면 다음과 같다.

- 1) DFDa(Design For Disassembly) : 분해조립을 위한 설계기법을 정의하고 있으며 설계 단계에서 제품의 분해를 용이하게 설계하는 기법이다.
- 2) DFRe(Design For Refurbishment) : 제품외관을 새롭게하는 설계기법을 정의하고 있으며 설계단계에서 제품의 외관을 일정기간사용이후에 새롭게 바꿀 수 있도록 설계하는 기법이다.
- 3) DFCR(Design For Component recyclability) : 부품을 재생 이용할 수 있도록 설계단계에서 설계함으로써 부품을 일정기간동안 계속사용할 수 있게 설계하는 기법이다.
- 4) DFMR(Design For Materials Recyclability) : 재료를 재생 이용할 수 있도록 설계단계에서 설계함으로써 재료의 이용을 지속적으로 사용할 수 있게 설계하는 기법이다.
- 5) DFMS(Design For Material Substitution) : 재료교체를 용이하도록 설계단계에서 설계함으로써 재료의 화학적인 치환 및 물리적인 교체의 실행이 지속적으로 이루어질 수 있도록 설계하는 기법이다.
- 6) DSR(Design For Source Reduction) : 자원저감을 위한 설계를 설계단계에서 실행함으로써 제품에 적용되는 각종자원을 적게 사용하도록 설계하는 기법이다.
- 7) DFWR(Design For Waste Reduction) : 폐기물 저감형 설계기법을 정의하고 설계단계에서 폐기물이 적게 배출되도록 설계하는 기법이다.
- 8) DPLE(Design For Product Life Extension) : 제품수명연장을 위한 설계기법을 정의하며, 설계단계에서 신뢰성공학적인 다양한 방법론을 적용함으로써 제품 수명을 설계단계에서 예측하고 확보하는 기법이다.
- 9) DFRM(Design For ReManufacturing) : 재생산을 위한 설계기법을 정의하며, 제품의 설계단계에서 제품 재생산을 전제로 하여 설계하는 기법이다.
- 10) DFEMR(Design For Energy and Materials Recovery) : 에너지와 재료를 재생할 수 있도록 하는 설계기법을 정의하며, 설계단계에서 에너지와 재료를 지속적으로 사용할 수 있도록 설계하는 기법이다.

위에서 열거한 신뢰성기법의 실행을 위해서는 구체적 Tool을 적용하는 것이 좋다. 예를 들면, 제품수명연장을 위한 설계기법인 DPLE의 Tool을 열거하면 Hazard Rate Model, ALT

Model, AFT Model, PHA, FMEA, FTA, QFD, 신뢰성성장시험, 신뢰성시험설계, DOE, RAMS System 등이 있다 Eisayed, A. E.(1996), Lewis, E.E.(1997), Kalbfleisch, J.D. & Prentice, R.L.(2002).

제품재설계를 실행하기 위해서는 기본적으로 신뢰성기술경영을 토대로 실무적인 접근이 진행되어야 하며 제품재설계를 위한 복합적인 노력을 기울일 때 제품재설계는 성공적으로 실행될 것으로 본다. 제품재설계기법을 설계관리에 적용하기 위해서는 기본적인 생명공학, 화학, 물리, 기계공학, 전자공학, 전기공학, 산업공학, 통신공학, 기상학, 수리학, 지질학, 토목공학등의 종합적인 각종 공학적 접근이 수반되어야 한다. 이는 제품재설계 상태를 관리하기 위해서는 단편적인 공학적 해법과 시스템공학적 접근대안만으로는 한계가 있으며, 복합적인 공학적 접근만이 제품재설계를 실행할 수 있기 때문이다.

## 4. 결 론

자연자원주의솔루션의 창립자인 헨터로빈스 Presidio(프리시디오)경영대학 교수는 지속가능 프레임워크를 3가지로 대별하고 있다. 첫 번째는 시간벌기 : 모든 자원을 더 생산적으로 사용하여 지구가 직면한 도전을 신속하게 처리하기 위한 시간을 벌기위한 방법을 강구할 것을 주장하고 있는데, 이것은 제품의 신뢰성향상을 통한 제품사용기간을 늘리자는 주장이다. 두 번째는 방식 재설계 : 생명모방과 ‘요람에서 요람까지’와 같은 접근법을 이용하여 모든 제품을 만들고 서비스를 제공하는 방식이며, 이러한 방식이 제품재설계의 접근방안이 된다고 본다. 세 번째는 제도관리 : 인간과 자연 자원을 회복하기 위한 제도를 의미하는데 물건을 적게 사용하면서 인간의 욕구가 충족되고 편익이 증가하며 지금보다 수준 높은 삶을 제공할 수 있다는 주장이다.

결론적으로 굳이 헨터로빈스 교수의 주장을 고려하지 않는다고 해도 제품을 오래사용하고, 재활용하고, 자연생태계를 파괴하지 않는 방법론을 개발해야하는 것은 이제 현생 인류의 숙명적인 과업이 되었다고 볼 수 있다.

따라서, 이제는 모든 제품의 개발 및 생산 유통에 있어서 제품재설계를 고려하여야 하며 이러한 제품재설계가 보편화 될 때 지구온난화 및 생태계 파괴는 최소화 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] Stead, E.W. & Stead J.G.(2004), Sustainable Strategic Management, SHARP.
- [2] 월드워치연구소(2008), 탄소경제의 혁명, 2008지구환경보고서.
- [3] Eisayed, A. E.(1996), Reliability Engineering, Addison Wesley Longman.
- [4] Rurgelman, R.A, Christensen C.M & Wheelwright S.C.(2004), Strategic Management of Technology and innovation, McGraw Hill.
- [5] DoD(2000), MIL-STD-882D, Preliminary Hazard Analysis.
- [6] Lewis, E.E.(1997), Introduction to Reliability Engineering, Wiley.
- [7] Kalbfleisch,J.D. & Prentice, R.L.(2002), The Statistical Analysis of Failure Time Data, Wiley Interscience.