

지속가능한 제품 재제조를 위한 제조공정설계방법론에 관한 연구

A Study on the manufacture process design Method for the Sustainable Product Remanufacturing

이 중 범* · 조 재 립**

Jong-Beom Lee* · Jai-Rip Cho**

Abstract

Recently Environmental issues is Product development for ease of disassembly and recycling requires methodical toolboxes and respective infrastructures of information and communication technology. Therefore, today's designers have a very high level of product responsibility as disassembly is a major cost factor of product recycling. A study on the product redesign Methods and tools for sustainable management.

I. 서 론

지구환경의 오염은 대량생산체제와 대량소비에 따른 폐기물의 대량 유출에 따른 결과이며 대량생산의 남발로 인하여 지구자원의 고갈과 환경물질 과다 배출로 인한 각종 부작용과 자원 순환계의 이상은 심각한 지경에 있다.

우리나라의 경우만 보더라도 1960년대 저개발 상태이면서 경공업 중심의 산업화 초기단계의 자연 생태계는 건강하면서도 자연이 살아숨쉴 수 있는 생태계를 유지하였으나, 1970년대 중반 이후부터 시작된 전국토의 거센 산업화 바람은 자연생태계의 순환 고리를 위협할 정도로 심각한 환경파괴가 시작되는 시기였다고 볼 수 있다. 산업화 이후의 자연의 파괴속도는 급격하게 빠른속도로 이행되고 있으며, 고비용 사회로 변화하면서 더욱더 환경파괴의 가속도는 높아지는 추세이다.

특히, 주거의 형태가 아파트 등의 공동주택의 형태로 변화되면서 에너지 및 자원의 소비가 더욱더 대형화 혹은 대량화 되면서 환경파괴는 건잡을 수 없이 가속되는 실정에 있다.

* 한국표준협회 QM신뢰성팀

** 경희대학교 공학대학

더군다나 우리나라의 실정은 부존자원이 절대적으로 부족한 상황이어서 현재와 같이 고비용의 사회적 소비구조를 지속할 경우 심각한 사회적 문제 뿐만이 아니라 생태계 순환을 파괴하는 심각한 문제에 봉착 할 위기에 직면하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 폐기물과 각종 오염물질을 줄이기 위한 대안으로써 지속가능한 제품 재제조를 위한 제조공정설계방법론에 관한 연구를 함으로써 지속가능한 제품 재제조를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론을 제시하고자한다.

- 지구환경오염은 대량생산과 대량소비 및 대량폐기에 따른 천연자원의 고갈과 환경배출물의 증가에 기인함
- EU 연합은 엄격한 재활용 요구사항으로서 2015년까지 95%의 폐차 재활용 목표치를 세우고 있으며, 환경정책 및 규제가 제품중심으로 전환되고 있음.
- 재제조산업의 국내시장 잠식을 위해 선진국은 FTA를 통해 국내 부품 재제조시장의 개방을 요구하고 있음.
- 따라서, 폐기물에 대하여 경제성과 환경성을 동시에 제고할 수 있는 효율적인 자원순환형시스템 구축의 필요성이 절실함.
- 자원순환형 재제조산업이 활성화되면 에너지 및 자원을 신제품 생산에 비해 80~90%까지 절감할 수 있으며, 신규 고용창출 효과와 수출산업으로의 발전가능성도 기대할 수 있음.

II. 이론적 배경

1. 제품재제조를 위한 제조공정설계이론의 개요

제품재제조란 기존의 환경위해적인 제품의 형태를 친환경적으로 바꾸기 위한 제품의 재제조 형태를 정의하며, 기존제품의 성능, 내구성, 신뢰성을 그대로 유지하면서 보다 향상된 특성을 지니면서 재제조 되어야한다.

제품재제조 이론으로는 1)DFDa(Design For Disassembly), DFRe(Design For Refurbishment), DFMR(Design For Component recyclability), DFMS(Design For Material Substitution), DSR(Design For Source Reduction), DFWR(Design For Waste Reduction), DPLE(Design For Product Life Extension), DFRM(Design For ReManufacturing), DFEMR(Design For Energy and Materials Recovery)등의 실행목표 선정.

2)제품재제조를 위한 적용TOOL의 선정. 3) 재제조를 위한 제조공정설계 및 기본원리, 개념과 프로세스의 확인, 시스템운용비용의 분석, 시스템의 안정성 혹은 안전성 분석. 4) 지속가능경영을 위한 제품재제조 요건분석 및 실현가능성, 신뢰성, 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) 효

과성 평가 및 의사결정 프로세스의 실시, 8) 제품재설계 시스템 프로세스의 규격화, 9) 제품으로 변환, 11) 검증과 확인, 12) 지속가능경영을 위한 사업관리, 위험관리 등으로 접근할 수 있다.

2. 제품의 환경리사이클을 향상하기 위한 제품

재제조를 위한 신뢰성기법의 적용방법론 연구

제품의 환경리사이클을 향상하기 위한 제품재제조기법의 적용방법론은 기존의 환경위해적인 제품의 형태를 친환경적으로 바꾸기 위한 설계방법론에 근거하며, 기존제품의 성능을 유지하면서 친환경적인 제품으로 재설계하여 제품의 내구성과 신뢰성을 유지하기 위한 방법론의 적절한 대안을 강구하기 위한 목적으로 진행되어야 한다.

Ⅲ. 현업적용을 위한 PATTERN연구

현업적용을 위한 방법론으로는 생산재검토를 통한 지속가능한 제품재제조가 이루어질 수 있는가에 대한 타당성을 조사하여야 하며,

1. 제품재제조 적용방법론의 현장적용을 위한 조사 및 연구

1.1 재제조공정설계를 통한 지속가능한 제품개발의 타당성 조사

1.1.1 재제조공정설계를 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, MIL-STD-882D를 활용하는 위험물질에 대한 광범위한 환경리스크의 조사에 기반하는 제품재설계에 기반하여 재제조를 실행하여야 한다.

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

1.1.2 일반적인 제품재제조 방법론은 품질경영방법론과 신뢰성기술경영방법론의 결합에 의하여 보다 더 진보된 재제조방안을 강구할 수 있다고 판단된다. 특히, 제품재제조를 위한 기본적인 접근방법론은 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.

제품재제조에 대한 접근은 미시적인 관점의 접근과 생태계 중심의 접근이 있으며, 올바른 제품재설계 방법론에 기초하여야 하며, 재제조에 따른 환경리스크의 조사 및 연구를 기

반으로 하는 거시적이면서도 경제성을 중시하는 방향으로 제품재제조가 이루어져야한다.

1.2 제품 재제조에 대한 관리체계 분석

1.2.1 제품재제조에 대한 관리체계의 기본은 PLM(Product Life-cycle Management)에 근거하여야 하며, PLM을 실행하기 위해서는 제품재제조 이전과 이후의 다양한 방법론의 적용을 어떤 방식으로 실무에 적용할 것인가에 대해 분석하여야 한다. 특히, 제품재제조에 대한 관리는 복잡하기도하지만 제품재제조 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.

1.2.2 제품재제조에의 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 재제조 한다는 것은 말처럼 쉬운 일이 결코 아니며, 인간이 저질러놓은 각종 파괴행위를 자연으로 되돌려 놓기 위한 제품재설계에 바탕을 두고 재제조를 하여야 하기 때문에 제품재설계이전의 상태에 대한 대안으로서 무엇을 어떻게 바꿀 것인가를 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.

2. 제품 재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론 소개

2.1 제품 재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론과 재설계기법

2.1.1 제품재설계를 위한 신뢰성기법의 적용 방법론과 재설계기법의 소개

1) DFDA(Design For Disassembly) : 분해조립을 위한 설계기법을 정의하고 있으며 설계단계에서 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 설계

단계에서 설계함으로써 부품을 일정기간동안 계속사용할 수 있게 설계 하는 기법이다.

4) DFMR(Design For Materials Recyclability) : 재료를 재생 이용할 수 있도록 설계 단계에서 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 의하며, 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.

2.1.2 제품재제조를 위한 신뢰성기법의 적용형태

1) DPLE(Design For Product Life Extension)을 위한 신뢰성기법의 적용형태:

(1) Hazard Rate Model : $\lambda(t;Z) = \lambda_0 [t \exp(Z' \beta)]$

(2) ALT Model

(3) AFT Model

(4) PHA

(5) FMEA

(6) FTA

(7) QFD

(8) RGT

(9) 신뢰성시험설계

(10) DOE

(11) RAM System

(12) RAMS System 등

2.1.3 제품재제조를 실행하기 위해 수반되는 공학적인 접근대안의 분석

제품재제조기법을 설계관리에 적용하기 위해서는 기본적인 생명공학, 화학, 물리, 기계공학, 전자공학, 전기공학, 산업공학, 통신공학, 기상학, 수리학, 지질학, 토목공학등의 종합적인 각종 공학적 접근이 수반되어야 한다. 이유로는 제품재설계 상태를 관리하기

위해서는 단편적인 공학적 해법과 시스템공학적인 접근대안만으로는 한계가 있으며, 복합적인 공학적 접근만이 제품재설계를 실행할 수 있기 때문이다.

제품재제조를 실행하기 위해서는 기본적으로 신뢰성기술경영을 토대로 실무적인 접근이 진행되어야 하며 제품재제조를 위한 복합적인 노력을 기울일 때 제품재설계는 성공적으로 실행될 것으로 본다.

IV. 결 론

자연자원주의솔루션의 창립자인 헨터로빈스 Presidio(프리시디오)경영대학 교수는 지속가능프레임워크를 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 제품재설계에 기반하는 제품재제조의 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 제품재설계에 기반하는 제품재제조를 고려하여야 하며 이러한 제품재제조가 보편화 될 때 지구온난화 및 생태계 파괴는 최소화 될 것으로 판단된다.

V. References

- [1] Sustainable Strategic Management, W. Edward Stead and Jean Garner Stead with Mark Strarik 2004.
- [2] 탄소경제의 혁명, 2008지구환경보고서, 월드워치연구소 2008.
- [3] Reliability Engineering, Eisayed A. Elsayed 1996.
- [4] Strategic Management of Technology and innovation, Robert A. Rurgelman, Clayton M. Christensen, Steven C. Wheelwright.
- [5] MIL-STD-882D Preliminary Hazard Analysis
- [6] Beyond Total Quality Management : toward the emerging paradigm, 1994
- [7] Safety and Reliability of Software Based System, Springer-Verlag London Limited 1997
- [8] Introduction to Reliability Engineering, E. E. Lewis, 1997
- [9] The Statistical Analysis of Failure Time Data, Wiley Interscience, 2002