

초가속수명시험과 제품의 유효수명예측에 관한 연구

이 종범*

*한국표준협회 QM팀 수석전문위원

Study on the Highly Accelerated Life Test and Product life prediction

Lee Jong Boem

Korean Standards Association QM Team, Consultant

Abstract

장기수명특성 분포를 나타내는 제품의 유효수명 예측은 경험적인 Data와 현장정보만으로는 한계가 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위해서는 초가속수명시험을 근거로 하는 유효수명예측이 반드시 필요한 상황이다.

그러나, 현장의 문제점은 이러한 사실을 바탕으로 하더라도 MTTF혹은 MTBF, 심지어 Br수명분포까지도 제품 유효수명과 상관계가 어떻게 분포하는지에 관해 정확한 GUIDE LINE없이 적용하는 문제로 인하여 기업의 COPQ 부담이 증대하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기업의 COPQ부담을 경감시키고, 제품의 유효수명예측의 정밀도를 향상하기 위한 대안으로서 HALT와 제품유효수명간의 상관관계를 규명하는데 주력하였다.

* Keyword : HALT, MTTF, MTBF, Br Life, COPQ

1. 서 론

제품수명예측을 위해 실시되는 각종 환경시험 및 내구성시험의 형태가 1980년대 후반기의 가속수명시험(ALT)의 기업현장에서의 활용 움직임과 더불어 1990년대 이후에는 미국과 선진기업을 중심으로 부품 및 제품의 유효수명예측을 위한 목적으로 가속수명시험이 활용되고 있는 실정이나, 최근 우리나라의 각 기업들도 자사제품의 유효수명 예측을 위한 각종 가속신뢰성시험을 중요한 평가항목으로 설정하고 관리하는 추이에 있다.

그러나 문제점은 각종 소프트웨어의 범람과 더불어서 제품 및 부품의 수명예측은 편리하여졌으나, 현업에서 논의되고 있는 Red X's라고 하는 치명결함 혹은 치명고장 Mode에 관한 문제는 각 현장 분야별로 전문화된 공학적인 분석을 통해서 도출하고 관리되어야 하는 문제로 인하여 각종 응용 소프트웨어에 의해 도출된 수명예측결과가 신뢰도 측면에서 상당한 문제로 제기되고 있는 실정에 있다.

따라서, 이러한 난제를 해결하기 위해서는 각 제품 분야별로 특성화 되어있는 고장 요인들을

SQC를 통하여 검정 혹은 추정하고 실험계획법개념의 특성요인별로 발생하는 주요인자가 무엇인지를 명확하게 규명하는 것이 매우 중요한 시점에 있다.

기업현장에서 자사제품의 명확한 수명분포를 예측하고 관리한다는 것의 의미는 기업경영비용과 직결되는 변수이기도 하지만 PL법이 시행되고 있는 상황에서 볼때 수명예측결과의 오류는 기업의 기술경영부문에 심각한 타격을 입히게되는 결과를 초래하므로, 본 연구에서는 이러한 제품의 유효수명의 정확도를 높이고 가속수명시험의 신뢰도를 향상시키기 위한 대안으로써 현업에서 어떤 방법론에 근거하여 가속FACTOR를 도출하고, 관리하여야 수명예측의 오류를 최소화 할 수 있는가라는 명제로 전개하고자 한다.

2. 이론적 배경

제품의 구상단계에서부터 기획단계, 개발단계, 시작단계, 생산단계, 판매단계, 서비스단계 등 기술경영의 모든 단계에서 제품이 고장없이 의도한 시점까지 신뢰성을 유지할 수 있겠는가? 라는 명제는 너무나 보편화된 화두이지만, 정작 유효성 있는 수명예측결과를 통계적인 추론에 근거하여 명확하게 도출하여 관리하는 기업은 극히 소수에 지나지 않는다는 것이 한국기업의 품질부문에 있어서 큰 문제점으로 인식되고 있는 실정이다.

이러한 문제점의 인식하에 수명예측을 위한 보편적인 형태로는 현장에서 거의 대다수가 Weibull Distribution에 의존하고 있으나, 제품위험요인에 대한 안전설계가 직열계의 Weibull hazard distribution 인가? 아니면 병렬계의 Weibull hazard distribution 인가에 따라 매우 다른 수명분포를 나타내며, 실제로 수식적용에 근거하여 볼 때 차이가 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 특성요인별 문제점을 규명하는 것도 중요하나 실제로 Weibull 분포의 활용에 있어서 어떤 모델을 적용할 것인가가 더욱 중요한 변수로 작용 할 것이다.

물론 MTTF 기준으로 수명예측을 하지 않고 Br 개념의 수명 예측을 진행하려면 지수분포에 따라야 할 것이며, 다음에 나타낸 수식의 개념들을 활용하여야 할 것이다.

2.1 Parallel System에서의 Weibull Hazard 분포에 근거하는 MTTF산출 수식의 예:

$$MTTF = \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right) \left[\sum_{i=1}^n \Theta_i^{\frac{1}{r}} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (\Theta_i + \Theta_j)^{\frac{1}{r}} + \dots + (-1)^{n+1} \left[\sum_{i=1}^n \Theta_i^{\frac{1}{r}} \right]^n \right] \quad (2.1)$$

제품의 시스템 설계가 Parallel로 설계된 경우에는 Weibull Hazard 분포의 적용을 신중하게 시행하여야 하는데, 이유로는 Series 시스템과는 달리 구조가 복잡하고 일반적인 신뢰성 측면의 단순한 수명증대 목적의 내구수명의 경우와는 달리 Hazard 개념의 Weibull 수명을 예측하는 문제로 인하여 개념의 정의를 다시 해야 하는 복잡한 이유에 근거하는 것이다.

일반적으로 신뢰성을 이해하는 많은 전문가들이 병렬 시스템은 신뢰수명이 늘어날 것으로 인식하고 있으나, Hazard 개념의 Weibull Hazard Distribution 의 경우는 이와는 다른 개념으로 접근된다는 사실을 인식해야한다.

따라서, 시스템의 단순한 내구수명 차원의 MTTF를 산출할 것인가? 아니면 Hazard에 기반하는 MTTF를 산출할 것인가에 따라 결과는 판이하게 다른 결과로 나타난다는 사실을 이해해야 한다.

2.2 Series System에서의 Weibull Hazard 분포에 근거하는 MTTF산출 수식의 예:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$MTTF = \left[\sum_{i=1}^n \Theta_i \right]^{\frac{1}{r}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{r}\right)$$

(2.2)

제품의 시스템 설계가 Series 시스템으로 설계된 경우에는 내구수명 및 신뢰성 수준이 병렬 시스템 보다는 떨어진다는 것이 일반적인 와이블 수명 분포에서는 보편적인 사실이지만 Hazard 측면의 Series System에서는 오히려 MTTF가 증가할 수 있다는 사실을 이해해야 한다.

따라서 Hazard 측면에서는 직렬계 시스템으로 신뢰성 설계가 잘되어 있고, 강건설계(Robust Design)가 되어 있다면, 오히려 유효수명이 증가 할 수 있다는 것이다.

2.3 $B_r(B_1, B_{10}, B_{20}, \dots)$ 수명 예측을 위한 Exponential Distribution 수식의 예:

$$B_r = \frac{2r \left[\ln\left(\frac{T}{r}\right) - \frac{1}{r} \left(\sum_{i=1}^r \ln t_i \right) \right]}{1 + (r+1) / 6r}$$

t_1 = 최초고장시간
 t_i = $i-1$ 번째와 i 번째($i=2,3,\dots$)고장 혹은 고장 i 번째 까지의 시간
 r = 시험 중 고장의 총개수, Total number (검정이 필요 없는)
 T = 고장과 고장간의 합(Sum), $T = \sum_{i=1}^r t_i$
 X = 고장재현시간에 있어서 랜덤변수
 B_r = 자유도 $r-1$ 의 Chi-square 분포를 한 통계치를 의미한다.

(2.3)

최근 각 기업에서 신뢰성분야에 기대를 하는 것 가운데 하나는 MTTF 혹은 MTBF차원의 mean life차원을 벗어날 수 있는 획기적인 방법론을 제시하기를 기대하고 있다: 즉, 설계당시 유효수명을 MTTF 혹은 MTBF 기준으로 10년으로 설계 하였다면 적어도 5년에 가까운 기간에 제품의 50%가 생존하는 반면 나머지 50%는 고장이 발생할 가능성이 높아진다는 차원에서 벗어나려는 움직임이 강하게 대두되고 있다는 것이다.

따라서, 이제는 B1, B5, B10, B20 등의 개념을 가진 제품의 출시가 필요한 시점이 되었으며, 이것은 각종 첨단화되고 있는 생산설비 및 Quality Control을 위한 각종 계측 시스템과 Data Mining 기술의 급격한 보급으로 실현 가능한 수준에 도달하고 있으므로, 제품의 유효수명에 대한 개념에 있어서 상당한 전환이 필요한 시점에 있다고 본다.

3. 제품의 유효수명예측을 위한 현업적용 Pattern 연구

초가속수명시험을 수행하는 단계에서의 핵심은 치명결함을 정확하게 규명하는데 있다. 따라서

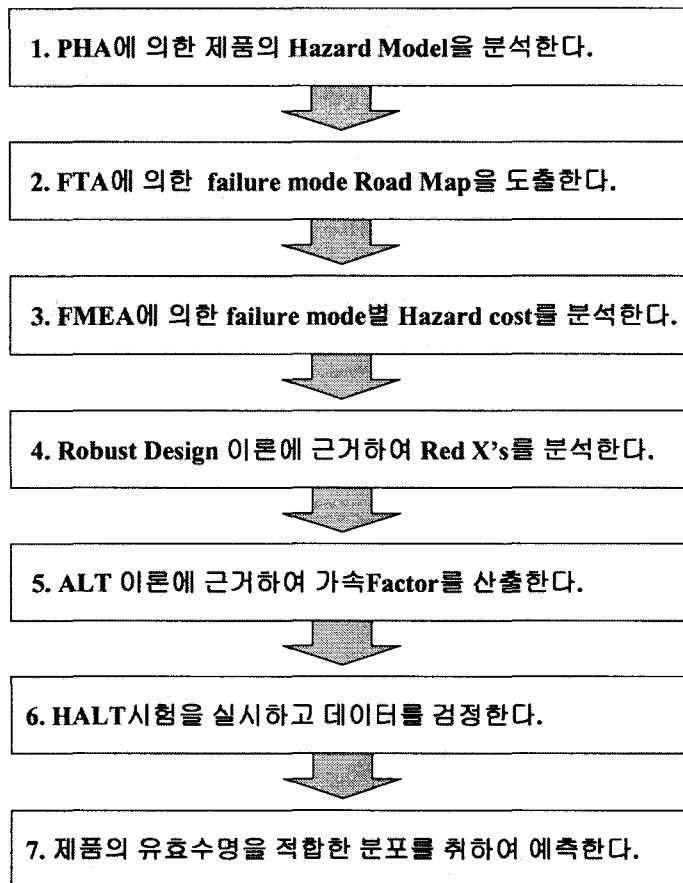
치명결함에 해당하는 Red X's를 어떻게 도출하는가가 중요한 사안이 되며, 이러한 Red X's를 도출하기 위한 대안으로서 FTA 논리전개에 바탕을 둔 FMEA의 실행이 중요한 변수이다.

단, 우리기업의 현실이 고장DATA에 대한 d-Base구축을 등한시 하는 문제로 인하여 구조적인 COPQ의 도출에 실패하고 있다는 아쉬운점이 있으나, FMEA의 실행에 근거하여 기업의 경영 원가관리와 회계관리의 기준이 Engineering 측면에서 발현한다는 사실을 인식하였으면 한다.

제품의 유효수명분석을 위해서는 적합한 절차적인 근거를 기반으로 진행하는 것이 바람직하나, 각 분야별로 제품의 속성이 다르고, 사용 환경에 있어서 극한적으로 많은 차이를 나타내고 있기 때문에 제품의 유효수명에 대한 개념이 제품에 따라 상당한 영역에서 상충되는 부분이 많이 발생하고 있는 것이 현실이다.

특히, 중공업부문과 자동차 부문의 경우에 있어서 유효수명분석을 위한 절차적인 개념과 전기 전자 및 통신제품 분야의 유효수명분석을 위한 절차적인 방법론의 개념은 확연히 차별화 되고 있으며, 이러한 현실적인 이유로 인하여 유효수명분석을 위한 절차적인 개념을 정립해야 한다.

3.1 유효수명분석을 위한 현업적용 개념의 절차 및 순서



초가속수명시험을 통한 유효수명예측의 장점으로는 상기의 절차를 통한 수명분포의 유효성이 극대화 된다는 점이며, 이러한 업무 프로세스를 통하여 전사적으로 각 분야에 걸쳐 분산되어 있는 각종 고장MODE들이 Red X's로 분류되는 과정에서 COPQ와 연계되어 기술경영 성과로 도출함에 있어서 수명예측에 대한 유효성이 경상이익에 얼마나 기여도가 존재하는가를 분석 할 수 있는 좋은 이점이 있다.

세부적인 각 절차별 상세사항은 지속적인 연구개발을 통하여 모델의 개선이 이루어져야 할 시점에 있다. 세부적인 사항은 다양한 의견 개진이 필요한 상황이다.

4. 결 론

기업 활동에 있어서 이익창출은 기업존립의 기반이며, 이익창출의 근원은 현업의 업무 메커니즘이 얼마나 정밀한 미세관리를 추구하고 있는가에 달려있다고 본다.

본 연구에서는 제품의 수명예측을 단순한 응용 소프트웨어에 근거하여 예측하는 것이 아닌 정밀한 고장메커니즘의 분석하에서 실행함으로써 현업에서 발생될 수 있는 유효수명의 오류를 최대한 방지하기 위한 대안의 도출에 중점을 두었으므로 현업적용을 위한 방법론의 강구에 노력을 하여야 하겠으며, 초가속수명시험 혹은 가속수명시험을 실시하는 근본적인 이유가 유효수명을 빠른 시간 내에 평가함으로써 해당제품의 수명을 평가 하기위한 목적이므로, 가속수명에 대한 막연한 환상을 버리고, 실리적인 활용 방법론을 강구하여야 하겠다.

특히, 제품 및 부품의 스트레스 분석을 근거로 하지 않고 실행하는 가속수명시험 및 HALT 개념의 시험방법론은 실무개선에 도움이 되지 못하고 있으며, 이러한 문제로 인하여 제품 및 부품의 원가상승의 요인으로 작용하고 있는 문제점등이 나타나고 있다.

국내에 가속시험방법론이 1980년대 후반기에 도입된 이래로 오랜 기간이 지났으나, 우리의 기업 환경과 연구 활동의 환경이 열악한 상황으로 인하여, 초창기 전문가 그룹의 전문적인 지식들이 기업내부에 전파되었어야 하나 미흡한 상태이고, 대부분이 급격한 시대적인 조류에 맞추어가고 있는 형편이며, 실무적인 충실한 분석과 실증적인 실험 및 평가를 기반으로 하는 현장에 적합한 HALT 및 ALT, HAST방법론에 근거하는 유효수명의 예측 모델의 개발은 아직도 갈길이 멀고 험난하다고 판단된다.

References

- [1] Reliability Engineering; Elsayed A. Elsayed; Addison Wesley, 1996
- [2] Accelerated Stress Testing Handbook; H. Anthony Chan and Paul J. Englert, 2001
- [3] IBM; IEEE Trans 1989
- [4] Three Caps: Environment Reliability Test for Electronic Parts and Electronic Equipment, 1992
- [5] Tree Caps: Acceleration Test for RLC Components, 1992
- [6] Beyond Total Quality Management : toward the emerging paradigm, 1994
- [7] MIL-S- 19500
- [8] Reliability and Degradation of Semiconductor Laser and Leds, 1991
- [9] The vision of Six Sigma : A Roadmap for Breakthrough, 1994
- [10] AT & T Reliability Handbook, 1999
- [11] Accelerated Stress Testing Handbook ; IEEE PRESS, 2001