

신뢰도 예측을 위한 수명시험 시뮬레이션

김연수[†] · 정영배

인천대학교 산업경영공학과

Life Testing Simulation for Reliability Prediction

Yon-Soo Kim[†] · Young-Bae Chung

Dept. of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

This paper presents a spreadsheet-based reliability prediction simulation framework for the conceptual product design stage to acquire system reliability information in timely manner. During early stage, reliability performance deals with both known and unknown failure rates and component-level and subsystem-level failure estimate to predict system reliability. A technique for performing life testing simulation using Excel spreadsheet has been developed under the such circumstances. This paper also discuss the results obtainable from this method such as reliability estimate, mean and variance of failures and confidence intervals. The resultant of this reliability prediction system is mainly benefitting small and medium-sized enterprise's field engineers.

Keywords : Life Testing, Reliability Prediction, Simulation Model, System Reliability Performance

1. 서 론

최근 제품의 신뢰성에 대한 소비자의 관심이 높아지면서 제조업체에서는 제품의 신뢰성을 평가해야 할 필요성이 점점 더 커지고 있다. 또한, 기술의 발전 속도가 빨라짐에 따라 제품의 수명주기와 개발기간도 단축되고 있으며, 개발기간 중 신기술과 신소재의 적용에 따른 설계상의 문제를 해결하고 신뢰성을 보증하는데 많은 시간과 비용이 소요되고 있는 것이 현 실정이다.

오늘날 급속한 기술의 진보와 IT 분석 기술 및 데이터 분석 기술 등 여러 융합 학문의 비약적 발전으로 신뢰도가 높은 또는 예상 수명이 매우 긴 제품들이 많아 졌고, 따라서 이들 제품의 전 주기(Life Cycle)에 걸친 관리 활동 중 소비자와의 A/S 및 사후관리, 즉 부품의 공급망 관리, 재고관리, 제품의 보증기간 설정, 신제품 출하 시점 등에 관한 결정을 위한 수명 시험 요구가 크게 증가되고 있다.

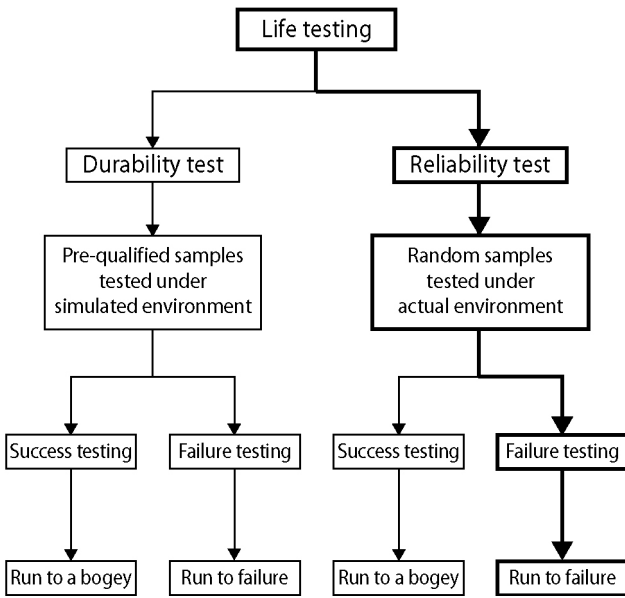
제품이나 시스템 또는 아이템의 사용 조건에서의 평균수명, 보증기간 내에 제품이 고장 날 확률 등 수명과 관련된 특성치들의 평가를 위하여 제품의 수명에 관한 시험이 필요하다.

신뢰성은 제품의 시간에 따른 장기간의 품질을 의미하는 것으로 정확한 평가를 위해서는 많은 시간과 비용이 요구되고, 따라서 신뢰성 평가시간이 제조업체에게는 큰 부담이 되고 있다.

제품이 어느 시점에서, 어떠한 원인으로 고장이 발생하는지 또는 기존의 신뢰성을 어떻게 개선할 것인지에 대하여 그 해결책을 찾아야 하며, 이를 효율적으로 달성하기 위해서는 재료 및 공정 분석을 위한 기술적 평가, 잠재 고장 부위와 고장 메커니즘 규명, 가속수명시험, 유한요소해석, 그리고 고장분석 등의 활동이 종합적이고 유기적으로 수행되어야 한다[2].

일반적으로 수명 시험은 신뢰성 시험과 내구성 수명

으로 구별되며 보통 수명 시험은 <그림 1>의 신뢰성 시험 트랙으로 신뢰성 목표를 보증하기 위하여 제품이나 시스템 또는 아이템이 기대하는 기능을 상실할 때까지의 관측된 이들 고장 시간 또는 사이클로 부터 고장률, 신뢰도 등을 측정, 비교 또는 구분하는 시험이다.



<그림 1> 일반적인 수명 시험의 트랙[7]

본 연구에서는 제품이나 시스템의 성능 평가 중에서 제품이나 시스템의 수명 시험 데이터를 제공하여 성능 평가를 손쉽게 할 수 있는 범용 신뢰성 예측을 위한 수명 시험 시뮬레이션 모델을 통하여 설계되는 부품, 서브 시스템, 조립품, 제품 레벨의 고장률이 전체이나 시스템에 어떠한 영향을 미치는 가를 상대적으로 산출할 수 있는 신뢰성 측도를 시뮬레이션 방법을 통하여 산정하는 방법론 과 신뢰성 예측 모델의 개발을 연구하고자 한다.

연구문제에 대한 가정으로 제품이나 시스템 또는 아이템의 수명이 척도 모수(scale parameter)와 형상 모수(shape parameter)의 두 모수를 가진 와이불 분포(Weibull distribution)를 따르는 경우를 가정하고 이러한 환경에서 수명 시험을 시뮬레이션하여 다음의 효과를 알아볼 수 있는 소프트웨어 패키지를 디자인 한다.

본 연구 문제는 제품의 수명주기 시험을 테스트 할 수 있는 엑셀 스프레드 쉬트 기반에서 손쉽게 활용할 수 있는 엑셀 VBA 수명 시뮬레이션 패키지 개발을 통하여 중도 절단 시간(Censoring Time)과 수명 시험에 투입된 시료(sample) 수, 수명 분포의 모수들과 샘플링 시간 간격을 수용할 수 있는 엑셀 VBA(Visual Basic for Application) 어플리케이션을 개발하여, 제품이 보증하는 수명 내에서 합리적으로 제조자가 사용자에게 적정한 보증수명을 제시

할 수 있는 근거를 마련토록 하여 신뢰성 보증시험의 비용 절감과 기업의 경쟁력 확보에 기여하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 수명 시험의 분류

수명 시험의 가장 기본적인 기능은 “랜덤하게 선택된 제품이나 시스템 또는 아이템의 실제 사용조건에서 어떤 형태의 고장(What)이 어떤 운용환경조건(Where)에서 시간이 얼마나 경과되어(When) 발생 하는가”를 관측하여 제품이나 시스템 또는 아이템의 신뢰성 수준을 평가하고 예측하는 것이다. 따라서 수명 시험조건이 사용조건을 대표할 수 있도록 설정되어야만 문제가 되는 고장을 재현할 수 있고, 수명시험 결과와 사용 신뢰도 사이에 상관 관계를 가질 수 있다. 수명 시험 결과와 필드에서의 신뢰도 사이에 정성적, 정량적 상관관계가 높은 것이 바람직 하며 필드 사용조건을 실험실에서 재현하는 것이 중요하다[12, 20].

어떤 제품의 수명의 특징치를 알기위한 수명 시험(life testing)은 시험 종결방법, 고장 관찰 방법, 고장 검사 방법, 스트레스의 가속의 유무 등에 따라 여러 형태를 갖게 된다. 우선 시험 종결방법에는 제 1종과 제 2종 종결방법, 정시 종결, 정수종결이 있다. 수명 시험은 크게 정상수명시험, 중도 중단시험, 가속수명시험의 3가지로 구분할 수 있다.

- (1) 정상수명시험 : 샘플의 고장 여부와 상관없이 일정 시간동안 시험
- (2) 중도중단시험(Censoring)
 - ① 정시 중단시험 : 정상적인 사용조건 하에서 고장에 관계없이 미리 정해진 일정하 시간동안 시험(Type I Censoring)
 - ② 정수 중단시험 : 정상적인 사용조건 하에서 샘플 중 일정수가 고장 나면 시험을 중단하는 시험(Type II Censoring)
 - ③ 가속수명시험(ALT) : 사용조건을 정상 사용 조건 보다 강화해서 수명시간을 단축할 목적으로 시험함.

실 사용조건에서 문제가 되는 고장모드 및 메커니즘에 대한 정보, 환경요소의 종류와 가속도, 환경요소의 조합 과 순서에 따른 영향을 주의 깊게 조사하여야 한다. 실제 아이템의 고장은 단일 스트레스뿐만 아니라 복합 스트레스가 부가되었을 때 비로소 나타나거나, 타부품의 고장에 영향을 받아 발생하기도 한다.

2.2 수명 데이터

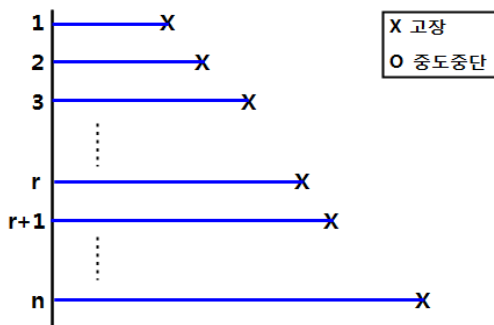
수명 데이터는 주로 시간에 관련된 데이터로 어떤 제품 또는 부품이 고장날 때까지의 시간 또는 관측중단시간을 말한다. 수명 데이터의 통계적 분석은 수명 데이터가 따르는 수명분포 또는 분포의 모수들을 추정함으로써 원하는 정보를 얻을 수 있으며, 다음과 같은 유형이 있다[3].

(1) 완전 데이터(Completed Data)

완전 데이터는 <그림 2>와 같이 시험에 투입된 시료의 고장시간 이 모두 관측된 경우를 말하며, 확률변수는 고장시간이 된다. 자료에 의한 데이터는 가장 유용하지만 시험 시간과 비용이 많이 필요한 단점이 있다.

(2) 관측중단 데이터(Censored Data)

관측중단 데이터란 <그림 2>의 1), 2), 3)과 같이 수명 시험에 따르는 시간과 비용을 줄이기 위하여 모든 제품이 고장 날 때까지 시험하지 않고 도중에 시험을 중단하여 얻어진 데이터를 말하며, 미리 정해진 일정 시간까지 시험하는 정시중단 데이터(Type I censoring data)와 시험되는 제품 중 정해진 개수의 고장이 관측되면 시험을 중단하는 정수중단 데이터(Type II censoring data)가 있다.



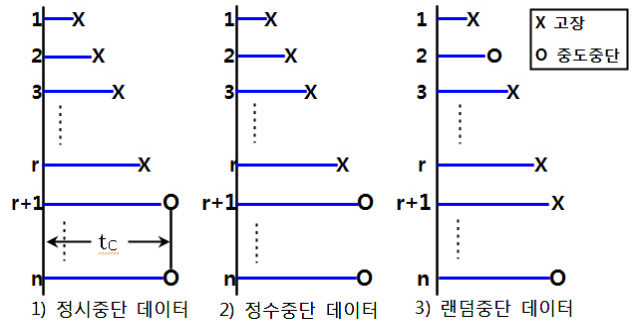
<그림 2> 완전 수명 데이터

(3) 랜덤 중단 데이터(Random Censoring Data)

표본의 랜덤 중단은 수명 시험 도중 노화에 따른 고장이외의 원인으로 더 이상 시험이 불가능한 시점에 발생하며 시험자의 실수, 노화이외의 다른 원인에 의한 고장, 표본 분실에 기인함. 가장 일반적인 형태의 수명 데이터임.

(4) 현장 데이터(Field Data)

현장에서 소비자(사용자)에 의하여 실제적으로 사용되면서 얻어지는 고장 데이터로 주로 보증 데이터(warranty data)를 말한다. 현장 데이터는 확인되지 않은 고장이 있을 수도 있으며, 고장 부위, 고장 모드, 고장 원인 등이 누락될 소지가 많다.



<그림 3> 관측 중단 수명 데이터[1, 3]

2.3 수명 분포로서의 와이블 분포

수명 분포로서 많이 사용되는 분포는 지수분포, 와이블 분포, 대수 정규분포이며 이중 와이블 분포는 기계류 부품의 수명 분포로 자주 사용되며, 대수 정규 분포는 금속재료 반도체 전기 절연체에 적용되어 사용되고 있다. 이중 와이블 분포는 분포의 형태를 결정하는 형상모수와 수명을 반영하는 척도모수를 갖는다. 이중 형상모수는 수명시험 시간 계산에 있어서 매우 중요한 모수로서 고장 특성이나 재료특성에 따라 결정되고 동일한 유형의 부품일 경우 유사한 값을 갖는 특성이 있다. 본 연구에서는 위치모수(location parameter)가 영(zero)인 것으로 알고 있거나 자료의 적절한 변환으로 위치모수를 영으로 놓음으로써, 두 모수 와이블 분포에 우리의 관심을 제한하기로 한다[9].

두 모수 와이블 분포를 갖는 무작위변수 X의 확률 밀도함수는 다음과 같다.

$$f_x(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \left(\frac{\beta}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right], & x > 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0 & elsewhere \end{cases} \quad (1)$$

여기서 X는 해당제품이나 시스템 또는 아이템의 수명의 실측치가 X가 되는 하나의 무작위 변수이다. 특성수명(Characteristic life)이라고 불리우는 모수 $\alpha > 0$ 는 X의 100 $(1 - e^{-1}) \approx 63.2$ 분포 백분위수(percentile)을 지정하는 척도모수(scale parameter)이다. 모수 $\beta > 0$ 는 분포의 형태를 결정한다. 만약, $\beta \leq 1$ 이면 밀도함수는 X가 증가함에 따라 단조롭게 감소한다. 만약 $\beta < 1$ 혹은 $\beta = 1$ 이면 해저드 함수(hazard function)는 각각 감소 혹은 일정하다. 특히 $\beta = 1$ 인 경우, 와이블 분포는 간단한 지수형 분포가 된다. 즉 와이블 분포는 우리가 이미 익숙한 지수형 분포를 내포한다. 와이블 누적분포(Weibull cumulative distribution)는

$$F_x(x) = 1 - \exp[1 - (x/\alpha)^\beta], x > 0 \quad (2)$$

이며, 엑셀에서 WEIBULL.DIST(x, 2, 100, True) 또는 WEIBULL(x, 2, 100, True)와 같이 함수를 사용하고 엑셀에서는 alpha는 형상모수를 beta는 척도 모수를 의미한다. 또한 와이블 분포 함수의 Inverse 함수는 제공하지 않고 있다. 와이블 분포의 평균치(mean value)는 $\mu = E(X) = \alpha\Gamma(1+1/\beta)$ 이다.

여기서,

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt$$

이다.

형상 모수와 척도 모수는 관측된 수명 데이터로부터 Probability Plotting 방법과 Hazard Plotting 방법에 의한 적합 직선의 기울기와 절편을 최소제곱법을 통하여 구하게 된다.

(1) Probability Plotting

와이블 누적 분포 함수 F(x)는 다음 수식으로 변환하여 사용되며 메디안 랭크 추정법이나 평균랭크 추정법을 사용하여 확률지 타점 지점을 산정 할 수 있다.

$$\log(y) = \log(a) + 1/\beta \log(-\ln(1-F)) \quad (3)$$

$$F(y) = (i-0.3)/(n+0.4) \quad (4)$$

i는 누적 고장 수이며 n은 수명시험에 투입 전체 샘플 수이다.

(2) Hazard Plotting

와이블 해저드 Plotting은 다음의 와이블 해저드 함수에 의한 것이다.

$$\log(y) = (1/\beta) \text{Log}(H) + \log(a) \quad (5)$$

H는 누적해저드 값

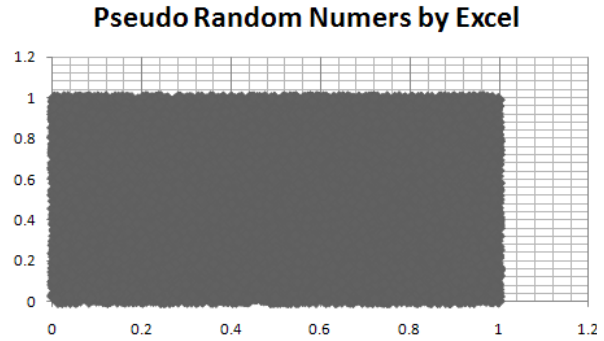
$$H(y) = (y/a)^\beta \quad (6)$$

누적 해저드 값 1에서 a의 절편을 갖는 기울기 1/β를 가진 로그-로그 Plot을 사용한다[15~17].

2.4 엑셀에서의 난수(Pseudo Random Number)

확률분포에 기반을 둔 제품이나 시스템의 고장시간을 생성하기 위하여 엑셀 2010버전 난수함수인 = RAND()를 사용하며 각각 10,000개의 난수를 가지고 X-Y 산포도를 그려본 결과 <그림 4>에서와 같이 X축과 Y사이에 상관계수가 0이며 0~1사이의 고르게 분포되며 빈 포켓 공간이

존재하지 않고 평균 0.5, 분산 0.28로 계산되어 수명시험 시뮬레이션에서 사용하기 위한 충분조건을 만족시키고 있다.



<그림 4> 엑셀에서 생성된 난수, U(0, 1)

2.5 고장시간(Time to Failure)의 생성

제품이나 시스템 또는 아이템의 고장시간을 산정하기 위해 우리가 원하는 고장 확률분포를 활용하기위해서 연속형 확률변수를 X, 그의 분포함수를 F라 하자. 여기에서 F는 $(0 < F(x_1) \leq F(x_2) < 1, x_1 < x_2)$ 가 된다. 그러면 다음의 절차는 분포함수 F를 가지는 확률변수 X를 발생하게 된다.

- (1) U[0, 1)의 난수를 발생한다.
- (2) $X = F^{-1}(U)$ 로 놓고 되돌려 준다.

여기에서 F^{-1} 은 F의 역함수를 나타내며 $0 \leq U < 1$ 이고 F의 범위가 U[0, 1)이기 때문에 $F^{-1}(U)$ 는 항상 존재한다. <표 1>은 수명시간 데이터를 위하여 사용되는 확률분포와 그에 대응하는 엑셀 표현식을 나타내고 있다. 이를 사용하여 수명 데이터를 생성하게 된다[14, 18, 19].

<표 1> 고장 시간에 대한 엑셀 표현식

확률 분포	엑셀 고장시간 표현식
지수 분포 (exponential)	-LN(RAND())/λ λ = failure rate
와이블 분포 (Weibull)	α(-LN(1-RAND()))^(1/β) α = scale parameter, β = shape parameter
대수정규분포 (Lognormal)	LOGINV(RAND(), μ, σ) μ = mean, σ = variance

3. 수명시험 시뮬레이션

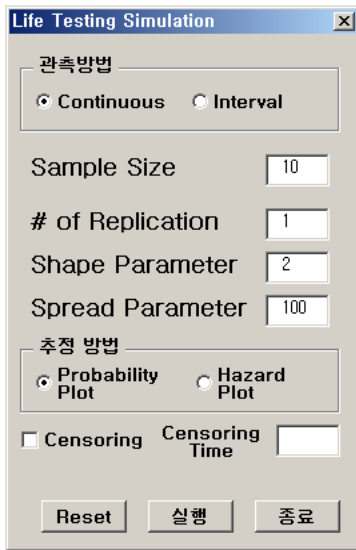
3.1 수명 시험 시뮬레이션 시스템의 구성

전체 시스템의 구성은 크게 다음 4가지의 모듈로 구성 되어 있다.

- 1) 수명 데이터를 생성하는 모듈
- 2) 수명 데이터에 알맞은 모수를 추정하는 모듈
- 3) 수명 데이터를 분석하여 결과를 보여주는 모듈
- 4) 수명 데이터와 분석 결과를 그래픽으로 전환하여 보여주는 모듈로 구성되어 있다.

시스템에서의 입력 데이터는 <그림 5>에서와 같이

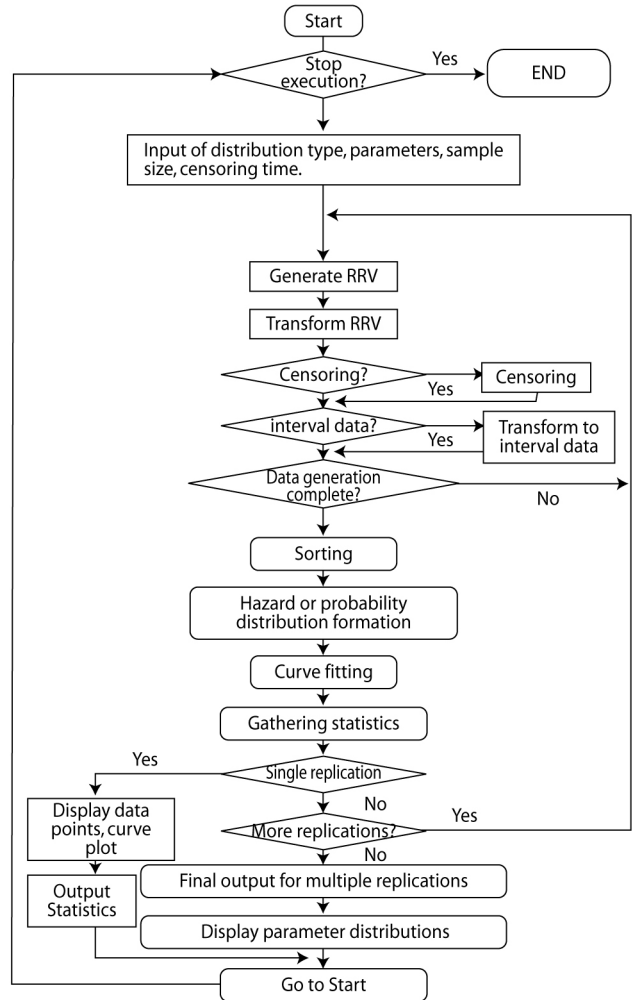
- 1) 연속 관측 또는 구간 데이터의 여부
- 2) 샘플 사이즈의 수
- 3) 반복수(# of replication)
- 4) 형상 모수의 값
- 5) 척도 모수의 값
- 6) 모수의 추정을 위한 방법(probability plotting/hazard plotting)
- 7) 중도중단 여부와 중도 중단 시간이나 사이클의 값을 입력하게 된다.



<그림 5> 입력 데이터

3.2 수명 시험 시뮬레이션 실행 프로세스

수명 시험 시뮬레이션을 실행하기 위한 순서와 절차는 <그림 6>의 시뮬레이션 실행 Flow Chart에 나타나 있다. 수명시험 예측 시뮬레이션을 활용하기 위해서는 엑셀 시트에 분석 및 예측해 보고자 하는 현재의 상황을 7개의 스프레드시트 모델로 구축하고 매크로 입력 데이터를 입력하면 <그림 7>의 기존의 엑셀 시트에 단계별로 시뮬레이션을 실행하고 해당 데이터가 생성되고 기술 통계량, 그래프 등의 결과물을 생성하게 된다. 또한 결과물의 타당성 검토를 통해 신뢰성 예측 결과 모델 대안을 평가할 수 있도록 한다[5, 6, 10].



<그림 6> 시뮬레이션 실행 Flow Chart



<그림 7> 엑셀 스프레드시트 워크시트

기본적으로 다음 단계의 실행 프로세스를 거치게 된다.

- 단계 1) 매크로로 작성된 사용자 입력창에서 필요 데이터를 입력하게 되면 수명데이터 스프레드시트에 필요 정보가 복사되며 수명 데이터가 $= \$C\$5 \times ((-LN(1-RAND()))^{(1/\$C\$6)})$ 와 같은 함수식에 의해 생성된다. $\$C\5 는 척도모수 값이며, $\$C\6 는 형상모수 값이다.
- 단계 2) 생성된 수명 데이터 엑셀 워크시트에서 수명 데이터가 크기순으로 정렬되며 중도절단 시간 값의 유무에 따라 중도절단 이면 1(True) 완전 데이터 이면 0으로 설정하면 반복수에 따라 반복수의 값을 기록한다(<그림 8> 참조).

Life Testing Simulation	
Life Data Type (Continuous/Interval)	C
Sample Size	10
# of Replication	5
Spread Parameter(α)	100
Shape Parameter(β)	2
Reliability (Time)	50
Probability Plotting/Hazard Plotting	P

고장시간/사이클 Failure Time/Cycle	수량 Quantity	중도중단 Censoring	Replication
31.2049	1	0	1
42.5226	1	0	1
48.7151	1	0	1
49.3418	1	0	1
57.4755	1	0	1
59.0052	1	0	1
89.8550	1	0	1
103.4282	1	0	1
104.7779	1	0	1
120.3266	1	0	1

<그림 8> 수명 데이터 워크시트 설정

단계 3) 정렬된 수명 데이터를 가지고 선택 할 수 있는 식 (3)~식 (6)에 따른 Probability Plot 방법이나 Hazard Plot에 따라 추정 회귀식을 예측 할 수 있는 데이터로 변환한다. 여기서 회귀계수를 구하기 위해서는 최소자승법을 사용한다.

A	B	C	D	E	F
Failure Times	Rank	F(x)	1/(1-F(X))	ln(ln(1/(1-F(X))))	ln(Failure Times)
31.2049	1	0.0673	1.0722	-2.6638	3.4406
42.5226	2	0.1635	1.1954	-1.7233	3.7500
48.7151	3	0.2596	1.3506	-1.2020	3.8860
49.3418	4	0.3558	1.5522	-0.8217	3.8988
57.4755	5	0.4519	1.8246	-0.5086	4.0514
59.0052	6	0.5481	2.2128	-0.2304	4.0776
89.8550	7	0.6442	2.8108	0.0329	4.4982
103.4282	8	0.7404	3.8519	0.2990	4.6389
104.7779	9	0.8365	6.1176	0.5940	4.6518
120.3266	10	0.9327	14.8571	0.9927	4.7902

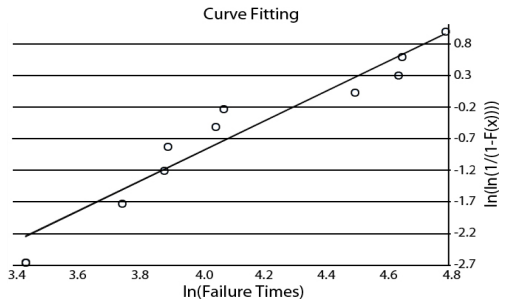
<그림 9> Curve Fitting Data 워크시트 설정

단계 4) Probability Plot 방법이면 식 (3)과 식 (4)를 활용하고 Hazard Plot이면 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 계산 셀 값을 가지고 엑셀의 데이터 탭의 분석 리본메뉴의 데이터분석-통계 데이터 분석의 회귀 분석을 사용하여 회귀식의 기울기를 사용하여 형상모수를 구하고 척도모수는 Probability Plot 방법의 경우에는 = EXP(-B17/B18)를 사용하여 추정한다. 여기서 B17셀은 추정 계산된절편 이고 B18는 선형회귀식의 기울기 값이다. <그림 10>은 Curve Fitting Result 워크시트를 보여 주고 있다. 추정 계산된 파라미터 값들은 관련 통계량을 계산하기 위하여 엑셀 시트에 구축된 모델에 계산 값을 저장한다[3, 4].

A	B	C	D	E	F	G	H	I	
요약 출력									
회귀분석 통계량									
다중 상관계수	0.962912948								
결정계수	0.927201346								
조정된 결정계수	0.918101514								
표준 오차	0.319099322								
관측수	10								
분산 분석									
	자유도	제곱합	제곱 평균	F 비	유의한 F				
회귀	1	10.37510389	10.3751	101.8921	7.9142E-06				
잔차	8	0.814595019	0.101824						
계	9	11.18969891							
계수									
Y 절편	계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%	
X 1	-10.44920923	0.988513869	-10.5706	5.6E-06	-12.7287263	-8.16969	-12.7287	-8.16969	
	2.381301867	0.235908781	10.09416	7.91E-06	1.837295242	2.925308	1.837295	2.925308	
β (or Shape Parameter) =	2.381301867								
α (or Characteristic Life) =	80.4812136								
잔차 출력									
	관측수	Y 예측치	잔차						
	1	-2.256161595	-0.407681491						
	2	-1.519241509	-0.204021641						
	3	-1.195495584	-0.006527532						
	4	-1.165055172	0.343388657						
	5	-0.801700255	0.293104861						
	6	-0.73915209	0.508787245						
	7	0.263255022	-0.22943006						
	8	0.59735951	-0.298326579						
	9	0.628232782	-0.03425566						
	10	0.957726824	0.034962105						

<그림 10> Curve Fitting Result 워크시트

단계 5) Probability Plot 방법이면 식 (3)과 식 (4)를 활용하고 Hazard Plot이면 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 계산 된 기존의 셀 값에 예측치 셀 값을 추가하여 산포도를 그리고 그에 따른 추정식을 그린다. <그림 11>은 Curve Fitting Chart 워크시트를 보여주고 있다.



<그림 11> Curve Fitting Chart 워크시트

단계 6) 단계 1에서 단계 5의 과정을 r번 반복 수행하여 계산된 값에 대한 기술 통계량, 중앙값, 평균, 분산, 표준편차, 왜도, 첨도, C. V. (Coefficient of variation)값을 계산 한다(<그림 12> 참조).

Stat. of Distribution of Scale P.	
Median	99.40
Mean	101.36
Variance	211.62
Standard Deviation	14.55
Skewness	1.49
Kurtosis	3.13
Coefficient of Variation	0.14

<그림 12> Output Statistics

단계 7) 중도 절단 된 데이터에 대해서는 카프란-마이어 법에 의한 신뢰도 값을 적용하고 추정된 형상모수와 척도모수의 평균값을 적용하여 고장시간 수명분포에 대한 불신뢰도 값과 신뢰도값을 예측한다. <그림 13>에 계산된 예가 나타나 있다.

단계 8) 단계 7에서 구한 값의 역의 값으로 배열된 요구되는 신뢰도 값과 그에 대응하는 수명 시간이나 사이클 값을 계산한다(<그림 14> 참조).

단계 9) 단계 7과 단계 8에서 계산 값을 그래프로 전환하여 보여준다. 신뢰도 개선을 위해 비교되는 대안에 대한 데이터를 비교해 볼 수 있는 그래프이다. <그림 15>는 Survival Graph 워크시트를 보여주고 있다.

수명 시험시뮬레이션을 실행하고 결과 데이터로부터 신뢰성 예측치 값의 신뢰구간을 구하기 위한 공식은 식 (7)이다[12].

$$\hat{R} - 1.96 \sqrt{\frac{\hat{R}(1-\hat{R})}{r}} \leq R \leq \hat{R} + 1.96 \sqrt{\frac{\hat{R}(1-\hat{R})}{r}} \quad (7)$$

D	E	F
Failure Time	F(X): Unreliability	R(X): Reliability
5	0.0013	0.9987
10	0.0069	0.9931
15	0.0181	0.9819
20	0.0357	0.9643
25	0.0599	0.9401
30	0.0910	0.9090
35	0.1286	0.8714
40	0.1724	0.8276
45	0.2216	0.7784
50	0.2752	0.7248
55	0.3323	0.6677
60	0.3916	0.6084
65	0.4519	0.5481
70	0.5119	0.4881
75	0.5706	0.4294
80	0.6269	0.3731
85	0.6798	0.3202
90	0.7288	0.2712
95	0.7733	0.2267
100	0.8131	0.1869
105	0.8480	0.1520
110	0.8781	0.1219
115	0.9036	0.0964
120	0.9249	0.0751

<그림 13> 수명에 대한 신뢰도 예측값

이를 위하여 95% 신뢰구간을 구하기 위하여 엑셀 함수 = CONFIDENCE(0.95, Std Dev, r)를 사용한다.

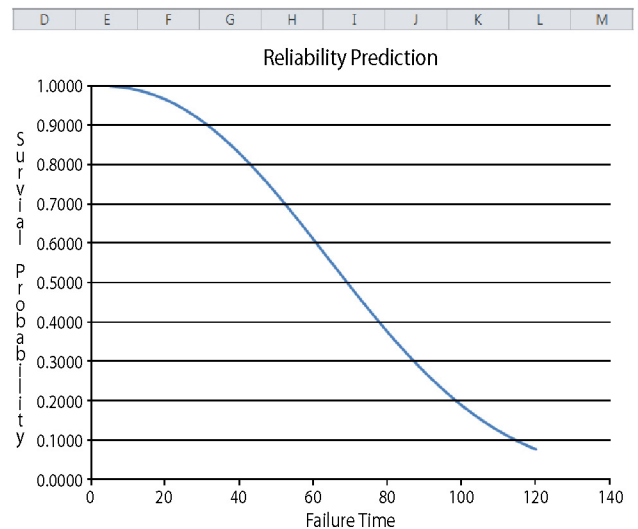
R(X): Reliability	Failure Time
0.01	152.8328886
0.1	114.235945
0.2	98.28448191
0.3	87.00586955
0.4	77.58019025
0.5	69.00030681
0.6	60.6997667
0.7	52.20073372
0.8	42.86867823
0.9	31.28091671
0.99	11.66093848

<그림 14> 신뢰도에 대한 수명 예측값

4. 결 론

제품이나 시스템의 초기 설계단계에서 설계 대안을 손쉽게 비교 검토하고 요구되는 신뢰성을 제품에 구현시킬 수 있는 시뮬레이션을 통한 스프레드시트 기반의 신뢰성 예측 모델의 개괄적인 프레임워크를 제시하였다.

부품의 고장률이 시스템 신뢰도에 미치는 상대적인 효과를 평가하는데 유용하게 사용되고 이러한 평가는 어떤 부품과 그에 관련된 고장 요인이 제품 설계에 대한 추가적인 주의를 요하는지 결정하는 근거가 되게 된다. 이러한 시뮬레이션 예측 모델의 사용은 설계자로 하여금 중요한 부품과 중요한 고장 모드 및 요인에 집중할 수



<그림 15> Survival Graph 워크시트

있게 해주게 된다. 엑셀 매크로 모델은 다양한 시스템 환경을 구성 할 수 있으며 이를 엑셀의 다양한 그래프 기능을 손쉽게 활용하여 각종 제품의 수명 데이터 및 계산 결과를 축적하여 이를 재활용할 수 있으며 신뢰도 예측 결과를 그래프로 보여 줄 수 있어 의사결정을 빠르게 진행 할 수 있다.

수명 데이터의 분석은 신뢰도, 고장률, 제품의 일정 비율이 고장하는 시점, 평균 고장 시간등과 같은 수명 관련 품질 특성치에 관한 여러 정보를 얻는데 사용되고, 이들 정보는 신제품의 개발, 제품의 신뢰성 개선, 최적 burn-in 기간의 설정, 제품의 보증 정책, 예방 교환 부품 정책, 수리 정책, 예비 부품 재고 정책 등의 결정에 사용된다.

수명 시험은 제품의 실제 사용 조건을 구현하기가 어렵고 부품단위 이상의 것은 시험이 어렵고 곤란하며 비용이 많이 소모되어 이를 실제 사용 조건과 유사한 환경에서 발생하는 고장시간 데이터를 생성함으로써 쉽게 제품이나 시스템 아이템의 행태를 쉽게 추적하고 분석 할 수 있는 엑셀 기반의 수명 시험 시뮬레이션 프레임워크의 프로토타입을 개발 하였다. 이를 통하여 제품의 수명과 관련된 품질 특성치의 성능평가 및 향후 제품의 다자인 철학에 반영하여 사용할 수 있는 현장의 실무자 수준에서 손쉽게 적용하고 관리 가능한 수명 시험 데이터 관리 및 분석에 관한 방법론을 제공하고 있다.

참고문헌

- [1] 박동호, 백재욱, 박정원, 송병석; “신뢰성 공학”, 한국방송통신대학 출판부, 2010.
- [2] 서호복; “신뢰성 데이터의 해석법”, 자동차공학회지, 9(3) : 23-35, 1987.
- [3] 엄태원; “누적 해저드지의 모수추정에 관한 연구 : 컴퓨터 프로그래밍 및 신뢰성 공학에의 응용”, 산업경영시스템학회지, 16(28) : 145-155, 1993.
- [4] 정수일; “신뢰성 확률지의 전산화에 관한 연구(VI)”, 산업경영시스템학회지, 22(50) : 373-380, 1999.
- [5] 정재현; “신뢰성 설계 및 데이터 분석을 위한 소프트웨어의 개발”, 아주대학교 대학원 석사학위논문, 1992.
- [6] 최준선; “엑셀 2010 매크로 & VBA”, 멘토르, 2011.
- [7] Bajaria, H. J.; Difference Between Reliability Testing and Durability Testing, <http://www.multiface.com>.
- [8] Desmarais, B.; “Using the Microsoft Excel Pivot Table for Reliability Applications,” IEEE 34th Annual Spring Reliability Symposium, “Reliability-Investing in the Future,” 1996.
- [9] Dhillon, Balbir, S.; “Life Distributions,” *IEEE Trans. on Reliability*, R-30(5) : 457-460, 1981.
- [10] Dorner, William, W.; “Using Excel for Weibull Analysis,” http://www.qualitydigest.com/jan99/html/body_weibull.html.
- [11] Gedam, S. G. and Beaudet, S. T.; “Monte Carlo Simulation using Excel Spreadsheet for Predicting Reliability of a Complex System,” Proc. Ann. Reliability and Maintainability Symp: 433-436, 2000.
- [12] Jones, J. A. and Hayes, J. A.; “Use of a field failure database for improvement of product reliability,” *Reliability Engineering and System Safety*, 55 : 131-134, 1997.
- [13] Keeling, K. B. and Pavur, R. J.; “Numerical Accuracy Issues in Using Excel for Simulation Studies,” *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 2004.
- [14] Law, A. M. and Kelton, W. D.; *Simulation Modeling and Analysis*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1991.
- [15] Lawless, J. F.; “Statistical Methods for Life Time Data,” New York, John Wiley and Sons, 1982.
- [16] Lewis, E. E.; “Introduction to Reliability Engineering,” 2nd ed., New York, John Wiley and Sons, 1992.
- [17] Nelson, Wayne; “Applied Life Data Analysis,” New York, John Wiley and Sons, 1982.
- [18] Ormon, S. W., Cassady, C. R., and Greenwood, A. G.; “A Reliability Prediction Models to Support Conceptual Design,” *IEEE Trans. on Reliability*, 51(2) : 151-157, June 2002.
- [19] Palisade Corporation, @Risk : Risk Analysis and Simulation Add-In for Microsoft Excel, New York, 2000.
- [20] Quanterion; “Reliability Toolkit : Commercial Practices Edition,” Reliability Analysis Center, 1997.