

가속 수명시험 데이터를 기반으로 하는 신뢰성 예측에 적합한 분포 함수 선택에 관한 연구

김지현^{1*}, 박동규¹, 한현각²

A Study on Selection of Distribution Function for Reliability Prediction Using Accelerated Life Test Data

Ji-Hun Kim^{1*}, Dong-Gue Park¹ and Hyun-kak Han²

요약 신제품에 대한 개발 주기가 짧아지고 있는 현시점에서 제품의 수명을 예측하고 평가하기 위한 방법으로 가속 수명시험과 시험을 통해 관측된 고장 데이터의 분석에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 따라 가속 수명시험을 위한 시험 조건과 고장 데이터의 정확한 분석을 위한 고장 데이터의 최적 분포 결정 방법에 대한 관심 또한 증대되고 있다. 따라서 본 논문에서는 고장 데이터를 기반으로 신뢰성 예측을 할 때 사용하는 분포 함수 결정을 위한 방법으로 관측된 고장 데이터만의 분포를 고려하는 Anderson-Darling 방법과 관측된 고장 데이터의 수명-스트레스 관계식을 적용하여 고장 데이터의 분포를 결정하는 Likelihood Function 방법을 비교한다. 두 가지 방식을 비교한 결과 각 방식에 의해 선택되는 최적분포가 다르며, 따라서 각 방식에 의해 선택된 최적 분포에 의해서 예측되는 수명도 다를 수 있다.

Abstract The study about Accelerated Life Test and analysis of failed data is increased in order to predict and evaluate reliability of products, according as the development cycle of products is reduced. Therefore, the decision of optimal distribution function about failed data for accurate analysis of failed data and test condition for Accelerated Life Test is very important.

This paper compares Anderson-Darling method with Likelihood Function method for the decision of optimal distribution function about failed data. Anderson-Darling considers only failed data and Likelihood Function considers both failed data and life-stress relationship in decision of distribution function. In the results of comparison about two methods, we found that the distribution function chosen by each method is different and the life time predicted by each decided distribution function is different.

Key Words : 가속 수명시험(Accelerated Life Tests : ALT), Anderson-Darling, Likelihood Function

1. 서론

제품의 수명을 예측하고 제품의 특징을 파악하여 소비자가 원하는 제품을 생산하는 것은 제품에 대한 신뢰도를 높이는 것만이 아니라 기업 이미지를 높일 수 있는 가장 기본적인 활동으로 자리 잡고 있다. 이러한 활동은 기업에게 제품의 수명과 특징을 어떻게 예측하고 파악할 것인가에 대한 관심을 높이게 하였다. 신제품에 대한 개

발 주기가 짧아지고 있는 현시점에서 제품을 평가하기 위한 방법으로 제품을 사용조건보다 가혹한 조건에서 시험, 빠른 시간에 제품에 수명과 특징을 파악할 수 있는 가속 수명시험(Accelerated Life Tests : ALT)에 대한 관심이 증대 되고 있다.

가속 수명시험은 크게 두 부분으로 구분이 된다. 첫째는 정확한 고장 데이터 관측을 위한 최적시험 설계이며 두 번째는 관측된 고장 데이터의 해석이다. 정확한 데이터의 관측을 위해 최적시험 요건에 맞는 시험을 실시 한 후 관측된 데이터의 정확한 분석을 위한 방법을 찾는 것은 가속 수명시험에서 매우 중요하다. 가속 수명시험을

¹순천향대학교 정보통신공학과

²순천향대학교 나노화학공학과

*교신저자: 김지현(zippykim@sch.ac.kr)

통해 관측된 고장 데이터의 정확한 분석을 위해 선행되어야 하는 최적 분포결정은 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 관측된 가속수명 시험데이터[1]를 기반으로 Alta pro 분석도구를 사용하여 정확한 수명 예측 분석을 수행한다. 본 논문에서 사용하는 최적 분포 결정을 위한 방법은 기존의 방식인 Anderson-Darling과 달리 수명과 스트레스 관계식을 사용하는 Likelihood Function을 이용함으로써 기존의 방식보다 정확한 신뢰성 예측이 가능한 것으로 사료된다.

최적 분포결정 방법을 비교하기 위해 소형 계전기의 가속 수명시험을 통해 얻어진 고장 데이터[1]를 이용한다.

2. 소형 계전기의 가속 수명시험 데이터

본 논문에서 사용하는 가속 수명데이터는 기존의 논문 [1]에서 발표된 데이터로 소형 계전기에 대한 것이며, 정상 사용조건이 4.2A로써 12.6A, 16.8A, 21A의 3 수준으로 수행되었고 각 수준별로 30개의 시료를 시험하여 고장시간(Cycle)을 관측하여 얻은 고장 데이터를 사용하였다.

표 1. 시험 수준과 시료 수

Stress 수준	시료 수	정상 사용 조건
12.6A	30	4.2A
16.8A	30	
21.0A	30	

[표 1]의 조건을 사용한 가속 수명시험을 통해 관측된 고장 데이터는 관측중단이 없는 완전데이터(completed

표 2. 가속수명시험에서 자주 사용되는 수명-스트레스 모형

모형 명	모형	스트레스
Arrhenius	$L(V) = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{kV}\right)$	온도
Eyring	$L(V) = \frac{1}{V} \cdot \exp\left(-\left(A - \frac{B}{V}\right)\right)$	진동, 습도 등 비열
Inverse Power	$L(V) = \frac{1}{KV^n}$	전압
General Log-Linear	$L(X_1, \dots, X_n) = \exp\left(a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i\right)$	각종 스트레스

data)로 수명-스트레스 관계식으로는 전압을 사용한 가속 수명시험에서 가장 많이 사용되는 Inverse Power 모형을 사용하였다.[1][2]

2.1 MINTAB의 Anderson-Darling 값을 사용한 최적 분포 결정

소형 계전기의 고장 데이터에 대한 최적 분포를 결정하기 위해 기존 논문[1]에서는 MINITAB을 사용하였고 분포의 적합성을 나타내는 척도로는 주어진 고장 데이터의 특성만을 고려하는 Anderson-Darling방법을 이용하였다. 비교된 분포는 Weibull 분포, Lognormal 분포, Exponential 분포, Nomal 분포이며, 각 분포에 Anderson-Darling방법을 적용한 결과 [표 3]과 같이 스트레스에 따른 Anderson-Darling 값이 0.534, 0.574, 0.752로서 가장 작은 값을 나타낸 Weibull 분포가 소형 계전기의 고장 데이터에 가장 적합한 분포로 판단되었다.

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\ln F(Y_i) + \ln(1 - F(Y_{N+1-i}))] \quad (1)$$

Anderson-Darling 값을 사용한 분포 확인은 정규성에 대해 경험적 누적분포함수를 기초로 하며 위 수식 (1)에서 F 로 나타난다.[1][3]

표 3. Anderson-Darling값을 사용한 적합한 수명분포의 검토

Anderson-Darling 값 Stress	Weibull	Lognormal	Exponential	Normal
12.6A	0.534	0.729	1.290	1.026
16.8A	0.574	0.873	0.992	1.180
21.0A	0.752	0.826	2.033	1.619

2.2 ALTA PRO Likelihood Function 값을 사용한 최적 분포 결정

본 논문에서는 기존의 연구와는 달리 소형 계전기의 고장 데이터에 대한 적합한 분포를 판단하는 방법으로 주어진 고장 데이터의 특성과 수명-스트레스 관계식을 모두 고려한 Likelihood Function 사용하였다. 최적 분포를 구하기 위해 ALTA PRO를 사용하였으며 Weibull 분포, Exponential 분포, Lognormal 분포에 각각 식 (2)과 같은 Likelihood Function을 적용하였다.

Likelihood Function은 가장 큰 값을 나타내는 분포가 최적 분포로 판단되며, 이를 적용한 결과 표4와 같이 -794.944641957004의 값을 나타낸 Lognormal 분포를 가장 적합한 분포로 판단되었다.

$$L(p|x, n) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (2)$$

Likelihood function

식(2)의 Likelihood function을 적용 하여 주어진 고장 데이터를 분석한 결과는 [표 4]와 같다.[3]

표 4. Likelihood Function값을 사용한 적합한 수명분포의 검토

분포	Weibull	Exponential	Lognormal
Likelihood Function 값	-796.989941164801	-798.323974746188	-794.944641957004

3. Weibull 분포와 Lognormal 분포를 사용한 수명 예측

수명-스트레스관계를 고려하지 않은 MINITAB의 Anderson-Darling을 사용하는 방식에 의해 선택된 Weibull 분포와 수명-스트레스관계를 고려한 ALTA PRO의 Likelihood Function을 이용하여 선택된 Lognormal 분포를 적용하여 고장 데이터를 분석하여 소형 계전기의 평균 수명과 B10 수명을 구하였다.

Weibull 분포를 적용한 분석에서 정상 사용 조건 4.2A와 Confidence Level 95%의 형상모수 β 는 1.1431과 척도모수 η 는 2.0886E+9로 나타났으며, 이를 사용하여 표현한 Reliability와 Cycle의 관계 그래프는 [그림 1]과 같고, B10 Life는 2.9168E+8 Cycle, 평균수명은 1.9912E+9 Cycle로 [표 5]와 같이 확인 되었다.[6]

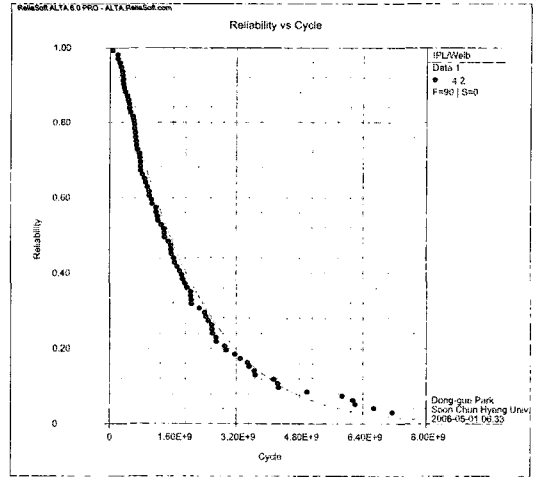


그림 1. Weibull를 적용한 Reliability vs Cycle

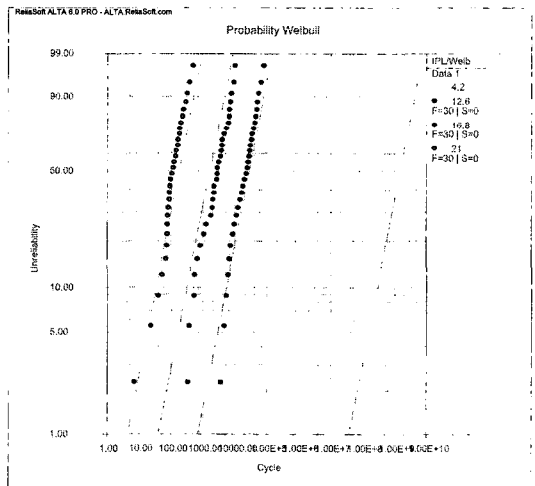


그림 2. Weibull를 적용한 Probability Weibull

표 5. Weibull 분포를 적용한 수명 예측

구분	수명 예측	Weibull 분포를 적용한 수명 예측	
		Mean Life	B10 Life
Upper Limit		8.8967E+9	1.3526E+9
예측 값		1.9912E+9	2.9168E+8
Lower Limit		4.4567E+8	6.2899E+7

수명-스트레스관계식을 고려한 Likelihood Function 값을 사용하여 선택된 Lognormal 분포를 적용한 분석에서도 역시 Weibull 분포를 적용한 분석과 동일하게 정상 사

용 조건 4.2A와 Confidence Level 95%를 적용한 분석을 실시하였다. 분석 결과 형상모수 σ 는 0.9610과 척도모수 Mean(μ)는 21.0827로 나타났으며 이를 사용하여 표현한 Reliability와 Cycle 의 관계 그래프는 [그림 3]과 같고, B10 Life는 4.1798E+8 Cycle, 평균수명은 2.2731E+9 Cycle로 [표 6]과 같이 확인 되었다.[4]

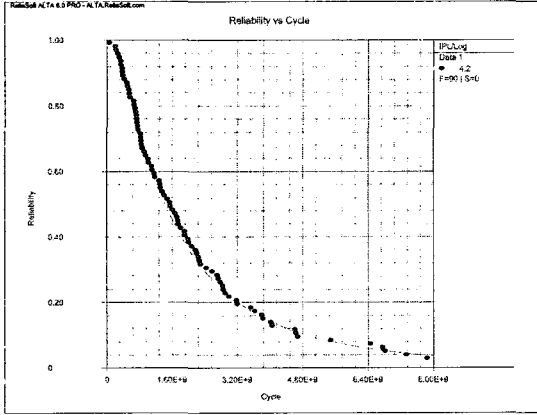


그림 3. Lognormal를 적용한 Reliability vs Cycle

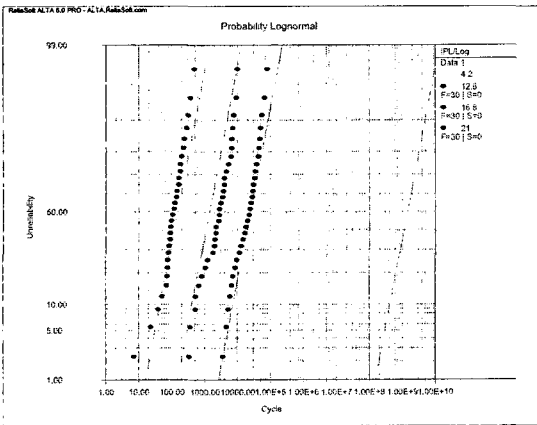


그림 4. Lognormal를 적용한 Probability Lognormal

표 6. Lognormal 분포를 적용한 수명 예측

구분	수명 예측	
	Lognormal 분포를 적용한 수명 예측	
	Mean Life	B10 Life
Upper Limit	8.4466E+9	1.5703E+9
예측 값	2.2731E+9	4.1798E+8
Lower Limit	6.1125E+8	1.1126E+8

[표 7]은 Weibull 분포를 적용한 수명 예측과 Lognormal 분포를 적용한 수명 예측을 비교한 것으로 가속 수명시험을 통해 관측된 고장 데이터를 분석하고 이를 이용한 수명예측은 어떤 분포를 최적 분포로 결정하는가에 따라 그 예측 결과가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 실제로 어떤 수명 예측이 더 정확한지는 현장에서 필드 데이터를 수집하여 이것을 예측데이터와 비교해야만 정확하게 증명할 수 있지만, 이 문제는 실제 필드 데이터가 수집되는 시점에서 판단될 것으로 사료된다. 다만 본 논문에서는 이와 같이 고장 데이터의 분석에서 최적 분포의 결정이 신뢰성 예측 시 매우 중요한 변수로 작용할 수 있다는 것을 알 수 있었다.[7][8]

4. 결론

본 논문에서는 소형 계전기의 신뢰성 예측을 위하여 가속 수명시험을 통해 관측된 고장 데이터의 분석을 위한 최적 분포 결정 방법으로 Anderson-Darling방법과 Likelihood Function방법을 비교 검토하였다.

소형 계전기의 동일한 고장 데이터를 이용한 최적 분포 결정에서 수명-스트레스관계를 고려하지 않은 Anderson-Darling방법은 Weibull 분포를 최적 분포로 결정 하였으며, 수명-스트레스관계를 고려한 Likelihood Function방법은 Lognormal 분포를 최적 분포로 결정 하였다.

각각 서로 다른 분포를 이용한 수명예측은 서로 다르게 나타남을 알 수 있었으며, 따라서 고장 데이터의 분석

표 7. 예측된 수명 데이터의 비교

구분	분포 선택	Anderson-Darling, Weibull		Likelihood Function, lognormal	
		Mean Life	B10 Life	Mean Life	B10 Life
Upper Limit		8.8967E+9	1.3526E+9	8.4466E+9	1.5703E+9
예측 값		1.9912E+9	2.9168E+8	2.2731E+9	4.1798E+8
Lower Limit		4.4567E+8	6.2899E+7	6.1125E+8	1.1126E+8

에서 최적 분포의 결정은 매우 중요한 변수로 작용한다는 것을 알 수 있었다. 실제로 어떤 수명 예측이 더 정확한지는 현장에서 필드 데이터를 수집하여 이것을 예측데이터와 비교해야만 정확하게 증명할 수 있지만, 이 문제는 앞으로 더 수행해야할 것으로 실제 필드 데이터가 수집되는 시점에서 판단될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 권영일, 유영철, 소형 계전기에 대한 가속수명시험 설계 분석, 한국신뢰성학회지, 제4권1호, pp.1-14, 2004
- [2] 정해성, 열화 자료의 신뢰성 분석과 응용, 한국신뢰성학회지, 제3권2호, pp.93-101, 2003
- [3] <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>
- [4] R.B. D'Agostino and M.A. Stephens, Eds, Goodness-of-Fit Techniques, Marcel Dekker, 1986
- [5] S.S. Shapiro and R.S. Francia, "An Approximate Analysis of Variance Test for Normality," Journal of the American Statistical Association, 67, 215-216, 1972

박 동 규(Dong-Gue Park)

[정회원]



- 1992년 한양대학교대학원 전자공학과 공학박사
- 1999년 ~ 2003년 순천향대학교 정보기술공학부 부교수
- 2004년 ~ 현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>
접근제어, 보안

- [6] 이현우, 신뢰성 시험, 한국신뢰성기술서비스, 2005
- [7] 정해성, 신뢰성 공학 이론 및 실습, 한국신뢰성기술서비스, 2006
- [8] D.N.Prabhakar Murthy, Min Xie and Renyan Jiang, Weibull Models, WILEY

한 현 각(Hyun-kak Han)

[정회원]



- 1985.8 고려대학교 일반대학원 화학공학과 졸업(석사학위취득)
- 1990.8 고려대학교 일반대학원 화학공학과 졸업(박사학위취득)
- 1993.3 순천향대학교 공과대학 화학공학부 교수

<관심분야>
분리기술, 공정제어

김 지 현(Ji-Hun Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 석사 재학

<관심분야>
신뢰성공학, 컴퓨터 프로그래밍