

# 보증데이터 분석방법과 적용에 관한 연구 On the Analysis Method and its Application of Warranty Data

김 종 결\* · 김 혜 미\*\* · 윤 혜 선\*\*

## Abstract

The issue is all about the study of warranty data collection and the analysis method to get a reasonable information of the products and improve reliability. In this paper, we consider the classification of warranty data analyses into a parametric and non-parametric analysis and method to get a reasonable information of the products. Also, it is considered the research trend by grouping the relationship among the studies. This study would be used to find the effective application and the condition of warranty data analysis.

**Keywords : Warranty Data, Field Data, Reliability Analysis**

## 1. 서 론

기술의 발전으로 인하여 제품의 고급화, 다기능화가 진행되었으며, 이전에 비해 더욱 복잡해지고 구성부품의 수도 적게는 몇 개에서 많게는 수만 개에 이르고 있다. 이에 따라 기업에서는 제품을 구성하는 부품뿐만 아니라 제품 전체의 품질보증과 고장원인의 규명 등을 위하여 제품의 수명과 관련된 품질 특성 치들을 파악하고 반응하는 것에 대한 전략이 이슈가 되고 있다.

이에 각 개발 단계에서 제품의 수명에 관련된 품질 특성 치들을 구하기 위한 수명시험의 데이터뿐만 아니라 시장에 출하한 후 사용단계에서 얻어지는 수명데이터를 수집·분석하여 체계화된 정량적 신뢰성 분석을 필요로 하고 있다.

수집되는 여러 데이터 중 통제된 환경에서 짧은 시험 시간으로 신속하게 수명을 파악할 수 있는 초가속시험과 여러 극한환경시험 데이터는 정밀한 결과를 제공하지만, 실제 사용 환경을 잘 반영하지 못한다는 결점이 있다.

---

\* 성균관대학교 시스템경영공학과

\* 성균관대학교 산업공학과

그러나 필드데이터인 보증데이터는 보증 기간 동안 서비스 센터에 접수된 클레임으로부터 얻어진 데이터로 사용자의 실제 사용 환경에서의 제품 고장을 파악하고, 수명을 파악을 하기에 더욱 효과적일 수 있다. 보증 데이터로부터 제품 신뢰도에 관한 유용한 정보를 추출해내기 위해서는 다양한 통계 기법을 적절히 활용할 필요가 있다.

본 논문에서는 제품의 사용현장에서 얻어지는 보증데이터의 분석방법에 관한 이론적 개발과 응용연구의 연구동향을 분석하고 효과적인 활용을 위한 방법을 제시하고자 한다.

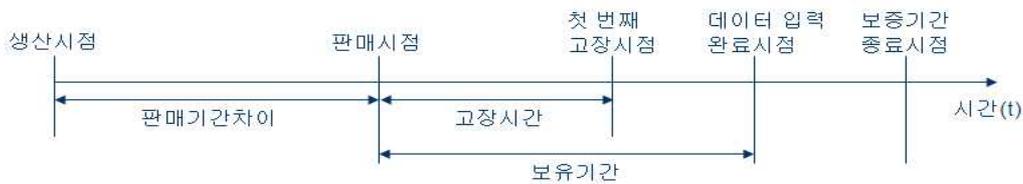
## 2. 보증데이터분석의 고찰

보증데이터란 제품의 수리·보증비용이나 현장에서의 신뢰도를 산출하기 위한 목적의 ‘필드서비스 데이터’로서 제품 판매 후 보증기간 내에 결함이 발생하면 해당 부품을 무상으로 수리 또는 교환을 하고, 이 결함이 발견된 제품으로부터 얻어진 고장관련 데이터를 말한다.

### 2.1 보증데이터분석의 특징

사용현장에서 수집된 보증데이터는 현장고장자료로 실제 사용량과 환경스트레스를 설명하기 때문에 신뢰도를 추정하기 위한 자료로서 매우 바람직하다. 보증 데이터 분석은 양산 제품의 수명을 판단하는 것이 목적이므로 보증 기간 내에 발생한 각 제품의 첫 번째 클레임만을 대상으로 한다.

보증 데이터는 생산 시점 이후 그림과 같은 시간 구성을 가진다. 같은 판매시점에 출하된 제품들은 고장시점에 따라 다양한 고장시간을 가질 수 있으나, 고장 나지 않은 제품들은 일괄적인 데이터 입력 완료시점에 의해 보유기간을 가진다. 이러한 보유기간, 고장시간을 가리키는 용어로 MIS(Month in Service)와 MTF(Month to Failure)를 정의 할 수 있다.



[그림 1] 생산 시점 이후의 시간 구성

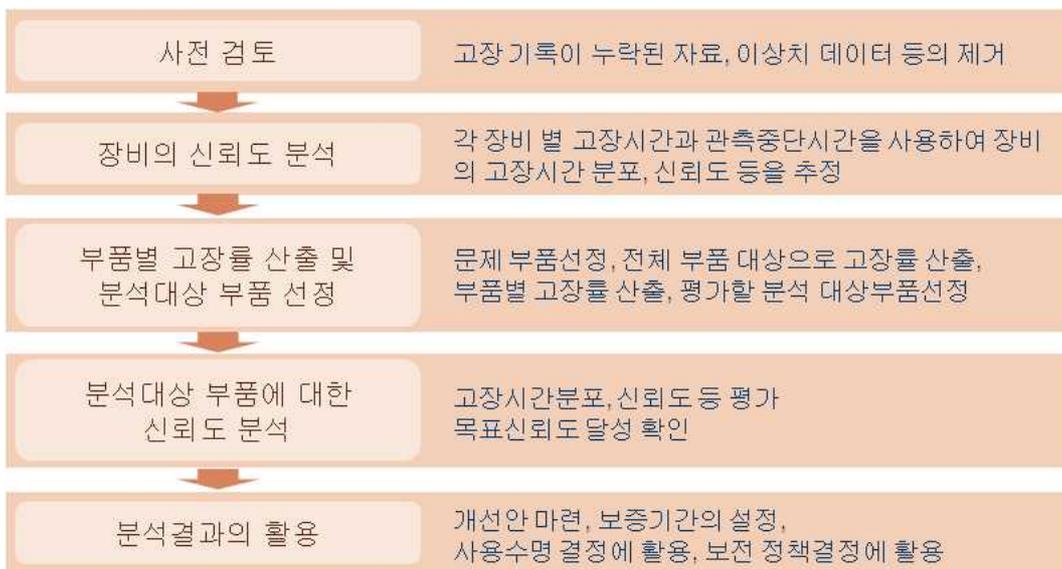
MIS는 판매 제품의 보유기간으로, 판매일 부터 데이터 입력 완료 시점까지의 시간을 의미한다. MTF는 고장 날 때까지의 기간으로, 판매일 부터 수리 일까지의 시간(단위: 개월)을 의미한다.

## 2.2 보증데이터분석 방법

보증데이터는 데이터의 척도에 따라 다르게 분석되어지며, 복잡하고, 시간소요가 많아 분석에 어려움이 있다. 따라서 의미 있는 데이터 처리와 분석을 위해서는 데이터의 생성과정에 대한 사전 조사가 필요하며, 데이터 수집 과정의 모든 특이 사항은 분석과정에서 충분히 검토되어야 한다.

보증데이터는 그 유형에 따라 두 가지로 나눌 수 있는데, 먼저 제품의 출하 및 고장시점이 구간별(일/주/월)로 관리되어진 보유기간 데이터와 제품 임의의 시점에서 제품의 실 가동시간(주행거리, 복사매수)을 통하여 관리되어진 데이터로 나눌 수 있다.

보증데이터 분석은 그 목적에 따라 절차와 범위가 달라질 수 있으며, 일반적 분석 절차는 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 데이터에 따른 보증데이터 분석 절차

## 3. 보증데이터 분석 연구 동향

신뢰성 데이터를 통계적으로 분석하기 위해서는 우선 수명분포를 알아야 한다. 수명을 나타내는 분포로 많이 사용되는 것은 지수분포, 와이블분포, 대수정규분포, 정규분포 등이 있다. 그러나 이러한 분포를 모르거나 가정하기 어려운 경우에는 비모수적인 방법을 이용하여야 한다. 동일한 신뢰성 데이터에 대하여 비모수적 방법과 모수적 방법이 모두 적용가능하다면 좀 더 효율적인 방법을 사용해야 할 것이다.

본 논문에서는 보증데이터를 분석할 때 통계적 분석방법에 대한 연구를 비모수적 방법과 모수적 방법으로 나누고 각 데이터 구분에 따른 연구로 나누고자 한다.

### 3.1 비모수적 방법 연구

#### 1) 실 가동시간 (주행거리, 복사매수)

Oh와 Bai(1998)은 자동차의 주행거리 데이터를 활용하여 관측중단시간을 모를 경우를 대비하여 비모수적 추정 방법을 제안하였다.[4]

#### 2) 보유기간 (판매일/주/월)

Nelson(1972)은 고장 나지 않은 제품의 단위 안에서 가동되고 있는 것과 고장 난 제품의 단위 안에서 고장 시간으로 구성되어 있는 복합 중단 시험의 수명데이터에 대해 간단히 그래프적 방법으로 설명을 하였다.[23]

Turnbull(1976)은 데이터들을 그룹화하거나, 중단 혹은 절단 때문에 불안정한 할 때 F 분포 함수의 비모수적 추정 가능성을 설명하고 있다.[31]

Baxter(1994)는 고장 난 제품의 사용 개시 점을 모르는 경우의 수명표(life table)로부터 비모수적 방법으로 이산형 수명분포를 추정하였는데, 이 방법은 매 시점마다 추가되는 제품수가 동일한 경우에만 적용가능하다[2]. Tortorella(1996)는 추가되는 제품수가 변하는 보다 일반적인 경우를 고려하였지만, 명확한 해를 제시하지 못하였다.[30]

Majeske 와 Herrin(1995,1998)은 차량의 오디오 시스템에 대한 보증 데이터를 사례로 들어, 제품 및 공정 설계 조건에 변동이 있을 때 변동 전후의 시스템을 실증적으로 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. 그리고 보유기간에 따른 생명표(life table)와 위험률(hazard rate) plot을 사용하는 비모수적 방법을 개발 하였다.[18][19]

Nelson(1995)은 관측중단자료의 비모수적 추정방법으로 플롯과 새로운 신뢰한계에 대하여 연구하였고 제품 고장 데이터를 활용하여 응용하였다.[24]

Kvam, Singh and Tiwari(1999)중도절단 경우 우 절단과 잔여 수명 두 가지 표본을 결합하여 비모수 최우추정법(MPMLE) 방법론을 이용하여 생존함의 비모수를 추정하고, 중도절단이 아닌 경우 간단하게 표본을 랜덤하게 추출하여 결합 표본에 기초한 유사한 추정방법으로 연구하였다.[11]

Karim, Yamanoto and Suzuki(2001)는 수리 가능한 제품에 대한 고장 수와 수리 불가능한 제품의 고장 수에 대한 평균을 비모수적 추정을 하였다. 수리 가능한 제품에서 나온 데이터는 비동질적 포아송 과정(NHPP)으로, 수리 불가능한 제품에서 나온 데이터는 포아송 근사(Poisson approximation)로 추정을 보였다.[9]

Lim(2002)은 수리 불가능한 제품의 경우, 특히 관측중단이 있는 경우에 있어서 불완전한 보증 데이터를 활용한 비모수적 신뢰도 추정 방법을 제안하였고, 이후에 사용 개시 시점이 불확실한 경우의 추정 방법을 제시하였다.[15][16]

### 3) 추적조사가 이루어진 경우

Kaplan(1958)은 수술 후에 생존수명에 대한 분포를 결정하기 위한 의학적 추적연구를 하였다. 그리고 비슷한 연구로 진공청소기의 수명관찰 또한 추적연구로 관측하였는데, 위 두 가지 예들은 불완전 관측으로 적당한 기간 안에 보고할 수 있도록 얻어낼 수 있는 결과였다.[8]

## 3.2 모수적 방법 연구

### 1) 실 가동시간 (주행거리, 복사매수)

Lu(1998)는 초기고장 데이터를 활용하여 장기 또는 단기 신뢰도를 추정하고, 신뢰도에 문제가 있는 제품에 대한 초기의사결정을 지원하는 방법을 제안하였다. 분석용 데이터는 4~5 개월의 보증 데이터를 사용하였으며, 추적 조사를 통해 월간 평균 주행거리와 월간 주행거리의 표준편차를 구했고, 주행거리는 대수 정규분포를 따른다고 가정하였다.[17]

Rai와 Singh(2003)은 보증 데이터로부터 파악할 수 있는 고장 주행거리에 로그를 취한 양이 절단정규분포(truncated normal distribution)를 따른다고 가정하고, 모집단의 모수를 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 보증 데이터의 깨끗하지 못한 성질을 완화하기 위해 고장 주행거리의 각 백분위수에 대한 99% 신뢰 구간을 벗어나는 일종의 특이점을 제외할 것을 제안하였다.[26]

### 2) 보유기간 (판매일/주/월)

보증 데이터의 수집과 분석을 위한 절차 개발의 중요성을 Lawless(1983)가 지적한 이래로 여러 가지 연구가 진행되었다.[13]

Kalbflesch 와 Lawless(1996)는 클레임에 대한 분석은 간단하고, 다양하게 응용 가능한 데이터이기 때문에 이 논문에서는 자동차를 예시로 제조공정에서와 고장 난 데이터를 수집하고, 기록하는 방법 등을 연구하였다.[5]

Mohan(2008)은 불완전한 보증자료를 이용한 실용적 신뢰도 추정 방법을 제시하였다.[20]

Coit(2000)는 매 고장시마다 각각의 고장시간 기록이 누락되고 단지 부품의 전체 고장수와 누적 시간자료를 가용할 때 자료를 분석하는 방법을 제시하였다.[3]

Oh와 Bai(2001)는 보증기간 후의 사용현장데이터를 추가하여 신뢰성을 분석하는 절차를 제안하였다.[25]

Murthy(2001)는 제품에 대한 보증과 신뢰의 중요성을 다루고, 제품의 신뢰성을 효과적으로 관리하기 위해 필요한 틀(frame)을 개발하였다. 이 논문은 추후 연구를 위한 적절한 논문과 주제에 관련된 내용들을 보여주었다.[21]

Murthy와 Djameludin(2002)는 지난 10년간 보증에 대한 내용을 다시 보여주고, 새로운 제품에 대해 보증하는 모두 다른 측면, 방법들을 설명하였다. 제품수명주기의 관

점으로부터 제조업자까지의 높은 관련성이 있다고 가정하고 있기 때문에 이 내용을 주 내용으로 다루고 있다.[22]

Stephens와 Crowder(2004)는 추후 예측을 위해 사용할 보증 클레임 데이터 분석으로 베이지안 기법을 이용하여 예측을 하였고, 이 베이지안 기법을 활용하기 위해 마코브 체인 기법이 개발되어졌다고 설명하고 있다.[27]

### 3) 추적조사가 이루어진 경우

Suzuki(1985)는 추적조사 예정제품을 미리 정하여 판매한 후 수리 센터로부터 얻은 고장데이터와 추적조사 예정제품 중 보증기간에 고장이 접수되지 않은 제품들을 추적조사 하여 얻어진 데이터를 이용하여 제품의 신뢰도를 추정하는 문제를 다루었다.[28][29]

Kalbfleisch와 Lawless(1988)는 수명 분포의 모수와 설명변수가 대수선형관계임을 가정하고 수리 센터로부터 얻은 고장 데이터와 고장이 나지 않은 제품 중의 일부를 추적 조사하여 얻은 설명변수에 대한 데이터를 이용하여 수명 분포의 모수를 추정하였다.[6]

Kvaloy와 Lindqvist(1998)는 잘 알려진 그래프 방법으로 비동질적 포아송 과정 모델에 대한 시험을 하였다. 이 시험은 TTT(total time on test) 통계에 기반을 둔 수리 가능한 시스템으로부터 고장 데이터를 얻어 추적 조사하는 방법으로 연구를 진행하였다.[10]

### 4) 시간지연(time-lag)이 있는 경우

Lawless(1998)는 자동차와 냉장고의 보증사례를 들어 보유기간에 근거한 일차원 분석의 전반에 대해 정리 하였다. 일정한 시간 간격으로 그룹화 되어 있거나 보고지연 시간(reporting delay)이 있는 경우, 또는 공변량 (covariate)을 다루어야 할 경우 등 실제 상황에서 발생할 수 있는 다양한 변수를 고려한 분석에 대하여 정리하였다.[14]

Kalbfleisch(1991)은 고장 난 제품이 서비스센터에 들어오기까지 시간지연(time-lag)이 있는 경우에 보증 데이터를 이용하여 보증 클레임 횟수의 기댓값을 구하였다. 그들은 대수-선형 포아송(log-linear Poisson) 모형을 제안하여 문제를 간단히 표현하였으며, 고장 제품의 사용기간을 알고 동일 제품의 반복(recurrent) 고장을 허용하는 경우를 고려하였다.[7] Lawless(1994)는 이들의 연구를 시간지연이 제품의 고장시간에 따라 변화하는 변량모형(random effect model)인 경우로 확장하였다.[12]

Attardi(2005)은 3-모수 와이블 분포를 이용하여 사용개시 시점이 지연된 보증 데이터의 분석방법을 제안하였다[1].

#### 4. 결론 및 추후 연구과제

본 논문에서는 보증데이터의 개념과 보증데이터 분석방법 및 연구내용에 대하여 다루었다. 현재 보증데이터 분석에 대한 연구는 크게 모수추정 방법인 비모수적 방법과 모수적 방법으로 나눌 수 있다. 이와 같은 방법으로 데이터 분석방법을 분류하여 다음과 같은 연구동향을 도출하였다.

[표 1] 보증데이터 분석방법 분류

형 태		분류 기준	내 용
비 모 수 / 모 수	데 이 터 특 징	실 가동시간	실 가동시간 데이터를 활용하여 모수를 추정하는 방법
		보유기간	보유기간데이터를 활용하여 모수를 추정하는 방법
	추 가 데 이 터	추적조사	고장 데이터와 고장이 나지 않은 제품 중의 일부를 추적 조사하여 모수를 추정
		시간 지연	고장 데이터의 입력 전 시간지연이 일어난 경우 보증 데이터의 분석방법 제안

1) 필드데이터인 보증데이터는 수명분포를 정확히 알 수 없는 경우(데이터수가 적을 때, 데이터가 명시되어 있는 분포를 따르지 않을 때 등)에 효과적으로 사용될 수 있으며 지속적인 연구가 진행되어지고 있다. 그러나 추정 값에 대한 불명확성과 분석방법의 어려움으로 연구영역의 범위가 모수적 방법에 비해 좁다.

2) 데이터의 특징에 따라 실 가동시간데이터(주행거리, 복사매수), 보유기간데이터(판매일/주/월)로 나눌 수 있는데 보유기간의 데이터가 보증데이터 기록과 분석의 편의로 더욱 많은 연구되었다. 데이터 특징에 따른 보증데이터 분석은 제품의 특성에 맞게 구별되어 데이터 수집과 분석이 필요하다.

3) 데이터의 추가적 정보의 유무에 따라 추적조사, 지연시간이 있는 경우로 나눌 수 있으며 이는 제품에 대한 추가적인 정보를 제공함으로써 보다 정확한 분석이 가능하다.

보증데이터를 통하여 제품신뢰도에 관한 유용한 정보를 추출해내기 위해서는 다양한 통계기법을 적절히 활용할 필요가 있으며, 고장의 원인 수에 따른 연구와 제품의 고장원인을 정확히 모르는 마스크(masked)데이터가 있는 경우의 연구, 실험실데이터와 사용현장데이터의 정보를 결합한 베이지안 연구가 진행된다면 사용 환경을 더욱 잘 반영한 보증데이터 분석방법을 개발할 수 있을 것을 기대한다. 아울러 전체적인 보증데이터 분석 과정 또한 시스템화할 필요가 있다.

## 5. 참 고 문 헌

- [1] Attardi, L., Guida, M., and Pulcini, G., "A Mixed-Weibull Regression Model for the Analysis of Automotive Warranty Data," *Rel. Eng & sys. Safety*, 87, pp.265-273, 2005.
- [2] Baxter, L.A., "Estimation from Quasi Life Tables", *Biometrika*, 81(3), pp.567-577, 1994.
- [3] Coit, D. W. and Dey, K. A, "Gamma Distribution Parameter Estimation for Field Reliability Data with Missing Failure Times, *IIE Transactions*, 32, 1161-1166, 2000.
- [4] Hu, X. J., Lawless, J. F. and Suzuki, K., " Nonparametric Estimation of a Lifetime Distribution When Censoring Times Are Missing", *Technometrics*, 40, pp.3-13, 1998.
- [5] Kalbfleisch, J. D. and Lawless, J. F., "Statistical Analysis of Warranty Claims Data.", In: Blischke WR, Murthy DNP (EDS), *Product Warrnaty Handbook*. Marcel Dekker, NY., 1996.
- [6] Kalbfleisch, J. D., Lawless, J. F. "Estimation of Reliability in Field Performance Studies", *Techometrics*,30, pp365-388, 1988.
- [7] Kalbfleisch, J. D., Lawless, J. F. and Robinson, J. A., "Methods for the Analysis and Prediction of Warranty Claims", *Technometrics*, 33(3), pp.273-285, 1991.
- [8] Kaplan, E. L., "Nonparametric Estimation From Incomplete Observations", *J Am Statist Assoc*, pp.457-481, 1958.
- [9] Karim, M. R. Yamamoto W. and Suzuki. K., "Statistical Analysis of Marginal Count Failure Data.", *Lifetime Data Anal* 7, pp.173-186, 2001.
- [10] Kvaloy, J. T. and Lindqvist B. H., "TTT-based Tests for Trend in Repairable Systems Data.", *Reliab. Eng Sys Saf* 60, pp.13-28, 1998.
- [11] Kvam, P. H., Singh, H. and Tiwari, R. C., "Nonparametric Estimation of the Survival Funcion based on Censored Data with Additional Observations from the Residual Life Distribution.", *Commun Statist*, 13(20), pp.2469-2486, 1984.

- [12] Lawless, J. F., "Adjustments for Reporting Delays and the Prediction of Occurred but not Reported Events", *The Canadian Journal of Statistics*, 22, pp.15-31, 1994
- [13] Lawless, J. F., "Statistical Method in Reliability", *Technometrics*, 25, pp.305-335, 1983.
- [14] Lawless, J. F., "Statistical Analysis of Product Warranty Data", *International Statistical Review*, 66(1), pp.41-60, 1998.
- [15] Lim, T., "Estimation of Product Reliability with Incomplete Field Warranty Data", *Jour. Korean Ins. Ind. Eng.*, 28(4), pp.368-378, 2002.
- [16] Lim, T., "Nonparametric Estimation of the Product Reliability from Grouped Warranty Data with Unknown Start-up Time", *Int. Jour. Ind. Eng.*, 10(4), pp.474-481, 2003.
- [17] Lu, M., "Automotive Reliability Predictions Based on Early Field Failure Warranty Data", *Quality and Reliability Engineering International*, 14, pp.103-108, 1998.
- [18] Majeske, K. D. and Herrin, G. D., "Assessing Mixture-model Goodness-of-fit with an Application to Automobile Warranty Data", *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp.378-383, 1995.
- [19] Majeske, K. D. and Herrin, G. D., "Determining Warranty Benefits for Automobile Design Changes", *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp.94-99, 1998.
- [20] Mohan, K., Cline, B., and Akers, J., "A Practical Method for Failure Analysis Using Incomplete Warranty Data," *RAMS*, 2008.
- [21] Murthy, D. N. P. and Blischke, W. R., "Warranty and Reliability.", In: Balakrishnan N, Rao CR (eds) *Handbook of Statistics: Advances in Reliability*, vol 20., Elsevier, Amsterdam, pp.541-583, 2001.
- [22] Murthy, D. N. P. and Djameludin, I., "New Product Warranty: A Literature Review", *Int J PROD Econ* 79, pp.231-260, 2002.
- [23] Nelson, W., "Theory and Application of Hazard Plotting for Censored Survival Data.", *Technometrics* 14, pp.945-966, 1972.
- [24] Nelson, W., "Confidence Limits for Recurrence Data-Applied to Cost or Number of Product Repairs", *Technometrics*, 37, pp.147-157, 1995.
- [25] Oh, Y. S. and Bai, D. S., "Field Data Analyses with Additional After-Warranty Failure Data", *Reliability Engineering and System Safety*, 72, pp.1-8, 2001.
- [26] Rai, B. and Singh, N., "Hazard Rate Estimation from Incomplete and Unclean Warranty Data", *Reliability Engineering & System Safety*, 81(1), pp.79-92, 2003.
- [27] Stephens, D., Karim M. R. and Wang, L., "Statistical Analysis of Reliability Warranty Data." In: Rao CR, Balakrishnan N (eds) *Handbook of Statistic: advances in reliability*. Elsevier, Amsterdam. 2001.

- 
- [28] Suzuki, K., "Estimation of Lifetime Parameters From Incomplete Field Data", *Technometrics*, 27, pp.263-272, 1985.
- [29] Suzuki, K., "Nonparametric Estimation of Lifetime Distributions From a Record of Failures and Follow-Ups", *Journal of the American Statistical Association*, 80, pp.68-72, 1985.
- [30] Tortorella, M., "Life Estimation from Pooled Discrete Renewal Counts", in N. P. Jewell et al.(eds.) *Lifetime Data: Models in Reliability and Survival Analysis*, pp.331-338, 1996.
- [31] Turnbull, B.W., "The Empirical Distribution Function with Arbitrary Grouped, Censored, and Truncated Data.", *J Royal Statist Soc* 38, pp.290-295, 1976.