

# 신뢰성 로트보증 샘플링 검사방식

## Reliability Sampling Plans for Lot Assurance

김종걸 \*, 전봉룡 \*

### Abstract

Reliability assurance problem is an important issue in advanced company with good R&D capacity. In Korea, long-term and large-scale project for reliability improvement and certification have been conducted from 2000, 4 years ago. Generally, assurance is composed of system assurance and lot assurance. For reliability lot assurance, it is prerequisite to development reliability sampling plan with time-saving and minimum cost.

In this paper, we aim to investigate previous study on reliability lot assurance focused on reliability sampling plans and propose some suggestions for the future study.

**Keyword :** reliability assurance, LTFR, MTBF, sampling plan, ALT confidence level

### 1. 서론

오늘날의 시장 환경은 극도로 소비자 중심으로 전환되고 있다. 개인을 비롯한 세트 생산기업 역시 하나의 소비 주체로서 품질 및 신뢰성에 관해 많은 중요성을 두고 있다. 특히 국내 전자부품산업의 경우 국산품의 시장진입 장벽 중 가장 큰 비율을 차지하는 부분이 바로 신뢰성확보가 잘 안되기 때문이라는 조사 결과도 나와 있다. 이에 발맞추어 국가 정책사업의 일환으로 부품산업의 신뢰성 인증활동도 시작되었다.

생산되는 제품은 원가절감적인 측면과 시장 확보적인 측면에서 제조원가를 줄이기 위해 고장률을 고려하지 않은 제품을 설계할 경우 오히려 품질보증비용이 증가하게 되고, 고장률을 낮게 설계할 경우에 품질보증비용은 줄어드나 제조원가는 상승하게 된다. 따라서 대부분의 제조업체에서는 환경시험과 같은 자체적인 신뢰성확보 활동들을 수행

\* 성균관대학교 시스템경영공학부

하고 있다. 그러나 이러한 신뢰성확보 활동은 그 효과와 신뢰성의 정도를 소비자 혹은 구매자에게 제시하기에는 다소 무리가 있다. 제품의 고장률 정보는 대부분 공개되지 않으며 단지 환경시험 결과만을 나타내는 경우가 일반적이다. 신뢰성 검사는 주로 파괴검사로 이는 비용 측면에서 많은 시간과 손실비용을 초래하기 때문이다. 그러나 신뢰성문제가 대두되고 있는 현실에서 구매자들은 제품의 신뢰성에 대한 보다 명확한 자료를 필요로 하고 있다. 구매자들의 관심은 지금현재 구매하고자 하는 제품의 신뢰성에 대한 제조자의 정량적 표현과 사후 보상 문제에 대한 명확한 근거에 있다. 따라서 현재 양산되는 제품 혹은 로트(lot)에 대한 신뢰성검사의 필요성은 점점 더 커지고 있다. [1][2]

검사하는 품질 특성이 제품의 수명인 경우 로트로부터 추출된 제품의 수명시험 데이터에 근거하여 로트의 합격여부를 결정하는 샘플링검사방법을 신뢰성 샘플링검사(reliability sampling inspection)라고 한다. 신뢰성 샘플링검사는 관측하는 품질 특성이 제품의 수명이므로 다른 품질 특성치 예를 들면 무게, 길이, 결점수 등을 검사하는 일반적인 샘플링검사에 비하여 다음과 같은 차이점을 갖고 있다. 첫째, 제품의 수명을 측정하기 위해서는 모든 제품들이 고장이 날 때까지 계속 관측하거나 수명시험에 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여 도중에 시험을 중단한 상태에서 로트의 합격/불합격을 결정하기도 한다. 둘째, 보통의 샘플링검사에서 고려하는 정규분포보다는 지수분포, 와이블 분포, 대수정규분포, 감마분포 등이 제품의 수명, 즉 고장 날 때까지의 시간의 분포모형으로 더 적합하다.

샘플링검사를 적용함에 있어서 로트에서 취하는 샘플의 크기와 합격판정 기준 등의 결정은 샘플링검사를 적용함에 있어서 매우 중요하며, 이를 샘플링검사방식(sampling plans)이라고 한다. 특히 신뢰성 샘플링검사에서는 수명시험을 통하여 샘플의 수명에 관한 특성치를 얻어 로트의 합격여부를 판정하므로 이를 수명시험 샘플링검사방식(life test sampling plans)이라고 한다. 수명시험 샘플링검사방식에는 수명시험의 방법에 따라 일정개수의 고장을 관측하여 합격여부를 판정하는 정수중단 샘플링검사 방식(failure-censored sampling plans), 미리 정한 시험 종료시점까지 고장을 관측하여 합격여부를 판정하는 정시중단 샘플링검사방식(time-censored sampling plans), 그리고 정해진 매시점마다 고장개수와 총 시험시간을 관측하면서 합격여부나 검사계속 여부를 판정하는 축차 샘플링검사방식(sequential sampling plans)등이 있다. 보통 수명시험 샘플링검사는 사용조건에서 수명시험을 수행하므로 신뢰도가 높은 제품에 대해서 적용할 경우 많은 시간이 소요되어 현실적이지 않을 때가 많다. [5][6]

이에 본 논문에서는 제반 로트중심의 신뢰성보증방법에 대한 선행연구를 조사연구하고 효과적인 신뢰성 샘플링검사방식의 설계방향을 제시하고자 한다.

## 2. 신뢰성 샘플링검사의 특성

신뢰성 시험은 고장 시간 분포에 대한 데이터를 얻고, 이를 통해 제품의 신뢰성 모수, 특히 평균 수명과 평균 고장률을 추정하는 것이다.

신뢰성 시험에서 있어서 어떤 것은 비파괴 적으로 실시할 수 있으나 오히려 파괴적 성격의 것이 많기 때문에 전수 검사가 아닌 샘플링 검사로서 인정 시험이나 수입 시험 및 품질 보증 시험을 실시하게 된다.

신뢰성의 샘플링 검사는 품질 관리에서의 OC곡선,  $P_0(AQL)$ ,  $P_1(LTPD)$  등 그 생각하는 방법에 있어서는 본질적으로 차이가 없다. 예를 들어 환경시험에서는 그의 품질을  $P_1(LTPD)$ 으로 규정한다든지 또는 수입 시험에서는 AQL로 규정한다든지 하는 것과 같다. 그런데 시간을 들여 실시하는 수명 시험에서는 품질의 척도로서 불량률 대신 MTBF, MTTF, 고장률 및 신뢰도를 사용하게 된다.

<표 1> 신뢰성과 품질관리의 대응(지수분포의 경우)

신뢰성	품질관리
고장률	불량률
$\lambda_0(ARL)$ , $\lambda_1(LTFR)$	$P_0$ 와 $P_1$
ARL(Acceptable reliability level)	AQL(Acceptable Quality Level)
LTFR(Lot tolerance failure rate)	LTPD(Lot tolerance percent defective)
고장수 (시험시간) × (시료의 크기)	불량품수 시료크기
1회 시험	1회 이상 시험
파괴시험	비파괴시험

고장률을 척도로 하는 경우  $\lambda_0$ 를 ARL (Acceptable Reliability Level :합격 신뢰성 수준),  $\lambda_1$ 을 LTFR (Lot Tolerance Failure Rate:로트 허용 고장률)이라 부른다.

$\lambda_0$ 에 대한  $\alpha$ ,  $\lambda_1$ 에 대한  $\beta$ 는 품질 관리의 경우 5%와 10%를 사용하고 있으나, 고장률의 경우 약간의 위험이 있더라도 시험 시간을 되도록 짧게 하기 위하여 30%와 40% 정도를 사용하고 있다.

신뢰성 샘플링 검사를 대별하면 고장률과 같은 계수 데이터를 기초로 로트의 합부 판정을 하는 계수형 샘플링 검사와 MTBF와 같은 계량 데이터를 기초로 판정하는 계량형 샘플링 검사로 나눌 수 있다. 계량 샘플링 검사에서 데이터로부터 MTBF를 계산하여 그것이 규정치 이상이면 합격이라고 하는 방침을 취하지만 계수 샘플링 검사에서는 고장 수가 합격 판정 개수 C이하이면 합격이라고 하는 방침을 취한다. [2][4]

### 3. 신뢰성 샘플링검사에 대한 연구

신뢰성 샘플링검사방식에 대한 기존 연구들을 수명시험 샘플링검사와 가속수명 시험 샘플링검사로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

#### 3.1 수명시험 샘플링검사에 관한 연구

수명시험에 의하여 제품의 신뢰도를 측정하는 경우 모든 제품이 고장 날 때까지 시험하는 것이 바람직하지만, 시간이나 비용 등의 이유로 정해진 시간 또는 정해진 수의 고장이 발생하면 관측을 중단하고 그때까지 얻어진 고장자료로부터 제품의 수명에 관한 특성치를 추정하는 것이 일반적이다. 신뢰성 샘플링검사를 수명시험의 관측중단방법에 따라 나누어 살펴보면 다음과 같다.

##### 1) 정수중단 샘플링검사

지수분포의 경우 Epstein과 Sobel(1953)은 고장시간의 순서통계량을 이용하여 로트의 합격여부를 결정하는 정수중단 샘플링검사방식을 제안하였고, Ohta와 Arizono(1985)는 쿨백-라이블러 정보수 (Kullback-Leibler information number)에 기초한 샘플링검사방식을 제안하였다. Feting 와 Mann(1980)은 제품의 수명이 와이블 분포를 따르는 경우 수명시간의 대수변환분포인 최소극치분포(smallest extreme value distribution)의 최량 선형불변추정량(best linear invariant estimator: BLIE)을 이용한 정수중단 샘플링검사를 제안하였으며, Schneider(1989)는 제품의 수명이 와이블 분포 혹은 대수정규분포를 따를 때 최우추정량의 점근 정규분포를 이용한 정수중단 샘플링검사를 제안하였다. [9][10]

##### 2) 정시중단 샘플링검사

Gupta 와 Groll(1961)은 제품의 수명시간이 감마분포를 따르는 경우에, 그리고 Gupta (1962)는 수명시간의 분포가 정규분포 또는 대수정규분포의 경우에 적용할 수 있는 정시중단 샘플링검사방식을 제안하였다. Angus 등(1984,1985)은 수명시간이 지수분포를 따르는 경우수명시험도중 고장난 제품의 교체를 고려한 정시중단 샘플링검사방식을 제안하였다. [7]

##### 3) 기타 수명시험 샘플링검사

정시중단 혹은 정수중단 샘플링검사 이외외도, 수명시험도중 미리 정해진 매시점마다 로트의 합격여부나 수명시험의 계속 여부를 결정하는 축차샘플링방식에 대한 연구가 Epstein 과 Sobel(1955), Epstein(1960), Aroian(1964), 그리고 Bryant 와 Schmeel(1979) 등에 의하여 다루어졌다. 그리고 Bulgren 과 Hewtte(1973)와 Fairbanks (1988)는 정해진 시간까지 수명시험을 수행하고 로트의 합격여부의 판단이 어려운 경

우 추가로 일정시간을 더 시험하는 2단계 샘플링검사방식에 대하여 연구하였다. [8]

### 3.2 가속수명시험 샘플링검사에 관한 연구

가속수명시험 샘플링검사에 대한 기존 연구들은 정수중단 샘플링검사에 대해서만 다루어졌는데, Yum 과 Kim(1990)은 지수분포에 기초하여 두 수준의 스트레스에서 시험하는 일정가속수명시험 샘플링검사방식을 제안하였고, Hsiesh(1994)는 Yum과 Kim (1990)의 연구를 개선하여 총 고장관측개수를 최소화하는 최적 샘플링검사방식을 설계하였다. Bai 등(1993)은 제품의수명이 각각 와이블 분포와 대수정규 분포일 때 모수들의 일반화 점근분산(*generalized asymptotic variance*)을 최소화하는 두 수준의 일정 스트레스 가속수명시험을 이용한 정수중단 샘플링검사방식을 제안하였으며, Bai 등(1995)은 제품의 수명시간이 와이블 분포를 따르는 경우 각 스트레스 수준에서의 시험 종료 시점의 기대값이 동일하다는 제약 하에 검정통계량의 점근분산을 최소화하는 정수중단 샘플링검사방식을 제안하였다. [3][11]

## 4. 부품 · 제품에 대한 신뢰성 보증방법

부품 · 제품 단위의 기존 신뢰성 보증방법에 있어서 가장 효율적인 방법은 가속수명 시험을 이용한 샘플링 검사방식이다. 제품을 로트단위로 구분하고 로트에서 취한 샘플을 검사하여 얻은 품질특성의 값을 이용해서 로트의 합격여부를 판정하는 것을 샘플링 검사라고 한다. 보통의 수명시험 샘플링 검사는 사용조건에서 수명시험을 수행하므로 신뢰도가 높은 제품에 대해서 적용할 경우 많은 시간이 소요되어 현실적이지 않을 때가 많다. 이러한 경우 가속수명시험이 수명에 관한 품질 특성치를 짧은 시간에 얻을 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다. 가속수명시험으로부터 얻어진 시험데이터는 제품의 수명분포와 스트레스간의 관계를 나타내는 가속모형을 통해 실제 사용조건에서 수명에 관련된 품질을 평가하는데 이용된다. 가속수명시험에서 얻은 수명자료로부터 로트의 합격여부를 판단하는 것을 가속수명시험 샘플링 검사라고 한다.

이러한 가속수명시험 샘플링 검사방식의 일반적 순서를 보면 아래와 같다.

#### 1) 기본가정

- ① 수명시간의 분포 가정
- ② 수명분포의 모수와 스트레스 관계 가정
- ③ 스트레스 수준과 스트레스 부과방법
- ④ 수명분포의 모수와 스트레스의 관계
- ⑤ 스트레스 수준 결정

## 2) 가속수명시험 실시

- ① 각 스트레스 수준에 시료 수 결정
- ② 각 스트레스 수준에서 동시에 시작하여 미리 결정 된 관측중단개수나 관측중단 시점까지 연속으로 관측

## 3) 로트 합격판정

수명에 대한 규격하한이 존재하는 경우 제품의 사용조건에서 수명시간이 수명규격 하한보다 작으면 불합격이다.

## 5. 결 론

최근 들어 기업 및 개인 소비자들은 제품의 품질과 함께 제품의 시간적 품질인 신뢰성에도 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 신뢰성이 구매의 중요한 요소로 자리 잡고 있다. 특히 국내 수입의 많은 부분을 차지하고 있는 전자부품의 경우 그 중요성은 더욱 크다고 할 수 있다. 그러므로 신뢰성 향상 및 보험 등 구체적인 보증활동 및 신뢰성정보의 계량화만이 선진 외국제품에 대한 경쟁우위 확보방안 임은 자명하다. 본 논문에서는 수명시험 샘플링검사와 가속수명 시험 샘플링검사에 대한 기존연구를 조사하였고, 가속수명시험 샘플링검사방식의 일반적인 과정을 보여주었다.

신뢰성 인증을 위해서 아이템화 된 부품·제품 단위의 신뢰성 보증이 중요하겠으나, 그전에 벌크형 재료의 신뢰성 보증이 확보되어야함은 당연한 것이다. 따라서 추후연구 과제로 기존연구가 미비한 벌크형 재료에 대한 신뢰성 보증방법의 문제점들을 기존의 신뢰성 샘플링 검사방법을 통해 연구하고자 한다.

## 6. 참 고 문 헌

- [1] 강보철·조재립, “소비자보호를 위한 선별형 샘플링검사와 신뢰성샘플링검사의 최적 설계에 관한 연구”, 품질경영학회지 30권, 2002, pp.74~96
- [2] 조재립, “비용을 고려한 신뢰성샘플링검사 설계에 관한 연구”, 산업경영시스템학회지 23권, 2000, pp.97~103
- [3] 김종걸, “대수정규 및 와이블 분포에서의 가속수명시험 샘플링 검사방식의 설계”, 1993
- [4] 서순근, “수명이 지수분포를 따를 때 정기검사 및 정시종결 하에서 신뢰성 샘플링 검사계획의 개발”, 한국경영과학회지 제21권 제1호, pp.115~129
- [5] 정 민, “와이블 분포에서 형상모수의 변화를 고려한 가속수명시험 샘플링검사방식의 설계”, 2000
- [6] 김경환, “신뢰성인증을 위한 신뢰성 샘플링검사 방식의 설계”, 2002
- [7] Gupta, S.S and Grol, P.A, “Gamma Distribution in Acceptance Sampling based on Life Tests, Journal of the American Statistical Association, 1961, pp.942~979

- [8] Aroian, L.A. "Some comments on truncated sequential test for the exponential distribution", Industrial Quality control, 1964, pp.309~312
- [9] Epstein, B. and Sobel, M, "Life Testing", Journal of the American Statistical Association, 1953, pp.485~502
- [10] Epstein, B, "Truncated Life Tests in the Exponential Case," Annals of Mathematical Statistics Vol 25, 1953, pp.555~564
- [11] Nelson, W. , "Applied Life Data Analysis", John Wiley and Sons, 1982