벌크재료의 신뢰성보증을 위한 샘플링검사 방식
- A Bulk Sampling Plan for Reliability Assurance -

김 동 철 *
Kim Dong Chul
김 종 걸 **
Kim Jong Gurl

Abstract

This paper focuses on the in-house reliability assurance plan for the bulk materials of each company. The reliability assurance needs in essence a long time and high cost for testing the materials. In order to reduce the time and cost, accelerated life test is adopted. The bulk sampling technique was used for acceptance.

Design parameters might be total sample size(segments and increments), stress level and so on. We focus on deciding the sample size by minimizing the asymptotic variance of test statistics as well as satisfying the consumer's risk. In bulk sampling, we also induce the sample size by adapting the normal life time distribution model when the variable of the lognormal life time distribution is transformed and adapted to the model.

In addition, the sample size for both the segments and increments can be induced by minimizing the asymptotic variance of test statistics of the segments and increments with consumer's risk met.

We can assure the reliability of the mean life and B100p life time of the bulk materials by using the calculated minimum sample size.

Keywords : Bulk Material, Lognormal Life Time Distribution, Reliability Assurance

* 한국부품소재산업진흥원 원장
** 성균관대학교 시스템 경영공학과 교수

2007년 3월 접수; 2007년 4월 수정본 접수; 2007년 4월 게재확정

1. 서 론

치열한 국제경쟁에서 신뢰성이 높은 제품을 생산하고 보증하는 신뢰성 경영시스템의 구축은 국제경쟁력을 확보하기 위한 핵심과제이다. 특히 제품을 생산하는 기업으로서는 신뢰성 경영시스템 구성요소 중 시간과 비용 면에서 효율적인 기업의 자체적 신뢰성 보증 시스템의 개발이 필수적이다. 신뢰성보증시스템은 프로세스중심의 보증과 제품중심의 로트보증으로 구성되어있다[2].

지금까지는 낱개로 단위화되어 생산되는 아이템화된 단위제품의 로트를 검사하여 채택여부를 결정하여 신뢰성을 보증하는 가속수명시험 샘플링 검사방식에 관한 연구는 이루어져 오고 있으나[3, 4, 5, 7, 8, 9], 벌크형 재료에 대해서는 신뢰성 보증이 시급함에도 불구하고 이를 위한 가속수명시험 벌크샘플링 검사방식의 연구는 미개척분야이다[1, 3, 10, 11, 12, 13, 15, 16].

본 연구에서는 시간과 비용을 줄이면서 신뢰성 보증을 효과적으로 할 수 있는 벌크형 재료의 신뢰성보증시스템을 개발하고 적용사례를 다룬다.

이 신뢰성보증 시스템은 가속수명시험과 벌크샘플링검사방식을 통합한 것으로 설계모수로는 벌크샘플링에서 세그먼트와 인크리먼트 수를 고려한 시료수(sample size)와, 스트레스 수준 등이다. 이번 보증시스템에서 벌크시료의 수명은 대수정규분포를 따르는 것으로 가정하고 로트판정을 위한 검사통계량의 분산을 최소화하면서 동시에 소비자위험을 보증하는 최소시료수를 결정하기로 한다. 이때, 벌크재료의 하나인 아크용접가스관의 신뢰성보증에 적용하는 사례를 제시하고 로트허용평균수명(LTML)관점에서 평균수명과 B_{100p}수명을 구하기 위한 샘플링 검사방식을 설계하기로 한다.

<표기>

T : 제품 수명 시험시간

α, β_c : 생산자위험, 소비자 위험

t_i : 시료 n 중 i번째 순위 제품의 수명

t_0 : 정시관측중단 시간

r : 관측중단 시간까지 관측된 시료 수

$\ln T = \sum_{i=1}^{r} \ln t_i + (n-r)\ln t_0$: 총 시험시간(Total Time on Test),

B_{100p} : 모집단 수명분포의 $100p\%$ 순위 수(= t_p)

$n = n_1 \times n_2$: 총시료 수,

n_1 : 세그먼트(Segment) 수, n_2 : 각 세그먼트내 인크리먼트(Increment) 수

$\sigma_T^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2$

σ_T^2: 로트내 총분산, σ_1^2 : 세그먼트 분산, σ_2^2 : 인크리먼트 분산

σ_3^2 : 반복시험으로 인한 분산, σ_4^2 : 재료를 요구하는 입자 크기로 줄임에 따른 분산

μ : 벌크재료의 모수 평균 수명

σ : 벌크재료의 모수 표준편차

$\hat{\mu}$: μ의 추정치

μ_0 : 목표수명

$t_{\beta_c(n-1)}$: 자유도가(n-1)인 t분포의 $100(1-\beta_c)$번째 백분위수

Z : 대수정규 분포의 Z값($=\frac{\ln t-\mu}{\sigma}$)

${S_1}^2$: ${\sigma_1}^2$의 추정치. ${S_2}^2$: ${\sigma_2}^2$의 추정치

${S_{\overline{X}}}^2$: lot의 평균분산 (σ^2)의 추정치

ϕ : 자유도

π : n_1과 n_2의 비율($\pi=\frac{n_1}{n_2}$)

${\sigma_{\overline{X}}}^2$: 로트 샘플평균의 분산

${\sigma_{\overline{Xh}}}^2$: ${\sigma_{\overline{X}}}^2$의 상한치

${S_{\overline{Xh}}}^2$: ${S_{\overline{X}}}^2$의 상한치

2. 모 형

2.1 가정

(1) 제품수명 T는 대수정규분포를 따른다.
(2) 각 시료의 수명은 서로 통계적으로 독립이다.

2.2 시험절차와 검사방식

(1) 가속시험은 정시관측중단(Type I censoring)을 사용한다.
(2) 스트레스 부하는 한 점에서 일정부하(constant stress loading)방식을 택한다.
(3) 비복원시험을 한다.
(4) 벌크샘플링검사의 총 시료 수 n은 세그먼트 수 n_1과 인크리먼트 수 n_2의 곱으로 계산된다.
(5) 로트내 총 분산은 ${\sigma_T}^2={\sigma_1}^2+{\sigma_2}^2+{\sigma_3}^2+{\sigma_4}^2$으로 계산된다.
(6) 가속시험에서 얻어진 자료를 가지고 모집단의 모수에 대한 최우추정치(MLE)를 구한다.
(7) 검정통계량과 판정기준치를 비교하여 로트채택여부를 결정한다.

2.3 모수결정과 기준

(1) 결정해야 할 설계모수는 시료크기$n(n_1,n_2)$, 스트레스수준, 시험시간 등이 될 수 있으나 본 연구에서는 시료 크기를 중심으로 한다.
(2) 모집단 평균수명을 검정하는 검정통계량의 분산을 최소화하며 소비자위험을 보증하는 시료의 크기를 결정한다.

3. 벌크재료의 신뢰성 보증을 위한 샘플 수의 결정

3.1 대수정규분포의 성질을 이용한 신뢰성 보증

벌크샘플링에서 로트허용 평균수명(LTML)을 보증하는 신뢰성 샘플링 검사에서는 금속재료의 피로수명(fatigue life)와 전기절연체의 수명분포등에 대수정규분포(lognormal distribution)이 많이 사용되고 있어 이를 채택하기로 한다.

확률변수 T가 대수정규분포를 따를 때 $\ln T$는 정규분포를 따른다는 성질을 이용하여 신뢰성 보증을 검토한다. 확률변수 $\ln T$를 $\ln T \sim N(\mu, \sigma^2)$이라고 하자. 그러면 $Z = \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \sim N(0,1)$,이 성립한다. Z는 표준정규분포를 따르며 $Z \sim N(0,1)$로 표시한다. 따라서 $\ln t_i = \mu + \sigma Z_i$가 되고 누적분포함수(고장분포함수) $F(t_i)$는 $F(t_i) = \Phi(\frac{\ln t_i - \mu}{\sigma}) = \Phi(Z_i)$와 $Z_i = \Phi^{-1}(F(t_i))$가 된다.

이를 이용하여 위의 선형관계는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$\ln t_i = \mu + \sigma \Phi^{-1}(F(t_i))$

따라서, 정규분포의 모수 μ, σ는 $\ln t_i$와 $\Phi^{-1}(F(t_i))$의 선형관계를 이용하여 최소제곱법이나 대수정규확률지 2가지 방법으로 추정할 수 있다.

추정값은 다음과 같다.

$$\widehat{T_{50}} = \exp(\hat{\mu})$$

$$\widehat{E(T)} = \exp(\hat{\mu} + \frac{\hat{\sigma^2}}{2})$$

$$\widehat{Var(T)} = \exp(2\hat{\mu} + \hat{\sigma^2})[\exp(\hat{\sigma}^2) - 1]$$ 가 된다.

3.2 신뢰성 보증을 위한 샘플 수 결정

신뢰성 보증을 위한 샘플 수 결정을 위해 정시중단 (Type I censoring)시험을 가정한다. 평균수명이 μ인 대수정규분포를 따르는 소재제품 n개를 정해진 시간 t0 까지 시험하였을 때 r개의 고장이 발생하였다고 하자. 이 때 평균수명 μ의 $100(1-\beta_C)\%$의 단측 신뢰구간은 다음과 같다[10].

① σ를 알고 있을 때 $p(\mu \ge \hat{\mu} - Z_{\beta_c}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}) = 1-\beta_C$

② σ를 모를 때 $p(\mu \ge \hat{\mu} - t_{\beta_c(n-1)}\frac{S}{\sqrt{n}}) = 1-\beta_C$

여기서 $\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\ln t_i}{n}$ 이고 $\ln T = \sum_{i=1}^{r}\ln t_i + (n-r)\ln t_0$는 총 시험시간,

$S = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\ln t_i - \hat{\mu})^2}{n-1}$, β_C = 소비자 위험, $Z = \frac{\ln t - \mu}{\sigma}$ 이다.

여기서 평균수명(μ)의 $100(1-\beta_C)\%$ 신뢰하한(μ_l)이 보증하고자 하는 목표수명 μ_0보다 크면 신뢰수준 $100(1-\beta_C)\%$로 μ_0를 보증한다고 할 수 있다. 위식으로부터

① σ를 알고 있을 때는 μ의 하한치 μ_l은 $\mu_l = \hat{\mu} - Z_{\beta_c}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \ge \mu_0$

또한 ② σ를 모를 경우에는 μ의 하한치 μ_l은 $\mu_l = \hat{\mu} - t_{\beta_c(n-1)}\frac{S}{\sqrt{n}} \ge \mu_0$ 이다.

따라서 목표수명 μ_0를 신뢰수준 $100(1-\beta_C)\%$로 보증하기 위한 샘플의 크기 n은 다음과 같이 결정된다.

① σ를 알고 있을때 $n \ge \left(\frac{Z_{\beta_c}\sigma}{\hat{\mu} - \mu_0}\right)^2$

② σ를 모를 때 $n \ge \frac{(t_{\beta_c(n-1)}S)^2}{(\hat{\mu} - \mu_0)^2}$ 이다.

3.3 B_{100p} 수명보증을 위한 샘플수 결정

앞에서 설명한 대수정규분포와 정규분포와의 관계를 이용하여 대수정규분포에서 신뢰수준 $100(1-\beta_C)\%$로 B_{100p}수명을 보증하기 위한 샘플의 크기 n을 구하는 문제를 살펴본다. $T_1, T_2, ..$ 등이 대수정규분포를 따를 때 $\ln T_1, \ln T_2$등은 평균수명이 $\hat{\mu}$인 정

규분포를 따른다. ($\hat{\mu}=\frac{\sum \ln t_i}{n}$) 따라서

○ 대수정규분포의 B_{100p}수명은 $B_{100p}=\exp[\hat{\mu}+z_p\sigma]$이므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$\hat{\mu}\geq \mu_l \Leftrightarrow B_{100p}=\exp[\hat{\mu}+z_p\sigma]\geq \exp[\mu_l+z_p\sigma]$

○ 따라서 신뢰수준 $100(1-\beta_C)\%$로 B_{100p} 수명이 목표수명 μ^*이상임을 보증하는 것은 B_{100p}의 수명의 신뢰하한 $\exp[\mu_l+z_p\sigma]$이 μ^*이상임을 보증하는 것과 같다. 즉,

$$\exp[\mu_l+z_p\sigma]\geq \mu^* \Leftrightarrow \exp[\hat{\mu}-z_{\beta_c}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}+z_p\sigma]\geq \mu^*$$

이다. 따라서 위의 식으로부터

$$n\geq \left(\frac{z_{\beta_c}\sigma}{\hat{\mu}-\ln\mu^*+z_p\sigma}\right)^2$$ 이다.

따라서 B5 수명 30년을 보증하기 위해서 $p=0.05$, $Z_p=Z_{0.05}$, $Z_{\beta_c}=Z_{0.1}$을 활용할 수 있다. 여기서 σ를 모를 경우에는 σ대신에 S를 대입하여 근사적으로 n을 구할 수 있다.

3.4 벌크재료에서의 신뢰성보증을 위한 단계별 샘플 수 결정

이번 절에서 용접용 강관은 단위제품이 아닌 벌크재료로 취급하였으므로 지분실험법에 의해 산출된 샘플 수에 대해 벌크샘플링의 특성상 벌크재료 단계별로 최소 샘플 수를 결정하여야 한다.

즉, 벌크샘플링에서 로트는 상호 독립된 하부조직 즉 세그먼트로 구성되고 세그먼트는 인크리먼트로 더 나누어지기 때문이다. 여기서 벌크샘플링에서의 샘플 수 n은 용접용 강관 수 n_1과 강관내 샘플채취부위 수 n_2의 곱으로 표시되기 때문에 ($n=n_1\times n_2$) n_1과 n_2의 최적배분비율 문제가 검토되어야 한다. 즉 n이 결정되더라도 단계별 샘플 수는 $\pi=\frac{n_1}{n_2}$에서 π가 결정되어야 한다.

(1) 분산을 알고 있을 경우의 단계별 샘플 수 (n_1, n_2)의 결정

앞에서 살핀 바와 같이 로트 샘플 평균의 분산 ${\sigma_{\overline{X}}}^2$은

$$ {\sigma_{\overline{X}}}^2=\frac{{\sigma_1}^2}{n_1}(1-\frac{n_1}{N})+(\frac{{\sigma_2}^2}{n_1n_2})+\frac{{\sigma_3}^2}{n_1n_2n_3}$$

여기서, ${\sigma_1}^2$: 세그먼트 간 분산

${\sigma_2}^2$: 세그먼트 내 인크리먼트 간 분산

${\sigma_3}^2$: 인크리먼트 내 시험 간 분산이고

N : lot의 크기, n_1 : 세그먼트의 수
n_2 : 세그먼트 내 인크리먼트의 수
n_3 : 인크리먼트 당 시험 수이다.

여기서 N은 무한히 큰 것으로 볼 수 있고 시험간의 분산 ${\sigma_3}^2$을 무시할 수 있다고 한다면

$${\sigma_{\overline{X}}}^2 = \frac{{\sigma_1}^2}{n_1} + \frac{{\sigma_2}^2}{n_1 n_2} \text{으로 볼 수 있다} \qquad \cdots\cdots (1)$$

여기서 ${\sigma_1}^2$ 과 ${\sigma_2}^2$의 크기가 주어지면 또는 미리 알고 있다면 샘플 평균의 분산 ${\sigma_{\overline{X}}}^2$이 원하는 크기로 최소가 되도록 n_1과 n_2를 시행착오법에 의하여 조합하는 방식으로 결정할 수 있다. 여기서 평균 μ를 추정하기 위해 90%신뢰구간을 주는 계획을 결정한다면 정규분포에서 $z = 1.645$ 이므로 $\sigma_{\overline{X}}$의 상한치를 $\sigma_{\overline{Xh}}$라고 한다면

$z\sigma_{\overline{Xh}} = \mu$에서

$$\sigma_{\overline{Xh}} = \frac{\mu}{z} = \frac{\mu}{1.645} \text{ 이고,}$$

${\sigma_{\overline{Xh}}}^2 \geq {\sigma_{\overline{X}}}^2$ 이 되어야 한다. 따라서

$${\sigma_{\overline{Xh}}}^2 = \left(\frac{\mu}{1.645}\right)^2 \geq \frac{{\sigma_1}^2}{n_1} + \frac{{\sigma_2}^2}{n_1 n_2} \qquad \cdots\cdots (2)$$

이 되어야 한다[10, 11, 12, 13].

(1)식과 (2)식으로부터 μ가 주어지면 90%의 신뢰구간을 갖는 n_1과 n_2를 구할 수 있다. 또는 $\pi = \frac{n_1}{n_2}$를 구할 수 있다. 여기서 샘플을 채취하는데 소요되는 비용을 고려하면 n_1과 n_2의 크기가 달라질 수 있다. 즉 c_1을 세그먼트를 채취하는 비용, c_2를 세그먼트에서 인크리먼트를 채취하는 비용이라고 한다면 $1-\beta_c$신뢰를 갖는 크기 E보다 작은 lot의 평균을 추정하기 위한 가장 경제적인 샘플의 크기는

$$n_2 = \sqrt{\frac{c_1 {\sigma_2}^2}{c_2 {\sigma_1}^2}} \text{ 이고} \quad n_1 = \frac{N({\sigma_2}^2 + n_2 {\sigma_1}^2)}{N n_2 (E/Z_{\frac{\beta_c}{2}})^2 + n_2 {\sigma_1}^2} \text{ 이다.}$$

여기서 $Z_{\frac{\beta_c}{2}} =$ 는 표준정규편차(standard normal deviate)이다.

보통 N은 무한히 크기 때문에

$n_1 = \dfrac{\sigma_2{}^2 + n_2\sigma_1{}^2}{n_2(E/Z_{\frac{\beta_c}{2}})^2}$ 으로 찾을 수 있다.

여기서 최소비용계획(c)는

$c = c_1n_1 + c_2n_2$ 이다.

여기에서 나온 n_1과 n_2를 대입하여

$\sigma_{\overline{X}}{}^2 = \dfrac{\sigma_1{}^2}{n_1} + \dfrac{\sigma_2{}^2}{n_1n_2}$ 을 구하고

(1)식에서 구한 $\sigma_{\overline{Xh}}{}^2$과 비교하여 이것이 $\sigma_{\overline{Xh}}{}^2$보다 크지 않으면 n_1과 n_2를 받아들일 수 있다.

(2) 분산을 모를 경우의 단계별 샘플 수(n_1, n_2)의 결정

여기서 세그먼트와 인크리먼트의 분산의 모수 $\sigma_1{}^2$, $\sigma_2{}^2$을 모를 경우 이를 샘플의 자료로 부터 추정하여야 한다.

여기서 $\overline{X}$: n_1 세그먼트로 부터의 lot 평균

$\overline{X_1}$: n_2 인크리먼트로 부터의 세그먼트 평균

$\overline{X_2}$: n_3 시험으로 부터의 인크리먼트 평균

$\overline{X_3}$: 시험결과

라고 하자.

이때, 세그먼트와 인크리먼트의 추정치 $S_1{}^2$과 $S_2{}^2$을 구하기 위해서는 다음과 같이 한다.

먼저, 세그먼트의 평균제곱(Mean square) MS_1 과 인크리먼트의 평균제곱 MS_2 를 구한다. 즉

$MS_1 = \dfrac{\sum(\overline{X_1} - \overline{X})^2}{n_1 - 1}$

$MS_2 = \dfrac{\sum(\overline{X_2} - \overline{X_1})^2}{n_1(n_2 - 1)}$ 을 구한다[13].

여기서 시험을 1회 실시할 경우에는 $\sigma_3{}^2$을 생략할 수 있다. 또한 MS_2를 구할 경우

에는 주의하여야 한다. 즉, $\overline{X_2}$는 세그먼트 간에는 아무런 관계가 없으므로(즉 A1 수준의 B1과 A2수준의 B1은 동일한 것이 아니다.) X_2값의 세그먼트 간 평균이 아니고 시험회수와 관련한 인크리먼트 간 평균이다. 즉, 1회 시험일 경우 MS_2를 구하기 위해서는 세그먼트 별로 각 X_2값과 $\overline{X_1}$값의 차이를 제곱하여 이를 합산하여 구하여야 한다. 여기서 인크리먼트 의 구성요소 ${\sigma_2}^2$을 알기 위한 추정치 ${S_2}^2$은

$$ {S_2}^2 = MS_2 $$

자유도 $\phi_2 = n_1(n_2 - 1)$이다.

또한 세그먼트의 구성요소 ${\sigma_1}^2$의 추정치 ${S_1}^2$은

$$ {S_1}^2 = MS_1 - \frac{{S_2}^2}{n_2} (\text{또는 } MS_1 - \frac{MS_2}{n_2}) $$

$$ \text{자유도 } \phi_1 = \frac{({S_1}^2)^2}{\frac{1}{n_1 - 1}(\frac{MS_1}{1})^2 + \phi_2(\frac{{S_2}^2}{n_2})^2} $$

을 구할 수 있다[14]. 여기서 로트의 평균분산(σ^2)의 추정치 ${S_{\overline{X}}}^2$의 값은

$$ {S_{\overline{X}}}^2 = \frac{{S_1}^2}{n_1} + \frac{{S_2}^2}{n_1 n_2} $$

$$ \text{자유도 } \phi_{\overline{X}} = \frac{({S_{\overline{X}}}^2)^2}{\frac{1}{\phi_1}(\frac{{S_1}^2}{n_1})^2 + \frac{1}{\phi_2}(\frac{{S_2}^2}{n_1 n_2})^2} $$ 를 구할 수 있다.

따라서 가장 경제적인 샘플의 크기는

$$ n_2 = \sqrt{\frac{C_1 {S_2}^2}{C_2 S_1^2}} $$

$$ n_1 = \frac{N({S_2}^2 + n_2 S_1^2)}{N n_2 (E/Z_{\frac{\beta_c}{2}})^2 + n_2 {S_1}^2} \fallingdotseq \frac{{S_2}^2 + n_2 {S_1}^2}{n_2 (E/Z_{\frac{\beta_c}{2}})} $$ (N이 무한히 크다고 생각할때)

를 구할 수 있다. 여기서 $S_{\overline{X}}^2$은 $S_{\overline{X}}^2 = \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_1 n_2}$ 이다[13].

여기서 π를 $\frac{n_1}{n_2}$이라고 할 때 $n_1 = \pi n_2$에서 n_1을 구할 수 도 있다. 여기서 평균 μ를 추정하기 위해 90%의 신뢰구간을 주는 계획을 결정한다면 $Z = 1.645$에서 $S_{\overline{X}}$ 의 상한치를 $S_{\overline{X}h}$라고 한다면,

$$ZS_{\overline{X}h} = \mu \text{에서 } S_{\overline{X}h} = \frac{\mu}{Z} = \frac{\mu}{1.645}$$

$$\text{따라서 } S_{\overline{X}h}^2 = \left(\frac{\mu}{1.645}\right)^2 \geq \frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_1 n_2}$$

이 되면 S_1^2과 S_2^2을 받아들일 수 있다. 이를 통하여 총시료수 n중에서 세그먼트의 수 n_1, 인크리먼트의 수 n_2(또는 $\frac{n_1}{\pi}$), 그리고 세그먼트의 분산추정치 S_1^2, 인크리먼트의 분산의 추정치 S_2^2을 구할 수 있다.

3.5 벌크재료의 시험검사 샘플링 종합

벌크재료의 신뢰성 보증을 위한 샘플링 검사방식에서는 설계모수로 세그먼트수 n_1과 인크리먼트 수 n_2를 고려한 총 샘플의 수 $(n = n_1 \times n_2)$이다.

따라서 먼저 수명분포가 대수정규분포를 따르는 것으로 가정하고 검정통계량의 분산을 최소화하면서 동시에 소비자위험 β_c를 보증하는 최소 시료수 n을 결정하도록 하였다. 즉, 평균수명 μ를 구하기 위한 최소 시료수 n과 B100p 수명 보증을 위한 최소 시료수 n도 구하였다.

벌크 샘플링에서는 총 시료수 n을 세그먼트 수 n_1과 인크리먼트 수 n_2로 구분하여야 하므로 역시 검정통계량의 분산을 최소화 하면서 소비자 위험을 보증하는 벌크재료의 단계별 샘플수 n_1과 n_2를 구하여야 한다. 여기서 분산을 모르는 경우에는 세그먼트 간 분산 S_1^2과 인크리먼트 간 분산 S_2^2을 별도로 구하여 평균 분산 $S_{\overline{X}}^2$을 구하고 $S_{\overline{X}}^2$이 $S_{\overline{X}}^2$의 상한치 $S_{\overline{X}h}^2$보다 크지 않을 경우 $S_{\overline{X}}^2$과 S_1^2, S_2^2을 받아들일 수 있다.

또는 이러한 시험검사결과에서 구한 샘플의 수 (n_1, n_2)를 이용하여 지분실험하여 분산분석을 할 수도 있다.

4. 결 론

이번 연구에서는 벌크형 재료를 중심으로 사내 신뢰성보증을 위한 시스템을 중점적으로 연구하였다. 즉, 벌크형 재료에 대해 시간과 비용을 줄이면서 평균수명과 B_{100p} 수명 등 신뢰성을 효과적으로 고객에게 보증할 수 있게 하기 위해 먼저 가속수명시험을 실시하여야 한다. 소재 등 벌크재료는 사용 용도가 대단히 넓고 부품 등 아이템화된 제품과는 달리 가혹한 조건의 전기 , 화학적 분위기 속에서 가속 수명시험을 한 뒤 다시 고압의 조건에서 파단되지 않고 견딜 수 있는지를 2차적으로 물리시험을 하여야 한다.

벌크샘플링에서는 수명분포로 대수정규분포를 가정하였으며 벌크재료의 신뢰성보증을 위해 앞과 같이 로트합격판정을 위한 검사통계량의 분산을 최소화하면서 동시에 소비자 위험을 보증하는 최소 시료수 n를 결정하였다. 벌크샘플링에서 변수변환을 통하여 정규분포의 성질을 이용할 수 있게 되었으며 이에 따라 최소샘플수를 구할 수 있었다. 또한 벌크재료의 각 단계별로 세그먼트와 인크리먼트 수를 각각 고려한 시료수 n_1과 n_2의 비율을 결정하기 위해 검정통계량의 분산을 최소화하면서 소비자위험을 보증하는 샘플링검사 방식을 설계하였다. 이에 따라 도출된 최소샘플수를 바탕으로 로트평균수명과 B100p 수명을 보증할 수 있게 되었다.

향후 가속수명시험의 최소 시료 수 자료와 벌크재료의 세그먼트와 인크리먼트의 최소 시료 수 비율 자료를 동시에 고려하면서 검정통계량의 분산이 최소화되고 로트허용평균수명(LTML)을 보증할 수 있는 벌크재료의 통합형 신뢰성 보증시스템의 설계가 추후 연구과제로 진행되어야 할 것이다.

5. 참 고 문 헌

[1] 김종걸, "신뢰성 기반 제품혁신 및 경영 혁신전략.", 경기도 제2청사 기업지원과 (2002)

[2] 김종걸, “신뢰성 표준과 인증.”, 신뢰성평가 전문인력 양성과정, 산업자원부 기술표준원 (2002)

[3] 김종걸, 전봉룡, “신뢰성 로트보증 샘플링 검사방식”, 안전경영과학회, 학술대회논문집 (2004) : pp.145-151.

[4] 김종걸, 「대수정규분포 및 와이블 분포에서의 가속수명시험 샘플링 검사방식의 설계.」, 한국과학기술원, 박사학위논문 (1993)

[5] 권영일, 「수명시험샘플링 검사방식과 선별절차의 경제적 설계.」, 한국과학기술원, 박사학위논문 (1993)

[6] 산업자원부 기술표준원, “신뢰성용어설명서” (2006), pp.86-95.

[7] H108, “Sampling Procedures and Tables for Life and Reliability Testing Based on Exponential Distribution”, Quality Control and Reliability Handbook, U. S. Department of Defense, Washington, D. C. (1960)

[8] IEC/TC56, "Sampling Plans and Procedures for Inspection by Attributes" (1973)
[9] MIL-STD-690C, "Failure Rate Sampling Plans and Procedures", U. S. Department of Defense (1993)
[10] Bicking, C. A., "The Sampling of Bulk Materials", Materials Research and Standard (1967) : pp.95-116
[11] Bicking, C. A., ASTM E-105-58 and ASTM E-300-69 "Standards for the Sampling of Bulk Materials", Journal of Quality Technology, 2(3) (1970)
[12] Duncan, A. J., "Bulk Sampling Problems and Lines of Attack", Technometrics, A(3) (1962) : pp.319-344
[13] Edward G. Schilling, "Acceptance Sampling in Quality Control", Marcel Dekker, Inc. (1982)
[14] Satterthwaite, F.E., "An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components", Biometrika Bulletin, 2 (1946)
[15] Sommer, Karl, "Sampling of Powders and Bulk Materials", Springer -Verlag, Berlin, Heidelberg (1986)
[16] Wayne Nelson, "Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis", John Wiley and Sons (1990)

저 자 소 개

김 동 철 : 현재 부품소재진흥원 원장. 서울대학교 행정대학원 행정학과 석사, 미국 워싱턴대학교 산업공학과 석사, 성균관대학교 산업공학과 박사학위. 산업자원부 기술표준원 원장, 한국산업기술평가원장 역임. 관심분야 품질인증, 신뢰성

김 종 걸 : 현재 성균관대학교 시스템경영공학과 교수. 산업자원부 신뢰성위원, IEC/TC56 전문위원, 한국 품질보증/PL 연구회 회장. 관심분야 품질, 신뢰성, 리스크, PL

저 자 주 소

김 동 철 : 서울시 서초구 서초동 135-26 부품소재진흥원

김 종 걸 : 경기도 수원시 장안구 천천동 성균관대학교 시스템경영공학과