가속 수명시험을 이용한 벌크샘플링 설계에 관한 연구

박욱제 · 김종걸

성균관대학교 시스템경영공학과
경기도 수원시 장안구 천천동 300

Abstract
제품을 로트(lot)단위로 구분하고 로트에서 취한 샘플을 검사하여 얻은 품질특성의 값을 이용해서 로트의 합격여부를 판정하는 것을 샘플링검사(sampling inspection)라 하고, 검사하는 품질특성이 제품의 수명 특성치인 경우에 이를 신뢰성 샘플링 검사(reliability sampling inspection)라 한다. 그 중 벌크재료에 대한 샘플링 검사방식을 알아 보도록한다.
Key Words : Reliability, Accelerated life testing

1. 서론

샘플링검사는 제품의 합격여부를 결정하기 위해서 널리 사용된다. 특히 제품의 품질특성치가 수명일 때 제품의 합격여부를 결정하기 위해서는 수명시험 샘플링(life test sampling)검사를 수행하며, 수명시험 샘플링 검사를 신뢰성샘플링(reliability sampling)검사라 부르기도 한다. 신뢰성샘플링검사는 로트로부터 랜덤추출한 제품들을 동시에 시험하여 미리 정해진 시점까지 고장시간을 관측하거나(제Ⅰ종 관측중단), 주어진 개수의 고장이 관측될 때 까지 고장시간을 관측하여(제Ⅱ종 관측중단) 로트의 합격여부를 판정한다. 본 논문은 제Ⅱ종 관측중단을 하여 벌크재료의 샘플링검사방법을 알아보고 고 신뢰도의 제품의 고장정보를 빨리 얻고 이를 이용해서 사용조건에서의 수명을 추론하는 가속수명시험(accelerated life testing)이 고려될 수 있다. 본 논문에서 제안한 샘플링 검사 방식의 성질을 규명한다.

2. 벌크샘플링검사 방식의 이론적구조

2.1 벌크 샘플링의 기본개념 (Bicking,1967)

벌크재료는 금속, 플라스틱, 세라믹, 고무등과 같이 연속적이고, 분리된 형태

가 아닌 벌크형태의 재료이다. 개별제품(아이템화된 제품)과는 다른 형태로 수락샘플링검사 대상 중의 하나이다.(개별제품, 벌크재료)
벌크재료의 특성으로서는 필수적으로 계속적이고, 따라서 이산적(discrete)이거나, 항상 일정하거나, 성분을 확인할 수 없거나, 독특한 유니트를 샘플링 할 수 있는 그런 모집단은 없음 그러므로 최종 샘플링 유니트는 어떤 샘플링장치에 의해 샘플링 시에 발명되어야 한다.
벌크재료의 유니트의 크기나 형태는 채택되는 특수장치, 사용방법, 성질, 상태, 재료의 구조 기타요소에 따른다. 다음은 벌크재료의 사례와 개별단위의 샘플링과 벌크샘플링의 차이를 살펴보도록 한다.

< 벌크재료의 사례 >

모 집 단	표 본
석탄 100톤	1삽
가솔린 1트럭	1병

※ 샘플은 모아지는 것이 아니고 만들어지는 것임.

<수락 샘플링>

개별단위 샘플링	벌크샘플링
(each unit sampling) (discrete unit sampling)	(bulk sampling)
개별적, 독특함	연속적
attribute 결정(제품의특성결정):go, no go	property 결정(물질의 성질결정)
제품(product)	재료(material)

2.2 벌크 샘플링의 목적

벌크샘플링의 목적은 위치, 양, 내용물이나 가치 등에 대해 자연저장형태에서의 재료의 특성화, 등급에 대한 특성화, 추가가공에 대한 필요성, 가공 중 관리조절, lot-to-lot 베이스의 수락, 과세나 지불목적에 대한 중량이나 내용물 결정, 최종용도에 적합하도록 성분의 파악 결정, 미래 샘플링절차나 용도를 결정하기 위한 실험분석을 목적으로 하고 있다.

※ lot수락목적에 강조될 것이므로, 벌크샘플링은 과정모수(process parameter,특성모수(attribute parameter)와 대비됨)에 대한 변수 샘플링의 한 방범이다.

2.3 벌크샘플링의 구성

벌크샘플링에서 lot는 상호독립된 하부조직인 Segment로 구성 되고(1차 단위) Segment는 Segment내에서 increment로 더 나누어진다.(2차 단위) Segment는 개별 샘플링에서의 단위와 같은 방법으로 처리된다.또한 segment의 평균은 lot의 평균추정치로 고려되고 그 분산은 lot의 평균추정치의 표준오차를 만드는데 분산의 측정치로 사용된다.
※ 벌크재료는 segment내 추가 sampling에 따른 확률(possibility)로 존재한다.
총분산 = segment간 분산 + increment간 분산 + 시험분산 + 감소분산

$\sigma_{T^2} = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2$

σ_{T^2} = lot 내 총 분산

σ_1^2 = 부분(segment)간 분산

σ_2^2 = 부분(segment)내 증가량(increment)간 분산

σ_3^2 = 시험분산 (시험자체의 분산)

σ_4^2 = 감소분산 (재료를 파쇄, 연마하여 원하는 크기로 감소시킴에 따른 분산)

샘플링의 추정은 control chart에 의해 주로 이루어진다. 또한 보통 σ_4^2은 무시되거나 생략한다.

2.4 추정(Estimation)

벌크샘플링의 주 용도는 주어진 정밀도로서 lot의 평균을 추정하는데 사용하고 추정치는 그 자체로 충분하든가 아니면 lot 수락을 결정하는데 사용한다. 평균의 표준오차(standard error)의 크기와 추정의 정도(precision)는 채취하는 샘플수(n)에 의해 관리될 수 있다.
lot 샘플평균의 분산 $(\sigma_{\bar{X}}^2)$은

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma_1^2}{n_1}(1-\frac{n_1}{N}) + \frac{\sigma_2^2}{n_1 n_2} + \frac{\sigma_3^2}{n_1 n_2 n_3}$$

σ_1^2 : segment 간 분산

σ_2^2 : segment 내 increment 간 분산

σ_3^2 : Increment 내 시험 간 분산

여기서, N : lot의 크기, n_1 : segment수, n_2 : segment내의 increment수, n_3 : increment당 시험수이다.

위의 식은 분산의 구성요소를 아는 경우에 유용하고 increment 와 segment가 혼합될 때도 적용될 수 있으나 혼합은 분산의 구성요소의 일부 또는 전부를 측정 할 수 없게 만들 수 있다. 만일 동질의 액체를 샘플링 시에는 σ_2^2 = 0 (increment가 모두 동일)

층화샘플링의 경우는 n_1 = N, σ_1^2, σ_2^2, σ_3^2 크기가 주어지면, n_1, n_2, n_3값은 $\sigma_{\overline{X}}^2$을 원하는 크기로 감소시키는 조합을 찾아가기 위해 시행착오법으로 결정될 수 있다.

비용을 감안한 최적계획방법(2단계 계획방법)

- n_1 : segment개수(샘플)   N: lot개수
- n_2 : increment개수(샘플)
- c_1 : segment 샘플링 비용
- c_2: segment로부터 increment샘플링 비용
- segment나 increment가 시험비용이 같을 경우 lot 평균을 1-α 신뢰구간에서 ±E내로 하는 추정하는데 가장 경제적인 sample 크기는,

$$n_2 = \sqrt{\frac{c_2\sigma_2^2}{c_1\sigma_1^2}}$$

$$n_1 = \frac{N(\sigma_2^2 + n_2\sigma_1^2)}{Nn_2(E/z\frac{\alpha}{2})^2 + n_2\sigma_1^2} \text{이다.}$$

여기서$z_{\frac{\alpha}{2}}$: 신뢰구간과 연관된 표준정상편차(standard normal deviate)

만일 lot크기가 무한일 경우,

$$n_1 = \frac{\sigma_2^2 + n_2\sigma_1^2}{n_2(E/z\frac{\alpha}{2})^2} \text{이다.}$$

분산의 구성요소를 알고있는 경우의 샘플링은 lot 평균의 표준오차(standard error)를 추정할 경우

$\overline{X}$: n_1 segment의 lot 평균
$\overline{X_1}$: n_2 increment로부터의 segment 평균
$\overline{X_2}$: n_3 시험으로부터의 increment평균
$\overline{X_3}$: 시험결과일 경우 측정을 하는데 사용되는 평균자승(Mean square)은

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

$$MS_2 = \frac{\sum(\overline{X_2} - \overline{X_1})^2}{n_1(n_2 - 1)}$$

$$MS_3 = \frac{\sum(X_3 - \overline{X_2})^2}{n_1 n_2 (n_3 - 1)} \qquad \text{(자유도는 } \nu_1, \nu_2, \nu_3\text{)}$$

여기서, N이 무한일 경우 분산의 구성요소는 다음과 같다
σ_3^2 의 추정치는 $S_3^2 = MS_3$
(자유도는 $\nu_3 = n_1 n_2 (n_3 - 1)$)

σ_2^2 내의 increment의 추정치 $S_2^2 = MS_2 - (\frac{S_3^2}{n_3})$

여기서 $\nu_2 = \dfrac{(S_2^2)^2}{\frac{1}{n_1(n_2-1)}(\frac{MS_2}{1})^2 + \frac{1}{n_1 n_2 (n_3 - 1)}(\frac{MS_3}{n_3})^2} \nu_2$

σ_1^2 간의 추정치 $S_1^2 = MS_1 - \frac{S_2^2}{n_2} - \frac{S_3^2}{n_2 n_3}$

여기서 $\nu_1 = \dfrac{(S_1^2)^2}{\frac{1}{n_1 - 1}(\frac{MS_1}{1})^2 + \frac{1}{v_2}(\frac{S_2^2}{n_2})^2 + \frac{1}{v_3}(\frac{S_3^2}{n_1 n_2})^2}$

위의 자유도의 추정치는 Satterthwaite(1946) 개략치를 사용하여 얻을 수 있음.
○ MS_1, MS_2, MS_3는 분산을 나타내기 위해 분산 table의 nested분석을 구성하는데 사용됨.

<표 1> Nested샘플링을 위한 분산표의 분석

	자승의 합(SS)	자유도	평균자승(MS)	MS에의한 분산의 구성요소
segment간	$n_2n_3(n_1-1)MS_1$	$n-1$	$n_2n_3MS_1$	$n_2n_3\sigma_1^2+n_3\sigma_2^2+\sigma_3^2$
segment내 increment	$n_1n_3(n_2-1)MS_2$	$n_1(n_2-1)$	n_3MS_2	$n_3\sigma_2^2+\sigma_3^2$
incremnnt내 시험	$n_1n_2(n_3-1)MS_3$	$n_1n_2(n_3-1)$	MS_3	σ_3^2

○ 샘플링평균의 표준오차추정치 $\sigma_{\bar{x}}$는 분산의 구성요소를 알면 다음과 같이 추정된다.

$$\sigma_{\bar{x}}=\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}(1-\frac{n_1}{N})+\frac{\sigma_2^2}{n_1n_2}+\frac{\sigma_3^2}{n_1n_2n_3}},$$

$\sigma_{\bar{x}}$ 가 추정되면 추정공식 $S_{\bar{x}}$는

$$S_{\bar{x}}=\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}(1-\frac{n_1}{N})+\frac{S_2^2}{n_1n_2}+\frac{S_3^2}{n_1n_2n_3}}$$ 이고

여기서 자유도는

$$\nu_{\bar{x}}=\frac{(S_{\bar{x}}^2)^2}{\frac{1}{\nu_1}(1-\frac{n_1}{N})^2(\frac{S_1^2}{n_1})^2+\frac{1}{\nu_2}(\frac{S_2^2}{n_1n_2})^2+\frac{1}{\nu_3}(\frac{S_3^2}{n_1n_2n_3})^2}$$

Satterthwaite(1946)개략치를 반복하면 자유도의 추정치를 찾을 수 있다. Duncan의 평균의 표준오차 계산법은 segment 결과의 표준편차를 알면 평균의 표준오차를 얻을 수 있다. segment를 혼합하는 비용은 물론 자유도의 감소이므로 이것은 특정 유일 lot를 처리할 때 유용한 하나의 추정치($S_{\bar{x}}$)이다.

$$S_{\bar{x}}=\frac{1}{\sqrt{n_1}}(\sqrt{\frac{\sum(\bar{x}_1-\bar{x})^2}{n_1-1}})=\sqrt{\frac{MS_1}{n_1}},$$

여기서 자유도 $\nu_1=n_1-1$이고 때때로 lot내 변동을 추정할 필요가 있다. n_1 segment, segment간 increment, increment당 1시험일 경우 샘플로 최소 10segment를 선택하고 혼합이 없으며,

추정치 $$S_{\bar{X}}=\sqrt{\frac{\sum(\bar{x}_1-\bar{x})^2}{n_1-1}}$$

여기서, 자유도 $\nu_1=n_1-1$이고 여기서 구한 S_x의 값은 lot 내 변동량에 관련하여 lot의 특성을 나타내는데 사용된다.

3. 벌크샘플링검사 적용 및 시험평가

3.1 벌크샘플링 계획

○ 벌크재료의 샘플링계획 개요

벌크재료의 샘플링계획은 필수적으로 과정 모수에 대한 변수계획(Variable plan)이다.

만일 segment가 같은 크기이면 segment는 제품의 개별 unit로 취급한다 그러나 벌크샘플링을 기본재료의 필수적 연속성을 개척함에 의해 다소 복잡하고 전체 결과를 평가하는 데는 샘플링과 혼합과정이 고려되어야한다.

○ 벌크 샘플링계획 수립의 단계(Bicking)

추정이 요구되는 문제를 서술하고 그 재료의 관련특성에 대한정보를 수집(평균, 분산의 구성요소)한다. 각 종 접근방법: 비용, 정밀도, 곤란도 등을 고려하고 샘플링과 시험비용, 지연, 감독시간, 편리성 등에 대한 계획을 평가하며 계획을 선택하고 전 단계를 다시 고려한다.

○ Type B 샘플링

검사대상 unit를 생산하는 과정(Process)의 어떤 특성의 평균수준의 측정이나 표준편차의 측정을 목적으로 attribute 검사에서는 lot나 process의 불합격 또는 불일치 비율의 측정이 목적이다. Type B 샘플링 대상으로는 어떤 차의 CO 배출평균, 어떤 흐름에서 불순물의 방출평균 등을 대상으로 하고 있다. 이것은 개별단위 제품과 관련된 개별측정과 대조적이다.

○ 과정모수(Process Parameter)에서 어떤 수준이 수락이냐 배척이냐 하는 것이 규격의 특성으로

- θ_1 : 수락과정수준(APL : Acceptable Process Level)
- θ_2 : 거절과정수준(RPS : Rejectable Process Level)
- θ: 모수
- α : APL에서 reject될 확률(생산자 risk)
- $1-\alpha$: APL에서 accept될 확률
- β : RPL에서 accept될 확률(소비자 risk)

2.4.3 과정모수에 대한 단순 샘플링(Simple Sampling)

단순샘플링은 단위제품의 경우에 한하여 사용가능하다.

○ 가설의 시험

- 가설의 표준 통계적 시험이 과정 모수에 대한 변수에 의해 단순 샘플링의 방법론의 기반이 된다.

- Bowker and Lieberman(1959)의 표준통계 text에서 시험의 작동이 설명되어 있음

<표 2> 가설의 통계적 시험

모 수	조 건	시 험	통계량(statistic)
평균(μ_0)	μ_0 : 구체화 됨, (specified) σ : 알고 있음	정규 z-시험	$Z=\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{\sigma_{\bar{x}}}=\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$
	μ_0 : 구체화 됨, σ : 모름	t-시험	$Z=\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{S_{\bar{x}}}=\dfrac{\bar{x}-\mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$
표준편차(σ_0)	σ_0^2 : 구체화 됨	χ^2시험	$\chi^2=(n-1)(\dfrac{S}{\sigma_0})^2$

샘플크기의 결정은 수락샘플링적용에서 샘플크기가 대단히 중요하고 샘플의 크기는 작동특성곡선(OCC)에서 결정된다. 과정 모수에 대한 변수계획을 위한 곡선은 d나 λ와 같은 APL 부터 모수의 표준화된 변환(displacement)에 대하여 꾸며진다.

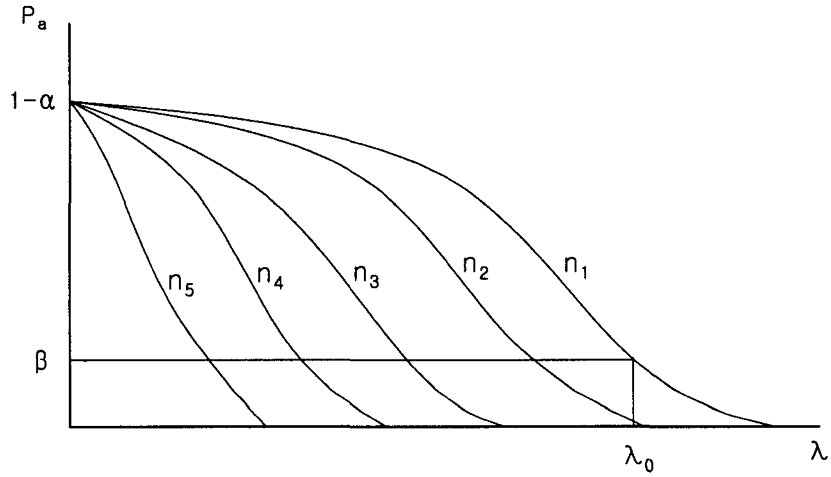
$$d=\frac{\mu-\mu_1}{\sigma} \quad : \quad d=displcement,\ \mu_1=APL$$

$$\lambda=\frac{\sigma^2}{\sigma_1^2} \quad : \quad \sigma_1^2=APL\text{의 분산}$$

- 2-point 계획에 대한 샘플의 크기는 APL로 부터의 RPL의 표준화된 displacement로부터 결정

<표 3> displacement

시 험	displacement
z-시험, t-시험	$d_0 = \frac{\lvert\mu_2 - \mu_1\rvert}{\sigma} = \frac{\lvert RPL - APL\rvert}{\sigma}$
χ^2시험	$\lambda_0 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{RPL}{APL}$



<그림 1> 전형적 OC곡선(OCC)

그림에서 샘플의 크기는 즉 횡축에서 표시된, d_0 또는 λ_0와 종축에 표시된 β의 교차점을 통과하는 곡선에서 찾을 수 있음.

<예> 램프수명

APL : 1000 hrs

RPL : 800 hrs

σ : 알지 못함. 다만 200 hr 수준기대

시험은 t-시험($\mu \geq 1000$ hrs 로서 평균수명의 규격이 one-sided 이므로 t-시험)

$$d_0 = \frac{\lvert\mu_2 - \mu_1\rvert}{\sigma} = \frac{\lvert 800 - 1000\rvert}{200} = 1$$

만일 $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$일 경우

샘플크기 n을 t-시험(one-sided)에서 n=10, 따라서 귀무가설에서 lot를 수락, 거절여부를 결정

<표 4> 조주석 선적 시 Potassium Bitartrate의 %

Bag	Trierful		평균	표준편차
	#1	#2		
1	86.37(x_2)	86.46(x_2)	86.42($\overline{x_1}$)	0.0636
2	87.50(x_2)	86.36(x_2)	86.93($\overline{x_1}$)	0.8061
3	85.75(x_2)	86.05(x_2)	85.90($\overline{x_1}$)	0.2121
4	87.09(x_2)	87.38(x_2)	87.24($\overline{x_1}$)	0.2051
5	87.31(x_2)	86.78(x_2)	87.04($\overline{x_1}$)	0.3748
6	85.85(x_2)	85.75(x_2)	85.80($\overline{x_1}$)	0.0707
7	86.46(x_2)	85.44(x_2)	85.95($\overline{x_1}$)	0.7212
8	84.62(x_2)	86.16(x_2)	85.39($\overline{x_1}$)	1.0889
9	86.41(x_2)	86.26(x_2)	86.34($\overline{x_1}$)	0.1061
10	85.44(x_2)	86.46(x_2)	85.95($\overline{x_1}$)	0.7212
평균	86.28($\overline{x_2}$)	86.31($\overline{x_2}$)	86.296($\overline{x}$)	-
표준편차	0.8938	0.5350	0.6080	

<Tanner and Lerner(1951)의 2단계 벌크샘플링계획>

○ 여기서 N : 무한히 큼, σ_2^2=시험의 변동을 포함. 한 번의 시험, σ_3^2, σ_4^2 : 0.

$$\sigma_{\bar{x}}^2=\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_1 n_2}=\frac{\sigma_1^2}{10}+\frac{\sigma_2^2}{10\times 2}$$

○ 여기서

$$MS_1=\frac{\Sigma\left(\overline{x_1}-\bar{x}\right)}{n_1-1}$$

$$=\frac{(86.42-86.296)^2+(86.93-86.296)^2+\cdots+(85.95-86.296)^2}{10-1}$$

$$=0.36967$$

$$MS_2=\frac{\Sigma(\overline{x_2}-\overline{x_1})^2}{n_1(n_2-1)}$$

$$=\frac{(86.37-86.42)^2+(86.46-86.42)^2+\cdots+(85.46-85.95)^2}{10(2-1)}$$

$$=0.3124$$

$MS_3=0$

따라서

$S_2=\sqrt{MS_2}=\sqrt{0.3124}=0.5589$

$\nu_2=n_1(n_2-1), \quad (\therefore MS_2=S_2^2)$

$=10(2-1)$

$=10$

$$S_1=\sqrt{MS_1-\frac{S_2^2}{n_2}}=\sqrt{0.36967-\frac{0.55892}{2}}=\sqrt{0.21347}$$

$=0.4620$

$$\nu_1=\frac{\left(s_1^2\right)^2}{\frac{1}{n_1-1}\left(\frac{MS_1}{1}\right)^2+\frac{1}{\nu_2}\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}$$

$$=\frac{(0.4620^2)^2}{\frac{1}{10-1}\left(\frac{0.36967}{1}\right)^2+\frac{1}{10}\left(\frac{0.3124}{2}\right)^2}\tilde{\ }2$$

$=2.58\tilde{\ }2$

평균의 표준오차의 추정은

$$S_{\overline{X}}=\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_1n_2}}$$

$$=\sqrt{\frac{MS_1-\frac{S_2^2}{n_2}}{10}+\frac{MS_2}{10\times 2}}$$

$$=\sqrt{\frac{0.36967-\frac{0.55892}{2}}{10}+\frac{0.3124}{20}}$$

$$=\sqrt{\frac{0.36967-0.15619}{10}+\frac{0.3124}{20}}$$

$=0.1923$

앞의 공식에 의하면

$\nu_1 = n_1 - 1 = 9$

$$S_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{10}}\sqrt{\frac{\Sigma(\overline{x_1}-\bar{x})^2}{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{10}}\sqrt{\frac{\cdots}{10-1}} = 0.1923 \text{이다.}$$

평균의 95% 신뢰구간(confidence interval)은

$$t = \frac{\bar{x}-\mu}{S_{\bar{x}}}$$

$$\mu = \pm tS_{\bar{x}} + \bar{x}$$
$$= \pm 2.26 \times 0.1923 + 86.296 (\nu = 9, \alpha = 0.025)$$
$$= \pm 0.43 + 86.296$$

4. 결론

본 연구에서는 벌크샘플링의 기본적 정의와 벌크샘플링의 구조, 추정방법에 대해 알아보았다. 향후 대수정규분포를 가정하여 벌크재료의 신뢰성보증을 위해 로트합격판정을 위한 검사통계량의 분산을 최소화하면서 동시에 소비자 위험을 보증하는 최소 시료수를 결정함. 또한 segment와 increment 수를 각각 고려한 시료수 비율을 결정하고 검정통계량의 분산을 최소화하는 샘플링검사방식을 설계하고 가속수명시험의 시료수 자료와 벌크재료의 segment와 increment의 시료수 비율 자료를 동시에 고려하면서 검정통계량의 분산이 최소화되고 LTML을 보증할 수 있는 벌크재료의 통합형 신뢰성 보증시스템의 설계가 추후 연구과제로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 김갑석, 경제적 및 통계적 측면을 고려한 일정스트레스 가속수명시험의 최적설계, 1999
[2] 김경환, 신뢰성 인증을 위한 신뢰성 샘플링방식의 설계, 2002
[3] 김명수, "지수 및 와이블분포에서의 계단형으로 증가하는 스트레스에 의한 가속수명시험의 설계, 1993
[4] 김종걸, 대수정규 및 와이블 분포에서의 가속수명시험 샘플링 검사방식의 설계, 1993
[5] 김종걸, 신뢰성 기반 제품혁신 및 경영혁신 전략, 2002
[6] 김명수, 김진우, 가속신뢰성시험, Ⅰ,Ⅱ, 2005
[7] 박병구, 윤상철, 서호철, 스트레스에 의존하는 척도모수를 가진 대수정규 가속수

명시험의 최적설계, 통계학회지, 1996

[8] Bicking, C. A. (1967), The Sampling of Bulk Materials, *Materials Research and Stan dards*, 7(2): 95-116

[9] Bicking, C. A. (1968), Sampling, *Encyclopedia of Chemocal Technology* (Kirk -Othmer, ed.), 2nd de., Vol. 17, John Wiley and Sons, New York, pp.744-762

[10] Bicking, C. A. (1970), ASTM E-105-58 and ASTM E-300-69 Standards for the Sampling of Bulkmaterials, Journal of Quality Techonology, 2(3)

[11] Bicking, C. A. (1978), Priciples and methods of Sampling, Treatise on Analytical Chemistry (I. M. Kolthoff and P. J. Elving, eds.), 2nd ed., vol. 1, Part Ⅰ, Sec. B, Chap. 6, John Wiley and Sons, New York

[12] Bowker, A. H., and G. J. Lieberman (1955), Handbook of Industrial Statistics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

[13] Satterhwale, F. E. (1946), An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components, Biometrics Bulletin, 2

[14] Schilling, E. G. (1973), A Systematic Approach to Analysis of Means, Part Ⅰ. Analysis of Treatment Effects, Journal of Quality Techonology, 5(3)