工業經營學會誌 第 21卷 第 45輯 1998年 2月 319

수명의 양쪽규격을 고려한 정수중단 ALT 샘플링검사 계획

- A Failure-Censored Accelerated Life Test Sampling Plan with Both Life Specification Limits -

류 근중*
Ryu, Keun Jung
강 창욱*
Kang, Chang Wook

Abstract

In this paper, the design of ALT(Accelerated Life Test) requires a sampling plan based on failure-censored(Type II censored) ALT with lognormal life distribution. Specially the environmental effect of products has been emphasized, so we considered the upper life limit as well as lower life limit in the ALT sampling plan. The optimal plan with a high stress and a low stress is used as test plan, and the total sample size for test and lot acceptability constant which minimize an asymptotic variance of maximum likelihood estimator of assumed model parameters and satisfy the given producer's risk and customer's risk are drawn out. These values can be acquired by means of the computer program that we coded for resolving the difficulty and complexity of calculation.

1. 서 론

가속수명시험이란 평상시보다 더 열악한 조건에서 시험을 하여 제품의 수명을 단축시키거나, 성능을 급속히 저하(degradation) 시키므로 짧은 기간동안에 자료를 얻은 후 적절한 절차를 통하여 정상상태에서의 제품의 수명 또는 성능을 추정하는 것이다. 이러한 가속수명시험을 통하여 기업은 시험시간과 비용을 감소시킬 수 있다.

이러한 시험의 실시에 앞서 가속수명시험에 대한 시험계획(test plan) 을 세우게 되는데 이 시험계획을 잘 세워야 올바른 시험을 할 수 있다. 대개의 시험계획은 스트레스 수준을 알고 있는 상태에서 각 수준으로의 샘플의 최적 할당을 구하거나, 또는 최고 시험스트레스를 알고 있는 상태에서 최소 시험스트레스를 구하고, 샘플의 크기를 구하는 것이다.

본 연구에서는 수명의 양쪽규격이 있을 경우의 정수중단 가속수명시험의 샘플링검사에 대하여 다루어 본다. LCA(Life Cycle Assessment) 측면에서 고려해보면 현재와 같이 제품의 라이프 싸이클이 짧은 시대에 제품의 수명이 너무 길어도 거기에 소요되는 제품이나 부품에 대한 비용은 낭비가 될 것이다. 또한 약을 담는 캡슐이나 수술할 때 쓰이는 실 등과 같이 제품의

*한양대학교 산업공학과

수명이 너무 길면 안돼는 경우가 있으며 환경적인 측면에서 1 회용 제품 같은 경우는 한번 사용되고 소멸되지 않는다면 지구환경에 나쁜 영향을 줄 것이다. 따라서 본 논문에서는 수명의 하한 규격(lower specification limit)과 상한 규격(upper specification limit)을 동시에 고려한 경우의 정수중단이 있는 가속수명시험의 샘플링검사 계획을 마련하고자 한다. 또한 추정량의 점근분산 값을 구해서 시험계획에 필요한 총 샘플 수와 합격판정계수 및 최소스트레스에 할당하는 샘플비율을 계산해주는 프로그램을 개발하였다.

2. 정수중단 ALT 샘플링검사 계획

2.1 모델과 기본가정

이번 장에서는 lognormal 수명 분포를 갖는 제품이나 부품에 가속수명시험을 적용한 샘플링검사에 대해 설명하고 상한규격과 하한규격을 동시에 고려하였을 때 로트의 합격과 불합격을 결정하게 되는 절차를 보인다. 가속수명시험에 대한 시험 계획은 정수중단이 있는 최적계획을 적용한다. 즉, 정상 스트레스보다 높은 두 개의 스트레스를 고려하고 최적의 총 샘플크기와 그 총 샘플을 두 스트레스에 할당하는 샘플비율과 로트의 합격판정계수를 찾아본다. 이때 (변환을 거친) 스트레스와 수명은 선형의 관계가 있다고 가정한다. 최적화의 기준은 가정한 모델 모수(model parameters) 에 대한 최우추정량의 점근 분산을 최소화시키고 주어진 생산자위험과 소비자위험을 동시에 만족시키는 것이다.

본 연구에서 사용되는 기호들을 정의하면 다음과 같다.

S_L : 수명의 하한규격 한계치(lower specification limit)

S_U : 수명의 상한규격 한계치(upper specification limit)

S_L' : $S_L' = \log(S_L)$

S_U' : $S_U' = \log(S_U)$

t : 제품의 수명

y : $y = \log(t)$

μ : 수명분포 y 의 위치 파라미터(location parameter)

σ : 수명분포 y 의 스케일 파라미터(scale parameter)

$\hat{\mu}$: μ 의 추정치

$\hat{\sigma}$: σ 의 추정치

x_0, x_1, x_2 : 각각 설계 스트레스, 최소 스트레스, 최대 스트레스

π : x_1 에 할당시킬 샘플 비율(sample proportion)

n_1, n_2 : x_1 과 x_2 에 할당되는 샘플의 크기

n_{s_L}, n_{s_U} : 하한규격과 상한규격을 고려했을 때의 샘플 수

n : 전체 샘플수

h_1, h_2 : 최소 스트레스와 최대 스트레스에서 중도절단 하기전에 발생하는 고장갯수

q_1, q_2 : 최소 스트레스와 최대 스트레스의 중도절단 비율

$\gamma_0, \gamma_1, \beta_0, \beta_1$: 스트레스-수명 관계식의 모델 파라미터

ξ : 표준화된(standardized) 스트레스 수준

ξ_0, ξ_1, ξ_2 : 정상, 최저, 최고 스트레스에서의 표준화된 스트레스 수준

T_L, T_U : 각각 하한규격과 상한규격에 대한 검정 통계량

α, β : 생산자 위험과 소비자 위험

p_α , p_β : α 와 β 에서의 불량률

$\Phi(\cdot)$, $\phi(\cdot)$: 표준정규분포의 누적확률분포와 확률밀도함수

z_p : 표준정규분포의 백분위수

M : 최대허용 불량률

MSD : 최대표준편차(Maximum standard deviation)

k : 로트의 합격판정계수

k^* : MSD 를 구하기 위해 사용되는 합격판정계수

또한 본 연구에서 사용되는 모델과 기본가정은 다음과 같다.

1) 시험 제품의 수명 t 는 모든 스트레스에서 lognormal 분포를 따른다.

2) 스트레스 x 와 수명분포의 위치 파라미터 μ 간에는 선형의 관계가 존재한다. 즉 다음과 같은 모델을 설정한다.

$$\mu(x) = \gamma_0 + \gamma_1 x \tag{1}$$

3) 모든 스트레스 수준에서 수명분포의 스케일 파라미터 σ 는 일정하다.

4) 시험 제품의 수명은 통계적으로 독립이다.

2.2 가속수명시험 샘플링검사의 최적 설계

본 연구에서 사용될 검정 통계량은 다음과 같다. 여기서 $\widehat{\mu_0}$ 와 $\hat{\sigma}$ 은 이러한 시험계획으로부터 얻어진 추정량이다. 이렇게 양쪽규격이 있는 경우에는 일반적인 샘플링검사 방식과 마찬가지로 수명의 상한규격과 하한규격을 각각 한쪽의 규격한계만이 주어진 경우의 검사방식을 따로따로 적용시킨다. 그리고 각 규격을 따로따로 적용시킴으로써 생기는 표준편차가 너무 커서 양쪽에 불량품이 있게 되어 불량률이 커질 수 있으므로 표준편차가 어느 정도 작다는 보장이 있어야 한다.

(1) 하한규격을 고려했을 경우

$$T_L = \widehat{\mu_0} - k\hat{\sigma} \tag{2}$$

(2) 상한규격을 고려했을 경우

$$T_U = \widehat{\mu_0} + k\hat{\sigma} \tag{3}$$

우선 표준화된 스트레스 ξ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\xi = (x - x_0) \;/\; (x_2 - x_0)$$

그러면 식 (1)은 $\mu = \beta_0 + \beta_1\xi$ 이 되고 여기서 $\beta_0 = \gamma_0 + \gamma_1 x_0$. $\beta_1 = \gamma_1(x_2 - x_0)$ 이며 $\mu_0 = \beta_0$이다. 그러면 각각의 검정통계량은 $T_L = \widehat{\mu_0} - k\hat{\sigma} = \widehat{\beta_0} - k\hat{\sigma}$ 와 $T_U = \widehat{\mu_0} + k\hat{\sigma} = \widehat{\beta_0} + k\hat{\sigma}$ 이 된다.

2.2.1 최적의 n, k, π 식 유도

상한과 하한규격의 검정 통계량에 대한 표준화된 변량(standardized variate)

$$Z_L = [T_L - E(T_L)] \,/\, [Var(T_L)]^{1/2}$$

$$= \frac{\widehat{\beta}_0 - k\widehat{\sigma} - (\beta_0 - k\sigma)}{\sigma(\gamma_{11} + k^2\gamma_{33} - 2k\gamma_{13})^{1/2}}\sqrt{n}$$

와

$$Z_U = [T_U - E(T_U)] \,/\, [Var(T_U)]^{1/2}$$

$$= \frac{\widehat{\beta}_0 + k\widehat{\sigma} - (\beta_0 + k\sigma)}{\sigma(\gamma_{11} + k^2\gamma_{33} + 2k\gamma_{13})^{1/2}}\sqrt{n}$$

은 점근선적으로 표준 정규분포이다.

여기서 γ_{11}, γ_{33}, γ_{13} 는 각각 $\widehat{\beta}_0$ 와 $\widehat{\sigma}$ 의 점근분산(asymptotic variance)과 공분산을 나타내는 covariance matrix의 요소(factors) 이다. 양쪽규격이 있고 표준편차가 미지인 일반적인 샘플링검사에서처럼 p_α, p_β, α, β 를 만족시키는 한쪽규격만이 주어진 경우의 검사방식을 하한규격, 상한규격에 따로따로 적용시켜서 시험에 필요한 총 샘플수 n 과 합격판정계수 k 에 대한 식을 유도한다.

(1) 하한규격에 적용

로트의 불량률이 p 일 때의 그 로트의 합격확률은 다음과 같다.

$$L(p) = \Pr[T_L \geq S_L']$$

$$= \Pr[Z_L \geq \frac{(S_L' - \beta_0)/\sigma + k}{V_1}\sqrt{n}\,]$$

$$= \Pr[Z_L \geq \frac{w_{p_L} + k}{V_1}\sqrt{n}\,]$$

$$= 1 - \Phi(\frac{w_{p_L} + k}{V_1}\sqrt{n}\,)$$

위 식에서 $w_{p_L} = (S_L' - \beta_0)/\sigma$ 이고 $V_1 = (\gamma_{11} + k^2\gamma_{33} - 2k\gamma_{13})^{1/2}$ 이다.

주어진 $(p_\alpha, 1-\alpha)$ 와 (p_β, β) 이 허용하는 범위 내에서 (n, k) 샘플링검사를 결정하기 위해서는 불량률이 p_α 인 로트가 확률 $1-\alpha$ 로 합격되고 불량률이 p_β 인 로트가 확률 β 로 합격하려면 다음의 등식이 성립한다.

$$z_\alpha = \sqrt{n}\,(w_{p_\alpha} + k)/V_1 \tag{4}$$

$$z_{1-\beta} = \sqrt{n}\,(w_{p_\beta} + k)/V_1 \tag{5}$$

여기에서 z_α, $z_{1-\beta}$ 는 표준정규분포의 하분위수(lower quantiles) 이고 w_{p_α}, w_{p_β} 는 log 수명분포의 하분위수이다. 위의 두 식 (4) 와 (5) 를 이용하여 샘플수 n 과 합격판정계수 k 에 대한 식을 유도하면 다음과 같다.

$$k = \left|\frac{z_{1-\beta}\cdot w_{p_\alpha} - z_\alpha\cdot w_{p_\beta}}{z_\alpha - z_{1-\beta}}\right| \tag{6}$$

$$n_{s_L} = \left[\frac{z_\alpha - z_{1-\beta}}{w_{p_\alpha} - w_{p_\beta}} \right]^2 (V_1^*)^2 \tag{7}$$

이 식에서 V_1^* 는 가정된 선형모델의 모수의 최우추정량의 점근분산이 최적화된 V_1 을 말한다.

(2) 상한규격에 적용

하한규격의 경우와 마찬가지로 불량률에 대한 합격확률을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L(p) &= \Pr[T_U \le S_U'] \\ &= \Pr[Z_U \le \frac{(S_U' - \beta_0)/\sigma - k}{V_2} \sqrt{n}\ ] \\ &= \Pr[Z_U \le \frac{w_{p_U} - k}{V_2} \sqrt{n}\ ] \\ &= \Phi(\frac{w_{p_U} - k}{V_2} \sqrt{n}\ ) \end{aligned}$$

여기서 $w_{p_U} = (S_U' - \beta_0)/\sigma$ 이고 $V_2 = (\gamma_{11} + k^2\gamma_{33} + 2k\gamma_{13})^{1/2}$ 이며 하한규격의 경우와 마찬가지로 다음과 같은 등식이 유도된다.

$$-z_\alpha = \sqrt{n}\ (w_{p_\alpha} - k)/V_2 \tag{8}$$

$$-z_{1-\beta} = \sqrt{n}\ (w_{p_\beta} - k)/V_2 \tag{9}$$

위의 두 식 (8) 과 (9) 를 이용하여 n 과 k 에 대한 식을 유도하면 다음과 같다.

$$k = \left| \frac{z_\alpha \cdot w_{p_\beta} - z_{1-\beta} \cdot w_{p_\alpha}}{z_\alpha - z_{1-\beta}} \right| \tag{10}$$

$$n_{s_U} = \left[\frac{z_{1-\beta} - z_\alpha}{w_{p_\alpha} - w_{p_\beta}} \right]^2 (V_2^*)^2 \tag{11}$$

그리고 시험에 필요한 총 샘플 수 n 은 하한규격을 고려한 경우의 샘플 수 n_{s_L} 과 상한규격을 고려한 경우의 샘플 수 n_{s_U} 중 큰 샘플을 취한다.

(3) 최적의 최소스트레스에 샘플의 할당비율 π^* 식 유도

최소 스트레스와 최대 스트레스의 중도절단 비율 q_1, q_2 가 주어졌을 때 $(\widehat{\beta_0}, \widehat{\beta_1}, \hat{\sigma})$ 의 점근분산을 최소화시키는 π 중의 최적의 π^* 는 다음과 같다. 이때 π^* 값은 $0 < \pi^* < 1$ 이다.

$$\pi^* = \frac{(a_2 d_1 - 2a_1 d_2) + \{(a_1 d_2)^2 + (a_2 d_1)^2 - a_1 a_2 d_1 d_2\}^{1/2}}{3(a_2 d_1 - a_1 d_2)}, \quad q_1 \neq q_2$$

$$\pi^* = 1/2, \qquad q_1 = q_2 \tag{12}$$

여기서 $q_1 = 1 - r_1/n_1$, $q_2 = 1 - r_2/n_2$ 이며 이 비율은 비용이나 시간을 고려해서 알맞은 값을 결정한다. 여기서 a_i, b_i, c_i, d_i 값과 식에 대한 자세한 증명은 Bai *et al.*[4]을 참조한다.

2.2.2 가속수명시험 샘플링검사의 최적설계 및 로트의 합격여부 판단절차

(1) 가속수명시험 샘플링검사의 최적 설계

본 연구에서 설명한 정수중단 가속수명시험 샘플링검사에 대한 설계절차는 다음과 같다.

[단계 1] OC 곡선상의 두 점 $(p_\alpha, 1-\alpha)$, (p_β, β) 와 각 스트레스에서의 중도절단 비율 q_1, q_2 를 알맞게 정한다. 그리고 최소 스트레스 x_1 과 최대 스트레스 x_2 를 허용된 범위 내에서 가정한다.

[단계 2] 식 (12) 를 이용하여 최소 스트레스에 샘플의 할당비율 π^* 를 계산한다.

[단계 3] 식 (6) 또는 식 (10) 을 이용하여 합격판정계수 k 를 계산한다.

[단계 4] 식 (7) 과 식 (11) 을 이용하여 각각의 n_{s_L}, n_{s_U} 를 구한다. 그러면 시험에 필요한 전체 샘플 크기 n 은 n_{s_L}, n_{s_U} 중에서 크기가 큰 샘플을 전체 샘플로 정하고 가장 가까운 정수값을 샘플수로 정한다.

[단계 5] 최소 스트레스의 할당 샘플수 n_1 은 $n\pi^*$ 이고 최대 스트레스에 할당하는 샘플 수 n_2 는 $n - n_1$ 값을 취한다.

[단계 6] 단계 4 에서 구한 총 샘플크기 n 을 이용하여 각 스트레스에서의 중도절단 고장 개수 h_1, h_2 를 구한다. 이때 $h_1 = (1-q_1)n_1$, $h_2 = (1-q_2)n_2$ 이다.

(2) 로트의 합격여부 판단절차

이상의 여섯 가지 단계에서 구한 자료를 바탕으로 정수중단 가속수명시험에 대한 설계를 한다. 그리고 실제 수명시험을 하여 얻어진 자료로부터 가정한 모델에 대한 추정량을 얻을 수 있다. 이 추정량, 즉 $\hat{\mu}$ 과 $\hat{\sigma}$ 을 이용하여 다음과 같은 로트의 합격판정여부를 한다. 이 판단기준은 표준편차가 미지이며 불량률을 보증하는 경우 양쪽 규격한계가 동시에 주어졌을 때의 샘플링검사 방식을 이용한 것이다.

$$\frac{\hat{\mu} - S_L'}{\hat{\sigma}} \geq k$$

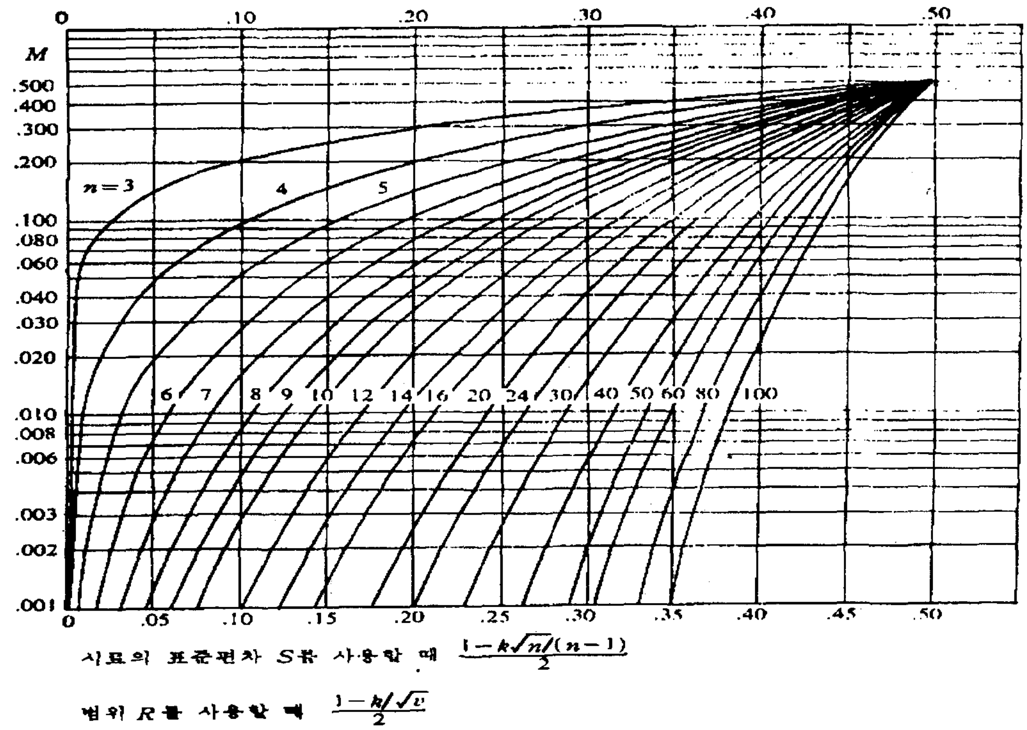
$$\frac{S_U' - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \geq k \qquad (13)$$

$$\hat{\sigma} \leq MSD$$

로트의 합격판정기준은 위의 세 식을 모두 만족시키면 그 로트를 합격시키고 그렇지 않으면 로트를 불합격시킨다. MSD 는 하한규격과 상한규격에 대한 표준편차가 너무 커서 양쪽규격에 불량품이 있게 되어 불량률이 커질 수 있으므로 표준편차가 어느 정도 작다는 보장을 하기 위해서 쓰인다. MSD 의 공식은 다음과 같다.

$$MSD = \frac{S_U' - S_L'}{2k^*}$$

그림 [1] 로부터 (n, k) 에 해당되는 최대허용불량률 M 을 구하고 이를 2로 나눈 다음, 거꾸로 이에 해당하는 가로축의 값을 만족시키는 k^* 를 구하면 MSD값을 구할 수 있다.



[그림 1] 최대허용불량률 M을 구하기 위한 도표 [1]

3. 수치 예제

3.1 문제설명 및 가정

Y 사에서는 접착제 점성(adhesive viscosity) 의 신뢰도에 대한 가속수명시험 샘플링검사에 대한 계획을 세우고자 한다. 정상조건에서 이 접착제의 점성은 130,000 시간이고, 접착제 점성의 상한규격을 200,000 시간이라고 가정한다. 수명 분포는 lognormal 분포를 따르고, 수명과 온도 스트레스사이에는 아레니우스법칙이 성립한다고 가정한다. 그리고 정상상태에서의 온도는 80℃ 이다. 회사측에서는 OC 곡선상의 두 점 $(p_{\alpha},\ 1-\alpha)$ 와 $(p_{\beta},\ \beta)$ 는 각각 (0.0002, 0.95) 와 (0.03, 0.10) 로 하고 최소 스트레스와 최대 스트레스를 각각 120℃ 와 190℃ 로 한다. 그리고 각 스트레스에서의 중도절단 비율을 $q_1=0.5$, $q_2=0.3$ 으로 가정한다.

6 단계의 가속수명시험 샘플링검사의 최적 설계를 한 후의 결과를 요약하면 다음과 같다.

[표 1] 예제의 결과 요약

design parameter	value	design parameter	value
n	71	n_1	32
k	2.60726	n_2	39
π	0.450362	h_1	16
ξ_1	0.4	h_2	27

위의 자료를 바탕으로 가속수명시험 설계를 한 후 실제의 가속수명시험에서 얻어진 자료로부터 MLE의 추정량 $\widehat{\mu_0}$, $\hat{\sigma}$ 를 구한다. 이 추정량을 가지고 로트의 합격여부를 결정한다. 즉 다음의 세 가지 조건을 모두 만족하면 그 로트를 합격시킨다.

(1) $\dfrac{\hat{\mu} - \ln(130,000)}{\hat{\sigma}} \geq 2.60726$

(2) $\dfrac{\ln(200,000) - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \geq 2.60726$

(3) $\hat{\sigma} \leq MSD$

여기에서 MSD 를 구하면

$$MSD = \frac{S_U' - S_L'}{2k^*} = \frac{\ln(200,000) - \ln(130,000)}{2 \times 2.9076} = 0.6263$$

로 결정된다. 따라서 로트가 합격이 되려면 $\hat{\sigma}$ 값이 0.6263 보다 작아야한다.

다음의 표는 중도절단 비율과 표준화된 스트레스가 변함에 따라서 전체샘플 수 n 과 최소 스트레스에 할당하는 샘플의 비율 · π 의 값이 변화하는 것을 나타낸 것이다. 이 표는 C++로 개발한 프로그램을 IBM 호환 펜티엄 133 기종에서 구한 계산결과이다. 그리고 비용이나 시간의 제약이 있는 경우에는 적절하게 q_1, q_2 의 비율을 조정하고 표준화된 스트레스 ξ 를 조정함으로써 시험이 가능하다.

[표 2] lognormal 분포에 대한 정수중단 ALT 샘플링검사

q_1	q_2	ξ_1	π	n	n_1	n_2	n_{s_L}	n_{s_U}
0.3	0.1	0.1	0.459278	32	13	16	26	32
		0.2		36	15	18	30	36
		0.3		43	18	21	35	43
		0.4		53	23	26	45	53
	0.2	0.1	0.478406	33	14	16	27	33
		0.2		37	16	18	30	37
		0.3		43	19	21	36	43
		0.4		53	24	25	45	53
0.5	0.1	0.1	0.417645	41	14	20	28	41
		0.2		46	16	23	32	46
		0.3		55	20	27	39	55
		0.4		68	25	34	50	68
	0.2	0.1	0.43234	43	16	20	29	43
		0.2		49	18	23	33	49
		0.3		57	21	27	40	57
		0.4		68	26	34	50	68
	0.3	0.1	0.450362	46	17	21	30	46
		0.2		51	19	23	34	51
		0.3		59	23	27	40	59
		0.4		**71**	**27**	**34**	**51**	**71**
	0.4	0.1	0.472666	49	19	21	31	49
		0.2		53	21	23	35	53
		0.3		61	24	27	41	61
		0.4		72	29	33	52	72

q_1	q_2	ξ_1	π	n	n_1	n_2	n_{s_L}	n_{s_U}
0.7	0.1	0.1	0.379105	55	16	27	32	55
		0.2		64	19	31	37	64
		0.3		76	23	38	46	76
		0.4		95	29	48	60	95
	0.2	0.1	0.387435	60	18	28	32	60
		0.2		68	21	32	38	68
		0.3		80	24	39	46	80
		0.4		99	31	49	60	99
	0.3	0.1	0.398101	65	29	20	33	65
		0.2		72	22	34	39	72
		0.3		85	26	40	47	85
		0.4		103	33	49	61	103
	0.4	0.1	0.412291	71	22	31	35	71
		0.2		79	24	35	40	79
		0.3		90	28	41	48	90
		0.4		108	35	50	61	108
	0.5	0.1	0.431891	79	25	33	36	79
		0.2		86	28	36	41	86
		0.3		97	32	41	49	97
		0.4		114	38	50	62	114
	0.6	0.1	0.459857	88	29	34	39	88
		0.2		95	32	37	43	95
		0.3		105	36	42	51	105
		0.4		120	42	50	64	120

여기에서 $p_\alpha = 0.0002$, $p_\beta = 0.03$, $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.1$, $k = 2.60726$ 이다.

4. 결 론

기존의 연구는 수명의 하한규격만을 고려한 샘플링검사 계획을 제시했지만 제품이나 부품의 life cycle cost 문제, 환경문제, 또한 반드시 수명의 상한선을 고려하는 문제 등에 대한 수명시험 샘플링검사 계획은 다루지를 않았다. 본 연구에서는 이러한 상한규격이 존재할 때 주어진 생산자위험과 소비자위험, 또한 거기에 대응하는 각각의 불량률이 허용하는 범위 내에서 합격판정계수를 구하였다. 그리고 가정한 모델의 파라미터의 최우추정량의 분산을 최소화하는 최적의 샘플크기를 구하였고 실제 가속수명시험을 한 후 얻은 자료를 가지고 양쪽의 규격이 있을 때 로트의 합격판단절차를 하는 과정을 보여주었다.

수치 예제에서는 계산상의 어려움 때문에 이러한 계산을 해주는 프로그램을 개발하여 이용하였다. 그리고 중도절단 비율과 최소 스트레스에서의 표준화된 스트레스의 값의 변화에 따라서 총 샘플 수 및 각각의 스트레스에 대한 샘플할당 비율이 변화하는 과정을 보여주는 표를 작성하여 시험을 하는데 시간과 비용의 제약이 있는 경우에는 적절한 중도절단 비율과 표준화된 스트레스로 적당한 샘플수를 취한 후에 시험을 할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

[1] 김성인, "샘플링 검사 - 통계적 품질관리," 박영사, 1994.

[2] 이치우, 김선진, 이성우, 정상영, "신뢰성공학," 원창출판사, 1993.

[3] 황의철, "품질경영 - TQC의 활용에 의한," 박영사, 1995.

[4] Bai, D. S., Kim, J. G. and Chun, Y. R., "Design of failure-censored accelerated life test sampling plans for lognormal and Weibull distributions," *Engineering Optimization*, 21, 1993, pp. 197-212

[5] Fertig, K. W. and Mann, N. R., "Life-Test Sampling Plans for Two-Parameter Weibull Populations," *Technometrics*, 22, 1980, pp. 165-177

[6] Kielpinski, T. J. and Nelson, W., "Optimum Censored Accelerated Life Tests for Normal and Lognormal Life Distributions," *IEEE Trans. Reliability*, 24, 1975, pp. 310-332.

[7] Lawless, J. F., *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*, Wiley, New York, 1981.

[8] Liberman, G. J. , and Resnikoff, G. J., "Sampling Plans for Inspection by Variables," *Journal of the American Statistical Association*, 50, 1955, pp. 457-516.

[9] Meeker, Jr. W. Q., "A Comparison of Accelerated Life Test Plans for Weibull and Lognormal Distributions and Type I Censoring," *Technometrics*, 26, 1984, pp. 157-171.

[10] Meeter, C. A., and Meeker, W. Q., "Optimum Accelerated Life Tests With a Nonconstant Scale Parameter," *Technometrics*, 36, 1994, pp. 71-83.

[11] Nelson, W., and Meeker, W. Q., "Theory for Optimum Accelerated Life Tests for Weibull and Extreme Value Distributions," *Technometrics*, 20, 1978, pp. 171-177.

[12] Nelson, W., *Accelerated testing-Statistical models, test plans, and data analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1990.

[13] Schneider, H., "Failure-Censored Variables-Sampling Plans for Lognormal and Weibull Distributions," *Technometrics*, 31, 1989, pp. 199-206.