

▣ 연구논문

품질보증정책하에 ESS와 Burn-in을 결합한
최적비용모형의 설정¹⁾

-A study on Optimal Cost Model of Combined ESS
and Burn-in under Warranty Policy-

송 서 일*

Song, Suh ill

조 영 찬**

Cho, Young Chan

박 현 규**

Park, Hyun Kyu

Abstract

The electronics industry is fast growing segment of manufacturing and service industries. It is important that the manufacturer develops a product with adequate life cycle, high quality, and low failure rate in the specified time period. Environmental Stress Screening(ESS) and burn-in are widely used in the electronic industry to assist in the elimination of early failure

In this research, we construct optimal cost model of combined ESS and burn-in under various warranty policy and establish optimal testing times for given environments. Also we conduct sensitivity analysis on various parameter.

The results of this study are summarized as follows. Comparing free warranty policy to rebate warranty policy, optimal ESS time is longer under free warranty policy, and optimal burn-in time is longer under rebate warranty policy. Free warranty policy higher than rebate warranty policy in total cost.

1. 서론

현대의 고도화된 산업사회에서 경제의 급속한 발전과 제조기술의 발달은 제품에 다양한 기능과 성능을 더욱 향상시키고 있다. 따라서 제품을 구입하는 소비자는 동일한 제품을 생산하는 수많은 경쟁업체의 제품 중에서도 다양한 기능과 성능을 갖춘 고신뢰성의 제품 및 최소의 고장과 범용성, 적응성, 안정성을 가지는 제품을 선호하게 되었다.

특히 제품의 신뢰성에 가장 영향을 크게 미치는 것이 초기고장인데 전자산업분야에서 이러한 초기고장을 제거하기 위해서 ESS(Environmental Stress Screening)와 Burn-in을 가장 많이 사용하고 있다.

Burn-in은 제품을 출하하기 전에 정상적인 환경조건하에서 제품을 사용하여 짧은 수명의 제품을 제거함으로써 소비자에게 인도되는 부품과 제품의 품질을 증가시키는 기술이고, ESS는 제품이 허용하는 환경조건을 초과한 극도의 스트레스 환경에서 일정한 시간동안 노출시켜 제품이 가지고 있는 잠재적인 불량률 제거하여 제품의 고장률을 전체적으로 낮추기 위해 이용이 되고 있다.

1) 이 논문은 1999학년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음

* 동아대학교 산업시스템공학과 교수

** 동아대학교 산업시스템공학과 박사과정

따라서 ESS 와 Burn-in 공정은 초기고장을 감소시키고 적합한 수명주기와 높은 품질을 가지는 제품을 개발하기 위해 전자산업분야에서 많은 학자들에 의해 폭넓은 연구가 행해지고 있다.

먼저, Weiss & Dishon (1971)은 Burn-in 정책을 결정하기 위해서 고장난 제품의 수리 가능한 경우와 수리 불가능한 경우에 관해서 연구하였으며, Lawrence(1966)은 평균잔존수명을 구하기 위해서 Burn-in 시간에 대한 상한과 하한 규격을 정의하였으며, Kuo(1983)은 최적의 Burn-in 시간을 결정하기 위해서 초기수명분포를 와이블분포를 사용하는 모델을 개발하였다.

Reddy and Dietrich(1994)는 부품의 수명이 혼합지수분포를 따르는 경우 수명주기비용을 최소화함으로써 최적의 ESS 기간을 구하기 위해서 재생이론을 이용하여 기대 고장수를 구하였다. Yan et al.(1997)은 무료 보증정책하에 ESS와 Burn-in을 결합한 최적비용모형을 결정하였다. 그러나 지금까지 연구되어 왔던 ESS 와 Burn-in 모형들은 전체 비용에서 서로 분리되어 적용함으로써 총 제조비용에 미치는 영향을 분석하는데 있어서 현실성을 반영하는데 어려움이 있으며 특히, 다양한 보증정책에 따라서 비용을 최소화하는 최적 시험기간의 변화에 대해서는 연구되지 않았다.

따라서 본 연구는 Yan et al.(1997)이 제시한 수정된 육조곡선을 이용하여, 다양한 품질보증 정책을 고려하는 경우에 제품관점으로부터 비용이 최소가 되는 전체수명주기비용모형을 개발하였다. 특히, 최초로 만들어진 부품수준에서는 ESS를 시험을 하고 그것을 통과한 부품을 결합한 하위조립품수준에서는 Burn-in을 하는 경우에 있어서, 전체 수명주기비용을 최소화하는 최적시험기간을 구하는 비용모형을 제시하고자 한다.

2. 제품의 수명주기 T 를 고려한 와이블혼합분포

일반적으로 사용하고 있는 제품의 고장분포에서 고장시간은 0 에서 무한대까지로 가정되지만 실질적인 시장성을 반영한 제품의 고장률은 T 시간에서 종결되는 것으로 모형화 될 수 있다. 그리고 잠재적 불량률 가지는 모집단의 고장을 표현하기 위해서 여러 가지 하위모집단을 포함하고 있는 모집단을 모형화하는 것은 혼합 분포로써 표현이 될 수 있는 것이다.

만약 일상적불량률 가지는 하위모집단의 확률밀도함수를 $f_g(t)$ 로 표현을 하고, 잠재적 불량률 가지는 하위모집단의 확률밀도함수를 $f_b(t)$ 로써 표현을 한다고 가정을 하면, 식(1)에 의해 전체모집단의 혼합 확률밀도함수는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$f(t) = p_g f_g(t) + p_b f_b(t) \quad (1)$$

$$\text{단, } p_g + p_b = 1$$

t_c 를 일상적 불량률 λ_g 보다 높은 고장률 λ_b 가 나타나는 점이라고 하면, t_c 까지는 일상적 불량률 가지는 모집단에서의 초기고장과 잠재적 불량률 가지는 모집단의 불량률과 동일하다는 것을 가정한다. 즉 $t < t_c$ 일 때는, 이러한 가정을 유지하기 위해서 식 (2)와 같은 제약식이 이 연구에서 가정이 되어야한다.

$$f_b(t) = f_g(t) \quad (2)$$

그러므로 와이블혼합분포의 확률밀도함수는 식 (3)과 같이 정의 할 수 있다.

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{m}{\theta}\right)\left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m\right)}{1 - \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta}\right)^m\right)} & \text{for } 0 \leq t \leq t_l \\ A\lambda_g \exp(-\lambda_g t) & \text{for } t_l \leq t \leq t_c \\ A[p_g \lambda_g \exp(-\lambda_g t) + KP_b \lambda_b \exp(-\lambda_b t)] & \text{for } t_c \leq t \leq T \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{단, } A = \frac{\exp\left(-\left(\frac{t_l}{\theta}\right)^m\right) - \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta}\right)^m\right)}{\left[1 - \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta}\right)^m\right)\right] \cdot [\exp(-\lambda_g t_l) - \exp(-\lambda_g T)]}$$

$$K = \frac{[\exp(-\lambda_g t_c) - \exp(-\lambda_g T)]}{[\exp(-\lambda_b t_c) - \exp(-\lambda_b T)]}$$

m : 와이블 분포의 형상모수

θ : 와이블 분포의 척도모수

t_l : DFR(decreasing failure rate)이 끝나는 시점

식(3)의 결과로 나온 확률밀도함수는 잠재적 고장을 표현할 수도 있고, 일상적 고장을 표현할 수도 있다.

3. 비용모형

대부분의 전자시스템에 있어서, 하위조립품들은 서로 다른 부품들의 형태로서 구성이 되어있고, 각각의 부품은 잠재적 불량률 가지고 있을 수도 있고, 아닐 수도 있다. 잠재적 불량률 가지고 있는 대부분의 부품들은 수리가 불가능하고 교체가 되어야한다. 잠재적 불량률 포함하는 부품들은 부품수준의 ESS시험의 대상이 된다. 고장없이 ESS를 통과한 부품들만이 하위조립품에 조립이 될 것이다. 잠재적 불량부품들의 기대고장수는 재생이론으로 결정이 된다. 하위조립품은 Burn-in의 대상이 되고, 이 기간동안은 잠재적 불량률의 원인으로 하위조립품이 고장난 경우를 제외하고는, 하위조립품은 최소수리(minimal repair)를 한다. Burn-in을 통과한 하위조립품은 최종조립품(시스템)에 사용이 되고 최종시스템수준에서 ESS와 Burn-in은 없는 것으로 가정을 한다.

이 장에서 나오는 비용모델에 사용되는 가정은 다음과 같다.

- 1) 하나의 하위조립품은 잠재적 불량률과 일상적불량률 가지고 있는 한가지 형태의 부품들로 구성이 되어있다. 그리고 나머지 형태의 부품들은 단지 일상적 고장만을 가지고 있다.
- 2) 잠재적 불량부품들에 대한 육조곡선의 모수들은 알려져 있고, 잠재적 불량부품을 포함하고 있지 않다는 것을 가정하고 있는 하위조립품의 고장발생확률에 대한 모수들도 알려져 있는 것으로 가정한다.
- 3) 잠재적 불량률 가지는 부품들만이 t_{bd} 기간동안 부품수준으로 스크린 된다. 부품수준스크린을 통과한 부품들은 하위조립품에 사용이 된다.
- 4) 부품수준스크린은 일반적인 가동환경보다 높은 스트레스에 적용이 된다.
- 5) 부품수준스크린기간은 반드시 t_c 를 넘어야한다.
- 6) 하위조립품은 고장에 대해서 최소수리를 한다.
- 7) 하위조립품의 시스템은 직렬 시스템이다.
- 8) 하위조립품은 모든 부품들이 조립을 하고 일반적인 가동환경하에 기간 t_{bd} 의 Burn-in의 대상이 된다.
- 9) 시스템 수준에서 Burn-in과 ESS는 없다.

10) ESS후, Burn-in 기간동안, 또는 후에 근본적인 고장분포의 모수들은 변하지 않는다.

다음과 같은 기호들이 비용모형에 사용이 된다.

- C_{SP} 부품수준의 스크린에 대한 고정비용
- C_{TP} 부품수준스크린에 대한 다양한 비용(t_{pd} 함수)
- C_{HP} 부품수리에 대한 현장수리비용
- C_{FP} 부품수리에 대한 사용현장수리비용
- C_{FS} 접속에 대한 평균 사용현장 수리비용
- n_b 부품수준스크린 시험에서 잠재적 불량부품의수
- n_u Burn-in에 시험되는 하위조립품의수
- $N_b(t)$ 시간 t 에서의 부품의 재생기대수
- C_{TPU} : 부품수준의 전체 ESS비용
- C_{BU} : 하위모집단의 Burn-in 고정비용
- t_{bd} : 하위조립품의 Burn-in 기간
- C_{TB} : 하위조립품의 다양한 Burn-in 비용, t_{bd} 의 함수
- C_{TBU} : 하위조립품 수준의 전체 Burn-in 비용
- C_{HB} : 하위조립품의 평균현장수리비용.
- C_{FB} : 하위조립품의 평균사용현장수리비용.
- C_T : 하위조립품의 전체 ESS와 Burn-in 비용
- $E[N(t)]$: 시간 t 에서 하위조립품의 기대고장수
- $N(t)$: 시간 t 에서 하위조립품의 고장수
- T_w : 보증기간

3.1 부품수준에서의 비용모형

부품수준스크린의 목적은 부품을 높은 수준의 스트레스에 노출시켜서 잠재적 불량들을 가지는 표준이하의 부품을 제거하는 것이다. 높은 수준의 스트레스의 목적은 스크린시간을 감소하는데 있다. t_{pd} 가 일반적인 가동환경에서의 시험시간이라고 하고, t_{pd}' 가 가속된 스트레스하에 시험시간이라고 하면 서로 다른 스트레스 수준과 시험시간간의 상호관계는 식 (4)와 같이 주어진다

$$t_{pd} = Lt_{pd}' \tag{4}$$

가속스트레스수준 L 은 Kececioglu(1994) 과 Nelson(1990)의 Inverse power law에 의해서 얻어진다. t_c 이후에 잠재적 불량으로 인한 고장이 나타나기 때문에 , 부품수준스크린은 반드시 t_c 를 지난다는 가정이 필요하다.

부품은 수리가 불가능한 것으로 가정을 하고, 일정 기간동안의 기대고장수는 재생함수로서 정의된다. ESS를 통과한 제품이 하위조립품에 사용이 되므로, ESS를 통과한 부품의 확률밀도함수로서 재생함수는 정의하게 된다. ESS를 통과한 부품의 확률밀도함수는 식 (5)와 같다.

$$f(t) = \frac{A[p_g \lambda_g \exp(-\lambda_g t_{pd}) \exp(-\lambda_g t) + KP_b \lambda_b \exp(-\lambda_b t_{pd}) \exp(-\lambda_b t)]}{p_g R_g(t_{pd}) + p_b R_b(t_{pd})} \tag{5}$$

여기서, $R_g(t)$ 는 일상적 불량만을 가지는 하위모집단의 신뢰도함수이고 $R_b(t)$ 는 잠재적 불

량을 가지는 하위 모집단이다. A 와 K 는 식 (3)에서 정의한 것과 동일하다. 재생함수의 일반적인 식은 식 (6)과 같다.

$$N_p(t) = \int_0^t n^*(\tau) d\tau \quad (6)$$

무료 보증정책을 사용하는 경우 부품에 대한 기대수명주기비용은 식 (7)과 같이 주어진다.

$$C_{TPU} = C_{SP} + n_p[C_{TP}(t_{bd}') + N_p(t_{bd})C_{HP} + (N_p(T_w + t_{bd}) - N_p(t_{bd}))C_{FP}] \quad (7)$$

그리고, 비율보증정책을 사용하는 경우에는 보증기간내에 고장났을 경우에 발생하는 보증비용이 다르게 주어진다. 이때 환불의 량을 결정하는 식은 식 (8)과 같다.

$$q(t) = \begin{cases} P(1 - \alpha t/T_w) & \text{for } 0 \leq t \leq T_w \\ 0 & \text{for } t > T_w \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)에 대한 두 개의 특별한 형태는 아래와 같다.

- $\alpha = 0$ (lump sum rebate policy)
- $\alpha = 1, k = 1$ (pro rata rebate policy)

$f_{i_w}(t)$ 를 Burn-in 시간 t_{bd} 후의 부품의 확률밀도함수라고 하면 비율보증정책을 사용하는 경우에 부품의 기대수명주기비용은 식 (9)와 같이 결정된다.

$$C_{TPU} = C_{SP} + n_p[C_{TP}(t_{bd}') + N_p(t_{bd})C_{HP} + \int_0^{T_w} q(t)f_{i_w}(t)dt] \quad (9)$$

3.2 하위조립품에 대한 비용모형

본 연구에서, 각각의 하위조립품은 기간 t_{bd} 에 대해서 적용이 된다. 모든 하위조립품은 고장에 대해서 최소로 수리가 가능하다고 가정을 한다. 하위조립품의 고장은 부품 그리고 접속 고장을 포함하고 있는 것이다. Burn-in을 통과한 하위조립품은 마지막 시스템 조립품에서 사용이 된다. 일반적으로 수리가 가능한 제품의 일정기간동안의 기대고장수는 계수과정(Counting Process)을 이용해서 구하게 되는데, 본 연구에서는 특히 고장간격의 분포가 IID(Independent Identically Distributed)하지 않은 종결된 와이블 분포를 사용하기 때문에 NHPP(Non Homogenous Poisson Process)를 이용하여 구할 수 있다[6]. NHPP는 형상모수의 값에 따라서 시간에 걸쳐서 개선을 하거나 퇴화를 하는 시스템을 모두 모델링하는데 사용이 될 수 있고, 본 연구에서 사용하는 고장발생확률 $\rho(t)$ 는 식(10)과 같이 정의된다.

$$\rho(t) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{m_u}{\theta_u}\right)\left(\frac{t}{\theta_u}\right)^{m_u-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta_u}\right)^{m_u}\right)}{\exp\left(-\left(\frac{t}{\theta_u}\right)^{m_u}\right) - \exp\left(-\left(\frac{T}{\theta_u}\right)^{m_u}\right)} & \text{for } 0 \leq t \leq t_l \\ \frac{\lambda_u \exp(-\lambda_u t)}{\exp(-\lambda_u t) - \exp(-\lambda_u T)} & \text{for } t_l \leq t \leq T \end{cases} \quad (10)$$

단, m_u : 하위조립품 수준에서의 와이블 분포의 형상모수
 θ_u : 하위조립품 수준에서의 와이블 분포의 척도모수

그리고, 구간 t_1 부터 t_2 까지 고장기대수 $E[N(t_2 - t_1)]$ 는 식 (11)과 같이 정의 할 수 있다.

$$E[N(t_2 - t_1)] = \int_{t_1}^{t_2} \rho(t) dt \tag{11}$$

그러므로 하위조립품의 수명주기비용모형은 식 (12)와 같이 결정된다.

$$C_{TBU} = C_{BU} + n_U \{ C_{TB}(t_{bd}) + E[N(t_{bd})]C_{HB} + E[N(T_W + t_{bd}) - N(t_{bd})]C_{FB} \} \tag{12}$$

3.3 ESS와 Burn-in을 결합한 전체비용모형

ESS와 Burn-in을 결합한 전체비용모형은 부품수준에서는 ESS모형을 하위조립품수준에서는 Burn-in모형을 하는 것을 기초로 한다. 그러므로 3.1절에서 유도한 부품수준의 ESS모형과 3.2절에서 유도한 하위조립품수준의 Burn-in모형을 더함으로써 전체비용모형을 쉽게 결정이 된다. 그리고 보증정책을 사용하는 경우에 따라서, 전체 비용 C_T 는 부품수준의 전체비용 C_{TPU} 에 의존하게된다. 즉, 무료보증정책을 사용하는 경우에는 C_{TPU} 를 식 (7)을 사용하고, 비율보증정책을 사용하는 경우에는 식 (9)를 사용한다.

그러므로 전체비용은 식 (13)과 같이 주어진다.

$$C_T = C_{TPU} + C_{BU} + C_{SP} + n_U \{ C_{TB}(t_{bd}) + E[N(t_{bd})]C_{HB} + E[N(T_W + t_{bd}) - N(t_{bd})]C_{FB} \} \tag{13}$$

4. 민감도 분석

여러 가지 비용들과 모수들의 변화에 대해서 총비용이 최소가 되는 최적 ESS시간과 Burn-in 시간의 변화를 비교 분석하는 것이 필요하다. Table 1에서 주어진 7가지 경우에 대해서, $n_b = 1000$, $n_u = 800$, $t_l = 150$ 인 경우, λ_r 와 λ_b 를 변화시켜서 각각의 경우에 대한 최적의 ESS기간과 Burn-in 기간을 구해서 Table 2에 나타내었고, Fig. 1~ Fig. 3은 Case 2에 대해서 무료보증정책과 비율보증정책 중 Pro-rata rebate Policy, Lump-sum Policy에 대한 시험기간과 비용의 관계에 대해서 나타내었다.

Table 1. Input Data for Different Case

Case	C_{SP}	C_{BU}	C_{TP}	C_{TB}	C_{HP}	C_{FP}	C_{HB}	C_{FB}	λ_r	t_c	T_w	T	m	θ_u	λ_u
1	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.0001	200	2500	150000	0.838	18200	0.0001
2	500	500	0.01	0.01	10	400	10	400	0.0001	200	2500	150000	0.838	18200	0.0001
3	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.000211	200	2500	8000	0.838	18200	0.000211
4	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.000161	200	2500	15000	0.838	18200	0.000161
5	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.00001	200	2500	150000	0.838	18200	0.0001
6	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.0001	300	2500	150000	0.838	18200	0.00001
7	500	500	0.01	0.01	10	200	10	200	0.0001	300	2500	150000	0.8	18200	0.0001

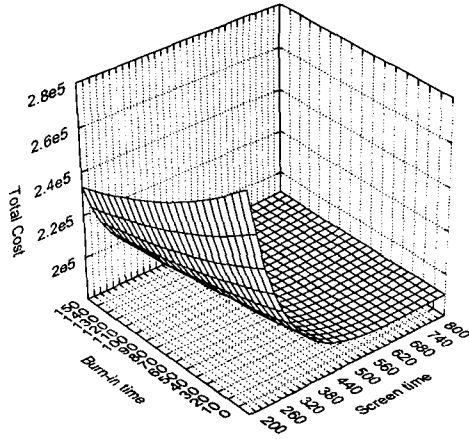


Fig. 1. Surface graph of Total Cost to Screen time and Burn-in time when under Free Policy

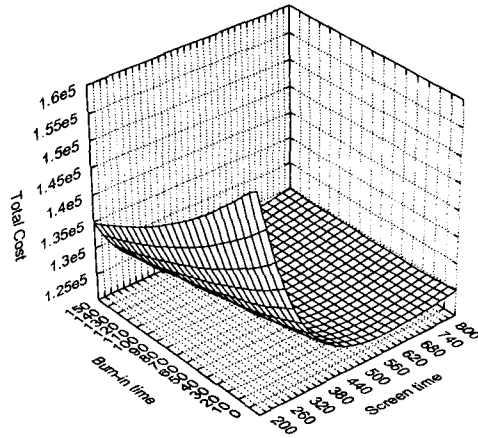


Fig. 2. Surface graph of Total Cost to Screen time and Burn-in time when under Pro-rata rebate Policy

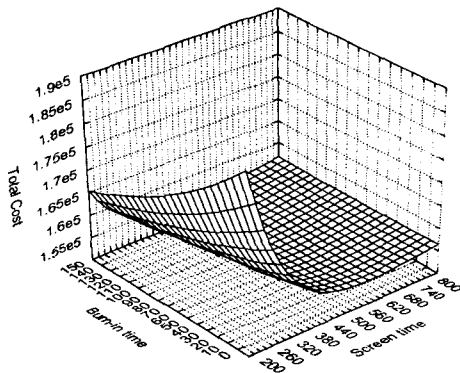


Fig. 3. Surface graph of Total Cost to Screen time and Burn-in time when under Lump-sum Policy

Table 2. Optimal Duration with Different Case

Case	λ_b	p_b	Free Policy			Pro-rata Rebate Policy			Lump-sum Rebate Policy		
			Total Cost	t'_{pd}	t_{bd}	Total Cost	t'_{pd}	t_{bd}	Total Cost	t'_{pd}	t_{bd}
1	0.01	0.01	95200.04	257.0	47.4	79602.83	200.0	102.5	111327.06	200.0	95.6
		0.15	98089.45	545.9	47.4	82491.21	480.7	108.7	114213.55	475.4	106.0
		0.40	99432.02	680.1	47.4	83833.77	615.3	108.5	115556.11	609.8	105.9
	0.1	0.01	93787.41	222.3	17.9	78261.64	207.7	31.1	110053.73	207.4	30.2
		0.15	94073.76	250.9	17.8	78547.98	236.3	31.1	110340.06	236.1	30.2
		0.40	94206.80	264.2	17.8	78681.03	249.7	30.9	110473.11	249.4	30.2
2	0.01	0.01	185975.60	305.4	78.5	119624.48	200.0	110.5	151354.97	200.0	105.3
		0.15	188865.00	594.6	78.1	122503.09	465.8	125.4	154226.95	460.0	123.7
		0.40	190207.60	728.8	78.1	123845.65	600.0	125.7	155569.52	594.2	123.7
	0.1	0.01	184083.50	225.2	33.5	118440.40	203.1	42.7	150235.97	203.0	41.9
		0.15	184369.90	253.8	33.5	118726.73	231.8	42.7	150522.31	231.6	41.8
		0.40	184502.90	267.1	33.5	118859.77	245.1	42.7	150655.36	244.9	41.8
3	0.01	0.01	258096.00	242.1	14.2	200496.58	207.7	28.5	269628.44	200.0	15.2
		0.15	263999.60	531.9	13.7	204726.16	498.1	28.1	274761.81	442.2	25.9
		0.40	266850.50	666.1	13.5	206733.88	632.8	28.2	277278.91	575.8	25.7
	0.1	0.01	255893.60	224.5	9.4	199101.55	209.8	20.0	268663.16	206.8	17.2
		0.15	256453.50	253.1	9.4	199509.81	238.6	20.0	269172.78	235.5	17.1
		0.40	256714.60	266.4	9.4	199699.89	251.8	20.0	269410.25	248.7	17.2
4	0.01	0.01	168707.40	267.1	32.3	136111.36	209.7	67.6	187054.84	200.0	56.8
		0.15	172176.60	557.7	32.2	139313.83	500.8	67.2	190502.05	477.4	63.8
		0.40	173800.00	692.7	31.9	140807.67	636.0	66.9	192116.73	611.9	63.9
	0.1	0.01	167033.00	224.5	16.8	134753.72	207.0	29.8	185861.70	206.1	27.5
		0.15	167372.10	253.1	16.8	135067.97	235.6	29.8	186200.11	234.7	27.6
		0.40	167529.80	266.4	16.8	135214.05	248.9	29.8	186357.45	248.0	27.6
5	0.01	0.01	51283.21	200.0	91.9	86414.91	200.0	144.4	113410.68	200.0	122.7
		0.15	54148.43	471.7	102.9	89642.48	429.9	149.9	117020.18	410.3	149.9
		0.4	55481.85	604.9	102.7	91223.07	563.5	149.9	118837.23	543.4	149.9
	0.1	0.01	50151.52	210.4	28.1	48467.83	206.6	34.4	53217.89	206.5	34.3
		0.15	50438.15	239.1	28.0	48754.31	235.1	34.3	53504.76	235.1	34.3
		0.4	50571.34	252.4	28.0	48887.42	248.4	34.4	53638.06	248.4	34.3
6	0.01	0.01	61690.67	302.1	149.9	45882.23	300.0	149.9	77635.84	300.0	149.9
		0.15	64580.09	591.0	149.9	48688.96	545.1	149.9	80415.45	537.5	149.9
		0.4	65922.65	725.1	149.9	50031.53	678.9	149.9	81758.01	671.8	149.9
	0.1	0.01	60944.66	318.0	149.9	45327.39	300.2	149.9	77126.23	300.2	149.9
		0.15	61231.00	346.6	149.9	45613.74	328.9	149.9	77412.57	328.8	149.9
		0.4	61364.05	360.0	149.9	45746.77	342.2	149.9	77545.62	342.1	149.9
7	0.01	0.01	96442.84	330.8	90.3	80716.69	300.0	126.8	112457.09	300.0	120.8
		0.15	99332.25	619.7	90.3	83547.01	544.8	149.9	115273.49	537.5	149.9
		0.4	100674.80	754.2	90.0	84889.57	679.0	149.9	116616.05	671.8	149.9
	0.1	0.01	95196.52	319.2	31.9	79616.30	303.0	43.2	111411.95	302.9	42.3
		0.15	95482.85	347.9	31.9	80035.69	345.0	43.0	111698.28	331.5	42.4
		0.4	95615.90	361.2	31.9	80035.69	345.0	43.0	111831.33	344.8	42.4

Table 2의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 노화시간이 감소함에 따라서, 사용수명에서의 전체수명주기비용은 증가한다.
- 2) 잠재적 불량부품들의 하위모집단의 비율과 고장률이 증가함에 따라서, 기대재생수와 전체수

명주기비용은 증가하는 것이다. 잠재적 불량들의 영향은 잠재적 불량부품의 고장률과 하위모집단이 적을 경우에 (즉 $p_b \cong 0$, $\lambda_b \cong 10\lambda_g$) 혼합분포에 대해서 무시할 수 있다.

- 3) 부품수준스크린에 적용된 부품에 대해서 보증기간에서 기대재생수는 초기고장의 형태에 의해서 영향을 받지 않는다.
- 4) 모든 경우에 있어서 초기고장을 제거하기 위한 Burn-in 시간은 Pro-rata Policy가 가장 길고, Lump-sum Policy, Free Policy 순이고, 아주 높은 가격의 수리불가능한 부품에 대해서는 Pro-rata Rebate Policy를 쓰는 경우가 좋다.
- 5) 비율보증 정책에 비해서, 무료보증정책이 λ_b , p_b 가 증가할수록 전체수명주기 비용의 증가량이 민감하게 반응한다.
- 6) $\lambda_b > 0.1$ 인 경우에, 하위모집단이 포함하고 있는 잠재적 불량률의 비율은 Burn-in 시간과는 무관하다.
- 7) λ_b 가 클수록, 잠재적 불량률 발견하기 위한 ESS기간은 짧아지고, λ_b 가 작을수록 p_b 의 증가에 따라 잠재적 불량률 발견하기 위한 ESS 기간의 증가한다.

5. 결 론

ESS는 소비자가 제품을 사용하기 전에 잠재적 불량률 제거함으로써 제품의 품질을 개선할 수 있는 잠재적 능력을 제공한다. 최적의 시험을 하는 것은 재작업비용의 감소, 보다 적은 보증클레임과 사용현장의 수리비용을 감소시키고, 높은 품질에 만족한 소비자로부터 계속적으로 증가하는 소비에 대한 이익 등과 같은 경제적 이익을 가져오게 하는 것이다. 본 연구는 하위조립품의 관점으로부터 3개의 비용최적화모델을 표현하고 있다. 최소가 되는 전체수명주기 비용은 평균 부품수준의 ESS시험 비용, 하위조립품준의 Burn-in 시간, 현장수리비용, 사용현장수리비용의 함수로써 정식화 되었다. 모든 식들은 확률이론을 기본으로 전개되었다. 초기고장분포는 와이불분포를 따르고, 사용수명고장은 지수분포를 따르고 노화시간 T 에서 종결이 된다고 가정을 하였다. 3가지 비용모델들에 있어서, 각각의 모수들은 알려져 있는 것으로 가정을 한다. 최적 ESS 시험시간은 비율보증정책을 사용하는 경우보다 무료보증정책을 사용하는 경우에 길게나오고, 반면에 비율보증정책을 사용하는 경우에는 최소수명주기비용을 가지는 최적 Burn-in 시간은 무료보증정책보다 길다는 것을 알 수 있다. 최소가 되는 총비용은 생산자가 보증기간동안 전액을 부담해야하는 무료보증정책의 경우에 아주 높은 것으로 나타났으며, 특히 비율보증정책에서도 Pro-rata Rebate Policy의 품질보증정책을 쓰는 경우가 가장 비용이 적게 든다는 것을 알 수 있다.

여기에 표현된 모형으로써, 제조공정에서 비용 측면에서 실용적으로 고려해야할 보증정책에 따라 효과적으로 적용할 수 있는 ESS와 Burn-in 시험들을 수행할 수 있을 것이고, 최소비용으로 높은 신뢰도를 가지는 제품을 생산 할 수 있을 것이다.

제조공정에서 최적의 ESS와 Burn-in 기간을 찾기 위해서 본 연구에서 개발된 모형을 사용하는 것이 유용하다. 그렇지만 산업현장에서 실질적인 제품에 있어서의 데이터를 통한 분포의 모수를 추정과, 이것을 통해 보다 현실적으로 사용 가능한 모형을 개발하는 것이 필요하다. 그리고 개발된 모형을 적용하여, 현실세계에 대한 최적의 해를 구하는 것을 필요하다.

참고문헌

- [1] Blischke, W. R., and Murthy D. N., Warranty Cost Analysis Marcel Dekker, Inc., New York., 1994.
- [2] G. H. Weiss, and M. Dishon. "Some Economic Problems Reated to Burn-in Programs", IEEE Transaction on Reliability, Vol 20, August 1971, pp. 190-195
- [3] H. J. Perlstein, J. W. Littlefield and I. Bazovsky, Sr., "The Quantification of Environmental Stress Screening", Proceeding Institute of Environmental Sciences, 1987, pp. 50-57
- [4] Kececioglu, Dimitri B., Reliability Life Testing Handbook, Vol. 2, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1994
- [5] K. T. Plesser, and T. O. Field, "Cost-optimized Burn-in Duration for Repairable electronic Systems", IEEE Transactions on Reliability, Volume R-26, Number 3, August 1977, pp. 195-197
- [6] L. Yan, J. R. English, "Economic Cost Modeling of Environmental-Stress-Screening and Burn-in", IEEE Transactions on Reliability, Volume 46, Number 2, June 1997, pp. 275-281
- [7] M. J. Lawrence, "An Investigation of Burn-in Policies". Technometrics, Volume 1. February 1966, pp. 61-71
- [8] Nelson, W., Accelerated Testing, New York, John Wiley & Sons, 1990
- [9] Nguyen, D. G., and Murthy, D. N. P., "Optimal Burn-in Time to Minimize Cost for Products Sold under Warranty", IIE Transactions, 14, pp. 167-174, 1982.
- [10] R. K. Reddy, and D. L. Dietrich, "A 2-Level Environmental Stress Screening Model(ESS) Model : A Mixed Distribution Approach", IEEE Transactions on Reliability, Volume 43, Number 1, March 1994, pp. 85-90
- [11] Suh, Y. S., and Park, Y. T., and Son, E. L., "A Literature Survey on Warranty Policies", Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol. 24, No. 2, pp. 102-112, 1996.
- [12] Way Kuo, "Reliability Enhancement Through Optimal Burn-in", IEEE Transactions on Reliability, Vol, R-33, June 1984, pp. 145-156