

비용을 극소화하는 최적 번인시간 결정 Cost Optimizing Burn-in Time Determination

이 상 용*
박 해 근**

ABSTRACT

The purpose of burn-in is to eliminate the early failures of the products before they are delivered for customer use.

Therefore burn-in should be continued until one is reasonably sure that all the weak items have failed, thus leaving the remaining items in a healthy state of reliability.

From this point of view, burn-in time dependent costs such as a cost per product per burn-in time, and cost of repair of the product per failure occurred during burn-in time will be increased.

Conversely, the cost of field repair of the product per failure occurred during the guarantee period will be decreased since the early failure of the product is fully eliminated during burn-in.

Hence, this paper intends to determine optimal burn-in time which minimize the total of above costs associated with burn-in.

* 건국대학교 산업공학과
** 안양전문대학 품질관리과

1. 서 론

판매되는 제품이 사용초기에 고장이 많이 발생하면 구매자를 불편하게 하고 제품에 대한 신뢰감 저하와 이로 인한 판매량의 감소를 초래함은 물론 판매자의 애프터서비스를 증가시킨다.

욕조곡선(bath-tub curve)에 의하면 제품의 사용초기에는 고장률이 높고, 사용시간이 증가함에 따라 점차적으로 고장률은 감소하여 일정 시간 이후 부터는 비교적 고장률이 낮고 일정한 내용수명(useful life) 기간으로 들어간다. 이와같이 제품이 사용초기에 고장이 많이 발생하는 이유는 부품이나 기기중 단명하거나 또는 취약하게 제조된 부분이 있기 때문이다.

따라서 일정시간의 번인(burn-in)에 의거 단명하거나 취약한 부품을 가려내거나 또는 기기중 취약하게 제조된 곳을 찾아 내어 이것을 교정한 후에 출하하는 것이 신뢰성 보증면에서 효과적이다.

번인은 부품 또는 기기중 단명하거나 취약하게 제조되었기 때문에 사용초기에 고장나는 것을 가려내는 방법이다.

그렇기 때문에 번인은 취약한 것이 모두 고장나므로서 이것이 모두 확실하게 가려질 때까지 계속하는 것이 바람직하다.

왜냐하면 번인시간이 길면 번인중 취약한 부품이나 부분이 모두 고장나므로 출하후 고장수는 감소하지만 번인시간이 짧거나 또는 번인을 전혀 실시하지 않으면 취약한 부분과 부품의 고장이 덜 제거된 채로 출하하게 되므로 출하후 고장수는 감소하지 않기 때문이다.

그러나 번인시간이 길면 출하시기도 늦어질 뿐만 아니라 그만큼 번인비용은 증가 된다.

따라서 번인을 경제적으로 실시하기 위해서는 번인에 소요되는 비용과 번인을 실시하지

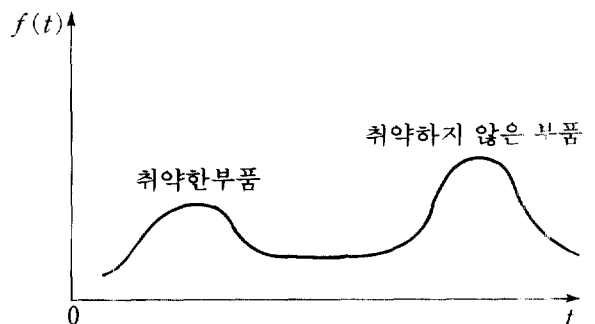
않은 경우의 손실의 합을 극소화하는 최적 번인시간을 결정할 필요가 있다.

2. 초기고장과 쌍봉분포

신뢰성 이론이 발전된 이후 욕조곡선은 제품의 고장패턴을 설명하는데 많이 사용되어 왔다. 욕조곡선에 의하면 제품의 취약한 부분이나 부품의 고장은 사용초기에 많이 발생하기 때문에 제품의 사용초기에는 고장률이 높고, 이것이 제거되면 고장률은 점차로 감소하여 일정 시간 이후부터는 고장률이 일정하게 되고, 오랜 시간 사용하면 마모 또는 열화현상에 의거 고장률은 다시 증가하게 된다.

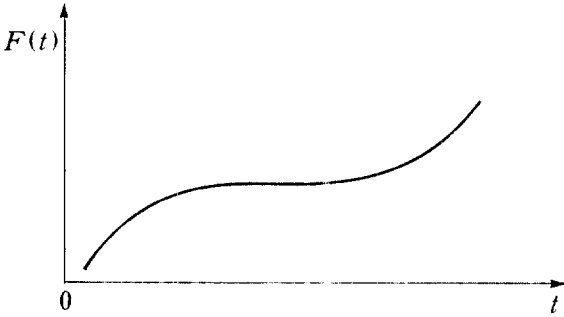
그리고 이런 현상은 모든 부품의 강도는 사용시간의 증가에 따라 열화하고, 제품중에는 취약한 부품과 취약하지 않은 부품이 혼합되어 있으며, 취약한 부품은 취약하지 않은 부품보다 더 빨리 열화하기 때문에 발생한다.

그러므로 취약한 부품과 취약하지 않은 부품이 혼합되어 있는 경우 고장확률밀도 함수는 일반적으로 <그림 1>과 같은 쌍봉 분포(bimodal distribution)를 하게 된다.



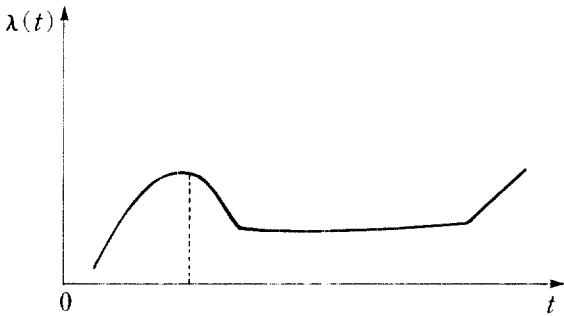
<그림 1>

이 경우 고장시간 데이터에 대한 누적 고장 확률을 와이블 확률지상에 프로트하면 이것은 <그림 2>와 같은 S곡선이 된다.⁽¹⁾



<그림 2>

그리고 고장률 함수 $\lambda(t)$ 는 정확히 표현하면 <그림 3>과 같이 되지만 그림에서 점선의 앞부분을 생략하고 육조곡선으로 나타내는 것이 일반적이다.



<그림 3>

3. 쌍분분포의 누적 고장확률

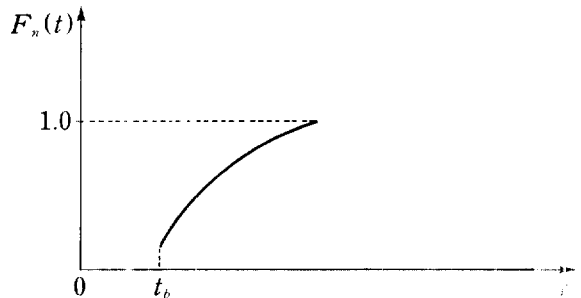
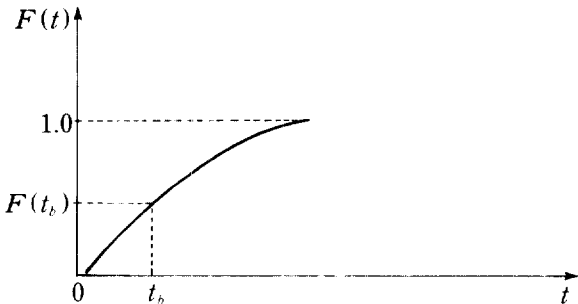
로트 크기를 N , 여기에 포함된 취약부품수를 N_1 , 비취약부품(또는 정상부품) 수를 N_2 라 하면 취약부품의 포함비율 $P = \frac{N_1}{N}$ 이 되고, 취약부품이 P 비율로 혼입된 제품군의 누적고장확률 $F(t)$ 는 다음과 같다.

$$F(t) = PF_1(t) + (1-P)F_2(t) \dots (1)$$

여기에서 $F_1(t)$ 는 취약부품(또는 초기 고장기간)의 누적 고장확률이고, $F_2(t)$ 는 정상부품(또는 우발 고장기간)의 누적 고장확률이다. 그리고 $F_1(t)$ 와 $F_2(t)$ 가 위치모수가 0인 와이블분포에 따른다고 하면 이것은 다음과 같다

$$\left. \begin{aligned} F_1(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t}{n_1}\right)^{m_1}} \\ F_2(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t}{n_2}\right)^{m_2}} \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

만일 변인을 t_b 시간까지 실시하였다면 t_b 시간까지의 누적 고장확률 $F(t_b)$ 는 <그림 4>의 좌측그림과 같다. 그리고 전체 누적 고장확률 $F(t)$ 에서 $F(t_b)$ 를 뺀 나머지 부분의 누적 고장확률 $F_n(t)$ 는 <그림 4>의 우측 그림과 같다.



<그림 4>

여기의 $F_n(t)$ 는 변인 실시후의 누적 고장확률이 되며 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다. ⁽²⁾

$$F_n(t) = \frac{F(t) - F(t_b)}{1 - F(t_b)}, \quad 0 \leq t_b < \infty$$

..... (3)

그러므로 만일 취약부품과 정상부품이 혼합된 초기 고장기간의 고장시간 데이터로 부터 와이블분포의 형상 모수 m_1 과 척도 모수 η_1 , 취약부품의 혼합비율 P . 그리고 초기 고장기간 이후 우발고장기간의 고장시간 데이터로 부터 와이블 분포의 형상 모수 m_2 와 척도 모수 η_2 를 추정하여 알수만 있다면 변인전의 누적 고장확률 $F(t)$ 와 변인후의 누적고장확률 $F_n(t)$ 를 각각 (1)식과 (3)식에 의해 구할수가 있다.

그런데 일반적으로 m_1 과 η_1 은 와이블 확률 지상의 S곡선중 전반부분에서, m_2 와 η_2 는 S곡선의 후반부분에서 추정할 수가 있다. 그리고 P 는 와이블확률 지상의 S곡선의 중간부분인 평평한 부분의 종축눈금인 누적 고장확률 값으로 부터 구할 수가 있다. <그림 2 참조>

만일 S곡선의 전반부와 평평한 부분과의 만곡부분이 불명확 할때는 베이스방법(Bayes method)을 사용하여 P 를 구하는 것이 좋다. ⁽³⁾

변인이 완료된 후 즉 변인에 의거 취약부품의 일부 또는 전부가 제거되고 정상부품만이 생존하고 있다고 가정되는 상태인 우발고장 기간에서의 누적고장확률은 S곡선의 평평한 부분이 되므로 일반적으로 $F_2(t)$ 에 있어서의 와이블 분포의 형상 모수 m_2 는 1로 가정할 수 있다.

4. 최적 변인시간의 결정

일반적으로 비용을 고려하지 않은 경우 초기 고장을 감소시키기 위한 변인시간 t_b 의 결정방법에는 목표고장률에 의한 방법과 신뢰성 목표치에 의한 방법이 있다.

첫번째의 목표고장률에 의한 방법은 고장시간 데이터를 와이블 확률지에 프로트하여 얻은 S곡선상의 평평한 부분의 고장률을 목표고장률로 설정하고, 평평한 부분으로 진입되는 만곡점에서 구한 시간을 변인시간으로 결정하는 방법이다.

두번째 신뢰성 목표치에 의한 방법은 다음과 같이 변인완료 시점의 신뢰도 $R(t_b)$ 와 변인후 일정사용시간에서의 신뢰도 $R(t_b + t)$ 와의 비 또는 조건부 신뢰성 $R(t_b, t)$ 의 값이 정해진 목표값과 일치되는 변인시간 (t_b)를 결정하는 방법이다. ⁽⁴⁾

$$R(t_b, t) = \frac{R(t_b + t)}{R(t_b)} = \text{정해진 목표값}$$

..... (4)

위의 2가지 방법은 모두가 출하전 변인비와 출하후 애프터서비스비 및 고장으로 인한 고객으로부터의 신용하락 손실등 비용을 전혀 고려하지 않고, 고장률이나 신뢰도를 정해진 목표 값에 부합시키기 위한 변인시간의 결정방법이다.

그러나 경제성면에서 볼때에는 이러한 비용의 합을 극소화하는 최적변인시간을 결정할 필요가 있다.

변인중 고장날것으로 예상되는 취약부품이 P 의 비율로 혼합된 로트크기 N 개의 제품을 t 시간 사용하였을 때의 누적고장개수는 $N \cdot F$

(t)가 된다.

따라서 출하후 고장나는 제품에 대한 개당 보증수리비를 C_s 라고 하면 번인을 실시하지 않고 출하한 제품의 t 시간까지의 총비용 TC_n 은 다음과 같다.

$$TC_n = C_s \cdot N \cdot F(t) \dots\dots\dots (5)$$

여기의 C_s 에는 보증수리비 뿐만 아니라 고장으로 인한 신용하락 손실도 포함된다. 그리고 $F(t)$ 는 식(1)에 의거 구할 수 있으며 이 경우 t 는 회사에서 정한 무상보증 사용시간이 된다. 따라서 (1)식을 (5)식에 대입하면 번인을 실시하지 않는 경우 총비용 TC_n 은 다음과 같다.

$$TC_n = C_s \cdot N \cdot [P \cdot F_1(t) + (1-P)F_2(t)] \dots\dots\dots (6)$$

여기의 t 는 무상보증 사용시간이기 때문에 t 가 커지면 TC_n 은 증가한다.

회당 번인시험 로트당 시간당 번인비를 C_b , 번인중 고장난 제품의 출하전 개당 교정수리비를 C_f , 출하후 고장난 제품의 개당보증 수리비를 C_s 라고 하면 t_b 시간 번인을 실시한 후 출하한 경우 총비용 TC_b 는 다음과 같다.

$$TC_b = \frac{N}{n} C_b \cdot t_b + C_f \cdot N \cdot F(t_b) + C_s \cdot F_n(t) \dots\dots\dots (7)$$

여기에서 n 는 회당 번인시험 로트의 크기이고, $F(t_b)$ 는 (1)식에서 t 를 t_b 로 대치하여 구한 t_b 시간까지의 누적 고장확률이며, $F_n(t)$ 는 (3)식에 의거 구한 t_b 시간 이후 무상보증 사용시간 t 까지의 누적 고장확률이다.

따라서 번인시간인 t_b 가 커지면 (7)식의 첫째항인 번인비용과 둘째항인 번인중 발견된 고장 제품의 교정수리비는 증가하게 되고, 셋째항인 출하후 애프터서비스는 감소하게 된다. 그러므로 TC_b 는 번인시간 t_b 의 변화에 따라 오목형 곡선이 됨을 알수 있다.

번인은 번인실시시의 총비용 TC_b 가 번인을 실시하지 않는 경우의 총비용 TC_n 보다 적을 때에 경제적 효과가 있다. 즉 $E_b = TC_b - TC_n < 0$ 일때에 번인을 실시하는 것이 경제적이며 E_b 값이 가장적일 때의 t_b 가 총비용을 극소화하는 최적 번인시간이 된다.

5. 수치예

10,000개의 로트로 부터 발췌한 샘플의 고장 시간 데이터를 와이블 확률지에 프로그트하여 구정한 결과 다음과 같은 값을 얻었다.

$$m_1 = 0.5, \eta_1 = 20\text{시간}, P = 0.05$$

$$m_2 = 1.0, \eta_2 = 2200\text{시간}$$

이 제품에 대한 번인은 회당 100개씩 실시할 수 있으며 회당번인 시험 로트당 1일간 번인비는 1,000원이다. 그리고 번인중 발견된 고장 제품의 개당 교정수리비는 10원이고, 출하후 고장난 제품의 개당 보증수리비는 1,000원이다. 그리고 이 제품에 대한 무상보증 사용시간은 1개월(720시간)으로 하려고 한다.

이 사례에 대하여 번인의 경제성을 평가하고, 최적번인시간을 결정해 보기로 하겠다.

무상보증 사용시간 $t = 720$ 시간으로 하고, 번인을 실시하지 않았을 경우의 누적고장확률 $F(t)$ 를 (1)식에 의해 구하면 0.3152가 된다.

그러므로 번인 불실시시의 총비용
 $TC_n = 1,000\text{원} \times 3152\text{개} = 3,152,000\text{원}$
 이 된다.

다음에는 t_b 를 변환시키면 $F(t_b)$ 는 (1)식 그
 리고 $F_n(t)$ 는 (3)식에 의해 각각 구하면 <표 1>
 과 같다.

<표 1>

t_b	24시간	48시간	72시간	96시간	120시간
$F(t_b)$	0.2839	0.2715	0.2611	0.2515	0.2423
$F_n(t)$	0.2839	0.2715	0.2611	0.2515	0.2423

이것을 (7)식에 대입하여 번인시간의 변화에
 따른 번인 실시시의 총비용 TC_b 를 계산하고,

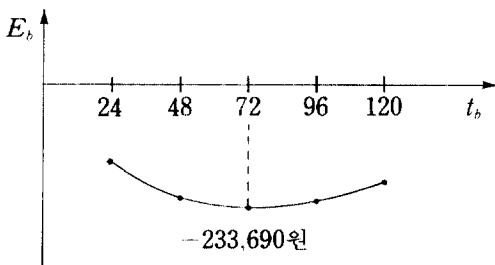
여기에서 TC_n 을 감하여 E_b 를 구하면 <표 2>
 와 같다.

<표 2>

(단위 : 원)

t_b	24시간	48시간	72시간	96시간	120시간
번 인 비	100,000	200,000	300,000	400,000	500,000
교정수리비	4,370	5,990	7,310	8,500	9,610
보증수리비	2,839,000	2,715,000	2,611,000	2,515,000	2,423,000
TC_b	2,943,370	2,920,990	2,918,310	2,923,500	2,932,610
E_b	-208,630	-231,010	-233,690	-228,500	-219,390

<표 2>의 t_b 의 변화에 따른 E_b 를 그래프화하면
 <그림 5>와 같고, 비용을 극소화하는 최적번인
 시간 t_b^* 는 72시간이 됨을 알 수 있다.



<그림 5>

6. 결 론

번인의 실시 목적은 출하된 제품의 고장이
 사용초기에 많이 발생하고, 이로 인한 애프터
 서비스비와 신용하락 손실의 증가를 억제하는
 데 있다.

그러므로 제품의 초기고장률이 적거나 또는
 출하후 애프터서비스비가 출하전 교정수리비
 에 비하여 그렇게 크지 않을 경우에는 번인을
 실시하지 않는 것이 유리할 수도 있다.

그러나 제조상의 과오 때문에 초기고장률이
 높고, 출하후 애프터서비스비는 출하전 교정수

리비 보다 훨씬 큰 것이 일반적이기 때문에 번인을 실시하는 것이 신뢰성보증면에서는 바람직하다.

신뢰성보증면에서 볼때 번인은 초기고장을 전부 제거할 수 있을 정도로 오래 실시하는 것이 효과적이다. 그러나 번인 시간이 길면 그만큼 번인비는 증가한다.

신뢰성보증을 위한 번인비나 애프터서비스

비 그리고 신용하락 손실등은 모두가 제품의 제조원가의 요소이다. 따라서 번인과 관련된 이들 원가요소의 합이 극소화되도록 하는 것이 원가 절감면에서 바람직하다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 신뢰성보증과 원가절감의 양면을 고려하여 번인의 경제적 실시를 위한 최적번인시간의 결정 알고리즘을 설계하였다.

參 考 文 獻

1. Alexanian, I. T., and Brodie, D. E., "A Method for Estimating the Reliability of IC's", IEEE Transaction on Reliability, R-26(5), Dec, 1977.
2. Hald, A., Statistical Methods in Engineering, John Wiley and sons, N, Y., 1952.
3. Jensen, F., and Peterson, N. E., Burn-In, Engineering Approach to the Design and Analysis of Burn-In Procedures, John Wiley and Sons, N. Y. 1982.
4. Kececioglu, Dimitri, Reliability Engineering Handbook Vol. 1, Prentice-Hall, Inc, 1991.