

Computer용 Monitor 완제품의 Burn-in 최적화에 관한 연구

박종만

대우전자 Monitor 사업부

A Study on the Burn-in Optimization of Computer Monitor

Jong-Man Park

Display Business Division, Daewoo Electronics

Abstract

The past approach to burn-in optimization have been focused mainly in cost minimization problem during entire product life cycle. But in the case of practical application, burn-in optimization under reliability restriction might be preferred to burn-in optimization by cost minimization. Accordingly this paper shows real examples which estimate the practical burn-in period through application of heuristic method and select the best reliability model through comparison of reliability performance measures.

1. 서론

전자제품이나 부품의 신뢰성을 강화하기 위한 방법중의 하나로 Burn-in이 오래 전부터 시행 되어왔고 이를 최적화 하고자 하는 다수의 연구들이 있어왔다. 대부분의 최적화 연구는 설정된 신뢰성 및 제약 조건 하에서 제품의 수명주기 또는 정의된 기간 동안 Burn-in 자체뿐만 아니라 그 결과로서 수반되는 생산자와 소비자의 제반 관련 비용을 최소화하는 Burn-in 기간이나 시점의 추정 문제로 요약될 수 있다[2, 3, 5, 11].

그러나 이런 연구 결과들을 종종 실무 적용시 CFR(Constant Failure Rate) 진입 시점 판단의 부재, Burn-in 전후의 상이한 고장율 분포 등으로 연구의 기본 가정과 상충되고 비용 최소화 목표 하에서 Reliability 목표가 주어지면 Constraint로서의 역할보다는 비용이 들더라도 Buyer가 요구하는 Reliability를 달성하려는 Unconstraint의 성격이 강하

게 된다. 이는 결국 System Level에서의 Cost Minimization에 의한 최적보다는 Reliability에 의한 최적 Burn-in 시점 추적을 선호하게도 한다.

따라서 본 연구는 완제품 조립의 중간 단계에 Burn-in 공정을 갖고 있는 Computer용 Monitor의 특정 Model에 대해 분석적 방법을 적용하여 Burn-in 최적화 시점을 추정하고, 추정된 시점에서의 Reliability를 최대로 하는 Reliability Model을 선택 제시 함으로써 실무적으로 접근이 용이한 최적 Burn-in 시점 추정의 한 방법이 되고자 하였다.

2. 가정 및 접근방법

2.1 DFR(Decreasing Failure Rate)과 CFR의 변곡점

Burn-in 최적화 연구에서 명확히 구분되어 표현되는 DFR과 CFR은 실제 Bathtub Curve 상 명확히 구분되지는 않는다. 이는 CFR 상의 Mean Residual Life는 Constant 하지 않다는 것이며 CFR 상의 최저 고장율 시점이 항상 Mean Residual Life를 최대화 하는 시점은 아니다 라는 것을 나타내 준다[K. S. Park, 1985].

그러나 실제 DFR과 CFR 시점이 명확히 구분될 수 없다 하더라도 구간 개념(Piecewise)에 의거 Curve Fitting으로 DFR과 CFR의 변곡점(Variation Point)을 구분점으로 할 수 있다. 이러한 변곡점의 명확한 파악은 Reliability Maximization Model 이든 Cost Minimization Model 이든 Burn-in 최적화의 제약 조건과 판별 기준이 되기 때문에 매우 중요하다.

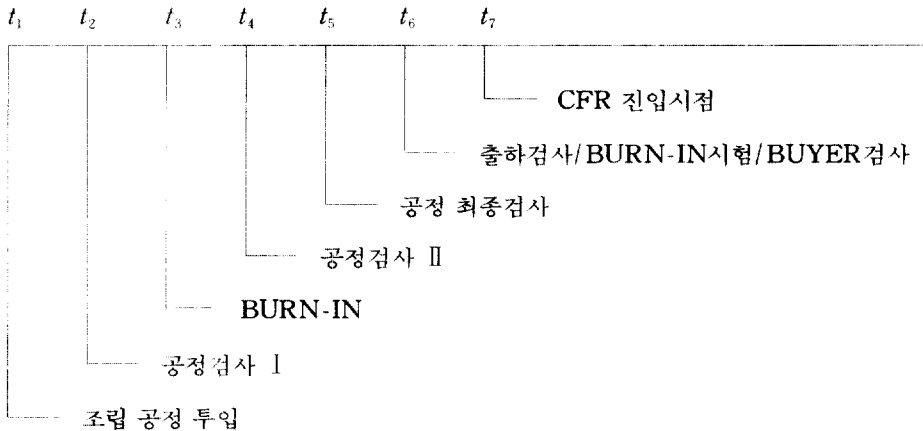
특히 Reliability가 제약 조건화되지 않은 경우 목표 Reliability가 주어지면 DFR과 CFR 사이의 변곡점이 최적 판별 기준이 된다. 비용 최소화 Model에서도 Field 수리비용이 Burn-in Set Up 비용과 출하전 수리비용 보다 작다면 Reliability, Burn-in 시간, Capacity 등의 Constraint는 최적화 결정 변수로의 역할이 미미해 지므로 Burn-in 최적화 시간 결정을 위해 CFR로의 진입 시점이 판별 기준이 된다. 본 연구에서는 IBM이 그들의 OEM manufacturer에게 제시하였던 Sequential Method[Martin Shaw, 1987]와 구간 개념에서의 Curve Fitting 방법을 적용한다[J. M. Park, 1986].

2.2 Test 분포의 좌측 연장

Burn-in 기간을 시간축 X 의 "0"좌표 좌측으로 표현하고 CFR 진입 시점이 같다는 조건 하에서 Burn-in 전후의 고장율 분포는 동일 분포의 이동(Shift)으로 간주한다는 것이 종래 연구의 가정이다. 그러나 <그림 1>과 같이 Burn-in이 제품 완성도 95%인 중간 공정으로 이루어지고 후반 검사공정 및 출하검사에 의해 양품화 되어지는 과정이라면 Burn-in Test에 의해 추정되는 Bathtub Curve의 출발점이 출하검사가 되므로 고장율 분포의 동일성은 논란의 여지가 있다.

제품 출하시 합격 제품은 출하전 모집단 분포에서 우측 꼬리 부분이 절단된 분포가 되고 Lot 검사 전후의 불량은 차이가 있으며 검사 후의 평균 불량은 AOQ가 된다. 이는 Field에서 소비자에게 도착 개봉시 불량(Dead On Arrival)으로 간주될 수 있다. 출하전 불량

은 Burn-in에 의한 불량뿐만 아니라 그 이후 공정의 불량이 내재되어 있으므로 분포의 연속성엔 의문이 있다.



〈 그림 1 〉 Burn-in의 시간축

생산 공정내 분포는 공정중 검사로부터 대부분 검출 수리 되어 양품화 되므로 출하 검사 후 Field의 고장 분포를 추정하기 위한 Burn-in Test 분포는 Double Burn-in 되는 또다른 분포가 된다. 이는 System Burn-in으로 부품에 대한 부가적 Aging은 System의 Reliability를 감소시킬지도 모르며 즉 부품이나 Sub-Assembly 상태에서의 최적 Burn-in이 최종 완성제품에서의 최적 Burn-in이 아닐 수도 있다는 점에서[Craig & Lawrence, 1989] 고장율 분포가 상이하게 전개될 수도 있기 때문이다.

따라서 본 연구는 출하전 고장율 분포의 우측 부분을 이용하기 보다는 Test Data에 의한 일정 분포로 적합 시켜서 Reliability와 Burn-in 최적화의 판별 기준으로 한다. 즉 출하전 Burn-in 분포는 출하전 Test 분포의 연장선 상에 있다고 가정한다.

2.3 동일 분포의 신뢰도 비교

출하 전후 분포가 동일하지 않고 출하전 분포가 Test 분포에 미치는 영향이 미미하다고 할때 공정중 Burn-in 시간은 Test 분포의 시간축 이동에 따른 분포라 분석할 수 있으며 Test 분포의 시간축에 더해지면 된다. 이는 결국 Burn-in 전후 분포는 동일하고 출하 전후 분포는 다르다 하더라도 Test 분포를 연장함으로써 동일 분포에 의한 Reliability를 추정할 수 있게 한다.

본 연구에서는 Burn-in 시험 Data에 의한 출하전 분포를 Burn-in Test Data의 "0" 좌표 좌측으로 할 때 Burn-in 이후 공정을 절삭하여 Burn-in 공정을 마지막 공정으로 가정한다. 이러한 가정으로부터 추정되는 Reliability 값은 수명 분포와 비수명 분포의 가정에 따라 Model별 Reliability 값의 편차가 존재하여 적용 Reliability Model의 선택이 중요하게 된다.

따라서 수명분포(Parametric Distribution) 가정의 경우 최우 추정(MLE) 및 구간 추정(PWF) 방법으로 추정하고, 비 수명 분포(Nonparametric Distribution)의 경우 Kaplan-Meier와 Johnson 방법, Hazard 방법[Bohoris, 1994]에 의한 Reliability 값으로 Performance를 비교 Model을 선택한다.

3. 이론적 근거와 절차

3.1 Sequential Method

고장시간 간격이 Burn-in 후 잔존 취약 부품수에 대한 확률값보다 커지는 시점을 최적 Burn-in 시간으로 하는 Heuristic한 방법이다. 아래의 산식에서 $W_i > W^*$ 를 만족하는 t_i 값과 기대 t_i 값이 최적 Burn-in 시간이 된다.

$$F(t_i) = 1 - \text{EXP}(t_i/\eta)^m \quad (1)$$

$$T_i = (t_i/\eta) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} W_i &= T_i - T_{i-1} \\ &= (1/\eta)^m \{ (t_i)^m - (t_{i-1})^m \} \end{aligned} \quad (3)$$

$$t_i^m - (t_{i-1})^m > W^* \eta^m \quad (4)$$

t_i = i 고장까지의 시간

T_i = Scale 척도에 의한 t_i 의 변환시간

W_i = T_i 와 T_{i-1} 의 시간 간격

W^* = W_i 의 정상 환원 시간

m = Weibull 분포의 Slope Parameter

η = Weibull 분포의 Scale Parameter

3.2 Weibull 분포의 구간별 Curve Fitting 방법

Polynomial Regression을 통하여 최대 구간의 Variation Point를 찾아가도록 하는 방법으로 응용 Computer Program에 의해 시간 구간이 결정된다. Program은 SPSS를 이용하여 FORTRAN 77으로 작성되었다. 그 절차는 하기와 같다.

- 1) TTF(Time to Failure) Data의 오름차순 정리
- 2) Censored Data를 포함한 잔존 고장수 계산
- 3) Hazard 간격 및 Hazard Rate 계산
- 4) TTF Data의 Plotting
- 5) Variation Point를 찾기 위한 Polynomial Regression
- 6) 유의 수준 $\alpha = 0.05$ 로 Partial F-Test

- 7) $H_0: \beta_2 = 0$ 의 채택이면 Variation Point의 Parameter 계산
- 8) $H_0: \beta_2 = 0$ 의 기각이면 Regression과 6), 7)번의 반복시행
- 9) TTF 구간별 Curve Fitting된 Model Parameter 계산

3.3 Reliability 추정방법

- 1) 우도함수(MLE) 방법

Weibull 분포의 우도함수 $L(m, \eta)$ 로 부터 Computer Program에 의해 η, m, R 값을 구한다.

- 2) Kaplan - Meier 방법

$$R(t_i) = \prod P_i$$

$$P_i = 1 - (d_i / N_i), d_i = \text{고장수}, N_i = \text{잔존수}$$

- 3) 누적 Hazard 방법

$$R(t) = \text{EXP} \{ -H(t) \}$$

$$H(t) = \sum_{i=1}^t (1/N_i), N_i = \text{잔존수}$$

- 4) Johnson 방법

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$F(t) = (r - 0.3) / (n + 0.4)$$

$$r = \text{평균 고장순위}, n = \text{고장수}$$

3.4 Reliability 하의 Burn-in 최적화 조건

$$R(t|b) = \text{EXP} \{ -(1/\eta^m)[(t+b)^m - b^m] \} \geq R \text{ 목표치}, 0 \leq b \leq \min t_{\text{CFR}} - t$$

$$R(t|b) = \text{EXP} \{ -(1/\eta^m)[(t_{\text{CFR}})^m - b^m] \} + \lambda_{\text{CFR}}(t - t_{\text{CFR}} + b) \geq R \text{ 목표치},$$

$$t_{\text{CFR}} - t \leq b \leq t_{\text{CFR}}$$

$R(t|b) = b$ 시간 Burn-in 후 t 시점에서의 reliability

$t_{\text{CFR}} =$ 안정 고장기 진입 시점

$\lambda_{\text{CFR}} =$ 안정 고장기의 고장율

4. 적용 사례

실제 분석은 Computer용 Monitor 완제품을 대상으로 4개월 간의 Burn-in 시험 Data (표 1)을 적용한다. 시험조건으로서 Test Strength는 0.24, Ambient Temperature는 35°C, Burn-in Temperature는 55°C, Activation Energy는 0.6eV 였다.

〈 표 1 〉 Burn-in 시험 Data

고장간 시간 (TTF) 자료	Data 수
1, 2, 3, 3, 3, 3, 14, 16, 17, 19, 38, 38, 39, 39, 48(13), 48(C), 48(C), 50(C), 52, 52, 53, 60(C), 63(C), 63(C), 67, 68(C), 70(C), 70(C), 70(C), 72, 74(C), 87(C), 88(C), 88(C), 92(C), 93(C), 94(C), 105, 115, 117, 119(C), 141(C), 142, 142, 143, 145(C), 257(C), 257(C), 285(C)	검사 Samples 수 = 706 시험 횟수 = 64 고장수 = 38 C (Censored) 수 = 26 (13) : 중복수 시험 조건 : 생략

공정중 불량 Data로 부터 Weibull Parameter $\beta = 3, \eta = 10$ 과 취약분포 비율 3.97%를 산출하고 Arrhenius 산식[Bowles, 1992]으로 부터 Acceleration Factor 2.7657을 산출하여 앞서의 Sequential Method로 부터 $W_i > W^*$ 를 만족하는 Burn-in 시간 t_i 는 3hr과 14hr 사이에 있음이 밝혀졌으며 t_i 의 기대값은 4.5hr으로 계산된다. 즉 최적 Burn-in 시간은 4.5hr으로 추정된다.

구간 Curve Fitting 방법으로 동일 Data를 적용한 결과 Variation Point는 63hr으로 Sequential Method 적용결과와는 상당한 격차가 발생하여 원인 분석결과 48hr 시간대의 기지의 특성이상치로 부터 기인 되었음이 밝혀졌다. 이에 본고에서는 생산자 입장에서 63hr 시간대의 비현실적인 결과의 수용을 포기하고 분석 Tool로서의 가능성만을 타진한다.

Reliability 추정 Model들에 대하여 Burn-in 시간 4.5hr 시점에 있어서의 Reliability 비교는 〈표 2〉와 같으며 그 산식은 〈표 3〉에서 참조된다. Computer Output의 일부가 〈표 4〉에 제시된다. 실제 Data가 수집된 본 연구대상 Model인 경우 Buyer에 의해서 Reliability 목표가 주어졌을 때 Burn-in 시간 10hr 이하에서는 생산자 입장에서 Buyer에게 MLE방법에 의한 Reliability 제시가 바람직하다.

결과적으로 Buyer 신뢰도 조건이 Burn-in 후 시점에서 90%인 경우 최적 Burn-in 시간은 4.5hr이 적절할 수 있다.

〈 표 2 〉 Burn-in 시간별 Reliability

구 분		Burn-in 시간			
		1HR	4.5HR	10HR	24HR
Non-Parametric	Kaplan - Meier 방법	0.984	0.889	0.881	0.828
	Johnson 방법	0.989	0.910	0.902	0.842
	Hazard 방법	0.984	0.906	0.896	0.837
Parametric	M L E 방법 (Weibull 분포)	0.987	0.952	0.904	0.801
	구간 Fitting 방법 (Weibull 분포)	0.975	0.922	0.859	0.739

〈 표 3 〉 Reliability model별 추정산식

구 분	Reliability 산식
Kaplan - Meier 방법	$R(t) = 1.8829 * 0.45912 ** (1.015 ** t)$
Johnson 방법	$2R(t) = 10.806 * 0.091069 ** (1.0069 ** t)$
Hazard 방법	$R(t) = EXP\{-39.828 * 0.0022849 ** (0.98640 * t)\}$
M L E 방법	$R(t) = EXP\{-(t/129.334) ** 0.894\}$
구간 Fitting 방법	$R(t) = EXP\{-0.0248937 * t ** 0.7852944, t < 63$ $R(t) = 0.2918306 * EXP\{-0.0257969 * (t-63) ** 0.6936657\} t > 63$

〈 표 4 〉 Computer Output

SUMMARY OF RESULT

MODEL(1)

TOTAL PERIOD NO. = 2

PERIOD 1 : ENDING TIME = 63.0

WEIBULL PARAMETER

SCALE PARAMETER = .248937E-01

SHAPE PARAMETER = .7852944

FAILURE RATE FUNCTION : $Z(T) = .195489E-01 * T ** -.2147056$ CUM. HAZARD FUNCTION : $H(T) = .248937E-01 * T ** .7852944$ RELIABILITY FUNCTION : $R(T) = EXP(-.248937E-01 * T ** .7852944)$

PERIOD 2 : ENDING TIME = 285.0

WEIBULL PARAMETER

SCALE PARAMETER = .257969E-01

SHAPE PARAMETER = .6936657

FAILURE RATE FUNCTION : $Z(T) = .000000E+00 + .0178944 * (T-63.0) **$
 $-.3063343$ CUM. HAZARD FUNCTION : $H(T) = .123158E+01 + .000000 ** (T-63.0) +$
 $.0257969 * (T-63.0) ** .6936657$ RELIABILITY FUNCTION : $R(T) = .2918306 * EXP[-.000000 * (T-63.0) -$
 $.0257969 * (T-63.0) ** .6936657$

5. 요약

많은 Buyer들이 품질의 기본조건으로 요구하는 완제품 Burn-in 시간은 실제 필요 이상으로 긴 시간일 수 있으며 생산자 입장에서 Cost, Delivery, Capacity 등의 제약으로 이행하기 어려운 경우가 종종 있다. 본 연구는 생산자에게 실무적으로 적용이 용이하고 Buyer에게 설득력있는 최적 Burn-in 시간 근거를 제시할 수 있도록, 구간개념과 Curve Fitting 방법을 적용하여 최적 Burn-in 시간을 추정하고 시간대별 Reliability를 산출 비교해 봄으로서 생산자 입장에서 Burn-in 시간을 결정하고 Reliability 추정 Model을 결정해 갈 수 있도록 하였다. 향후 제시된 Burn-in 시간의 최적여부는 Field Data로부터 검증 되어야 할 것이다.

References

- [1] Craig W. Whitebeck and Lawrence M. Leemis (1989), "Component vs System Burn-in Techniques for Electronic Equipment," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 38, No. 2, pp. 206-209.
- [2] Daewoo (1993), *Reliability Seminar with IBM*, Daewoo Electronics Display Business Division.
- [3] Dong-Hae Chi and Way Kuo (1989), "Burn-in Optimization Under Reliability & Capacity restrictions," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 38, No. 2, pp. 193-198.
- [4] Bohoris, G. A (1994), "Comparison of the Cumulative-Hazard and Kaplan-Meier Estimators of the Survivor Function," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 43, No. 2, pp. 230-232.
- [5] Alexanian, I. F. and Brodie, D. E. (1977), "A Method for Estimating The Reliability of ICS," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-26, No. 5, pp. 359-361.
- [6] Bowles, John B. (1992), "A Survey of Reliability Prediction Procedures For Microelctronic Devices," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 41, No. 1, pp. 2-12.
- [7] Park, J. M. (1986), "Improvement of Software Reliability Predictions," *A Thesis of M. S Degree in Dept. of I. E., Lehigh University*.
- [8] Kyung S. Park (1985), "Optimal Use of Product Warranties," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-34, No. 5, pp. 519-521.
- [9] Kyung S. Park (1985), "Effect of Burn-in on Mean Residual Life," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-34, No. 5, pp. 522-523.

-
- [10] Martin Shaw (1987), "Recognizing The Optimum Burn-in Period," *Quality and Reliability Engineering International*. Vol. 3, pp. 259-263.
- [11] Way-Kuo (1984), "Reliability Enhancement Through Optimal Burn-in," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-33, No. 2, pp. 145-156.