

엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험 설계에 관한 연구

박부희* · 임호경* · 장중순*

* 아주대학교 공과대학 산업공학과

Design of Degradation Test without Replacement Based on Tightened Critical Value

Boo Hee Park* · Ho Kyung Lim* · Joong Soon Jang*

* Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon, Korea

Abstract

Design of a degradation test without replacement is considered based on tightened critical value to reduce the evaluation testing time. The sample size, number of inspections, and the critical values are determined to assure the same probability of acceptance when the testing time is reduced to some degree. Photo-diode balance of an optical pickup is analyzed as a case study.

1. 서 론

신뢰성 시험은 대부분 장기간이 소요되므로, 신뢰성을 신속하게 평가하기 위하여 가속 시험법이 많이 사용된다. 가속시험에는 가혹한 스트레스를 인가하여 제품이 견딜 수 있는가와 그 영향을 확인하는 가속스트레스시험, 사용조건보다 가혹한 스트레스를 인가하여 수명을 확인하는 가속수명시험이 일반적으로 알려져 있다.

그런데 최근에는 제품들의 신뢰성이 향상되어 가속수명시험을 실시하더라도 규정된 시험시간동안 고장을 발견할 수 없는 경우가 많이 발생하고 있다. 고장이 발생하지 않는다고 해서 더 가혹한 스트레스를 인가하면 전혀 다른 고장 메커니즘이 나타날 수 있기 때문에 시험의 목적을 달성하기 곤란해진다. 열화시험은 이러한 단점을 보완하기 위한 것으로서, 시간에 따라 점차 열화하는 특성치를 갖는 제품에 대하여 시험을 실시하고, 그 과정에서 정해진 시간마다 특성치를 측정하여 수명을 예측하거나 신뢰성을 평가하고자 하는 것이다.

열화시험을 실시하기 위해서는 우선 시간에 따라 열화하는 특성치를 확인하고, 이를 측정할 수 있는 방법을 마련하여야 한다. 다음으로는 시험에 필요한 샘플의 수와 측정시간 또는 횟수 등을 결정하여야 하며, 열화량에 근거한 고장판정기준도 결정하여야 한다. 이러한 변수들을 결정하는 것을 열화시험을 설계한다고 한다. 열화시험이 설계되면 시험을 실시하고, 시험결과를 분석할 수 있어야 한다. 그동안 대부분의 열화시험의 연구는 시험 결과를 분석 또는 해석하는 데에 집중이 되어, 시험의 설계는 상대적으로 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. ([1], [4], [5])

열화시험을 설계하기 위한 방법으로는 추정치의 점근 분산을 최소화하거나, 시험비용을 고려하는 경제적 설계방법, 그리고 샘플링검사를 이용하는 방법 등이 제안되었다. 먼저 Meeker와 Escobar[3]는 열화시험 설계의 문제에 있어서 추정치의 점근분산을 최소화하는 샘플 크기와 관측시간을 결정하기 위한 연구를 수행하였다. 그들은 또한 신뢰구간을 이용한 방식의 변형으로서 추정치 오차의 상대적 비율에 따라 샘플크기를 결정하는 방안도 제안하였다. 그러나 이 방안은 상당히 복잡한 수리적 계산이 필요하므로 현장에서 적용이 쉽지 않다.

한편 비용을 고려한 경제적 설계방법은 평가비용의 제약 하에서 추정치의 분산에 대한 목적함수를 최적화하거나, 평가에 소요되는 평균 비용의 최소화를 위한 방안을 제안한 것으로 Wu와 Chang[7], Yu[8], Yu와 Chiao[9], Yu와 Tseng[10] 등의 연구를 들 수 있다. 그러나 이 방법은 현실적으로 소요되는 비용 산정에 어려움이 있으며, 복잡한 계산을 필요로 하는 등의 어려움이 있다.

샘플링을 이용한 열화시험의 설계는 로트의 합격여부를 결정하기 위하여 합격품질수준 및 합격확률 등을 설정하여 샘플의 크기나 검사 횟수 등의 변수를 결정하고자 하는 것이다. Sohn과 Jang[6]은 가속열화시험에 있어서 계수치에 의한 합격판정 샘플링 방법을 제안하였다.

한편 열화시험에서는 특성치의 열화량에 근거하여 고장판정기준을 결정하여야 한다. 이러한 고장판정기준은 안전성이 중요한 경우에는 대부분 열화의 절대량을 기준으로 설정되나, 그렇지 않은 경우에는 초기치에 대비하여 상대적으로 결정되는 것이 일반적이다. 고장판정기준은 고장 데이터의 수를 결정하는 주요한 요인이다. 만일 고장판정기준을 엄격하게 한다면 단기간내에 고장 자료를 많이 얻을 수 있게 되어, 시험을 가속시킨 효과를 얻을 수 있게 된다. 이러한 가속을 판정가속이라고 한다. Kitagawa et al. [2]은 LCD 수명시험에서 판정가속을 통하여 시험시간을 줄일 수 있음을 제시하였으며, Yang[11]은 단기간에 보다 많은 고장자료의 획득을 위하여 엄격한 고장판정기준을 도입하였다.

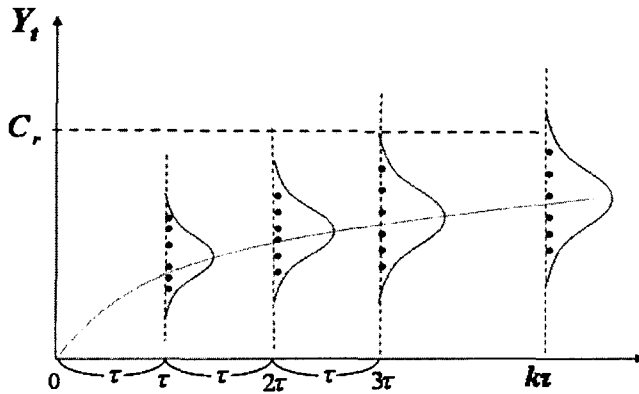
본 연구에서는 신제품 등의 개발 단계에서 평가 기간 단축을 위한 방안으로 비복원 열화시험방법을 제안하고자 한다. 사실 신제품의 개발단계에서는 양산에 투입되기 전에 성능시험이나 환경시험, 수명시험 등 여러 가지 시험을 통과하여야 제품으로 인정을 받아야 한다. 그런데 이러한 인정시험에서는 대부분의 경우 한번에 시험을 통과하는 경우는 드물고, 여러 번의 시험을 거치게 된다. 그런데 이러한 시험 과정에서는 초기의 열화량이 매우 커서 규정된 시간까지 시험을 지속할 필요가 없는 경우도 많이 발생한다. 이러한 경우에는 시험을 미리 종료하는 것이 바람직한데, 시험 규격에 의거하여 규정된 시간까지 시험을 계속 실시하는 경우가 많이 있다. 그러한 원인은 열화시험이 일정시간까지 시험을 실시하고, 최종적인 열화량을 기준으로 합격여부를 결정하고 있기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 시험시간을 다단계로 구분하고 각 단계마다 열화량을 측정하여 로트의 합격여부를 판단할 수 있는 시험방법을 제안하고자 한다. 이와 같이 측정시간을 다단계로 하기 위하여는 그에 적합한 고장판정기준을 결정하여야 하는바, 본 연구에서는 로트의 합격확률이 동일하게 되도록 고장판정기준을 결정하고자 한다. 또한 다단계로 열화를 측정할 경우 측정에 투입된 샘플을 시험에 다시 투입할 것인가가 중요한 문제가 되는데, 본 연구에서는 측정된 샘플은 시험에 다시 투입하지 않는 비복원 시험만을 다루고자 한다.

본 논문의 구성은 2절에서는 비복원 열화시험을 설명하고, 3절에서는 엄격한 고장판정기준값을 결정하기 위한 방법을 제안한다. 그리고 4절에서는 엄격한 고장판정 기준을 적용한 비복원 열화시험 설계안을 제시하며, 5절에서는 광픽업에 적용한 비복원 열화시험 설계 사례를 제시한다.

2. 비복원 열화시험

비복원 열화시험은 동질성을 갖는 N 개의 아이টে를 시험에 투입하고, 정해진 측정시점마다 비복원으로 샘플을 추출하여 열화량을 측정하는 방법이다. 이 방법은 성능을 측정하기 위하여 챔버 등에서 시료를 꺼내야 하는 경우에 안정화 현상 등으로 측정 후의 특성치가

측정 전의 값과 동일하지 않아, 챔버 내에 있는 시료들과 다른 성질을 갖는 것이 우려되는 경우에 채용되는 열화시험 방법이다. 실제로 온도나 습도를 이용한 시험을 실시하는 경우에 많이 사용된다. 비복원 시점은 일정하게 하는 방법이 많이 채택되나, 열화 패턴에 따라서는 시간축을 로그스케일로 변환하여 일정 간격마다 측정을 실시하는 경우도 있다. <그림 1> 은 τ 시간마다 n 개씩 샘플을 측정하는 경우의 비복원 열화시험을 도식화 한 것이다.



<그림 1> 비복원 열화시험

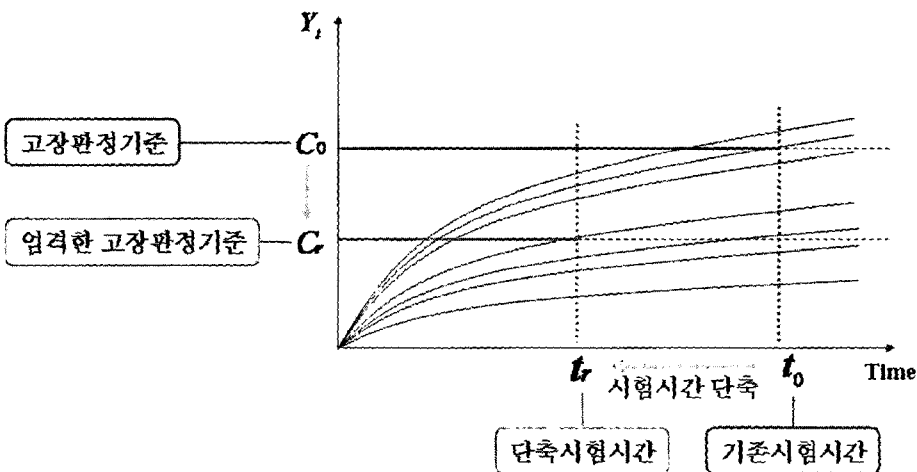
그림 1에서와 같이 비복원 열화시험을 수행한다고 할 때, 얻어지는 열화량 데이터들은 서로 독립이라고 가정할 수 있다. 따라서 각 측정 시점별로 얻어진 데이터를 확률표본으로 간주하여 열화량의 분포함수를 추정하고, 추정된 분포함수의 시간적 변화를 분석하면 열화특성이나 신뢰성을 예측할 수 있게 된다. 여기서 분포함수의 시간적 변화는 대부분 해당 분포함수의 모수의 변화를 이용하여 설명하게 된다. 즉 시간 t 에서의 열화량 Y_t 의 분포함수 $F(\cdot; \beta, \theta_t)$ 를 시간에 따라 일정한 값을 갖는 모수 β (상수형 모수)와 시간에 따라 변화하는 모수 θ_t (변수형 모수)로 구성되어 있다고 가정하고, θ_t 의 시간적 변화를 이용하여 열화현상을 설명하고 예측하는 것이다.

이와 같은 예측을 위해서는 측정된 열화량 데이터를 분석하여 분포함수나 모수들을 추정하여야 하는데, 분석 방법에는 최우추정법 등 다양한 방법이 있으나, 가장 간단한 분석법은 2단계 추정법이다. 2단계 추정법은 각 측정시점별로 열화량 Y_t 에 대한 데이터를 분석하여 측정시점별 분포와 모수 β 와 θ_t 를 추정한 후, θ_t 의 추정치들을 이용하여 시간적 변화 패턴을 설명하는 모델을 구하여 신뢰성 지표를 추정하는 방법이다.

3. 엄격한 고장판정기준

시간에 따른 특성치의 변화는 증가형 또는 감소형으로 나눌 수 있다. 이러한 유형들은 시간에 따른 특성치의 산점도를 작성해 보면 쉽게 판단해 볼 수 있다. 따라서 고장의 판정은 특성치가 증가하는가 또는 감소하는가에 따라 다르게 정의되어지지만, 열화량은 항상 증가한다고 가정할 수 있다. 따라서 고장판정기준 C_0 는 열화량이 C_0 를 넘게 되면 고장이라고 판정하게 되는 값이라고 정의한다.

개발단계에서 활용되는 대부분의 비복원 열화시험에서는 정해진 수인 N 개의 샘플을 시험에 투입하고 규정된 시간 t_0 후의 열화량을 측정하여, 측정된 열화량이 모두 C_0 를 초과하지 않는다면 로트 또는 해당 설계안을 합격시키는 방법을 택하고 있다. 이 때 N 과 C_0 는 대부분 경험이나 고객의 기술적 요구에 의해 정해진다. 그러나 열화시험을 실시하는 과정에서는 t_0 시점 이전의 열화량이 너무 커서 정해진 시험시간 t_0 까지 시험을 지속할 필요가 없는 경우가 발생하게 된다. 특히 이러한 경우는 신제품 개발의 경우 많이 나타나게 되는데, 이때에는 시험을 미리 중단하고 문제점을 빨리 해결하는 것이 훨씬 경제적이다. 그러나 이와 같이 시험시간을 단축하고자 하는 경우에는 그에 따라 고장판정기준도 조정할 필요가 있게 된다. 왜냐하면 고장판정기준을 조정하지 않으면 시험시간 단축의 효과가 크지 않을 뿐 아니라, 시험 초기에 고장은 아니더라도 C_0 에 근접한 열화를 나타낸 제품들은 t_0 에서는 열화량이 C_0 보다 크게 나타날 가능성이 높기 때문이다.



<그림 2> 시험시간 단축에 따른 엄격한 고장판정기준

본 연구에서는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 시험시간을 t_0 에서 $t_r (t_r < t_0)$ 로 단축하는 경우에 고장판정기준 C_r 를 로트의 합격확률이 동일하도록 결정하고자 한다. 이를 위하여 시간 t 에서의 열화량 Y_t 의 분포 $F(\cdot; \beta, \theta_t)$ 가

$$\theta_t = \theta_0 h(t) \dots\dots\dots (1)$$

를 만족하는 척도모수 θ_t 를 갖는다고 가정한다. 여기서 $h(t)$ 는 시간의 함수이다.

시험시간 t , 고장판정기준 C 를 갖는 시험을 조건 (t, C) 로 표시한다면, 어떤 로트가 기존 시험조건인 (t_0, C_0) 에서 합격될 확률은

$$F(C_0, \beta, \theta_{t_0})^N \dots\dots\dots (2)$$

이다. 또 단축된 시험조건 (t_r, C_r) 에서 합격될 확률은

$$F(C_r, \beta, \theta_{t_r})^N \dots\dots\dots (3)$$

이다. 따라서 동일한 합격 확률을 보증하는 C_r 의 값은

$$F(C_0, \beta, \theta_{t_0})^N = F(C_r, \beta, \theta_{t_r})^N, \dots\dots\dots (4)$$

로부터 구할 수 있다. 즉 C_r 은

$$F(C_0, \beta, \theta_{t_0}) = F(C_r, \beta, \theta_{t_r}) \dots\dots\dots (5)$$

를 만족하여야 하는데, (1)로부터

$$C_r = C_0 \frac{h(t_r)}{h(t_0)} \dots\dots\dots (6)$$

로 결정될 수 있다.

예 1. Zuo et al. [12]는 특정 밸브의 마모량을 분석하여, 마모량의 분포가 형상모수 $\beta=7$, 척도모수는 $\theta_t = 0.665t^{0.395}e^{0.0029t}$ 의 와이블 분포임을 보였다. 시험조건은 $(t_0, C_0) = (180, 15)$ 이었다. 만일 시험시간을 $t_r = 90$ 으로 한다면

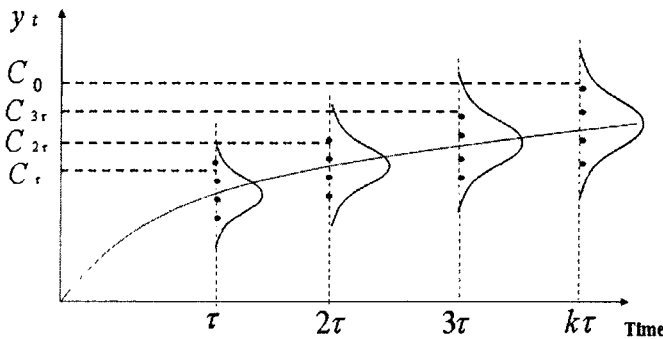
$$C_r = 15 \times \frac{90^{0.395} e^{0.0029 \times 90}}{180^{0.395} e^{0.0029 \times 180}} = 8.79$$

이다. 즉 벨브의 시험에서는 시험조건 (180, 15)와 (90, 8.79)는 동일한 로트합격확률을 보증한다.

4. 엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험

위의 결과를 이용하면 시험시간을 다단계로 설정하여 열화시험을 실시하는 비복원 열화시험을 다음과 같이 고려할 수 있다.

엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험 : N 개의 샘플을 시험에 투입하고 $\tau, 2\tau, \dots, k\tau$ 마다 n 개의 열화량을 측정하여 각 샘플의 열화량이 엄격한 고장판정기준보다 큰 경우 로트를 불합격시킨다. 로트가 불합격이 되면 즉시 시험을 종료한다.



<그림 3> 엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험

<그림 3>은 엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험을 나타낸 것이다. 여기서 $t_0 = k\tau$ 이며, $C_j, 1 \leq j \leq k$, 는 $j\tau$ 에서의 고장판정기준들이다. 로트가 합격되기 위하여는 각 단계마다 측정된 샘플들이 모두 고장판정기준보다 작아야 한다. 이와 같이 로트의 합격을 반드시 t_0 이후에 이루어질 수 있도록 하는 것은 실제 고객의 요구는 t_0 까지의 시험이기 때문이다.

여기서 t_0 와 C_0 는 미리 결정되어 있다고 하면, 비복원 열화시험을 설계하기 위하여는 n

과 k 를 결정해야 한다. 이를 위하여 θ_0^α 를 (1) 식을 만족하는 θ_0 중 θ_0^α 보다 작은 θ_0 를 가지는 로트는 가급적 합격시킬 수 있는 정도의 값이라고 하자. 그리고 θ_0^α 를 가지는 로트는 적어도 $1-\alpha$ ($0 < \alpha < 1$) 의 확률로 합격시키도록 n 과 k 를 결정한다. 그런데 각 단계마다 얻어지는 샘플들은 서로 독립이므로, θ_0^α 를 갖는 로트가 합격될 확률은

$$L(\theta_0^\alpha) = \prod_{j=1}^k [F(C_j; \beta, \theta_0^\alpha h(j\tau))]^n \dots\dots\dots (7)$$

이다. 그런데 만일 시간 $j\tau$ 에서의 고장판정기준 C_j 를 (6) 식과 같은 방법으로

$$C_j = C_0 \frac{h(j\tau)}{h(k\tau)}, 1 \leq j \leq k \dots\dots\dots (8)$$

과 같이 결정한다면, $F(C_j; \beta, \theta_{j\tau}) = F(C_0; \beta, \theta_{k\tau})$ 이므로, $L(\theta_0^\alpha) \geq 1-\alpha$ 로부터 n 과 k 는

$$nk \geq \frac{\ln(1-\alpha)}{\ln[F(C_0; \beta, \theta_0^\alpha, h(k\tau))]} \dots\dots\dots (9)$$

를 만족하는 정수들로 결정할 수 있다.

예2. 만일 열화량의 분포가 기댓값 $\theta_t = \theta_0 h(t)$ 를 갖는 지수분포를 따른다고 하자. 만일

$t_0 = 2$, $C_0 = 30$, 그리고 $h(t) = 3.16(1 - e^{-t/2})$, $\theta_0^\alpha = 2.35$, $\alpha = 0.05$ 이라면 (9) 식을 만족하는 (n, k) 의 집합은 $nk \geq 31$ 을 만족하는 정수의 집합이다.

엄격한 고장판정기준을 적용한 비복원 열화시험은 시험시간을 단축할 수 있는 효과가 있다. 시간 $j\tau$ 에서 로트가 불합격될 확률 p_j 는

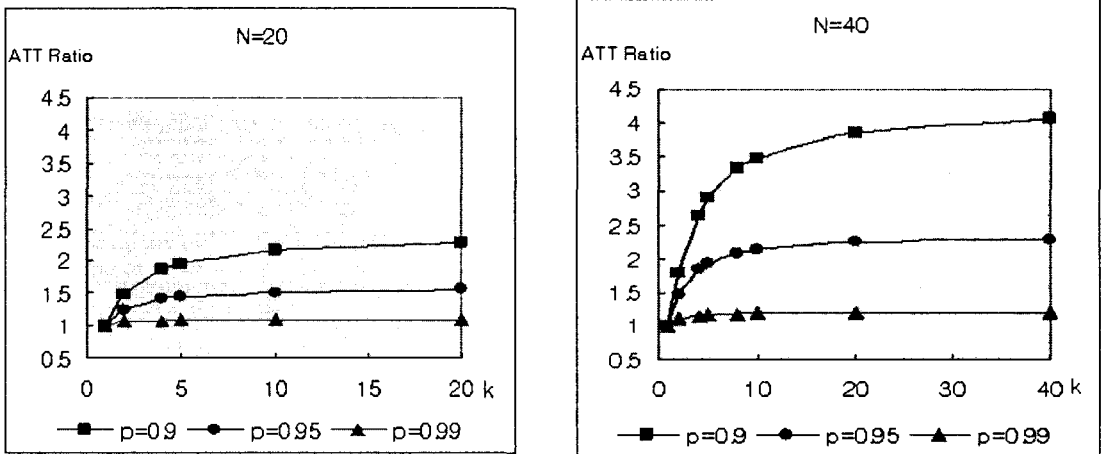
$$p_j = (1 - [F(C_j; \beta, \theta_0^\alpha h(j\tau))]^n) \prod_{i=1}^{j-1} [F(C_i; \beta, \theta_0^\alpha h(i\tau))]^n \dots\dots\dots (10)$$

이므로, 평균시험시간은

$$ATT = \sum_{j=1}^k j\tau p_j + k\tau [F(C_0; \beta, \theta_0^\alpha h(k\tau))]^{kn} = \frac{1 - [F(C_0; \beta, \theta_0^\alpha h(k\tau))]^{kn}}{1 - [F(C_0; \beta, \theta_0^\alpha h(k\tau))]^n} \tau. \dots\dots\dots (11)$$

임을 알 수 있다.

<그림 4>는 N=20과 40인 경우에 평균시험시간과 t_0 의 비를 나타낸 것이다.



<그림 4> 평균시험시간의 비

<그림 4>에서 p 는

$$p = F(C_o; \beta, \theta_0^a h(k\tau)) \dots\dots\dots (12)$$

로, 한 제품이 $t=k\tau$ 에서 양품이 될 확률이다. 그림을 보면 p가 감소할수록 평균시간의 단축효과는 커짐을 알 수 있다. 또한 평균시험시간의 비는 모두 1보다 큰데, 이는 제안된 비복원 열화시험의 효과를 나타내는 것이라고 할 수 있다.

5. 광픽업 적용사례

광픽업은 CD와 DVD와 같은 디스크에 레이저를 쏘아 반사되는 빛의 변화를 탐지한다. 이 때의 광신호를 전기신호로 변환하여 CD와 DVD에 저장된 데이터를 읽어 내기 위한 장치이다. 광픽업은 많은 부품으로 이루어져 있다. 따라서 광픽업 신제품 개발시 생기는 여러 가지 문제들로 인하여 재설계와 재평가가 여러 번 이루어지게 된다. 광픽업의 성능을 평가하기 위한 특성치 중 가장 주요한 것이 PDB(Photo Diode Balance)이다. 이것은

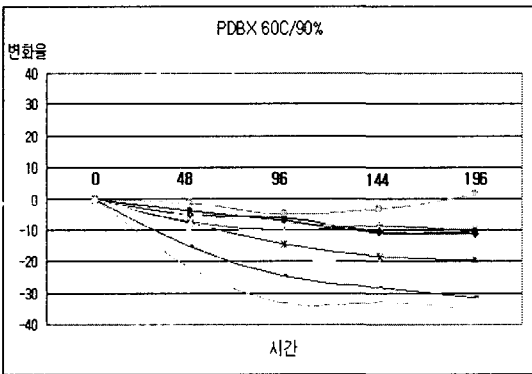
빛의 신호가 얼마나 목표지점에 정확히 집중되는지를 알아 볼 수 있는 지표이다. 이 PDB는 다음과 같이 두 가지 지표로 구성된다.

$$PDBX = \frac{(A+D)-(B+C)}{A+B+C+D}, \dots\dots\dots (13)$$

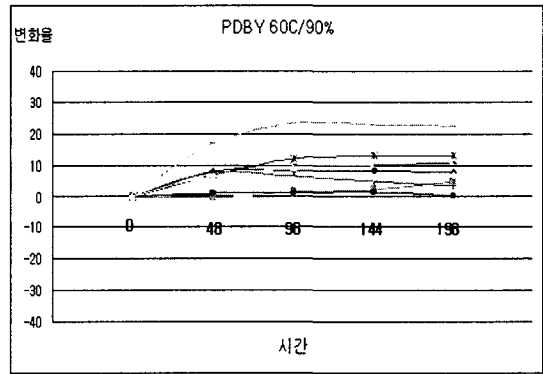
$$PDBY = \frac{(A+B)-(C+D)}{A+B+C+D}. \dots\dots\dots (14)$$

여기서 A, B, C, D는 수광부를 나누어 통과하는 빛의 양을 측정한 것이다. 최초 PDBX와 PDBY는 각각 0으로 설정되지만, 광픽업이 작동함에 따라 0으로부터 벗어나게 되는데, 이는 빛이 중심으로부터 벗어났음을 의미한다.

이러한 고장모드를 평가하기 위해 현재 60℃, 90%RH 조건에서 192시간동안 동작시험을 실시하고 있다. 이러한 시험 시간을 줄이기 위하여 우선 특성치 열화량 분포의 시간적 변화를 알기 위한 시험을 실시하였다. 초기에 N=40 개의 샘플을 투입하고, 시간이 48, 96, 144, 192인 시점에서 n=10 씩의 샘플을 추출하여 PDBX와 PDBY의 값들을 측정하였다. 다음은 PDBX와 PDBY의 초기치 대비 변화율을 분석한 결과이다.



<그림 5> PDBX 변화율



<그림 6> PDBY 변화율

위의 PDBX와 PDBY에서는 특정한 열화패턴을 찾기 어려워, 이를 극좌표계 r 과 η 로 변환하였다.

$$r = \sqrt{PDBX^2 + PDBY^2}, \dots\dots\dots (15)$$

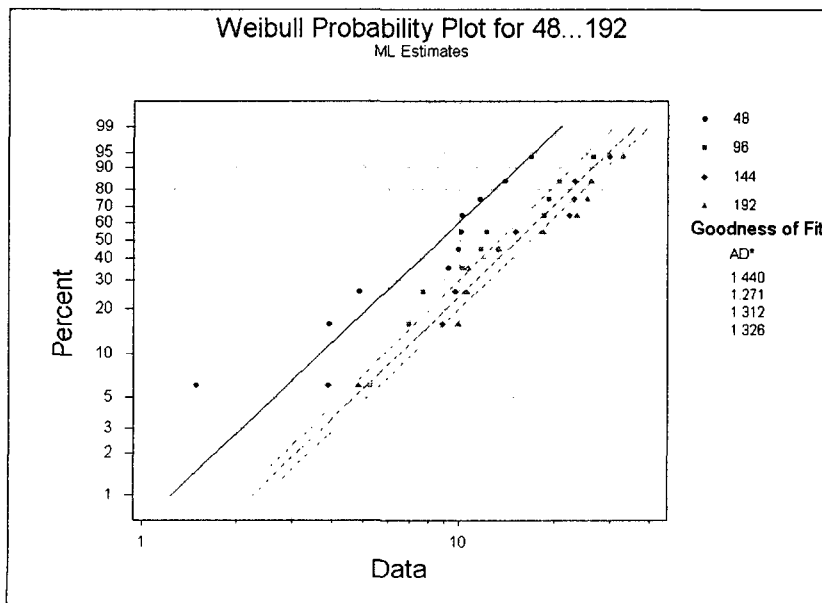
$$\eta = \tan^{-1} \frac{PDBY}{PDBX}. \dots\dots\dots (16)$$

다음 <표1>은 r과 η를 구한 결과이다.

<표 1> 모수 r 과 η

No.	γ				η			
	48	96	144	192	48	96	144	192
1	9.29	10.24	13.36	13.47	122.29	126.62	140.86	74.41
2	1.48	5.27	3.89	4.84	133.89	148.07	144.49	145.40
3	11.66	20.80	23.08	26.23	139.65	141.00	145.50	146.90
4	4.86	7.69	8.92	9.98	141.85	153.56	149.09	147.46
5	10.21	18.59	22.30	23.52	142.70	145.30	151.38	154.41
6	3.92	6.96	10.74	10.63	150.55	152.39	152.64	159.11
7	10.24	11.76	9.75	10.73	152.72	158.51	156.85	161.30
8	16.91	26.59	29.85	33.00	167.77	167.18	160.67	163.15
9	14.02	19.22	23.18	25.45	175.04	171.16	172.51	179.41
10	10.02	12.22	15.18	18.45	199.65	185.93	190.32	190.97

η 에 대한 분산분석 결과 시간에 따른 영향이 없는 것으로 나타났고, r 값은 시간에 따라 증가하는 경향을 볼 수 있었다. r 의 시간별 분포를 와이블 확률지 타점을 실시한 결과 <그림 7>과 같이 나타나, r 은 와이블 분포를 따른다고 할 수 있다.



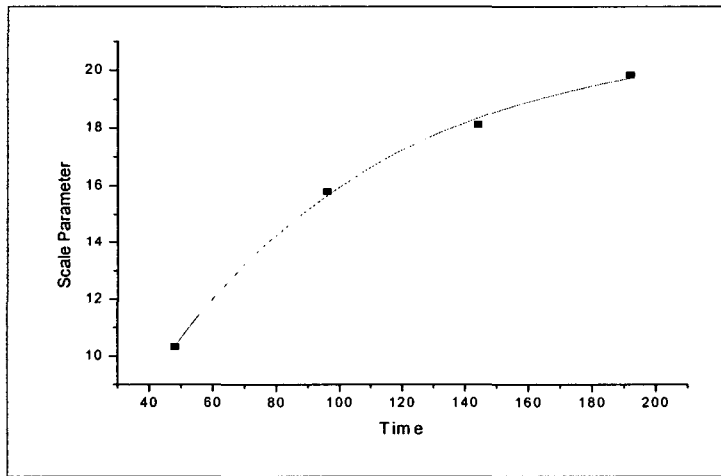
<그림 7> r 의 분포검정

한편 <그림 7>을 살펴보면, 각 직선의 기울기는 동일하다고 할 수 있으며, 척도모수는 시간에 따라 변하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 형상모수를 추정하면 2.209이 되며, 각 시점별 척도모수 θ_t 는 <표 2>와 같이 추정할 수 있다.

<표 2> 척도모수 θ_t 의 추정값

t	48	96	144	192
θ_t	10.443	15.724	18.183	19.992

<표 2>의 결과를 바탕으로 θ_t 의 추정치에 대한 함수식을 Origin을 이용하여 산출하였다.



<그림 8> 척도모수의 함수식 분석

그 결과 결정계수 $R^2 = 0.99$ 를 가지는 θ_t 의 추정치 $\hat{\theta}_t^{fit}$ 를 얻을 수 있다.

$$\hat{\theta}_t^{fit} = 21.13 \left(1 - 1.005 e^{-\frac{t}{70.79}} \right) \dots\dots\dots (17)$$

따라서 $h(t)$ 는 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{h}(t) = 1 - 1.005 e^{-\frac{t}{70.79}} \dots\dots\dots (18)$$

이 사례에서의 특성치는 PDBX와 PDBY이며, 그들의 고장판정기준은 각각 192 시간에서 30이다. 이를 이용하면 r 에 대한 고장판정기준은 보수적인 값으로 결정하면 $C_0 = 30$ 으로 구할 수 있다.

이러한 결과를 이용하면 현재 평가 시간인 192시간을 96시간으로 단축하기 위해서는

$$C_r = C_0 \frac{\hat{h}(96)}{\hat{h}(192)} = 30 \times \frac{15.661}{19.724} = 23.828$$

의 고장판정기준을 활용하면 된다. 또 만일 현재 평가방법을 4단계의 비복원 열화시험을 실시한다면 다음 <표 3>과 같은 고장판정기준을 활용하면 된다.

<표 3> 광픽업 비복원열화시험의 고장판정기준

t	48	96	144	192
C_j	15.75	23.82	27.14	30

<표 3>의 결과를 이용하여 96시간과 192시간에서 열화량을 측정하여 합격여부를 결정하는 2단계 비복원 시험을 새로운 설계안을 대상으로 실시하였다. 그 결과 처음 2번의 시험에서는 96시간에 불합격이 되었으며, 3번째에는 합격이 되었다. 이 설계안을 합격시킬 때까지 총 $2 \times 96 + 192 = 384$ 시간이 소요되었다. 이를 과거와 같이 192시간 시험을 3번 실시하였다면 총 576 시간이 소요되었을 것이므로, 약 1.5배의 시험시간 단축효과를 거둘 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 엄격한 고장판정 기준을 구하는 방법과 그를 적용한 비복원 열화시험을 제안하였다. 비복원 열화시험을 실시하면 규정된 시험시간 이전에라도 시험을 종료시킬 수 있어, 바람직하지 못한 설계안을 조기에 불합격시킴으로써 평가기간을 단축시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 결과를 광픽업 개발에 실제 적용하여 평가기간을 줄일 수 있음을 보임으로써, 비복원 열화시험이 평가기간을 포함한 개발기간을 단축시키는데 도움을 줄 수 있음을 살펴 보았다. 본 연구에서는 비복원 열화시험만을 다루었으나, 향후에는 측정된 샘플을 복원시키는 경우에도 시험 설계에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Boulanger, M. and Escobar, L. A.(1994), "Experimental Design for a Class of Accelerated Degradation Tests," *Technometrics*, Vol. 36, No. 3, 260-272.
- [2] Kitagawa, K., Toriyama, K., and Kanuma(1984), Y., "Reliability of Liquid Crystal Display," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-33, No. 3, 213-218.
- [3] Meeker, W. Q. and Escobar, L. A.(1998), "Accelerated Degradation Tests : Modeling and Analysis," *Technometrics*, Vol. 40, No. 2, 89-99.
- [4] Meeker, W. Q. and Escobar, L. A.(1998), *Statistical Methods for Reliability Data*, John Wiley and Sons.
- [5] Nelson, W.(1990), *Accelerated Testing*, John Wiley & Sons.
- [6] Sohn, S. Y. and Jang, J. S.(2001), "Acceptance Sampling Based on Reliability Degradation Data," *Reliability Engineering and System Safety*, 73(1), 67-72.
- [7] Wu, S. J. and Chang, C. T.(2002), "Optimal Design of Degradation Tests in Presence of Cost Constraint", *Reliability Engineering and System Safety*, 76, 109-115.
- [8] Yu, H. F.(2003), "Designing an Accelerated Degradation Experiment by Optimizing the Estimation of Percentile", *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 19, Issue 3, 197-214.
- [9] Yu, H. F. and Chiao, C. H.(2002), "An Optimal Designed Degradation Experiment for Reliability Improvement", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 51, No. 4, 427-433.
- [10] Yu, H. F. and Tseng, S. T.(1999), "Designing a Degradation Experiment.", *Naval Research Logistics*, Vol. 46, 689-706.
- [11] Yang, G. and Yang, K.(2002), "Accelerated Degradation-Tests with Tightened Critical Values", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 51, No. 4, 463-468.
- [12] Zuo, M.J., Jiang, R. and Yam, R.C.M.(1999), "Approaches for Reliability Modeling for Continuous Devices," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 48, No. 1, 9-18.