

# 경제적인 무고장 신뢰성 인증시험 설계

권영일<sup>†</sup>

청주대학교 산업공학과

## Economic Design of Zero-Failure Reliability Qualification Test

Young Il Kwon<sup>†</sup>

Department of Industrial Engineering, Cheongju University

Key Words : Reliability qualification, Life test, Weibull distribution, Zero failure acceptance test, Cost model

### Abstract

In the fields of reliability application, the most commonly used test methods for reliability qualification are zero failure tests since they require fewer test samples and less test time compared to other test methods that guarantee the same reliability with a given confidence level. An economic zero failure test plan is developed that minimizes the total cost related to perform a life test to guarantee a specified reliability of a product with a given confidence level and a numerical example is provided to illustrate the use of the proposed test method.

## 1. 서 론

제품이나 부품의 신뢰성 평가나 인증을 위한 수명시험은 가용한 시료수나 시험시간의 제약으로 인해 대부분 고장 시료수가 매우 적거나 무고장(zero failure) 상태로 시험을 종료하게 된다. 특히 자동차, 건설 중장비, 산업용 설비나 부품 중에는 대형, 고가의 품목이 많고 수명시험에 소요되는 비용도 다른 전자나 소형 전기부품 등에 비해 월등히 높아 불가피하게 소수의 시료만으로 한정된 시간동안에 시험을 종료해야 하는 상황이 발생한다.

그 결과 대부분의 인증시험에서 무고장 합격기준 시험방식(zero failure acceptance test)이 선호되고 있다. 무고장 시험방식은 요구수명을 주어진 신뢰수준으로 보장하는 시험방식들 중에서 적용이 비교적 수월하며, 상대적으로 시험시간이나 시료수가 단축된다는 장점을 갖는다.

통상 사용수명을 보증하기 위한 신뢰성 인증시험은 규정된 신뢰수준 하에서 특정 백분위수명을 보증하도록 설계된다. 무고장 합격기준을 적용하는 시험에서는 규정된 사용수명(백분위 수명)과 신뢰수준을 만족하는 시료수  $n$ 과 무고장 시험시간  $T$ 를 결정하게 된다. 한편 동일한 신뢰수준으로 동일한 백분위수명을 보증하는 무고장 시험방식에는 다양한  $(n, T)$  조합이 존재한다. 수명시험에서 시험을 위한 시료의 가격이나 시험에 사용되는 장비 사용료, 에너지 비용 등 시험시간과 관련된 비용이 높은 경우, 적절한 시료수와 시험시간의 조합을 선택함으로써 시험비용을 최소화 할 수 있는 시험방법을 찾는 것이 중요하다.

무고장 시험에 의한 신뢰성 평가와 보증을 위한 방법들이 Abernethy (2000), Nelson (1985), Yan 과 Herfat (2004), Kwon (2006) 등에 의한 연구되었으며, Kwon (1993, 1996a, 1996b, 1997), Bai 와 Kwon (1993) 등은 보증정책 하에 판매되는 제품들에 대한 경제적인 시험방식들을 제시하였다. 이들 시험방식은 요구 신뢰도를 특정 신뢰수준으로 보증하는 것이 아니라, 순수한

<sup>†</sup> 교신저자 yikwon@cju.ac.kr

비용측면에서 불합격 시 발생하는 비용과 합격 시 발생하는 보증비용으로 구성되는 전체비용을 최소화 하는 시험방식의 설계를 다루고 있다.

본 연구에서는 기계, 금속, 전기, 자동차 등 다양한 산업분야의 제품이나 부품의 수명분포로 가장 일반적으로 사용되고 있는 와이불 분포를 대상으로 규정된 요구 신뢰도를 특정 신뢰수준으로 보증하는 경제적인 신뢰성 인증시험방식을 설계한다. 무고장 합격기준을 적용하여, 시료수와 시험시간에 따라 소요되는 총 시험비용을 모형화하고 이 시험비용을 최소화 하는 경제적인 시험방식을 결정한다.

## 2. 인증시험과 시험비용

### 2.1 무고장 시험

수명이 와이불분포를 따르는 제품이나 부품의 신뢰도 인증을 위해 100% 백분위 수명  $B_{100p}$ 를 주어진 신뢰수준  $CL$ 로 보증하는 시험방식을 고려한다. 일반적으로 와이불 분포의 형상모수  $m$ 은 대상부품에 대한 과거의 사용경험이나 시험자료로부터 추정하여 사용할 수 있다. 시료수가 매우 적거나 고장이 거의 관측되지 않는 시험결과를 사용하여 형상모수 값이 미지인 와이불 분석을 수행 할 경우 결과의 불확실성(uncertainty)이 크며 의미 있는 분석이 불가능할 수도 있다. 이와 같은 상황에서는 시험부품의 특성이나 과거 경험으로부터 도출된 형상모수 값의 추정치를 사용하여 분석하는 것이 불확실성을 크게 감소시키는 것으로 알려져 있다 [Abernethy, 2000]. 따라서 본 연구에서는 와이불분포의 형상모수  $m$  값을 알고 있다고 가정한다. 참고로 Bloch 와 Geitner (1997), 그리고 Barringer & Associates (2001)에서 다양한 부품들에 대한 고장모드별 형상모수 값에 대한 자료를 제시하고 있다.

한편 동일한 유형의 부품이라 할지라도 실제 형상모수 값은 재료나 형상, 제조공정 등 여러 요인의 영향에 따라 다를 수 있다. 따라서 부품의 유형별로 유사제품이나 과거의 데이터에 의한 경험적 형상모수 값이 알려져 있더라도 그 값이 현재 시험대상 부품의 형상모수와 일치하지 않을 수도 있다. 참고로 Lieblein과 Zelen (1956)은 볼 베어링을 대상으로 다양한 시험 집단에 대한 와이불 형상모수 값들을 제시하고 있다. 형상모수 값 선택의 오류로 인한 위험을 가능한 줄이기 위해서 가능한 형상모수 값의 범위 안에서 시험시간이 가장 오

래 소요되는 형상모수 값을 시험대상부품의 형상모수 값으로 채택할 수 있다. 이와 같이 형상모수 값을 보수적으로 선택함으로써 형상모수 값의 오류로 인해 보증수명에 미달하는 제품이 인증시험에 통과될 위험을 최소화 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 백분위 수명  $B_{100p} = t_0$ 를 주어진 신뢰수준  $CL$ 로 보증하기 위해, 크기  $n$ 의 샘플로 동시에 시험을 시작하여 시간  $T$ 동안 고장이 없으면 합격시키는 무고장 합격기준을 적용한 신뢰성 인증시험의 경제적 설계문제를 고려한다. 사용수명  $B_{100p} = t_0$ 를 주어진 신뢰수준  $CL$ 로 보증하는 무고장 시험에서 시료수  $n$ 과 무고장 시험시간  $T$ 의 관계는 다음과 같이 구해진다.

먼저  $B_{100p} = t_0$ , 즉 척도모수가

$$\eta_0 = \frac{t_0}{[-\ln(1-p)]^{1/m}} \quad (1)$$

일 때 신뢰수준이  $CL$ 인 무고장 합격기준 시험방식은 다음 식을 만족한다.

$$\left[ e^{-\left(\frac{T}{\eta_0}\right)^m} \right]^n = 1 - CL \quad (2)$$

이 식으로부터 시료수  $n$ 과 시험시간  $T$ 의 관계식이 식(3)과 같이 구해진다.

$$T = t_0 \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \times \ln(1-p)} \right]^{1/m} \quad (3)$$

위 식에서 규정된 보증수명  $B_{100p} = t_0$ 와 신뢰수준  $CL$ 을 만족하는 다양한  $(n, T)$  조합이 존재함을 알 수 있다.

한편 식 (3)을 만족하는 모든 시험방식  $(n, T)$ 에 대한  $OC$ 곡선, 즉  $B_{100p} = t$ 인 제품이 시험에 합격될 확률은

$$\begin{aligned} Pa(t) &= \left[ e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^m} \right]^n \\ &= (1-CL) \left(\frac{t_0}{t}\right)^m \end{aligned} \quad (4)$$

이다. 식 (4)에서 백분위 수명  $B_{100p} = t_0$ 를 신뢰수준  $CL$ 로 보증하는 모든 시험방식, 즉  $(n, T)$ 조합은 동일한  $OC$ 곡선을 가짐을 알 수 있다.

### 2.2 시험비용

무고장 시험을 수행하는데 소요되는 비용으로서 다음의 항목들을 고려한다.

$c_f$  : 고정비용

$c_s$  : 샘플링 비용

$c_o$  : 시료당 시험 진행 비용

$c_t$  : 단위시간당 시험비용

여기서  $c_f$ 는 시험 시료수나 시간과는 무관한 고정비용을 말하며,  $c_s$ 는 시료 1개의 가격, 시료 당 시험지그 비용 등 시료수  $n$ 에 비례하는 비용항목을 의미한다.  $c_o$ 는 시료수  $n$ 과 시험시간  $T$ 에 비례하는 비용으로서 시험에 소요되는 에너지, 소모성 부재료, 시험장비 사용 등과 관련된 비용을 뜻한다. 끝으로  $c_t$ 는 시료수  $n$ 과는 무관하게 시험시간  $T$ 에만 비례하는 비용으로 시험요원(operator)의 인건비, 시험시간과 관련된 각종 간접비 등으로 구성된다.

무고장 시험의 수행에 있어서 이들 비용으로 구성되는 총 비용함수는

$$C(n, T) = c_f + c_s n + c_o n T + c_t T \quad (5)$$

로 표현되며, 식 (5)에 식 (3)을 적용하면 다음과 같다.

$$C(n) = c_f + c_s n + c_o n t_0 \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \times \ln(1-p)} \right]^{1/m} + c_t t_0 \left[ \frac{\ln(1-CL)}{n \times \ln(1-p)} \right]^{1/m} \quad (6)$$

### 3. 경제적 시험방식 설계

여기서는 총 시험비용 (6)을 최소화 하는 최적시험방식, 즉 시료수  $n^*$ 와 시험시간  $T^*$ 를 결정한다. 식(6)은 형상모수  $m$ 의 크기에 따라 특성이 변하므로 다음과 같이  $m$ 값의 세 가지 범주에 대해 최적시험방식을 고려한다.

#### 3.1 $m > 1$ 인 경우

고장률이 사용시간이 경과함에 따라 증가하는 경우이며 대부분의 기계, 자동차, 전기 부품 등이 이 범주에 해당한다. 최적 시험방식은 다음의 정리로 요약된다.

**정리 1.** 먼저 식 (6)에서

$$K = t_0 \left[ \frac{\ln(1-CL)}{\ln(1-p)} \right]^{1/m}, \quad (7)$$

$$\psi(n) \equiv \frac{dC(n)}{dn} = c_s + c_o K \frac{m-1}{m} n^{-\frac{1}{m}} - \frac{c_t K}{m} n^{-\frac{m+1}{m}} \quad (8)$$

으로 정의하면,  $m > 1$  일 때 최적 시험방식은 다음과 같다.

i)  $\frac{c_t}{c_o} \leq \frac{m-1}{m+1}$  이면  $n^* = 1$ 이고 이 때 총 시험비용은

$$C(1) = c_f + c_s + (c_o + c_t)K \quad (9)$$

이다.

ii)  $\frac{c_t}{c_o} > \frac{m-1}{m+1}$  이고  $\psi(1) \geq 0$  이면  $n^* = 1$ 이고 총 시험비용은 식 (9)와 같다.

iii)  $\frac{c_t}{c_o} > \frac{m-1}{m+1}$  이고  $\psi(1) < 0$  이면  $C(n)$ 이 최소가 되는 유일한 최적해  $n^*$ 가 존재하며,  $n^*$ 는  $n_u = \frac{c_t(m+1)}{c_o(m-1)}$ 를 초과하지 않는다.

**증명:** 식 (8)에서

$$\psi(1) = c_s + c_o K \left(1 - \frac{1}{m}\right) - \frac{c_t K}{m}, \quad (10)$$

$$\psi(\infty) = c_s > 0 \quad (11)$$

이다. 또한 다음 식

$$\omega(n) \equiv \frac{d\psi(n)}{dn} = n^{-\frac{m+1}{m}} \frac{K}{m^2} \left[ c_t \frac{m+1}{n} - c_o(m-1) \right] \quad (12)$$

에서  $\omega(\infty) = 0$ 이고 괄호안의 식

$$\rho(n) = c_t \frac{m+1}{n} - c_o(m-1) \quad (13)$$

은  $n$ 의 단조감소함수임을 알 수 있다. 따라서

i)  $\omega(1) \leq 0$ , 즉  $\frac{c_t}{c_o} \leq \frac{m-1}{m+1}$  이면 모든  $n \geq 1$  에서  $\omega(n) \leq 0$  이므로  $\psi(n)$ 은 단조감소함수이다. 한편

$\psi(\infty) = c_s > 0$  이므로 모든  $n \geq 1$  에서  $\psi(n) > 0$  이 되어  $C(n)$ 은 단조증가함수임을 알 수 있다. 따라서 이 경우  $C(n)$ 을 최소화 하는  $n^* = 1$  이며 이 때 총 시험비용은 식 (9)와 같다.

ii)  $\omega(1) > 0$ , 즉  $\frac{c_t}{c_o} > \frac{m-1}{m+1}$  이면 식 (12)와 (13)에 서  $\rho(n) = 0$ , 즉  $\omega(n) = 0$  인 유일한  $n$ 이 존재함을 알 수 있다. 즉  $\psi(n)$ 은 증가 후 감소하는 함수이다. 이 경우  $\psi(1) \geq 0$  이면 식 (10)과 (11)에 의해 모든  $n \geq 1$  에서  $\psi(n) \geq 0$ , 즉  $C(n)$ 은 단조증가함수임을 알 수 있다. 따라서  $C(n)$ 을 최소화 하는  $n^* = 1$  이고 이때의 시험비용은 식 (9)와 같다.

iii)  $\omega(1) > 0$ 이고  $\psi(1) < 0$  이면,  $\psi(n^*) = 0$ 인 유일한  $n^*$ 가 존재하며,  $n < n^*$ 일 때  $\psi(n) < 0$ ,  $n > n^*$ 일 때  $\psi(n) > 0$ 이므로  $n = n^*$ 에서  $C(n)$ 이 최소가 된다. 또한  $\rho(n) = 0$ 인  $n_u$ 에서  $\psi(n)$ 이 최대가 되므로  $\psi(n^*) = 0$ 인  $n^*$ 는  $n_u$ 를 초과할 수 없음을 알 수 있다.

### 3.2 $m = 1$ 인 경우

지수분포(exponential distribution)를 따르는 경우로서

$$C(n) = c_s n + c_o K + c_t K n^{-1}, \tag{14}$$

$$\psi(n) = \frac{dC(n)}{dn} = c_s - \frac{c_t K}{n^2} \tag{15}$$

이며, 최적시험방식은 다음의 정리로 주어진다.

**정리 2.**  $\frac{c_s}{c_t} < K$  이면  $C(n)$ 이 최소가 되는 유일한  $n^*$ 가 존재한다.  $\frac{c_s}{c_t} \geq K$  면  $n^* = 1$ 이 된다.

**증명:**  $\frac{c_s}{c_t} < K$  면  $\psi(n) = 0$  를 만족하는

$$n' = \sqrt{c_t K / c_s} \tag{16}$$

에서  $C(n)$ 이 최소가 된다. 여기서 실제 시료수  $n$ 은 정수 값을 가지므로  $n'$ 를 초과하지 않는 최대정수를  $\bar{n}$ 라 할 때  $C(n)$ 을 최소로 하는 시료수  $n^*$ 는  $\bar{n}$  와  $\bar{n} + 1$  중 하나가 된다.

$\frac{c_s}{c_t} \geq K$  면 모든  $n \geq 1$ 에 대해  $\psi(n) \geq 0$  이다. 따라서  $C(n)$ 은 단조증가함수이므로  $n = 1$ 일 때  $C(n)$ 이 최소가 되며, 최소값은 식 (9)와 같다.

### 3.3 $m < 1$ 인 경우

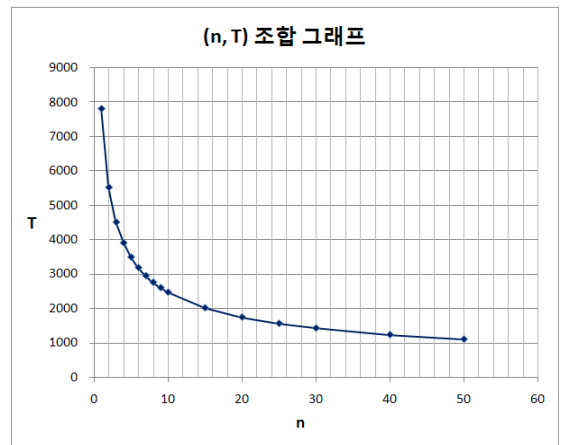
고장률이 시간의 경과에 따라 감소하는 경우로서 식 (8)의  $\psi(n)$ 이  $n$ 의 단조증가함수임을 알 수 있다. 따라서 다음의 정리가 성립한다.

**정리 3.** i)  $\psi(1) \geq 0$ 이면  $C(n)$ 을 최소화 하는  $n^* = 1$  이 되고 이때의 시험비용은 식 (9)와 같다.

ii)  $\psi(1) < 0$  이면 유일한 최적해  $n^*$ 가 존재한다.

## 4. 적용예제

수명이 형상모수  $m = 2.0$ 인 와이불 분포를 따르는 부품에 대해,  $B_{10} = 2,000$ 시간을 신뢰수준 80% ( $CL = 0.8$ )로 보증하는 무고장 시험방식을 설계하는 문제를 고려한다. <그림 1>은 위 보증조건을 만족하는 무고장 시험의  $(n, T)$  조합을 나타낸 것이다.



<그림 1> 무고장 시험방식의  $(n, T)$  조합

예를 들어 시료수가  $n = 15$ 이면 시험시간은  $T = 2,018.3$  시간이 된다. 즉 15개의 시료를 2,018.3 시간 동안 시험하여 고장이 없으면  $B_{10}$  수명 2,000시간을 신뢰수준 80%로 보증할 수 있다. 만약 시료수의 제약으로  $n = 5$ 개의 시료를 사용한다면 시험시간은  $T =$

3,495.8 시간으로 증가하게 된다. 여기서 시험시간 단축을 위해 가속계수가 AF인 가속수명시험을 수행한다면 실제 시험시간은  $T/AF$ 가 된다.

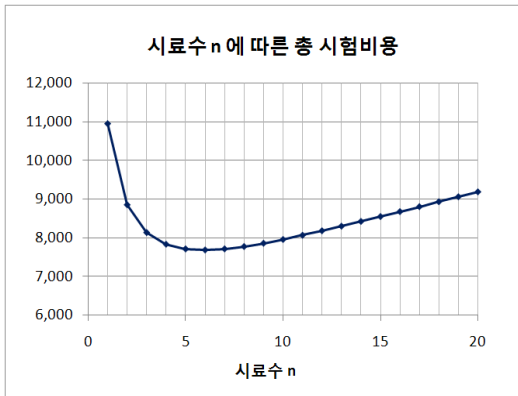
다음은 시험수행과 관련된 비용항목들이  $c_s = 5.0$ ,  $c_o = 0.2$ ,  $c_t = 1.2$  일 때  $B_{10}$  수명 2,000시간을 신뢰수준 80%로 보증하는 경제적인 시험방식을 구한다. 여기서 고정비용  $c_f$ 는 최적시험방식 결정에 영향을 미치지 않으므로 고려하지 않기로 한다. 수명시험 설계조건이 정리 1에서 iii)의 경우에 해당되므로 최적해  $n^*$ 가 존재하며  $n^*$ 는 상한 값

$$n_u = \frac{c_t(m+1)}{c_o(m-1)} = 18.0$$

을 초과하지 않는다. 시험비용이 최소가 되는 시료수와 시험시간은 다음과 같이 구해진다.

$$n^* = 6, T^* = 3,191$$

이 때 고정비용을 제외한 총 시험비용은  $C(n^*) = 7,689$ 이다. <그림 2>는 시료수  $n$ 에 따른 총 시험비용을 나타내고 있다.



<그림 2> 시료수  $n$ 과 총 시험비용의 관계

<표 1>은 시료수  $n$ 에 따라 최소시험비용( $n^* = 6$ ) 대비 총 시험비용의 증가율을 나타낸 것이다. 시료수가  $n$  일 때의 총 시험비용을  $C(n)$ , 최소시험비용을  $C(n^*)$ 라 할 때 증가율  $\Delta C$ 는 다음과 같다.

$$\Delta C = 100 \times \frac{C(n) - C(n^*)}{C(n^*)} \quad (\%) \quad (17)$$

다음은 각 비용항목 값들의 변화가 시험방식에 미치

는 영향을 알아보기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 고정비용  $c_f$ 는 시험방식의 결정에 영향을 주지 않으므로, 샘플링 비용  $c_s$ , 시료수와 시험시간에 비례하는 시험 진행 비용  $c_o$ , 그리고 시료수와는 무관하게 시험시간에만 비례하는 단위시간당 시험비용  $c_t$ 의 변화에 대해 시험시료수와 시험시간의 변화를 관찰하였다.

<표 1> 시료수  $n$ 에 따른 최소시험비용 대비 총 시험비용의 증가율

$n$	$C(n)$	$\Delta C \%$
1	10,948	42.4
2	8,854	15.1
3	8,138	5.8
4	7,837	1.9
6	7,689	0.0
8	7,778	1.2
10	7,960	3.5
15	8,552	11.2
20	9,189	19.5

비용항목별 변화율  $\delta$ 에 대한 시험 시료수  $n^*$ 과 시험시간  $T^*$ 가 <표 2>에 주어져 있다. 여기서 비용변화율  $\delta$ 는 위 예제의 항목별 비용에 대한 배율을 의미한다. 즉  $\delta = 5$ 이면

$$c'_s = 5 \times 5.0 = 25.0,$$

$$c'_o = 5 \times 0.2 = 1.0,$$

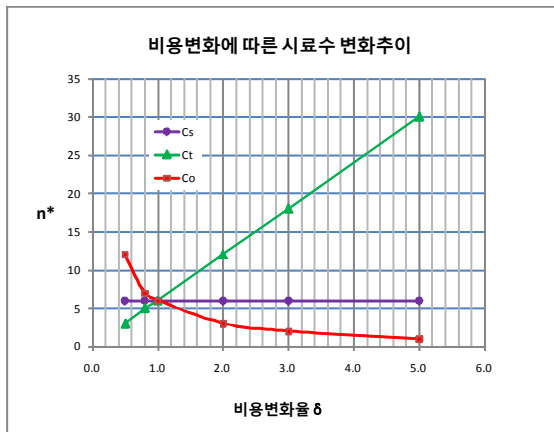
$$c'_t = 5 \times 1.2 = 6.0$$

<표 2> 비용변화에 따른 시험방식 ( $n^*, T^*$ )

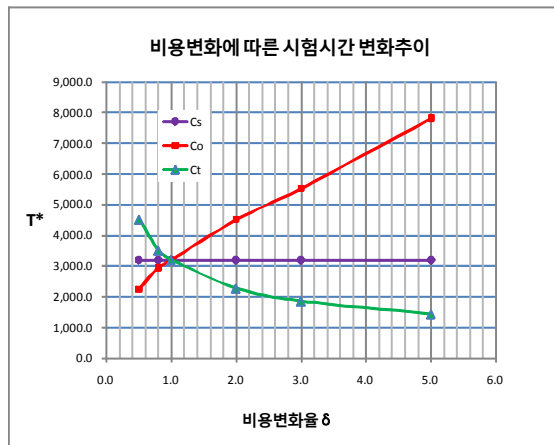
$\delta$	$c'_s$		$c'_o$		$c'_t$	
	$n^*$	$T^*$	$n^*$	$T^*$	$n^*$	$T^*$
5	6	3191.2	1	7816.8	30	1427.1
3	6	3191.3	2	5527.3	18	1842.4
2	6	3191.4	3	4513.0	12	2256.5
1	6	3191.5	6	3191.2	6	3191.2
0.8	6	3191.6	7	2954.5	5	3495.8
0.5	6	3191.7	12	2256.5	3	4513.0

을 각각 의미한다. 예를 들어 표의 두 번째 열은  $c_s' = \delta \times c_s$  일 때의 시험방식 ( $n^*, T^*$ )를 나타내고 있다.

<그림 3>과 <그림 4>는 시료수  $n^*$ 과 시험시간  $T^*$ 의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 예제와 같은 상황에서 샘플링 비용  $c_s$ 의 변화는 시료수나 시험시간에 거의 영향을 미치지 않으며,  $c_t$ 와  $c_o$ 값의 변화가 시험방식에 큰 영향을 미침을 볼 수 있다. 또한 시료수와 시험시간에 비례하는 비용  $c_o$ 가 커질수록 시료수는 감소하고 그에 따라 시험시간은 증가함을 알 수 있으며, 시험시간에만 비례하는 비용  $c_t$ 가 커질수록 시료수는 증가하고 시험시간은 감소함을 볼 수 있다. 여기서 샘플링 비용  $c_s$ 의 영향이 작게 나타난 이유는 샘플 수와 관련된 비용 중 시험 진행비용  $c_o$ 의 영향이  $c_s$ 보다 훨씬 크기 때문으로 추정된다.



<그림 3> 비용변화에 따른 시료수 변화추이



<그림 4> 비용변화에 따른 시험시간 변화추이

끝으로 <표 3>은 형상모수 값의 오류에 대한 영향을 알아보기 위해 작성하였으며, 실제 형상모수 값이  $m = 2.0$ 일 때 이를  $m'$ 로 잘못 채택한 경우의 분석결과이다. 각  $m'$  값에 대해 얻어진 시료수  $n'$ 와 시험시간  $T'$ , 그리고 이 시험방식이 적용되었을 때의 실제 신뢰수준  $CL'$ 와 시험비용의 증가 또는 감소량  $\Delta C'(\%)$ 을 나타내고 있다.  $\Delta C'$ 은  $m = 2.0$ 일 때 설계된 시험방식의 총비용에 비하여  $m'$ 를 적용하여 얻어진 시험방식의 총비용의 증가 또는 감소 금액을 퍼센트로 나타낸 것이다.

표에서 실제 형상모수가  $m = 2.0$ 인 제품에 대해  $B_{10}$  수명 2,000시간을  $CL = 0.8$ 로 보증하는 시험에서, 형상모수를  $m' = 2.2$ 로 잘못 적용하는 경우 신뢰수준은  $CL' = 0.77$ 로 다소 감소하며 동시에 총 시험비용도 4.6% 감소함을 볼 수 있다. 또한 형상모수 값을 실제보다 크게 적용할수록 신뢰수준이 감소함과 동시에 총 시험비용도 감소하며, 반대로 실제보다 작은 값을 적용할 경우 신뢰수준과 함께 총비용이 증가하는 경향을 보이고 있다. 전반적으로 형상모수 값의 오류가 크지 않은 경우에는 신뢰수준이나 총 비용도의 변화도 비교적 미미함을 나타내고 있다.

<표 3> 형상모수 값의 오류에 의한 영향분석

$m'$	$n'$	$T'$	$CL'$	$\Delta C' \%$
1.6	10	2,606.3	0.83	9.1
1.7	8	2,925.9	0.84	7.1
1.8	7	3,085.4	0.83	4.8
1.9	7	3,015.8	0.81	2.4
2.0	6	3,191.2	0.80	0.0
2.1	5	3,404.0	0.78	-2.3
2.2	5	3,322.7	0.77	-4.6
2.3	5	3,250.2	0.75	-6.7
2.4	4	3,495.4	0.72	-8.8

## 5. 결론

본 연구에서는 신뢰성 평가나 보증을 위해 시험현장에서 널리 사용되고 있는 무고장 합격기준에 의한 경제적인 수명시험방식을 제안하였다. 규정된 백분위수명을 특정 신뢰수준으로 보증하는 시험에서 총시험비용을 최소화 하는 시험방식을 결정하고 예제를 통해 그 적용 방법을 제시하였다. 또한 비용항목들에 대한 민감도분

석을 통해 각 비용항목이 시험시료수와 시험시간에 미치는 영향을 살펴보았으며, 시험설계에서 중요한 요소의 하나인 와이불분포의 형상모수 값을 결정함에 있어서, 실제와 다른 형상모수 값을 잘못 적용할 경우 그 결과가 시험방식과 신뢰수준, 그리고 시험비용에 미치는 영향을 분석하였다.

경제성 면에서 효율적으로 설계된 본 시험방법을 시료수와 시험시간에 따라 높은 비용이 소요되는 기계, 자동차, 전기, 전자, 화학소재나 부품 등의 신뢰성 인증 시험에 적용함으로써 고가의 시험비용 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

[1] 권영일(1993), "An Economic Life Test Sampling Plans for Repairable Products with Exponential Interfailure Time Distribution", 「한국품질관리학회지」, 제21권, 제1호, pp. 108-120.

[2] 권영일(2006), "기계류부품 신뢰성보증을 위한 2단계 시험방식 설계", 「한국품질경영학회지」, 제34권, 제1호, pp. 20-26.

[3] Abernethy R.B.(2000), *The New Weibull Handbook*, Williams Enterprises.

[4] Bai, D.S. and Kwon, Y.I.(1993), "Economic Designs of Life Test Sampling Plans for Repairable Products", *Engineering Optimization*, Vol.20, pp. 287-302.

[5] Barringer & Associates(2001), *Weibull Database*, <http://www.barringer1.com>.

[6] Bloch, H.P. and Geitner, F.K.(1997), *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.

[7] Kwon, Y.I.(1996a), "A Bayesian Life Test Sampling Plan for Product with Weibull Lifetime Distribution Sold under Warranty", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.53, No.1, pp. 61-66.

[8] Kwon, Y.I.(1996b), "A Bayesian Life Test Sampling Plan for Nonrepairable Products Sold under Warranty", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.13, No.5, pp. 40-49.

[9] Kwon, Y.I.(1997), "Life Test Sampling Plan for Exponential Populations with Curtailed Type II Censoring based on Cost Function", *Journal of Industrial Science Research: Cheongju University*, Vol.15, No.2, pp. 361-367.

[10] Lieblein, J. and Zelen, M.(1956), "Statistical Investigation of the Fatigue life of Deep-Groove Ball Bearings", *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, Vol.57, N0.5. pp. 273-316.

[11] Nelson W.(1985), "Weibull Analysis of Reliability Data with Few or No Failures", *Journal of Quality Technology*, Vol. 17, No. 3, pp. 140-146.

[12] Yan W. and Herfat A.T.(2004), "Design Criteria Evaluation Using Field Test Data and Reliability Test Improvement Based on Statistical Analysis", *IEEE RAMS 2004*, pp. 168-172.

2010년 10월 27일 접수, 2010년 12월 10일 1차 수정, 2010년 12월 30일 2차 수정, 2011년 1월 3일 채택