신뢰성 향상을 위한 3-order STM 시험검사법 설계

Development of 3-order STM test method for reliability enhancement

*#육선우, 황인호, 정진석, 문무성

*#S. W. Yuk(sunwoo@korec.re.kr), I. H. Hwang, J. S. Jung, M. S. Mun

근로복지공단 재활공학연구소

Key words : reliability qualification test, zero-failure test, 3-order STM

1. 서 론

제품의 생산 단계나 신뢰성 보증을 위한 인증시험 단계에서 가장 널리 사용되는 시험방식 중의 하나가 zero failure test이다. 이는 적용이 비교적 쉽고, 상대적으로 시험시간이나 시료수를 줄일 수 있다는 장점 때문이다. 그러나, 이 시험방법의 경우 시험을 의뢰하는 입장에서 만약 시험 중 고장이 발생한다면 불합격 된다는 부담감을 가질 수 있으며, 생산자의 위험이 커진다는 단점도 가지고 있다. 또한, 이에 따라 시험방법의 신뢰성을 파악하기도 상당히 어려워진다. 특히, 요즘 시험 트랜드로 보면, 의뢰시험과 같이 데이터가 요구되는 상황에서는 다른 어떤 요구사항보다도 신뢰성이 가장 먼저 선호되기도 한다. 이에, 본 연구에서는 이러한 문제를 보완하기 위해 zero failure test의 대체 시험법으로 3-order STM(stress test method) 시험검사법을 설계하고, 그 특성을 비교, 분석하였다.

2. Three-order STM

여기서 소개할 3-order STM은 일반적으로 소비자 보호를 위한 신뢰성 샘플링 검사의 최적 설계에 주로 사용되는 MIL-STD-690C, MIL-STD-790을 사용하였다.

2.1 3-order STM의 process

3-order STM은 기본적으로 다음 3가지 process를 가진다.

P1 : failure 최초의 판정

P2 : failure 판정의 연장

P3 : failure 판정의 확장

P1은 고장률 초기 판정으로서 시험검사중 최대의 고장률 및 신뢰수준에 따라 총시료수(n)와 총시험시간(t)을 정하고 시험하여 합격판정개수(c) 와 관측된 고장수(f)가 합격판정개수인 (c)를 넘지 않으면 해당 시험은 합격한 것으로 판정하는 것이다.

P2는 P1판정의 연장으로서 P1에서 합격판정한 개수(c)중에 일정시간(t')까지 연장하여 시험하여 P1과 마찬가지로 관측된 고장수(f)가 합격판정개수인 (c)를 넘지 않으면 해당 시험은 합격한 것으로 판정하는 것이다.

즉, 관측된 고장수 f(t)=0이면 합격, f(t)=1이면, (t')까지 시험진행, f(t)≥2이면 불합격이다.

마지막으로, P3는 낮은 고장률 수준으로 확장의 과정을 거친다. 즉, P1과 P2의 과정을 반복하는 것이다.

2.2 3-order STM의 design

이를 수식으로 나타내면, P1, P2, P3에서 각각의 합격확률을 P(A1), P(A2), P(A3)라 하면, 총 합격확률 P(A)= P(A1)+P(A2)+P(A3)이다. 여기서는 life time이 와이블 분포를 따르는 경우, 특성수명 Θ를 주어진 신뢰수준으로 보증하는 시험방식을 설계한다. 또한, 확률의 불확실성을 감소하기 위해 형상모수값 베타는 추정치로써 알고 있다고 가정한다. 본 시험법은 시료 수명이 지수분포를 따르는 경우에 적용 가능하며, 고장률 수준의유지 여부 판정을 위한 신뢰수준이 10% 이내일 때로 규정한다.

따라서, 위에서 설명한 합격기준에 의하면 P(A1), P(A2), P(A3)는 각각 다음과 같다.

$$P(A_1) = Pf(t=0) = e^{-\frac{nt^{\beta}}{\theta^{\beta}}}$$

$$P(A_2) = Pf(t=1) \times Pf(t^{'}=1) | f(t=1)$$

$$= n(1-e^{-\frac{t^{\beta}}{\theta^{\beta}}})e^{-\frac{(n-1)t^{'\beta}}{\theta^{\beta}}}$$

$$P(A_3) = P(A_1) + P(A_2)$$

이때, P1에서의 합격비율을 π, P2에서의 합격비율을 1-π라 할때, P(A1)=(1-CL)π, P(A2)=(1-CL)(1-π)가 되며, 각 합격비율에 대해 만족하는 총 시험시간 t, t'는 다음과 같다.

$$t = \theta[\frac{-\ln((1-CL))\pi}{n}]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t' = \theta[\frac{\ln\frac{n(1-e^{-(\frac{t}{\theta})^{\beta}})}{(1-CL)(1-\pi)}}{n-1}]^{\frac{1}{\beta}}$$

3. 실험 및 결과

여기서는 life time이 형상모수값 베타=1.5인 와이블분포를 따르는 경우에 대해, 주어진 Θ를 신뢰수준 90%로 보증하는 zero-failure test 및 3-order STM 의 합격확률곡선을 비교했다. 3-order STM 의 설계에서 P1, P2의 합격확률은 각각 π=0.7, 1-π=0.3을 사용하였다. 또한, 보증수명1,000시간, 신뢰수준 CL=0.9일때, zero-failure test의 시험시간은 각각 아래와 같다.

$$t = 1{,}000[\frac{\ln(1-CL)}{n\times\ln(1-0.1)}]^{\frac{1}{\beta}} = 1{,}684$$

반면, 3-order STM의 시험시간은 각각 아래와 같다.

$$t = \theta[\frac{-\ln((1-CL))\pi}{n}]^{\frac{1}{\beta}} = 1{,}850$$

$$t' = 1{,}000[\frac{\ln\frac{n(1-e^{-(\frac{t}{\theta})^{\beta}})}{(1-CL)(1-\pi)}}{n-1}]^{\frac{1}{\beta}} = 2{,}780$$

즉, 10개의 시료로 시험을 시작하여, P1의 총 시험시간이 1,850시간동안 zero-failure 이면 합격, 2개 이상 고장이 발생하면 불합격이다. 만약, P1에서 1개의 고장이 발생하면, 판정을 보류하고, 2,780 시간동안 시험을 계속했을때, zero-failure 이면 합격, 1개 이상의 고장이 발생하면 불합격이다. 이 결과에서 알 수 있듯이, zero failure test와 동일한 신뢰수준에서 동일한 수명을 보증하는 3단계 시험의 경우 시험시간은 다소 길어지지만, 생산자 위험이 감소함을 알 수 있다.

또한, 주어진 Θ와 시험대상부품의 실제수명의 비율을 d라 할때, d값에 따른 두 시험방식의 합격확률곡선은 그림1에 나타내고 있다.

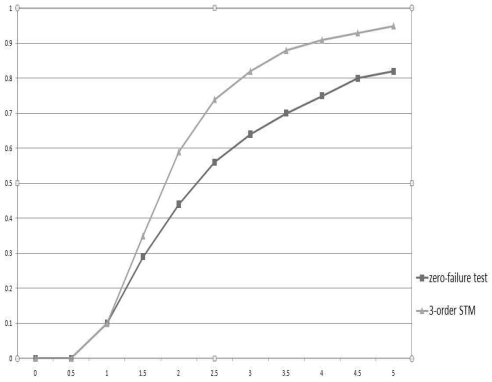

Fig. 1 zero-failure test와 3-order STM의 합격확률 비교 곡선

4. 결 론

본 연구에서는 제품의 생산단계나 시험검사단계에서 신뢰성 보증을 위해 널리 사용되고 있는 zero-failure test의 합격기준에 의한 시험방법의 대안으로서 3-order STM 시험검사방법을 제안하였다.

동일한 수명을 동일한 신뢰수준으로 보증하는 경우, 3-order STM 시험방식은 zero-failure test 에 비해 시험시간은 증가할 수도 있지만, 위 결과를 통해서 판별력 및 신뢰성이 크게 향상되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Fertig, K.W., and Mann, N.R., "Life test sampling plans for two parameter weibull population", Techmineterics, 22, pp 165-177, 1980.
2. The new weibull handbook, robert B. Abermethy, 2000.
3. MIL-STD-690C, Failure rate sampling pl문 and procedures, U.S. Dept. of defense, washing D.C., 1993.
4. Schmeider, H., "Failure censored variable sampling plans for lognormal and weibull distributions", Techmometrics, 31, pp199-206, 1989.
5. Jung-Won Park, “Development of relaibility index for comparision of components' reliability", KHSRAY, 2006.