통합신뢰성(Dependability) 시험자료 분석 및 절차에 관한 연구

이낙영(충남대학교), 김종걸(성균관대학교), 권영일(청주대학교),
홍연웅(동양대학교), 전영록(경남대학교), 나명환(조선대학교)

요 약

IEC 60300에서 규정한 신뢰성시험으로부터 얻은 시험자료(Test Data)의 형태와 자료분석에 쓰이는 통계적 도구와 자료분석도구와 분석과정에 대해서 수리가능한 제품과 불가능한 제품으로 구분하여 설명한다.

1. 서 론

본 연구는 IEC 60300의 일부분(Part 3-5)으로써 각 종 신뢰성시험으로부터 얻은 시험자료의 분석에 쓰이는 통계적 도구와 자료분석과정을 수리가능한 제품과 불가능한 제품으로 구분하여 설명한다. 2절에서는 시험자료분석에 관한 내용으로, 용어설명, 관측중단자료, 통계적 모형을 다루고, 3절에서는 자료분석에 사용되는 도구들과 분석과정을 다룬다.

2. 시험자료분석

시험자료의 통계적 처리는 시험에 적용된 관측중단방법에 따라 달라져야한다. 관측중단방법은 관측중단시점을 미리 정해놓은 시간중단방법(time censoring)(그림 1 참조), 미리 정해놓은 개수의 제품이 고장난 직후 곧바로 시험을 중단하는 고장개수중단방법(failure censoring)(그림 2 참조)등의 단순관측중단(singly censored)과 복합관측중단(multiple censoring)(그림 3 참조)으로 구분한다.

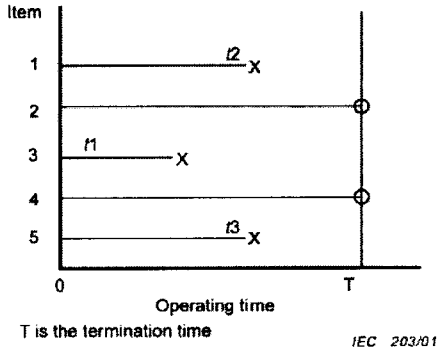

그림 1. 시간중단방법의 예

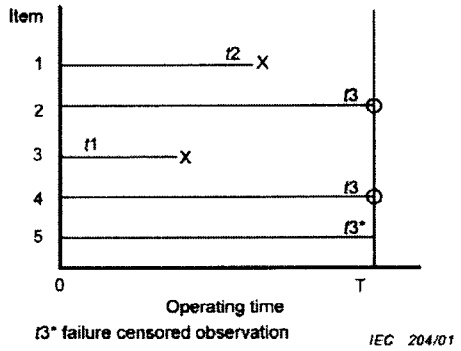

그림 2. 고장갯수중단방법의 예

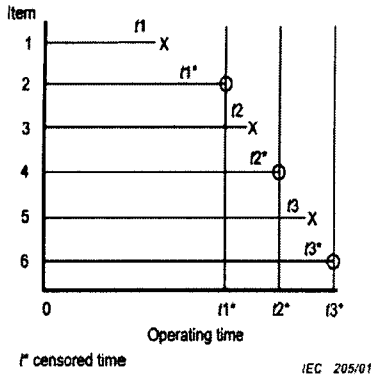

그림 3. 복합관측중단의 예

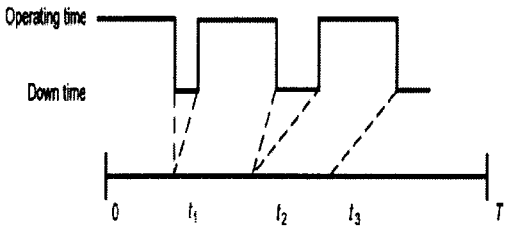

그림 4. 수리가능한 제품에 대한 고장시간들

수리가능한 제품에 대한 고장시간들은 그림 4에 나타나 있다.

신뢰성시험은 시험제품의 선택방법을 포함하여, 시험제품의 수리가능여부에 대한 구분과, 관측중단의 형태등이 시험 전에 미리 결정되어야 한다. 신뢰성 시험을 통해 관측되는 측정값들은 대부분 확률변수의 실현값으로 간주되며, 이 값들을 기초로 특정 사건이 일어날 확률의 참값(true value)을 추정할 수 있다. 전형적인 확률변수로는 고장시간(time to failure), 고장간격시간(time between failures), 특정 시간간격내에 발생하는 고장난 제품수등 이 있다. 그리고, 이전의 IEC 60605에서 고장율의 개념을 수리가능여부의 제품으로 나누지 않고, 한 가지를 사용한 잘못을 수정하여, 여기에서는 수리불가능제품(non-repaired item)과 수리가능제품(repaired item)으로 구분하여 각각 고장율과 고장밀도로 다르게 정의하였다.

수리불가능한 제품에 대해서 정의된 고장율(failure rate)은 고장시간에 대한 확률분포와 관련이 있으며, 특정 시점에서의 고장율은 그 시점까지 고장나지 않은 제품 중에서 단위시간내에 고장난 제품 수의 비율로 추정하며, 단 하나의 시험제품으로는 추정이 불가능하다. 만일 고장시간들의 분포가 지수분포라면 고장율은 상수가 되며, 고장율이 시간에 따라 증가 또는 감소하면, 고장시간의 분포는 와이블분포가 될 가능성이 높다.

한편으로 수리가능제품인 경우에 정의되는 고장밀도(failure intensity)는 고장간격시간으로부터 추정가능하며, 구체적으로는 단위시간당 고장횟수로 추정할 수 있다. 일반적으로 수리가능제품은 몇 개의 부품이나 서브시스템으로 이루어진 시스템(system)을 가르킨다. 이 경우 각 시스템의 고장과 수리가 반복되며, 고장간격시간을 계속 추적하는 것이 중요하다. 만일 고장간격들의 분포가 지수분포라면, 고장밀도는 상수가 된다. 이 경우 단위시간당 고장개수는 HPP(Homogeneous Poisson Process)으로 모형화된다. 그러나, 고장밀도가 시간에 따라 추세(증가나 감소)가 있는 경우는 NHPP(Non-homogeneous Poisson Process)으로 모형화된다.

이 절을 마감하면서 고장자료분석을 위한 적당한 모형을 분류, 정리하면 표 1 과 같다

표 1 . 고장자료분석 모형

Item	Measure	Rate/intensity	Data	Model	Comment
Non-repaired	Failure rate	Constant	(Operating) time to failure; number of failures	Times to failure are exponentially distributed	
		Non-constant	(Operating) time to failure; number of failures	Times to failure may follow a Weibull distribution	
Repaired	Failure intensity	Constant	(Operating) time between failures, number of failures	Point process; times between failure may be exponentially distributed	Number of failures may follow a homogenous Poisson process
		Non-constant	(Operating) time between consecutive failures; number of failures	Point process; times between failure may follow the power law	Number of failures may follow a non-homogenous Poisson process

3. 통계적 도구와 분석과정

IEC 60300에서 규정한 통계적 도구(statistical tools)는 다음의 4가지이며, 관련 표는 표 2, 표 3, 표 4 와 표 5이다.

1) 적합도 검정 (표 2)
2) 신뢰성측도(reliability measures)에 대한 점추정과 구간추정 (표 3)
3) 신뢰성측도에 대한 승낙시험(compliance testing) (표 4)
4) 비교시험(comparison tests) (표 5)

표 2. 적합도검정

Model	Tool	Data requirements	Output
Constant failure rate	IEC 60605-6	Numerical procedure requires a minimum of 10 observations of time to failure	Accept or reject
	IEC 60605-4 IEC 60605-6	Graphical procedure requires a minimum of four observations of time to failure, data should be complete or singly censored	
Constant failure intensity	IEC 60605-6	A minimum of six times between failures is required for a single repaired item that has been observed for a length of time	Accept or reject
Weibull	IEC 61649	Known times to failure of non-repaired items, a minimum of 10 observations of time to failure are required; data should be complete or singly censored	Accept or reject
	IEC 60605-4	Graphical procedure requires a minimum of four times to failure	
Power law model	IEC 61164 IEC 61710	Data for a repaired item from a time or a failure terminated test are required Observations should be either accumulated test time or failures grouped in intervals in a test time	Accept or reject

표 3. 신뢰성측도(reliability measures)에 대한 점추정과 구간추정

Model	Tool	Data requirements	Output
Exponential	IEC 60605-4	The number of relevant failures and accumulated relevant test time are required	Failure rate, mean time to failure, confidence limits and failure intensity
Weibull	IEC 61649	Numerical procedure requires observations of time to failure of non-repaired items	Point estimates of scale and shape parameters, confidence intervals for shape and scale, lower confidence limit for reliability function
	IEC 60605-4	Graphical procedure requires observations of time to failure	Shape parameter, scale parameter, characteristic life
Power law model	IEC 61164 IEC 61710	Time data for groups of relevant failures or time data for every relevant failure	Failure intensity, scale and shape parameters, mean operating time between failures (MTBF), confidence intervals on shape parameter and on current MTBF
Binomial	IEC 60605-4 ISO 11453	Number of failures / successes and number of trials required	Success ratio, confidence interval

표 4. 신뢰성측도에 대한 승낙시험(compliance testing)

Model	Tool	Data requirements	Output
Success or failure ratio	IEC 61123	Success or failure ratio and acceptable number of failures are required	Accept or reject
Constant failure rate or intensity	IEC 61124	Observed number of relevant failures and either accumulated relevant test time or relevant calendar test time is required	Accept or reject
Steady state availability	IEC 61070	Up times and down times for one single repaired item are required. All up times should have the same exponential distribution. Preventive maintenance time is not included in down time	Accept or reject

표 5. 비교시험(comparison tests)

Model	Tool	Data requirements	Output
Constant failure rate	IEC 61650	Sum of times to failure and number of relevant failures are required	Accept or reject
Constant failure intensity	IEC 61650	Accumulated relevant test time calculated as operating time, and the number of relevant failures are required	Accept or reject

그리고, 모수의 추정을 위한 도구와 통계적 분석과정을 흐름표로 나타낸 것이 그림 5이다.
그리고, 승낙시험과 비교시험에 사용되는 도구들과 과정을 흐름표로 나타낸 것이 각각 그림 6과 7이다.

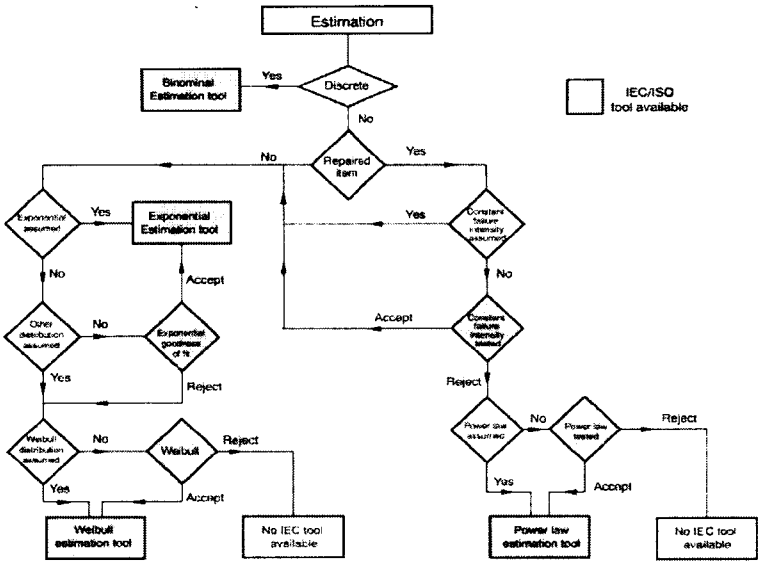

그림 5. 추정에 관한 도구와 과정

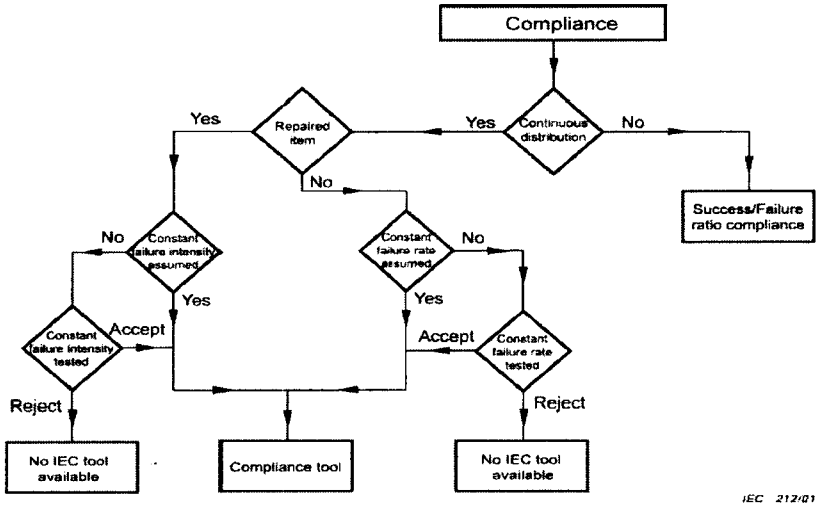

그림 6. 승낙시험을 위한 도구와 과정

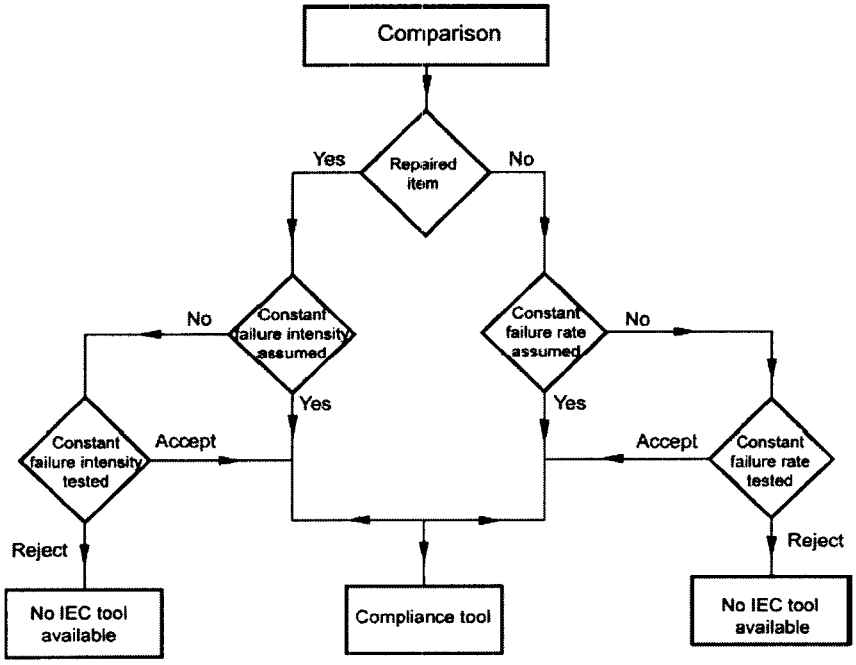

그림 7. 비교시험을 위한 도구와 과정

4. 결 론

본 연구에서는 IEC 60300에서 규정한 통계적 자료분석방법과 과정에 대해서 수리가능 제품, 불가능제품으로 구분하여 설명하였다. 국제적으로 승인, 합의된 이러한 분석방법이 우리나라의 실제 시험현장에 적용된다면, 제품의 국제경쟁력이 확보되리라 판단된다.

5. 참고문헌

1) IEC, Dependability Management- Reliability Test Conditions and Statistical Test Principles, IEC 60300-3-5, 2001.
2) Nelson, W., Accelerated Testing - Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis, John Wiley & Sons, 1990.