신뢰성 척도 및 분포의 적용
- Implementation of Reliability Measure and Distribution -

최 성 운 *
Choi Sung Woon

Abstract

This paper presents the practial guide to implementation of reliability distributions. The applicability and property of various reliability distribution will then be illustrated. Main objective of this study is to present how to use reliability distributions summary with respect to the total life cycle management. This paper provides insight info the good aspects of using relability distributions properly.
Keywords : Reliability Distribution, Applicability, Property

1. 서 론

고도로 발달된 컴퓨터 정보통신산업과 첨단 자동화산업에서 제품 또는 설비시스템의 신뢰성(Reliability)은 보전성(Maintainability), 가용성(Availability), 의존성(Dependability)과 함께 중요한 역할을 수행하고 있다. 예를 들어 우리가 매일 사용하고 있는 인터넷 네트워크가 자주 고장나거나(신뢰성), 고장나더라도 빠르게 복구되지 않아(보전성), 사용자가 사용초기에 이용할 수 없거나(가용성), 언제라도 사용자가 사용하고 싶은 경우에도 이용이 불가능할 때(의존성) 국가가 큰 혼란에 빠질 수 가 있다.[7]
그러나 정적(Static)인 관점에서 규격(Specification: 시방, 사양, 제원, 스펙)을 벗어나는 불량(Defective, Nonconforming Unit) 이나 결점(Defect, Nonconformance)을 줄이려는 품질(Quality)의 개념과 달리 신뢰성(Reliability)은 소비자의 다양한 사용조건에서 보증된 내용수명(Useful Life) 동안 규격이 고장(Failure) 나거나 클레임(Claim)이 발생되지 않으려면 시스템의 개발설계 초기단계부터 사용, 폐기까지의 전생애관리(TLCM : Total Life Cycle Management)를 완벽히 수행해 주어야 한다. 결국 신뢰성은 정적인 품질을 동적(Dynamic)인 품질로 보증시켜주는 방법이다.

---

* 경원대학교 산업공학과 교수
2005년 10월 접수; 2005년 12월 게재확정

이렇듯 신뢰성의 동적인 데이터는 정적인 품질데이터와 달리 고장데이터를 구하려고 할 경우 시간과 비용이 과도하게 소요되어 데이터를 빠르게 구하거나(ALT : Accelerated Life Test)[1], 일부분의 데이터를 구할 수 밖에 없거나(Burn-In, Censored, Truncated Test), 필드에서의 고장 또는 클레임의 데이터를 많은 투자에 의한 DB(Data Base)를 통하여 전사적으로 공유해서 사용해야만 한다.

따라서 본 연구에서는 시간과 비용이 많이 소요되는 신뢰성 데이터를 효율적으로 표현할 수 있는 확률분포(Probability Distribution)를 대상으로 경제적으로 사용될 수 있는 신뢰성 척도를 중심으로 전생애관점에서 신뢰성 분포의 특징 및 적용대상을 제시하고자 한다.

2장에서는 신뢰성에서 사용되는 신뢰성 척도의 특성 및 분포의 파악, 모수의 추정, 예측 및 진단모형에 관하여 논하고 3장에서는 전생애 분석을 욕조곡선 관점에서 적용되는 신뢰성 분포의 특징 및 적용대상을 제시하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 신뢰성 척도와 통계모형

2.1 신뢰성 척도

(1) 고장 확률밀도함수

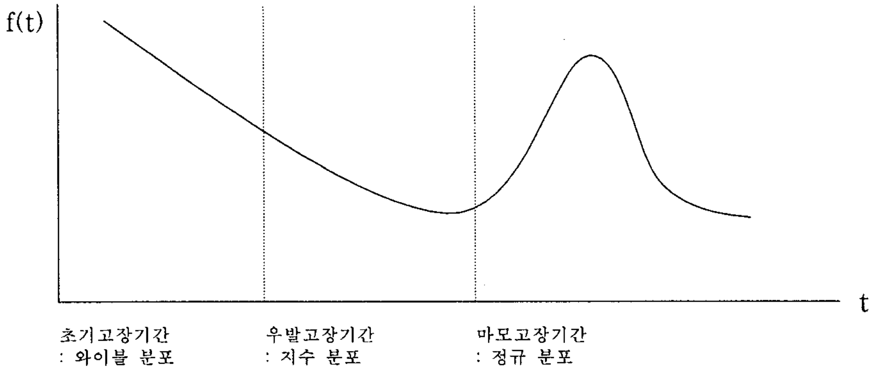
고장 확률밀도함수(PDF : Probability Distribution Function)는 분포(Distribution)의 관점에서 불규칙한 산포(Dispersion) 와 달리 일정한 모양(Shape)의 기하학적 표현이며 대수학적 관점에서 이는 함수(Function)라고 정의된다. 확률(Probability)은 객관적 상대적 비교를 위해 전체 개수를 해당되는 개수로 나누어서 1.0만점의 척도로 이용하는 방법으로 100점 만점의 퍼센트, 1,000,000점 만점의 PPM(Part Per Million)등의 불량률을 표현하는 척도와 함께 현장에서 많이 사용된다.

신뢰성에서는 고장 확률밀도함수를 확률분포 f(t)라고 표현하나 이는 전 구간에서의 모든 고장 데이터를 파악해야만 사용할 수 있기 때문에 실제 비용과 시간이 많이 소요되는 신뢰성 데이터 관점에서는 효율적이지 못한 척도이다. 예를들면 전 인구중에서 30세인 사람이 사망할 확률은 f(30)으로 표현되나 이를 구하려면 전 인구수가 파악되어야 하는 어려움이 있다. 또한 f(20) 보다 f(50)이 지속적으로 감소하는 이유는 전 인구중에서 20대보다 50대의 인구가 상대적으로 적기 때문에 죽는 사람의 비율도 50대가 적다.

두 가지 고장 원인에 대한 고장 확률밀도함수를 중첩(Superposition) 할 경우 총 고장밀도함수는 각 고장 밀도함수의 가중평균 즉 $f(t)=f_1(t)R_2(t) + f_2(t)R_1(t)$ (여기서 R(t)는 신뢰도 함수) 관계가 되어 단순히 합으로 표현되는 고장률(Failure Rate) h(t)의 선형성(Linearity)에 비해 사용하기가 불편하다.

고장률 h(t)로 시스템의 전 생애를(Total Life Cycle)를 표현할 경우 욕조곡선(Bath Tub Shape Curve)이 되어 초기고장기간(유아기), 우발고장기간(청장년기), 마모 고장

기간(노년기)의 고장률 표현이 명확(Distinctive)하게 되어 사용하기 쉬운 반면, 고장 밀도함수 f(t)로 표현할 경우 <그림1> 과 같이 초기고장기간과 우발고장기간이 명확하게 구별하기 힘들어 사용하기가 불편하다.



<그림 1> f(t)에 의한 전 생애 표현

(2) 고장 누적분포함수

고장 누적분포함수(CDF : Cumulative Distribution Function) F(t)는 t시간까지 고장되는 누적된 면적으로 $F(t) = \int_{-\infty}^{t} f(t)$에 의해 구한다. 모수모형과 비모수 모형에서 F(t)에 의한 확률용지(Probability Paper)의 그래프를 사용하여 신뢰성 분포의 파악(Identification), 추정(Estimation), 예측(Prediction), 진단(Diagnosis)의 효율성을 추구한다.

(3) 신뢰도 함수

신뢰도 함수(Reliability Function) R(t)는 t시간까지 생존되는 누적된 면적으로 고장누적분포함수와 보집합(Complement)의 관계 즉 $R(t) = 1 - F(t) = \int_{t}^{\infty} f(t)\,dt$가 성립된다. 신뢰성 분포에 따른 평균 μ, 분산 σ^2 과 함께 사용자의 주요 관심의 대상이 되는 함수이다.

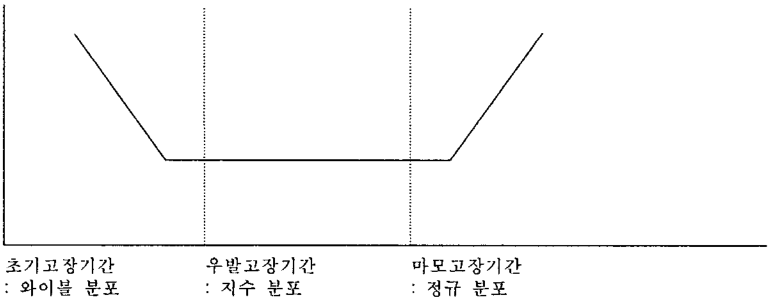
(4) 고장률

고장률(FR : Failure Rate) h(t)는 순간고장률(Instantaneous, Age-Specific Failure Rate) 또는 위험률(Hazard Rate)로 신뢰성 척도 중 가장 효율적으로 많이 사용되고 있다.

고장 확률밀도함수 f(t)가 전 구간을 대상으로 데이터를 구할 수 있는 반면에 고장률 h(t)는 특정 구간 내에서 생존한 것 중에서 특정시점에서 고장나는 데이터를 효율적으로 구할 수 있기 때문에 데이터를 구하는데 시간과 비용을 절약 할 수 있다. 이를 수

식으로 표현하면 $h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$ 이다.

전 생애 관점에서 h(t)를 표현 할 경우 f(t)의 그림1 과 달리 <그림2> 와 같은 명확한(Distinctive) 고장률의 모양이 욕조곡선과 같이 표현되어 사용하기가 수월하다. 또한 두가지 원인에 대한 고장률을 중첩할 경우 총 고장률은 각 고장원인에 대한 고장률의 합으로 나타내는 선형성을 가지고 있어 다루기가 편하다.



<그림 2> h(t)에 의한 전 생애 표

2.2 통계모형

데이터가 많은 경우 히스토그램을 이용하는 확률분포를 이용하는 방법과 데이터가 적은 경우 순위(Order, Rank)를 이용하는 방법 등 두 종류가 있다.

신뢰성 분포의 파악, 모수의 추정, 예측, 진단의 사용자들에게 어려운 분포를 쉽게 설명할 수 있도록 누적확률용지 F(t)에 자연대수(ln)을 취하여 직선형태로 변형하거나 (예: 와이블 확률용지, 정규확률용지, 대수정규확률용지), 누적 고장률 H(t) = -lnR(t)의 직선형태로 변환한다. 대부분의 신뢰성 분포가 지수함수(Exponential Function)의 형태이므로 자연대수에 의해 쉽게 직선의 형태로 가정될 수 있다. 이러한 직선에서 분포의 모수를 파악, 추정, 예측 진단 할 경우 단순 1차 회귀식(Simple Linear Regression Eguation)에 의해 쉽게 구할 수 있다.

데이터가 적은 경우 다음과 같은 순위에 의한 $F(t_i)$를 사용하여 적용 특성에 따라 각 분포에 대한 확률 용지에 플로팅하여 직선 회귀식을 구하여 모수를 추정한다.[2]

$$F(t_i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$ 메디안 순위법(Median Rank)

$$F(t_i) = \frac{i}{n+1}$$ 평균순위법(Mean Rank)

$$F(t_i) = \frac{i-0.5}{n}$$ 모드순위법(Mode Rank)

$$F(t_i) = \frac{(0.5)^{\frac{1}{2}}(2i-n-1)+n-1}{n-1} \quad \text{기타순위법}$$

$$F(t_i) = \frac{i}{n} \quad \text{기타순위법}$$

3. 신뢰성 분포의 적용

3.1 TLCA(Total Life Cycle Analysis) 과 욕조곡선

신뢰성 척도 중 h(t)가 특정시점의 고장데이터를 구하는데 시간과 비용을 가장 절약할 수 있으며(조건부 확률을 쓰는 이유), 고장률이 선형관계의 합으로 간단히 표현되며 그래프를 전생애 관점에서 작성했을 경우 그림2와 같이 각 기간별로 차이가 명확하여 사용하기가 쉽다

따라서 본 연구에서는 h(t) 욕조곡선을 전 생애 분석(TLCA)의 대상으로 하여 신뢰성 및 보전성 활동의 중요 특징을 설명하고 각 구간별 적용되는 신뢰성 분포의 특징을 기술하기로 한다.

그림2에서 초기 고장기간은 제품이 출하(Outgoing)되기 전 생산자가 개발, 설계, 생산, 시험, 검사 등 모든 활동을 통해 고장 원인을 근본적으로 제거하려는 노력이 필요하다. 초기고장에서는 인간의 백일잔치, 돐 잔치와 비슷한 Burn-In Test, 중도절단(Censored, Truncated) 시험, 축차적(Sequential) 검사, 시험기간을 단축하는 가속수명시험(ALT) 등의 신뢰성 활동과 사용자가 보전에 자유로와지는 보전예방(MP : Maintenance Prevention) 활동을 수행하게 되어 고장률이 감소하게 된다. 따라서 초기고장기간에는 감소고장률(DFR : Decreasing Failure Rate)로 나타내며 고장 발생시간이 1, 3, 6, 10, 15, 21, … 과 같이 고장시간 간격이 점점 넓게되어 고장률은 감소하는 형태의 패턴을 지니게 된다.

그림2 에서 우발고장기간은 출하(Outgoing) 후 소비자가 사용하는 기간으로 출하전 h(t)의 높이 만큼 랜덤하게 고장나는 형태이다. 이 기간에서 고장을 줄이려면 읽기 쉬운 사용 매뉴얼이나 교육에 따른 무리한 사용조건을 경감하는 노력이 필요하며 고장났을 경우 빠르게 AS(After-Sales Service)하는 사후보전(BM : Breakdown Maintenance) 과 개선하면서 AS하는 개량보전(CM : Corrective Maintenance)의 보전성 활동이 요구된다. 우발 고장기간에서 고장 발생시간을 1, 3, 4, 7, 9, 10, … 과 같이 고장 시간간격이 랜덤하게 되어 평균값인 일정한 상수로 표현할 수 밖에 없어 고장률은 일정 상수형태의 패턴을 지니게 되어 일정 상수고장률(CFR : Constant Failure Rate)로 불리운다.

이 기간에서는 평균 고장시간간격 또는 평균고장률도 중요하지만 수평선의 일정한 값에 대한 분산이 크면 평균값도 의미가 없게 된다.

일정한 상수값이 모든 구간에 적용되므로 이는 기억력이 없는(Memoryless) Markov 성질을 가지며 신뢰성, 보전성을 Poisson Process로 표현하여 가용성 등을 구할 수 있다.

그림2에서 마모고장기간은 수리(Repair) 또는 교체(Replacement)가 필요한 시기로 시간베이스 보전(TBM : Time Based Maintenance)인 예방보전(PM : Preventive Maintenance) 활동으로 MTBF, MTTF로 적정 교체주기, 예방주기를 수리이력(History)에 의해 계산되며 방대한 DB가 요구된다. 이런 DB투자를 피하기 위해 센서나 진동을 이용하는 상태베이스 보전(CBM : Condition Based Maintenance) 인 예지보전(Predictive Maintenance) 활동을 수행하나 이 역시 모니터링을 위한 계측기의 초기투자의 부담이 된다.

수리나 교체시기 이전에 선행적인 수리, 교체를 BS(Before Service)로 수행할 경우 고객감동으로 이어질 수 있다. TBM의 예방보전활동을 사용시간(Age)에 따르는 수명교체(Age Replacement), 특정 시점에 정기적으로 교체해 주는 일제, 정기교체(Block, Periodic Replacement), 수리시점 전까지의 상태로 최소 회복시켜 주는 최소수리(Minimal Repair, Repair-Limit), 시간(Aging), 횟수(Cycle), 누적손상(Cumulate Damage)에 의한 마모이론(Wear Dependent) 교체 등이 있다.[3] 마모고장기간에서 고장발생시간은 1, 7, 12, 16, 19, 21, … 과 같이 고장 시간격이 좁게되어 고장률이 증가하는 형태의 패턴을 지니게 되어 증가고장률(IFR : Increasing Failure Rate)이라 한다. 전자제품의 노년기제품, 기계의 마모, 균열에 의한 고장은 이 구간의 고장률로 표현되며 다양한 NHPP(Non-Homogeneous Poisson Process) 고장률은 보전활동과 연계해서 사용이 가능하다.[4]

3.2 연속 신뢰성분포

3.2.1 모델링 분포

모델링 분포는 원 데이터의 불규칙한 산포를 일정한 함수의 모양으로 표현한 것으로 신뢰구간 추정과 가설검정을 위한 샘플링(Sampling) 분포와 구분된다.

(1) 지수분포

지수분포(Exponential Distribution)는 1개가 몇시간 고장나느냐를 나타내는 CFR에 적용되는 분포로 MTBF, MTTF와 이의 역수인 λ가 모수가 된다. 두 지수분포의 시간의 합은 감마분포가 되며 이는 $t_1 \sim E(\lambda)$, $t_2 \sim E(\lambda)$ 일 때 $t_1+t_2 \sim G(2, \lambda)$으로 표현된다.

지수분포는 지수함수의 수학적 편리성(예 : $e^{t1}e^{t2}e^{t3} = e^{(t1+t2+t3)}$)과 Drenick의 정리에 의한 대규모 부품의 지수분포 성질의 만족 등으로 광범위하게 사용되고 있다.

그러나 지수분포의 수학적 편리성은 직렬구조에서만 성립되고 병렬구조에서는 사용이 불가능하며 시뮬레이션을 수행 할 경우 평균의 제곱형태인 분산의 크기로 인하여 시간과 불확실성이 커지게 된다. 또한 Markov 모형에서 수리분포(Repair Distribution)

는 지수분포로 일반적으로 가정하나 실제 대수정규분포가 더 적합한 경우가 많다. 모든 구간에서 같은 고장률을 갖는다는 기억이 없는 성질(Memoryless)은 이론적인 이야기이며 50년 내용연수의 제품인 경우 실제 10년된 제품과 40년된 제품이 똑같은 고장률을 갖는다는 것을 일반인에게 설득하는 것은 무리이다.[6] 지수분포에서 평균수명을 만족했을 경우 63.2%가 고장나고 36.8% 만이 생존한다는 특성수명(Characteristic Life) 또한 이 분포를 이해시키기 힘든 부분이다.

(2) 감마분포

감마분포(Gamma Distribution)는 n개가 몇시간 고장났느냐를 나타내는 DFR, CFR, IFR 전 구간에 적용되는 부포이다. 지수분포 $t_i \sim E(\lambda)$는 $y = t_1 + t_2 + \cdots + t_n$ 일 경우 대기시스템(Standby System)이 되어 $y \sim G(n, \lambda)$인 감마분포가 된다.

감마분포는 재생성가능(Reproductive) 분포로 $t_1 \sim G(n_1, \lambda)$, $t_2 \sim G(n_2, \lambda)$ 일 때 $t_1 \sim G(n_1+n_2, \lambda)$인 감마분포가 다시 생성되어 다루기가 편하다.

감마분포는 n=1 일 경우 지수분포, n=2 일 경우 $\varnothing$=2n 인 카이제곱분포를 만족하여 n이 양정수(Positive Integer) 일 경우 Ealang 분포($E_r(n, \lambda)$)로 대기이론에 적용된다. 그러나 감마분포는 한쪽에 바운드(Bound at One End)되어 언제나 원점에서 시작되는 제약분포이다.

욕조곡선에서 $0<n<1$ 일 경우 DFR, n=1 일 경우 CFR, $n>1$ 일 경우 블록모양의 IFR을 적용하며 n이 클수록 고장률은 작아진다.

(3) 정규분포

정규분포(Normal Distribution)도 재생성가능 분포로 $t_1 \sim N(\mu_1, \sigma^2)$, $t_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 일 경우 $t_1 \pm t_2 \sim N(\mu_1 \pm \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ 도 정규분포가 된다. 토목 또는 기계구조물의 스트레스-강도 구조 신뢰성 모형에서 안전계수나 신뢰도를 구하는 경우 사용되며 품질공차설계에도 적용된다.

정규분포는 욕조곡선에서 오목모양의 IFR로 노년기, 교체기의 전자제품의 수명을 나타낸다.

(4) 대수정규분포

대수정규분포는(Lognormal Distribution)는 정규분포가 아래쪽 꼬리가 고도로 왜곡된(Highly Skewed) 분포로 금속의 피로(The Cycles to Failure for Metals), 베어링의 수명, 트랜지스터의 수명, 반도체, 다이오드, 전기전열체의 수명 등 광범위하게 사용된다. 대수정규분포는 $y = t_1 \cdot t_2 \cdot t_3$ 일때 $\ln y = \ln t_1 + \ln t_2 + \ln t_3$ 의 성질을 만족한다. 꼬리가 왜곡된 분포로 이중 지수(Double Exponential)와 Cauchy 분포가 있다.

대수정규분포는 욕조곡선에서 $\sigma>1$ 일 경우 DFR, $\sigma<1$ 일 경우 IFR을 만족하며 DFR에서 σ가 클수록, IFR에서는 σ가 작을수록 급경사를 이룬다. IFR의 독특한 모양은 초기에 증가하다가 감소하면서 결국 Zero로 접근하는 패턴을 나타낸다.

(5) 와이블 분포

와이블 분포(Weibull Distribution)는 가장 광범위하고 유연성 있게 사용되는 분포로 스트레스와 강도에 관련된 금속피로, 자동차타이어 마모 고장시간, 전자제품의 고장시간 등 전기적, 기계적, 전자적 성질에 대한 수명 데이터를 구하려고 할 경우 사용된다.

와이블 분포는 약한 연결 제품에도 적용되며 와이블 분포에서 고장시간까지의 대수값으로 극단값 분포(Extreme Value Function) 분포로도 사용된다.

와이블 분포의 직렬구조는 역시 와이블 분포가 되며 이 성질은 지수분포인 경우도 성립한다.

와이블 분포에서 $\beta<1$ 일 경우 DFR, $\beta=1$ 일 경우 CFR, $\beta>1$ 일 경우 오목모양의 IFR을 하게 된다. 특히 $\beta=1$ 인 경우 지수분포가 되며, $\beta=2$ 인 경우 직선형태인 Rayleigh 분포가 되며, $\beta=2.5$ 인 경우 대수정규분포, $\beta=3.6$ 인 경우 정규분포가 된다. IFR에서 β가 커질수록 경사는 급해진다.

(6) 기타분포

베타분포(Beta Distribution)는 양쪽이 바운드 된(Bound On Both Ends) 구간으로 제약된 분포로 신뢰성공차 설계나 3점 견적법의 PERT 신뢰성 일정계획을 수립할 경우 사용된다. $\beta(\alpha, \beta)$에서 $\alpha=\beta=0$ 일 경우 일양분포(Uniform Distribution), $\alpha=\beta=-1/2$ 일 경우 Arc Sign Curve가 된다.

일양분포는 욕조곡선에서 IFR로 일양분포의 확률변수 합은 IFR의 삼각분포(Triangular Distribution)이 된다.

제로시점에서 고장이 있는 분포, 영속적으로 생존하는 분포, 혼합분포 등과 대수정규분포와 와이블분포를 일반화한 일반화 감마분포, 금속의 피로수명을 표현하기 위한 Birnbaum-Saunders 분포, 베이지안 신뢰성 모형에서 사용되는 역감마(Inverted Gamma)분포, 음로그감마(Negative-Log Gamma)분포, 역정규(Inverse Gaussian)분포, 스트레스-강도의 이변량 파레토 분포(Bivariate Pareto Distribution) 등의 여러형태의 신뢰성 분포가 존재한다.

3.2.2 샘플링 분포

샘플링분포(Sampling Distribution)는 가설검정이나 구간추정을 위한 분포로 카이제곱분포, t분포, F분포가 있다.

카이제곱분포는 MTBF의 신뢰구간을 구할 경우 사용되며 t분포는 모표준편차를 모르는 경우 MTBF의 가설검정 용도로, F분포는 두 로트의 분산수명의 비를 비교하는 용도로 이용된다.

3.3 이산신뢰성 분포

(1) 포아송 분포

지수분포의 모수 MTBF, MTTF를 역수로 취하게 되면 고장률 λ로 되며, 이 경우 포

아송분포(Poisson Distribution)를 하게 된다. 즉 고장시간간격은 지수분포로, 고장률은 포아송 분포를 수행하게 된다.

포아송분포는 t시간에 몇 개 고장나느냐를 나타내는 재생성가능 분포로 $t_1 \sim P(\lambda_1)$, $t_2 \sim P(\lambda_2)$ 일 경우 $t_1 + t_2 \sim P(\lambda_1 + \lambda_2)$가 된다.

욕조곡선에서 포아송분포는 역수형태로 CFR인 지수분포가 되어 $h(t) = \lambda$ 인 프로세스를 HPP(Homogeneous Poisson Process)라 한다.

(2) 이항분포

이항분포(Binomial Distribution) 는 주어진 고정된 n개의 시료에서 정확히 x개가 고장날 확률을 구하는 경우 사용되는 재생가능 분포로 $t_1 \sim b(n_1, p)$, $t_2 \sim b(n_2, p)$ 일 경우 $t_1 + t_2 \sim P(n_1+n_2, p)$가 된다. 이항분포는 n개중 k구조의 리던던시 설계에서 시스템의 신뢰도를 구할 경우도 사용된다. 기하분포(Geometric Distribution)는 주어진 고정된 첫 번째 고장이 몇 번째 시료에서 고장나는가를 알아보는 경우 사용된다. 이를 주어진 고정된 n번째 고장이 몇 번째 시료에서 고장나는가를 일반화한 것이 음이항(Negative Binomial)분포 또는 Pascal 분포이다.

초기하분포(Hypergeometric Distribution)는 소프트웨어의 신뢰성 성장모형을 추정하고 예측하는 경우 사용되는 분포이다.[5]

4. 결 론

본 연구는 시간과 비용이 많이 소요되는 신뢰성 데이터를 효율적으로 사용 할 수 있는 확률분포를 대상으로 각 분포의 중요 특징 및 적용방안을 제시하였다. 신뢰성 분포의 장점과 단점에 따른 실무에서의 올바른 적용은 신뢰성 데이터를 효율적이고 효과적으로 파악, 추정, 예측, 진단하게 되어 개발시험기간의 단축으로 이어질 수 있다. 신뢰성에 관련된 원자력발전소, NASA, IEEE, 미국 군사규격 등을 적용할 경우 신뢰성 분포의 특징 및 장단점을 선행적으로 이해했을 때 신뢰성 연구성과는 증폭될 수 있다.

향후 연구는 3장에서 언급했던 다양한 기타 분포의 특징 및 장단점을 제시하여 신뢰성 실무자가 쉽게 사용할 수 있는 지침을 제공하는 것이다.

5. 참 고 문 헌

[1] 윤상운, 가속화 신뢰도 분석, 자유아카데미, 1994.
[2] 이상용, 신뢰성공학, 형설출판사, 1997.
[3] 박경수, 신뢰도 및 보전공학, 연지문화사, 1999.
[4] S.W. Choi, S.H. Lee, "Replacement Policies Under Minimal Repair with Cyclic Failure Rates." International Journal of Management Science," 5(1999) 43-53.

[5] R.H. Hou, S.Y. Kuo, Y.P. Chang, "Optimal Release Ploicy for Hypergeometric Distribution Software Reliability Growth Model," IEEE Trans. Reliability, 45(1996) 645-651.

[6] K.E. Murphy, C.M. Carter, S.O. Brown, "The Exponential Distribution : the Good, the Bad and the Ugly, A Practial Guide to its Implementation," 2002 Proceedings Anual Reliablity and Maintainability Symposium, (2002) 550-555.

[7] T. Omdahl, Quality Dictionary, QCI, West Terre Haute, 1997.

저 자 소 개

최 성 운 : 현 경원대학교 산업공학과 교수 재직 중, 한양 대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행하였으며, 2002년부터 1년 반 동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터 · 정보통신시스템의 신뢰성 설계 및 분석, RFID시스템에도 관심을 가지고 있음.