

랜들리 및 어랑 수명분포에 의존한 소프트웨어 신뢰성 모형에 대한 신뢰도 속성 비교 연구

양태진*

A Comparative Study on Reliability Attributes for Software Reliability Model Dependent on Lindley and Erlang Life Distribution

Tae-Jin Yang*

요약 소프트웨어 개발시행 과정에서 소프트웨어 신뢰성은 매우 기본적이고 필수적인 문제 중에 하나이다. 소프트웨어 고장현상을 파악하기 위하여 비동질적인 포아송 과정에서 순간 고장률인 강도함수가 고장시간에 독립적으로 일정하거나, 증가형 혹은, 감소형 추세를 가질 수 있다. 본 논문에서는 소프트웨어 설계 과정에서 강도형태가 감소패턴을 따르는 랜들리 수명분포와 증가하다가 감소하는 어랑수명 분포를 활용한 소프트웨어 신뢰속성 모형에 대하여 신뢰도 장단점에 관한 연구를 하였다. 소프트웨어 고장현상을 파악하기 위하여 모수추정은 최우추정법을 적용하였다. 따라서, 본 논문에서는 소프트웨어 고장시간 자료를 적용하여 소프트웨어 신뢰도를 비교하고, 평가하였다. 그 결과, 랜들리 모형이 어랑분포 모형보다 신뢰도가 상승하는 것으로 나타났으나, 어랑분포 모형에서는 형상모수가 높을수록 높은 신뢰도를 나타내는 추세를 보였다. 본 논문을 통하여 소프트웨어 기획 부서에서는 특정한 수명분포와 형상모수를 활용함으로써 소프트웨어 고장분석을 활용한 소프트웨어 신뢰성 모형에 대한 신뢰성 속성을 적용한 데이터 및 기본 지식을 제공함으로써 소프트웨어 설계에 실질적인 도움을 줄 수 있다.

Abstract Software reliability is one of the most basic and essential problems in software development.

In order to detect the software failure phenomenon, the intensity function, which is the instantaneous failure rate in the non-homogeneous Poisson process, can have the property that it is constant, non-increasing or non-decreasing in dependently at the failure time. In this study, was compared the reliability performance of the software reliability model using the Landely lifetime distribution with the intensity function decreasing pattern and Erlang lifetime distribution from increasing to decreasing pattern in the software product testing process. In order to identify the software failure phenomenon, the parametric estimation was applied to the maximum likelihood estimation method. Therefore, in this paper, was compared and evaluated software reliability using software failure interval time data. As a result, the reliability of the Landely model is higher than that of the Erlang distribution model. But, in the Erlang distribution model, the higher the shape parameter, the higher the reliability. Through this study, the software design department will be able to help the software design by applying various life distribution and shape parameters, and providing software reliability attributes data and basic knowledge to software reliability model using software failure analysis.

Key Words : Software reliability model, Lindely distribution, Erlang distribution, Reliability attributes, NHPP

1. 서론

소프트웨어 테스트 시행에서 효율적인 시행은 소프트웨어의 신뢰성 모형에 대한 고장패턴을 사전에 예측 할 수 있다면 효율적 개발 수행과정이

될 수 있다. 따라서, 신뢰성과 최소비용 및 소프트웨어 인도시기에 대한 인도 추정시간을 활용한 소프트웨어 개발수행 과정은 필수적인 기본문제가 된다. 결국, 소프트웨어 제품의 결함요인 내용을 미리 예측하기 위한 모형개발이 필요한 상황에 직

Funding for this paper was provided by Namseoul University year 2017

*Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Namseoul University(solomon645@nsu.ac.kr)

Received October 15, 2017

Revised October 19, 2017

Accepted October 19, 2017

면하게 된다. 이러한 상황에서 테스트 비용을 최소화하기 위한 많은 연구들이 진행되었다. 현재까지 많은 소프트웨어 신뢰성 분석에 대한 모형이 제시되어 왔다. 제안된 모형 중에서 비동질적 포아송 과정(Non-Homogeneous Poisson Process ; NHPP)을 활용한 모형[1]은 결합 탐색분석 측면에서 신뢰성 있는 모형이고, 결합이 발생하면 즉시 제거되고 디버깅 과정에서 또 다른 결합이 발생하지 않는다는 가정을 두고 있는 모형이다.

Goel과 Okumoto[2]은 소프트웨어 누적 결함수가 S-형태 혹은 지수적 추세(S-shaped or exponential-shaped)를 가진 평균값함수(Mean value function)를 이용한 지수적 소프트웨어 신뢰성모형(Exponential software reliability growth model)을 제안하였다.

이러한 모형을 확장하여 Huang[3]은 일반화 로지스틱 테스트 노력함수(Generalized logistic testing-effort function)와 변환점 모수(Change-point parameter)를 적용한 효율적인 소프트웨어 신뢰성을 분석하는 기법을 제시하기도 하였다. 그리고 고장 관찰측면에서 S-형태 모형은 소프트웨어 운용자들이 소프트웨어 고장 검사 도구에 활용될 수 있는 학습과정 기법을 제시하였다[4]. 그리고 이러한 모형의 응용측면인 공정관리 분석에서 김희철[5]은 레일리 형과 버르형 NHPP 소프트웨어 신뢰모형에 관한 통계적 공정관리 접근방법을 적용하여 비교 평가한 연구 결과에 의하면, 레일리형 분포 모형 보다는 버르형 분포 모형이 신뢰성 특성 측면에서 상대적으로 효율적인 모형으로 간주됨을 확인하였다.

이러한 사전연구를 기초로 하여 본 논문에서는 소프트웨어 제품 테스트 비교 수행에서 강도함수가 감소패턴을 가지는 랜들리 수명분포와 증가하다가 감소하는 속성을 가지는 어랑수명분포를 적용한 소프트웨어 신뢰성 모형에 대하여 신뢰도 속성에 대하여 비교, 연구하였다.

2. 기본연구

2.1 랜들리분포

랜들리분포(Lindley Distribution)는 [6, 7]는

Lindley에 의해 소개된 분포로 확률밀도함수는 다음과 같다[6, 7].

$$f(t) = \frac{b^2}{b+1} (1+t) e^{-bt}, \quad b > 0, t > 0 \quad (1)$$

이 분포는 지수분포와 감마분포의 혼합(Mixture) 구조 형식이 된다[6]. 이 분포의 누적분포함수는 다음과 같다.

$$F(t) = 1 - \frac{b+1+bt}{b+1} e^{-bt} \quad (2)$$

Ghitany[7]는 이분포의 특징을 설명하고 지수 분포보다 효율적 모형임을 확인하였다.

2.2 어랑 분포

어랑 분포(Erlang distribution)는 형상모수(a)와 척도모수(b)를 가지는 확률밀도함수와 분포함수는 다음과 같은 형태로 알려져 있다[8].

$$f(t) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} t^{a-1} e^{-bt} \quad (3)$$

$$F(t) = \left(1 - e^{-bt} \sum_{i=0}^{a-1} \frac{(bt)^i}{i!} \right) \quad (4)$$

단, $a, b > 0, a = 1, 2, 3, \dots, t \in [0, \infty]$

3. 유한고장 NHPP모형 및 모수추정

2.1 랜들리분포 모형

유한고장 NHPP모형에서는 관측시간 $(0, t]$ 까지 관찰되어 질 수 있는 결함의 기대값을 θ 로 나타내면 (1)식과 (2)식을 이용한 랜들리분포의 NHPP의 강도함수와 평균값 형태는 다음 식으로 나타낼 수 있다[9].

$$\lambda(t|\theta, b) = \theta f(t) = \theta \left(\frac{b^2}{b+1} (1+t) e^{-bt} \right) \quad (5)$$

$$m(t|\theta, b) = \theta F(t) = \theta \left(1 - \frac{b+1+bt}{b+1} e^{-bt} \right) \quad (6)$$

관측시간 $(0, t]$ 까지 관측하기 위한 정시중단(Time truncated) 모형일 경우 n 번째까지 고장시점 자료 x_n 으로 표시면 우도함수는 (5)식과 (6)식을 활용하면 형태는 다음 식으로 나타 낼 수 있다[10].

$$L_{NHPP}(\theta | \underline{x}) = \left(\prod_{i=1}^n \lambda(x_i) \right) \exp[-m(x_n)] \quad (7)$$

$$= \left[\prod_{i=1}^n \theta \frac{b^2}{b+1} (1+t) e^{-bt} \right] \cdot \exp \left[-\theta \left(1 - \frac{b+1+bt}{b+1} e^{-bt} \right) \right]$$

단, $x_n = \sum_{i=1}^n t_i$ ($i=1,2,\dots,n; 0 \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$)

모수추정 방법은 최우추정법(Maximum likelihood estimation; MLE)을 적용하였다. 따라서 (9)식에서 θ 와 b 에 대하여 편미분을 적용하면 다음과 같은 조건을 만족하는 모수 $\hat{\theta}_{MLE}$ 와 \hat{b}_{MLE} 을 수치 해석적 방법을 동원하면 계산 할 수 있다 [10].

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial \theta} = \frac{n}{\theta} - 1 + \frac{b+1+bx_n}{b+1} e^{-bx_n} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial b} = \frac{2n}{b} - \frac{n}{b+1} \sum_{i=1}^n x_i + \theta e^{-bx_n} (x_n - b^2 x_n^2 + b - b^3 x_n^3 - b^3) = 0 \quad (9)$$

2.2 어랑분포 모형

랜들리 분포 모형과 유사하게 어랑 분포 유한고장 NHPP모형의 로그우도함수는 다음과 같은 형식으로 유도 할 수 있다 [8, 13].

$$\ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x}) = n \ln \theta - n \ln \Gamma(a) + na \ln b + (a-1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - b \sum_{i=1}^n x_i - \theta + \theta e^{-bx_n} \left(\sum_{i=0}^{a-1} \frac{(bx_n)^i}{i!} \right) \quad (10)$$

(10)식에서 θ 와 b 에 대하여 편미분을 수행하면 모수

인 최우추정값 $\hat{\theta}_{MLE}$ 와 \hat{b}_{MLE} 을 수치 해석적 방법을 동원하면 계산 할 수 있다.

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial \theta} = \quad (11)$$

$$\frac{n}{\theta} - 1 + e^{-bx_n} \left(\sum_{i=0}^{a-1} \frac{(bx_n)^i}{i!} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial b} = \quad (12)$$

$$\frac{an}{b} - \sum_{i=1}^n x_i + \frac{\partial \left[\theta e^{-bx_n} \left(\sum_{i=0}^{a-1} \frac{(bx_n)^i}{i!} \right) \right]}{\partial b} = 0$$

본 연구에서는 분포의 속성을 표현하는 형상모수 $a=1,2,3$ 인 경우를 고려하고자 한다[14].

즉 형상모수 $a=1$ 인 상황을 고려하면 다음과 같은 속성으로 적용 할 수 있다.

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial \theta} = \frac{n}{\theta} - 1 + e^{-bx_n} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial b} = \quad (14)$$

$$\frac{n}{b} - \theta x_n e^{-bx_n} - \sum_{i=1}^n x_i = 0$$

유사한 방법으로 형상모수 $a=2$ 인 상황도 다음과 같은 속성으로 유도 할 수 있다.

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial \theta} = \quad (15)$$

$$\frac{n}{\theta} - 1 + e^{-bx_n} (1 + bx_n) = 0$$

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial b} = \quad (16)$$

$$\frac{2n}{b} - \theta b x_n^2 e^{-bx_n} - \sum_{i=1}^n x_i = 0$$

형상모수 $a=3$ 인 경우는 다음과 같이 적용된다.

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | \underline{x})}{\partial \theta} = \quad (17)$$

$$\frac{n}{\theta} - 1 + e^{-bx_n} \left(1 + bx_n + \frac{x_n^2}{2} b^2 \right) = 0$$

$$\frac{\partial \ln L_{NHPP}(\theta | x)}{\partial b} = \frac{3n}{b} - \theta b^2 \frac{x_n^3}{2} e^{-bx_n} - \sum_{i=1}^n x_i = 0 \tag{18}$$

4. 소프트웨어 고장시간을 이용한 신뢰도 속성분석

이 절에서는 소프트웨어 고장 시간데이터[11] (Failure time data)을 적용하여 본 논문에서 제시하는 소프트웨어 신뢰성 모형에 대한 신뢰도 특성을 분석하고자 한다. 이 자료의 고장시간은 표 1에 수록되었다.

표 1. 소프트웨어의 고장시간데이터
Table 1. software failure time data

Failure number	Failure time (hours)	Failure numbe	Failure time(hours)
1	30.02	16	151.78
2	31.46	17	177.50
3	53.93	18	180.29
4	55.290	19	182.21
5	58.720	20	186.34
6	71.920	21	256.81
7	77.070	22	273.88
8	80.900	23	277.87
9	101.90	24	453.93
10	114.87	25	535.00
11	115.34	26	537.27
12	121.57	27	552.9
13	124.97	28	673.68
14	134.07	29	704.49
15	136.25	30	738.68

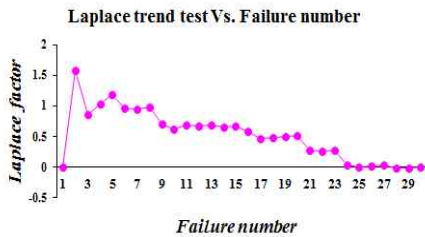


그림 1. 라플라스 추세검정의 결과
Fig. 1. Result of Laplace trend test

또한 자료에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 추

세 검정이 선행 되어야 하며[7, 11] 본 연구에서 추세분석은 라플라스 추세검정(Laplace trend test)을 적용하였다. 그림 1에서 라플라스 추세 검정에서 라플라스요인(Factor)이 -2와 2사이에 분포함으로서 안정된 분포를 가진다. 즉, 이상값(Extreme value)이 발생하지 않으므로 이 자료를 적용하여 소프트웨어 신뢰도 모형을 분석하는 방법이 타당함을 보이고 있다[5, 12]. 모수추정은 최우추정법을 적용하고 모수추정에 대한 수렴성을 확보하기 위하여 원래의 고장 데이터를 수치변환(Failure time × 10⁻²)하여 이용하였다. 비선형 방정식의 계산방법은 수치 해석적 기본방법인 이분법(Bisection method)을 적용하였다. 이러한 계산은 초기 값을 0.01과 10.00을, 허용한계 (Tolerance for width of interval)는 10⁻⁵ 을 기준으로 하고 수렴성을 확인 해 가면서 충분한 수렴이 가능한 반복횟수인 50번을 C-언어를 이용하여 모수 추정을 수행하였고, 그 결과는 표 2에 수록되었다.

표 2. 형상모수에 따른 모수 추정값
[Table 2. Parameter estimation considering the shape parameter

Model	Shape parameter	MLE	Model Comparison	
			MSE	R ²
Lindley		$\hat{\theta}_{MLE} = 30.4691$ $\hat{b}_{MLE} = 1.346$	43.991	0.959
	a = 1	$\hat{\theta}_{MLE} = 33.4092$ $\hat{b}_{MLE} = 3.089 \times 10^{-1}$	5.8501	0.938
Erlang	a = 2	$\hat{\theta}_{MLE} = 30.5978$ $\hat{b}_{MLE} = 7.922 \times 10^{-1}$	14.191	0.932
	a = 3	$\hat{\theta}_{MLE} = 31.2672$ $\hat{b}_{MLE} = 1.2425$	23.476	0.915

Note. MLE : Maximum likelihood estimation;
R² : Coefficient of determination;
MSE : Mean square error ;

표 2에서 효율적인 모형 선택을 위한 척도인 평균제곱오차(MSE)는 실제 관찰 값과 예측 값에 대한 차이를 측정하는 척도로서 다음과 같은 식으로 알려져 있다[4, 8].

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (m(x_i) - \hat{m}(x_i))^2}{n - k} \quad (19)$$

단, $m(x_i)$ 은 시간 $(0, x_i]$ 까지 관찰된 고장들의 누적개수 이고 $\hat{m}(x_i)$ 는 x_i 시점까지 평균값 함수로부터 추정된 고장의 누적개수로 활용된다. 그리고 n 은 적용된 자료의 고장의 수이고 k 는 추정된 모수의 수를 나타낸다. 즉 효율적인 모형 선택에 있어서 평균제곱오차 값이 작으면 상대적으로 효율적인 모형이 된다. 또한, 결정계수(R^2)는 관찰값의 차이에 대한 설명력을 나타내는 척도를 의미하고 그 형식은 다음과 같은 식으로 알려져 있다 [4, 8].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (m(x_i) - \hat{m}(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n \left(m(x_i) - \frac{\sum_{j=1}^n m(x_j)}{n} \right)^2} \quad (20)$$

즉 비교에 있어서 결정계수 값이 크면 오차가 작아 상대적으로 효율적인 모형이 된다.

결과적으로 표 2에 사용된 척도에서 평균제곱오차의 추정값은 대체적으로 Lindley모형이 Erlang분포모형보다 큰 추정값을 나타내고 있고 Erlang분포모형에서는 형상모수 $a=1, a=2$ 인 경우보다 형상모수 $a=3$ 경우가 큰 추정값을 나타내고 있다. 즉 Erlang분포모형이 Lindley모형보다 효율적 모형으로 판단 할 수 있고 Lindley모형에서도 형상모수가 작을수록 효율적 모형으로 간주될수 있다. 그러나 예측 값의 차이에 대한 설명력을 의미하는 척도인 결정계수(R^2)는 Lindley모형이 Erlang분포모형보다 높은 추정값을 나타내고 있고 Erlang분포모형에서는 형상모수 $a=1, a=2$ 인 경우보다 형상모수 $a=3$ 경우가 작은 추정값을 나타내고 있다. 즉 Lindley모형이 Erlang분포모형보다 효율적 모형으로 판단 할 수 있고 Erlang분포모형에서는 형상모수가 작을수록 효율적 모형으로 간주 될 수 있다.

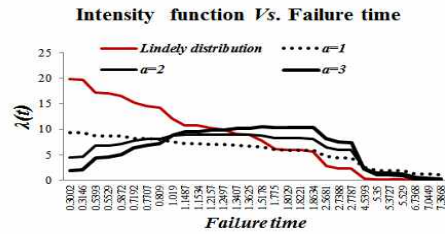


그림 3. 강도함수의 추이
Fig. 3. Transition of intensity function

그림 3은 강도함수에 대한 추세를 나타내었다. 요약 되었다. 이 그림에서 Lindley모형은 고장 시간이 흘러감에 따라 감소추세 나타내고 있지만 Erlang분포모형은 증가하다가 감소패턴을 보이고 있다. 특히 형상모수가 높을수록 증가 추세를 보이고 있다.

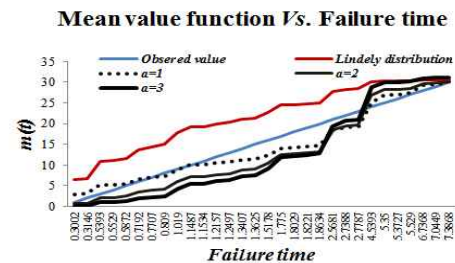


그림 4. 평균값 함수의 형태
Fig. 4. Pattern of mean value function

그림 4은 평균값 함수에 대한 패턴에 대한 추이가 요약되었다. 이 그림에서 Lindley모형은 참값과의 차이에서 과대평가 패턴을 보이고 있고 Erlang분포모형은 증가하다가 감소패턴을 보이고 있다. 특히, 형상모수가 높을수록 증가 추세를 보이고 있어서 형상모수가 작을수록 참값과의 차이의 폭이 작게 추정 되었다.

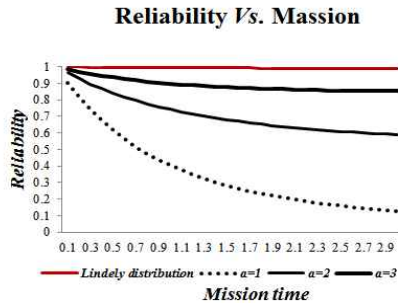


그림 4. 신뢰도의 추이

Fig. 4. Transition of reliability

NHPP 모형에서 테스트 시점 x_n 에서 소프트웨어 고장이 발생하고 신뢰구간 $(7.3863, 7.3863 + t]$ (단, t 는 임무시간(Mission time), $x_{30} = 7.3896$) 사이에서 소프트웨어의 고장이 발생하지 않을 확률인 신뢰도(Reliability) $\hat{R}(t | 7.3863)$ 는 다음과 같은 특성으로 유도된다[4, 8].

$$\hat{R}(t | 7.3863) = e^{-\int_{7.3863}^{7.3863+t} \lambda(\tau) d\tau} \quad (23)$$

$$= \exp[-\{m(t + 7.3863) - m(7.3863)\}]$$

즉, 그림 4의 임무시간에 대한 신뢰도 그림에서는 전체적으로 Lindley모형이 Erlang분포모형보다 신뢰도 상승으로 나타나고 있고 Erlang분포모형에서는 형상모수가 높을수록 높은 신뢰도를 나타내는 추세를 보이고 있다.

5. 결론

소프트웨어 신뢰성은 개발의 최종 수행과정이나 소프트웨어 운용자가 운용하는 동안 소프트웨어 포함된 결함 수와 고장 발생시간을 근거로 하여 효율적 모형 선택 및 평가 기술이 필요한 상황이다. 따라서, 소프트웨어 개발의 테스트 수행이나 실제 운용단계에 있어서 고장 발생 특성이나 고장 발생추세를 정량적으로 모형화할 수 있으면 모형 선택 및 효율적 모형 척도 추정이 가능하다. 따라서, 본 논문에서는 소프트웨어 운용자들이 소프트

웨어 고장특성 파악에 예측할 수 있는 수명분포가 고유한 특성을 가지는 랜들리 분포와 어랑분포의 형상모수 모형에 대하여 신뢰도 특성에 대한 접근방법을 연구 하였다.

본 논문의 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

첫째, 실제 관찰 값과 예측 값에 대한 차이를 비교하는 척도인 평균제곱오차의 추정값은 전체적으로 Lindley모형이 Erlang분포 모형보다 큰 추정값을 나타내고 있고, Erlang분포 모형에서는 형상모수가 작을수록 효율적 모형으로 간 주 될 수 있다. 그러나, 예측 값의 차이에 대한 설명력을 나타내는 척도인 결정계수 측면에서는 Lindley모형이 Erlang분포 모형보다 높은 추정값을 나타내고 있어서 Lindley모형이 Erlang분포모형보다 효율적 모형으로 판단 할 수 있으나, Erlang분포 모형에서는 형상모수가 작을수록 효율적 모형으로 간 주될 수 있다.

둘째, 순간고장률인 강도함수의 측면에서는 Lindley모형은 고장시간에 의존한 패턴 특성은 김 소형태를 보이고 있지만 Erlang분포 모형은 증가하다가 감소패턴을 보이고 있다. 특히, 형상모수가 높을수록 증가 추세를 나타내고 있다.

셋째, 평균값 함수의 패턴에 있어서는 Lindley모형은 참값과의 차이에서 과대평가 패턴을 나타내는 추정값을 보이고 있고 Erlang분포모형은 증가하다가 감소패턴을 보이고 있다. 특히, 형상모수가 높을수록 증가추세를 보이고 있어서 형상모수가 작을수록 참값과의 차이의 폭이 좁게 추정 되었다.

넷째, 신뢰도에 있어서는 Lindley모형이 Erlang분포 모형보다 신뢰도 상승으로 나타나고 있고, Erlang분포모형에서는 형상모수가 높을수록 높은 신뢰도를 나타내는 추세를 보이고 있다. 결론적으로, 본 논문의 내용을 활용하여 소프트웨어 운용부서에서는 고유한 수명분포와 형상모수를 적용함으로써 소프트웨어 고장분석을 적용한 소프트웨어 신뢰성 모형에 대한 특징을 활용하면 소프트웨어 설계 및 테스트 작업에 실질적인 지침이 될 수 있으리라 판단된다.

REFERENCES

[1] Gokhale, S. S. and Trivedi, K. S. A, "time/structure ased software reliability model", Annals of oftware Engineering. 8, pp. 85-121. 1999.

[2] Goel A L, Okumoto K, "Time-dependent fault etection rate model for software and other performance measures", IEEE Trans. Reliab. 28, pp. 206-11, 1978.

[3] Huang C-Y. Performance analysis of software reliability growth models with testing-effort and change-point. J Syst Software. 2005; 76:181 -94.

[4] Kuei-Chen, C., Yeu-Shiang, H, and Tzai-Zang, L., "A study of software reliability growth from the perspective of learning effects", Reliability Engineering and System Safety 93, pp. 1410 -1421, 2008.

[5] Hee-Cheul KIM, "The Assessing Comparative Study for Statistical Process Control of Software Reliability Model Based on Rayleigh and Burr Type", Journal of korea society of digital industry and information management, Volume 10, No.2, pp. 1-11. 2014.

[6] Rama Shanker and A. Mishra, "A quasi Lindley distribution", African Journal of Mathematics and Computer Science Research, 6(4), pp.64-71.2013.

[7] Adhikari, T. R. and Srivastava, R. S., "Poisson-Size-biased Lindley Distribution", International Journal of Scientific and Research Publications 4(Issue 1),1-6, 2014.

[8] Kim H-C. "The Property of Learning effect based on Delayed Software S-Shaped Reliability Model using Finite NHPP Software Cost Model, Indian Journal of Science and Technology 8(34), pp.1-7, 2015.

[9] Tae-Hyun Yoo, "The Infinite NHPP Software Reliability Model based on Monotonic Intensity Function", Indian Journal of Science and Technology, Volume 8, No.

14, pp. 1-7, 2015.

[10]Hong-kyu Kwon and Hee-cheul Kim, "A Comparative Software Development Cost Model based on Hazard Function of Lindley Distribution", Information, Volume 19, No. 11(A), pp. 5137-5144, 2016.

[11] R. Satya Prasad, K. R. H. Rao and R.R. L Kantha, "Software Reliability Measuring using Modified Maximum Likelihood Estimation and SPC", International Journal of Computer Applications (0975 -8887) 21(7), pp. 1-5 2011.

[12]K. Kanoun and J. C. Laprie, "Handbook of Software Reliability Engineering", M.R.Lyu, Editor, chapter Trend Analysis. McGraw-Hill New York, NY, pp. 401-437, 1996.

[13] Tae-Jin Yang, " A Performance Comparative Evaluation for Finite and Infinite Failure Software Reliability Model using the Erlang Distribution",The Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Volume 9, No 4, pp. 351-358, 2016.

[14] Tae-Jin Yang, " The Comparative Software Development Cost Model Considering the change in the shape parameter of the Erlang Distribution",The Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Volume 9, No 6, pp. 566-572, 2016.

저자약력

양 태 진 (Tae-Jin Yang)

[정회원]



- 1992년 2월: 한양대학교 전자공학과 공학석사
- 1995년 2월: 한양대학교 전자공학과 공학박사(수료)
- 1986년 3월 ~ 1992년 2월 : 현대 그룹 신규사업부 과장
- 1993년 3월 ~ 2013년 12월 : 서울 호서전문학교 정보통신공학과 교수 산학협력 차장, 학생처장, 교수부장
- 2014년 3월~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 소프트웨어신뢰성 공학, 인공지능(Artificial - Intelligent), Intelligent-Network & Network-Security