

## S/W 시스템의 최적발행시각에 관한 연구

최규식  
건양대학교 정보전자통신공학부

### A Study on the Optimum Release Time

Che, Gyu Shik  
Information & Communication Dept. in Konyang University

**Abstract** - S/W 시스템을 개발하여 테스트한 후 발행시기를 결정함에 있어서 그동안의 비용-신뢰도를 동시에 고려하여 최적발행시기를 결정하고자 하는 연구결과가 얼마나 현실적으로 합리적이고 타당한가를 고찰하고자 한다. 연구방법으로서는 일반적인 비용-신뢰도 최적발행에 대한 기준의 관련논문을 중심으로 제시된 연구방법들에 대해서 연구해보고, 특히 그 최적발행정책의 한계성에 대해서 중점적으로 연구하고자 한다.

#### 1. 서론

1970년대 이후 여러 가지 S/W의 신뢰도 모델이 제시되고 검토되었으며, S/W의 신뢰도를 정량적으로 측정하기 위한 많은 연구가 행해졌다. S/W의 테스트기간이 길면 길수록 S/W의 신뢰도가 더 높아질 것이다. 그러나, 개발 S/W를 너무 늦게 발행하면 그에 따른 비용이 증가되고, 사용자에게 불만을 주게 된다. 그러므로, S/W 개발에서 중요한 문제는 언제 S/W의 테스트를 중단하여 발행하느냐 하는 것이다.[1-4] Okumoto와 Goel[1]은 전체평균 S/W 비용을 최소화시키는 비용-최적 SRP를 발표하였다. Yamada와 Osaki[4]는 전체평균 비용을 최소화시키고 S/W 신뢰도를 만족시키는 전체평균비용-신뢰도-최적 SRP를 도입하였다. 이러한 연구결과를 참조하여 Hou, Kuo, Chang[5]은 지수곡선과 로지스틱 곡선에 적용하는 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 지금까지 연구된 비용과 신뢰도에 대한 두 개의 기준을 동시에 고려하여 발행시기를 결정하는 최적발행정책에 대해서 연구해보고, 특히, 이러한 연구결과의 한계에 대해서 연구하고자 한다.

#### 기호설명

$N(t)$  : 시각  $t$ 까지 검출되는 S/W의 누적에러 갯수  
 $a$  : 초기부터 S/W내에 존재하고 있는 에러의 갯수  
 $b, b_1, b_2$  : 에러검출비, 일반적인 경우, 테스트기간 중, 발행후 운전기간중,  $b_1 \geq b_2$   
 $m(t)$  :  $E[N(t)]$ , 평균치 함수  
 $R(x|t)$  : S/W의 신뢰도, 시각  $t$  ( $x \geq 0$ )에서 에러가 검출된 후  $(t, t+x)$ 에서 고장이 일어나지 않을 확률  
 $R_o$  : 목표신뢰도,  $0 < R_o < 1$   
 $c_1$  : 테스트기간중에 검출되는 에러를 수정하는 단위비용,  $c_1 > 0$   
 $c_2$  : 운전기간에 검출되는 에러를 수정하는 단위비용,  $c_1 > c_2$   
 $c_3$  : 단위시간당 테스트 비용,  $c_3 > 0$

$C(T)$  : 전체 평균 S/W 비용

$T_{LC}$  : S/W의 수명주기

$T$  : 전체 테스트 시간

$T^*$  : 최적 S/W 테스트 시간

$T_1$  :  $dC(T)/dT=0$ 을 만족시키는 유일 해  $T$

$$T_2 : R(x/T) = R_o \text{를 만족시키는 유일 해 } T$$

#### 2. SRGM

S/W 개발단계에서 테스트하는 S/W 시스템에 대해서 고찰해보기로 하고, SRGM 영역에서 아래와 같은 일반적인 가정을 도입한다.[6]

- 1) S/W 시스템은 S/W 에러에 의해서 무작위 시간적으로 고장이 발생될 수 있다.
- 2) S/W 고장이 발생될 때마다 이것을 일으키는 S/W의 에러를 즉시 제거하며, 새로운 에러는 도입되지 않는다.
- 3) 테스트기간중 및 운전기간중에 검출되는 에러의 평균 수정비용은 각각  $c_1 m(T)$ ,  $c_2(m(T_{LC})-m(T))$ 이고, 테스트 비용은  $c_3 T$ 이다[4,5]
- 4)  $T_{LC}$ 는 S/W의 수명기간이므로  $T_{LC} = \max\{T_1, T_2\}$ 이다.[4,5]

$\{N(t), t \geq 0\}$ 를 시간간격  $(0, t)$ 에서 검출되는 누적 에러(또는 고장)의 수를 나타내는 계수공정이라 하면, NHPP의 평균치함수로 불리는  $N(t)$ 의 기대치는  $m(t)$ 로 정의한다. NHPP에 근거한 SRGM을 아래와 같이 정의한다.

$$\Pr\{N(t) = n\} = \frac{\{m(t)\}^n}{n!} \exp[-m(t)], \quad t \geq 0 \quad (1)$$

여기서,

$$m(t) = a[1 - \exp(-bt)], \quad a > 0, \quad b > 0, \quad t \geq 0 \quad (2)$$

이다.  $a (= m(\infty))$ 를 최종적으로 검출될 기대누적에러의 수 즉, 추정할 최초의 기대에러라고 정의하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{N(t) = n\} = \frac{a^n}{n!} \exp(-a) \quad (3)$$

이는  $N(t)$ 가 오랜기간동안 테스트를 한 후 평균치  $a$ 를 가진 Poisson을 따른다는 것을 의미한다.

$m(t)$ 를 가진 NHPP로부터 유도되는 정량적 신뢰도의 하나는 S/W 신뢰도이다. S/W 신뢰도는 다음과 같이 정의한다.

$$R(x|t) = \exp[m(t+x) - m(t)] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } m(t+x) - m(t) &= a(1 - e^{-b(t+x)}) - a(1 - e^{-bx}) \\ &= ae^{-bx}(1 - e^{-bx}) = m(x)e^{-bx} \end{aligned}$$

이므로,

$$R(x|t) = \exp[-m(x)e^{-bx}] \quad (5)$$

이다.

#### 3. S/W의 수정 비용

Okumoto와 Goel[1]은 S/W 신뢰도 성장모델을 이용하여 비용 및 신뢰도기준에 근거한 최적 S/W 발행정책을 연구하였으며, Yamamoto와 Osaki[4]는 비용과

신뢰도를 동시에 고려하여 S/W 시스템의 최적발행시각을 결정하고자 하였다. Rong-Huei Hou, Sy-Yen Kuo, Yi-Ping Chang[5]은 이러한 연구결과를 지수형 성장곡선과 로지스틱 성장곡선에 적용하는 연구를 하였다.

총 비용은 테스트기간중의 에러수정비용, 운전기간중의 에러수정비용, 테스트기간중의 테스트비용을 합한 값이 된다.

$$C(T) = c_1 m_1(T) + c_2 \{m_2(T_{LC}) - m_1(T)\} + c_3 T \quad (9a)$$

최적 S/W 발행시각은 전체 평균 S/W 비용을 최소화하는 테스트시간이다.

$C(T)$ 의 최저값을 구하기 위해 식(9a)를  $T$ 로 미분하여 정리한다.

이 식을 만족시키는  $T > 0$ 인 범위의  $T$ 값을 구하면  $C(T)$ 에 대한 내부최소값이 된다. 특별히 S/W 발행 전후의 에러검출비율이 같을 경우에는  $b_1 = b_2 = b$ 가 되기 때문에 상기식이 단순화되어 이 때 식(9a)는

$$C(T) = c_1 m(T) + c_2 \{m(T_{LC}) - m(T)\} + c_3 T \quad (9b)$$

와 같이 된다.

즉,

$$T_1 = \frac{1}{b} \ln \frac{ab(c_2 - c_1)}{c_3} \quad (10a)$$

이다. 그런데,  $T_1 > 0$ 이므로,  $\ln \frac{ab(c_2 - c_1)}{c_3} > 0$  즉,

$ab(c_2 - c_1) > c_3$ 일 때에만 (10a)가 성립되며, 그 외에는 구할 수 없는 외부 최소값이 존재하여 그 경계치

$$T_1 = 0 \quad (10b)$$

에서 최소가 된다.

마찬가지로, 유사한 내부해법이 존재하여 신뢰도를 요건에 최근접시키는 유일한 시각이 존재한다. 최적 S/W 발행시각은 미리 규정된 S/W 신뢰도  $R(x|T) = R_o$ 를 만족시키는 최근접이 되는 시각이다. 여기서,  $x$ 는 최근에 검출된 에러를 수정한 후 경과되는 시간이다.

발행시각  $T$ 에서의 신뢰도는 (5)에서

$$R(x|T) = \exp[-a(1 - e^{-b_1 x})e^{-b_1 T}] = R_o \quad (11)$$

$$T_2 = \frac{1}{b_1} [\ln m(x) - \ln(\ln \frac{1}{R_o})] \quad (12)$$

이고, 여기서  $R_o$ 는 S/W가 추구하는 목표신뢰도이다. 특히,  $b_1 = b_2 = b$ 인 경우는 단순화되어

$$T_2 = \frac{1}{b} \left( \ln m(x) - \ln \left[ \ln \frac{1}{R_o} \right] \right) \quad (13a)$$

이다. 그런데,  $R(x|0) < R_o$  일 때에만 (13a)가 성립되며, 그 외에는 구할 수 없는 외부 해가 존재하며, 경계치

$$T_2 = 0 \quad (13b)$$

에서 최근접이 된다.

#### 4. 비용-신뢰도 최적 S/W 발행정책

S/W 테스트로부터 구한 S/W의 신뢰도를 어떤 규정치로 유지하는 제한 하에 전체 평균 S/W의 비용을 최소로 하는 최적 S/W 발행정책에 대해서 고려하면 다음과 같이 말할 수 있다.

$$T^* = \max \{ T_1, T_2 \} \quad (14)$$

여기서,  $T_1$ 은 (10)에서,  $T_2$ 는 (13)에서 구한 값이다.

1)  $ab > c_3/(c_2 - c_1)$ 이고  $R(x|0) < R_o$ 이면 (10)과 (13)을 만족시키는 양의 유일한  $T_1$ 와  $T_2$ 가 각각 존재한다.

$$2) ab > c_3/(c_2 - c_1)$$

이고  $R(x|0) \geq R_o$ 이면  $T^* = T_1$

$$3) ab \leq c_3/(c_2 - c_1)$$

$$\text{이고 } R(x|0) > R_o \text{이면 } T^* = 0$$

여기서, 식(10)과 식(13)을 근거로 하여 도출된 식(14)가 현실적으로 타당한가를 연구해보자 한다. 상기식이 타당성을 가지려면 현실적으로 적용가능한 식이 되어야 한다. 비용-신뢰도 발행문제에 있어서 가장 이상적인 것은 목표신뢰도를 만족시키면서 S/W 전 수명기간동안의 수정비용이 최소가 되는 경우 즉, 최적치 연구에서  $T_1 > T_2$ 가 되어  $T^* = T_1$ 로 결정되는 경우이다.

문제를 단순화시키기 위해서 특별히 테스트기간중의 에러검출비와 운전기간중의 에러검출비가 같다고 가정하여  $b_1 = b_2 = b$ 라고 하고 우선 상기 조건 1)을 고찰해보기로 한다.

$$R(x|0) = \exp[-m(x)] = \exp[-a(1 - e^{-bx})] < R_o.$$

$ab(c_2 - c_1) > c_3$ 인 조건 하에서  $T_1 > T_2$ 인 경우를 고찰하는 것이므로, 상기 조건을 만족하려면

$$\frac{1}{b} \ln \frac{ab(c_2 - c_1)}{c_3} > \frac{1}{b} \left\{ \ln \frac{m(x)}{\ln \frac{1}{R_o}} \right\} \quad (15)$$

로서

$$\frac{ab(c_2 - c_1)}{c_3} > \frac{m(x)}{\ln \frac{1}{R_o}} \quad (16)$$

이고,  $R(x|0) < R_o$ 인 조건을 고려하여 이 식을 정리하면

$$\exp[-m(x)] < R_o < \exp \left[ -\frac{c_3}{ab(c_2 - c_1)} m(x) \right] \quad (17)$$

이 된다. 즉, 조건 1)을 만족시키면서  $T_1 > T_2$ 가 되려면 식(17)과 같은 목표신뢰도의 제한을 받게 된다.

그리고, 조건 2)의 경우는  $T_2 = 0$  즉, S/W가 개발완료되는 순간의 신뢰도가 목표신뢰도를 만족하기 때문에 테스트할 필요 없이 곧바로 S/W를 발행하는 경우이다. 이 때에는  $T_1$ 의 결정이 의미를 가진다고 볼 수 있다. 그러나, 이 때에도  $R(x|0) \geq R_o$ 로부터

$$R_o \leq \exp[-m(x)] \quad (18)$$

의 목표신뢰도 제한을 받는다. 따라서, 목표신뢰도를 만족시키면서 전 수명기간동안의 S/W 수정비용이 최소가 되는 경우 즉,  $T_1 > T_2$ 가 되어  $T^* = T_1$ 으로 되는 때는

$T_2 = 0$ 인 경우뿐이고, 그 신뢰도 또한 식(18)과 같은 제한을 받게 된다. 그리고, S/W가 개발되자마자 테스트 없이 곧바로 발행된다는 것도 현실에 맞지 않는다.

조건 1)과 2)를 만족시킬 수 있는 목표신뢰도의 한계치를 고찰해보기 위해서 [1]에서 인용한 모델파라미터인  $a = 1348$ ,  $b = 0.124$ ,  $x = 0.1$ ,  $R_o = 0.7$ ,  $c_1 = 1$ ,  $c_2 = 5$ ,  $c_3 = 100$ ,  $T_{LC} = 100$ 에 적용해보기로 한다. 이러한 값을 이용하여  $C(T)$ 를 최소화시키는 비용최소화기준과  $R(x|T) = R_o$ 를 만족시키면서 S/W 전 수명기간동안의 수정비용이 최소가 되는 경우 즉, 최적치 연구에서  $T_1 > T_2$ 가 되어  $T^* = T_1$ 로 결정되는 경우의 목표신뢰도 한계치를 고찰해보면, 각각에 대해서  $\exp[-m(x)] \rightarrow 0$ ,  $\exp[-\frac{c_3}{ab(c_2 - c_1)} m(x)] \rightarrow 0$ 이므로,  $R_o \approx 0$ 이다.

즉, 비용을 최저로 하면서 원하는 정도의 목표신뢰도를 얻는다는 것은 어렵다. 따라서, 일반적으로 통용되는 목표 신뢰도, 예를 들면  $R_o = 95\%$ 와 같은 높은 정도의 신뢰도를 얻으려면, 그 최적발행시각이 최저비용에 의해서 결정되는 것이 아니고 목표신뢰도에 의해서 결정되며 때문에, 비용을 최저로 하고자 한 [4]와 [5]의 연구결과는 재검토되어야 한다고 본다. 상기식이 의미를 가지려면 초기에러의 수가 한자리수 이내의 극히 적은 경우

가 예외적으로 가능할 것으로 보나, 일반적으로 테스트 시의 S/W 잡재에러는 세자리수 이상이므로 목표신뢰도를 맞춘다는 것은 가능하지 않다.

## 5. 결론

S/W 시스템을 개발하여 발행하기 전에 S/W 시스템 내에 존재하고 있는 에러를 검출하여 수정하기 위한 테스트를 수행할 때, 언제 테스트를 끝내고 발행해야 하는가 하는 문제가 발생하게 된다. 이러한 최적 발행시기를 결정하기 위해 여러 연구자들이 전 수명기간중의 투입비용과 신뢰도를 동시에 고려하여 연구를 수행하였다.

본 논문에서는 이러한 발표논문을 중심으로 하여 S/W의 비용-신뢰도 최적발행시기 결정방법에 관한 한계를 연구하였다. 비용-신뢰도 발행 문제에 있어서 가장 이상적인 것은 목표신뢰도를 만족시키면서 수명기간 동안의 S/W 수정비용이 최소가 되도록 발행시기를 결정하는 것이다. 그러나, 이러한 경우는 목표신뢰도가 비현실적으로 극히 낮은 경우이거나, S/W가 개발되는 순간의 신뢰도가 목표신뢰도를 만족하여 테스트 할 필요 없이 곧바로 S/W를 발행하는 경우뿐이다. 이러한 경우는 극히 발생확률이 적은 비현실적인 경우에 해당된다. 그 외에는 전 수명기간동안의 수정비용과 관계 없이 목표신뢰도가 항상 S/W의 발행시기를 결정하게 되므로 비용-신뢰도 최적발행에 대한 그동안의 연구를 재검토해볼 필요가 있다.

그러므로, 새로운 비용-신뢰도 최적발행에 관한 알고리즘이 연구개발되어야 할 것으로 사료된다.

96-03	감사의 글
본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음	

### (참 고 문 헌)

- [1] K. Okumoto, A.L. Goel, "Optimum release time for software systems based on reliability and cost criteria", J. System Software, vol 1, 1980, pp315-318
- [2] H.S. Koch, P. Kubat, "Optimal release time of computer software", IEEE Trans. Software Eng'g, vol SE-9, 1983 May, pp323-327
- [3] M. Xie, "On the determination of optimum software release time", Proc. 2nd Int' Symp. Software Reliability Eng'g, 1991, pp218-224
- [4] S. Yamada, S. Osaki, "Cost-reliability optimal release policies for software systems", IEEE Trans. Reliability, vol R-34, 1985 Dec., pp422-424
- [5] Rong-Huei Hou, Sy-Yen Kuo, Yi-Ping Chang, "Optimal Release Policy for Hyper-Geometric Distribution Software-Reliability Growth Model", IEEE Trans Reliability, vol 45, 1996 Dec., pp646-651
- [6] S. Yamada, H. Ohtera, H. Narihisa, "Software Reliability Growth Models with Testing-Effort", IEEE Trans Reliability, vol R-45, 1986 April, pp19-23