〈硏究論文〉

Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 15, No. 1, June. 1989

增加하는 誤謬修正費用下에서의 最適 소프트웨어 放出政策
(Optimal Software Release Policies under Increasing Error Correction Cost)

裵 道 善*
尹 原 永**
李 永 鳳***

Abstract

This paper considers software release problems based on Goel-Okumoto and S-shaped reliability growth models. Test of the software system is terminated after a preassigned time T, and it is released to the operational phase. It is assumed that correction cost of an error is increasing with test or operation time. Optimum software release time is obtained using total expected cost on the software life time as a criterion for optimization. In addition, optimal software release policies under the constraint of a software reliability requirement are discussed.

Ⅰ. 序　言

소프트웨어에 대한 중요성이 크게 대두하면서 소프트웨어 信賴度를 定量的으로 測定하는 여러 소프트웨어 信賴度模型이 提案되었다. 하드웨어 시스템과는 달리 소프트웨어 시스템은 磨耗現象이 없고 試驗期間 中에 시스템 故障에 의해 誤謬를 修正하게 되면 信賴度가 增加하기 때문에 試驗期間이 지남에 따라 信賴度가 成長하는 成長模型(즉 減少故障率 函數를 가진 模型)이 소프트웨어 信賴度를 잘 나타내주므로 이러한 模型이 많이 使用되었다.

信賴度 成長模型들은 관점에 따라 여러가지 類型으로 分類할 수 있으나 소프트웨어 故障履歷과 故障過程의 性質에 따른 分類와

* 韓國科學技術院 産業工學科
** 釜山大學校 産業工學科
*** 國防科學 硏究所

소프트웨어 壽命週期에 따른 分類가 있다 [9, 12].

소프트웨어 信賴度 成長模型에 기초한 意思決定問題 中 중요한 것이 소프트웨어의 最適放出 時期의 決定에 관한 것이다. 즉 소프트웨어를 開發한 後 적당한 時間 동안 시스템을 試驗하여 시스템에 內在한 誤謬(error)를 除去하여 使用者에게 販賣, 貸與하여야 할 것이다. 이 때 '어느 程度의 時期동안 試驗해야 하는가?'라는 문제가 最適 소프트웨어 放出時期 決定에 관한 것이다.[3, 4, 6, 7, 10, 11, 14, 15]. 지금까지 소프트웨어 放出政策에 관한 研究를 要約해 보면 먼저 最適化를 위한 基準으로는 要求信賴度를 使用한 경우[4, 10, 11], 總 期待費用을 使用한 경우[6], 두 가지를 同時에 使用한 模型[7, 14, 15]이 있다. 또한 소프트웨어 信賴度 成長模型으로는 Jelinski-Moranda 모형[6], Goel-Okumoto 모형[5], Binomial 모형[11], S-shape 信賴度 成長模型[13] 등이 고려되었다. 費用을 고려한 最適 放出時期決定을 다룬 研究에서 고려된 費用項目으로는 試驗費用, 試驗段階에서의 誤謬修正費用, 使用段階에서의 誤謬修正費用 등이 있다 [6, 7, 14, 15]. 旣存의 費用模型에서 試驗費用은 試驗時間에 線型的으로 增加하여 各 段階에서의 誤謬修正費用이 一定하다고 假定하였다[6, 7, 14, 15]. 그러나 同一한 誤謬라 하더라도 어느 時點에 發見되느냐에 따라 修正費用이 크게 달라진다[2, 12]. 예를 들어 한 소프트웨어 시스템이 몇 개의 서브시스템으로 이루어지고 各 서브시스템은 또한 몇 개의 모듈로 構成된다고 하자. 이 때 모듈내에 있는 論理誤謬(logic error)가 모듈 試驗段階에서 發見되지 못하고 시스템 試驗段階에서 發見되었다면 이 誤謬의 修正을 위해 誤謬의 所在를 追跡하기가 모듈 試驗段階에서 보다 훨씬 어려우므로 보다 큰 費用負擔을 줄 것이다. Shooman[12]은 4개의 대형 프로젝트로 부터 얻은 자료를 가지고 開發段階別 誤謬修正費用을 調査한 결과 급격히 增加한다는 것을 보였다. Fairley[2]는 誤謬의 單位修正費用이 時間에 따라 指數적으로 增加함을 보였다. 따라서 소프트웨어 테스트 동안의 修正費用의 形態는 增加하는 것으로 假定해 주는 것이 타당하며 응용 가능성도 높을 것이다.

따라서 本 論文에서는 誤謬의 單位修正費用이 時間이 지남에 따라 增加하는 狀況에서 소프트웨어 最適 放出政策을 決定하고자 한다. 소프트웨어 信賴度 成長模型中 Goel-Okumoto 信賴度 成長模型과 S-shape 信賴度 成長模型을 사용하고, 費用項目으로는 시험비용과 시험 및 사용단계에서의 誤謬修正費用을 사용키로 한다. 이 같은 가정하에서 期待費用函數를 求하고 總 期待費用函數를 最小로 하는 放出時期를 求한다. 또한 使用者의 要求信賴度가 주어진 경우 그 要求信賴度를 滿足하면서 總 期待費用을 最小로하는 放出時期를 求하고자 한다. 끝으로 信賴度 模型母數나 費用母數들에 대한 最適 放出時期의 變化를 數値例를 통해 分析한다.

假定

1. 誤謬修正에 걸리는 時間은 無視할 만큼 짧다.
2. 소프트웨어 시스템의 故障은 하나의 誤謬에 의해서 發生한다.
3. 出現된 誤謬는 반드시 修正된다.
4. 誤謬修正 作業 時 새로운 誤謬는 發生되지 않는다.

記號

c_1 : 試驗 段階初期의 單位 誤謬修正費用

c_2 : 使用 段階初期의 單位 誤謬修正費用 ($c_2 > c_1$)

c_3 : 單位時間당 試驗費用

c_T : $(c_2 - c_1)/c_3$

t_0 : 시스템 壽命

T : 放出時期

EC(T) : 總 期待費用

T_0^* : 要求信賴度를 滿足시키는 最小放出時期

T_1^* : 費用을 最小化시키는 放出時期

T_2^* : 要求信賴度를 滿足시키면서 費用을 最小化시키는 放出時間

R_0 : 使用者의 要求信賴度

$R(x|T)$: T 時間까지 試驗된 소프트웨어 시스템의 信賴度 函數

α, δ : 誤謬修正 費用函數의 母數

$c_1(t)$: t時點에서의 單位誤謬 修正費用($0 < t < T$)

$c_2(t)$: t時點에서의 單位誤謬 修正費用($t > T$)

Ⅱ. 소프트웨어 信賴度 成長模型

本 論文에서 고려하는 Nonhomogeneous Poisson Process(NHPP)에 根據한 소프트웨어 信賴度 成長模型(SRGM)을 說明한다. N(t)를 t時點까지 試驗할 때 發生하는 소프트웨어 誤謬의 累積갯수라 하고 m(t)를 N(t)의 期待値라고 하면 NHPP에 根據한 SRGM에서 N(t)의 分布는

$$P_r\{N(t)=n\}=\frac{\{m(t)\}^n}{n!}\ e^{-m(t)},\quad n=0,1,2,\cdots \tag{1}$$

이다. 本 論文에서 考慮되는 소프트웨어 信賴度 成長模型은 Goel-Okumoto模型[5]과 S-shape信賴度 成長模型[13]이다. Goel-Okumoto模型은 가장 널리 使用되는 模型으로서 이 模型에서의 期待値函數는

$$m(t)=a(1-e^{-bt}),\ a>0,\ b>0 \tag{2}$$

이며, 여기서 a는 窮極的으로 出現될 母數의 期待값이며 b는 誤謬의 單位당 出現率이다. S-shape信賴度 成長模型은 소프트웨어 誤謬除去現象(error removal phenomena)을 잘 說明해 주는 模型으로 期待値函數는

$$m(t)=a(1-(1+bt)e^{-bt}),\quad a>0,\ b>0 \tag{3}$$

이며, 여기서 a는 窮極的으로 出現될 誤謬의 期待값이며 b는 安定狀態(steady-state)에서의 單位誤謬당 出現率이다.

試驗段階를 거치고 使用者에게 放出될 때의 使用者에게 가장 중요한 것은 시스템의 信賴度이므로 소프트웨어 信賴道 成長模型에 基礎한 信賴度 函數를 求한다. 만일 試驗期間이 T時間이라면 (T, T+x] 期間 동안에 誤謬가 發生하지 않을 確率이 信賴度函數이다. 即

$$R(x|T)=P_r\{T+x<X|X>T\}=e^{-\{m(T+x)-m(T)\}} \tag{4}$$

여기서 X는 소프트웨어의 故障까지 時間을 나타내는 確率變數이다. 위의 信賴度 函數를 두 소프트웨어 信賴度 成長模型에 대해 求해 보면,

<u>Goel-Okumoto模型</u>

$$R_1(x|T)=\exp\{-a(1-e^{-bx})e^{-bT}\} \tag{5}$$

<u>S-shape信賴度 成長模型</u>

$$R_2(x|T)=\exp[-a\{(1+bT)e^{-bT} - (1+b(x+T))e^{-b(T+x)}\}] \quad (6)$$

여기서 소프트웨어 사용자에게 가장 중요한 사항인 要求信賴度를 滿足시키는 最小放出時間, T_0^*을 구한다. 즉 $R(x|T)>R_0$을 滿足하는 T의 最小값을 구하자는 것이다. Goel-Okumoto 模型에서

$$e^{-bT}a(1-e^{-bx})\leq \ln(1/R_0)$$

을 滿足시키는 最小 T가 T_0^*이다. 윗 부등식의 왼쪽항은 T에 대한 감소함수이므로

$R_1(x|0)>R_0$이면 $T_0^*=0$

$R_1(x|0)<R_0$이면 $T_0^*=\frac{1}{b}[\ln\{a(1-e^{-bx})\} -\ln \ln\frac{1}{R_0}]$

S-shape 信賴度 成長模型에서

$$e^{-bT}\{a(1-(1+bx)e^{-bx})+abT(1-e^{-bx})\} \leq \ln\frac{1}{R_0}$$

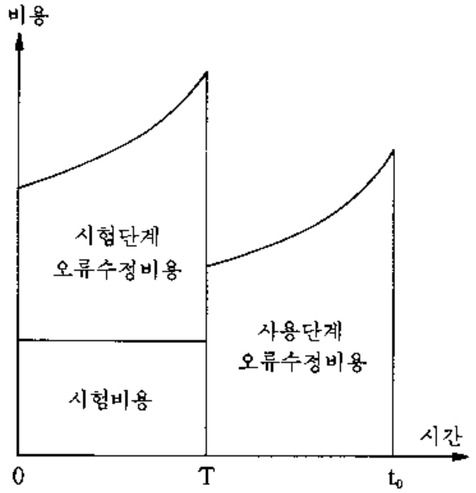
을 滿足시키는 最小 T가 T_0^*이다. 그러므로 $R_2(x|0)>R_0$이면 $T_0^*=0$. $R_2(x|0)<R_0$이면 윗 부등식에서 等號가 成立되는 T의 값이 하나 뿐이며 그 값이 T_0^*이다.

Ⅲ. 總 期待費用

소프트웨어 시스템의 壽命週期동안 發生되는 總費用은 放出 前 試驗段階에서 試驗費用 및 誤謬修正費用과 放出 後 使用段階에서의 誤謬修正費用으로 構成된다[그림 1].

소프트웨어 시스템의 總 期待費用을 求하기위해 다음과 같은 定理들이 必要하다.

補助定理 1. $N(T)$를 $(0,T]$ 區間에서 發生하는 誤謬갯수를 나타내는 確率變數라 하고



[그림 1] 총비용 구성

t_i를 i번째 誤謬 發生時刻이라고 하며 $\tau_i=m(t_i)$라고 하자. 그러면 $\{N(T)=k\}$라는 條件下에서 $\tau_1, \cdots, \tau_k$는 一樣分布 $U(0, m(T))$에서 랜덤에서 抽出된 確率變數들의 順序統計量과 같은 分布를 따른다[1, 8].

定理 1. 試驗期間 $[0, T]$에서 發生할 期待誤謬 修正費用은

$$EC_1(T)=\int_0^T c_1(t)m'(t)dt \quad (7)$$

여기서 $m'(t)=dm(t)/dt$.

證明.

$$\begin{aligned}EC_1(T)&=E[\sum_{i=1}^{N(T)} c_1(t_i)]\\ &=\sum_{k=0}^{\infty}P_r\{N(T)=k\}E[\sum_{i=1}^{k}c_1(t_i)|N(T)=k]\\ &=\sum_{k=0}^{\infty}kP_r\{N(T)=k\}\frac{1}{m(T)}\int_0^{m(T)}c_1(m^{-1}(z))dz\\ &=\int_0^{m(T)}c_1(m^{-1}(z))dz\\ &=\int_0^T c_1(t)m'(t)dt\end{aligned}$$

定理 2. 使用期間$[T, t_0]$ 中에 發生할 期待誤謬 修正費用은

$$EC_2(T)=\int_T^{t_0} c_2(t)m'(t)dt. \quad (8)$$

説明. $N(T, t)$를 $[T, t]$ 期間 中에 소프트웨어 시스템에서 發生하는 誤謬數를 나타내는 確率變數라 하면 $N(T, t)$는 $[m(t)-m(T)]$를 期待値函數로 하는 Poisson 分布를 따른다 [8]. 이때, $[T, t]$ 사이에 發生하는 誤謬의 時刻을 $u_1, u_2, \cdots$라고 하고 $\nu_1=m(u_1)$, $\nu_2=m(u_2)$, …라고 하자. 그러면

$$EC_2(T)=E[c_2(u_1)+\cdots+c_2(u_{N(T, t_0)})]$$
$$=\sum_{k=0}^{\infty} P_r\{N(T, t_0)=k\}$$
$$E[\sum_{i=1}^{k} c_2(u_i) \mid [N(T, t_0)=k]$$

그리고 補助定理 1로부터 $N(T, t)=k$로 주어진 條件下에서 $\nu_1, \nu_2, \cdots, \nu_k$는 일양분포 $(U(m(T), m(t)))$에서 랜덤하게 抽出된 크기 k의 順序統計量과 같은 分布를 따른다. 그러므로

$$EC_2(T)=\sum_{k=0}^{\infty} kP_r\{N(T, t)=k\}$$
$$\frac{1}{m(t_0)-m(T)} \int_{m(T)}^{m(t_0)} c_2(m^{-1}(\gamma))d\gamma$$
$$=\int_{m(T)}^{m(t_0)} c_2(m^{-1}(\gamma))d\gamma=\int_T^{t_0} c_2(t)m'(t)dt$$

定理 1, 2로부터 總 期待費用函數는

$$EC(T)=\int_0^T c_1(t)m'(t)dt+\int_T^{t_0} c_2(t)m'(t)dt+c_3T \quad (9)$$

이 된다.

Ⅳ. 費用을 最小化하는 最適 放出政策

식(9)에서 一般的인 NHPP 信賴度 模型에 대한 總 期待費用函數가 구해졌는데 여기서는 두 가지의 소프트웨어 信賴度 成長模型과 두 가지 誤謬修正費用形態에 대한 總 期待費用函數를 구하고 費用을 最小化하는 最適 放出政策을 구하고자 한다. 두 가지 考慮하는 誤謬修正費用函數形態로는 指數型 單位修正費用 即, $c_i(t)=c_ie^{\alpha t}$, $i=1, 2$과 Polynomial 型 單位修正費用 即, $c_i(t)=c_it^{\delta}$, $i=1, 2$이다. 본 模型에서 $\alpha=0$ 혹은 $\delta=0$일때 본 模型은 Yamada와 Osaki[15]과 동일하게 된다. 먼저 信賴度 成長模型별로 費用을 最小化하는 放出 時間을 구해 보고자 한다.

4.1 Goel-Okumoto 模型

1. 指數型 單位修正費用

이 경우의 總 期待費用函數는

$$EC(T)=\int_0^T c_1e^{\alpha t}abe^{-bt}dt+\int_T^{t_0} c_2e^{\alpha t}abe^{-bt}dt+c_3T$$
$$=\frac{(c_1-c_2)}{a-b}abe^{(a-b)T}+\frac{c_2}{\alpha-b}abe^{(\alpha-b)t_0}+c_3T-c_1ab/(\alpha-b) \quad (10)$$

이며 이 費用을 最小化하는 最適 放出時間을 구하기 위해 먼저 1, 2次 導函數를 求하면

$$\frac{dEC(T)}{dT}=ab(c_1-c_2)e^{(\alpha-b)T}+c_3 \quad (11)$$
$$\frac{d^2EC(T)}{dT^2}=-ab(c_2-c_1)(\alpha-b)e^{(\alpha-b)T} \quad (12)$$

이며, $(c_2-c_1)>0$이므로 最適 放出時間은 다음과 같이 整理된다.

定理 3.

(1) $T_1^*=0$이 되는 경우

i) $\alpha\geq b$, $c_r\leq\frac{1}{ab}$, $EC(0)\leq EC(t_0)$

ii) $\alpha<b$, $c_r\leq\frac{1}{ab}$

(2) $T_1^*=t_0$이 되는 경우

i) $\alpha\geq b$, $c_r\leq\frac{1}{ab}$, $EC(0)>EC(t_0)$

ii) $\alpha\geq b$, $c_r>\frac{1}{ab}$

iii) $\alpha<b,\ c_r>\frac{1}{ab},\ t_0<\frac{1}{\alpha-b}\ln(\frac{1}{abc_r})$

(3) $T_1^*=\frac{-\ln(abc_r)}{\alpha-b}$ 이 되는 경우

i) $\alpha<b,\ c_r>\frac{1}{ab},\ t_0\geq\frac{1}{\alpha-b}$ $\ln(\frac{1}{c_r ab})$

2. Polynomial型 單位修正費用

이 경우의 總 期待費用函數는

$$EC(T)=c_1 ab\int_0^T t^{\delta}e^{-bt}dt+c_2 ab\int_T^{t_0}t^{\delta}e^{-bt}dt+c_3 T \quad (13)$$

이며 最適 放出時期를 구하기 위해 먼저 1, 2차 導函數를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{dEC(T)}{dT}=-ab(c_2-c_1)T^{\delta}e^{-bT}+c_3, \quad (14)$$

$$\frac{d^2EC(T)}{dT^2}=-ab(c_2-c_1)T^{\delta-1}e^{-bT}(\delta-bT) \quad (15)$$

따라서 最適 放出政策을 整理하면

定理 4.

(1) $T_1^*=0$ 이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}>ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta}$

ii) $\frac{1}{c_r}<ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta},\ t_0\geq T_{01},\ EC(0)\leq EC(T_{01})$

iii) $\frac{1}{c_r}<ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta},\ t_0<T_{01},\ EC(0)\leq EC(t_0)$

(2) $T_1^*=t_0$ 이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}<ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta},\ t_0<T_{01},\ EC(0)>EC(t_0)$

(3) $T_1^*=T_{01}$ 이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}<ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta},\ t_0>T_{01}, EC(0)>EC(T_{01})$

여기서 T_{01}는 式(14)에서 $dEC(T)/dT=0$을 滿足하는 T값 중 큰 것을 나타내며 數值的으로 구할 수 있다.

4.2 S-shape 信賴度 成長模型

1. 指數型 單位修正費用

이 경우 總 期待費用函數는

$$EC(T)=c_1 ab^2\int_0^T te^{(\alpha-b)t}dt+c_2 ab^2\int_T^{t_0}te^{(\alpha-b)t}dt+c_3 T \quad (16)$$

이며 最適 放出政策을 구하기 위해 먼저 1, 2차 導函數를 구하면

$$\frac{dEC(T)}{dT}=-ab^2(c_2-c_1)Te^{(\alpha-b)t}dt+c_3, \quad (17)$$

$$\frac{d^2EC(T)}{dT^2}=-ab^2(c_2-c_1)Te^{(\alpha-b)T}(1+(\alpha-b)T) \quad (18)$$

最適 放出政策을 整理해 보면 다음과 같다.

定理 5.

(1) $T_1^*=0$ 이 되는 경우

i) $\alpha\geq b,\ EC(0)\leq EC(t_0)$

ii) $\alpha<b,\ \frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha}),\ t_0>T_{02},\ EC(0)\leq EC(T_{02})$

iii) $\alpha<b,\ \frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha}),\ t_0\leq T_{02},\ EC(0)\leq EC(t_0)$

(2) $T_1^*=t_0$ 이 되는 경우

i) $\alpha\geq b,\ EC(0)>EC(t_0)$

ii) $\alpha<b,\ \frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha}),\ t_0\leq T_{02},\ EC(0)>EC(t_0)$

(3) $T_1^*=T_{02}$ 이 되는 경우

i) $\alpha<b,\ \frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha},\ t_0\geq T_{02},\ EC(0)>EC(T_{02})$

여기서 T_{02}는 式(17)에서 $dEC(T)/dT=0$을 滿足하는 T값 中 큰 것을 가르킨다.

2. Polynomial型 單位修正費用

이 경우 總 期待費用函數는

$$EC(T)=c_1ab^2\int_0^T t^{(\delta+1)}e^{-bt}dt+c_2ab^2\int_T^{t_0} t^{(\delta+1)}e^{-bt}dt+c_3T \qquad (19)$$

이며, 이 경우의 1, 2次 導函數는 다음과 같다.

$$\frac{dEC(T)}{dT}=-ab^2(c_2-c_1)T^{(\delta+1)}e^{-bT}+c_3 \qquad (20)$$

$$\frac{d^2EC(T)}{dT^2}=-ab(c_2-c_1)T^{\delta}e^{-bT}(\delta+1-bT) \qquad (21)$$

이 같은 狀況에서 最適 放出時間을 整理해 보면

定理 6.

(1) $T_1^*=0$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}\geq ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$

ii) $\frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0\geq T_{03}$, $EC(0)\leq EC(T_{03})$

iii) $\frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0<T_{03}$, $EC(0)\leq EC(t_0)$

(2) $T_1^*=t_0$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0<T_{03}$, $EC(0)>EC(T_0)$

(3) $T_1^*=T_{03}$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r}<ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0\geq T_{03}$, $EC(0)>EC(T_{03})$

여기서 T_{03}은 式(20)에서 $dEC(T)/dT=0$을 滿足하는 T값 中 큰 것을 나타낸다.

V. 要求信賴度 制約下에서의 最適 放出政策

소프트웨어 시스템의 使用者가 要求하는 信賴度를 滿足시키면서 總 期待費用을 最小로 하는 放出時間을 구하고자 한다. 즉 開發者가 試驗期間을 통해 增加시킨 시스템 信賴度가 使用者의 要求信賴度보다 작지 않은 制約下에서 總 期待費用을 最小化시키는 放出政策 決定問題는 다음과 같이 表現된다. [7, 14, 15]

$$\begin{aligned}&\min_T EC(T)\\ &\text{s.t}\quad R(x|T)>R_0 \qquad (22)\\ &\qquad 0<T<t_0\end{aligned}$$

따라서 要求信賴度를 滿足시키면서 費用을 最小化하는 最適 放出時期는

$T_2^*=\max\{T_0^*, T_1^*\}$

이므로 각 모델別로 要約하면 다음과 같다. 但 여기서 경우의 數를 간단히 하기 위해 $R(X|0)<R_1$(즉 開發 直後의 信賴度는 要求信賴度를 滿足하지 않는다고 假定한다. 왜냐하면 이 경우는 Ⅲ節의 경우와 一致하기 때문이다.)

定理 7. (Goel-Okumoto模型)

1) 指數型 單位修正費用

(1) $T_2^*=T_0^*$이 되는 경우

i) $\alpha\geq b$, $c_r\leq\frac{1}{ab}$, $EC(0)>EC(t_0)$

ii) $\alpha<b$, $c_r<\frac{1}{ab}$

(2) $T_2^*=t_0$이 되는 경우

i) $\alpha\geq b$, $c_r\leq\frac{1}{ab}$, $EC(0)\leq EC(t_0)$

ii) $\alpha \geq b,\ c_r > \frac{1}{ab}$

iii) $\alpha < b,\ c_r > \frac{1}{ab},\ t_0 < \frac{1}{\alpha - b}\ln(\frac{1}{c_r ab})$

(3) $T_2^* = \max\{T_0^*, T_1^*\}$이 되는 경우

i) $\alpha < b,\ c_r > \frac{1}{ab},\ t_0 \geq \frac{1}{\alpha - b}\ln(\frac{1}{c_r ab})$

2) Polynomial型 單位修正費用

(1) $T_2^* = T_0^*$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} > ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta},\ \frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta}$,
$t_0 \geq T_{01}$, $EC(0) \leq EC(T_{01})$

ii) $\frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{-\delta}$, $t_0 < T_{01}$,
$EC(0) \leq EC(T_{01})$

(2) $T_2^* = t_0$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{\delta}$, $t_0 < T_{01}$,
$EC(0) > EC(t_0)$

(3) $T_2^* = \max\{T_0^*, T_1^*\}$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta}{b})^{\delta}e^{\delta}$, $t_0 \geq T_{01}$,
$EC(0) > EC(T_{01})$

定理 8. (S-shape信賴度 成長模型)

1) 指數型 單位修正費用

(1) $T_2^* = T_0^*$이 되는 경우

i) $\alpha \geq b$, $EC(0) \leq EC(t_0)$

ii) $\alpha < b,\ \frac{1}{c_r} \geq ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha})$

iii) $\alpha < b,\ \frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha})$, $t_0 \geq T_{02}$,
$EC(0) \leq EC(T_{02})$

iv) $\alpha < b,\ \frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha})$, $t_0 < T_{02}$,
$EC(0) \leq EC(t_0)$

(2) $T_2^* = t_0$이 되는 경우

i) $\alpha < b,\ \frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha})$, $t_0 < T_{02}$,
$EC(0) > EC(t_0)$

ii) $\alpha \geq b$, $EC(0) > EC(t_0)$

(3) $T_2^* = \max\{T_0^*, T_1^*\}$이 되는 경우

i) $\alpha < b,\ \frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{e^{-1}}{b-\alpha})$, $t_0 > T_{02}$,
$EC(0) > EC(T_{02})$

2) Polynomial型 單位修正費用

(1) $T_2^* = T_0^*$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} \geq ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$

ii) $\frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}$, $t_0 \geq T_{03}$, $EC(0) < EC(T_{02})$

iii) $\frac{1}{c_r} < ab(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0 < T_{03}$,
$EC(0) \leq EC(t_0)$

(2) $T_2^* = t_0$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0 < T_{03}$,
$EC(0) > EC(T_{03})$

(3) $T_2^* = \max\{T_0^*, T_1^*\}$이 되는 경우

i) $\frac{1}{c_r} < ab^2(\frac{\delta+1}{b})^{\delta+1}e^{-(\delta+1)}$, $t_0 \geq T_{03}$,
$EC(0) > EC(T_{03})$

例題 및 敏感度 分析

(1) 例 題

例題로서 Goel-Okumoto信賴度 成長模型의 資料는 Goel-Okumoto [5]에서의 例를 使用하고 S-shape 信賴度 成長模型의 資料는 Yamada[13] 등의 母數값을 사용한다.

Goel-Okumoto模型

먼저 母數값은 다음과 같다[5]. $c_1 = 1$ \$, $c_2 = 5$ \$, $c_3 = 100$ \$, $a = 1348$, $b = 0.124$, $R_1 = 0.8$, $x = 0.05$.

i) 指數型 單位修正費用

$\alpha = 0.06$인 경우에 대해 보면 要求信賴度를 滿足하는 最小값 $T_0^* = 29.19$(週)이면 式(16)에서 $T_1^* = 33.17$(週)이므로 $T_2^* = \max\{T_0$

, $T_1\}$=33.17(週).

ii) Polynomial型 單位修正費用

δ=0.5인 경우에 대해 보면 T_1^*=28.88(週)이며 T_0^*=29.19(週)이므로 T_2^*=29.19(週).

S-shape信賴度 成長模型

각 母數값은 다음과 같다고 하자[13]. c_1=1 \$, c_2=5 \$, c_3=100 \$, a=37.4, b=0.312, R_0=0.8, x=7.6.

i) 指數型 單位修正費用

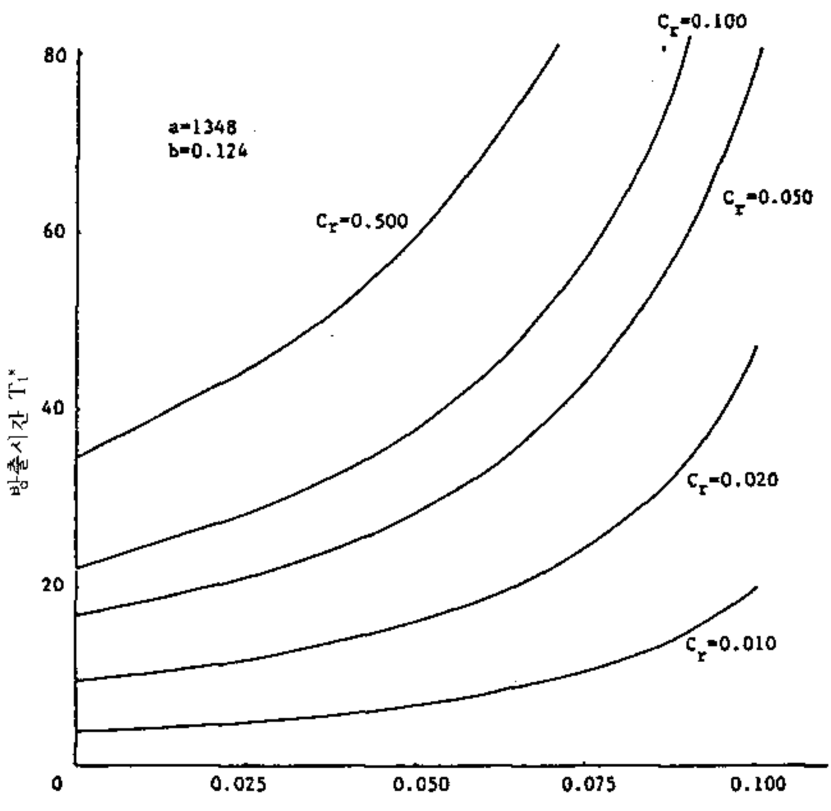
α=0.26이라고 하면 T_0^*=22.75(週)이며 T_2^*=25.44(週)이고 T_2^*=25.44(週)이다.

ii) Polynomial型 單位修正費用

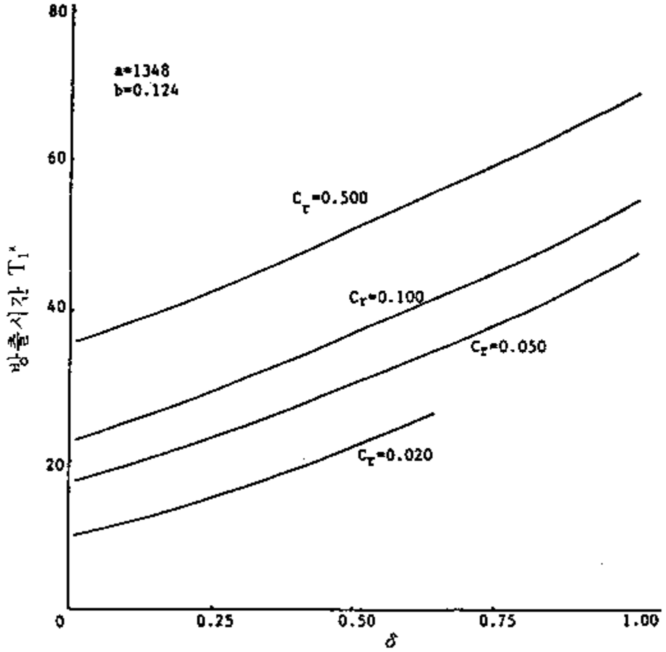
δ=1.8로 주어졌다면 T_0^*=22.75(週)이며 T_1^*=21.33(週)이다. 그러므로 T_2^*=22.75(週)이다.

(2) 敏感度 分析

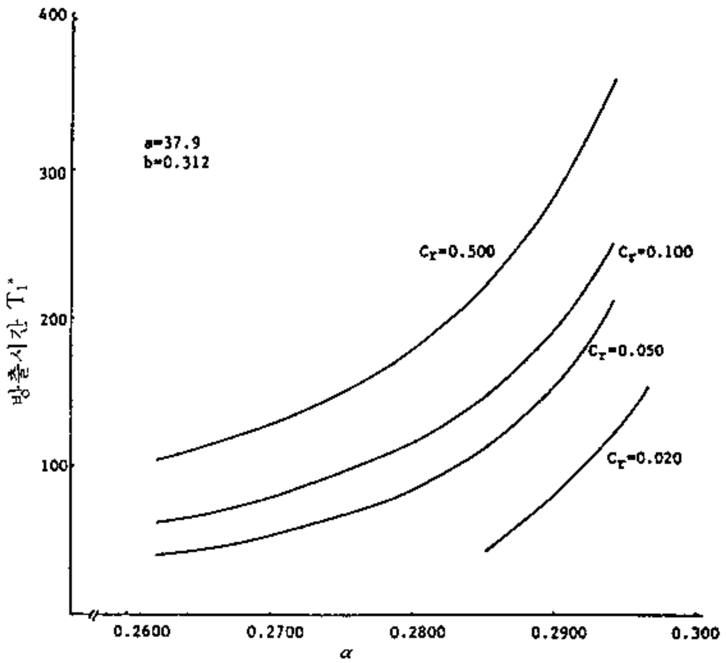
여기서 本 論文이 假定한 單位 修正 費用 母數인 α, δ가 最適 放出時間 T_1^*에 미치는 影響을 調査하여 보고자 한다. 그 외의 모델 母數값은 例題의 경우와 同一하다. 여기서 單位 費用 比率 $c_r=(c_2-c_1)/c_3$을 變化시켜 T_1^*의 影響도 본다. 4가지 模型의 경우에 대한 傾向을 나타낸 것이 그림 2, 3, 4 그리고 5이다. 4가지 경우를 종합하여 보면 모두 c_r이 增加하면 T_1^*값이 증가하며 單位修正費



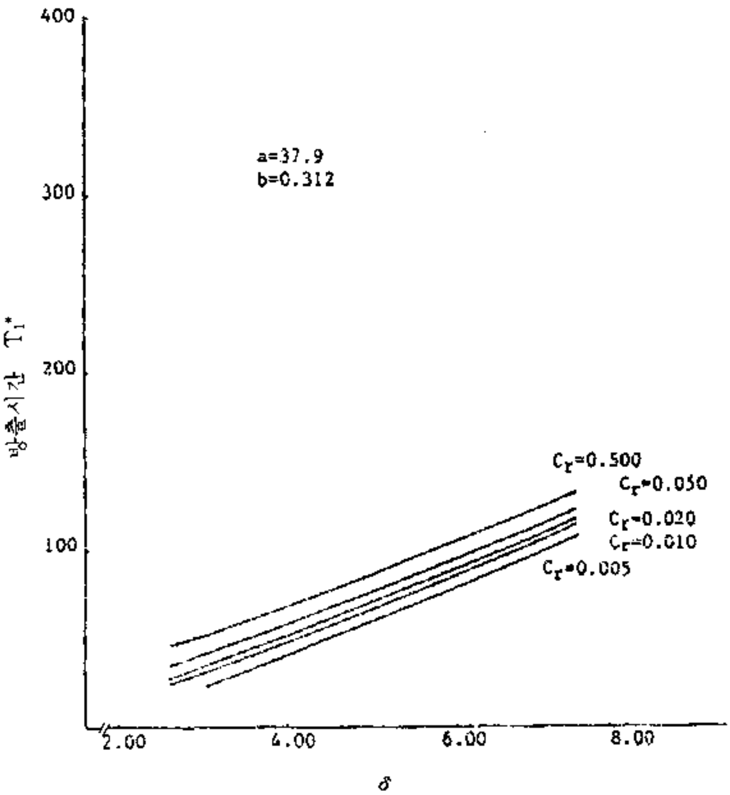
[그림 2] Goel-Okumoto모형(지수형 단위수정비용)



[그림 3] Goel-Okumoto 모형(Polynomial 형 단위수정비용)



[그림 4] S-shape 신뢰도성장모형(지수형 단위수정비용)



[그림 5] S-shape신뢰도모형(Polynomial형 단위수정비용)

用 增加率인 α, δ가 클수록 T_1^*가 커짐을 알 수 있다. 그러나 c_r, α, δ의 증가에 대한 T_1^*의 증가 모양은 信賴度 成長 模型에 관계없이 指數型 單位 修正 費用일 경우 費用 增加率 α가 增加하므로 最適 放出 時期가 급속히 增加하며 c_r의 變化에 敏感하나, polynomial 型일 경우는 δ의 증가에 T_1^*가 완만히 增加하며 c_r의 增加에 대해 T_1^*의 增加가 일정하다.

VI. 結 論

本 論文에서는 誤謬의 單位修正費用이 增加하는 狀況에서 소프트웨어 시스템의 最適放出時期를 구하였다. 增加 形態로는 試驗期間에 指數的으로 증가하는 경우(지수형 단위 수정 비용 모형)과 polynomial로 增加하는 것(Polynomial형 단위 수정 비용 모형)으로 假定하였다. 考慮된 信賴度 成長 模型은 Goel-Okumoto NHPP 模型과 S-shape 信賴度 成長 模型이다. 放出政策은 一定期間 소프트웨어를 試驗하고 使用者에게 放出하는 것으로, 最適 放出政策을 구하기 위해 各 模型에서의 總 期待費用函數를 구하고 이것을 最小로 하는 放出 時期를 구하였다. 그리고 使用者의 要求信賴度가 주어진 경우에서의 最適 放出政策도 구하였다. 또한 數値 例를 통해 誤謬修正費用 增加率의 變化

에 대한 最適 放出時期의 影響도 보았다. 修正 費用 增加率이 커지므로 최적 방출 시기가 늦추어지며 두 비용모형(지수형, Polynomial형)중 지수형이 비용 모수의 변화에 보다 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 本 研究에서는 두 가지 NHPP模型, 두 가지 비용증가에 대한 放出政策을 다루었으나 다른 NHPP模型 다른 비용 모형에 대해서도 일반적인 총 기대 비용 함수식인 (4)에 의해 본 논문에서 행한 분석 방법을 따라 풀 수 있을 것이다. 앞으로의 研究로는 소프트 웨어 시스템의 구조(structure)를 考慮한 試驗 方法과 放出 時期를 決定하는 問題, 誤謬 修正횟수에 의한 放出 時期 決定 등이 可能할 것이다.

REFERENCES

1. Boland, P. J., "Periodic Replacement when Minimal Repair Varys with Time," Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 29, No. 4, pp. 541-546, 1982.
2. Fairley, R. E., "Software Engineering Concept," McGraw-Hill Inc., 1985.
3. Foreman, E. H. and Singpurwalla, N. D., "An Empirical Stopping Rule for Debugging and Testing Computer Software," J. of The Amer. Stat. Assoc., Vol. 72, No. 36, pp. 750−757, 1977.
4. Foreman, E. H. and Singpurwalla, N. D., "Optimal Time Interval for Testing Hypothesis on Computer Software," IEEE Trans. Reliab., Vol. R-28, No. 3, pp. 250−253, 1979.
5. Goel, A. L. and Okumoto, K., "Time-dependent Error-detection Rate Model for Software Reliability and Other Performance Measures," IEEE Trans. Reliab., Vol. R-28, No. 3, pp. 206−211, 1979.
6. Koch, H. S. and Kubat, P., "Optimal Release Time of Computer Software," IEEE Trans Software Eng., Vol SE-9, No. 3, pp. 323−327, 1983.
7. Okumoto, K. and Goel, A. L., "Optimal Release Time for Software System Based on Reliability and Cost Criteria," J. of System Software, Vol. 1, pp. 315−318, 1980.
8. Parzen, E., "Stochastic Processes," Holdenday, 1962.
9. Ramamoorthy, C. V. and Bastani, F. B., "Software Reliability : Status and Perspectives," IEEE Trans. Software Eng., Vol. SE-8, No. 4, pp. 345−371, 1982.
10. Ross, S. M., "Software Reliability : The Stopping Rule Problems", IEEE Trans. Software Eng., Vol. SE-11, No. 12, p. 1472−1476, 1985.
11. Shanthikumar, J. K. and Tutekci, S., "Application of a Software Reliability Model to Decide Software Release Time," Microelectronics and Reliab., Vol. 23, No. 1, pp. 41−59, 1983.
12. Shooman, M. L., "Software Engineering," McGraw-Hill Inc. 1983.
13. Yamada, S., Ohba, M. and Osaki, S., "S-shaped Reliability Growth Modeling for Software Error Detection," IEEE Trans. Reliab., Vol. R-32, No. 5, pp. 47

5-478, 1983.
14. Yamada, S. and Osaki, S., "Cost-Reliability Optimal Release Policies for Software Systems," IEEE Trans. Reliab., Vol. R-34, No. 5, pp. 422−424, 1985.
15. Yamada, S. and Osaki, S., "Optimal Software Release Policies with Simultaneous Cost and Reliability Requirements," European J. Oper. Res., Vol. 31, pp. 46−5 1. 1987.