

## 비재생보증 하에서의 이단계 보전정책<sup>†</sup>

정기문<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경성대학교 수학을응통계학부

접수 2016년 10월 5일, 수정 2016년 11월 1일, 게재확정 2016년 11월 9일

### 요약

최근에 기본보증 종료된 이후에 주어지는 시스템의 추가보증에 대한 사용자의 관심이 증가되고 있다. 따라서 본 논문에서는 사용자 측면에서 비재생보증 하에서의 이단계 보전정책을 제안하였다. 이단계 보전정책의 첫 번째 단계에서는 추가보증을 구입할 것인지를 여부를 결정하고, 두 번째 단계에서는 보증이 종료된 이후의 최적의 교체 주기를 결정한다. 이때, 추가보증 동안에 발생된 시스템의 고장에 대해서는 판매자에 의해서 무료로 최소수리가 이루어진다. 최적의 이단계 보전정책을 결정하기 위해서 사용자 측면에서 기대비용을 사용하였으며, 끝으로 시스템의 고장시간이 와이블 분포를 따를 때 수치적 예를 통하여 제안된 이단계 보전정책을 설명하였다.

주요용어: 교체, 기본보증, 이단계 보전정책, 최소수리, 추가보증.

### 1. 서론

수리가 가능한 시스템 (repairable system)의 보증 및 보전정책에 대한 연구는 최근까지 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 보증 (warranty)에는 시스템을 구입할 때 기본적으로 제공되는 기본보증 (basic warranty)과 주어진 기본보증 종료된 이후에 사용자가 구입여부를 선택할 수 있는 추가보증 (extended warranty)이 있다. 이러한 기본보증과 추가보증에 대한 연구는 보증비용에 관한 분석이나 교체 및 예방보전 정책과 연계된 보전정책 등으로 다양하게 진행되고 있다.

우선, 기본보증에 있는 시스템에 대한 보전 정책과 관련된 연구로는 Sahin과 Polatoglu (1996), Jung과 Park (2003), Yeh 등 (2007), Chien (2008a, 2008b), Jung 등 (2010), Jung (2014) 등이 있다. 특히, Sahin과 Polatoglu (1996)는 재생보증 (renewing warranty)과 비재생보증 (non-renewing warranty)이 제공되는 시스템에 대하여 사용자 측면의 교체정책 (replacement policy)을 제안하였다. 그리고 Yeh 등 (2007)은 비재생무료최소수리보증 (non-renewing free minimal repair warranty)이 주어진 시스템에 대한 교체정책을 제안하였다.

그리고 추가보증과 관련된 연구로는 Wu와 Longhurst (2011), Bouguerra 등 (2012), 그리고 Jung (2013) 등이 있다. 특히, Bouguerra 등 (2012)은 추가보증을 구입하기 위한 기준을 제시하였고 Jung (2013)은 추가보증에 있는 경우의 예방보전 정책을 제안하였다.

한편, 추가보증을 선택할 수 있는 비재생보증이 주어진 수리가 가능한 시스템의 사용자에게는 두 가지의 중요한 관심사항이 있다. 하나는 사용자가 선택할 수 있는 추가보증의 구입여부를 결정하는 문제이고, 다른 하나는 전체 보증기간이 종료된 이후에 언제 새로운 시스템으로 교체할 것인가를 결정하는 문제이다. 즉, 일정한 비용을 지불하고 보증기간을 추가할 것인가와 언제 새로운 시스템으로 교체할 것인가

<sup>†</sup> 이 논문은 2016학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

<sup>1</sup> (48434) 부산광역시 남구 수영로 309, 경성대학교 수학을응통계학부, 교수. E-mail: kmjung@ks.ac.kr

가가 사용자 입장에서의 중요한 관심사항이 된다. 그러나 이러한 기본보증과 추가보증 그리고 교체정책은 서로 긴밀한 관계가 있음에도 불구하고 기존 연구에서는 기본보증과 추가보증을 독립적으로 고려하였다. 따라서 본 논문에서는 사용자 측면에서 추가보증의 구입여부와 교체주기 결정을 위한 이단계 보전정책 (two stage maintenance policy)을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 논문에서 새롭게 제안되는 이단계 보전정책에 대하여 자세히 다루고자 한다. 특히 시스템을 구입할 당시에 추가보증의 구입여부를 결정해야 하는 경우와 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우로 구분하여 두 종류의 이단계 보전정책을 제안한다. 3절에서는 수치적 예를 통하여 제안된 이단계 보전정책에 대하여 설명하고자 한다.

## 2. 비재생 보증 하에서 이단계 보전정책

추가보증을 선택할 수 있는 비재생보증이 주어진 수리가 가능한 시스템의 사용자에게는 기본보증 이후에 연장되는 보증을 구입할 것인지와 전체 보증기간이 종료된 이후에 언제 새로운 시스템으로 교체할 것인가가 관심의 대상이라고 할 수 있다. 따라서 이 절에서는 사용자 측면에서 추가보증의 구입여부와 교체주기 결정을 위한 이단계 보전정책을 제안하고자 한다. 이러한 이단계 보전정책은 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우와 시스템을 구입할 당시에 추가보증의 구입여부를 결정해야 하는 경우에 해당하는 두 종류의 보전정책으로 구분하여 고려하고자 한다.

### 2.1. 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우-모형 A

이 절에서는 시스템의 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우에 해당되는 이단계 보전정책을 설명하고자 한다 (Figure 2.1 참조). 먼저, 시스템에 기본적으로 주어지는 기본보증 기간  $w_B$ 와 기본보증 이후에 추가보증 기간  $w_E$ 가 주어지고 추가보증의 구입여부는 사용자가 결정할 수 있다. 보증기간 내에서 시스템에 고장이 발생되면 새로운 시스템으로 교체되고 보증기간은 재생되지 않고 잔여 보증기간만이 유효하게 되는 비재생교체보증이 주어진다. 기본보증 기간이 종료되는 시점에서 사용자는 추가보증의 구입여부를 결정할 수 있으며, 전체보증이 종료된 이후에  $x$ 시점에서 새로운 시스템으로 교체하게 된다. 이때 기본보증 기간이 종료되는 시점에서 시스템의 수명 (age)을  $y_B$ , 추가보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명을  $y_E$ 라고 가정하며, 보증기간이 종료된 이후의 보전기간 동안에는 최소수리가 이루어진다.

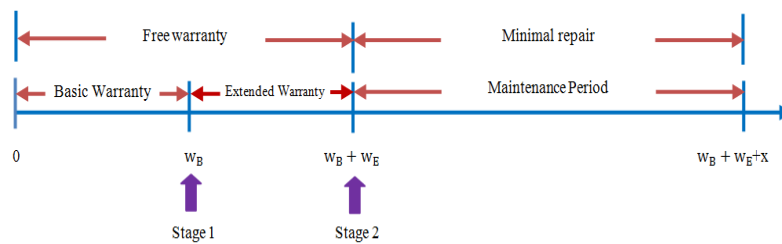


Figure 2.1 Two stage maintenance policy : Model A

이제, 위와 같이 설명되는 모형 A에 대하여 사용자 측면에서 추가보증의 구입여부와 교체주기 결정을 위한 이단계 보전정책을 제안하고자 한다. 먼저, 첫 번째 단계에서는 추가보증의 구입여부를 결정하는 단계인데, 기본보증 기간이 종료되는 시점에서 시스템의 수명인  $y_B$ 를 관측할 수 있으므로 이에 근거하여 추가보증의 구입여부를 결정할 수 있다. 사용자 측면에서 추가보증의 구입여부는 추가되는 보증의

구입비용과 구입하지 않을 경우에 발생하게 될 비용을 비교함으로써 결정할 수 있다. 그런데 추가보증을 구입하지 않을 경우에 사용자 입장에서 기간  $(w_B, w_B + w_E)$ 에서 발생하는 기대비용  $EWCA$ 은 다음과 같이 된다.

$$EWCA = c_m \int_{y_B}^{y_B+w_E} h(t)dt \quad (2.1)$$

여기서  $c_m$ 은 시스템의 최소수리 비용,  $y_B$ 는 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명,  $w_E$ 는 추가보증의 길이,  $h(t)$ 는 시스템의 고장률함수이다. 따라서 추가보증을 구입하기 위한 비용인  $c_e$ 와 추가보증을 구입하지 않을 경우에 발생하는 기대비용인 식 (2.1)의  $EWCA$ 를 사용하면 사용자는 다음과 같은 선택이 가능하다.

$$\text{(선택1)} \quad c_e < c_m \int_{y_B}^{y_B+w_E} h(t)dt \quad \text{이면 추가보증을 구입}$$

$$\text{(선택2)} \quad c_e > c_m \int_{y_B}^{y_B+w_E} h(t)dt \quad \text{이면 추가보증을 구입하지 않음}$$

첫 번째 단계가 추가보증을 구입여부를 결정하는 단계였다면, 두 번째 단계는 전체보증이 종료된 이후에 최적의 교체시점을 결정하는 단계이다. 본 논문에서는 최적의 교체시점을 결정하기 위해서는 사용자 측면에서 발생하게 되는 단위시간당 기대비용 (expected cost rate per unit time)을 사용하고자 한다. 따라서 보증기간이 종료된 이후에 시점에서 시스템을 교체하는 경우의 총기대비용 (expected total cost)을 유도하여야 하는데, 이는 보증기간이 종료된 이후의 보전기간 동안에는 최소수리가 이루어지기 때문에 다음과 같이 구해짐을 알 수 있다.

$$ETC(x) = \begin{cases} c_e + c_m \int_{y_E}^{y_E+x} h(t)dt + c_r, & \text{추가보증을 구입하는 경우} \\ c_m \int_{y_B}^{y_B+x} h(t)dt + c_r, & \text{추가보증을 구입하지 않는 경우} \end{cases} \quad (2.2)$$

식 (2.2)에서  $c_e$ 는 추가보증을 구입하기 위한 비용,  $c_m$ 은 시스템의 최소수리 비용,  $c_r$ 은 시스템의 교체비용,  $y_B$ 는 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명,  $y_E$ 는 추가되는 보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명,  $h(t)$ 는 시스템의 고장률함수이다. 따라서 식 (2.2)의 총기대비용으로부터 단위시간당 기대비용은 다음과 같이 유도된다.

$$C(x) = \begin{cases} \frac{1}{w_B + w_E + x} (c_e + c_m \int_{y_E}^{y_E+x} h(t)dt + c_r), & \text{추가보증을 구입하는 경우} \\ \frac{1}{w_B + x} (c_m \int_{y_B}^{y_B+x} h(t)dt + c_r), & \text{추가보증을 구입하지 않는 경우} \end{cases} \quad (2.3)$$

이제, 식 (2.3)에 유도된 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체주기를 결정하는 문제를 다루어 보고자 한다. 먼저, 추가되는 보증을 구입하는 경우에 대한 최적의 교체주기  $x^*$ 를 찾기 위해서 식 (2.3)에서 추가되는 보증을 구입하는 경우의 단위시간당 기대비용을  $x$ 에 관해서 1차 미분한 다음 0으로 놓고 풀면 다음을 얻을 수 있다.

$$h(y_E + x)(w_B + w_E + x) - \int_{y_E}^{y_E+x} h(t)dt = \frac{(c_e + c_r)}{c_m}. \quad (2.4)$$

또한, 추가되는 보증을 구입하지 않는 경우에 대한 최적의 교체주기  $x^*$ 를 찾기 위해서 식 (2.3)에서 추가되는 보증을 구입하지 않는 경우의 단위시간당 기대비용을  $x$ 에 관해서 1차 미분한 다음 0으로 놓고

풀면 다음을 얻을 수 있다.

$$h(y_E + x)(w_B + x) - \int_{y_B}^{y_B+x} h(t)dt = \frac{c_r}{c_m}. \tag{2.5}$$

식 (2.4)와 (2.5)에서 시스템의 고장률함수  $h(t)$ 가 증가함수이면 Shain과 Polatoglu (1996) 그리고 Jung과 Park (2003)의 결과로부터 식 (2.4)와 (2.5)를 각각 만족하는  $x^*$ 의 값이 항상 유일하게 존재한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 식 (2.4)와 (2.5)를 만족하는 각각의  $x^*$ 시점에서 새로운 시스템으로 교체하는 것이 사용자 측면에서 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체정책이 된다.

**2.2. 시스템의 구입 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우-모형 B**

이 절에서는 사용자가 처음에 시스템을 구입하는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정해야 하는 경우에 해당되는 이단계 보전정책을 설명하고자 한다 (Figure 2.2 참조). 모형 A와 마찬가지로 시스템에는 기본적으로 주어지는 기본보증 기간  $w_B$ 와 기본보증 이후에 추가되는 보증의 기간  $w_E$ 가 주어지고 추가되는 보증의 구입여부는 사용자가 결정할 수 있다. 보증기간 내에서 시스템에 고장이 발생되면 새로운 시스템으로 교체되고 보증기간은 재생되지 않고 잔여 보증기간만이 유효하게 되는 비재생교체보증이 주어진다. 사용자는 시스템을 구입하는 시점에서 추가되는 보증의 구입여부를 결정할 수 있으며, 전체보증이 종료된 이후에  $x$ 시점에서 새로운 시스템으로 교체하게 된다. 이때 기본보증 기간이 종료되는 시점에서 시스템의 수명을  $y_B$ , 추가되는 보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명을  $y_E$ 라고 가정하며, 보증기간이 종료된 이후의 보전기간 동안에는 최소수리가 이루어진다.

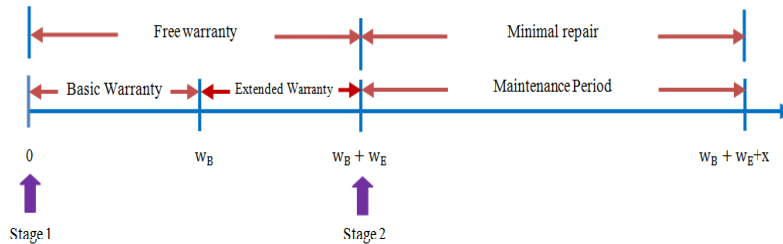


Figure 2.2 Two stage maintenance policy : Model B

이제, 위와 같이 설명되는 모형 B에 대하여 사용자 측면에서 추가보증의 구입여부와 교체주기 결정을 위한 이단계 보전정책을 설명하고자 한다. 먼저, 첫 번째 단계에서는 추가보증의 구입여부를 결정하는 단계인데, 시스템을 구입하는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정해야 한다. 사용자 측면에서 추가되는 보증의 구입여부는 추가보증의 구입비용과 구입하지 않을 경우에 발생하게 될 비용을 비교함으로써 결정할 수 있다. 그런데 추가되는 보증을 구입하지 않을 경우에 사용자 입장에서 추가보증기간 ( $w_B, w_B + w_E$ )에서 발생하는 기대비용은 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템 수명에 대한 정보가 있어야 하는데, 처음에 시스템을 구입하는 시점에서는 이를 알 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서  $Y$ 를 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템 수명을 나타내는 확률변수으로써 분포함수  $G(y)$ 를 갖는다고 가정하자. 단,  $0 \leq y \leq w_B$ 이다. 따라서 추가되는 보증을 구입하지 않을 경우에 사용자 입장에서 기간 ( $w_B, w_B + w_E$ )에서 발생하는 기대비용  $EWCB$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$EWCB = c_m \int_{\mu_Y}^{\mu_Y + w_E} h(t)dt, \tag{2.6}$$

여기서  $c_m$ 은 시스템의 최소수리 비용,  $w_E$ 는 추가되는 보증의 길이,  $\mu_Y = \int_0^{w_B} ydG(y)$ ,  $h(t)$ 는 시스템의 고장률함수이다. 따라서 식 (2.6)의 기대비용  $EWCB$ 를 활용하여 추가적인 보증의 구입여부와 관련되어 사용자는 다음과 같은 선택이 가능하다. 단,  $c_e$ 는 추가보증을 구입하기 위한 비용이다.

$$\text{(선택1)} \quad c_e < c_m \int_{\mu_Y}^{\mu_Y + w_E} h(t)dt \text{ 이면 추가보증을 구입}$$

$$\text{(선택2)} \quad c_e > c_m \int_{\mu_Y}^{\mu_Y + w_E} h(t)dt \text{ 이면 추가보증을 구입하지 않음}$$

첫 번째 단계가 추가보증의 구입여부를 결정하는 단계였다면, 두 번째 단계는 전체 보증이 종료된 이후에 최적의 교체시점을 결정하는 단계이다. 최적의 교체시점을 결정하기 위해서는 최적화의 기준이 필요한데, 모형 A에서와 마찬가지로 사용자 측면에서 발생하게 되는 단위시간당 기대비용을 사용하고자 한다. 그런데 두 번째 단계에서는 기본보증 기간이 종료되는 시점에서 시스템의 수명인  $y_B$ 와 추가보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명인  $y_E$ 를 모형 A에서와 마찬가지로 모두 관측할 수 있으므로 단위시간당 기대비용은 모형 A에서 유도된 단위시간당 기대비용인 식 (2.3)과 동일하게 된다. 따라서 최적의 교체주기도 모형 A에서와 동일하게 식 (2.4)와 (2.5)로부터 결정할 수 있다.

### 3. 수치적 예

본 논문에서 제안된 비재생보증 하에서의 최적의 이단계 보전정책을 설명하기 위해서 시스템의 고장시간  $T$ 가 와이블분포를 따른다고 가정하자. 만약, 척도모수 (scale parameter)가 1이고 형태모수 (shape parameter)가 3이라고 하면, 가정된 시스템의 고장시간  $T$ 의 확률밀도함수는  $f(t) = \beta t^{\beta-1} \exp(-t^\beta)$ 이고, 고장률함수는  $h(t) = \beta t^{\beta-1}$ 이 된다.

Table 3.1에는 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우인 모형 A에 대하여 최적의 이단계 보전정책과 그때의 단위시간당 기대비용이 구해져 있다. 예를 들어  $y_B = \frac{2}{5}w_B = 0.4$ 이고  $y_E = \frac{2}{5}w_B + w_E = 1.4$ 이며  $c_m = 1$  (단위비용)인 경우에는 추가보증을 구입하지 않고 기본보증 기간이 종료된 이후에는  $y_E + x^* = 0.4 + 2.2516 = 2.6516$  (단위시간)에서 새로운 시스템으로 교체하는 것이 비용측면에서 최적이라는 사실을 알 수 있다. 반면에 최소수리비용이  $c_m = 3$  (단위비용)으로 증가하게 되면, 추가보증을 구입하고 기본보증 기간이 종료된 이후에는  $y_E + x^* = 1.4 + 0.3235 = 1.7235$  (단위시간)에서 새로운 시스템으로 교체하는 것이 비용측면에서 최적이라는 사실을 알 수 있다. 한편, Table 3.1로 부터 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명인  $y_B$ 가 커질수록 추가보증을 구입하는 것이 최적이고, 최소수리비용인  $c_m$ 이 증가할수록 추가보증을 구입하는 것이 최적이 된다는 사실을 알 수 있다. 더불어 기본보증이 종료되는 시점에서의 시스템의 수명인  $y_B$ 가 커질수록 그리고 최소수리비용인  $c_m$ 이 증가할수록 보증기간이 종료된 이후의 교체 시점은 짧아지고 기대비용은 증가한다는 사실도 알 수 있다.

**Table 3.1** Optimal two stage maintenance policy : Model A ( $w_B = w_E = 1, \beta = 3, c_r = 50, c_e = 5$ )

$y_B$	$y_E$	$c_m = 1$		$c_m = 2$		$c_m = 3$	
		Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2
$\frac{1}{5}w_B$	$\frac{1}{5}w_B + w_E$	No	$x^*=2.3737$ $C(x^*)=19.8714$	No	$x^*=1.7818$ $C(x^*)=23.5643$	Yes	$x^*=0.4939$ $C(x^*)=25.8218$
$\frac{2}{5}w_B$	$\frac{2}{5}w_B + w_E$	No	$x^*=2.2516$ $C(x^*)=21.0910$	Yes	$x^*=0.6487$ $C(x^*)=25.1857$	Yes	$x^*=0.3235$ $C(x^*)=26.7384$
$\frac{3}{5}w_B$	$\frac{3}{5}w_B + w_E$	No	$x^*=2.1328$ $C(x^*)=22.4059$	Yes	$x^*=0.4870$ $C(x^*)=26.1311$	Yes	$x^*=0.1429$ $C(x^*)=27.3439$
$\frac{4}{5}w_B$	$\frac{4}{5}w_B + w_E$	Yes	$x^*=1.0111$ $C(x^*)=23.7063$	Yes	$x^*=0.3172$ $C(x^*)=26.8932$	Yes	$x^*=0.0001$ $C(x^*)=27.5001$

Table 3.2에는 시스템의 구입 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 경우인 모형 B에 대하여 최적의 이단계 보전정책과 그때의 단위시간당 기대비용이 구해져 있는데, 이에 대한 의미는 Table 3.1에 서와 동일하다.

**Table 3.2** Optimal two stage maintenance policy : Model B  
( $w_B = w_E = 1, \beta = 3, c_r = 50, c_e = 5, Y \sim U(0, w_B)$ )

$y_B$	$y_E$	$c_m = 1$		$c_m = 2$		$c_m = 3$	
		Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2
0.5 ( $= \mu_Y$ )	1.21132 ( $= \mu_Y - \sigma_Y + w_E$ )	No	$x^*=2.3665$ $C(x^*)=19.9378$	Yes	$x^*=0.7963$ $C(x^*)=24.1851$	Yes	$x^*=0.4843$ $C(x^*)=25.8799$
	1.50000 ( $= \mu_Y + w_E$ )	No	$x^*=2.1919$ $C(x^*)=21.7367$	Yes	$x^*=0.5686$ $C(x^*)=25.6768$	Yes	$x^*=0.2350$ $C(x^*)=27.0887$
	1.78868	No	$x^*=2.0239$ $C(x^*)=23.7305$	Yes	$x^*=0.3271$ $C(x^*)=26.8563$	Yes	$x^*=0.0001$ $C(x^*)=27.5001$
	( $= \mu_Y + \sigma_Y + w_E$ )						

#### 4. 결론

추가보증이란 시스템을 구입할 당시에 기본적으로 제공되는 보증기간이 아니고, 일정한 비용을 지불하고 보증기간을 연장할 수 있는 보증을 의미하는데, 이러한 추가보증에 대한 신뢰성 연구자들의 관심이 최근에 증가되고 있는 실정이다. 더불어 추가보증을 선택할 수 있는 비재생보증이 주어진 수리가 가능한 시스템의 사용자에게는 두 가지의 중요한 관심사항이 있다. 하나는 사용자가 선택할 수 있는 추가보증의 구입여부를 결정하는 문제이고, 다른 하나는 전체 보증기간이 종료된 이후에 언제 새로운 시스템으로 교체할 것인가를 결정하는 문제이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 최적의 이단계 보전정책을 제안하였다. 이단계 보전정책의 첫 번째 단계는 일정한 비용을 지불하고 추가보증을 구입할지를 결정하는 단계이고, 두 번째 단계는 보증기간이 종료된 이후에 언제 새로운 시스템으로 교체할 것인가를 결정하는 단계이다.

이러한 이단계 보전정책에 대하여 시스템을 구입하는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정해야 하는 모형과 기본보증이 종료되는 시점에서 추가보증의 구입여부를 결정하는 모형으로 구분하여 최적의 보전정책을 제안하였다.

한편, 본 논문에서 제안된 이단계 보전정책은 새 시스템에 대한 보전정책이므로 이를 중고 시스템에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 본 논문에서 고려한 비재생 교체보증이 아닌 다양한 형태의 보증정책이 주어진 경우로도 확장이 가능할 것으로 판단되며 이 부분에 대한 연구를 진행하고자 한다.

#### References

- Bouguerra, S., Chelbi, A. and Rezg, N. (2012). A decision model for adopting an extended warranty under different maintenance policies. *International Journal of Production Economics*, **135**, 840-849.
- Chien, Y. H. (2008a). A general age replacement model with minimal repair under renewing free-replacement warranty. *European Journal of Operational Research*, **186**, 1046-1058.
- Chien, Y. H. (2008b). Optimal age-replacement policy under an imperfect renewing free-replacement warranty. *IEEE Transactions on Reliability*, **57**, 125-133.
- Jung, G. M. and Park, D. H. (2003). Optimal maintenance policies during the post-warranty period. *Reliability Engineering and System Safety*, **82**, 173-185.
- Jung, K. M (2013). Preventive maintenance model with extended warranty. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **24**, 773-781.
- Jung, K. M (2014). Modified Wu and Clements-Croomes's PM model. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **25**, 791-798.

- Jung, K. M., Park, M. and Park, D. H. (2010). System maintenance cost dependent on life cycle under renewing warranty policy. *Reliability Engineering and System Safety*, **95**, 816-821.
- Sahin, I. and Polatoglu, H. (1996). Maintenance strategies following the expiration of warranty. *IEEE Transactions on Reliability*, **45**, 220-228.
- Wu, S. and Longhurst, P. (2011). Optimising age-replacement and extended non-renewing warranty policies in lifecycle costing. *International Journal of Production Economics*, **130**, 262-267.
- Yeh, R. H., Chen, M. Y. and Lin, C. Y. (2007). Optimal periodic replacement policy for repairable products under free-repair warranty. *European Journal of Operational Research*, **176**, 1678-1686.

## Two stage maintenance policy under non-renewing warranty<sup>†</sup>

Ki Mun Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Mathematics and Applied statistics, Kyungsoong University

Received 5 October 2016, revised 1 November 2016, accepted 9 November 2016

### Abstract

Recently, an extended warranty of a system following the expiration of the basic warranty is becoming increasingly popular to the user. In this respect, we suggest a two stage maintenance policy under the non-renewing warranty from the user's point of view in this paper. In the first stage, the user has to decide whether or not to purchase the extended warranty period. And, in the second stage, the optimal replacement period following the expiration of the warranty is determined. Under the extended warranty, the failed system is minimally repaired by the manufacturer at no cost to the user. We utilize the expected cost from the user's perspective to determine the optimal two stage maintenance policy. Finally, a few numerical examples are given for illustrative purpose.

*Keywords:* Basic warranty, extended warranty, minimal repair, replacement, two stage maintenance policy.

---

<sup>†</sup> This research was supported by Kyungsoong University Research Grants in 2016.

<sup>1</sup> Professor, School of Mathematics and Applied statistics, Kyungsoong University, Busan 48434, Korea.  
E-mail: kmjung@ks.ac.kr