

연장된 이단계 보증 이후의 교체모형

정 기 문*

경성대학교 빅데이터응용통계학과

Replacement Model after Extended Two-phase Warranty

Ki Mun Jung[†]

Department of Big Data and Applied Statistics, Kyungsoong University, Busan

Abstract

Under the two-phase warranty, the warranty period is divided into two intervals, one of which is for renewing replacement warranty, and the other is for minimal repair warranty. Jung^[13] discusses the two types of extended two-phase warranty models. In this paper, we suggest the replacement model after the extended two-phase warranty that has been proposed by Jung^[13]. To determine the optimal replacement policy, we adopt the expected cost rate per unit time. So, the expressions for the total expected cost, the expected length of the cycle and the expected cost rate per unit time from the user's point of view are derived. Also, we discuss the optimal replacement policy and the uniqueness of the solution for the optimization. Furthermore, the numerical examples are provided to illustrate the proposed the replacement model.

Keywords: Expected cost rate per unit time, extended warranty, minimal repair warranty, replacement warranty, replacement model, two-phase warranty

(Received October 25, 2021 Revised November 12, 2021 Accepted November 24, 2021)

1. 서 론

수리가 가능한 시스템에 대하여 수행되는 일반적인 보전활동으로는 수리(repair), 예방보전(preventive maintenance), 교체(replacement) 등이 있다. 수리는 사용 중에 발생하는 시스템의 고장에 대하여 이루어지는 활동으로써 완전수리, 불완전수리, 최소수리 등이 있고 예방보전은 시스템에 고장이 발생되기 전에 고장률을 낮추기 위해서 이루어지는 일련의 활동을 의미한다. 그리고 수리가 가능한 시스템에 대한 교체는 미리 정해진 시점에서 신뢰도, 비용, 가용도 등의 이유로 사용 중인 시스템을 새로운 시스템으로 바꾸는 활동인데, 주로 적절한 교체 주기를 결정하는 문

제를 다루게 된다.

한편, 시스템의 구입 시점에서 판매자에 의해서 사용자 또는 구입자에게 보증(warranty)이 제공되는 것은 매우 일반적인 일인데, 이러한 보증을 기본보증(original warranty)이라고 한다. 보통 기본보증은 매우 다양한 형태를 취하고 있으나 가장 일반적인 형태로는 보증기간에서 발생하는 시스템의 고장에 대하여 수리를 제공해 주는 수리보증(repair warranty)과 새로운 시스템으로 교체를 해주는 교체보증(replacement warranty)이 있다. 물론, 이러한 수리와 교체 보증이 결합된 일반적인 형태의 이단계 보증(two-phase warranty)도 있다. 또한, 사용자(또는 구입자)에 의해서 시스템에 제공되는 보증기간을 연장할

*Corresponding author: kmjung@ks.ac.kr

수 있는 연장된 보증(extended warranty)도 있으며, 최근에 이에 대한 시스템의 판매자와 사용자의 관심이 계속해서 커지고 있다.

이러한 측면에서 보증이 제공되는 시스템에 대한 보전정책에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Sahin and Polatoglu^[1], Jung and Park^[2], Chien^[3], Chien^[4], Yeh et al.^[5], Jung^[6], Jung et al.^[7] 등은 교체 보증 또는 수리보증 하에서의 최적의 보전 정책과 관련된 연구를 진행하였으며, Wu and Longhurs^[8], Boubuerra et al.^[9], Jung^[10,11], Jung et al.^[12] 등은 연장된 보증 하에서의 보전모형을 제시하였다.

최근에 Jung^[13]은 일반적인 형태의 보증인 내종류의 연장된 이단계 보증(extended two-phase warranty) 모형에 대하여 판매자 측면에서 보증기간 동안에 발생될 총기대보증비용을 유도하고 이를 비교하였다. 따라서 본 논문에서는 이러한 연장된 이단계 보증이 주어진 수리가 가능한 시스템에 대하여 사용자 측면에서의 교체모형을 고려하고자 한다. 즉, Jung^[13]이 제안한 연장된 이단계 보증이 종료된 이후의 교체 모형(replacement model)을 제안하고, 제안된 교체모형에 대하여 비용을 최소화하는 최적의 교체주기(optimal replacement period)를 결정하는 문제를 다루고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 Jung^[13]이 제시한 연장된 이단계 보증이 주어진 시스템에 대한 사용자 측면의 교체모형을 다루고자 한다. 3절에서는 2절에서 설명된 연장된 이단계 보증이 종료된 이후의 교체모형에 대한 단위시간당 기대비용(expected cost rate per unit time)을 유도하고자 한다. 이를 위해서 사용자 측면에서의 기대순환길이(expected cycle length)와 총기대비용(total expected cost)을 구하고자 한다. 더불어, 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체정책을 제시하고자 한다. 4절에서는 수치적 예를 통해서 제안된 최적의 교체정책의 일반적인 특성을 살펴보고자 한다.

2. 교체모형

2.1. 용어와 기호

2.1.1. 용어

재생보증(RW): Renewing Warranty

무료보증(FR): Free Warranty

비례보증(PW): Pro-rata Warranty

교체보증(RRW): Renewing Replacement Warranty

최소수리보증(MRW): Minimal Repair Warranty

2.1.2. 기호

T : 시스템의 고장시간(failure time)

$f(t)$: T 의 확률밀도함수(probability density function)

$F(t)$: T 의 수명분포함수(life distribution function)

$h(t)$: T 의 고장률 함수(failure rate function)

w_o : 기본 보증기간(original warranty period)

w_e : 연장된 이단계보증모형 I에서 연장된 교체보증기간

w_{er} : 연장된 이단계보증모형 II에서 연장된 교체보증기간

w_{em} : 연장된 이단계보증모형 II에서 연장된 최소수리보증기간

α : 전체 보증기간에서 RRW 기간의 비율, $0 < \alpha < 1$

c_e : w_e 의 구입비용

c_{er} : w_{er} 의 구입비용

c_{em} : w_{em} 의 구입비용

c_r : 시스템의 단위 교체비용(unit cost of replacement)

c_m : 시스템의 단위 최소수리비용(unit cost of minimal repair)

τ : 시스템의 교체 주기(replacement period)

$ECL_i(\tau)$: 시스템의 기대순환길이, $i = 1, 2$

$ETC_i(\tau)$: 총기대비용, $i = 1, 2$

$ECR_i(\tau)$: 단위시간당 기대비용, $i = 1, 2$

2.2. 연장된 이단계 보증모형

이 절에서는 Jung^[13]이 제안한 두 종류의 연장된 이단계 보증모형을 설명하고자 하는데, 이 보증모형은 교체보증과 최소수리보증이 함께 존재하는 이단계 보증모형 하에서의 연장된 보증모형이다.

우선, 첫번째 연장된 이단계 보증모형(연장된 보증 모형 I)은 최소수리보증 기간은 연장되지 않고 단계 재생교체보증 기간이 연장되는 형태의 연장된 보증

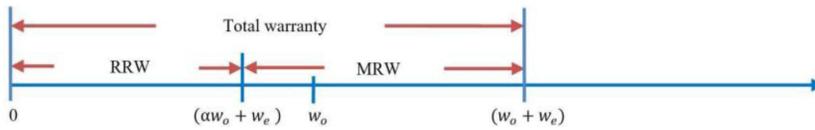


Fig. 1. Extended two-phase warranty model I



Fig. 2. Extended two-phase warranty model II

모형이다. 즉, 연장된 보증모형 I에서는 사용자가 판매자로부터 연장되는 보증기간 w_e 를 구입 하는 경우에 전체 보증기간 중에서 $[0, (\alpha w_o + w_e)]$ 동안에는 재생교체보증이 이루어지고 $[(\alpha w_o + w_e), (w_o + w_e)]$ 동안에는 최소수리보증이 수행되게 된다. 이러한 연장된 이단계 보증모형 I의 전형적인 형태가 Fig. 1에 나타나 있으며, 다음과 같은 기본적인 가정을 필요하다.

2.2.1. 가정 A

- i) 판매자는 사용자에게 기본적으로 이단계 보증 기간 w_o 를 제공한다.
- ii) 사용자는 판매자로부터 재생교체보증 기간이 추가되는 연장된 보증기간 w_e 를 구입할 수 있다.

이제, Jung^[13]이 제안한 두 번째 연장된 이단계 보증모형(연장된 보증모형 II)을 설명하고자 한다. 연장된 이단계 보증모형 II은 교체보증 기간과 수리보증

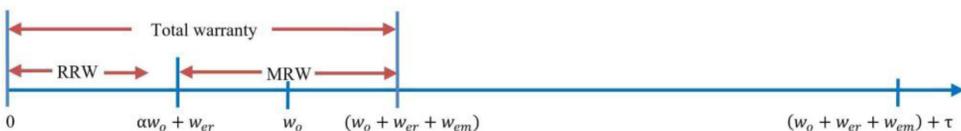
기간이 각각 독립적으로 연장되는 형태의 보증모형이다. 즉, 사용자는 판매자로부터 추가된 보증기간 w_{er} 과 w_{em} 를 구입할 수 있으며, 이로 인해 전체 보증기간 중에서 $[0, (\alpha w_o + w_{er})]$ 동안에는 재생교체보증이 이루어지고 $[(\alpha w_o + w_{er}), (w_o + w_e)]$ 동안에는 최소수리보증이 수행되게 된다. 여기서 w_{er} 은 연장되는 교체보증 기간이고 w_{em} 은 연장되는 수리보증 기간이다. 이러한 연장된 이단계 보증모형 II의 전형적인 형태가 Fig. 2에 나타나 있으며, 다음과 같은 기본적인 가정을 필요하다.

2.2.2. 가정 B

- I) 판매자는 사용자에게 기본적으로 이단계 보증 기간 w_o 를 제공한다.
- II) 사용자는 판매자로부터 재생교체보증 기간이 추가되는 연장된 보증기간 w_{er} 과 최소수리보증 기간이 추가되는 연장된 보증기간 w_{em} 을 구입할 수 있다.



(a) Replacement model I



(b) Replacement model II

Fig. 3. Replacement model after extended two-phase warranty

2.3. 연장된 이단계 보증모형 하에서의 교 체모형

사용자가 시스템을 구입해서 사용하는 경우에 관심을 갖게 되는 사항 중의 하나는 시스템을 언제까지 사용하고 새로운 시스템으로 교체를 하는가이다. 즉, 시스템의 교체 주기를 결정하는 문제이다. 따라서 이 절에서는 2.2절에서 설명한 두 종류의 연장된 이단계 보증모형 하에서 사용자 측면에서의 교체모형을 각각 고려하고자 한다. 먼저, 첫번째 교체모형은 연장된 보증모형 I이 종료된 이후의 τ 시점 즉, $(w_o + w_e) + \tau$ 에서 사용자에게 의해서 새로운 시스템으로 교체되는 모형(교체모형 I)이다. 물론, 이러한 경우의 관심 사항은 어느 시점에서 새로운 시스템으로 교체하는 것이 가장 효율적인가 하는 문제이고, 효율적인 주기를 최적의 교체주기라고 한다. 이러한 교체모형 I의 전형적인 형태가 Fig. 3의 (a)에 나타나 있으며, 다음과 같은 기본적인 가정을 필요하다.

2.3.1. 가정 C

i) 가정 A

ii) 시스템은 연장된 보증이 종료된 이후에 사용자에게 의해서 주어진 교체주기 τ 에서 새로운 시스템으로 교체된다.

iii) 연장된 보증기간이 종료된 이후에 발생하게 되는 시스템의 고장에 대해서는 사용자에게 의해서 최소 수리가 이루어진다.

iv) 교체와 최소수리를 위한 시간은 고려하지 않는다.

본 논문에서 고려하고자 하는 두번째 교체모형은 연장된 보증모형 II가 종료된 이후의 τ 시점 즉, $(w_o + w_{er} + w_{em})$ 에서 사용자에게 의해서 새로운 시스템으로 교체되는 모형(교체모형 II)이다. 이러한 교체모형 II의 전형적인 형태가 Fig. 3의 (b)에 나타나 있으며, 다음과 같은 기본적인 가정을 필요하다.

2.3.2. 가정 D

i) 가정 A

ii) 가정 C의 ii), iii), iv)

2.4. 단위시간당 기대비용과 최적화

본 논문에서는 사용자 측면에서 연장된 이단계 보증모형이 종료된 이후의 최적의 교체정책을 제시하

고자 하는데, 이를 위한 기준으로 단위시간당 기대비용을 사용하고자 한다. 따라서 2.3절에서 제안된 두 종류의 교체모형에 대한 사용자 측면에서의 단위시간당 기대비용을 유도하여야 한다. 단위시간당 기대비용은 사용자 측면에서 시스템을 운는 동안에 발생하게 되는 기대 비용과 시스템의 기대순환길이로부터 결정되므로 이를 유도해야 한다. 먼저 교체모형 I과 교체모형 II에 대한 시스템의 기대순환길이 $ECT_1(\tau)$ 와 $ECL_2(\tau)$ 는 Jung et al.^[12]과 Jung^[13]의 결과로부터 각각 다음과 같이 구해진다.

$$ECL_1(\tau) = \frac{I(\alpha w_o + w_e)}{F(\alpha w_o + w_e)} + (w_o + w_e + \tau) \tag{1}$$

$$ECL_2(\tau) = \frac{I(\alpha w_o + w_{er})}{F(\alpha w_o + w_{er})} + (w_o + w_{er} + w_{em} + \tau) \tag{2}$$

식 (1)과 (2)에서 $I(s) = \int_0^s f(\tau) d\tau$ 이고 $\bar{F}(t) = 1 - f(t)$ 이다.

이제, 두 종류의 교체모형에 대하여 시스템을 운용하는 동안 사용자 측면에서 발생하게 될 총기대비용 $ECT_1(\tau)$ 과 $ECL_2(\tau)$ 가 필요한데, 이러한 총기대비용은 연장되는 보증기간을 구입하기 위한 기대비용 EC_{EW} , 전체 재생교체보증(RRW) 기간 동안에 발생하는 기대비용 EC_{RRW} 그리고 보전기간 동안에 발생하는 기대비용 EC_M 의 합이 된다. 즉, 총기대비용은 다음과 같이 구해진다.

$$ECT_i(\tau) = EC_{EW,i} + EC_{RRW,i} + EC_{M,i}, \quad i = 1, 2 \tag{3}$$

먼저, 식 (3)의 $EC_{EW,i}$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$EC_{EW,1} = c_e, \tag{4}$$

$$EC_{EW,2} = c_{er} + c_{em} \tag{5}$$

식 (4)와 (5)에서 c_e 는 보증모형 I에서 교체 보증을 연장하기 위한 보증기간 w_e 를 구입하기 위한 비용, c_{er} 는 보증모형 II에서 교체보증을 연장하기 위한 보증기간 w_{er} 를 구입하기 위한 비용, c_{em} 는 보증모형 II에서 최소 수리보증을 연장하기 위한 보증기간 w_{em} 을 구입하기 위한 비용이다. 재생교체보증(RRW) 기간동안에 발생하는 기대비용 $EC_{RRW,i}$ 는 보증기간에서 발생하는 시스템의 교체비용에 대하여 사용자 의 비용 부담이 전혀 없는 무료보증(FR)과 그것의 일부를 사용자도 부담하는 비례보증(RW)이라는 일반

적인 보증형태를 반영하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$EC_{RRW,1} = \begin{cases} 0, FR \\ \frac{c_r}{\alpha w_o + w_e} \frac{I(\alpha w_o + w_e)}{F(\alpha w_o + w_e)}, PW \end{cases} \quad (6)$$

$$EC_{RRW,2} = \begin{cases} 0, FR \\ \frac{c_r}{\alpha w_o + w_{er}} \frac{I(\alpha w_o + w_{er})}{F(\alpha w_o + w_{er})}, PW \end{cases} \quad (7)$$

식 (6)와 (7)에서 c_r 은 새로운 시스템으로 교체하기 위한 비용이다.

끝으로 보증기간이 종료된 이후의 보전기간 동안에 발생하게 되는 비용인 식 (3)의 $EC_{M,i}$ 는 다음과 같다.

$$EC_{M,1} = c_m \int_{w_o + w_e}^{w_o + w_e + \tau} h(t) dt + c_r \quad (8)$$

$$EC_{M,2} = c_m \int_{w_o + w_{er}}^{w_o + w_{er} + w_{em} + \tau} h(t) dt + c_r \quad (9)$$

식 (8)과 (9)에서 c_m 은 시스템의 고장에 대하여 최소수리를 수행하는데 발생되는 비용이다. 따라서 식 (3)의 총기대비용 $ECT_i(\tau)$ 는 식 (4)부터 식 (9)로부터 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$ECT_1(\tau) = \begin{cases} c_e + c_m \int_{w_o + w_e}^{w_o + w_e + \tau} h(t) dt + c_r, FW \\ c_e + \frac{c_r}{\alpha w_o + w_e} \frac{I(\alpha w_o + w_e)}{F(\alpha w_o + w_e)} \\ + c_m \int_{w_o + w_e}^{w_o + w_e + \tau} h(t) dt + c_r, PW \end{cases} \quad (10)$$

$$ECT_2(\tau) = \begin{cases} c_{er} + c_{em} + c_m \int_{w_o + w_{er}}^{w_o + w_{er} + w_{em} + \tau} h(t) dt + c_r, FW \\ c_{er} + c_{em} + \frac{c_r}{\alpha w_o + w_{er}} \frac{I(\alpha w_o + w_{er})}{F(\alpha w_o + w_{er})} \\ + c_m \int_{w_o + w_{er}}^{w_o + w_{er} + w_{em} + \tau} h(t) dt + c_r, PW \end{cases} \quad (11)$$

결국, 교체모형 I과 교체모형 II에 대하여 최적의 교체주기를 결정하기 위해서 사용하고자 하는 단위 시간당 기대비용은 다음과 같이 정의된다.

$$ECR_i(\tau) = \frac{ECT_i(\tau)}{ECL_i(\tau)}, \quad i = 1, 2 \quad (12)$$

식 (12)에서 기대순환길이 $ECL_i(\tau)$ 는 식 (1)과 식 (2)에 주어져 있고 총기대비용 $ECT_i(\tau)$ 는 식 (10)과 식 (11)에 주어져 있다.

이제, 교체모형 I과 교체모형 II에 대하여 보증이 종료된 이후의 최적의 교체주기를 결정하는 문제를 다루고자 한다. 즉, 식 (12)에 있는 단위시간당 기대비용을 최소화하는 교체주기 τ^* 를 결정하고자 한다. 먼저 교체모형 I에서 최적의 교체주기 τ^* 를 찾기 위해서 $i = 1$ 인 경우의 식 (12)를 τ 에 관해서 1차 미분하여 0으로 놓고 풀면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$(c_{11} + \tau)h(w_o + w_e + \tau) - \int_{w_o + w_e}^{w_o + w_e + \tau} h(t) dt = \frac{c_2}{c_m} \quad (13)$$

여기서,

$$c_{11} = \frac{I(\alpha w_o + w_e)}{F(\alpha w_o + w_e)} + (w_o + w_e)$$

$$c_{21} = \begin{cases} c_e + c_r, FR \\ c_e + \frac{c_r}{\alpha w_o + w_e} \frac{I(\alpha w_o + w_e)}{F(\alpha w_o + w_e)} + c_r, PW \end{cases}$$

마찬가지로 교체모형 II에서 최적의 교체주기 τ^* 를 결정하기 위해서 $i = 2$ 인 경우의 식 (12)를 τ 에 관해서 1차 미분하여 0으로 놓고 풀면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$(c_{21} + \tau)h(w_o + w_{er} + w_{em} + \tau) - \int_{w_o + w_{er}}^{w_o + w_{er} + w_{em} + \tau} h(t) dt = \frac{c_{22}}{c_m} \quad (14)$$

여기서,

$$c_{21} = \frac{I(\alpha w_o + w_{er})}{F(\alpha w_o + w_{er})} + (w_o + w_e + w_{em})$$

$$c_{22} = \begin{cases} c_{er} + c_{em} + c_r, FR \\ c_{er} + c_{em} + \frac{c_r}{\alpha w_o + w_{er}} \frac{I(\alpha w_o + w_{er})}{F(\alpha w_o + w_{er})} + c_r, PW \end{cases}$$

그런데 식 (12)의 단위시간당 기대비용 $ECR_i(\tau)$ 는

Jung et al.^[13]의 결과로부터 $h(t)$ 가 증가함수이면 의사 볼록함수 (pseudo-convex function)가 되기 때문에 $ECR_i(\tau)$ 를 최소화하는 최적의 보전기간 τ^* 는 식 (13) 또는 식 (14)를 만족하는 τ 의 값이 된다. 즉 연장된 보증기간이 종료된 이후에 식 (13) 또는 식 (14)를 만족하는 τ 시점에서 새로운 시스템으로 교체하는 것이 교체모형 I과 교체모형 II에 대한 사용자 측면에서 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체정책이 된다는 사실을 알 수 있다.

3. 수치적 예

이 절에서는 교체모형 I과 교체모형 II에 대하여 유도된 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체주기 τ^* 를 결정할 수 있음을 수치적 예를 통해서 보이고자 한다. 더불어 시스템의 교체비용과 수리비용의 변화에 따라 제안된 모형별 최적의 교체정책을 결정하고 그때의 단위시간당 기대비용과 최적의 교체주기의 특성을 구체적으로 살펴보고자 한다. 이러한 수치적 예를 적용하기 위해서 시스템의 수명분포가 척도모수가 1이고 형태모수가 3인 와이블분포를 따른다고 가정하고자 한다.

Table 1과 Table 2에는 제안된 교체모형 I과 교체모형 II에 대하여 기본 보증기간(w_o), 연장된 보증기간(w_e), 연장된 교체보증기간(w_{er}), 연장된 최소수리보증기간(w_{em}), 전체 보증기간에서 재생교체보증기간의 비율(α), 시스템의 교체비용(c_r), 최소수리비용(c_m)

등이 주어졌을 때 사용자 측면에서의 최적의 교체정책과 그때의 단위시간당 기대비용이 정리되어 있다.

Table 1에서 $w_o = 1$, $w_e = 0.2$, $\alpha = 0.3$, $c_e = 20$, $c_r = 150$, $c_m = 5$, $w_{er} = 0.2 \times w_e$, $w_{em} = 0.8 \times w_e$ 이고 교체모형 I의 무료보증인 경우에 식 (12)에 유도된 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체주기 τ^* 는 1.3025(단위시간)이고 그때의 단위시간당 기대비용은 93.93464(단위비용)이 된다는 사실을 알 수 있다. 더불어 교체모형 I의 비례보증인 경우에는 최적의 교체주기 τ^* 가 1.3777(단위시간)이고 그때의 단위시간당 기대비용은 99.66685(단위비용)이 된다는 사실도 알 수 있다. 교체모형 II에 대해서도 무료보증인 경우와 비례보증인 경우에 대하여 최적의 교체주기와 그때의 단위시간당 기대비용이 각각 Table 1에 나타나 있으며 동일한 의미를 부여할 수 있다.

한편, Table 1과 Table 2에는 각 모형에 대하여 시스템의 교체비용과 수리비용의 변화에 따른 최적의 교체주기와 그때의 단위시간당 기대비용이 구해져 있으므로 시스템의 교체 및 수리비용의 변화에 따른 최적의 교체정책의 변화를 살펴볼 수 있다. 즉, Table 1과 Table 2로 부터 다음과 같은 사실을 확인할 수 있다. 1) 비례보증이 주어 진 경우가 무료보증이 주어진 경우에 비해 여 항상 단위시간당 기대비용이 큰데, 이는 사용자(구입자)의 비용 부담에 의한 결과라고 할 수 있다. 2) 다른 값이 고정되어 있을 때, 시스템의 교체비용(c_r)이 증가하면 최적의 교체주기는 늘어나고 단위시간당 기대비용은 증가하는데, 이

Table 1. Optimal replacement policy and its corresponding expected cost rate for various values of c_r ($w_o = 1$, $w_e = 0.2$, $\alpha = 0.3$, $c_e = 20$, $c_m = 5$, $w_{er} = 0.8 \times w_e$, $w_{em} = 0.2 \times w_e$)

Replacement model	c_r	Free		Pro-rata	
		τ^*	$ECR(\tau^*)$	τ^*	$ECR(\tau^*)$
Model I	50	0.6063	48.94282	0.6543	51.57505
	100	1.0086	73.17127	1.0729	77.49216
	150	1.3025	93.93464	1.3777	99.66685
	200	1.5403	112.6424	1.6241	119.6318
	250	1.7431	129.9290	1.8339	138.0724
Model II	50	0.8060	60.3717	0.8185	61.11289
	100	1.1544	83.14941	1.1722	84.41253
	150	1.4222	103.1420	1.4438	104.8434
	200	1.6444	121.3569	1.6688	123.4485
	250	1.8364	138.2967	1.8632	140.7461

Table 2. Optimal replacement policy and its corresponding expected cost rate for various values of c_m ($w_o = 1, w_e = 0.2, \alpha = 0.3, c_e = 20, c_r = 150, w_{er} = 0.2 \times w_e, w_{em} = 0.8 \times w_e$)

Replacement model	c_m	Free		Pro-rata	
		τ^*	ECR (τ^*)	τ^*	ECR (τ^*)
Model I	5	1.3025	93.93464	1.3777	99.66685
	10	0.7448	113.4629	0.8066	120.7926
	15	0.4628	124.4200	0.5188	132.9493
	20	0.2773	130.9431	0.3302	140.4994
	25	0.1394	134.5483	0.1906	145.0419
Model II	5	1.4222	103.1420	1.4438	104.8434
	10	0.8466	125.6535	0.8642	127.8306
	15	0.5568	138.8864	0.5728	141.4200
	20	0.3671	147.3472	0.3821	150.1848
	25	0.2268	152.6907	0.2413	155.8044

는 일반적으로 예상할 수 있는 결과라고 할 수 있다. 3) 다른값이 고정되어 있을 때, 시스템의 수리비용 (c_m)이 증가하면 최적의 교체주기는 줄어들고 단위시간당 기대비용은 증가하는데, 이 또한 일반적으로 예상되는 결과이다.

4. 결 론

사용자에 의해서 시스템에 제공되는 보증기간을 연장할 수 있는 연장된 보증에 대한 관심이 계속해서 커지고 있다. 이러한 측면에서 본 논문에서는 수리가 가능한 시스템에 대하여 사용자 측면에서 연장된 보증기간이 종료된 이후의 교체모형을 고려하였다. 즉, Jung^[13]이 제안한 두 종류의 연장된 이단계 보증이 종료된 이후의 교체모형을 제안하고, 제안된 두 교체모형에 대하여 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체주기를 결정하는 문제를 다루었다. 이러한 최적의 교체주기를 결정하기 위해서 시스템의 순환 길이와 총기대비용을 이론적으로 유도하였으며, 더불어 유도된 단위시간당 기대비용을 최소화하는 최적의 교체주기를 결정할 수 있음을 보였다.

한편, 수치적 예를 통해서 기본 보증기간, 연장된 보증기간, 연장된 교체보증기간, 연장된 최소수리보증기간, 전체 보증기간에서 재생교체보증기간의 비율, 시스템의 교체비용, 최소수리비용 등이 주어질 때 사용자 측면에서의 최적의 교체정책과 그때 의

단위시간당 기대비용을 결정할 수 있음을 보였다. 더 붙어 이러한 수치 결과를 통해서 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었는데, 이는 시스템의 유지보수 측면에서 매우 일반적으로 통용되는 사실에 부합되는 것이었다. 1) 비례보증인 경우가 무료보증인 경우보다 항상 단위시간당 기대비용이 크다. 2) 시스템의 교체비용이 증가하면 최적의 교체주기는 늘어나고 단위시간당 기대비용은 증가한다. 3) 시스템의 수리비용이 증가하면 최적의 교체주기는 줄어들고 단위시간당 기대비용은 증가한다.

끝으로 본 논문에서 제안된 교체모형은 현실적인 요인을 고려하여 보완된다면 산업 현장에서 직접적으로 활용이 가능한 형태의 교체모형이 될 수 있으리라 생각된다. 또한, 제안된 교체모형은 시스템에 대하여 주기적으로 예방보전 활동이 이루어지는 예방보전 모형으로도 확장이 가능할 것으로 기대한다.

Acknowledgments

이 논문은 2020학년도 경성대학교 학술 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

[1] Sahin, I. and Polatoglu, H. (1996). "Maintenance strategies following the expiration of warranty.

- IEEE Transactions on Reliability, Vol. 45, pp. 220-228.
- [2] Jung, G. M. and Park, D. H. (2003). "Optimal maintenance policies during the post-warranty period. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 82, pp. 173-185.
- [3] Chien, Y. H. (2008). "A general age replacement model with minimal repair under renewing free-replacement warranty. European Journal of Operational Research, Vol. 186, pp. 1046-1058.
- [4] Chien, Y. H. (2008). "Optimal age-replacement policy under an imperfect renewing free-replacement warranty. IEEE Transactions on Reliability, Vol. 57, pp. 125-133.
- [5] 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, Vol. 176, pp. 1678-1686.
- [6] Jung, K. M. (2012). "Cost analysis of RRNRW from the manufacturer's perspective. Journal of Applied Reliability, Vol. 12, pp. 255-263.
- [7] Jung, K. M, Park, M. and Park, D. H. (2012). "Optimal maintenance strategy for non-renewing replacement-repair warranty. Applied Stochastic Models in Business and Industry, Vol. 28, pp. 607-614.
- [8] Wu, S. and Longhurst, P. (2011). "Optimising age-replacement and extended non-renewing warranty policies in lifecycle costing. International Journal of Production Economics, Vol. 130, pp. 262-267.
- [9] 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, Vol. 135, pp. 840-849.
- [10] Jung, K. M. (2014). "Preventive maintenance policy following the expiration of extended warranty under replacement-repair warranty. Journal of Applied Reliability, Vol. 14, pp. 122-128.
- [11] Jung, K. M. (2019). "Warranty cost analysis of the new extended two-phase warranty. Journal of Applied Reliability, Vol. 19, pp. 389-395.
- [12] Jung, K. M, Park, M. and Park, D. H. (2015). "Cost optimization model following the extended renewing two-phase warranty. Computer and Industrial Engineering, Vol. 79, pp. 188-194.
- [13] Jung, K. M. (2021). "Cost analysis of the extended two-phase warranty model. Journal of the Korean Data Analysis Society, submitted