韓國經營科學會誌
第20巻 第1號
1995年 4月

교체와 수리기간을 가진 보증정책†

윤원영* · 유승효**

A Warranty Policy with Replacement and Repair Periods†

Won Young Yun* · Seung Hyo Yoo**

Abstract

This paper compares the two warranty policies which are used in Korean electronic appliance industry. Policy Ⅰ is a general warranty policy under which all of failures during warranty period (12 months) are repaired without charge. Policy Ⅱ was proposed recently by a company. Under policy Ⅱ, when the product fails until a certain time(6 months), the failed product will be replaced by the new product and all other failures from the certain time to the warranty period (24 months) will be repaired free. We obtain the expected total warranty costs per product and necessary conditions under which the Policy Ⅱ has a meaning in economic point of view without or with discount rate. Some numerical examples are considered.

1. 서론

오늘날 급속한 제조기술의 발달은 더욱 다양한 기능과 성능을 갖춘 고급 제품생산을 가능하게 하였다. 또한 소비자들의 요구도 다양해져 제품 기능의 완벽한 발휘는 물론이고 사용하기에 편리하면서도 사용중의 고장가능성이 최대한 억제된 고신뢰도의 제품을 선호하게 되었다. 이와같은 요구에 부응하고 또 적극적인 품질보증을 위하여 각 기업에서는 제품판매후 일정기간까지 발생하는 제품의 고장에 대해서는 생산자측에서 책임을 지는 사후보증(Warranty) 제도를 마련하고 있다.

† 본 연구는 학술진흥재단 학술연구조성비(1993)에 의해 연구되었음.
* 부산대학교 산업공학과 부교수
** 부산대학교 산업공학과 석사과정

사후보증이란 판매된 제품에 대하여 생산자가 제품판매후 일정기간에 발생하는 고장에 대하여 그 수리 또는 교체에 필요한 비용의 전부나 일부를 부담한다는 소비자와의 계약이다. 이러한 사후보증제도는 생산자나 소비자 모두에게 중요한 것이다. 생산자의 입장에서 볼 때 사후보증은 소비자의 구매 의욕을 북돋을 수 있는 중요한 마아케팅의 하나일 뿐만 아니라, 기업이 생산·판매한 제품은 기업이 책임진다는 사회적 책임의 이행이라고 볼 수 있기 때문이다.

본 연구는 사후보증정책에서 생산자 측면에 대한 것이므로 이 부분에 관해 보다 상세히 설명하고자 한다. 사후보증정책을 수립하기 위해서는 다음과 같은 두 가지의 문제를 고려해야 한다.

첫째, 사후보증정책의 수립을 위하여는 이에 필요한 비용부담 규모에 대한 분석이 필요하다. 사후보증에 필요한 자금을 너무 높게 책정하면 그 만큼 투자기회를 상실하는 것이 되고, 너무 낮게 책정하면 향후 발생할 회사의 이윤중 일부를 사후보증에 할애하여야 하므로 회사의 이익계획결정에 차질이 발생하게 될 것이다. 즉 사후보증에 필요한 자금은 결국 제품의 원가요소이므로 적절한 계획이 없으면 그만큼 가격 경쟁력을 잃게 되기 때문이다.

둘째, 보증정책의 수립에는 보증기간과 보증비율을 적절히 결정할 필요가 있다. 즉 제품판매후 언제까지 발생할 고장에 대하여 어느 정도의 비율로 공급자가 책임을 질 것인가를 결정하여야 한다. 보증비율에 관한 정책으로는 보증기간내에 발생하는 모든 고장제품에 대하여 그 수리-교체에 필요한 비용을 모두 생산자가 부담하는 무료보증정책(Free Warranty Policy), 사용기간의 증가에 따라 소비자의 부담비율을 증가시키는 비율보증정책(Prorata Warranty Policy), 이들을 혼합한 것으로 일정기간은 무료보증을 실시하다가 그후 부터는 비율보증을 실시하는 혼합형보증정책 등이 많이 사용되어지고 있다. 그러나 적절한 사후보증기간의 설정에는 아직 많은 연구가 이루어지지 않았고, 기간의 연장은 제품의 신뢰도를 크게 높이지 않으면 기업에 막대한 손실을 입힐 수 있으므로 적절한 보증기간의 설정은 고장발생정보도 아울러 고려하여 이루어져야 한다.

본 연구는 한국의 한 가전업체에서 이전에 일반적으로 사용했던 보증정책과 현재 새롭게 제안되고 있는 보증정책의 기대총보증비용을 비교, 검토하고 새로운 보증정책이 타당성을 가지기 위한 신뢰성향상, 판매량증가와 같은 필요조건들을 구하였다.

1.1 기호

$F(t)$, $f(t)$, $h(t)$, $H(t)$: 제품고장시간의 분포함수, 확률밀도함수, 고장율, 누적고장율함수

W_1 : 보증기간(보증정책 Ⅰ)

(W_2, α) : 보증기간과 교체가능기간(보증정책 Ⅱ)

C_1 : 교체비용

C_2 : 수리비용

θ : 할인율

$M(t)$: 재생함수

$F\gamma(t)$: Excess age 분포함수

N_1 : 보증정책 Ⅰ하에서의 판매량

N_2 : 보증정책 Ⅱ하에서의 판매량

P : 제품 단위당 가격

$C_1(W_1)$: 보증기간 W_1동안 제품단위당 기대총보증비용

$C_2(W_2, \alpha)$: 교체기간(W_2-α)를 포함한 보증기간 W_2동안 기대총보증비용

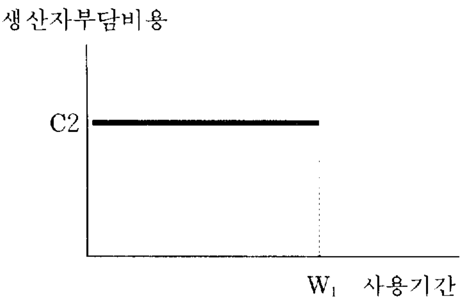
1.2 가정

1. 수리시간은 무시할 수 있다.
2. 수리후 제품은 고장직전의 상태와 동일한 조건으로 된다(최소수리가정).

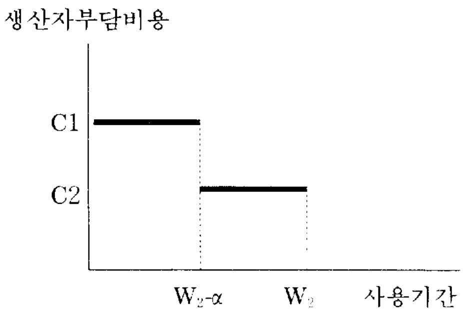
1.3 보증정책

보증정책 Ⅰ : 보증기간동안에 나는 모든 고장에 대해 생산자가 무료로 수리해준다.(그림 1)

보증정책 Ⅱ : 일정기간동안에 고장이 나면 새제품으로 교체해주고 그후 고장에 대해서는 무료로 수리해준다.(그림 2)



[그림 1] 보증정책 Ⅰ



[그림 2] 보증정책 Ⅱ

Ⅱ. 모형 및 분석

이 절에서는 두보증정책 하에서 기대총보증비용을 구하고 새로운 정책인 보증정책 Ⅱ가 경제적인 측면에서 의미를 가지는 필요조건을 신뢰성, 판매량 관점에서 유도하였다. 이러한 필요조건들을 구하기 위해서는 먼저 두가지 보증정책하에서 기대총보증비용 구해야 한다. 기대총보증비용을 구하기 위해서는 다음과 같은 정리가 필요하다.

[정리 1]
고장난 제품이 최소수리가 되고 수리시간이 무시될 수 있다면 일정시간 t까지의 고장횟수{N(t), t≥0}는 Nonhomogeneous Poisson Process(NHPP)를 따르고 이 과정(Process)의 평균치함수는 고장분포의 누적고장율함수가 된다[Nguyen과 Murthy(1984)참조]

[정리 2]
{N(t), t≥0}가 Intensity Function, h(t)를 가지는 Nonhomogeneous Poisson Process(NHPP)이며 시간 t에서 사건에 대한 비용함수가 C(t)인 경우, 시간 T까지의 기대총비용은

$$ETC(T) = \int_0^T C(t)h(t)dt \qquad (1)$$

이다.[Boland(1982)의 정리 1 참조]

위의 두 정리를 이용하면 정책 Ⅰ, Ⅱ에 대한 기대총보증비용을 구할 수 있다.

2.1.1 보증정책 Ⅰ의 기대총보증비용

보증정책 Ⅰ은 일반적으로 가장 단순한 무료보증정책으로 보증기간 까지의 기대총보증비용은

$$C_1(W_1) = C_2 H(W_1) \qquad (2)$$

이고, 할인율을 고려한다면

$$C_1(W_1)=C_2\int_0^{w1} e^{-\theta t} h(t)dt \tag{3}$$

이다.

2.1.2 보증정책 Ⅱ의 기대총보증비용

보증정책 Ⅱ에서(0, W_2-α]까지는 새제품으로 교체를 해주므로 교체해주는 횟수는 분포함수 F(t)를 interarrival 분포로 하는 재생과정(renewal process)이다. 그러므로(0, W_2-α]에서 기대교체 횟수는 F(t)에 대한 재생함수 M(W_2-α)이다. 그리고(W_2-α)기간 이후 수리횟수를 구하기 위해서는 Fγ(·)를 excess age의 분포함수, W_2-α 시점에서 excess age를 $\gamma(W_2-\alpha)$으로 두면

$$\text{Excess age}=\gamma(W_2-\alpha)$$

$$\Pr(\gamma(W_2-\alpha)>x)$$

$$=\overline{F}(W_2-\alpha+x)+\sum_{n=0}^{\infty}\int_0^{w2-\alpha}\overline{F}(W_2-\alpha-y+x)dF^n(y)$$

이고

$$1-F\gamma(x)=1-F(W_2-\alpha+x)$$
$$+\int_0^{w2-\alpha}\overline{F}(W_2-\alpha-y+x)dM(y)$$

이다. 그러므로,

$$F\gamma(x)=F(W_2-\alpha+x)-\int_0^{w2-\alpha}\overline{F}(W_2-\alpha+x-y)dM(y) \tag{4}$$

이다.

정리2를 다시 이용하면($W_2-\alpha$, W_2]사이에서 기대수리횟수는

$$\int_0^a h\gamma(x)dx=-\ln\overline{F}\gamma(a)$$

이다. 여기서, $h\gamma(x)$는 $\overline{F}(x)$의 고장율 함수이다. 따라서 기대총보증비용은 다음과 같다.

$$C_2(W_2,\ a)=C_1M(W_2-a)-C_2\ln(\overline{F}\gamma(a)) \tag{5}$$

할인율을 고려한다면 기대총보증비용은 다음과 같이 된다.

$$C_2(W_2,\ \alpha)=C_1\int_0^{w2-\alpha}e^{-\theta t}dM(t)+C_2e^{\theta(w2-\alpha)}\int_0^a e^{-\theta t}h\gamma(t)dt \tag{6}$$

여기까지 두보증정책하에서의 기대총보증비용을 구했다. 이제는 보증정책 Ⅱ가 경제적 측면에서 의미를 가지기 위한 일반적 조건들을 신뢰성측면과 판매량 측면으로 각각 나누어 분석하고자 한다.

2.2.1 신뢰성 향상 조건에 대한 분석

이 경우는 판매량은 고려않고 신뢰성 향상만을 고려한 분석이다. 즉,

$$C_1(W_1)\geq C_2(W_2,\ \alpha) \tag{7}$$

을 만족하는 신뢰도의 향상이 있어야 보증정책 Ⅱ로 변경한 것이 경제적으로 의미를 가진다.

2.2.2 판매량 증가 조건에 대한 분석

이 경우는 신뢰성향상은 고려않고 단지 판매량의 증가만을 고려한 분석이다. 판매량×(단위당가격－단위당 기대총보증비용)을 총수입이라고 본다면 보증정책 Ⅰ하에서의 총수입보다 보증정책 Ⅱ하에서의 총수입이 더 많아야 보증정책 Ⅱ로 변경한 것이 경제적인 의미가 있다고 볼 수 있다. 즉,

$N_1(P-C_1(W_1))\leq N_2(P-C_2(W_2,\ \alpha))$을 만족해야 한다.

이 식을 N_2에 대해 풀면 다음과 같다.

$$N_2\geq N_1\ \frac{P-C_1(W_1)}{P-C_2(W_2,\ a)} \tag{8}$$

이제, 고장분포함수가 특수한 경우에 대해 기대총보증비용을 구하고 새로운 보증정책이 경제적인 의미를 가지기 위한 분석을 하고자 한다.

2.3.1 지수고장분포인 함수(고장율 λ_1 혹은 λ_2)

제품의 고장이 지수분포를 따르는 경우 보증정책 Ⅰ의 경우 기대총보증비용은

$C_1(W_1)=C_2W_1\lambda_1$ 단, λ_1 : 제품고장율

이며 할인율을 고려할 경우에는

$$C_1(W_1)=C_2\int_0^{w_1}e^{-\theta t}h(t)dt=\frac{C_2\lambda_1}{\theta}(1-e^{-\theta w_1})$$

이다.

보증정책 Ⅱ하에서의 기대총보증비용은

$C_2(W_2, \alpha)=\lambda_2C_1(W_2-\alpha)+C_2\lambda_2a$

단, λ_2 : 제품고장율이며 할인율을 고려할 경우

$$C_2(W_2, a)=C_1\{\frac{\lambda_2}{\theta}(1-e^{-\theta(w_2-a)})\}$$
$$-C_2\{\frac{\lambda_2}{\theta}e^{-\theta W_2}(1-e^{\theta a})\}$$

이다.

첫째, 신뢰성 관점에서는 할인율을 고려하지 않은 경우에는

$$\lambda_2\leq\lambda_1\cdot\frac{C_2W_1}{C_1(W_2-a)+C_2a}$$

를 만족하는 신뢰성 향상이 있어야 하고, 할인율을 고려한 경우에는

$$\lambda_2\leq\lambda_1\frac{C_2(1-e^{-\theta w_1})}{C_1(1-e^{-\theta(w_2-a)})-C_2e^{-\theta w_2}(1-e^{\theta a})}\}$$

를 만족하는 신뢰성 향상이 있어야만 새로운 보증정책이 경제적으로 타당성을 지닌다.

둘째, 판매량 관점에서는 할인율을 고려하지 않은 경우에는

$$N_2\geq N_1\ \frac{P-C_2W_1\lambda_1}{P-\{C_1\lambda_2(W_2-\alpha)+C_2\lambda_2\alpha\}}\quad \text{단, } \lambda_2=\lambda_1$$

을 만족하는 판매량의 증가가 있어야 하고, 할인율을 고려한 경우에는

$$N_2\geq N_1\cdot\frac{\theta P-C_2\lambda_1(1-e^{-\theta w_1})}{\theta P-C_1\lambda_2(1-e^{-\theta(w_2-a)})-C_2\lambda_2e^{-\theta w_2}(1-e^{\theta a})}$$

단, $\lambda_2=\lambda_1$

을 만족하는 판매량증가가 있어야만 새로운 보증정책이 경제적으로 타당성을 지닌다.

2.3.2 Erlang 고장분포인 경우

제품의 고장분포가 Erlang 분포인 경우 분포함수는 다음과 같다.

$F(t)=1-(1+\lambda t)e^{-\lambda t},\ f(t)=\lambda^2te^{-\lambda t}$

보증정책 Ⅰ하에서 기대총보증비용은

$$C_1(W_1)=\int_0^{w_1}C_2h(t)dt$$
$$=C_2H(W_1)=-C_2\ln\{(1+\lambda_1W_1)e^{-\lambda_1 w_1}\}$$

이고, 할인율을 고려한다면

$$C_1(W_1)=C_2\int_0^{w_1}e^{-\theta t}h(t)dt=C_2\lambda^2\int_0^{w_1}\frac{t}{1+\lambda t}\cdot e^{-\theta t}dt$$

이다.

보증정책 Ⅱ하에서 기대총보증비용을 구하기 위해 먼저 다음과 같은 두함수를 구해야 한다.

첫째, 재생함수는

$$M(t)=\frac{\lambda t}{2}-\frac{1}{4}(1-e^{-2\lambda t})$$

이다. [Barlow와 Proschan(1965)참조]

둘째, 고장분포가 Erlang 분포일때 식4의 Excess age의 신뢰도함수는

$$\bar{F}\gamma(a)=(1+\frac{1}{2}\lambda a)e^{-\lambda a}+\frac{1}{2}\lambda ae^{-\lambda(2w-a)}$$

이다. 왜냐하면,

$$\bar{F}\lambda(a)=\bar{F}(W)+\int_0^{w-a}\bar{F}(W-y)dM(y)$$
$$=(1+\lambda W)e^{-\lambda W}+\frac{\lambda}{2}\int_0^{w-a}(1+(W-y)\lambda)$$
$$\cdot(e^{-\lambda(w-y)}-e^{-\lambda(w+y)})dy$$

여기서,

$$\int_0^{w-a}(1+(W-y)\lambda)\cdot(e^{-\lambda(w-y)}-e^{-\lambda(w+y)})dy$$
$$=\int_0^{w-a}(e^{-\lambda(w-y)}-e^{-\lambda(w+y)})dy+\lambda\int_0^{w-a}(W-y)e^{-\lambda(w+y)}dy$$
$$-\lambda\int_0^{w-a}(W-y)e^{-\lambda(w+y)}dy$$

또한,

$$\int_0^x te^{-\theta t}dt=\frac{1}{\theta^2}-\frac{1}{\theta^2}e^{-\theta x}-\frac{1}{\theta}e^{-\theta x}$$

이므로, 앞의 식을 정리하면

$$\bar{F}\lambda(a)=(1+\frac{1}{2}\lambda a)e^{-\lambda a}+\frac{1}{2}\lambda ae^{-\lambda(2w-a)}$$

이다. 따라서 정리 3, 4를 이용하면

$$C_2(W_2,\ \alpha)=C_1\{\frac{\lambda(W_2-\alpha)}{2}-\frac{1}{4}(1-e^{-2\lambda(w2-a)})\}$$
$$-C_2\ln\{1+\frac{1}{2}\lambda a)e^{-\lambda a}+\frac{1}{2}\lambda ae^{-\lambda(w2-a)})\}$$

이다.

할인율을 고려한다면

$$C_2(W_2,\ \alpha)=C_1\int_0^{w2-a}e^{-\theta t}dM(t)$$
$$+C_2e^{-\theta(w2-\alpha)}\int_0^a e^{\theta t}h\gamma(t)dt$$
$$=C_1\int_0^{w2-a}e^{-\theta t}\frac{\lambda_2}{2}(1-e^{-2\lambda_2 t})dt+C_2e^{-\theta(w2-a)}$$
$$\int_0^a e^{\theta t}\frac{\lambda_2(1-e^{-2\lambda_2(w2-t)})+\lambda_2^2t(1+e^{-2\lambda_2(w2-t)})}{2+\lambda_2t(1+e^{-2\lambda_2(w2-t)})}dt$$

이다.

Ⅲ. 예제

한 가전제품 회사는 고장분포가 고장율이 월간 1/12을 가지는 전자레인지를 생산, 판매하고 있다. 소비자가 제품을 구입한 후 부터 12개월 동안 발생한 고장에 대해서는 무료로 수리해주는 현재의 보증정책을 소비자들의 만족도를 높이기 위해 처음 6개월 동안 발생한 고장은 무료로 새것으로 교체해주고 이후 18개월 동안 발생한 고장은 무료로 수리만 해주는 보증정책으로 변경하려고 한다. 단위당 수리비용은 1만원 교체비용은 10만원이고 수리 또는 교체해주는데 걸리는 시간은 무시할 수 있다. 할인율이 0.01이고 단위당 판매가는 15만원이다. 현재의 보증정책하에서 전자레인지 판매량은 월평균 1000대 이고 보증정책이 변경되면 판매량이 증가할 것이라고 예상하고 있다. 판매량만을 고려할 때 새로운 보증정책으로 변경해도 얼마만큼 판매량이 증가해야만 늘어난 보증비용을 상쇄할 수 있을까? 또한 노후화된 생산라인의 교체로 현재의 고장율을 상당히 감소시킬 수 있다고 했을 때 어느 정도 고장율을 향상시켜야만 하는가?

3.1.1 고장이 지수분포인 경우(신뢰성 향상만 고려)

① 할인율을 고려하지 않음

$$\lambda_2\le\lambda_1\frac{C_2W_1}{C_1(W_2-a)+C_2a}=1/78=0.01281$$

그러므로, 새로운 보증정책하에서는 기존의 고장율 1/12을 최소한 1/78만큼 신뢰성향상이 필요하다.

② 할인율을 고려

$$\lambda_2\le\lambda_1\cdot\frac{C_2(1-e^{-\theta w1})}{C_1(1-e^{-\theta(w2-a)})-C_2e^{-\theta w2}(1-e^{\theta a})}=0.01278$$

그러므로, 할인율을 고려한 경우에는 새로운 보증정책하에서 최소한 0.01278만큼 신뢰성향상이 필요하다.

3.1.2 고장이 지수분포인 경우(판매량 증가만 고려)

① 할인율을 고려하지 않음

$$N_2\ge N_1\frac{P-C_2W_1\lambda_1}{P-\{C_1\lambda_2(W_2-\alpha)+C_2\lambda_2\alpha\}}=1647$$

그러므로, 새로운 보증정책하에서는 최소한 1647대(기존의 165%)만큼의 판매량 증가가 필요하다.

② 할인율을 고려한 경우에는

$$N_2 \geq N_1 \cdot \frac{\theta P - C_2\lambda_1(1-e^{\theta w1})}{\theta P - C_1\lambda_2(1-e^{-\theta(w2-x)}) - C_2\lambda_2 e^{\theta w2}(1-e^{\theta x})}$$

$=1229$

이다. 즉, 할인율을 고려한 경우에는 월간 1229(기존의 123%)대의 판매량증가가 필요하다.

3.2.1 고장이 Erlang분포인 경우(신뢰성 향상만 고려)

① 할인율을 고려하지 않음

$$C_1(12) = -\ln\{(1+\frac{1}{12}\cdot 12)e^{-\frac{1}{12}\cdot 12}\} = 0.3069$$

$$C_2(18,\ 24) = 10\{\frac{6\lambda_2}{2} - \frac{1}{4}(1-e^{-36\lambda_2})\}$$
$$-\ln\{(1+\frac{18}{2}\lambda_2)e^{-18\lambda_2} + \frac{18}{2}\lambda_2 e^{-30\lambda_2}\}$$

그러므로,

$$10\{\frac{6\lambda_2}{2} - \frac{1}{4}(1-e^{-36\lambda_2})\}$$
$$-\ln\{(1+\frac{18}{2}\lambda_2)e^{-18\lambda_2} + \frac{18}{2}\lambda_2 e^{-30\lambda_2}\} \leq 0.3069$$

만족해야 한다. 수치계산을 컴퓨터를 이용하면 새로운 보증정책하에서는 λ_2는 약 0.02999보다 높은 신뢰성향상이 필요하다.

② 할인율을 고려

$$C_1(12) = 10(\frac{1}{10})^2\int_0^{12} e^{-0.01t}\frac{t}{1+\frac{1}{12}}\ dt = 0.2847$$

$$C_2(24,\ 18) = 10\int_0^6 e^{-0.01t}\frac{\lambda}{2}(1-e^{-2\lambda t})dt + e^{-0.06}\int_0^{18} e^{-0.01t}$$
$$\frac{\lambda(1-e^{2\lambda(24-t)}) + \lambda^2 t(1+e^{-2\lambda(24-t)})}{2+\lambda t(1+e^{-2\lambda(24-t)})}\ dt$$

그러므로,

$$10\int_0^6 e^{-0.01t}\frac{\lambda_2}{2}(1-e^{-2\lambda_2 t})dt + e^{-0.06}\int_0^{18} e^{-0.01t}$$
$$\frac{\lambda_2(1-e^{-2\lambda_2(24-t)}) + \lambda_2^2 t(1+e^{-2\lambda_2(24-t)})}{2+\lambda_2 t(1+e^{-2\lambda_2(24-t)})}\ dt \leq 0.2847$$

만족해야 한다. 수치계산을 컴퓨터를 이용하면 새로운 보증정책하에서 λ_2는 약 0.02763보다 높은 신뢰성향상이 필요하다.

3.2.2 고장이 Erlang분포인 경우(판매량만 고려)

① 할인율을 고려하지 않음

$$N_2 \geq 1000\frac{15-0.0369}{15-1.7136} = 1126$$

그러므로, 새로운 보증정책하에서는 최소한 1126대(기존의 113%)만큼 판매량 증가가 필요하다.

② 할인율을 고려할 경우

$$N_2 \geq 1000\frac{15-0.2847}{15-1.6608} = 1103$$

그러므로, 할인율을 고려한 경우에는 새로운 보증정책하에서 최소한 1103대(기존의 110%)만큼 판매량 증가가 필요하다.

Ⅳ. 결론

본 논문은 널리 사용되는 보증방식과 새롭게 제안된 두종류의 사후보증 정책의 비교이다. 두보증정책하에서의 기대총보증비용을 구하고 구해진 비용을 가지고 두정책중 새로운 보증정책이 타당하기 위한 신뢰성 향상과 판매량증가 관점에서의 필요조건들을 구하였다.

현재 각기업은 보증정책을 하나의 마아케팅 전략으로 사용하고 있다. 그러나 단순한 보증기간의 연장은 기업에 막대한 비용을 부가하는 것으로 새로운 보증정책의 도입은 사전에 신중한 연구가 선행되어야 할 것이다. 즉 신뢰성향상의 가능성, 예측되는 판매량의 증가가 보장

될 때에만이 보증기간연장은 기업에 긍정적인 마아케팅전략으로서의 의미를 가지게 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Barlow, R. E. and Proschan, F., Mathematical theory of reliability, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1965.

[2] Blischke, W. R. and D. N. P. Murthy., Warranty cost analysis, Marcel Dekker, 1994.

[3] Boland, P. J., "Periodic replacement when minimal repair costs vary with time", *Naval Research Logistics Quartly*, Vol. 29, (1982), pp. 541-546.

[4] Nguyen, D. G. and D. N. P. Murthy., "A general model for estimating warranty cost for reparable products", *IIE trans.*, Vol. 16, (1984), pp. 379-386.