

## 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구

이 상진\* 이 동필\*\*

### A Study to establish the Warranty Period of the Defense Equipments

Lee, Sang Jin\* Lee, Dong Pil\*\*

#### 내용목차

1. 서론
2. 보증개념과 실태분석
3. 보증비용과 보증기간의 산정모형
4. 보증기간 설정의 사례연구
5. 결론

---

\* 국방대학교 국방관리대학원 국방관리학과 교수

\*\* 육군 보병학교

## 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구

### *A Study to establish the Warranty Period of the Defense Equipments*

#### Abstract

The objective of this paper is twofold. One is to review the warranty concept and present situation in the defense equipment acquisition. This paper describes the types of warranty policies(Free-Replacement Warranty(FRW), Pro Rata Replacement Warranty(PRW), and Combined FRW/PRW) and the cost models to deal with warranty economic decisions(Nonrenewing Warranty, Renewing Warranty). The other objective is to apply the economic model to establish the warranty period in the small numerical example. This study shows that (1) low reliability items rapidly raise the total expected cost when the warranty time is extended; (2) if the item's reliability is increased, the nonrenewing free-replacement warranty policy is the most effective one to reduce the total expected warranty cost.

<Key words> *Warranty Policy, Warranty Period, Quality Assurance*

## 1. 서론

내구재 장비의 제작자는 고객이 장비를 구입하고 난 이후 일정기간 보증(Warranty) 수리를 보장해 주고 있다. 개인용 컴퓨터의 보증기간은 3년이며, 자동차 일반부품의 경우 2년 또는 4만Km, 엔진 및 동력 전달장치는 3년 또는 6만 Km이다. 자동차 회사들은 이를 기준으로 보증기간을 운영하면서 일부 전략 차종에 대해서는 보증수리 기간을 늘려주고 있다. 전략 차종에 있어 일반부품은 3년이나 6만Km, 엔진 및 동력 전달장치는 5년이나 10만Km를 보증해 주고 있다. 군에서도 최근 K21 보병 전투장갑차의 경우 엔진 및 변속기는 납품 후 2년 또는 1,000Km 주행, 기타 부품은 납품 후 1년으로 통상적인 보증기간 1년을 초과하여 설정하는 경우가 나타나고 있다.

보증기간을 길게 설정하는 것은 제조업체나 고객 모두에게 효용을 증가시키게 된다. 고객의 입장으로는 장비 운영에 대한 신뢰도와 정비도의 향상으로 임무 수행이 원활해지고 각종 비용이 감소될 수 있다. 업체의 입장에서도 장비에 대한 신뢰도(Trustworthiness) 향상으로 판매 촉진을 달성할 수 있는 주요 수단이 된다. 방산업체의 경우 장기간의 보증기간 설정은 국제 방산시장에서 판매촉진을 할 수 있는 마케팅 수단이 될 수 있다.

보증기간의 장기간 설정은 고객과 업체의 효용을 증가하게 되지만 다른 한편으로는 연구개발 및 양산 비용이 증가하게 되고 보증기간 동안 업체의 설비 및 관련 인력의 유지를 위한 비용과 관리 부담이 증가하게 된다. 따라서 업체의 입장에서는 적절한 균형점을 찾아 보증기간을 설정할 필요가 있다.

이 연구는 국방장비의 최적 보증기간 설정을 위해 다음 세 가지 방향에서 연구를 수행한다. 첫째, 보증의 개념과 현재 보증과 관련한 실태를 분석한다. 둘째, 보증기간은 보증비용과 관계가 있으므로 보증기간 설정을 위한 모형을 개발하기 위해 보증비용 정책과 비용모형을 고찰한다. 셋째, 보증기간 설정 모형의 수치예제를 통해 신뢰도와 보증정책 간의 관계를 비교 분석하였고 최적 보증기간을 설정하는 방법을 제시하였다.

## 2. 보증개념과 실태분석

### 2.1 보증개념

보증의 일반적인 의미는 어떤 사물이나 사람에 대하여 책임지고 틀림이 없음을 증명하는 것이라고 할 수 있다. 상업적으로 보증은 사업자가 자신의 상품을 보장하기 위하여 소비자에게 행하는 상품의 특성과 완전성에 대한 약속임과 동시에 그 약속의 위반에 대한 구제의 의사표시이다. 즉 상품의 성능·기능이 일정 기간 동안 정상적으로 유지되지 않거나 하자 결함이 있을 때에는 보상·수리할 것을 약속하는 사업자의 소비자에 대한 선언이다[7].

### 2.2 보증계약의 실태 및 문제점

보증기간 설정에 있어 방위사업청은 소요군과 업체의 의견을 받아 상호협상을 통해 하자 보증기간을 설정하고 이를 계약서 계약특수 조건에 명시하고 있다. 그러나 보증기간을 결정하는데 비용과 효용을 최적화하는 특별한 논리적 기준이나 모형을 적용하지 않고 있다. 즉 보증기간 설정에 있어 공학적인 설계에 의하거나 조립품의 경우 신뢰성을 계산하여 설정하지 않고 있는 실정이다. 각 무기체계별로 보증기간을 설정한 현황은 <표 1>과 같다.

<표 1> 무기체계 보증기간 설정현황

구분	무기체계	보증기간
전차	K1A1 전차	납품 후 1년
	K1 전차	납품 후 1년
장갑차	K21 보병 전투장갑차	엔진 및 변속기는 납품 후 2년 또는 1,000km 주행 중 선도래, 기타 장비는 납품 후 1년
	K200 장갑차	납품 후 1년
	K200A1 장갑차	납품 후 1년
자주포	K-9 자주포	납품 후 1년
대공포	천마	납품 후 1년
	비호	납품 후 1년
기동장비	바라쿠다	납품 후 2년
	레토나신형짚차	상용 레토나와 동일

무기체계가 국내 연구개발이나 국외 구매이냐에 상관없이 통상적인 보증기간이 1년으로 설정되고 있다. 그런데 최근 K21 보병 전투장갑차 엔진과 변속기의 보증은 2년 또는 1,000Km 주행거리 중 먼저 도래하는 것을 보증기간의 기준으로 삼고 있다. 이처럼 일부 무기체계의 보증기간이 확장되고 있으나 방산업체는 통상적으로 1년을 보증기간으로 설정하려고 하고 있다.

방위사업청이나 소요군의 입장에서는 보증기간이 장기간으로 설정되기를 원하지만 업체에서는 단기간으로 설정하고자 하는 것이 현실이다. 방산업체도 보증기간을 장기간으로 설정하면 장비의 신뢰도를 높이게 되어 국제 방산 마케팅에 도움이 되는 등 여러 가지 장점이 많다는 것을 알고 있으나 비용 문제로 인해 보증기간의 확장은 쉽지 않은 실정이다. 보증기간을 논리적으로 설정하기 위해서는 연구개발 단계에서 신뢰도 할당/예측/검증과 설계품질 향상을 위한 활동이 필요하며 이를 위한 비용이 발생한다. 양산단계에서는 구성품과 부품의 신뢰성 확보와 적합품질 향상 활동을 위해 비용이 필요하다. 운영유지 단계에서도 보증기간 동안 생산라인과 공급체인을 유지해야 함으로 보증기간 동안 관련 설비, 장비, 인력 유지를 위한 추가비용이 소요되고 협력업체 관리비용이 증가하게 된다. 또한 대부분의 방산물자는 상용제품과는 달리 소량생산품이 많기 때문에 소량생산품에 대한 생산라인과 협력업체 공급체인을 유지하기가 업체로서는 쉽지 않은 실정이다.

보증기간과 관련하여 보증의 시작과 종료시점에 대한 협의가 필요하다. 보증의 시작은 구입 시점, 납품 시점, 설치 이후 운용 시점 등 장비의 특성에 따라 언제부터 보증이 시작되는지 상호협상에 의하여 정하여 질 것이다. 하자발생시점이 보증기간 내에 포함되느냐의 여부도 중요한 협의의 대상이 된다. 현재 국방기술품질원에서 인정하는 하자발생시점은 '갑'이 정한 품질보증기관이 계약물품의 결함, 즉 그 규격과 품질이 계약내용과 상이함을 공식적으로 인정한 시점으로 되어 있다. 그러나 현재 상호 공식적으로 인정한 시점이 언제인지에 대해서는 보다 명확히 검토를 하여 결정해야 할 것이다.

하자발생시점이 고장 혹은 결함이 발견된 시점이나 혹은 하자를 제기한 시점이냐는 것은 소요군이나 업체 쌍방에게 중요한 문제라 할 수 있다. 미군에서

M-1 전차의 엔진(AGT-1500)에 대한 하자제기가 계약자에 의해 거절된 사례가 있다[8]. 이유는 고장이 발생한 시간에 상관없이 당시의 계약서에 명시된 보증기간인 90일을 지나서 하자제기가 계약자에게 요청되었기 때문이었다. 그리고 브래들리(Bradley) 장갑차의 변속기(HMPT-500)에 대한 하자제기에 있어서 총 100건의 하자 중 46건이 계약자에 의하여 거절되었던 경우가 있다. 이는 업체에서 고장의 원인을 판단하는데 있어 미 육군에서 제시한 자료가 불충분하였으며, 또한 하자가 제기된 시점이 보증기간 내에 있는 것인지 불명확하였기 때문이다. 이와 같이 하자가 발생하였음에도 불구하고 하자의 판단여부가 상호간의 합의 하에 이루어지지 않는 경우에는 시간간격으로 인하여 하자보증을 받지 못할 수 있다 [8].

### 2.3 하자보증의 실태분석

보증의 범위를 정하기 위해서는 하자과 사용자 불만에 대한 정의가 필요하다. 군에서 사용자 불만이라는 것은 장비의 배치 및 운영 단계에서 장비의 성능과 신뢰도 및 사용편의성 등이 사용자의 요구를 충족시키지 못하여 나타나는 것이다. 하자라는 것은 계약품질 요구조건과 일치하지 않는 품목이 존재한다는 의미이다. 여기서 보증수리는 장비의 규격과 품질이 계약내용과 상이한 경우에 발생하기 때문에 하자의 경우는 보증수리의 대상이 될 수 있지만 사용자 불만의 경우는 대부분이 보증의 대상이 되지 못한다고 할 수 있다.

사용자 불만과 하자 현황을 종합해 보면 전체적으로 사용자 불만과 하자 발생이 지속적으로 발생하고 있다. 최근 5년간 사용자불만 발생 중 하자비율은 <표 2>와 같이 약 40%를 차지하고 있다.

<표 2> 최근 5년간 사용자불만 발생 중 하자비율

구 분	계	02년	03년	04년	05년	06년
사용자불만	842	185	130	131	150	246
하자	337	84	43	64	54	92
하자율	40%	45%	33%	49%	36%	37%

(출처 : 방위사업청(2007), 『2007년도 국정감사 요구자료』, p. 169.)

하자 발생현황을 다음 <표 3>과 같이 분야별로 살펴보면 기동분야 장비의 하자가 전체 하자 중 50%이다. 기동분야 장비 다음으로 총포, 물자, 통신전자 순으로 하자 발생이 많다. 기동과 총포장비는 장갑차, 전차, 자주포 등 궤도장비가 대부분을 차지하고 이중에는 K1A1 전차, K9 자주포, K200 장갑차 등도 포함된다. 군의 전력에 중요한 부분을 차지하고 특수품보형<sup>1)</sup>에 해당하는 고가의 장비에서 하자가 꾸준히 발생하고 있는 것을 살펴볼 때 이러한 부분의 신뢰도를 높이고, 하자가 발생하지 않을 수 있도록 품질보증을 강화해야 할 필요성이 제기된다. 또한 기동분야 장비의 신뢰도 향상과 보증기간의 장기화는 국제방산시장에서 판매를 증진시킬 수 있을 것이다.

<표 3> 5년간 분야별 하자 발생현황

구분	합계	02년	03년	04년	05년	06년
분야/합계	337	84	43	64	54	92
총포	58	13	7	7	11	20
기동	167	52	22	32	20	41
통신전자	32	10	4	5	3	10
항공	18	1	3	3	0	11
물자	51	8	5	15	14	9
합정	9	0	2	2	5	0
탄약	2	0	0	0	1	1

(출처 : 상계서, p. 170.)

하자 처리가 어떻게 되었는지는 다음 <표 4>와 같다. 하자보증정비란 보증기간 내 있는 제품으로 현지 부대에서 생산자가 정비 및 수리를 한 것이다. 수정납품은 부대에서 하자 제품을 불출 받아 생산 현장에서 수정 후 납품하는 방식으로 처리한 것이다. 법적처리는 업체부도나 계약이행 불이행으로 하자구상이 안될 경우 계약부서에서 국가계약법에 따라 최종 처리하는 것이다. 전체 하자발생 중 하자보증정비는 20%이다.

1) 국방분야 품질보증은 요구형태에 따라 I형(단순품보형), II형(일반품보형), III형(표준품보형), IV형(정밀품보형), V형(특수품보형)으로 분류하여 품질을 보증하고 관리한다. 특수품보형은 군사용품이며 품목의 구조가 복잡하고 긴요품목인 경우의 품질보증형태이다.

<표 4> 하자처리의 방법별 결과

구분	계	하자보증정비	1:1교체	수정납품	법적처리	기타
2006년	92	17	43	25	2	5
2007.7월	40	10	21	5	1	3
계	132	27	64	30	3	8

(출처 : 상계서, p. 161.)

중앙조달 납품 중에서 하자 발생현황은 다음 <표 5>와 같다. 2006년에 총 3조 7,600억원에 해당하는 군수품 32,000종 중에서 96건이 하자로 나타났다. 2006년도의 하자발생이 2006년도 납품액 만이 아니라 그 이전 해에 납품한 것에 대한 하자도 포함하게 되지만 평균 하자 발생률은 0.3%이다. 여기서 하자발생 금액은 장비에 포함된 하자 부품단가가 아닌 장비 계약단가로 계산된 것이다. 고가 장비에 하자가 발생하여 하자발생건수 대비 금액이 상당히 높다.

<표 5> 군납총액 대비 하자 발생액

구분	군납총액	하자발생액	비고
계	5조 6,419억원	3,856억원	
2006년	3조 7,598억원	2,861억원	비호, K1A1, K9, T50고등훈련기
2007년7월	1조 8,821억원	995억원	비호, K1A1

(출처 : 상계서, p. 162.)

품질비용은 예방비용, 평가비용, 실패비용으로 구성된다. 하자발생으로 인한 비용은 실패비용에 해당되며, 그 중에서도 외부 실패비용에 해당된다. 방산업체에서 하자발생으로 인해 보증수리를 할 경우, 군 부대 특성상 장비가 전 지역에 분포되어 있어 이동하거나 장비를 수집할 경우 사용되는 출장비, 숙박비, 인건비 등 직간접 비용이 일반 제품에 비하여 높아질 가능성이 있다. 이런 측면에서 방산업체의 외부 실패비용을 최소화하기 위해 품질보증 활동을 증대해야 하며 이러한 품질보증 활동이 방산업체의 이익을 최적화할 수 있다. 또한 군의 입장에서도 장비의 신뢰도를 향상시키기 위해 요구하는 방법 중의 하나가 보증기간을 길

게 설정하는 것이다. 신뢰성이 높지 않은 장비에 있어 보증기간을 길게 설정할 경우 보증비용이 급격하게 증가하여 업체의 이윤을 적게 하기 때문이다. 업체에서 보증비용을 감소시키기 위해서는 품질보증 활동을 강화해야 할 것이다.

### 3. 보증비용과 보증기간의 산정모형

#### 3.1 신뢰도와 고장율곡선

신뢰도란 어떤 특정 시스템이 규정된 환경조건하에서 고장 없이 일정기간동안 성능을 발휘할 수 있는 확률로 정의된다. 고장까지의 시간이 음성지수분포에 의해 설명된다면 신뢰도함수  $R(t)$ 는 다음과 같다. 여기서  $t$ 는 고장 발생 전까지의 확률변수 시간,  $\theta$ 는 시스템 품목수명에 대한 산술평균 즉, 평균수명이다[5].

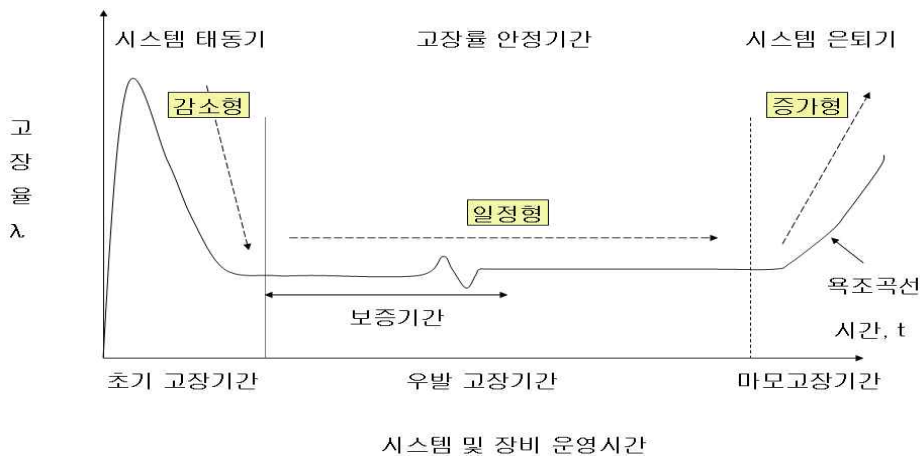
$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}} dt = e^{-\frac{t}{\theta}} = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

고장률함수  $\lambda(t)$ 는 수명 데이터가 어떤 분포를 따르는가에 따라서 여러 가지 형태가 있을 수 있으며, 전형적인 몇 가지 유형은 단조증가, 단조감소, 상수 고장률, 육조형 고장률 함수이다. 육조형 고장률 함수형태는 복잡한 제품에 해당되는 경우가 많다. 초기에는 제품 설계상 또는 사용상의 결함으로 인하여 고장이 많이 발생하다가 시간이 지남에 따라 고장이 감소하여 어느 일정한 고장률을 가지며, 제품을 오래 사용하면 마모 등의 원인으로 다시 고장이 많이 발생하는 복잡한 제품에 적용되는 고장률함수이다[3].

무기체계가 운용될 때 발생하는 고장은 다음의 세 가지 유형으로 분류된다. 첫째, 사용된 부품의 품질 고장(Quality Failure)에 의하여 고장이 발생한다. 둘째, 운용환경에서의 스트레스(Stress)와 관련하여 고장이 발생한다. 셋째, 장비 운용에 따른 부품의 노화에 의해 고장이 발생한다. 장비의 고장은 일반적으로 위의 세 가지 유형이 합쳐져 나타날 수도 있다. 고장률을 시간 축으로 그려보면 육조

곡선(Bathtub Curve)이라고 부르는 형태로 표시된다. 육조곡선의 첫 번째 단계 (I)는 초기고장(Early Failure)이 발생하는 시기로서 장비사용 초기의 짧은 기간이다. 두 번째 단계(II)는 우발고장(Random Failure)이 발생하는 시기이다. 이 기간에는 고장률 혹은 순간 고장률이 일정하다. 이 시기의 고장은 사고나 지나친 부하, 그리고 복잡한 물리적 고장메커니즘의 결합으로 우연히 발생하는 경우가 많다. 우발고장은 높은 신뢰성의 부품 및 재료를 사용하는 것이다. 세 번째 단계 (III)는 마모고장(Wear-out Failure)이 발생하는 시기이다[6].

<그림 1>에서 하자보증은 고장률이 안정화되는 시기 중 일부 구간에서 설정된다. 시스템의 신뢰도가 높아서 고장률이 안정화되는 기간이 오래 지속되면 제작사 입장에서는 하자보증 수리기간을 연장한다고 하더라도 큰 비용소요는 발생하지 않을 것이다. 이러한 것들을 고려하여 하자보수에 대한 의사결정이 이루어져야 할 것이다[5].



<그림 1> 고장률곡선

### 3.2 보증비용의 산정 및 보증기간의 설정

#### 1) 보증비용 산정정책

최적의 보증기간 설정은 보증비용의 발생과 관련되어 있다. 보증정책은 무료 보증(Free-Replacement Warranty) 정책, 비율보증(Pro Rata Replacement

Warranty) 정책, 혼합보증(Combined FRW/PRW) 정책으로 구분된다.

무료보증정책은 생산자가 보증기간 내 고장이 발생할 경우 제품의 교체 혹은 수리비용 전부를 부담하는 정책이다. T는 제품의 고장까지의 시간, F(t)는 고장 시간 t의 고장분포, X는 보증기간인 (0, w) 기간 내 발생하는 고장에 대한 생산자의 비용이며,  $c_1$ 은 수리 및 교체를 위해서 소요되는 제품의 단위당 비용을 나타낸다고 하자. 무료보증에서,  $t > 0$  시간 동안의 생산자의 비용과 보증기간 이후의 생산자 비용은 다음과 같다.

$$X(t) = \begin{cases} c_1, & 0 < t \leq w \\ 0, & t > w \end{cases} \quad (2)$$

예상되는 단일 고장에 대한 예상평균 단위비용은 다음과 같다.

$$E(X(t)) = \int_0^w c_1 f(t) dt \quad (3)$$

$f(t)$ 와  $F(t)$ 가 확률밀도함수 및 T시간에 대한 누적밀도함수일 때 다음과 같은 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$E(X(t)) = c_1 F(w) \quad (4)$$

비율보증정책은 소비자에게 보증기간 내에 고장이 발생할 경우 사용수명에 비례하여 환불해주는 정책이다. 이 정책은 재수리가 불가능한 타이어 혹은 배터리와 같은 특수한 품목에 한정적으로 적용된다. 비율보증정책은 보증기간 내에서 시간에 따른 단위품목당 비용( $c_o$ )이 소요된다. 비율보증정책에서,  $t > 0$  시간 동안의 생산자 비용과 보증기간 이후의 생산자 비용은 다음과 같다.

$$X(t) = \begin{cases} c_o \left( \frac{w-t}{w} \right), & 0 < t < w \\ 0, & t > w \end{cases} \quad (5)$$

예상되는 단일 고장에 대한 예상평균 단위비용은 다음과 같다.

$$E(X(t)) = \int_0^w c_0 \left( \frac{w-t}{w} \right) f(t) dt \quad (6)$$

$F(t)$ 가 T시간에 대한 누적밀도함수일 때 다음과 같다.

$$E(X(t)) = c_0 F(w) - \frac{c_0}{w} \int_0^w t f(t) dt \quad (7)$$

혼합 보증정책은 제품이 두 보증정책의 결합 하에 판매되는 것이다. 최초의  $(0, w_1)$ 기간 안에 발생하는 고장에 대해서는 무료보증 방식으로 하고, 남은 기간인  $(w_1, w_2)$  동안에는 비율보증 방식을 이용하는 것이다. 단위보증비용은 다음과 같다.

$$X(t) = \begin{cases} c_0, & 0 < t \leq w_1 \\ c_0 \left( \frac{w_2-t}{w_2-w_1} \right), & w_1 < t \leq w_2 \\ 0, & t > w_2 \end{cases} \quad (8)$$

예상되는 단일 고장에 대한 예상평균 단위비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E(X(t)) &= c_0 \int_0^{w_1} f(t) dt + \frac{c_0}{w_2-w_1} \int_{w_1}^{w_2} (w_2-t) f(t) dt \\ &= c_0 F(w_1) + \left( \frac{c_0 w_2}{w_2-w_1} \right) [F(w_2) - F(w_1)] \\ &\quad - \frac{c_0}{w_2-w_1} \int_{w_1}^{w_2} t f(t) dt \end{aligned} \quad (9)$$

마지막 식을 부분 적분하여 단순화하면 다음과 같다.

$$E(X(t)) = \left( \frac{c_0}{w_2-w_1} \right) \int_{w_1}^{w_2} F(t) dt \quad (10)$$

## 2) 재생여부에 따른 보증비용 산정

생산자의 보증비용을 포함한 총예상비용은 보증의 재생여부에 따라 차이가 발생할 수 있다. 재생보증(Renewing Warranty) 정책은 보증기간 동안 고장이 발생할 경우 해당 고장시간부터 보증기간이 다시 시작되는 것이다[2,9]. 비재생보증(Nonrenewing Warranty) 정책은 보증기간이 고정되어있고 그 기간동안 하자를 책임지는 경우이다. 비재생보증정책에서 최초 제품의 생산자 비용은  $c_0$ 이라고 하자. 고장( $i$ )이  $t$  시간에 일어났다고 할 때  $N(t)$ 를  $(0,t)$ 시간 사이에 고장이 발생한 횟수라고 하자. 그리고 고장( $i$ )가  $i=1,2,\dots$ 로 발생할 때 고장으로 인한 단위당 비용을 무작위변수  $X_i(t)$ 라 하자. 그렇다면 총비용은 최초 제품의 생산자 비용에 고장으로 인한 비용을 더한 것이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(w) = c_0 + \sum_{i=1}^{N(w)} X_i(t) \quad (11)$$

고장 간 시간은 동일독립분포(Independent and Identically Distributed)이므로  $N(w)$ 는 중단시간이 된다. 따라서 보증기간동안 예상되는 총비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(w) = E[Y(w)] = c_0 + E[X_i(w)]M(w) \quad (12)$$

여기서, 재생함수(Renewal Function)  $M(t)$  값은 다음과 같다.

$$M(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F^{(n)}(t) \quad (13)$$

$F^{(n)}(t)$ 은  $F$ 값의  $n$ 차-중합함수( $n$ -fold convolution)값이다. 많은 경우에 있어서,  $E[X_i(w)]$ 은 단위당 평균 상수 값  $c_1$ 으로 취급된다. 그러므로 식에서 더 간단한 예상 총비용함수를 다음과 같이 산출한다.

$$C(w) = c_0 + c_1 M(w) \quad (14)$$

재생함수인  $M(t)$ 는 제품이 납품된 이후 사용기간에 해당하는 고장률이 일정한 구간에 해당되므로 지수분포를 나타낸다. 재생함수는 지수분포에서 간단한 선형 함수를 나타내는 성질이 있다. 이를 적용하면 다음과 같다.

$$M(t) = \lambda w \quad (15)$$

재생함수를 다시 앞의 식에 적용하면 지수분포를 따르는 무료보증 비재생보증 정책에서 예상총비용은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C(w) = c_0 + c_1 \lambda w \quad (16)$$

대부분의 소비자는 그들의 보증기간 내에 한번 이상의 고장을 거의 갖지 않는다. 보증기간 내 한번 이상의 고장이 있다는 것은 제품이 심각한 품질 문제를 가지고 있는 것이고 그것은 아마도 너무 성급하게 시장에 제품을 출시한 것으로 볼 수 있다. 이것을 단일고장 가정(Single-failure Assumption)이라고 한다. 재생보증 하에서는 단일고장 가정을 적용하여 보증기간동안 한번의 고장만 발생하여 보증수리이후 보증이 다시 갱신된다. 따라서 단일고장에서 예상평균 단위비용을 구하는 식을 이용하여 무료보증, 비례보증, 혼합보증의 경우 비용을 각각 구할 수 있다. 제품이 비용  $c_0$ 에 생산되었고, 고장이 보증기간 내에 발생하여 교체가 이루어졌을 때, 교체된 품목은 새로운 보증기간이 적용되어 보장된다. 이 때 생산자의 총예상비용은 다음과 같다.

$$C(w) = c_0 + E \left[ \sum_{i=1}^{N(w)} X_i(t) \right] \quad (17)$$

$N(w)$ 는 보증기간 내에 발생한 고장의 숫자를 나타내는 무작위 변수이다. 교체

비용은 독립적이며  $X_1(t), X_2(t), X_3(t), \dots$ 는 동일독립분포이다.  $X_1(t)$ 와는 독립적인 것으로 가정되는  $N(t)$ 는 시간이다.  $C(w)$ 는 다음과 같은 식이다.

$$C(w) = C_0 + E[X_1(w)]M(w) \quad (18)$$

$N(w)$ 는 기하학적으로 분포되어 있다.

$$P(N(w) = n) = [1 - F(w)] [F(w)]^{n-1}, \quad (19)$$

$$n = 1, 2, \dots$$

여기서 재생함수는 다음과 같다.

$$M(w) = E[N(w)] = \frac{1}{1 - F(w)} \quad (20)$$

따라서 총예상비용을 구하면 다음과 같다.

$$C(w) = c_0 + \frac{E[X_1(w)]}{1 - F(w)} \quad (21)$$

무료보증에서 주어진 식을 이용하여 총예상비용을 구해보면 다음과 같다[10].

$$C_F(w) = \frac{C_0}{1 - F(w)} \quad (22)$$

### 3) 하자보증 기간설정

최적의 보증기간 결정을 위해서는 고객이 제품에 대하여 느끼는 품질을 고려해야 한다. 만일 고객이 제품의 품질이 높다고 평가한다면 고객은 고장이 발생한 것에 대하여 많은 하자보증을 요구하지 않을 것이다. 그러나 품질에 대하여 알려지지 않았거나 낮은 품질에 대해서는, 생산자는 더 넓은 범위의 보증과 장기간의

보증기간을 제공해야만 고객이 해당 제품을 구매할 것이다. 따라서 제품의 보증 정책을 결정하기 위해서는 제품의 고장특성에 대한 정보를 필요로 한다. 또한 교환과 수리를 위한 비용, 그리고 보증정책으로 인하여 시장에서 생산자에게 오는 효용(Benefit)과 관련된 정보를 알아야 한다.  $B(w)$ 는 보증기간동안 보증으로 인한 생산자의 예상 효용을 나타낸다. 이 효용은 보증정책이 존재하지 않을 경우에 시장에 보다 비싼 값으로 내놓아야 하지만, 보증정책을 제시함으로써 보다 낮은 가격에 시장에 진출할 수 있음으로 생산자에게 발생하는 효용이다. 그리고  $C(w)$ 는 보증을 위한 예상비용이다. 생산자 총예상비용은 다음과 같다.

$$T(w) = C(w) + B(w) + K \quad (23)$$

여기에서  $K$  값은 보증정책을 수행하기 위한 행정 처리를 할 때 발생하는 행정비용을 나타내는 값이다.

효용함수가 지수분포의 형태를 갖고 있으며 시간이 지남에 따라 값이 줄어드는 경우를 가정하였다. 그리고 지수분포에 영향을 주는 요소는 지수분포에서 재생함수 값인 고장률과 보증기간을 곱한 값으로 하였다. 총비용을 구하기 위해서 시간이 증가함에 따라 비용은 증가하고 효용은 감소하는데 이 때 효용은 지수적으로 감소하는 곡선 형태를 나타낸다. 효용 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B(w) = C_2 \exp(-\lambda w) \quad (24)$$

위의 식을 적용하여 생산자 총예상비용을 구하여 보자. 이때,  $c_2$ 는 생산자가 보증정책으로 인하여 발생하는 효용 비용을 나타낸다.  $c_1$ 은 고장발생 시 교체 및 수리로 발생하는 생산자 비용이다. 총예상비용은 다음과 같다.

$$T(w) = C(w) + B(w) + K \quad (25)$$

비재생 무료보증비용 산정에서 효용함수를 적용하면 다음과 같다.

$$T(w) = c_0 + c_1 M(w) + c_2 e^{(-\lambda w)} + K \quad (26)$$

식을 미분하면 다음과 같다. 단,  $\frac{d}{dw} M(w) = m(w)$

$$\frac{d}{dw} T(w) = c_1 m(w) - \lambda c_2 e^{-\lambda w} = 0 \quad (27)$$

그런데 지수함수에서  $m(w) = \lambda$ 이므로 이것을 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{d}{dw} T(w) = c_1 \lambda - \lambda c_2 e^{-\lambda w} = 0 \quad (28)$$

여기서, 식을 충족하는 최적의 보증기간인  $w^*$ 가 존재한다면, 식은 0이 되어야 해가 존재함을 증명할 수 있으므로 다음과 같이 계산된다.

$$c_1 \lambda - \lambda c_2 e^{-\lambda w} = 0 \quad (29)$$

이 값은 두 곡선이 만나는 점에 해당하는 총생산비용의 값이 된다. 여기서 양변에 자연로그를 취하면 다음과 같다.

$$-\lambda w \ln c_2 = \ln c_1 \quad (30)$$

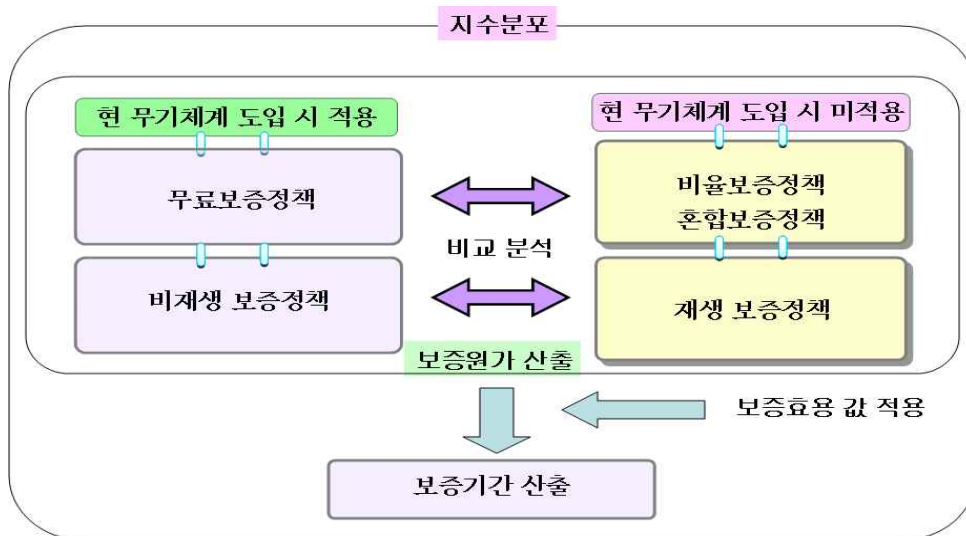
따라서 최적의 보증기간은 다음과 같다.

$$w^* = \frac{\ln c_2 - \ln c_1}{\lambda} \quad (31)$$

## 4. 보증기간 설정의 사례연구

### 4.1 보증비용과 보증기간의 비교절차

먼저 정책별 보증비용을 비교분석하고, 비재생보증을 재생보증과 비교 분석하였다. 그리고 계산된 총비용에 보증효용값을 고려하여 보증기간을 산출하였다. 분포는 와이블분포의 특수한 경우인 지수분포를 가정하였다. <그림 2>는 보증비용 및 보증기간 산정절차를 보여준다.



<그림 2> 보증비용산정 및 보증기간설정 절차

<그림 2>는 산출된 총비용을 보증효용과 함께 고려하여 보증기간을 산출하는 절차를 보여준다. 보증기간의 설정은 Thomas[10]가 제시한 효용함수를 지수함수로 가정하여 설정하는 방법을 이용한다. 방산업체의 보증효용 값을 도출하는 것이 제한되므로 보증을 위한 수리/재생비용에 일정한 비율을 가정하여 보증기간을 적용하도록 한다.

<그림 2>는 또한 현재 무기체계 도입 시 적용하고 있는 보증정책을 다른 보증정책을 적용하였을 경우와 비교분석하는 절차를 보여준다. 현 무기체계 도입

보증정책을 그림과 같이 비교하는 이유는 다음과 같다.

첫째, 현행 국방장비의 보증은 무료보증 정책으로 이는 보증기간 내 고장 발생에 대하여 방산업체가 수리 및 교체에 대한 책임을 지게 된다. 현재까지 수리가 불가능한 경우에 해당하는 타이어나 배터리 같은 것에 적용하는 비율보증이나 비율보증을 무료보증과 함께 적용한 혼합보증도 국방장비 획득 사례에서 찾아 볼 수 없다. 하지만 차후 보증정책이 구체화 된다면 이를 적용될 수 있을 것이기에 비교분석하였다.

둘째, 현행 국방장비의 현 보증은 계약에 있어 보증기간이 고정되어 있는 비재생보증정책을 취하고 있다. 한번 정해진 보증기간동안 사용 중 고장이 발생하여 교체를 할 경우 보증기간이 다시 시작되지 않는다. 수리가 가능한 제품의 경우에는 최소의 수리를 거쳐서 본래 장비가 가지는 성능으로 복귀할 수 있기 때문에 보증기간이 재생되지 않고 고정되는 것이 적합하다. 그러나 수리가 불가능한 품목이 존재하는데 이런 경우에는 고장이 발생할 경우, 교체를 하고 보증기간을 설정하여 적용하는 것이 바람직하다.

셋째, 고장률분포에 대하여서는 각각의 품목 특성 및 고장률에 따라서 달리 적용할 수 있지만, 대부분 무기체계의 경우 시험설계 및 검수와 검사를 통하여 납품이 되므로 초기고장을 배제하고 운용 및 실전배치가 이루어진다. 따라서 육조곡선에서의 초기고장이 배제된 후 소요군이 운용한다고 가정할 수 있다. 결과적으로 실제 무기체계를 운용하던 중 고장이 발생한다면 고장률이 일정한 상태에 있는 구간이 해당되며 와이블분포에서 형상모수  $\beta=1$  에 해당하는 지수분포를 따른다고 할 수 있다.

## 4.2 보증기간의 설정

수치적용을 위하여 K9 자주포의 엔진에 대하여 분석을 실시하였다[1].

<표 6> K-9 엔진 제원

품 명	MTBF (year)	고장률( $\lambda$ )	단 가
엔진	24.22	0.0413	311,850,348원

K-9 엔진의 MTBF는 4,117시간이나 연간 엔진 가동시간이 평균 170시간이 됨으로 이를 연간 단위의 MTBF로 환산하면 약 24.22년이 된다. 엔진 단가는 약 3억1천만원이며 엔진의 수리 및 재생단가는 엔진 가격의 10%로 가정한다.

엔진의 보증기간설정은 보증기간엔진의 보증을 통한 업체의 효용값은 수리 및 재생비용의 비율로 설정하였다. <표 6>의 제원을 이용하여 식 (31)에 적용한 최적 보증기간은 다음 <표 7>과 같다.

<표 7> K-9 엔진의 최적 보증기간

수리/재생비용 ( $C_1$ )	보증효용 ( $C_2$ )	$C_2/C_1$	최적보증기간
31,185,035	31,185,035	1.00	0
31,185,035	32,744,287	1.05	1.18
31,185,035	34,303,539	1.10	2.31
31,185,035	35,862,790	1.15	3.38
31,185,035	37,422,042	1.20	4.41
31,185,035	38,981,294	1.25	5.40
31,185,035	40,540,546	1.30	6.35

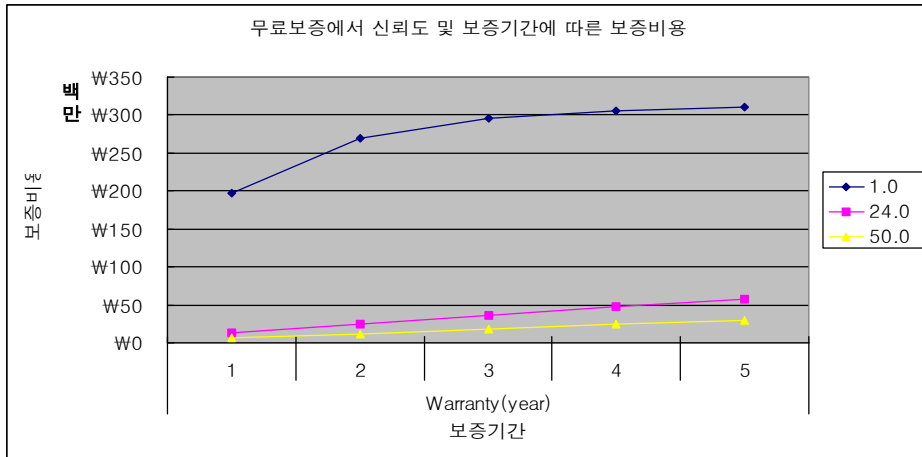
<표 7>에서 보는 바와 같이 엔진의 최적 보증기간은 보증효용의 값에 따라 변화됨을 알 수 있다. 보증효용의 값이 수리/재생 비용과 같으면 보증기간을 설정할 수 없다. 그런데 보증효용 값의 비율이 수리/재생 비용의 비율보다 1.05배가 되면 최적보증기간은 1.18년, 1.1배가 되면 2.31년으로 증가되면 1.25배가 되면 최적 보증기간은 5.4년이 된다. 즉 보증효용의 값에 따라 최적 보증기간이 결정됨을 알 수 있다.

### 4.3 보증비용의 산정과 민감도분석

K-9 제원을 이용하여 보증비용, 보증기간, 신뢰도 등의 투입변수의 변화에 따른 민감도분석을 수행하였다.

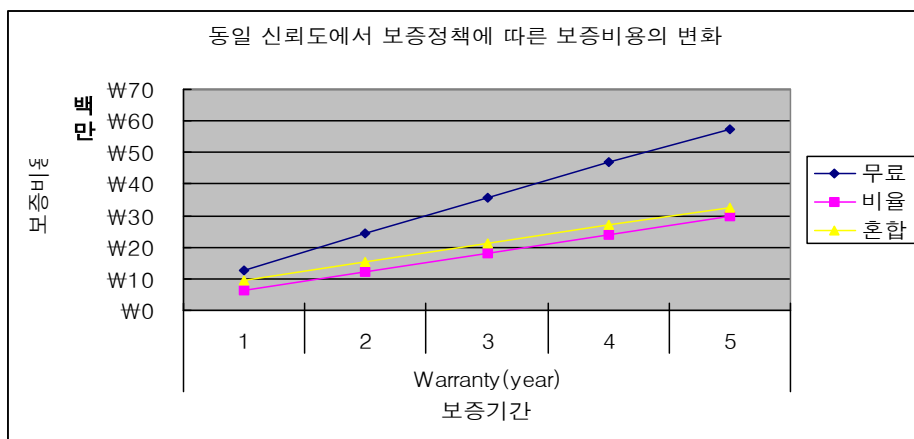
<그림 3>은 무료보증정책에서 보증기간이 증가함에 따라 비용이 증가함을 보여준다. 전체적으로 평균단위비용이 증가하지만 신뢰도가 높은 장비의 경우에는

보증기간이 증가하더라도 보증비용의 변화가 작다.



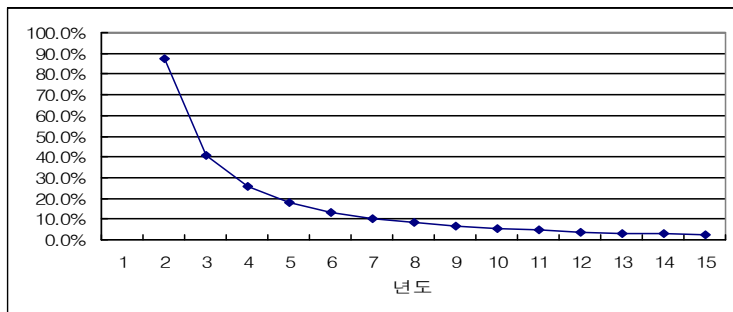
<그림 3> 무료보증에서 신뢰도 및 보증기간에 따른 보증비용의 변화

각 보증 정책별 보증기간이 증가함에 따라 예상 단위보증비용이 변화하는 정도를 분석해 보자. <그림 4>는 신뢰도가 동일한 경우 보증기간이 증가함에 따라 방산업체에게 무료보증, 혼합보증, 비율보증 순으로 보증비용이 많이 소요되는 정책임을 보여준다.

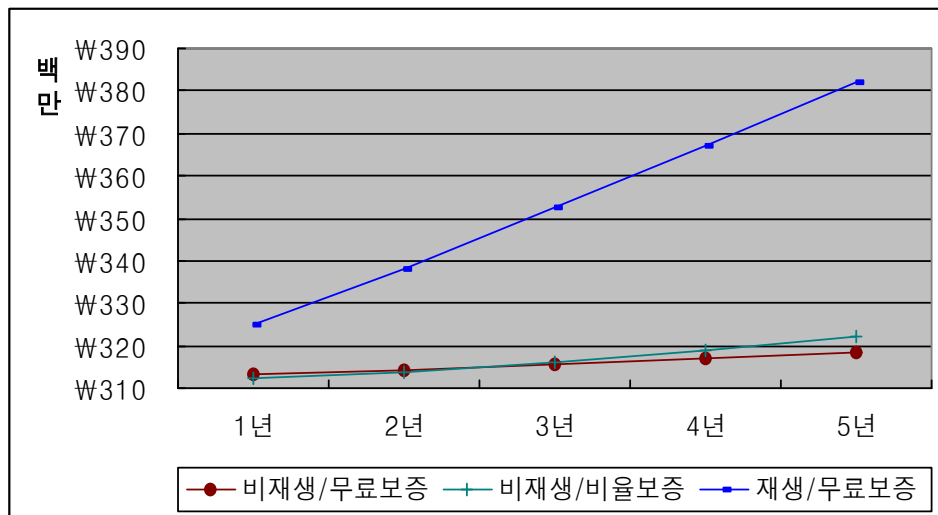


<그림 4> 동일 신뢰도에서 보증정책에 따른 보증비용의 변화

<그림 5>는 보증기간이 증가함에 따라 보증비용이 증가하는 한계값(Marginal Cost)을 보여준다. 무료보증정책에서 보증기간이 증가함에 따른 보증비용의 한계값을 나타낸 것이다. 한계값은 당해 연도 보증비용에서 전년도의 보증비용을 감한 값이다. 한계값 비율은 전년도의 보증비용 대비 당해 연도 한계값의 비율을 나타낸 값이다. 여기서 보증기간이 증가함에 따라 한계값과 한계값 비율은 점차 작아진다. 한계값 비율은 처음 해에 87%에서 5년이 지나면 17.8%로 급감하고, 10년이 지나면 5.5%로 작아진다. 따라서 일정 보증기간 이후에는 보증기간을 증가시켜도 한계값의 변화가 적음을 알 수 있다.



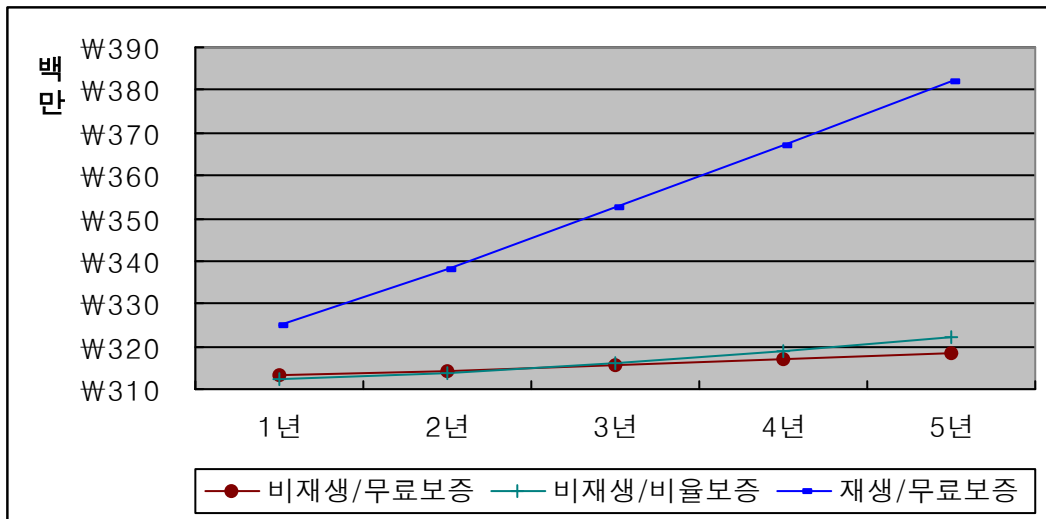
<그림 5> 보증기간 증가에 따른 한계값 변화



<그림 6> 보증기간에 따른 재생과 비재생보증의 총비용 비교

<그림 6>은 무료 및 비율정책에 비재생보증과 재생보증을 결합하여 보증기간을 연장하였을 때 총비용의 변화하는 정도를 보여준다. 보증기간이 재생되는 비율보증은 초기에 높은 값을 형성하고 점차 줄어드는 반면 나머지 보증정책의 총보증비용은 일정하게 증가한다. 보증기간의 증가에 대하여, 무료보증의 경우 재생과 비재생보증은 비용의 급격한 증가를 보이지 않는 것을 보여준다. 그러나 보증기간이 재생되는 비율보증을 채택할 경우 단기간에는 높은 총비용을 발생시키며 시간의 증가에 따라 비용이 줄어든다.

<그림 7>은 신뢰도의 변화에 따른 비재생보증과 재생보증을 무료 및 비율보증정책에 적용할 때 총비용이 변화하는 정도를 보여준다. 여기서 보증기간을 1년으로 고정하여 신뢰도의 증가 및 감소에 대한 영향을 도출하였다. 신뢰도의 증가에 따른 값의 변화가 비재생 무료보증일 경우 총비용의 절감효과가 다른 정책과 비교하여 상대적으로 작은 값을 보여준다. 비재생 무료보증정책은 상대적으로 신뢰도를 증가시켜도 생산자의 총비용이 감소하는 폭이 작다.



<그림 7> 신뢰도에 따른 재생과 비재생보증의 총비용 비교

## 5. 결론

연구 결과 최초 무기체계 설계와 생산과정에서 결정되는 신뢰도가 보증비용과 보증기간에 영향을 준다. 신뢰도가 높은 제품의 경우 보증기간을 증가시켜도 보증비용이 크게 증가하지 않는 반면에 신뢰도가 낮은 제품의 경우 보증기간이 조금만 증가해도 생산자의 총생산비용이 급격히 상승한다.

동일한 신뢰도에서 보증정책별로 보증비용의 증가에 대한 민감도를 분석하면, 무료보증 정책에서 보증비용이 가장 많이 증가되며 다음으로 혼합보증, 비율보증 순이다. 보증기간 증가에 따른 보증을 위한 비용의 변화를 분석하였는데 한계값의 비율에 있어 보증기간을 연장할 경우 일정기간 이후부터는 한계값의 변화가 적으므로 총생산비용에 미치는 영향도 작다.

무기체계 도입 시 적용하고 있는 비재생 무료보증정책을, 보증기간이 재생하는 경우와 비율보증을 적용했을 경우의 값과 비교하였다. 보증기간이 재생되는 비율보증을 채택하는 경우, 보증기간의 연장과 신뢰도의 증가에 따라 급격하게 초기 총생산비용이 증가한다. 또한 보증기간에 따라 증가하는 총생산비용의 경우 신뢰도를 증가시켰을 때 가장 효과적으로 총생산비용이 감소하는 정책은 보증기간이 재생되는 무료보증정책이다.

보증기간설정과 관련하여 보증효용을 고려한 최적의 보증기간을 설정하는 방법을 적용하였다. 보증효용 함수를 가정하여 보증기간을 산출하였다.

연구 수행과정에서 발생한 한계점은 다음과 같다. 첫째, 보증정책은 제품의 종류에 따라 다양하게 적용할 수 있다. 하지만 이 연구는 일부 무기체계의 한 가지 구성품에 대하여 연구를 진행하여 전체 장비에 대한 최적 보증기간설정방법을 제시하지 못하였다. 구성품을 종합한 전체 체계의 보증기간설정에 대한 연구가 필요할 것이다.

둘째, 방산업체의 보증효용 값을 도출하지 못하여 최적의 보증기간설정에 한계가 있었다. 효용함수를 지수분포로 가정하여 보증기간을 설정하는 방안은 해당 제품의 보증정책을 통하여 방산업체가 얻는 이익을 파악하지 못하는 한계를 지니고 있다. 따라서 방산업체가 보증으로 인하여 발생하는 효용값이 어떻게 구성되고 유도될 수 있는지를 분석할 필요가 있다.

셋째, 본 연구는 고장의 원인이 하나인 일차보증에 한정하여 연구를 진행하였지만, 두 가지 고장원인에 의한 이차원 보증도 연구할 필요가 있다. 또한 국방장비 획득에 있어 보증제도를 보다 타당하게 도입하기 위해서는 다양한 보증제도의 기대효과에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김세현 · 이학용 · 박정운 · 서우택, 『K9 엔진용 부품국산화 시험평가 및 규격화 기술용역사업 종결보고서』, 국방품질관리소, 2003.8, pp.1-6.
- [2] 김재중 · 장중순 · 김원중, “단계별 보증제도에서의 비용분석 및 보증기간설정,” 『Journal of the KSQC』, 제20권, 제1호, 1992. 1, pp.39-47.
- [3] 김진규, 『신뢰성 공학』, 한울출판사, 2003, p. 39.
- [4] 방위사업청, 『2007년도 국정감사 요구자료』, 방위사업청, 2007, pp.162-170.
- [5] 이상진, 『군수관리와 공학』, 국방대학교, 2005, pp.282-283.
- [6] 이치우, 김선진, 이성우, 정상영, 『신뢰성 공학』, 원창출판사, 2004, p.31.
- [7] Federal Trade Commission, *A Business Person's Guide to Federal Warranty Law*, 1987, p. 1.
- [8] Government Accountability Office, *DoD Warranties: Effective Administration Systems Are Needed to Implement Warranties*, Washington D.C.: GAO, 1989, p.27.
- [9] Thomas, M. U., “Optimum Warranty Policies for Nonreparable Items,” IEEE Transaction on Reliability, Vol. R-32, No.3, 1983.8, pp.282-288.
- [10] Thomas, M. U., *Reliability and Warranties*, Taylor & Francis, 2006, pp. 26-77