

# 보증하에 판매되는 제품의 적정 예방정비 계획

전 영 호\*

## Optimal Preventive Maintenance Policy for Products Sold Under Warranty

Young Ho Chun\*

### Abstract

A warranty is a contractual obligation incurred by a producer in connection with the sale of a product. The warranty specifies that producer agrees to remedy certain failures in the product sold. There have been many articles dealing with warranties, but they have studied about optimal warranty cost for the warranty period. In this study, an optimal preventive maintenance time interval is computed. The optimal preventive maintenance time interval minimizing warranty cost for the warranty period is discussed. It is assumed that failure rate is increasing and the failure rate after preventive maintenance or corrective maintenance lies between good as new and bad as old.

### 1. 서 론

현대 산업사회에서 대량 생산이 일반화되면서, 제품에 대한 품질보증 문제는 매우 중요하게 부각되고 있다. 즉, 생산자 입장에서는 판매한 제품의 품질이 나쁘면 보증기간 동안 보증비용이 많이 들게 되고, 소비자 입장에서는 불량품을 구입했을 경우 생산자에 대한 신뢰가 감소하게

된다. 따라서 생산자는 가능한 한 양질의 제품을 생산하도록 노력해야 하며, 우연적으로 발생하는 불량품을 판매전에 발견하여 제거하도록 해야 한다.

그러나, 대량생산 체제하에서는 불량품을 제품 판매전에 완전히 제거하는 것은 불가능하다. 따라서 제품 판매시 소비자에게 판매후 일정기간 동안 제품의 하자 사항에 대해 책임을 지겠다

\* 홍익대학교 산업공학과

※ 본 연구는 한국 과학재단의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호: 883-0914-011-1)

는 보증이 제품판매에 중요한 변수로 대두되고 있다. 즉, 제품 사용중에 고장이 발생하면 일정 기간 내에서는 생산자 또는 판매자가 수리비용의 일부 또는 전부를 부담하는 것이다. 이러한 보증의 목적은 소비자에게 제품의 품질을 확신 시킴으로써 판매고를 증진시키고, 소비자를 보호하는데 있다[13].

보증을 구성하고 있는 요소로는 보증기간과 고장시 지불정책으로 나눌수 있다. 보증기간이란 생산자가 제품의 하자 사항에 책임을 지는 최대 시간이다. 지불정책은 제품의 고장시, 생산자와 소비자가 각각 지불해야 될 비용 배분에 관한 것이다. 보증정책을 대별하면 무료 보증정책과 사용시간 비례 보증정책으로 나눌수 있다 [2]. 또한 Nguyen 등[12]은 상수값의 변화에 따라 사용시간 비례 보증정책과 일시불 보증정책(Lump Sum Warranty Policy)을 나타낼수 있는 리베이트(Rebate) 보증정책을 제안하였다.

이밖에 보증에 대한 연구로는 제품의 판매가격에 보증기간 동안의 보증비용을 포함시켜 분석한 것과[7], 고장분포가 지수분포 일때 보증기간 동안의 기대비용을 산출한 것[6]이 있다. 그리고 Blischke 등[3, 4, 5]과 Mamer[8, 9]는 보증문제에 재생이론을 이용하여 생산자와 소비자의 관점에서 무료 보증정책과 사용시간 비례 보증정책의 기대 이익을 비교하였다.

한편, 제품의 신뢰성을 향상시키기 위한 방법으로는 예방정비, 고장정비 또는 검사 등이 있다. 그런데 이상의 연구에서는 보증기간 동안 발생된 고장의 수리 또는 대체에 주안점을 두었고, 보증기간 동안의 예방정비에 대해서는 거의 연구된 것이 없다. 즉, 대부분의 연구가 보증기간 동안 발생하는 제품고장에 소요되는 비용을 생산자가 전부 또는 일부를 부담한다는 소극적인 고장정비에 대해 주로 연구하였다. 그러나 제품가격이 고가이거나 고장시 소비자에게 큰 불편

을 줄수 있는 경우에는 적극적인 정비방법으로 보증기간중에 예방정비를 행하는 것을 고려해볼수 있다. 뿐만 아니라 생산자 입장에서도 고장 발생시 정비에 소요되는 비용이 예방정비에 소요되는 비용에 비해 상대적으로 큰 경우에는 보증기간 동안의 예방정비가 정당화 될수 있다. 이와 같은 예로는 컴퓨터, 복사기, 자동차 등을 들수 있다.

본 연구에서는 보증기간중에 행해지는 정비를 고정정비와 예방정비로 구분하고, 예방정비 또는 고정정비후의 고장율이 정비 직전의 고장율보다 감소하는 경우에 보증비용이 최소가 되는 적정 예방정비 시간 간격을 구하였다. 이와 같이 정비 직후의 고장율이 정비 직전에 비해 감소하는 예로는 Nakagawa[10, 11], Beichelt[1] 등이 있다.

## 2. 적정 예방시간 간격 결정

본 연구에서는 보증기간 동안 고장이 발생하면 즉시 고장정비를 수행하고, 일정기간 고장이 발생하지 않으면 예방정비를 행하는 모형에 대해 살펴 보았다. 그리고 고장정비 또는 예방정비 직후의 고장율은 정비 직전의 고장율보다 일정을 만큼 감소하는 것을 감안하여 적정 예방정비 시간 간격을 구하였다. 한편 보증기간 동안 행하는 예방정비가 정당화 되기 위해서는 제품의 고장율 함수가 증가함수이어야 한다. 여기서 보증기간 동안 제품의 고장율이 증가하므로 예방정비 시간 간격은 예방정비 횟수가 증가함에 따라 감소할 것이다. 그러나 현실적으로는 다음과 같은 점에서 최적 예방정비 시점을 구하는 것은 거의 불가능할 것으로 판단된다.

즉, 보증기간까지의 예방정비의 총 횟수에 따른 주기들을 모두 변수로 하여 최소비용이 되는 예방정비 시점을 구하기 위해서는 많은 경우의

수에 대해 살펴보아야 한다. 또한, 고장정비시에도 고장율이 정비 직전과 같이 유지되거나, 고장율이 영점으로 감소되는 것이 아니라 일정한 만큼 감소되고, 매 고장마다 새로운 주기가 시작되는 경우처럼 대상기간이 무한대가 아니라 보증기간까지의 일정 기간이므로 단위 시간당 평균 비용으로 예방정비 시간 간격을 결정하기는 어려운 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 정해진 보증기간 동안의 예방정비 시간 간격은 일정하게 놓고, 생산자 입장에서 보증기간 동안 소요되는 정비 비용이 최소가 되는 예방정비 시간 간격을 결정하였다. 즉, 연구의 대상 기간은 보증기간이므로 예방정비 시간 간격 결정기준은 단위 시간당 평균 비용이 아니고, 보증기간 동안 발생한 비용의 최소화이다. 그리고, 예방정비 또는 고장정비에 소요되는 시간은 무시할만 하다고 가정하였다.

예를 들어 보증기간 동안 n 번 고장이 발생한다고 하고, 각 고장발생 시간 간격을  $T_1, T_2, \dots, T_n$ 이라 하고, 각 고장발생 시점 사이에 발생한 비용을 각각  $Cost(1), Cost(2), \dots, Cost(n)$ 이라 하면  $T_1 + T_2 + \dots + T_n$ 이 보증기간 W가 되는 순간까지의 전체 비용이 최소가 되는 시간 간격을 찾으면 된다.

### 2-1. 기호 설명

- W : 보증기간
- $M_i$  : i 번째 고장까지의 평균 예방정비 횟수
- $T_i$  : i 번째 고장까지의 평균시간
- $T_i^*$  : i 번째 고장이후 실질 Age
- $C_1$  : 예방정비 1회 소요 비용
- $C_2$  : 고장정비 1회 소요 비용
- 1-a : 예방정비시 실질 Age 감소율
- 1-b : 고장정비시 실질 Age 감소율
- $A_k$  :  $a + a^2 + \dots + a^k$

T : 예방정비 시간 간격

F(t): 시간 t까지 제품이 고장나지 않을 확률

$\bar{H}(t, y)$  : t 시점부터 y 시간 동안 제품이 고장나지 않을 확률

### 2-2. 수학적 모형

첫번째 고장정비까지의 소요비용  $Cost(1)$ 은  $Cost(1) = C_1 M_1 + C_2$ 가 된다. 여기서  $M_1$ 과  $T_1$ 은 각각 첫번째 고장정비까지의 평균 예방정비 횟수와 첫번째 고장정비까지의 평균 시간을 나타내며, 다음식과 같이 표현된다.

$$M_1 = \sum_{k=0}^{\infty} \Pi_{j=0}^k \bar{H}(A_j T, T) \dots\dots\dots (1)$$

$$T_1 = \sum_{k=0}^{\infty} (\Pi_{j=0}^{k-1} \bar{H}(A_j T, T)) \int_{A_k T}^{(A_{k+1})T} F(t)/F(A_k T) dt \dots\dots\dots (2)$$

따라서 첫번째 고장정비후의 실질 age  $T_1^*$ 는

$$T_1^* = A_{M_1} T + (T_1 - M_1 T) \dots\dots\dots (3)$$

이 된다. 마찬가지로 방법으로  $M_2, T_2, T_2^*$ 를 표현해 보면 다음과 같다.

$$M_2 = \sum_{k=0}^{\infty} \Pi_{j=0}^k \bar{H}(a^j b T_1^* + A_j T, T) \dots\dots\dots (4)$$

$$T_2 = \sum_{k=0}^{\infty} (\Pi_{j=0}^{k-1} \bar{H}(a^j b T_1^* + A_j T, T)) \int_{a^k b T_1^* + A_k T}^{a^{k+1} b T_1^* + (A_{k+1})T} F(t)/F(A_k T) dt \dots\dots\dots (5)$$

$$T_2^* = a^{M_2} b T_1^* + A_{M_2} T + (T_2 - M_2 T) \dots\dots\dots (6)$$

그리고 이를 일반화 하여 n 번째 고장정비까지의 평균 예방정비 횟수와 평균 시간을 구하면 다음과 같다.

$$M_n = \sum_{k=0}^{\infty} \Pi_{j=0}^k \bar{H}(a^j b T_{n-1}^* + A_j T, T) \dots\dots\dots (7)$$

$$T_n = \sum_{k=0}^{\infty} (\Pi_{j=0}^{k-1} \bar{H}(a^j b T_{n-1}^* + A_j T, T)) \int_{a^k b T_{n-1}^* + A_k T}^{a^{k+1} b T_{n-1}^* + (A_{k+1})T} F(t)/F(A_k T) dt \dots\dots\dots (8)$$

이때  $T_{n-1}^*$ 는

$$T_{n-1}^* = a^{M_{n-1}} b T_{n-2}^* + A_{M_{n-1}} T + (T_{n-1} - M_{n-1} T) \dots\dots\dots (9)$$

가 된다. 여기서  $T_n$ 과  $T_{n-1}^*$ 의 차이를 살펴보면 다음과 같다.  $T_n$ 은 제품 구입시부터  $n$ 번째 고장이 발생할 때까지 실제로 제품을 사용한 평균 시간이고,  $T_{n-1}^*$ 는 고장정비후의 고장율이 감소하므로,  $n-1$ 번째 고장이후 고장율의 감소율을 시간대로 환산했을 경우의 시간을 뜻한다. 예를 들어, 제품을 구입하여 사용한 기간은 10개월이라 하더라도, 고장정비후의 age 감소율을 적용하면 9개월 동안 사용한 제품이라고 볼 수 있는 것이다.

따라서 일반식으로 나타내 보면  $T_1 + T_2 + \dots + T_n$ 이  $W$ 가 되는 순간까지 전체 비용  $\sum_{i=1}^n Cost(i)$ 가 최소가 되는 예방정비 시간 간격을 구하면 된다.

### 3. 예 제

본 예제에서 사용한 신뢰도 함수는  $F(t) = \exp(-(t/15)^2)$ 으로, 예방정비와 고장정비시 실질 age 감소율을 0에서부터 1까지 0.2 단위로 증가시키면서 보증기간 동안 비용이 최소가 되는 예방정비 시간 간격을 구한 결과가 표 1과 같다. 그리고 이때 보증기간은 12개월, 예방정비 1회 소요비용대 고장정비 1회 소요비용의 비는 1:10으로 가정하였다.

표 1을 3단계로 나누어 설명하면 다음과 같다. 1단계는 예방정비와 고장정비시 실질 age 감소율이 커질수록 예방정비 시간 간격이 커짐을 볼 수 있다. 이는 정비후의 실질 age가 크게 감소되므로 예방정비를 자주 할 필요가 없다는 것을 뜻한다. 2단계에서는 예방정비와 고장정비시 실질 age 감소율이 어느 정도 작아질 때까지

표 1. 예방정비와 고장정비시 실질 age 감소율 변화에 따른 최적 예방정비 시간 간격

(단위: 월)

예방정비시 실질 age 감소율	고장정비시 실질 age 감소율					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.0	6	10	7	9	11	12
0.2	7	3	7	9	11	12
0.4	3	6	8	10	11	12
0.6	6	7	8	10	12	12
0.8	7	8	9	10	12	12
1.0	7	8	9	11	12	12

는 예방정비 시간 간격이 작아짐을 볼 수 있다. 이는 예방정비 비용이 고장정비 비용의 1/10이므로 어느 정도 효과가 있을 때까지는 자주 예방정비를 하는 것이 전체 비용의 최소화에 기여한다는 것을 뜻한다. 그러나, 3단계에서는 예방정비 또는 고장정비시 실질 age 감소율이 영에 가까울 경우로 정비후에 더 나아지는 것이 없기 때문에 오히려 2단계 보다 예방정비 시간 간격이 커짐을 알 수 있다.

### 4. 결 론

보증이란 제품판매시 일정기간 동안 발생하는 제품고장에 대해 생산자가 책임을 지겠다는 일종의 계약이다. 이러한 보증은 대량생산 체제가 일반화 되고, 생산업체간에 판매경쟁이 치열해짐에 따라 판매 증진을 위해 중요한 변수로 대두되고 있다. 따라서 최근에 들어 보증에 대해 많은 연구가 진행되고 있으나 대부분 보증기간 동안 발생하는 제품고장에 주안점을 두고 적정한 보증기간의 산정 또는 보증정책에 관한 것이 대부분이다.

본 연구에서는 생산자 입장에서 보다 적극적인 보증방법으로서 예방정비를 행하는 모형을

제시하였다. 제품의 고장율 함수는 증가함수로 가정하고, 예방정비 또는 고장정비후의 고장율은 신제품과 같이 되거나 정비 직전의 고장율과 같지 않고, 중간 형태의 고장율을 갖는 것으로 하여 적정 예방정비 시간 간격을 산정하였다.

구체적인 계산은 분석적인 방법을 이용하기가 곤란하여 수치적인 방법을 이용하였다. 추후 연구 방향으로는 실제 고장자료를 바탕으로 베지안 추정법을 이용하여 고장 발생시마다 차기 예방정비 시간을 구하는 기법 개발이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Beichelt, F. and K. Fisher, "General Failure Model Applied to Preventive Maintenance Policies", *IEEE Trans. on Reliability*, Vol. 29, pp.39-41, 1980.
2. Biedenweg, F., *Warranty Policies: Consumer Value vs. Manufacturer Costs*, Technical Report No. 198, Dept. of Operations Research, Stanford Univ., 1981.
3. Blischke, W.R. and E.M. Scheuer, "Calculation of the Cost of Warranty Policies as a Function of Estimated Life Distributions", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 22, pp.681-696, 1975.
4. Biltschke, W.R. and E.M. Scheuer, "A Renewl Function Arising in Warranty Analysis", *Proc. of American Statistical Association*, pp.668-672, 1977.
5. Biltschke, W.R. and E.M. Scheuer, "Application of Renewal Theory in

- Analysis of the Free-Replacement Warranty", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 28, pp.193-205, 1981.
6. Heschel, M.S., "How Much is a Guarantee Worth?", *Industrial Eng.*, Vol. 3, pp. 14-15, 1971.
7. Lowerre, J.M., "On Warranties", *J. of Industrial Eng.*, Vol. 19, pp.359-360, 1968.
8. Mamer, J.W., *Mathematical Models of Warranty Policies*, Ph. D. Dissertation for the Dept. of B.A., University of California, Berkley, 1982.
9. Mamer, J.W., "Cost Analysis of Pro Rata and Free-Replacement Warranties", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 29, pp.345-356, 1982.
10. Nakagawa, T. and K. Yasui, "Optimum Policies for a System with Imperfect Maintenance", *IEEE Trans. on Reliability*, Vol. 36, pp.631-633, 1987.
11. Nakagawa, T., "Optimum Policies When Preventive Maintenance is Imperfect", *IEEE Trans. on Reliability*, Vol. 28, pp.331-332, 1979.
12. Nguyen, D.G. and D.N.P. Murthy, "Optimal Burn-in Time to Minimize Cost for Products Sold under Warranty", *IIE Trans.*, Vol. 14, pp.164-174, 1982.
13. Udell, J.G. and E.E. Anderson, "The Product Warranty as an Element of Competitive Strategy", *J. of Marketing*, Vol. 32, pp.1-8, 1968.