

수리가능한 제품의 보증비용 모형

A Warranty Cost Model for Repairable Items

김호균* · 백천현* · 조형수*

* 동의대학교 산업공학과

Abstract

기업의 사회적 책임 및 소비자 중심주의(consumerism)의 대두로 생산자는 소비자가 요구하는 품질이 충분히 충족되고 있음을 보증해 주어야 한다. 제품보증(warranty)제도는 생산자가 제품을 판매한 후 특정기간 즉 보증기간(warranty period) 동안 발생하는 고장에 대하여 수리 또는 교체 등의 조치를 해준다는 소비자와의 약정이다. 제품보증은 고장 수리 또는 교체에 따른 소비자 부담 정도에 따라 크게 무료보증(free warranty) 또는 할인보증(prorata warranty)으로 나뉘어 진다.

보증하의 제품이 고장날 때 소비자는 생산자에게 보증서비스를 요구한다. 생산자는 수리불가능(non-repairable)한 제품에 대해서는 고장난 제품을 단지 새 제품으로 교체한다. 수리가능(repairable)한 제품에 대해서는 생산자는 고장난 제품의 조건(condition)을 조사하고 난 뒤 새 제품으로 교체할지 수리(repair)로써 작업조건으로 회복시킬지를 결정한다. 이러한 의사결정은 다음 두 가지 요인에 의해 이루어졌다.

1. 고장시점의 제품 사용년수

제품이 고장났을 때 사용년수가 미리 결정된 한계기간보다 작으면 새 제품으로 교체되거나 수리가 이루어지는 두 가지 전략을 고려하였다. 각 전략에 대하여 보증 비용을 최소화시키는 한계기간을 결정하였다.

2. 고장시점의 수리비용

고장난 제품의 수리비용이 한계비용보다 작을 때에만 수리가 이루어진다. 주어진 수리비용의 분포에 대하여 보증비용을 최소화시키는 한계비용을 결정하였다.

일반적으로 제품의 조건은 사용년수에 따라 퇴화되고 수리비용은 증가된다. 따라서, 제품의 조건은 제품 사용년수와 수리비용을 포함하게 되고, 교체/수리 의사결정모형은 고장난 제품의 한계조건으로써 표현 가능하게 된다. 제품의 조건을 상태(state)로써 표현하고 대응되는 고장특성을 포함하는 방법

이 필요하게 된다.

수리가 이루어질 때, 고장난 제품의 조건을 어느 정도의 작업조건으로 회복시킬지가 생산자 측면에서 의사결정되어야 될 또 다른 문제이다. 생산자는 고장난 제품을 작업조건으로 회복시켜주는 최소한의 수리만 한다. 예로, 전기설비에서 끊어진 퓨즈를 교체하는 것을 들 수 있다. 이러한 조치는 고장난 제품을 작업조건으로 회복시켜 주지만 퓨즈가 끊어지게 된 원인을 밝히지는 못한다. 이를 최소수리(minimal repair)라고 한다. 최소수리는 제품의 조건을 향상시키지 못하며 수리된 제품의 고장특성은 고장전의 특성과 동일하게 된다. 본 연구에서는 수리가 최소수리를 의미한다.

PH(phase type)분포는 제품의 조건을 추적할 때 제품의 수명을 기술하는데 적절한 확률분포이다. PH분포는 유한(finite) 마코프체인(Markov chain)에서 흡수상태에 빠질 때까지 경과한 시간의 분포로 정의된다. 제품의 조건을 유한 마코프체인의 상태로써 표현하면, 제품의 퇴화(deterioration)를 유한 마코프체인의 상태변화로써 표현할 수 있다.

어떤 시점에서의 제품의 작업조건이 m 개 상태중 하나로 모형화될 수 있다고 가정한다. 여기서 상태 1은 최상(best possible)의 상태를 상태 m 은 최악(worst possible)의 상태를 나타내며 중간상태들 즉, 2, 3, ..., $m-1$ 로 순차적으로 작업조건이 나빠진다. 사용중에 있는 제품은 더 나쁜(퇴화된) 상태로 전이(transition)되기 전까지 각 상태에서 지수(exponential)시간만큼 머무르고, 전이는 고장을 수반하기도 한다. 따라서, 제품의 퇴화(deterioration)과정을 상태공간(state space), $S=\{1, 2, \dots, m, m+1\}$ 를 갖는 마코프체인으로 특징지을 수 있다. 여기서, 상태 $m+1$ 은 비작업 즉 고장상태를 나타낸다. 사용중인 제품의 조건은 개선되지 못하므로 infinitesimal generator Q 는 상부삼각형행렬(upper triangular)을 취한다.

제품이 상태 i 에서 고장발생되어 생산자가 최소수리를 수행하면, 고장난 제품은 상태 i 의 작업조건으로 회복된다. 새 제품으로 교체가 이루어지면, 초기상태 벡터(initial state vector) α 로써 작업조건이 결정된다.

먼저, 교체/수리 의사결정모형을 설정하며, 모형에 관련된 계산상의 문제를 토의하고 수치예제로써 구현할 것이다. 교체/수리 의사결정모형을 좀더 상세히 설명한다.

작업상태 m 개를 두 그룹(group)으로 나눈다. 좋은 상태들로 구성된 첫 번째 그룹 I에서 고장이 발생하면 보증 서비스시 최소수리만을 수행하고 나쁜 상태들로 구성된 두 번째 그룹 II에서는 교체가 이루어진다. 그룹 II는 한 개의 상태로 구성되었다고 가정한다. 제품이 두 개이상의 나쁜 상태에서 고장이 발생하여 교체하는 것이 적절하다고 하면, 알고리즘 면에서는 아무런 정보손실없이 한 개의 상태로 통합될 수 있다. 따라서, 상태 j , $1 \leq j \leq m-1$ 에서 고장난 제품에 대해서는 최소수리를, 상태 m 에서 고장난 제품에 대해서는 교체가 이루어진다.

제품수명의 PH분포화는 제품 상태의 Markovian 표현이다. 보증기간 동안의 총 보증비용을 결정하기 위해, 교체 및 수리내력에 대한 정보를 상태표현으로써 유지하여야 한다. 매크로(macro) 상태 $\{(i: s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im}), k\}$, $i=0, 1, \dots; 1 \leq k \leq n_i\}$ 를 정의한다.

매크로상태변화는 상태공간 $\{(i, k), 0 \leq i \leq \infty, 1 \leq k \leq n_i\}$ 에서 연속시간 마코프체인(CTMC, continuous time Markov chain)으로 표현가능하다. 여기서 i 는 주어진 i 값을 갖는 모든 매크로상태의 집합이다.

본 연구의 목적은 생산자 측면에서 수리가능한 제품에 대한 보증서비스 시행시 교체/수리 의사결정 문제를 PH분포를 사용하여 알고리즘면에서 시험하고 쉽게 구현될 수 있는 해법을 개발한다.