

자동차 부품의 시장별 품질보증 비용 예측을 위한 고장모형 수립

이호택^{1*}

¹고려대학교 정보경영공학전문대학원

Failure modeling to predict warranty cost for individual markets

Ho-Taek Lee^{1*}

¹Graduate School of Information Management Engineering, Korea University

요약 자동차 부품의 품질보증 비용은 각 시장의 품질보증 영역(warranty region) 내에서 부품이 고장 날 확률에 따라 달라진다. 부품이 고장 날 확률은 각 시장의 다른 스트레스 조건이 비슷하다고 가정할 때 사용비율(usage-rate)에 영향을 크게 받는다. 그러므로 품질보증 비용은 사용비율을 반영한 고장모형을 수립하고 이를 이용한 확률과정(stochastic process)을 통하여 예측할 수 있다. 본 논문에서는 사용비율을 선형으로 가정한 후 가속실험 모형을 적용하여 2차원 고장모형을 1차원으로 축소시킨다. 이렇게 1차원으로 축소된 고장모형은 사용비율의 함수로 표현될 수 있으므로 사용비율의 변동에 따른 부품의 고장확률 변동을 설명할 수 있다. 이를 통해 새로운 시장의 사용비율을 알면 실측 데이터가 없다고 하더라도 고장확률 분포를 추정할 수 있고 교체되어야 하는 부품일 경우 재생과정(renewal process)으로 비용을 예측할 수 있다. 응용사례에서 실제 두 시장의 품질보증 데이터를 이용하여 이를 분석해 보았다.

Abstract Warranty cost of automobile parts varies depending on the parts failure rate in a warranty region of individual markets. Parts failure rate is significantly affected by usage-rate given that other stressors of individual markets are similar. Accordingly, warranty cost can be predicted by failure modeling which reflects usage-rate and using a stochastic process. In this paper, one-dimensional approach is used by applying accelerated failure time model on the assumption that the usage-rate is linear. Such model can explain changes in parts failure rate depending on the changes in usage-rate since it can be expressed as a function of usage-rate. Therefore, acquisition of usage-rate in a new market will automatically lead to estimate of failure rate even without warranty data and warranty cost of parts can be predicted through a renewal process in replacement cases. A case study using warranty data of two real markets is presented in the application part of this paper.

Key Aords : Automobile warranty data; Warranty cost; Accelerated failure time model

1. 서론

자동차 회사는 자사 제품의 품질을 보장하고 신뢰성을 확보하기 위하여 기간(T)과 운행거리(U)에 따른 2차원 품질보증 서비스를 제공한다. (T, U)를 품질보증 영역이라고 부르며 자동차 회사는 먼저 도달하는 T 또는 U 이

내에서 무료로 품질보증 서비스를 제공한다. 자동차 회사가 품질보증 서비스를 제공함으로써 품질보증 비용이 발생하게 된다. 최근 자동차 회사는 특정 시장에 품질보증 영역을 10년 16만km까지 늘리고 있으며 그에 따라 판매량이 증가하였으나 해마다 수백억의 품질보증 비용을 지출하고 있다. 이처럼 품질보증 영역을 크게 가져갈수록 판매량이 증가할 수 있지만 그에 따른 비용이 수반되

*교신저자 : 이호택(hotaek.lee@hotmail.com)

접수일 09년 05월 08일

수정일 09년 06월 02일

게재확정일 09년 06월 17일

로 이를 예측하기 위하여 많은 연구들이 진행되고 있다.

품질보증 비용은 각 부품의 고장확률과 각 시장의 품질보증 영역에 따라 달라진다. 이중 부품의 고장확률은 시장에 따라 달라지는데 시장마다 부품에 가해지는 스트레스 정도가 다르기 때문이다. 일반적으로 노면상태나 온도 등의 기타 스트레스가 크게 다르지 않은 경우, 고객의 사용비율($u/t=r$)은 부품의 고장확률에 큰 영향을 미치는 변수라 할 수 있다. 때문에 각 시장의 사용비율을 고려할 수 있는 고장모형을 도출하면 실측 데이터가 없는 시장에서 사용비율만 알아도 고장확률을 추정해 볼 수 있다. 또한 도출된 고장모형을 이용하여 품질보증 비용도 예측할 수 있을 것이다. 본 논문은 기존의 연구들을 이용하여 실측 데이터가 없는 시장에서의 고장확률과 품질보증 비용을 예측해 보는데 의의가 있다.

이러한 고장모형을 도출하기 위해서는 고장 데이터가 필요하다. 품질보증 수리를 받기위해 입고된 차량의 고장 부품, 원인, 시간, 운행거리 등을 기록한 품질보증 데이터는 실제 사용 환경이 반영되어 있을 뿐 아니라 수집이 용이하며 수집비용이 낮은 장점이 있어 이를 이용한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서도 고장모형을 도출하기 위해서 실제 두 시장의 품질보증 데이터를 가지고 분석한다.

이 논문에서 활용하는 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 관측 중단된 고장 수를 추정하기 위한 연구는 Baik and Murthy[1]의 1회 이상 고장 난 차량의 중도 중단(censored) 시간을 사용비율에 근거하여 추정한 방법과 Yang and Zaghati[10]의 자동차 품질보증 데이터에 대해 순차적 회귀분석(sequential regression)을 하여 고장 수를 추정한 방법이 있다. 둘째, 2차원 고장모형에서 가속실험 모형을 이용하여 1차원으로 축소시킨 연구는 Lawless, Hu and Cao[3]와 Rai and Singh[8]의 비례고장률 모형(proportional hazard model; PH모형)을 적용한 연구와 Baik and Murthy[1]의 누승모형(power law model)을 적용한 연구가 있다.

본 논문의 분석절차는 다음과 같다. 첫째, 품질보증 데이터는 품질보증 영역 내의 고장만 관측되어 있으므로 정확한 고장수를 추정하기 위하여 품질보증 영역 밖의 고장수를 추정한다. 둘째, 선형으로 가정한 각 시장의 사용비율을 구한다. 셋째, 고장분포 함수를 와이블분포로 가정하고 가속실험 모형을 적용하여 각 시장의 사용비율을 고려한 2차원 고장모형을 1차원으로 축소하여 수립한다. 넷째, 사용비율이 다른 시장의 고장분포를 추정하고 품질보증 비용을 예측한다.

본 논문에서는 두 시장에서 얻어진 특정 자동차 엔진 부품의 품질보증 데이터를 이용하여 사용비율을 선형으

로 가정한 뒤 Yang and Zaghati[10]의 순차적 회귀분석을 통해 관측 중단된 고장수를 구하고 도출된 회귀식을 이용하여 각 시장의 평균 사용비율을 구한다. 추정된 고장수와 평균 사용비율을 바탕으로 사용비율을 시장에서 주어지는 스트레스로 보아 Baik and Murthy[1]의 누승모형을 적용하여 1차원 접근법으로 고장모형을 수립한다.

응용사례로서 이같이 수립된 고장모형에 실제 품질보증 데이터를 적용해 사용비율이 다른 시장의 고장확률 분포를 추정하고 재생과정을 이용하여 품질보증 비용을 예측한다. 추가적으로 주어진 품질보증 영역에서 사용비율이 변할 때와 주어진 사용비율에서 품질보증 영역이 변할 때 품질보증 비용의 변동을 살펴본다.

2. 기존 연구

2.1 품질보증 영역 밖의 고장 수 추정

사용비율의 함수인 고장모형을 세우기 위해서는 우선 품질보증 영역 밖의 고장 수를 추정해야 한다. Yang and Zaghati[10]는 순차적 회귀분석을 통하여 품질보증 영역 밖의 고장수를 추정하였다. t 는 MTF(month to failure), S_1 은 첫 번째 MIS(month in service), S_2 는 품질보증 영역 밖의 고장이 없는 마지막 MIS라고 하자. 이 때 품질보증 데이터를 이용하여 품질보증 영역 $U=U_0$ 를 넘어가는 영역의 고장수를 추정하기 위하여 다음의 가정을 하고 식(1), (2)와 같은 회귀식을 제안하였다.

가정 1. S_1 MIS에서 모든 차량의 초기상태는 동일하다.

가정 2. $S_2 > S_1$ 일 때 S_2 MIS 안에서 U_0 를 벗어나는 품질보증 클레임은 무시할 만큼 작다.

$$\log[\hat{\mu}_u(t)] = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot \log(t) + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\frac{\hat{\mu}_u(t)}{\hat{\sigma}_u(t)} = \beta_1 + \beta_2 \cdot \log(t) + \varepsilon_2 \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 $\hat{\mu}_u(t)$ 는 각 MTF ($t = S_1, S_1 + 1, \dots, S_2$)에서 추정한 운행거리의 평균이며, $\hat{\sigma}_u(t)$ 는 각 MTF에서 추정한 운행거리의 표준편차이다. α_i, β_i 는 각 MTF의 $\hat{\mu}_u, \hat{\sigma}_u$ 에서 추정한 회귀계수이며, ε_i 는 오차항(error term)으로 서로 독립이고 평균 0, 분산 σ^2 인 정규분포를 따르는 확률적 효과(random effect)를 나타낸다.

[표 1] $(S_2 + 1)$ MTF에서 관측 중단된 운행거리 간격 당 고장 수

고장 수	운행거리 간격	
	Lower bound	Upper bound
1	m_1	m_1
1	m_2	m_2
...
1	$m_{n(s_2+1)}$	$m_{n(s_2+1)}$
$n_{(S_2+1)} \cdot [\Phi(i-3) - \Phi_0] / \Phi_0$	U_0	$\widehat{\mu}_u'(S_2+1) + (i-3) \cdot \widehat{\sigma}_u'(S_2+1)$
$n_{(S_2+1)} \cdot [\Phi(i-2) - \Phi(i-3)] / \Phi_0$	$\widehat{\mu}_u'(S_2+1) + (i-3) \cdot \widehat{\sigma}_u'(S_2+1)$	$\widehat{\mu}_u'(S_2+1) + (i-2) \cdot \widehat{\sigma}_u'(S_2+1)$
...
$n_{(S_2+1)} \cdot [\Phi(3) - \Phi(2)] / \Phi_0$	$\widehat{\mu}_u'(S_2+1) + 2 \cdot \widehat{\sigma}_u'(S_2+1)$	$\widehat{\mu}_u'(S_2+1) + 3 \cdot \widehat{\sigma}_u'(S_2+1)$

여기서 식 (1), (2)를 통하여 $S_2 + 1$ 에서 주행거리의 평균과 분산을 추정한다. $S_2 + 1$ 에 서비스센터에 입고된 품질보증 클레임 수를 n_{S_2+1} 이라 하면 $S_2 + 1$ 에서 품질보증 영역을 벗어난($u > U_0$) 품질보증 클레임 수 n_{S_2+1}' 는 식(3)과 같이 추정할 수 있다.

$$n_{S_2+1}' = n_{S_2+1} \cdot \frac{1 - \Phi_0}{\Phi_0} \tag{3}$$

$$\Phi_0 = \Phi\left[\frac{U_0 - \widehat{\mu}_u(S_2+1)}{\widehat{\sigma}_u(S_2+1)}\right] \tag{4}$$

여기서 Φ 는 표준정규분포의 누적분포 함수이다. 식(4)로부터 구해진 표준정규분포에서 만약 $U_0 \in [\widehat{\mu}_u' - 3 \cdot \widehat{\sigma}_u', \widehat{\mu}_u' - 2 \cdot \widehat{\sigma}_u']$ 이면 $i = 1$ 이고 $U_0 \in [\widehat{\mu}_u' - 2 \cdot \widehat{\sigma}_u', \widehat{\mu}_u' - 1 \cdot \widehat{\sigma}_u']$ 이면 $i = 2, \dots$, $U_0 \in [\widehat{\mu}_u' + 2 \cdot \widehat{\sigma}_u', \widehat{\mu}_u' + 3 \cdot \widehat{\sigma}_u']$ 이면 $i = 6$ 이다. U_0 를 벗어난 영역의 운행거리 간격 당 고장 수는 아래 표 1과 같이 구한다. 위의 방법으로 운행거리 간격 당 고장 수를 추정하고 다시 $S_2 + 1$ 에서 운행거리의 평균과 표준편차를 구하여 α_i, β_i 를 갱신한다. k 를 마지막 관측된 품질보증 클레임 이라고 할 때 $\min(k, T_0)$ 까지 α_i, β_i 를 반복적으로 갱신하며 각 MIS에서 고장 수를 추정한다.

2.2 가속실험 모형

가속실험 모형을 적용하여 고장모형을 도출한 연구 중 Baik and Murthy[1]는 사용비율을 스트레스로 보고 누송 모형을 적용하였다. 사용비율이 r 인 경우에 고장분포가

$F(t; a, b)$ 를 따른다고 하자. 여기서 a 는 척도모수이고 b 는 형상모수이다. 이 때, 사용비율이 r_1, r_2 인 부품의 두 수명 t_1, t_2 는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_1/t_2 = (r_1/r_2)^\gamma \tag{5}$$

여기서 γ 는 추정해야 하는 모수이다. 이 때 고장시간은 척도모수가 사용비율의 함수로 표현되는 동일한 분포를 따르게 된다. 사용비율이 r_1, r_2 인 경우 각 분포의 척도모수 간에는 식(6)과 같은 관계가 성립한다.

$$a(r_2)/a(r_1) = (r_1/r_2)^\gamma \tag{6}$$

2.3 품질보증 비용 분석

최소수리(minimal repair)의 경우는 수리시점의 고장 확률이 그대로 지속되므로 강조함수 $\lambda(\cdot)$ 를 가지는 비동기포아송과정(non-homogeneous Poisson process)으로 평균 품질보증 비용을 구할 수 있다. 완전수리(perfect repair) 또는 교체(replacement)의 경우는 수리시점의 고장 확률이 제품이 처음 출시되었을 때의 확률로 돌아간다. 그러므로 재생함수 $M(\cdot)$ 을 가지는 재생과정을 통하여 평균 품질보증 비용을 구할 수 있다. 품질보증 영역 (T, U) 에서 조건부 $R = r$ 일 때 품질보증 기간이 t_r 에서 끝난다고 하면 $r \leq U/T = \dot{r}$ 일 때 $t_r = T$ 이며 $r \geq \dot{r}$ 이면 $t_r = U/r$ 이다. 평균 품질보증 비용은 식(7)과 같이 구할 수 있고 여기서, c 는 한 대당 품질보증 서비스 비용이다[5].

$$E[C(T, U)] = c \left[\int_0^{\dot{r}} M(T|r) dG(r) + \int_{\dot{r}}^\infty M(t_r|r) dG(r) \right] \tag{7}$$

3. 사용비율을 고려한 고장모형 수립

3.1 품질보증 영역 밖의 고장 수 추정

품질보증 영역 밖의 고장 수를 추정하기 전에 고려할 점들이 있다. 먼저, 품질보증 데이터 수집 시 유의할 점으로 각 차량의 출고시점이 모두 다르므로 품질보증 영역에 도달한 차량과 도달하지 못한 차량을 구분해야 한다. 만약 품질보증 데이터가 대부분 품질보증 영역에 도달하지 못한 상태에서 수집된 데이터라면 Baik and Murthy[1]와 같이 사용비율에 근거하여 고장 나지 않은 차량의 관측 중도절단 시간을 구해야 한다. 하지만, 수집된 품질보증 데이터가 품질보증 영역에 모두 도달한 차량의 데이터라면 고장 나지 않은 차량은 우측 중도 절단(right censored)된 것으로 볼 수 있다.

본 논문에서 응용사례로 쓴 데이터는 2년 동안 판매된 차량의 부품이고 거의 모든 차량이 품질보증 영역에 도달한 것이다. 이런 경우 고장 나지 않은 부품들의 중도절단 시간은 품질보증 기간이 끝나는 T_0 로 볼 수 있다. 그러므로 $t \leq T_0, u \geq U_0$ 인 지역의 관측 중단 된 고장 수를 추정하기 위해서 2.1절에서 소개한 Yang and Zaghati[10]의 순차적 회귀분석을 이용한다. 여기서 추정된 고장 수를 제외한 고장은 모두 T_0 에서 우측 중도 절단되었다고 본다.

또 하나 고려해야 할 점은 차량이 고장 난 시간인 MTF와 품질보증 서비스를 받은 시간인 MIS가 다를 수 있다는 것이다. Yang and Zaghati[10]는 MIS와 MTF가 다른 것을 고려해서 각 MIS에 입고된 차량의 MTF를 계산하였다. 하지만 본 논문의 사례분석에서 다른 부품 V와 같이 고장이 난 후 차량운행이 불가능한 부품은 MIS = MTF라고 가정해도 무리가 없으므로 2.1절의 가정에 다음과 같은 가정을 추가한다.

가정 3. MIS = MTF: 부품이 고장이 나면 고장 난 달에 서비스센터에 입고한다.

이제 품질보증 영역 밖의 고장 수를 추정하기 위하여 모든 차량의 품질보증 기간 시작시점을 $t = S_1 = 1$ 로 놓고 2.1절에서 다룬 순차적 회귀분석을 통하여 식(1), (2)를 구한다. 또한 식(3), (4)를 이용하여 관측중단 된 $t \leq T_0, u \geq U_0$ 의 고장 수를 추정한다.

3.2 각 시장의 사용비율추정

사용비율을 고려한 고장모형을 도출하기 위하여 각 시장의 평균 사용비율을 추정해야 한다. 품질보증 영역 안에 포함된 데이터만으로 사용비율의 평균을 구하면 품질

보증 영역 밖($t \leq T_0, u \geq U_0$)에서 고장 난 사용비율이 높은 차량의 사용비율은 반영되지 않는다.

2.1절 순차적 회귀분석의 갱신과정에서 추정된 각 MTF당 평균 운행거리 $\widehat{\mu}_u$ 는 품질보증 영역 밖에서 고장 난 차량의 운행거리가 반영되어 있다. $\widehat{\mu}_u$ 을 이용해서 각 시장의 평균 사용비율 \bar{r}_j 를 구하면 품질보증 영역 밖에서 고장 난 차량의 사용비율을 반영한 시장 평균 사용비율을 얻을 수 있다. 시장 j의 사용비율 \bar{r}_j 는 식(8)과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{r}_j = \left[\sum_{l=S_1}^T (\widehat{\mu}_u'(l)/l) \right] / (T - S_1 + 1) \quad (8)$$

3.3 고장모형 수립

이제 사용비율을 고려한 고장모형을 수립해야 한다. 각 시장의 사용비율을 스트레스로 보고 2.2절의 Baik and Murthy[1]와 같이 누승모형을 적용하면 사용비율을 고려한 고장확률 분포를 추정할 수 있다. 먼저, 부품의 고장확률이 와이블분포를 따른다고 가정하고 누승모형을 적용시키면 두 척도모수 사이에는 식(6)이 성립하고 부품의 위험함수는 누승와이블모형(power Weibull model)이 된다. 이는 식(9)와 같이 나타낸다[2].

$$h(t|r) = \frac{b}{a(r)} \left[\frac{t}{a(r)} \right]^{b-1} \quad (9)$$

여기서 $a(r) = e^{\gamma_0/r^{\gamma_1}}$ 이다. 각 시장에서 품질보증 영역 내에 들어온 고장수와 3.1절에서 구한 관측중단 구간의 고장수를 가지고 식(9)의 모수를 추정해야 한다. 가속성이 성립한다고 가정하였으므로 가속실험 모형을 적용하여 형상모수를 동일하다고 가정하고 와이블플롯을 찍어 모수를 추정할 수 있다[7].

식(9)는 척도모수가 사용비율의 함수이다. 척도모수와 사용비율의 함수관계를 구하기 위하여 식(9)에 자연로그를 취하면 위의 분포는 극단치분포(extreme value distribution)를 따르게 된다. 이 때, 극단치분포의 척도모수는 $\delta = 1/b$ 로 일정하고 위치모수 $\xi = \ln(a)$ 는 r의 자연로그 선형함수로 나타나게 된다[6].

$$\ln(a) = \gamma_0 - \gamma_1 \ln(r) \quad (10)$$

여기서 γ_0, γ_1 은 회귀식을 통하여 구할 수 있으며 추정된 회귀식을 통하여 사용비율 \bar{r}_j 를 가지는 시장 j의 위험함수를 추정해 낼 수 있다.

3.4 품질보증 비용 예측

교체해야 하는 부품의 품질보증 비용을 예측하기 위해서는 식(7)의 재생함수 $M(\cdot)$ 를 구해야 한다. 하지만 지수분포(exponential distribution), 균일분포(uniform distribution)와 같은 소수의 분포함수만이 재생함수를 분석적으로 구할 수 있다. 일반적인 분포들은 계산적인 방법(numerical method)이나 시뮬레이션으로 재생함수를 구한다. Xie[9]가 제안한 방법으로 품질보증 비용을 예측해 볼 수 있다.

4. 사례 분석

본 논문의 분석방법은 2차원의 품질보증 영역을 제공하는 특정 내구재에 모두 적용할 수 있을 것이다. 2차원의 품질보증 영역을 제공하는 내구재에는 대표적으로 자동차가 있고 본 사례분석에서도 자동차의 품질보증 데이터를 이용한다.

여기서 특정 시장의 정의는 미국이나 일본 같은 특정 국가를 의미한다. 일반적으로 한 국가는 같은 품질보증영역을 제공받고 고객들의 주행패턴과 특정부품에 가해지는 스트레스의 가혹도가 비슷하다. 사례 분석에 사용된 데이터는 2년 동안 시장 A와 시장 B에서 각각 217606, 65353대가 판매된 차량 엔진부품 V의 492, 503개 품질보증 데이터이다. 고장은 단일고장모드 S에 의하여 발생했고 고장 발생 시 부품 V는 교체되어야 한다. 시장 A는 5년 10만km 품질보증을 해주고 시장 B는 10년 16만km의 품질보증을 해준다.

위의 데이터를 3절의 분석방법에 응용해 보았다. 먼저, 3.1.절의 품질보증 영역 밖의 고장 수를 추정하기 위하여 순차적 회귀분석을 하였고 $T_0 = 60$, $T_0 = 120$ 까지 갱신하면 표 2와 같은 회귀식을 추정할 수 있다. 갱신과정에서 각 MIS에서 품질보증 영역 밖의 고장 수를 추정했다.

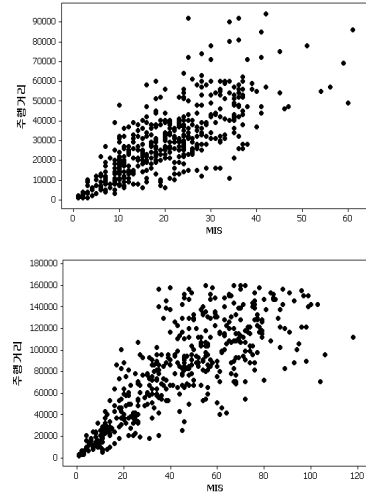
[표 2] 추정된 회귀식

시장 A	$\log[\hat{\mu}_u(t)] = 7.44 + 0.95 \cdot \log(t)$
	$\frac{\hat{\mu}_u(t)}{\hat{\sigma}_u(t)} = -0.343 + 1.23 \cdot \log(t)$
시장 B	$\log[\hat{\mu}_u(t)] = 7.92 + 0.912 \cdot \log(t)$
	$\frac{\hat{\mu}_u(t)}{\hat{\sigma}_u(t)} = 0.322 + 0.932 \cdot \log(t)$

아래의 추정된 회귀식을 이용하여 3.2.절의 각 시장별 평균 사용비율을 구하면 시장 A는 평균 사용비율

$\bar{r}_A = 1.496204$, 시장 B는 평균 사용비율 $\bar{r}_B = 1.926318$ 로 나타난다.

이제 품질보증 영역 밖의 고장 수를 포함한 각 MIS당 고장 수와 각 시장의 평균 사용비율을 토대로 고장모형을 수립한다. 모형수립에 앞서 데이터를 2차원 평면에 플롯하면 그림 1과 같이 되고 일반적으로 와이블분포를 따르는 데이터들과 비슷하게 플롯되는 것을 볼 수 있다.

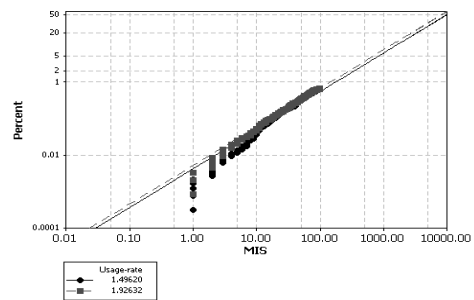


[그림 1] 시장 A, 시장 B의 품질보증 데이터

부품 V의 고장분포가 와이블분포를 따른다고 가정하고 누승모형을 적용하여 고장모형을 도출한다. 3.3.절에서 제안한 방법으로 시장 A와 시장 B의 위험함수를 도출하면 표 3과 같이 구해진다. 그림 2는 와이블확률지에 도시한 그림이다.

[표 3] 시장 A와 시장 B의 분포

	시장 A	시장 B
형상모수	1.05514	1.05514
척도모수	14087.9	11637.0



[그림 2] 시장 A와 시장 B의 와이블확률지 도시

사용비율을 고려한 고장모형에서 식(10)과 같이 척도모수와 사용비율의 관계를 도출해야 한다. 이는 회귀분석을 통하여 도출할 수 있고 시장 j의 척도모수를 a_j , 평균 사용비율을 \bar{r}_j 라 할 때

$$\ln(a_j) = 9.85785 - 0.756395\ln(\bar{r}_j) \text{로 나타난다.}$$

이를 통하여 사용비율이 1.6이고 7년 14만km의 품질보증을 하는 임의의 시장 C에서의 부품 V의 고장분포를 추정할 수 있다. 시장 C는 부품 V의 고장을 기록한 실측 데이터가 없으며 사용비율은 이전의 다른 부품이나 차량을 통해 얻은 것이라 가정한다. 고장분포는 와이블분포를 따르면 모수는 표 4와 같이 구해진다.

[표 4] 시장 C의 분포

시장 C	
형상모수	1.05514
척도모수	13391.05

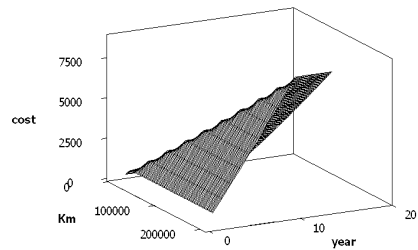
지금까지 수립한 고장모형을 통해 시장 C의 고장확률 분포를 추정하였다. 이렇게 추정된 고장확률 분포를 통해 부품 V에 대한 품질보증 비용을 재생과정을 통하여 구할 수 있다. 시장 C의 부품 V에 대한 품질보증 비용은 한 대당 품질보증 비용이 10만원이라고 가정하면 4852원으로 예측할 수 있다.

위의 과정을 통하여 회사의 경영상 의사결정과정에 고려할 수 있는 여러 가지 분석결과들을 도출할 수 있다.

첫 번째는 사용비율이 0.5, 1.5, 2.0인 시장의 척도모수를 도출해 보고 각각의 품질보증 영역에서 품질보증 비용을 예측해 보았다. 한 대당 품질보증 비용이 10만원이라고 가정하면 각 사용비율에 따른 척도모수와 평균 품질보증 비용은 표 5와 같다.

두 번째로 특정 시장의 사용비율을 알 때 품질보증 영

역이 변함에 따라 품질보증 비용이 어떻게 변동되는지 알 수 있다. 그림 3은 사용비율 2.0일 때 품질보증 영역에 따른 평균 품질보증 비용의 변화를 3차원으로 나타낸 것이다. 그림 3에서 품질보증 비용이 증가하는 기울기를 보면 특정 품질보증 기간에 품질보증 운행거리가 증가함에 따라 품질보증 비용의 증가량이 조금씩 커지는 것을 볼 수 있다. 즉, 특정 기간을 보증해 준다고 했을 때 운행거리를 작게 설정할수록 비용의 감소폭이 작아진다는 것을 의미한다.

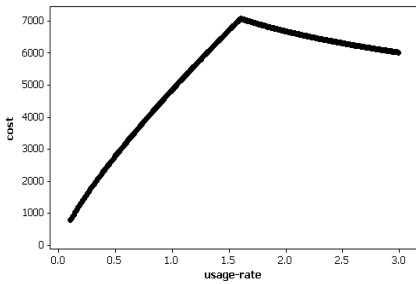


[그림 3] 품질보증 영역에 따른 평균 품질보증 비용(사용비율 2.0일 때)

세 번째로 같은 품질보증 영역을 보증해주는 다른 시장에서 사용비율이 다를 때 품질보증 비용이 어떻게 달라지는지도 알 수 있다. 그림 4는 품질보증 영역이 10년 16만km일 때 사용비율에 따른 평균 품질보증 비용이다. 사용비율이 높은 시장은 단위 시간 당 사용시간이 많고 그에 따라 고장이 발생할 확률도 높아지므로 당연히 품질보증 비용이 증가한다. 그러나 그림 4와 같이 10년 16만km를 보증해 준다고 할 때 $r = U/T = 1.6$ 보다 사용비율이 높아지면 품질보증 영역 중에 품질보증 운행거리 축(U)에 먼저 도달하는 차량이 많을 것이고 실제 고객들이 품질보증을 받을 수 있는 품질보증 영역이 줄어드는 것과 같은 효과가 발생하므로 평균 품질보증 비용이 감소하게 되는 것이다[4].

[표 5] 사용비율이 다른 시장의 척도모수와 품질보증 영역 별 품질보증 비용

사용비율	척도모수	평균 품질보증 비용					
		3년/3만km	5년/5만km	10년/10만km	10년/16만km		
0.5	32278.06	3년/3만km	784	3년/5만km	784	3년/10만km	784
		5년/5만km	1345	5년/10만km	1345	5년/16만km	1345
		10년/10만km	2794	10년/16만km	2794	10년/20만km	2794
1.5	14060.97	3년/3만km	1229	3년/5만km	1885	3년/10만km	1885
		5년/5만km	2107	5년/10만km	3231	5년/16만km	3231
		10년/10만km	4378	10년/16만km	6715	10년/20만km	6715
2.0	11311.29	3년/3만km	1141	3년/5만km	1957	3년/10만km	2372
		5년/5만km	1957	5년/10만km	4066	5년/16만km	4066
		10년/10만km	4066	10년/16만km	6676	10년/20만km	8448



[그림 4] 사용비율에 따른 평균 품질보증 비용 (10년 16만Km 보증 일 때)

5. 결론

본 논문은 서로 다른 사용비율을 가진 시장의 품질보증 데이터를 가지고 품질보증 영역 밖의 고장수를 추정하고 추정에 사용했던 각 MIS에서의 평균 운행거리를 이용하여 평균 사용비율을 구하였다. 구해진 고장수를 이용하여 가속실험 모형 중 누승모형을 적용하여 사용비율을 변수로 보아 고장모형을 도출하였다. 사례 연구에서는 교체해야 하는 특정 부품의 실제 품질보증 데이터를 이용하여 분석을 해보고 여러 가지 경영상 의사결정에 도움이 되는 품질보증 비용 관련 분석을 해 보았다. 본 논문은 자동차 회사에서 한 차종을 각각의 시장에 다른 시점에 출시할 경우 미리 그 시장의 사용비율을 이용하여 특정 부품의 고장분포를 추정해 보고 품질보증 비용을 예측해 보는데 유용할 것이라 생각된다.

본 논문에서는 사례분석에서 누승모형을 적용했는데 사례에 따라서 다른 가속실험 모형이 더 적합할 수 있다. 평균 사용비율이 아닌 사용비율의 분포를 추정하여 혼합분포를 이용하면 더 좋은 모형이 도출 될 것으로 보인다.

참고 문헌

[1] J. Baik and D. N. P. Murthy, "Reliability assessment based on two-dimensional warranty data and an accelerated failure time model," *International Journal of Reliability and Safety*, vol. 2, pp. 190-208, 2008.

[2] J. F. Lawless, *Statistical models and methods for lifetime data(1st ed.)*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 100-202, 1982.

[3] J. F. Lawless, J. Hu, and J. Cao, "Methods for estimation of failure distribution and rates from automobile warranty data," *Lifetime Data Analysis*, vol. 1, pp. 227-240, 1995.

[4] D. K. Manna, S. Pal, and S. Sinha, "A note on calculating cost of two-dimensional warranty policy," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 54, pp. 1071-1077, 2008.

[5] D. N. P. Murthy, and W. R. Blischke, "Product warranty management - III: A review of mathematical models," *European Journal of Operational Research*, vol. 62, pp. 1-34, 1992.

[6] W. Nelson, *Accelerated testing: statistical models, test plans and data analyses*, Wiley-Interscience., pp. 51-111, 1990.

[7] H. Pham, *Springer handbook of engineering statistics*, Springer, pp. 97-123, 2006.

[8] B. Rai, and N. Singh, "A modeling framework for assessing the impact of new time/mileage warranty limits on the number and cost of automotive warranty claims," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 88, pp. 157-169, 2005.

[9] M. Xie, "On the solution of renewal-type integral equations," *Communications in Statics: Simulation and Computation*, vol. 18, pp. 281-293, 1989.

[10] G. Yang and Z. Zaghati, "Two-dimensional reliability modeling from warranty data," *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 272-278, 2002.

이 호 택(Ho-Taek Lee)

[준회원]



- 2004년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학과 (공학 학사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학전문대학원 재학

<관심분야>
응용통계, 신뢰성공학