Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 27, No. 3, pp. 233-238, September 2001.

자동차 부품 수요의 예측 모형 개발

홍정식[1†] · 안재경[1] · 홍석기[2]

[1]서울산업대학교 산업정보시스템공학과 / [2]삼성SCM 제조팀 PE&R

Development of the Forecasting Model for Parts in an Automobile

Jung-Sik Hong[1] · Jae-Kyung Ahn[1] · Suk-Kee Hong[2]

[1]Department of Industrial & Informations Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, 139-743
[2]Manufacturing Team PE&R, Samsung Corning Micro Optics Co., Ltd., Suwon, 442-742

This paper deals with demand forecasting of parts in an automobile model which has been extinct. It is important to estimate how much inventory of each part in the extinct model should be stocked because production lines of some parts may be replaced by new ones although there is still demands for the model. Furthermore, in some countries, there is a strong regulation that the automobile manufacturing company should provide customers with auto parts for several years whenever they are requested.

The major characteristic of automobile parts demand forecasting is that there exists a close correlation between the number of running cars and the demand of each part. In this sense, the total demand of each part in a year is determined by two factors, the total number of running cars in that year and the failure rate of the part. The total number of running cars in year k can be estimated sequentially by the amount of shipped cars and proportion of discarded cars in years 1, 2,⋯, i. However, it is very difficult to estimate the failure rate of each part because available inter-failure time data is not complete. The failure rate is, therefore, determined so as to minimize the mean squared error between the estimated demand and the observed demand of a part in years 1, 2,⋯, i. In this paper, data obtained from a Korean automobile manufacturing company are used to illustrate our model.

Keywords : forecasting, dependent demand, failure, discard, estimation

1. 서 론

첨단기술의 개발 속도가 빨라지고, 소비자 취향이 급속도로 변함에 따라 많은 제품의 수명 주기가 점점 단축되고 있다. 자동차 산업의 경우도 경쟁사의 새로운 모델 출시와 함께 기존 차의 단종 시기가 앞당겨지는 추세를 보이고 있다. 그런데 자동차의 경우 의복이나 식품 등과 같은 소비성 제품과는 달리 사용기간이 늘어남에 따라 다양한 부품이 교체되어야 하며, 이는 특정 차(특정 모델)의 단종 시기 이후에도, 그 차의 핵심 부품에 대한 수요가 상당기간 존재함을 의미한다. 따라서 몇몇 국가에서는 자동차 회사가 특정 모델의 단종 이후에도 일정기간 그 모델의 핵심부품을 보유하도록 하는 법령을 시행하고 있다. 이러한 사실은 자동차 생산회사 입장에서는 단종되는 모델의 부품들 중 타 모델과의 호환성을 갖지 않는 부품, 즉 전적으로 모델 의존적인 부품들에 대해서는 향후 수요예측이 매우 중요한 문제로 대두됨을 의미한다.

즉, 부품을 자체 생산하는 경우에는 생산라인 철수전의 생산량 결정문제라든가 혹은 협력업체에서의 생산일 경우, 일시에 확보해야 할 부품 구입량 결정문제의 해결을 위해서는 해당부품의 향후 총 수요에 대한 예측치가 필요하다. 또한 해당부품의 생산라인 설치 및 폐기가 비교적 간단한 경우에는 재고 유지비용의 절감을 위해, 1년치의 수요량 확보 등을 고려해 볼 수 있다. 이 경우는 차량 단종 시점이후 부품의 총 수요만이 아니라 매년 발생되는 수요에 대한 예측치가 요구된다.

본 논문과 관련된 직접적인 연구는 거의 이루어지지 않은

이 논문은 서울산업대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.
† 연락저자 : 홍정식 교수, 139-743 서울시 노원구 공릉동 172 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 02-974-2849, e-mail : hong@duck.snut.ac.kr
2000년 7월 접수, 1회 수정 후 2001년 5월 게재 확정.

실정이다. 간접적으로 관련이 있는 논문으로는 우선 수명 주기가 짧은 제품의 수요예측과 관련된 논문(Atwood, 1992; Norton and Bass, 1987)이 있다. 그러나 이들 논문은 기존의 수요확산 예측모형(Bass, 1969; Mahajan and Peterson, 1979)에 관련된 연구의 연장선상에 있는 논문이다. 즉, 모수추정과 관련된 부분은 본 논문과 관련이 있으나, 수요예측 모델에서는 근본적인 차이가 있다. 그 차이는 이들 논문은 부품이 아닌 완제품이거나 부품이더라도 그 수요가 독자적으로 존재하는(대표적인 예로, D-RAM) 부품을 다루고 있지만 본 논문은 모차량 대수에 종속적인 수요패턴을 보이는 부품의 수요예측을 다루고 있다는 것이다. 또 다른 측면으로 부품의 고장률 추정과 관련된 논문(Kurawarwala and Matsuo, 1996; Menon, 1963; Quesenberry and Kent, 1982)들이 있다. 이들 논문의 결과는 부품의 고장률에 대한 현장 데이터가 충분히 확보 가능할 경우는 활용가능성이 있으나, 본 논문의 경우는 부품수명기간 전체에 걸친 현장 데이터의 확보가 불가능하므로 이들 논문의 결과가 직접적으로 적용가능하지가 못한 실정이다.

본 논문이 제시하고자 하는 주된 연구내용은 다음과 같다.

· 자동차 부품수요에 영향을 미치는 핵심요소의 파악
· 자동차 부품수요와 이들 요소간의 관계식 정립
· 관계식에서 등장하는 파라미터의 추정방법

본 논문은 이들 핵심내용을 중심으로 다음과 같이 구성되어 있다.

2절에서는 자동차 부품수요에 영향을 미치는 핵심요소와 이들 요소와 부품 수요량간의 관계식이 기술되며 3절에서는 관계식에서 등장하는 파라미터들에 대한 추정방법이 소개되고, 4절에서는 실제 자동차 부품의 데이터를 대상으로 논문에서 제시된 방법이 적용되며, 마지막으로 5절에서는 결론과 추후 연구 방향이 기술된다.

2. 문제의 모형화

본 논문에서 다루어지는 문제의 모형화를 위해 사용되는 기호는 다음과 같다.

M : 차량의 단종시점
N : 신차 출시 후 부품의 수요량이 무시할 만한 정도에 이르는 기간
x_i : i년도 출하된 차량의 수
y_i : i년도 말 등록된 차량의 수
$y_{i,j}$: i년도 말 수령 j로 등록된 차량 수
$z_{i,j,k}$: i년도 초 차량의 수령 j이고 부품의 수령이 k인 차량 대수
L_1 : 차량의 수명
L_2 : 부품의 수명
a_j : $\Pr(L_1 > j \mid L_1 \geq j-1)$
f_k : $\Pr(L_2 > k \mid L_2 \geq k-1)$
$A(j)$: $\Pr(L_1 > j)$
w_i : $[i-1,\ i]$기간 동안의 부품 수요량
$g(k)$: $\Pr(L_2 \leq k) - \Pr(L_2 \leq k-1)$

2.1 부품수요에 관련된 요소 및 부품의 고장형태

특정 기간 동안 부품 수요량을 결정짓는 가장 기본적인 요소는 당연히 부품의 총 가동대수를 결정하는 모차량 대수와 부품의 고장률이다. i년도 모차량 대수는 i년도까지의 매년도 출하대수와 폐차율에 의해 결정된다. 폐차율은 보통 차량의 수령(age)에 좌우되므로, 특정 연도 차량대수는 차량의 수령에 따른 대수로 나누어 파악되어야 한다. 따라서 단종 시점 이후 부품의 수요량을 좌우하는 기본 변수는 단종 시점까지의 매년도 차량출하 대수이고, 기본 파라미터는 차량의 수령에 따른 폐차율과 부품의 수령에 따른 고장률이다.

부품의 고장률은 자동차 부품의 경우 통상 세가지 형태로 나누어진다. 첫째는 주로 사고에 의해 고장이 발생하여 교체가 이루어지는 부품을 말하며, 범퍼나 사이드미러, 백미러 등이 이에 해당된다고 하겠다. 둘째는 일정기간이나 일정 주행 후에 교체되는 부품으로 오일 필터 등이 있다. 셋째는 사고로 누적된 충격이나 마모로 인한 노후화로 교체되는 부품으로, 팬벨트나 머플러, 브레이크 라이닝 등이 있다. 이들 중 세 번째 형태의 부품이 가장 일반적인 고장률의 형태를 보이며, 첫째와 두 번째는 이보다 쉽게 분석이 이루어 질 수 있다. 따라서 본 논문은 세 번째 형태의 고장률을 고려하며, 이 경우 고장률은 Weibull 확률함수에 의해 지배된다고 가정한다.

2.2 부품 수요량과 $z_{i,j,k}$ 간의 관계식

부품의 수요량은 앞서 기술한 대로 부품이 장착된 차량대수와 부품의 고장률에 의존한다. 그런데 이들 차량 대수는 매년 출하되는 차량 수와 차량의 폐차율에 따라 정해지므로, 원칙적으로 부품 수요량은 x_i와 a_j 그리고 f_k에 의해 표현 가능하다. 그러나 $z_{i,j,k}$가 이러한 관계식을 유도하는 데 필요하므로, 먼저 $z_{i,j,k}$와 부품 수요량과의 관계를 고찰해 보도록 하자. 우선 모차량 대수간의 관계를 고찰하자. i년도 말에 수령 j인 차량 $y_{i,j}$는 $(i-1)$년도에 수령이 $(j-1)$인 차량으로부터 폐차되지 않은 대수이다. 따라서 그 관계식은 다음과 같다.

$$y_{i-1,0} \equiv x_i \qquad i=1,\cdots,N \tag{1}$$

$$y_{i,j} = a_j y_{i-1,j-1} \quad i=1,\cdots,N \quad j=1,\cdots,i+1 \tag{2}$$

$$y_{0,1} = a_1 x_0 \tag{3}$$

다음으로 부품 수령까지를 고려한 모차량 대수간의 관계식을 살펴보자. 먼저 문제의 모형화를 위한 가정은 다음과 같다.

· 수요를 발생시키는 부품고장 사건과 폐차를 발생시키는

사건은 서로 독립이다.

· 1 년이라는 단위기간 동안 상기 두 개의 사건이 동시에 발생하지 않는다.

· 1 년 동안 출하되는 차량 수는 연도 초에 발생된다고 가정한다.

이러한 가정하에서 i년도에서 차령(차의 수령)이 j이고 부품수령이 k인 차량은 1년 기간 경과후 세 가지 경우로 나누어 진다. 첫째는 차량이 폐차되는 경우이며 둘째는 폐차되지 않고 부품이 고장나는 경우, 그리고 세 번째는 폐차되지 않고 부품도 고장나지 않는 경우이다. 이 세 가지 경우에 따라 $z_{i,j,k}$ 간의 관계식을 유도해 보자. 차령이 $(k-1)$이고 부품 수령이 $(k-1)$인 차량이 $(i-1)$년도에서 1년이 경과된 후에, 폐차되어 관계식에서 사라지는 경우를 제외하면 둘째와 셋째 경우만이 남는다. 우선 간단한 셋째 경우부터 고찰하자. 이 경우 차량이 폐차되지 않고 부품도 폐차되지 않는 경우로 그 확률은 $a_j f_k$가 되며 따라서 $(i-1)$년도에 차령 $(j-1)$이고 부품 수령 $(k-1)$인 차량대수 $(z_{i-1,j-1,k-1})$ 중 $a_j f_k$의 비율이 i년도 차령 j이고 부품 수령 k인 차량대수$(z_{i,j,k})$가 된다. 다음으로, 둘째 경우는 폐차되지 않고 부품이 고장나는 경우로 이때 이 차량은 i년도에 부품 수령이 0이 되며 차령은 $(j-1)$에서 j로 되어 $z_{i,j,0}$ 의 일부를 이룬다. 즉 $z_{i-1,j-1,r}\ a_j(1-f_k)$이 $z_{i,j,0}$의 일부가 된다. 이 경우는 부품 수령이 0에서 최대 $(i-1)$인 모든 차량이 폐차되지 않고 부품이 고장나는 경우는 모두 i년도에 차령은 j이며 부품 수령이 0이 된다. 즉 이들의 총합이 $z_{i,j,0}$가 되는 것이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$z_{i,0,0} = x_i \tag{4}$$

$$z_{i,j,k} = z_{i-1,j-1,k-1}\, a_j f_k, \quad i=1,\cdots,N, \quad j=1,\cdots,i, \quad k=1,\cdots,j \tag{5}$$

$$z_{i,j,0} = \sum_{r=0}^{j-1} z_{i-1,j-1,r}\ a_j(1-f_{r+1}) \quad i=1,\cdots,N, \quad j=1,\cdots,i \tag{6}$$

$$x_j = 0, \quad j \geq M \tag{7}$$

식 (4)는 i년도에 출하되는 차량수를 나타낸다. (4), (5), 그리고 (6)의 관계식에 따라 단종 시점까지의 차량 출하량 x_i와 폐차율$(1-a_j)$, 그리고 고장률$(1-f_k)$가 주어지면, 향후 차량 수명 연한까지의 $z_{i,j,k}$가 차례로 유도됨을 알 수 있다.

한편, $[i-1, i]$기간 동안의 부품수요량 w_i를 보면, 이는 $z_{i-1,j,k}$로부터 한 기간 후 고장나는 부품의 총수요량이므로 다음과 같이 쉽게 표현됨을 알 수 있다.

$$w_i = \sum_{j=1}^{i} z_{i,j,0} \tag{8}$$

3. 파라미터 추정

식 (4)~(8)로부터, 부품수요량 예측을 위해 추정해야 할 파라미터는 a_j와 f_k임을 알 수 있다. 통상 차의 수명을 15년으로 보고 부품의 수명을 10년으로 보면, 추정해야 할 파라미터의 개수는 25개가 된다. 이는 대단히 많은 개수로써 특정 데이터만으로는 추정의 신뢰성을 확보하기 어렵게 된다. 우선 폐차율만을 고려해 보자.

통상 확보되는 데이터는 단종 시점까지의 차량 출하량 x_i와 매년 등록차량 대수 y_i이다. 이들 데이터(x_i, y_i)를 바탕으로 관계식 (1)과 (2)를 활용하여 폐차율을 다음과 같이 순차적으로 계산할 수 있다. 첫해의 경우, 등록차량은 첫해 출시된 차량으로부터 폐차되지 않은 차량이므로

$$\hat{a}_1 = \frac{y_{0,1}}{x_0} \tag{9}$$

그리고 $\hat{a}_2$는 식 (2)에서 $i=1$일 때를 고려하면,

$$y_{1,2} = a_2 y_{0,1} \text{ 이므로 } \hat{a}_2 = \frac{y_{1,2}}{y_{0,1}}$$

여기서 $y_{0,1}$은 $\hat{a}_1 x_0$이므로, $\hat{a}_2 = \dfrac{y_{1,2}}{\hat{a}_1 x_0}$ 로 표현된다.

이러한 방법으로 $\hat{a}_M$까지 추정가능하다. 이러한 순차적인 추정방법은 다음과 같은 문제점을 갖고 있다.

(1) 차량의 수명 연한보다 차량 첫 출하 시점에서 단종 시점까지의 기간이 작은 경우, 이 기간을 넘는 수령을 갖는 차량의 폐차율 추정이 불가능하다. 즉, a_{M+1}, a_{M+2}, ……의 추정이 어렵다.

(2) $a_1, \cdots, a_j$의 추정을 하는 데 있어 j년도까지 출하된 차량의 변동만을 관찰하므로 전체 출하된 차량과 이들의 등록대수에 관한 데이터가 미활용된다. 특히 a_i을 추정하는 데에 있어 첫해 출하된 차량과 등록대수만이 사용되고 이 수치가 이후 기간의 폐차율 추정에 사용되므로 첫해 데이터에 대한 의존도가 너무 커져 추정의 신뢰성이 떨어질 가능성이 있다.

문제점(1)은 동급의 다른 차량에 관한 폐차율 데이터를 활용하여 해결된다. 문제점(2)는 등록차량의 수령에 관한 데이터, 즉 $y_{i,j}$에 대한 데이터가 확보된 경우 다음과 같은 방식으로 보완될 수 있다. 즉, 수령 j인 차량은 전체기간을 M이라 할 때, 처음 출하 시점부터 $(M-j+1)$시점까지 출하된 차량에서 나타나므로, 이를 차량 모두의 폐차율의 평균을 취하여 $A(j)$를 추정하면, 사용 표본수가 커지므로 $A(j)$의 추정치를 보다 신뢰성 있게 얻을 수 있다. 즉,

$$\hat{A}(j) = \frac{\dfrac{y_{j-1,j}}{x_0} + \dfrac{y_{j,j}}{x_1} + \dfrac{y_{j+1,j}}{x_2} + \cdots + \dfrac{y_{M,j}}{x_{M-j+1}}}{M-j+2} \tag{10}$$

다른 한편, M이 매우 작고 $y_{i,j}$에 대한 데이터 확보가 불가능한 경우는, 위와 같이 순차적으로 얻어지는 $a_1, a_2, \cdots, a_M$의 추정치들의 평균값을 모든 a_j 값의 추정치로 사용하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 이 방안은 M이 매우 작을 때, 이 기간 동안의 폐차는 주로 사고에 의해 발생하므로 수령이 폐차율과 무관하다는 가정을 바탕으로 하고 있다.

다음으로 부품의 고장률 추정문제를 고려하자. 앞서 기술한 바와 같이 부품의 고장률은 현장 데이터를 활용한 직접추정이 거의 불가능하다. 이제 (4), (5), (6) 그리고 식 (8)을 이용한 부품추정을 고려하자. 식 (8)을 보면 부품 수요량은 매개변수 $z_{i,j,0}$에 의해 표현된다. 주어진 독립변수는 x_i이므로 종속변수인 w_i와 독립변수 x_i 간의 관계식을 도출하면 다음과 같다.

정리 1. $[i-1,\ i]$ 기간 동안의 부품수요량 w_i와 i기간까지의 차량 출하량 $x_0, x_1, \cdots\cdots, x_{i-1}$과의 관계식은 다음과 같다.

$$w_i = \sum_{n=1}^{i} x_{i-n} \cdot A(n) \cdot G(n) \tag{11}$$

여기서

$$G(n) = \sum_{r=1}^{n} g(r) \cdot G(n-r) \tag{12}$$

$$G(0) = 1 \tag{13}$$

$$g(r) = \Pr(L_2 \le r) - \Pr(L_2 \le r-1) \tag{14}$$

(증명) w_i는 i기간까지의 차량 출하량 $x_0, x_1, \cdots\cdots, x_{i-1}$ 중 $(i-1)$년도까지 폐차되지 않은 상태에서 $(i-1, i)$기간에 부품고장을 일으켜 부품수요를 야기한 기대값이다. 그런데 $z_{i,j,k}$ 변수를 도입해서 고찰하면 이 양은 i년도에 부품 수령이 0이 되므로 부품 수령이 0을 나타내는 변수, 즉 $z_{i,n,0}$의 n에 대한 총합이 된다. 그러면 $z_{i,n,0}$와 $(x_0, x_1, \cdots\cdots, x_{i-1})$와의 관계식의 증명을 위해 다음과 같이 변수를 정의하자.

$A_{i,n}$: $(i-n)$년에 판매된 차량의 i년 초의 부품 수령

$F_{i,n}$: $(i-n)$년에 판매된 차량의 최초 부품 고장발생 구간

$z_{i,n,0}$는 수령이 n인 차량이 i년도에 부품의 고장을 일으킨 수량이다. 따라서 이 차량은 $(i-n)$년도에 출시된 차량이다. $(i-n)$년도 출시차량이 i년도에 부품수요를 발생시키기 위해서는 $A_{i,n}$이 0이 되어야 한다. 따라서 $(i-n)$년도 출시차량을 나타내는 변수 x_{i-n}과 $A_{i,n}$을 사용하여 $z_{i,n,0}$을 표현하면 다음과 같다.

$$z_{i,n,0} = x_{i-n} \cdot \Pr[A_{i,n}=0] \tag{15}$$

$A_{i,n}$이 0이 될 확률을 차량의 수명에 조건을 주어 전개하면,

$$\Pr[A_{i,n}=0] = \Pr[A_{i,n}=0 \mid L_1 > n] \cdot \Pr[L_1 > n] + \Pr[A_{i,n}=0 \mid L_1 \le n] \cdot \Pr[L_1 \le n] \tag{16}$$

$L_1 \le n$인 경우는 i년도 이전에 폐차되므로 i년도에 부품 수요를 발생시킬 수 없다. 따라서,

$$\Pr[A_{i,n}=0] = \Pr[A_{i,n}=0 \mid L_1 > n] \cdot \Pr[L_1 > n] \tag{17}$$

우변의 $\Pr[L_1 > n]$은 정의에 따라서 $A(n)$이고 나머지 확률 $\Pr[A_{i,n}=0 \mid L_1 > n]$은 기간 n에만 의존하는 값이다. 따라서 이 값을 $G(n)$이라 정의하자. 그러면 식 (17)은 다음과 같이 표현된다.

$$\Pr[A_{i,n}=0] = G(n) \cdot A(n) \tag{18}$$

이제 $G(n)$이 식 (12)로 표현되는 것을 증명하자.
최초 부품고장에 조건을 주면,

$$G(n) = \sum_{i=1}^{n} \Pr[A_{i,n}=0 \mid L_1 > n, F_{i,n} = [i-n+r-1,\ i-n+r]] \cdot \Pr[F_{i,n} = [i-n+r-1, i-n+r] \mid L_1 > n] \tag{19}$$

부품 고장과 모차량의 수령은 독립이란 가정에 의해,

$$G(n) = \sum_{i=0}^{n} \Pr[A_{i,n-r}=0 \mid L_1 > n] \cdot \Pr[F_{i,n} = [i-n+r-1, i-n+r \mid L_1 > n] \tag{20}$$

식 (20)의 우변항 $\Pr[F_{i,n} = [i-n+r-1,\ i-n+r] \mid L_1 > n]$은 $(i-n)$년도 출시된 차량의 최초 부품고장이 부품 수령 $[r-1, r]$에서 발생되는 것을 나타내는 확률이므로 이 값은 $g(r)$이 된다. 그리고 부품의 고장이 일어난 이 구간 이후, 즉 $(i-n+r)$년도부터 i년도까지 같은 과정이 반복되므로 $\Pr[A_{i,n-r}=0 \mid L_1 > n]$은 $G(n-r)$가 된다. 따라서

$$G(n) = \sum_{r=1}^{n} G(n-r) \cdot g(r) \tag{21}$$

이고, 이상의 과정을 종합하면

$$w_i = \sum_{n=1}^{i} z_{i,n,0} = \sum_{n=1}^{i} x_{i-n} \cdot A(n) \cdot G(n) \tag{22}$$

Q. E. D

식 (11)로부터 w_i와 $(x_0, \cdots\cdots, x_i)$ 간의 관계가 파라미터 관점에서 비선형식으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 따라서 M 시점에서의 부품 고장률을 추정할 경우, 주어진 M개의 비선형 회귀식으로 부터 최소자승법에 의해 고장률을 추정하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 그런데, 부품의 고장이 하나의 Weibull 함수에 의해 표현될 수 있다고 가정하면 추정 파라미터 개수는 Weibull함수의 파라미터인 척도 파라미터 α와 형상 파라미터 β 두 개로 줄어든다. α와 β는 다음과 같은 최소자승법(Min. Squared Error, MSE)에 의해 이차원 탐색(search)방식으로 얻어진다.

$$\mathrm{Min}(\alpha, \beta) \sum_{i=1}^{M} (\widehat{w}_i - w_i)^2 \tag{23}$$

$$\text{s.t.} \quad w(m) = \sum_{n=1}^{m} x_{m-n} \cdot A(n) \cdot G(n), \; m=1, \cdots, M \quad (24)$$

$$G(n) = \sum_{i=1}^{n} g(i) \cdot G(n-i), \; n=1, \cdots, M \quad (25)$$

$$G(0) = 1 \quad (26)$$

$$g(i) = e^{-(\beta(i-1))^{\alpha}} - e^{-(\beta i)^{\alpha}} \quad (27)$$

실사례분석에서는 부품의 평균수명이 알려져 있을 때, 이를 MSE방식에 의한 α, β추정에 활용하는 방안이 소개되고, 이에 따라 부품의 총수요량을 두 개의 대안치로 제시하게 된다.

4. 모형의 적용 : 머플러 부품 수요예측

H자동차 회사의 A모델에 장착된 머플러 부품을 실제 사례로 고려하자. 머플러는 충격과 노후화의 복합에 의해 부품교체가 이루어지는 대표적인 부품이다.

<표 1>에 단종 시점까지의 차량의 출하량과 등록대수가 나와 있다. 단종 시점까지의 기간은 6으로 이 기간동안의 차량의 폐차는 주로 사고에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 $a_1, \cdots\cdots, a_6$은 모두 동일하다고 가정한다. 이러한 가정하에 이 기간동안의 a_i의 추정치는 최종등록대수를 이용하면 0.018이 됨을 쉽게 알 수 있다. 또한 폐차협회에서 수집된 데이터는 주로 차의 수령이 7～10에 대해 집중되어 있다.

<표 2>는 이를 보여준다. 따라서 차량의 수명연한을 통상 15년으로 고려할 때, $a_{11}, \cdots\cdots, a_{15}$의 추정문제가 대두된다.

본 논문에서는 10년 이후의 차량은 폐차율이 완만히 감소한다고 가정한다. 실제 최근 보고된 자료에 의하면 차량의 평균 사용연수가 8.1년(97년 소비자보호원 연구)이므로 10년 이후에 폐차율의 선형감소의 가정은 합리적이라고 할 수 있다.

이에 따른 차량의 폐차율이 <표 3>에 나와 있다.

표 1. A모델의 연도별 판매대수 및 등록대수

연 도	1	2	3	4	5	6
판매량	95,394	93,125	100,092	76,816	22,633	24,093
등록대수	91,985	183,530	279,382	352,937	369,548	381,671
부품 수요량	2,325	5,578	1,795	6,885	16,676	21,041

표 2. 연도별 폐차율

수명 / 연도	7	8	9	10
'91	8.3	12.1	17.6	8.0
'92	9.8	11.6	17.5	11.0
'93	10.3	13.4	16.5	9.4
평균	9.5	13.4	16.5	9.4

표 3. 차량수명에 따른 수령(age)별 폐차율

연도	1~6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
폐차율	0.018	0.095	0.134	0.165	0.094	0.092	0.085	0.079	0.075	0.073

표 4. 부품의 예측 총수요

	MSE	MSE & 수명평균 7년 고정
예측 총수요	200,195	265,820

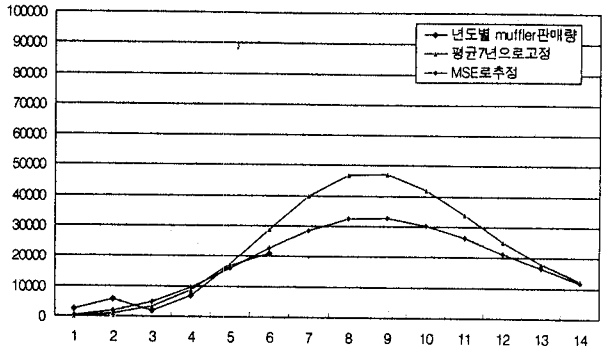

그림 1. MSE와 MSE & 부품수명 7로 고정 후의 부품예측 총수요.

다음으로, 부품의 고장률 추정을 고려하자. 식 (23)부터 식 (27) 까지로부터 α와 β를 구하면, 그 값은 $\alpha=2.376$, $\beta=0.106$이 얻어진다. 그런데 머플러의 평균수명은 보통 7년으로 알려져 있다. 이 경우 차량 단종 시점까지의 기간이 머플러 평균수명보다 작으므로, MSE에 의한 α, β 도출이 만족스럽지 못한 예측치를 산출할 가능성이 존재한다. 따라서, 머플러 평균을 7로 두고 식 (23)부터 식 (27)을 만족하는 α, β를 구하면 그 값은 $\alpha=3.428$, $\beta=0.128$이 된다.

<그림 1>에 이들 α, β에 근거한 두 가지 예측치가 도시되어 있다. 그리고 <표 4>는 이들 두 가지 방법에 의한 부품의 단종 시점 이후 총수요량을 보여준다. <그림 1>에 따라 우리는 평균을 7년으로 고정한 경우가 더욱 많은 수요치를 예측하고 있음을 알 수 있다. 따라서 이들 값을 향후 부품의 총수요에 대한 낙관적 예측치와 비관적 예측치로 사용할 수 있다. 고려되어야 할 점은, 부품의 평균수명이라는 정보를 활용한 예측치가 그렇지 않은 경우보다 반드시 정확한 예측치는 아니라는 점이다. 그 이유는 부품의 고장발생 이후 이것이 대체품 사용에 의해 순정 부품의 수요와 직결되지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 순정 부품의 실제 수요량에 적합시킨 α, β추정은 이러한 현상을 반영하는 데 전자보다 더 큰 비중을 두었다고 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 특정 모델의 자동차가 단종된 시점 이후에 발생되

는 부품의 총수요량을 예측하는 모델을 제시하고 관련된 파라미터를 추정하는 방법을 제시하였다. 본 논문의 모델에서는 자동차 부품 수요의 핵심요소인 출하된 차량대수와 차량의 폐차율, 그리고 부품의 고장률이 고려되었다. 따라서 추정해야 하는 파라미터는 차량의 폐차율과 부품의 고장률인바, 이들은 각각 개수가 많아 분리해서 추정하는 방안이 기술되었다. 그리고 부품 고장률 추정을 위해 출하된 차량대수와 부품 수요량 간의 관계식이 도출되었고, 이 관계식을 기초로 하는 고장률 추정 방법이 기술되었다.

이외에 부품 수요량에 관련된 요소로, 각 서비스센터에서의 안전재고량과 부품 고장시 순정품사용 비율 등이 있다. 그러나 이들 요소를 모두 포함할 경우, 한정된 데이터 내에서의 추정이 불가능하게 된다. 따라서 본 논문은 가장 기본적인 요소를 토대로 한 모형만을 다루었다. 향후 추가적인 데이터 확보가 이루어지면 본 논문의 모형을 토대로 보다 확대된 모형에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 본 논문에서 제시된 모형은 자동차만이 아니라 TV나 오디오 혹은 컴퓨터 등의 내구재의 부품수요를 예측하는 데 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

Atwood, C. L. (1992), Parametric Estimation of Time-Dependent Failure Rates for Probabilistic Risk Assessment, *RESS*, **37**, 181-194.

Bass, F. M. (1969), A New Product Growth Model for Consumer Durables, *Management Science*, **15**, 215-227.

Kurawarwala, A. B. and Matsuo, H. (1996), Forecasting and Inventory Management of Short Life-Cycle Products, *Operations Research*, **44**(1), 131-150.

Mahajan, V. and Peterson, R. A. (1979), Innovation Diffusion Models of New Product Acceptance, *Tech. Forecasting and Social Change*, **15**, 127-146.

Menon, M. V. (1963), Estimation of The Shape and Scale Parameters of The Weibull Distribution, *Technometrics*, **5**, 175-182.

Norton, J. A. and Bass, F. M. (1987), A Diffusion Theory Model of Adoption And Substitution for Successive Generations of High-Technology Products, *Management Science*, **33**(9), 1069-1086.

Quesenberry, C. P. and Kent, J. (1982), Selecting Among Probability Distributions Used in Reliability, *Technometrics*, **24**, 59-65.