

保證修理費用推定에 관한 研究 (Warranty Cost Inference)

朴 松 在

現代自動車(株) 品質管理部

(1976. 3 受理)

1. 고객의 Claim 확률

자동차와 같은 다수의 부품이 조립되어 있는 제품의 Claim 현상을 살펴보면 부품가격[Part Cost or Material Cost]과 그부품을 정비하는 노임(Labor Cost) 및 결합에 대하여 Claim 하는 고객의 수요에 따라 광범위한 분류를 할 수 있다.

물론 다수 부품조립제품 공장에서도 부품의 제작부터 조립까지 시방에 합치되는(Conform to Specification) 부품만 사용하여 조립하려고 하겠지만 수많은 부품을 일일이 재료부터 제품까지 검사할 수도 없고, 또 몇개의 부품이 조립되어 완성제품의 한 구성품이 되는 것도 있어 이를 일일이 시험하는 것도 어려운 일이므로 조립직전에 통제적 방법에 의한 검사를 하는 정도로 하여 조립하는 것이 보통이다.

그런데 다수 부품 조립제품(Multiparts Assembly Product)은 조립완료 후 소위출검검사과정(Outgoing Inspection)을 두어 사용에적합성(Fitness for Use)을 시험하게 된다.

이때 검사는 상당히 주관적인 판단이 되는 경우가 많다. 즉 한개의 검사항목을 예로들어 전문적인 검사원이 제품의 성능에 따라 이정도며 “완전하다”라든가 이정도며 Claim이 될사항이라든가 하는것을 예측할 수는 있지만 예를 들어 “67%의 고객이 Claim한다”는 식으로 Claim 확률을 단언하기는 어렵다.

그러나 전문 검사원의 판단의 정밀도를 살펴보면 고객의 Claim 정도를 약 3 단계 정도로는 거의 틀림없이 분류할 수 있다. 즉,

- A. 대부분의 고객에게 Claim 된다. (90% 정도의 고객)
 - B. 일반적인 고객에게 Claim 된다. (50% 정도의 고객)
 - C. 예민한 고객에게 Claim 된다. (10% 정도의 고객)
- 으로 분류하여 제품판매후 고객의 Claim 확률을

예측할 수가 있으며 이렇게 추정된 확률을 P라고 하면 한 제품에 대한 P의 크기는 그 제품의 품질보증 수준에 비례한다고 할 수 있다.

품질보증 수준을 Q라고 하면

$$Q \propto P \dots\dots\dots (1)$$

(표 1)은 자동차로 예로하여 Claim 확률을 구분하는 기준을 제시한 것이다.

(표 1)

일반결합 분류 기준 (GENERAL DEFECT CLASSIFICATION)

A. 하기 사항의 하나 또는 그 이상에 해당하는 표준 이하의 조건에는 “90% 확률인 수”를 부여한다.

- 1. FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standard) 위반시—보증 가능비용에 한함.
- 2. 차를 작동 불능케하는 원인
- 3. 차를 운행 불능으로 하는 원인
- 4. 운전자의 시야를 저해하는것
- 5. 승객의 안전을 위협하는것
- 6. 고객에게 불만을 주어 수리를 필요로 하는것
- 7. 부품의 기능미달로 고장을 초래할만한것
- 8. 품질보증 비용을 초래하는것
- 9. “주요부품”의 교환을 필요로 하는것.

* 주의 : “주요부품(Significant Part)”이라 하는것은 부착된 표준부품중 하나를 뜻하는 것이며, 그것이 없어도 차의 기능이나 외형에 영향을 주지 않을수도 있다.

B. 하기 사항의 하나나 또는 그 이상에 해당하는 표준 이하의 조건에는 “50% 확률인수”를 부여한다.

- 1. 고객에게 불만을 주어 수리를 하게될지도 모르는것.
- 2. 차의 유지비를 증가시키거나 차의 수명을 단축시키는 사항.

C. 하기 사항의 하나나 또는 그 이상에 해당하는 표준 이하의 조건에는 “10% 확률인수”를 부여한다.

1. 고객이 수리를 요청하지 않을것같은 결함.
2. 대부분의 고객에게 약간의 불만을 가져올수 있는것.
3. 품질보장 비용을 일으키지 않을 결함.
4. 외형에 기인하여 수리를 할만한것

2. 수리비용의 최대값과 최소값

보증수리기간 내에 제품에 품질문제가 있으면 제작자는 해당 부품을 교환(Replace) 또는 수정(Rework)하기 위하여 비용이 들게 된다. 정비비용의 내역은 재료비(또는 부품원가)노인(Labour Cost)및 기타 경비(Overhead) 등이며 총비용은부품에따라 각각 다르다고 할수있다.

이 때 총비용의 최대치를 E_{max} 최소치를 E_{min} 으로 표시하면 제작자의 제품품질 정책(Product Quality Policy)은 보증수리비가 적게드는 부품 일수록 최대로 claim을 허용하고 보증수리비가 큰 부품은 claim을 억제 하도록 한다.

3. 부품당 보증수리 비용

어떤 부품의 결함 D 의 보증수리 비용을 E 라 하고 그 결함이 고객에 의하여 Claim추정 확률이 P 라고 하면 제작자 측은 (1)에 의하여

$$Q = EP \dots \dots \dots (2)$$

의 보증수리비 청구를 받을것으로 기대된다.

이제 각 부품별로 Q 의 값을 구하며 제품전체의 보증비용은 이들 Q 의 총합과 같다.

$$W = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots + Q_n$$

$$= \sum_{i=1}^n Q_i \dots \dots \dots (3)$$

W : 제품보증 비용

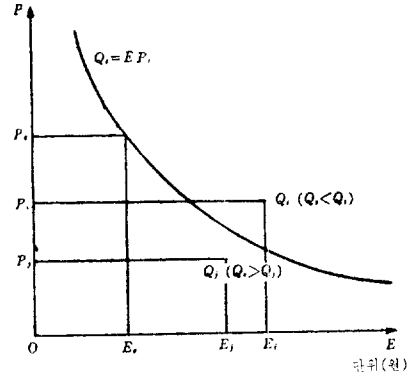
4. 품질수준의 추정

(2)식은 제품당 보증수리 비용을 정확하게 산출하는 식이기는 하지만 전제품의 구성 부품 하나하나에 대하여 Q 의 값을 구하는 것은 이미 논했듯이 비경제적이므로 제품중에서 임의로 선정한 Sample을 가지고 Q 를 추정하게 된다.

Q 에 대하여 고찰해보면 제품결함의 심각도(Severity) 또는 품질수준(Quality Level)이라고도 할수있는 것으로서 Q 의 값은 기업이 가장 유리한 값을 목표로 해야 할 것이다. 어떤 조립제품에 대하여 그림 1에서 보는 바와 같이 가장 경제적인 값 Q_* (1)가 선정되었다면 수

리비용 E_i 인 부품은 P_i 의 위험 확률로 공급될 것이나, 수리비용 E_i 인 부품이 P_i 의 위험확률을 가지는 경우에는 그 부품은 개선되어야 할 것이다. 또한 수리비용 E_i 인 부품이 P_i 의 위험확률을 가지는 경우에는 그 부품은 품질을 위하여 지나친 비용이 들었다고 할수 있다.

결과적으로 보증수리 비용이 $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ 인 부품에 대한 Claim 확률은 $Q_i = EP$ 곡선을 중심으로 산포하게 된다.



(그림 1)

이렇게 하고 보면 부품가격이 염가이고 또는 정비비용이 염가인 부품일수록 제작자는 Claim을 최대한 허용하게 되고, 총비용 E 는 $E_1 = E_{min} < E_2 < E_3 < \dots < E_n = E_{max}$ 인 정수가 된다.

이제 N 개의 제품중 n 개를 Sample로 선정하여 $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ 이라하고 H_i 의 m 개의 구성품에 대하여 Q 의 값을 추정하여 그 Data를 $Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{im}$ 이라 하면

$$H_i \text{의 품질수준은 } Q_i = \frac{\sum_{m=1}^m Q_{im}}{m} \dots \dots \dots (4)$$

로 표시할수 있다.

(표 2)는 Sample H_i 의 각 구성품에 대한 $Q_{i1}, Q_{i2}, \dots, Q_{in}$ 을 측정하기 위한 표이다.

(표 2) 품질보증수준 측정표

90%	3.6×1,000	7.2×1,000	10.8×1,000	18.0×1000
50%	2.0×1,000	4.0×1,000	6.0×1,000	10.0×1000
10%	0.4×1,000	0.8×1,000	1.2×1,000	2.0×1000
	₩4,000/ 2HR까지	₩8,000/ 4HR까지	₩12,000/ 6HR까지	₩20,000/ 10HR까지

따라서 Sample 전체에 대한 품질보증 수준은

$$\text{품질평균 } Q = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{품질표준차 } S_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(6)$$

로 나타낸다.

만일 제품 H가 수년간 계속 생산되어 어느정도의 품질수준이 평가되었다면 제품 H의 품질분포는 정규분포한다고 할 수 있으며, 전 제품에서 취한 크기 n인 Sample (표본)의 평균 Q, 표준편차 σ_H 에 의하여 제품의 품질수준을 추정하여 보자.

신뢰계수 100 (1-P)%인 제품 H의 신뢰구간은

$$Q - K_p \frac{\sigma_H}{\sqrt{n}} < H_p < Q + K_p \frac{\sigma_H}{\sqrt{n}} \dots\dots(7)$$

단, K_p 는 정규분포표로부터 P%에 대응하는 값

5. 보증 수리 비용의 추정

어떤 다수 부품 조립제품(Multiparts Assembled Product)이 품질보증 수준으로 제작되었을때 소요될 보증수리 비용의 총계는 얼마나 될까? 지금 고객의 총수를 N이라하면 보증수리비용 E_i 인 부품의 Claim 청구 고객수효의 기대치는

$$N \times P_i \dots\dots\dots(8)$$

이들에 대하여 각각 Q의 수리비용이 소요될것으로 예상되므로 보증수리 비용은

$$NP_1 \times Q \dots\dots\dots(9)$$

같은 방법으로 n개의 제품에 대하여 생각하면 보증수리비용의 총계 W는

$$W = NP_1Q + NP_2Q + \dots + NP_nQ \\ = NQ(P_1 + P_2 + \dots + P_n) \dots\dots\dots(10)$$

그런데 급수

$$S_n = P_1 + P_2 + \dots + P_n \dots\dots\dots(11)$$

의 각항은 양이고, P_1, P_2, \dots, P_n 을 각각 $E_{min}, E_{min} + 1, \dots, E_{max}$ 에 대응한다고 하면

$$P_1 > P_2 > \dots > P_n$$

이 된다.

지금 이 급수의 각항을 그래프로 나타낸다. 횡축상에 E의 눈금, 종축상에는 E_i 에 대응하는 값 P_i 을 취한다.

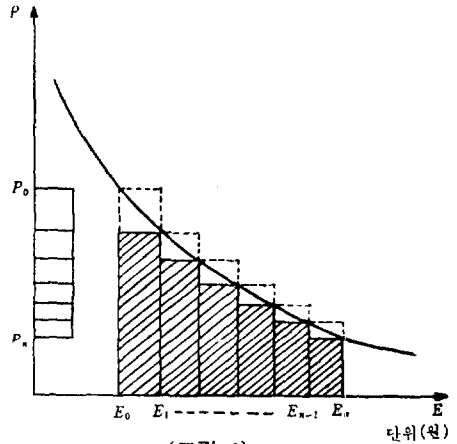
이때 정수치 $E = E_i$ 에 대해서는 값 P_i 을 취하는 연속함수 $P = \frac{Q}{E}$ 가 (1)에 의하여 만들수가 있다. 이 곡선은 구형의 한쪽지점을 연결한 곡선이다.

이때의 함수 $P = \frac{Q}{E}$ 도 또 비증가함수가 된다.

이와같이 그래프로 표시하면, 주어진 급수

$$S_n = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

는 곡선 $P = \frac{Q}{E}$ 에 접한 구형의 면적의 합으로 표시된다. $E_{min-1} = E_{-1} = E_0$ 를 생각하면,



(그림 2)

S_n 은 곡선 $P = \frac{Q}{E}$ E축 및 $E = E_0, E = E_n$ 의 두개의 종선으로 싸인 도형을 그 내부에 포함하게 된다.

또한 (그림 2)와 같이 함수 $P = \frac{Q}{E}$ 가 구간 $[E_0, E_n]$ 에서 감소하면 주어진 개수의 종선을 사용할때의 오차의 상계를 정확하게 결정할수가 있다. 이 경우 그림에서 곧 알수있는 바와같이 오차는 사선을 그은 구형의 면적의 총합의 1/2을 넘지 않는다. 곧 $\frac{P_1 - P_n}{2}$ 을 넘지 않는다.

따라서 적분의 개념에서

$$S_n \approx \int_{E_0}^{E_n} \frac{Q}{E} dE - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \dots\dots\dots(12)$$

여기에서

$$E_1 = E_{min}$$

$$E_n = E_{max} \text{ 라고 하면}$$

$$E_0 = E_{min-1} \text{ 이므로}$$

$$\int_{E_0}^{E_n} \frac{Q}{E} dE = \int_{E_{min-1}}^{E_{max}} \frac{Q}{E} dE$$

따라서 (12)는

$$S_n \approx \int_{E_{min-1}}^{E_{max}} \frac{Q}{E} dE - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \dots\dots\dots(13)$$

$$W = NQ \left\{ \int_{E_{min-1}}^{E_{max}} \frac{Q}{E} dE - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right\} \\ = NQ^2 \left[1n \int_{E_{min-1}}^{E_{max}} \frac{1}{E} dE - NQ \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right] \\ = NQ^2 \left[1n \frac{E_{max}}{E_{min-1}} - NQ \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right] \\ = NQ \left\{ Q1n \frac{E_{max}}{E_{min-1}} - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right\} \dots\dots\dots(14)$$

이때 $N=1$ 로 하면 제품당 보증수리 비용이 되므로

$$W_u = Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{E_{min}-1} - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right\} \dots\dots\dots (15)$$

6. 제품 품질정책과 보증수리비

고객의 Claim요청 확률요소에 의하여 제품의 보증수리 비용의 범위를 정할수 있다. 제품에 대한 고객의 평가를 기준으로 다음과 같이 분류할 수 있다. *(2)

1) $P \leq 0.1$ 인 경우 (제품의 평가는 탁월하다—Excellent)

- ㄱ) 부품의 기능: 탁월함
- ㄴ) 결함의 인식정도: 인식안됨
- ㄷ) N. V. H. *(2): 인식할수 없음

$P_1 = 0.1$ 라 놓으면
 $E_{min} = \frac{Q}{0.1} = 10Q$

$$W_u \leq Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{10Q-1} \right\} - \left(\frac{0.1 - P_n}{2} \right)$$

(방침 1) 보증수리비 $10Q$ 이하인 부품은 무결점품이어야 한다.

(방침 2) $Q_i \geq \frac{E_{max}+1}{10}$ 인 제품 H_i 는 판매해서는 안된다.

2) $P \leq 0.3$ 인 경우(제품의 평가는 우수하다. —Very good)

- ㄱ) 부품의 기능: 우수함. 또는 대단히 우수함.
- ㄴ) 결함의 인식정도: 훈련된 검사원에게만 인식됨.
- ㄷ) N.V.H: 아주 경함 또는 거의 알수 없음.

$P_1 = 0.3$ 라 놓으면
 $E_{min} = \frac{Q}{0.3} = 3.33Q$

$$W_u \leq Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{3.33Q-1} - \left(\frac{0.3 - P_n}{2} \right) \right\}$$

(방침 1) 보증수리비 $3.33Q$ 이하인 부품은 무결점품이어야 한다.

(방침 2) $Q_i \geq \frac{E_{max}+1}{3.33}$ 인 제품 H_i 는 판매해서는 안된다.

3) $P \leq 0.6$ 인 경우(제품의 평가는 양호하다—Fair)

- ㄱ) 부품의 기능: 쓸수있다 또는 허용할만하다. 또는 양호하다.
- ㄴ) 결함의 인식정도: 약간의 고객 또는 예민한 고객은 인식한다.
- ㄷ) N.V.H: 개선되어야 한다. 또는 보통이다. 또는 경하다.

$P_1 = 0.6$ 라 놓으면

$$E_{min} = \frac{Q}{0.6} = 1.67Q$$

$$W_u \leq Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{1.67Q-1} - \left(\frac{0.6 - P_n}{2} \right) \right\}$$

(방침 1) 보증수리비 $1.67Q$ 이하인 부품은 무결점품이어야 한다.

(방침 2) $Q_i = \frac{E_{max}+1}{1.67}$ 인 제품 H_i 는 판매되어서는 안된다.

4) $P \leq 0.8$ 인 경우(제품의 평가는 고객이 만족하지 않는다. —Poor)

- ㄱ) 부품의 기능: 대단히 불량이다. 또는 불량이다.
- ㄴ) 결함의 인식정도: 대부분의 고객이 인식한다.
- ㄷ) N.V.H: 대단히 크다. 또는 크다.

$P_1 = 0.8$ 라 놓으면
 $E_{min} = \frac{Q}{0.8} = 1.25Q$

$$W_u = Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{1.25Q-1} - \left(\frac{0.8 - P_n}{2} \right) \right\}$$

(방침 1) 보증수리비 $1.25Q$ 이하인 부품은 무결점품이어야 한다.

(방침 2) $Q_i = \frac{E_{max}+1}{1.25}$ 인 제품 H_i 는 판매되어서는 안된다.

5) $P > 0.8$ 인 경우(제품의 평가는 불량하다—Distressidg)

- ㄱ) 부품의 기능: 용납할수 없다. 또는 불안하다.
- ㄴ) 결함의 인식정도: 전 고객이 인식한다.
- ㄷ) N.V.H: 용납할수 없다. 또는 불쾌하다.

$P_1 = 0.8$ 라 놓으면
 $E_{min} = \frac{Q}{0.8} = 1.25Q$

$$W_u \geq Q \left\{ Q1_n \frac{E_{max}}{1.25Q-1} - \left(\frac{0.8 - P_n}{2} \right) \right\}$$

(주의) 보증수리비 $1.25Q$ 이하인 부품이 있으면 보증수리비는 W_u 보다 커진다.

7. 보증수리비 계산

보증수리비 추정액의 최대치와 실제 보증수리비용을 비교하는 경우 다음과 같이 생각될수 있다.

- 가. W 가 실제보다 큰 경우
 - (1) 낙관적인 경우는 예측보다 양호한 품질의 제품이 판매되었다고 본다.
 - (2) 비관적인 경우는 잠재적인 고객불만이 있는 것

44 품질관리 학회지

으로 보고 시장확대가 이루어지지 않으면 고객감소가 유발될수도 있다.

나. W가 실제보다 작거나 같은 경우

W를 초과하였음은 추정한것보다 결합사항이 많이 있었거나 내구성 부품의 품질악화가 있었던 것을 주측된다.

추정하기 위한 Sample의 크기를 증가시키고 내구성 부품의 품질관리를 강화한다.

⊗
*⁽¹⁾ 가장 경제적인 Q_0 를 설정하는 방법은 다음과 같다. 부품의 H_0 의 품질 평균을 Q_0 라 하면 (4)에 의하여

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ai}}{n} \dots\dots\dots (16)$$

부품 H_0 의 보증수리 비용 추정액은 (15)를 H_0 의 E_{min} 및 E_{max} 에 적용하면 된다.

$$W_a = Q_a \left\{ Q_a \ln \frac{E_{max}}{E_{max-1}} - \left(\frac{P_1 - P_n}{2} \right) \right\} \dots\dots (17)$$

한편 부품 H_0 에 투입된 제작비를 M_a 라 하면 W_a 는 결합으로 인한 손실액이라고 할수 있으므로

$$M_a + W_a = T_a \dots\dots\dots (18)$$

라 할 때 (그림 3)에서 보는 것 처럼 T_a 를 최소로 하도록 $M_a + W_a$ 를 조정하여야 한다.

그런데 W 는 Q 의 함수이며 Q 는 정규분포를 한다고 할 수 있으므로, 목표로 하는 Q 를 Q_0 라고 하면,

$$\frac{Q_a - Q_0}{\sigma/\sqrt{n}} \cong k_a \dots\dots\dots (19)$$

단, n : 평가한 제품의 수량

α : 평가한 제품의 품질 표준 편차

k_a : 정규 분포표의 값($\alpha\%$)

가 되도록 Q 를 Q_c 에서 Q_0 로 변화시키려 할 때,

제작비용 및 보증수리 비용의 변화액을 각각 ΔM , $\Delta \omega$ 라 하면

$$\Delta M - \Delta \omega < 0 \dots\dots\dots (20)$$

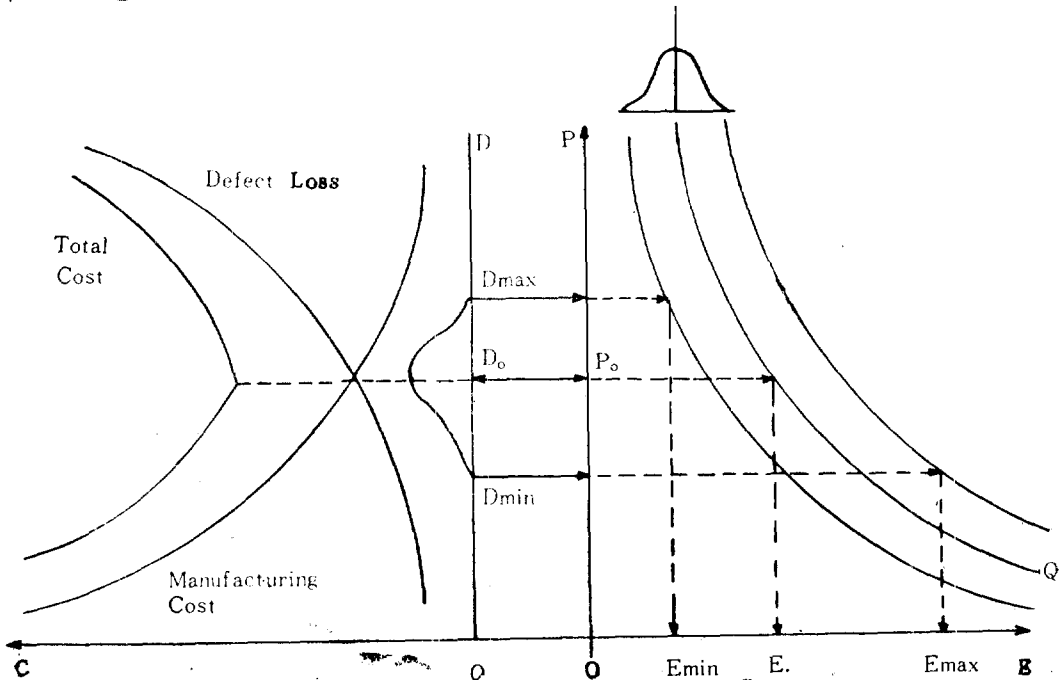
이면 Q_0 로 변화 시킨다. 이렇게 반복하여

$$\Delta M - \Delta \omega = 0 \dots\dots\dots (21)$$

이 되게 하는 Q 의 값이 가장 경제적인 Q 의 값 Q_0 이다.

*⁽²⁾ Rating Index of Vehicle Evaluation System, FORD Motor Co., 1969 참조.

*⁽³⁾ N.V.H; Noise, Vibration, Harshness의 약자임.



(그림 3. Q_0 설정)