

총품질비용을 고려한 최적 투자

남 익 현*

〈目 次〉

- | | |
|------------|-------------|
| I. 서론 | III. 예제 |
| II. 모형의 구성 | IV. 확장 및 결론 |

I. 서론

1) 품질비용

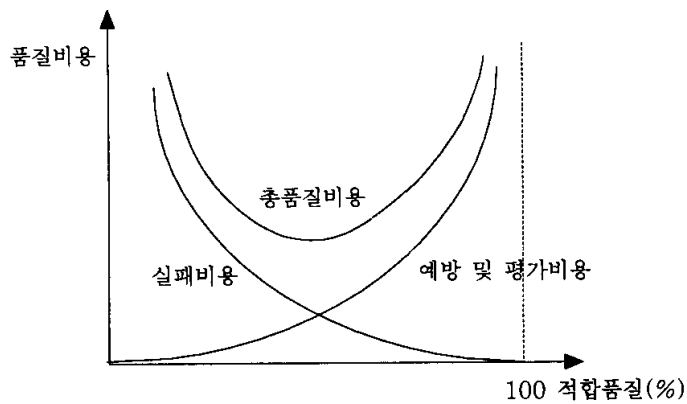
품질관련 비용(cost of quality)은 실패비용(failure cost), 평가비용(appraisal cost), 예방비용(prevention cost)으로 구분하고 실패비용을 다시 고객에게 제품이 전달되기 이전에 폐기, 생산라인의 가동중지, 재작업이나 수리 등으로 발생하는 내부실패비용(internal failure cost)과 고객에게 제품이 전달된 후 발생하는 수리, 교환, 환불, 고객불만 처리비용 등으로 발생하는 외부실패비용(external failure cost)으로 나눌 수 있다. 외부실패비용에는 위에서 언급한 것과 같이 객관적인 측정이 용이한 항목들도 있지만 불량으로 인한 고객불만의 발생에 따른 비용과 같은 기회비용은 측정이 쉽지 않다. 경우에 따라서는 고객불만에 따른 판매기회의 손실이 측정 가능한 비용항목들보다 클 수 있다. 이러한 실패비용에서 내부실패비용과 외부실패비용을 합친 실패비용을 나쁜 품질에 의해 발생한다고 하여 비적합비용(nonconformance cost)이라고 부르기도 한다.

이러한 실패비용과 관련하여 언급하고 싶은 내용은 실제 측정 가능한 것에 추가하여 발생하는 기회비용에 더해 다른 비용이 발생할 수 있다는 것이다. 가령 작업불량을 발견하여 재작업을 할 경우 재작업에 소요되는 생산자원, 즉 인력, 설비, 재료 등에 발생하는 비용과 간접비이외에도 이러한 재작업은 생산공정의 혼잡도(traffic intensity)를 증가시켜 전체적인 사이클타임을 증대시키는 역할을 하고 이로 인한 비용증가는 일반적인 회계시스템으로는 파악이 되지 않는다. 반면 예방비용과 평가비용은 적합한 품질수준을 얻기 위하여 지출하는 것

* 서울대학교 경영학과 교수

으로 이를 적합비용(conformance cost)이라고도 한다. 예방비용은 생산공정에서 발생 가능한 불량을 예방하고 제거하기 위한 활동에 소요되는 비용을 말한다. 이에는 불량품질이 발생하지 못하도록 하기 위한 품질계획, 훈련, 엔지니어링분석, 제품 및 공정 설계개선 등에 소요되는 비용을 포함한다. 많은 품질전문가들은 품질비용을 절감하는데 있어 결점이 없는 제품이나 서비스를 생산하도록 기업활동을 개선해야 한다고 주장한다. 불량발생의 주된 원인으로 잘못된 설계가 지적되고 있다. 전통적으로 받아들여지는 품질비용의 함수들은 다음의 <그림 1>과 같은 형태를 띤다고 한다. 이러한 함수의 형태는 우리가 전개할 모형에서도 만족되고 있음을 알 수 있다.

<그림 1>



일반적으로 기업의 품질수준에 대한 소비자의 평가는 외부실패비용에 의해 측정되는 경우가 많다. J.D.Power의 Initial Quality Survey도 자동차에 대한 고객의 불만을 바탕으로 품질을 평가하려는 시도이다. 하지만 품질과 관련된 경쟁력을 확보하기 위해서는 다른 품질비용, 특히 내부실패비용이 중요한 역할을 한다. 경우에 따라서는 내부실패비용은 높여면서도 철저한 품질검사와 재작업(rework)으로 외부실패비용을 낮게 유지하는 것이 가능할 것이다. 하지만 이 경우 장기적으로 생산경쟁력에서 처지는 것을 막을 수가 없을 것이다. 따라서 보다 바람직한 방향은 내부실패비용을 절감함으로써 결과적으로 외부실패비용이 줄도록 하는 것이다. 그런데 내부실패비용을 감소시키기 위한 장기적인 투자로서 예방비용의 중요성이 부각되는 것이다. 예방비용에 대한 적절한 투자를 통해 향후 내부실패비용을 절감하고 순차적으로 외부실패비용도 감소시키며, 평가의 필요성을 줄여 평가비용도 감소시키는 전략이 타당한 경우가 많을 것이다. 따라서 우리는 관리활동을 위해 품질비용의 파악이 일차적으로 중요

하지만 그에 더해 각 비용별 절대액과 더불어 각 항목별 배분 또한 매우 중요하다는 것을 인식하여야 한다.

2) 6- σ 운동

'Quality is Free'라는 책으로 유명한 Crosby는 Martin사에서 1961년에 무결점(Zero Defect)운동을 전개하였다. 그는 무결점운동이 기술적으로 가능하며 보다 경제적이라고 주장하였다. 이는 당시 통계적 분석에 바탕을 두고 합격품질수준(acceptable quality level)을 정하고 이를 만족시키는 경우 합격을 시키던 관행에서 벗어나 완전무결을 유일한 기준으로 삼자는 것이었다. 하지만 이러한 무결점운동을 전개하고자 할 경우 현재의 기술수준과 그에 따른 경제적 효과를 고려하여야 할 것이다. 이러한 무결점운동은 최근 유행하고 있는 6- σ 운동에서 추구하는 것과 동일한 목표를 갖는다고 할 수 있을 것이다. 여기서 6- σ 운동에 대해 간략히 살펴보기로 한다.

우리가 6- σ 품질수준이라고 하면 불량률 3.4 ppm(parts per million)을 말하는 것으로 100만개 중에 3.4개의 불량률 허용한다는 것으로 이를 백분율로 표시하면 0.00034%의 불량률로 거의 무결점에 해당한다고 할 수 있을 것이다. 일반적으로 시그마수준은 규격중심(target value)에서 규격한계(specification limit)의 거리가 표준편차인 σ 의 몇 배인가에 의해 측정한다. 규격한계는 양호품의 명세를 나타내는 것으로 규격하한(lower specification limit)과 규격상한(upper specification limit)으로 구성되어 있다. 따라서 6- σ 운동은 표준편차를 줄여 시그마수준을 6으로 만들고자 하는 것이다. 생산공정이 정상이어서 공정중심이 규격중심이 되고 시그마수준이 6일 경우에는 규격한계를 벗어나 불량 발생 확률이 10억개 중 4개에 해당하는 경우로 거의 0 이라고 해도 무방하다. 그런데 공정중심이 일반적으로 규격중심으로부터 1.5 σ 정도 벗어나는 경우가 많고 이때에도 시그마수준이 6일 경우에는 규격한계를 벗어나 불량 발생 확률이 3.4 ppm이 됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 품질비용을 고려하여 우리가 현재 기술수준 하에서 추구하여야 할 최적의 불량률을 구하고자 하는 모형을 구성해보고자 한다. 본 논문에서 추구하는 것은 모든 경우에 통용되는 최적의 불량률이 있는 것이 아니고 시장 상황과 기술수준에 비추어 볼 때 상이한 최적해가 나올 수 있음을 보이고자 하는 것이다.

II. 모형의 구성

본 논문에서는 상황이 다른 두 시장이 있을 때 각 시장별로 추구하여야 하는 목표 불량률이 달라질 수 있다는 것을 보이고자 한다. 우리가 고려하고자 하는 시장별 특성은 소비자의 밀도이다. 가령 TV를 판매하는 전자회사의 경우를 살펴보자. 이 회사는 한국과 중국의 소비자에게 판매를 한다고 가정하자. 한국시장의 경우 대도시를 중심으로 소비자의 밀도가 매우 높다. 즉 소비자들이 서로 지리적으로 몰려 있는 경우가 많다. 반면에 중국과 같이 지역이 매우 넓은 경우에는 반대로 소비자 밀도가 낮을 것이다. 이러한 소비자의 밀도로 가장 영향을 받는 것이 무상수리비용(after service cost)일 것이다. 왜냐하면 무상수리를 위해 고객을 방문하고자 할 때 고객들이 서로 멀리 떨어져 있는 경우 이동거리증가로 인해 비용 및 시간이 많이 걸릴 것이며 따라서 수리비용부담도 커질 것이다. 본 논문에서는 외부실패비용의 주된 항목이 이러한 무상수리비용이고 이것이 고객의 밀도에 의해 영향을 받는 경우를 살펴보고자 한다. 시장별 특성에 의해 내부실패비용과 평가비용은 영향을 받지 않기 때문에 우리는 외부실패비용과 예방비용만을 고려하기로 한다.

1) 가정

- (1) 두 시장에 있는 소비자의 수는 동일하다.
- (2) 불량률은 p 로 표시하고 이는 해당 제품이 불량품이어서 단위시간 내에 무상수리를 요청하게 될 확률을 나타낸다. 단위시간은 적당한 간격으로 설정되어 단위시간동안에 2번 이상의 무상수리요청이 일어날 확률은 거의 0이라고 한다.
- (3) 소비자간 거리는 인접한 두 소비자사이의 거리를 나타내며 이는 일정하다고 가정한다.
- (4) $S(d)$ 는 무상수리센터에서 소비자까지의 이동거리가 d 일 때 무상수리에 따른 외부실패비용을 나타낸다. 외부실패비용인 $S(d)$ 은 d 에 대해 증가함수이다.
- (5) $I(p)$ 는 불량률이 p 가 되도록 공정개선, 제품설계 등에 투자한 자본적 지출이며 이는 예방비용의 산출근거가 된다. 우리는 $I(p)$ 가 p 에 대해 볼록 감소(convex decreasing) 함수라고 가정한다. 이는 보다 작은 불량률을 얻기 위해서는 보다 많은 투자액이 요구되며 불량률이 개선됨에 따라 추가적인 개선에 대한 투자요구액이 점차 커짐을 의미한다. 즉 불량률 개선을 위한 투자에 있어 수익체감(decreasing rate of return)의 법칙이 적용됨을 의미한다.

2) 소비자 밀도

본 모형에서는 소비자들이 무상수리센터로부터 어떻게 분포되어있는지에 따라 최적불량률이 달라짐을 보이고자 한다. 따라서 소비자들의 분포에 대한 측정치가 필요한데 본 논문에서는 이를 소비자 밀도라고 부르기로 하고 다음과 같은 의미를 가짐을 가정한다. 두 시장에서 의 고객수는 동일하다고 가정하였으므로 양쪽 시장의 소비자를 1:1 대응을 시켰을 때 소비자밀도 $d' \leq d$ 에 대해 $a'_j \geq a_j, \forall j=1, 2, \dots, n$ 을 나타낸다고 정의하자. 여기서 a_j 는 소비자 밀도 d 인 시장에서 고객 j 가 무상수리센터로부터 떨어진 거리를 표시하고 마찬가지로 d' 에 대응하는 것은 a'_j 로 표시하기로 한다.

이러한 소비자밀도의 정의는 대응하는 모든 고객에 대해 거리가 대소 관계를 유지하여야 한다는 의미에서 제한적이라고 볼 수 있다. 보다 일반적인 정의를 보면 소비자밀도가 작은 시장의 경우에 소비자밀도가 큰 시장보다 무상수리센터에서 모든 고객들로의 이동거리의 총합이 큰 경우를 나타내는 것을 대안으로 살펴볼 수 있다.

3) 모형

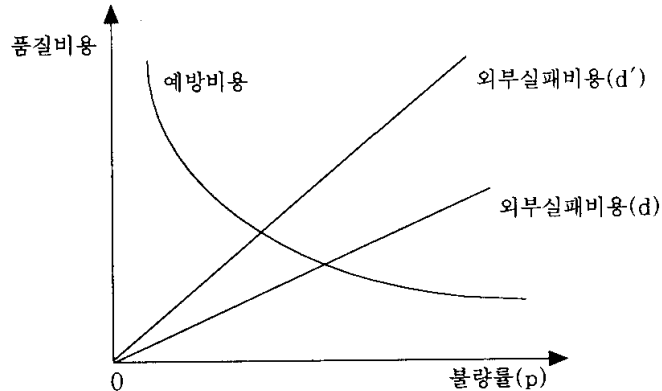
소비자밀도가 d 일 때 외부실패비용의 기대값은

$C_1(p, d) = p[S(a_1) + S(a_2) + \dots + S(a_n)]$ 이며 보다 낮은 소비자밀도 $d' (< d)$ 에 대한 외부실패비용의 기대값은 $C_1(p, d') = p[S(a'_1) + S(a'_2) + \dots + S(a'_n)]$ 으로 표시할 수 있다. 여기서 편의상 외부실패비용을 p 에 대한 선형함수로 볼 때 p 의 기울기를 보다 간략하게 $\widehat{d} \equiv S(a_1) + S(a_2) + \dots + S(a_n), \widehat{d}' \equiv S(a'_1) + S(a'_2) + \dots + S(a'_n)$ 로 표시하기로 할 때 우리는 $d \leq d'$ 인 경우 $\widehat{d} \geq \widehat{d}'$ 임을 알 수 있다.

단위시간당 이자율이 i 일 때 $I(p)$ 을 시간당 비용으로 환산한 것을 $C_2(p)$ 로 표시하기로 하면 $C_2(p)[1 + 1/(1+i) + 1/(1+i)^2 + \dots] = I(p)$ 에서 $C_2(p) = \frac{i}{1+i} I(p)$ 를 얻을 수 있다. 이렇게 구한 $C_2(p)$ 이 불량률 p 를 얻기 위한 예방비용이라고 볼 수 있다. 시장에서의 소비자 밀도는 소비자간 거리로 표시하기로 하고 소비자간 거리가 보다 큰 경우가 소비자 밀도가 낮은 경우를 나타낸다고 할 수 있을 것이다.

우리는 외부실패비용($C_1(p, d)$)과 예방비용($C_2(p)$)의 총합을 최소화하는 최적의 불량률 p 를 구하고자 한다. 본 논문에서는 소비자밀도 d 에 따라 최적의 불량률 p 가 달라짐을 보이고자 한다. 우리는 우선 외부실패비용 $C_1(p, d)$ 이 p 에 대해서 선형증가함수임을 알 수 있고 S 가 증가함수이므로 소비자밀도 d 에 대해서는 감소함수임을 알 수 있다.

〈그림 2〉



해당 그림에서 보면 외부실패비용인 $C_1(p|d)$ 은 p 에 대한 선형함수로 나타남을 알 수 있는데 이는 우리가 단위시간에 2번 이상의 고장이 일어날 확률이 0이라고 한 가정에서 비롯되는 것이다. 다음에 전개할 내용을 위해서 이러한 선형성이 반드시 필요한 조건은 아니다. 현재 개별 소비자별로 고장에 대해 이항분포(binomial distribution)를 가정한 것인데 이를 포아송분포(Poisson distribution)로 대체하는 경우에는 2번 이상의 고장도 포함할 수 있게 된다. 하지만 어떠한 분포를 가정하더라도 그로부터 유도된 외부실패비용함수 $C_1(p|d)$ 이 p 에 대해 볼록증가함수(convex increasing)이면 다음의 주장은 계속 타당하다고 할 수 있다.

우리는 총비용함수를 $T(p|d) = C_1(p|d) + C_2(p)$ 로 표시하면 이는 p 에 대해 볼록함임을 알 수 있다. 따라서 일차필요조건이 이차충분조건을 만족시키므로, $\frac{d}{dp} T(p|d) = 0$ 을 만족하는 p 에서 최적해를 구할 수 있다. 우리는 $C_2(p)$ 가 볼록감소함수라는 가정으로부터 다음의 결론을 얻을 수 있다.

$$p^*(d') \leq p^*(d) \text{ for } d' \leq d.$$

즉 최적 불량률 p^* 는 소비자밀도인 d 에 대해 증가함수이다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. 먼저 $d' \leq d$ 에 대해 $\hat{d} \geq \hat{d}'$ 이 성립함을 알 수 있다. 소비자 밀도 d 에 대한 최적불량률 $p^*(d)$ 에 대해 $\frac{d}{dp} C_1(p^*(d)|d) \leq \frac{d}{dp} C_1(p^*(d)|d')$ 이 성립함을 알 수 있다. 그리고

$C_2(p)$ 가 볼록감소함수이므로 $-\frac{d}{dp}[C_1(p^*(d)|d') + C_2(p^*(d))] \geq 0$ 이 되고 따라서 d' 에 해당하는 최적해 $p^*(d')$ 은 $p^*(d)$ 이하에서 존재하게 된다.

III. 예 제

본 절에서는 소비자들이 균등하게 분포된 경우를 예제로 해서 소비자밀도에 따라 최적불량률이 다르게 됨을 보이기로 한다. 여기서 소비자들이 균등하게 분포되었다는 것은 다음을 의미한다. 소비자밀도 d 에 대해 $S(a_1) = t, S(a_2) = 2t, \dots, S(a_n) = nt$ 이고 이보다 낮은 소비자밀도 $d' (\leq d)$ 에 대해서는 $S(a_1) = t + \delta, S(a_2) = 2(t + \delta), \dots, S(a_n) = n(t + \delta)$ 인 경우를 나타내고 여기서 $t, \delta > 0$ 을 가정한다. 이 경우 외부실패비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1(p|d) = p[t + 2t + \dots + nt] = \frac{n(n+1)pt}{2} \text{ 이고}$$

$$C_1(p|d') = p[t + \delta + 2(t + \delta) + \dots + n(t + \delta)] = \frac{n(n+1)p(t + \delta)}{2} \text{ 이다.}$$

본 예제에서 예방비용은 다음의 함수를 취한다고 하자. $C_2(p) = -\log_e p$ 이며 정의역은 $0 < p < 1$ 이다. 이 경우 $T(p|d) = \frac{n(n+1)pt}{2} - \log_e p$ 가 되어 p 에 대해 일차미분을 하여 $T'(p|d) = \frac{n(n+1)t}{2} - \frac{1}{p} = 0$ 로부터 최적해 $p^*(d) = \frac{2}{n(n+1)t}$ 를 구할 수 있다. 마찬가지로 $T'(p|d') = \frac{n(n+1)(t+\delta)}{2} - \frac{1}{p} = 0$ 로부터 최적해 $p^*(d') = \frac{2}{n(n+1)(t+\delta)}$ 를 구할 수 있다. 이 예제에서 보면 지금까지의 주장대로 $p^*(d') \leq p^*(d)$ 임을 확인할 수 있다.

IV. 확장 및 결론

본 논문에서는 고장이 발생할 경우 무상수리센터에서 해당 고객과의 거리가 외부실패비용을 결정하는 주된 요소인 경우를 살펴보았다. 그런데 보다 현실적인 경우가 무상수리센터에서는 접수된 고장에 대해 하나를 수리하고 수리센터로 돌아와서 다시 출동하는 것이 아니라 고장 고객에 대해 일정한 순서에 의해 복수의 고장을 수리하고 오는 경우가 많다. 이러한 경우 판매원문제(Travelling Salesman Problem)와 연관되어 있는데 이 경우 외부실패비용의 파악이 보다 복잡해 질 것이다. 하지만 기본적인 조건이 충족될 경우 본 논문에서의 결론에는 변화가 없을 것이다.

본 논문의 의미는 지금까지 우리 나라에서는 전사적 품질관리(Total Quality Management) 다 6- σ 운동이다 하여 품질과 관련된 다양한 프로그램이 강조되어 왔다. 이러한 운동들의 공통된 요소 중 하나가 무결점(zero defect)을 추구하는 것이다. 과거에 통계적 기법을 활용하여 품질관리를 하던 것에서 한 걸음 더 나아가 불량품의 발생 자체를 없애자고 하는 것이다. 하지만 현재의 기술수준이나 경제적 타당성 등을 고려할 때 이상적인 무결점인 불량률 0%를 도모하는 것은 무리인 경우가 많을 것이다. 본 논문에서 강조하는 바는 이렇듯 기술수준과 경제적 타당성의 한계를 다루는 것에서 한 걸음 더 나아가 고객의 상황에 따라 추구하여야 할 불량률이 다를 수 있음을 보여주하고자 하는 것이다. 여기서 다른 고객의 상이한 상황이라 하면 본 논문에서는 고객들이 얼마나 밀집하여 있는가 이다. 직관적으로 생각해 볼 때 고객들이 보다 밀집해 있는 경우에는 외부실패에 따른 수리비용이 상대적으로 작을 것이다. 왜냐하면 수리전문가가 출동하여 고객들을 방문하는데 소요되는 시간이 짧을 것이기 때문이다. 따라서 고객이 보다 밀집된 경우에 그렇지 못한 경우와 비교하여 허용불량률을 더 크게 하는 것이 경제적으로 보다 타당할 수 있을 수 있다. 물론 이러한 결론을 위해서는 예방비용으로 대변하는 원하는 불량률을 얻기 위한 투자액이 불량률이 감소됨에 따라 점증하는 것을 가정하였는데 이는 상당히 현실적인 가정으로 보인다.

물론 불량발생에 따른 외부실패비용이 이러한 수리비용이외에도 고객의 신용도 하락에 따른 비용 등 여러 가지가 있을 수 있지만 본 논문에서는 수리비용이외의 것은 중요도가 낮다고 가정하였다. 이러한 본문의 내용은 우리 나라 전자업체가 중국에 진출할 때 고려해야 할 요소를 나타낸다고 볼 수 있다. 가령 우리 나라의 경우 대도시의 경우 제품구매자들이 밀집되어 살고 있어 이들을 대상으로 하는 출장수리비용은 상대적으로 중국과 같이 고객들이 널리 퍼져있는 경우에 비해 작다고 볼 수 있다. 따라서 중국과 같이 소비자밀도가 낮은 경우에는 보다 작은 불량률을 추구할 경제적 이유가 있다는 것을 의미한다. 물론 이상적으로는 0%의 불량률 즉 무결점이 우리가 추구하여야 할 바이지만 여러 가지 상황에 맞추어 최적의 수준을 정하여야 하고 이러한 최적의 수준은 당연히 서로 다를 수 있음을 강조하는 것이다.

참 고 문 헌

1. Production and Operations Management, Joseph S. Martinich, John Wiley & Sons, 1997.
2. Total Quality Management, Arthur R. Tenner and Irving J. DeToro, Addison Wesley, 1992.
3. Total Quality Management, Peter Gilmour and Robert A. Hunt, Longman, 1996.