

工程不良率을 考慮한 資材納入量の 決定

A Study on a Procedure to Determine the Economic Incoming Quantity of Materials in Consideration of the Process Fraction Defectives

李 會 植*
黃 義 徹**

ABSTRACT

In this paper we present a procedure to determine the quantity of incoming materials when the nonconforming materials appear in the production process.

We determined the total loss of materials D_2 due to fraction defectives in process and added this D_2 to the quantity of incoming materials Q_0 considered ingoing-outgoing quality level.

The quantity of materials Q_1 as a result of this procedure should be an economic purchasing quantity and is a rectifying quantity of the EOQ determined in classical inventory model.

1. 서 론

(1) 연구의 목적

구입자재가 완제품화 되기 위해서는 자재운반이나 보관, 취급도중의 손실이 없다면 수입검사

를 마친 자재가 공정에 투입후 제조 공정중에서 자재의 불량이나 유실이 발생되지 않아야 한다. 그러나 실제로는 수입검사와 제조 공정중에서 자재불량이 발생할 수 있고 이때 발생하는 불량품의 수량을 각각 D_1 , D_2 라 하면 $D_1 = D_2 = 0$ 인 경우가 구입량과 완제품에 사용된 자재의 수량

*경기대학교 산업공학과

**한양대학교 산업공학과

이 같아지게 된다.

본 연구에서는 구입자재가 공정에 투입된 후 공정중에서 불량률이 발생할 경우의 품질이나 생산지연을 예방하기 위해 필요한 자재량을 결정하고, 이것을 이용하여 경제적 납입량을 산출하는 방법을 제시한다.

(2) 전통적 재고모델과 품질

Riggs(1981)에 따르면 재고란 사용되고 있지 않는 자원 (idle resources) [9]이라고 정의할 수 있으며, 이것은 생산량과 관련하여 얼마나 많은 재고를 보유하는가에 대한 자재수량의 결정문제라고 할수 있다[1]. 또한 재고는 기업으로 하여금 수요를 채우는 선행기간을 줄일수 있도록 하며, 장차 의도된 목적에 사용하기 위해서 유틸 혹은 비생산적인 상태로 유지되는 자재라고 볼 수 있고, 여기서 의도된 목적이란 계획생산량을 계획된 품질수준으로 생산공급하는 것을 말한다. 이러한 품질보증의 문제는 Sinha와 Wilborn(1985)에 의하면 생산계획과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 조직관리에서는 이것을 전략적 기술적으로 활용한다고 설명한다[8].

전통적 재고모델에서는 모형화를 위한 변수로 재고준비비, 제조비, 재고보유비를 고려하여 발주량을 결정하고 있으나, 이 모델에서의 비현실적인 가정 때문에 적용상의 약점도 지니고 있다 [1]고 볼 수 있다. 이러한 비현실적인 가정이란 Tersine(1982)의 지적과 같이 전통적 재고모델에서의 공통적인 가정중에는 생산물이 알려져 있고 일정하며 품질은 허용되지 않는 것으로 정식화 되어 있는[10] 등의 내용이 포함되며, 자재품질은 이러한 생산량과 품질발생의 중요한 변동요인이 될 수 있다.

이러한 문제와 관련하여 Sinha와 Wilborn (1985)은 EOQ모델에서 계산된 경제적 발주량은 발주비용중의 품질비용변화의 효과를 무시해

버리기 쉬우며 MRP모델에서도 만일 품질시험이나 검사를 소홀히 하면 MRP의 결과로서 투입되는 자재는 쓸모없게 된다[8]라고 지적하고 있다.

2. 기호 및 용어

- D_1 : 수입검사중 발생하는 자재 손실량
- D_2 : 재조공정중의 자재손실량
- Q : 품질수준을 고려하지 않은 자재구입량
- $N_{(1)}$: 발주된 자재납입량
- $N_{(2)}$: 수입검사전의 자재납입량
- $N_{(3)}$: 수입검사후 공정투입 대기중인 자재의 수량
- $N_{(4)}$: 재조공정중의 자재 사용량
- r : 양호품중 사용불능 비율
- p : 로트의 불량률
- q : 불량품중 사용가능 비율
- P_a : 로트가 합격될 확률
- Q_0 : 입출검제품질을 고려한 수정된 발주량
- n : N 으로부터 랜덤샘플링된 시료의 크기

3. 모형 전개와 전제

(1) 자재의 공정투입단계와 품질

구입자재가 수입검사를 마치고 공정에 투입된 후 완제품이 되기까지의 자재수량의 변화단계를 나타내면 그림1과 같다.

비용을 고려한 EOQ모델에서 계산된 발주량 Q 는 입계불량률 p_0 와 납입된 입검품질 p_n 에 따라 검사실시여부가 결정되고, 검사를 하게 될 경우 p_0 와 제출된 로트의 실제불량률 p_b 를 비교하여 전수검사 또는 샘플링검사를 실시하게 된다. 이 경우 자재수량의 변화는 표1과 같이된다[2].

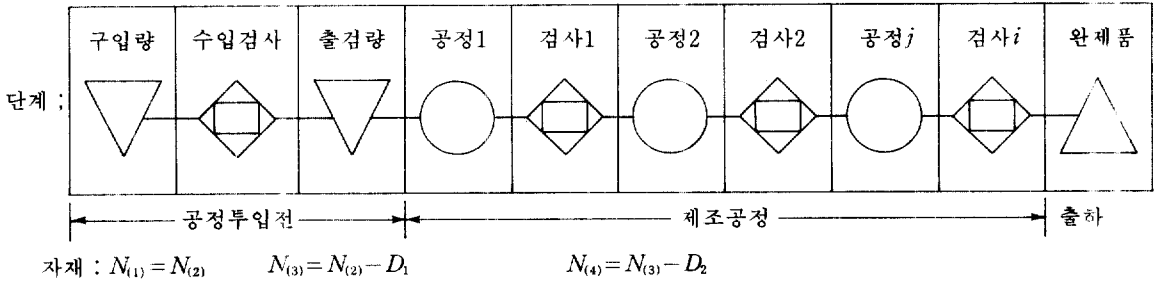


그림 1. 자재투입단계와 자재량의 변화

표 1. 최초발주량(Q)의 변화

구 분	수입검사손실량	출 검 량(N_3)	수정된발주량(Q_0)
무검사	$N[r+pq]$	$N_{(2)}(1-r) - pNq$	$Q(1+r+pq)$
전수검사	$N_{(2)}[1-(1-p)(1-r)+pq]$	$N_{(2)}[(1-p)(1-r)+pq]$	$Q[2-(1-p)(1-r)+pq]$
샘플링검사	$N_{(2)}\{1-[P_a(1-r)]\}+n$	$N_{(2)}P_a(1-r)-n$	$Q[2-P_a(1-r)+n]$

표 1에서 수정된 발주량 Q_0 는 공정중의 자재 손실량이 $D_2=0$ 일때는 최적발주량이 될 수 있으나, 만일 $D_2 \neq 0$ 일 경우에는 다시 수정된 Q_1 을

산출하지 않으면 공정중의 품질이나 재작업으로 인한 제조비의 상승과 생산지연은 예방할 수 없게 된다(그림 2).

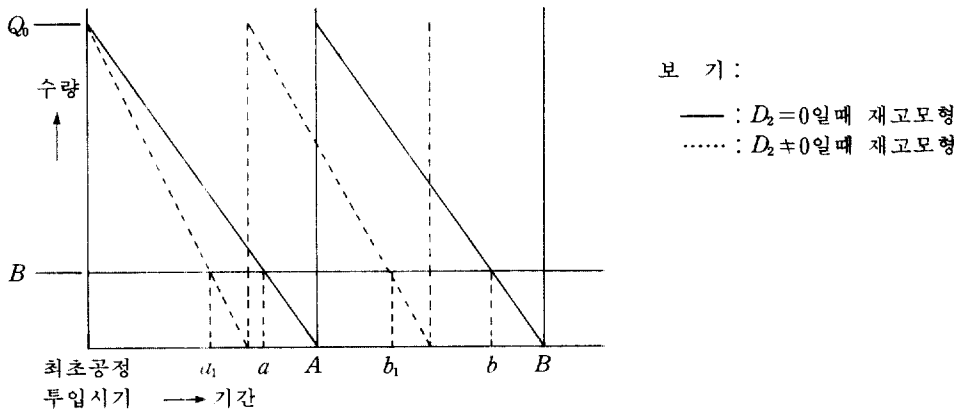


그림 2. 공정투입후의 자재손실과 발주점의 변화

(2) Q_0 의 변화와 공정불량률

그림 2에서 Q_0 의 자재가 최초공정에 투입된 후 공정간에서의 불량률을 p 라 하면 p_i 의 합이 0일 경우는 $Q_0=Q_1$ 이 되지만 $p \neq 0$ 일 경우는 재발주점이 a 에서 a_1 으로, b 에서 b_1 으로 빨라지게 되고 결품현상으로 인한 남기지연 등의 원인이 된다.

각 공정 중에서의 자재손실량 d_j 는 $j-1$ 번째의 작업량 N_{j-1} 에 p_j 를 곱한 값 즉 $N_{j-1}p_j$ 가 되고 최종공정으로 부터 역으로 계산한 소요자재량의 차이를 Q_0 에 합한 수량이 경제적 발주량 Q_1 이 된다. 여기서 $\sum d_j$ 로 나타낼 수 있는 손실 자재량 D_2 는 수리 또는 재작업에 투입되지 않는 것으로 한다.

4. 공정중의 불량자재와 품질보증

제조공정에 투입될 자재의 품질보증 문제는 근본적으로 구매부문의 책임이지만, 투입된 자재를 보증된 최종제품으로 계획된 기간에 생산해 내는 일은 제조부문의 임무이다. 한개의 불량자재가 앞공정에서 발견되지 못하고 최종공정까지 갔을 경우 투입된 다른 자재도 거의 불량으로 되지만, 완제품도 불량제품 또는 클레임의 요인으로 작용하게 된다. Jerry Banks(1989)는 이와 관련하여 불량품질의 발생과 생산성 저하 문제의 대부분은 불량자재의 납입과 제조설비와 공구로 인한 것이기 때문에 제조부문은 각 제품과 공정에 대한 평가방법 결정과 시험장비의 선정, 샘플링방법, 작업자에 대한 품질의식고취 등의 지원업무를 수행해야 한다고 강조하고 있다(7).

5. 불량률의 추정과 검사비용

(1) 불량률의 추정

제조공정에 투입된 자재의 납입량을 결정하기 위한 공정불량률은 납입로트의 품질과 제조조건에 따라 일정하지 않기 때문에 추정에 의한 불량률의 값을 산출하는 것이 현실적인 방법이다. 현재의 발생불량 현황과 원인을 분석하는 일은 주로 품질개선을 위한 목적이지만, 필요한 자재의 수량결정을 위해서는 예측된 불량률이 추정되어야 하기 때문이다.

추정불량률의 가장 일반적인 산출은 일정한 검사방식에 따른 일정기간의 총 불량수를 총검사갯수로 나눈 불량률 p 를 추정 불량률로 간주한다.

Grant(1988)는 공정평균 불량률을 추정하기 위해서는 샘플링검사방법에 따른 검사 결과를 규칙적으로 활용하는 것이 유리하다고 지적하고 (5) 각종 샘플링검사에서의 불량률의 추정지 p 와 분산 V 의 값은

$$E(p) = p = \sum x_i / \sum n$$

$$V(p) = \frac{N-n}{N-1} \cdot \frac{p(1-p)}{n}$$

을 사용하고 있다.

공정간에서 검사를 하게 될 경우 대개 전수검사가 아니면 샘플링 검사를 하게 되는 데 전수검사의 결과를 추정불량률로 사용하는 것은 추정 정밀도가 낮아지는 것으로 알려지고 있다. Jerry Banks(1989)는 전수검사결과의 신뢰정도가 60~80%밖에 되지 않는다고 지적한다(7).

공정간에서 실시하는 중간검사의 가장 일반적인 검사방법이 샘플링검사이고 이 결과를 p 의 값으로 사용하기 위한 Hahn(1986)의 방법은 다음과 같다(6).

(2) 합격로트의 불량률의 추정

샘플링 검사에서 합격판정갯수를 c 라 할때 시료중의 불량품수 x 가 $c \geq x$ 이면 N 개의 로트가 합격으로 처리되고, 이때 합격된 로트의 추정불량률은

$$\hat{p}_c = \frac{\sum_{i=0}^{c+1} (i/n) \cdot N_i}{\sum_{i=0}^c N_i + [(c+1)/n] N_{c+1}} \dots\dots (1)$$

이 된다. 여기서 N_i 는 i 개의 불량품이 발견된 로트이다. 예를 들어 $c=0$ 인 검사방식에서는

$$\hat{p}_0 = \frac{N_0}{\sum N_0 + (1/n) N_1}$$

이 되고 $c=1$ 인 검사방식에서는

$$\hat{p}_1 = \frac{(1/n)N_1 + (2/n)N_2}{N_0 + N_1 + (2/n)N_2}$$

가 합격된 로트의 추정 불량률이 된다. (1)식에서 검사로트의 크기가 같을 경우 합격된 로트의 전체 추정 불량률 \hat{p}_c 는

$$\hat{p}_c = \frac{N_A}{N_S} \hat{p}_c \dots\dots\dots (2)$$

여기서 N_A : 합격로트의 크기
 N_S : 제출된 로트의 크기

또한 샘플링 검사에서의 비용이 검사 실시여부에 영향을 미칠때는 다음과 같은 임계불량률을 고려하여 결정할 수 있다[2].

즉 검사를 하지 않을 때의 손실금액 $A_0 = N[(1-p)r + p(1-q)]A$ 와 전수선별검사를 할 때의 손실금액 $B_0 = NB + Npv + N(1-p)rA$ 를 $A_0 = B_0$ 로 놓고 p 에 대해서 풀면 이 점이 임계불량률

$$p_b = \frac{B}{(1-q)A - v} \dots\dots\dots (3)$$

이 되고 또 샘플링 검사에서는 손실금액이

$C_0 = N[P_arv + (1-P_a)(1-q)]v$ 이므로 $A_0 = B_0$ 로 놓고 p 에 대해서 풀면

$$p_b = \frac{1}{1-q-r} \left\{ \frac{1}{A} [P_arv + (1-P_a)(1-q)v] - r \right\} \dots\dots\dots (4)$$

이 되지만, 만일 양호품중 사용 불능자재나 불량품중 사용가능자재가 없으면 $r=q=0$ 가 되어 (4)식으로부터

$$p_b = \frac{1}{A} (1-P_a)v$$

로 나타낼 수 있다. 다만 여기에서는 검사비용(검사고정비용+개당검사비용)은 고려하지 않았다. 여기서 불량률 대신 불량갯수로 비교할 때는 Collan(1986)의 공식을 사용할 수 있다 [3].

- ① 로트 합격시의 비용: $C_a(k) = a_1(N-k) + b_1k$
- ② 로트 불합격시의 비용: $C_k(k) = a_2(N-k) + b_2k$
- ③ 샘플링검사비용: $C_s(n) = d_1 + d_2n, (n \geq 1)$

라 하면 로트를 합격으로 했을 경우의 비용 $C_1(k, n) = C_a(k) + C_s(n)$ 과 불합격으로 했을 경우의 비용 $C_2(k, n) = C_k(k) + C_s(n)$ 을 $C_1 = C_2$ 로 놓고 k 에 대해서 풀면 임계불량갯수는

$$k_0 = \frac{N(a_2 - a_1)}{a_2 - a_1 + b_1 - b_2} \dots\dots\dots (5)$$

이 된다. 즉 $k < k_0$ 이면 불합격 보다 합격이, $k > k_0$ 이면 합격보다 불합격이 경제적이라고 할 수 있다.

여기서

C : 검사비용

k : N 개중 불량갯수

a_1 : 양호품 합격시의 단위당 비용

b_1 : 불량품을 사용했을 경우의 비용

a_2 : 양호품을 받아들이지 않을 경우의 손실비용

b_2 : 불량품을 받아들이지 않을 경우의 손실비용

d_1 : 샘플링 검사시 고정비용

d_2 : 개당 검사비용

이며 계수형 샘플링검사의 경우 로트당 평균비용은

$$K(k) = C_1(k, n)P_a + C_2(k, n)(1 - P_a)$$

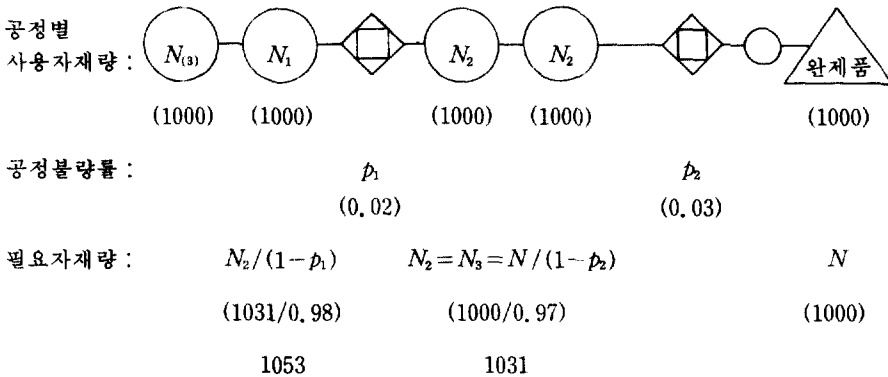
로 나타낼 수 있다.

(3) 공정불량률과 생산률

공정중에서는 발견된 불량자재나 양호품중 과 손등으로 인한 사용불가능 자재가 발생할 수 있다. 또한 조립 또는 가공공정을 거치면서 다른 품목의 자재불량으로 인해 하나의 작업단위가 불량으로 되기도 한다. 공정에 불량 발생 시 경우 공정별 생산량은 계획된 생산량을 달성할 수 없을 뿐만 아니라 공정중의 품질현상에 따른 트러블이 발생하게 된다.

j 번째 작업공정에서 불량 발생하여 j 번째 검사공정에서 발견되면 $j+1$ 번째 공정부터는 계획생산량을 달성할 수 없게 되고, 최종공정을 거친 완제품의 수량은 당초의 제품계획 생산량과 일치하지 않으며 납기도 지연되게 된다. Francis, R. L와 White, J. A(1974)는 이러한 문제에 대해 생산량은 상황에 따른 경제성 (economics of the situation)에 입각해야 한다고 결론적인 요점을 정리하고 있다[4].

일반적으로 i 번째 검사에서 불량률이 p_i 이면 직전의 작업공정에서는 $N_j / (1 - p_i)$ 만큼의 자재가 작업에 투입되어야 한다. 이 관계를 도시하면 그림 3과 같다.



비고 : () 속의 숫자는 계산보기임(제품 1단위당 자재1단위로 가정)

그림 3. 공정불량률과 자재량의 변화

6. 경제적 납입량의 결정

$$D_2 = \sum_{i=1}^z p_i N_{j+1}$$

그림 3에서 최종공정을 마친 요구완제품의 생산량을 확보하려면 최종검사에서의 불량률 p_z 를 최종공정에서의 필요자재량 N_j 에 곱한 $p_z N_j$ 개의 자재만큼 p_z 이전의 공정에서 자재보충이 필요하게 된다.

따라서 제조공정중의 불량률을 고려할 때 공정중의 손실자재량 D_2 는

로 나타낼 수 있고 여기서 p_i 의 추정은 앞 5항에 따른다.

공정에서 불량률이 발생할 경우의 D_2 의 결정과정은 표 2와 같고, Q_0 의 자재를 공정에 투입했을 때와 이것을 수정한 Q_1 을 투입했을 경우를 비교한 재고모델은 그림 4와 같다.

표 2. D_2 의 결정 과정

검사공정	p_{z-1}	p_{z-2}	p_{z-3}	p_{z-4}	p_{z-i}
자재손실	$N_j p_{z-1}$	$N_{y-1} p_{z-2}$	$N_{y-2} p_{z-3}$	$N_{y-3} p_{z-4}$	$N_{y-j} p_{z-i+1}$

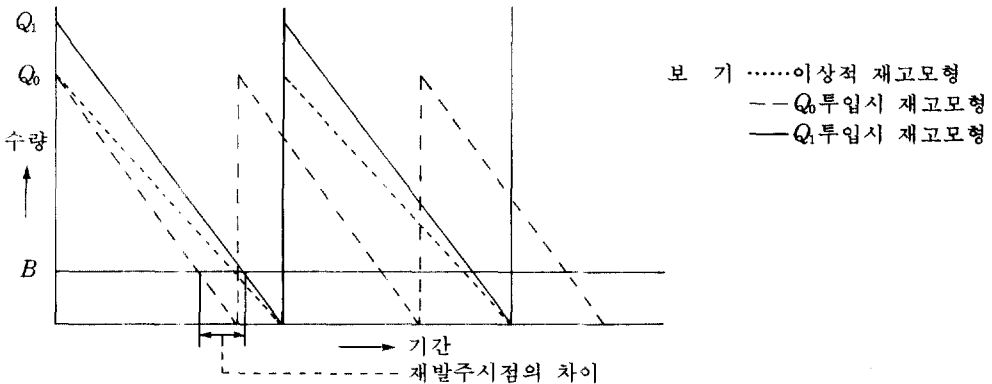


그림 4. Q_0 , Q_1 의 자재투입 비교

7. 결론

품질보증의 결정적인 요소중 자재는 대단히 큰 비중을 차지한다. 필요한 자재를 계획생산량에 적합시키기 위해서는 불량자재의 투입을 막아야 함은 물론 공정중에서 발생하는 자재손실을 감안한 투입량이 결정되어야 한다.

본 연구에서는 수입검사를 마친후 공정에 투

입되는 자재 Q_0 에 공정불량률을 고려한 손실자재량 D_2 를 산출하고 이 수량을 Q_0 에 합한 Q_1 을 경제적 납입량 $EIQ^{1)}$ 로 결정하는 과정을 보였다.

주) EIQ (Economic Incoming Quantity)라는 용어는 전통적 재고모델에서 말하는 경제적 발주량 EOQ 와 구분하기 위해서 사용하였다.

參 考 文 獻

1. 白淙鉉(1990), 生産管理要論, 三英社, pp. 224-248
2. 李會植, 黃義徹(1990), 入出檢品質水準을 考慮한 資材의 經濟的 納入量 決定方法, 工業經營學會誌, 韓國工業經營學會, Vol. 13, No. 21.
3. Collan, E. V. (1986), "*The α -Optional Acceptance Sampling Scheme*", Journal of Quality Technology, Vol. 18, No. 1, ASQC.
4. Francis, R. L., White, J. A. (1974), "*Facility Layout and Location*", Pentise-Hall, p. 61
5. Grant, E. L., Leavenworth, R. S. (1988), "Statistical Quality Control", 6th ed, McGraw-Hill, p. 440
6. Hahn, G. J. (1986) "*Estimating the Percent Nonconforming in the Accepted Product After Zero Defect Sampling*", Journal of Quality Technology, Vol. 18, No. 3, ASQC.
7. Jerry Banks(1989), "*Principle of Quality Control*", John Wiley & Sons, pp. 33~36
8. Sinha, M. N., Wilborn, W. O. (1985), "*The Management of Quality Assurance*", John Wiley & Sons, p. 73, pp. 287~289
9. Riggs, J. L. (1981), "*Production Systems: Planning, Analysis and Control*", 3rd ed, John Wiley & Sons, p. 408
10. Tersine, R. J. (1982), "*Principles of Inventory and Materials Management*", New York, North Holland, 2nd ed, p. 126