

최종품질제약하의 병합공정을 갖는 생산라인의 최소비용 모형

- A Minimum Cost Model for Merging Production Process with Final Product Quality Constraints -

이 경 록 *

Lee Kyong Lok

박 명 규 **

Park Myeong Kyu

Abstract

Recently many researchers contributed to the understanding of Quality Control System, but the use of economics in the design of quality assurance system is limited in treatment of the relationship between the average incoming quality level (or average process quality level) of the incoming lot and the average outgoing quality level of this lot.

In this study, a traditional concept of sampling inspection plan for the quality assurance system is extended to a consideration of economic aspects in total production system by representing and analyzing the effects between proceeding and succeeding production process including inspection process. This approach recognizes that the decision at each manufacturing process (or assembly process), is to be determined not only by the cost and the average outgoing quality level of that process, but also by the input parameters of the cost and the incoming quality to the succeeding process.

By analyzing the effects of the average incoming and outgoing quality, manufacturing or assembly process quality level and sampling inspection plan on the production system, mathematical models and solution technique to minimize the total production cost for a general product manufacturing system with specified average outgoing quality limit are suggested.

Key-Word : Quality Control System, Sampling inspection, Total production cost

* 효성물산 대표이사

** 명지대학교 산업공학과 교수

1. 서 론

1.1 연구 목적

오늘날의 제품생산 현장에서는 원재료 및 부품을 공급받아 주 생산라인에서는 간단한 가공작업과 조립작업을 거쳐 제품화시키는 생산방식을 채택하고 있다. 특히, 자동화의 발달로 부품/제품 검사방법은 자동화 계측기에 의한 전수검사가 가능해짐에 따라 샘플링검사가 불필요하다고 주장하지만 연속적으로 조립 또는 가공하는 생산형태인 경우에서 생산된 제품 검사에는 선별형 샘플링 검사방법 적용이 생산자와 소비자에게 더 좋은 품질보증방법일 것이다. Dodge와 Roming의 샘플링검사방법 연구 이후 오늘날까지 선별형 샘플링검사방법 적용에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 검사 대상이 대부분 독립된 원재료, 제품/부품의 로트 구성 형태인 경우에 대하여 한정되었다.

본 연구에서는 생산/제조 라인을 구성하는 공정간 즉, 선행 또는 후속 공정인 가공/조립 및 검사 공정간에 출하되거나 투입되는 비용과 불량발생에 대한 상호작용을 분석하고 최종 제품에 대한 평균출검품질이 주어진 조건 아래에서 생산라인 전체의 최소비용을 얻기 위한 방법 설계의 수단으로 발생비용의 수리모형을 수립하여 각 공정 단계의 불량목표와 비용을 계산하고 후속 공정에 투입되어야 하는 불량률을 결정 변수로 하여 각 공정 단계의 비용을 계산하는 방식으로 생산라인 전체에 대한 최소비용을 계산하는 최적화 방법을 설계하고자 한다.[2][3]

1.2 연구 방법 및 범위

생산공정을 가공, 조립, 검사로 분류하여 최종 제품에 대한 평균출검품질이 주어진 조건 하에서 선행 또는 후속공정간의 출하품질 및 투입품질에 영향을 주는 상호작용 요인들의 분석과 상호 관계를 정립한다. 각 공정에서 발생하는 비용에 대한 현상을 수리 모델화하여 동적계획법의 전진반복법(Forward recursion method)과 컴퓨터를 사용하여 병합공정을 갖는 생산라인의 최소비용 모델 수립하는 방법을 제시하고 사례연구를 통하여 현장 실무관리에서 활용할 수 있는 방법을 제시한다.

본 연구 대상의 생산라인은 [그림 2.1]에서 보는 바와 같이 병합공정을 갖는 가상생산 공정으로 3개 평행생산 라인으로 구성된다. 생산라인 1은 검사공정으로 구성하고, 검사가 완료된 부품이나 반제품은 생산라인 2로 투입된다. 생산라인 2에는 검사공정과 조립공정으로 구성하고 조립이 완료된 부품이나 반제품은 검사공정을 거쳐 생산라인 3으로 투입된다. 생산라인 3은 주 생산라인으로서 검사공정, 가공공정 및 조립공정으로 구성하고 가공공정과 조립공정사이에는 검사공정을 배치하지 않고 조립공정 후에 최종 제품검사공정을 위치시키는 가정을 하였는데 이는 원재료 또는 반제품의 생산라인 투입 전 또는 조립공정 다음에는 검사공정을 통과시키는 실제 생산현장의 일반적 인 라인 배치에 기초한 것이다.[5][6]

2. 병합공정을 갖는 생산라인의 최소비용 모델 수립

2.1 최소비용 모델수립을 위한 가정

병합공정을 갖는 생산라인의 최소비용 모델을 수립하는 데 필요한 가정은 다음과 같다.

- 가. 공정간을 이동하는 로트의 크기를 N 단위로 구성할 수 있다고 가정한다.
- 나. 조립공정에 필요한 각 생산 라인당 부품 소요는 한 단위가 요구된다고 가정한다.
- 다. 평균출검품질한계의 조건을 만족시키기 위하여 충분히 큰 로트의 크기 $N=2000$ 개 - 1000개를 생산하며, 이에 따라 표본크기(n)는 Dodge-Roming의 샘플링 검사표에 규정된 100개 - 200개이내를 고려한다.
- 라. 각 공정에 투입되는 로트의 불량개수는 이항분포에 따르고, 로트의 크기 N , 투입 평균불량률 $p_{투입}$ 에 따른다. 공정간을 이동하는 로트의 구성은 후속공정에 투입하기 위하여 로트의 크기를 N 단위로 구성하고, 그 중에서 n 개를 랜덤하게 추출한다.
- 마. 가공/조립공정에서의 불량발생은 파라미터인 가공/조립 평균 불량률 $p_{가공}$ 의 베르누이과정을 따르며, 선행공정에서 발생한 불량과는 통계적으로 독립이다.
- 바. 발견된 불량품은 발견 즉시 해당공정에서 교체하거나 수리하고 검사 시에는 직전공정에서 발생한 불량은 발견할 수 있는 것으로 한다.
- 사. 검사공정에서는 양품과 불량품으로 구분하고, 제품의 결점수는 고려하지 않는다.
- 아. 생산라인의 완성제품 진행 방향으로는 분기(branching)공정은 고려대상에서 제외하고 병합(merging)공정만을 고려한다.
- 자. 조립공정에서만 병합활동이 발생한다고 가정한다.
- 차. 검사공정에서는 평균출검품질한계(AOQL)를 기준으로 하고, 각 공정간을 이동하는 로트의 크기는 N 개로 고정한다.

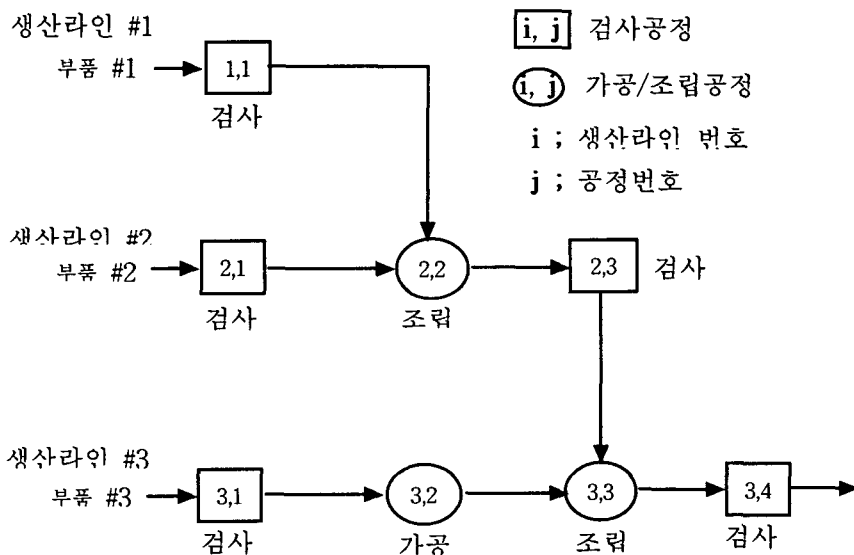
2.2 병합공정을 갖는 생산라인 가상모형

최소비용모델 수립을 위한 병합공정을 갖는 가상생산공정을 3개 평행생산 라인으로 구성하고, 투입부품 수는 각 생산 라인당 1개의 부품을 그리고, 각 생산라인은 [그림 2.1]과 같이 검사공정, 조립공정 및 가공 공정으로 구성된다고 가정한다.

생산라인 #1은 검사공정으로 구성하고, 검사가 완료된 부품/반제품은 생산라인 #2로 투입된다. 생산라인 #2에는 검사공정과 조립공정으로 구성하고 조립이 완료된 부품/반제품은 검사공정을 거쳐 생산라인 #3으로 투입된다. 생산라인 #3은 주 생산라인으로써 검사공정, 가공공정 및 조립공정으로 구성하고 가공공정과 조립공정사이에는 검사공정을 배치하지 않고 조립공정 후에 최종 제품검사공정을 위치시키는 가정을 하였고 이

는 일반적으로 원재료 또는 반제품을 생산라인에 투입하기 전 또는 조립공정 다음에는 검사공정을 통과하는 실제 생산현장의 일반적인 라인 배치를 사례연구의 대상으로 한다.

본 연구에서는 단일 제품 품목 생산을 가정하여 생산활동이 완제품의 진행방향으로 볼 때 분기(branching)공정은 본 연구대상에서 제외하고 병합(Merging)공정만을 고려한다. 분기공정을 연구대상에서 제외하는 이유는 분기공정의 제품은 다른 제품의 부분품이거나 서비스부품, CKD(Complete Knock Down) 부품 또는 SKD(Semi Knock Down)부품으로 별개의 부품으로 완성되어 다시 주 생산라인의 조립공정에 투입되기 때문이다.[12]



[그림 2.1] 모델 수립대상 생산라인 모형

2.3 최소비용 계산 알고리즘

2.3.1 검사공정단계의 최소비용계산 알고리즘

1) 검사공정의 최소비용계산 알고리즘

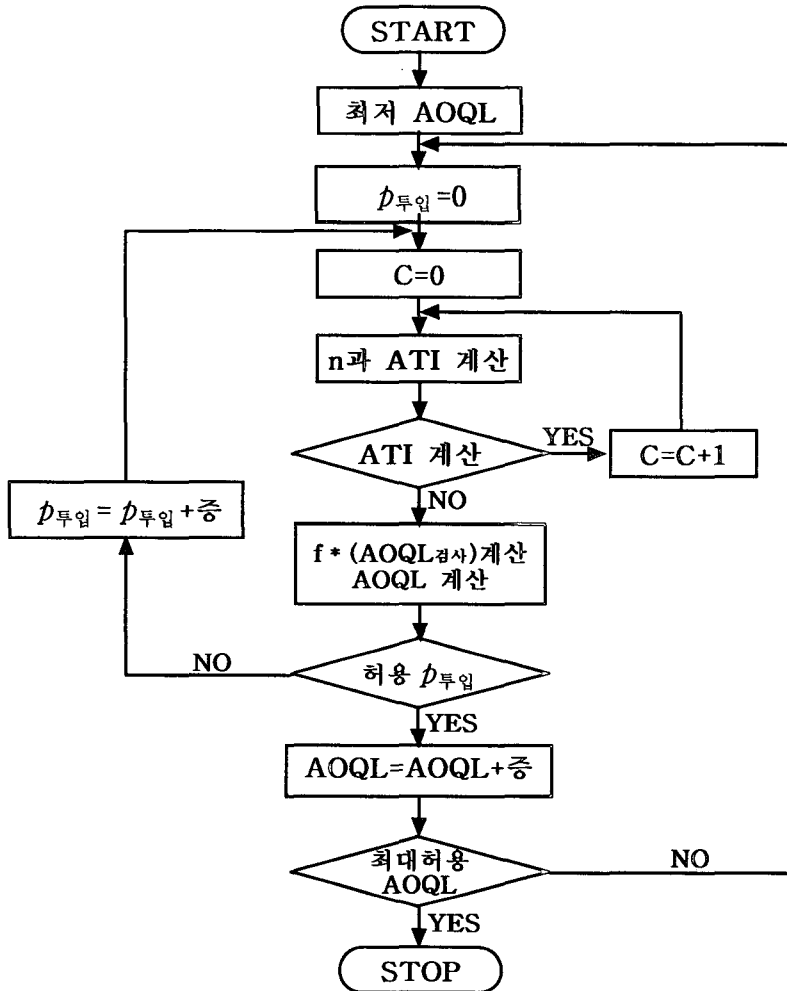
검사단계에서의 최소출하비용은 다음의 식(2-1)로 표현되며, 최소비용을 구하는 계산 절차는 다음의 조건을 만족시키면서 (n_{ij}, c_{ij}) 를 결정함과 동시에 평균출검품질을 계산하는 풀이가 된다. 그러므로 검사공정단계의 목적함수 $f_{ij}^*(AOQ)$ 는 식 (2-1)과 제약조건으로 표현된다.

$$f_{ij}^*(AOQ) = \underset{(p_{투입\ ij}, n_{ii}, C_{ii})}{Min} (k_{2,ij} + k_{1,ij} \cdot p_{투입,ij})ATI_{ij} + f_{ij-1}^*(p_{투입_{ij}}) \quad \text{-----}(2-1)$$

제약조건, $AOQ_{ii} \leq AOQL_{ii}$

2) 검사공정단계 최소비용계산의 프로그램 절차도

식 (2-1)로 표현된 $f_{ij}^*(AOQ)$ 의 최소비용계산을 하기 위한 컴퓨터프로그램 절차도는 [그림 2.2]와 같다.



[그림 2.2] 최소검사비용계산 프로그램 절차도

3) 계산 알고리즘

식 (2-1)로 표현된 $f_{ij}^*(AOQL)$ 의 계산 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1: 초기화 k_1, k_2, N AOQL과 $p_{\text{투입}}$ 범위지정

단계 2: 가장 적은 AOQL값으로 요구되는 AOQL값까지 선정

단계 3: 가장 적은 $p_{\text{투입}}$ 값 채택

단계 4: $c=0$ 일 경우에 계산

단계 5: 최적해 계산

$$\textcircled{1} \quad n = \frac{y \cdot N}{N \cdot AOQL + y}$$

c ; 합격판정개수, y ; c 에 따라 결정되는 값

$$\textcircled{2} \quad ATI = n + (N - n)(1 - P_a)$$

$\textcircled{3} \quad TC_{\text{MS}} = (k_1 + k_2 \cdot p_{\text{투입}}) \cdot ATI P_a$; ($np_{\text{투입}}, c$)가 계산되는 포아송분포의 합격 확률)

단계 6: $c = c + 1$ 하고 ATI 가 감소하면 단계 5로, ATI 가 증가하거나 N 과 같으면 $(AOQL, p_{\text{투입}})$ 에서 최소값 얻음.

단계 7: 차례대로 $p_{\text{투입}}$ 를 선택하고, 단계 4로 가서 최적해를 선택함.

단계 8: 다음에는 차례대로 AOQL값을 선택하고, 단계 3으로 가서 모든 AOQL 값을 반복하여 $f^*(AOQL)$ 과 AOQL에 대한 최적 AOQL값을 얻는다.

2.3.2 가공공정단계의 최소비용계산 알고리즘

1) 가공 공정단계의 최소비용계산 알고리즘

가공단계에서의 출하비용은 목적함수를 만족시키는 출하품질 $p_{\text{출하}}$ 에 따른 가공 불량 p' 가공의 결정이 가능하다. 그리고 주어진 최종제품에 대한 평균출검품질한계

AOQL을 만족하는 가공단계의 최소출하비용은 식 (2-1)으로부터의 $f_{ij}^*(p_{\text{출하}})$ 식 (2-2)를 계산하는 알고리즘은 다음과 같다.

$$f_{ij}^*(p_{\text{출하}}) = \text{Min}_{p_{\text{투입}, ij}, p'_{\text{가공}, ij}} k_{3, ij} \cdot N + f_{ij-1}^*(p_{\text{투입}, ij}) \text{-----} (2-2)$$

2) 가공공정단계 최소비용계산 절차 다이어그램

식 (2-2)로 표현된 $f_{ij}^*(p_{\text{출하}})$ 의 최소비용계산을 하기 위한 컴퓨터 프로그램 절차도는 [그림 2.3]과 같다.

3) 계산 알고리즘

식(2-2)로 표현된 $f_{ij}^*(p_{\text{출하}})$ 의 계산 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1: $p_{\text{출하}}$ 의 가능범위를 결정하여 유한모집단으로 분해

(단, $p_{\text{출하}}$ 의 가능범위는 계산 가능한 모든 수를 포함)

단계 2: 가장 적은 $p_{\text{출하}}$ 선택

단계 3: 가장 적은 $p_{\text{투입}}$ 선택

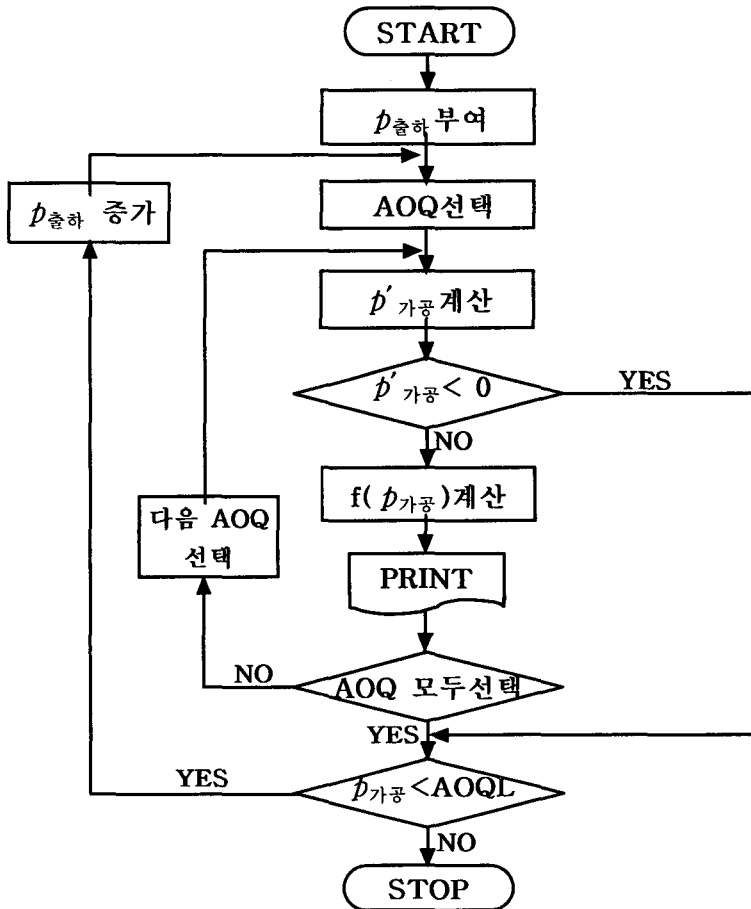
단계 4: 주어진 $p_{\text{출하}}$ 와 $p_{\text{투입}}$ 값으로부터 $p'_{\text{가공}}$ 계산

$p'_{\text{가공}} = (p_{\text{출하}} - p_{\text{투입}}) / (1 - p_{\text{투입}})$ 만일 $p'_{\text{가공}}$ 가 최소 가능값보다 적으면, 단계 7로 감.

단계 5: $p'_{\text{가공}}$ 값을 갖는 TC_m 계산 ($TC_m = aN(1 - p_{\text{투입}}) / (p_{\text{출하}} - p_{\text{투입}}) + bN$)

단계 6: 다음 $p_{\text{투입}}$ 값을 선택하고, 단계 4로 감.

단계 7: 다음 $p_{\text{출하}}$ 값 선택 ($p_{\text{출하}}$ 의 모든 가능한 값에 도달할 때까지 단계 3으로)



[그림 2.3] 최소가공비용계산 프로그램 절차도

2.3.3 조립공정단계 최소비용계산 알고리즘

1) 조립공정 단계 최소비용계산 알고리즘

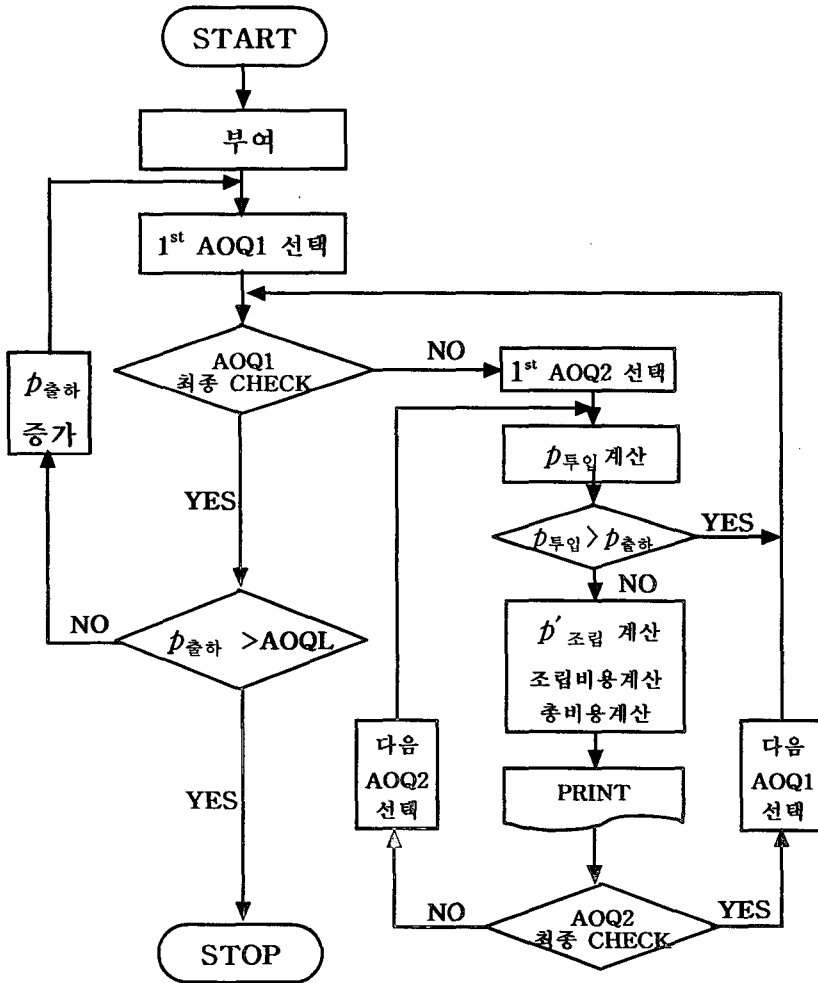
조립공정단계의 출하비용함수는 가공단계 출하비용함수와 같이 $f^*(p_{출하})$ 로 투입부품결합불량률 $p_{조립}$ 로 표시된 식이 목적함수가 되며, 조립단계의 최소출하비용은 식 (2-1)에서 다음 식 (2-3)이 된다.

$$f_{ij}^*(p_{출하}) = \min_{p_{조립}} k_{5,ij} \cdot N + f_{ij-1}^*(p_{조립}) \quad (2-3)$$

$$\text{단, } f_{ij}^*(p_{조립}) = \sum_{x=1}^m f_{ij-1}^*(p_{투입,ij,x})$$

3) 조립공정단계 최소비용계산 절차 다이어그램

식 (2-3)로 표현된 $f_{ij}^*(p_{출하})$ 의 최소비용계산을 하기 위한 컴퓨터프로그램 절차도는 [그림 2.4]와 같다.



[그림 2.4] 최소 조립비용계산 프로그램 절차도

2) 계산 알고리즘

식 (2-3)로 표현된 $f_{ij}^*(p_{출하})$ 의 계산 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1: $p_{출하}$ 의 가능범위를 나누어 유한모집단화($p_{출하}$ 가 관리될 수 있는 모든 범위 포함)

단계 2: 모든 $p_{조립}$ 와 $f^*(p_{조립})$ 를 계산

가. 처음 부품 2 개에 대하여 다음과 같이 $p_{\text{조립}}$ 와 $f^*(p_{\text{조립}})$ 를 계산

$$p_{\text{조립}} = p_{\text{투입},1} + p_{\text{투입},2} - p_{\text{투입},1} \cdot p_{\text{투입},2}$$

$$f^*(p_{\text{조립}}) = \text{Min}f^*(p_{\text{투입},1}) + f^*(p_{\text{투입},2})$$

나. $p_{\text{조립}}$ 와 $f^*(p_{\text{조립}})$ 를 3개의 부품에 대하여 같은 절차로 계산(부품 1과 2에 대하여는 $p_{\text{조립}}$ 와 $f^*(p_{\text{조립}})$ 를, 부품3에 대하여는 $p_{\text{투입}}$ 와 $f^*(p_{\text{투입}})$ 를 사용)

다. 결합되는 부품 모두에 대하여 같은 절차를 반복하여 $p_{\text{조립}}$ 와 $f^*(p_{\text{조립}})$ 계산

단계 3: 가장 적은 $p_{\text{출하}}$ 값 선택

단계 4: 가장 적은 $p_{\text{조립}}$ 값 선택

단계 5: $p_{\text{출하}}$ 와 $p_{\text{조립}}$ 값에 대한 $p'_{\text{조립}}$ 계산

$$p'_{\text{조립}} = (p_{\text{출하}} - p_{\text{조립}}) / (1 - p_{\text{조립}}) \text{ 만일 } p'_{\text{조립}} \text{ 가 가장 적은 가능값보다 적으면, 단계 8로 감.}$$

단계 6: $p_{\text{조립}}$ 에 대한 TC_A 계산 ($TC_A = \gamma N(1 - p_{\text{조립}}) / (p_{\text{출하}} - p_{\text{조립}}) + \delta N$)

단계 7: 다음 $p_{\text{조립}}$ 값 선택하고, 단계 5로 감.

단계 8: 모든 $p_{\text{출하}}$ 에 대하여 계산할 때까지 반복하여 $p_{\text{출하}}$ 보다 큰 다음 값을 선택하고, 단계 4로 가서 $p_{\text{출하}}$ 의 가능범위 내에서 $p_{\text{출하}}$ 와 $f^*(p_{\text{출하}})$ 를 계산함.

3 수치 사례

3.1 수치사례의 생산라인 모형

일반적으로 제품 생산시스템에서는 복수 원재료 또는 많은 부품들이 여러 단계의 가공, 조립, 검사 공정 등을 거쳐 완성품을 만들게 되어 있다. 본 장에서는 생산라인의 최소비용 모형을 수립하기 위한 생산라인의 가상모형의 [그림 2.1]과 같이 복수 부품 재료가 3개의 생산라인을 여러 단계의 공정을 거쳐 가공되는 생산방식에 있어서 검사 공정단계, 가공공정단계 및 조립공정단계를 거쳐 완성품 최종검사공정단계로 구성된 생산라인 모형을 대상 사례로 생산라인의 최소비용모형에 대하여 고찰하기로 한다.

생산라인의 완제품검사단계에서는 생산자/구매자가 요구하거나 또는 규정된 평균출검 품질한계(AOQL)에 부합되는 완제품 로트에 대한 샘플링검사 계획을 수립하여야 하며, 완제품 로트의 평균출검품질은 투입원재료의 품질조정, 가공공정 상 발생하는 불량 의 조정 및 검사계획 채택 등에 의하여 변동되므로 소비자 또는 구매자가 요구하는 평균출검품질을 보증하도록 샘플링검사계획을 설계하거나, 가공/조립 작업 진행 중에 불량발생의 통제되도록 생산/공정관리를 하여야 한다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 품질변동요인을 통제, 관리하기 위한 관리비용의 투입이 필요하게 된다. 그러므로 구매자가 요구하는 품질을 전제조건으로 하여 출하되는 생산품의 비용을 최소화시키면서 규정된 $AOQL$ 을 만족시키는 것이 생산자의 목표가 된다.

그림 4-1에서 투입평균불량률 $p_{투입,ij}$ 를 갖는 로트의 크기 N 개의 원료가 검사공정에 투입되면 각 원재료검사공정에서는 검사를 거쳐 각 가공/조립공정단계로 투입평균품질 $p_{투입,ij}$ 의 로트의 크기 N 을 공급하게 되고, 각 가공/조립공정단계에서는 가공/조립평균불량률 $p_{출하}$ 를 갖는 로트를 발생하게 된다. 그러므로 최종제품 검사공정단계에 투입되는 제품의 투입평균불량률이 $p_{투입,ij}$ 가 된다고 할 때 구매자가 요구하는 평균출검 품질한계($AOQL$)를 보증하기 위하여 각 생산라인의 원재료검사 및 최종제품검사에서 계수선별형 샘플링검사를 실시한다고 가정하고, 이 병합생산 시스템에서 필요한 비용 항목을 다음과 같이 정의한다.

- $k_{1,ij}$; 부품/반제품 검사에 필요한 평균검사비/개
- $k_{2,ij}$; 부품/반제품 검사에서 요구되는 불량품교체 평균비용/개
- $k_{3,ij}$; 가공/조립공정에서 소요되는 변환비용($p_{가공/조립}$ 의 함수)/개
- $k_{4,ij}$; 투입 원재료비/개

3.2 사례 모형에 대한 비용계수 및 제약조건

사례모형의 가상 생산시스템[그림 2.1]에서 이 시스템의 제약조건으로 최종 생산제품 로트에 대한 평균출검품질 한계를 3.5%로 품질보증을 하고자 할 때 제 4 장에서 제시한 방법에 따라 전체시스템의 최소비용 모델을 이용한 샘플링검사계획 및 각 생산 활동단계의 최적해를 구하기 위한 가상생산시스템의 비용계수는 [표 3.1]에서 [표 3.4]의 자료를 이용하고 가상 생산시스템의 각 공정에 비용계수 자료를 적용하면 [그림 3.1]과 같다.

[표 3.1] 수치 사례의 비용계수 k_1 테이블(단위; 원)

i \ j	1	2	3	4
1	180	-	-	-
2	150	-	200	-
3	130	-	-	400

[표 3.2] 수치 사례의 비용계수 k_2 테이블(단위; 원)

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	9	-	-	-
2	5	-	12	-
3	6	-	-	300

[표 3.3] 수치 사례의 비용계수 k_3 테이블(단위; 원)

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	-	-	-	-
2	-	0.14	-	-
3	-	0.20	0.30	-

[표 3.4] 수치 사례의 비용계수 k_4 테이블(단위; 원)

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	$0.12/p_{\text{투입}} + 200$	-	-	-
2	$0.06/p_{\text{투입}} + 180$	-	-	-
3	$0.10/p_{\text{투입}} + 200$	-	-	-

3.3 사례에 대한 최적해 탐색 및 결과 종합

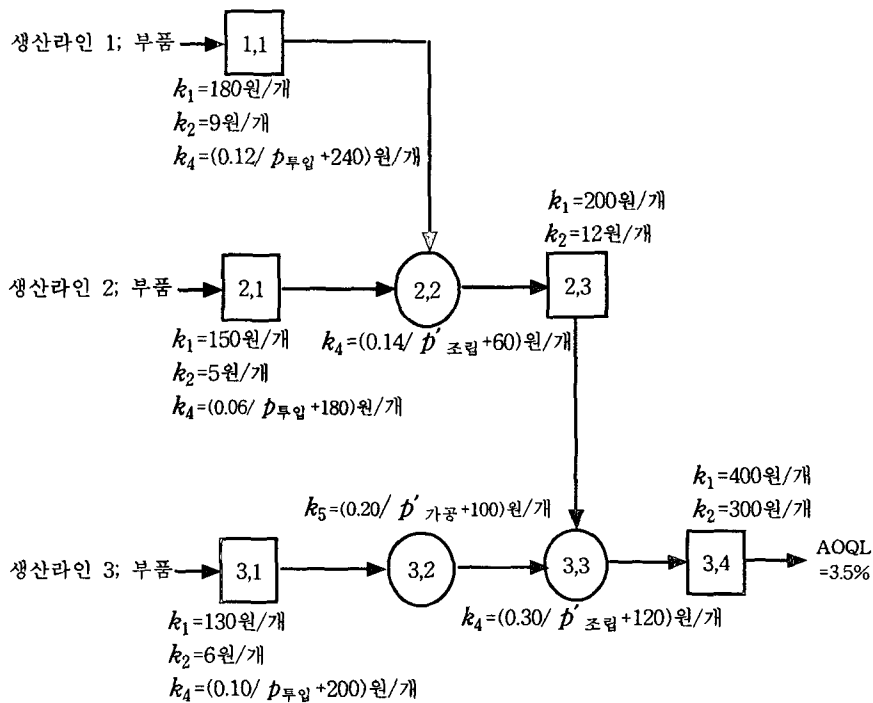
사례의 병합공정을 갖는 생산시스템에 대한 자료를 이용하여 계산된 결과를 각 공정 단계별로 검토하여 최종공정 단계로부터 각 생산라인의 처음 공정 단계로 최소비용을 만족하는 조건들을 역으로 추적하여 최적해를 구하면 다음과 같다.

검사공정(3,4)에서 최종 생산제품에 대한 출검품질한계 3.5%를 만족하여야 하므로 최소비용 종합표[표 5-20]에서 출검품질한계 3.5%일 때 검사방식(n, c)는 (98,6)이 되고 이때 최종제품의 평균출하품질은 3.2342%가 되어 제약조건을 만족시킨다. 그리고 이를 달성하기 위한 사례의 병합공정을 갖는 생산시스템의 최소비용은 1,172,586원이 소요된다. 조립공정(3,3)으로부터 검사공정(3,4)에 투입되어야하는 평균불량 $p_{\text{투입}}$ 이 4.0%가 된다.

조립공정(3,3)에서 평균출하불량이 4.0%가 되어야하므로 표 5-18에서 검사공정(2,3)의 출하불량(평균출검품질) 1.6345%, 가공공정(3,2)의 출하불량 1.5%의 두 불량률의 결합불량률이 3.11%로 조립공정(3,3)의 투입불량 $p_{\text{투입}}$ 가 된다. 그리고 조립공정(3,3)의 조립작업불량률은 0.9186%가 되어 생산시스템의 최소비용은 1,093,713원이 된다.

가공공정(3,2)의 출하불량이 1.5%가 되어야하므로 표 5-16에서 출하불량이 1.5%일 때 가공공정(3,2)의 가공불량 p' 가공은 0.5724%가 되어야하고, 투입불량 $p_{투입}$ 은 0.9329%이 되고 이때 생산라인#3의 생산비용은 353,665원이 된다.

검사공정(3,1)에서는 부품검사후 출하불량이 가공공정(3,2)에로의 투입불량 $p_{투입}$ 이 되기 때문에 표 5-14로부터 출검품질 0.9329%일 경우, 투입부품 불량률 0.1%, 출검품질 한계 2.5%로 검사방식(n,c)는 (52,2)이되고 생산라인#3의 투입부품의 검사비용은 218,727원이 된다.



[그림 3.1] 사례의 생산시스템

검사공정(2,3)에서 생산라인#2의 제품에 대한 검사방식 및 비용을 최소비용 종합표[표 5-12]에서 구할 수 있다. 조립제품에 대한 출검품질 1.6345%를 만족하는 검사방식(n,c)는 (113,4)이고 검사공정(2,3)까지의 생산시스템의 최소비용은 587,389원이 되고 투입불량 $p_{투입}$ 즉 조립공정(2,2)의 출하불량은 2.0%가 되어야 한다.

조립공정(2,2)에서 평균출하불량이 2.0%가 되어야하므로 [표 3.5]에서 검사공정(1,1)의 출하불량(평균출검품질) 0.9329%, 검사공정(2,1)의 출하불량(평균출검품질) 0.4595%의 두 불량률의 결합불량률이 1.3881%로 조립공정(2,2)의 투입불량 $p_{투입}$ 이 된다. 그리고 조립공정(2,2)의 조립작업불량률은 0.6205%가 되어 생산시스템의 최소비용은 550,795원이 된다.

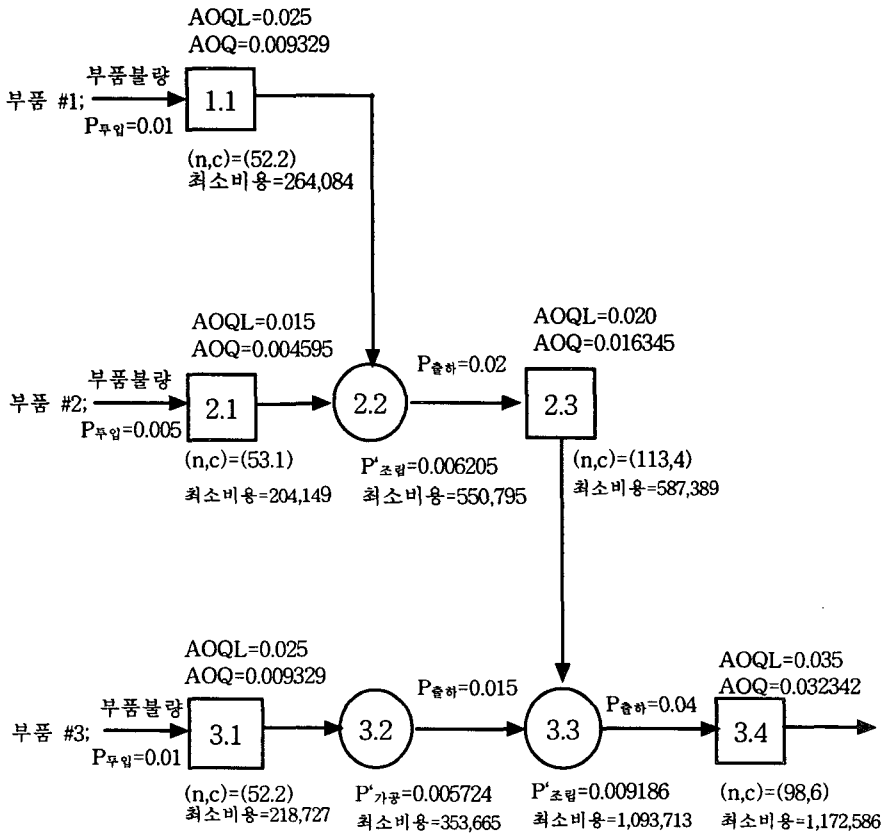
검사공정(2,1)에서는 부품검사 후 출하불량이 조립공정(2,2)에로의 투입불량 $p_{투입}$ 이 되기 때문에 출검품질 0.4595%일 경우, 투입부품 불량률 0.005%, 출검품질한계 1.5%로 검사방식(n,c)는 (53,1)이 되고 생산라인#2의 투입부품의 검사비용은 204,149원이 된다.

검사공정(1,1)에서는 부품검사후 출하불량이 조립공정(2,2)에로의 투입불량 $p_{투입}$ 이 되기 때문에 표 5-6으로부터 출검품질 0.9329%일 경우, 투입부품 불량률 0.01%, 출검품질한계 2.5%로 검사방식(n,c)는 (52,2)가되고 생산라인#1의 투입부품의 검사비용은 264,084원이 된다.

[표 3.5] 수치사례의 계산결과 종합표

생산 라인	공정 번호	불량률			품질수준		검사 (n,c)	최소 비용(원)
		투입	공정	출하	AOQ	AOQL		
# 1	1.1	0.01	-	-	0.009329	0.025	(52,2)	264,084
	2.1	0.005	-	-	0.004595	0.015	(53,1)	204,149
# 2	2.2	0.013881	0.006205	0.02	-	-	-	550,795
	2.3	0.02	-	-	0.016345	0.02	(113,4)	587,389
# 3	3.1	0.01	-	-	0.009329	0.025	(52,2)	218,727
	3.2	0.009329	0.005724	0.015	-	-	-	353,665
	3.3	0.031100	0.009186	0.04	-	-	-	1,093,713
	3.4	0.04	-	-	0.032342	0.035	(98,6)	1,172,586

상기 가상 생산라인의 수치 예 계산결과로부터 최종제품에 대한 $AOQL$ 이 주어진 조건 하에서 각 생산라인을 구성하는 가공/조립공정, 검사공정에서 발생하는 불량률을 결정 변수로 하여 병합공정을 갖는 생산라인의 총비용이 최소화됨을 보였다. 또한 전체생산시스템 비용을 최소화하기 위한 각 공정단계의 비용 및 불량률이 결정되므로 본 논문에서 제안한 병합공정 생산라인의 최소비용 모델은 생산활동에 대한 목표관리 및 관리/통제기능의 수단으로도 활용할 수 있다. 그리고 탐색방법에 의한 각 공정의 최소비용과의 관계를 공정도에 표시하면 [그림 3.2]와 같다.[12]



[그림 5-2] 사례의 결과 공정도

4. 결론

기존의 연구에서 소비자 보호를 위한 품질 보증활동의 일환인 완제품의 검사방법에는 일반적으로 계수형 샘플링검사 방법 중 계수선별형 샘플링 방법을 주로 사용하고 있으며, 이 계수선별형 샘플링 방법의 경제적 샘플링방식 수립에서는 제일 적은 수의 평균 총 검사 개수의 계산만으로 최적 샘플링 방식을 활용하고 있다. 특히 샘플링방식 수립에 있어서는 생산과정을 이루는 각 공정의 불량발생이나 이들의 결합현상은 고려 대상에서 제외되고, 단지 구성된 제품 로트의 제품불량이나 평균 공정불량률을 알고 있거나 추정가능 하다는 가정아래 요구되는 출검품질 한계를 만족하는 경제적 샘플링 방식을 설계하였다.

본 연구에서는 일반적인 제품 생산라인 형태인 병합공정을 갖는 복수 생산라인의 제품 생산 과정 전체를 대상으로 생산 활동이 반복 발생하는 공정 단계, 검사 단계와 가공/조립 단계로 구분하여 각 단계에서의 불량 발생과 영향을 분석하여 최종 제품에 대

한 완성 제품의 로트에 대한 평균 출검 품질 한계가 주어졌을 때, 원재료 검사 계획으로부터 각 생산 공정에서의 불량 발생을 관리통제 가능 할 수 있도록 전 공정에 적용 가능한 최소비용 모형 수립 방법을 제시하고 수치 예를 고찰하였다.

본 연구에서는 원재료 검사에 적용 될 수 있는 최소 비용의 출검품질 한계도 생산 시스템에 맞도록 사전에 규정할 수 있으나 전 시스템의 최소 비용을 갖도록 하는 최종 제품 검사의 제약 조건에 따라 변경 조정 될 수 있다.

기존 연구에서는 검사 대상 로트의 불량률이 기지이거나 추정 가능하여야 하였으나 본 연구에서는 최종 제품에 대한 평균출검 한계가 주어지면 생산라인을 구성하는 각 공정에서 독립적으로 발생하고 관리 대상 목표가 되는 가공/조립 작업불량이 계산되므로 공정의 관리 통제의 목표를 제시할 수 있다.

복수 생산라인의 병합생산공정단계를 갖는 전체 생산라인의 원재료비를 포함하는 총 생산원가 계산을 용이하게 하고 생산비를 생산라인 각 단계의 최소 발생비용으로 분해하여 전체 생산라인의 최소비용이 계산되므로 제품원가에 대한 관리가 가능하다는 장점이 있다.

5. 참 고 문 헌

- [1] Dodge, Harold F. and Romig, Harry G., Sampling Inspection Tables-Single and Double Sampling, 2nd ed. 1959, John Wiley & Sons Inc.
- [2] Montgomery, Douglas C., Introduction to Statistical Quality Control, 4th ed. 2001, p691, John Wiley & Sons Inc.
- [3] Ercan, S. S., Hassan, M. Z. and Taulananda, A. (1974), "Cost Minimizing Single Sampling Plans with AIQL and AOQL Constraints " Management Science, Vol20, No7, pp1112 -1121
- [4] Dietrich, D. L. (1971) "A Bayesian Quality Assurance Model for A Multi Stage Production Process" Management Science, Vol 17, No 8,pp556-pp568
- [5] Quality Cost Technical Committee (1967), "Quality Cost -What and How", Quality Progress, American Society for Quality Control, Vol 10, No2, pp36 - pp41
- [6] Turner, T. E. (1969), "an Economic Look at Quality" Quality Progress, American Society for Control, Vol 12, No 4, pp16 - pp20
- [7] Cho, B. R. and Govindaluri, M. S.(2002), "Optimal Screening Limits in Multi-Stage Assemblies", Int. J. of Prod. Res., Vol.40, No. 9, pp1993-2009
- [8] Riberio, J. L. D., Fogliatto, F. S. and Caton, C. S., (2000) "Minimizing Manufacturing and Quality Costs in Multiresponse Optimaization", Quality Engineering, Vol.13, No. 2, pp191-201
- [9] Schilling, E. G., Sheesley, J. H. and Anselmo, K. J.(2002) "Minimum Average Total Inspection Plans for Variables Sampling, Indexed by Average Outgoing Limit", Quality Engineering, Vol. 14, No. 3, pp435-451

- [10] Tagaras, G. and Lee, H. L.(1992) "Economic acceptance sampling plans in complex multi-stage production systems,"International Journal of production research, Vol.30, No.11, pp2615-2632.
- [11] 김윤선,황의철, (1981) "계수 선별형검사 설계의 경제성에 관한 연구," Journal of the KSQC, Vol.9, No.1, pp40- 45.
- [12] 이경중,이상용(1993) "비용을 고려한 계수치 2 단계 샘플링방법의 경제적설계,"Journal of the KSQC, ,Vol.21, No.1, pp35-43.
- [13] 이병근,정재경(1985) "계수 선별형 샘플링 검사의 경제성연구"Journal of the KSQC, Vol.13, No.2, pp48-55
- [14] 이상용(1979) "경제적 검사방식의 채택을 위한 계량적 접근방식의 유형과 그 특징의 비교 "Journal of the KSQC, Vol.7, No.7, pp17-21.
- [15] 이상용(1976) "최적품질설계를 위한 비용, 품질 제조시간 종합적 최적화방안", 품질관리학회지, 제4권, 제1호, pp13-19.
- [16] 조충호,김성인(1983) "선별형검사의 경제성에 관한 연구"Journal of the KSQC, , Vol.11, No.2, pp.37-41.
- [17] 황의철,정영배(1980) "파괴검사에 있어서 최소비용 샘플링검사방식의 결정에 관한 연구," Journal of the KSQC, Vol.8, No.2, pp15-22

저 자 소 개

이 경 록 : 한양대학교 공학사, 명지대학교 산업공학 석사, 현재 명지대학교 산업공학 박사, 호성물산대표. 관심분야는 품질공학, e-business, SCM, CRM

박 명 규 : 한양대학교 산업공학과 졸업. 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득, 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직중. 주요 관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고 물류관리, 확률모형, FORECASTING, 시스템분석 등이다.