

# 不良率 減少를 위한 工程改善對案 決定에 관한 研究

## A Study on the Decision For the Process Improvement Alternatives to Reduce the Fraction Defective

李 度 炅\*  
趙 振 衡\*\*

### ABSTRACT

This study is concerned with the reduction of fraction defective for quality improvement model in manufacturing system. For the methodology, a heuristic method for the selection of alternatives of process improvement is introduced for quality improvement and cost problem subject to cost constraints. This study suggests a model for selecting fraction defective reduction alternatives in multi-stage manufacturing system and a numerical example is presented.

### 1. 序 論

현대와 미래의 고도화된 기계·전자산업사회에 있어서 불량품으로 인한 손실비용은 그 심각성을 더해 갈 것으로 생각되어 진다. 특히, 우주전략산업, 첨단정밀제품 및 인명에 영향을 줄 수 있는 제품에 대해서는 더욱 더 중요한 고려

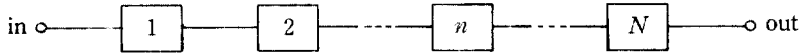
대상이 되며 현재에 있어서도 제품의 불량으로 인해 야기되는 모든 비용 발생에 대해 책임을 지는 방향으로 진행되어 가고 있다. 따라서 불량률 감소에 대한 관심이 증대되고 있는데, 본 연구에서는 이 점에 대해 추가의 비용 투입이 허용될 때, 현 공정상에 도입될 수 있는 불량률 감소 대안들을 설정하여 주어진 비용제약식을

\* 한양대학교 산업공학과

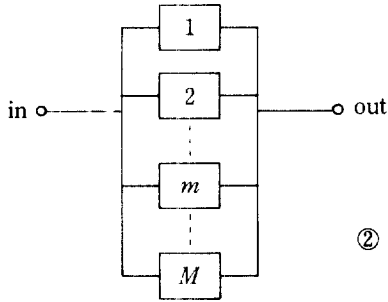
\*\* 금오공대 산업공학과

만족시키면서 전체공정불량률이 최소가 되는 대안들의 결정방법 제시를 그 목적으로 한다.  
일반적으로 공정시스템은 그 제조제품의 특성

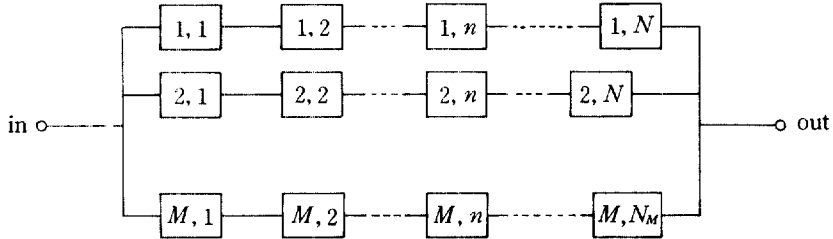
상 여러개의 단위공정으로 이루어 지며, 공정순서에 따라 보통 다음의 다섯가지 형태를 취한다.



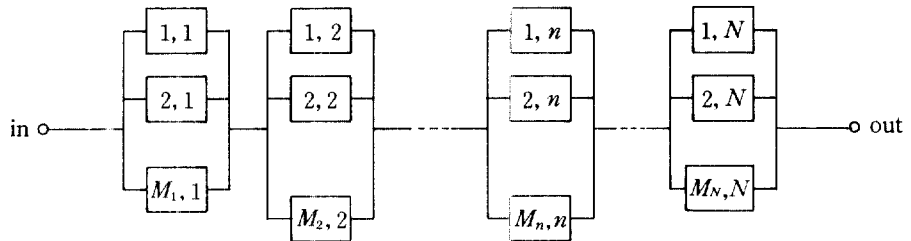
① An  $N$ -stage series system



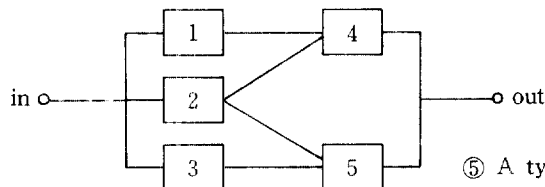
② An  $M$ -stage parallel system



③ A mixed series-parallel system



④ A mixed parallel-series system



⑤ A typical non-series, non-parallel system

위의 다섯가지 형태 중에서 마지막의 non-series, non-parallel 시스템이 일반적인 형태이나, 본 연구에서는 그 대상이 불량률에 대한 것이므로 비록 제조공정의 형태가 위의 어느 종류에 해당되더라도 특정 공정의 불량률은 전체 공정에 대해 영향을 미치지 않는다. 즉, 제조공정의 형태에 관계없이 각 공정들에 의해 제조되는 최종제품의 불량률은  $N$ -stage series 시스템이 된다. 이 점에서 본 연구의 모델은 공정의 가동확률을 대상으로 하는 신뢰도 모델과 다른 개념이 된다. 신뢰도 증가 모델에서 사용되는 중복설계 문제를 불량률 감소 대안 결정으로 유도할 때 차이점은 중복설계 문제의 추가부품 혹은 공정설비는 기존과 동일한 것이므로 비교적 간단한 개념이지만, 불량률 감소 대안 결정에서는 각 추가대안의 비용 및 불량률이 서로 다르게 된다. 따라서 불량률 감소를 위한 모델은 제조공정상 순서나 형태에 관계없이  $N$ -stage series system이 된다.

각 공정에 대한 불량률 감소 대안을 설정하는 본 연구의 구조적 형태는 mixed parallel-series 시스템과 유사하나 각 공정에 주어지는 대안들은 선행 설정대안들에 대해 비율적으로 부과된다.

## 2. 모델의 구성

본 연구에서는 비용제약하에서의 전체 공정불량률 최소화를 위하여 mixed parallel-series 시스템의 개념을 사용하며 방법면에서는 비율 부가적 불량률 감소에 대해 공정개선을 진행시킨다.

전체공정은  $K$ 개의 부분공정의 직렬형태로 구성되어 있으며, 각 부분공정에는 여러개의 서로 다른 불량률 감소 대안이 존재한다. 동일 부분공정 내에 포함되어 있는 이들 대안간에는 초기상태의 공정불량률에 대해 비율 부가적 불량률 감소가 실행된다. 대안의 선택은 비용면에서 제약을 받으며, 동일 부분공정 내의 대안간의 우

선순위는 단위비용에 대한 부분공정의 불량률 감소 효과로 결정된다. 전체공정에 있어서의 대안 선택은 해당 대안으로 인한 비용증가에 대해 단위 비용당 전체공정불량률 감소 효과로 계산되는 선택계수값이 가장 큰 순서로 진행되어진다. 서로 다른 부분 공정의 대안 간에는 상호영향을 받지 않는다.

해법절차의 중지는 전체공정에 선택·확정된 대안의 비용합계가 투입가능 비용을 초과하거나 선택 및 제약식 위배에 따라 모든 대안이 고려 대상에서 제외될 때 발생하며, 이때 전체공정 불량률은 최소가 된다.

### 2-1 가 정

본 연구의 전개를 위한 가정은 다음과 같다.

- 1) 전체공정은  $K$ 개의 단일공정으로 구성된다.
- 2) 부분공정불량률은 비율부가적으로 개선된다.
- 3) 부분공정간의 대안은 상호독립이다.

### 2-2 용어해설

- $P_s$  : 전체공정양호율
- $Q_s$  : 전체공정불량률
- $P$  : 부분공정  $i$ 의 양호율
- $Q_i$  : 부분공정  $i$ 의 불량률
- $C_r$  : 전체 투입가능비용
- $C$  : 부분공정  $i$ 에 투입된 비용합계
- $K$  : 전체부분공정수
- $m_i$  : 부분공정  $i$ 의 개선대안수
- $d_{ij}$  : 부분공정  $i$ 의  $j$ 번째 대안
- $C_{ij}$  : 대안  $d_{ij}$ 의 비용
- $r_i$  : 대안  $d_{ij}$ 의 선택시 불량감소율
- $E_{ij}$  : 대안  $d_{ij}$ 의 비용에 대한 불량률 감소비교계수
- $F_{ij}$  : 대안  $d_{ij}$ 에 의한 부분공정 선택계수
- $P_{i*}$  : 부분공정  $i$ 의 개선후 양호율

$Q_{i*}$  : 부분공정  $-i$ 의 개선후 불량률

### 3. 수학적 전개

주어진 모델에 있어서 전체공정양호율은 부분공정양호율  $P_i$ 의 곱으로 표시되며, 이 때 전체공정양호율 및 전체공정불량률  $Q_s$ 는 다음과 같다.

$$P_s = \prod_{i=1}^K P_i$$

$$Q_s = 1 - P_s = 1 - \prod_{i=1}^K P_i$$

공정  $-i$ 에서  $j$ 번째 개선대안  $d_{ij}$ 를 채택한 경우의 개선 후 부분공정불량률 및 양호율은 다음과 같다.

$$Q_{i*} = Q_i(1 - r_{ij}) \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{i*} = 1 - Q_i(1 - r_{ij}) \dots\dots\dots (2)$$

각 부분공정  $-i$ 에서 채택할 수 있는 대안수는  $m_i$ 이며 2개 이상의 채택이 가능하다. 각 부분공정  $-i$ 에 포함되어 있는 대안  $d_{ij}(j=1, 2, \dots, m_i)$  간에는 투입비용에 대한 부분공정불량률 감소 효과  $E_{ij}$ 에 의해 비교우위가 발생하며 그 계수는 다음과 같다.

$$E_{ij} = r_{ij} / C_{ij}$$

따라서 해법절차의 초기단계에서 각 부분공정에 포함된  $m_i$ 개의 대안들은  $E_{ij}$ 의 값이 큰 순서로 sorting을 실시하여 대안들의 순위를 조정한다. 따라서 각 부분공정  $-i$ 에서의 대안 선택은  $j$ 가 작은 것부터 고려된다.

전체공정에 대한 부분공정 간의 대안 선택 여부는 각 부분공정에서  $E_{ij}$ 에 의해 채택된  $K$ 개의 대안에 대한 비교우위로써 결정하며 이 때의

기준은 고려 개선대안에 투입되는 비용에 대한 전체불량률의 감소가 되어야 한다.  $d_{ij}$ 의 설정이 고려될 때, 이 효과를 나타내는 공정간 선택계수  $F_{ij}$ 는 다음과 같다.

$$F_{ij} = \Delta Q_s / C_{ij}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_s &= \left(1 - \prod_{i=1}^K P_i\right) - \left(1 - P_{i*} \prod_{i=1, i \neq i}^K P_i\right) \\ &= (P_{i*} - P_i) \prod_{i=1, i \neq i}^K P_i \end{aligned}$$

여기서  $P_{i*}$ 는 식 2)와 같으므로 최종  $F_{ij}$ 의 형태는 다음과 같다.

$$F_{ij} = \left[ r_{ij} (1 - P_i) \prod_{i=1, i \neq i}^K P_i \right] / C_{ij}$$

각 공정의  $E_{ij}$ 에 의해 우선순위의 고려대안으로 설정된  $K$ 개의 대안 중에서 공정선택계수  $F_{ij}$ 가 가장 큰 대안을 제약조건과 비교하여 제약식을 만족시키면 개선을 확정시킨다.

이상과 같은 산출과정을 통한 공정대안들의 개선확정 단계는 아래의 절차와 같다.

#### 해법절차

단계 0) 각 공정  $-i$ 에 대해 대안의  $E_{ij}$ 를 계산하고  $E_{ij}$ 의 큰 순서로 해당 공정의 대안들에 우선순위를 부여한다.

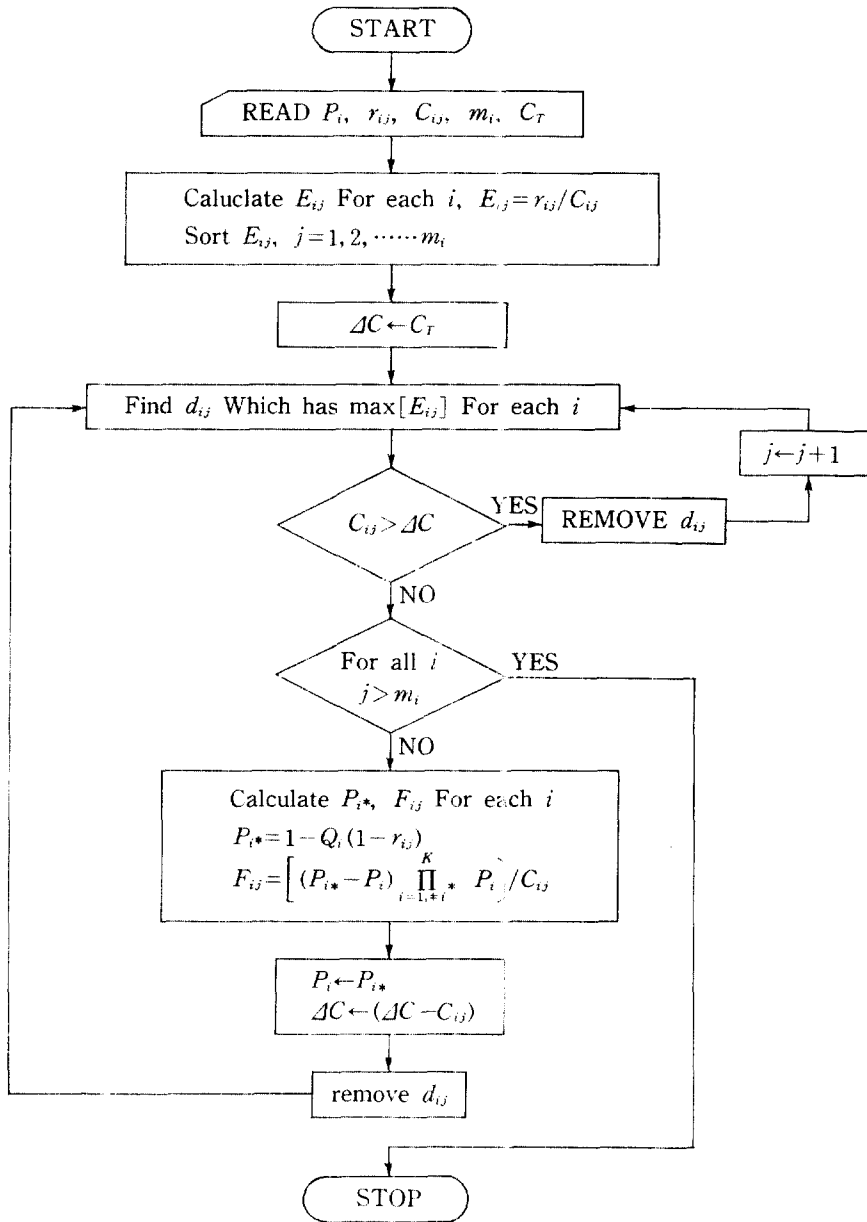
단계 1)  $K$ 개의 부분공정 우선순위 대안의 비용이 현 잔여비용  $\Delta C$ 를 초과하면 현재의 개선대안을 고려대상에서 제외시키고 차순위의 대안으로 교체하여 단계1)을 재수행하고, 초과하지 않는 경우는 단계2)수행.

단계 2)  $K$ 개 대안에 대하여  $F_{ij}$ 를 계산

단계 3) 가장 큰  $F_{ij}$ 를 취하는 대안을 개선 확정시키고, 현 공정  $-i$ 의 양호율

및 잔여비용을 수정한 뒤 현재 개  
선확정된 대안은 고려대상에서 제  
외시킨다.

단계 4) 모든 개선대안이 고려대상에서 제  
외되었으면 중지, 아니면 단계1)  
수행.



(그림 1) 불량감소문제의 Flow Chart

#### 4. 계산예

$$K=6$$

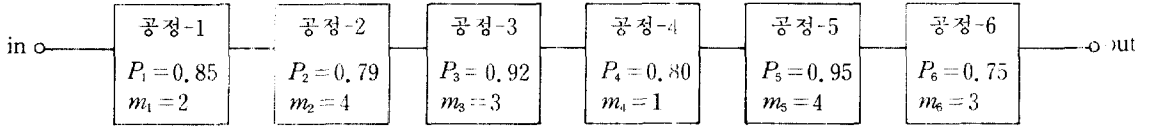
$$m_1=2, m_2=4, m_3=3, m_4=1,$$

$$m_5=4, m_6=3$$

$$C_T=150$$

본 연구에서 제시한 모델의 구체적 구조와 그 계산과정을 다음의 예제를 들어 설명한다.

본 예제는 다음과 같은 조건을 갖는다.



| 공정-1  | 공정-2  | 공정-3  | 공정-4  | 공정-5  | 공정-6  |
|---|---|---|---|---|---|
| $d_{11}$<br>$E_{11}=0.153$<br>$r_{11}=0.23$<br>$C_{11}=15$  | $E_{21}$<br>$E_{21}=0.0084$<br>$r_{21}=0.32$<br>$C_{21}=38$ | $d_{31}$<br>$E_{31}=0.0083$<br>$r_{31}=0.35$<br>$C_{31}=42$ | $d_{41}$<br>$E_{41}=0.0095$<br>$r_{41}=0.20$<br>$C_{41}=21$ | $d_{51}$<br>$E_{51}=0.0097$<br>$r_{51}=0.58$<br>$C_{51}=60$ | $d_{61}$<br>$E_{61}=0.0120$<br>$r_{61}=0.22$<br>$C_{61}=17$ |
| $d_{12}$<br>$E_{12}=0.0069$<br>$r_{12}=0.37$<br>$C_{12}=54$ | $E_{22}$<br>$d_{22}=0.0080$<br>$r_{22}=0.20$<br>$C_{22}=25$ | $d_{32}$<br>$E_{32}=0.0076$<br>$r_{32}=0.26$<br>$C_{32}=34$ |   | $d_{52}$<br>$E_{52}=0.0066$<br>$r_{52}=0.23$<br>$C_{52}=35$ | $d_{62}$<br>$E_{62}=0.0116$<br>$r_{62}=0.36$<br>$C_{62}=31$ |
|   | $E_{23}$<br>$d_{23}=0.0078$<br>$r_{23}=0.40$<br>$C_{23}=51$ | $d_{33}$<br>$E_{33}=0.0055$<br>$r_{33}=0.17$<br>$C_{33}=31$ |   | $d_{53}$<br>$E_{53}=0.0061$<br>$r_{53}=0.19$<br>$C_{53}=31$ | $d_{63}$<br>$E_{63}=0.0071$<br>$r_{63}=0.27$<br>$C_{63}=38$ |
|   | $E_{24}$<br>$d_{24}=0.0072$<br>$r_{24}=0.26$<br>$C_{24}=36$ |   |   | $d_{54}$<br>$E_{54}=0.0057$<br>$r_{54}=0.21$<br>$C_{54}=37$ |   |

(표-1)  $E_{ij}$ 의 순위에 따라 재배치된 공정대안

위의 (표-1)은 공정에 설정된 대안들에 대해  $E_{ij}$ 에 의하여 우선순위를 부여한 형태이다. 각 공정에서 최우선 순위의 대안( $d_{11}$ ,  $d_{21}$ ,  $d_{31}$ ,  $d_{41}$ ,  $d_{51}$ ,  $d_{61}$ )에 대하여  $F_{ij}$ 를 계산하고, 제약식을 고려했을 때 선택순서는 다음과 같다.

|          |      |
|----------|------|
| $d_{ij}$ | ○, × |
| $P_{i*}$ |      |
| $F_{ij}$ |      |

- : 개선확정부호
- × : 제약식 위반부호

그러므로 표시부호(○ 혹은 ×)의 대안은 고려대상에서 제외시키고 진행한다.

제약식을 검토하면서  $P_{i*}$ 에 의한  $F_{ij}$ 의 값은 다음과 같다. (단,  $F_{ij}$ 값은  $10^{-4}$ 를 곱한 형태이다)

$F_{11}=9.528$   $F_{12}=7.883$   $F_{13}=2.552$   $F_{14}=8.384$   $F_{15}=1.792$   $F_{16}=15.190$  그러므로 대안  $d_{16}$ 를 선택확정하고 다음 단계를 계속 수행한다. 계속된 수행단계는 아래의 (표-2)와 같다. 결과

에 따라 선택되는 개선 내안은  $d_{11}$ ,  $d_{22}$ ,  $d_{41}$ ,  $d_{61}$ ,  $d_{62}$ 가 된다.

| 공정1                          | 공정2                             | 공정3                           | 공정4                        | 공정5                        | 공정6                          | $\Delta C$ |
|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------|
| $d_{11}$<br>0.8845<br>9.528  | $d_{21}$<br>0.8572<br>7.883     | $d_{31}$<br>0.948<br>2.5517   | $d_{41}$<br>0.84<br>8.384  | $d_{51}$<br>0.979<br>1.792 | $d_{61}$<br>0.805<br>15.190  | ○<br>150   |
| $d_{11}$<br>0.8845<br>10.227 | $d_{21}$<br>0.8572<br>8.461     | $d_{31}$<br>0.948<br>2.739    | $d_{41}$<br>0.84<br>8.999  | $d_{51}$<br>0.979<br>2.091 | $d_{62}$<br>0.8752<br>10.632 | ○<br>133   |
| $d_{11}$<br>0.8845<br>11.119 | $d_{21}$<br>0.8572<br>9.199     | $d_{31}$<br>0.948<br>2.978    | $d_{41}$<br>0.84<br>9.784  | $d_{51}$<br>0.979<br>2.091 | $d_{63}$<br>0.909<br>4.164   | ○<br>102   |
| $d_{12}$<br>0.927<br>3.805   | $d_{21}$<br>0.8572<br>9.572     | $d_{31}$<br>0.948<br>3.099    | $d_{41}$<br>0.84<br>10.181 | $d_{51}$<br>0.979<br>2.176 | $d_{63}$<br>0.909<br>4.333   | ○<br>87    |
| $d_{12}$<br>0.927<br>3.995   | $d_{21}$<br>0.8572<br>10.051    | $d_{31}$<br>0.948<br>3.254    |                            | $d_{51}$<br>0.979<br>2.285 | $d_{63}$<br>0.909<br>4.550   | ○<br>66    |
| $d_{12}$<br>○<br>×           | $d_{22}$<br>○<br>0.886<br>6.493 | $d_{31}, d_{32}, d_{33}$<br>× |                            | $d_{51}, d_{52}$<br>×      | $d_{63}$<br>×                | ×          |
|                              | $d_{23}, d_{24}$<br>×           |                               |                            |                            |                              |            |
|                              |                                 |                               |                            |                            |                              | 3          |

(표-2) 예제문제의 수행절차

### 5. 결론

위의 예제를 통하여 알 수 있듯이 각 공정에 있어서의 대안 선택은 비용에 대한 전체공정불량을 감소효과에 의해 이루어진다. 본 예제에서는 발생되지 않았지만 동일 부분공정내에서  $F_{ij}$ 가 큰 대안이 선택되는 것은 아니며, 또한 공정간 대안 선택 순서와  $F_{ij}$ 와는 반드시 일치하

지 않는데, 이것은 본 모델이 비율부가적 개선 방법이므로 주어진 초기상태의 부분공정불량률에 크게 영향을 받기 때문이다. 본 연구에서는 언급하지 않았으나 검사단계를 설정하여 양·불량을 중간단계에서 구분하면 시스템은 복잡하여 지나 보다 실제시스템에 근접한 모델이 되리다 생각하며, 이 부분에 대한 연구가 수행되기를 기대한다.

## 參 考 文 獻

1. Barlow, R.E., Proschan, F.(1965), *“Mathematical Theory of Reliability”*, John Wiley and Sons, Inc.
2. Breipohl, A.M.(1977), *“On Reliability Optimization-a Preface,”* IEEE Trans. Reliability, Vol. R-26, Aug., pp. 146-155.
3. Misra, K.B.(1977), *“A Simple Approach for Constrained Redundancy Optimization Problem,”* IEEE Trans. Reliability, Vol. R-21, Feb. pp.30-34.
4. Tillman, F.A., Hwang, C.L., Fan, L. T., Balbale, S.A.(1972), *“System Reliability Subject to Multiple Nonlinear Constraints,”* IEEE Trans. Reliability, Feb. pp.60-62.