

# 製品責任 時代に 品質向上을 위한 工程改善의 最適化

## The Optimization of Process Allocation for Quality Improvement under Product Liability Environment

趙 南 浩\*  
李 根 熙\*\*

### ABSTRACT

An algorithm for the minimum total process percent defective under marginal costs is presented. Initial process is single series system, which is constructed by k process units, and each process is considered priority.

Minimum of total process percent defective for parallel-series system exists when additional process setup costs are larger than marginal costs.

### I. 序 論

1970年代末부터 서서히 擡頭되기 始作한 製品 責任(Product Liability, 以下 PL 이라함)이란 “製品의 品質上의 欠陷으로 인하여 使用者가 입은 財産上의 損害에 대한 生産者, 販賣者側의 賠償責任(黃義徽(1986)) 이라고 말할 수 있다.

이러한 PL은 크게 2가지 領域으로 나눌 수 있는데 이는 製造物責任防禦(Product Liability Defense, 以下 PLD라 함)라는 法的인 解決方法과 製造物責任豫防(Product Liability Prevention, 以下 PLP라 함)이라는 生産者側의 品質管理方

法인 것이다. [黃義徽(1986)]

따라서 本 研究에서는 PLP에 대한 1가지 方法으로 費用이 限定되어 있을 때 여러 個의 工程으로 이루어진 시스템(System)의 不良率을 最小化하는 問題를 다루고자 한다.

PL을 考慮한다는 것은 費用面에서 볼때 失敗費用(F-Cost)이 매우 많다고 하는 前提이며, 이는 또한 評價費用(A-Cost)과 豫防費用(P-Cost)을 습한 費用보다도 매우 커질 수 있다고 할 수 있다.

따라서 現存하는 工程에서 不良率을 減少시

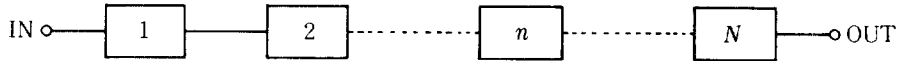
\* 建國大學校 工科大學 産業工學科 教授  
\*\* 漢陽大學校 工科大學 産業工學科 教授

킬 수 있는 代案들을 考慮한다면 (失敗費用-評價費用+豫防費用)의 差額만큼을 工程改善費用으로 投入함으로써 全体工程不良率을 最小化하고자 하는 代案을 考慮할 수 있다.

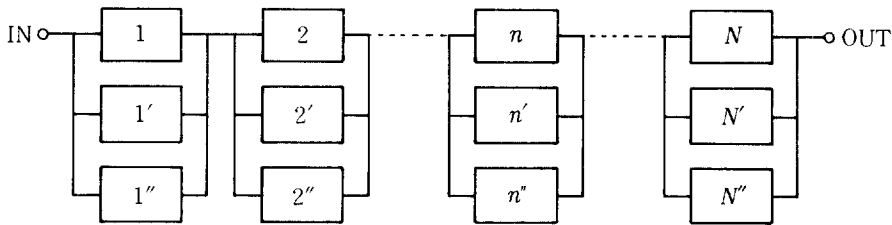
本 研究에서 다루고자 하는 시스템(System)의 性格은 初期에는 單一直列시스템(그림 1-1)

을 考慮하며, 시스템의 各 元素들은 獨立的인 工程으로 생각한다.

이러한 直列시스템으로 이루어진 工程의 工程改善을 위하여 追加工程이 必要하게 될때 이를 混合並-直列시스템(그림 1-2)으로 展開한다.



〈그림 1-1〉 N개의 工程으로 이루어진 單一直列시스템



〈그림 1-2〉 N개의 工程에 追加工程으로 改善된 混合並-直列시스템

## II. 모델構成 및 假定

本 研究에서는 費用이 限定되어 있는 境遇 全体工程不良率을 最小化하기 위하여 混合並-直列시스템을 導入하여 現工程에 追加工程을 投入하여 工程改善을 이루는 모델을 考慮하려는 것이다.

追加工程을 選擇할 때에는 ;-

첫째, 주어진 限定된 費用限度内에서 解決할 수 있는가와 둘째, 追加工程을 投入하기 위하여 必要한 先行工程이 있는가에 대한 優先順位를 考慮한다.

둘째번의 考慮事項은 現實的으로 어떤 工程에 있어서 特定工程의 改善이 遂行되기 위하여

는 다른 1個以上の 工程改善이 先行되어야 만 可能한 境遇가 대부분이기 때문에 이를 考慮해 주고자 한다.

各 工程에서는 各己 서로 다른 費用과 不良減少率을 갖는 여러 個의 工程改善代案들을 設定하여 한 工程内에서의 여러 個의 代案中 費用에 대한 不良減少率이 큰 工程의 改善代案을 優先 追加工程으로 選擇하며, 全体工程에 대하여는 不良率이 最大인 工程을 優先 追加工程으로 確定시킨다.

이러한 方法으로 계속 追加工程을 投入시키다가 限定된 費用보다 追加工程設置費用이 더 커지면 이때가 바로 全体工程不良率이 最小가

되는 것이다.

本 研究를 展開하기 위하여 다음과 같은 事項을 假定한다.

1. 初期工程시스템은  $N$ 個의 工程으로 이루어진 單一直列시스템 (그림 1-1)이다.
- 2) 各 工程들의 不良率은 追加工程을 통해 附加的인 改善이 可能하다.
- 3) 全体工程을 改善하기 위하여 各工程들에 投入되는 追加工程들 사이에는 先行工程이 存在할 수 있어 優先順位가 있다.
- 4) 各 工程內的 追加工程들은 서로 獨立의이다.

### Ⅲ. 用語解説

- $P_s$  : 全体工程良好率  
 $Q_s$  : 全体工程不良率  
 $P_i$  : 工程  $i$ 의 良好率  
 $Q_i$  : 工程  $i$ 의 不良率  
 $C_T$  : 全体投入可能費用  
 $C_i$  : 工程  $i$ 에 投入된 費用의 合  
 $K$  : 全体工程數  
 $m_i$  : 工程  $i$ 의 改善代案數  
 $d_{ij}$  : 工程  $i$ 의  $j$ 번째 代案  
 $c_{ij}$  : 工程  $i$ 의  $j$ 번째 改善代案費用  
 $r_{ij}$  : 工程  $i$ 를  $j$ 代案으로 改善할 때 不良減少率  
 $P_i^*$  : 工程  $i$ 의 改善後 良好率  
 $E_{ij}$  :  $d_{ij}$ 의 費用에 대한 不良率減少比較係數  
 $F_{ij}$  : 工程  $i$ 를  $d_{ij}$ 代案으로 改善할 때 工程選擇係數  
 $F_{ij}(d_{i,j_1}, d_{i,j_2}, \dots)$  :  $d_{i,j_1}, d_{i,j_2}, \dots$  등의 先行改善代案을 갖는 代案의 工程選擇係數

### Ⅳ. 모델의 數學的 展開

工程改善에 있어서 全体工程良好率  $P_s$ 는 各部分工程良好率  $P_i$ 의 곱으로 表示되며, 이때 全体工程不良率  $Q_s$ 는 (2)와 같다.

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

$$Q_s = 1 - P_s = 1 - \prod_{i=1}^K P_i \dots \dots \dots (2)$$

改善代案  $d_{ij}$ 를 採擇하였을 때 部分工程不良率 및 良好率  $Q_i$ 와  $P_i$ 는 다음과 같다.

$$Q_i = q_{i0}(1 - r_{ij}) \dots \dots \dots (3)$$

$$P_i = 1 - q_{i0}(1 - r_{ij}) \dots \dots \dots (4)$$

本 研究는 (5)式과 같은 費用制約條件下에서 全体工程不良率  $Q_s$ 를 最小化하는 工程改善 代案들을 決定하는 問題이다.

$$\sum_{i=1}^K C_i \leq C_T \dots \dots \dots (5)$$

各 工程  $i$ 에서 改善할 수 있는 代案數는  $m_i$ 가 되며, 2가지 以上の 改善代案을 採擇할 수 있다. 이때 이들 改善代案 사이에는 (6)式과 같은 投入費用에 대한 不良率減少의 大小로서 比較順位가 發生된다.

$$E_{ij} = \frac{r_{ij}}{C_{ij}} \dots \dots \dots (6)$$

따라서 費用에 대한 不良率減少効率을 나타내는  $E_{ij}$ 係數값이 큰 改善代案부터 限定된 費用投入制約下에서의 改善設定을 考慮해 준다.

全体工程에 대한 部分工程의 改善順位는 各部分工程을 設定할 것을 考慮하는 改善代案에 投入되는 費用에 대한 全体不良率 減少效果로써 測定되어야 한다.

現在의 工程上에서 工程  $i$ 의  $d_{ij}$ 代案이 設定될 것을 考慮할 때 이 效果를 나타내는 工程選擇係數  $F_{ij}$ 는 (8)과 같다.

$$F_{ij} = \frac{\Delta Q_s}{C_{ij}} = \frac{[1 - \prod_{i=1}^K P_i] - [1 - P_i^* \prod_{i=1, i \neq i}^K P_i]}{C_{ij}}$$

$$= \frac{(P_i^* - P_i) \cdot \prod_{i=1, \dots, i}^k P_i}{C_U}$$

$$P_i^* = Q_i(1 - \tau_U) \\ = P_i + (1 - P_i) \cdot \tau_U \dots \dots \dots (7)$$

$$\therefore F_U = \frac{\tau_U \cdot P_1 P_2 \dots P_{i-1} (1 - P_i) P_{i+1} \dots P_K}{C_U} \dots \dots \dots (8)$$

따라서 각 工程마다  $E_U$  係數값에 의하여 優先的인 考慮代案으로 設定된  $K$  個의  $d_U$  代案中에서 工程選擇係數  $F_U$  가 가장 큰 改善代案을 制約條件과 比較하여 制約式을 滿足시키면 改善을 確定시킨다.

部分工程의 改善代案間에 優先順位가 發生하는 境遇를 實際狀況에서는 흔히 찾아볼수 있는데 이러한 境遇에는 現在의 考慮代案과 이 代案의 先行改善代案들의 不良減少率과 費用을 同時에 考慮하여  $F_U$  를 計算하고, 이를 다른 單一工程改善代案의  $F_U$  값과 比較하여야 할 것이다.

勿論 先行改善代案은 여러 個가 發生할 수도 있으며, 이때의 工程選擇係數는 (9)와 같이 計算할 수 있다.

$$F_U(d_{v,r}, d_{v,r}, \dots) = \frac{\Delta Q_S}{C_U + (C_{v,r} + C_{v,r} + \dots)}$$

$$\Delta Q_S = \left[ 1 - \prod_{i=1}^k P_i \right] - \left[ 1 - P_i^* P_v^* P_{v'}^* \dots \prod_{i=1, \dots, i}^k P_i \right]$$

$P_i^*, P_v^*, P_{v'}^* \dots$  를 (7)式과 같이 整理하면 다음과 같다.

$$\Delta Q_S = (\tau_U \tau_{v,r} \tau_{v',r} \dots) \{ P_1 P_2 \dots (1 - P_i) \dots (1 - P_v) (1 - P_{v'}) \dots P_K \}$$

$$\therefore F_U(d_U, d_{v,r}, d_{v',r}, \dots)$$

$$= \frac{(\tau_U \tau_{v,r} \tau_{v',r} \dots) \{ P_1 P_2 \dots (1 - P_v) \dots (1 - P_i) \dots (1 - P_{v'}) \dots P_K \}}{C_U + (C_{v,r} + C_{v',r} + \dots)} \dots \dots \dots (9)$$

(註 :  $d_{v,r}, d_{v',r}, \dots : d_U$  의 先行工程代案  
 $C_{v,r}, C_{v',r}, \dots : d_U$  의 先行工程代案에 投入費用임)

이때 單一改善代案과 先行代案을 갖는 改善代案의 設定 및 確定에 대한 比較는 重複設計問題의 發見的 技法原則에 本 研究에서 考慮한 事項들 即 서로 다른 不良減少率, 서로 다른 費用 및 先行工程改善代案의 概念을 導入하여 解決할 수 있다.

以上과 같이 여러 項目 即  $C_U, \tau_U, E_U$  및  $F_U$  로 計算되는 工程改善代案들의 改善確定段階는 다음의 節次에 따라 決定된다.

[段階 0] 各 工程의 改善代案에 대하여  $E_U$  를 計算, 比較함으로써 큰  $E_U$  값을 갖는 代案부터  $j=1, 2, \dots, m$  를 附與한다.

[段階 1] 現在  $K$  個의 改善考慮代案中 制約式을 違背하는 代案은 除外시키고, 制約式을 滿足하는 次順位の  $E_U$  값을 갖는 代案으로 交替시킨다.

[段階 2]  $K$  個의 改善考慮對象代案의  $F_U$  를 計算한다. 先行工程이 있는 代案에 대하여는  $F_U(d_{v,r}, d_{v',r}, \dots)$  의 (8)式에 따라 計算한다.

[段階 3] 가장 높은  $F_U$  혹은  $F_U(d_{v,r}, d_{v',r}, \dots)$  를 갖는 代案을 改善代案으로 確定시키고, 現在  $d_U$  를  $d_{U+1}$  로 修正하며, 새로운 工程良好率  $P_i$  를 計算하여 [段階 1]로 간다.

但,  $d_{U+1}$  代案이 他工程의 先行工程으로서 이미 改善確定된 境遇에는 次順位の  $E_U$  값을 갖는  $d_{U+a}$  代案으로 代替시킨다( $a=2, 3, 4, \dots$ ).

工程改善中止는 모든 代案이 改善 또는 考慮對象에서 除外로 確定되었을 때 發生하며, 이때가 全體工程不良率을 最小化시키는 改善政策이다.

## V. 計算例

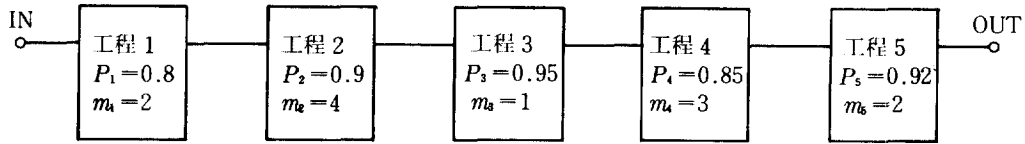
本研究에서 構想한 모델(Model)의 具體的인 構造와 그 計算過程을 다음의 例題로 說明한다.

이 例題는 簡單하면서도 시스템상에서 考慮되어야 할 特性을 包含하고 있는 集約的인 것이

다. 따라서 시스템의 規模가 큰 問題에 대하여도 同一한 方法으로 簡單히 擴張될 수 있다.

### 5.1 例題의 構成

例題는 다음의 <그림 5-1> 및 <表 5-1> 와 같이 構成되어 있다.



<그림 5-1> 工程의 構成

<表 5-1> 各 工程에 따른 改善代案 및 先行代案  
(單位 :  $r_U = \%$ ,  $C_U = 10,000$ )

工程 1	工程 2	工程 3	工程 4	工程 5
$r = 25$ $C = 12$	$r = 35$ $C = 22$	$r = 28$ $C = 37$	$r = 42$ $C = 150$	$r = 12$ $C = 19$
$r = 32$ $C = 31$	$r = 18$ $C = 13$	$r = 18$ $C = 46$	$r = 18$ $C = 12$	$r = 27$ $C = 31$
	$r = 20$ $C = 16$		$r = 12$ $C = 39$	
	$r = 12$ $C = 9$			

上記 工程代案들을  $E_U$ 에 의하여 再配置하면 다음의 <表 5-2>와 같다.

<表 5-2>  $E_U$ 에 의한 工程改善代案의 再配置

工程 1	工程 2	工程 3	工程 4	工程 5
$d_{11}$ $E_{11}=2.08$ $r_{11}=25$ $C_{11}=12$	$d_{21}$ $E_{21}=1.59$ $r_{21}=35$ $C_{21}=22$	$d_{31}$ $E_{31}=0.76$ $r_{31}=28$ $C_{31}=37$	$d_{41}$ $E_{41}=0.39$ $r_{41}=18$ $C_{41}=46$	$d_{51}$ $E_{51}=0.87$ $r_{51}=27$ $C_{51}=31$
$d_{12}$ $E_{12}=1.03$ $r_{12}=32$ $C_{12}=31$	$d_{22}$ $E_{22}=1.38$ $r_{22}=18$ $C_{22}=13$		$d_{42}$ $E_{42}=0.30$ $r_{42}=12$ $C_{42}=39$	$d_{52}$ $E_{52}=0.63$ $r_{52}=12$ $C_{52}=19$
	$d_{23}$ $E_{23}=1.33$ $r_{23}=12$ $C_{23}=9$		$d_{43}$ $E_{43}=0.28$ $r_{43}=42$ $C_{43}=150$	
	$d_{24}$ $E_{24}=1.25$ $r_{24}=20$ $C_{24}=16$			

( $d_{41}$ 代案의 先行代案 :  $d_{11}, d_{22}$ )  
( $d_{52}$ 代案의 先行代案 :  $d_{42}$ )

따라서 本 例題의 構造는 다음과 같다.

$$K = 5$$

$$m_1 = 2, m_2 = 4, m_3 = 1, m_4 = 3, m_5 = 2$$

$$C_T = 100$$

$d_{ij}$	O X B
B	
$F_{ij}$	

O : 改善確定符号  
 X : 制約式違背符号  
 B : 再考慮符号

$$\frac{\Delta Q_s}{Q_s} = \frac{10.7}{46.5} \times 100 = 23.01 (\%)$$

이다.

〈表 5-3〉  $F_{ij}$ 에 의한 最適改善政策 計算

工程 1	工程 2	工程 3	工程 4	工程 5	$C_T - \sum_{i=1}^k C_i$
$d_{11}$ O 0.8 0.279	$d_{21}$ B 0.9 0.095	$d_{31}$ B 0.95 0.021	$d_{41}$ O $d_{11}$ $d_{22}$ 0.85 0.299	$d_{51}$ B 0.92 0.041	100
$d_{12}$ X 0.85	$d_{21}$ O 0.918 0.088	$d_{31}$ X 0.95	$d_{42}$ X 0.913	$d_{51}$ X 0.92	29
			$d_{41}$ X 0.913	$d_{52}$ B 0.92 0.034	
	$d_{23}$ X 0.947			$d_{52}$ X 0.92	7
	$d_{24}$ X 0.947				

따라서 100萬원의 費用制約下에서 現工程의 最適工程改善政策은  $d_{11}$ ,  $d_{21}$ ,  $d_{22}$ ,  $d_{41}$ 의 改善代案을 採擇하는 것이며, 이때 全体工程不良減少率  $\Delta Q_s = 46.5 - 35.8 = 10.7(\%)$ 가 된다.

그러므로 原工程不良率의 減少效果는 ; -

## VI. 結 論

製品の 品質을 向上시키기 위하여는 TQC的인 活動에 따라 計劃段階, 遂行段階, 檢査段階, 維持補修段階 등에서 全社的인 努力이 必要하게 된다. 特히 PL時代가 到來하고 있는 現在의 狀況을 考慮할 때에는 보다 더 品質管理活動을 強化하여 高度의 品質을 維持하여야 한다.

本 研究에서는 이러한 前提條件下에서 特히 遂行段階에서 各 工程의 不良率을 考慮하여 [失敗費用 - (評價費用 + 豫防費用)]의 差額 만큼을 주어진 限定된 費用이라고 생각하고, 그 費用으로 品質을 向上시켜 結局은 失敗費用을 줄이고자 하는데 그 目的이 있다.

本 研究에서는 遂行段階에 대하여만 不良率을 줄이고자 하는 한 方法을 提示하였으나 보다 効率的으로 全体의 不良要因을 除去하기 위하여는 모든 段階에서 相互 關聯的인 對策이 必要하다고 하겠다.

## 参 考 文 献

1. 黄義徹 (1986), "PL 對應策에 대한 考察", 工業經營學會誌, 第 9 卷, 第 14 輯, 35~43.
2. Barlow, R. E., Proschan, F., (1965), "*Mathematical Theory of Reliability*", John Wiley and Sons, Inc..
3. Juran, J. M., Gryna, Jr. F. M., (1980), "*Quality Planning and Analysis*", McGraw-Hill Co..
4. Mclean, M. F., (1956), "*Some Reliability Aspects of System Design*", IRE Trans. Reliability, Qual, Contr., Vol. RQC-8, 7-35, Sept.
5. Proschan, F., Bray, T. A., (1965), "*Optimum Redundancy Under Multiple Constraints*", Oper. Res. Vol. 13, 800-814, Sept..
6. Schneidernare, A. M., (1986), "*Optimum Quality Costs and Zero Defects, Are They Contradictory Concepts?*", Quality Progress, Nov., 28-31.
7. Tillman, F. A., Hwang, C. L., Fan, L. T., Balbale, S. A., (1972), "*Systems Reliability Subject to Multiple Nonlinear Constraints*", IEEE Trans. Reliability, 60-62, Feb..