

# 最適品質設計을 위한 費用, 品質 製造時間의 綜合的 最適化方案

李 相 鎔

建國大學校工科大学 工業經營學科

(1976. 2 受理)

## An Algorithm for Estimating Time-cost-Quality Trade-offs in the Selection of the optimal Design Specifications

### Abstract

In the quality planning phase, the techniques for measuring cost-quality trade-offs are used for the selection of the optimal design specifications when design flexibility permits significant trade-offs to be made.

But the product quality is not only depends on the developing cost, but also the time for developing that product.

Therefore it is important to seek a methodology for estimating time-cost-quality trade-offs associated with the quality planning projects.

This paper is aimed to find a methodology of time-cost-quality trade-offs and to develop a proper algorithm.

### 1. 品質, 費用, 時間의 綜合的 最適化의 必要性

品質管理시스템은 顧客의 要求를 充足시킬수 있는 (1) 製品의 品質目標을 設定하고 (2) 이를 設計·製造하며 (3) 製造된(또는 製造되고 있는) 製品이 定해진 品質標準을 充足시키고 있는지를 測定·分析하고 (4) 定해진 品質標準을 達成하도록 矯正行爲를 行하며 (5) 나아가서는 더 좋은 品質의 製品을 製造하게 하는 生産管理시스템의 하나의 副次시스템(Subsystem)이다.

이러한 品質管理시스템의 機能別 블록線圖(Block diagram)을 그려보면 다음의 (그림 1)과 같으며 品質計劃과 品質統制의 2개의 副次시스템으로 大分하여 생각할 수 있다.

品質計劃시스템에서는 (그림 1)에서 볼 수 있는 바

와 같이 (1) 品質政策과 目標의 設定 (2) 費用 對 品質分析 (3) 製品設計 (4) 品質評價 등을 行한다.

品質政策과 目標의 設定은 需要者の 品質要求와 生産者의 生産能力을 比較分析하여 消費者의 慾求를 最大限으로 充足시키고 또한 販賣市場을 席卷할 수 있는 自社製品의 品質政策과 目標을 設定하는 것으로 이것은 設計機能과 密接한 關係를 가진다.

費用 對 品質分析은 設定된 品質目標을 達成할 수 있는 製品의 品質特性(Quality Requirements)과 이러한 品質特性을 갖는 製品을 開發하는데 所要되는 費用과의 知互關係를 分析하여 最少의 費用으로 製造할 수 있는 製品의 最適設計仕樣(Design Specification)을 決定하는 것이다.

製品의 最適設計仕樣이 決定되면 이에 따라 製品이 設計되고 試作品이 製造된다. 그리고 製品의 最適設計

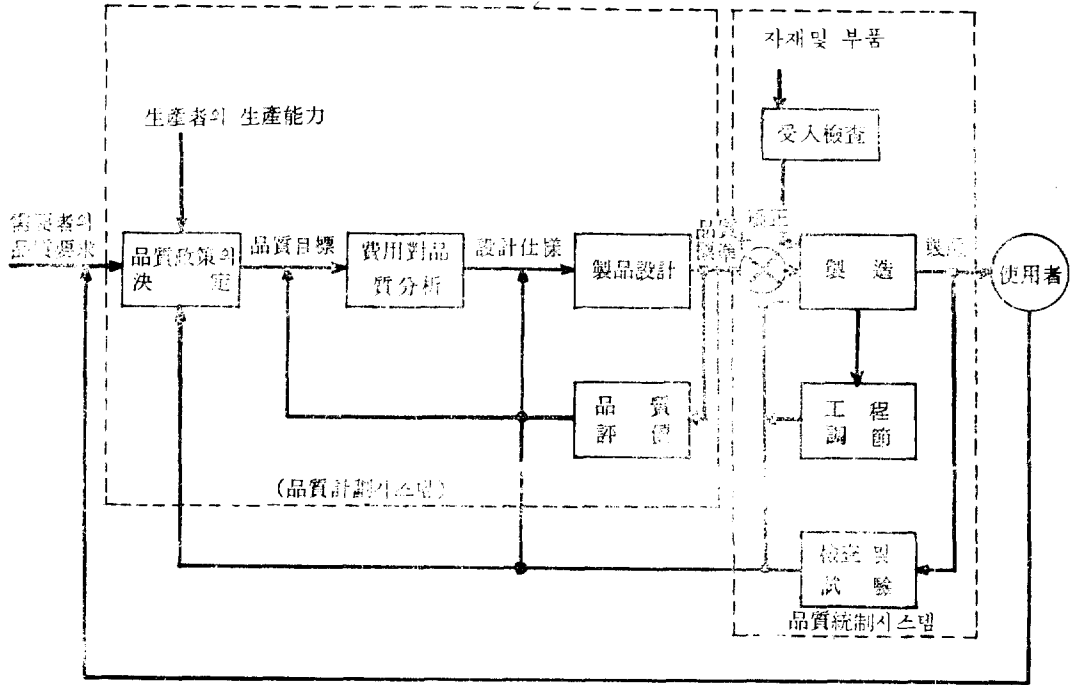


그림 1. 品質管理의 機能別 목록線圖

仕様に 따라 試作된 製品에 對하여 그의 性能과 壽命等 品質特性이 評價되고 이에 依據 製品의 設計仕様が 補完되어 終局에는 品質標準이 確定된다.

以上과 같이 하여 品質標準이 決定되면 製品이 製造에 들어가게 되며 따라서 (1) 析品の 製造에 使用되는 原資材와 部品에 對한 受入検査 (2) 製造工程의 調節 (또는 工程制御) (3) 完製品에 對한 最終検査 및 試驗 등의 品質統制活動이 行하여 지게 된다.

以上 品質管理시스템의 機能을 간략하게 살펴보았으나 本論文에서 다룰 主內容은 品質管理시스템의 機能中 最適設計仕장을 決定하는데 使用하는 費用對品質分析에 關한 것이다.

그런데 이와같은 費用對品質分析은 費用과 品質特性에 關한 交易關係만을 分析하는 것으로서 時間에 對한 交易關係의 分析은 行하지 않는다.

그러나 生産시스템은 質(또는 性能)이 좋은 製品을 되도록 싼값에 그리고 쉽고 빠르게 製造 할 수 있도록 製品을 設計하고 이를 製造하고자 하는 것을 그의 目標로 하고 있기 때문에 品質 費用 時間의 3者를 考慮하지 않으면 아니된다 하지만 3者의 綜合的인 分析方法의 未備로 지금까지는 費用對品質分析만이 實施되었던 것이다.

따라서 本論文에서는 費用, 品質(또는 性能), 時間의 3個要素를 考慮한 綜合的 分析모형을 定立하고 이의 最適化를 꾀하는 方法을 모색하여 보고자 한다.

## 2. 費用對品質特性의 交易分析을 위한 設計모형

費用對品質分析은 最少의 費用으로 주어진 品質特性을 滿足시키는 製品의 最適設計仕장을 決定하는데 使用된다. 여기서 品質特性(또는 性能)은 例를 들어 自動車인 경우 速度, 走行距離, 有負荷重等과 같은 것을 말하며 設計仕장은 엔진推力(Thrust), 車體의 크기等과 같은 것을 말한다.

그런데 이와같은 品質特性, 設計仕장, 開發時間 및 開發費用間에는 一般的으로 다음과 같은 特性과 關係를 갖게 된다.

(1) 製品의 品質特性은 그 製品을 構成하는 構成要素(Component)의 設計仕장과 函數關係를 갖는다. 即, 自動車의 速度는 엔진의 推力과 車體의 크기에 따라 달라진다.

(2) 構成要素의 設計仕장間에는 相互密接한 相互關係를 가진다. 例를 들면 自動車의 엔진推력을 크게 하

기 위하여 大型의 엔진을 채택하면 車體의 크기나 무게는 커지게 된다.

(3) 製品의 開發과 製造를 위한 諸般法動(Activity)間에는 時間的 先後關係(Time Precedence Relationship)가 있다.

(4) 製品의 開發과 製造費用은 一樣하게(Uniqueiy) 決定할 수 없다. 即 어떤 設計仕樣을 채택하느냐 또는 어떤 日程計劃(Schedule)에 따르느냐에 따라 그 費用이 달라진다.

이제 以上과 같은 關係를 가지고 있는 品質特性和 費用 및 開發時間의 關係를 綜合的으로 分析하기 前에 우선 品質特性和 費用과의 關係를 分析하기 위한 設計 모델(Design model)을 定立하여 보기로 한다.

여기서 設計모델이라 함은 (1) 製品의 定해진 品質特性和 設計仕樣과의 關係 (2) 設計仕樣間的 相互關係 (3) 設計仕樣的 許容範圍(Feasible Range) 등을 規定한 一連의 線形 또는 非線形方程式의 集合을 말한다.

예를 들어 만일 開發한 製品을 自動車라고 假定하고 이의 品質特性으로서 速度와 走行距離 2個만을 考慮하며, 速度는 28(單位는 省略한다)以上이고 走行距離는 8以上이 되어야 한다고 假定하자.

그리고 이러한 品質特성을 左右하는 重要한 設計仕樣으로는 車體의 크기  $S_1$ 과 엔진의 推力  $S_2$ , 2個만을 考慮한다고 假定하자.

다음으로 品質特性인 速度와 走行距離는 設計仕樣  $S_1$ 과  $S_2$ 에 依해 다음과 같은 關係式으로 決定된다고 假定하자.

$$\begin{cases} 4S_1 + 7S_2 \geq 28 \\ 2S_1 + 1S_2 \geq 8 \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

그리고 設計仕樣  $S_1$ 과  $S_2$ 는 다음과 같은 相互關係(即 車體의 크기에 比하여 엔진의 크기가 너무 커서는 안 된다.)를 가지고 있다고 하자.

$$2 + 2S_1 \geq S_2 \dots\dots\dots(2)$$

마지막으로 設計仕樣  $S_1$ 과  $S_2$ 의 許容範圍는 다음과 같다고 假定하자.

$$\begin{cases} 2 \leq S_1 \leq 6 \\ 1 \leq S_2 \leq 7 \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

以上은 自動車의 定해진 品質特性和 設計仕樣과의 關係를 規定한 數學모델(Mathematical model)이다.

그러나 以上의 品質特性和 이러한 品質特성을 갖는 設計仕樣的 製品을 開發하는데 所要되는 費用과의 關係를 分析하기 위해서는 設計仕樣과 費用과의 關係를 規定한 目的函數(Objective Function)가 있어야 한다.

따라서 設計仕樣  $S=(S_1, S_2)$ 을 充足시키는 製品을 開發하는데 所要되는 費用을  $\phi(S)$ 라 하고 이것은  $S_1$  및

$S_2$ 와 다음과 같은 函數關係를 가지고 있다고 假定하자

$$\phi(S) = 4S_1 + 5S_2 \dots\dots\dots(4)$$

以上을 綜合하면 最少의 費用으로 주어진 自動車의 品質特성을 滿足시키는 最適設計仕樣을 決定하기 위한 設計모델은 다음과 같은 線形計劃(Linear Programming)모델이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{極少化 } \phi(S) = 4S_1 + 5S_2 \\ & \text{制限式 ; } \begin{cases} 4S_1 + 7S_2 \geq 28 \\ 2S_1 + S_2 \geq 8 \\ 2S_1 - S_2 \geq -2 \\ S_1 \geq 2 \\ S_2 \geq 1 \\ S_1 \leq 6 \\ S_2 \leq 7 \end{cases} \end{aligned}$$

一般的으로 製品의 品質特性和 이러한 品質特성을 決定하는 設計仕樣은 위의 例와 같이 2個만이 아니라 여러개가 됨으로 이것은 다음과 같이 「벡터」로 取扱할 수 있다. 即  $S=(S_1, S_2, \dots, S_n)$ 을 設計仕樣的 벡터라 하고,  $P=(P_1, P_2, \dots, P_r)$ 을 品質特性的 벡터라고 하면, 그리고  $U_j(S)$ 와  $V_j(S)$ 을 벡터  $S$ 의 函數라 하면 費用對 品質分析을 위한 設計모델의 一般形態는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{極少化 } \phi(S) \\ & \text{制限式 : } \begin{cases} U_j(S) - P_j \geq 0, j=1, \dots, r \\ V_j(S) \geq 0, j=1, \dots, m-r \end{cases} \end{aligned}$$

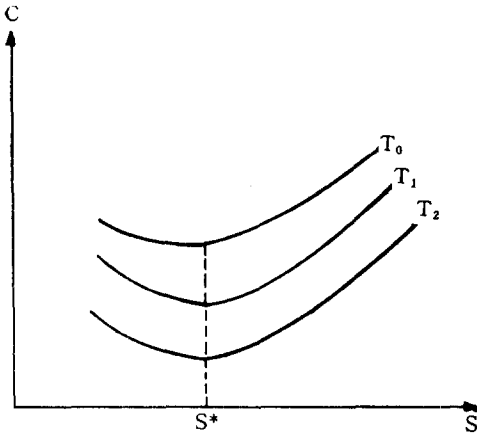
但  $m$ 는 制限式的 總數

以上과 같이 設計모델이 定立되면 設計모델의 解를 求하여 最適設計仕樣 即 開發費用을 最少로 하는  $S_1$ 과  $S_2$ 의 最適值를 決定하여야 한다. 위의 設計모델의 경우 이것은 線形計劃問題가 되므로 Simplex法을 使用하면 쉽게 그의 最適解를 求할 수 있다.

그러나 여기에서 企圖하는 目的은 費用과 品質特性和의 相互關係를 分析하여 最適設計仕樣을 決定하는 것이다. 따라서 品質特성을 許容範圍안에서 여러가지로 變化시키면서 品質特性的의 變化에 따른 最少費用의 變化가 어떻게 되는가 하는 費用對 品質特性的의 交易分析(Cost-Quality Trade-off Analysis)을 實施하여야 한다.

그러므로 이와같은 費用對 品質特性的의 交易分析을 實施하면 (그림 2)와 같은 品質特性에 對한 費用曲線을 얻을 수 있고 最少의 費用으로 開發할 수 있는 品質特性值를 求할 수 있다. 勿論 이와같은 交易分析時에는 品質特性(위 例의 경우 速度와 走行距離)을 除外한 其他의 모든 變數는 原來대로 一定하게 두어야 한다.

以上의 費用對 品質特性的의 交易分析을 通하여 만일 品質特性的의 變化가 不可避하다면 이에 따라 設計仕樣



(그림 2)

도 달라지게 되며 따라서 개발비용도 달라지게 된다.

事實 設計모델에서의 目的函數  $\varphi(S)$ 는 設計仕様  $S$ 만의 函數가 아니라 그 設計仕様에 따라 製品을 開發하는데 所要되는 時間  $T$ 의 函數이기도 하다. 따라서 設計仕様  $S$ 가 달라지면 目的函數의 式도 달라지게 된다.

그러므로 費用 對 品質特性分析의 結果에 依據 設計仕様の 變化에 따른 效果의 變化를 分析하는 것도 兼하여 必要하다.

이러한 2가지의 分析을 通하여 結局에는 最少의 費用으로 開發할 수 있는 製品의 設計仕様が 決定되지만 여기에는 開發이나 製造에 所要되는 時間을 考慮하지 않으면 아니된다. 왜냐하면 品質特性이나 設計仕様に 따라 製品의 開發과 製造時間이 달라지며 또한 開發 및 製造時間이 달라지면 開發費用도 달라지게 되기 때문이다.

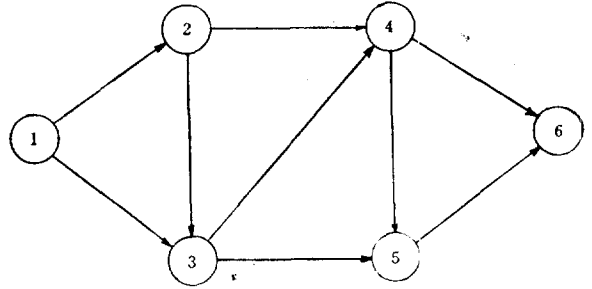
### 3. 費用 對 開發時間의 交易分析을 위한 日程모델

Project에 對한 日程管理를 效果의으로 實施하기 위한 手法으로서 現在까지 開發된것중 第一 좋은 것은 PERT와 CPM이다.

PERT (Program Evaluation & Review Technique) 와 CPM (Critical Path Method)은 手法의 名稱만 相異할 뿐이지 手法의 內容이나 方法에 있어서는 두드러진 差異가 없다. 다만 다른 點이 있다면 PERT는 要素作業(Activity 또는 Job)의 時間을 樂觀值(Optimistic time), 悲觀值(Pessimistic time) 및 最빈치(Most likely time)의 3個로 推定하여 使用하고, CPM은 單

一值를 使用하고 있다는 點이다.

PERT와 CPM은 어떤 Project를 要素作業의 組合으로 構成되는 Network로 表示한 것이며, Network는 다음의 (그림 3)과 같이 2個의 基本要素 即 Event(그림에서 圓)와 Activity(그림에서 화살표)로 構成된다.



(그림 3)

어떤 Project를 이와같은 要素作業의 Network로 構成하여 Project의 日程을 計劃하고 管理하는 方法을 PERT 또는 CPM이라 하며, 이와 같은 方法에 依해 日程管理를 實施하면 다음과 같은 여러가지의 利得을 얻을 수 있다.

(1) Project의 內容이 明確해 지며 一目瞭然하게 Project를 把握할 수 있다. 왜냐하면 PERT와 CPM은 從來의 Gantt Chart와 같이 하여야 할 要素作業들을 列擧만 하는 것이 아니라 要素作業間의 相互關係를 究明해서 그의 時間的 先後關係(Time Precedence Relationship)을 明確하게 맺어 놓았기 때문이다.

(2) Network上的 餘裕가 있는 作業과 없는 作業을 미리 알고 있기 때문에 Project의 進行狀況을 把握하고 臨機應變의 對策을 講究하기가 容易하다.

(3) Network上에서 Critical Path(最長經路 即 餘裕가 零인 要素作業의 經路)를 미리 알고 있기 때문에 Project의 完了豫定日을 短縮할 必要가 있을 때는 費用 對 時間의 交易分析(Time-Cost Trade-offs Analysis)을 通하여 Project完了日을 短縮할 수 있다.

以上과 같이 PERT와 CPM은 Project의 日程管理에 有效한 여러가지의 利點을 가지고 있기 때문에 이것을 費用 對 開發時間의 交易分析을 위한 日程모델(Schedule model)로 使用할 수 있다.

따라서 이제 費用 對 開發時間의 關係를 分析하기 위한 日程모델을 CPM의 概念에 立脚하여 定立해 보기로 하겠다.

어떤 製品을 開發하는데 所要되는 全體費用은 그 製品을 開發하기 위해서 해야할 諸 要素作業의 費用의

와이며 다음과 같은 式으로 表現할 수 있다.

$$\text{全體開發費} = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 A는 製品을 開發하기 위해 해야할 모든 要素 作業(i, j)의 集合 即 A={ (i, j)이며, C<sub>ij</sub>는 各要素 作業(i, j)의 費用이다.

그런데 어떤 要素作業(i, j)를 遂行하는데 所要되는 費用은 要素作業을 完了하는데 所要되는 時間 t<sub>ij</sub>의 函數일 뿐만 아니라 作業의 難易度를 決定하는 設計仕樣 S의 函數이기도 하다. 따라서 이것은 다음과 같은 式으로 表現할 수 있다.

$$C_{ij} = f_{ij}(S; t_{ij}) \text{ for all } (i, j) \in A \dots\dots\dots(2)$$

그러나 만일 設計仕樣 S가 設計모델의 分析結果 어떠한 一定值로 決定되었다고 假定하면 이것은 t<sub>ij</sub>만의 函數로 생각할 수 있다. 따라서 開發費를 t<sub>ij</sub>만의 函數라 하고 이때의 全體開發費를 φ(T)라 하면

$$\varphi(T) = \sum_{(i,j) \in A} f_{ij}(S; t_{ij}) \dots\dots\dots(3)$$

가 된다. 여기서 T는 모든 要素作業時間의 벡터이다.

따라서 (3)式을 最少로 하는 t<sub>ij</sub>을 求하는 것이 全體 開發費를 最少로 하는 開發日程을 決定하는 것이 된다 그런데 (3)의 目的函數를 極少化하는 t<sub>ij</sub>을 求하기 위해서는 다음과 같은 CPM手法上的 制限(Constraints)을 考慮해야 된다.

- (1) 要素作業의 時間的 先後關係(Time Precedence Relationship)
- (2) 開發完了時限(또는 納期)

이제 開發完了時限을 d라 하고 이들 制限을 數式으로 表現하면 다음과 같다.

$$\left. \begin{matrix} t_j - (t_i + t_{ij}) \geq 0 \\ t_n - t_1 \leq d \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 n은 最終 Event의 番號이고 1은 始發 Event의 番號를 뜻한다.

以上을 綜合하면 開發費用과 開發時間의 交易分析을 위한 日程모델은 다음과 같이 된다.

$$\text{極少化 } \varphi(T) = \sum_{(i,j) \in A} f_{ij}(S; t_{ij})$$

$$\text{制限式: } \begin{cases} t_j - (t_i + t_{ij}) \geq 0 \\ t_n - t_1 \leq d \end{cases}$$

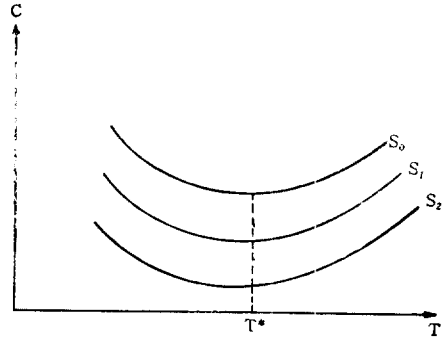
위의 日程모델에서 要素作業의 時間的 先後關係를 規定한 制限式은 餘裕變數(Slack Variable) S<sub>ij</sub>을 導入 하므로써 다음과 같은 等式으로 만들 수 있다.

$$t_j - (t_i + t_{ij}) + S_{ij} = 0$$

여기서 S<sub>ij</sub>는 要素作業(i, j)에 配當되는 餘裕時間이 된다. 그러므로 S<sub>ij</sub>=0인 要素作業은 Critical Path上的의 要素作業이 되고 그렇지 않으면 Critical Path가 아닌 經路의 要素作業이 된다. 그리고 이것이 바로 CPM

의 手法上的의 要諦가 되는 것이다.

위의 日程모델을 開發完了時限 d를 變化시키면서 費用 d의 變化에 따른 開發費用 φ(T)의 變化를 알 수 있다. 即(그림 4)와 같은 費用 對 時間의 交易分析(Cost Time Trade-off Analysis)을 實施할 수 있다.



(그림 4)

(그림 4)에서 볼 수 있는 바와 같이 開發完了時限에 對한 制限式

$$t_n - t_1 \leq d$$

에서 d를 變化시키면서 日程모델을 풀면, d의 값 (d의 값은 設計仕樣 S에 따라 달라진다)에 따라 全體開發費 φ(T)의 값이 어떻게 變化하는가 하는 것을 알 수 있다.

따라서 開發費用 φ(T)를 最少로 하는 最適開發完了 時間 d를 決定할 수 있고 또한 이에 따라 各要素作業 時間 t<sub>ij</sub>의 最適值를 알 수 있다.

#### 4. 費用, 品質, 時間의 綜合的 最適化 方案

前述한 바와 같이 設計모델에 依해서는 費用 對 品質特性(또는 設計仕樣)과의 交易分析을 行할 수 있고, 日程모델에 依해서는 費用 對 時間과의 交易分析을 行할 수 있다. 따라서 이 2가지 모델의 交易分析을 合理的으로 組合하면 結局 費用, 品質, 時間의 3者를 綜合한 最適化 方案을 講究할 수 있다.

그런데 設計모델은 日程모델의 最適解로서 最適開發 日程이 決定되었다는 前提下에 그의 目的函數를 決定할 수 있고, 또한 日程모델은 設計모델의 最適解로서 最適設計仕樣이 決定되었다는 前提下에 그의 目的函數를 決定할 수 있었다.

그러나 設計모델에 있어서나 日程모델에 있어서나 目的函數는 全體開發費 C이며, 全體開發費 C는 設計 모델에서는 設計仕樣 S의 函數이었고, 日程모델에 있

어서는 要素作業時間  $T$ 의 函數이었다.

따라서 全體開發費  $C$ 는 다음과 같이 表現할 수 있으며 이것은 卽 開發費用, 品質特性(또는 設計仕樣) 및 開發時間의 3 者를 綜合하여 最適化하고자 하는 目的 函數가 된다.

$$C=f(S, T) \dots\dots\dots(1)$$

그러나 만일 日程모델에서  $T$ 가 어떤 값으로 決定되었다면, 그리고 이 값을 위의 目的函數에 代入하면 目的 函數는 다음과 같이 된다.

$$C=\varphi(S) \dots\dots\dots(2)$$

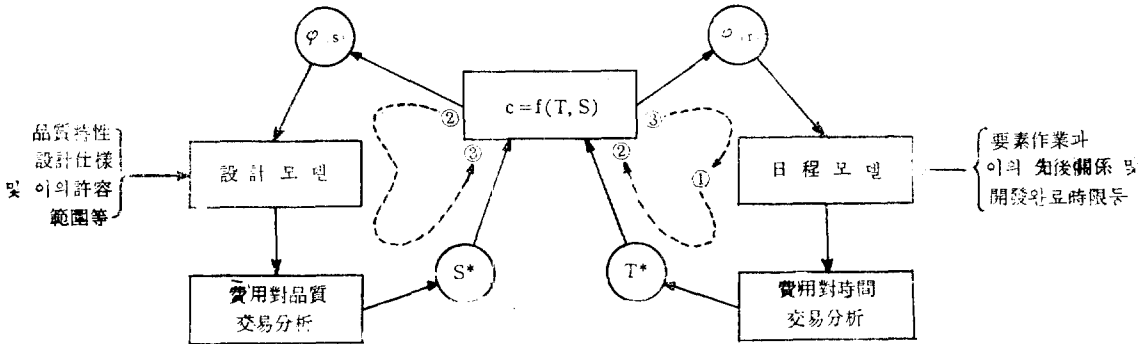
卽 目的函數  $C$ 는 設計仕樣  $S$ 만의 函數가 된다. 따라서 (2)의 目的函數를 極少化하는  $S$ 를 求하고 이 값을 다시 (1)에 代入하면 目的函數는 다음과 같이  $T$ 만

의 函數가 된다.

$$C=\varphi(T) \dots\dots\dots(3)$$

이와 같이 日程모델의 最適解를 設計모델에 代入하여 設計모델의 最適解를 求하고, 또한 이 값을 日程모델에 代入하여 日程모델의 最適解를 求하고 하는 式으로 反復的인 演算(Iterative Algorithm)을 할 수 있다. 그러므로 이와 같은 反復演算을 行하면 決局 費用, 品質特性 및 時間의 3 者를 綜合한 全體의 最適化를 期할 수 있게 된다.

이제 이와 같은 反復演算의 過程을 圖示하면 다음의 (그림 5)와 같다. 여기서 點線화살표는 反復演算의 過程을 表示한다.



(그림 5)

그리고 以上の 反復演算의 結果 設計모델에서 얻을 수 있는 設計仕樣 對 費用의 交易分析曲線은 앞의 (그림 2)와 같은 形態가 되며 또한 日程모델에서 얻을 수 있는 時間 對 費用의 交易分析曲線은 앞의 (그림 4)와 같은 形態가 됨을 想定할 수 있다.

### 5. 結 論

品質管理시스템에서는 最適品質設計를 하기 위해서 費用 對 品質特性의 交易分析을 實施하고 있다.

그러나 最少의 費用으로 製造할 수 있는 製品의 最適設計仕樣을 決定하기 위해서는 費用과 品質特性 뿐만 아니라 製品의 開發과 製造에 所要되는 時間도 考慮하는 것이 必要하다. 왜냐하면 製品의 品質은 費用과의 函數인 同時에 時間과의 函數이기도 하기 때문이다

그러나 지금까지는 費用, 品質, 時間의 3 者의 綜合的인 分析方法의 未備로 費用 對 品質對性的의 交易分析만이 實施되었다.

따라서 本論文에서는 費用 對 品質特性의 交易分析과 費用 對 時間의 交易分析을 組合하여 費用, 品質, 時間의 3 個要素를 考慮한 綜合的인 分析모델을 定立하고 이의 最適化 方案을 모색하여 보았다.

그 結果 이것은 設計모델에 依한 費用 對 品質特性의 交易分析과 日程모델에 依한 費用 對 時間의 交易分析을 反復的인 演算過程(Iterative Algorithm)을 통하여 行하므로써 費用, 品質, 時間의 3 者를 綜合한 全體의 最適化를 期할 수 있음을 알 수 있었다.

勿論 여기에서 提示한 費用, 品質, 時間의 3 者를 組合한 最適化의 方法이 단 한번만의 演算으로 最適解를 求하지 못하고 反復的인 演算過程을 거쳐야 한다는

點에서 不便이 없지 않다. 따라서 더 効果的인 演算方法의 開發을 위한 研究가 앞으로 繼續되어야 하리라 고 본다.

參 考 文 獻

1. Quade and Boucher, Systems Analysis and Policy Planning, American Elsevier Publishing Co., 1968.
2. Harold Chestnut, Systems Engineering Methods, John Wiley & Sons, 1967.
3. Bernard H. Rudwick, Systems Analysis for Effective Planning, John Wiley & Sons, 1969.
4. Harold Chestnut, Systems Engineering Tools, John Wiley & Sons, 1965.
5. E.G. Kirkpatrick, Quality Control for Managers and Engineers, John Wiley & Sons, 1970.
6. E.L. Grant, Statistical Quality Control, McGraw-Hill, 1964.
7. B.L. Hansen, Quality Control; Theory and Applications, Prentice-Hall, 1966.
8. J.E. Kelley, "The Critical Path Method: Resource Planning and Scheduling," Industrial Scheduling, Muth and Thompson, Editors, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1963.