單一施設에 의한 多品種少量生產의 生產計劃에 관한 研究
(A Study on the Scheduling of Multiple Products Production through a single facility)

郭 秀 一*
李 玳 洙**
元 栄 鍾***

Abstract

There are many cases of production processes which intermittently produce several different kinds of products for stock through one set of physical facility. In this case, an important question is what size of production run should be produced once we do set-up for a product in order to minimize the total cost, that is, the sum of the set-up, carrying, and stock-out costs. This problem is used to be called scheduling of multiple products through a single facility in the production management field.

Despite the very common occurrence of this type of production process, no one has yet devised a method for determining the optimal production schedule.

The purpose of this study is to develop quantitative analytical models which can be used practically and give us rational production schedules. The study is to show improved models with application to a can-manufacturing plant.

In this thesis the economic production quantity(EPQ)model was used as a basic model to develop quantitative analytical models for this scheduling problem and two cases, one with stock-out cost, the other without stock-out cost, were taken into consideration.

The first analytical model was developed for the scheduling of m products production through a single facility. In this model we calculate No, the optimal number of production runs per year, minimizing the total annual cost above all. Next we calculate No_i, the optimal number of production runs per year, for each product as if it were an independent product without the facility-sharing constraint. Then, for products in which No_i is significantly different from No, some manipulation of the schedule can be made by trial and error in order to try to fit the product into the basic (No schedule either more or less frequently as dictated by) No_i. But this trial and error schedule is thought of inefficient.

The second analytical model was developed by reinterpretation of the calculating process of the economic production quantity model.

In this model we obtained two relationships, one of which is the relationship between optimal number of set-ups for the ith item and optimal total number of set-ups, the other is the relationship

* 서울大學校 經營大學
** 東洋物產企業株式會社
*** 韓國航空大學

between optimal average inventory investment for the ith item and optimal total average inventory investment. From these relationships we can determine how much average inventory investment per year would be required if a rational policy based on m No set-ups per year for m products were followed and, alternatively, how many set-ups per year would be required if a rational policy were followed which required an established total average inventory investment. We also learned the relationship between the number of set-ups and the average inventory investment takes the form of a hyperbola.

But, there is no reason to say that the first analytical model is superior to the second analytical model. It can be said that the first model is useful for a basic production schedule. On the other hand, the second model is efficient to get an improved production schedule, in a sense of reducing the total cost.

Another merit of the second model is that, unlike the first model where we have to know all the inventory costs for each product, we can obtain an improved production schedule with unknown inventory costs. The application of these quantitative analytical models to PoHang can-manufacturing plant shows this point.

I. 序　論

生產工程에 있어서 同一한 施設에서 여러 種類의 서로 다른 製品을 生產하는 경우 그 施設에서 한 製品을 生產하고 (난 후, 딴 製品을 生產하고) 있는 동안에는 먼저 生產한 製品의 在庫品을 貯藏하여 이 在庫品으로 그 製品에 대한 고객의 수요를 充足시키는 方式이 利用되는 경우가 많이 있다.

例를 들어서 精油工場이나 化學工場에서 2주일동안 한 製品만을 生產하면서 그 동안에 在庫品을 貯藏해 놓고 2주일이 지나고 나면 이 施設에서 다른 製品을 生產하게 되고 앞서 생산해 놓은 製品에 대한 販賣需要는 미리 저장해 놓은 在庫에 의해 調達하는 경우를 생각한다면, 다시 처음의 製品을 生產하게 되는 것은 數個月이 지난 후가 될것이다. 즉, 製品에 대한 需要量이 충분히 크지 못한 경우에는 이렇게 單一施設로 여러 製品을 생산하게 되는데, 이때 대두되는 問題는 特定製品을 생산하기 위하여 機械를 한번 생산가동준비(set-up)를 하면 그 製品을 얼마만큼 생산하여 놓고 다른 製品의 생산을 위해 다시 Set-up을 할 것인가 하는 問題이다. 이 경우 한번 생산준비를 하여 놓고 생산량을 적게하면 자주 Set-up을 하여야 되고, 이에 따라 많은 Set-up Cost가 들게 되며, 反面에 한번 Set-up을 하여 特定製品을 많이 生產하여 놓으면 Set-up은 자주 할 필요가 없으므로 Set-up Cost는 적게 들지만 이 完製品을 保管하는데 드는 비용은 커질 것이다. 이때 만약 생산하여 놓은 量이 고객의 수요를 전부 充足시키지 못한다면 Stockout-cost(在庫枯渴費用)도 발생할 것이다.

따라서 이와 같은 경우 問題의 촛점은 어느 제품을 生產하기 위하여 한 번 Set-up을 한 후에 얼마만큼의 생산을 하면 Set-up費用, 在庫保管費用 및 在庫枯渴費用이 最少가 되느냐 하는데 있다.

이와 같은 問題에 대해서 生產管理에서 오랫동안 硏究가 되어 왔지만 아직 最適解를 찾는 方法은 開發되지 못하였다.* 따라서 本 論文의 硏究目的은 單一施設에 의한 多品種生產問題에 대해서, 특히 在庫保管費用과 在庫枯渴費用을 品目別로 正確히 測定할 수 없는 狀況下에서, 企業에서 實際로 利用할 수 있는 合理的인 生產計劃을 樹立할 수 있는 計量的인 分析模型을 理論的으로 展開하여 實際로 適用해 봄으로써 그 有效性을 檢證하는데 있다.

II. 單一施設에 의한 多品種 少量生產計劃의 計量的 析分模型

2-1 在庫枯渴費用이 許容 안되는 경우

一般的 模型으로서 m個의 서로 다른 品目을 하나의 生產施設을 통하여 생산하는 경우를 생각한다면, 1년 동안에 발생하는 총 비용은 다음과 같이 쓸 수 있다.

* See: Richard A. Jonson, et al., "*Operations Management-a System Concept*", Houghton Mifflin Co., Boston, 1972, p. 376

總費用＝1年동안의 總 set-up 費用＋1年 동안 발생되는 在庫保管費用

이를 數式으로 표현하면,

$$TC=n\sum_{i=1}^{n} C_{Pi}+\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{m} C_{Hi}\,R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)$$

여기서

TC＝總費用

n＝特定製品의 1年동안의 生產回數

C_{pi}＝i 製品을 생산하기 위하여 드는 set-up 費用

C_{Hi}＝i 製品의 1年間 保管하는데 드는 在庫保管費用

R_i＝i 製品의 1年間 總需要

P_i＝i 製品의 日當 生產量

r_i＝i 製品의 日當 需要 또는 出庫量

m＝製品 種類의 數

위의 TC 式을 가지고 各 製品을 1年에 몇번 생산하면 總費用이 最少가 될 것인가를 보기 위하여 n으로 微分하면,

$$\frac{d(TC)}{dn}=\sum_{i=1}^{m} C_{Pi}-\frac{1}{2n^2}\sum_{i=1}^{m} C_{Hi}\,R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)=0$$

위의 式을 풀면 最適生產回數는, 이를 No라 하면,

$$No=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m} C_{Hi}\,R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2\sum_{i=1}^{m} C_{Pi}}}$$

가 되며, No를 TC式의 n에 代替하면 最適生產回數下의 總費用은,

$$TC_0=\sqrt{2\sum_{i=1}^{m} C_{Pi}\sum_{i=1}^{m} C_{Hi}\,R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

가 된다.

이와 같은 分析은 어디까지나 한 設備가 모든 製品을 最適生產回數인 No回만큼 生產해 낼 수 있는 充分한 生產能力을 가지고 있다는 것을 前提로 한 것이다.

그러나, 實際의 경우, 充分한 生產能力을 가지고 있지 않은 경우가 대부분이므로, 이 때에는 同一設備에서 여러 製品을 생산하는 경우 同一生產期間 동안 반드시 동일한 수의 稼動을 할 때의 計劃이 最適이 되지는 않는다. 그렇다고 하더라도 동일한 수의 稼動計劃은 유용한 計劃인 것이며, 實際의 경우, 最適의 計劃과 가장 接近한 計劃인 것이다. 다시 말하면, No의 값을 測定하는 것이 반드시 최선의 計劃方法은 아니고, 이것은 단지 우리가 一年에 同一한 수의 期間동안 여러 製品을 生產하는 경우에 가장 適切한 生產回數의 값을 구하는 方法이 된다.

最適의 計劃을 樹立하기 위한 方法은 사실상 存在하지 않기 때문에, 우리는 위에서 구한 No를 가지고, 각 제품에 대한 No_i를 구하여 No와 No_i를 比較함으로써, No_i가 No와 현저하게 다른 製品에 대해서는 No에 의해 樹立된 基本的인 計劃에 合致시키기 위한 試行錯誤法에 의한 操作을 함으로써, 總費用을 좀 더 減少시킬 수 있는 合理的인 計劃을 얻을 수가 있다.

이때, No_i는

$$No_i=\frac{R_i}{Q_{0i}}$$

로부터 구할 수가 있는데, 여기서

$$Q_{0i}=\sqrt{\frac{2\,C_{Pi}\,R_i}{C_{Hi}\left(1-\frac{ri}{P_i}\right)}} \quad (i\text{ 製品의 經濟的 生產量})$$

이다.

이와 같이 試行錯誤法에 의해서 生產計劃을 操作하는 경우 이의 成功 여부는 얼마나 施設을 잘 利用하느냐에 달려 있다. 만일 많은 餘裕時間(Slack time)이 存在하는 경우라면 操作된 計劃은 아마 成功的인 것이 될 것

이다. 그러나 만일 施設이 100%의 생산능력으로 빠듯이 운영되어야 한다면 No에 의한 計劃으로부터 어떠한 變化도 기대할 수 없을 것이다.

그러나, 여기서 問題點으로 대두되는 것은 No나 No_i를 구하기 위해서는 모든 製品에 대한 Set-up 費用과 在庫保管費用이 測定 可能해야 된다는 點이다. 實際의 경우, 이들 費用을 測定한다는 것은 매우 어려울 뿐만 아니라 설사 測定했다 하더라도 과연 그들이 正確한 費用을 나타내고 있는가 하는데 대해서는 의문의 여지가 많다.

따라서, 두번째 分析模型으로서 각각의 製品에 대한 Set-up 費用과 在庫保管費用은 정확히 모르더라도, 모든 製品이 대체로 비슷한 Set-up 費用과 在庫保管費用을 갖는 경우, 實際로 使用하기가 편리한, 合理的인 生產回數를 구할 수 있는 方法을 開發하려고 한다.

이를 위하여, 우선, 다음과 같은 부호를 使用하기로 한다.

P' = 製品의 單價

C_1 = 각 製品의 1回 Set-up 費用

C_2 = 각 製品의 年間單位當 在庫保管費用(在庫金額에 대해서 %로 表示됨)

R = 年間 需要

TC = 總費用 = 1年 동안의 Set-up 費用 + 1年 동안 발생되는 在庫保管費用

Q = 1回 Set-up 후에 생산하는 量

i = 製品 i를 表示

製品 i에 대하여

$$TC_i = \frac{R_i}{Q_i}C_1 + \frac{Q_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}C_2$$

TC_i를 Q_i에 대하여 미분하여 TC_i가 최소되는 Q_i를 찾으면

$$\frac{d(TC_i)}{dQ_i} = -\frac{R_i}{Q_i^2}C_1 + \frac{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}C_2 = 0$$

로부터,

$$Q_i^0 = \sqrt{\frac{2R_i C_1}{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}}$$

가 된다. Q_i^0를 TC_i式의 Q_i에 代替하면

$$\begin{aligned}(\text{Minimum})\,TC_i &= \frac{R_i}{Q_i^0}C_1 + \frac{Q_i^0 P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}C_2 \\ &= R_i C_1\sqrt{\frac{P'_i\left(1-\frac{r_i}{p_i}\right)C_2}{2R_i C_1}} + \frac{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}{2}\sqrt{\frac{2R_i C_1}{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}} \\ &= \sqrt{\frac{R_i C_1 P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}C_2\right)}{2}} + \sqrt{\frac{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2 R_i C_1}{2}} \\ &= \sqrt{2C_1 C_2}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\end{aligned}$$

위의 식을 製品 全體에 대하여 보면,

$$\sum_{i=1}^{m}(\text{Minimum})\,TC_i = \sqrt{2C_1C_2}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

위의 2개의 식에서,

$$\frac{(\text{Minimum})\,TC_i}{\sum_{i=1}^{m}(\text{Minimum})\,TC_i} = \frac{\sqrt{2C_1C_2}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sqrt{2C_1C_2}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}} = \frac{\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$$

또한

$$\frac{(\text{Minimum})\,TC_i}{\sum_{i=1}^{m}(\text{Minimum})\,TC_i}=\frac{i\ \text{製品의 Set-up 回數}^{1)}}{\text{總 Set-up 回數}}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$$

가 되며, 이로부터

$$i\ \text{製品의 Set-up 回數}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\times(\text{總 Set-up 回數}) \tag{2-1}$$

가 됨을 알 수 있고, 같은 方法으로

$$i\ \text{製品의 在庫額}^{2)}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{p_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\times(\text{總 在庫額}) \tag{2-2}$$

이 된다. 또 總 Set-up 回數와 總平均在庫額 간에는 다음과 같은 關係式이 成立함을 알 수가 있다.

總 Set-up 回數 × 總平均在庫額

$$=\left(\sqrt{\frac{C_2}{2C_1}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)\times\left(\sqrt{\frac{C_1}{2C_2}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)$$

$$=\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2 \tag{2-3}$$

一般的으로 이 關係式은 雙曲線(hyperbola)의 形態를 取한다.

위의 최종 3식을 가지고 우리는 첫번째 分析模型에서 얻은 生產計劃을 改善할 수가 있다. 즉, 우리가 일단 Set-up 回數를 品目當 No 회로, m 品目에 대하여 총 mNo 회로 하면 얼마만큼의 在庫만을 維持해도 될 것인가와 반대로 總在庫金額을 一定하게 하였을 때 總 Set-up 回數를 몇 회로 할 것인가를 쉽게 알 수 있으며 同時에 각각의 品目에 대해서도 결정할 수 있게 된다.

뿐만 아니라, 우리는

$$Q_i=\sqrt{\frac{2R_i C_1}{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}}=\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}\sqrt{\frac{2R_i}{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$$

로 부터

$$\sqrt{\frac{C_1}{C_2}}=\sqrt{\frac{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_i}}\,Q_i$$

가 되어

$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_i}Q_i^2=\left(\frac{Q_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}\right)\left(\frac{Q_i}{R_i}\right)$$

$$=\frac{Q_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}\Big/\frac{R_i}{Q_i}=\frac{\text{平均在庫額}}{\text{Set-up 回數}}$$

이 되는 것도 알 수 있다. 즉, i 製品에 대하여

$$\frac{\text{Set-up 費用}}{\text{在庫保管費用}}=\frac{\text{平均在庫額}}{\text{Set-up 回數}} \tag{2-4}$$

의 關係가 成立함을 알 수 있으며, 이것은 위에서 구한 雙曲線(hyperbola)上의 點이 $\frac{C_1}{C_2}$ 을 의미한다는 것을 알려 주는 셈이다.

또 (2-4)식은 우리가 첫번째 分析模型에서 구한 No가 最適生產回數가 아니라는 것을 보여준다. 왜냐 하면, 두번째 分析模型에서 우리는 製品 全體에 대해서 Set-up 費用과 在庫保管費用이 同一한 것을 가정하였었는데, (2-4)식으로부터, 에는

$$\frac{\text{平均在庫額}}{\text{Set-up 回數}}=\frac{C_1}{C_2}=\text{常數}$$

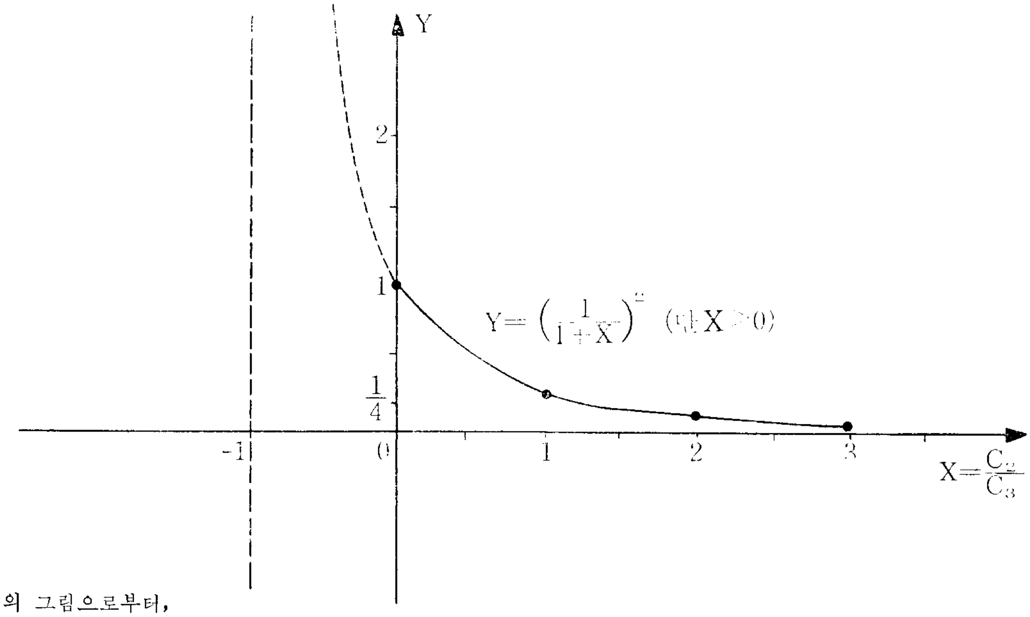
를 假定한 셈인데, Set-up 回數가 製品 全體에 대해서 No로 同一할 경우에도 각 제품에 대한 平均在庫額은 서로 다를 것이기 때문에 위의 식은 同一한 값을 갖지 않을 것이며 이 사실은 위의 관계식이 성립하지 않는다는 것을 의미하기 때문이다.

2-2 在庫枯渴費用이 許容되는 경우

一般的 模型으로서 m個의 서로 다른 品目을 하나의 生産施設을 통하여 생산하는 경우를 생각한다면, 1년동안에 발생하는 총 비용은 다음과 같이 쓸 수 있다.

總費用=1年 동안의 總 Set-up 費用+1年동안 發生되는 在庫保管費用+1年동안 發生되는 在庫枯渴費用

이를 식으로 표현하기 위하여 다음과 같은 生産模型을 생각해 보자.



위의 그림으로부터,

1年 동안에 발생되는 總費用=(總費用/期間)×(期間數/年)가 됨을 알 수 있다. 우선, 全體 製品의 期間에 대한 總費用을 식으로 표시하면,

$$TC' = \sum_{i=1}^{m} C_{Pi} + \sum_{i=1}^{m} C_{Hi}(t_1+t_2)\frac{Im_i}{2} + \sum_{i=1}^{m} C_{Si}(t_3+t_4)\frac{S_i}{2} \qquad (2\text{-}5)$$

여기서,

TC'=1 期間에 대한 總費用
$C_{Pi}=i$ 製品을 생산하기 위하여 드는 Set-up 費用
$C_{Hi}=i$ 製品을 1 期間 保管하는데 드는 費用
$C_{Si}=i$ 製品의 1 期間에 대한 在庫枯渴費用
$Im_i=i$ 製品의 最大在庫水準
$Si=i$ 製品의 最大在庫枯渴水準
$Q_i=i$ 製品의 1回 生産量
$P_i=i$ 製品의 單位時間當 生産量
$r_i=i$ 製品의 單位時間當 需要量 또는 出庫量
$R_i=i$ 製品의 1年間 需要量 또는 出庫量
t=time of one period, expressed in years

〈그림 2-1〉로부터, 다음 2개의 식을 얻는다.

$$Im_i=t_1(P_i-r_i)=t_2 r_i \qquad (2\text{-}6)$$

$$S_i=t_4(P_i-r_i)=t_3 r_i \qquad (2\text{-}7)$$

위의 2식을 더하면,

$$(t_1+t_4)\ (P_i-r_i)=(t_2+t_3)r_i \tag{2-8}$$

i 製品에 대한 單位時間當 생산량에 생산기간을 곱하면 i 製品의 1회 생산량이 된다. 즉,

$$Qi=(t_1+t_4)P_i$$

따라서,

$$t_1+t_4=\frac{Q_i}{P_i} \tag{2-9}$$

이제,

$$Im_i+S_i=(t_1+t_4)\ (P_i-r_i)=(t_2+t_3)r_i$$

이므로, (2-9)식을 위 식에 代替하면,

$$\begin{aligned} Im_i&=\frac{Q_i}{P_i}(P_i-r_i)-S_i \\ &=Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i \end{aligned} \tag{2-10}$$

가 된다. 또 (2-6)식에서

$$t_1+t_2=\frac{Im_i}{P_i-r_i}+\frac{Im_i}{r_i}$$

이므로, 위 식에 (2-10)식을 代入하면 다음을 얻는다.

$$t_1+t_2=\left[Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]\left[\frac{1}{Pi-r_i}+\frac{1}{r_i}\right] \tag{2-11}$$

같은 방법으로,

$$t_3+t_4=S_i\left(\frac{1}{P_i-r_i}+\frac{1}{r_i}\right) \tag{2-12}$$

(2-10), (2-11) 및 (2-12)식을 (2-5)식에 代入하면,

$$TC'=\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{2}\left[0i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\left(\frac{1}{P_i-r_i}+\frac{1}{r_i}\right)+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\ S_i^2}{2}\left(\frac{1}{P_i-r_i}+\frac{1}{r_i}\right) \tag{2-13}$$

(2-13)식에 1年間의 period 數를 곱하여, 1년간의 總費用을 구하면,

$$TC=\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{2Qi}\left[Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\frac{1}{1-r_i/p_i}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\ S_i^2}{2Q_i}\cdot\frac{1}{1-r_i/P_i} \tag{2-14}$$

이제 最適生産量 Qo_i 를 구하기 위하여 (2—14)식을 Q_i 와 S_i 에 관하여 偏微分한다. 이 작업을 쉽게하기 위하여

$$A=1-\frac{r_i}{P_i}$$

로 두면, (2-14)식은

$$TC=\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{2Q_i}\left[Q_iA-S_i\right]^2\frac{1}{\mathrm{A}}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\cdot S_i^2}{2Q_i}\cdot\frac{1}{\mathrm{A}}$$

가 되어 偏微分하면 다음 2개의 식을 얻는다.

$$\frac{\partial(TC)}{\partial Q_i}=0=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{2}\left(A-\frac{S_i^2}{Q_i^2A}\right)-\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\cdot S_i^2}{2Q_i^2A} \tag{2-15}$$

$$\frac{\partial(TC)}{\partial S_i}=0=-\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\cdot S_i}{AQ_i}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\cdot S_i}{AQ_i} \tag{2-16}$$

(2-16)식에서

$$\sum_{i=1}^{m}\left(-C_{Hi}+\frac{C_{Hi}\cdot S_i}{AQ_i}+\frac{C_{Si}\cdot S_i}{AQ_i}\right)=0 \tag{2-17}$$

(2-17)식에서 $C_{Hi}>0$, $C_{Si}>0$, $S_i>0$, $A>0$, $Q_i>0$ 이고, 위의 식은 i 에 관계없이 성립하므로,

$$-C_{Hi}+\frac{C_{Hi}\cdot S_i}{AQ_i}+\frac{C_{Si}\cdot S_i}{AQ_i}=0$$

S_i 에 관하여 풀면

$$S_i=\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}Q_i\,A=\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right) \tag{2-18}$$

이것을 (2-15)식에 代替하면,

$$0=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\,A}{2}-\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{2Q_i^2\,A^2}\left(\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)^2 Q_i^2\,A^2-\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}}{2Q_i^2\,A}\left(\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)^2 Q_i^2\,A^2$$
$$=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\,A}{2}-\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)^2\frac{A}{2}(C_{Hi}+C_{Si})$$
$$=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\,A}{2}-\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\cdot A}{2}\cdot\left(\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)$$
$$=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\,A}{2}\left(1-\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)$$
$$=-\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}+\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}\,A}{2}\left(\frac{C_{Si}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)$$
$$=-\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\left(2C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}-C_{Hi}\,A\cdot\frac{C_{Si}}{C_{H'}+C_{Si}}\right)$$

$C_{Pi}>0$, $R_i>0$, $Q_i>0$, $C_{Hi}>0$, $C_{Si}>0$ 및 $A>0$ 이고, 위의 식은 i에 관계없이 성립하므로,

$$2C_{Pi}\frac{R_i}{Q_i^2}-C_{Hi}\,A\frac{C_{Si}}{C_{Hi}+C_{Si}}=0$$

Q_i에 관하여 풀어, TC를 最少로 하는 Q_i를 Qo_i라 하면,

$$Q_{Oi}=\sqrt{\frac{2C_{Pi}\,R_i}{C_{Hi}(1-r_i/P_i)}}\cdot\sqrt{\frac{C_{Hi}+C_{Si}}{C_{Si}}} \qquad (2\text{-}19)$$

(2-19)식을 (2-18)식에 代入하여, TC를 최소로 하는 Si를 So_i라 하면,

$$So_i=\sqrt{\frac{2C_Pi\,R_i\left(1-\frac{ri}{P_i}\right)}{C_{Si}}}\ \sqrt{\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}} \qquad (2\text{-}20)$$

를 얻는다. 또

$$No_i=\frac{1}{t}=\frac{R_i}{Qoi}=\sqrt{\frac{R_i\,C_{Hi}\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2C_{Pi}}}\ \sqrt{\frac{C_{Si}}{C_{Hi}+C_{Si}}} \qquad (2\text{-}21)$$

가 됨을 알 수 있다.

지금까지는 i 製品에 대한 最適生産回數 No_i를 구하기 위한 分析을 행하였다.

이제 (2-13)식을 가지고 각 제품을 1년에 몇번 생산하면 總費用이 최소가 될 것인가를 보기 위하여 (2-13)식을 $n=\frac{R_i}{Q_i}$를 使用하여 고쳐쓰면,

$$TC=\sum_{i=1}^{m}Cp_i\cdot n+\sum_{i=1}^{m}\frac{n\,Ch_i}{2R_i}\left[\frac{R_i}{n}\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\frac{1}{1-r_i/P_i}+\sum_{i=1}^{m}\frac{nCs_i\cdot S_i^2}{2R_i}\cdot\frac{1}{1-r_i/P_i}$$

이제 最適生産回數 No를 구하기 위하여 위의 식을 n와 S_i에 관하여 偏微分한다.

이 작업을 쉽게 하기 위하여 앞에서와 마찬가지로,

$$A=1-\frac{r_i}{P_i}$$

로 두면, 위의 식은

$$TC=n\sum_{i=1}^{m}Cp_i+\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{R_i}\left[\frac{R_i}{n}\cdot A-S_i\right]^2\frac{1}{A}+\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\cdot S_i^2}{R_i}\cdot\frac{1}{A}$$
$$=n\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}+\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Hi}}{R_i}\left[\frac{R_i^2}{n^2}\cdot A^2-\frac{2R_i\,AS_i}{n}+S_i^2\right]\frac{1}{A}+\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{C_{Si}\cdot S_i^2}{R_i}\cdot\frac{1}{A}$$
$$=n\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}+\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}\,R_i\,A-\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}\,S_i+\frac{n}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{(C_{Hi}+C_{Si})}{R_i}\cdot\frac{S_i^2}{A}$$

가 되어, 偏微分하여 0으로 놓으면 다음 2개의 식을 얻는다.

$$\frac{\partial(TC)}{\partial n}=0=\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}-\frac{1}{2n^2}\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}\,R_i\,A+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{(C_{Hi}+C_{Si})}{R_i}\cdot\frac{S_i^2}{A} \qquad (2\text{-}22)$$

$$\frac{\partial(TC)}{\partial S_i}=0=-\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}+n\sum_{i=1}^{m}\frac{(C_{Hi}+C_{Si})}{R_i}\cdot\frac{S_i}{A}=-\sum_{i=1}^{m}\left[C_{Hi}-\frac{n(C_{Hi}+C_{Si})}{R_i\,A}S_i\right] \qquad (2\text{-}23)$$

(2-23)식에서 $C_{Hi}>0$, $C_{Si}>0$, $R_i>0$, $A>0$, $S_i>0$, $n>0$이고 위의 식은 i에 관계 없이 성립하므로,

$$C_{Hi}-\frac{n(C_{Hi}+C_{Si})S_i}{R_i\,A}=0$$

$$\therefore\ S_i=\frac{R_i\,A}{n}\cdot\frac{C_{Hi}}{(C_{Hi}+C_{Si})}$$

S_i를 (2-22)식에 代入하면,

즉,
$$\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}-\frac{1}{2n^2}\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}\,R_iA+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{m}\frac{(C_{Hi}+C_{Si})}{R_i\cdot A}\cdot\frac{R_i^2\,A^2}{n^2}\cdot\frac{C_{Hi}^2}{(C_{Hi}+C_{Si})^2}=0$$

$$\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}-\frac{1}{2n^2}\sum_{i=1}^{m}\left[C_{Hi}\,R_i\,A\left(1-\frac{C_{Hi}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)\right]=0$$

$$\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}-\frac{1}{2n^2}\sum_{i=1}^{m}C_{Hi}\,R_i\,A\left(\frac{C_{Si}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)=0$$

$$\therefore\ No=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}R_i\,C_{Hi}\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)\left(\frac{C_{Si}}{C_{Hi}+C_{Si}}\right)}{2\sum_{i=1}^{m}C_{Pi}}}\qquad(2\text{-}24)$$

在庫枯渴費用이 허용하지 않는 경우의 分析에서 처럼, 最適의 生産計劃을 樹立하기 위한 方法은 사실상 존재하지 않기 때문에, 우리는(2-24)식에서 구한 No를 가지고, 각 제품에 대한 No_i와 比較함으로써, No_i가 No 현저하게 다른 製品에 대해서는 No에 의해 수립된 生産計劃에 適合시키기 위한 試行錯誤法에 의한 操作을 함으로써, 總在庫費用을 좀 더 감소시킬 수 있는 合理的인 生産計劃을 얻을 수가 있다.

그러나, 여기에서 문제점으로 대두되는 것은 No나 No_i를 구하기 위해서는 모든 제품에 대한 Set-up 費用과 在庫保管費用 및 在庫枯渴費用이 測定 可能해야 된다는 點이다. 실제의 경우 이들 費用을 正確히 測定한다는 것은 거의 不可能하다고 해도 과언이 아닐 것이다.

왜냐하면 이들 費用의 性格에 대한 명확한 限界를 긋는다는 것은 매우 어려운 일이기 때문이다.

一般的으로는 다음 要素들이 이들 費用에 包含되는 것으로 생각된다.

Set-up 費用 : ① Set-up時 발생하는 勞務費
② 〃 〃 電力費
③ 〃 〃 燃料費
④ 〃 〃 試製品 材料費
⑤ Set-up 때문에 발생하는 機會費用(Set-up 때문에 生産作業을 못함으로써 잃어버리게 되는 利益, etc.)

在庫保管費用 : ① 在庫에 묶인 돈(money tied up in inventory)
② 倉庫料(storage-space costs)
③ 荷役費(handling Cost)
④ 在庫에 관한 諸稅(taxes on inventories)
⑤ 保險料(insurance costs)
⑥ 減耗(obsolescence)
⑦ 品質低下(deterioration of quality)
⑧ 在庫記錄維持費(cost of maintaining inventory records)

在庫枯渴費用 : ① 在庫枯渴로 因한 時間外 作業費(overtime requirements due to the shortage)
② 特別管理會計費(special clerical and administrative costs)
③ 作業促進費(expediting)
④ 納期 지연으로 인한 營業權上의 損失(loss of goodwill due to the delay)
⑤ 特別取扱 및 포장비(special handling on packaging costs)
⑥ 作業時間의 損失(lost production time)
⑦ 在庫枯渴의 原因이 될 수 있는 其他 費用(any other costs that can be attributed to the shortage of stock)

이들 費用들의 이와 같은 성격때문에 실제의 경우 설사 測定했다 하더라도 과연 그들이 正確한 費用을 나타내고 있는가에 대해서는 의문의 여지가 많다.

따라서, 두번째 分析模型으로서 각각의 제품에 대한 在庫費用 즉, set-up 費用, 在庫保管費用 및 在庫枯渴費用을 정확히 모르더라도, 모든 製品이 대체로 비슷한 在庫費用을 갖는 경우, 合理的인 生産回數를 구할 수 있는 方法을 開發하려고 한다.

이 分析模型에서는 다음과 같은 부호를 使用하기로 한다.

P'=製品의 單價

C_1=각 제품의 1回 Set-up 費用

C_2=각 제품의 年間 單位當 在庫保管費用(在庫金額에 대해서 %로 表示된 것)

C_3=각 제품의 年間 單位當 在庫枯渴費用(在庫金額에 대해서 %로 表示된 것)

i=製品 i를 表示

※ 이밖의 부호들은 첫번째 分析模型에서 使用한 부호들과 꼭 같은 것을 使用하기로 한다.

우리는 (2-14)식으로 부터 i 製品의 1년간의 總在庫費用이 다음과 같이 됨을 알 수 있다.

$$TC_i=\frac{R_i}{Q_i}C_1+\frac{P'_i C_2}{2Q_i}\left[Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}+\frac{S_i^2 P'_i C_3}{2Q_i}\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}} \tag{2-25}$$

이제 最適生産量 Q_i^0를 구하기 위하여 (2-25)식을 Q_i와 S_i에 관하여 偏微分한다. 이 작업을 쉽게 하기 위하여

$$A=1-\frac{r_i}{P_i}$$

로 두면, (2-25)식은

$$TC_i=\frac{R_i}{Q_i}C_1+\frac{P'_i C_2}{2Q_i}(Q_i A-S_i)^2\frac{1}{A}+\frac{S_i^2 P'_i C_3}{2Q_i}\cdot\frac{1}{A}$$

가 되어 偏微分하면 다음 2개의 식을 얻는다.

$$\frac{\partial(TC_i)}{\partial Q_i}=0=-\frac{R_i}{Q_i^2}C_1+\frac{P'_i C_2}{2}\left(A-\frac{S_i^2}{Q_i^2 A}\right)-\frac{P'_i C_3 S_i^2}{2Q_i^2 A} \tag{2-26}$$

$$\frac{\partial(TC_i)}{\partial S_i}=0=-P'_i C_2+\frac{P'_i C_2 S_i}{AQ_i}+\frac{P'_i C_3 S_i}{AQ_i} \tag{2-27}$$

(2-27)식을 S_i에 관하여 풀면,

$$S_i=\frac{P'_i C_2}{P'_i(C_2+C_3)}Q_i A=\frac{C_2}{C_2+C_3}Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right) \tag{2-28}$$

이것을 (2-26)식에 代入하면,

$$\begin{aligned}0&=\frac{R_i}{Q_i^2}C_1+\frac{P'_i C_2 A}{2}-\frac{P'_i C_2}{2Q_i^2 A}\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)^2 Q_i^2 A^2-\frac{P'_i C_3}{2Q_i^2 A}\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)^2 Q_i^2 A^2\\&=-\frac{R_i}{Q_i^2}C_1+\frac{P'_i C_2 A}{2}-\frac{P'_i(C_2+C_3)A}{2}\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)^2\\&=-\frac{R_i}{Q_i^2}C_1+\frac{P'_i C_2 A}{2}-\frac{P'_i C_2 A}{2}\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)\\&=-\frac{R_i}{Q_i^2}C_1+\frac{P'_i C_2 A}{2}\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)\end{aligned}$$

Q_i에 관하여 풀어, TC_i를 최소로 하는 Q_i를 Q_i^0라 하면

$$Q_i^0=\sqrt{\frac{2R_i C_1}{P'_i C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\sqrt{\frac{C_2+C_3}{C_2}} \tag{2-29}$$

(2-29)식을 (2-28)식에 대입하여, TC_i를 최소로 하는 S_i를 S_i^0라 하면

$$S_i^0=\sqrt{\frac{2R_i C_1\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{P'_i C_3}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}} \tag{2-30}$$

Q_i^0 및 S_i^0를 (2-25)식의 Q_i 및 S_i에 代替하면

$$(\text{Minimum})\ TC_i^{4)}=\frac{R_i}{Q_i^0}C_1+\frac{P_i' C_2}{2Q_i^0}\left[Q_i^0\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i^0\right]^2\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}+\frac{S_i^{0^2} P_i' C_3}{2Q_i^0}\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\sqrt{\frac{R_i C_1 P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}+\sqrt{\frac{R_i C_1 P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)$$

$$+\sqrt{\frac{R_i C_1 P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)$$

$$=\sqrt{\frac{R_i C_1 P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\left(1+\frac{C_3}{C_2+C_3}+\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)$$

$$=\sqrt{2R_i C_1 P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}$$

$$=\sqrt{2C_1 C_3}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)} \qquad (2\text{-}31)$$

(2-31)식을 製品 全體에 대하여 보면,

$$\sum_{i=1}^{m}(\text{Minimum})\,TC_i=\sqrt{2C_1 C_3}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)} \qquad (2\text{-}32)$$

(2-31)식을 (2-32)식으로 나누면,

$$\frac{(\text{Minimum})\,TC_i}{\sum_{i=1}^{m}(\text{Minimum})\,TC_i}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$$

그런데

$$i\ \text{製品의 Set-up 回數}=\frac{R_i}{Q_i}=R_i\sqrt{\frac{P_i' C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_i C_1}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}=\sqrt{\frac{C_3\cdot C_2}{2C_1(C_2+C_3)}}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

이고,

$$\text{總 Set-up 回數}=\sum_{i=1}^{m}\frac{R_i}{Q_i}=\sqrt{\frac{C_3\cdot C_2}{2C_1(C_2+C_3)}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

이므로

$$\frac{(\text{Min}).\,TC_i}{\sum_{i=1}^{m}(\text{Min}).\,TC_i}=\frac{i\ \text{製品의 Set-up 回數}}{\text{總 Set-up 回數}}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$$

가 됨을 알 수 있으며, 이로 부터

$$i\ \text{製品의 Set-up 回數}=\frac{\sqrt{Ri\,P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\times(\text{總 Set-up 回數}) \qquad (2\text{-}33)$$

가 된다. 같은 方法으로

$$i\ \text{製品의 在庫額}=\frac{\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\times(\text{總 在庫額}) \qquad (2\text{-}34)$$

이 되는 것을 알 수가 있다. 또 總 Set-up 回數와 總 平均在庫額 간에는 다음과 같은 關係式이 성립된다. 즉,

總 Set-up 回數×總平均在庫額[5)]

$$=\sum_{i=1}^{m}\frac{R_i}{Q_i}\times\sum_{i=1}^{m}\frac{P_i'}{2Q_i}\left[Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\left(\sqrt{\frac{C_3\cdot C_2}{2C_1(C_2+C_3)}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)\left[\sqrt{\frac{C_1\cdot C_3}{2C_2(C_2+C_3)}}\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right]$$

$$=\sqrt{\frac{C_2}{2C_1}}\cdot\sqrt{\frac{C_1}{2C_2}}\cdot\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2\cdot\left(\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2$$

$$=\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2\cdot\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2 \qquad (2\text{-}35)$$

이 되는 것을 알 수가 있다. 一般的으로 이 關係式이 雙曲線(hyperbola)의 形態를 取함은 이미 앞에서 보았다. 위의 (2-35)식을 活用하여, 우리가 원하는 總 set-up 回數를 미리 정하면 그에 따라 우리가 在庫에 投資하여야 할 總在庫金額이 나오므로, (2-33)식과 (2-34)식을 適用함으로써 각 제품별로 Set-up 회수를 정할 수가 있다.

그러나, (2-35)식으로부터 알 수 있는 것처럼, 在庫枯渴費用이 許容 안되는 경우와는 달리 總 Set-up 回數×總平均在庫額의 관계식을 利用하기 위해서는, 在庫保管費用과 在庫枯渴費用을 알아야 한다. 물론, 우리는 두번째 分析模型을 展開하기에 앞서 그 前提로서 모든 製品에 대한 在庫費用이 同一하다는 것을 가정하였지만 이것이 곧 그 在庫費의 값을 정확히 알고 있다는 것을 假定한 것은 아니었다. 따라서 (2-35)식이 좀더 有用한 식이 되게 하기위해서 변형하면, 다음 식을 얻을 수가 있다.

總 Set-up 回數×總平均在庫額

$$=\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2\cdot\frac{1}{2}\left(\sum_{i=i}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2$$

$$=\left(\frac{1}{\frac{C_2+C_3}{C_3}}\right)^2\cdot\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2$$

$$=\left(\frac{1}{1+\frac{C_2}{C_3}}\right)^2\cdot\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i\,P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2 \qquad (2\text{-}36)$$

(2-36)식을 利用하기 위해서는 製品들의 在庫保管費用과 在庫枯渴費用을 고려하여 $C_2>C_3$, $C_2=C_3$ 및 $C_2<C_3$의 3가지 경우로 分類하는 方法을 생각할 수가 있다.

그러나, 앞에서 在庫枯渴費用이라 함은 수요를 納期에 충족시키지 못함으로써 발생하는 費用으로서 궁극적으로는 수요가 충족되는 것을 前提로 하기 때문에 팔 것을 영원히 못 팜으로써 발생하는 費用은 포함하지 않는 것으로 보았기 때문에 이 견해에 따른다면, 在庫枯渴費用이 在庫保管費用 보다 큰 경우는 많지 않을 것으로 생각되므로 크게 2가지 경우로 나누어서 $C_2>C_3$ 즉, 在庫保管費用이 在庫枯渴費用 보다 큰 경우와 $C_2=C_3$ 즉, 在庫保管費用이 在庫枯渴費用과 같은 경우로 나눌 수가 있을 것이다.

生産 製品의 값이 高價品인 경우에는 $C_2>C_3$의 경향을 띄게 될것이고, 비교적 低價品인 경우에는 $C_2=C_3$의 경향을 띄게 될 것이다. 물론 좀 더 細分하는 方法도 생각할 수 있으나, 實際의 경우, 經濟性을 고려한다면 細分하는 方法이 반드시 더 효과적이라고는 말하기가 어려우므로 適用 대상 品目에 따라 融通性을 갖는 것이 좋을 것이다.

이제, (2-36)식의 오른편에 있는 $\left(\frac{1}{1+\frac{C_2}{C_3}}\right)$항이 $\frac{C_2}{C_3}$의 값이 변함에 따라서 어떤 값을 갖는가를 보기 위하여 $X=\frac{C_2}{C_3}$, $Y=\left(\frac{1}{1+\frac{C_2}{C_3}}\right)^2=\left(\frac{1}{1+X}\right)^2$이라 두면, $Y=\left(\frac{1}{1+X}\right)^2$ (단, $X>0$)의 그라프는 다음과 같이 된다

우리는 〈그림 2-2〉로부터 C_2와 C_3가 陽의 값을 갖는 경우,

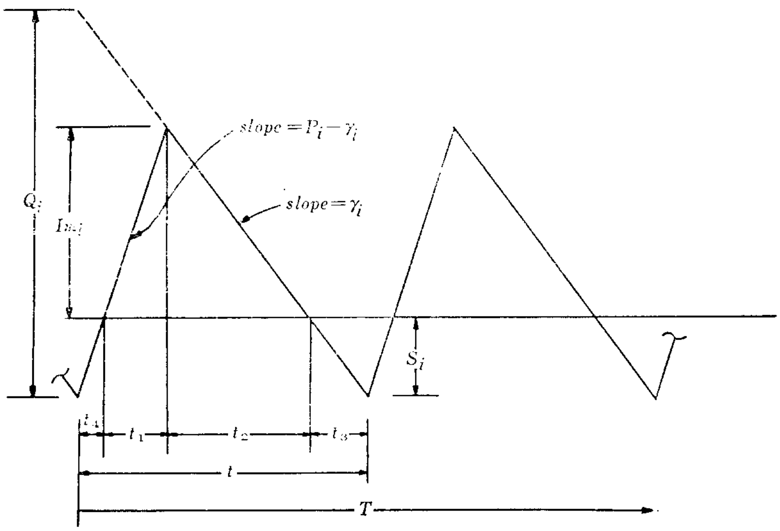
$$0<\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2<1$$

이 되며, 한편 $C_2<C_3$의 경우가 발생하지 않고 $C_2=C_3$이거나 $C_2>C_3$의 경우에는,

$$0<\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2\leq\frac{1}{4}$$

이 됨을 알 수 있다. 따라서, (2-36)식을 實際로 利用함에 있어서 $C_2>C_3$의 경우와 $C_2=C_3$의 경우, 2가지로 크게 나누는 方法에 큰 무리가 없음을 알 수가 있다.

이상의 分析에서 볼 수 있는 것 처럼, 在庫枯渴費用이 許容되는 경우이던, 許容되지 않는 경우이던, 두번째



〈그림 2-2〉 $\frac{C_2}{C_3}$ 의 변화에 따른 $\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)^2$ 의 그라프

分析模型을 使用하기 위해서는 각각의 製品에 대한 在庫費用, 즉, Set-up 費用, 在庫保管費用 및 在庫枯渴費用이 同一하거나 거의 비슷해야 한다는 先行條件이 充足되어야 함을 보았다. 이 先行條件만 充足된다면 이들 費用에 대한 정확한 측정이 不可能하더라도 使用할 수 있는 매우 便利한 分析模型인 것이다.

앞에서 밝힌 것처럼, 두번째 分析模型의 또 하나의 長點은, 첫번째 分析模型이 어디까지나 한 設備가 모든 製品을 最適生産回數인 *No* 회만큼 생산해 낼 수 있는 충분한 생산능력을 가지고 있지 않는 경우가 대부분이므로, 두번째 分析模型을 使用함으로써, 總 Set-up 回數를 미리 정하여 놓고서 각 製品別 Set-up 回數를 정할 수가 있다는 점이다.

Ⅲ. 計量的 分析模型의 製罐工場[6]에의 適用事例

모든 製罐工場이 꼭 같은 設備를 保有하고 있는 것은 아니지만 대체로 크게 나누어 製胴設備, 製蓋設備, 美術罐製造設備 및 印刷·塗裝設備로 나누어 볼 수가 있다. 製胴設備란 罐의 몸체를 만드는 設備를 말하고, 製蓋設備란 罐의 뚜껑을 만드는 設備를 말한다. 美術罐製造設備란 一般的인 罐이 아니고 보통의 罐에 손잡이, 꼬다리 등의 장식을 붙이거나, 특수한 형태를 갖는 罐을 製造하는 設備로서 그 本質에 있어서는 一般的인 製胴設備기 製蓋設備와 다를 것이 없다. 또 印刷·塗裝設備란 종이 대신 錫版과 같은 金屬板에 特殊 印刷잉크나 塗料를 使用하여 印刷·塗裝하는 設備로서 보통의 印刷所가 保有하고 있는 設備와 크게 다를바가 없는 것이다.

따라서, 製罐工場의 生産活動과 관련하여 가장 큰 問題가 되는 것은,

첫째, 生産施設에 관한 문제로 製胴施設과 製蓋施設 간의 生産能力의 均衡을 맞추는 問題와

둘째, 현재 가장 중요한 生産計劃의 問題로서 製胴施設에서 다품종 생산을 위하여 Change parts 시 발생하는 非能率의 問題이다.

첫째 문제는 施設간의 生産能力의 差異를 정확히 測定하여 製品別 稼動率을 增加시키던가, 製品別 時間當 生産性을 增加시킴으로써 調整이 可能할 것이다. 물론 bottle-neck 의 경우에는 增設로서 해결할 수 있을 것이다.

둘째 문제는 일명 Scheduling of multiple products through a single facility 라고 불리워 지는 문제로서 이를 해결 하는 방법은 品種別로 最適 1回 生産量을 산출하여 일단 特定 製品의 생산가동준비를 완료한 이후에는 위에서 산출된 最適 1回 生産量을 생산하게 하는 방법이다. 왜냐하면, 일단 最適生産計劃과 1回 最適生産量이 결정되면 여기에 따라서 在庫量과 在庫金額도 결정되기 때문이다.

따라서, 우리는 앞에서 구한 分析模型을 둘째 문제를 해결하는 데 응용하기로 한다.

우선, 在庫枯渴費用이 許容 안되는 경우의 첫번째 分析模型을 適用하기 위하여 〈表 3-1〉를 작성하였다. 〈表 3-1〉에서 Set-up 費用은 Change parts에 따른 직접비용에 기회내용을 합한 것으로서 전 품목에 대하여 앞에서 와꼭 같은方法으로 계산한 것이다. 1일 판매량은 1년을 300일로 보고 연간 판매량을 300으로 나눈 값이고, 요구된 생산일 수는 년간 생산량을 品目別 1日 생산량으로 나눈 값이다. 또 재고보관비용은, 在庫에 묶인 자금에 대한 金利, 倉庫料, 荷役費, 옮겨쌓는데 드는 비용, 在庫에 관한 諸稅, 保險料 및 在庫記錄維持費 등을 고려하여 재고금액의 8.3%로 보았다. 이제 첫번째 分析模型을 使用하여 最適生産回數를 計算해 보면,

$$N_0=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} C_{Hi}R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2\sum_{i=1}^{11} Cp_i}}$$

$$=\sqrt{\frac{55,096,822}{2\times 2,704,930}}$$

$$=\sqrt{10.1845}\fallingdotseq 3.2(\text{회})$$

가 되어 각 제품의 최적 생산회수가 3회 정도라는 것을 알 수가 있다.

그러나 여기에서 문제점으로 대두되는 것은 모든 제품을 3회 꼭같이 생산하라고 하는 것은 모든 제품을 동일시 하는 것으로, 일반적으로 판매량이 적은 것은 한번에 다 만들어서 1年을 두고 팔 수 있고, 판매량이 많은 것은 자주 Set-up을 하여 생산할 수가 있으므로, 두번째 分析模型을 적용해 보기로 한다.

〈表 3-1〉 **最適 生産回數의 計算表 (在庫枯渴費用이 許容안되는 경우)** 단위 {금액 : 원, 수량 : C/N}

제품번호	제 품 명	년간 판매량 (R_i)	1日 판매량 (r_i)	1日 판매량 (P_i)	요구된 생산일 수	재고보관비용 C_{Hi}	Set-up 비용 C_{Pi}	r_i/P_i	$1-r_i/P_i$	$C_{Hi}R_i$	$C_{Hi}R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)$
1	4호 천지관	12,451,135	41,504	81,600	145.45	3.3	175,280	0.509	0.491	41,088,746	20,174,574
2	4호 내면관	1,217,345	4,058	51,500	22.28	3.4	175,280	0.079	0.921	4,138,973	3,811,994
3	5호 인쇄관	1,545,640	5,152	58,800	29.72	3.2	175,280	0.088	0.912	4,946,048	4,510,796
4	휴대 내면관	2,560,486	8,535	79,700	36.51	2.3	117,650	0.107	0.893	5,889,118	5,258,982
5	250g 쥬스관	3,204,267	10,681	59,900	51.80	3.0	535,610	0.178	0.822	9,612,801	7,901,722
6	과실 7 호관	1,530,200	5,101	66,500	25.37	2.8	175,410	0.077	0.923	4,284,560	3,954,649
7	M-2 관	1,510,120	5,034	48,000	31.20	1.9	117,650	0.105	0.895	2,869,228	2,567,959
8	7호 천지관	600,000	2,000	41,000	14.63	2.5	165,210	0.049	0.951	1,500,000	1,426,500
9	M-4 천지관	212,300	708	47,200	4.50	4.8	214,570	0.015	0.985	1,019,040	1,003,754
10	3호시린다관	500,000	1,666	37,900	13.22	8.1	376,810	0.044	0.956	4,050,000	3,871,800
11	특 1 호 관	42,564	142	30,800	2.70	14.5	476,180	0.005	0.995	617,178	614,092
	計	25,374,057	84,581	—	—	—	2,704,930	—	—	—	55,096,822

※ 1년=300일

$$N_0=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} C_{Hi}R_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2\sum_{i=1}^{11} C_{Pi}}}$$

$$=\sqrt{\frac{55,096,822}{2\times 2,704,930}}$$

$$=\sqrt{10.1845}\fallingdotseq 3.2(\text{회})$$

우리는 두번째 分析模型의(2-1)식과 (2-2)식을 가지고 〈表 3-1〉에서 얻은 것을 개선할 수 있다. 즉 우리가 일단 Set-up 횟수를 품목당 3회로 11개 품목에 대하여 총 33회로 하면 얼마만큼의 재고만을 유지해도 될 것인가와 반대로 총 재고금액을 一定하게 하였을 때 Set-up 횟수를 어떻게 할 것인가를 결정할 수 있다.

이를 〈表 3-1〉의 자료에 適用하여 보면 기초자료로서 각 제품을 3회 Set-up 한다고 하면 총회수 33번에 평균

총재고액은 110,046,000원이 된다.

〈表 3-2〉는 〈表 3-1〉의 자료를 정리하여 각 제품의 Set-up을 3회하면 총재고금액은 110,046,000원임을 보여준다. 이 金額을 포항製罐工場이 지금까지의 경험에 의하여 유지하고 있는 항시 在庫金額 150,000,000원(數量으로는 약 4,800,000 C/N)과 비교하여 보면 약 40,000,000원의 항시 在庫金額을 줄일 수 있음을 알게 된다.

〈表 3-3〉은 두번째 分析模型을 適用하기 위하여, 각 제품의 Set-up 회수를 同一하게 하지 않고, 총 Set-up회수 33회를 (2-1)식을 활용하여 제품별로 Set-up 회수가 다르게 한 것이다. 이 때 재고금액은 89,761,000원으로 줄어 들었다. 즉, 각 제품을 3회씩 꼭같이 Set-up할 때 보다도 20,285,000원이 더 감소된 셈이다.

〈表 3-2〉 **固定 Set-up 回數와 平均在庫水準**

단위 {금액 : 원, 수량 : C/N}

제품 번호	년간수요량 (R_i)	제품가격 (P'_i)	$1-\frac{r_i}{P_i}$	$R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)$	Set-up 횟수	평균 재고 금액 $R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)/2\times 3$
1	12,451,135	39.38	0.491	240,749,917	3	40,124,986
2	1,217,345	41.20	0.921	46,192,399	3	7,698,733
3	1,545,640	38.17	0.912	53,805,336	3	8,967,556
4	2,560,486	27.12	0.893	62,010,260	3	10,335,043
5	3,204,267	35.90	0.822	94,557,278	3	15,759,546
6	1,530,200	34.08	0.923	48,133,726	3	8,022,288
7	1,510,120	23.46	0.895	31,707,537	3	5,284,590
8	600,000	29.82	0.951	17,015,292	3	2,835,882
9	212,300	58.31	0.985	12,193,525	3	2,032,254
10	500,000	97.50	0.956	46,605,000	3	7,767,500
11	42,564	172.53	0.995	7,306,849	3	1,217,808
$\sum_{i=1}^{11}$	25,374,047				33	110,046,186

※ 평균재고금액 $=Q_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)/2=R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)/2\times 3$

〈表 3-3〉 **製品別 差別 Set-up 回數와 平均在庫水準**

단위 {금액 : 원, 수량 : C/N}

제품 번호	$\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$	$\frac{\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{11}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$	년간 Set-up 횟수	1회 생산량 (Q_i)	P'_i	$1-\frac{r_i}{P_i}$	평균 재고 금액 $Q_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)/2$
1	15,516	0.202	6.7	1,858,378	39.38	0.471	17,966,408
2	6,796	0.088	2.9	419,774	41.20	0.921	7,964,204
3	7,293	0.095	3.1	498,594	38.17	0.912	8,678,288
4	7,875	0.102	3.4	753,084	27.12	0.893	9,119,154
5	9,724	0.126	4.2	762,921	35.90	0.822	11,256,823
6	6,938	0.090	3.0	510,067	34.08	0.923	8,022,293
7	5,631	0.073	2.4	629,217	23.46	0.895	6,605,740
8	4,125	0.054	1.8	333,333	29.82	0.951	4,726,465
9	3,492	0.045	1.5	141,533	58.31	0.985	4,064,499
10	6,827	0.089	2.9	172,414	97.50	0.956	8,035,354
11	2,703	0.035	1.1	38,695	172.53	0.995	3,321,334
$\sum_{i=1}^{11}$	76,920	1.000	33회 (fixed)				89,760,562

在庫枯渴費用이 許容 안되는 경우에 대하여 이상에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

단위 : 원

적용방법 / 구 분	현재 사용하고 있는 경험적인 方法에 의한 평균 재고 수준	첫번째 분석모형을 사용했을 경우의 평균 재고 수준	두번째 분석모형을 사용하여 첫번째 분석모형을 개선한 경우의 평균 재고 수준
재 고 금 액	150,000,000	110,046,000	89,761,000
감 소 액		△39,954,000	△20,285,000
참 고 表	※ 1976년도 1~7월 평균 실적에 의함.	〈表 3-2〉	〈表 3-3〉

그런데, 실제로 工場을 운영하다 보면 기업의 자금사정 때문에 년간 평균 재고수준을 미리 정하여 놓고서 생산계획을 세우는 경우가 종종 있다. 이와 같은 경우 우리는 (2-2)식을 이용하여 固定된 년간 평균재고 수준 아래서의 각 제품의 Set-up 횟수를 구할 수가 있는데 〈表 3-4〉는 재고금액을 110,046,000원으로 하였을 때 각 제품의 Set-up 횟수를 구할 수 있는데 〈表 3-4〉는 재고금액을 110,046,000원으로 하였을 때 각 제품의 Set-up 횟수를 계산한 것을 보여준다. 〈表 3-4〉에서 1회 생산량 Q_i 는 다음 식에 의하여 계산한 것이다.

$$Q_i=\frac{\text{平均在庫額}\times 2}{P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

이 경우에는 總Set-up 回數가 33회에서 26.9회로 줄어들면서 在庫費用이 總 Set-up 횟수를 固定시키는 경우보다 더 감소되었지만 경우에 따라서는 증가될 때도 있다. 따라서, 一般的으로 總 Set-up 回數를 固定시키는 재고정책이, 總在庫水準을 固定시키는 재고정책 보다 在庫費用을 덜 발생시킨다고는 일률적으로 말할 수 없을 것이다.

이때, 우리가 알 수 있는 것은 (2-3)식을 이용하여 總在庫金額과 總 Set-up 回數간의 관계식을 구하여 보면

〈表 3-4〉 **一定 在庫額下에서의 Set-up 回數의 決定**

단위 {금액 : 원, 수량 : C/N}

제 품 번 호	$\dfrac{\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}{\sum_{i=1}^{11}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}$	평균 재고 금액	1 회 생 산 량 (Q_i)	년간 Set-up 횟수 (R_i/Q_i)
1	0.202	22,239,298	2,300,350	5.4
2	0,088	9,694,052	510,950	2.4
3	0.095	10,464,374	601,210	2.6
4	0.102	11,234,696	927,791	2.8
5	0.126	13,875,800	940,420	3.4
6	0.090	9,914,144	630,353	2.4
7	0.073	8,043,362	766,155	2.0
8	0.054	5,952,488	419,798	1.4
9	0.045	4,962,074	172,788	1.2
10	0.089	9,804,098	210,366	2.4
11	0.035	3,861,614	44,989	0.9
$\sum_{i=1}^{11}$	1.000	110,046,000 (fixed)		26.9회

總 Set-up 回數 × 總平均在庫額

$$=\frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{11}\sqrt{R_i P'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\right)^2$$

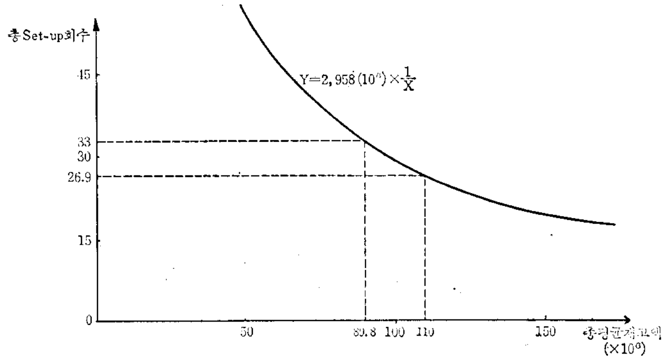
$$=\frac{1}{2}\times(76,920)^2$$

$$=2,958\times 10^6$$

따라서, 위의 관계식은 總 Set-up 回數를 Y축으로 잡고, 總平均在庫額을 X축으로 잡으면,

$$Y=2,958(10^6)\times\frac{1}{X}$$

로써 이를 그림으로 그린 것이 〈그림 3-1〉이다.



〈그림 3—1〉 總 Set-up 回數와 總平均在庫額과의 관계

이 그림은 우리가 年間 總 Set-up 回數를 33회로 잡으면 平均在庫 水準은 89,800,000원으로 維持되며, 平均在庫金額을 110,000,000원의 水準에서 維持하기 위해서는 總 Set-up 回數를 26.9회로 해야된다는 것을 보여주고 있다. 또, (2-1)식과 (2-2)식을 이용하면 각 製品별로 平均在庫額과 Set-up 횟수를 구할 수 있다.

〈表 3-5〉은 앞에서 개발한 分析模型들을 포항 製罐工場에 적용한 결과를 요약한 것이다. 이 표에서 알 수 있듯이 우리가 개발한 分析模型들은 총재고비용을 절감 할 수 있는 생산계획방법을 우리들에게 제공해 줄 수 있다는 점에서 매우 有用한 模型이라고 할 수 있다. 그러나, 두번째 분석모형에 의한 생산계획을 세우면 첫번째 분석모형에 의한 생산계획을 세우는 것 보다 총 재고비용이 더 절감된다고는 말할 수 없다. 다만 두번째 분석모형은 첫번째 분석모형을 우리가 사용할 때 행하지 않으면 안되는 試行錯誤法(trial-and-error method)에 의한 操作行爲에 있어서의 번거로움을 덜어 준다는 점에서 매우 有效한 分析模型이라 할 수 있다. 즉, 첫번째 분석모형과 두번째 분석모형을 상호 보완하여 잘 利用하면 총재고비용을 절감할 수 있다는 점에서 매우 合理的인 生産計劃을 세울 수 있을 것이다.

〈表 3-5〉 **計量的 分析模型들의 總在庫費用 節減效果**

단위 : 원

구분 / 항목	1976년 1~7월 실적을 기초로 한 推定 年間 在庫費用	在庫枯渴費用이 許容 안되는 경우		在庫枯渴費用이 許容되는 경우*1	
		첫번째 分析模製	두번째 分析模型	첫번째 分析模型	두번째 分析模型
총 Set-up 비용	9,846,000	8,115,000	7,920,000	5,410,000	5,317,000
총재고보관비용	35,318,000	27,401,000	27,401,000	25,582,000	25,582,000
총재고고갈비용	—	—	—	1,244,000	2,035,000
總 在 庫 費 用	45,164,000	35,516,000	35,321,000	32,236,000	32,934,000
節 減 額 *2	—	△9,648,000	△9,843,000	△12,928,000	△12,230,000

*1 在庫枯渴水準을 製品引渡期間의 10%로 가정한 경우

*2 節減額은 推定年間在庫費用 對比임.

Ⅳ. 結 論

生産工程에 있어서 同一한 施設에서 여러 種類의 서로 다른 製品을 生産하는 경우 問題의 촛점은 어느 제품을 생산하기 위하여 한 번 Set-up을 한 후에 얼마만큼의 생산을 하면 總在庫費用 즉, Set-up 費用, 在庫保管費用및 在庫枯渴費用의 合이 最少가 되느냐 하는 데 있다. 이 問題는 일명 Scheduling of multiple products through a single facillity라고 불리워 지는 문제로서 生産管理에서 오래동안 이 問題에 대한 研究가 되어 왔지만 아직

最適解를 찾는 방법이 開發되지 못하고 있다.

本稿의 硏究目的은 單一施設에 의한 多品種生產問題에 대해서 企業에서 실제로 利用할 수 있는 合理的인 生計計劃을 세울 수 있는 計量的인 分析模型을 開發하여 製罐工場에 실제로 적용하여 봄으로써 그 有效性을 밝히는 데 있다.

본 논문에서는 單一施設에 의한 多品種少量生產計劃의 計量的 分析模型을 開發하기 위하여 基礎模型으로서 E.P.Q. 模型(Economic Production Quantity Model)을 使用하였으며, 在庫枯渴費用이 許容되는 경우와 許容안되는 경우의 2가지 경우로 나누어서 硏究하였다.

첫번째 分析模型으로서는 m개의 제품을 하나의 生產施設을 통하여 생산하는 경우에 대해서 1년 동안에 發生하는 總在庫費用이 최소가 되게하는 最適性生產回數 N_0를 먼저 구하고 이것을 각 제품에 대한 最適生產回數 N_{0i}와 比較함으로써, N_{0i}가 N_0와 현저하게 다른 제품에 대해서는 試行錯誤法(trial-and-error method)에 의한 操作을 통하여 N_{0i}에 의한 생산계획을 N_0에 의한 기본적인 생산계획에 接近시켜 나감으로서 總在庫費用을 節減할 수 있는 合理的인 생산계획을 세울 수 있는 模型을 開發하였다. 그러나, 試行錯誤法에 의하여 接近시켜나가는 방법은 効果的인 方法이 못된다.

따라서 두번째 分析模型으로서는, E.P.Q. 模型에서 E.P.Q.를 구하는 過程을 재해석하여, 주어진 單一施設에 대한 總 Set-up 回數와 각 製品의 Set-up 回數간의 관계식 및 전제품에 대한 總在庫額과 각 제품의 在庫額간의 관계식을 구하여 이로부터, 우리가 일단 Set-up 회수를 品目當 N_0회로 m 品目에 대하여 총 mN_0회로 하면 얼마만큼의 在庫만을 유지해도 될것인가와 반대로 총재고금액을 一定하게 하였을 때 Set-up 회수를 몇 회로 할 것인가를 결정할 수 있는 模型을 開發하였다. 또 이 분석으로부터 우리는 總 Set-up 回數 × 總平均在庫額의 관계식이 雙曲線(hyperbola)의 형태를 취함을 알 수 있었다.

그러나, 여기서 강조하고 싶은 점은, 2개의 分析模型中 어느 하나가 다른 하나 보다 더 우수한 模型의 관계에 있는 것이 아니라 2개의 模型이 相互 補完的인 관계에 있다는 점이다. 즉, 在庫枯渴費用이 許容되는 경우이던 許容안되는 경우이던, 첫번째 分析模型은 基本計劃을 세우는데 有効하며, 두번째 分析模型은 첫번째 分析模型에서 얻은 基本計劃에서 출발하여, 總在庫費用을 節減할 수 있다는 의미에서, 좀 더 개선된 生產計劃을 세우는데 有効한 模型이다. 두번째 分析模型의 또 하나의 장점은 첫번째 分析模型에서는 개선된 생산계획을 얻기 위해서 각 제품에 대한 在庫費用들을 모두 알고 있어야 하지만, 두번째 分析模型에서는 이들 비용을 모르더라도 개선된 생산계획을 얻는 것이 가능하다는 점이다.

이 分析模型들을 실제로 포항製罐工場에 適用한 결과는 종전에 포항공장에서 사용하던 생산계획방법에 비하여 총재고비용을 節減할 수 있는 생산계획방법을 제공할 수 있음을 보여주었다. 따라서 첫번째 分析模型과 두번째 分析模型을 相互 補完하여 잘 利用하면 총재고비용을 절감할 수 있다는 점에서 매우 合理的인 生產計劃을 세울 수 있음을 확인 하였다.

〔註〕

1) i 製品의 Set-up 回數

$$=\frac{R_i}{Q_i}=R_i\sqrt{\frac{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}{2R_iC_1}}=\sqrt{\frac{C_2}{2C_1}}\sqrt{R_iP_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

總 Set-up 回數

$$=\sum_{i=1}^{m}\frac{R_i}{Q_i}=\sum_{i=1}^{m}R_i\sqrt{\frac{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}{2R_iC_1}}=\sqrt{\frac{C_2}{2C_1}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_iP_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

2) i 製品의 在庫額

$$=\frac{Q_iP_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}=\frac{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}\sqrt{\frac{2R_iC_1}{P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}}$$

$$=\sqrt{\frac{C_1}{2C_2}}\sqrt{R_iP_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

總 在庫額 $=\sqrt{\frac{C_1}{2C_2}}\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_i P_i'\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$

3) 一般的으로 在庫枯渴費用이라 함은 수요를 納期에 충족시키지 못함으로써 發生하는 費用으로서 궁극적으로는 수요가 충족되는 것을 前提로 하기 때문에 팔 것을 영원히 못팔므로써 발생하는 費用으로는 간주하지 않는다.

4) (Minimum) TC_i 의 첫번째 항

$$\frac{R_i}{Q_i^0}C_1=R_iC_1\sqrt{\frac{P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_iC_1}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}=\sqrt{\frac{R_iC_1P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}$$

(Minimum) TC_i 의 두번째 항

우선,

$$\left[Q_i^0\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i^0\right]^2\frac{1}{-1\frac{r_i}{P_i}}\left[Q_i^{0^2}\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)^2-2Q_i^0S_i^0\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)+S_i^{0^2}\right]\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\left\{\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}\cdot\frac{C_2+C_3}{C_2}\cdot\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)^2-2\cdot\sqrt{\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}}\cdot\sqrt{\frac{C_2+C_3}{C_2}}\cdot\sqrt{\frac{2R_iC_1\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{P_i'C_3}}\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\cdot\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)+\frac{2R_iC_1\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{P_i'C_3}\cdot\frac{C_2}{C_2+C_3}\right\}\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\left(\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\cdot\frac{C_2+C_3}{C_2}-2\cdot\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}+\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\cdot\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)$$

$$=\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\left(\frac{C_2+C_3}{C_2}-2+\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)=\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\left(1+\frac{C_3}{C_2}-2+\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)$$

$$=\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\left(\frac{C_3}{C_2}+\frac{C_2}{C_2+C_3}-1\right)=\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\left(\frac{C_3}{C_2}-\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)$$

$$=\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\cdot\frac{C_3^2}{C_2(C_2+C_3)}$$

따라서,

$$\frac{P_i'C_2}{2Q_i^0}\left[Q_i^0\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i^0\right]^2\cdot\frac{1}{\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

$$=\frac{P_i'C_2}{2}\cdot\sqrt{\frac{P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_iC_1}}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\cdot\frac{2R_iC_1}{P_i'C_3}\cdot\frac{C_3^2}{C_2(C_2+C_3)}$$

$$=\sqrt{\frac{R_iC_1P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\cdot\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)$$

(Minimum) TC_i 의 세번째 항

$$\frac{S_i^{0^2}R_iC_3}{2Q_i^0}\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}=\frac{2R_iC_1\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2P_i'C_2}\cdot\frac{C_2}{C_2+C_3}P_i'C_3\cdot\sqrt{\frac{P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_iC_1}}\sqrt{\frac{C_2+C_3}{C_2}}\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\sqrt{\frac{R_iC_1P_i'C_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\cdot\frac{C_2}{C_2+C_3}\cdot\left(\frac{C_2}{C_2+C_3}\right)$$

5) 總平均在庫金額

$$=\sum_{i=1}^{m}\frac{P_i'}{2Q_i}\left[Q_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)-S_i\right]^2\cdot\frac{1}{1-\frac{r_i}{P_i}}$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\frac{P'_i}{2}\cdot\sqrt{\frac{P'_iC_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2R_iC_1}}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\cdot\frac{2R_iC_i}{P'_iC_3}\cdot\frac{C_3^2}{C_2(C_2+C_3)}$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\sqrt{\frac{R_iC_1P'_iC_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}{2}}\cdot\sqrt{\frac{C_2}{C_2+C_3}}\cdot\frac{C_3}{C_2(C_2+C_3)}=\sum_{i=1}^{m}\sqrt{\frac{R_iC_1P'_iC_3\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)C_2}{2C_2^2(C_2+C_3)}}\cdot\frac{C_3}{C_2+C_3}$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\sqrt{\frac{C_1\cdot C_3}{2C_2(C_2+C_3)}}\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)\sqrt{R_iP'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

$$=\sqrt{\frac{C_1\cdot C_3}{2C_2(C_2+C_3)}}\left(\frac{C_3}{C_2+C_3}\right)\sum_{i=1}^{m}\sqrt{R_iP'_i\left(1-\frac{r_i}{P_i}\right)}$$

6) 이 論文에서 適用 대상으로 하고 있는 製罐工場은 경상북도 포항시에 위치하고 있는 東洋物産企業株式會社 포항製罐工場임을 밝혀 둔다.

<참고문헌>

1. David W. Miller and Martin K. Starr, *ExecCtive Decisions and Operations Research,* 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
2. Elwood S. Buffa, *Operations Management: Problems and Models.* 3rd ed., N.Y., John Wiley & Sons, Inc., 1972.
3. Richard A. Johnson, William T. Newell and Roger C. Vergin, *Operations Management-A System Concept,* Houghton Mifflin Co., Boston, 1972.
4. Elwood S. Buffa, *Modern Production Management,* 3rd ed., N.Y., John Wiley & Sons, Inc., 1969.
5. Edward H. Bowman and Robert B. Fetter, *Analysis for Production and Oprations Management,* Homewood, Illinois; Richard D. Irwin, Inc., 1968.
6. Hadley, G.M. and T.M. Whitlin, *Analysis of Inventory Systems,* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
7. Magee, J.F., *Production Planning and Inventory Control,* Mcgraw-Hall, New York, 1958.
8. David W. Miller and Martin K. Starr, *Inventory Contɹol: Theory and Practice,* Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.
9. Naddor, F., *Inventory Systems,* John Wiley, New York 1966.
10. Olsen, R.A., *Manufacturing Management: A Quantitative Approach,* International Textbook, Scranton, Pa., 1968.