

타이어製造工場の 生産計劃作成

—生産管理事例研究—

尹 錫 詰
(서울大 經營大 副教授)

輸送模型을 利用한 生産日程計劃의 事例研究

I. 序

本 事例研究는 우리나라의 多品種少量注文生産시스템들이 겪고 있는 生産日程計劃의 어려움을 線型計劃法(linear programming; LP)의 特殊 형태인 輸送模型(transportation model)으로 解決 하려고 試圖한 것이다.

타이어製造企業을 對象으로 하여 9개월에 걸쳐 研究한 結果 Model의 設定과 그에 필요한 假定에서 몇가지 問題點이 지적되어 實際適用을 할 수 없게 되었으므로 本 事例研究에서는 明確한 方

向提示를 하기 보다는 그간의 研究가 어떠한 方法으로 輸送模型을 만들었으며 어떠한 問題點 때문에 實際適用이 어려웠던가를 說明하고자 한다.

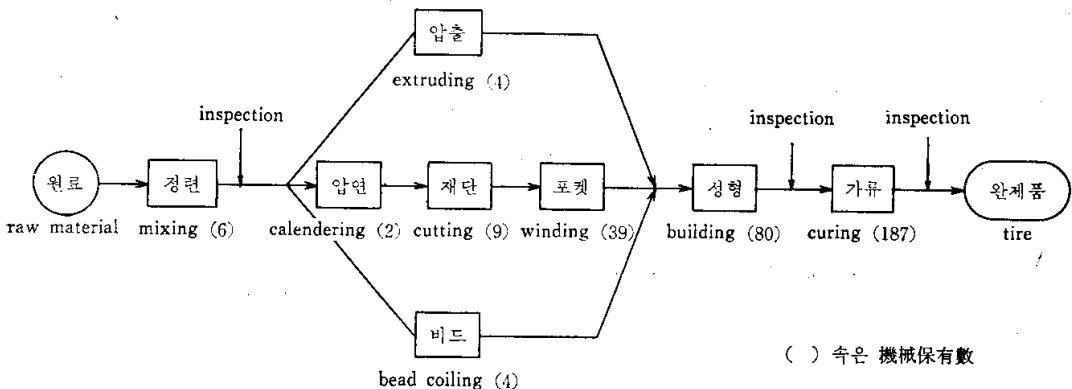
II. 生産工程의 概要와 問題點의 發見

1. 生産工程의 說明

研究對象企業인 K타이어회사는 타이어의에도 Tube, Flap 등을 생산하고 있으나 타이어의 日 平均生産量이 300ton을 上廻하는데 비해 Tube, Flap의 生産量은 微微할 뿐만 아니라 Tube나 Flap의 生産施設에는 余裕가 있으므로 論議에서 제외시켰다.

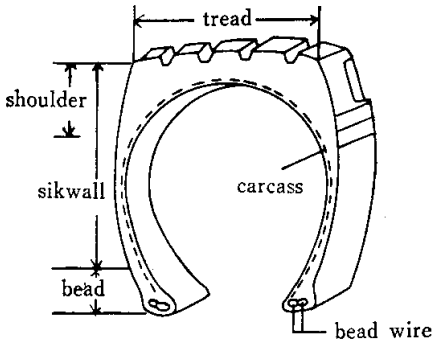
타이어는 크게 나누어 乘用車用, 트럭·버스用, 重裝備 및 航空用의 세 가지로 分類되는데

<그림 1> 타이어의 製造工程



註) 本 事例研究는 安柄赫碩士의 努力에 의해 가능했다.

〈그림 2〉 타이어의 構造



몇몇 特殊타이어 및 래디알타이어(radial tire)를 제외하고는 전부 동일한 作業順序를 거쳐 만들어진다. 일반적인 타이어製造工程을 간략히 나타내면 〈그림 1〉과 같다.

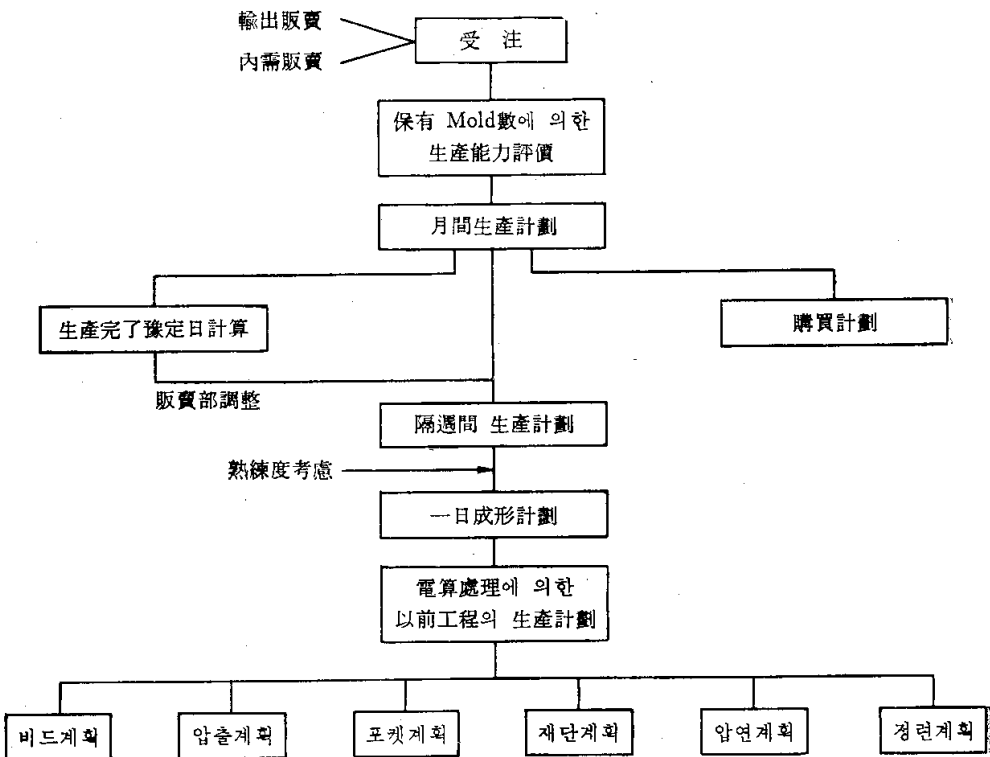
〈그림 1〉의 工程圖에서 成形工程(building)은 壓出工程(extruding)에서 만들어진 트레드(tread, 〈그림 2〉 참조)와 비드工程(bead coiling)에서 만들어진 비드(bead wire, 〈그림 2〉 참조)를 포켓工程(winding)에서 나오는 몸통(carcass)에 붙

여 組立完成된 Green-Case를 만드는 工程이며, 加硫工程(curing)은 成形工程에서 만들어진 Green-Case를 2本씩 加硫機(curing machine)에 넣고 썬내어 完製品타이어를 만드는 工程이다.

2. 生産計劃의 樹立過程

〈그림 1〉과 같은 工程을 통하여 만들어지는 타이어는 原價의 側面에서 볼 때 정련공정(mixing)과 압연공정(calendering, nylon cord에 고무를 입히는 과정)이 중요하다. 그러나 정련공정과 압연공정에서 만들어지는 것은 受注製品의 多樣함과 무관하며, 또 施設에 여유가 있어 生産計劃이나 作業配置의 側面에서는 크게 문제되지 않는다. 生産計劃과 作業配置의 側面에서는 포켓(고무를 입힌 nylon cord紙를 감아서 타이어의 몸통을 만드는 과정), 成形, 加硫工程이 중요하다. 특히 成形工程의 경우는 제한된 設備投資로 인하여 bottleneck이 자주 생기기 때문에 주로 成形工程을 중심으로 生産計劃이 이루어진다. 참고로 過去 本 研究가 있기전에 生産計劃이 樹立되었던 과정을 그림으로 나타내면 〈그림 3〉과 같다.

〈그림 3〉 生産計劃 樹立過程



3. 生産計劃樹立의 어려움

1) 注文의 複雜

K타이어會社는 원칙적으로 注文에 의해 生産·販賣하는 Closed Job Shop이다. 그런데 內需販賣의 경우에는 비교적 注文에 포함된 注文의 品目數가 적고 또 納期에 관한 制約도 느슨한 편이나 輸出의 경우에는 하나의 注文에 포함되어 있는 品目數가 20여가지에 이르며 많은 경우에는 100여가지가 된다는데 문제가 있다. 또한 注文品目數가 많은 만큼 個別品目の 受注量은 얼마 되지 않아 잦은 Set-up을 필요로 하게 된다.

참고로 타이어의 種類表示를 살펴보자.

어떤 製品이

PM 5.60-13 101 4 WL

로 표시될 때 PM은 Brand를, 5.60은 타이어의 幅(單位는 inch)을, 13은 타이어의 內徑(rim size, 單位는 inch)을, 101은 Tread의 Pattern을, 4는 Ply Rating(타이어의 強度, 1PR은 Cotton Cord 지 1매의 強度)을, W는 Sidewall의 輪 테를, L은 Tubeless를 나타낸다. 이와 같이 제품의 종류가 多樣하기 때문에 K타이어회사에서 생산되는 타이어의 종류는 4,500餘種에 이르며 한달에 생산하는 제품의 종류도 350餘種이나 된다. 이 결과 成形工程에서는 內徑이 달라질 경우 Drum(成形機에서 타이어의 몸통을 거는 원통)을 交替하여야 하고 加硫工程에서는 타이어의 幅內徑, Pattern이 달라질 때 Mold를 交替하고, Brand, Tubeless表示, Ply Rating, 또 그 이외의 特殊文字表示가 달라질 때마다 Plate를 交替하여야 한다.

이 경우 生産計劃擔當者들은 Set-up回數가 늘어나는 것이 機械의 使用率을 낮추며 作業者의 士氣를 떨어뜨린다고 생각하기 때문에 Mold交替나 Drum交替를 기피하는 경향이 있으며 그 결과 船積日까지의 在庫費用이 엄청나게 늘어나는 반면 어떤 品目은 納期를 맞추지 못하는 경우가 허다하다.

2) 機械性能의 多樣

K타이어회사는 小規模企業으로부터 계속 발전하여 오늘날의 大企業이 된 회사로서 우리나라의 典型的인 企業이라 할 수 있다. 따라서 과거 中·小規模企業일 때 使用하던 手動, 半自動

의 機械와 自動機械가 共存하고 있으며, 自動機械라 하더라도 한꺼번에 一括購入한 것이 아니라 여러 나라에서 필요할 때마다 몇대씩 구입한 것이기 때문에 그 性能이 제각기 다르다.

따라서 한 종류의 加硫機에서 생산할 수 있는 規格을 명확히 구분지을 수 없는 어려움이 있다. 예를들어 A種類의 加硫機에서 製品 a, b를 생산할 수 있고, B種類의 加硫機에서 製品 a, c를, C種類의 加硫機에서 製品 b, c를 생산할 수 있다고 할 때 어느 種類의 加硫機도 생산할 수 있는 製品群을 따로 분리시켜 생각할 수가 없는 것이다. 또한 使用되는 Mold도 自動用, 手動用, 半自動用, 自動·手動兼用 등 7종류나 되기 때문에 自動·手動兼用の Mold가 手動加硫機에 걸려 있는 경우 自動機械는 Mold가 없어 遊休時間이 發生하는 수가 있는데 이 때 作業性을 고려하여 手動加硫機에 있는 Mold를 自動機械로 옮긴다면 불필요한 Mold交替가 두번이나 일어나게 되는 것이다.

위에서 살펴본 바와 같은 문제점 때문에 電子計算機가 K타이어 회사에 道入된 지 5년이 넘었음에도 一日成形計劃과 一日加硫計劃까지의 모든 生産計劃(<그림 3> 참조)이 몇몇 老練한 生産計劃擔當者의 手作業에 의해서 처리되고 있으며 막대한 研究費를 들여 KAIST研究陣에 의해 開發된 生産計劃 Program이 전혀 사용되지 못하고 있는 실정이다. 本 研究陣은 이러한 어려움을 解決하기 위해 納期履行을 最優先으로 하고 在庫費用을 最小化하는 Model의 開發을 試圖하였다.

Ⅲ. Model의 作成

本 Model은 타이어製品을 乘用車用, 트럭·버스用, 重裝備·航空用의 세 종류로 크게 구분하고 完製品을 만들어내는 加硫工程을 중심으로 一次로 Transportation Model에 의해 在庫費用을 勘案하여 月間生産計劃을 세우고 다음에는 保有 Mold數와 機械特性을 고려하여 納期를 맞추는 限度內에서 Mold交替와 Plate交替를 가능한 한 줄이도록 하는 作業配置 Model을 만들어 一日加硫計劃을 세우게 한 것이다.

1. Transportation Model에 의한 月間生産計劃

Transportation Model을 간단히 하기 위해 다음과 같은 假定을 하였다.

- ① 納期日은 5日 間隔으로 區分하여 1개월을 6기간으로 나눈다.
- ② 어느 機械든 모든 規格의 製品을 生産할 수 있다.
- ③ 製品의 在庫費用은 金融費用만으로 나타내며 製品의 原價에 比例한다.
- ④ 納期遲延費用은 原價에 比例하여 增加한다.

<그림 4>의 輸送表를 가지고 Transportation Model을 說明 하도록 하자.

Capacity, Order 및 生産量은 모두 時間을 單位로 하고 있다. 그 이유는 各 製品마다 生産 標準時間이 달라서 生産能力을 本數로 나타낼 수 없기 때문이다. 따라서 決定變數는 時間으로 나타내고 最適解를 얻은 다음 다시 生産本數로 換算하여 結果 Report를 얻도록 하였다.

오른쪽의 Capacity列은 i 期間동안의 機械可用 時間을 나타내고 있으며 아랫쪽의 Order行은 j 期間에 出庫되어야 할 各 製品의 量에 그 製品의 生産標準時間을 곱한 것이다. Order行의 7期間에 나타나 있는 量은 다음 달의 販賣를 위해 필요한 月末必要在庫量을 나타낸다.

$k=1$ 일때, 즉 item 1에서의 決定變數 X_{ij} 는 i 期間에 生産하여 j 期間에 출고할 製品의 量을 時

間으로 표시한 것이다. 따라서 $i=j$ 일때, 즉 빗금 친 부분에서는 그 期間에 生産하여 그 期間에 판매할 量을 나타내며, $i < j$ 일때, 즉 빗금친 부분의 윗쪽에서는 生産한 製品을 在庫로 두었다가 다음 期間 이후에 출고할 量을 나타내고, $i > j$ 일때, 즉 빗금친 부분의 아랫쪽에서는 納期遲延이 일어남을 보여주게 된다.

또 오른쪽의 Dummy 1列은 工程의 Capacity가 製品需要量보다 많을 경우의 遊休時間을 나타내며 아랫쪽의 Dummy 2行은 製品需要가 工程能力보다 많을 경우 그 달에 生産하지 못하는 物量을 나타내게 된다.

1) 決定變數의 定義

X_{kij} ; i 期間에 生産하여 j 期間에 출고할 k 製品의 機械使用時間

2) 生産能力(supply)의 計算

$S_i = i$ 期間에 使用可能한 機械數 \times 한 기계가 i 期間에 稼動되는 時間(T_i , 여기서는 5日 \times 24時間 \times 2 = 240時間)

윗식에서 2를 곱한 것은 加硫機의 대부분이 Mold를 2개 얹어서 한꺼번에 2本の 타이어를 生産하기 때문이다.

3) 注文量을 生産하는데 필요한 機械使用時間 (demand)의 計算

여기서 Set-up은 生産必要時間이 機械 한 대의 稼動時間을 超過할 때 한 번 일어난다고 보아 Set-up에 필요한 시간은 生産必要時間에 比例한다고 假定하였다(이 假定은 이후 不適切하다고

<그림 4> 月間生産計劃의 輸送表

	item 1							item 2							item k							item z							Dummy 1	Capacity
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7		
1		C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}																					S_1		
2	C_{21}		C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}																					S_2		
3	C_{31}	C_{32}		C_{34}	C_{35}	C_{36}	C_{37}																					S_3		
4	C_{41}	C_{42}	C_{43}		C_{45}	C_{46}	C_{47}																					S_4		
5	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}		C_{56}	C_{57}																					S_5		
6	C_{61}	C_{62}	C_{63}	C_{64}	C_{65}		C_{67}																					S_6		
Dummy 2	C_{71}	C_{72}	C_{73}	C_{74}	C_{75}	C_{76}																								
Order	D_{11}	D_{12}	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}	D_{17}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	D_{24}	D_{25}	D_{26}	D_{27}	D_{k1}	D_{k2}	D_{k3}	D_{k4}	D_{k5}	D_{k6}	D_{k7}	D_{z1}	D_{z2}	D_{z3}	D_{z4}	D_{z5}	D_{z6}	D_{z7}		

判明되었음). 따라서 必要한 機械稼動時間은

$$D_{kj} = Q_{kj} \cdot A_k + B_k \cdot \frac{O_{kj} \cdot A_k}{240}$$

$$= Q_{kj} \cdot A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)$$

Q_{kj} : j 期間에 出庫하여야 할 k 製品の 注文量

A_k : k 製品 1本을 생산하는데 必要한 生産標準時間

B_k : k 製品の Mold交替時間

4) 費用行列(cost matrix)의 計算

輸送表의 費用行列은 製造費用(時間當 勞務費와 Set-up費用으로 計算)과 在庫費用으로 나누어 計算하였다.

즉 <그림 4>의 빗금친 부분은 $i=j$ 로 그 期間에 生産한 것을 그 期間에 出庫시키는 것이므로 期間이 바뀔 때마다 Set-up이 일어난다고 假定하여 Set-up費用을 計算하고(이 計算은 Set-up時間의 假定이 틀려짐에 따라 不適切한 것으로 判明되었다), 在庫費用은 平均在庫日數를 그 期間의 半 즉, $\frac{5}{2}$ 일로 하여 計算하였다(단 $C_{77} < 0$). $i < j$ 일때(빗금친 부분의 윗쪽)는 다음 期間以後에 出庫될 것을 미리 生産하는 것이므로 Set-up없이 계속 生産하는 것으로 보아 在庫費用만 計算하였으며, $i > j$ 일때(빗금친 부분의 아랫쪽)는 納期遲延이 일어나는 것이므로 $i=j$ 일때의 C_{ij} 의 10배를 遲延된 期間數만큼 증가시켰다.

i) $i < j$ 일때

간단히 하기 위해 j 期間에 出庫되어야 할 製品 k 가 $i < j$ 인 어느 한 期間에만 生産된다면 Demand의 계산에 의해

$$X_{kij} = D_{kj} = Q_{kj} \cdot A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)$$

그런데 $C_{kij} \cdot X_{kij}$ 의 값은 Q_{kj} 를 生産하는 勞務費와 $(j-i)$ 期間만큼의 在庫費用으로 構成되므로

$$C_{kij} \cdot X_{kij} = Q_{kj} \cdot A_k \cdot L + Q_{kj} \cdot P_k \cdot R \left\{ \frac{5}{2} + 5(j-i) \right\}$$

$$\therefore C_{kij} = \frac{L}{\left(1 + \frac{B_k}{240} \right)}$$

$$+ \frac{1}{A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)} \cdot \left\{ P_k \cdot R \cdot 5 \left(\frac{1}{2} + j - i \right) \right\}$$

Q_{kj} : j 期間에 出庫하여야 할 k 製品の 注文量(本數)

A_k : k 製品 1本을 생산하는데 必要한 生産標準時間

B_k : k 製品の Mold交替時間

L : 單位時間當勞務費

P_k : 製品 k 의 原價

R : 一日金融費用率

ii) $i=j$ 일때

간단히 하기 위해 j 期間에 出庫되어야 할 製品 k 가 미리 生産되지 않고 그 期間에만 生産된다면 $i < j$ 일때와 마찬가지로

$$X_{kij} = D_{kj} = Q_{kj} \cdot A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)$$

그런데 $C_{kij} \cdot X_{kij}$ 의 값은 O_{kj} 를 生産하는 勞務費와 Set-up費用, 그리고 平均在庫期間($\frac{5}{2}$ 일)의 在庫費用의 합이므로

$$C_{kij} \cdot X_{kij} = Q_{kj} \cdot A_k \cdot L + B_k \cdot \frac{Q_{kj} \cdot A_k}{240} \cdot L + Q_{kj} \cdot P_k \cdot R \cdot \frac{5}{2}$$

$$\therefore C_{kij} = L + \frac{1}{A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)} P_k \cdot R \cdot \frac{5}{2}$$

(단 $C_{k77} = 0$)

iii) $i > j$ 일때

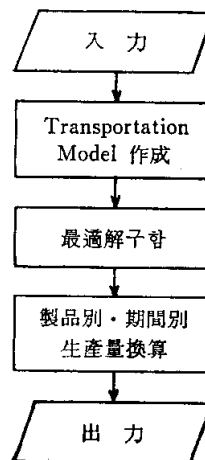
$$C_{kij} = 10(i-j) C_{kjj}$$

5) 生産數量의 換算

위와같이 하여 費用行列(cost matrix)이 구해지면 Transportation Algorithm에 의해 最適解를 구하고 다시 生産本數로 換算하여 期間別生産計劃量을 얻는다.

$$Q_{ki} = \frac{\sum_{j=2}^7 X_{kij}}{A_k \left(1 + \frac{B_k}{240} \right)} \quad \begin{matrix} (i=1, 2, \dots, 7) \\ (k=1, 2, \dots, n) \end{matrix}$$

<그림 5> 月間生産計劃의 Flow Chart



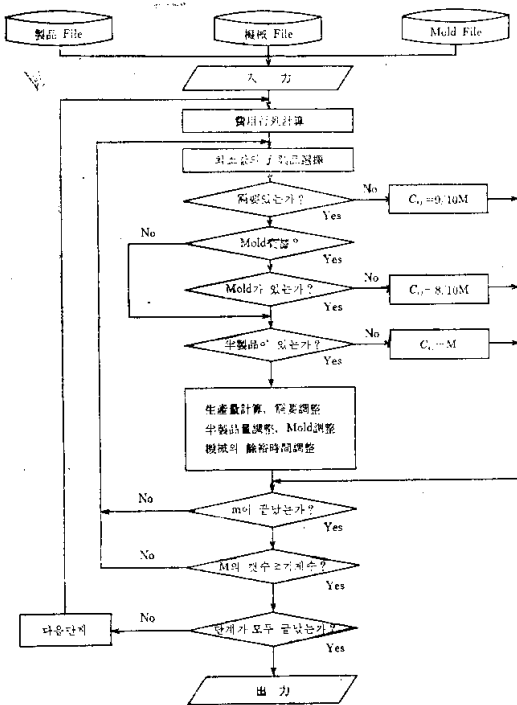
Transportation Model에 의한 月間生産計劃의 過程을 Flow Chart로 나타내면 <그림 5>와 같다.

2. 作業配置 Model에 의한 一日生産計劃

作業配置 Model은 Transportation Model에서 얻은 期間別生産計劃量을 가지고 保有 Mold數와 機械特性을 考慮하여 一日加硫計劃을 세우는 것이다.

作業配置 Model은 數學的인 Algorithm에 의한 것이 아니라 매일의 作業配置計劃을 論理的으로 Computer Program化 한 것으로서 本事例研究가 輸送模型의 適用事例에 관한 것이기 때문에 여기서는 Model의 Flow Chart만 <그림 6>에서 나타내기로 하자.

<그림 6> 配置모델의 Flow Chart



IV. Simulation의 反復과 Model의 修正

1. 1차 Simulation

1) 內容

1차 Simulation은 79년 9/15~10/31까지 輸出 部門에서 受注된 트럭·버스용 타이어 150종에

대해 10월의 生産計劃을 세운 것이다. 당시 輸出과 內需의 比率이 55 : 45이었기 때문에 工程 能力은 트럭, 버스용 加硫機의 半인 30대로 한 정시켰다.

Transportation Algorithm의 最初實行可能 基底解를 얻는 방법으로는 Russell's Approximation Method를 使用하였고 最適解를 얻는 방법으로는 MODI法(modified distribution method)을 使用하였다. 컴퓨터는 FACOM 230-38 OS2/VS를 利用하였다.

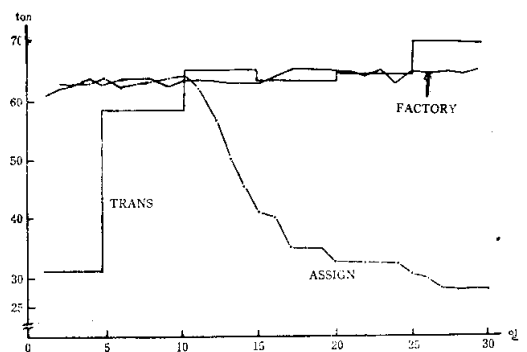
2) 結果의 分析

Model에 의해 세운 計劃과 生産計劃擔當者가 手作業에 의해 세운 計劃을 비교하여 매일의 生産重量을 그래프로 표시한 것이 <그림 7>인데 FACTORY는 生産計劃擔當者가 세운 계획이며 TRANS는 Transportation Model의 最適값에 의한 月間生産計劃을, ASSIGN은 作業配置 Model에 의해 加硫機別로 作業配置를 한 一日生産計劃을 나타내고 있다.

① <그림 7>에서 보면 FACTORY는 매일 일정한 水準으로 계획된데 반해 TRANS나 ASSIGN은 機械遊休時間이 發生하고 있음을 알 수 있는데 이는 入力된 데이터로서는 工程能力이 남아 Model의 경우 生産을 하지 않았음을 보이며 실제 계획의 경우에는 注文이 없는데도 機械使用率을 높이기 위해 在庫를 발생시키고 있음을 나타낸다.

② TRANS와 ASSIGN의 生産量이 月初와 月末이 반대로 되어 있는데 이는 TRANS의 경우 在庫費用을 줄이기 위해 納期遲延이 없는 한 船積日字에 압박하여 生産하려는 경향이 있으며

<그림 7> 1日 總生産重量



〈표 1〉 Model과 實際의 結果比較

區 分		期 間					
		1~5	6~10	11~15	16~20	21~25	26~30
機械 遊休時間	Model	0	2	762	1,629	1,824	2,028
	工 場	0	0	0	0	0	0
Mold 交替回收	Model	13	10	4	1	0	0
	工 場	0	0	0	0	2	2
Plate 交替回收	Model	23	7	1	0	1	0
	工 場	20	9	6	6	7	4
機械使用率(%)	Model	99.1	99.3	78.6	54.7	49.3	43.7
	工 場	99.8	99.9	99.9	99.9	99.8	99.9
納期履行率(%)	Model	100	100	100	100	100	99.3
	工 場	10.0	0.0	53.3	0.0	50.0	48.0

또한 타이어의 規格이 클수록 原價가 높아 在庫費用이 상대적으로 많이 들기 때문에 미리 생산할 경우라 하더라도 작은 規格이 먼저 생산되는 반면, ASSIGN의 경우 機械의 遊休時間이 발생하면 在庫費用을 고려하지 않고 그달의 注文이 있으면 앞당겨 생산하였기 때문이다.

③ 〈표 1〉에서 보면 Model의 경우 納期履行은 압도적으로 優位에 있으나 Mold의 交替回數는 현저히 많이 나타나고 있다. 機械의 使用率을 높여야 한다는 원칙을 고려할 때 이 점이 Model의 가장 큰 약점으로 지적되었다.

④ 機械遊休時間이 Transportation Model의 경우 1,680時間이었으나 作業配置 Model에서는 4,217時間으로 늘어나 Transportation Model에서 세운 Set-up時間의 假定이 틀렸음을 알 수 있었다.

2. 2차 Simulation

1) 內 容

2차 Simulation은 승용차·경트럭용타이어 400종의 內需·輸出受注分에 대해 80년 2월의 生産計劃을 세운 것이다. 製品의 수가 증가함에 따라 컴퓨터의 Memory Size가 모자라서 Transportation Model의 費用行列(cost matrix)을 Disk File에 담아 Direct Access로 계산하였다.

또한 1차 Simulation에서 Set-up 時間의 假定이 틀린 것으로 判明되었기 때문에 Transportation Model에서는 Set-up 時間을 고려하지 않으기로 하고 必要機械使用時間(demand)과 費用行列(cost matrix)의 값을 다음과 같이 修正하였다.

$$D_{kj} = Q_{kj} \cdot A_k$$

$i < j$ 일때

$$C_{kij} = L + P_k \cdot R \cdot 5 \left(\frac{1}{2} + j - i \right)$$

$i = j$ 일때

$$C_{kij} = L + P_k \cdot R \cdot \frac{5}{2} \quad (\text{단, } C_{k77} = 0)$$

$i > j$ 일때

$$C_{kij} = 10(i - j) C_{kjj}$$

Q_{kj} : i 期間에 出庫하여야 할 製品 k 의 注文量

A_k : 製品 k 를 1本 생산하는데 필요한 生産標準時間

L : 單位時間當勞務費

P_k : 製品 k 의 原價

R : 一日金融費用率

2) 結果의 分析

① 製品의 수를 대폭 늘렸기 때문에 Disk File을 사용한 결과 計算時間(computation time)이 엄청나게 늘어나 資料의 入力後 最適解의 리포트를 얻어내기까지 10시간 이상이 所要되었으며, 그 시간의 $\frac{2}{3}$ 정도가 File Access Time으로 나타났다. 그리하여 最初實行可能基底解를 얻는 段階에서 Russell's Approximation Method를 쓰지 않고 Northwest Corner Method를 使用하였더니 所要時間을 5~6時間으로 줄일 수 있었다.

② Transportation Model의 工程能力計算에서 Mold의 保有數를 감안하지 않았기 때문에 Transportation Model의 最適解를 가지고 機械別作業配置를 遂行할 때 Mold의 부족으로 인하여 注文

량의 納期遲延이 일어나게 되었다. 또한 대부분의 加硫機는 Mold를 2대 없어서 사용하게 되어 있는데도 過去 긴급한 경우에 Mold의 Pattern을 轉用하여 使用하였기 때문에 Mold의 수가 홀수로 되어 있는 것을 발견하고 이의 시정을 건의하였다(標準時間이 동일하면 실제 生産計劃에서는 서로 다른 종류의 타이어를 한 기계에서 생산하고 있음을 알게 되었다).

③ 作業配置 Model은 機械特性에 대해 어떤 機械에서 그 製品을 생산할 수 있는가에 대해서만 고려하였으므로 같은 製品의 생산을 이곳 저곳의 加硫機에서 생산하게 되었다. 따라서 半製品(green case)의 運搬이 여러곳으로 나뉘어져야 하기 때문에 作業者들의 作業內容에 혼란을 초래할 염려가 있다고 지적하였다.

3. 3차 Simulation

1) 內容

80년 2월의 生産計劃을 어차피 手作業에 의하여야만 하는 重裝備·航空用타이어를 제외한 全製品 500種에 대하여 확장시켰고, 2차 Simulation에서 保有 Mold數를 고려하지 않은 것을 보완하기 위해 保有 Mold數를 勘案하여 필요한 만큼 앞당겨 各 製品의 納期日을 入力시켰으며, 또한 作業性을 고려하기 위해서 各 機械에 따라 생산이 有利한 정도를 나타내는 作業性係數를 모든 製品에 다음과 같이 附與하였다.

作業性係數 有利한 程度

- | | |
|---|----------------------------|
| 0 | 生産不可 |
| 1 | 不可避한 경우 生産(不可로 看做) |
| 2 | 不可避한 경우 |
| 3 | 가능하면 除外 |
| 4 | 配置를 피하고 싶은 規格 |
| 5 | 가능하면 다른 機械에서 生産한 후 剩余分만 生産 |
| 6 | 가능하면 生産하고 싶은 規格 |
| 7 | 有利한 規格 1 |
| 8 | 有利한 規格 2 |
| 9 | 有利한 規格 3 |

2) 結果의 分析

① Transportation Model을 여러가지로 改善하였으나 計算時間(computation time)은 3~4시간을 필요로 하게 되어 컴퓨터使用의 效率面에

서 커다란 문제점으로 지적되었다. 計算時間이 긴 이유는 컴퓨터의 容量이 작아 Disk File을 사용함에 따른 File Access Time이 컴퓨터使用時間의 $\frac{2}{3}$ 를 차지하고 있는 점도 있으나 실제로 값을 가지는 基低變數의 수는 3,500을 약간 넘는데 비해 決定變數의 수는 25,000정도(輸送表의 Cell의 갯수가 약 25,000)나 되어 Model의 非效率性을 보이고 있을 뿐만 아니라 最適解를 구하기 위한 反復節次(iteration)가 한번 일어날 때 마다 모든 Cell의 費用을 比較해야 하기에 反復節次가 100회이상이면 어마어마한 計算을 必要로 하게 되는 것이다. 또한 基低變數 중에도 退化現象(degeneracy)이 400개이상 일어나 계산을 복잡하게 만들며 Degeneracy의 計算을 간편하게 하기 위해 ϵ 의 값을 제각기 다르게 하였더니 ϵ 에 의한 영향으로 生産計劃量에 있어서 1~2本の 誤差가 발생하였다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 Package의 使用를 檢討하였으나 作業內容이 保有하고 있는 FACOM컴퓨터 L.P. Package의 容量을 超過하고 있어 그 適用이 어려웠다.

② 또하나의 커다란 문제점으로는 Model이 納期履行의 側面에서는 우수함을 보여주고 있으나 注文別로 管理가 되지 않기 때문에 어떤 製品이 Mold의 不足으로 生産이 遲延될 경우라도 注文에 포함된 다른 製品의 生産은 納期遲延에 관계없이 미리 生産하게 되어 不必要한 在庫를 가지게 되는 것이다. 따라서 이러한 경우에는 手作業에 의한 調整이 不可避하게 되었다.

③ 作業配置 Model에 있어서는 作業性係數의 導入으로 機械別作業配置가 많이 改善되었으나 Mold의 交替回數는 여전히 많이 일어나 실제 生産計劃의 경우 月 25회 정도의 Mold交替가 일어나는데 비해 Model에서는 月 91회나 됴으로써 作業性係數의 調整이 필요하게 되었다.

4. 4차 Simulation

4차 Simulation은 80년 5월의 生産計劃을 樹立한 것으로서 Model을 實用化하기 위해서는 電算要員 누구나가 Program을 이해할 수 있어야 한다는 생각아래 FORTRAN Language로 되어 있는 Model의 Program을 電算要員들이 익숙해 있는 COBOL Language로 바꾸었으며 이를 다시

Machine Language로 만들어서 Program을 Disk File에 보관하였다. 또한 Transportation Model의 妥當性을 檢討하기 위해 Transportation Model의 在庫費用最小化를 거치지 않은 生産計劃을 並行하여 세웠다. 즉 Mold의 保有數를 勘案하여 各 期間別로 生産必要量을 결정한 후 직접 作業配置 Model에 入力시켜 生産計劃을 樹立하였다.

2) 結果의 分析

① 計算時間을 3시간이하로 줄였으나 역시 컴퓨터의 效率面에서 크나큰 문제점으로 지적되었다.

② Transportation Model을 거쳐 作業配置를 한 生産計劃과 直接 作業配置모델로 세운 生産計劃이 거의 差異를 보이지 않고 있어 Transportation Model의 有用性이 없게 되었다.

Transportation Model을 거친 生産計劃과 거치지 않은 生産計劃이 서로 差異가 없게 된 理由는 첫째, 5月計劃도 역시 生産能力이 남아 Transportation Model로 구한 값의 상당부분이 出庫해야 할 該當期間에 生産이 이루어지도록 되어 있다는 것이며,

둘째, 注文量이 많아 미리 生産하는 경우에도 在庫費用이 生産原價의 一定比率로 계산되어 있기 때문에 生産原價가 낮은 製品부터 在庫를 가지게 되는 것이다. 이 경우 生産原價가 높은 製品의 Mold가 부족하면 納期를 맞출 수가 없게 되고 納期遲延을 막기 위해 미리 保有 Mold數를 감안한 生産必要量을 入力시키는 것은 이미 Transportation Model이 아니어서 Mold數로 調整된 生産必要量으로 直接配置에 入力시켜도 마찬가지가 되는 것이다.

세째, 作業配置 Model에서 機械遊休時間이 發生할 경우 그 앞의 生産必要量이 있는 한 在庫費用을 무시하고 그 生産을 앞당기도록 되어 있기 때문에 Model Transportation Model의 最適解가 무의미해지는 것이다.

③ 作業配置 Model에 있어서는 作業性係數를 다시 調整한 결과 作業性도 좋아지고 Mold交替回數도 줄게 되었으나 아직 Mold交替回數는 여전히 많아서 作業性係數에 Mold交替의 負擔을 반영시키도록 하였다.

문제점의 檢討結果 Transportation Model의 破棄가 論議되었는데 研究陣의 일부는 機械의 遊休時間이 發生할 때 그 달의 生産必要量이 있어도 生産을 앞당겨 하지 않고 機械를 쉬도록 하면 在庫費用도 줄이고 또 Mold 交替回數도 줄일 수 있기 때문에 Transportation Model을 계속 使用할 수 있다고 主張하였으나 作業時間도 特定機械만이 된다는 것은 作業管理上 不適切하다는 생각이 절대적이어서 特別한 長點을 보이지 않는 Transportation Model은 破棄하기로 하고, 그 대신 Mold保有를 勘案하여 期間別 生産必要量을 얻은 후 직접 作業配置모델로서 一日加硫計劃을 세우기로 하였다. 또한 作業性係數를 좀 더 改善하기로 하였으며 注文別管理와 Mold交替에 대하여는 手作業에 의해 Feedback 시키기로 結論지었다.

이후 두번에 걸쳐 Model을 修正한 뒤 81년초부터 실제 生産計劃에 使用키로 하였으나 81年初에 會社의 事情으로 注文量이 급격히 떨어져 操業度가 40%밖에 되지 않았기 때문에 Model을 適用하지 못하였고 81년 11월현재에도 操業水準이 70%밖에 되지 않아 實施를 못하는 형편이다.

V. 結 論

우리나라의 注文生産시스템은 研究對象이 된 타이어회사외에도 電子部品會社 등 그 예는 얼마든지 찾아볼 수 있다. 그런데 이러한 注文生産시스템들이 外國의 Buyer로부터 받는 注文은 少品種多量의 注文보다 多品種少量의 注文이 많기 때문에 制限된 施設內에서 效率인 生産活動을 한다는 것이 어려운 일일 수 밖에 없으며, 특히 많은 기업들은 小規模工場에서부터 출발하였기 때문에 保有하고 있는 生産機械의 性能이 多樣하여 그 어려움을 더하고 있다.

本 事例研究는 여러가지 복잡한 制約을 갖는 多品種少量 注文시스템의 生産日程計劃을 L.P.의 特殊한 形態인 輸送模型을 利用하여 解決하려고 한 것이다. 研究對象企業인 K 타이어회사의 生産日程計劃에 適用하는데 있어서 여러가지 문제점이 指摘되었는 바 輸送模型을 利用한 Model의 限界點을 說明하면 다음과 같다.

- ① 注文別管理가 되지 못하였다.
- ② 生産能力의 制約條件에 Mold의 制約을 넣지 못하였다.
- ③ Model을 두개로 分離시켜 시스템 Total Optimization을 이루지 못하였다.
- ④ 在庫費用, 機械遊休費用, Set-up費用, 納

期遲延費用 등 機會費用(opportunity cost)의 測定이 어려웠다.

이와같은 弱點때문에 Model의 實際適用이 不可能하였으나 生産管理의 效率性을 기하기 위해 이 문제는 꼭 해결되어야 한다고 생각한다.