

# Learning Curve를 이용한 G.T형 생산성향상 모델 구축 - The Construction of Productivity Improvement Model with Group Technology Style through the Utilization of Learning curve -

윤상원\*  
신용백\*\*

## ABSTRACT

This paper constructs Group Technology process-based learning curve model adjusted to a Group Technology environment which accounts for shared learning that occurs when multiple products utilize some of the same process steps.

Through this constructed model, the estimated times and productivity of labor calculated by the Group Technology process-based learning curve model are compared with those generated by employing product-based learning curve model.

For sensitivity analysis of the model, the impact of learning rate and the ordered production quantity on the ratio differences between Group Technology process-based learning curve model and product-based learning curve model are examined.

These results indicate the critical importance of employing Group Technology process-based learning curve model when a process spans multiple products.

### I. 서론

기업간의 격심한 경쟁과 제품의 수요패턴의 다양해지고, 제품의 수명 사이클이 짧아져 가는 경향으로 인해서 제품의 생산형태가 다품종 변량 생산형태로 옮겨가고 있는 추세이다. 다종변량 생산에서는 생산의 품목과 공정의 다양성, 생산설비의 복잡성, 외부조건의 불확실성, 생산의 실시와 통제의 어려움 때문에 생산관리 및 생산성 향상에 어려운 문제가 있다[1].

이런 문제해결의 방법은 G.T, NC, 산업용로봇, 셀형제조방식, FMS 등의 접근방법을 들수 있는데[2], 그중에서도 특히 다종소량 생산에 대해 효과적인 생산관리 방법으로 제품의 설계, 제조, 관리등 모든 분야에 그 유효성이 인정되어 활용되고 있는 것중의 하나가 G.T라 할수있다[3][4]. 따라서 본 연구에서는 G.T의 그룹핑하는방법 중에서 모든 가공물을 형태, 크기, 가공기술등의 유의성에 따라 분류하는 방법중 공정흐름 분석법을 중심으로 G.T와 Learning Curve 함수 사이의 관계를 규명함은 물론 G.T형 Learning Curve 모델 및 제품중심형 Learning Curve 모델을 구축하여 사례를 적용해 봄으로써, 노동 생산성에 대한 효율성을 파악했다.

또한 변수 변화에 따른 모델 분석을 통해 최적모델 선정의 기준을 제공했으며, 결과값에 따른 Table 작성은 C 언어에 의한 Program을 이용했다.

### II. GT형 learning curve 모델 및 생산성 측정 모델 설정

#### 1. GT형 learning curve 모델 설정

생산시스템에서 생산을 반복하거나 생산량을 늘림에 따라 작업능률 내지 생산 능률이 향상되는 현상으로서 학습효과 (learning effect)를 설명할 수 있으며, 학습곡선 (learning curve)은 이 효과를 수학적 모델로 표시된 개념이다.

이와같은 모델의 종류로는 [4] 대수선형 모형, plateau 모형, Stanford - B 모형, De Jong 모형, S-model 등으로 구분되는 기존의 연구에서 가장 많이 사용되는 모형인 대수선형모형  $Y = KX^n$  (Y: 직접 노동시간, K: 최초의 제조시간, n: 경사율(-logP/log2), P: 학습율)이 있는데, 여기에서 누계 총소요시간을

\* 아주대학교 산업공학과 박사과정

\*\* 아주대학교 산업공학과 교수

접수 : 1992. 10. 19.

확정 : 1992. 10. 30.

구하는 개념에는 learning curve가 무한히 가분적이라는 가정에서는 Y값의 총계는 곡선과 X축사이의 면적과 일치하게 되는 즉 적분이 Y값의 총계를 구하는 수법으로 제시된다[5].

임의의  $X_1$ 과  $X_n$ 값사이의 곡선하의 면적 즉 총소요시간은  $\int_{X_1}^{X_n} Ydx = \frac{AX_n^{B+1}}{B+1} - \frac{AX_1^{B+1}}{B+1}$ 이며,  $X_1$ 과  $X_n$  값을 하나의 공정에서 이전에 S번 반복되어진 개념이라고 하면 q단위를 생산하는데 소요된 총시간은  $\int_{S+qr}^{S+qr} KX^n dx$  (r은 한 공정에서 한 제품을 생산하기 위한 한번 이상의 반복수)가 된다[6].

여기서 하나의 공정을 통해 하나의 제품을 생산하는 제품중심형 생산형태와 하나의 공정에서 2개이상의 제품을 생산하는 GT형 생산형태에 대하여 (<Figure.1>생산형태 참조) 그 각각의 모델을 설정하고 그 비교분석을 행한다.

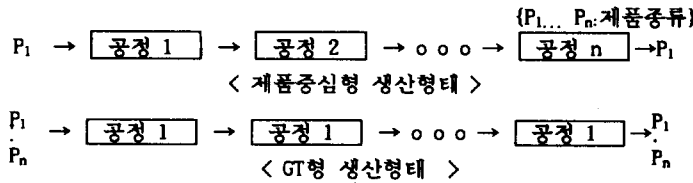


Figure.1 생산 형태

우선 제품 중심형 생산형태에 대한 총소요시간을 구해보면, 하나의 공정에서 하나의 제품을 생산하는 가장 간단한 생산형태의 총소요시간은 식 (1)와 같이 구할 수 있으며,

$$TT = \int_{S+qr}^{S+qr} KX^n dx = \frac{K}{n+1} [(S+qr)^{n+1} - (S)^{n+1}] \quad (1)$$

$\left[ \begin{array}{l} (S+qr)^{n+1} : (S+qr)\text{번 반복하는데 요구되는 시간} \\ (S)^{n+1} : \text{처음 } S\text{번 반복하는데 요구되는 시간} \end{array} \right]$

q단위를 생산하는데 단위당 평균시간은 식 (2)와 같이 된다.

$$AT = TT/q = \frac{K}{q(n+1)} [(S+qr)^{n+1} - (S)^{n+1}] \quad (2)$$

똑같은 접근 방법으로 생산형태 I에 대한 일반화된 모델은 식 (3)과 같은 식이 성립될 수가 있다.

$$TT(I) = \sum_i \frac{K_i}{n_i+1} [(S_i+qr_i)^{n_i+1} - (S_i)^{n_i+1}]$$

$$AT(I) = TT(I)/q = \sum_i \frac{K_i}{q(n_i+1)} [(S_i+qr_i)^{n_i+1} - (S_i)^{n_i+1}] \quad (3)$$

대부분의 생산형태는 식 (3)와 같이 제품중심형 생산형태 같은 상황이 발생되지 않은, 즉 각 제품이 같은 공정하에서 생산되지 않은 경우가 대부분이며, 몇개의 공정이 분할되는 형태가 된다.

여기서 생산성 향상, loss time 등의 문제점을 제거하는, 유사한 형태의 제품을 하나의 공정에서 처리하는 GT형 생산형태 II가 고려되며, 생산형태 II에서 최소단위인 하나의 공정에서 2개의 제품을 생산하는 GT형 생산형태의 총소요시간 및 단위당 평균시간은 식 (4), (5)와 같다.

$$P_A : \left[ \begin{array}{l} TT_A(\text{II}) = \left( \frac{q_A r_A}{q_A r_A + q_B r_B} \right) \left( \frac{K_A}{n_A+1} \right) [(S_1+q_A r_A + q_B r_B)^{n_A+1} - S_1^{n_A+1}] \\ AT_A(\text{II}) = TT_A(\text{II})/q_A \end{array} \right] \quad (4)$$

$$P_B : \left[ \begin{array}{l} TT_B(\text{II}) = \left( \frac{q_B r_B}{q_A r_A + q_B r_B} \right) \left( \frac{K_B}{n_B+1} \right) [(S_1+q_A r_A + q_B r_B)^{n_B+1} - S_1^{n_B+1}] \\ AT_B(\text{II}) = TT_B(\text{II})/q_B \end{array} \right] \quad (5)$$

따라서 GT형 생산형태의 일반화된 모델을 정립해보면 식 (6)을 유도할 수 있다.

$$TT(\text{II}) = \sum_{i \in J} \left[ \left( \frac{q_j r_{ij}}{\sum_{j \in J} q_j r_{ij}} \right) \left( \frac{K_i}{n_i+1} \right) [(S_1 + \sum_{j \in J} q_j r_{ij})^{n_i+1} - (S_1)^{n_i+1}] \right]$$

$\sum_{j \in P(j)}$  : 제품 j에 대한 공정 i에서의 시간 합,  $\sum_{j \in I(i)}$  : 공정 i에 대한 제품 j의 총 반복수

$$AT(\Pi) = TT(\Pi)/q_j = \sum_{j \in P(j)} \left[ \left( \frac{q_j r_{ij}}{\sum_{j \in I(i)} q_j r_{ij}} \right) \left( \frac{K_i}{n_i+1} \right) \left[ (S_i + \sum_{j \in I(i)} q_j r_{ij})^{n_i+1} - (S_i)^{n_i+1} \right] / q_j \right] \quad (6)$$

GT형 생산형태 식(6)은 제품중심형 생산형태식(3) 보다 TT 및 AT가 작다는 결론을 유도할 수 있다. 왜냐하면, 식(6)에서는 하나의 공정에서 두개의 제품  $P_A, P_B$ 로 분할되어 총반복수가 증가되어  $P_A, P_B$ 에서 요구되는 총시간은 감소가 되기 때문이다. 바로 이 점이 GT형 생산형태의 그 특징이라고 할 수가 있다.

2. 생산성 측정 모델 설정

학습합수  $Y = KX^n$ 와 생산성과의 관계는 생산비용의 추정으로서 많이 사용되어 왔는데[7][8][9], 본 연구의 2가지 생산형태 모델에서 노동생산성모델을 설정하여 생산성을 기준으로한 두 모델을 비교평가함으로써 그 효율성을 파악해보면 K단위의 제품을 생산하기위한 총소요시간을  $TT_k$ , 평균시간을  $Y_k$ 라하면  $TT_k = K \cdot Y_k$  가 되며, 만약, 한명의 작업자에 의해 수행되는 공정을 가정했을때 작업자 당 노동생산성  $P_k$ 는 다음과 같이 유도될 수가 있다.

$$P_k = \frac{K}{TT_k} = \frac{K}{K \cdot Y_k} = \frac{1}{Y_k}$$

따라서 제품중심형 생산형태의 노동생산성을  $P'(I)$ , GT형 생산형태의 노동생산성을  $P'(II)$ 라 했을때  $P'(I)$  과  $P'(II)$ 은 식 (7), (8)이 된다.

$$P'(I) = \frac{q}{TT(I)} = \frac{1}{AT(I)} = \frac{q}{\sum_i \frac{K_i}{q(n_i+1)} [(S_i + qr_i)^{n_i+1} - (S_i)^{n_i+1}]} \quad (7)$$

$$P'(II) = \frac{\sum q_j}{TT(II)} = \frac{1}{AT(II)} = \frac{\sum q_j}{\sum_{j \in P(j)} \left[ \left( \frac{q_j r_{ij}}{\sum_{j \in I(i)} q_j r_{ij}} \right) \left( \frac{K_i}{n_i+1} \right) \left[ (S_i + \sum_{j \in I(i)} q_j r_{ij})^{n_i+1} - (S_i)^{n_i+1} \right] \right]} \quad (8)$$

III. 사례연구

본 사례는 다품종 소량 생산형태의 K봉제공장을 대상으로 분석했으며 사례업체는 소량,중량의 주문에 의해 생산되는 순수 일가공 섬유업체이며, 내수 및 수출을 겸하고 있는 회사로서, 주요 공정별 작업내용은 안숙작업, 앞판작업, 깃작업, 밑단작업, 합복작업의 size, 원단, 패턴, 스타일 등이 각기 다른 의류를 생산하고 있는데, 여기서는 디자인에 따라 공정이 다른 앞판작업의 10개공정을 분석했다. 3개 제품에 대한 다품종 공정 분석표는 <Figure. 2>이며, 해당공정의 변수들의 값은 공정별 학습율이 다른 경우와 동일한 경우로 나누어 계산했으며 그 값은 <table. 1>, <table. 2>와 같다.

Table. 1 변수값(공정에 대한 제품별 학습율이 동일한 경우)

공정	제품	A	B	C	변수값	$K_i$ (분)	$n_i$	$r_{ij}$		
								A	B	C
1		①		①	1.70	- 0.434	1	0	1	
2		②	①	②	1.90	- 0.415	1	1	0	
3			②	③	1.65	- 0.377	0	1	1	
4		③	③	④	1.80	- 0.304	1	1	0	
5			④	⑤	1.87	- 0.340	0	1	1	
6			⑤	⑥	1.90	- 0.358	0	1	1	
7		④	⑥	⑤	1.70	- 0.322	1	1	1	
8		⑤		⑥	1.70	- 0.396	1	0	1	
9		⑥		⑦	1.82	- 0.286	1	0	1	
10				⑧	1.93	- 0.377	0	0	1	

Figure. 2 다품종 공정 분석표

여기서  $S_i$ 는 각 모델의 노동생산성에 대한 효율성을 파악하기 위한 기준으로 과거에 한번 수행했다는 가정을 설정하여 전 공정에 1 이란값을 부여했고,  $r_{ij}$ 값은 한 제품을 생산 하는데 해당 공정이 요구되면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 부여했다. 그리고  $q_A=170, q_B=320, q_C=250$ 의 값을 설정하여 각 제품별 TT(I), TT(II), AT(I), AT(II),  $P'(I)$ ,  $P'(II)$ 의 값을 구하는 식은 다음과 같다.

(1)A제품 :

$$\textcircled{1} TT_A(I) = \left(\frac{K_1}{n_1+1}\right) [(S_1+q_A r_{1A})^{n_1+1}-S_1^{n_1+1}] + \left(\frac{K_2}{n_2+1}\right) [(S_2+q_A r_{2A})^{n_2+1}-S_2^{n_2+1}] \\ + \left(\frac{K_4}{n_4+1}\right) [(S_4+q_A r_{4A})^{n_4+1}-S_4^{n_4+1}] + \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_A r_{7A})^{n_7+1}-S_7^{n_7+1}] \\ + \left(\frac{K_8}{n_8+1}\right) [(S_8+q_A r_{8A})^{n_8+1}-S_8^{n_8+1}] + \left(\frac{K_9}{n_9+1}\right) [(S_9+q_A r_{9A})^{n_9+1}-S_9^{n_9+1}] \quad (9)$$

$$\textcircled{2} AT_A(I) = TT_A(I)/q_A \quad (10)$$

$$\textcircled{3} P'_A(I) = 1/AT_A(I) \quad (11)$$

$$\textcircled{4} TT_A(II) = \left(\frac{q_A r_{1A}}{q_A r_{1A}+q_C r_{1C}}\right) \left(\frac{K_1}{n_1+1}\right) [(S_1+q_A r_{1A}+q_C r_{1C})^{n_1+1}-S_1^{n_1+1}] \\ + \left(\frac{q_A r_{2A}}{q_A r_{2A}+q_B r_{2B}}\right) \left(\frac{K_2}{n_2+1}\right) [(S_2+q_A r_{2A}+q_B r_{2B})^{n_2+1}-S_2^{n_2+1}] \\ + \left(\frac{q_A r_{4A}}{q_A r_{4A}+q_B r_{4B}}\right) \left(\frac{K_4}{n_4+1}\right) [(S_4+q_A r_{4A}+q_B r_{4B})^{n_4+1}-S_4^{n_4+1}] \\ + \left(\frac{q_A r_{7A}}{q_A r_{7A}+q_B r_{7B}+q_C r_{7C}}\right) \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_A r_{7A}+q_B r_{7B}+q_C r_{7C})^{n_7+1}-S_7^{n_7+1}] \\ + \left(\frac{q_A r_{8A}}{q_A r_{8A}+q_C r_{8C}}\right) \left(\frac{K_8}{n_8+1}\right) [(S_8+q_A r_{8A}+q_C r_{8C})^{n_8+1}-S_8^{n_8+1}] \\ + \left(\frac{q_A r_{9A}}{q_A r_{9A}+q_C r_{9C}}\right) \left(\frac{K_9}{n_9+1}\right) [(S_9+q_A r_{9A}+q_C r_{9C})^{n_9+1}-S_9^{n_9+1}] \quad (12)$$

$$\textcircled{5} AT_A(II) = TT_A(II)/q_A \quad (13)$$

$$\textcircled{6} P'_A(II) = 1/AT_A(II) \quad (14)$$

(2)B제품 :

$$\textcircled{1} TT_B(I) = \left(\frac{K_2}{n_2+1}\right) [(S_2+q_B r_{2B})^{n_2+1}-S_2^{n_2+1}] + \left(\frac{K_3}{n_3+1}\right) [(S_3+q_B r_{3B})^{n_3+1}-S_3^{n_3+1}] \\ + \left(\frac{K_4}{n_4+1}\right) [(S_4+q_B r_{4B})^{n_4+1}-S_4^{n_4+1}] + \left(\frac{K_5}{n_5+1}\right) [(S_5+q_B r_{5B})^{n_5+1}-S_5^{n_5+1}] \\ + \left(\frac{K_6}{n_6+1}\right) [(S_6+q_B r_{6B})^{n_6+1}-S_6^{n_6+1}] + \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_B r_{7B})^{n_7+1}-S_7^{n_7+1}] \quad (15)$$

$$\textcircled{2} AT_B(I) = TT_B(I)/q_B \quad (16)$$

$$\textcircled{3} P'_B(I) = 1/AT_B(I) \quad (17)$$

$$\textcircled{4} TT_B(II) = \left(\frac{q_B r_{2B}}{q_A r_{2A}+q_B r_{2B}}\right) \left(\frac{K_2}{n_2+1}\right) [(S_2+q_A r_{2A}+q_B r_{2B})^{n_2+1}-S_2^{n_2+1}] \\ + \left(\frac{q_B r_{3B}}{q_B r_{3B}+q_C r_{3C}}\right) \left(\frac{K_3}{n_3+1}\right) [(S_3+q_B r_{3B}+q_C r_{3C})^{n_3+1}-S_3^{n_3+1}] \\ + \left(\frac{q_B r_{4B}}{q_A r_{4A}+q_B r_{4B}}\right) \left(\frac{K_4}{n_4+1}\right) [(S_4+q_A r_{4A}+q_B r_{4B})^{n_4+1}-S_4^{n_4+1}] \\ + \left(\frac{q_B r_{5B}}{q_B r_{5B}+q_C r_{5C}}\right) \left(\frac{K_5}{n_5+1}\right) [(S_5+q_B r_{5B}+q_C r_{5C})^{n_5+1}-S_5^{n_5+1}] \\ + \left(\frac{q_B r_{6B}}{q_B r_{6B}+q_C r_{6C}}\right) \left(\frac{K_6}{n_6+1}\right) [(S_6+q_B r_{6B}+q_C r_{6C})^{n_6+1}-S_6^{n_6+1}] \\ + \left(\frac{q_B r_{7B}}{q_A r_{7A}+q_B r_{7B}+q_C r_{7C}}\right) \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_A r_{7A}+q_B r_{7B}+q_C r_{7C})^{n_7+1}-S_7^{n_7+1}] \quad (18)$$

$$\textcircled{5} AT_B(II) = TT_B(II)/q_B \quad (19)$$

$$\textcircled{6} P'_B(II) = 1/AT_B(II) \quad (20)$$

(3)C제품 :

$$\textcircled{1} TT_C(I) = \left(\frac{K_1}{n_1+1}\right) [(S_1+q_C r_{1C})^{n_1+1}-S_1^{n_1+1}] + \left(\frac{K_3}{n_3+1}\right) [(S_3+q_C r_{3C})^{n_3+1}-S_3^{n_3+1}] \\ + \left(\frac{K_5}{n_5+1}\right) [(S_5+q_C r_{5C})^{n_5+1}-S_5^{n_5+1}] + \left(\frac{K_6}{n_6+1}\right) [(S_6+q_C r_{6C})^{n_6+1}-S_6^{n_6+1}]$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_c r_7 c)^{n_7+1} - S_7^{n_7+1}] + \left(\frac{K_8}{n_8+1}\right) [(S_8+q_c r_8 c)^{n_8+1} - S_8^{n_8+1}] \\
 & + \left(\frac{K_9}{n_9+1}\right) [(S_9+q_c r_9 c)^{n_9+1} - S_9^{n_9+1}] + \left(\frac{K_{10}}{n_{10}+1}\right) [(S_{10}+q_c r_{10} c)^{n_{10}+1} - S_{10}^{n_{10}+1}] \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} AT_c(I) = TT_c(I) / q_c \quad (22)$$

$$\textcircled{3} P'_c(I) = 1 / AT_c(I) \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
 \textcircled{4} TT_c(II) = & \left(\frac{q_a r_{1a} + q_c r_{1c}}{q_c r_{1c}}\right) \left(\frac{K_1}{n_1+1}\right) [(S_1+q_a r_{1a} + q_c r_{1c})^{n_1+1} - S_1^{n_1+1}] \\
 & + \left(\frac{q_b r_{3a} + q_c r_{3c}}{q_c r_{3c}}\right) \left(\frac{K_3}{n_3+1}\right) [(S_3+q_b r_{3a} + q_c r_{3c})^{n_3+1} - S_3^{n_3+1}] \\
 & + \left(\frac{q_b r_{5a} + q_c r_{5c}}{q_c r_{5c}}\right) \left(\frac{K_5}{n_5+1}\right) [(S_5+q_b r_{5a} + q_c r_{5c})^{n_5+1} - S_5^{n_5+1}] \\
 & + \left(\frac{q_b r_{6a} + q_c r_{6c}}{q_c r_{6c}}\right) \left(\frac{K_6}{n_6+1}\right) [(S_6+q_b r_{6a} + q_c r_{6c})^{n_6+1} - S_6^{n_6+1}] \\
 & + \left(\frac{q_a r_{7a} + q_b r_{7b} + q_c r_{7c}}{q_c r_{7c}}\right) \left(\frac{K_7}{n_7+1}\right) [(S_7+q_a r_{7a} + q_b r_{7b} + q_c r_{7c})^{n_7+1} - S_7^{n_7+1}] \\
 & + \left(\frac{q_a r_{8c} + q_c r_{8c}}{q_c r_{8c}}\right) \left(\frac{K_8}{n_8+1}\right) [(S_8+q_a r_{8c} + q_c r_{8c})^{n_8+1} - S_8^{n_8+1}] \\
 & + \left(\frac{q_a r_{9c} + q_c r_{9c}}{q_c r_{9c}}\right) \left(\frac{K_9}{n_9+1}\right) [(S_9+q_a r_{9c} + q_c r_{9c})^{n_9+1} - S_9^{n_9+1}] \\
 & + \left(\frac{K_{10}}{n_{10}+1}\right) [(S_{10}+q_c r_{10})^{n_{10}+1} - S_{10}^{n_{10}+1}] \quad (24)
 \end{aligned}$$

$$\textcircled{5} AT_c(II) = TT_c(II) / q_c \quad (25)$$

$$\textcircled{6} P'_c(II) = 1 / AT_c(II) \quad (26)$$

Table. 2 변수값(제품에 대한 공정별 학습율이 동일한 경우)

변수 공정	K <sub>i</sub> (분)	n <sub>i</sub>			r <sub>ij</sub>		
		A	B	C	A	B	C
1	1.70	-0.621	-0.269	-0.377	1	0	1
2	1.90	-0.621	-0.269	-0.377	1	1	0
3	1.65	-0.621	-0.269	-0.377	0	.1	1
4	1.80	-0.621	-0.269	-0.377	1	1	0
5	1.87	-0.621	-0.269	-0.377	0	1	1
6	1.90	-0.621	-0.269	-0.377	0	1	1
7	1.70	-0.621	-0.269	-0.377	1	1	1
8	1.70	-0.621	-0.269	-0.377	1	0	1
9	1.82	-0.621	-0.269	-0.377	1	0	1
10	1.93	-0.621	-0.269	-0.377	0	0	1

<Table. 2>의 TT(I), TT(II), AT(I), AT(II), P'(I), P'(II)의 값은 식 (9) - 식 (26)을 이용해서 풀이했으며, <Table. 1>와 <Table. 2>에 대한 값을 종합정리 및 비교분석한 결과는 <Table. 3>, <Table. 4>와 같다. 결과값들은 계산의 편리를 위해서 C언어에 의한 프로그램을 이용하였다.

Table. 3 분석결과(공정에 대한 제품별 학습율이 동일한 경우)

결과 제품	TT(I)	TT(II)	AT(I)	AT(II)	Latio(%)	P'(I)	P'(II)
A	390.0	276.1	2.60	1.84	41.47	0.385	0.543
B	453.6	375.9	2.16	1.79	20.98	0.463	0.559
C	966.4	572.8	3.02	1.79	23.56	0.331	0.559

**Table. 4 분석결과(제품에 대한 공정별 학습율이 동일한 경우)**  
A제품 학습율(=65%)일때

결과 제품	TT(I)	TT(II)	AT(I)	AT(II)	Latio(%)	P'(I)	P'(II)
A	159.1	85.5	1.06	0.57	86.74	0.943	1.754
B	189.2	117.6	0.90	0.56	59.93	1.111	1.786
C	297.6	179.2	0.93	0.56	26.79	1.075	1.786

B제품 학습율(=83%)일때

결과 제품	TT(I)	TT(II)	AT(I)	AT(II)	Latio(%)	P'(I)	P'(II)
A	555.0	417.0	3.70	2.78	33.05	0.270	0.359
B	724.5	585.9	3.45	2.79	23.99	0.289	0.358
C	1280.0	892.8	4.00	2.79	11.52	0.250	0.358

C제품 학습율(=77%)일때

결과 제품	TT(I)	TT(II)	AT(I)	AT(II)	Latio(%)	P'(I)	P'(II)
A	370.5	250.5	2.47	1.67	48.47	0.405	0.598
B	470.4	348.6	2.24	1.66	34.65	0.446	0.602
C	812.8	531.2	2.54	1.66	16.27	0.394	0.602

<Table. 3>, <Table. 4>의 분석 결과에서 ratio는  $\{TT(I)-TT(II)\} \div TT(II)$  또는  $\{AT(I)-AT(II)\} \div AT(II)$ 에 100을 곱해 %을 취한 값이다. 이 결과들의 차이는 공정에 대해 부여된 제품의 수, 학습율의 차이 등에 의한 것이라고 할 수 있으며 특히 학습율이 낮을 수록 높은 ratio(%)의 차이를 보여 준다고 할 수 있다. 바로 이점에서 생산성향상을 위한 최적변수들의 효율적인 결합 및 설계에 그 중요성이 있다 하겠다.

**IV. 모델 분석**

주문량의 변화 및 학습율의 변화에 따라 두 모델에 대한 영향을 평가하기 위해 본 사례연구를 중심으로 민감도 분석을 했다.

q<sub>A</sub>, q<sub>B</sub>, q<sub>C</sub>의 주문량을 각각 1, 10, 100, 200, 300, 500, 1000, 10000로 하고 학습율을 각 공정에 대한 제품별 학습율이 동일한 경우로 구분하고, 나머지 변수값들은 모두 사례연구의 값으로 분석했다. 그 결과는 <Table. 5>, <Table. 6>, <Table. 7>, <Table. 8>와 같다.

**Table. 5 모델 분석결과표**  
(공정에 대한 제품별 학습율이 동일한 경우)

q <sub>i</sub>	ratio(%)		
	A	B	C
1	10.48	16.33	8.81
10	22.68	22.49	18.93
100	27.95	28.00	23.50
200	28.55	28.70	24.10
300	28.78	28.99	24.36
500	28.97	29.26	24.61
1000	29.11	29.52	24.85
10000	29.02	29.83	25.24

**Table. 6 모델 분석결과표(65%일때)**  
(제품에 대한 공정별 학습율이 동일한 경우)

q <sub>i</sub>	ratio(%)		
	A	B	C
1	18.39	18.35	15.28
10	40.52	40.44	32.77
100	51.99	51.90	41.46
200	53.82	53.72	42.82
300	54.67	54.56	43.45
500	55.55	55.45	44.11
1000	56.49	56.39	44.80
10000	58.26	58.15	46.10

**Table. 7 모델 분석결과표(77x일때)**  
(제품에 대한 공정별 학습율이 동일한경우)

q <sub>j</sub>	ratio(%)		
	A	B	C
1	11.15	11.13	9.36
10	24.32	24.28	20.09
100	30.43	30.38	24.96
200	31.24	31.19	25.60
300	31.59	31.53	25.87
500	31.93	31.87	26.13
1000	32.25	32.19	26.39
10000	32.72	32.67	26.76

**Table. 8 모델 분석결과표(83x일때)**  
(제품에 대한 공정별 학습율이 동일한경우)

q <sub>j</sub>	ratio(%)		
	A	B	C
1	7.95	7.93	6.70
10	17.18	17.15	14.33
100	21.19	21.16	17.59
200	21.68	21.64	17.99
300	21.88	21.84	18.15
500	22.07	22.03	18.30
1000	22.24	22.20	18.44
10000	11.15	11.13	9.36

<Table. 5>의 모델분석 결과를 보면은 q<sub>j</sub>가 100까지는 증가폭이 크다가 그 이후부터는 거의 일정한 값으로 변하고 있으며, 나머지<Table. 6 - Table. 8>도 마찬가지로의 현상을 보여주고있다. 또한 과거 생산경험이 있는 제품에 대한 학습율이 65%일때 ratio가 가장 크며, 83%일때가 가장 작다는 결과를 알수 있다.

따라서 본 사례 연구에서는 학습율이 낮은것을 위주로 하되, 복합적일때는 가장최적의 학습율이 고려 된다고 할수있다. 작업경험이 없는 제품에 대한 생산성향상을 고려 했을때도 마찬가지로의 원리로 주문량 및 학습율이 최적 수준이 중요한 요인이 된다.

또다른 분석의 중요한점은 q<sub>j</sub>가 증가함에 따라 이전에 반복된 S<sub>j</sub>의 영향력은 감소 한다는것이고, 공정에 대한 제품의 수가 증가함에 따라 두 모델사이의 ratio의 차이는 더 증가한다는것이다.

**V. 결 론**

본 연구는 학습함수를 이용하여 제품중심형 생산형태와 G.T형 생산형태의 총소요시간, 평균소요시간, 노동생산성을 중심으로 분석했다.

그 분석내용은,

- 1) G.T의 핵심이라고 할수있는 서로 관련된 제품을 그룹핑하는 방법중에 하나인 설계상의 문제보다는 공정이 동일 하거나, 유사성이 있는제품을 그룹핑하는 방법인 공정흐름분석법을 중심으로 분석
  - 2) 제품중심형 생산형태와 G.T형 생산형태에 대한 좀더 합리적인 모델선택을 위한 수치분석
  - 3) 사례연구로는 봉제공장을 중심으로 제품에 대한 공정별 학습율이 동일한 경우와 공정에 대한 제품별 학습율이 동일한 경우로 나누어 분석
  - 4) 최적 모델 선정을 위한 주문량 및 학습율 변화에 따른 민감도 분석
- 와 같으며, 이러한 분석의 결과는 한공정에 여러개의 제품이 걸쳐 있을때 최적모델 선택의 중요한 요소가 된다. 따라서 본 연구는 다품종 중,소량 생산형태 업종에 효율적인 적용이 가능하다고 사려되며, 향후연구과제는 생산성 향상에 초점을 맞추어 G.T형 생산형태의 체계적인 연구와 그에따른 효율적인 공정설계에 두었다.

**참 고 문 헌**

1. 신용백, **산업공학 특론**, 수원:아주대, 1992, pp.5-25.
2. 이순용, **생산관리론**, 서울:법문사, 1990, pp 260.
3. 신용백, **생산관리의 이론과 실무**, 수원:아주대, 1986, pp.157-168.
4. 小島敏彦, "多様化ニズニ 對應する 生産管理技術", 産業能率, 1974, 第204號, pp.9-15.

5. Calson, J. G. H. "Cubic Learning Curves. Precision Tool for Labor Estimating". *Manuf & Man*, Nov. 1973, Vol. 71, No. 5(1973), pp. 22-25.
6. Pegels, C. C. "Start up or Learning Curves-Some New Approaches", *Decision Science*, Vol. 7, No. 4(1976), pp. 705-723.
7. Shlomo, G., and Robert, M., "Determining Learning Curves in Group Technology Settings", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 10(1989), pp. 1653-1664.
8. Thomaso, B., "Choice of Assembly Line Design under Task Learning", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No. 4 (1987), pp. 513-524.
9. Jeffrey, D. C., James, R. E., and Norman, K. W., "The Unit Learning Curve Approximation of Total Cost", *Computers Ind. Eng.*, Vol. 12, No. 3(1987), pp. 205-213.