

# 組立生産 Line에 있어서 混合모델 유사성 측정에 관한 연구 (A Study on Likeness Measure in Mixed Model Assembly Line)

朴 明 圭\*

## Abstract

Because of the ever increasing demands of consumers for a greater choice of product models, manufacturers are forced to produce a wider variety of models. Therefore, more and more assembly lines are being converted to handle the larger number.

As the complexity in achieving an efficient mixed model assembly line is related to the degree of likeness between models on the line. To measure likeness between two or more models an method was developed in this study, which is based on the association of work elements and their processing times on each model for mixed model assembly line.

## 1. 序 論

오늘날 工業製品 多변화에 영향을 받는 製品 수요자의 製品모델 선택취향이 급격히 변화함에 따라 製造業者는 다양한 製品 모델을 生産·供給하지 않으면 안된다.

따라서 生産工場의 組立라인(assembly line)도 이러한 要求를 充足시키기 위하여 여러가지 形態의 組立生産方式이 적용되지 않으면 안된다. 즉 한 製品에 대하여 여러 모델을 組立·生産할 때 組立生産形態는 個個 모델의 묶음組立生産形態 아니면 混合모델組立生産形態인 것이다.

P라는 製品에 대하여 A, B, C 모델을 組立·生産할 경우 묶음組立生産이라 함은 生産計劃에 따라 "A" 모델의 要求數량을 組立完了後 "B" 또는 "C" 모델의 要求數량을 組立하는 生産方式으로써 組立生産하는 製品數량이 一定량의 묶음단위로 이루어지기 때문에 일컬어지는 것이다.

묶음組立生産일 때 組立중인 모델生産이 完了되기 前에는 組立라인은 마치 그 모델만을 組立·生産하는 전용 라인화되며, 그 다음 뒤따르는 모델組立까지 時間的 観点에서 볼 때 연속적 組立·生産形態가 되므로 因하여 完成品 在庫가 發生하게 된다.

그러나 混合모델組立·生産形態에 있어서는 組立라인에 여러 모델이 組合되어 A-B-C의 모델 순서(혹은 B-A-C)로 組立·生産한다. 이러한 混合모델組立·生産形態가 갖는 장점으로는 여러 모델 組立·生産이 계속적으로 이루어질 수 있으며 완제품 장기저장의 必要가 없고 별도의 組立라인 변환준비 등이 不必要하며 組立生産의 유연성을 가져오게 한다.<sup>1)</sup>

代表的인 混合모델組立·生産形態는 自動車 組立生産, 텔레비전組立生産, 가정용 전기용품 組立生産 또는 농기구 組立生産 등에 적용이 된다.

本 研究는 混合모델組立·生産形態에 있어서 製品 모델들의 要素作業과 이에 對한 要素作業 時間에 기초를 두어 効果的인 組立·生産을 하도록 모델組合 구성을 위한 모델들 사이의 유사성 측정(likeness measure) 유도에 있다.

## 2. 研究 範圍

本 研究의 適用範圍는 組立作業에 있어서 어떤 하나의 要素作業 特性에 따라 各 모델 組立에 所要되는 要素作業들에는 時間 차이가 있기 때문에 발생될

\* 明知大學校 工業經營學科

1) T. Prenting & Thomopoulous, *Assembly Line Systems*, Hayiden, U.S.A., 1974, p.273.

수 있는 다음 사항들에 기초를 둔다.

① 모델들에 대하여 要素作業들의 組立所要作業時間은 同一하나 모델에 따라 同一한 要素作業 구성을 갖지 않는다.

② 모델 組立에 있어서 各 모델에 적용되는 同一한 要素作業에 대하여는 組立所要作業時間은 同一하나 要素作業이 다를 경우 組立 所要作業時間은 同一하지 않다.

③ 組立生産해야 할 모델들에 대하여 所要作業時間은 要素作業과 모델에 따라 상이하다.

상기 ①항은 실제 組立生産라인에서는 발생하지 않으나 ②항 및 ③항의 경우는 발생할 수 있는 것이다.

### 3. 유사성 측정식 전개

#### 3.1 기초 설명

生産해야 할 製品의 모델들이  $J$ 개 있다면 각 모델을

$$j (j = 1, 2, \dots, J)$$

라 표시한다.

$K \leq J$ 인  $K$ 개의 모델들이 만드는 가능한 모든 모델組合들을  $j_1, j_2, \dots, j_k$  라고 표시하면,  $K$ 개 모델들은 하나의 集合  $\{j_1, j_2, \dots, j_k\}$  으로 이루어진다. 이때 모델 結合이  $2 \leq K \leq J$ 인 結合을 모델 集合이라 부르고  $j^*$ 로 표시한다.

즉  $J=3$ 이면 만들 수 있는 모든 모델 集合은

$$j^* = (1, 2), (1, 3), (2, 3), (1, 2, 3)$$

이 되며, 각 集合의 구성 원소(모델)의 수를  $N_{j^*}$ 로 표시한다.

표 1.  $J=3$ 일 때  $j^*$  및  $N_{j^*}$

$j^*$	(1, 2)	(1, 3)	(2, 3)	(1, 2, 3)
$N_{j^*}$	2	2	2	3

組立作業에 必要한 所要作業時間을

$$t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, J)$$

라고 표시하고,<sup>2)</sup> 하나의 모델 集合에 있어서 要素作業  $i$ 에 대한  $t_{ij}$ 의 합계를  $t_{ij}^*$ 로 표시하면

$$t_{ij}^* = \sum_j t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(1)$$

이 된다.

#### 3.2 個別 要素作業에 대한 유사성

要素作業  $i$ 에 대하여  $j^*$ 에 포함된 모든 모델이  $t_{ij} (i = 1, 2, \dots, n, j \in j^*)$  중 가장 긴 組立作業時間을 갖는다고 가정할 때의  $t_{ij}^* (i = 1, 2, \dots, n)$  을

$T_{ij}^*$ 라고 하면,

$$T_{ij}^* = N_{j^*} \times \max [t_{ij} (j \in j^*)] \dots\dots\dots(2)$$

가 된다.

이때  $j^*$ 에 포함된 모델들이 組立 作業에 要素作業  $i$ 의 使用度(또는 利用度)는  $t_{ij}^*$ 와  $T_{ij}^*$ 의 對比로 표시할 수 있다.

要素作業  $i$ 의 使用도를  $u_{ij}^* (i = 1, 2, \dots, n)$ 라 표시하면

$$u_{ij}^* = \frac{t_{ij}^*}{T_{ij}^*} (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(3)$$

이 된다.<sup>3)</sup> 이때  $T_{ij}^* = 0$ 일 경우에는  $u_{ij}^*$ 는 존재하지 않는다. 그 이유는

$$\max [t_{ij} (j \in j^*)] = 0$$

이기 때문이며, 이는  $j^*$ 에 포함된 모델生産에 要素作業  $i$ 는 活用되지 않기 때문이므로 측정대상에서 제외한다. 그러므로 (3)식은  $T_{ij}^* \neq 0$ 일때 성립한다.

상기 (3)식의 유도과정에서

$$\frac{t_{ij}^*}{T_{ij}^*} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n, T_{ij}^* \neq 0) \dots\dots\dots(4)$$

및

$$1 \leq \frac{t_{ij}^*}{\max [t_{ij} (j \in j^*)]} (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(5)$$

가 되므로, (5)식을 변형하면

$$\frac{1}{N_{j^*}} \leq \frac{t_{ij}^*}{N_{j^*} \cdot \max [t_{ij} (j \in j^*)]} (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(6)$$

을 얻는다.

이상에서 얻은 (3), (4), (6)식을 다시 정리하면

$$\frac{1}{N_{j^*}} \leq \frac{t_{ij}^*}{T_{ij}^*} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(7)$$

을 얻는다.  $u_{ij}^*$ 는  $\frac{t_{ij}^*}{T_{ij}^*}$  이므로 (7)을 다시 쓰면

$$\frac{1}{N_{j^*}} \leq u_{ij}^* \leq 1 \dots\dots\dots(8)$$

이 된다. (8)식을 항상 (0, 1) 사이의 값을 갖도록 변형을 하면

$$0 \leq u_{ij}^* - \frac{1}{N_{j^*}} \leq 1 - \frac{1}{N_{j^*}} (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$0 \leq \frac{u_{ij}^* - \frac{1}{N_{j^*}}}{1 - \frac{1}{N_{j^*}}} \leq 1 (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots(9)$$

을 얻는다.

2) 人見勝人著, 조규갑譯, 生産시스템工學, 서울: 탐출판사, 1980, p.143.

3) T. Prenting & Thompoulous, *op. cit.*, pp. 275 ~ 277.

이 상에서 얻은  $\frac{u_{ij}^* - \frac{1}{N_j^*}}{1 - \frac{1}{N_j^*}}$  은 항상 (0, 1)

사이의 값을 가지며, 모델組合기준의 척도로 사용될 수가 있다. 그러므로 이는  $u_{ij}^*$ 의 변환이라 할 수

있다. (9)式에서 얻은  $\frac{u_{ij}^* - \frac{1}{N_j^*}}{1 - \frac{1}{N_j^*}}$  을  $L_{ij}^*$ 로 표

시하면

$$0 \leq L_{ij}^* \leq 1 \dots\dots\dots (10)$$

이 되며, 이를 要素作業  $i$ 의 유사성을 측정할 수 있는 척도로 사용할 수 있다.

만약  $L_{ij}^* = 1 (i = 1, 2, \dots, n)$  일 경우는  $j^*$ 에 포함되는 모든 모델들이 要素作業  $i$ 에 對한 要素作業時間  $t_{ij}$ 는 同一함을 나타내며 同時に 최상의 모델組合을 나타낸다.  $L_{ij}^* = 0$ 이면  $j^*$ 에 포함된 모델中 1個 모델만이 要素作業  $i$ 를 必要로 하는 아주 빈약한 모델組合을 나타낸다.

이와 같이  $L_{ij}^*$ 를 모델組合에 있어서  $j^*$ 에 포함된 모델에 對한 要素作業  $i$ 의 유사성 측정척도로 사용할 수 있으며 要素作業  $i$ 의 유사성 지수라 부를 수 있다.

3.3 要素作業 全體에 對한 유사성

(3)에서 (10)까지 유도한 방법과 같이  $j^*$ 에 포함된 모델들에 必要로 하는 모든 要素作業들에 확대하여 유사성을 찾기 위하여 각 要素作業의  $T_{ij}^*$ 를 가중치로 하여  $u_{ij}^* (i = 1, 2, \dots, n)$ 의 가중평균을 구하면

$$\frac{\sum_{i=1}^n T_{ij}^* \cdot u_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n T_{ij}^*} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n T_{ij}^*} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (11)$$

이 된다.

(11)식은 (3)의 형태와 같게 표시가 되므로  $j^*$ 에 포함된 모든 모델들에 對한 全體 要素作業의 使用度라 할 수 있다. 이를  $u_j^*$ 라 부른다면

$$\frac{1}{N_j^*} \leq u_j^* \leq 1 \dots\dots\dots (12)$$

이 되어 (8)식과 같이 쓸 수 있다.

즉

$$0 \leq u_j^* - \frac{1}{N_j^*} \leq 1 - \frac{1}{N_j^*}$$

$$0 \leq \frac{u_j^* - \frac{1}{N_j^*}}{1 - \frac{1}{N_j^*}} \leq 1 \dots\dots\dots (13)$$

이 된다.

이 結果를 (10)식과 같이 변환시켜  $L_j^*$ 로 표시하면

$$0 \leq L_j^* \leq 1$$

을 얻는다.

結果的으로  $L_j^* = 1$  일 경우는 (9)에서 얻은 結果와 마찬가지로  $j^*$ 에 포함된 모델들의 要素作業時間은 같다는 結果를 얻게 된다. 또한  $L_j^* = 0$  일 경우도 같은 結果를 얻는다.

그러므로  $L_j^*$ 를  $j^*$ 에 포함되는 모델生産에 있어서 要素作業들에 對한 유사성 지수라 할 수 있다.

4. 例示

F工場의 S제품 모델들에 對한 要素作業時間 data를 수집  $J=3, n=5$  일 때 다음과 같은 3가지 경우에  $L_{ij}^*$ 와  $L_j^*$ 를 구하여 모델조합을 구성하여 보면 다음과 같다.

例 1 ; 組立作業에 있어서 모델들에게 同一한 要素作業이 必要할 時 同一한 要素作業時間을 갖는 경우의 要素作業과 作業時間은 표 2와 같다.

단  $t_{ij} = 1$  : 1 단위시간의 작업이 必要

$t_{ij} = 0$  : 작업 必要없음

$J = 3, n = 5$  이므로

$j^* = (1, 2), (1, 3), (2, 3), (1, 2, 3)$

표 2. 例 1의  $t_{ij}$

	$j$	1	2	3
$i$	1	1	1	1
	2	0	1	1
	3	1	0	0
	4	1	0	1
	5	1	1	0

要素作業  $i$ 에 對하여  $t_{ij}^*, T_{ij}^*, u_{ij}^*$  및  $L_{ij}^*$ 를 구하여 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 各作業  $i$ 에 對한  $t_{ij}^*, T_{ij}^*, U_{ij}^*$  및  $L_{ij}^*$

	$j^*$	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
$i$	작업				
1	$t_{ij}^*$	2	2	2	3
	$T_{ij}^*$	2	2	2	3
	$U_{ij}^*$	1	1	1	1
	$L_{ij}^*$	1	1	1	1

i	항목	j*			
		(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
2	$t_{ij}^*$	1	1	2	2
	$T_{ij}^*$	2	2	2	3
	$U_{ij}^*$	0.5	0.5	1	0.67
	$L_{ij}^*$	0	0	1	0.5
3	$t_{ij}^*$	1	1	0	1
	$T_{ij}^*$	2	2	0	3
	$U_{ij}^*$	0.5	0.5	-	0.33
	$L_{ij}^*$	0	0	-	0
4	$t_{ij}^*$	1	2	1	2
	$T_{ij}^*$	2	2	2	3
	$U_{ij}^*$	0.5	1	0.5	0.67
	$L_{ij}^*$	0	1	0	0.5
5	$t_{ij}^*$	2	1	1	2
	$T_{ij}^*$	2	2	2	3
	$U_{ij}^*$	1	0.5	0.5	0.67
	$L_{ij}^*$	1	0	0	0.5

$j^*$ 에 포함된 모델에 대하여  $\Sigma t_{ij}^*$ ,  $\Sigma T_{ij}^*$ ,  $U_j^*$  및  $L_j^*$ 를 구하여 정리하여 표 4의 결과를 얻었다.

표 4. 모든  $i$ 에 대한  $U_j^*$  및  $L_j^*$

항목	j*			
	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
$\Sigma t_{ij}^*$	7	7	6	10
$\Sigma T_{ij}^*$	10	10	8	15
$U_j^*$	0.7	0.7	0.75	0.67
$L_j^*$	0.4	0.4	0.5	0.5

이상에서 본 계산결과 1個 組立라인에 組立生産하기 위한 모델조합은 (2,3)의 조합이 가장 바람직하다.

즉  $U_j^* = 0.75$

$L_j^* = 0.5$

로 유사성지수가 使用度와 함께 가장 높게 나타났다.

例 2 ;  $j^*$ 에 포함된 모델들에 同一한 要素作業間에는 同一한 作業時間이 必要한 경우의 例로 要素作業과 作業時間은 표 5와 같다.

例 1과 같이  $j = 3, n = 5$ 이므로  $j^* = (1,2), (1,3), (2,3), (1,2,3)$ 이 된다.

표 5. 例 2의  $t_{ij}$

i	j		
	1	2	3
1	3	3	3
2	0	2	2
3	4	0	0
4	1	0	1
5	2	2	0

$j^*$ 에 포함된 모델에 대하여  $\Sigma t_{ij}^*$ ,  $\Sigma T_{ij}^*$ ,  $U_j^*$  및  $L_j^*$ 를 구하여 표 6의 결과를 얻었다.

표 6. 계산완료된  $U_j^*$  및  $L_j^*$

항목	j*			
	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
$\Sigma t_{ij}^*$	17	16	13	23
$\Sigma T_{ij}^*$	24	24	16	36
$U_j^*$	0.71	0.67	0.81	0.64
$L_j^*$	0.42	0.33	0.63	0.46

例 2에서도 모델조합 (2,3)이

$U_j^* = 0.81$

$L_j^* = 0.63$

으로 가장 바람직한 모델조합으로 판정되어진다.

例 3 ;  $j^*$ 에 포함된 모델의 作業時間은 要素作業과 모델에 따라 상이한 경우로 정리하면 표 7과 같이 된다.

마찬가지로  $j = 3, n = 5$ 이므로  $j^* = (1,2), (1,3), (2,3), (1,2,3)$ 이 된다.

표 7. 例 3의  $t_{ij}$

i	j		
	1	2	3
1	3	2	2
2	0	2	2
3	4	0	0
4	2	0	1
5	1	2	0

$j^*$ 에 포함된 조합에 대하여  $\Sigma t_{ij}^*$ ,  $\Sigma T_{ij}^*$ ,  $U_j^*$  및  $L_j^*$ 를 구하여 표 8의 결과를 얻었다.

표 8. 계산완료된  $U_j^*$  및  $L_j^*$

항목	j*			
	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
$\Sigma t_{ij}^*$	16	15	11	23
$\Sigma T_{ij}^*$	26	24	14	39
$U_j^*$	0.62	0.63	0.79	0.59
$L_j^*$	0.23	0.25	0.57	0.27

例 1과 例 2에서와 마찬가지로  $U_j^*$ 와  $L_j^*$ 를 계산한 결과 모델조합 (2,3)이

$U_j^* = 0.79$

$L_j^* = 0.57$

로서 가장 높은 값을 가지므로 効果的인 모델조합으로 판정된다.

상기의 例 1, 2, 3의 결과를 표 9로 綜合하여 보았다. 그 결과 3가지 경우 모두 모델조합 (2,3)이 가장 높은  $L_j^*$ 의 값을 가졌으며 이는 可能한 모델組合中 가장 効果的인 組合으로 판정이 된다.

표 9.  $U_j^*$  및  $L_j^*$  의 비교표

항목	例 $j^*$	1				2				3			
		(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)	(1,2)	(1,3)	(2,3)	(1,2,3)
$\sum t_{ij}^*$		7	7	6	10	17	16	13	23	16	15	11	23
$\sum T_{ij}^*$		10	10	8	15	24	24	16	36	26	24	14	39
$U_j^*$		0.7	0.7	0.75	0.67	0.71	0.67	0.81	0.64	0.62	0.63	0.79	0.59
$L_j^*$		0.4	0.4	0.5	0.5	0.42	0.33	0.63	0.46	0.23	0.25	0.57	0.27

5. 結 論

本研究結果 混合모델組立生産의 유사성 측정은 제한된 組立라인을 갖는 生産工場에서 다양한 製品모델을 組立生産할 경우에 어떤 기준에 따라 모델組合을 하여 組立生産할 것인가 하는 문제에 부딪혔을 때 판단척도로 사용될 수 있는 하나의 방법으로 사용될 수 있다.

예를 들면 3개의 組立라인을 갖는 生産工場에서 6개의 모델을 組立해야 할 때 각 組立라인에는 2개의 모델을 할당해야 하는데 2개씩 組合을 이룰 수 있는 總組合  $\binom{6}{2} = 15$  가지 방법中 效果的인 組合을 만드는 기준척도로 유사성을 이용할 수 있다는 것이다.

이러한 混合모델組合을 活用하기 위한 전제조건으로 製品모델들에 대한 要素作業 및 時間 分析을 통한 作業標準化, 生産施設, 組立部品 등의 標準化 및 公용화, 部品供給에 만전을 기해야 한다는 것을 잊어서는 안된다.

參 考 文 獻

- 1) 人見勝人著, 조규갑譯, 生産시스템工學, 서울: 탐출판사, 1980.
- 2) Baloff, N., "Estimating the Parameters of the Start-up Model", *JIE*, Vol.18, No. 3, 1967, pp.201~207.
- 3) Buffa, E.S., *Modern Production Management*, John Wiley & Sons, U.S.A.
- 4) Kilbridge, M.D., "Heuristic Line Balancing", *JIE*, Vol. XIII, No.3, 1962, pp. 139~149.
- 5) Riggs, J.L., *Production Systems; Planning, Analysis and Control*, John Wiley & Sons, U.S.A., 1970.
- 6) Thomopoulous, N.T., "Mixed Model Line Balancing and Sequencing", *JMS*, Vol.14, No. 2, 1967, pp. 59~75.
- 7) T. Prenting & Thomopolous, *Assembly Line Systems*, Hayiden, U.S.A., 1974.