

## 관련작업을 고려한 혼합모델 조립라인 밸런싱<sup>†</sup>

김여근\* · 곽재승\*

### Mixed Model Assembly Line Balancing with the Related Task Consideration<sup>†</sup>

Y. G. Kim\* and J. S. Kwak\*

#### Abstract

This paper deals with the problem of mixed model assembly line balancing. In mixed model assembly lines, tasks should be assigned to stations in such a manner that all stations have approximately the same amount of work on a production cycle basis. Further in balancing assembly lines, the related tasks, the performing task side and the team tasks should be considered to improve work methods, to give more job satisfaction to workers, and to allow greater flexibility in the design of assembly lines.

In this paper, the heuristic dispatch assignment rule is developed to assign evenly tasks of each model to all stations. The heuristic method based on the assignment rule developed is presented for mixed model assembly line balancing with the considerations of the related tasks, the performing task side, and the team tasks. The proposed method is analyzed, and compared with other methods for line balancing.

## 1. 서 론

혼합모델 조립라인(mixed model assembly line)은 공장부지, 시설 등의 투자에 따른 제약

과 시설의 효율적인 이용을 위하여 한 라인에서 유사한 여러 모델의 제품을 생산하는 조립 라인이다. 이러한 라인의 대표적인 예는 자동차 조립라인으로 승용차 라인, 중형차 라인, 대형버스 라인, 대형트럭 라인 등 생산제품의

<sup>†</sup> 본 연구는 연암문화재단의 지원에 의하여 이루어 졌음.

\* 전남대학교 공과대학 산업공학과

특성과 크기에 따라 각 라인에서 유사한 여러 종류의 제품을 생산하고 있다.

혼합모델 조립라인에서는 모델별로 생산량과 총작업시간이 다르고, 부분적으로 작업내용, 작업방법 및 작업시간, 자재, 이용하는 설비 및 치공구가 상이하여 작업자를 과잉투여하거나 공간, 설비 및 치공구의 낭비를 초래하는 경우가 흔히 발생한다. 이러한 조립라인의 생산방식에는 크게 일괄생산(batch production)과 싸이클생산(cycle production)형태로 나누어 볼 수 있다. 일괄생산방식은 여러 종류의 제품을 한 라인에서 일정한 크기의 로트단위로 생산하는 방식이고, 싸이클생산방식은 생산량의 비율을 한 싸이클로 하여 혼류로 생산하고, 이 생산싸이클을 반복하여 생산하는 방식이다. 일괄생산은 싸이클생산에 비해 생산계획과 자재관리가 용이하다는 장점이 있는 반면, 자재 및 완제품의 재고가 많고 인도기간이 길다는 단점을 갖는다. 따라서 혼합모델 조립라인에서는 재고비용을 줄이고 수요를 적시에 만족시키기 위하여 싸이클생산방식을 택하는 경우가 많다.

본 연구에서는 혼합모델 조립라인의 라인밸런싱(line balancing) 문제를 다룬다. 모델별로 생산량과 총작업시간이 다른 혼합모델 조립라인에서는 작업편성을 작업의 선후관계 및 작업시간에 의해 단순히 싸이클타임이나 작업장수를 최소화 하여, 균형효율(balance efficiency)만을 최대화 하는 목적이외에 모델간에 같거나 유사한 작업이 가능하면 동일 작업장에서 이루어 지도록 하고, 모델별로 한 생산싸이클동안 작업장에 할당된 작업시간이 가능하면 균등하게 되도록 하여야 한다.

또한, 작업할당시 관련작업, 작업방향 및 조작업을 고려하여 주어야 한다. 관련작업이란 라인에서 행하여지는 작업을 크게 그룹으로 나

눌때, 그룹내에 포함된 단위작업, 서브조립(subassembly)내의 단위작업 등 관련된 작업을 말한다. 예로 트럭조립라인에서 연료탱크, 공기탱크, 엔진장착작업 등 작업그룹에서 한 작업자에게 가능한 작업그룹이 적게 할당되도록, 즉 그룹내의 작업이 우선적으로 할당되도록 하여 줌으로써, 작업자의 능률과 책임감을 높일 수 있을 것이다. 또한, 작업자의 이동거리를 줄이기 위하여 작업자가 가능하면 콘베이어의 한쪽방향(오른쪽, 왼쪽 중 한방향)에서 작업할 수 있도록 하여야 한다. 그리고 2인 또는 3인이 한조를 이루어 단위작업을 해야하는 조작업의 할당도 고려해 주어야 한다.

기존 라인밸런싱에 관한 연구들은 대부분이 작업의 선후관계를 고려하여 균형효율만을 높이는 발견적(heuristic) 기법이나 정확한 해를 구하는 모형개발에 중점을 두어왔다.

라인에서 하나의 모델만을 생산하는 단일모델조립라인(single model assembly line)의 라인밸런싱에 관한 연구는, 연구현황 조사는문으로 Baybars[7]는 라인밸런싱의 여러 수리모형을 비교분석하였으며, Talbot[20]는 기존의 효율적인 여러 발견적(heuristic) 기법을 비교평가하였다. 최근 연구로 Deckro[11]는 싸이클타임, 작업장수, 작업장 제약, 유희시간, 비용 등의 여러 목표를 갖는 0-1 목표계획법(zero-one goal programming)의 모형을 제시하였다.

혼합모델 조립라인(mixed-model assembly line)의 라인밸런싱에 관하여 여러 연구[8, 14, 16, 18, 21]가 이루어졌다. Thomopoulos[21]는 각 작업장에 각 모델의 작업시간이 가능하면 균등하게 할당되는 라인밸런싱 모형에 관하여 언급하고 있으나 명확한 절차를 제시하지 못하였으며, Macaskill[16]은 각 모델의 선행공정도

를 결합하여 기존의 Ranked Positional Weight Technique(RPW 기법)을 사용하여 작업을 할당하였다. 그리고 Chakravarty[8]는 공정중 재고(in-process inventory)를 최소로 하는 라인 밸런싱 기법을 제시하였다. Roberts와 Villa[18]는 혼합모델 조립라인의 라인밸런싱을 위한 정수계획모형을 제시하고 있으나 NP-hard 문제로써 많은 변수와 제약식으로 인해 현실 문제를 해결하는데는 어려움이 있다. 이들 연구[8, 14, 16, 21]에서는 작업의 관련성, 작업위치, 복수작업 등이 고려되지 않고 있다. Johnson[14]은 혼합모델, 작업위치, 설비제약, 작업속력도 등에 관하여 언급하고 있으나 모형의 유연성이 약하여 실제 적용에는 한계가 있다. 또한 혼합모델에서 제품의 투입순서(sequencing)에 관한 연구[9, 10, 17]가 이루어 졌으며, Ghosh와 Gagnon[13]은 조립라인의 설계, 균형화, 일정계획 등에 관한 기존의 연구들을 종합적으로 분석 검토하였다.

작업의 관련성을 갖는 라인밸런싱에 관해서는 Agrawal[5]에 의해 연구되었다. 그는[5] 직전 선행작업과 후행작업이 가능한 한 동일작업자에게 할당되게 하는 방법으로 작업의 관련성을 고려하고 있다. 서브조립 작업 할당에 관해서는 Shtub와 Dar-EI[19]의 연구에서 다루고 있다. 그는[19] 서브조립의 제약을 첨가하면서 Dar-EI의 RPW 기법을 사용하여 각 작업장에 작업할당하는 절차를 제시하고 있다. 또한 본인의 연구[4]는 작업의 관련성, 작업방향, 조작업을 고려한 발견적(heuristic) 기법을 제시하고 있다. 그러나 이들 연구[4, 5, 19]는 단일 모델조립라인의 경우에 국한하고 있다.

혼합모델 라인밸런싱에 관한 기존 연구에서는 각 모델의 작업시간이 작업장에 균등하게 할당되는 기법에 관한 연구가 이루어지지 않고

있으며, 더 나아가 작업의 관련성, 작업방향, 조작업을 동시에 고려한 연구가 이루어지지 않고 있다.

본 연구의 목적은 혼합모델조립라인에서 각 모델의 작업시간이 작업장에 가능하면 균등하게 할당되는 할당규칙을 제시하고, 이를 이용하여 혼합모델조립라인 밸런싱을 위한 발견적(heuristic) 기법을 개발하는 데 있다. 더 나아가 관련작업, 작업방향, 조작업을 동시에 고려한 발견적기법을 개발하는 데 있다.

본 논문의 구성은 제1장에서 연구배경과 목적을 다루었고, 제2장에서 혼합모델 조립라인의 특성에 관하여 먼저 언급하고, 혼합모델의 라인밸런싱에 적합한 새로운 작업할당규칙을 제시하며, 이를 이용하여 발견적 기법을 제시한다. 또한 사례를 들어 개발한 기법을 비교분석한다. 제3장에서는 혼합모델 조립라인에서 관련작업, 작업방향, 조작업을 고려한 할당개념을 설명하고, 이들을 고려한 모형으로 확장하여 새로운 발견적 기법을 개발한다. 이 기법 또한 사례를 들어 기존의 다른 기법들과 비교분석한다. 제4장은 결론으로 되어있다.

## 2. 혼합모델 조립라인밸런싱

### 2.1 혼합모델 조립라인 특성

혼합모델 조립라인은 앞서서도 언급했듯이 각 모델에 따라 총작업시간, 생산량, 각 작업시간과 작업내용, 사용하는 치공구 및 부품이 다를 수 있다. 따라서 혼합모델 조립라인을 단일 모델조립라인에서와 같이 각각의 모델에 대해 라인밸런싱을 행하여 이를 적용하면, 동일하거

나 유사한 작업을 다른 작업장(작업자)에서 행하게 되어, 작업능률의 저하와 부품저장공간 및 설비, 치공구의 낭비를 초래할 수 있다. 또한 각 모델의 총작업시간이 서로 상이하여 총작업시간이 적은 모델의 경우에는 마지막 몇개의 작업장이 유휴작업장이 되어, 작업장간에 심한 작업량의 불균형을 가져온다.

혼합모델 조립라인은 흔히 사이클생산방식을 택한다. 모든 모델을 생산비율로 생산순서에 따라 생산하는 것을 하나의 생산사이클로 볼 때 (예로 세가지 모델의 생산량이 각각 100, 200, 300이라면 한 생산사이클 동안 1:2:3의 비율로 6개를 어떤 생산순서에 따라 혼류로 조립라인에 투입시키는 방식), 이 생산사이클동안 모든 작업장에 가능하면 작업량이 균등하게 배분되도록 하여야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 먼저 각 모델의 작업 선행공정도(precedence diagram)를 하나로 결합한 결합선행공정도(combined precedence diagram)를 만든다. 이 결합선행공정도를 이용하여 각 모델에 따른 생산비율을 고려하여 가능하면 각 모델의 작업시간이 각 작업장에 균등하게 할당되도록 하고자 한다. 이렇게 할당함으로써 작업장간의 작업량 차이에서 오는 불만을 해소할 수 있고, 설비 및 치공구의 공용이 가능하며, 부품배치에 따른 공간의 활용성을 높일 수 있다.

먼저 사용되는 기호와 용어를 아래와 같이 정의한다.

- I : 작업의 집합 (I={1, 2, ..., i, ..., l})
- J : 모델의 집합 (J={1, 2, ..., j, ..., m})
- K : 작업장의 집합 (K={1, 2, ..., k, ..., n})
- C : 사이클타임
- R<sub>j</sub> : 모델 j의 생산비율(Ratio), j=1, ..., m

$t_{ij}$  : 작업 i에서 모델 j의 작업시간

$T_{jk}$  : 작업장 k에 할당된 모델 j의 작업시간

$$T_{jk} = \sum_{i=1}^l t_{ij} X_{ik}, \quad j=1, \dots, m$$

여기서

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{만일 작업 } i \text{가 작업장 } k \text{에 할당되면,} \\ 0 & \text{그렇지않으면} \end{cases}$$

$H_j$  : 모델 j를 1단위 조립하는데 걸리는 총작업시간

$$H_j = \sum_{k=1}^n T_{jk}, \quad j=1, \dots, m$$

$T_k$  : 한 생산사이클 동안 작업장 k에 할당된 작업시간

$$T_k = \sum_{j=1}^m T_{jk} R_j, \quad k=1, \dots, n$$

혼합모델 조립라인에서 이론적인 최소 작업장수,  $n^*$ 는 식 (1)과 같이 된다.

$$n = \left\lceil \frac{\max_{j \in J} H_j}{C} \right\rceil \quad (1)$$

여기서  $\lceil X \rceil$ 는 x보다 크거나 같은 가장 작은 정수이다.

즉, 이론적인 최소 작업장수는 가장 큰 총작업시간을 갖는 모델의 최소 작업장수와 같다.

현재 작업장 k에 작업을 할당한다고 할 때, 작업장 k에 지금까지 할당된 모델 j의 총작업시간을  $P_{jk}$ 라 두고, 작업장 k에서 모델 j의 여유시간을  $S_{jk}$ 라 두면,  $S_{jk}$ 는 식 (2)와 같이 된다.

$$S_{jk} = C - P_{jk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (2)$$

모델 j의 총작업시간을 전체 작업장수로 나눈 값을 모델 j에서 한 작업장의 평균 작업시간,  $\mu_j$ 로 두고 각 모델의 작업장에 할당된 작업시간과  $\mu_j$ 와의 차의 제곱합을 전체 작업장수로 나눈 값을 모델 j의 작업장간의 작업시간 분산,  $\sigma_j^2$ 이라 두면, 이는 식 (3)과 식(4)와 같이 표현

된다.

$$\mu_j = \sum_{k=1}^n T_{jk} / n = H_j / n, \quad j=1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sigma_j^2 = \sum_{k=1}^n (T_{jk} - \mu_j)^2 / n, \quad j=1, \dots, m \quad (4)$$

본 연구에서는 생산사이클동안 각 모델의 작업시간이 작업장간에 얼마나 균등하게 할당되는가의 척도로 각 모델의 분산과 그 생산비용의 제곱과의 총합, 식 (5)를 사용하고자 한다.

$$\sum_{j=1}^m R_j^2 \sigma_j^2 \quad (5)$$

주어진 사이클타임에 대하여 작업상수가 같다면 식 (5)를 가능한 작게 하는 작업할당이 바람직할 것이다.

## 2.2 작업할당규칙

결합선행공정도에서 모든 선행작업이 이미 할당되어야 한다는 작업선행 제약조건과 각 모델의 작업시간이 작업장에 남은 여유시간보다 크지 않아야 한다는 사이클타임 제약조건을 만족하는 작업들의 집합을 할당가능작업집합, F라 하자. 단일모델의 경우 할당가능작업집합에서 작업을 선택하는 여러 규칙들과 그 평가에 관한 연구가 Talbort 등[21]에 의하여 이루어졌으나, 모델에 따라 생산량과 총작업시간이 다른 혼합모델라인에 이 규칙들을 적용하는데는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 할당가능작업집합에서 각 모델의 작업시간이 작업장에 가능하면 균등하게 할당되는 작업할당규칙을 제시하고자 한다.

각 모델에 있어서 이상적인 할당은 각 모델의 총작업시간을 이론적인 최소 작업장수로 나눈 작업시간이 각 작업장에 동일하게 할당되는 것이다.

할당가능작업집합, F의 작업중에서 어떤 작업을 선택하여 할당함으로써 각 모델의 작업이

작업장에 균등하게 분배될 것인가? 이를 위하여 현재 작업장 k에 작업을 할당하고 있다고 하자. 작업장 k에 이미 할당된 모델 j의 작업시간을  $P_{jk}$ ,  $j \in J$ 이고 작업  $i \in F$ 라 하자. 즉 작업  $i$ 는 할당가능 작업집합에 속한다고 하자. 모델별 총작업시간이 다르므로 이를 정규화(normalization)하고, 싸이클생산인 경우 생산비율이 큰 모델이 작업장 작업시간에 영향을 크게 미치므로 생산비율에 의해 가중치(weight)를 부여하여 식 (6)의  $\alpha_i$ 를 구한다.  $\alpha_i$ 는 작업  $i$ 의 평균화 작업시간이라 부르기로 한다.

생산사이클동안 각 작업장의 모델별 작업시간이 작업을 할당할때 마다 모델별 총작업시간의 비율과 가능하면 가깝게 되도록 하기 위하여 식 (6)과 식 (7)로부터 식(8)의  $\beta_i^*$ 를 구한다.

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^m \{ (P_{jk} + t_{ij}) \frac{R_j H_m}{H_j} \} / \sum_{j=1}^m R_j, \quad \forall i \in F \quad (6)$$

$$\beta_i = \sum_{j=1}^m \{ | (P_{jk} + t_{ij}) \frac{H_m}{H_j} - \alpha_i | \}, \quad \forall i \in F \quad (7)$$

$$\beta_i^* = \text{Min}_{i \in F} \beta_i \quad (8)$$

$\beta_i^*$ 를 만족하는 작업  $i^*$ 를 할당가능 작업집합에서 선택함으로써 각 작업장에 작업량을 균등하게 할당시키고자 한다.

각 작업의 모델별 작업시간이 모델별 총작업시간의 비율과 크게 다를 경우 이러한 할당규칙의 적용 효과는 약화될 것이다. 그러나 흔히 모델별 작업시간이 모델별 총작업시간의 비와 유사한 작업이 많으므로 제시한 작업할당규칙의 사용에 무리가 없다고 본다.

## 2.3 발견적 기법1

할당가능작업집합 F에서 식 (6)과 (7)을 사용하여 계산한  $\beta_i$  값이 최소인 작업을 할당한다. 이러한 할당규칙을 사용하는 절차는 아래

의 단계 3에 해당된다. 혼합모델 조립라인 밸런싱을 위한 발견적 기법1의 절차는 아래와 같다.

단계1. 작업장번호,  $k=1$ 로 둔다.

단계2. 사이클타임을 각 모델의 여유시간으로 둔다.

단계3.  $F$ 를 구한다. 만약  $F=\Phi$ 이면, 단계 5로 간다.

단계4.  $F$ 내의 작업에 식 (8)의 할당규칙을 사용하여 하나의 작업을 할당하고, 새로운 모델별 작업장 여유시간을 계산한다. 그리고 단계 3으로 간다.

단계5. 모든 작업이 할당되었으면 끝낸다. 그렇지 않으면,  $k=k+1$ 로 두고 단계 2로 간다.

## 2.4 적용사례와 비교분석

### 1) 적용사례

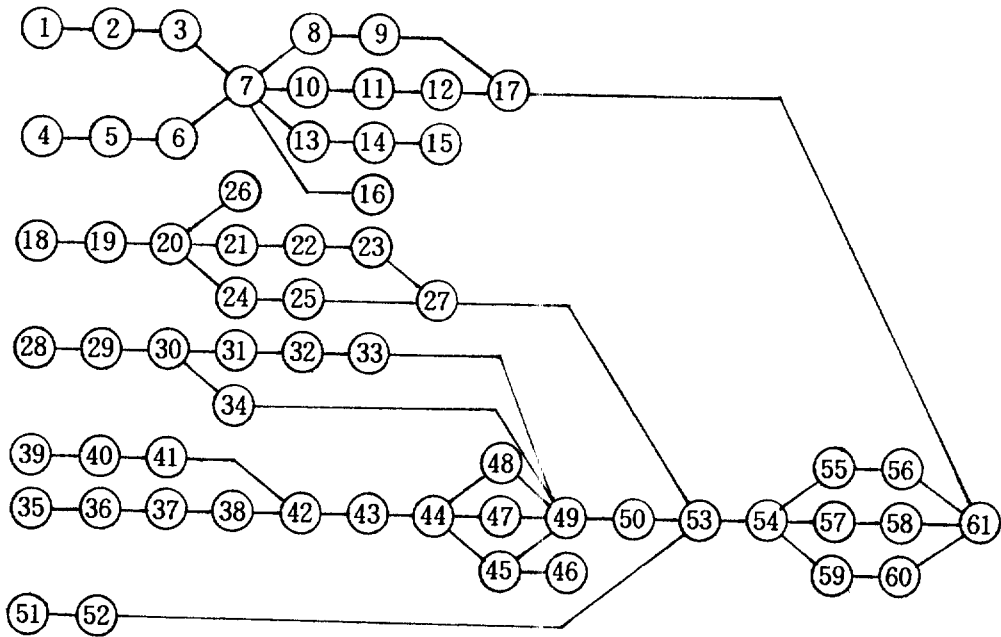
사례로는 3가지 모델을 생산하는 혼합모델조립라인으로 총작업의 수가 61개이고, 모델별 작업시간과 결합선행공정도는 각각 <표 1>과 [그림 1]을 사용하였다. 여기서 사이클타임을 13.8로, 모델별 생산비율을 1:2:3으로 둔다. 이

<표 1> 모델별 작업시간

i	$t_{i1}$	$t_{i2}$	$t_{i3}$
1	1.2	0.5	1.6
2	2.5	0.0	3.0
3	0.0	2.6	1.6
4	0.7	0.0	0.0
5	1.4	1.9	3.4
6	1.8	0.9	0.0
7	0.0	0.7	2.7
8	0.0	1.5	0.5
9	1.5	0.0	0.6
10	1.5	0.9	0.0
11	0.0	1.1	2.9
12	1.1	0.0	3.0
13	2.5	1.7	0.6
14	0.9	0.0	1.5
15	1.0	2.5	0.7
16	2.6	1.5	1.3
17	1.8	0.4	0.0
18	1.8	0.5	0.0
19	1.1	1.2	1.2
20	1.4	2.4	3.3
21	0.0	0.4	0.6

i	$t_{i1}$	$t_{i2}$	$t_{i3}$
22	2.2	3.1	0.9
23	3.3	2.3	3.0
24	2.3	3.2	3.0
25	2.5	0.0	2.7
26	3.2	0.8	0.8
27	1.4	1.0	2.0
28	0.0	1.3	2.3
29	1.8	0.0	1.9
30	3.0	1.2	1.4
31	1.2	2.3	2.8
32	2.1	1.3	1.1
33	0.0	2.0	0.8
34	1.2	0.0	2.2
35	0.8	0.0	2.5
36	1.2	0.0	2.0
37	0.0	1.8	1.6
38	1.3	3.1	1.4
39	2.5	1.6	3.3
40	2.5	1.8	1.2
41	0.8	0.6	1.8
42	0.4	1.6	1.2

i	$t_{i1}$	$t_{i2}$	$t_{i3}$
43	1.4	0.8	3.2
44	0.4	2.0	0.0
45	0.0	2.6	0.7
46	2.6	0.0	1.8
47	0.7	2.1	1.2
48	1.1	0.9	3.2
49	0.0	0.8	0.0
50	0.7	0.5	1.5
51	2.1	2.9	0.3
52	0.0	0.0	0.9
53	1.5	0.0	3.1
54	0.5	0.9	0.7
55	1.6	1.5	0.0
56	2.6	0.0	1.8
57	0.8	2.1	2.9
58	2.2	0.7	0.0
59	1.5	1.3	3.2
60	3.3	2.9	0.9
61	0.0	2.6	0.7
계	81.5	74.3	94.5



[그림 1] 결합선행공정도

事例의 결합선행 공정도는 A자동차회사의 실제 작업선행공정도의 일부를 사용한 것이고 작업 시간은 임의로 추출하여 이용하였으며, 이때 모델에 따라 작업이 없는, 즉 작업시간이 0인 경우를 고려하였다.

발견적 기법1에 의해 사례의 해를 구하는 절차는 아래와 같다.

단계1. 작업장번호,  $k=1$ 로 둔다.

(작업장 1)

단계2. 사이클타임을 각 모델의 여유시간,

$S_{j1}=(13.8, 13.8, 13.8)$ 로 둔다.

단계3. 할당가능 작업집합,  $F=\{1, 4, 18, 28, 35, 39, 51\}$ 를 구한다.

단계4. F내의 각 작업에 대해 식 (6)과 식 (7)을 사용하여  $\beta$ 를 구하면  $\beta_1=1.112$ ,  $\beta_4=0.947$ ,  $\beta_{18}=6.740$ ,  $\beta_{28}=2.348$ ,

$\beta_{35}=2.977$ ,  $\beta_{39}=1.352$ ,  $\beta_{51}=4.0382$  이 된다. 따라서, 최소의  $\beta$ 를 갖는 작업 4를 할당하고,  $S_{j1}=(13.8, 13.8, 13.8) - (0.7, 0.0, 0.0)=(13.1, 13.8, 13.8)$ 를 계산한다. 그리고 단계 3으로 간다.

단계3.  $F=\{1, 5, 18, 28, 35, 39, 51\}$ 를 구한다.

단계4. F내의 각 작업에 대해  $\beta$ 를 구하면,

$\beta_1=1.788$ ,  $\beta_5=1.465$ ,  $\beta_{18}=2.958$ ,  $\beta_{28}=1.671$ ,  $\beta_{35}=2.699$ ,  $\beta_{39}=2.029$ ,  $\beta_{51}=4.714$  이 된다. 따라서, 최소의  $\beta$ 를 갖는 작업 5를 할당하고,  $S_{j1}=(13.1, 13.8, 13.8) - (1.4, 1.9, 3.4)=(11.7, 11.9, 4)$ 를 계산한다. 그리고 단계 3으로 간다.

이와 같이 단계 3과 단계 4를 반복하여 작업

장 1에 작업을 할당하면 작업 14, 5, 6, 28, 18, 19, 20, 1, 21, 16이 할당되고,  $S_{11}=(1.2, 3.9, 0.6)$ 이 된다. 그러나 직전 선행작업이 완료되었고, 모델별 작업시간이 여유시간보다 크지않은 할당가능작업작업, F를 구하면

단계3.  $F=\Phi$ 이므로 단계 5로 간다.

단계5. 미할당된 작업이 있으므로  $k=2$ 로 두고, 단계 2로 간다.

(작업장 2)

단계2. 사이클타임을 각 모델의 여유시간,

$$S_{21}=(13.8, 13.8, 13.8) \text{로 둔다.}$$

단계3.  $F=\{2, 22, 24, 29, 35, 39, 51\}$ 를 구한

다.

단계4. F내의 각 작업에 대해  $\beta_i$ 를 구하면,  $\beta_2=3.916, \beta_{22}=3.404, \beta_{24}=1.704, \beta_{29}=2.689, \beta_{35}=2.977, \beta_{39}=1.352, \beta_{51}=4.006$  이 된다. 따라서, 최소의  $\beta_i$ 를 갖는 작업 39를 할당하고,  $S_{22}=(13.8, 13.8, 13.8)-(2.5, 1.6, 3.3)=(11.3, 2, 10.5)$ 를 계산한다. 그리고 단계 3으로 간다.

이상의 과정을 모든 작업이 할당될때까지 작업장에 반복할당할 후 끝낸다.

<표 2> 각 기법에 따른 작업할당

발견적 기법	작업장 번호	할 당 된 작 업											
LCR	1	39	40	51	28	29	30	31	4				
	2	5	32	34	1	2	3	33	6	18			
	3	19	20	24	25	26	7	10					
	4	16	13	11	12	35	36	14					
	5	15	37	38	41	42	43	44	48	21			
	6	22	23	27	47	45	46	8	9	17	52	49	
	7	50	53	54	59	60	57	55	58				
	8	56	61										
RPWT	1	18	19	39	35	20	36	40	4				
	2	37	38	41	28	42	29	43	44				
	3	30	21	22	24	31	1	23					
	4	45	32	2	5	25	47	33	51	6			
	5	48	34	3	27	49	50	7	10	13			
	6	52	53	54	59	11	57	55	58				
	7	60	8	12	56	9	14	17	16	61			
	8	26	46	15									
제안된 발견적 기법 1	1	4	5	6	28	18	19	20	1	21	26		
	2	39	24	40	41	29	22						
	3	23	35	51	52	36	37	30	38				
	4	42	25	27	31	32	33	2					
	5	34	3	43	44	47	48	45	49	50			
	6	53	54	55	57	58	59	60	7	10			
	7	16	11	13	14	8	9	15	12	17			
	8	46	56	61									

LCR : Largest Candidate Rule

RPWT : Ranked Positional Weight Technique



〈표 3〉 각 기법에 따른 모델별 작업장 작업시간과 분산

발견적 기법	작업장	모 델			T <sub>s</sub>
		1	2	3	
LCR	1	13.3	11.1	13.2	75.6
	2	12.0	9.7	13.7	72.5
	3	12.0	9.2	13.7	71.5
	4	9.	4.3	13.8	59.1
	5	6.	13.7	13.7	74.9
	6	13.5	13.8	11.6	75.9
	7	12.	9.9	12.3	68.8
	8	2.	2.6	2.5	15.3
	$\sigma_i^2$	5.936	8.880	0.637	29.870
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	5.936+8.880×4+0.637×9=47.189			
RPWT	1	12.6	7.5	13.5	67.5
	2	6.1	11.2	13.4	68.7
	3	13.2	13.0	13.3	79.1
	4	13.1	13.7	13.2	80.1
	5	8.4	9.1	13.8	68.0
	6	8.1	7.6	13.7	64.4
	7	13.8	8.9	10.3	62.5
	8	6.8	3.3	3.3	23.3
	$\sigma_i^2$	8.073	5.431	1.279	40.622
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	8.073+5.431×4+1.279×9=41.308			
제안된 발견적 기법 1	1	12.6	9.9	13.2	72.0
	2	12.1	10.3	12.1	69.0
	3	11.7	11.3	13.1	73.6
	4	10.1	8.2	13.6	67.3
	5	5.5	12.3	13.6	70.9
	6	12.9	11.0	13.5	75.4
	7	11.4	8.7	11.1	62.1
	8	5.2	2.6	4.3	23.3
	$\sigma_i^2$	5.574	1.800	0.764	16.802
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	5.574+1.800×4+0.764×9=19.650			

다른 기법과의 비교를 위하여 널리 알려진 발견적 기법으로 할당가능작업중에서 작업시간이 가장 큰 작업을 할당하는 기법(Largest Candidate Rule : LCR)과 각 작업의 모든 후행작업시간을 더하여 가장 큰 시간을 갖는 작업을 할당하는 기법(Ranked Positional Weight Technique : RPWT)을 제안된 기법과 비교한다. 제안된 기법과 LCR, RPWT에 의해 할당된 작업은 <표 2>와 같았으며, 작업장에 할당된 모델별 작업시간과 분산은 <표 3>과 같았다.

모델별 작업장의 작업시간 분산과 한 생산사이클동안 작업장의 분산은 마지막 작업장의 작업시간을 제외하고 구한 것이다. 작업장수가 많은 경우에는 식 (4)와(5)로 부터 구하여도 마지막 작업장의 작업시간이 크게 영향을 미치지 않으나 작업장 수가 적은 경우에는 마지막 작업장의 작업시간이 적게 할당되면 분산을 크

게하여 반대영향을 주므로 마지막 작업장에 할당된 작업시간을 제외하는 것이 타당할 것이다. <표 3>에서 분산은 제7작업장까지 할당된 작업시간으로 구하였으며,  $T_k$ 는 한 생산사이클 동안 작업장 k에 할당된총작업시간을 나타낸다.

<표 3>에서 작업장에 할당된 각 모델의 작업시간의 분산에 생산비율, R,의 제곱을 곱하여 구한 총분산은 LCR, RPWT, 제안된 기법에 대해 각각 47.189, 41.308, 19.650이고, 생산사이클동안 작업장별 작업시간의 분산은 각각 29.870, 40.622, 16.802이다. 이로써 제안된 기법이 LCR, RPWT 기법보다 각 작업장에 모델별로 작업시간을 좀 더 균등하게 할당함을 알 수 있다.

2) 비교분석

비교 분석을 위하여 모델의 수가 3개와 5개이고 각 경우마다 30개, 50개, 89개의 작업을

<표 4> 발견적 기법간의 작업장 작업배분의 균등화 비교

모델수	작업수	모형수	비 교 기 법		
			LCR	RPWT	발견적 기법1
3	30	20	5 (1.000)	5 (0.931)	10 (0.916)
	50	20	4 (0.923)	3 (1.000)	13 (0.661)
	89	20	3 (1.000)	7 (0.840)	10 (0.829)
	부분합	60	12 (1.000)	15 (0.948)	33 (0.823)
5	30	20	0 (1.000)	6 (0.748)	14 (0.664)
	50	20	2 (1.000)	4 (0.946)	14 (0.683)
	89	20	2 (1.000)	6 (0.855)	12 (0.778)
	부분합	60	4 (1.000)	16 (0.850)	40 (0.708)
총 합		120	16 (1.000)	31 (0.899)	73 (0.765)

비교수치: 각 기법에 따른 모델별 작업장작업시간의 분산이 최저인 모형의 개수

괄호수치: 각 기법에 따른 분산합의 상대적 비율

갖는 모형을 싸이클타임, 생산비용, 작업시간을 변화시켜 가면서 20개씩 LCR, RPWT, 제안된 기법을 적용하여 보았다. 이때 작업시간은 평균 작업시간이 모델별로 다르게 하기위하여 평균이 다른 일양분포(uniform distribution)로부터 추출하였다. 적용결과는 <표 4>와 같았다.

<표 4>에서 비교수치는 20개의 모형중 각 기법에 따른 모델별 작업장 작업시간의 분산이 최저인 모형의 개수를 나타내고, 괄호안의 수치는 20개 모형의 각 분산을 합하여 가장 큰 값을 1.0으로 하여 각 기법간에 분산합의 상대적 비율을 나타낸 것이다. 각 부분합은 모델수가 3개와 5개인 60개의 모형에 대한 것이고, 총합은 120개의 모형에 대한 것이다.

<표 4>를 살펴보면, 제안된 기법의 우수해의 총합은 73회로써 120개의 모형중 약 61%를 차지하고 있으며, 분산비에 있어서도 0.765로서 LCR과 RPWT의 1.000과 0.899보다 적게 나타났다. 또한 제안된 기법은 모델수가 5일때가 3일때보다 더 우수하게 나타났다. 분석결과 제안된 기법이 가장 우수하였으며, RPWT는 LCR기법보다 약간 우수한 것으로 나타났다. 그러나 균형효율에 있어서는 3가지 기법이 모두 유사하게 나타났다. 제안된 기법은 결합선행공정도상에서 작업의 선후행관계가 직렬형태를 많이 포함한 경우보다는 병렬형태가 많을 때 더 효과적으로 적용될 것이다.

### 3. 관련작업을 갖는 혼합모델 조립라인밸런싱

앞 장에서는 혼합모델 조립라인에서 각 모델의 작업시간을 작업장에 가능하면 균등하게 할

당하기 위한 할당규칙과 그 규칙을 이용한 발견적 기법을 제시하였다. 이 장에서는 앞에서 개발한 작업할당규칙을 기초로 하여 관련작업, 작업방향, 조작업을 동시에 고려한 혼합모델 조립라인밸런싱 모형으로 확장하고자 한다.

#### 3.1 작업관련성

##### 1) 관련작업과 작업방향

라인밸런싱을 행하여 하나의 작업장에 여러 작업이 할당되는 경우 가능하면 상호관련성이 높은 작업끼리 할당되는 것이 바람직하다. 작업간의 상호관련성을 정량적으로 표현하는데는 어려움이 있다. 작업의 선행공정도(Precedence Diagram)는 설계·기술적인 제약 및 작업의 편의성에 따른 선·후행 관계를 고려하여 작성한다. 선행공정도 상에서 어떤 작업과 그 직후 작업, 즉 바로 연결된 작업들은 작업 상호간의 관련성이 높다고 보고 이들 두 작업을 관련작업이라 하고, 관련작업들로 연결된 작업집합을 관련작업그룹이라 하자. 이러한 관련작업그룹의 할당은 선행작업의 완료를 기다리는 작업자의 대기시간을 줄일 수 있으며 작업 선후행 관계에 따른 제약을 가능한 제거하여 조립라인의 설계와 작업편성의 유연성등을 제공할 수 있다.

대형트럭이나 대형버스의 조립라인과 같이 대형제품 조립라인의 경우 흔히, 작업자가 콘베이어를 따라 조립제품과 함께 이동하면서 작업을 행하는데, 한 작업자에게 오른쪽 작업과 왼쪽 작업이 할당되면 컨베이어의 오른쪽과 왼쪽으로 이동하면서 작업을 수행해야 한다[2, 3]. 이와 같은 작업방향의 변환은 작업자에게 작업동선의 증가를 가져와 작업시간의 증가 및 작업자의 피로를 가중시켜 작업능률의 저하를

나게 된다. 따라서 작업자가 가능하면 콘베이어의 한쪽방향에서 작업할 수 있도록 작업할당을 하여야 한다.

작업방향은 작업자가 부품을 조립하는 위치에 따라 오른쪽 작업, 왼쪽작업, 앞쪽작업, 뒤쪽작업, 그리고 서브조립(subassembly)과 중앙위치의 작업과 같이 오른쪽과 왼쪽 중 어느 방향에서나 가능한 작업으로 구분할 수 있으나, 대부분의 조립라인에서는 작업자가 콘베이어의 오른쪽 또는 왼쪽에 위치하므로 오른쪽(R), 왼쪽(L), 방향에 제약없음(M)으로 구분하여 사용할 수 있다.

작업할당시 한 작업장에 작업방향이 동일한 작업만을 할당한다면 어떤 작업장은 균형효율이 아주 낮은 결과를 가져올 수 있다. 따라서 라인밸런싱을 할때 가능하면 작업자가 동일한 방향에서 작업할 수 있도록 하고, 동일한 방향의 작업할당이 더 이상 불가능한 경우에만 작업방향을 변환을 허용하도록 하고자 한다.

관련작업그룹과 작업방향을 고려하여 할당하기 위하여 할당가능작업집합  $F$ 를 먼저 아래와 같이 작업집합  $F_1, F_2, F_3$ 로 구분한다.

$F_1$ : 할당가능작업집합( $F$ )내의 작업중에서 현재의 작업장에 최후 할당된 작업과 방향이 동일하거나 M이면서 최후할당작업을 직전선행작업으로 하는 작업의 집합

$F_2$ : 할당가능작업집합( $F$ )내의 작업중에서 현재의 작업장에 최후 할당된 작업과 방향이 동일하거나 M이면서 최후할당작업을 직전선행작업으로 하지않는 작업의 집합

$F_3$ : 할당가능작업집합( $F$ )내의 작업중에서  $F_1$ 과  $F_2$ 에 속하지않는 작업의 집합

$F = F_1 \cup F_2 \cup F_3$ 이고,  $F_1 \cap F_2 \cap F_3 = \emptyset$ 이다. 할당가능작업집합을  $F_1, F_2, F_3$ 로 구분하여, 할당가능 작업집합중에서 먼저 관련작업그룹내의

작업중 동일한 작업방향을 갖는  $F_1$ 내의 작업중에서 할당시키고, 이러한 조건을 만족하는 작업이 없는 경우 관련작업은 아니지만 작업방향이 동일한  $F_2$ 내의 작업을 할당시킨다. 그리고  $F_3$ 가 존재하지 않는 경우, 관련작업과 작업방향을 고려하지 않고 균형효율을 높이기 위하여  $F_1$ 내의 작업을 할당시킨다. 각 할당에서 할당규칙은 식(8)을 사용한다. 자세한 할당절차는 3-2. 절에서 설명하기로 한다.

## 2) 조작업

대형트럭 조립라인의 경우 엔진, Arch, Cab 장착 등은 2인 1조로 작업을 하고 있다[3]. 2인 이상이 조를 이루어 작업을 하는 조작업의 경우, 한 작업자는 1인 작업에서와 같이 조작업의 전후작업을 할당하면 될 것이다. 그러나 조작업을 하는 다른 작업자들에게 작업을 할당하는데 있어서는, 조작업의 작업시각과 할당작업의 작업시각을 고려하여 할당하여나 하나, 이러한 고려는 어려운 문제이다. 따라서 조작업이 많으면 작업손실이 있게 되므로, 설비나 치공구의 개선을 통하여 조작업을 가능한한 제거하여야 한다.

본 연구에서는 조작업이 할당된 직후 작업장에 최우선적으로 조작업을 반복해서 할당하여 줌으로써, 이웃하는 작업자끼리 조작업을 할 수 있도록 하였다. 이러한 할당방법은 조작업과 할당작업간의 작업가능시각은 정확히 고려하고 있지 않으나, 작업자의 이동거리를 줄일 수 있고, 연속해서 조작업이 있는 경우, 대부분 동일 작업자끼리 조작업을 하게 되어, 조작업자를 기다리는 데서 발생하는 작업지연을 막을 수 있다. 대형트럭 조립라인의 경우, 조작업은 엔진, Arch, Cab 장착작업처럼 대부분 조립부품이 크고, 직후행작업이 많은 중요작업이기 때문에 조작업과 다른 할당작업간의 작업시각

을 맞추는 데는 어려움이 없었다[3].

### 3.2 발견적 기법2

제2장에서 개발한 작업할당규칙을 사용하고 이에 관련작업, 작업방향, 그리고 조작업을 고려한 혼합모델 조립라인밸런싱의 발견적기법을 아래와 같이 개발하였다.

- 단계1. 작업장번호,  $k=1$ 로 둔다.
- 단계2. 사이클타임을 각 모델의 작업장 여유시간으로 둔다.
- 단계3. 작업장  $(k-1)$ 에서 조작업이 할당되었고, 그 조작업의 할당이 남아 있으면 단계 4로 간다. 그렇지 않고, 작업장  $k$ 에서 조작업할당이 있었으면 단계 6으로 가고, 그렇지 않으면 단계 5로 간다.
- 단계4. 조작업을 할당한다. 각 모델의 작업장 여유시간을 계산하고, 작업 방향을 보관한 후 단계 3으로 간다.
- 단계5.  $F$ 를 구한다.  $F$ 의 작업중에서 할당규칙에 의해 작업을 할당하고, 각 모델의 작업장 여유시간을 계산하고, 작업 방향을 보관한다.
- 단계6.  $F_1$ 을 구한다.  $F_1=\Phi$ 이면 단계 8로 간다.
- 단계7.  $F_1$ 의 작업중에서 할당규칙에 의해 작업을 할당하고, 각 모델의 작업장 여유시간을 계산한다. 단계 6으로 간다.
- 단계8.  $F_1$ 를 구한다.  $F_1=\Phi$ 이면 단계 10으로 간다.
- 단계9.  $F_1$ 의 작업중에서 할당규칙에 의해 작업을 할당하고, 각 모델의 작업장 여유시간을 계산한다. 단계 6으로 간다

단계10.  $F_1$ 를 구한다.  $F_1=\Phi$ 이면 단계 12으로 간다.

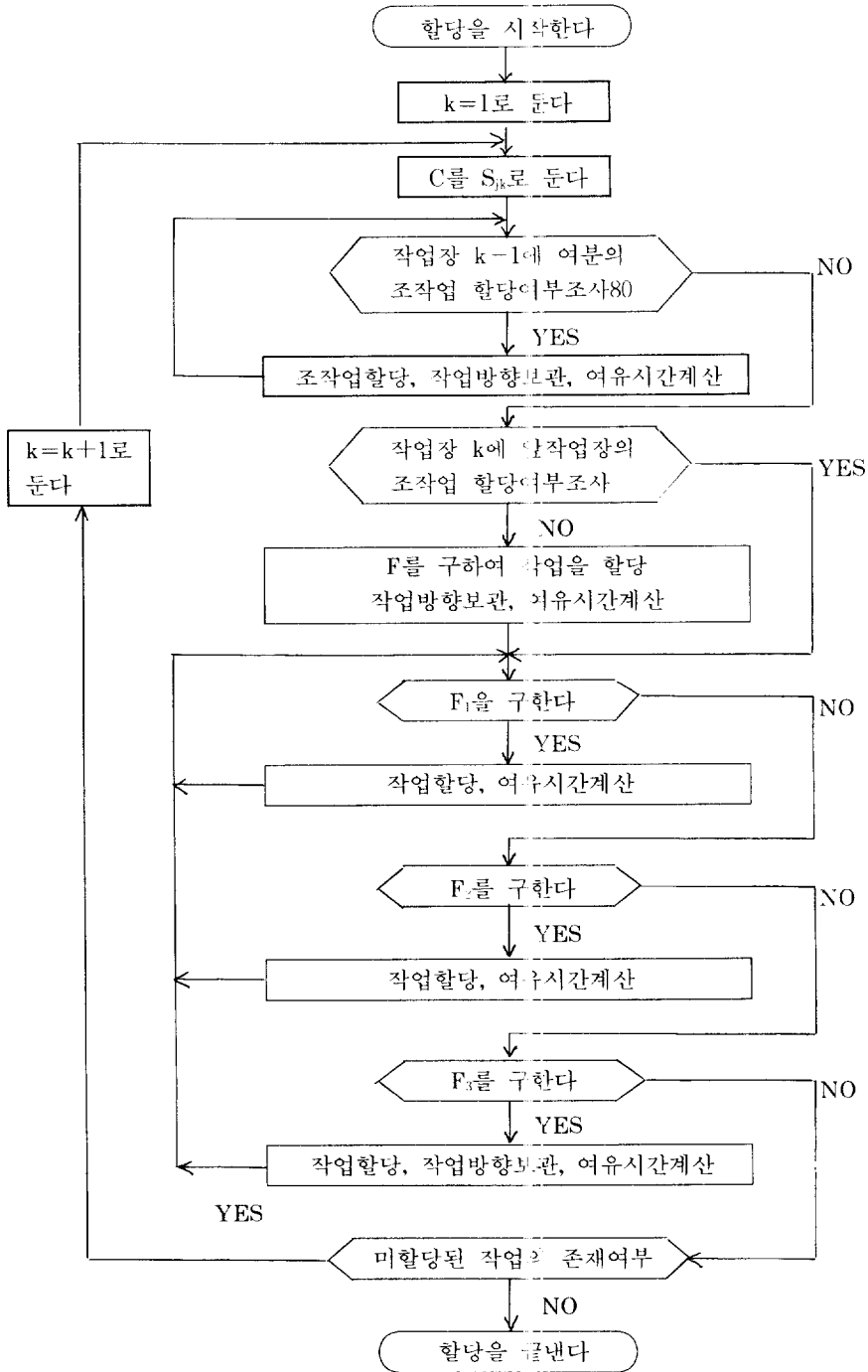
단계11.  $F_1$ 의 작업중에서 할당규칙에 의해 작업을 할당하고, 각 모델의 작업장 여유시간을 계산한다. 작업방향을 보관하고, 단계 6으로 간다.

단계12. 모든 작업이 할당되었으면 끝낸다. 그렇지 않으면  $k=k+1$ 로 두고, 단계 2로 간다.

위 절차에서 할당규칙은 식 (6), (7), (8)에 의한 것이다.

각 작업할당단계를 간단히 설명하면 먼저 작업장번호,  $k=1$ 로 둔다. 각 모델의 여유시간을 사이클타임으로 초기화한다. 이는 작업장이 바뀔때마다 계산되는 초기화단계이다. 다음으로 작업장  $(k-1)$ 에 조작업이 할당되었고, 그 조작업에 필요한 작업자 수보다 적게 할당되었으면, 조작업을 먼저 할당하고, 모델별 작업장 여유시간을 계산한다.

작업장  $k$ 에 조작업할당이 없으면  $F$ 를 구하고, 할당규칙을 사용하여  $F$ 내의 하나의 작업을 할당하고, 모델별 여유시간을 계산하며, 작업방향을 보관한다. 여기서 작업방향이  $M$ 이면,  $F_1$ 의 작업방향은 어느 방향이나 가능하다. 하나의 작업이 할당되면 새로운  $F_1$ 을 구하여 작업을 할당한 후,  $F_1=\Phi$  일때 까지 이 과정을 반복한다. 또한 작업장  $k$ 에 이전 작업장에 할당된 여분의 조작업이 할당되었으면 마지막 할당된 조작업의 방향을 보관하고 이 조작업을 직선 실행작업으로하는  $F_1$ 내의 작업할당과정을  $F_1=\Phi$ 일때까지 반복한다.  $F_1=\Phi$ 이면, 관련작업은 아니지만 작업방향이 동일한  $F_1$ 을 구하여  $F_1$ 내의 작업을 할당하고, 여유시간을 계산한 후  $F_1$ 을 구하는 과정으로 다시 간다.  $F_1$ 에서  $F_1$ 을



[그림 2] 제안된 발견적 기법2의 흐름도

구하는 단계로 되돌아 가는 것은  $F_2$ 에서 할당된 작업의 관련작업을 찾기 위함이다.

$F_2 = \Phi$ 이면, 관련작업과 작업방향은 고려해줄 수 없으나 라인밸런싱의 균형효율을 높이기 위해  $F_3$ 를 구하여 작업을 할당하고, 여유시간 계산 및 작업방향을 보관한 후, 새로운  $F_1$ 을 구하는 과정으로 간다. 이는 작업방향이 바뀌었으나 가능하면 더이상 작업방향이 변환되는 것을 피하고  $F_3$ 에서 할당된 작업의 관련작업을 할당하기 위함이다.

$F_3 = \Phi$ 이고 모든 작업이 할당되었으면 끝내고, 미할당된 작업이 존재하면, 작업장번호를 1 증가시키고, 초기화단계부터 새로운 작업장에 작업을 할당하는 과정을 반복한다. 이러한 할당절차를 흐름도로 나타내면 [그림 2]와 같이 된다. [그림 2]의 각 판단단계에서 조건을 만족하거나 만족하는 작업이 있으면 YES, 없으면 NO를 따라 진행한다.

### 3.3 적용사례와 비교분석

#### 1) 적용사례

발견적 기법2의 절차를 설명하기 위하여 작업시간과 결합선행공정도는 각각 <표 1>과 [그림 1]을 사용한다. 이때 사이클타임은 13.8, 생산비율은 모델 1, 2, 3의 비율을 1:2:3으로 하며 작업방향과 조작업은 <표 5>와 같이 둔다.

발견적 기법2의 단계는 다음과 같이 된다.

단계1. 작업장번호,  $k=1$ 로 둔다.

(작업장 1)

단계2. 사이클타임을 각 모델의 여유시간,

$$S_{j1} = (13.8, 13.8, 13.8) \text{로 둔다.}$$

단계3. 작업장 0에 조작업 할당이 없으므로 단계 5로 간다.

단계5. 할당가능 작업집합,  $F = \{1, 4, 18, 35, 39, 51\}$ 를 구한다.  $F$ 내의 각 작업에 대해 식 (6)과 식 (7) 사용하여  $\beta_i$ 를 구하면  $\beta_1 = 1.112, \beta_4 = 0.947, \beta_{18} = 6.740,$

<표 5> 사례문제의 작업방향과 조작업

작업 방향	작업 번호													계
L	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	25
	15	16	17	34	35	36	37	38	47	57	58	61		
R	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	21
	31	32	33	48	51	52	59	60						
M	4	39	40	41	42	43	44	45	46	49	50	53	54	15
	55	56												
조작업	7	20	(2인 조작업)											2

L: 왼쪽방향 작업      R: 오른쪽방향 작업      M: 작업방향에 제약없음

$\beta_{15}=2.348$ ,  $\beta_{35}=2.977$ ,  $\beta_{30}=1.352$ ,  $\beta_{51}=4.038$ 이 된다. 따라서, 최소의  $\beta_i$ 를 갖는 작업 4를 할당하고,  $S_{11}=(13.8, 13.8, 13.8)-(0.7, 0.0, 0.0)=(13.1, 13.8, 13.8)$ 를 계산한다. 작업방향을 L로 두고 단계6으로 간다.

단계6.  $F_1=\{5\}$ 를 구한다.

단계7.  $F_1$ 이 단일작업을 가지고 있으므로 작업 5를 할당하고,  $s_{11}=(13.1, 13.8, 13.8)-(1.4, 1.9, 3.4)=(11.7, 11.9, 10.4)$ 를 계산한다. 그리고 단계 6으로 간다.

단계6.  $F_1=\{6\}$ 를 구한다.

단계7. 작업 6을 할당하고,  $S_{11}=(11.7, 11.9, 10.4)-(1.8, 0.9, 0.0)=(9.9, 11.0, 10.4)$ 를 계산한다. 그리고 단계6으로 간다.

단계6.  $F_1=\emptyset$ 이므로 단계 8로 간다.

단계8.  $F_2=\{1, 35, 39\}$ 를 구한다.

단계9.  $F_2$  내의 각 작업에 대해  $\beta_i$ 를 구하면  $\beta_1=1.832$ ,  $\beta_{35}=2.743$ ,  $\beta_{39}=2.072$ 이 된다. 따라서, 작업 1을 할당하고,  $S_{11}=(9.9, 11.0, 10.4)-(1.2, 0.5, 1.6)=(8.7, 10.5, 8.8)$ 를 계산한다. 그리고 단계 6으로 간다.

이와 같이 단계6부터 단계9까지 반복하여 할당시키고 단계6에서  $F_1=\emptyset$ 이면 단계10에서 관련작업그룹과 작업방향을 무시한 할당가능 작업집합  $F_k$ 를 구한 후 작업을 할당하고 단계6으로 간다. 여기서  $F_k=\emptyset$ 이면 더 이상 여유시간 제약조건을 만족하는 작업이 없으므로 작업장 번호,  $k=2$ 로 두고 단계2로 간다. 이상의 절차를 각 작업장에 반복한 후 모든 작업이 할당되

면 끝낸다.

조작업할당에 있어서는 작업자의 이동거리를 줄이기 위하여 조작업7은 작업장1과 2에, 조작업20은 작업장3과 4에 연속되게 할당하였다. 그리고 LCR과 RPWT에 있어서도 조작업을 할당할 때 각 기법의 선택할당규칙에 따라 가능한 이웃하는 작업장에 할당되도록 하여 제안된 기법과 비교를 가능하게 하였다. 작업할당, 작업방향 변환회수, 관련작업그룹수는 <표 6>과 같으며 작업장에 할당된 모델별 작업시간과 분산은 <표 7>과 같다. <표 7>의 분산은 제 2장에서와 같이 7작업장까지 할당된 작업시간으로 구하였다.

## 2) 비교분석

각 작업장에 얼마나 관련작업거리 할당되었는가를 측정하기는 어렵다. 본 연구에서는 각 작업장에서 연결된(connected) 작업집합의 수를 구하여 관련작업의 할당척도로 사용하고자 한다. 연결된 작업집합을 관련작업그룹이라 부르기로 한다. 예를, 제안된 기법에 의해 할당된 작업장 1의 작업중에서 14, 5, 6, 1, 2, 3, 7, 13, 10, 8의 작업들은 연결되어 있으므로 하나의 관련작업그룹으로 보고 작업 118은 별도의 관련작업그룹으로 보면 작업장 1의 관련작업그룹의 수는 2가 된다.

LCR의 경우에 작업장1에 할당된 작업들을 보면 {39, 40}, {28, 29, 30}, {51, 52}, {35}, {41}로 5개의 관련작업그룹으로 된다.

작업방향 변환회수는 제안된 기법과 LCR기법에 의해 할당된 작업장 2에 대해 살펴보면 제안된 기법의 경우 작업 17, 9, 11, 16의 방향은 L이고, 작업 39, 40, 41의 방향은 M이므로 모든 작업이 왼쪽 방향에서 가능하므로 작업방향의 변환이 필요없다. LCR기법의 경우에는 작업 15, 6, 34, 36의 방향이 L, 작업 118, 31,

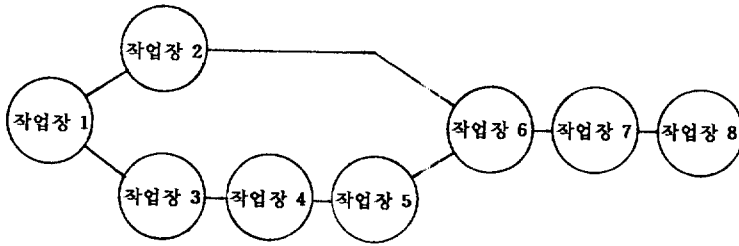


<표 6> 비교기법간의 작업방향 전환회수 및 관련작업그룹수

할당 방법	작업장 번호	할 당 된 작 업											관련작업 그룹 수	작업 방향 변환
LCR	1	39	40	28	51	35	29	30	52	4			5	R→L
	2	5	31	32	34	41	36	6	18				6	L→R
	3	37	38	42	43	19	20	26	33				3	L→R
	4	20	24	25	1	2	44						3	R→L
	5	48	3	7	16	47	13	45	46	8			4	R→L
	6	7	14	15	9	10	11	12	17	21	22	49	4	L→R
	7	23	27	50	53	54	57	55	58				1	R→L
	8	59	60	56	61								1	R→L
	계													27
RPWT	1	18	19	20	35	39	36	40	4				4	R→L
	2	20	37	28	38	41	29	42	51				4	R→L
	3	30	1	43	2	5	21	44	6				5	R→L
	4	24	22	31	3	23	34						5	R→L
	5	7	32	48	25	47	45	33	49	10	13	26	5	L→R
	6	7	27	50	52	53	54	11	55				3	L→R
	7	59	57	12	60	8	56	14	58				6	R→L
	8	9	17	16	15	46	61						5	L
	계													37
제안된 발전적 기법 2	1	4	5	6	1	2	3	7	13	8	10	18	2	L→R
	2	7	16	9	39	40	41	11					4	L
	3	19	20	26	21	22	23	28					2	R
	4	20	24	25	27	51	52	14					3	R→L
	5	29	30	31	32	33	34	15	35				3	R→L
	6	36	37	38	42	43	44	47	12	17			2	L
	7	48	45	46	49	50	53	54	55	56			1	R
	8	57	58	59	60	61							1	R→L
	계													18

<표 7> 각 기법에 따른 모델별 작업장 작업시간과 분산

발견적 기법	작업장	모 델			T <sub>k</sub>
		1	2	3	
LCR	1	13.4	8.8	13.8	72.4
	2	11.5	7.5	13.3	66.4
	3	8.8	13.7	13.5	76.7
	4	10.3	8.1	13.6	67.3
	5	9.5	13.6	13.6	77.5
	6	10.0	9.9	12.9	68.5
	7	12.0	9.0	13.2	69.6
	8	7.4	6.8	6.6	40.8
	$\sigma_j^2$	2.181	5.558	0.078	17.069
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	2.181+5.558×4+0.078×9=25.115			
RPWT	1	12.0	7.5	13.5	67.5
	2	7.8	13.7	13.8	76.6
	3	11.6	7.7	13.2	66.7
	4	10.2	13.5	13.5	77.7
	5	13.6	13.8	13.8	82.6
	6	5.7	5.7	13.8	58.5
	7	12.4	8.5	13.8	70.8
	8	9.5	7.0	5.1	38.8
	$\sigma_j^2$	6.728	10.377	0.048	56.598
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	6.728+10.377×4+0.048×9=48.668			
제안된 발견적 기법 2	1	13.4	11.2	13.4	76.0
	2	9.9	7.3	13.8	65.9
	3	11.1	11.5	12.1	70.4
	4	10.6	9.5	13.7	70.7
	5	11.1	9.3	13.4	69.9
	6	8.5	11.8	13.6	72.7
	7	10.6	7.2	12.8	63.4
	8	7.8	9.6	7.7	50.1
	$\sigma_j^2$	2.004	3.158	0.314	14.882
	$\sum_{j=1}^3 R_j^2 \sigma_j^2$	2.004+3.158×4+0.314×9=17.462			



[그림 3] 제안된 발견적 기법2에 의한 작업장 선행공정도

<표 8> 제안된 발견적기법2와 LCR, RPWT와의 비교

구 분	LCR	RPWT	발견적 기법 2
작업장수	8개	8개	8개
균형효율	77.54%	77.54%	77.54%
작업장간 분산	17.069	56.598	14.882
모델별 분산 총합	25.115	48.668	17.462
관련작업 그룹수	27개	37개	18개
작업방향변환회수	8회	7회	4회
작업장가능 Sequence	1개	1개	4개

32의 방향은 R, 작업 141의 방향은 M으로 먼저 L(혹은 R)방향의 작업을 하고 R(혹은 L) 방향의 작업을 하게 되므로 작업방향변환은 L→R(혹은 R→L)로서 1회이다. 여기서 작업방향이 M인 작업 141은 어느 방향과도 연속해서 작업이 가능하며 할당된 작업과의 선행행 제약이 없으므로 한방향의 작업을 모두 끝낸 후 다른 방향의 작업을 할 수 있다.

<표 6>에서 세가지 기법 모두 8개의 작업장을 필요로 하며 관련작업그룹수는 제안된 기법이 18개로 LCR과 RPWT의 27개, 37개보다 적고 작업방향 변환회수도 LCR, RPWT, 제안된 기법의 경우 각각 8회, 7회, 4회로 제안된

기법이 타기법보다 적게 나타났다.

<표 7>에서는 작업장간 작업시간의 분산은 제안된 기법이 14.882로 LCR과 RPWT의 17.069와 56.598보다 적으며, 작업장에 할당된 모델별 작업시간의 분산합도 제안된 기법이 17.462로 LCR과 RPWT의 25.115와 48.668보다 적었다. 작업장에 할당된 모델별 작업시간의 분산과 한 생산사이클동안 작업장의 분산은 제 2장의 사례에서와 같이 마지막 작업장의 작업시간을 제외하고 구한 것이다.

LCR과 RPWT에 의해 할당된 작업의 작업장 배치는 작업의 선행행조건으로 인하여 단 하나의 직렬구조만이 가능하다. 제안된 기법에

다른 작업할당의 작업장배열은 [그림 3]과 같이 4가지 직렬형태의 작업장배열이 가능하고, 작업장 2를 병렬로 배치할 수 있다. 이와같이 작업장의 여러 배열방법과 병렬배열의 가능성은 설비, 치공구, 부품공간등에 따른 작업장 배치의 유연성을 제공하고 작업장 길이를 줄일 수 있다.

<표 8>에서 제안된 기법을 LCR과 RPWT 기법과 비교하면 균형효율은 같으나 작업장과 모델별 분산, 관련작업그룹 수, 작업방향 변환 회수 및 작업장가능 Sequence에 있어서는 제안된 기법이 가장 우수하였다.

제안된 기법은 관련작업, 작업방향, 조작업의 고려로 인하여 작업시간과 작업선후행관계만을 고려하는 기법에 비해 균형효율이 낮을 수 있다. A자동차 혼합모델 조립라인의 경우를 보면, [그림 1]에서 보듯이 연속되는 작업은 작업방향이 같은 작업이 많고, 작업선후행관계에 있어서 병렬형태를 갖는 공정이 많다. 제안된 기법을 병렬작업 공정이 많은 조립라인에 적용하면  $F_1$ 과  $F_2$ 에서 선택가능한 작업수가 많으므로 좋은 편성결과를 얻을 수 있다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 혼합모델 조립라인 밸런싱을 위하여 새로운 작업할당규칙을 제시하였으며, 더 나아가 작업할당시 작업의 관련성, 작업방향, 조작업을 동시에 고려한 발전적 기법을 개발하였다.

개발한 발전적 기법은 기존의 기법보다 모델별로 작업장에 작업을 더 균등하게 배분하였으며, 작업관련성과 작업방향의 고려로 작업능률

의 향상과 작업편성의 유연성을 가져올 수 있음을 보였다.

혼합모델 조립라인에서 생산량의 변화, 설계 변경 또는 설비·치공구의 개선에 따른 작업내용 및 작업시간의 변경으로 인하여 작업편성이 요구될 때 개발한 기법을 활용함으로써,

- (1) 효율적이고 합리적인 작업편성으로 균형 효율을 높여 생산성 향상에 기여할 수 있고,
- (2) 적정 작업자수의 산정으로 인력계획의 조기수립이 가능하고,
- (3) 작업편성에 따라 자재 및 설비의 배치를 합리적으로 함으로써 생산성 향상과 관리능력의 향상이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김여근, 김용주, 오건철, "버스차체라인의 공정균형화에 관한 연구," 「전남 대학교 공업기술연구지」, Vol. 31(1989), pp. 31-41.
- [2] 김여근, 전태준, "대형차체라인의 공정개선과 대형버스의 생산일정계획에 관한 연구," 「아시아 자동차 공업(주) 보고서」, 1988.
- [3] 김여근 외 5인, "대형트럭라인의 생산성 향상에 관한 연구," 「아시아 자동차 공업(주) 보고서」, 1990.
- [4] 김여근, 권선희, 조명래, "대형제품의 조립라인 밸런싱을 위한 Heuristic 기법," 「대한산업공학회지」, 제17권, 제2호(1991), pp. 51-61.
- [5] Agrawal, P. K., "The Related Activity Concept in Assembly Line Balancing,"

- International Journal of Production Research*. Vol. 23, No. 2(1985), pp. 403-421.
- [6] Akagi, F., H. Osaki, and S. Kikuchi, "A Method for Assembly Line Balancing with more than One worker in Each Station," *International Journal of Production Research*. Vol. 21, No. 5(1983), pp.755-770.
- [7] Baybars, I., "A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem," *Management Science*. Vol. 32, No. 8(1986), pp.909-932.
- [8] Chakravarty, A. K., and A. Shtub, "Balancing Mixed Model Lines With In-Process Inventory," *Management Science*. Vol. 31, No. 9(1985). pp. 1161-1174
- [9] Dar-El, E. M., "Mixed Model Line Sequencing Problems," *Omega*. Vol. 6, No. 4(1978), pp.174-183.
- [10] Dar-El, E. M., and R. F. Cothier, "Assembly Line Sequencing for Model Mix," *International Journal of Production Research*. Vol. 13, No. 5 (1975), pp.463-477.
- [11] Deckro, R. F., and S. Rangachari, "A Goal Approach to Assembly Line Balancing," *Computers and Operations Research*. Vol. 17, No. 5(1990), pp. 509-521.
- [12] Easton, F. F., "A Dynamic Program with Fathoming and Dynamic Upper Bounds for the Assembly Line Balancing Problem," *Computers and Operations Research*, Vol. 17, No. 2(1990), pp.163-175.
- [13] Ghosh, S., and R. J. Gagnon, "A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems," *International Journal of Production Research*. Vol. 27, No. 4(1989), pp. 637-670.
- [14] Johnson, R. V., "A Branch and Bound Algorithm for Assembly Line Balancing Problems with Formulation Irregularities," *Management Science*. Vol. 29, No. 11(1983), pp.1309-1324.
- [15] Johnson, R. V., "Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'FABLE'," *Management Science*. Vol. 34, No. 2 (1988), pp.240-253.
- [16] Macaskill, J. L. C., "Production-Line Balances for Mixed Model Lines," *Management Science*. Vol. 19, No. 4 (1972), pp.423-434.
- [17] Okamura, K., and H. Yamashina, "A Heuristic Algorithm for the Assembly Line Model-Mix Sequencing Problem to Minimize The Risk of Stopping the Conveyor," *International Journal of Production Research*. Vol. 17, No. 3 (1979), pp.233-247.
- [18] Roberts, S. D., and C. D. Villa, "On a Multiproduct Assembly Line-Balancing Problem," *AIIE Transactions*. Vol. 2, No. 4(1970), pp.361-364.
- [19] Shtub, A., and E. M. Dar-El, "An Assembly Chart Oriented Assembly Line

- Balancing Approach," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 6(1990), pp.1137-1151.
- [20] Talbot, F. B., J. H. Patterson and W. V. Gehrlein, "A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Technique," *Management Science*, Vol. 32, No. 4(1986), pp.430-454.
- [21] Thomopoulos, N. T., "Mixed Model Line Balancing With Smoothed Station Assignments," *Management Science*, Vol. 14(1970), pp.593-603.