

## 대형제품의 조립라인 밸런싱을 위한 Heuristic 기법†

김여근\* · 권선희\* · 조명래\*

### A Heuristic Method for Assembly Line Balancing of Large-Sized Product

Y. G. Kim\*, S. H. Kwon\* and M. R. Cho\*

#### Abstract

This paper presents a heuristic method for the Assembly Line Balancing(ALB) of the large-sized product. In the ALB problem of the large-sized product such as bus and truck, the assignments of the Related Task Groups(RTG), the same side tasks, and team tasks should be considered.

In this paper, a new concept of the RTG and two kinds of assignment rules are proposed to resolve the above considerations. The first assignment rule allots the RTG with the constraint of the same side tasks to the station while the second allots the RTG to the station, relaxing the above constraint to increase the applicability of the method. An assignment rule for team tasks is also presented.

The benefits of the method are to improve work methods, to give more job satisfaction to workers, and to allow greater flexibility in the design of assembly lines.

#### 1. 서 론

조립라인 밸런싱(Assembly Line Balancing : ALB) 문제는 크게 주어진 Cycle Time에 대하여

작업장의 수(작업자의 수, 또는 라인 길이)를 최소로 하는 문제와 주어진 작업장의 수에 대하여 Cycle Time을 최소로 하는 문제로 나누어 볼 수 있다. 생산라인이 설치된 기존라인에서는 생산량의 변화

† 이 논문은 1990년도 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술연구조성비에 의하여 지원된 '트럭조립라인 밸런싱용 소프트웨어 개발' 연구의 일부임.

\* 전남대학교 공과대학 산업공학과.

에 따라 Cycle Time이 주어지고 이에 적합한 작업자 수와 작업할당, 작업장의 위치가 주로 문제가 된다.

조립제품이 큰 대형트럭이나 대형버스[10, 11]의 조립라인은 그 조립대상물이 커서 전자제품의 조립라인과는 달리 한 작업장에 한 작업자를 할당하지 않고, 컨베이어 상의 한 작업장(일정구간)을 여러 작업자가 공유하면서 작업을 하게 된다. 이러한 조립라인의 작업 편성에서는 작업의 선후관계, 작업시간에 의해 단순히 Cycle Time이나 작업장 수를 최소로 하여, 균형효율(Balance Efficiency)만을 최대로 하는 목적 이외에 작업의 관련성도 중요 요소로 고려하여야 한다.

작업자에게 가능하면 작업의 관련성의 높은 작업을 우선적으로 할당하여 줄으로써, 작업자의 능력과 책임감을 높일 수 있고, 작업장간에 작업선 후관계에 따른 제약이 감소하여, 라인설계와 작업자 배치에 유연성을 높일 수 있다. 특히 대형제품 조립라인과 같이 Cycle Time이 긴 경우는(대형트럭라인은 10분~20분이고, 대형버스라인은 35분~50분), 한 작업자에게 할당된 단위작업이 많고 동일작업장에서 여러작업자들이 작업하는 경우가 많으므로, 작업의 상호 관련성을 고려하여 작업할당을 하여야 한다.

또한 작업방향과 組作業등도 고려하여 주어야 한다. 대형트럭조립라인과 같이 조립제품이 커서 컨베이어를 따라 작업자가 이동하면서 작업하는 경우, 작업자의 이동을 줄이기 위하여 작업자가 가능하면 컨베이어의 한쪽 방향(오른쪽, 왼쪽 중 한방향)에서 작업할 수 있도록 하여야 한다. 그리고 2인 또는 3인이 한조를 이루어 동시에 단위작업을 해야하는 組作業이 있다.

ALB에 관한 연구로는 Survey 논문으로 Baybars [2]가 Exact Solution을 구하는 解法에 관하여 조사하였다. Exact Solution을 구하는 모형은 선형계획법, 정수계획법, 동적계획법, 목표계획법, Network 이론 등의 기법을 사용하여 모형화하고 있

으나, NP-hard 문제로서 많은 변수와 제약식으로 인해 현실 문제의 해를 구하는 데는 어려움이 있다 [2]. 기존의 효율적인 여러 Heuristic Method에 대한 평가는 Talbot[9]에 의해 이루어졌다. Ghosh와 Gagnon[5]은 조립라인의 설계, 균형화, 일정계획 등에 관한 기존의 연구들을 종합적으로 분석 검토하였다. 최근 연구로 Deckro[3]는 Cycle Time, 작업장 수, 작업장 제약, 여유시간(Idle Time), 비용 등의 여러 목표를 갖는 0-1 목표계획법(Zero-One Goal Programming)의 모형을 제시하였다. 이러한 기존 ALB에 관한 연구들은 대부분이 작업의 선후관계를 고려하여 균형효율만을 높이는 Heuristic 해법 또는 Exact Solution을 구하는 모형개발에 중점을 두어왔다.

조립라인은 생산되는 제품의 종류에 따라 단일 품종이 생산되는 단일모델 조립라인(Single-Model Assembly Line)과 다품종이 생산되는 혼합모델 조립라인(Mixed-Model Assembly Line) [5, 6]으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 단일모델의 조립라인 밸런싱문제를 다루고자 한다.

작업의 관련성을 갖는 ALB에 관해서는 Agrawal [1]에 의해 연구되었다. 그는[1] 각 작업에 대해 할당되지 않는 모든 선행작업의 작업시간을 누적하여, 이를 기준으로 하여 작업장에 할당하는 방법을 사용하였다. 이렇게 함으로써 직전 선행작업과 후행작업이 가능하면 동일작업자에게 할당되게 하였다. Subassembly 작업 할당에 관한 Shtub와 Dar-Ei[8]의 연구는 작업의 대부분이 Subassembly로 이루어진 경우를 다루고 있어, 대부분의 작업이 컨베이어상에서 이루어지는 문제에 적용하는 데는 어려움이 있다. Johnson[6]은 Mixed-Model, 작업위치, 설비제약, 작업속련도 등에 관하여 언급하고 있으나 모형의 유연성이 약하여 실제 적용에는 한계가 있다.

본 논문의 목적은 대형제품의 조립라인 밸런싱을 위하여 작업의 관련성, 작업방향, 組作業을 고려한

Heuristic 기법을 제시하는데 있다.

본 연구에서는 관련작업그룹의 개념을 새로이 도입하고, 작업방향을 고려하면서 편성할 수 있는 방법과, 더 나아가 조작업의 합리적 작업할당 방법을 다룬다. 관련작업과 작업방향을 동시에 고려한 새로운 작업할당규칙과 작업방향을 고려하지 않는 할당규칙을 제시한다. 이와같이 관련작업, 작업방향, 조작업이 고려된 작업할당은 작업방법을 향상시키고, 작업자의 작업만족도를 높이며, 더 나아가 좀더 유연하게 라인을 설계하고, 작업을 편성할 수 있다.

제 1 장은 연구내용과 목적을 다루었고, 제 2 장은 새로운 관련작업그룹의 개념과 작업방향, 조작업의 할당개념을 설명하고, 제 3 장에서는 새로운 작업할당규칙과 Heuristic 기법이 제시된다. 제 4 장에서는 제시된 기법의 분석을 위하여 사례를 다루고, 제 5 장은 결론으로 하고 있다.

## 2. 관련작업그룹과 작업방향

### 2-1. 관련 작업 그룹

작업간의 상호관련성을 정량적으로 표현하는 데는 어려움이 있다. 선행공정도(Precedence Diagram)는 설계·기술적인 제약 및 작업의 편의성 등에 따른 선·후행 관계를 고려하여 작성된다. 따라서 본 연구에서는 선행 공정도 상에 나타난 작업의 선후관계만으로 작업의 관련성을 유도하고자 한다. 본 논문에서 사용되는 관련작업그룹의 개념을 설명하기 위하여 먼저 관련작업그룹 I 과 관련작업그룹 II를 아래와 같이 정의 하기로 한다.

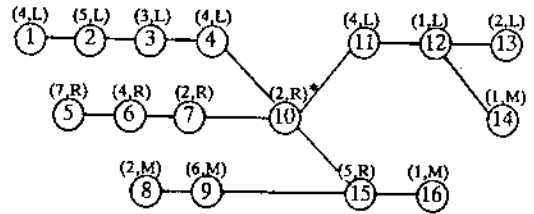
**관련작업그룹 I :** 관련작업그룹 I 은 선행작업이 하나 이하인 작업에서 시작하여, 그 후행작업이 하나의 선행작업만을 갖는 작업으로 연결된 두개 이상의 작업들로 이루어진 집합이다.

**관련작업그룹 II :** 작업 $i$ (미할당된 모든 작업에

대해)의 관련작업그룹 II는 작업  $i$ 와 작업  $i$ 의 모든 미할당 선행작업의 집합이다.

예로, 그림 1를 사용하여 관련작업그룹을 설명하여 보자. 관련작업그룹 I 은 집합 {1, 2}, {1, 2, 3}, {1, 2, 3, 4}, {5, 6}, {5, 6, 7}, {8, 9}, {11, 12}, {11, 12, 13}, {11, 12, 14}가 된다.

관련작업그룹 II는 모든 작업이 미할당된 상태라면, 작업 1, 2, 3, 4, 5 그리고 6에 대해서는 각각 {1}, {1, 2}, {1, 2, 3}, {1, 2, 3, 4}, {5}, {5, 6}이 된다. 작업 1부터 작업 9까지 할당된 상태라면, 작업 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16의 관련작업그룹 II는 각각 {10}, {10, 11}, {10, 11, 12}, {10, 11, 12, 13}, {10, 11, 12, 14}, {10, 15}, {10, 15, 16}이 된다.



Cycle Time = 12

(A, B) : A는 작업시간, B는 작업방향

L: 왼쪽방향, R: 오른쪽 방향, M: 제약없음

\*: 2인 조작업

그림 1. 선행 공정도(Precedence diagram)

관련작업이 가능하면 동일작업장에 할당되도록 하기 위하여, 작업장에 작업단위로 할당하지 않고 관련작업그룹 I 과 II의 개념을 사용하여 작업그룹 단위로 할당하고자 한다.

#### 1) 관련작업그룹 I

관련작업그룹 I 의 착상은 작업자가 작업을 시작하면, 선행작업으로 인한 작업지연없이 작업을 수행함으로써 작업능률이 향상될 수 있고, 연결된

작업은 작업의 관련성이 상대적으로 높을 것이라는 데서 비롯되었다. 또한 엄격한 의미에서 작업시간은 확정적이라기 보다는 확률적이므로 관련작업그룹 I에 의한 할당은 작업이 시작되면 선행계약이 없이, 작업자는 주어진 Cycle Time 동안 작업불량, 부품불량에서 오는 작업시간의 변화에 유연하게 대응할 수 있는 장점도 가진다.

대형조립라인의 경우 컨베이어상에서 행하지 않는 Subassembly 작업들이 있는데 이 Subassembly 작업그룹들은 관련작업그룹 I의 범주에 포함시킬 수 있다. Subassembly 작업그룹의 작업들이 하나의 선행작업만으로 연결되지 않으면 요소작업을 재정의하여 관련작업그룹 I의 형태로 표현하여 사용할 수 있을 것이다.

예로써, 그림 1에서 Cycle Time이 12라 하자. 관련작업그룹 I의 작업집합들을 우선 작업장에 할당하면, 작업장 1, 2에 각각 작업그룹 {1, 2, 3}, {5, 6}이 할당된다(작업편성 방법에 대해서는 제 3 절에서 구체적으로 다룬다). 이 경우 작업장 1, 2에 할당된 작업들은 관련성과 함께 이 두개의 작업장은 병렬형태로 표현되어 작업장 설계(라인설계)에도 유연성을 제공할 수 있게 된다. 이와 대조적으로 작업장 1, 2에 각각 작업 {1, 5}, {2, 3, 6}의 작업그룹을 할당하게 되면, 각 작업장은 선행작업에 의해 엄격하게 제약을 받게 되고, 작업장 설계에도 유연성이 없게 된다. 앞서서도 언급했듯이 대형제품의 조립라인은 컨베이어상의 일정구간을 이웃하는 작업자끼리 공유하는 경우가 많아(즉, Open station) 가능하면 작업장간에 작업 선후관계에 따른 제약이 적도록 할당하는 것이 중요하다.

## 2) 관련작업그룹 II

관련작업그룹 II는 Agrawal[1]의 관련작업 개념이다. 이 작업그룹은 할당되지 않는 각 작업에 대해 모든 미할당 선행작업을 관련작업으로 하고 있다. 관련작업그룹 II에 의한 할당에서도, 모든 미할당 선행작업을 포함한 작업그룹을 동일 작업장에 할

당함으로써 할당된 작업들의 관련성을 높여 줄 수 있을 것이다. 관련작업그룹 I에 의해 할당하다 보면, 작업그룹이 존재하지 않을 경우가 있다. 예로, 그림 1에서 작업장 1, 2, 3에 각각 작업 {1, 2, 3}, {5, 6}, {4, 8, 9}가 할당되었다면, 작업 7의 직후 후행작업 10의 선행작업이 두개가 되어 관련작업그룹 I이 존재하지 않는다. 본 논문에서는 관련작업그룹 I이 존재하지 않는 경우 관련작업그룹 II의 개념을 사용한다. 이 경우, 예로써 작업 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15 그리고 16의 관련작업그룹 II를 보면 각각 {7}, {7, 10}, {7, 10, 11}, {7, 10, 11, 12}, {7, 10, 11, 12, 13}, {7, 10, 11, 12, 14}, {7, 10, 15}, {7, 10, 15, 16}이 되고, 이 작업들의 작업시간 합은 각각 2, 4, 8, 9, 11, 10, 9, 10이 된다. Cycle Time 보다 크지 않는 최대의 작업시간을 갖는 관련작업그룹 II는 작업 13의 관련작업그룹 {7, 10, 11, 12, 13}이 된다. 관련작업그룹 I 과 II의 개념을 사용한 작업할당방법에 대해서는 제 3 절에서 구체적으로 다루기로 한다.

## 2-2. 작업 방향

대형제품 조립라인에서는 앞에서 언급했듯이 작업자가 콘베이어를 따라 이동하면서 작업함으로써, 이동거리를 줄이고 작업능률의 향상을 위하여 가능하면 한쪽방향(오른쪽 또는 왼쪽)에서 작업할 수 있도록 작업을 편성하여야 한다. 또한 부품과 설비는 부피가 크고 중량이 무거운 것이 많아 이들의 합리적 배치를 위해서도 작업방향을 고려한 작업편성이 매우 중요하다.

예로 대형트럭 조립라인에서는 부품의 조립위치에 따라 오른쪽작업(Battery, Air Tank, 소음기 장착 등), 왼쪽작업(Fuel Tank, Air Cleaner, Tool Box 장착 등)으로 뚜렷이 구별되는 작업과, 앞쪽작업(Front Bumper, Stabilizer, Board Grill 장착 등), 뒤쪽작업(Rear Bumper, Back Lamp, Pintle

Hook 장착 등), 오른쪽이나 왼쪽 중 어느 방향에 서나 할 수 있는 중앙위치의 작업(Axle, Propella Shaft, Radiator 장착 등)으로 나누어 볼 수 있다. 작업자나 부품 및 설비는 오른쪽 또는 왼쪽에 결국 있게 되므로 앞뒤쪽작업, 중앙위치의 작업은 방향에 제약이 없는 것으로 보고 작업을 할당하면 된다. 따라서 작업방향은 오른쪽, 왼쪽, 제약없는 세 경우만을 고려한다.

작업을 편성할때 가능하면 오른쪽작업과 왼쪽작업이 동일 작업자에게 할당되지 않도록 하여야 한다. 그러나 작업방향의 제약을 강하게 두면, 즉 작업자가 반드시 한쪽 방향에서만 작업을 해야 한다면, 어떤 작업장은 여유시간이 아주 많게 되어 비현실적인 작업편성이 될 수 있다. 따라서 개발한 Heuristic 기법은 관련작업그룹 중에서 우선적으로 한쪽 방향에서 작업할 수 있는 작업그룹을 할당하고, 여유시간이 많은데도 작업 선후관계에 의해 작업방향이 같은 할당이 더 이상 불가능하면 방향을 무시하고 할당할 수 있도록 하고 있다.

### 2-3. 組作業

대형트럭조립라인의 경우 Engine, Arch, Cab 장착 등은 2人 1組로 작업을 하고 있다[11]. 2인 이상이 組를 이루어 작업하는 조작업의 경우, 한 작업자는 1인 작업에서와 같이 조작업의 전후작업을 할당하면 될것이다. 그러나 조작업을 하는 다른 작업자들에게 작업을 할당하는데 있어서는, 조작업의 작업시각과 할당작업의 작업시각을 고려하여 할당하여야 하나, 이러한 고려는 어려운 문제이다. 따라서 조작업이 많으면 작업손실이 있게 되므로, 설비나 치공구의 개선을 통하여 조작업은 가능한 한 제거하여야 한다.

본 논문에서는 조작업이 할당된 직후 작업장에 최우선적으로 조작업을 반복해서 할당하여 줄으로써, 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. 대형트럭조립라인의 경우, 조작업은 Engine, Arch, Cab 장착작업처럼 대부분 조립부품이 크고, 직후 후행작업이 많은 중요작업이기 때문에 조작업과 다른 할당작업간의 작업시각을 맞추는 데는 어려움이 없었다.

## 3. Heuristic 기법

### 3-1. 작업할당규칙

ALB 문제에서 어떤 작업이 할당 가능하기 위해서는 기본적으로 그 작업의 모든 선행작업이 할당되어 있어야 하는 선행작업할당조건과, 작업시간이 Cycle Time에서 이미 할당된 작업들의 작업시간을 뺀 남은 작업시간보다 크지 않아야 한다. 이러한 조건을 편의상 작업할당조건이라 부르기로 한다. 제시하는 Heuristic 방법에서는 한 작업씩 할당하지 않고, 하나 이상의 작업들로 이루어진 관련작업그룹단위로 할당한다. 따라서 작업할당조건은 작업그룹내에 있는 작업들의 모든 선행작업이 할당되어 있어야 하고, 작업그룹내에 있는 작업들의 작업시간을 합한시간이, Cycle Time에서 작업장에 이미 할당된 작업시간을 빼고 남은 시간보다 크지 않아야 한다는 것이 된다. 그런데 관련작업그룹II에 의해 유도되는 작업그룹은, 작업할당조건 중에서 선행작업할당조건은 이미 만족하고 있다.

제 2 절에서 설명하였듯이, 가능하면 관련작업과 함께 작업방향이 다르지 않는 작업들을 한 작업장(작업자)에 할당하여 주고자 한다.

작업방향을 고려하여 작업을 4가지의 그룹 즉 LG, RG, UG, DG로 분류할 수 있는데, 이를 아

래와 같이 정의한다.

LG : 작업방향이 왼쪽 또는 제약없는 작업들로 이루어진 작업그룹

RG : 작업방향이 오른쪽 또는 제약없는 작업들로 이루어진 작업그룹

UG : 작업방향이 제약없는 작업들로부터 이루어진 작업그룹

DG : 오른쪽 작업과 왼쪽 작업이 함께 있는(방향제약이 없는 작업 포함) 작업그룹

본 연구의 Heuristic 기법에서는 두가지 작업할당규칙을 사용하여 작업을 할당한다.

할당규칙1 : 작업방향을 고려한 작업할당규칙

할당규칙2 : 작업방향을 고려하지 않는 작업할당규칙

먼저 작업방향을 고려하여 작업할당을 한다(할당규칙1). 그리고 작업장에 할당 가능한 여유시간이 남아있는 데도 작업방향을 제약에 의해 할당이 불가능 할 경우, 작업방향을 무시하고 작업을 할당한다(할당규칙2). 이와 같이 방향제약을 유연하게 함으로써, 활용성이 높은 작업편성이 될 것이다.

할당규칙1 (작업방향이 고려된 할당규칙)

단계1 : 작업할당조건을 만족하는 관련작업그룹 I을 算出한다. 이때 DG 작업그룹은 제외한다. 算出된 작업그룹이 있으면 JIN=1로 두고 단계 3으로 가고, 없으면 단계2로 간다.

단계2 : 작업할당조건을 만족하는 관련작업그룹 II를 算出한다. 이때 DG 작업그룹은 제외한다. 算出된 작업그룹이 있으면 JIN=2로 두고 단계3으로 가고, 없으면 KIN=1로 두고 끝낸다.

단계3 : 산출된 작업그룹 중에서 아래 경우에 해당하는 작업그룹이 존재하면,

(1) 작업장에 작업이 할당되어 있지 않거나 할당된 작업이 UG 그룹인 경우에는, 산출된

모든작업 그룹중에서,

(2) 작업장에 할당된 작업이 LG 그룹인 경우에는, 산출된 작업그룹 중 UG와 LG의 그룹중에서,

(3) 작업장에 할당된 작업이 RG 그룹인 경우에는, 산출된 작업그룹 중 UG와 RG의 그룹중에서, 최대의 그룹작업시간을 갖는 작업그룹을 작업장에 할당하고, 미할당작업집합에서 할당된 작업들을 뺀다. 할당작업그룹이 존재하지 않으면 단계5로 간다.

단계4 : 작업장 여유시간에서 할당된 그룹작업시간을 뺀 현재의 작업장여유시간을 계산한다. 단계1로 간다.

단계5 : JIN=1이면 단계2로 가고, JIN=2이면 KIN=2로 두고 끝낸다.

여기서 그룹작업시간은 작업그룹내에 있는 작업시간의 합을 나타내고, 작업장여유시간은 Cycle Time에서 작업장에 할당된 작업시간들을 뺀 시간을 의미한다. 단계3에서 (1)의 경우는 아직 작업장의 방향이 결정되지 않는 상태이고, (2)는 작업장이 왼쪽이고, (3)은 오른쪽이다.

할당규칙1에서 KIN=1로 끝나면 작업시간이 작업장여유시간보다 적은 작업이 존재하지 않으므로 현작업장의 작업할당을 끝낸다. 이 경우는 작업방향이 고려된 상태에서 작업할당이 끝난 것으로, 이 작업장에는 오른쪽작업과 왼쪽작업이 함께 존재하지 않는다. KIN=2인 경우는 할당 가능작업이 있음에도 방향제약에 의해 할당이 불가능한 경우로, 이때는 할당규칙2를 사용하여 방향제약을 무시하고 작업을 할당한다. 이 경우 작업장의 균형효율이 기준치 이상이면 더 이상 작업할당을 하지 않고 끝낸다.

할당규칙2 (작업방향을 고려하지 않는 할당규칙)

단계1: 작업할당조건을 만족하는 관련작업그룹 I 을 算出한다. 산출된 작업그룹이 있으면, 단계3 으로 간다.

단계2: 작업할당조건을 만족하는 관련작업그룹 II 를 算出한다. 산출된 작업그룹이 없으면, 할당을 끝낸다.

단계3: 최대의 그룹작업시간을 갖는 작업그룹을 할당하고, 미할당작업집합에서 할당된 작업들을 뺀다.

단계4: 작업장여유시간에서 할당된 그룹작업 시간을 뺀 현재의 작업장여유시간을 계산한다. 단계1 로 간다.

할당규칙2가 끝나면 현 작업장의 작업할당이 끝난다. 작업장여유시간을 Cycle Time으로 하여 새로운 작업장에 작업을 할당하게 된다.

모든 할당규칙에서 작업장여유시간 보다 크지 않는 최대의 그룹작업시간을 갖는 작업그룹을 선택하는 것은, 가능하면 큰 관련작업그룹을 할당하기 위해서이다.

작업들이 아주 많은 경우, 할당규칙1과 2의 단계2에서 미할당작업을 모두 조사하여 관련작업그룹II를 산출하는 것은 계산낭비일 수 있다. 따라서 적절한 유한갯수(예로 100개 정도)만을 조사하여, 작업장여유시간 보다 적은 관련작업그룹을 찾으려 될 것이다.

### 3-2. Heuristic 기법

3-1에서 설명한 작업할당규칙들을 사용하여, 주어진 Cycle Time에 대한 작업할당의 Heuristic 기법은 아래와 같다.

#### 절 차

단계1: 작업장,  $J=1$ 로 둔다. 모든작업을 미할당작업으로 둔다.

단계2: 작업장여유시간을 Cycle Time으로 둔다.

단계3: 작업장  $(j-1)$ 에서 조작업이 할당되었고, 그 조작업의 할당이 남아 있으면 단계4로 가고, 그렇지 않으면 단계5로 간다.

단계4: 조작업들을 할당하고 작업장여유시간을 계산한다. 조작업의 소요작업자 수만큼 작업할당이 끝나면, 미할당 작업집합에서 조작업을 뺀다.

단계5: 할당규칙1에 의해 작업을 할당한다.  $KIN=1$ 이면 단계7로 간다.

단계6: 할당규칙2에 의해 작업을 할당한다.

단계7: 모든 작업이 할당되었으면 끝낸다. 그렇지 않으면  $j=j+1$ 로 두고 단계2로 간다.

단계3과 단계4는 조작업의 할당방법으로 2-3.에서 언급했듯이 어떤 조작업을 처음 할당할 때는 1인 작업의 할당과 같은 절차에 의해 할당하고, 남은 조작업은 조작업이 할당된 직후 작업장에 최우선적으로 반복해서 할당 한다.

### 3-3. 적용예제

그림 1을 예제로 하여 개발한 Heuristic 기법을 설명하고자 한다.

<1回>: 작업장1

단계1:  $j=1$ . 모든 작업이 미할당작업이다.

단계2: 작업장여유시간=12.

단계3: 할당된 조작업이 없다. 단계5로 간다.

단계5: 할당규칙1의 작업할당 조건과 방향제약을 만족하는 최대의 관련작업그룹 I 은 {1, 2, 3}이다.  $KIN=1$ .

단계7:  $j=2$ 로 두고 단계2로 간다.

<2回>: 작업장2

단계2: 작업장여유시간=12.

단계3: 작업장1에서 할당된 조작업이 없다. 단계

5로 간다.

단계5 : 할당규칙1에 의해 할당작업그룹은 관련 작업그룹 I 의 {5, 6}이다.  $KIN=1$ .

단계7 :  $j=3$ 으로 두고 단계2로 간다.

<3회> : 작업장3

단계2 : 작업장여유시간=12.

단계3 : 작업장2에 할당된 조작업이 없다. 단계 5로 간다.

단계5 : 할당규칙1에 의해 관련작업그룹 I 의 {8, 9}와 관련작업그룹II 의 {4}가 할당된다.  $KIN=1$ 이다.

단계7 :  $j=4$ 로 두고 단계2로 간다.

<4회> : 작업장4

단계2 : 작업장여유시간=12.

단계3 : 작업장3에 할당된 조작업이 없다. 단계 5로 간다.

단계5 : 할당규칙1에 의해 관련작업그룹II 의 {7, 10, 15, 16}이 할당된다.  $KIN=1$ .

단계7 :  $j=5$ 로 두고 단계2로 간다.

<5회> : 작업장5

단계2 : 작업장여유시간=12.

단계3 : 작업장4에 할당된 조작업은 10이다.

단계4 : 조작업 {10}이 할당된다. 작업장여유시간은 10이 된다.

단계5 : 할당규칙1에서 방향제약에 의해 할당작업이 없다.  $KIN=2$ .

단계6 : 할당규칙2에 의해 관련작업그룹 I 의 {11, 12, 13}이 할당되고, 다음 관련작업그룹II 의 {14}가 할당된다.

단계7 : 모든 작업이 할당되었으므로 끝낸다.

이 기법에 의해 할당된 작업의 작업장 선행공정도는 그림 2와 같다. 각 원은 작업장을 의미하고 원안의 번호는 각 작업장에 할당된 작업을 의미한

다. 작업장 1, 3은 왼쪽작업장이고, 작업장 2, 4는 오른쪽 작업장이며, 작업장 5만이 오른쪽작업과 왼쪽작업이 있다. 이 예제에서 작업방향을 엄격히 제약하여 작업을 할당하면 작업장 5에 작업 10만이 할당되어 작업장의 작업시간이 단지 2가 되고, 작업장 6에 작업 11, 12, 13, 14의 작업이 할당되게 된다.

제안된 기법과의 비교를 위하여 Ranked Positional Weight(RPW) 기법을 사용하여, 이 예제를 풀면 작업할당과 그 작업장의 선행공정도는 그림 3과 같이 된다. RPW 법에 의한 작업할당의 결과를 보면 모든 작업장에 오른쪽작업과 왼쪽작업이 함께 할당되어 있다. 그리고 그림 3에서는 작업장이 직렬로 연결되어 있음에 반해 그림 2에서는 작업장 1과 3이 작업장 2와 병렬형태를 이루고 있다. 작업장이 병렬형태를 갖는 작업편성은 라인설계의 작업장 위치선정을 용이하게 한다.

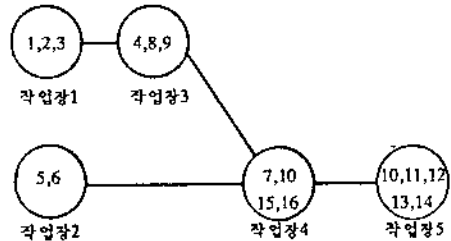


그림 2. 제안된 기법에 의한 작업장 선행공정도



그림 3. RPW 기법에 의한 작업장 선행공정도

### 4. 사례연구

본 사례는 A 자동차공장의 트럭라인 중 Y 조립



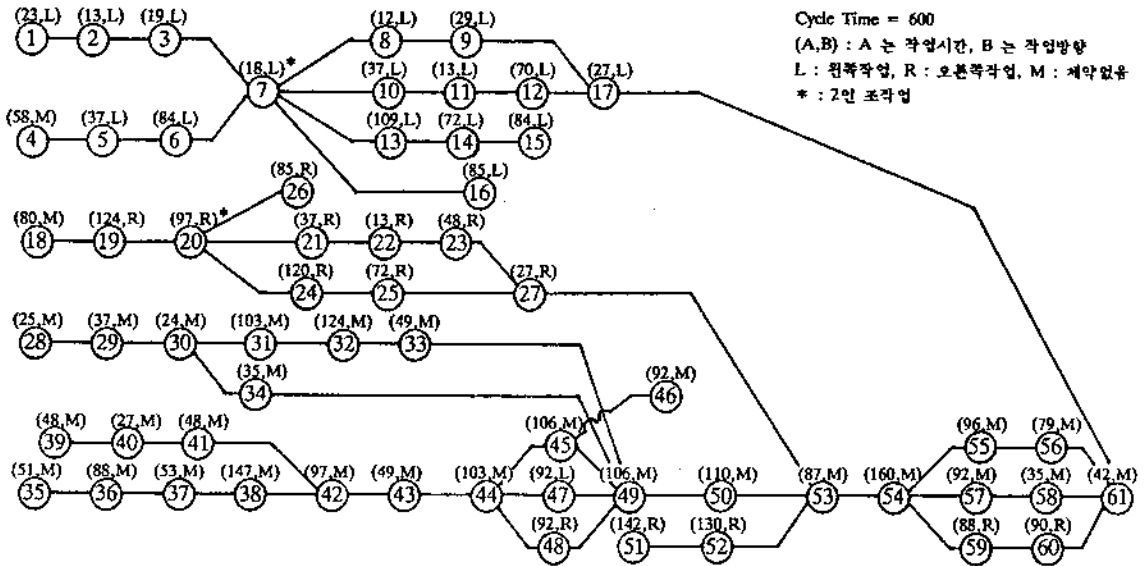


그림 4. 사례문제의 선행공정도

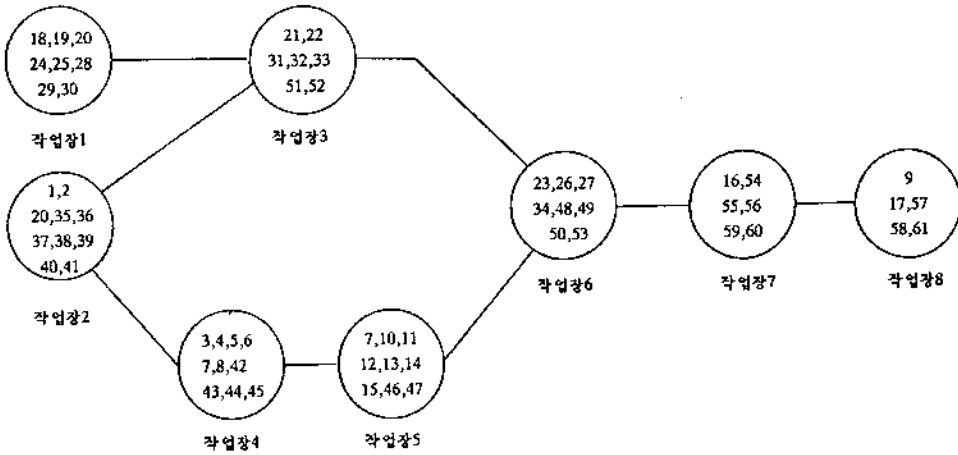


그림 5. 제안된 기법에 의한 작업장 선행공정도

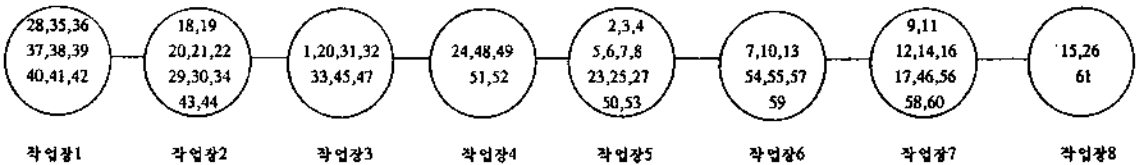


그림 6. RPW 기법에 의한 작업장 선행공정도

공정을 적용 대상으로 하고 있다. 이 공정은 61개의 작업이 그림 4와 같은 공정선행관계를 가지고 있으며, 조작업이 2회 수행되고 있다. 작업자는 Knife Conveyor를 약 10~14m를 위, 아래로 이동하면서 작업을 하고 있으며, 작업장의 형태는 이동이 자유로운 Open Station이다. Conveyor의 폭은 1.8m이고, 차체의 길이는 10.5m, 폭은 2.1m이며, 조립라인상의 차간 거리는 14m이다. Cycle Time은 생산량의 변화에 따라 Conveyor의 속도로 조정된다. 여기서는 10분으로 둔다.

### 비교 분석

제안된 Heuristic 기법과 RPW 기법에 의해 할당된 작업의 작업장 선행공정도는 각각 그림 5, 그림 6과 같이 되었다. 두 기법에서 균형효율은 같으나 제안된 기법은 9가지의 가능한 작업장 배열을 갖는 반면 RPW 기법에서는 1개의 배열만을 가지고 있다. 작업장을 배열할 수 있는 방법이 많을수록 라인의 편성과 설비와 부품의 배치를 유연하고 효율적으로 할 수 있을 것이다. RPW 기법에 의한 작업장의 배열은 직렬구조인 반면 제안된 기법에서는 병렬구조의 작업장 편성이 가능하여 두 개의 작업장 길이를 줄일 수 있다. 또한 오른쪽과 왼쪽작업을 갖는 작업장이 RPW 기법에서는 5개나 있는 반면 제안된 기법에서는 단지 2개이다.

각 작업장에 얼마나 관련작업거리 할당되었는가

표 1. 제안된 기법과 RPW 기법의 비교  
(사례문제)

	제안된 기법	RPW 기법
총작업시간	4355초	4355초
총휴식시간	445초	445초
Cycle Time	600초	600초
작업장의 수	8	8
균형효율	90.73%	90.73%
작업장 가능 Sequence 수	9	1
양측방향작업을 갖는 작업장 수	2	5
연결된 작업집합의 총수	19	28

를 측정하기는 어렵다. 여기에서는 각 작업장에서 연결된(Connected) 작업집합의 수를 구하여 관련 작업의 할당 척도로 사용하고자 한다. 예로, 4작업장을 보면 제안된 기법에서는 {3, 4, 5, 6, 7, 8}, {42, 43, 44, 45}로 두개의 연결된 작업집합을 갖고 있음에 비하여 RPW 기법에서는 {24}, {48, 49}, {51, 52}로 세개의 연결된 작업집합을 가지고 있다. 전체 작업장에서 연결된 작업집합의 수는 제안된 기법과 RPW 기법에서 각각 19개, 28개이다. 이는 제안된 기법이 관련작업할당에 있어서 우수한 기법임을 보여 주고 있다. 표 1은 제안된 기법과 RPW 기법으로 산출된 결과를 비교한 것이다.

## 5. 결 론

이 연구에서는 조립라인, 특히 대형제품의 조립라인에서 활용성이 높은 ALB의 Heuristic 기법을 제시하였다. 제안된 기법은 작업의 관련성, 작업방향, 그리고 조작업을 고려하여 작업을 할당하고 있으나, 균형효율은 기존의 기법에 비하여 낮지 않았다.

제안된 기법을 이용하여 작업할당을 함으로써 작업자에게는 작업 방법의 개선과 작업능률의 향상을 가져올 수 있고, 작업편성자에게는 편성의 유연성을 제공하여, 동일작업장에서 여러작업자가 작업을 하고, 작업장간의 간섭이 배제되며, 둘 이상의 작업자가 동일설비, 치공구를 사용하는 편성을 할 수 있도록 한다. 또한 라인설계자에게 효율적인 설비와 부품의 배치를 가능하도록 한다.

이 연구는 단일품종이 생산되는 조립라인 밸런싱 문제를 다루고 있으나, 추후 연구과제로 다품종이 생산되는 조립라인에서 작업의 관련성, 작업방향, 조작업을 고려한 혼합모델 조립라인 밸런싱에 관한 연구가 기대된다.

## 참고문헌

- [1] Agrawal, P. K., "The Related Activity Concept in Assembly Line Balancing", *IJPR*, 23, 2, 403-421, 1985.
- [2] Baybars, I., "A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem", *Mag. Sci.*, 32, 8, 909-932, 1986.
- [3] Deckro, R. F., and Rangachari, S., "A Goal Approach to Assembly Line Balancing", *Computers Opns Res.*, 17, 5, 509-521, 1990.
- [4] Easton, F. F., "A Dynamic Program with Fathoming and Dynamic Upper Bounds For the Assembly Line Balancing Problem", *Computers Opns Res.*, 17, 2, 163-175, 1990.
- [5] Ghosh, S., and Gagnon, R. J., "A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems", *IJPR*, 27, 4, 637-670, 1989.
- [6] Johnson, R. V., "A Branch and Bound Algorithm For Assembly Line Balancing Problems with Formulation Irregularities", *Mag. Sci.*, 29, 11, 1309-1324, 1983.
- [7] Johnson, R. V., "Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'FABLE'", *Mag. Sci.*, 34, 2, 240-253, 1988.
- [8] Shtub, A. and Dar-Ei, E. M., "An Assembly Chart Oriented Assembly Line Balancing Approach", *IJPR*, 28, 6, 1137-1151, 1990.
- [9] Talbot, F. B., Patterson, J. H., and Gehrelein, W. V., "A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Technique", *Mag. Sci.*, 32, 4, 430-454, 1986.
- [10] 김여근, 전태준, "대형차체라인의 공정개선과 대형버스의 생산 일정계획에 관한 연구", 아시아 자동차 공업(주), 1988년 2월, pp.210.
- [11] 김여근 외 5인, "대형트럭라인의 생산성향상에 관한 연구", 아시아 자동차 공업(주), 1990년 7월, pp.222.