

## 직렬 조립라인의 라인밸런싱에 관한 연구

°장석호, 이노성, 안인석, 박승규, 최준열, 우광방  
연세대학교 전기공학과

### A Study on Line Balancing for Serial Assembly Line

°Seokho Chang, Nohsung Lee, Ihnseok Ahn, Seungkyu Park, joonyoul Choi, Kwangbang Woo  
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

#### ABSTRACT

In this paper, utilizing the line balancing algorithm proposed to deal with various situations of automated assembly line, the optimal solution can be derived by the branch and bound method of analysis. By the application of line balancing algorithm to telephone assembly line, throughput is improved by 3.38%. Therefore, in the proposed line, blocking phenomena were reduced and smooth line-flow was achieved, and uniform distribution of utilization rate of each machine is obtained.

#### 1. 서론

직렬생산라인은 제한된 물품의 대량생산에 매우 효과적으로 사용되어온 생산시스템의 한 부류를 이루며, 성능결정요소들의 적은 변화가 시스템효율이나 총작동비용에 큰 차이를 가져올 수 있다. 새로운 라인의 설계단계에서나 이미 작동중인 라인의 개선 위한 설계의 궁극적인 목표는 고정된 양의 투자로 라인성능을 극대화하는 것, 즉 어떤 수준의 라인성능을 얻기위해 투자를 최소화하는 것이다. 라인성능의 척도는 라인생산성이라 불리는 단위시간당 제품의 양이다. 조립라인의 설계요소들의 선택은 생산성 극대화의 실현을 위해 선택 가능한 결정변수들이 다양하고, 생산라인의 제한된 조건을 만족해야하기 때문에 매우 복잡하다[2].

일련의 기계들로 구성된 생산라인에서 각 단위작업의 실행시간들과 선행조건들이 주어지며, 각 기계들에는 주어진 작업을 완료하기 위해 주기가시간이 정해진다. 라인밸런싱 문제는 1) 선행조건이 지켜지며 생산율이 유지되는데 필요한 최소한의 기계수를 결정하는 문제(Type I), 2) 선행조건을 지키며 생산율을 극대화하도록 고정된 기계들에 단위작업을 할당하는 문제(Type II)로 나눌 수 있다. Type I 문제에서 최적해를 구하기 위하여 많

은 방법들이 제안되고 있으나 실제라인의 다양한 특성을 만족하는 b&b(branch and bound)방법이 유용한 결과를 나타내고 있다. [2]. 그러나 설비가 갖추어진 자동화 생산라인은 작동되고 있는 기계수가 고정되어 있고 부가적인 라인의 변경시 설비비용이 추가되므로 고정된 기계수에 단위작업을 할당하는 라인밸런싱 문제에 초점이 맞추어 진다(Type II). 특히 직렬생산라인은 수작업 라인과는 달리 기계들의 특성이나 라인의 흐름에 따라 생산성이 크게 좌우되므로 라인의 특성을 반영하고 적절한 조건을 설정하여 라인밸런싱이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 고정된 기계를 가진 직렬생산라인의 라인밸런싱 문제를 해결하기 위하여 주기시간 및 적용조건을 설정하고 Type I 문제에 적용되는 b&b 방법을 이용하여 실행가능해를 구한다. 구해진 실행해들은 분할기법을 이용하여 생산율을 계산함으로써 최적해를 도출하게 된다.

#### 2. 라인밸런싱 문제의 설정

생산라인에서는 완제품을 위해 처리되어야 하는 총작업과 총작업을 구성하는 많은 독립적이고 독특한 단위작업들이 있다. 기계에서 수행되는 작업은 하나 이상의 단위작업들로 구성되며, 기계의 작업시간은 수행되는 단위작업들의 시간의 합이다. 각 기계는 작업시간과는 달리 생산라인의 이상적이며 이론적인 주기시간(cycle time)을 가지며, 이는 라인에서 출력되는 완제품들의 시간간격이다. 주기시간의 최소값은 병목(bottleneck)현상을 일으키는 기계 또는 가장 큰 작업시간을 가지는 기계에 의해 정해지며, 각 기계에서 단위작업시간들의 합이 주기시간을 넘지 않아야 한다. 일련의 단위작업들은 수행되어야 하는 순서에 의해 제한을 받게되며, 이러한 제한들은 라인밸런싱에서 정해지는 우선순위조건이라 한다. 이것은 제품의 요구를 만족하기 위하여 기술적인 전후관계에 의해 일정한 순서로 제품이 생산되어야 하는 조건을 말한다. 따라서 이러한 조건들을 만족하도록 라인밸런싱이 이루어져야 한다.

본 연구에서의 라인밸런싱 문제는 고정된 기계들에 이러한

단위작업들을 할당하는 것이며, 그래서 생산율이 극대화되도록 하는 것이다. 설정되는 기본적인 제한조건으로 할당된 단위작업 시간의 총합은 주기시간(특정한 기계에 할당된 작업들을 완료하는 시간)을 넘지 않아야 하며, 단위작업들은 작업들 간의 우선 순위조건이 위반되지 않아야 한다. 좀더 정량적으로 표현하면, 본 연구에서 제안되는 라인밸런싱 알고리즘은 다음과 같은 기본적인 형태로 정의할 수 있다.

1) 전제되는 라인의 변수값
① 작업시간이 $t(i) (i=1, \dots, q)$ 인 $q$ 개의 단위작업집합 $S$ ② 부분작업들 간의 선행조건관계 ③ $C \geq t(i) (i=1, \dots, q)$ 를 만족하는 주기시간 $c(i)$
2) 제한조건
① 각 기계에 할당된 작업들 $\{K(1), \dots, K(n)\}$ 은 $S$ 의 부분 집합이다. 즉, 각 작업은 정확히 하나의 기계에 할당된다. ② $\sum t(i) \leq c(j) (j=1, \dots, n)$ : 각 기계의 작업시간들의 합은 주기시간을 초과할 수 없다. ③ 작업 $h(k)$ 가 $h(m)$ 에 선행하고, $h(k) \in K(i), h(m) \in K(j)$ 이면, $i \leq j$ 이다.
3) 해결과제
1)의 값들이 주어졌을 때, 2)의 조건들을 만족하는 상호 독립적인 $S$ 의 부분집합들 $\{K_1, \dots, K_n\}$ 을 구하는 것이다.

### 3. 라인밸런싱 알고리즘

본 논문에서 제안한 b&b 알고리즘은 기계당 4개 이상의 작업을 가진 문제들에 대하여 적절한 것으로 나타났으며, 다른 방법들에 비해 최소한 다음과 같은 잇점을 가진다.

- 1) 모든 노드들을 반복적으로 비교하거나, 그 순서를 유지할 필요가 없다.
- 2) 특정 시간에 저장될 정보들은 다음과 같다.
  - a) 하나의 해를 나타내는 트리의 한 가지
  - b) 가지에서 나오는 하나의 아크
  - c) 지금까지 발견된 최상의 해
- 3) 모든 실행가능해들이 거의 즉각적으로 발견된다.

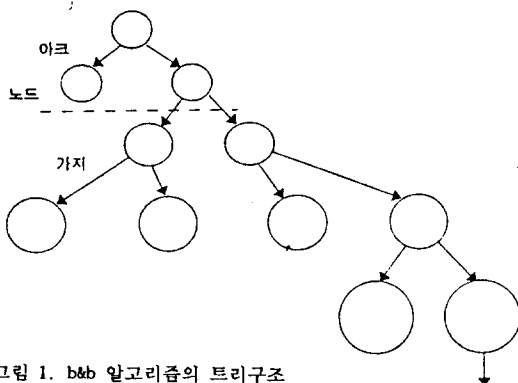


그림 1. b&b 알고리즘의 트리구조

생산라인의 밸런싱 문제는 자연적으로 조합이며, 많은 수의 실행가능해 집합을 포함한다. b&b 방법은 최적해를 구하기 위해 실행가능해들을 탐색해가는 트리구조형태를 가진다(그림 1). 트리의 원점은 첫번째 기계의 대안을 결정하기 이전의 시작점이 된다. 최적해를 발견하기 위해 탐색되는 실행가능한 모든 기계들은 해를 나타내는 트리로서 나타나게 된다. 실행가능한 기계들은 트리의 아크로 나타나며, 실행가능한 첫번째 기계는 트리의 원점으로부터 방사되는 아크가 된다. 따라서,  $n$ 번째 기계를 나타내는 각 아크는  $n$ 번째 기계가 구축된 순서에서  $n-1$ 번째인 기계를 나타내는 아크의 끝으로부터 방사된다. 트리의 원점에서 끝까지 이르는 하나의 가지들은 각각 하나의 실행가능한 해를 나타내며, 기계를 나타내는 아크들의 단일한 순서들로 구성된다.

b&b 방법은 먼저 최적해를 포함하는 모든 실행가능한 해의 부분집합을 열거한다. 열거방법은 라인에서 첫번째 기계로부터 해를 구축하기 시작한다. 첫번째 기계에 할당가능한 모든 단위작업들의 집합들이 열거된다. 첫번째 기계들의 가능한 결과적인 단위작업들의 집합에서, 다른 집합들의 부분집합들로 이루어지는 단위작업들은 할당의 가능성이 무시된다. 왜냐하면, 전체적인 밸런싱을 위하여 부분적인 단위작업들로 구성되는 해는 적절하지 않기 때문이다. 할당된 단위작업들은 단위작업의 선행조건과 작업시간이 주기시간을 초과하지 못한다는 조건등 각 아크에서 부과되는 조건들을 만족해야 한다. 처음  $n-1$ 번째 기계들이 할당되었을 때, 동일한 나열적 접근법은, 처음  $n-1$ 번째 기계들에 할당되지 않는 작업들로  $n$ 번째 기계를 나타내는 모든 실행가능 기계들을 형성하는데 사용된다. 필요한 실행가능 기계들은 '기계 생성 알고리즘'에 의해 생성되며, 특별한 기계를 나타내는 다른 기계를 산출하도록 주 알고리즘과 결합된다. 얼마나 많은 기계들이 필요할 것인가에 관한 하위경계값이, 해의 한 부분을 형성하는 노드에 조건으로 결정될 수 있다. 특정노드에서 계산된 하위경계값이 이미 발견된 해에서의 기계수보다 적으면, 그 노드를 포함하는 모든 해들은 제거된다. 트리의 특별한 노드에서, 노드와 트리 원점사이의 아크들에 대한 정확한 정보를 가질 수 있다. 즉, 각 아크는 기계를 형성하는 단위작업들의 집합이다. 그리고 노드에서 뻗어나는 트리의 부분적인 정보, 할당되지 않는 작업들과 그들의 작업시간을 가진다.

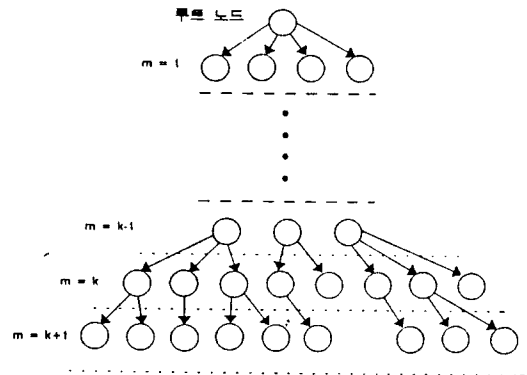


그림 2. 트리구조에서의 노드탐색

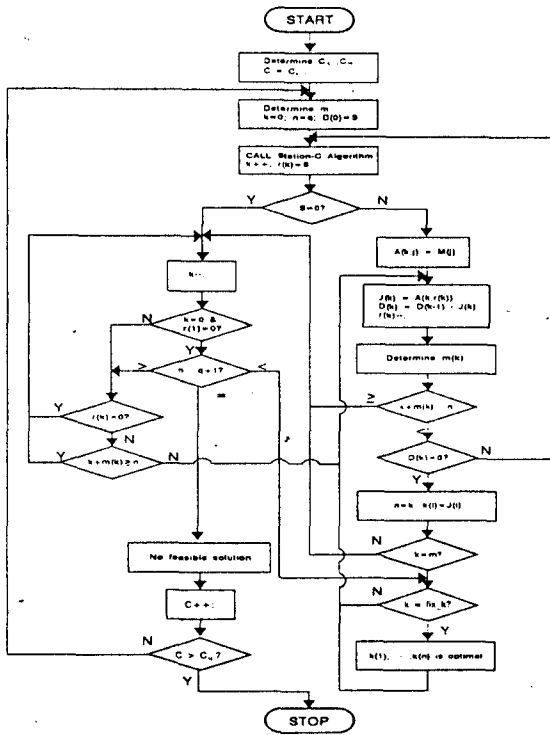


그림 3. 라인 밸런싱 알고리즘

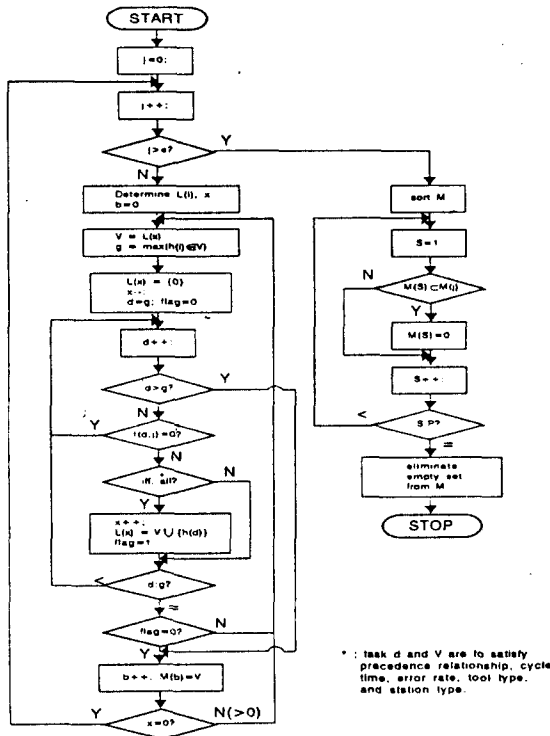


그림 4. 기계 생성 알고리즘

b&b 방법은 처음 기계에서 시작하여 해의 마지막 기계까지, 각 기계에서의 조건들을 만족하는 각 아크를 선택하여 실행가능 해를 찾는다. 선택된 아크들은 차례로 탐색되며 탐색되는 아크 이외의 다른 아크들은 나중의 사용을 위하여 기록된다. 다른 실행가능해들을 유도할 때, 이러한 아크들이 고려된다. 구성된 해의 총 트리는 하나의 완전한 가지와 그로부터 유도되는 모든 아크들로 구성된다. 알고리즘은 가장 최근에 생성된 가지와 아크에서 유도되는 노드로 되돌아 간다. 그 노드에서 이전에 생성된 가지는 제거되고, 가장 최근에 생성된 아크가 새로운 가지로서 사용된다. 이러한 탐색과 회귀과정은 완전한 트리가 만들어 질 때까지 계속된다. 완전한 트리가 구해지고, 이때 구해진 실행가능해들은 분할기법에 의해 각 생산성이 평가되고 가장 높은 생산성을 가지는 실행가능해가 최적의 해가 된다.

#### 4. 생산라인의 라인밸런싱 적용조건

자동화 조립라인은 수작업라인의 특성과 많이 다르기 때문에 발생하는 특별한 상황을 결정하고 이러한 형태에 맞는 설계조건을 부과하여야 한다.

##### (1) 작업의 난이도

자동화조립라인은 일련의 기계들과 버퍼들로 구성되어 있으며, 각 기계의 고장은 생산라인의 흐름을 정체시킨다. 이러한 고장은 단위작업의 특성에 따라 좌우되며 특정한 기계에 높은 난이도의 단위작업들이 집중되게 되면 생산성 저하가 일어나게 된다. 따라서, 생산성 극대화를 위해서는 할당되는 단위작업의 난이도가 고려되어야 한다. 각 기계는 단위작업들이 적절히 할당되도록 주어지는 주기시간을 가지는 것처럼 할당되는 단위공정의 난이도 합이 일정한 수준을 넘지 못하도록 경계값을 가짐으로써 특정기계에 과도한 부하가 집중되는 것을 방지한다.

##### (2) 우선순위조건

조립라인에 할당되는 단위작업들은 작업순서에 따라 기술적인 전후관계가 설정되며, 우선순위조건으로 주어진다. 우선순위조건들은 어느 정도 제한되어 있으며, 각 기계에 할당되는 단위작업들은 이러한 조건이 만족되어야 한다. 우선순위 다이어

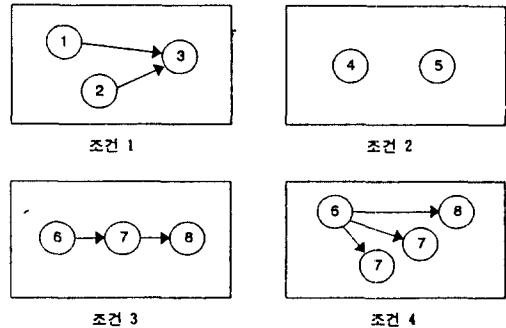


그림 5. 우선순위조건

그림은 이러한 조건들을 그래픽적으로 표현한 것이다. 그림 5는 다양한 형태의 우선순위 다이어그램의 보기를 나타내고 있다. 단위작업은 노드로 나타내며, 작업작업들이 수행되어야 하는 순서들은 노드들을 연결하는 화살표로 표시된다. 먼저 수행되어야 하는 단위작업들이 왼쪽에 있게 된다.

### (3) 단위작업 형태조건

위에서 서술한 우선순위조건에 덧붙여서, 라인밸런싱 해를 구하는 다른 형태의 조건들이 있다. 이들은 단위작업들이 기계들에 할당될 때 제약을 주게 되며, 두가지 형태를 갖는다. 첫번째 형태는 같은 기계에서 작업이 이루어져야 하는 단위작업들을 나타내는 것이다. 일반적으로 단위작업들이 배치형태로 구성될 때 이러한 형태를 나타낸다. 두번째 형태는 단위작업들이 서로를 간섭하므로 한 공정에 할당될 수 없는 경우이다. 적절한 조절이나 민감한 조절을 요구하는 단위작업들은 큰 잡음이나 심한 진동에 의해 특정기계에서 함께 작업이 이루어지면 안된다. 한 기계의 단일공정에서 수행되어야 하는 단위작업들이나 배제되어야 하는 단위작업들은 행렬의 형태로 조건이 부과된다. 결합행렬은 단위작업이 동일한 기계에 할당되어야 하는 조건이 있느냐(=1) 또는 없느냐(=0)를 나타내는 0-1행렬이며 e는 결합형태의 수를 나타낸다. 배제행렬은 서로 배제되어야 하는 단위작업들을 나타내며, 동일한 기계에 할당되지 않아야 하는 조건이 있느냐(=1) 또는 없느냐(=0)를 나타내는 정방행렬이다.

그림 6은 단위작업들의 형태에 대한 예를 나타내고 있다. 단위작업 (A, B, C), (D, E)는 동일한 기계에 할당되어야 하며, F는 (I, J)와, G는 I와, H는 J와 동일기계에 할당되지 않아야 한다.

$e \begin{matrix} A & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix}$	$F \begin{matrix} F & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ G \\ H \\ I \\ J \end{matrix}$
(a) 결합 행렬	(b) 배제 행렬

그림 6. 단위작업의 형태행렬

### (4) 경계값의 설정

하위경계값을  $C_u$  상위경계값을  $C_o$ 로 주어질 때, 상위 및 하위경계값은 식 (1)과 (2)로 주어진다.

$$C_u(K) = \max \{ [W/K]^*, t^* \} \quad (1)$$

$$C_o(K) = \max \left\{ t^*, \begin{cases} \frac{2W}{K} & \text{if } K \text{ is even} \\ \frac{2W}{K+1} & \text{if } K \text{ is odd} \end{cases} \right\} \quad (2)$$

여기서,  $[x]^*$ 는  $x$ 를 넘어서는 최소 정수,  $K$ 는 고정된 기계수,  $W$ 는 총작업시간,  $t^*$ 는 최대작업시간이다. b&b 알고리즘은 각 기계에서 할당 가능한 단위작업들의 조합을 구성하고, 각각의 기계들에 대한 하위경계값을 설정한다. 하위경계값에서 구한 실행가능해들이 고정된 기계수와 일치하는 할당이 일어나지 않게되면  $C_u = (C_u+1)$ 로 두고 고정된 기계수와 일치하는 할당이 이루어질때까지 다시 실행해를 찾게된다. 구하는 실행가능해들은 하위경계값과 상위경계값 사이에 존재하게 되며 모든 실행가능해들이 구해질 때까지 하위경계값은 증가하게 된다.

### (5) 공구의 수

각 단위작업은 작업에 필요한 작업공구가 필요하며 라인밸런싱에서 부품과 공구의 관계가 고려되어야 한다. 따라서 단위작업들은 공구의 형태와 관련하여 분류가 필요하며, 각 기계의 공구장착 가능갯수는 제한적으로 주어지게 된다. 단위작업당 필요한 공구의 형태가 주어지면 각 기계의 공구장착 가능갯수에 따라 단위작업의 할당이 이루어지도록 각 기계에 조건을 부과하게 되고 제한조건을 만족하지 못하는 단위작업의 할당은 소거된다. 본 연구에서는 라인밸런싱 알고리즘에서 공구와 부품과의 관계를 설정하고 적절한 조건을 부과함으로써 실제 조립라인에서 고려되는 형태의 라인밸런싱이 이루어지도록 한다.

## 5. 결과고찰

### 5.1 대상 생산시스템

직렬생산라인은 모든 공정이 순차적으로 이루어지는 대량생산을 위한 생산시스템을 나타내고 있다. 조립라인은 직렬생산라인의 한 형태로서 부품들이 각 기계에서 순차적으로 조립되며, 다양한 조립부품으로 인해 매우 복잡한 작업이 이루어진다. 이러한 조립라인은 노동비용의 증가로 인해, 더 쉽고 값싼 조립공정을 위한 생산품의 재설계 및 완전한 조립자동화가 활발히 추진되고 있다. 본 연구에서는 조립라인의 한 예로서 전화기 조립라인을 대상으로 성능개선을 위한 라인밸런싱을 설계요소로서 설정하였다.

#### 5.1.1 생산시스템의 사양

대상 조립라인은 15대의 기계에서 42개의 단위작업들이 순차적으로 이루어지며, 컨베이어에 의해 이동되는 팔레트에서 각 기계에 의해 단위작업이 이루어진다. 각 기계는 두개의

표 1. 라인 L11의 공정도

기계 NO.	할당된 단위작업	비용 퍼량	공구 갯수	이송시간 (초)	작업시간 (초)
M1	P1, P2	1	2	2.75	10.4
M2	P3, P4, P5	3	2	3.75	15.5
M3	P6, P7, P8	3	2	"	13.9
M4	P9, P10	3	2	"	12.5
M5	P11, P12, P13, P14	3	2	"	14.1
M6	P15, P16, P17	3	2	"	11.8
M7	P18, P19, P20	3	2	"	15.4
M8	P21, P22	3	2	"	12.8
M9	P23, P24, P25	3	2	"	14.9
M10	P26, P27, P28	3	2	"	15.7
M11	P29, P30, P31	3	2	"	15.2
M12	P32, P33, P34, P35	3	2	"	14.8
M13	P36, P37	3	2	"	14.2
M14	P38, P39, P40	3	2	"	14.2
M15	P41, P42	3	1	"	13.0

공구가 장착 가능하고 단위작업의 난이도에 따라 고장이 발생한다. 표 1은 조립라인의 전체 공정도를 나타내고 있다. 조립라인에서 버퍼 간의 이송시간은 1.2초, 컨베이어 이송속도는 400mm/sec이며 각 기계의 작업준비시간은 1.5초이다. 단위작업들에 대한 데이터와 우선순위조건들은 표 2와 같다. 전하기 조립라인에서 각 기계의 고장 및 수리시간은 각각 지수분포로 처리하였으며, 기계의 작업시간 동안에 고장이 일어나는 동작의존 고장으로 정의하였다. 전하기 조립라인에 대한 고장 및 수리시간 데이터는 표 3에 나타낸 것과 같다.

표 2. 단위부품 데이터

단위 부품	작업 시간	공 난이도	우선순위 조건	결합 형태		공구 용태
P1	5.7	1	0	0	0	S1
P2	3.2	3	P1	0	0	S3
P3	6.5	4	P2	0	0	S4
P4	4.0	3	P3	1	0	S3
P5	3.2	3	P4	1	0	S3
P6	3.5	5	P2	0	0	S2
P7	3.9	4	P6	2	0	S5
P8	5.0	2	P7	2	0	S5
P9	6.5	5	P8	0	0	S6
P10	3.6	2	P6	0	0	S2
P11	5.2	3	P10	0	0	S7
P12	4.0	2	P9, P10	0	0	S8
P13	2.9	2	P5, P12	0	0	S8
P14	2.0	2	P13	0	0	S8
P15	2.5	3	P14	3	0	S4
P16	4.5	4	P15	3	0	S4
P17	2.1	2	P16	3	0	S13
P18	5.5	5	P16	0	0	S9
P19	3.0	2	P16	0	0	S9
P20	5.7	6	P14	0	0	S10
P21	4.7	6	P20	4	4	S11
P22	5.6	3	P21	4	4	S12
P23	4.3	2	P17	0	0	S13
P24	5.2	2	P18, P19, P23	0	0	S10
P25	3.9	2	P22, P24	0	0	S10
P26	6.5	7	P25	0	0	S15
P27	4.2	3	P26	5	0	S14
P28	3.5	3	P26	5	0	S14
P29	5.6	3	P26	0	0	S12
P30	4.3	3	P27	0	0	S15
P31	3.2	2	P28	0	0	S15
P32	3.7	2	P29, P31	0	0	S16
P33	4.1	4	P32	0	0	S16
P34	2.6	2	P30	0	0	S18
P35	3.6	5	P34	6	0	S18
P36	6.4	3	P35	6	0	S12
P37	3.8	6	P35	0	0	S16
P38	5.5	4	0	12	7	S17
P39	4.0	2	P38	7	12	S4
P40	2.5	4	P39	7	12	S4
P41	6.3	6	0	8	14	S12
P42	4.6	2	P41	8	14	S12

표 3. 기계들의 고장율과 수리율

기계	고장율	수리율	기계	고장율	수리율
M1	1/1317.0	1/20.0	M9	1/700.0	1/20.0
M2	1/476.67	1/25.0	M10	1/645.2	1/29.0
M3	1/451.1	1/23.0	M11	1/524.0	1/32.0
M4	1/1935.3	1/24.0	M12	1/1329.0	1/20.0
M5	1/744.8	1/42.0	M13	1/2237.4	1/36.0
M6	1/417.7	1/30.0	M14	1/3724.0	1/29.0
M7	1/17.24	1/48.0	M15	1/481.1	1/40.0
M8	1/134.7	1/34.0			

식 (3)은 단위작업들이 배치형태로 주어지는 경우에 주어지는 단위작업의 형태를 나타내는 행렬이다. m개의 단위작업이 동일한 형태의 기계에 할당될 수 있느냐(=1) 또는 없느냐

(=0)를 나타내는 0-1의 형태의 행렬로 정의된다. 식 (4)는 간섭이 일어나는 단위작업들을 나타내는 행렬을 나타낸다. m개의 단위작업들 간에 배제되어야 하는(=1) 또는 아니냐(=0)를 나타내는 0-1형태의 행렬로 정의된다. 대상시스템에서 단위작업 (P4, P5), (P7, P8), (P15, P16, P17), (P21, P22), (P27, P28), (P35, P36), (P39, P40), (P41, P42)는 배치형태의 작업을 나타낸다.

$$\begin{matrix} P4 \\ P5 \\ P7 \\ P8 \\ P15 \\ P16 \\ P17 \\ P21 \\ P22 \\ P27 \\ P28 \\ P35 \\ P36 \\ P39 \\ P40 \\ P41 \\ P42 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} P21 \\ P22 \\ P38 \\ P39 \\ P40 \\ P41 \\ P42 \end{matrix} \begin{pmatrix} 000000000000011100000100000000 \\ 000000000000011100000100000000 \\ 111000111110000000000000110100 \\ 111000111110000000000000110100 \\ 111000111110000000000000110100 \\ 111111110000011111000000000000 \\ 111111110000011111000000000000 \end{pmatrix} \quad (4)$$

## 5.2 직렬조립라인의 설계 및 성능분석결과

### 5.2.1 직렬조립라인의 설계결과

제안된 라인밸런싱 알고리즘은 하위경계값 12.7초에서 단계적으로 검색을 시작하여 15.3초에서 56개의 실행가능해를 처음 구하였으며 상위경계값 14.2초까지 8177개의 실행가능해를 구하였다. 최적의 작업할당이 이루어진 최적해는 실행가능해들의 생산율을 계산한 결과 최고의 생산율을 나타내는 해로서 나타나며, 단위작업의 할당내역은 표 4에 나타내었다.

표 4. 라인 L11의 공정도

기계 NO.	할당된 단위작업	버퍼 용량	공구 개수	이송시간 (초)	작업시간 (초)
M1	P1, P2, P6	1	2	2.75	13.9
M2	P7, P8, P10	3	2	3.75	14.6
M3	P3, P9	3	2	"	14.3
M4	P4, P5, P11	3	2	"	14.7
M5	P12, P13, P38	3	2	"	12.1
M6	P14, P41, P42	3	2	"	15.0
M7	P15, P16, P17, P23	3	2	"	15.3
M8	P18, P20	3	2	"	12.6
M9	P21, P22	3	1	"	12.8
M10	P19, P24, P25	3	2	"	14.2
M11	P26, P29	3	2	"	13.6
M12	P27, P28, P31	3	2	"	13.0
M13	P30, P32, P33	3	2	"	12.9
M14	P34, P35, P36	3	1	"	15.2
M15	P37, P39, P40	3	2	"	14.2

### 5.2.2 성능분석결과

분할기법을 이용한 근사화 분석방법으로 성능개선된 조립자동화라인의 분석을 행하였다. 생산율을 구하고 기존의 라인과 비교하여 설계된 라인의 결과를 분석하였다. 이러한 결과들은 SLAM II를 이용한 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

생산율은 주어진 시간에 생산된 출력을 말한다. 이것은 시스템이 기대치를 만족시킬 수 있는가를 결정하며 시스템의 성능을 나타내는 중요한 성능분석치이다. 대량생산을 위한 직렬조립라인의 경우 생산율은 기계들의 가공시간 및 고장율, 수리율 등에 큰 영향을 받으므로 생산율의 향상을 위한 제어기법이 필요하다. 생산율을 평가하기 위한 정보는 완제품을 나타내는 제품의 수와 시스템 가동시간이다. 설계된 라인의 생산율과 텍타임은 표 5에 구하여 졌으며 그림 7에 표시되었다. 기존 라인의 생산율은 0.05713이며 라인밸런싱이 이루어진 라인의 생산율은 0.05906으로 3.38%의 개선이 이루어 졌다.

표 5. 생산율(Throughput)

		근사적분석	시뮬레이션
설계전 라인	생 산 율	0.05713	0.05872
	TACK TIME	17.50	17.03
설계후 라인	생 산 율	0.05906	0.06082
	TACK TIME	16.93	16.44
개 선 율		3.38 %	3.58 %

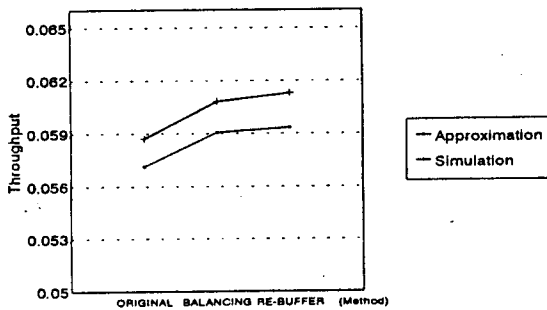


그림 7. 생산율(throughput)

## 6. 결론

본 논문에서는 Branch and Bound 알고리즘을 이용하여 자동화 조립라인의 최적설계를 위한 라인밸런싱 기법을 제시하였다. 기존의 수작업라인에 적용되어오던 B&B 알고리즘에 적절한 제한조건들을 부과하고, 검색되는 모든 실행가능해의 생산성을 계산하여 최적해를 도출하였다. 그리고 이를 기존의 조립생산라인에 적용하여 비교, 분석하였다.

앞으로 더욱 깊이있는 연구를 통하여, 다양한 형태의 라인에 대한 라인밸런싱 기법의 개발과 유연성을 고려한 FMS라인으로의 응용을 통하여 실제 생산라인에서의 생산성 향상을 도모하고자 한다.

## 7. 참고문헌

- [1] R.V.Johnson, "Assembly Line Balancing Algorithm : Computation Comparison," INT. J. PROD. RES., Vol.19, No.3, pp. 277-287, 1981.
- [2] R.V.Johnson, "A Branch and Bound Algorithm for Assembly Line Balancing Problems with Formulation Irregularities", Mngt. Sci., Vol.29, No.11, pp.1309-1324, Novem., 1983.
- [3] A.Alan B.Prisker, "Introduction to Simulation and SLAM II," Systems Publishing Co., 1986.
- [4] J.R.Jackson, "A Computing Procedure for a Line Balancing Problem," Mngt. Sci., Vol.2, No.3, pp.261-271, 1956.
- [5] E.M.Darel, "Solving Large Single-Model Assembly Line Balancing Problem - A Comparative Study," AIIE Trans., Vol.7, No.3, pp.302-310, Sept. 1975.
- [6] M. Queyranne, "Boung for Assembly Line Balancing Heuristics," Oper. Res., Vol.33, No.6, 1986.