

# 3대의 갠트리 기계로 구성된 PCB조립라인의 최적운영 방안 연구

문기주<sup>†</sup> · 전문길

동아대학교 산업경영공학과

## Development of an Efficient Operation Method for PCB Assembly Line with 3 Gantry-Type Machines

Geeju Moon<sup>†</sup> · Moon-Gil Jeon

Dept. of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University

This research deals with multiple Gantry-type assembly machines for the optimization of PCB assembly line. The automated assembly machine has 6 nozzles which can linearly move the X axis and the Y axis different from the turret type assembly machine. Each machine is optimized while considering the whole line balancing of three machines in assembly process simultaneously. Simulation models are developed using AutoMod for comparison study with single machine operation cases under various conditions such as types and total number of components to evaluate the proposed method.

**Keywords** : PCB(Printed Circuit Board), Optimization, Line Balancing, Gantry-Type Machine

### 1. 서 론

인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB)은 가전기기, 컴퓨터, 휴대폰, 자동차, 항공기 등 모든 전자 정보통신 기기에 사용되는 필수부품이다. 이 PCB 생산에 대한 기술의 발전으로 갠트리(Gantry)형 조립기와 같은 고속 정밀 자동조립기종이 개발되었으나 최적운영방법에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

갠트리형 표면조립기는 기판, 터릿(turret), 랙(rack)이 동시에 움직여야 하는 터릿형과 달리 X축과 Y축 이동이 가능한 두 개의 갠트리 크레인(crane)이 부품 조립을 실행한다. 조립대상이 되는 기판과 각종 부품을 공급하는 피더(feeder), 부품을 흡착하여 조립을 실행하는 노즐(nozzle), 그리고 교체를 위한 다양한 노즐을 보관하는 노즐교체기가 있고, 크레인 끝에는 헤드(head)가 부착되어 복수 개의 노즐을 장착하고 있다. 만약 현재 헤드에 장착되어

있는 노즐을 사용할 수 없는 부품을 흡착해야 하면 헤드가 노즐교체기로 이동하여 노즐을 교체한다.

각 기계 당 동시흡착을 많이 하고 노즐 교체 횟수를 줄이면 생산성이 향상된다. 그러나 동시흡착을 늘리면 노즐 교체 횟수가 늘어나 그만큼 생산성 향상을 기대하기 어렵게 된다. 생산성 향상을 위해서는 동시흡착과 노즐 교체 횟수를 최적으로 조합해야 한다.

본 연구에서는 한 개 기판의 조립에 필요한 부품을 3대의 기계에 분할하여 개별 기계의 조립시간을 최소화 하면서 조립라인 밸런싱(balancing)을 할 수 있는 방법에 대하여 연구하였다. 일반적인 LOB(line of balance)와는 달리 개별 기계별로 동시흡착과 노즐 교체를 최적으로 조합함과 동시에 전체 라인의 밸런싱을 추구해야 하는, 즉 부분최적해(local optimum)와 전체최적해(global optimum)가 직접 서로 영향을 미치는 상태에서 최적해를 찾아야하는 문제의 한 가지 형태라고 하겠다.

논문접수일 : 2010년 10월 29일    논문수정일 : 2010년 11월 16일    게재확정일 : 2010년 11월 17일

<sup>†</sup> 교신저자 gjmoon@dau.ac.kr

※ 이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 2. 연구 동향

PCB조립에 관련된 표면 실장기의 최적조립순서 결정에 관한 많은 연구들이 이루어졌다. Leipala and Nevalainen [6]은 처음으로 헤드가 하나인 기계로 배치공정을 분석하였으며, 복수 헤드를 가진 기계에 확장 적용할 수 있는 기초를 제공했다. Park and Sohn[8]은 복수 헤드를 가진 기계로 확장하였으며, 문기주, 임승환[2]은 랙에 부품을 할당하는데 있어서 각 부품 종류들 사이의 근접거리를 평가하고 랙에 부품종류들을 할당할 때 부품 종류의 수량과 각 부품종류간의 인접한 정도를 동시에 고려하여 처리하는 방법을 제시하였다.

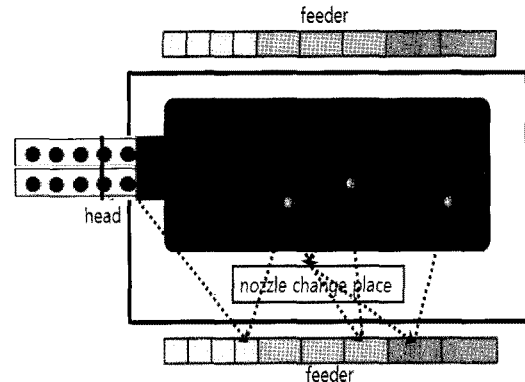
문기주, 정현철[3] 그리고 Moon[7]은 부품의 랙 배치와 조립 순서를 동시에 고려한 최적화 방안을 제시하였으나 터릿형 헤드를 가진 기종에 국한하였다. 갠트리형 조립기는 헤드가 한 번에 복수개의 부품을 장착 가능하며, 부품 위치까지 직선 이동이 가능하다는 장점이 있다. 문기주, 김광필[1]은 갠트리형 조립기에 대하여 연구를 수행함으로써 해당 기종에 대한 연구의 기초를 제공하였다.

PCB 조립 라인의 밸런싱에 대한 연구들을 살펴보면 Vain 등[10]은 대규모 조립라인 밸런싱 문제를 위한 두 단계의 기술을 제안하였다. Branch and Bound법을 사용하여 작업을 할당한 후, 핵심 작업을 가진 작업장들을 선택하여 재계산하였다. Song 등[9]은 고객의 수요와 차이가 발생할 수 있는 혼합 조립 라인의 밸런싱을 다루었으며, 밸런싱과 순서결정의 문제를 고려하였다. Duman[5]은 부품 장착 시간을 부품 장착 순서와 독립적으로 고려하여, 기계에 부품 타입을 할당하는데 중점을 두었으며, 라인 밸런싱 된 각 기계에 피더를 배열해서 부품장착 시간이 실제로 부품장착 순서와 관련되어 있음을 증명하였다. 함효상 등[4]은 유연 PCB자동조립기의 부하평준화를 위한 작업흐름모델에 대하여 연구했다. PCB조립기의 성능향상으로 고속화된 작업 공정에서 공구 교환시간은 전체 작업시간에서 큰 비중을 차지하게 된다. 그러나 부품장착시간 외에 작업시간에 포함되는 공구교환시간을 배제함으로써 최적의 밸런싱을 도출하는데 한계를 보이고 있다.

## 3. 갠트리형 PCB자동조립기

본 연구에서 다루고 있는 PCB자동조립기는 <그림 1>과 같이 기계의 양면에 부품을 공급할 수 있는 피더가 장착되어 있다. 하나의 피더에는 동일한 부품이 있으며, 피딩 시스템을 이용하여 다음 작업에 사용될 부품을 하나씩 공급 가능하다. 각각의 피더와 함께 헤드

도 두 개가 있어 앞쪽의 피더는 앞쪽의 헤드에서 작업이 가능하며, 뒤쪽 피더에 있는 부품들은 뒤쪽의 헤드가 작업을 하도록 하여 헤드간의 충돌을 피한다. 최대한 작업 중의 충돌을 피하기 위해 PCB 기판에서 작업할 영역을 설계 단계에서 구분하여 할당한다.



<그림 1> 갠트리 타입 PCB자동조립기

피더에 있는 부품은 헤드에 있는 노즐에 흡착된 상태에서 PCB에 장착된다. 부품별로 사용가능한 노즐은 서로 다르다. 헤드는 6개의 노즐이 동시에 장착될 수 있고, 새로운 노즐을 필요로 할 때에는 노즐이 보관되어 있는 노즐 교체기에서 교체가 가능하다.

동시흡착은 하나의 노즐이 부품을 흡착할 때, 헤드의 이동없이 다른 피더에 있는 부품을 옆에 있는 노즐이 흡착할 수 있을 때 발생한다. 하지만 부품의 충돌 가능성을 없애기 위해 바로 옆에 있는 인접한 노즐간의 동시흡착은 피하고 일정거리 이상의 노즐들에만 동시흡착이 가능하도록 하였다. 이렇게 동시흡착이 가능하기 위해서는 헤드에 장착된 노즐과 피더에 있는 부품의 이용가능한 노즐이 동일하여야 한다. 하나의 부품을 장착할 경우에 피더와 기판 사이의 이동이 두 번 발생하는 반면, 동시흡착에서는 여기에 기판과 기판 상의 장착지점간의 이동만을 추가해서 두 개의 부품을 장착시킴으로써 전체 작업시간을 줄일 수 있게 된다.

## 4. 제약에 따른 균형 작업배정

### 4.1 작업소요시간

PCB 상에 부품이 장착되는 위치를 장착점이라 하고, 피더로부터 부품을 흡착하는 위치를 흡착점이라 한다. 조립헤드는 흡착점으로 이동하여 부품을 흡착하고 이를 장착점으로 이동하여 부품을 장착한다. 흡착점에서 장

착점으로의 이동경로를 전향경로라 하며, 장착점으로부터 흡착점까지의 이동경로는 후향경로라 한다. 노즐교체와 동시흡착이라는 특징을 가지는 이러한 모형의 경우, 전향경로는 부품의 동시흡착 후에 먼저 장착되는 부품의 지점에서 다음 장착되는 부품의 지점까지의 경로를 포함한다. 후향경로는 부품의 장착 후, 다음 부품의 흡착을 하는데 있어 맞는 노즐이 없을 경우 노즐교체 장소로의 경로와 노즐교체 후의 부품 흡착점까지의 경로를 포함한다. 조립헤드는 ‘부품흡착·전향경로 이동·부품장착·후향경로 이동’의 사이클을 반복적으로 수행하며 PCB 상의 모든 장착점에 부품을 장착한다.

한 사이클(cycle) 당 소요되는 시간은 흡착시간, 전향 경로 이동시간, 장착시간 그리고 후향경로 이동시간의 합으로 표현된다. 이 중에서 흡착시간과 장착시간은 조립헤드의 Z축 이동시간 및 대기시간이므로 피더배치나 조립순서의 변경과 무관하게 일정한 값을 갖는다. 한 사이클 당 조립헤드의 X-Y축 이동에 소요되는 시간인  $t(i, j, j', k, l)$ 은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t(i, j, j', k, l) = t(i, k) + t(k, l) + t(l, j) + t(j, j') + t(i, l) \quad (1)$$

식 (1)에서  $t(i, k)$ 는 장착점  $i$ 에서 노즐교체 장소  $k$ 까지의 이동시간,  $t(k, l)$ 는 노즐교체 장소  $k$ 에서 피더  $l$ 까지의 이동시간,  $t(l, j)$ 은 피더  $l$ 에서 장착점  $j$ 까지의 이동시간,  $t(j, j')$ 는 동시흡착 된 후 장착점  $j$ 에서 장착점  $j'$ 까지의 이동시간,  $t(i, l)$ 은 노즐교체의 필요 없이 흡착하는 장착점  $i$ 에서 노즐  $l$ 까지의 이동시간이다. 여기에서  $t(i, k)$ 와  $t(k, l)$ 은 노즐 교체가 필요한 경우의 후향경로라 할 수 있고,  $t(i, l)$ 은 노즐 교체가 필요하지 않은 경우의 후향경로라 할 수 있다.  $t(l, j)$ 와  $t(j, j')$ 는 동시흡착이 된 경우의 전향경로라 할 수 있다.

식 (1)에  $(n_{pk} \times 1) + (n_l \times 0.1)$  값을 더하고 각 기계별 시간치를 계산하여 합계치를 구하면 전체공정의 기판1개 조립에 소요된 시간을 계산할 수 있다. 식 (1)에서  $n_{pk}$ 는 노즐교체의 횟수,  $n_l$ 은 동시흡착을 포함한 부품 흡착의 횟수이며 노즐 교체 시간은 1초, 부품 흡착 시간은 0.1초로 설정하였음을 나타낸다.

#### 4.2 노즐간 관련성을 고려한 부품그룹의 편성

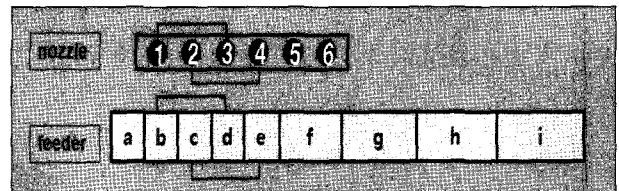
하나의 노즐이 한 종류의 부품만을 흡착한다면 부품과 노즐간의 관련성이 발생하지 않겠지만 하나의 노즐이 여러 개의 부품을 흡착할 수 있다면 부품과 노즐간의 관련성이 생기게 된다. 이러한 관련성을 고려하여 다음과 같이 부품 그룹을 구분한다.

- 그룹 1 : 부품 특성상 처음 작업해야 할 부품
- 그룹 2 : 그룹 1과 같은 노즐을 사용하는 부품
- 그룹 3 : 부품 특성상 마지막에 작업해야 하는 부품
- 그룹 4 : 그룹 3과 같은 노즐을 사용하는 부품
- 그룹 5 : 어떤 그룹에도 편성되지 않는 부품

그룹 2, 4는 그룹 1, 3과 같은 노즐을 사용하기 때문에 그룹 1을 작업한 후 또는 그룹 3을 작업하기 전에 작업한다. 그러므로 작업은 그룹 1-그룹 2-그룹 5-그룹 4-그룹 3의 순서가 된다.

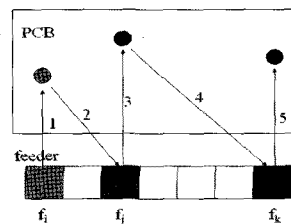
#### 4.3 동시흡착

동시흡착은 하나의 노즐이 부품을 흡착하는 과정에서 노즐의 간격과 피더의 간격이 동일하여 헤드의 이동 없이 다른 피더에 있는 부품을 옆에 있는 노즐이 흡착할 수 있을 때 발생한다. <그림 2>에서 노즐 1, 3과의 간격과 피더 b, d의 간격이 동일하고 바로 옆에 인접해있지 않으며 일정거리 이상의 간격이 있기 때문에 동시흡착이 가능하게 된다.

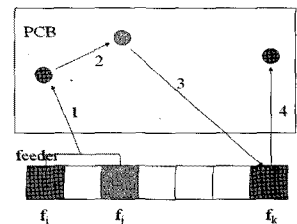


<그림 2> 동시흡착을 위한 노즐간격과 피더간격

단일흡착에서는 하나의 부품을 장착할 경우에 피더와 PCB 사이의 이동이 두 번 발생하는 반면, 동시흡착에서는 PCB 상의 장착지점간의 이동만을 추가해서 두 개의 부품을 장착시킬 수 있으므로 전체 작업시간을 줄일 수 있게 된다

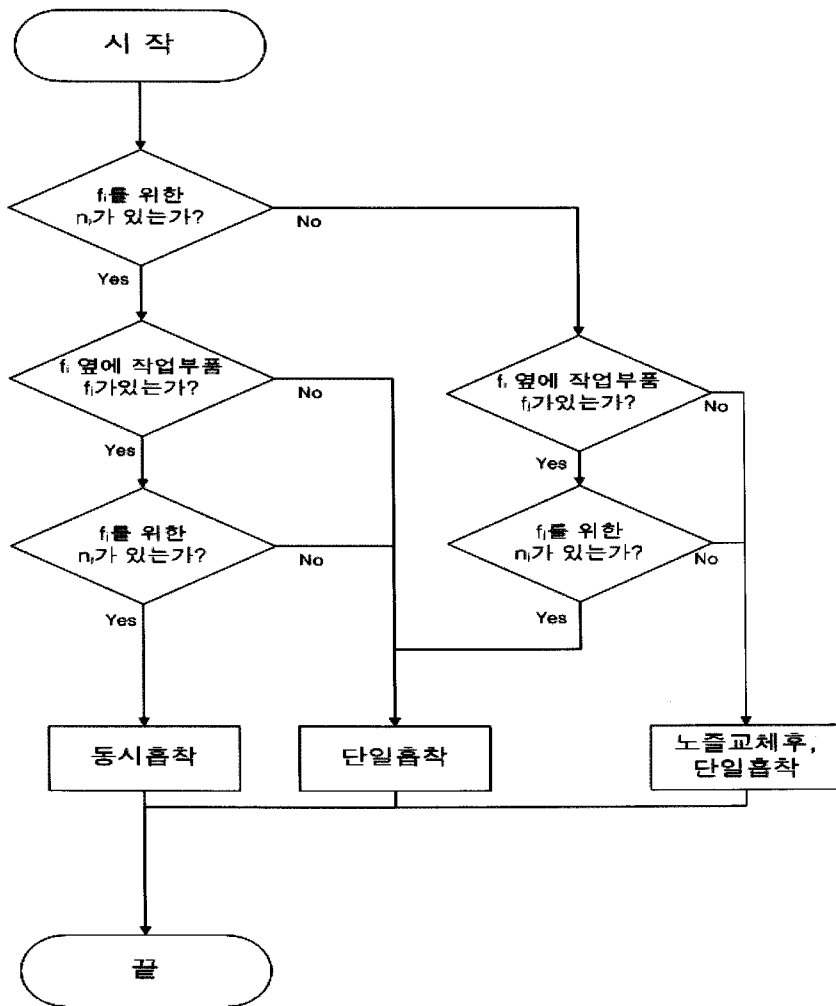


<그림 3> 단일흡착



<그림 4> 동시흡착

<그림 3>은 단일흡착을 나타내고 있고 <그림 4>는 동시흡착의 과정을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 단일흡착에서는 부품을 장착 할 때 마다 피더와 장착지



<그림 5> 동시흡착 작업순서도

집간의 이동이 발생하여 3개의 부품을 장착하는데 총 5번의 이동이 소요된다. 그러나 첫 번째 부품과 두 번째 장착해야 할 부품이 동시흡착이 가능하다고 가정하면 단일흡착시의 이동 2와 이동 3이 동시흡착시의 이동 2로 대체되어 총 4번의 이동이 필요하게 된다.

본 연구에서는 전체 작업에서 차지하는 동시흡착의 비율을 높이고 최적의 노즐 교체회수 설정을 위해 <그림 5>와 같은 절차를 개발하였다.

#### 4.4 기계별 균형 작업량의 배정

한 라인에 다수의 조립기를 설치하여 운영하면 기관의 조립시 노즐교체시간을 단축할 수 있어 소요시간을 단축할 수 있다. 그러나 기계별 사이클타임이 다를 경우 사이클타임이 가장 긴 조립기에 의해 전체 작업시간이 결정되므로 각각의 사이클타임이 최대한 일치하도록 작업을 배분하여야 한다.

2대의 기계로 구성된 조립라인의 경우는 제약조건에

따라 선행기계용, 후행기계용 그리고 양쪽에서 가능한 것으로 나누어 양쪽에서 가능한 작업물을 선행, 후행으로 균형이 맞도록 배정하면 된다. 4대의 경우에는 기계 1과 2를 한 대의 기계로, 3과 4를 한 대의 기계로 가정하여 2대의 경우와 같은 방법으로 나눈 후 기계별로 한 번 더 배분하면 된다. 본 연구에서는 홀수 대수로 구성된 조립라인의 기본이 되는 3대의 경우를 다룬다.

그룹화된 부품 그룹 중 그룹 1, 2와 그룹 3, 4는 부품의 특성상 먼저 하거나 나중에 작업해야 하는 그룹이므로 우선적으로 기계에 할당하고 이어서 그룹 5를 배분하는 것을 기본으로 해법을 설계한다.

사이클타임은 각각의 부품에 대한 헤드의 이동시간과 노즐교체에 걸리는 시간, 흡/장착에 걸리는 시간의 합으로 나타낼 수 있다. 본 연구의 목적은 이 사이클타임의 최소화 및 전체 조립라인의 밸런싱에 있다. 기관의 기계간 이동시간과 장착이 완료된 기관이 부품 장착기 밖으로 이동하는 시간 그리고 새로운 기관이 부품 장착기 안으로 진입하는 시간은 고정된 상수이므로

분석대상에서 제외한다. 이 시간동안 마지막 장착지점에 부품을 장착한 헤드가 노즐교체기로 이동하여 처음 장착할 부품의 해당 노즐로 교환한 후 원점으로 돌아가는 작업이 행해지는 것으로 가정한다.

단계 1 : 그룹 1, 2를 기계 A에, 그룹 3, 4를 기계 B에 할당하고 그룹 5는 기계 C에 할당하여 사이클타임을 구한다.

단계 2-1 : 기계 C에서 조립작업에 사용될 노즐 중 기계 A에서 사용될 노즐과 가장 근접한 노즐을 사용하는 부품을 기계 A에 배정한다.

단계 2-2 : 부품이 새로 할당된 기계 A에서 이 기계의 총조립시간이 기계 C의 총조립시간을 초과할 때까지 단계 2-1를 반복한다.

단계 2-3 : 단계 2-1에서  $C_A > C_C$ 일 경우 재할당하여 최초로  $C_A < C_C$ 가 될 때, 부품을 기계 A로 할당했을 때의 밸런스율(%)과 부품을 기계 A로 할당하지 않았을 때의 밸런스율(%)을 구하여 부품의 배정여부를 결정한다.

단계 3-1 : 기계 C를 장착하는데 사용된 노즐 중에 기계 B에서 사용된 노즐과 가장 근접한 노즐을 사용하는 부품을 기계 B에 할당한다.

단계 3-2 : 부품이 새로 할당된 기계 B에서 이 기계의 총조립시간이 기계 C의 총조립시간을 초과할 때까지 단계 3-1를 반복한다.

단계 3-3 : 단계 3-1에서  $C_B > C_C$  일 경우 재할당하여 최초  $C_B < C_C$ 될 때, 부품을 기계 B로 할당했을 때의 밸런스율(%)과 부품을 기계 B로 할당하지 않았을 때의 밸런스율(%)을 구하여 부품의 배정을 결정한다.

단계 4-1 : 기계 A와 기계 B중 총조립시간이 작은 기계 A(B)에 다른 기계 B(A)를 장착하는데 사용된 노즐 중에 기계 A(B)에서 사용된 노즐과 가장 근접한 노즐을 사용하는 부품을 기계 (A)B에 배정한다.

단계 4-2 : 부품이 새로 할당된 기계 B(A)에서 이 기계의 총조립시간이 기계 A(B)의 총조립시간을 초과할 때까지 단계 4-1를 반복한다.

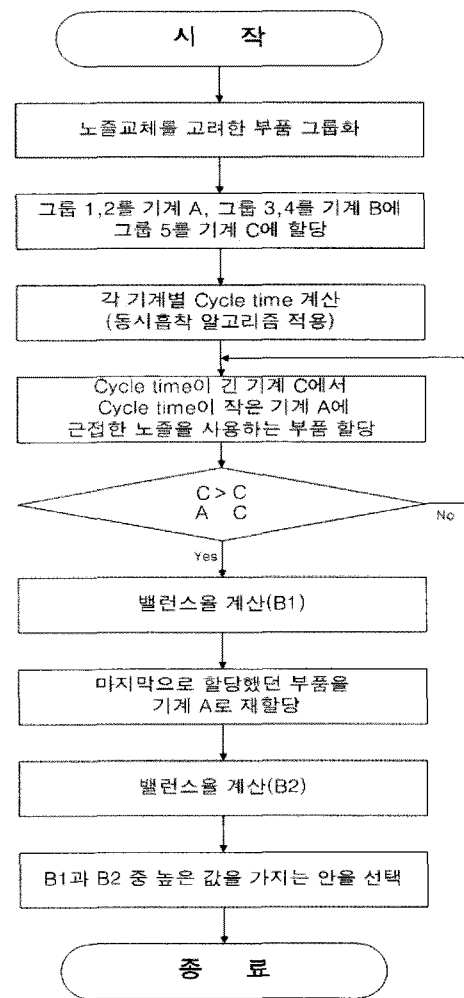
단계 4-3 : 만약 단계 4-1에서  $C_B > C_A$  ( $C_A > C_B$ )일 경우 재할당하여 최초 밸런스율(%)과 부품을 기계 B(A)로 할당하지 않았을 때의 밸런스율을 계산한다.

단계 5 : 단계 2-3, 3-3, 4-3에서의 밸런스율을 비교하여 가장 높은 밸런스율을 가지는 단계까지만 배정한다.

밸런스율(%)은 다음 수식으로 산출한다.

$$\text{밸런스율}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{\max\{W_i\} \times m} \times 100(\%)$$

$\{m$  : 라인을 구성하는 기계의 대수  
 $W_i$  : 개별 캐트리기의 총 조립시간



<그림 6> 균형 작업량 배정 절차

단계 1에서 기계 A와 기계 B의 할당그룹을 서로 바꾸어 한번더 이상의 단계를 시행하여 보다 높은 밸런스율의 안을 선택한다.

이상의 절차를 작업순서도로 표시하면 <그림 6>과 같다. <그림 6>은 기계 A와 기계 C와의 작업량 배정 절차이다. 같은 방식으로 기계 C와 기계 B, 기계 A와

기계 B와의 작업량 배정 절차를 통해 밸런스가 가장 높은 안을 선택한다.

## 5. 수치실험 및 결과 분석

### 5.1 실험의 조건

본 연구를 통해 설계한 해법의 수행도를 평가하고 그 유효성을 보이기 위해 다양한 경우에 대한 수치실험을 실시하고 분석한다. 이를 위해 시뮬레이션 전용언어인 AutoMod를 사용하여 3대의 갠트리형조립기로 구성된 모형을 구축하였다. 실험은 Pentium IV IBM/PC 호환기종에서 수행한다.

각 기계에서 사용 될 PCB 상의 부품조립 위치좌표는 각 그룹 별로 난수를 발생시켜 생성한다. 각 기계는 컨베이어로 연결되어 있고 컨베이어의 속도는 일정한 것으로 한다. PCB의 크기는  $250 \times 200mm$ 으로 하고, 헤드의 이동 단위는  $1mm$ 로 한다. 피더의 수와 부품유형은 각 경우 20, 30, 40, 50개로 하고, 기판 당 배치해야 할 부품의 수는 300, 400, 500개로 실험하였다. 사용 가능한 노즐의 개수는 16개로 설정했으며, 선정된 피더에 맞는 노즐이 현재 헤드에 존재하지 않을 경우 노즐의 교체 선정 기준은 동시흡착이 가능한 노즐교체로 하고 동시흡착이 가능한 노즐이 2개 이상일 때는 교체할 노즐을 임의로 선택하는 것으로 한다.

각 기계에 그룹 1, 2의 부품과 그룹 3, 4의 부품을 할당하고 그룹 5의 부품을 장착하는데 사용되는 노즐의 종류를 기준으로 각 기계에 작업을 재할당하므로써 기계별 작업시간의 균형을 이루도록 하였다. 제안 해법의 평가를 위해 각 기계의 PCB 부품조립 완성 시간치의 라인밸런스율(%)을 구하여 평가에 활용한다. 즉, PCB 조립을 완성했을 때의 각 기계의 시간치를 구하여 라인 밸런스율을 계산하고 수행도를 분석하였으며, 노즐교체 횟수, 동시흡착 횟수도 측정하여 이 정보가 PCB 조립 시간에 어떠한 영향을 미치는지 분석한다. 실제 PCB 조립기계에는 Y축 상으로 절반을 나누어 상·하 각각의 구역의 부품을 삽입하는 두 개의 헤드가 있지만, 두 구역 중에서 부품 삽입 시간이 오래 걸리는 헤드의 부품 삽입 시간이 실제 총 조립시간이므로 한 구역에 대해서만 시뮬레이션을 수행한다.

### 5.2 실험결과 및 분석

구축한 시뮬레이션 모형을 이용하여 제시한 해법이 주어진 조건에 따라 조립시간의 단축에 어떠한 영향을

미치는지 분석하였다. 피더의 수는 유형수와 동일하게 변경하고, 노즐의 수는 기계적인 조건이므로 16개로 고정하여 실험하였다.

먼저 노즐교체횟수와 동시흡착횟수에 따른 조립시간의 변화량을 통해 이 두가지 인자가 조립시간에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 각 조건에 따라 기계가 1대 일 때의 조립시간( $T1$ )과 기계가 3대 일 때의 조립시간( $T3$ )을 비교하여 기계를 3대로 운영함에 따른 개선율( $\frac{T3}{T1}$ )을 산출하였다.

총 조립시간은 부품의 흡입/장착 시간, 노즐교체시간, 헤드의 이동시간으로 구성되는데, 부품의 흡입/장착 시간은 고정된 상수이므로 표현하지 않았다. 부품의 유형수를 20, 30, 40, 50으로 변경했을 때, 기계 1대로 작업한 총 조립시간과 노즐교체횟수 및 동시흡착횟수를 각 10회 반복실험하여 평균치를 구한 후 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> 실험 결과의 요약

실험조건		1대			3대			$\frac{T3}{T1}$
부품 수	부품 유형	노즐 교체 회수	동시 흡착 회수	총 조립 시간 ( $T1$ )	노즐 교체 회수	동시 흡착 회수	총 조립 시간 ( $T3$ )	
300	20	2.59	4.65	425.5	0.00	16.23	401.47	0.95
300	30	21.42	5.48	402.96	0.00	10.62	394.05	0.98
300	40	17.85	3.48	331.65	0.00	10.52	316.19	0.96
300	50	10.12	2.81	228.09	0.00	18.02	199.95	0.89
400	30	22.36	5.56	402.58	0.00	15.13	385.36	0.96
500	30	23.70	4.42	419.13	0.00	15.15	395.26	0.95

뚜렷한 경향으로 노즐교체회수가 많으면 조립시간이 길게 나타났고, 노즐교체회수가 적으면 조립시간이 짧게 나타났다. 반면, 동시흡착횟수를 살펴보면, 동시흡착 횟수가 많은 경우나 적은 경우 특이한 경향을 보이지 않았다. 이는 노즐교체에 따른 시간지연 효과가 동시흡착으로 인한 시간단축 효과보다 더 큰 영향을 끼친다고 볼 수 있음을 나타내는 것이라 하겠다.

부품의 유형수를 변경한 실험에서도 각 조건에서 우수한 개선율을 나타내는 것을 볼 때, 본 연구에서 제시한 해법이 부품 유형의 수라는 조건이 바뀌어도 좋은 수행도를 보임을 알 수 있다. 또한 부품의 총 개수가 증가함에 따라 작업소요는 많아지지만 동일한 종류의 부품도 많아짐으로서 동시흡착의 회수가 증가하여 총 작업시간의 변화는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 기계증설에 따른 효과 또한 부품유형의 변화에 따른 실험결과를 볼 때 동시흡착보다는 노즐교체가 작업시간에

더 많은 영향을 미치는데 제시한 해법으로는 노즐교체가 나타나지 않아 여전히 좋은 수행도를 보임을 알 수 있다.

## 6. 결 론

신형의 PCB 자동조립 장비인 복수 헤드 갠트리기가 3대로 구성된 조립 라인에 대하여 개별 기계의 최적운영과 조립라인전체의 밸런싱 방법을 제시하였다. 본 연구에서 다룬 문제는 전형적인 NP-hard문제 중의 한가지로 합리적인 시간 내에 최적해를 구하는 것은 어려운 일이다. 그러므로 부품의 종류와 수 등의 현실적인 제약을 고려하여 가능한 빠른 시간 내에 유효한 결과치가 도출되도록 하는 효율적인 방안을 제시함으로써 현장 활용성을 높일 수 있도록 하였다.

기판의 조립생산에 1대의 조립기로 운영을 하는 것보다 3대로 조립라인을 구성한 후 본 연구에서 제시한 해법에 따라 작업을 분담하여 운영하면 조건에 따라 89%에서 98%까지 조립소요시간이 단축됨을 알 수 있었다. 이는 1대로 작업하는 것보다 3대로 운영하는 경우 기판의 조립시간을 평균 94.8%로 단축할 수 있음을 나타내는 것으로 약 5%의 생산성향상을 가져올 수 있음을 의미한다.

## 참고문헌

- [1] 문기주, 김광필, “갠트리 타입 SMD에서 동시 흡착에 의한 효율적 PCB 조립 방안의 시뮬레이션 연구”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 15(4) : 59-67, 2006.
- [2] 문기주, 임승환, “Development of a part rack assignment and placement sequencing method for efficient PCB assembly”, 산업시스템공학회지, 24(66) : 91-98, 2001.
- [3] 문기주, 정현철, “동일부품 집단화 현상을 이용한 PCB 자동조립기 랙과 기판의 이동거리 최소화”, 산업공학, 18(3) : 297-307, 2005.
- [4] 함효상, 김영휘, 정유구, “유연 PCB 자동삽입라인의 부하 평준화를 위한 작업흐름모델”, 대한산업공학회지, 20(4) : 5-21, 1994.
- [5] Duman E.; “A note on balancing printed circuit board assembly line systems,” *International Journal of Production Research*, 43(18) : 3955-3957, 2005.
- [6] Leipala T. and Nevalainen O.; “Optimization of the movements of a component placement machine,” *European Journal of Operational Research*, 38 : 167-177, 1989.
- [7] Moon, G.; “Efficient operation methods for a component placement machine using the patterns on printed circuit boards,” *International Journal of Production Research*, 48(10) : 3015-3028, 2010.
- [8] Park S. S. and Sohn J. H.; “Efficient operation of a surface mounting machine with a multi-head turret,” *International Journal of Production Research*, 34 : 1131-1143, 1996.
- [9] Song H., Han Y. and Yang H.; “Mixed-model assembly line balancing design,” *China Mechanical Engineering*, 14(6) : 475-478, 2003.
- [10] Vain J., Randvee I., Riismaa T. and Ernits J.; “Solving line balancing problems with model checking,” *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences : Engineering*, 8(4) : 211-222, 2002.