

다기능 표면실장기의 공정계획 프로그램 개발

손진현* · 유성열** · 강장하** · 박성수** · 오병준*** · 성필영***

Development of the Process Planning Program for a Multi-functional Surface Mounting Device

Jinhyeon Sohn · Sunyeol Yu · Jangha Kang · Sungsoo Park
Byungjun Oh · Pilyoung Seong

〈Abstract〉

The purpose of this study is to develop the program for efficient operation of a multi-functional surface mounting device(SMD) which mount various components on a printed circuit board(PCB). These components are provided by diverse types of feeders such as cassette, stick and tray feeders. The SMD has one or two heads. In the SMD, the positions of PCB and feeders are fixed, and the head moves to pick up a component from a feeder and to mount it on the PCB. The number of lanes occupied by each feeder and the nozzle used for each component can be different. We develop an off-line program to minimize the cycle-time of the SMD by studying the optimal assignment of feeders and the optimal mounting sequence of components. Graphical User Interface(GUI) is also developed. Additionally, we consider the line balancing problem which appears when two SMDs are used sequentially.

1. 서론

부품제조기술의 발달로 인쇄회로기판(PCB) 조립공정에 있어서 표면실장기(Surface Mounting Device)의 사용이 일반화되어 있는데, 이러한 표면실장기의 사용에 있어서 부품피더의 위치 및 PCB상의 부품장착 순서에 따라 기판의 조립생산 시간이 큰 영향을 받게 되므로, 기판의 조립시간 단축을 위한 바람직한 부품 피더의 배치 및 부품장착순서의 결정이 중요한 연구

과제로 대두되고 있다. 한편, 이와 같이 PCB 조립공정에서 사용되는 표면실장기나 부품 자동삽입기의 효율적 운용에 대한 기존의 여러 연구들([1],[2],[6],[7],[9],[10],[11])이 있지만, 실장기의 형태가 다양하여 각 실장기의 운용 방식의 차이에 따른 새로운 연구가 계속적으로 필요한 실정이다.

기존의 연구대상이 된 실장기는 주로 작은 부품이나 큰 부품만을 장착하는 특화된 기능을 가지고 있으나, 본 연구의 연구대상이 되는 실장기는 트레이, 스

* 선문대학교 경영학부

** 한국과학기술원 산업공학과

*** 삼성전자(주) 생산기술센터

틱, 카세트피더 등 여러 형태의 피더로 공급되는 QFP 나 CHIP과 같은 다양한 부품을 기판의 표면 위에 장착하는 기능을 가지고 있다. 작동방식은 피더와 기판이 고정되어 있고, 헤드가 피더의 위치로 이동하여 부품을 집고 다시 기판의 장착지점으로 이동하여 부품을 장착하게 되며, 헤드는 하나 또는 두 개로 구성되어 있다. 연구대상 실장기의 구성 및 운용방식에 대한 자세한 내용은 2절에 나와있다. 본 연구의 목적은 현실적인 여러 제약하에서 이러한 실장기의 효율적인 운용에 관한 합리적인 해법절차를 개발하고, 현실적인 크기의 문제를 빠른 시간 안에 해결할 수 있는 실용성 있는 Off-Line 소프트웨어를 구현하는 것이다. 또한, 실장기의 운용관리자가 프로그램의 결과를 확인할 수 있도록 흡장착 애니메이션 기능도 추가한다. 아울러 한 라인에 2 대의 실장기가 있는 경우 두 실장기의 Cycle-time의 균형이 이루어지도록 하는 부품의 합리적인 분할에 대한 연구도 수행한다.

본 연구에서는 헤드가 하나인 경우와 헤드가 두 개인 경우 각각에 대하여, 실장기 운영방식 및 장착 Cycle-time을 구성하는 요소시간들에 대한 분석을 통해 하나의 기판을 조립하는데 필요한 시간을 최소화할 수 있는 효율적이고 효과적인 알고리즘을 제시한다. 각각의 경우에 대하여 Cycle-time을 최소화하기 위한 문제를 부품피더의 최적배치와 부품의 최적장착순서를 결정하는 두 가지 하위 문제로 분해하여 각각의 해법을 연구하고 이를 조합하여 전체문제의 해를 구한다. 부품피더의 최적배치문제는 부품의 장착순서에 관계없이 피더의 배치가 따라 결정되는 각 피더에서 그 피더의 부품이 장착될 장착지점들까지의 총 이동 거리를 최소화하는 문제로 보았으며, 최적장착순서를 결정하는 문제는 피더배치가 주어진 상태에서 총 장착시간을 최소화하는 문제로 보았다. 피더배치에 있어서 트레이피더의 위치는 임의로 고정된 것으로 보았으며, 장착순서의 결정은 외판원문제의 해법을 이용하였다.

하나의 헤드를 사용하는 경우에 부품피더의 최적배치문제는 피더배치에 대한 현실적인 제약이 없고 각 부품피더가 차지하는 레인(lane)의 폭이 일정한 경우에는 할당문제의 해법으로 최적해를 구할 수 있으나,

각 부품피더가 차지하는 레인의 폭이 다를 경우 그 문제는 NP-hard 문제에 속하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 각 부품의 장착회수와 이동속도를 고려하여 각 부품별로 레인에 배치될 수 있는 우선순위를 결정하여 우선순위가 높은 부품부터 장착지점들 또는 고정 카메라와 가까운 위치에 먼저 할당하는 방법을 사용한다.

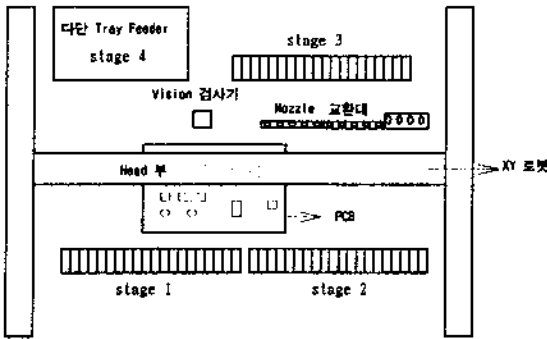
두 개의 헤드를 사용하는 경우에는 부품피더의 배치문제에서 앞서서와 다른 문제들이 발생하게 되는데 그러한 것은 동시 흡착할 부품 쌍의 결정문제, 각 부품의 흡착에 사용될(좌,우)헤드 결정문제, 동시 장착할 장착지점 쌍의 결정문제들이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 먼저 적당한 measure를 사용하여 동시에 흡착할 부품 쌍을 결정하고 다음에 사용헤드를 결정하며, matching 문제의 해법을 이용하여 동시에 장착될 장착지점 쌍을 결정한다. 다음으로 이렇게 동시 흡장착될 부품의 피더들의 배치를 결정한 후 그 외의 부품들을 앞서의 하나의 헤드와 같은 방법으로 피더의 배치를 결정한다. 한편, 두 개의 헤드를 사용하는 경우의 장착순서 결정에서는 동시에 장착될 장착지점 쌍이 하나의 노드로 간주되어 진다. 이와 같은 방법으로 초기의 피더배치와 장착순서가 결정되어진 후 피더의 위치와 장착순서의 변경을 통하여 개선된 해를 찾아나가게 된다.

한 라인에 두 대의 실장기가 있는 경우에는 2 개의 헤드를 가진 실장기를 기본으로 하여 먼저 사용되는 실장기는 카세트(스틱)피더만 배치되고 트레이피더는 두 번째 실장기에만 있는 것으로 모델링 하였다. 스틱피더는 가능한 한 두 번째 실장기에 배치되도록 하였으며 될 수 있는 한 동일한 부품은 하나의 실장기에만 내치되도록 하였다. 전체적인 알고리즘은 먼저 각 실장기별로 사용될 부품을 결정하며, 그 상태에서 앞에서 개발된 알고리즘을 사용하여 각 실장기별로 부품피더배치와 장착순서를 결정한다. 이러한 과정을 두 대의 실장기의 Cycle-time이 균일하도록 반복한다.

2. 연구대상 실장기의 개요

본 연구의 대상이 되는 다기능 표면실장기의 기본

적인 구성은 <그림 1>과 같다. 연구대상 실장기는 XY로봇, 부품 공급피더, 헤드부, 비전검사기, Control Unit 등으로 구성되어 있으며, Control Unit에 저장되는 프로그램에 따라 실장기가 움직이게 된다. 헤드부에는 하나 또는 두 개의 헤드가 존재하며 각 헤드에는 하나의 노즐이 달려있다. 실장기의 작동방식은 피더와 기관의 위치는 고정되어 있고 헤드부가 X-,Y- 방향으로 동시에 이동하여 헤드 끝에 달린 노즐을 이용하여 부품을 흡장착 하게 된다. 부품의 장착동작 순서는 컨베이어 상에 PCB의 위치가 결정되고, XY로봇이 헤드를 부품피더 위치로 이동시켜 장착할 부품을 흡착한 후, 헤드 자체내의 비전검사기나 별도로 설치된 비전검사기를 통해 부품위치를 보정한 다음 PCB상에 장착하는 동작을 주어진 순서에 따라 순차적으로 행하게 된다. 이때 필요하다면, 새로운 부품을 흡착하기 전에 노즐교환(ANC: Auto Nozzle Change)을 하게 된다. 헤드가 두 개일 경우, 2 개의 부품을 한꺼번에 흡착 및 장착을 할 수도 있다. 연구대상 실장기의 구성요소를 중심으로 실장기 운용프로그램 개발에 필요한 고려사항 및 제약조건 등을 요약하면 다음과 같다.



<그림 1> 연구대상 실장기의 구조

<부품피더 및 피더장착을 위한 라인>

· 부품피더의 종류에는 트레이피더, 스틱피더, 카세트피더가 있으며, 카세트피더는 다시 점착테입피더, 종이테입피더, 엠보스테입피더로 구분된다. 트레이피더는 실장기 좌측뒤편에 위치한 다단트레이에 놓이게 되며, 스틱피더와 카세트피더는 stage 1, 2, 3의 라인에 배치된다. 트레이피더의 배치는 주어지는 것으로 본다.

- 스틱피더와 카세트피더는 한 대의 실장기에 동일한 부품의 피더를 하나씩만 사용하며, 피더를 라인에 배치할 때, 각 부품피더가 차지하는 라인 수는 그 피더 폭에 따라 다르다(라인 1칸~라인 4칸).
- 피더의 배치에 대한 현실적인 제약으로, 사용되는 피더의 종류에 따라 전·후면 라인에 각각 하나 이내의 군(group)을 형성하도록 하는 것과, 전면 라인(stage 1, 2)에만 하나의 군을 형성하여 다른 형태의 피더 사이에 들어가지 않도록 하는 것들이 있다.(grouping 제약)

<노즐교환대>

- 각 부품별로 사용할 노즐과 각 노즐의 노즐교환대에서의 위치는 정해져있다.
- 한 부품을 장착한 후, 다음 장착할 부품이 사용하는 노즐과 현재 헤드가 갖고 있는 노즐과 다를 경우 새로운 부품을 흡착하기 전에 헤드가 노즐교환대로 이동하여 노즐을 교환하게 된다.

<고정 검사부>

- 모든 부품은 기관에 장착되기 전에 항상 검사를 요하게 되는데, 부품에 따라 이동검사부를 이용할 것인지 고정 검사부를 이용할 것인지가 정해져 있다. 헤드부에 붙어 있는 이동검사부를 이용할 경우는 부품이 헤드에 흡착되어 이동하면서 검사가 이루어진다. 정밀한 검사를 요하는 부품은 정해진 위치의 고정 검사부에서 검사가 이루어지며, 이 경우, 헤드부가 고정검사부로 이동하고, 검사시 일정한 시간이 소요되므로 이동검사부 이용 부품보다 더 많은 시간이 걸리게 된다.

<흡·장착방식>

헤드부에 두 개의 헤드가 있는 경우의 부품 흡장착 방식에는 헤드부가 차례로 하나의 부품만을 흡장착하는 방식(1-1방식)과 두 개의 부품을 연이어 흡착 및 장착하는 방식(2-2방식)이 있다. 헤드가 두 개인 경우에도, 부품에 따라 1-1 방식을 이용해야만 하는 부품이 있으며, 아울러 사용할 헤드가 정해진 것도 있다. 그 외의 부품들 사

이에는 부품피더의 형태에 따라 2-2 방식이 적용 가능한 부품 쌍들이 있게 된다.

3. 문제 분석 및 알고리즘

먼저, 문제의 분석을 위하여 주어진 기관에 대한 Cycle-time을 헤드부의 좌측헤드가 원점(기관의 왼쪽 상단 모서리)에서 출발하여 기관 상에 장착할 부품을 모두 장착한 후 다시 원점으로 돌아오는 데 까지 걸리는 시간으로 정의한다. Cycle-time은 각각의 부품에 대한 헤드부의 이동시간과 흡·장착에 걸리는 시간의 합으로 나타낼 수 있다. 본 연구의 목적은 이 Cycle-time의 최소화이다. 한 기관의 장착이 완료되면 이 기관이 실장기 밖으로 이동하고 부품을 장착할 새 기관이 실장기내로 들어오게 된다. 이 과정에서 걸리는 시간은 상수이므로, 분석대상에서 제거하였으며, 이 시간동안 마지막 장착지점에 부품을 장착한 헤드부가 노즐교환대로 이동하여 처음 장착할 부품의 해당 노즐로 교환한 후 원점으로 돌아가는 작업이 행해지는 것으로 간주하였다. 즉, Cycle-time의 계산에 최종장착 지점에서 원점으로 돌아오는 시간은 0으로 간주한다.

3.1 헤드가 한 개인 경우

헤드가 하나인 경우, 헤드부는 부품피더로부터 한번에 하나씩 부품을 흡착하여 기관 상에 장착하는 동작(1-1 방식)을 반복하게 된다. 하나의 부품에 대한 헤드부의 동작 및 이동경로는 부품흡착, 부품피더로부터 기관상의 장착지점까지의 이동(수요호), 부품장착, 기관에서 부품피더로 이동(비수요호)의 순으로 이루어진다. 이 가운데 부품의 흡·장착에 걸리는 시간은 부품의 흡착장착 순서에 관계없이 항상 고정된 값을 가지므로, 최적 Cycle-time 결정시 고려할 시간요소는 ① 수요호(부품피더→장착지점)의 이동에 걸리는 시간(T_n)과 ② 비수요호(장착지점→부품피더)의 이동에 걸리는 시간($T_{n'}$)으로 이루어진다. 여기서, 연속하여 장착되는 두 부품이 사용하는 노즐이 다를 경우, T_n 에는 노즐교환에 필요한 시간이 추가된다. 또, 장착할 부품이 고정부 카메라의 검사를 요하는 경우 T_n 에는 고정

검사부로의 이동 및 검사와 관련된 시간이 포함된다. 결국 Cycle-time을 최소화하는 문제는 모든 부품에 대하여 뒤의 두 가지 시간 요소의 합을 최소화하는 문제로 시각할 수 있다. 여기에서, 수요호의 이동에 걸리는 총 시간은 레인 상에 부품피더의 배치가 결정되면 자인히 결정되지만, 비수요호의 총 이동시간은 부품피더의 배치가 결정된 이후에도 부품의 장착순서에 따라 영향을 받게 된다. 따라서, Cycle-time을 최소화하는 문제는 레인 상에 부품피더를 어떻게 배치할 것인가 하는 문제와 최적장착순서 결정문제가 결합되어 있는 것으로 볼 수 있는데, 각각은 현실적인 시간 내에 최적해를 구하기 어려운 문제로 알려져 있다.

본 연구에서는 현실적인 시간 내에 합리적인 해를 구하기 위하여 전체문제를 부품피더의 위치배정문제와 부품피더의 위치가 결정되어 있을 경우의 부품장착순서 결정문제로 나누어 분석하고, 각각의 문제를 해결하는 휴리스틱 알고리즘을 개발하여 전체문제의 초기해를 구성한다. 이 초기해로부터 부품피더의 배치와 삽입경로를 동시에 개선해 나가는 알고리즘을 구현하여 최종해를 찾게 된다. 각 하위 문제에 대한 특성 및 해를 구하는 과정을 살펴보면 다음과 같다.

〈부품 피더의 위치배정〉

앞에서 서술한 바와 같이 비수요호의 시간은 장착순서의 영향을 받게 되므로 여기서는 수요호만을 고려하여 부품피더의 초기 배치를 찾는다. 수요호만을 고려하여 부품피더의 배치를 결정하는 방법은, 부품피더들의 위치가 정해졌을 경우의 모든 수요호의 이동에 걸리는 총 시간의 합을 가장 작게 하도록 하는 것이다. 이 문제는 피더의 폭이 모두 같을 경우 할당문제(Assignment Problem)로 정식화 될 수 있다[2]. 연구 대상 실장기의 경우, 각각의 부품피더가 차지하는 레인의 수가 다르기 때문에 인접 레인에 대한 제약이 추가된다. 이러한 문제는 현실적인 크기의 문제에 대하여 휴리스틱인 시간 내에 최적해를 구하기가 매우 힘든 문제(NP-hard problem)임이 알려져 있다[8]. 따라서, 본 연구에서는 몇 가지 적절한 가정 하에서 수요호 이동시간에 대한 분석을 통해 현실적인 발견적 기법을 제시한다.

헤드부의 이동시간을 살펴보면 가속시간, 감속시간, 등속이동시간, 잔류진동시간들이 있다. X-Y 로봇의 등속(최고)이동속도를 a (mm/msec)라고 할 때, 가감속시 이동하는 거리는 ka (k 는 기계의 가감속 방식에 따른 상수)로 나타낼 수 있으므로, 두 지점 A, B 간의 거리 d 를 이동하는데 걸리는 시간 t 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t = \text{등속이동 시간} + \text{가감속 시간}(m) + \text{잔류진동 시간}(r)$$

$$= \frac{d-ka}{a} + m + r = \frac{d}{a} + C$$

한편, d_p 를 레인 p 에서 기관의 중심까지의 거리라고 하고, 부품 i 의 모든 장착지점들이 기관의 중심에 있다고 가정할 경우, 부품피더 i 가 레인 p 에 놓였을 경우, 부품들을 장착하기 위한 레인 p 에서 장착지점까지의 총 이동시간 c_{ip} 는 다음과 같다.

$$c_{ip} = n_i \frac{d_p}{a_i} + n_i K$$

(n_i : 부품 i 의 장착지점 수, a_i : 부품 i 의 최고이동속도).

각 부품 i 의 weight를 $w_i = \frac{n_i}{a_i}$ 로 정의하면 위의 식을 사용하여 다음과 같은 성질을 얻을 수 있다.

<성질> 만약, $w_i \geq w_j$ 이면, $d_p < d_q$ 일 때 $c_{ip} + c_{jq} \leq c_{iq} + c_{jp}$ 가 성립한다.

위 성질에서, 장착지점들이 기관의 중심에 있다고 가정할 때, 헤드의 이동속도가 느리고 장착할 지점이 많은 부품을 기관에 가까운 레인에 배치하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 한편, 현실적인 문제에서는 기관상의 장착지점들의 위치가 다양하고, 피더별로 차지하는 레인의 폭이 서로 다르며 피더의 배치위치에 대한 현실적인 여러 제약이 있기 때문에 위의 weight만을 고려하여 할당하는 것이 수요호 거리의 총합을 최소로 하는 최적해임을 보장할 수 없지만, 이 경우 최적해를 구하는 것 자체가 NP-hard 문제이므로 현실적인 접근방법으로 피더배치 알고리즘에서는 각 부품

i 의 weight w_i 를 계산하여 w_i 가 큰 값을 갖는 부품피더부터 레인에 할당하는 우선권을 부여한다. 피더의 위치를 결정하는 전체적인 과정은 다음과 같다.

G 를 사용될 피더의 총 집합이라 하고, G 의 부분집합 G_1, G_2, \dots, G_k 들을 각 피더들을 고정카메라 사용여부, grouping 제약 등을 고려하여 구분한 G 의 분할이라고 하자. 각 부품피더의 weight $w_i = (n_i/a_i)$ 를 계산한 후에, 각 부분집합 G_i 의 weight $W_i = \sum_{i \in G_i} w_i$ 를 계산한다. 그룹별 배치제약이 위배되지 않는 범위 내에서, 각 G_i 들이 차지하는 최소의 공간 및 stage의 용량, grouping 제약 등을 고려하여 가능한 한 W_i 가 큰 값을 갖는 G_i 부터 기관의 중심에 할당될 수 있도록 각각의 G_i 들이 할당될 레인상의 상대적 위치를 결정한다. 상대적 위치가 가운데에 있는 G_i 부터 차례로 그곳에 속하는 피더들을 weight w_i 가 큰 피더부터 다른 부분집합들이 할당되어야 할 최소의 공간을 고려하면서 다음의 방법으로 배치해 나간다.

Case 1) 해당 피더의 부품이 고정카메라 이용하는 경우 현재 배치가 가능한 레인 가운데 고정카메라점사부에 가장 가까운 레인에 배치.

Case 2) 그 외: 현재 배치가 가능한 레인 가운데 기관상의 실제 장착지점들까지의 거리의 합이 가장 작은 레인에 배치.

<피더가 배치된 후의 장착순서 결정>

부품피더의 배치가 결정된 후에는, 장착할 부품들은 반드시 필요한 부품피더에서 기관상의 장착지점까지 옮겨져야 하므로 수요호에 대한 이동 경로는 이미 결정되어 있다. 비수요호의 경우는 임의의 장착위치에서 다음 장착부품에 따라 어느 피더로든지 연결되어질 수 있으므로 장착순서에 의해서 결정되어진다. 따라서 부품피더의 배치가 고정되어 있는 경우, 부품의 장착순서를 결정하는 문제는 비수요호의 이동에 걸리는 시간을 최소화하는 문제로 생각할 수 있다. 임의의 두 장착지점 p, q 간의 비수요호의 이동시간은 지점 p 에서 지점 q 에 장착될 부품이 있는 부품피더까지 헤드부 이동에 걸리는 시간으로 주어지며, 두 지점의 부품이 사용하는 노즐이 다를 경우, 노즐교환대로의 이동시간과 노즐교환시간도 포함된다. 이 경우,

부품의 삽입경로를 결정하는 문제는 모든 장착지점을 정확히 한 번씩만 거치면서 비수요호의 총 이동시간을 최소화하는 경로를 구하는 유방향 외판원문제(Traveling Salesman Problem)로 정식화 할 수 있다[9]. 이 문제도 합리적인 시간 내에 최적해를 구하기가 어려운 문제(NP-Hard Problem)임이 알려져 있다[4]. 따라서, 본 연구에서는 이러한 외판원문제의 해를 얻기 위하여 구현하기 쉬우면서도 좋은 결과를 나타내는 것으로 알려진 임의삽입방법(Arbitrary Insertion Method) [5]을 사용하였다.

〈초기해 개선과정〉

앞에서 설명한 바와 같이 전체문제는 부품피더의 배치문제와 장착순서 결정문제가 결합되어 있으므로 각각의 하위문제를 최적으로 푼다하여도 전체의 최적해를 보장하지는 못한다. 또한, 각각의 하위문제를 해결하는 방법으로 발견적 해법을 사용하였으므로 초기해의 개선여지가 있다. 따라서, 앞에서 얻은 초기해를 개선시켜나가는 과정이 필요하다.

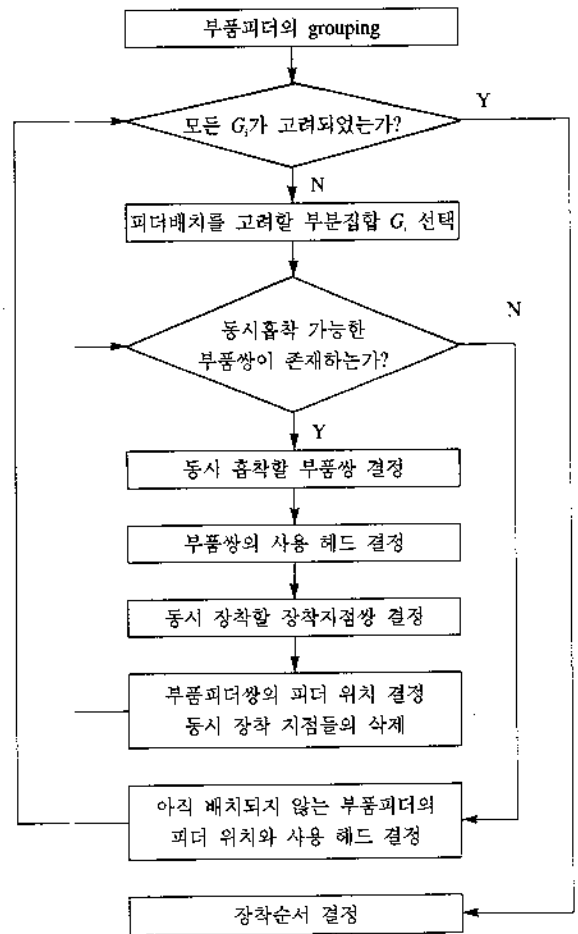
초기해를 개선해나가는 과정은 [9]에서 사용한 방법과 같이 주어진 해의 피더의 위치를 상호 교환해 나가면서 위치가 변하는 피더의 부품이 장착되는 지점들을 전체 장착순서에서 일시적으로 제거하여 앞에서 사용한 임의삽입방식으로 재 삽입하면서 전체 장착순서를 재구성하게 된다. 다만 여기에서는, 위치의 상호 교환을 고려하는 피더 쌍으로 앞에서 구한 G의 분할에서 동일한 부분집합 내에 들어 있고 인접하게 배치된 피더끼리만을 고려하였다. 즉, G의 모든 부분집합에 대하여 동일한 부분집합 내의 모든 인접한 피더끼리의 교환을 고려하는 것을 전체해가 개선되지 않을 때까지 반복한다.

3.2 헤드가 두 개인 경우

두 개의 헤드를 가진 실장기의 효율적인 운용문제의 해를 구하는 과정도 헤드 하나인 경우와 같이 부품피더의 배치문제와 장착순서의 결정문제를 나누어 생각하고 초기해를 구한 후, 해를 개선시켜 나가는 과정을 거쳐 최종해를 구하게 된다. 그러나, 헤드가 두

개인 경우는 헤드가 하나인 경우에는 없었던 동시 흡착할 부품 쌍의 결정문제, 각 부품의 좌우 사용헤드 결정문제, 동시 장착할 장착지점 쌍의 결정문제가 포함된다. 부품에 따라 1-1 방식을 적용해야 하는 경우가 있으며 아울러 사용할 헤드의 위치가 정해진 것도 있다. 문제의 현실적인 해결을 위하여 한 노즐은 한 쪽 헤드에서만 사용되도록 하였다. 따라서, 두 부품이 동시 흡착되기 위해서는 각 부품에 사용될 노즐이 서로 같은 헤드에 할당되면 안된다. 만약 두 부품이 동시에 흡착하는 것으로 결정되면, 그 두 부품피더를 라인에 배치할 때 피더 사이의 간격은 헤드간의 간격과 비슷하도록 놓는 것이 바람직하다.

먼저, 헤드가 하나인 경우와 동일하게 사용될 피더



〈그림 2〉 헤드가 두 개인 경우 초기해를 구하는 과정

의 전체집합 G 를 고정카메라 사용여부, grouping 제약 등을 고려하여 부분집합 G_1, G_2, \dots, G_k 로 분할하고, 각각의 부분집합들이 할당될 레인 상의 상대적 위치를 앞에서와 같은 방법으로 결정한다. 이 경우 동일한 부분집합 내에서만 2-2 방식의 적용이 가능하다. 상대적 위치가 가운데 있는 G_i 부터 차례로 그 안에 속하는 피더들을 다른 부분집합들이 할당되어야 할 최소의 공간을 고려하면서 배치해 나간다. 이 과정의 전체적인 구조는 <그림 2>와 같다.

<그림 2>의 각 단계별 문제의 특성 및 해를 구하는 과정은 다음과 같다.

<동시에 흡착할 부품쌍의 결정>

선택된 부분집합 G_i 내에서 동시 흡착이 가능한 부품쌍 (i, j) 의 집합을 S 라고 하자. 두 부품을 동시에 흡착하여 이동할 때 헤드부의 이동속도는 두 부품 가운데 이동속도가 더 느린 부품의 속도에 따른다. S 의 원소 가운데 어느 쌍에 우선권을 주어 동시흡착장을 결정할 것인가를 정하기 위해서 S 의 각 원소 (i, j) 에 대하여, 다음과 같은 measure를 사용하였다.

$$w_{(i,j)} = 2 \times \frac{\min(n_i, n_j)}{\min(\alpha_i, \alpha_j)} - \min(n_i, n_j) \times \frac{\max(\alpha_i, \alpha_j)}{\min(\alpha_i, \alpha_j)},$$

for all $(i, j) \in S$

n_i, n_j : 부품 i, j 의 장착지점 수

α_i, α_j : 부품 i, j 의 헤드부 이동속도

여기에서 n_i 는 부품 i 의 장착지점 수인데, 이것은 전체알고리즘이 수행되는 과정에서 변하게 된다. 즉, 부품 i 가 이미 다른 부품 k 와 동시에 흡착되는 것으로 결정되어 부품 i 의 장착지점들의 일부가 이미 부품 k 의 장착지점들과 쌍을 이루었다면, 아직 쌍을 이루지 않고 남아있는 장착지점수가 n_i 가 된다. 이 measure는 두 요소로 이루어져 있다. 첫번째 요소는 $\frac{\min(n_i, n_j)}{\min(\alpha_i, \alpha_j)}$ 로서 동시 흡착 가능한 부품의 수 ($\min(n_i, n_j)$)가 많고 동시 흡착했을 때 헤드부의 이동속도 ($\min(\alpha_i, \alpha_j)$)가 느릴수록 큰 값을 가지게 된다. 그러나, 이 요소만을 measure로 사용할 경우, α_i 와 α_j 의 차이에 관계없이

더 느린 부품의 속도에만 영향을 받게 된다. 따라서, α_i 와 α_j 의 차이가 큰 부품에 penalty를 줌으로써 속도차가 비슷한 부품쌍이 더 큰 weight를 갖도록 한다. 이렇게 계산된 $w_{(i,j)}$ 중에서 가장 큰 값을 갖는 쌍 (i^*, j^*) 를 우선적으로 동시 흡착할 부품으로 결정하게 되고, 다음으로 동시흡착이 결정된 부품쌍 (i^*, j^*) 의 사용노드를 결정하게 된다.

<동시에 흡착할 부품쌍 (i^*, j^*) 의 사용헤드 결정>

근용상의 제약으로 일부 부품은 좌측헤드만을 사용해야 하는 제약이 있다. 따라서 이러한 부품의 흡착장에 사용될 노즐은 당연히 좌측헤드에 할당되어 있다. 두 부품 i^*, j^* 의 흡착에 사용될 노즐 가운데 하나가 이미 좌·우측 헤드 중 어느 하나에 지정되어 있다면, 그에 해당하는 부품은 그 노즐이 사용되는 헤드를 이용하며, 나머지 부품은 그 반대쪽 헤드를 사용하는 것으로 지정한다. 만약 두 부품 i^*, j^* 의 사용노즐이 아직 어느 헤드에도 할당되어 있지 않다면, i^* 의 장착지점들의 중심좌표와 j^* 의 장착지점들의 중심좌표를 고려하여 중심좌표가 왼쪽에 있는 부품은 좌측헤드, 오른쪽에 있는 부품은 우측헤드로 흡착하도록 한다. 두 부품 i^*, j^* 의 사용헤드가 결정되면 다음으로 두 부품이 장착될 지점들 n_i, n_j 중에서 동시에 장착할 장착지점쌍을 결정한다.

<동시에 장착할 장착지점쌍의 결정>

동시 흡착할 부품 i^*, j^* 가 정해지면 두 부품이 장착될 지점이 n_i, n_j 개 존재한다(이미 다른 부품과 동시 장착이 결정된 지점은 제외). 이 때, $\min(n_i, n_j)$ 만큼의 장착지점쌍이 동시에 장착되어야 하는데 그 쌍을 결정하는 방법은 각 장착지점쌍 사이의 헤드 이동시간을 최소화하도록 하는 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 좌측헤드 사용부품의 장착지점들과 우측헤드 사용부품의 장착지점들을 서로 다른 그룹의 노드 집합으로 생각하고, 좌측헤드 부품의 장착지점 집합에서 우측헤드 부품의 장착지점 집합으로 호를 연결한 bipartite graph를 고려한다. 각 호의 weight로 헤드의 이동시간을 부여하면 동시에 장착될 장착지점쌍의 결정은 각 노드쌍의 weight의 총합을 최소화하는 match-

ing 문제로 생각할 수 있다. 이러한 matching의 최적해를 찾는 방법으로는 Kuhn-Munkres Algorithm을 적용하였다[3]. 다음으로 두 부품 i, j^* 의 피더배치방법을 설명하면 다음과 같다.

〈부품 (i^*, j^*) 의 피더위치 결정〉

부품 i^* 와 부품 j^* 중 이미 배치가 된 피더가 하나 있으면, 그 부품의 사용헤드를 기준으로 다른 부품을 왼쪽 또는 오른쪽의 헤드간격과의 차이가 가장 작게 배치한다. 두 부품이 이미 배치되어 있을 때는 그대로 둔다. 일반적으로 동시에 흡착되는 부품이 많은 경우가 미리 배치되므로 잔여부품의 동시흡착의 경우 그 부품의 피더들의 위치가 이미 결정되어 있는 경우가 자주 발생하게 된다. 두 부품의 피더배치가 모두 되어있지 않으면, 좌측헤드를 사용하는 부품을 기준으로 배치를 한다. 즉, 현재 배치가 가능한 레인 중에서 좌측헤드가 출발하는 레인에서 기판상의 그 부품이 삽입될 지점들로의 이동시간과 우측헤드를 사용하는 부품피더가 놓일 레인까지의 이동시간의 합이 최소가 되도록 두 부품피더를 배치한다. 이와 같이 두 부품 i^*, j^* 의 피더배치가 완료되면, 두 부품 가운데 개수가 작은 부품은 동시 흡착될 대상에서 제외되고 나머지 부품은 장착될 부품수가 조정($n_i > n_j$ 일 경우 $n_i \leftarrow n_i - n_j$, $n_j \leftarrow 0$)된다. 이 상태에서 집합 S 를 재구성하여 앞의 과정을 반복하게 된다.

〈남아있는 부품피더의 배치 결정〉

이와 같이 동시 흡장착할 부품쌍과 사용헤드, 장착지점쌍이 모두 결정된 후에는 아직 배치되지 않은 부품피더들의 위치를 하나의 헤드인 경우의 방법으로 결정한다. 이러한 부품들은 1:1방식으로 흡장착된다. 앞서의 동시에 흡장착되는 부품들의 피더를 배치할 때 각 부품피더가 차지하는 레인의 폭이 다르므로 배치된 피더들 사이에 빈 레인이 남는 경우가 발생할 수도 있는데 이러한 곳에도 단독 흡장착되는 부품의 피더가 놓일 수 있게 된다. 아울러, 이러한 부품들의 흡장착에 사용될 노즐의 사용 헤드가 아직 지정되지 않았으면 피더의 위치를 고려하여 결정한다.

위의 과정을 체계적으로 나타내면 다음과 같다. 먼

저, 필요한 기호들을 다음과 같이 정의한다.

L_2, R : 좌측 및 우측 헤드에 할당된 노즐의 집합,

$N(i)$: 부품 i 의 사용노즐,

$I(i)$: 부품 i 의 장착지점들의 집합,

z_1, \dots, z_p : 운용상의 제약에 의해 좌측 헤드에 할당된 노즐들.

Initial) $L_2 = \{z_1, \dots, z_p\}$, $R_2 = \varphi$.

Step 1) 피더배치를 고려할 부분집합 G_i 의 선택, 모든 G_i 가 고려되었으면 끝낸다.

Step 2) G_i 내에서 동시흡착이 가능한 부품쌍의 집합 S 구성.

Step 3) If $S = \varphi$, go to Step 8).

Step 4) For all $(i, j) \in S$, compute $w(i, j)$.

Choose (i, j) with $\max w(i, j)$.

If $N(i) \in L_2$ or $N(j) \in L_2$, $R_2 \leftarrow N(j)$ or $R_2 \leftarrow N(i)$,

else if $N(i) \in R_2$ or $N(j) \in R_2$, $L_2 \leftarrow N(j)$ or $L_2 \leftarrow N(i)$,

otherwise $I(i)$ 와 $I(j)$ 의 중심좌표를 계산하여 각 노즐의 사용 헤드 결정.

Step 5) $I(i)$ 와 $I(j)$ 의 집합에서 동시 장착할 장착지점쌍의 결정.

$I(i)$ 와 $I(j)$ 에서 위에서 동시에 장착할 지점으로 결정된 장착지점들의 제거.

Step 6) i, j 부품의 피더위치 결정.

Step 7) If $I(i) = \varphi$ or $I(j) = \varphi$, 해당 부품을 집합 S 에서 제거. S 집합 재구성, go to Step 3).

Step 8) G_i 내의 부품피더 가운데 아직 배치가 결정되지 않은 것들의 배치 결정, go to Step 1)

〈장착순서의 결정 및 초기해의 개선〉

모든 부품피더에 대한 부품피더의 배치가 끝나면, 부품 장착순서를 결정한다. 두 개의 헤드를 가진 실장기의 경우에는 헤드가 하나인 경우와는 달리 동시에 장착될 장착지점쌍들이 지정되어 있다. 이 경우, 동시에 장착될 장착지점쌍들을 하나의 노드로 간주하여 헤드가 하나인 경우와 같이 임의삽입방법으로 장착순서를 결정한다. 단, 여기에서 동시장착 노드와 다른 노드간의 헤드부 이동시간은 동시 장착되는 장착

지점쌍 중 두 번째 장착되는 지점에서 다음 장착 지점의 부품 피더 위치까지의 이동시간이 된다.

이상과 같은 방법을 사용하여 구한 초기해를 개선하는 과정의 전체적인 구조는 앞의 하나의 헤드와 동일하다. 즉, G 의 분할에서 동일한 부분집합 내에 들어 있는 인접 피더들의 교환을 고려하고 위치의 변경이 고려되는 피더의 부품들의 장착순서를 재구성한다. 다만, 여기에서 인접피더의 교환을 고려할 때, 해당 부품이 동시에 흡착되는 다른 부품이 있다면 그 부품 피더의 위치도 함께 변경되는 것을 고려한다. 즉, 좌우 헤드에서 동시 흡착되는 부품피더들의 간격이 가능한 한 헤드의 간격과 일치되도록 조정한다.

3.3 한 라인에 두 대의 실장기가 설치되어 있는 경우

한 라인에 두 대의 실장기가 연속하여 설치되어 있는 경우에는 하나의 기관이 두 대의 실장기를 거치게 된다. 이 경우, 하나의 기관 조립에 필요한 부품들이 두 대의 실장기에 나누어 배치되게 되는데, 실장기 각각의 Cycle-time이 다를 경우 Cycle-time이 큰 실장기에 의해 기관의 조립시간이 정해지게 되므로 전체 조립시간을 작게 하기 위해서는 두 대의 실장기의 부품 배치를 효과적으로 하여 각각의 Cycle-time을 균형 있게 조정하여야 한다.

기관이 먼저 통과하는 실장기를 $M/C-1$, 그 실장기의 Cycle-time을 C_1 이라 하고, 두 번째로 경유하는 실장기를 $M/C-2$, 그 실장기의 Cycle-time을 C_2 라 할 경우 이 문제의 목적함수는 $\min\{\max(C_1, C_2)\}$ 가 된다. 앞의 <그림 1>을 기준으로 한 라인에 2 대의 실장기를 배치하는 경우의 연구대상 실장기 각각의 특성은 다음과 같다.

- $M/C-1$: stage 1, 2, 3, 4에 모두 카세트(스틱)피더가 배치된다.
- $M/C-2$: stage 1, 2에는 카세트(스틱)피더가 stage 4에는 트레이피더가 배치되고, stage 3은 카세트(스틱)피더가 배치되거나 그렇지 않으면 트레이피더가 배치된다.

2대의 실장기가 위와 같이 구성되어 있을 경우 트레이피더는 모두 $M/C-2$ 에 할당되게 된다. 한편, 개발된 부품배치 알고리즘에서는 현실적인 사용가능성을 고려하여 될 수 있는 한 스틱피더도 하나의 실장기에 모여지도록 하였으며 그 대상은 $M/C-2$ 로 하였다. 또한, 가능한 한 하나의 부품은 한 실장기에만 배치되도록 하였다. 전체적인 알고리즘은 먼저 각 실장기별로 사용될 부품을 결정하며, 그 상태 하에서 앞에서 개발된 알고리즘을 사용하여 각 실장기별로 부품피더 배치와 장착순서를 결정한다. 일차적으로 이러한 과정을 거쳐 각 실장기별 Cycle-time을 구하게 되고 두 Cycle-time의 차이를 고려하여 일부 부품의 재 할당이 이루어지고 새로운 부품배치와 삽입순서가 결정되어 다시 각 실장기별로 Cycle-time을 구하게 된다. 이러한 과정을 $\max(C_1, C_2)$ 값이 더 이상 줄어들지 않을 때까지 반복한다. 이러한 내용을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

Step 1) 모든 부품에 대하여, 각 부품을 기관의 중심에서 가장 가까운 라인에 배치했을 때의 부품장착 시간계 대한 추정치 T' 을 다음과 같이 계산한다(다단 트레이피더의 경우는 트레이피더에서 기관까지의 거리 i 를, 고정카메라를 이용할 경우는 고정카메라부로의 이동시간 및 검사시간도 포함한다).

$$T' = (d(i, p) + d(p, i) + TC + TM + C) \times num$$

여기에서:

TC, TM = 부품의 흡착 및 장착지연시간

C = 흡착착 상하이동시간(상수)

$d(i, p)$ = 라인 i 에서 기관의 중심 p 까지 헤드부 이동시간

$d(p, i)$ = 기관의 중심에서 라인 i 까지 헤드부 이동시간

num = 장착지점 수

Step 2) 다단트레이피더와 스틱피더 부품을 $M/C-2$ 에 할당하고, 나머지 부품 중에서 트레이 부품 혹은 스틱 피더 부품과 같은 노즐을 사용하는 부품을 $M/C-2$ 에 할당 한다. 이 때, $M/C-2$ 의 작업시간 추정치의 합이 $M/C-1$ 의 작업시간 추정치의 합보다 크지 않도록

한다.

set $i = 0$;

Step 3) $i \leftarrow i+1$, 각 M/C별로 앞의 3.2절에서 개발된 알고리즘을 사용하여 각각의 Cycle-time C_1, C_2 를 구한다.

Step 4)

case1) $|C_1 - C_2| < 2.0(\text{sec})$: stop.

case2) $C_1 - C_2 > 2.0(\text{sec})$: M/C-1에서 장착지점 수가 가장 적은 부품 $f(i)$ 를 M/C-2로 할당.

case3) $C_2 - C_1 > 2.0(\text{sec})$: M/C-2에서 장착지점 수가 가장 적은 부품 $f(i)$ 를 M/C-1로 할당(트레이피더부품은 제외).

만약 $f(i)$ 와 $f(i-1)$ 이 같으면 $f' = f(i)$ and go to Step 5) 아니면 go to Step 3).

Step 5) 현재 Cycle-time이 큰 M/C에서 f' 의 장착지점 중 일부를 다른 M/C에서 장착할 수 있도록 부품 피더 f' 을 Cycle-time이 작은 M/C에도 할당한다.

Step 6) f' 이 새로 할당된 M/C에서 이 M/C의 Cycle-time이 다른 M/C의 Cycle-time을 초과하는 순간까지 f' 의 장착지점 중 일부를 새로 할당된 M/C에서 장착하도록 한다.

4. 적용결과

4.1 실장기가 한 대인 경우

지금까지 설명한 알고리즘을 몇 개의 문제에 대하여 적용시켜본 결과는 <표 1>과 같다. 프로그램은 C-언어를 이용하여 Pentium-PC(90MHz)에서 실행되었으며, 모든 문제에 대하여 1분 이내에 최종해를 얻을 수 있었다.

문제 1에서 5는 실제 기판의 데이터이며, 문제 6, 7은 알고리즘의 테스트를 위하여 임의로 만든 데이터이다. <표 1>은, 기존방법과 1-head 알고리즘을 적용했을 때와 2-head 알고리즘을 적용했을 때의 전체부품

<표 1> 기존방법, 1-head 알고리즘, 2-head 알고리즘에 의한 실행결과

문제 번호	부품피더 개수 (괄호안은 장착지점 수)		Cycle-time (단위 : 초)			고정 시간
	1세트 및 스틱피더	다단트레이 피더	기존방법 (사용 헤드수)	one-head 실행결과	two-head 실행결과	
1	3 (6)	4 (16)	76 (1-head)	73(49 ^a)	71(47 ^a)	17
2	5 (30)	3 (7)	107 (1-head)	68(60)	61(53)	21
3	12 (37)	4 (4)	100 (1-head)	79(69)	74(62)	25
4	10 (100)	5 (23)	207 (2-head)	178(174)	166(158)	66
5	10 (171)	5 (25)	282 (2-head)	274(274)	255(256)	106
6	35 (259)	11 (68)	--	--(577)	--(552)	223
7	73 (457)	26 (126)	--	--(992)	--(955)	377

a : 실장기의 실제 작업시간

b : 프로그램상에서의 계산시간

을 장착하는데 소요되는 실장기의 실제 작업시간과 프로그램에서 계산된 Cycle-time을 보여주고 있다. 오른쪽에 나타나있는 고정시간은 흡착작 동작 및 지연 시간, 고정카메라 검사시간의 합을 의미하며, 이 시간은 부품피더의 배치와 장착순서에 관계없이 항상 일정한 값을 갖는 시간이다. 문제 1, 2, 3으로부터 기존방법을 헤드가 하나인 실장기에 적용한 경우, 장착지점당 평균소요시간은 2.83초임을 알 수 있다. 이 기판들에 대하여 개발된 1-head 알고리즘을 적용했을 때, 장착지점당 평균소요시간은 2.20초로써 기존 1-head 방법에 비해 22%의 시간이 단축되었음을 알 수 있다. 또, 문제 4와 5에서 헤드가 두 개인 경우 기존방법과 2-head 알고리즘의 결과를 비교할 수 있는데, 기존방법의 경우 장착지점당 평균소요시간은 1.53이며, 새로운 2-head 알고리즘에 의한 장착지점당 평균소요시간은 1.31초로써 약 15%의 시간 단축효과를 얻었다. 또한, 전체문제에 대하여 개발된 1-head 알고리즘과 2-head 알고리즘에 의한 실제 적용결과를 비교해보면, 헤드가 두 개인 실장기를 이용한 기판조립시간이 헤드가 하나인 실장기의 기판조립시간보다 약 6.7% 단축되었음을 알 수 있다.

4.2 두 대의 실장기에 대한 라인 균형 결과

앞의 문제들 중에서 비교적 장착 지점이 많은 데이터에 대하여, 두 대의 실장기에 대한 라인 균형 알고리즘을 적용했을 때의 프로그램에서 계산된 Cycle-time이 <표 2>에 나와 있다. 세 가지 경우 모두에서 두 대의 실장기를 이용할 경우의 Cycle-time이 한 대의 실장기를 사용할 경우의 Cycle-time의 절반보다 작게 나타났다.

<표 2> 실장기 한 대와 2 대인 경우의 Cycle-time 비교
(단위:초)

문제 번호	실장기 한 대 사용한 경우의 계산시간 (Cycle-time/2)	실장기 두 대 사용한 경우	
		M/C-1의 Cycle-time	M/C-2의 Cycle-time
5	128	127	126
6	276	267	270
7	477	473	472

5. GUI 기능

앞에서 개발된 알고리즘이 구현된 프로그램을 사용자가 PC에서 쉽게 사용할 수 있도록 DOS 상에서 운영되는 GUI 기능을 부가하였다. GUI에 포함된 주요 기능은 다양한 실장기의 사양을 지정하고 원시데이터를 읽어들여서 최적화 프로그램을 수행한 후, 최적화 프로그램에서 나온 결과(결정된 피더의 배치 및 장착순서)를 가지고 화면상에서 실장기와 기관 상의 장착 지점들을 보여주며 실장기의 작동모습(장착시간 포함)을 보여주는 것이다. 그 외 부가된 기능으로서는 각 레인에 배치된 피더를 확인하는 것, 사용자가 일부 피

더를 지정된 레인에 고정시킨 후 다른 피더들의 배치와 장착순서를 결정하는 것, 최적화 프로그램 수행 후 나온 장착순서의 일부를 사용자가 변경하는 것, 사용자가 임의로(또는 초기해로) 결정한 피더배치와 장착순서에 따른 예상 Cycle-time을 보여주는 것들이 있다. GUI 상에서 나타나는 주메뉴 및 하위메뉴는 <그림 3>과 같고, 각 메뉴의 기능은 다음과 같다.

<파일 메뉴>

원시데이터 지정: 작업 대상 기관 및 장착지점, 사용 피더 등에 관한 정보가 담겨있는 원시데이터가 존재하는 directory를 입력받는다.

최종파일 생성: 최적화 프로그램이 끝난 뒤에 생성된 부품피더 배치와 장착순서에 대한 정보를 저장한 파일들 중에서 최종파일로 변환될 파일의 이름을 입력받아 Control Unit에 입력될 최종파일을 만든다.

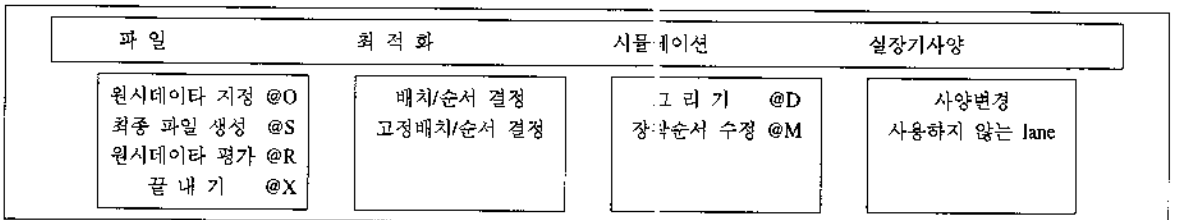
원시데이터 평가: 원시데이터 내에 존재하는 부품피더 배치와 장착순서를 사용하였을 때의 추정 Cycle-time과 노즐 교환 회수를 알려준다.

끝내기: 프로그램을 끝낸다.

<최적화 메뉴>

배치/순서 결정: 지정된 원시데이터에서 필요한 정보를 읽어들여 앞에서 개발된 최적화 알고리즘을 수행하고 부품피더 배치와 장착순서에 관한 정보를 저장할 파일 명을 지정한다.

고정배치/순서 결정: 사용자가 몇 개의 피더의 위치를 임의로 고정하고자 할 때 사용한다. 고정배치될 부품피더의 이름과 고정 배치될 레인의 번



<그림 3> 메뉴 화면

호를 입력받은 후 일부 고정 배치의 제약하에서 앞의 "배치/순서 결정"과 동일한 작업을 수행한다.

<시물레이션>

- 그리기: 앞의 최적화 메뉴에서 생성된 부품피더 배치와 장착 순서의 정보를 가진 파일을 읽어들이고, 입력된 실장기의 사양을 그려주고 피더의 배치상황을 보여준다. 아울러 기관 상에 부품이 장착되는 모습과 시간을 보여주고 전체 Cycle-time 과 노즐 교환 회수 등을 알려준다.
- 장착순서 수정: 앞의 최적화 메뉴에서 생성된 장착순서의 정보를 가진 파일을 읽어들이고 화면상에 장착순서에 대한 정보를 보여주고, 사용자가 일부 장착지점의 장착순서를 변경할 수 있도록 하며, 그 결과 변화하는 Cycle-time을 보여준다.

<실장기 사양>

- 사양변경: 헤드의 개수, 헤드의 간격, 레인의 폭, 각 스테이지와 레인의 수, 트레이피더 위치, 스테이지 사이의 간격, 고정카메라의 위치, 좌우 헤드 가 갈 수 없는 레인번호 등을 입력받는다.
 - 사용하지 않는 레인: 실제 작업중 사용할 수 없는 레인이 있을 경우 그 레인번호를 입력받는다.
- <그림 4>는 앞의 다양한 기능 가운데 헤드가 두 개

인 경우의 최적화 프로그램 수행 후에 피더의 배치 상황과 2-2 방식의 흡장착 동작을 보여주는 '그리기' 화면을 나타낸다.

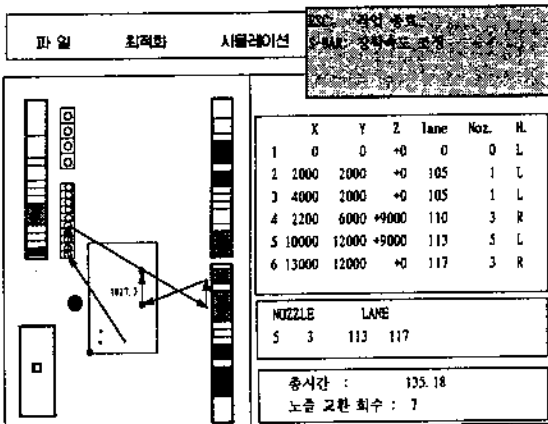
6. 결론

본 연구에서는 인쇄회로기판 조립공정에 있어서 여러 형태의 부품을 장착할 수 있는 기능을 가진 부품 표면실장기의 효율적인 운용방식에 대하여 연구하였다. 이러한 문제는 여러 제약이 단순화되어도 합리적인 시간 내에 최적해를 구할 수 없는 NP-hard 문제에 속한다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 현실적인 제약을 고려하여 가능한 한 효과적인 결과가 도출되도록 하는 근사적 해법을 개발하였다. 헤드가 하나인 경우는 각 부품의 장착 횟수와 헤드의 이동속도를 고려하여 부품피더의 배치를 결정하였고, 헤드가 두 개인 경우는 동시장착 되는 횟수를 늘리는 데 중점을 둔 발전적 해법을 제시하였다. 아울러, 한 라인에 두 대의 실장기가 연속하여 배치된 경우 두 실장기의 Cycle-time의 균형이 이루어지도록 하는 발전적 해법을 제시하였다. 개발된 알고리즘을 몇 개의 문제에 적용시켜본 결과 비교적 좋은 결과를 주는 것으로 나타났다. 또한, 개발된 프로그램을 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 GUI 기능을 추가하였으며, 실장기의 사양변경 기능과 피더배치나 장착순서를 PC 화면으로 볼 수 있는 애니메이션 기능, 사용자가 임의로 피더배치나 장착순서를 결정하는 기능도 포함되어 있다.

【참고문헌】

[1] Ahmadi, J., Ahmadi, R., Matsuo, H., and Tirupati, L., "Component Fixture Positioning/Sequencing for Printed Circuit Board Assembly with Concurrent Operations", *Operations Research*, Vol. 43, No. 3, p. 444-457, 1995.

[2] Ball, M. O. and Magazine, M. J., "Sequencing of Insertions In Printed Circuit Board Assembly", *Operations Research*, Vol. 36, No. 2, pp. 192-201, 1988.



<그림 4> 흡장착 애니메이션 화면

[3] Bondy, J. A. and Murty, U. S. R., Graph Theory with Applications, North-Holland, New York, 1985.

[4] Laporte, G., "The Traveling Salesman Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms", European Journal of Operational Research, Vol. 59, pp. 231-247, 1992.

[5] Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A.H.K., and Shmoys, D. B., The Traveling Salesman Problem, John Wiley & Sons, New York, 1986.

[6] Leipälä, T. and Nevalainen, O., "Optimization of the Movements of a Component Placement Machine", European Journal of Operational Research, Vol. 38, pp. 167-177, 1989.

[7] Mettala, E. G. and Egbelu, P. J., "Alternative Approaches to Sequencing Robot Moves for PCB Assembly", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 2, No. 5, pp. 243-256, 1989.

[8] Mizuike, T. and Ito, Y., "Optimization of Frequency Assignment", IEEE Transactions on Communications, Vol. 37, No. 10, pp. 1031-1041, 1989.

[9] Sohn, J. and Park, S., "Efficient Operation of a Surface Mounting Machine with a Multihead Turret", International Journal of Production Research, Vol. 34, No. 4, pp. 1131-1143, 1996.

[10] 이상복, "PCB 최적삽입경로 및 부품함 위치 배정 연구", 서울대학교 산업공학과 박사학위논문, 1993.

[11] 이영해, 김정, "표면실장기의 최적 운용을 위한 모델링 및 알고리즘 개발", 대한산업공학회지, 20 권 3호, pp. 79-92, 1994.



손진현

서울대학교 수학과 학사(경영학 부전공)
한국과학기술원 산업공학과 석사, 박사
선문대학교 경영학부 전임강사
관심분야: 수송망설계, 정수계획법, 생산관리, Network 이론



유성열

고려대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사과정
쌍용정보통신 SI 컨설팅부(전임 연구원)
관심분야: 정수계획법, 조합최적화, Scheduling, FMS, CIM



강장하

한국과학기술원 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사과정
관심분야: 정수계획법, 조합최적화



박성수

서울대학교 산업공학과 학사, 석사
Cornell University, OR 박사
한국과학기술원 산업공학과 부교수
관심분야: 정수계획법, 조합최적화, 선형계획법, Network 이론, 통신망설계



오병준

연세대학원 기계공학과 석사
삼성전자 생산기술센터 과장
관심분야: Chip Mounter 개발



성필영

성균관대학교 전자공학과 학사
삼성전자 생산기술센터 과장
관심분야: Chip Mounter 제어 Software 개발