

밀집구역분리와 슬롯이중배정에 의한 효율적 PCB 조립 방법의 연구*

문기주**, 장재혁**

A study on the method of efficient PCB assembly
by separation of crowded area and double allocation of slot

Geeju Moon, Jaehyuk Chang

Abstract

Determination of component mounting sequence on printed circuit board assembly process is a typical NP-hard problem. It is a kind of traveling salesman problems, but it has one more hard to meet constraint of matching component type per mounting position as well as searching the shortest path. An efficient method is developed by separation of crowded area and allowing up to two slots per component type. A simulation model is constructed using Visual C++ for evaluation of the suggested heuristic.

Key Words: printed circuit board, PCB assembly, TSP, combinatorial optimization

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R05-2003-000-11097-0)지원으로 수행되었음.

** 동아대학교 산업경영공학과

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

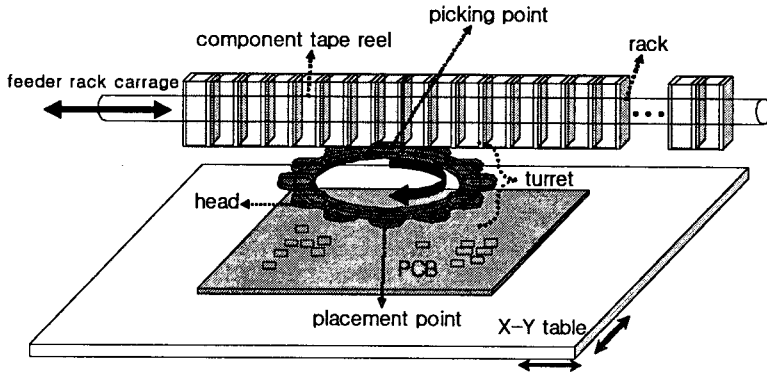
정보통신기술의 발전과 더불어 전자제품과 통신 기기는 양과 질적인 면에서 꾸준한 성장을 거듭해 오고 있다. 이에 따라 전자통신기기의 주요 부품 중의 하나인 인쇄회로기판(Printed Circuit Board : PCB)의 수요도 함께 증가하고 있다. PCB는 컴퓨터 영상기기, 가전제품, 자동차, 통신기기 등 각종 기기들에 사용되고 있는데 PCB의 사용처가 늘어나면서 효율적인 생산의 중요성이 더욱 부각되었다. 근래 생산되는 PCB 사용제품들의 소형화, 고기능성 고급화로 인해 기판에 장착된 부품들은 소형화, 집적화되고 회로는 매우 복잡해졌다. 많은 수의 부품을 기판에 효율적으로 장착하기 위해 고가의 자동조립기들이 개발되어 사용되고 있으며, 이 자동조립기의 생산성을 향상시키는 것이 기업경쟁력 제고에 큰 역할을 한다.

PCB 자동조립기의 생산성 향상을 위해서는 여러 대의 조립기에 대한 라인밸런싱, 개별조립기의 최적운영 등 여러 방안들이 강구될 수 있으나 기판 상에서 부품을 장착해 나가는 순서의 결정과 그것에 맞춘 해당 부품의 공급방법이 큰 영향을 미친다. 동일한 자동조립기를 사용하여 PCB를 생산하는 공장들이 있을 때, 장착순서를 최적으로 설정하여 다른 공장에 비해 10% 짧은 시간에 기판을 한 장씩 조립해 낸다면, 생산량이 10% 늘어난다는 것을 의미하여 그만큼 생산단가의 감소를 의미하는 것이 된다. 이와 같이 신규 설비를 도입하는 추가적인 투자가 아닌 현존 설비의 효율적인 운영을 통한 생산성 향상은 원가절감으로 이어져 기업의 경쟁력강화에 큰 기여를 하게 될 것이다. 본 연구의 목적은 이와 같은 자동화장비를 이용한 PCB조립공정에 있어서 개별 조립기의 최적운영방안의 개발에 있으며, 이를 위해 조립기에서 기판을 부품 장착위치로 이동시키는 X-Y테이블의 총이동거리와 부품을 공급하는 랙의 이동을 동시에 최소화하는 방법을 개발하고자 한다.

1.2. 연구동향

PCB생산에 관련된 연구들 중 공정상의 생산성 향상을 추구한 것들에는 PCB 조립라인에 대한 최적설계에 관한 연구를 한 Johri[1]와 시스템 성능을 향상시키기 위한 방안으로 PCB 조립라인에 대한 시물레이션 모형을 개발한 Kung과 Changchit[2], 그리고 객체지향의 패러다임(paradigm)을 기본으로 하여 지식기반시스템인 PCBAD (printed circuit board assembly advisor)를 개발한 Pardhy와 Dwivedi[3]의 연구를 들 수 있다. 그리고 단순한 유연흐름라인(flexible flow lines)에 대한 순서계획 알고리즘을 개발한 Wittrock[4]와 작업리드타임의 최소화를 목표로 생산공정에 투입되는 순서계획을 수립한 Kochhar와 Morris[5], 그리고 납기와 작업 준비시간을 고려하여 작업순서를 결정하는 알고리즘을 개발한 Johri[6] 등이 있다.

조립기기운영 연구에 관련된 것으로 Leipala와 Nevalainen[7]이 있으며 이는 하나의 헤드를 가지는 PCB 조립기로 부품공급장치의 위치결정 순서를 고려하고 부품장착순서를 결정한 것이다. 이를 Sohn과 Park[8]은 여러 개의 헤드를 가지는 기계로 확장하였으며, Leipala과 Nevalainen [7]의 수리적 모형과 거리측정식을 알맞게 수정하였고, 부품의 장착순서를 개선한 해를 구성하였다. Crama 등 [9]은 부품 자동삽입기의 부품 공급장치에 설치된 랙에서 부품을 할당받지 못하고 비어 있는 랙이 발생하게 되어 랙의 이동시 연속적인 이동거리가 가장 멀어지는 부품을 찾아 빈 공간의 랙에 부품을 다시 한번 중복 할당하는 방법을 사용하였다. 문 등[14]은 랙에 부품을 할당함에 있어서 각 부품종류들 사이의 근접거리를 평가하고 랙에 부품종류들을 할당함에 있어 부품종류의 수량과 각 부품종류간의 인접한 정도를 동시에 고려하여 부품들을 하나의 그룹으로 묶어 장착순서를 결정하였다. 이 연구들에 의해 PCB자동조립기의 생산성은 어느정도 향상되었으나 특히 문 등[14]은 단순한 근접도 평가결과 및 부품개수에 대한 정보만 조립순서결정에 사용함으로써 조립기 수행도 개선에 한계를 보이고 있다. 이에 본 연구에서는 PCB상의 부품배치 특성



<그림 1> 터릿형 헤드를 가진 PCB자동조립기의 구조

상 밀집된 지역과 그러하지 아니한 지역을 분리하여 부품조립을 수행하도록 하였으며, 또한 불필요한 랙의 이동을 방지하기 위해 Crama 등[9]의 연구에서와 같이 동일부품을 랙의 다른 위치에 중복 배치토록 한 상태에서 최적 운영방안을 모색하므로써 조립기의 생산 효율 향상이 커질 수 있도록 하였다.

2. PCB 자동조립기 모형

2.1. 개요

본 연구에서 다룬 PCB 자동조립기는 <그림 1>과 같은 터릿(turret)방식의 다중 헤드를 가진 것이다. 이와 유사한 장비를 사용한 선행연구로 Sohn과 Park[8], Crama등[9], Klomp등[10], Ohno등[11], 그리고 Altinkemer등[13]이 있다. 장비의 주요 구성으로 크게 부품을 헤드에 공급하는 랙과, 랙에서 부품을 집어 기판상에 장착시키는 헤드, 그리고 기판을 고정하고 헤드가 부품을 장착시킬 위치로 기판을 이동시키는 X-Y테이블과 이를 관리하는 제어 장치로 구성되어 있다.

터릿에 장착된 각 헤드는 랙에서 부품을 집는 지점에서 부품을 집어 기판상의 배치될 위치에 부품을 장착한다. 여기서 랙은 시계방향으로 회전하며, 한 공정 동안에 한 구획(segment)을 회전할 수 있다. 터릿의 회전속도는 첫 번째 헤드가 두 번째 헤드의 위치로 시계방향 한 구획 회전하는

데 걸리는 시간으로 0.15초가 소요된다. 또한, 헤드가 랙에서 부품 하나를 집는 속도와 집고 있는 부품 하나를 기판상에 장착하는 속도는 같으며, 각각 0.1초가 소요된다.

X-Y테이블은 기판을 잡고 있으며 부품이 장착될 지점으로 기판을 이동시킨다. 헤드가 부품을 정확한 위치에 장착할 수 있도록 X와 Y축으로 연속적이며 독립적인 이동을 한다. 그러므로 X축과 Y축의 이동거리 중 더 긴축이 한 공정의 X-Y테이블의 이동거리가 된다. 테이블의 이동속도는 20mm / 0.15초이다.

헤드에 공급할 부품들을 보유하고 있는 곳이 랙인데, 랙은 복수 개의 슬롯으로 이루어져 있다. 일반적으로 150개 정도의 슬롯이 있으며 이 슬롯에 각 부품들이 종류별로 배정되어 공급된다. 랙의 슬롯은 헤드가 원하는 부품이 집는 지점에 위치되도록 좌·우로 이동할 수 있다. 한 슬롯의 랙을 이동하는데 소요되는 시간은 0.15초이다.

2.2 모형의 정의

모든 부품이 랙의 슬롯에 배정되어 공급이 가능해지면 부품을 기판에 장착하는 작업이 수행된다. 이때 랙은 슬롯 1에서 시작하여 슬롯 2의 방향으로 이동하는 것으로 한다. 본 연구에서 대상으로 한 시스템은 <그림 1>과 같다. 이들 각각의 구성기계들(랙, 헤드, X-Y 테이블)은 동일한 시점에 각각

독립적으로 움직이며, 하나의 부품을 장착하는데 소요되는 시간은 각각의 이동거리 산정치들 중 가장 큰 값을 적용하면 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같으며 $d_{i,j}$ 합을 최소화할 목적으로 한다[8].

$$d_{i,j} = \max \{ D_{r(i,j)}, D_{xy(i,j)} \}$$

$$\text{단, } D_r(i,j) = |r_i - r_j| / v$$

$$D_{xy}(i,j) = \lfloor \max \{ |x_i - x_j| / w, |y_i - y_j| / w \} \rfloor$$

여기에서,

$d_{i,j}$: 부품 i와 부품 j 사이의 이동에 단위거리(단위시간)

r_i : 랙에서 슬롯 i의 위치 ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

x_i, y_i : 기판에서 부품 i의 위치를 나타내는 좌표

$D_r(i, j)$: r_i 에서 r_j 까지 랙의 단위이동거리 (단위시간)

$D_{xy}(i, j)$: 부품 i에서 부품 j까지 x-y 테이블의 단위이동거리

v : 랙의 단위시간당 이동 슬롯의 개수 (칸/단위시간). 여기서는 1

w : x-y 테이블의 단위시간당 이동속도 (거리/단위시간). 여기서는 20 mm

$\lfloor \rfloor$: 계산치의 소수점이하를 절삭한 후 1을 더한 정수값을 나타낸다.

여기에서

i, j : 기판에서 장착순서상 i는 현 장착 부품 번호, j는 후속장착 부품번호

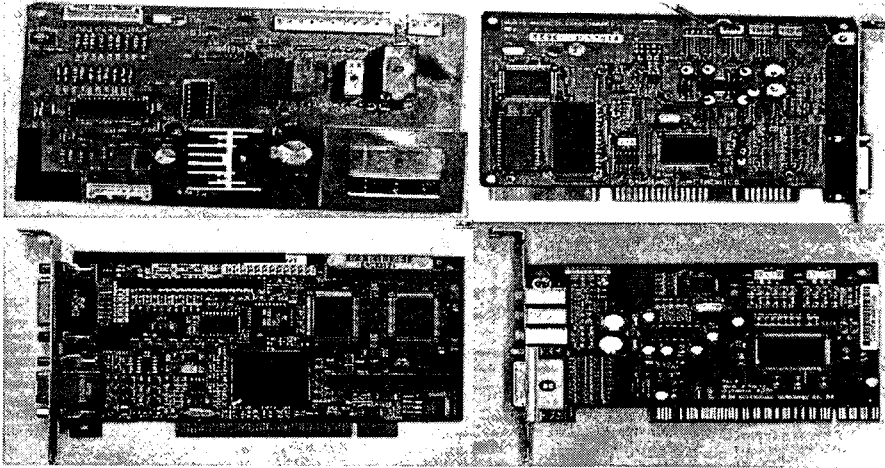
3. 부품 슬롯배정 및 장착순서 결정

3.1. 부품 위치의 특성 분석

모든 제품의 설계시에는 형태, 기능, 생산방법의 측면을 고려하듯, PCB 회로설계자들도 PCB의 설계시 그 기능과 생산에 적합하도록 설계하고자 한다. 이들은 특히 회로의 크기를 줄이기 위하여 원칩마이크로(one chip microprocessor)을 많이 사용하는데, 이는 하나의 IC 안에 CPU, RAM, ROM, TIMER, A/D 등의 기능이 들어있어 개별 부품으로 구성된 회로에 비하여 주변 부품을 간소화할 수 있을 뿐 아니라 더 나은 성능을 보이도록 한 것이다. 특성상 마이크로로부터의 신호가 PCB상의 입력단자와 출력단자와 연결이 되어있다. 그러나 이러한 입력신호와 출력신호는 회로의 기능에 따라 다르지만 마이크로에서 바로 입력이나 출력을 받아들일 수 없는 경우가 많으며, 이들 신호를 처리 할 수 있도록 입출력단자와 마이크로 사이에서 전압이나 전류와 같은 신호를 변경시켜 주거나 증폭시키는 회로가 필요하게 된다. 이 회로는 실제 PCB에서 보면 마이크로 주위 보다는 입출력 단자주위에 여러 부품들을 장착하여 마이크로의 신호를 변형시키는 역할을 하게 된다. 또한 PCB를 제조하는 실무업체 탐방과 전자회로설계 전문가들의 면담과 현장조사 결과 마이크로와 회로의 특성에 따라 평균 50%에서 최대 70%까지의 부품들이 입출력 단자 주위에 밀집되어 회로가 설계됨을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 밀집현상은 <그림 2>의 PCB예시에서도 확인할 수 있다. 사진의 기판들에서 보는 바와 같이 기판상에는 부품들이 밀집되어 배치된 부분이 있는 반면 빈공간으로 있거나 느슨하게 배치된 부분이 있다.

3.2 부품간의 근접도 평가

랙의 슬롯에 부품을 할당하기 위해 우선 각 부품 종류별로 X-Y 테이블의 이동거리를 고려하여 한 단위 거리 내에 위치하고 있는 부품형태별 부품 수량을 기준으로 근접도를 평가한다. 근접도 평가를 위해 매트릭스 형태로 표시하는데, PCB상의 모든 부품의 장착지점을 대상으로 해당 장착지점에서 X-Y테이블의 단위이동 거리인 상·하·좌·우 각각 $\mu = 20\text{mm}$ 범위 내에 있는 모든 지점들을 탐색한다. 이는 해당 장착지점에서 상·하·좌·우로



<그림 2> PCB의 예시

단위거리 μ 이내에 어떤 종류의 부품들이 몇 개가 분포되어 있는지를 조사하는 것이다. 이는 모든 장착지점별로 근접도 평가를 실시하므로 하나의 장착지점은 타부품의 근접도 평가 시 중복하여 계산되어지는 것을 의미한다. 근접도 평가는 모든 부품종류를 대상으로 타 부품에 대한 인접부품의 개수를 파악하는 것에 그 목적이 있으므로 근접도 계산시 동일부품이 중복하여 계산되는 것은 문제가 되지 않는다. 이 근접도 평가값은 랙상의 부품종류별 슬롯위치배정시 사용된다.

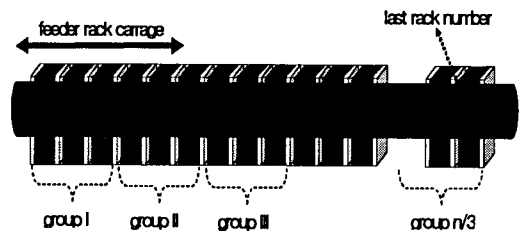
PCB상의 각 지점에 장착되는 부품 i 의 좌표는 (x_i, y_i) 로 표시할 수 있으며, 이들 좌표는 실제의 거리를 산출하는데 사용된다. 이 거리는 다시 단위시간당 이동거리를 나눈 단위거리로 환산하여 계산시 적용한다.

3.3 슬롯위치배정 및 부품장착순서의 결정

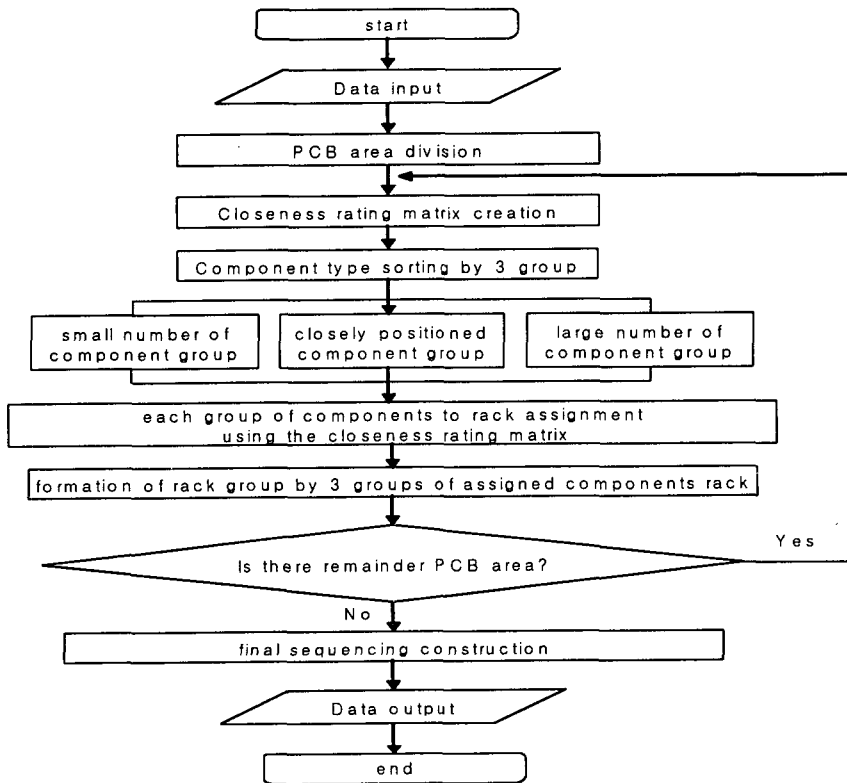
기판에서 부품들은 여러 지점에 분산되어 있을 수 있다. 그러나 부품의 특성상 저항과 콘덴서 같은 마이콤의 기능을 보조하는 많은 부품들은 마이콤과 입출력 단자의 사이에 집중적으로 위치되어 있다. 이러한 특성을 활용하기 위해 기판상에서 부품이 밀집되어 배치되어있는 밀집구역과 아닌 두 구역으로 나누어서 부품을 장착한다. 또 다른 본

연구의 특징으로는 부품을 랙의 슬롯에 배정시 동일 부품을 두 곳까지의 슬롯에 중복배치하는 것을 허용하여 자동조립기를 운영하도록 한 것을 들 수 있다[9][10].

먼저 슬롯의 부품배정을 위해 각 부품 종류별로 집단화된 부품그룹, 부품의 개수가 적은 그룹, 부품 개수가 많은 그룹으로 분류한다. 여기에서 집단화된 부품이란 한 단위 이동거리로 동일 종류의 부품이 4개 이상 일렬로 나열되거나 모여 있는 것을 말한다. 그리고 부품개수가 많은 그룹과 작은 그룹은 집단화되어있지 않는 나머지 부품들을 종류별로 각각의 수량 기준으로 나열한 후 중위치를 기준으로 많은 그룹과 작은 그룹으로 나눈 것이다. 이렇게 분류된 세 그룹에서 부품종류를 선정하여 슬롯 배정을 하며, <그림 3>에서와 같이 연속된 세 개의 슬롯을 하나의 순환작업그룹으로 구성한다.



<그림 3> 1개 순환작업그룹의 구성



<그림 4> 제안해법의 순서도

슬롯에 배정하는 순서는 부품개수가 적은 부품 그룹에서 적은 것 순으로 하나를 1번 슬롯에 배정하고 2번 슬롯에는 집단화 특성을 보이는 부품그룹에서 1번에 배정된 부품과 근접도가 높은 부품을 할당한다. 3번 슬롯에는 부품의 개수가 많은 부품 그룹 중에서 2번 슬롯에 배정된 부품과 근접도가 높은 종류의 부품을 할당한다. 다시 4번 슬롯에는 부품의 개수가 적은 그룹 중에서 3번 슬롯에 배정된 부품과 근접도가 높은 부품을 배정한다. 이와 동일한 방법으로 슬롯에 부품종류의 배정을 해나간다. 더 이상 배정되지 않은 부품이 없는 그룹이 발생시에는 그 그룹을 제외한 나머지 그룹으로 배정을 해나간다.

결정된 슬롯의 위치 배정을 바탕으로 이제는 1차 장착경로를 구성한다. 부품 장착순서는 할당된 3개의 슬롯을 1순환작업그룹으로 수행하게 되므로 3개 종류의 부품이 하나의 동일 경로상에서 장착된

다. 이 경로를 통하여 하나의 그룹에서 부품이 모두 장착되면 다음의 그룹으로 이동하여 부품을 장착하게 된다. 위와 같은 방법으로 초기 헤밀턴 경로를 구성한다. 이 과정을 나타낸 순서도가 <그림 4>에 나와 있다.

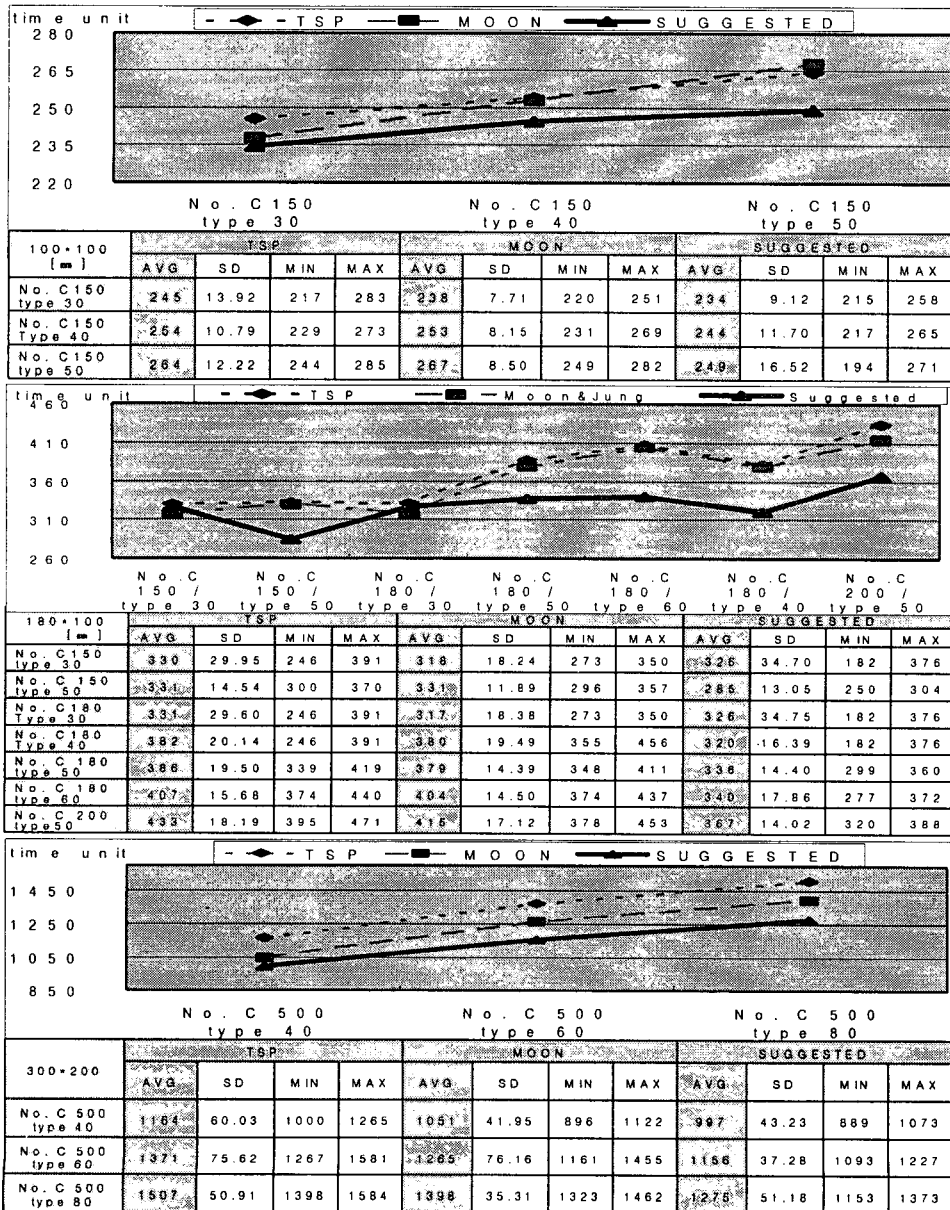
4. 수치실험 및 분석

본 연구에서 제시된 알고리즘을 평가하기 위해 다양한 경우에 대한 수치실험을 실시하였다. 프로그램은 비주얼 C++(Microsoft Visual C++ 6.0)로 프로그래밍 하였다. 검정할 자료는 PCB상에서 부품의 집단화 특성을 고려하기 위하여 부품개수의 50%정도를 기관상에 밀집되게 분포 되도록 난수를 발생시켜 위치를 정하였고, 나머지 부품 50%에 대하여서는 PCB의 이미 정해진 위치를 제외한 빈 공간에 분산되도록 하였다.

100×100mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 150개로 고정하여 부품의 종류를 30개, 40개, 50개로 시뮬레이션을 수행하였다. 180×100mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 150개, 180개, 200개로 증가시키면서, 부품의 종류 또한 30개, 40개, 50개, 60개로 증가시키며 시뮬레이션을 수행하였다.

300×200mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 500개로 고정하였고 부품의 종류를 40개, 60개, 80개로 증가시키며 시뮬레이션을 수행하였다.

<그림 5>에서와 같이 100×100mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 150개로 고정하여 부품의 종류를 30개, 40개, 50개로 시뮬레이션을 수행하였



<그림 5> 시뮬레이션 결과 비교

다. 부품 개수가 150개, 종류 50개인 실험에서 랙의 이동최소화를 위해 한 개 슬롯씩 고정하여 장착해나가는 하드웨어적인 방법에 비하여 5.3%의 시간을 감소 시켰고, 문 등[14]의 방법과 비교하여 6.3% 감소된 것을 알 수 있었다. 180×100mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 150개, 180개, 200개로 증가시키고, 부품의 종류 또한 30개, 40개, 50개, 60개로 증가시켜서 시물레이션을 수행하였다. 300×200mm 크기의 PCB에서는 전체부품의 수를 500개로 고정하였고 부품의 종류를 40개, 60개, 80개로 증가시키며 시물레이션을 수행하였다. 동일 부품 개수와 종류가 60개인 실험에서 하드웨어적인 방법에 비하여 15.26%의 시간을 감소시켰고, 문 등[14]의 방법과 비교하여 8.75% 감소된 것을 알 수 있었다. 이와 같이 부품의 종류가 증가할수록, 본 연구에서 제안한 방법이 더욱 우수하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 기판상에 부품의 조립 순서를 결정하는데 있어서 부품들이 밀집하게 조립된 지역을 분리하여 집단화된 부품을 집중 조립해나가고 또한 랙에 동일 부품을 중복하여 공급하는 조건하에서의 최적 조립 방법을 모색한 결과로 평가된다.

5. 결론

본 연구는 PCB의 제조공정 중에서 개별 부품조립기의 운영방법에 관한 연구로서, 보다 많은 부품을 보다 짧은 시간 내에 기판에 장착하는 방법에 관한 것이다. 현대 전자산업에서 고가의 첨단 자동화시스템 도입은 당연시되고 있으나 그 장비의 효율적 운영방법에 관한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 PCB의 구역을 분할하여 집단화된 부품을 집중장착이 가능하도록 공간을 나누고, 장착될 부품간의 근접도를 계산하였으며, 개수가 많은 그룹과 적은 그룹으로 분류 정리하여 조립순서를 결정하는데 활용하였다. 제안된 해법의 평가를 위해 100×100mm, 180×100mm와 300×200mm 세 가지 크기의 기판을 사용하였고, 전체부품의 수와 부품종류를 각각 증가시키며 비교 분석하였다. 그 결과 기판의 크기가 증가할수록, 그리고 부품종류

가 증가 할수록 보다 우수한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

제안된 방법의 평가를 위해 비주얼 C++를 사용하여 시물레이션 모형을 구축하였다. 현장에서는 일반적으로 새로운 기판의 생산에 들어가기에 앞서 며칠동안 PCB 전문인력이 수작업으로 최적운영방안을 설계탐색해서 사용하거나, 기계구입시 제공된 방법을 그대로 사용하고 있으나 바람직한 방법은 되지 못한다. 본 연구에서 보여준 것과 같이 보다 효율적일 수 있는 새로운 조립방법을 설계하고 그에 대한 평가를 컴퓨터시물레이션을 통하여 수행해 봄으로서 보다 손쉽게 개선된 방안의 개발이 가능해질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Johri, P. K., "Engineering a circuit board assembly line for a desired capacity and flowtime", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.10, No.6 (1991), pp.492-500.
- [2] Kung, H. K. and Changchit, C., "A just-in-time simulation model of a PCB assembly line", *Computer & Industrial Engineering*, Vol.20, No.1 (1991), pp.17-29.
- [3] Padhy, S. K. and Dwivedi, S. N., "PCAAD - an object-oriented expert system for assembly of printed circuit boards", *Expert Systems*, Vol.9, No.1 (1992), pp.11-24.
- [4] Wittrock, R. J., "An adaptable scheduling algorithm for flexible flow lines", *Operations Research*, Vol.36, No.3 (1988), pp.445-453.
- [5] Kochhar S. and Morris, R. J. T., "Heuristic methods for flexible line scheduling", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.6, No.4 (1987), pp.299-314.
- [6] Johri, P. K., "A heuristic algorithm for loading new work on circuit pack assembly lines", *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.10 (1990), pp.1871-1883.
- [7] Leipala, T. and Nevalainen, O.,

- “Optimization of the movements of a component placement machine”, European Journal of Operational Research, Vol.38, (1989), pp.167-177.
- [8] Sohn, J. H. and Park, S. S., “Efficient operation of a surface mounting machine with a multihead turret”, International Journal of Production Research, Vol.25 (1996), pp.1131-1143.
- [9] Crama, Yves, Olaf E. Flippo, Joris van de Klundert, Frits C.R. Spijksma., “The assembly of printed circuit boards : A case with multiple machines and multiple board types”, European Journal of Operational Research, Vol.98 (1997), pp.457-472.
- [10] Klomp, Cornelis, Joris van de Klundert, Frits C.R. Spijksma, Siem Voogt., “The feeder rack assignment problem in PCB assembly: A Case study”, international Journal of Production Economics, Vol.64 (2000), pp.399-407.
- [11] Ohno, Katsuhisa, Zhihong Jin, Salah E. Elmaghraby, “An optimal assembly mode of multi-type printed circuit boards”, Computers & Industrial Engineering, Vol.36 (1999), pp.451-471.
- [12] Crama, Yves, Joris van de Klundert, Frits C. R. Spijksma., “Production planning problems in printed circuit board assembly”, Discrete Applied Mathematics. Vol.123 (2002), pp.339-361.
- [13] Altinkemer, K. and Kazaz, B., Optimization of printed circuit board manufacturing: Integrated modeling and algorithms, European Journal of Operational Research, Vol.124, (2000) pp.409-421.
- [14] 문기주, 정현철, 허지희, “PCB의 효율적인 조립방법에 관한연구”, 「한국경영과학회/대한산업공학회 2003춘계공동학술대회」, SA7.3, (2003)

주 작 성 자 : 문 기 주

논문투고일 : 2004. 10. 25

논문심사일 : 2005. 02. 28(1차), 2005. 04. 27(2차),
2005. 06. 09(3차)

심사판정일 : 2005. 06. 09

● 저자소개 ●



문기주

1978 동아대학교 공과대학 공업경영학과 학사

1989 미국 Iowa State University 산업공학과 박사

1989~1990 한국전자통신연구원 선임연구원

1990~현재 동아대학교 산업경영공학과 교수

관심분야: 컴퓨터시뮬레이션, 조합형최적화, 생산관리컴퓨터응용



장재혁

2001 동서대학교 공과대학 산업공학과 학사

2004 동아대학교 산업공학과 석사

2004~현재 (주)센런연구소 연구원

관심분야: 생산관리, 생산시스템 컴퓨터응용