

PCB부품 자동삽입기의 효율적 삽입경로에 관한 연구

문기주* · 윤상섭** · 김상현***

The study for effective insertion path of PCB surface
mounting machine

Gee-Ju Moon* · Sang-Seop Yun** · Sang-Hyun Kim***

ABSTRACT

For miniaturization of electronic parts and higher productivity, part arrangement job of PCB(printed Circuit Board) has been replaced with complete automated facilities, and contribution which is concerned about this will be expanded continuously. Such part arrangement job of PCB could have lots of influences to entire productivity.

In this paper, effective grouping method of parts is suggested for the effective insertion path job of PCB concerning the constraints to the size of parts.

1. 서론

본 연구에서는 그림 1의 PCB(Printed circuit board) 조립공정상에 여러 가지 전자 부품들을 삽입하는 자동화된 부품자동삽입기(automated insertion machine)를 대상으로 하여 보통 고정되어있는 헤드의 회전시간과 랙이 이동거리 그리고 $x-y$ 테이블의 이동 거리에 대한 함수로서 PCB상의 두 지점 사이의 거리를 정의하였으며 부품별로 삽입되는 수량을 고려한 초기 부품 릴의 삽입하에서 부품의 삽입순서가 고정된 최장지점 삽입

방법(farthest insertion method)이나 그렇지 않은 임의삽입방법(arbitrary insertion method)을 사용하여 초기 부품삽입경로를 구한 후 랙에 대하여 쌍 교환방법(pairwise exchange method) [5]을 적용하여 해를 개선하였다. 하지만 이 전의 연구에서는 부품의 여러 가지 특성들을 무시한 채 모든 부품은 동일한 크기로서 정의하고 동일한 시간에 삽입이 가능하다는 가정하에서 연구를 실시하였다. 그러나 실제로는 부품의 크기에

* 동아대학교 산업시스템공학과 교수

** 동아대학교 산업시스템공학과 박사과정

*** 동아대학교 산업시스템공학과 석사

따라 부품 삽입시간에 차이가 있으며 크기에 따른 삽입순서에 대한 제약조건이 존재한다. 따라서 실제의 알고리즘을 적용하기 위해서는 이러한 제약조건을 추가하여야 하지만 아직 이를 수식화하고 실제 산업현장에서 사용하고 있는 그룹화(grouping)를 통하여 문제를 해결하는 연구는 미진한 편이다. 또한 실제 산업현장에서도 부품크기와 수량에 따라서 일정한 기준 없이 단지 제약조건이 만족되도록 그룹화하는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부품 종류별로 부품의 크기에 따른 제약조건과 삽입되는 부품 수와 부품의 삽입속도 등을 고려하여 부품을 그룹단위로 구분하는 방법을 제시하고 나누어진 그룹에 따라서 일정 기준에 따라 그룹단위별로 부품의 탑재순서를 결정하여 부품종류들을 랙에 삽입시켜 효율적인 공정을 이룰 수 있는 휴리스틱을 개발하고자 한다.

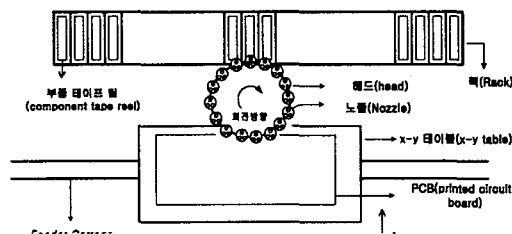


Fig 1. Surface mounting machine with a multihead carousel

2. 부품의 그룹화를 이용한 운영 알고리즘

부품의 그룹화를 이용하여 부품삽입공정의 생산성을 향상시키기 위한 알고리즘은 크게 3 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서 부품의 크기를 고려하여 부품종류를 고정그룹(fixed group)과 임의그룹(arbitrary group)으로 그룹화(grouping)하고 두 번째 단계에서 고정그룹별로 PCB상의 부품삽입순서를 결정을 통하여 임의그룹의 부품종류들의 부품들을 고정그룹에 분산 할당함으로써 완전한 그룹화를 형성하고 이에 따라 랙에 대한 부품 릴들의 초기위치를 설정한다. 마지막 세 번째 단계에서 랙의 부품 릴들을 위치를 쌍교환방법(pairwise exchange method)을 통

하여 초기해를 개선한다.

이를 세부적인 내용으로 표현한다면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

- (1) 부품종류의 그룹화(grouping of component types).
- (2) 부품삽입의 순서(sequencing of component placement).
- (3) 랙의 부품 릴의 할당(arrangement of the rack).
- (4) 초기해의 개선(Improvement of initial solution).

2.1 그룹화 방안

부품종류의 크기에 대한 제약조건을 고려하여 효율적인 그룹화를 위하여 그룹을 크게 2 가지의 종류로 분할한다. 우선 첫 번째 그룹은 제약조건에 의해 같은 그룹으로 묶을 수 없어 각기 다른 그룹으로 형성되어야 하는 부품종류들의 집합으로 이를 고정그룹(fixed group)으로 정의하고 두 번째는 제약조건에 따라서 어느 몇몇의 고정그룹에도 포함될 수 있는 부품종류들의 집합으로 이를 임의그룹(arbitrary group)으로 정의하기로 한다. 실제의 경우에서 이러한 그룹의 분류는 부품의 크기나 수량에 대한 제약조건에 의해 분류되어질 수 있다.

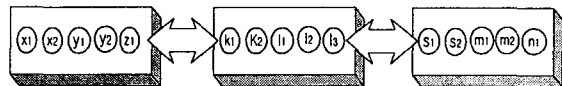


Fig 2. Fix group and arbitrary group

2.2 그룹화 방안의 적용

우선 부품종류의 그룹화는 부품의 크기에 따라 삽입수량에 따라 달라지며 일반적으로 충돌이나 slip away 현상을 방지하기 위하여 크기가 작은 부품들을 우선적으로 삽입함을 원칙으로 한다. 그리고 한 그룹내에서의 부품종류들은 크기에 따른 제약이 없이 삽입할 수 있다고 가정한다.

z 개의 서로 다른 부품의 크기는 보통 8 mm , 12 mm 와 16 mm 그리고 32 mm 이며 이에 따라 여러 종류의 부품으로 나누어진다. 그리고 이에 대한 부품삽입속도는 최대

0.1(sec)에서 0.45(sec) 사이이며 부품종류에 따라 0.12, 0.14, 0.16, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4(sec)의 삽입속도를 가진다. 보통 삽입속도는 크기에 비례하여 증가한다. 일반적으로 8mm와 32mm의 부품종류는 크기의 차이 때문에 같은 그룹으로 형성할 수가 없으므로 각각 하나의 그룹으로 형성하고 크기가 12mm와 16mm인 부품종류들은 어느 그룹에 포함되어도 상관이 없다. 따라서 8mm 크기의 부품종류들을 하나의 그룹으로 32mm 크기의 부품종류들을 또 하나의 그룹으로 형성하고 12mm와 16mm 크기의 부품들을 부품삽입순서를 결정하는 임의삽입방법(arbitrary insertion method)을 통하여 나누어 삽입한다. 따라서 8mm와 32mm의 부품종류들이 각각의 고정그룹으로 설정되며 이 두 가지 고정그룹 어디에 할당되어도 상관이 없는 12mm와 16mm의 부품종류들이 임의 그룹으로 설정된다.

3. 그룹별 부품삽입 순서와 릴의 할당.

부품종류에 대한 그룹화가 2 가지 종류로 나누어지면 이에 따라 PCB상의 부품삽입 순서를 결정하여 완전한 그룹을 형성한다. 부품삽입의 순서를 결정하는 문제화 릴의 할당 문제는 전형적인 순환외판원문제와 이차할당 문제가 된다.

3.1 초기 헤밀턴 순환로 (Hamiltonian cycle)의 구성

이상의 절차를 통하여 부품종류별로 그룹화가 이루어지지 않았으므로 하나의 초기 헤밀턴 순환로(Hamiltonian cycle)만을 설정하여 최장삽입방법(farthest insertion method)이나 임의삽입방법(arbitrary insertion method)을 사용하여 초기의 헤밀턴 순환로를 결정하지만 여기서는 나누어진 각 그룹별로 초기 헤밀턴 순환로를 구성한다.

모든 i 에 대하여 $D_{xy}(i, 0) = 0$ 을 가지는 거리측정 식 (8)을 가지고 경로를 구성하며 가상지점으로부터 첫 번째 삽입지점의 거리

를 측정하기 위하여 $D_{xy}(0, i)$ 는 실제거리를 측정하였다. 여기서 D_{xy} 는 $x-y$ 테이블에 대한 i 에서 j 로의 이동거리를 나타내고 있으며 $d_{(i, j)} = \max\{D_{r(i, j)}, D_{xy(i, j)}\}$ 로 정의한다.

3.2 고정그룹별 전체 헤밀턴 순환로 구성

각각의 고정그룹과 임의그룹이 나누어지고 고정그룹에 대한 초기 헤밀턴 순환로가 구성되었다면 임의그룹의 부품종류들을 고정그룹으로 할당한다. 할당방법은 순환외판원문제에서 상당히 우수하다고 알려진 임의삽입방법(arbitrary insertion method)을 사용하여 거리증가분이 가장 작은 $x-y$ 상의 두 지점 사이에 삽입하여 고정그룹에 삽입시킨다.

따라서 삽입순서는 임의그룹 중 수량이 많은 부품종류의 순으로 하며 만일 임의의 두 지점 i 와 j 사이에 지점 k 가 삽입된다면 이에 대한 거리증가분은

$d(i, k) + d(k, j) - d(i, j)$ 로 표현할 수 있으며 그림 2는 임의삽입방법에서의 거리증가분을 표현하고 있다.

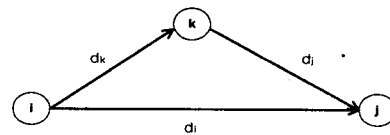


Fig 2. Distance measure of arbitrary insertion method

C_{ijst} 를 한 그룹내의 어느 하나의 부품에 대하여 $C_{0ist} = C_{dst} = 0$ 인 경우를 제외하고 지점 i 로부터 j 로의 $x-y$ 테이블 이동과 랙의 s 로부터 t 로의 이동거리를 나타낸다고 가정할 때 임의 삽입방법의 절차는 아래와 같다.

Step 1. [초기화]

초기의 헤밀턴 순환로 구성

Step 2. [선택]

주어진 하부경로에서 아직 하부경로에 포함

되지 않은 임의의(arbitrary) node k 를 선택.

Step 3. [계산범위 설정]

선택된 임의의 node k 에 대하여 좌·우로 $350\text{ mm}/2$ 와 상·하로 $250\text{ mm}/2$ 의 범위내의 node들을 구성.

Step 4. [삽입]

선택된 node들에서 $c_{ik} + c_{kj} + c_{ij}$ 가 최소화가 되는 node i, j 사이에 k 를 삽입.

Step 5. [반복]

헤밀턴 순환로가 완전히 구성될 때까지 Step 2와 Step 3을 반복.

3.3 랙에 대한 부품 릴의 할당

본 논문에서는 삽입되는 수량이 가장 많은 순서대로 랙에 첫 번째 릴에 차례로 할당하는 방법을 사용하여 우선 임의그룹에서 각 고정그룹으로 묶어진 부품종류와 수량을 동시에 계산하여 이에 따라 고정그룹별로 랙에 할당한다. 동일한 그룹에 포함된 부품들은 부품삽입순서에 아무런 영향을 받지 않는다고 가정하며 수량이 각 고정그룹별로 묶어진 대로 많은 부품종류의 부품 릴을 맨 첫 칸에 할당한다.

4. 초기해의 개선

쌍교환방법(pairwise exchange method)을 사용하여 부품 릴들의 위치교환과 이에 따른 삽입순서의 조정을 동시에 조정함으로써 초기해를 개선하며 그 절차는 다음과 같다.

완전한 헤밀턴 순환로 S 의 구성.

Step 0. [초기화]

부품 릴(component reel) $h = 1$,
 $gain = 0$.

Step 1. [k 의 선정]

$k = h + 1$.

Step 2. [제거]

S 에서 부품 릴 h 와 부품 릴 k 의 부품을 필요로 하는 지점들을 제거하고 총 시간감소분 계산.

Step 3. [재삽입]

- 부품 릴 h 와 부품 릴 k 의 릴 번호를 교환.
- 부품 릴 k 의 부품을 필요로 하는 지점에 대하여 최소시간증가법에 의해 재삽입.
- 부품 릴 h 의 부품을 필요로 하는 지점에 대하여 최소시간증가법에 의해 재삽입.
- 총 시간증가분 계산.
- 새로운 삽입순서 : S^1 .

Step 4. [평가]

- (시간감소분 > 시간증가분) $\Rightarrow S \Rightarrow S^1$,
 $gain = (gain + \text{순 감소시간})$
- (시간감소분 \leq 시간증가분) $\Rightarrow S$ 를 재구성.
- k 를 1증가, if $k \leq R$ then go Step 2.

Step 5. h 를 1 증가

if $h < R$ then go Step 1.
While (gain > 0)

5. 수치실험 및 분석.

5.1 대상모형의 개요

PCB의 크기를 $330 \times 250\text{ mm}$ 으로 하고 $x-y$ 테이블의 이동단위를 0.01 mm 로 하여 각각의 N 개의 좌표를 서로 중복되지 않도록 랜덤(random) 함수를 사용하여 삽입되는 부품 수량을 200개, 250개 그리고 300개로 서로 달리하여 생성하고 각 수량에 대하여 부품 종류의 수를 달리하였으며 $x-y$ 테이블의 단위당 이동거리를 20 mm 와 40 mm 로 하여 각각의 실험을 여러 번 되풀이 함으로서 본 논문에서 제시된 알고리즘과 부품종류별로 그룹화하는 기존의 연구의 결과 [13]와 비교하였다. 이들의 연구에서는 부품종류들의 수량을 중심으로 하여 그룹화하여 이에 임의삽입방법을 이용하여 부품의 배치 순서를 결정하였다.

실험모형을 설계함에 있어서 모든 지점들 i 에 대하여 각 $C_{0ist} = C_{dst} = 0$ 으로 가정함으로써 각 지점간의 이동거리를 대칭적인 헤밀턴 순환로로 구성하여 계산하였으며 제시된 알고리즘을 실행할 때 삽입되는 지점

Table 1. Computational results of P(200)

	$x-y$ 테이블의 이동거리	알고리즘	초기해	최종해	CPU time
$P(200)-1$	20 mm	제안모형	486.45	450.67	189
		기존모형	552.01	517.88	203
$P(200)-2$	20 mm	제안모형	521.23	488.82	212
		기존모형	583.14	530.69	231
$P(200)-3$	20 mm	제안모형	462.57	429.85	178
		기존모형	512.06	432.58	193
$P(200)-4$	40 mm	제안모형	469.21	425.65	233
		기존모형	489.25	442.26	260
$P(200)-5$	40 mm	제안모형	501.98	458.96	226
		기존모형	533.84	501.23	252
$P(200)-6$	40 mm	제안모형	511.63	489.35	211
		기존모형	533.22	510.74	239

들의 삽입가능 위치를 제한하였다. 임의삽입방법에서 지점 k 가 두 지점 i 와 j 사이에 삽입되는 경우 만일 지점 i 와 j 에서 필요한 부품의 릴이 지점 k 에서 필요한 부품의 릴로부터 멀리 떨어져 있다고 한다면 랙의 이동시간이 증가하므로 시간의 증가분이 커질 것이다. 따라서 지점 k 의 릴 번호와 지점 i 와 j 의 릴 번호의 차이가 5이하인 경우만 삽입가능하도록 제한하였다.

마지막으로 쌍 교환방법시 종료조건으로는 $gain \geq 1$ 하여 이에 해당하는 경우 프로그램을 종료시키도록 하였다.

5.2 실험결과 및 분석

표 1과 표 2는 각각 삽입되는 부품의 수가 200개일 때와 250개 일 때의 $x-y$ 테이블의 이동거리에 대한 결과치들을 요약한 표이다. 위의 표에서 보듯이 제안된 모형의 결과값이 기존의 모형에 의한 값들보다 일관되게 우수함을 보이고 있으며 제안모형에서의 평균과 기존모형의 평균을 비교해보면 10%이상 향상된 것을 볼 수 있다.

그리고 계산시간의 측면에서도 기존의 모형보다 우수하게 나타나고 있는데 이는 고정 그룹별로 완전한 헤밀턴 순환로를 구성할 때 임의삽입방법을 사용시 일정범위 만큼만 계산하도록 함으로서 계산량을 감소시킨 결과이다. 본 수치실험에서 초기해는 쌍 교환방

법을 적용하기 이전에 완료된 총 이동거리를 말하며 최종해는 쌍 교환방법이 이루어진 후의 총 이동거리를 의미고 CPU time의 단위는 (초)이다.

6. 결론

본 논문에서는 PCB 제조공정의 생산성을 향상시키기 위하여 PCB상에 부품을 삽입하는 여러 개의 헤드를 가지는 자동삽입기의 효율적인 운영을 위한 휴리스틱을 제시하였다. 이는 다품종 생산체제에서 효과적인 부품의 삽입순서와 랙의 릴을 할당방법을 통하여 PCB의 제조공정에서 많은 시간을 차지하는 부품 삽입시간을 단축함으로써 전체적인 공정의 효율성을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다. 이전의 헤드가 하나의 경우의 자동삽입기의 경우에는 로봇 암의 움직임이 느리기 때문에 로봇 암의 이동시간 동안 랙과 $x-y$ 테이블이 더 많이 움직일 수 있었으나 현재의 여러 개의 헤드를 가지는 자동삽입기의 경우에는 헤드의 움직임이 빨라짐으로서 랙과 $x-y$ 테이블이 이동할 수 있는 범위가 축소되었다. 따라서 효율적으로 부품의 삽입순서와 릴의 삽입순서를 결정하는 알고리즘이 더욱 중요하게 되었다. 이와 같은 이유로 부품의 삽입순서를 순환외판원 문제로 릴의 삽입순서를 이차할당문제로 정식화하여 기존의 휴리스틱을 개선하였다.

그리고, 부품의 크기별로 임의그룹과 고정 그룹으로 나누어 임의삽입방법을 사용하여 임의그룹의 부품들을 효율적으로 분산 삽입함으로써 실제 산업현장에서 발생하고 있는 큰 부품들 사이에 작은 부품을 삽입하는 경우 충돌이나 미끄러짐현상이 발생하게 되는 부품의 크기에 따른 삽입 순서의 제약을 완화시킴으로써 운용의 효율성을 증가시키려 하였다.

삽입순서를 좀더 동시에 고려함으로써 초기 해가 더욱 효율적으로 될 수 있음을 의미하므로 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

Table 2. Computational results of P(250)

	$x-y$ 테이블의 이동거리	알고리즘	초기해	최종해	CPU time
P(250)-1	20 mm	제안모형	523.29	488.37	210
		기존모형	556.98	511.76	251
P(250)-2	20 mm	제안모형	532.08	520.48	248
		기존모형	561.81	523.21	266
P(250)-3	20 mm	제안모형	508.63	475.21	193.
		기존모형	533.39	517.02	222
P(250)-4	40 mm	제안모형	514.44	456.38	232
		기존모형	580.32	553.62	241
P(250)-5	40 mm	제안모형	542.69	514.74	187
		기존모형	577.36	535.51	217
P(250)-6	40 mm	제안모형	581.02	546.85	196
		기존모형	605.33	577.23	205

이에 따라서 각 그룹별로 $x-y$ 테이블의 이동거리가 최소가 되도록 하였으며 이를 바탕으로 릴의 반복적인 교환을 통하여 해를 개선하였다. 그리고 계산시간을 감소시키기 위하여 고정그룹별로의 전체 해밀턴 순환로를 구성함에 있어 임의의 지점이 삽입되는 경우 모든 경로에 대하여 계산하지 않고 일정 범위에서만 거리증가분을 계산하도록 함으로써 계산량을 감소시켰다.

앞의 수치예제를 통하여 제시된 휴리스틱이 초기해와 쌍 교환방법에 의한 최종해가 우수하게 나타났으며 계산시간 또한 감소됨을 알 수 있다. 이는 PCB 제조공정에 있어서의 생산성 향상에 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미하며 헤드의 움직임이 빠를수록 개선과정의 효과는 증가될 것이다.

추후 연구과제로서는 초기의 릴 할당이 효율적으로 이루어질 수 있는 방법 없이 삽입되는 부품의 수량을 기준으로 하여 많은 순서로 삽입하였다. 이는 부품삽입순서와 릴의

참고문헌

- [1] 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.
- [2] Maimon, O., and Shtub, A., Grouping method for printed circuit board assembly, International Journal of Production Research, Vol. 38, pp. 1397-1390, 1991.
- [3] Leipala, T., and Nevalainen, O., Optimization of the movements of a component placement machine, European Journal of Operational Research, Vol. 38, pp. 167-177, 1989.
- [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] Heider, C.H., A computational simplified pair-exchange algorithm for the quadratic assignment problem, Paper No.101, Center for Naval Analyses, Arlington, Virginia, USA, 1972.
- [6] Burkard, R.E., Quadratic assignment problems, European Journal of Operational Research, Vol. 15, pp. 283-289, 1984.
- [7] Carmon, T.F., Maimon, O. Z. and Dar-el., Group set-up for printed circuit board assembly, International Journal of Production Research. Vol. 27, pp. 1795-1810, 1989.
- [8] Vellanki, M. and Dagli, C. Artificial neural network approach in printed circuit board assembly, Journal of Intelligent manufacturing, Vol, 4, pp. 109-119, 1993.
- [9] Robertde Souza and Wu Lijun, Intelligent optimization of component insertion in multi-head concurrent operation PCBA machines, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 6, pp. 235-243, 1995.
- [10] Chang, T.C. and Terwilliger, J. Rule-based system for printed writing assembly process planning, International Journal of Production Research, Vol. 25, pp. 1465-1482, 1987.
- [11] Park, S.S., and Sohn, J. H., Efficient operation of a surface mounting machine with a multihead turret, International Journal of Production Research, Vol. 34, pp. 1131-1143, 1996.
- [12] Javard Ahmadi and Hirofumi Matsuo & Devanath tirupati, Component fixture positioning/sequencing for printed circuit board assembly with concurrent operations, Operations research, Vol. 43, pp. 444-457, 1990.
- [13] L.R Foulds and H.W. Hamacher, Optimal bin location and sequencing in printed circuit board assembly, European Journal of Operational Research, Vol. 66, pp. 279-290, 1983.
- [14] R.L. Francis and H.W. Hamacher and C.-Y. Lee and S. Yeralan, Finding placement sequences and bin locations for cartesian robots, IIE Transactions, Vol. 26, pp. 47-59, 1994.
- [15] Avraham shtub and Oded maimon, Role of similarity measures in PCB grouping procedures, International Journal of Production Research, Vol. 30, pp. 973-983, 1992.
- [16] Kusiak, A., The generalized group technology concept, International Journal of Production Research, Vol. 25, pp. 561-569. 1987.
- [17] Grotzinger and Stephen, feeder assignment models for concurrent placement machines, IIE Transactions, Vol. 24, pp. 31-46, 1992.
- [18] Garey, Michael R., and Johnson, Davis S., Computers and Intractability : A Guide to the Theory of NP-Completeness, W.H. Freeman, San Francisco, 1979.
- [19] Drezner, A., and Nof, S., On optimizing bin packing and insertion plans for assembly robots, IIE Transactions, Vol. 16, pp. 262-270, 1984.
- [20] 이상복, 강석호 "PCB 삽입 경로 및 부품함 위치배정 연구", 한국경영과학회지, Vol. 19, pp1-16, 1994.
- [21] 강맹규 저 "네트워크와 알고리즘" 박영사, 1991.