

동일부품 집단화현상을 이용한 PCB 자동조립기 랙과 기판의 이동거리 최소화

문기주[†] · 정현철

동아대학교 산업경영공학과

Minimization of Rack and Board Moving Distance of PCB Assembler using Neighboring Positioned Identical Components

Geeju Moon · Hyunchul Jung

Dept. of Industrial and Management Systems Eng., Dong-A University, Busan, 604-714

PCB assembly is a complicated and difficult process to optimize due to the necessity of simultaneous consideration of component's rack assignment and board mounting sequencing. An efficient PCB assembly method is developed by using neighboring positioned identical components information as well as quantity and size of the components. It is found that same type of components are located closely each other by checking real PCBs and interviewing with PCB designers in practice. Better performance of the developed procedure is obtained along with more number of total components and more number of neighboring positioned identical components cases. Simulation models are developed using Visual C++ for performance evaluation purposes of the suggested heuristic.

Keyword: PCB, TSP, simulation, optimization, 인쇄회로기판

1. 서론

전자산업의 발전과 더불어 여러 산업분야에 인쇄회로기판(PCB : Printed Circuit Board)의 사용이 보편화되고 있다. 초기의 PCB 산업은 노동집약 산업으로 시작되었으나 현재에는 고도의 자동화장비를 필요로 하는 첨단산업으로 변모하였다. 현재 PCB는 컴퓨터, 가전제품, 휴대폰 등을 비롯한 각종 통신장비, 카메라, 의료장비 등 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다. 그러나 최근 인건비의 급격한 상승과 동일업종간의 과다경쟁으로 인해 기업 운영에 많은 어려움을 겪고 있으며, 생산원가의 절감을 위해 자동화 설비의 효율을 증진시키기 위한 노력이 이루어지고 있다.

PCB 조립공정은 다양한 형태의 부품 자동삽입기 혹은 SMD

(Surface Mount Device)와 같은 자동화기기들로 구성되는데, 이들의 효율적인 운영은 생산성 향상으로 직결되는 매우 중요한 과제이다. 특히, 부품을 기판에 장착하는 표면장착 공정은 자동조립기 운영의 주요부분을 차지하고 있으며 전체 공정에서 많은 시간을 차지하므로 효율적인 운영방안에 대한 연구가 필요하다. 표면장착 공정에서는 다양한 부품을 하나의 기판에 장착하게 되어 매우 많은 문제점들이 발생하게 된다. 장착되는 부품의 크기를 장착순서 결정 시 고려해야 하며, 기판의 움직임과 장착부품의 공급원인 랙(rack)의 움직임을 동시에 고려해야 하기 때문에 매우 난이도가 높은 최단경로설정 문제라고 하겠다. 이 문제는 TSP(traveling salesman problem)의 일종이나 랙의 이동이 동시에 고려되어야 하는 것으로 기판상의 부품위치정보가 해법의 수행도에 매우 큰 영향을 미치게 된다.

본 연구는 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2003-000-11097-0).

[†]연락처 : 문기주 교수, 604-714 부산시 사하구 하단동 840 동아대학교 산업경영공학과, Fax : 051-200-7695

E-mail : gjmoon@donga.ac.kr

2004년 11월 26일 접수, 3회 수정 후 2005년 6월 7일 게재 확정.

부품의 위치정보를 고려한 이전 연구가 있기는 하나 부품들이 임의로 기관 전체에 산재해 있는 것으로 가정하고 있어 현실성을 떨어뜨리고, 또한 실제 적용 시 실험실 결과와 같은 좋은 수행도를 얻을 수 없다. 본 연구를 통하여 현실에서의 PCB들을 조사 및 분석하고 설계자들을 면담한 결과 기관상에는 동종의 부품들은 서로 모여서 배치되는 경향이 있음을 확인하였으나 이전의 연구에서는 이를 고려하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 부품의 크기와 기관상의 위치정보, 부품의 종류 간 상호근접도 및 동종부품 근접배치정보를 이용한 랙과 기관의 이동거리 최소화방법을 개발하였다. 이와 같은 해법은 TSP라고 부르는 전형적인 조합형 최적화문제 중의 한 가지이나 그 적용분야는 생산현장에서의 작업순서 결정에서부터 택배회사의 배송순서결정과 설비배치안 개발 등에 이르기까지 매우 폭넓게 사용될 수도 있는 것이다.

2. 연구동향

PCB 생산에 관련된 연구들 중 공정상의 생산성향상을 추구한 것들을 먼저 간략히 살펴보면 Johri(1991)는 PCB 조립라인에 대한 최적설계에 관한 연구를 수행하였으며, Ham *et al.*(1994)은 조립라인의 평준화를 연구하였고, Kung and Changchit(1991)은 시스템 성능을 향상시키기 위한 방안으로 PCB 조립라인에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 그리고 Pardhy and Dwivedi(1992)는 객체지향의 패러다임(paradigm)을 기본으로 지식기반 시스템을 활용한 PCAAD(printed circuit board assembly advisor)를 그리고 Johri(1990)는 납기와 작업준비시간을 고려하여 작업순서를 결정하는 알고리즘을 개발하였다.

조립기운행 연구에는 Leipala and Nevalainen(1989)가 있으며 이는 하나의 헤드를 가지는 PCB 조립기로 부품공급장치의 위치결정 순서를 고려하고 부품장착순서를 결정한 것이다. 이를 Sohn and Park(1996)은 여러 개의 헤드를 가지는 기계로 확장하였으며, Leipala and Nevalainen(1989)의 수리적 모형과 거리측정식을 알맞게 수정하였고, 부품장착순서를 개선한 해를 구성하였다. Crama *et al.*(1997)은 부품 자동삽입기의 부품공급장치에 설치된 랙은 부품을 할당받지 못하고 비어 있는 랙이 발생하게 되어 랙의 이동 시 연속적인 이동거리가 가장 멀어지는 부품을 찾아 빈 공간의 랙에 부품을 다시 한번 중복할당하는 방법을 사용하였다. Moon and Lim(2001)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. 그러나 이들 연구에서는 부품의 위치좌표 및 부품크기 등에 대한 정보를 랜덤하게 생성하거나 실제 데이터를 적용하더라도 부품 그룹을 형성하거나 방법을 적용하는 데 있어 단순한 근접도 평가결과 및 부품개수에 대한 간단한 정보만을 사용하여 PCB 조립장비의 수행도

개선에 한계를 보이고 있다.

이 기관조립문제는 Christopher *et al.*(1991)이 입증한 것처럼 NP-hard에 속하는 것으로 효율적인 해법의 개발이 매우 어렵다. 테이블의 움직임만을 고려하면 일반적인 TSP가 되나, 해당 방문지에 꼭 맞는 부품이 공급되어야 하며 이를 위해 부품공급슬롯이 해당 위치로 이동되어야 하므로 문제의 해결에 어려움이 생긴다. 이 문제는 부품을 집어서 순서대로 장착하는 것이므로 VRP(Vehicle Routing Problem)와도 상통하고 있다.

3. 대상 문제의 개요

본 연구의 주 대상인 PCB 자동조립기의 전형적인 형태는 Sohn and Park(1996), Crama *et al.*(1997, 2002), Moon and Lim(2001), Altinkemer and Kazaz(2000) 등에서 소개된 것과 같으며 개념도는 <그림 1>과 같다. 여러 논문들에서 다루고 있는 이 장비는 Panasert MSH-II, Fuji CP-II와 CP-IV 같은 터렛(turret)에 여러 개의 헤드(head)를 장착한 기계이며, 각 장치의 주요특징은 다음과 같다.

- ① 헤드 : 12개의 헤드가 있으며 원형 테이블 형태로 구성. 부품은 오른쪽으로 회전이동하며, 삽입공정을 위해 대기하게 된다. 헤드는 랙에서 부품을 하나 집고 회전운동을 통해 기관 위의 한 지점에 부품을 삽입하게 된다. 원형 테이블은 한번에 30°씩 이동하게 되며, 회전속도는 0.15초가 소요되며 부품을 삽입하는 데 소요되는 시간치는 0.15초이다.
- ② 랙 : 랙은 각각의 고유 슬롯마다에 100개의 서로 다른 부품을 포함. 헤드가 슬롯(slot)으로부터 원하는 부품을 집을 수 있도록 x축에서 0.15초/1슬롯의 속도로 이동
- ③ X-Y 테이블 : 기관을 잡고 있는 테이블이며 x축과 y축 방향으로 동시에 독립적으로 이동 가능(20mm/0.15초당)

랙은 장치의 종류에 따라 부품의 종류를 100~150개까지 수용할 수 있으며, 각 슬롯에는 부품 형태별로 릴(reel)이 배정되어진다. 랙은 한 단위 시간에 한 칸만 이동 가능한 반면, X-Y 테이블은 상하좌우 20mm까지 이동 가능하다. 랙은 부품을 헤드로 공급하며, X-Y 테이블은 부품이 장착될 지점으로 기관을 이동시킨다. 그러면 헤드는 랙으로부터 공급되어진 부품을 기관에 장착한다. 동일부품의 여러 개 슬롯들에 중복 배정은 높은 릴의 가격과 재고유지비용 등을 이유로 고려하지 않는 것이 일반적이다. 그러므로 본 연구에서는 동일부품을 중복배정하는 것은 고려하지 않는다. 자세한 내용은 Klomp *et al.*(2000)을 참고하기 바란다.

본 연구의 대상시스템의 각 구성기계들(랙, 헤드, X-Y 테이블)은 동일한 시점에 각각 독립적으로 이동되며, 하나의 부품을 삽입하는 데 소요되는 시간은 각각의 이동거리 산정치들

중 가장 큰 값을 적용한다. 이 값을 슬롯의 한 칸 이동 시 소요되는 한 단위 시간 동안 이동 가능한 거리인 20.0mm로 나누어서 소요되는 단위시간을 산출한다. 다시 기판이동에 소요되는 이 시간치와 해당부품을 공급하기 위해 슬롯이동에 소요되는 단위시간을 비교하여 큰 값을 선택한다. 이 선택된 값이 이번 부품을 기판에 장착하는 데 필요한 시간치가 된다. 궁극적으로는 이 시간치들의 합계가 최소가 될 수 있는 슬롯배정 및 부품장착 순서의 결정방법을 찾는 것이 유사 연구들의 주 목적이 된다. 한 개 기판의 조립에 소요되는 시간의 계산식은 다음과 같다.

$$\sum d_{i,j} \quad \text{단, } d_{i,j} = \max \{ R_{i,j}, B_{i,j} \}$$

$$R_{i,j} = |r_i - r_j| / v$$

$$B_{i,j} = \lfloor \max \{ |x_i - x_j| / w, |y_i - y_j| / w \} \rfloor$$

여기에서,

$d_{i,j}$: 부품 i 장착 후 부품 j 장착에 소요되는 단위시간 (단위거리)

r_i : 랙에서 부품 i 의 슬롯위치($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

x_i, y_i : 기판에서 부품 i 의 위치좌표

$R_{i,j}$: r_i 에서 r_j 까지 랙의 이동에 소요되는 단위시간 (단위거리)

$B_{i,j}$: 부품 i 에서 부품 j 까지 $x-y$ 테이블의 이동에 소요되는 단위거리

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

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

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

i, j : 기판에서 장착순서상 i 는 현 장착 부품번호, j 는 후속장착 부품번호

품의 형태별로 임의의 생성하거나 실제 자료를 사용하더라도 부품 그룹을 형성하거나 방법을 적용하는 데 있어 단순한 근접도 평가결과 및 부품개수에 대한 간단한 정보만을 사용하였다. 본 연구에서는 전자회로 설계 전문가와 회로의 선과 부품을 최적화시키는 아트워크(artwork) 작업을 하는 전문가들의 면담, 그리고 PCB를 생산하고 있는 기업들에서 수집한 자료 및 실제 PCB 상의 부품들에 대한 위치분석 과정을 거쳐 동일한 부품의 종류들이 기판상에 근접하여 분포하는 현상을 확인하였다. <그림 2>와 <그림 3>에서와 같이 동종의 부품이 근거리에서 모여 배치되는 현상은 어떤 종류의 기판에서나 발견할 수 있는 현상이며 기판의 설계자들도 기판의 설계 시에 그렇게 하고 있음을 확인해 주었다. 제품상에서의 확인은 손쉽게 구할 수 있는 기판들을 중심으로 수행하였으며, 보다 다양하고 많은 기판들에 대한 분석은 설계도면의 누출은 회사 극비사항으로 가능하지 않았다. 실제 PCB 상에서 부품들이 장착되는 위치는 입·출력단자와 마이컴 사이에 위치한 회로에서 신호의 증폭, 변환 등을 위한 회로가 요구되어지며, 신호의 잡음을 제거해 주기 위해 입·출력단자 주위에 여러 부품들이 집단을 이루어 장착되어지게 된다. 특히 저항과 콘덴서 다이오드와 같은 부품들이 마이컴과 입·출력단자 사이의 회선에 집중되어 분포하는 것으로 조사되었으며, 이들 집단화현상을 보이는 부품들은 전체 부품의 50%에서 많게는 70% 정도에 이르는

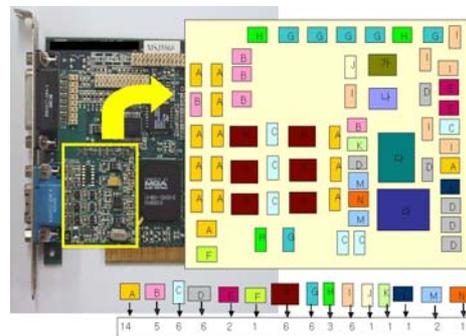


그림 2. PCB 부품의 위치정보 분석.

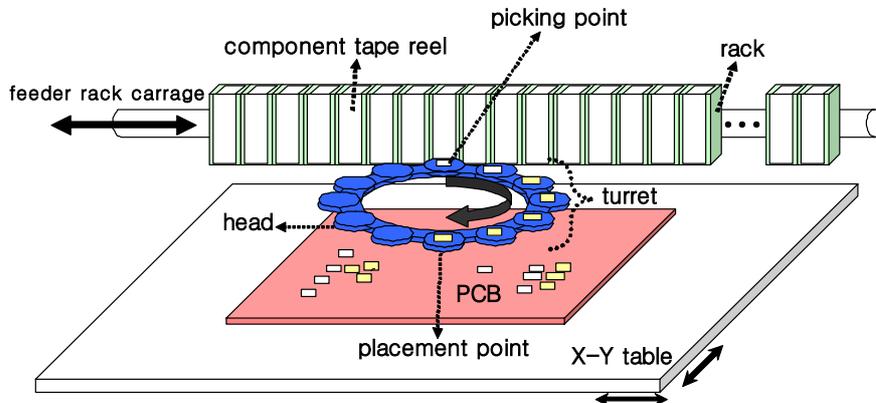


그림 1. PCB 자동조립기의 개념도.

Ahmadi and Mamer(1999), Sohn and Park(1996) 등 기존의 연구들에서는 부품의 위치좌표 및 부품크기 등에 대한 정보를 부

것을 알 수 있었다. 동종의 부품들이 특정한 구역에 밀집되어 분포하는 현상은 부품 종류별로 릴을 탑재하고 있는 랙의 움직임에 직접적인 영향을 미치므로 자삽기와 SMD를 이용한 PCB 조립공정의 부품장착순서 결정 시 반드시 고려되어야 할 중요한 정보이다.

동종 부품들이 실제 모여서 분포하고 있는 정도를 알아보기 위하여 <그림 2>에서와 같은 기관을 대상으로 부품의 위치정보를 분석하였다. 이 기관에 장착되어진 부품의 종류는 총 30 가지이며, 부품의 수는 약 120개이다. 여기에서 기관이 한 단위 이동거리 내에 닿을 수 있는 위치에 배치되어진 부품은 10종류이고, 60개의 부품이 모여 있는 것으로 볼 수 있다. 이와 유사한 형태의 조립된 기관과 부품장착 전의 인쇄회로기판을 추가로 <그림 3>에 예시해 두었다. 기존의 연구에서는 개발된 해법의 평가 시 이러한 동종부품의 집산화 배치에 대한 고려 없이 임의로 부품의 위치를 생성시켜서 적용하였으므로 해법의 현실 적용 시 수행도가 떨어지게 되는 문제점을 안고 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 집산화 배치된 경우에 높은 수행도를 보이는 해법을 개발하였으며, 수행도 평가 시 사용할 수 있도록 특정 부품들이 일정한 구역에 집단 분포하도록 자료파일을 생성하는 프로그램을 구축하였다. 집산화되는 부품은 총

부품의 40%~50%, 부품의 종류로는 20%~30% 정도가 되도록 설정하였다.

4. 집단화를 고려한 이동거리의 최소화

동종부품의 집단화를 고려한 랙과 기관의 이동거리를 최소화하기 위해 먼저 부품의 크기정보와 근접도 정보를 이용하여 전체 부품을 두 개의 그룹으로 나눈다. 다음은 각 그룹별로 집산화현상을 보이는 것과 일반부품, 그리고 부품별 근접도 평가결과를 이용하여 기관상 1회 순환 장착되는 하나의 그룹을 구성한다.

4.1 근접도평가 및 부품의 분류

랙의 칸에 부품을 할당하기 위해 우선 각 부품의 종류별로 X-Y 테이블의 이동거리를 고려한 근접도 매트릭스를 작성한다. 이것은 한 단위 이동거리 내에 위치하고 있는 부품들의 개수를 형태별로 세어서 근접도를 평가하는 방법이다. 특정 두 부품형태 사이의 근접도 평가는 다음과 같이 수행한다. 먼저



그림 3. 기관의 예시.

표 1. 부품의 기관 상 배치정보

형태	장착좌표
A	A1(2,38), A2(5,28), A3(5,32), A4(2,26), A5(5,26), A6(2,20), A7(5,20), A8(13,3), A9(13,5), A10(4,8), A11(23,25), A12(23,19), A13(23,14)
B	B1(9,41), B2(9,38), B3(9,33), B4(2,32)
C	C1(14,26), C2(14,19), C3(14,13), C4(25,5), C5(27,5)
D	D1(37,34), D2(38,19), D3(40,20), D4(40,8), D5(40,8), D6(40,5)
E	E1(40,35), E2(40,31)
F	F1(19,26), F2(9,20), F3(9,13), F4(18,26), F5(18,20), F6(18,13)
G	G1(16,45), G2(21,45), G3(25,45), G4(29,45), G5(38,45), G6(16,6)
H	H1(12,8), H2(12,45), H3(34,45)
I	I1(42,45), I2(37,41), I3(41,40), I4(38,27), I5(40,23), I6(26,39), I7(26,33)
J	J1(27, 14)
K	K1(27,17), K2(27,10)
L	L1(40,16)
M	M1(40,28), M2(40,13)

조립대상 기판 상에 배치된 부품들에 대하여 각 부품을 기준으로 상하좌우 한 단위 이동거리, 즉 20mm 내에 있는 부품종류별 개수를 모두 센 후 <표 2>의 매트릭스에서 두 형태 부품이 만난 칸에 누계 기록해 나간다. 최종적으로 이 누계된 값은 두 개의 특정 부품형태가 얼마나 빈번하게 기판 상에서 한 단위 이동거리 내에 배치되어 있는가를 나타내게 된다. 이 근접도 매트릭스의 작성 예를 보이기 위해 <표 1>에는 기판상의 부품배치정보, 그리고 <표 2>에는 완성된 근접도 매트릭스를 예시하였다.

기존의 연구에서는 근접도평가에 동종 부품들에 대한 근접도를 고려하지 않고 있지만, 같은 종류의 부품들이 일정한 구역에 밀집되어 분포하는 특성을 반영하기 위해 동종부품의 근접도도 고려하도록 하였다. 본 연구에서는 부품수량이 많은 부품과 동종부품 간 근접도가 높은 부품을 활용할 수 있도록 랙의 할당을 설계하였다. 근접도 매트릭스를 작성하기 위해 PCB 상의 모든 부품장착위치들 간의 이동거리를 계산하여 X-Y 테이블의 단위 이동거리로 변환하여 각각의 부품형태별로 근접도를 계산하게 된다. 단 탐색범위는 PCB의 크기를 초과하지 못하며, 모든 배치지점들을 탐색하여 부품종류별로 종합한 결과를 근접도 매트릭스 상에 표기하여 파악하는 방법을 적용하게 된다. 부품의 좌표는 (x_i, y_i) 로 표기한다. 이들 좌표는 실제의 거리를 단위거리로 변환하여 사용한다(Moon and Lim, 2001).

표 2. 작성된 근접도 매트릭스

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	114	42	43	15	5	78	28	22	25	3	6	3	0
B	42	12	10	0	0	24	12	6	6	3	5	0	0
C	43	14	16	8	2	30	13	7	9	5	10	2	2
D	15	0	10	20	9	0	4	2	26	5	10	5	10
E	5	0	2	9	2	0	6	2	14	2	4	2	4
F	78	24	30	0	0	30	20	12	12	6	12	0	0
G	28	13	13	4	6	20	18	10	24	1	2	0	6
H	20	6	7	2	2	12	10	0	9	1	2	0	2
I	0	6	9	26	14	12	24	9	42	5	9	6	10
J	3	3	5	5	2	6	1	1	5	0	2	1	2
K	6	0	10	10	4	6	2	2	9	2	2	2	4
L	3	0	1	6	2	0	0	0	6	1	2	0	2
M	0	0	0	10	4	0	6	2	10	2	4	2	2

기판의 자동조립 작업 시 헤드가 선장착된 부품에 충돌하거나 미끄러짐 현상 등이 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 부품그룹을 형성시킨다. 먼저 부품크기에 대한 제약조건을 고려하여 일반적으로 시행하는 것과 같이 대, 중, 소의 3가지로 구분한다. 이름과 같이 소그룹의 부품들은 크기가 작은 것, 대그룹은 크기가 큰 것들로서 작은 부품들이 우선 작업되

고 큰 부품이 작업되어야 한다. 중그룹은 소그룹이나 대그룹 중 어느 그룹에도 포함될 수 있는 중간 크기의 부품들이다. 이 부품들은 대그룹과 소그룹 어느 곳에도 갈 수 있으므로 근접도 평가 결과를 고려하여 근접도가 가장 높은 부품이 포함된 그룹으로 할당한다.

1차적으로는 일반적인 경우와 같이 3종류로 분류하나 중간에 속한 크기의 부품들은 근접도에 있어서 상관관계가 높은 그룹으로 재편해 넣음으로써 <그림 4>와 같이 소와 대의 두 그룹으로 나누어지게 되며, 이후의 작업은 소그룹과 대그룹의 순으로 독립작업을 하게 된다. 소그룹과 대그룹으로 분류되고 난 후에는 소그룹에서의 랙 배정 및 기판이동방법이 대그룹에서도 변동없이 그대로 적용되어 동일하게 사용된다.

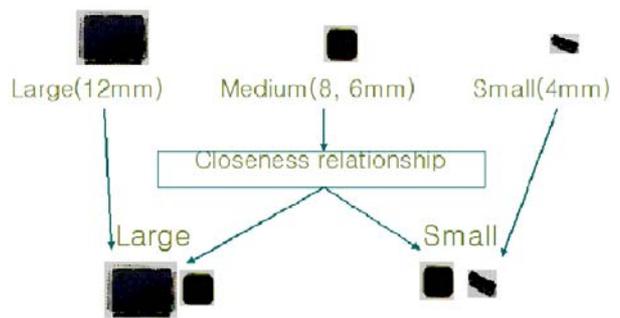


그림 4. 부품크기에 따른 그룹의 분류.

4.2 1회 순환장착그룹의 구성 및 기판의 이동

랙의 슬롯에 부품의 배정은 근접도 평가결과 및 부품종류별 부품개수를 기초로 하여 수행된다. 부품들 간의 근접도 평가 결과를 기준으로 근접도가 높은 부품들이 서로 이웃하게 랙상에 배치되도록 한다는 것이 기본적인 사고이며, 이 때 동종부품들 간의 근접도 평가결과도 고려하게 된다. 부품을 랙을 배정하기 위해 부품의 개수가 많은 종류와 그렇지 못한 경우로 나누고, 이후 각 부품들 간의 근접도 평가결과, 그리고 집단화 형성 여부를 고려하여 5개의 슬롯을 하나의 그룹으로 부품을 배정하는 방법을 적용하였다.

5개의 슬롯을 하나의 그룹으로 형성하는 주된 이유는 두 가지들을 들 수 있다. 먼저 기판조립에 필요한 개수가 상대적으로 작은 부품종류를 조립하는 데 소요될 불필요한 이동시간을 최소화하기 위한 것과 집단화되어 있는 동종의 부품 처리 시 근접해 있는 다수의 부품을 처리하기 위한 것이 있다. 기판조립에 소요되는 개수가 많지 않은 부품종류는 개수가 많은 종류 중 자신과 근접도가 높은 것과 인접한 슬롯에 배치되어야 불필요한 이동을 최소화할 수 있다. 또한 동종의 부품으로 여러 개가 한 단위 거리 내에 모여 있는 집단화 부품들은 그 조립을 위한 이동 시 주위에 있는 개수가 많은 부품종류 중 근접도가 높은 것을 인접슬롯에 배치하여 처리하여야 불필요한 랙의 이동을 최소화할 수 있기 때문이다. 이와 같이 1회 작업슬롯의 개수

를 5개로 늘리면 2개 슬롯을 1회 작업으로 하는 것에 비해 기관 상에서 순환하게 되는 횟수가 줄어드는 효과도 아울러 기대할 수 있다. 이 5개의 슬롯을 하나의 작업그룹으로 하여 X-Y 테이블을 순회하며 부품을 장착하게 된다. 이 과정을 세부적으로 나타내면 다음과 같다. 이 과정을 세부적으로 나타내면 다음과 같다.

- 단계 1: 슬롯위치 $i = 0$ 으로 둔다. 집단화된 것(집합 I)과 아닌(집합 II) 2개의 그룹에서 각각 부품형태별 부품개수를 기준으로 내림차순 정렬한다. 집합 II는 내림차순 정렬 후에는 중위수를 기준으로 개수가 많은 것과 개수가 적은 것 두 가지로 구분한다.
- 단계 2: $i = i + 1$. 집합 II에서 개수가 적은 것에 속하는 부품 중 초기 장착지점과 가장 가까운 위치에 있는 부품을 슬롯 i 에 배정한다.
- 단계 3: $i = i + 1$. 집합 II에서 부품수량이 많은 것들 중 슬롯 $i - 1$ 의 부품과 근접도가 가장 높은 부품을 선택하여 슬롯 i 에 배정한다.
- 단계 4: $i = i + 1$. 만일 집단화된 부품이 더 이상 없으면 단계 6으로 이동하고 $i = i - 1$. 만일, 집단화된 부품이 있으면 슬롯 i 에 집합 I(집단화된 부품) 중에서 슬롯 $i - 1$ 과 근접도가 가장 높은 부품을 선택하여 배정한다.
- 단계 5: $i = i + 1$. 집합 II에서 부품수량이 많은 것들 중에서 슬롯 $i - 1$ 의 부품과 근접도가 가장 높은 부품을 선택하여 슬롯 i 에 배정한다.
- 단계 6: $i = i + 1$. 집합 II에서 부품수량이 적은 것들 중에서 슬롯 $i - 1$ 의 부품과 근접도가 가장 높은 부품을 선택하여 슬롯 i 에 배정한다.
- 단계 7: 배정될 부품이 있으면 단계 2로 간다.

위의 단계를 그림으로 나타내면 <그림 5>와 같다. 부품의 랙 배정은 부품개수가 많은 부품들과 집단화되어 분포하고 있

는 부품을 최대한 활용할 수 있도록 장착순서를 결정하되, 최종단계에서 랙과 X-Y 테이블의 이동거리에 나쁜 영향을 미치는 부품이 남지 않도록 한 것이다. 이를 위해 각 그룹의 첫 번째와 마지막 칸에 부품수량이 적은 부품들을 배정하여 처리하도록 하였다. 그리고 집단화 부품의 분류기준은 기관상에서 x 혹은 y축을 기준으로 하여 한 단위시간 내의 이동거리인 20mm내에 동종의 부품이 존재하는 것이 연속하여 4개 이상인 경우의 것으로 정의하였다.

집단화된 부품이 존재하지 않는 경우는 부품의 개수가 작은 부품과 부품개수가 많은 부품을 한 개의 그룹으로 형성하여 랙에 할당하는 방법을 사용하였다. 이는 첫 번째 슬롯에는 부품개수가 작은 부품을, 두 번째 슬롯에는 부품개수가 많은 부품 중에서 첫 슬롯의 부품과 관련성이 높은 부품을 배정하고, 세 번째 슬롯에서는 다시 부품개수가 작은 부품들 중에서 두 번째 슬롯의 부품과 관련성이 높은 것을 배정하여 세 개의 슬롯을 하나의 그룹으로 형성하는 방법이다.

부품을 기관에 장착하는 과정은 먼저 소그룹에서 대그룹의 순으로 이루어지게 된다. 먼저 소그룹 내의 5개의 슬롯을 1회 순환그룹으로 하여 기관에 부품을 장착하게 된다. 이 때 가장 먼저 슬롯 1에 위치하고 있는 부품을 장착하고, 다음으로 슬롯 1과 슬롯 2의 부품을 대상으로 다음 이동지점을 검색하게 된다. 이 슬롯의 현 위치 좌우 ±1과 기관상의 한 단위 이동거리 내에서 최단거리로 장착해 나간다. 현 그룹의 마지막 슬롯에서는 다음 그룹의 첫 슬롯 부품을 빈칸 랙 이동이 발생하지 않았으면 장착시키고 현 그룹으로 돌아온다.

5. 수행도 평가

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 동종부품들 간의 집단화현상을 고려한 해법의 수행도를 평가해 보도록 한다. 기관은 현장에서 가장 일반적으로 생산되고 있는 100×100mm 크기로 설정하고,

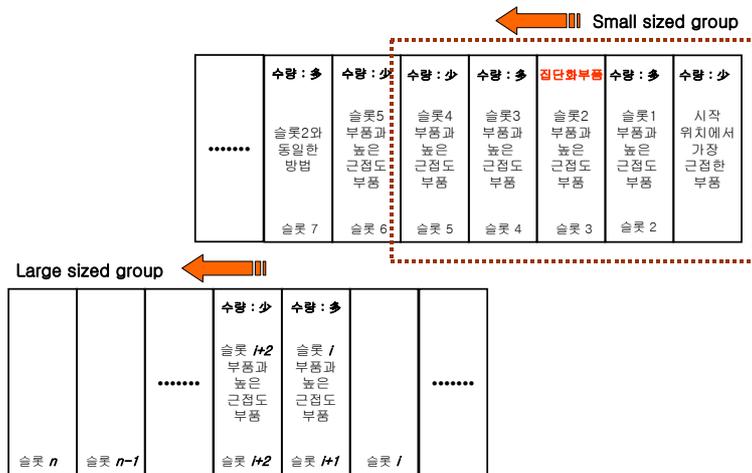


그림 5. 부품형태별 슬롯 배정 예시.

부품의 개수는 100에서 500개까지 다양하게 바꾸어가며 반복 실험한다. 그리고 부품의 종류는 부품의 개수에 따라 최소 20 종류에서 최대 90종류까지 다양화하였으며, 기판의 크기도 150×100mm, 200×200mm로 다양화하여 기판크기와 부품종류에 따른 영향을 분석할 수 있도록 시뮬레이션하였다. 실험에 사용할 자료는 현재 현장에서 생산중인 제품의 것으로 하는 것이 가장 타당하나 생산자 측의 상품에 대한 보안상의 이유로 공개할 수 없는 점과 실험에는 많은 다양한 자료가 필요하므로 부득이 현장자료와 유사하게 자동 생성되도록 프로그램을 개발하여 실험에 사용하였다. 생산현장의 자료를 사용하는 것과 최대한 유사한 효과를 얻기 위해 노력하였으며 집단화된 부품의 생성비율이 전체의 40~50% 비율로 나타나도록 프로그램

하여 실험에 사용하였다. 프로그램은 Visual Studio 6.0 통합환경에서 Visual C++로 작성하였으며, 펜티엄 1.7G, 256M 환경에서 실행하였다. 실험은 각각 10회씩 실시하여 표에서와 같이 Sohn & Park과 총 단위가동거리를 비교하여 결과를 분석하고 평가하였다.

<표 3~6>에는 기판크기가 100×100mm인 경우 부품개수와 부품종류를 다양하게 변화시켜가며 비교한 결과들이 정리되어 있다. 그리고 <그림 6~13>에는 그 결과를 그래프로 나타낸 것이 나와 있다. 부품의 개수가 많아지는 정도에 따라 부품의 종류는 최대 90개까지 변화시켜가며 실험을 수행하였다. <표 3>에서 부품종류가 20개인 경우를 살펴보면 총 10번의 실험을 수행한 결과 본 연구에서 제안된 방법을 적용한 것이

표 3. 부품개수가 100개인 경우에서의 총 단위가동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No.of Comp .Type	TYPE 20			TYPE 30			TYPE 40		
	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②
1	234	258	0.91	214	261	0.82	225	255	0.88
2	211	270	0.78	216	251	0.86	209	249	0.84
3	212	274	0.77	222	255	0.87	252	271	0.93
4	201	228	0.88	213	257	0.83	217	277	0.78
5	215	258	0.83	228	260	0.88	231	256	0.90
6	202	231	0.87	194	234	0.83	237	263	0.90
7	208	256	0.81	214	253	0.85	228	255	0.89
8	188	249	0.76	229	247	0.93	222	253	0.88
9	185	231	0.80	233	263	0.89	218	238	0.92
10	202	249	0.81	208	260	0.80	212	276	0.77
AVERAGE	205.8	250.4	0.82	217.1	254.1	0.85	225.1	259.3	0.87

표 4. 부품개수가 200개인 경우에서의 총 단위가동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No.of Comp .Type	TYPE 30			TYPE 40			TYPE 50		
	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②
1	389	472	0.82	454	500	0.91	433	504	0.86
2	388	461	0.84	454	525	0.86	499	515	0.97
3	403	434	0.93	393	523	0.75	462	497	0.93
4	396	427	0.93	416	544	0.76	412	467	0.88
5	382	481	0.79	447	533	0.84	444	472	0.94
6	364	409	0.89	420	493	0.85	410	486	0.84
7	365	479	0.76	424	521	0.81	409	470	0.87
8	400	508	0.79	367	495	0.74	411	479	0.86
9	359	502	0.72	441	534	0.83	418	552	0.76
10	371	404	0.92	420	518	0.81	415	465	0.89
AVERAGE	381.7	457.7	0.83	423.6	518.6	0.82	431.3	490.7	0.88

모든 경우 우수한 것으로 나타났다. 총 단위이동거리의 평균치를 살펴보면 제안방법에서는 205.8, Sohn & Park의 방법에서는 250.4가 되어 평균 50 단위이동거리의 차이를 보이는 것을 알 수 있으며, 해의 개선효과가 평균 18% 정도 개선된 것으로 나타났다.

그리고 기판에 장착될 부품의 개수가 많아질수록 해의 개선 정도가 높아지는 것으로 분석된다. 그러나 부품개수별로 부품의 종류가 많아질수록 제안된 방법의 개선효과는 낮아지는 것을 알 수 있는데, 이는 부품의 집산화 형성 정도가 낮아지는 것과 관련이 있는 것으로 판단된다. 부품개수가 동일한 상황에서 부품의 종류가 많아지게 되면 집산화된 부품의 개수가 작아지게 되므로 이에 따른 단위이동거리의 증가현상이 발생하게 된

것으로 보인다. 즉 집산화된 부품의 종류가 얼마나 많느냐가 미치는 영향보다는 집산화된 부품종류의 부품개수의 다소가 제안 알고리즘의 수행도에 더 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 실험결과에서 기판의 크기와 부품종류 간의 관련성을 알아보기 위하여 기판의 크기를 100×75mm로 설정하고 부품종류를 20개와 40개인 경우에서의 부품개수를 바꾸어가며 실험을 수행하였다. 그리고 최종단계에서 기판의 크기를 150×100mm 크기로 확대하고 부품개수를 최대 700개까지 장착하는 기판을 대상으로 평가해 보았다.

<그림 10>에는 기판의 크기를 100×75mm에서 부품개수가 100개인 경우, 200개인 경우, 그리고 300개인 경우에서 부품종류가 20개인 경우를 대상으로 실험을 수행한 결과이며, <그림

표 5. 부품개수가 300개인 경우에서의 총 단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No.of Comp .Type	TYPE 50			TYPE 60			TYPE 70		
	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②
1	657	767	0.86	664	786	0.84	702	806	0.87
2	669	799	0.84	729	790	0.92	698	802	0.87
3	655	789	0.83	674	783	0.86	755	818	0.92
4	656	846	0.78	677	816	0.83	749	814	0.92
5	687	810	0.85	679	817	0.83	706	805	0.88
6	668	755	0.88	692	765	0.90	686	756	0.91
7	647	804	0.80	669	798	0.84	668	785	0.85
8	671	809	0.83	659	767	0.86	730	798	0.91
9	665	765	0.87	670	799	0.84	637	781	0.82
10	685	820	0.84	642	749	0.86	670	780	0.86
AVERAGE	666	796.4	0.84	675.5	787	0.86	700.1	794.5	0.88

표 6. 부품개수가 500개인 경우에서의 총 단위이동거리 비교(Board Size : 100×100mm)

No.of Comp .Type	TYPE 70			TYPE 80			TYPE 90		
	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②	Suggested ①	Sohn&Park ②	① / ②
1	1071	1320	0.81	1196	1314	0.91	1197	1336	0.90
2	1098	1318	0.83	1134	1355	0.84	1186	1348	0.88
3	1148	1322	0.87	1107	1319	0.84	1108	1371	0.81
4	1124	1306	0.86	1155	1364	0.85	1132	1345	0.84
5	1178	1443	0.82	1124	1373	0.82	1136	1360	0.84
6	1105	1351	0.82	1167	1358	0.86	1215	1364	0.89
7	1079	1334	0.81	1121	1296	0.86	1170	1381	0.85
8	1111	1300	0.85	1102	1290	0.85	1133	1298	0.87
9	1097	1315	0.83	1143	1358	0.84	1123	1364	0.82
10	1082	1269	0.85	1131	1303	0.87	1143	1311	0.87
AVERAGE	1109.3	1327.8	0.84	1138	1333	0.85	1154.3	1347.8	0.86

11>은 동일한 조건하에서 부품의 종류만 40개로 확대하여 설정한 경우의 실험결과를 그래프로 나타낸 것이다. 도표 상에서 부품의 개수가 많아질수록 해의 개선효과가 높게 나타나고 있으나 부품종류가 40개인 경우에는 부품종류가 20개인 경우에서보다 그 효과가 미흡하게 나타나고 있다. 즉, 20개의 부품종류를 가지는 경우에서 집단화 형성된 부품종류의 부품개수가 더 고밀도로 형성되기 때문에 분석해 볼 수 있다. 이러한

현상은 기판크기 150×100mm인 경우에서도 마찬가지로 나타났다. <그림 12>와 <그림 13>은 부품개수를 500개에서 700개까지 확대하고, 부품종류를 80개, 100개로 설정하여 실험한 결과를 나타낸 그래프이다.

이상의 실험결과에서와 같이 부품의 집단화 현상은 반드시 고려되어야 할 중요한 요인으로 평가되며, 특히 부품의 개수가 많고, 동종부품들이 특정구역 내에 고밀도 밀집되어 분포

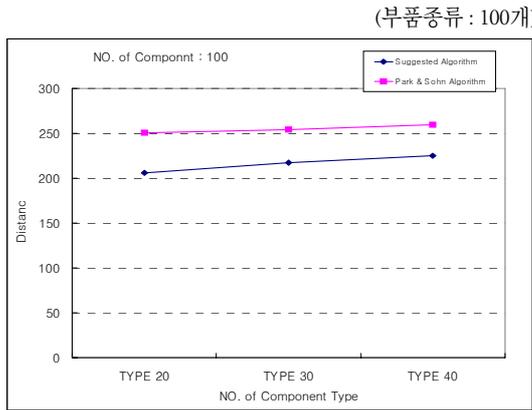


그림 6. 부품종류별 총 단위이동거리 비교.

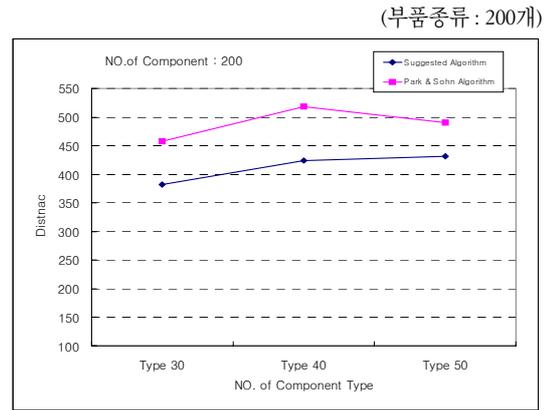


그림 7. 부품종류별 총 단위이동거리 비교.

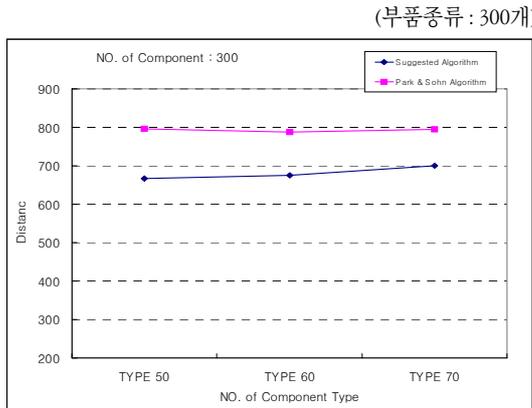


그림 8. 부품개수별 총 단위이동거리 비교.

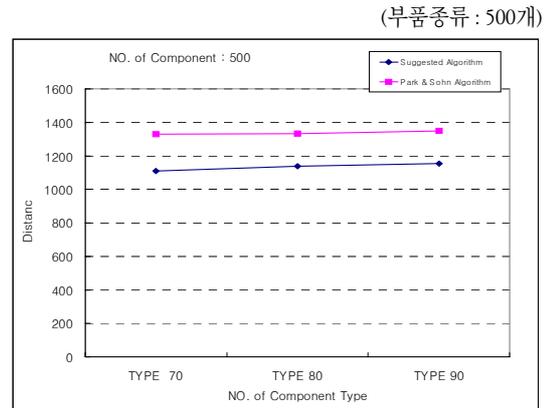


그림 9. 부품개수별 총 단위이동거리 비교.

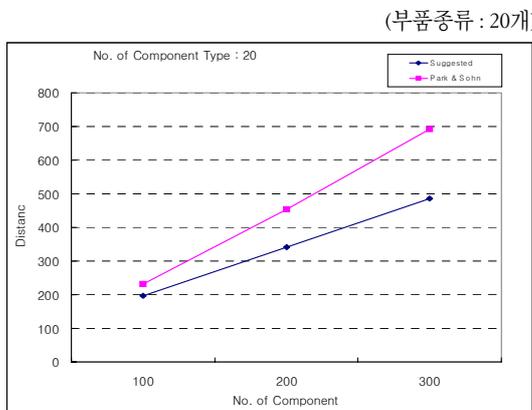


그림 10. 부품종류별 총 단위이동거리 비교.

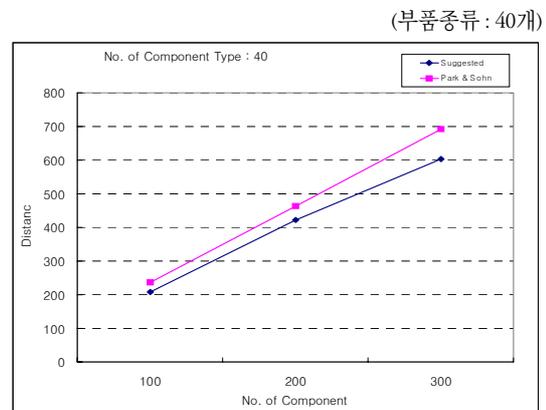


그림 11. 부품종류별 총 단위이동거리 비교.

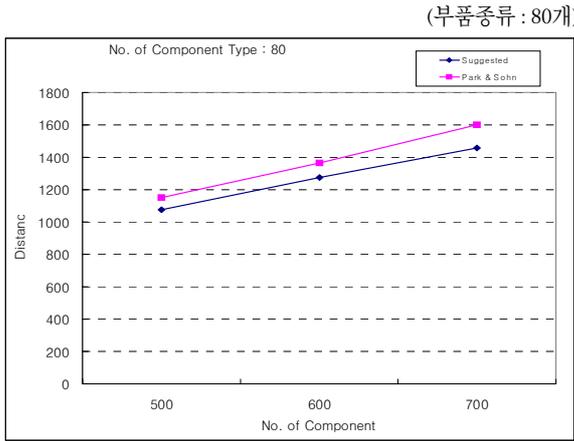


그림 12. 부품개수별 총 단위의동거리 비교.

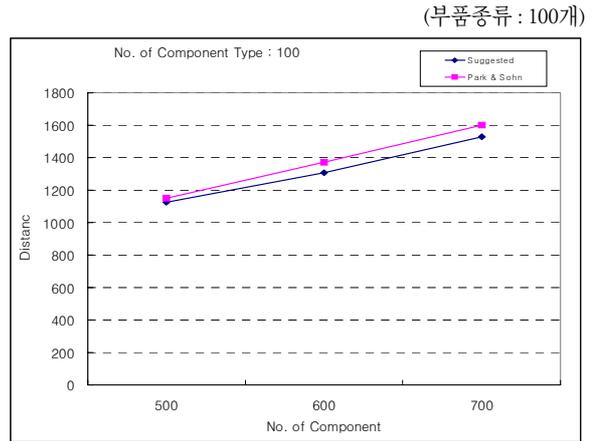


그림 13. 부품개수별 총 단위의동거리 비교.

하고 있는 경우에서 제안한 휴리스틱이 우수한 결과를 보이는 것으로 평가되었다.

6. 결론

PCB는 전자산업에서 핵심부품이다. 또한 PCB를 생산하는 PCB 자동조립기는 고가의 설비이므로 해당 기업의 경쟁력 제고를 위해 PCB 자동조립기와 함께 제공되는 방법보다는 보다 개선된 조립방법의 개발이 필수적이다. 그러나 랙에서의 부품 배정과 기관상의 부품장착 순서결정은 두 가지가 복합적으로 연결되어 최적화되어야 하는 문제이기 때문에 일반적인 TSP에 비해 매우 복잡한 문제가 된다.

이 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 PCB에 대한 현황조사 및 전문가 면담조사를 통하여 기관 상의 부품배치에 대한 특성을 분석하였으며, 이 특성의 활용에 의한 보다 개선된 PCB 자동조립기 운영방법을 설계하였다. 이 설계된 동종부품 집단화현상을 고려한 해법을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과 기존 해법 대비 10~20%의 개선효과를 얻을 수 있었다. 특히 기관의 크기가 커지고, 부품의 개수가 늘어날수록 보다 우수한 수행도를 보였다.

참고문헌

Altinkemer, K. and Kazaz, B. (2000), Optimization of printed circuit board manufacturing: Integrated modeling and algorithms, *European Journal of Operational Research*, 124, 409-421.
 Ahmadi, R. and Mamer, J. (1999), Routing heuristics for automated pick and

place machines, *European Journal of Operational Research*, 117, 533-552.
 Christopher, B. (1991), McGinnis, L. (1991), Tovey, C. (1991), Routing printed circuit cards through an assembly cell, *Operations Research*, 3(6), 992-1004.
 Crama, Y. (1997), Flippo, O. (1997), Klundert J. (1997), Spieksma, F. (1997), The assembly of printed circuit boards: A case with multiple machines and multiple board types, *European Journal of Operational Research*, 98, 457-472.
 Crama, Y. (2002), Klundert, J. (2002), Spieksma, F. (2002), Production planning problems in printed circuit board assembly, *Discrete Applied Mathematics*, 13, 339-361.
 Ham, H., Kim, Y., Chung, Y.,(1994) Job Route Selection Model for Line Balancing of Flexible PCB Auto - Insertion Line, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 20(4), 5-21.
 Johri, P. (1991), Engineering a Circuit Board Assembly Line for a Desired Capacity and Flowtime, *Journal of Manufacturing Systems*, 10(6), 492-500.
 Johri, P. (1990), A Heuristic Algorithm for Loading New Work on Circuit Pack Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, 28 (10), 1871-1883.
 Klomp, C. (2000), Klundert, J. (2000), Spieksma, F. (2000), Voogt, S. (2000), The feeder rack assignment problem in PCB assembly: A Case study, *International Journal of Production Economics*, 64, 399-407.
 Kung, H. and Changchit, C. (1991), A Just-in-time Simulation Model of A PCB Assembly Line, *Computer & Industrial Engineering*, 20(1), 17-29.
 Leipala, T. and Nevalainen, O. (1989), Optimization of the movements of a component placement machine, *European Journal of Operational Research*, 38, 167-177.
 Moon, Geeju, Lim, S., (2001), Development of a part rack assignment and placement sequencing method for efficient PCB assembly, *Society of Korea Industrial and Systems Eng.*, 24(66), 91-98.
 Padhy, S. and Dwivedi, S. (1992), PCAAD - An Object-oriented Expert System for Assembly of Printed Circuit Boards, *Expert Systems*, 9(1), 11-24.
 Sohn, J. and Park, S. (1996), Efficient operation of a surface mounting machine with a multihead turret, *International Journal of Production Research*, 25, 1131-1143.



문기주

동아대학교 공업경영학 학사
Iowa State University 산업공학 박사
Iowa State University software analyst, 한국전자
통신연구원 선임연구원을 역임
현재: 동아대학교 공업경영공학과 교수
관심분야: 컴퓨터시뮬레이션, 조합형 최적화



정현철

동서대학교 산업공학 학사
동아대학교 산업시스템공학 석사
동아대학교 산업시스템공학 박사과정 수료
경남정보대학 겸임교수 역임
관심분야: 생산시스템 컴퓨터 응용, 조합형
최적화