

작업순서에 따라 달라지는 준비 비용을 갖는 PCB 생산 공정의 일정계획[†]

유성열*

<요 약>

본 연구는 작업 순서에 따라 달라지는 준비비용을 갖는 인쇄회로기판의 생산 일정계획 문제를 다룬다. 본 연구에서 다루는 문제는 생산할 인쇄회로기판의 유형들이 주어졌으며, 이는 한 대의 부품장착 설비를 통해 생산되는 환경에서, 작업 투입 순서에 따라 달라지는 준비 비용의 총합을 최소화하는 작업 투입순서를 결정하는 것이다. 이 문제는 NP-hard로 알려져 있으며, 이에 해를 도출하기 위한 메타 휴리스틱 기법을 제시한다.

핵심주제어: 일정계획, 준비 비용, 작업 순서, 인쇄회로기판

논문접수일: 2015년 04월 28일 수정일: 2015년 05월 26일 게재확정일: 2015년 05월 27일

† 이 논문은 2013년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음

* 부산가톨릭대학교 경영정보학과 교수, syyu@cup.ac.kr

I. 서론

전자 산업분야의 대표적인 필수 부품인 인쇄 회로기판(PCB; Printed Circuit Board)은 가전제품, 자동차, 선박, IT 기기 등 매우 광범위한 분야에서 다양하게 사용되고 있다. 이러한 PCB의 생산은 전형적인 조립 공정을 통해서 이루어진다. 과거에는 PCB를 사용하는 제품이 다양하지 않고, 모델도 한정되어 있어 소수의 종류들을 대량으로 생산하는 환경이 일반적이었다. 이러한 환경 하에서 PCB 생산 기업들은 빠른 속도로 단일한 제품(혹은 소수의 품종)만을 생산하기 위해 PCB에 장착하는 부품의 장착 속도가 빠른 전용 설비(special-purpose surface mounting device)를 이용하여 작업을 진행하였다. 그러나 IT 산업의 급속한 발전은 수많은 종류의 PCB를 요구하게 되었고 이에 PCB 제조업체들은 하루에도 수차례 생산할 제품이 변경되는 다품종 소량생산 체계에 맞는 생산 공정 및 설비를 필요로 하게 되었다. 이렇게 다품종 소량 생산 환경에 적합하도록 만들어진 설비가 다기능 설비(multi functional device)이다. 기존의 전용 설비가 단순히 부품장착순서에 따라 생산성에 영향을 받은 반면, 다품종 소량 생산 체계에서는 잦은 작업 대상의 교체로 인해 작업 준비 시간이 증가하게 되고 이는 곧 생산성 저하로 연결된다. 특히 설비 투자 등에 대한 자금 여력이 미약한 중소기업의 경우에는 각 제품별로 특화된 전용 설비를 활용하기 어렵기 때문에, 하나의 기계를 통해 여러 종류의 제품을 동시에 생산할 수 있는 환경을 요구하고 있다. 따라서 기존의 부품장착속도의 개선을 통한 생산성 향상은 이제 더 이상 PCB 제조업체의 성과 향상에 기여할 수 없게 되었으며, 이에 제품 교체 시간을 고려한 생산 계획 수립에 보다 큰 관심을 가질 수밖에

없는 실정이다.

아직도 많은 제조업체들은 과거의 소품종 대량 생산체제에서의 작업방식을 고수하여 보이지 않는 손해를 감수하고 있는 실정이다. 실제 PCB 제조 공정의 생산성 향상을 위한 연구 결과들은 새로운 생산 계획 방식의 도입을 통해 적게는 5%에서 많게는 20% 가까운 생산성 향상을 보여주고 있다[3, 6, 10, 15, 25, 26]. 특히 IT 강국인 우리나라의 PCB 생산량은 전 세계에서 상위권을 차지하고 있어 다품종 소량생산체제에서의 새로운 생산일정계획 수립 방식의 개발은 국가 경쟁력 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구를 통해 보다 실제적인 유형의 문제에 대한 해법을 제시하고자 한다.

II. 연구 동향 및 배경

1. 연구 동향

인쇄회로기판이 다양한 산업 분야의 핵심 부품으로 사용되어 온 것은 오래전부터이다. 이와 함께 PCB 생산 장비에 맞춰 생산성 향상을 위한 알고리즘 개발을 위한 연구도 다양한 방향으로 진행되어 왔다.

PCB 조립 공정의 생산성 향상을 위한 연구들을 살펴보면, 먼저 PCB 조립 순서 및 부품 배치를 조정함으로써 전체 작업에 소요되는 작업시간을 단축하기 위한 발견적 기법들이 있다. Crama, et. al.(1990)은 작업순서를 최적화함으로써 전체 작업시간을 단축할 수 있는 기법을 제안하였다[5]. Gronalt and Zeller(2000)는 두 대의 연속적인 실장기를 이용하여 PCB를 생산하는 공정에서 생산성을 높일 수 있는 작업투입순서를 결정하는 발견적 해법을 제시하였다[8].

PCB 조립 공정에서 다루어지는 또 다른 유형의 최적화 문제로는 작업 준비시간(setup time)을 단축하기 위해 PCB의 투입 순서를 결정하거나 PCB를 그룹화 하는 것이다. 우선, Carmon, et. al.(1989)은 PCB들 간의 유사성을 기초로 함께 생산할 PCB 유형들을 정의함으로써 준비시간을 단축하기 위한 발견적 해법을 제시하였다[4]. Hashiba and Chang(1991)은 작업준비 시간 단축을 위한 방안으로 그룹 테크놀로지(group technology)를 활용한 기법을 제안하였다. Maimon, et. al.(1993)과 Maimon and Shtub(1991), Shtub and Maimon(1992) 역시 단일 기계를 이용한 PCB 조립공정에서 준비시간 단축을 위한 발견적 기법을 제시하였다[14, 15, 23]. Bhaskar and Narendran(1996)은 최대걸침나무(maximum spanning tree) 기법을 적용하여 유사한 PCB를 그룹화 함으로써 준비시간을 단축할 수 있는 기법을 제시하였다[3]. Daskin, et. al.(1997)은 한정된 부품함 용량을 가진 설비에서 부품의 유사성을 확인하여 동시작업이 가능한 PCB를 그룹화 하는 발견적 기법을 제시하였다[6].

작업 준비시간 단축을 위한 연구들은 최근에도 활발하게 진행되어 오고 있는데, 먼저 Yu, et. al.(2005)은 단일 기계를 이용한 PCB 작업공정에서의 PCB 그룹핑 문제를 정수계획(Integer Programming) 모형으로 제시하고 최적해를 구할 수 있는 방안을 제시하였다[25]. 또, Yu and Lee(2006)는 여러 대의 설비를 이용한 조립공정에서 작업 순서와 부품함 위치를 결정하기 위한 최적화 문제의 해법을 제안하였다.[26]. Salonen, et. al.(2006)은 부품함이 한정된 공정에서 그룹화와 작업순서를 동시에 다루는 문제에 대한 발견적 해법을 제시하였다[21]. Ashayeri, et. al.(2011)은 여러 개의 헤드를 가진 실장기를 이용한 PCB 조립공정에서의 최적화 문제에 대한

수리 모형을 제시하였다[1]. Sabouni and Logendran(2013)은 단일 기계를 이용한 PCB 조립공정 그룹화 문제의 일정계획 모형과 해법을 제시한 바 있다[21].

2. 연구 배경

지금까지 PCB 조립공정의 생산성 향상을 위한 최근까지의 연구 동향에 대해 살펴보았다. 기존의 연구 결과물들은 이론적인 연구 성과 이외에도 실제 생산현장에 적용됨으로써, 전자 산업의 전반적인 생산성 향상에 기여한 것은 물론이다. 그러나 최근까지의 많은 연구들이 특정 PCB 유형에 특화된 전용 설비 중심으로 연구가 진행되어 옴으로써[2], 본 연구에서 다루고자 하는 다품종 소량생산 환경에 적합한 범용 설비에 대한 연구 성과물들은 부족한 실정이다. 과거의 PCB 생산 기업들은 빠른 속도로 소수의 품종만을 생산하기 위해 PCB에 장착하는 부품의 장착 속도가 빠른 전용 설비를 이용하여 작업을 진행한 반면, 최근에는 다품종 소량생산 체계에 맞는 생산 공정 및 다기능 실장기를 필요로 하게 되었다.

이에 본 연구를 통해 PCB 조립 공정에서 많은 종류의 제품을 동시에 생산할 수 있는 생산 환경에 맞는 PCB 조립 공정의 생산계획 수립을 위한 해법을 제시한다.

III. 연구 내용

1. 문제 구조 분석

본 연구에서 다루는 생산 환경은 한 대의 설비로 서로 다른 여러 PCB 유형을 생산하는 공

정이다. 일반적으로, PCB 조립 공정의 경우, 보통 여러 대의 설비가 직렬 라인을 이루고 있다. 하지만, 중소기업의 경우 다기능 설비 한 대를 이용하여 다양한 유형의 제품을 생산하는 경우가 많다.

각각의 PCB 유형에 필요한 부품들은 부품함에 담긴 형태로 설비상의 정해진 위치에 놓이게 된다. 이 때 PCB 조립 설비의 부품함 용량은 제약이 있다. 보통 한 종류의 PCB만을 생산할 경우, 주어진 PCB에 사용될 부품함들은 모두 설비에 설치될 수 있으나, 본 연구에서 다루고자 하는 많은 종류의 PCB를 소량씩 동시에 생산하는 경우, PCB 유형이 바뀌었을 때 두 개의 연속적인 PCB 유형에 모두 필요한 부품함의 수가 설비의 부품함 용량보다 커지는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우에는 앞선 PCB의 작업이 종료된 직후, 다음 PCB의 작업을 진행하기 전에 일부 부품함들의 설치를 변경해야 한다.

이러한 상황에서, 각각의 PCB를 설비에서 조립하는데 걸리는 시간이 주어졌다고 가정할 때, 주어진 여러 유형의 PCB를 생산하는데 필요한 시간을 최소화하는 문제는 결국 부품함 교체를 위한 시간을 최소화하는 문제와 동일하다. 이 때, 부품함 교체를 위한 총시간은 투입되는 PCB 유형의 순서에 따라 결정되며, 이는 잘 알려진 외판원 문제(travelling salesman problem)와 동일한 문제가 된다[11, 12, 20, 24]. 이러한 유형의 문제를 해결하기 위한 기존 방법으로는, 유사한 부품을 많이 가지고 있는 PCB들을 하나의 그룹으로 지정하여 그룹별 부품함 설치를 통해 부품함 교환 시간을 단축하거나[3, 6, 10, 25], PCB 유형들 간의 유사한 부품 사용 정도를 나타내는 척도를 이용하여 적용한 방법들이 있다[15, 23]. 하지만, 이러한 방법들이 모두 최적해를 보장하는 방법은 아니다. 특히, Maimon and Shtub(1991)나 Shtub and Mamon(1992)의 연구

에서는 연속된 두 종류의 PCB i 와 j 간의 부품함 교체 시간을 비용 c_{ij} 로 가정하고 n 가지의 PCB 종류 집합을 노드 집합 $V = \{1, 2, \dots, n\}$ 으로 하는 외판원 문제로 모형화하여 해법 절차를 개발하였다[14].

본 연구에서 다루고 있는 PCB 생산 공정에서의 부품함 교체 시간을 최소화하는 문제는 다음과 같이 외판원 문제로 모형화 할 수 있다[11, 17].

먼저 다음과 같이 기호를 정의한다.

$V = \{1, 2, \dots, n\}$: 노드들(PCB 유형들)의 집합
 c_{ij} : PCB 유형 i 의 생산 후, PCB 유형 j 를 생산할 때, 부품함 교체 비용
 x_{ij} (결정 변수): PCB 유형 i 의 생산 직후, PCB 유형 j 를 생산할 경우는 1, 아니면 0

그러면 이 문제는 다음과 같은 수리적 모형으로 나타낼 수 있다.

(TSP)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \text{ for all } j \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \text{ for all } i \in V \quad (3)$$

$$\lambda_i - \lambda_j + (n+1)x_{ij} \leq n, \text{ for all } i, j \in V \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \text{ for all } i, j \in V \quad (5)$$

제약식 (2)와 (3)은 모든 노드가 정확히 한 번

씩만 경유되어야 함을 의미하는 것으로, 동일한 유형의 PCB들은 한 번에 생산되어야 함을 의미한다. 제약식 (4)는 일부 노드들만의 사이클이 형성되는 상황을 방지하기 위해서 필요하다[17].

모형 (TSP)의 해법은 이미 다양한 연구를 통해 여러 가지 유형의 해법 절차들이 알려져 있으며, 이를 활용하여 해를 구할 수 있다.

하지만 위 모형에서 비용 c_{ij} 는 PCB 유형 i 를 생산한 후, PCB 유형 j 를 생산할 경우의 부

품함 교체비용으로, 전체 PCB 생산 순서에 관계 없이 항상 일정하다. 실제 PCB 생산 공정에서는 전체 PCB 투입 순서 혹은 어떤 부품함을 교체하느냐에 따라 그 비용이 달라지는 경우가 발생할 수 있다.

먼저 부품함 교체 방법에 따라 교체 비용이 어떻게 달라지는지 예를 통해 살펴보자.

세 가지 PCB 유형과 일곱 가지 부품이 있는 경우를 가정하자. 각각의 PCB 유형 A, B, C가 필요로 하는 부품은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> PCB 유형별 필요 부품

부품	PCB 유형		
	A	B	C
a	O		O
b	O		O
c	O	O	
d	O		
e		O	O
f		O	O
g		O	O

설비의 부품함 용량은 5라고 가정하자. 따라서 어떠한 경우라도 PCB 유형이 교체될 때마다 부품함 교체가 필요하다.

최초 부품함을 설치하거나 중간에 신규로 설치하는 비용은 1, 부품함을 교체하는 비용은 2 (제거+신규설치)라고 가정하고, 부품함의 투입 순서가 'A → B → C' 인 경우에 대하여 투입 순서에 따라 그리고 교체되는 부품함에 따라 교체 비용이 어떻게 달라지는지 살펴보자.

먼저, 가장 먼저 생산하는 PCB 유형 A의 부품 종류는 네 가지(a, b, c, d)이므로 비용은 4이다. 두 번째 생산하는 PCB 유형은 부품 B 이다. 이 경우, 유형 B에 필요한 부품 중 (e, f, g)는 신규설치가 필요하므로 추가 비용은 3이다. 또한, 유형 A에 사용된 부품들 중 (a, b, d) 중 두 개

는 제거되어야 한다. 여기서 두 가지 경우로 나누어 살펴보자.

첫 번째 부품 (a, b)를 제거하는 경우에는 설비에 장착되는 부품은 (c, d, e, f, g)가 된다. 두 번째 경우, (b, d)를 제거하면 남아있는 부품들은 (a, c, e, f, g) 된다. 제거 비용은 두 경우 모두 2이다. 두 가지 경우를 각각 case1, case2라 하고, 각 경우를 정리하면 각각 <표 2>, <표 3>과 같다.

<표 2>와 <표 3> 모두 A 다음에 B를 생산하는 경우의 비용은 9이다. 그러나 설비에 장착된 부품들의 구성은 다르다. case1(<표 2>)의 경우에는 (c, d, e, f, g)가 장착되어 있으며, case2(<표 3>)의 경우에는 (a, c, e, f, g)가 장착되어 있다.

<표 2> case1: 'A → B'까지의 변화(a, b) 제거

부품	실장기의 부품 변화 및 비용			
	A		A를 B로 교체 ((a,b) 제거 및 (e,f,g)설치)	
	설치된 부품들	누적비용	설치된 부품들	누적 비용
a	O	4	제거	앞단계까지의 비용: 4 현단계 제거 : 2 현단계 설치 : 3 ----- 누적 비용: 9
b	O		제거	
c	O		O	
d	O		O	
e			O(신규)	
f			O(신규)	
g			O(신규)	

<표 3> case2: 'A → B'까지의 변화(b, d) 제거

부품	실장기의 부품 변화 및 비용			
	A		A를 B로 교체 ((b,d) 제거 및 (e,f,g)설치)	
	설치된 부품들	누적비용	설치된 부품들	비용
a	O	4	O	앞단계까지의 비용: 4 현단계 제거 : 2 현단계 설치 : 3 ----- 누적 비용: 9
b	O		제거	
c	O		O	
d	O		제거	
e			O(신규)	
f			O(신규)	
g			O(신규)	

현 시점까지의 비용은 같지만, 장착되어 있는 부품이 다르므로 다음 단계의 비용 구성에 영향을 끼칠 수 있다. 실제 어떻게 달라지는지 살펴보자.

다음 단계는 PCB 유형 C에 필요한 부품으로 교체하는 것이다. case1의 경우에는 (c, d)를 제거하고, (a, b)를 신규 설치해야 한다. 따라서 추가되는 비용은 4이며, 최종 비용은 13이 된다(<표 4>). case2의 경우에는 유형 B를 생산하는데 필요한 부품 (a, c, e, f, g) 중 네 가지 부품 (a, e, f, g)가 이미 설치되어 있다. 따라서 하나의 부품만 교체해도 되며 추가되는 비용은 case1보다 적은 2이며, 최종비용은 11이 된다(<표

5>).

case1, case2 모두 PCB 투입 순서는 'A → B → C'이다. 그러나 부품 교체 방식에 따라 최종 비용은 달라짐을 알 수 있다.

c_{ij} 는 전체 작업 순서중 PCB i 와 j 의 위치에 따라서도 달라질 수 있다. 다시 <표 1>의 예를 살펴보자. 여기서 두 가지 생산 순서 'C → B → A'(case 3)와 'B → A → C'(case 4)를 비교해보자. 두 가지 모두 유형 B 다음에 바로 이어서 유형 A를 생산하는 경우이다. 이 두 가지 경우에서 B를 A로 교체하는 경우 부품함 교체비용 c_{BA} 가 어떻게 되는지 살펴본다.

먼저 case3의 경우, 최초 설비에는 유형 C의

부품 (a, b, e, f, g)가 놓여진다. C 다음에 B가 생산되고 B의 부품은 (c, e, f, g)이므로 1개의 부품교체가 필요하다. 다음에 A를 생산하기 위해서는 부품 (b, d)를 신규 설치해야하고, (e, f,

g)중 두 개를 제거해야 한다. 여기서는 부품 (e, f)를 제거했다고 하자. 이 때, c_{BA} 는 4가 된다 (<표 6>).

<표 4> case1의 최종비용

부품	실장기의 부품 변화 및 비용			
	B		B를 C로 교체 ((c,d) 제거 및 (a,b)설치)	
	설치된 부품들	누적비용	설치된 부품들	누적 비용
a		9	O(신규)	앞단계까지의 비용: 9 현단계 제거 : 2 현단계 설치 : 2 ----- 최종 비용 : 13
b			O(신규)	
c	O		제거	
d	O		제거	
e	O		O	
f	O		O	
g	O		O	

<표 5> case2의 최종비용

부품	실장기의 부품 변화 및 비용			
	B		B를 C로 교체 ((c,d) 제거 및 (a,b)설치)	
	설치된 부품들	누적비용	설치된 부품들	누적 비용
a	O	9	O	앞단계까지의 비용: 9 현단계 제거 : 1 현단계 설치 : 1 ----- 최종 비용: 11
b			O(신규)	
c	O		제거	
d				
e	O		O	
f	O		O	
g	O		O	

<표 6> case3의 교체비용

부품	C	C → B	B → A
a	O	O	O
b	O	제거	O(신규)
c		O(신규)	O
d			O(신규)
e	O	O	제거
f	O	O	제거
g	O	O	O
교체비용	5 (최초 설치)	2	4

<표 7> case4의 교체비용

부품	B	B → A	A → C
a		O(신규)	O
b		O(신규)	O
c	O	O	제거
d		O(신규)	제거
e	O	제거	O(신규)
f	O	제거	O(신규)
g	O	O	O
교체비용	4 (최초 설치)	5	4

다음, case4의 경우 비용을 살펴보자(<표 7>). 최초 설비에는 유형 B의 부품 (c, e, f, g)가 놓여진다. B 다음에 A가 생산되고 A의 부품은 (a, b, c, d)이므로 (a, b, d)가 추가 설치되어야 하며, (e, f, g)중 최소 2개는 제거되어야 한다. 여기서는 (e, f)를 제거하였다고 가정하자. 이 경우 'B → A' 교체 비용 c_{BA} 는 5가 되며, 이는 case3의 경우가 다름을 알 수 있다.

2. 해법 절차

앞의 예를 통해 문제의 구조를 살펴본 바와 같이 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 비용구조가 상당히 복잡한 외판원 문제의 특수한 형태를 띠고 있어 최적해를 구하기 쉽지 않은 문제이다. 본 연구에서는 해를 구하기 위한 방법으로 유전 알고리즘 기반의 발견적 기법을 제시한다.

유전 알고리즘은 임의의 해(개체)로부터 출발하여 목적 함수 값의 적합도 값을 판정하면서, 세대(generation)를 변화시켜 감에 따라 더 나은 해를 탐색해 나가는 기법이다. 일반적인 발견적 기법은 문제의 유형에 따른 고유한 해법을 일일이 개발해야 하지만 유전 알고리즘은 거의 모든 유형의 문제에 대하여 일관성 있는 절차를 제공할 수 있다.

부품 교체시간 최소화를 위한 PCB 투입순서 결정 문제 해법을 위한 유전알고리즘 절차는 다음과 같다.

- 단계 1: 각 세대의 크기(*population_size*)와 수행 횟수(*iteration_number*)를 정한다.
- 단계 2: *population_size* 개의 초기 개체를 생성한다.
- 단계 3: 생성된 각 개체에 대하여 적합도 값(*fitness value*)를 계산한다.
- 단계 4: 교차 연산을 통해 *cross_size* 개의 새로운 개체를 생성한다.
- 단계 5: 돌연변이 연산을 통해 *mutation_size* 개의 새로운 개체를 생성한다.
- 단계 6: 기존 개체(*population_size*), 교차 연산을 통해 생성된 개체(*cross_size*), 돌연변이 연산을 통해 생성된 개체(*mutation_size*) 각각의 적합도 값을 평가하고, 적합도 값에 비례하여 다음 세대를 구성할 *population_size* 개의 새로운 개체들로 새로운 세대를 구성한다.
- 단계 7: 가장 좋은 적합도 값을 갖는 개체를 현재의 최적해로 한다.
- 단계 8: 이 과정(단계 4 ~ 단계 7)이 총 수행 횟

수(*iteration_number*)에 이르면 멈추고 현재의 최적해가 최종 최적해가 된다. 아니면 단계 4로 돌아간다.

각 단계별 세부적인 절차는 다음과 같다.

단계 2의 초기해 구성은 n 가지 PCB 유형이 순서에 한 번씩만 포함되도록 임의로 구성하되, *population_size* 가 될 때까지 반복한다. 개체의 순서가 같은 것이 없으면 다음 단계로 넘어간다. 단계 3의 적합도 값의 계산은 case1 부터 case4 의 예에서와 같이 각각의 투입 순서에 따라 초기비용과 교체(신규 설치 및 제거) 비용을 계산하여 쉽게 파악할 수 있다.

단계 4의 교차 연산은 일반적인 partial matched crossover(PMX) 방법을 이용한다[7]. PMX 방법은 두 개의 부모개체에 대하여 임의의 두 개의 절단 점을 중심으로 두 개체내의 위치를 변경하는 방식이다. 이 방법은 TSP와 같은 순서를 결정하는 문제에 많이 이용되어 그 성과를 나타내고 있다. 단계 5의 돌연변이 연산은 임의의 개체를 추가하는 방식을 이용하였다.

III. 결 론

본 연구는 작업 투입순서에 따라 작업 준비비용이 달라지는 조립공정에서 발생하는 작업 준비 시간 최적화 문제에 대하여 보다 현실적인 비용구조를 분석하고, 해를 구하기 위한 유전 알고리즘 기반의 해법을 제시하였다.

본 연구에서 다루는 문제는 기존 연구에서 다루어지지 않은 새로운 유형의 문제로 NP-hard에 속하는 문제이고, 최적해를 구하기가 매우 어렵다. 이에 본 연구에서는 TSP 유형의 문제에서 그 성능이 검증된 유전 알고리즘 기반의 메타

휴리스틱 기법의 해법 절차를 제시하였다. 메타휴리스틱이 최적해를 보장하지는 못하지만, 실제 상황에 가까운 비용구조를 반영함으로써 다품종 소량생산 환경의 실제 현장에서 생산계획 수립 의사결정이 매우 빠른 시간 안에 이루어져야 되는 경우에 유용한 기법이 될 수 있을 것이다. 정수계획법 등 최적해를 얻기 위한 기법의 성과가 더 나은 결과를 가져다주는 것은 당연하지만, 최적해를 얻는데 생산현장에서 허용할 수 있는 시간보다 오래 걸린다면 이는 실용적인 측면에서 최적해의 의미가 없어진다. 따라서 본 연구는 학문적 성과와 함께 실무적인 측면에서도 의미가 있다 하겠다.

참고문헌

1. Ashayeri, J., Ma, N. and Sotirov, R.(2011), "An aggregated optimization model for multi-head SMD placements," *Computers & Industrial Engineering*, 60, 99-105.
2. Ayob, M. and Kendall, G.(2008), "A survey of surface mount device placement machine optimization: Machine classification," *European Journal of Operational Research*, 186, 893-914.
3. Bhaskar, G. and Narendran, T.T.(1996), "Grouping PCBs for set-up reduction: a maximum spanning tree approach," *International Journal of Production Research*, 34, 621-632
4. Carmon, T.F., Maimon, O.Z., and Dal-El, E.M.(1989), "Group set-up for printed circuit board assembly", *International Journal of Production Research*, 27,

- 1795-1810.
5. Crama, Y., Kolen, A. W.J., Oerlemans, A.G. and Spieksma, F.C.R.(1990), "Throughput rate optimization in the automatic assembly of printed circuit boards," *Annals of Operations Research*, 26, 455-480.
 6. Daskin, M.S., Maimon, O., Shtub, A. and Braha, D.(1997), "Grouping components in printed circuit board assembly with limited component staging capacity and single card setup: problem characteristics and solution procedure," *International Journal of Production Research*, 35, 1617-1638.
 7. Goldberg, D.E. and Linge, R.(1985), "Alleles, Loci and the Travelling Salesman Problem," *Proceedings of an International Conference on GA and their Application*, 154.
 8. Gronalt, M., and Zeller, R.(2000), "Component allocation and job sequencing for two-series connected SMD placement machines," *International Journal of Production Research*, 38, 409-427.
 9. Grunow, M., Gunther, H., Schleusener, M. and Yilmaz, I.(2004), "Operations planning for collect-and-place machines in PCB assembly," *Computers & Industrial Engineering*, 47, 409-429.
 10. Hashiba, S. and Chang, T.(1991), "PCB Assembly Setup Reduction Using Group Technology," *Computers and Industrial Engineering*, 21, 453-457
 11. Laporte, G.(1992), "The Travelling Salesman Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms," *European Journal of Operational Research*, 59, 231-247
 12. Lawler, E.L., Lenstra, J.K., Rinnooy Kan, A.H.K. and Shmoys, D.B.(1986), *The travelling Salesman Problem*, John Wiley & Sons, New York.
 13. Lee, Jeong-Eun and Park, Sang-Bong.(2014), "Study on the Model Construction and Route Re-arrange for Logistics Cost Reduction: Case Study of P company," *Management & Information Systems Review*, 33, 39-48.
 14. Maimon, O.Z., Dal-El, E.M., and Carmon, T.F.(1993), "Set-up saving schemes for printed circuit board assembly," *European Journal of Operational Research*, 70, 177-190.
 15. Maimon, O. and Shtub, A.(1991), "Grouping Methods for Printed Circuit Board Assembly," *International Journal of Production Research*, 29, 1379-1390.
 16. Malandraki, C. and Daskin, M.S.(1991), "Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulation, Properties and Heuristic Algorithms," *Transportation Science*, 26 185-200.
 17. Nemhauser, G.L. and Wolsey, L.A.(1989), *Integer and Combinatorial Optimizations*, John Wiley & Sons. New York.
 18. Park, Y.B. and Song, S.H.(1997), "Modeling Intra-City Time-Dependent Travel Speeds for Vehicle Scheduling Problems," *Journal of OR Society*, 43, 343-351.
 19. Raduly-Baka, C., Knuutila, T., Johnsson, M. and Nevalainen, O.(2011), "Organizing the operation of radial machine

- sequencers for multiple PCB types,” *Computers & Industrial Engineering*, 61, 1003-1010.
20. Reinelt, G.(1991), "TSPLIB-A Traveling Salesman Problem Library," *ORSA Journal of Computing*, 3, 376-384.
21. Sabouni, M.T.Y. and Logendran, R.(2013), "A single machine carryover sequence-dependent group scheduling in PCB manufacturing," *Computers & Operations Research*, 40, 236-247.
22. Salonen, K., Smed, J., Johnsson, M. and Nevalainen, O.(2006), "Grouping and sequencing PCB assembly jobs with minimum feeder setups," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 297-305.
23. Shtub, A. and Maimon, O.(1992), "Role of similarity measure in PCB grouping procedures," *International Journal of Production Research*, 30, 973-983.
24. Wolsey, L.A.(1998), *Integer Programming*, John Wiley & Sons. New York.
25. Yu, S., Kim, D. and Park, S.(2005), "Integer programming approach to the printed circuit board grouping problem," *International Journal of Production Research*, 43, 1667-1684.
26. Yu, S. and Lee, K.(2006), "A Study on Job Sequence and Feeder Allocatiuon Problem in PCB Assembly Line," *Journal of the Society Korea Industrial and Systems Engineering*, 29, 63-71.
27. Yu, S.(2010), "Integer Programming Model to the Travelling Salesman Problems with Route Dependent Travel Cost," *Management & Information Systems Review*, 29, 109-121.

Abstract

Scheduling of Production Process with Setup Cost depending Job Sequence[†]

Yu, Sungeol*

In this paper, we consider a scheduling problem of printed circuit board production process with setup cost depending job sequence. Given a set of PCBs, these are produced in single surface mounting device. The problem is to define job sequence with the objective of minimizing the total setup cost. We propose a mathematical formulation and the problem is proven to be NP-hard. So, a meta heuristic based on genetic algorithm is developed.

Key Words: Scheduling, Setup cost, Job sequence, Printed circuit board

[†] This paper was supported by RESEARCH FUND offered from Catholic University of Pusan

* Professor, Dept. of Management Information Systems, Catholic University of Pusan, syu@cup.ac.kr