

# 휴리스틱 기법을 활용한 PCB 자동삽입라인의 작업흐름경로선택기법

한성배\* · 조현규\* · 함호상\* · 우훈식\* · 김중배\*

## Heuristic Job Route Selection of PCB Auto-insertion Line

Sungbae Han · Hyunkyu Cho · Hosang Ham · Hoonshik Woo · Jungbae Kim

### 〈Abstract〉

A printed circuit board auto-insertion line consists of several processes of identical machines and produces several different types of PCBs. Each board must be processed by at most one machine in each process. So, we call it a flexible flow line. The load balancing is the one of the most important issues in the FFL which has many sequential processes. Therefore we have represented the job route selection model to balance the load of inter-process in the PCB auto-insertion line, and validated it by simulation.

## 1. 서론

최근 전자부품의 소형화 추세에 따라 전자산업분야의 조립 및 가공공정 중 많은 부분이 자동화 설비로 대체되고 있다. 이러한 현상은 인쇄회로기판(PCB: Printed Circuit Board) 상에 부품을 삽입하는 PCB삽입 공정 역시 마찬가지이다. 자동화된 PCB 부품삽입공정은 Sequencing, Axial, Radial, Robot, SMT(Surface Mounting Technology) 등의 여러 흐름공정으로 구성되며 각 공정은 복수의 동종설비를 갖는 전형적인 유연흐름라인(FFL:Flexible Flow Line)이다. 일반적으로 유연흐름라인은 동종의 복수 설비들을 갖는 여러개의 공정으로 구성되며 여러 이종 부품을 가공 또는 조립하는 생산시스템이다. 유연흐름라인의 모든 공정은 가공부품에 대해 동일한 순서열을 가지며 개개의 부품들은 공정 내에 있는 여러개의 동종설비 중 단지 하나의 설비에서 가공 또는 조립된다.

PCB 자동삽입라인은 많은 종류의 PCB들이 여러 공정을 거쳐 조립되므로 공정내 작업물량과 공정간 부하에 대한 관리수준에 따라 생산성이 크게 좌우된다. 특히 긴급주문이나 부적합한 제품조합으로 인해 공정간의 부하불균형이 발생하게 된다. 이때 부하가 선행공정에 집중되어 체증이 일어날 경우 현 공정에서는 작업물량이 부족하게 되는데 이로인해 Starvation에 의한 공정정체가 일어나며, 반대로 후행공정에 부하가 집중될 경우 현 공정은 작업물량을 다음공정으로 흘러보낼 수가 없게 되어 Blocking에 의한 공정정체가 발생된다. 이와 같은 Starvation과 Blocking은 자동삽입설비의 Idle시간을 증대시키며 공정내 재공물량의 정체도 심화시켜 결국 생산성저하의 주요 원인이 되고 있다. 따라서 여러 공정을 순차적으로 거쳐 제품이 완성되는 유연흐름라인의 경우 공정간 부하를 평균화시키는 것이 생산성 향상을 위해 풀어야 할 핵심과제이다.

\* 시스템공학연구소 통합생산시스템연구부

동 분야와 관련된 최근의 연구내용을 보면, Wittrock는 단순한 Flow 라인에 대한 스케줄링 알고리즘을 개발하였으며[1], Kochhar and Morris는 작업리드타임의 최소화를 목표로 생산공정에 투입되는 순서계획을 수립하였고[2], Johri는 납기와 작업준비시간을 고려한 작업순서를 결정하는 알고리즘을 개발하였다[3]. 이와같이 연구된 내용이 주로 유연흐름라인의 스케줄링 문제나 작업순서계획문제 만을 다루고 있다[4,5,6].

그러나, 유연흐름라인의 경우 스케줄링문제에 앞서 부하분석과 공정간 부하평준화에 대한 선행연구가 필요하다. 이는 초기에 설정한 부하량이 생산능력에 맞지 않거나 또는 일부 공정에 국한하여 부하가 편중될 경우 우수한 스케줄링기법을 사용하더라도 최적의 스케줄이 도출될 수 없기 때문이다. 따라서 일정한 생산계획기간 동안에 대해 생산능력과 작업부하량의 균형을 이루는 것이 생산성향상에 필요하며 특히 유연흐름라인의 공정수가 증가할 수록 더욱 중요하다. 일반적으로 생산능력과 부하간의 평준화를 위한 생산능력조정 방안으로는 설비조정 및 증강, 전업수행, 신규인력 채용 등이 있으며 부하량조정 방안으로는 작업흐름경로(Route) 변경, 작업우선순위 조정, 납기조정, 외주처리 등이 있다. 이상의 방안 중 설비, 인력, 외주 등의 방안은 추가적인 경비지출로 채택이 용이하지 않으며, 납기조정의 경우 대외적인 기업이미지를 고려할 때 반복할 수 없는 대안이고, 전업수행은 현재 대부분의 PCB생산업체가 자동화설비를 사용하여 24시간 생산활동을 하고 있기 때문에 대안으로서 의미가 없다. 그리고 작업우선순위의 조정은 스케줄링 문제에서 다들 항목이므로 여기서는 다루지 않기로 한다. 따라서 본 논문에서는 대체가능한 여러개의 작업흐름경로 중 효율적인 작업흐름경로를 선택하여 공정간 부하를 평준화하는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. PCB 자동삽입라인 분석

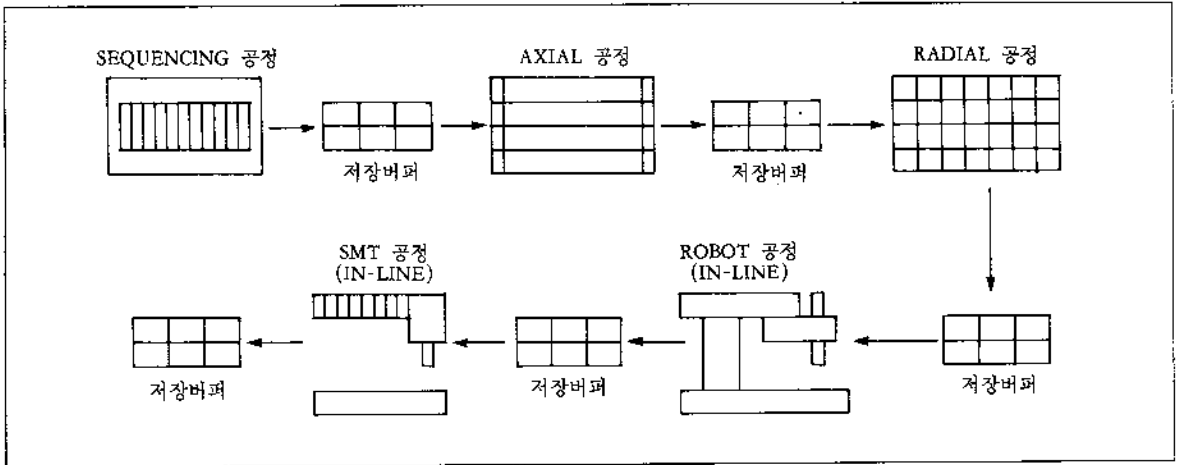
전자제품의 조립은 크게 PCB 상에 부품을 조립하는 라인과 본체인 기구물에 조립된 PBA(Printed Board Assembly)를 실장하는 조립라인으로 구분할 수 있다. 전자에 속하는 PCB 자동삽입라인은 일반적으로

Sequencing공정, Axial공정, Radial공정, SMT공정과 Robot공정으로 구성되며, 각 공정사이에는 공정간의 대기물량을 보관하는 저장Buffer가 있어 공정간의 부하불균형을 부분적으로 흡수해 주는 역할을 하고있다. <그림 1>은 국내의 전자조립업체인 S전자의 PCB 자동삽입라인 공정구성도이다.

PCB 자동삽입라인의 Sequencing공정은 Axial공정에서 PCB에 삽입될 부품을 삽입순서에 따라 재배열하는 공정으로서 Axial공정의 준비공정이다. Axial공정은 저항, 코일, 콘덴서 다이오드와 같은 Axial형태의 부품을 VCD(Variable Center Distance) 방식으로 자동 삽입해 주는 공정이다. Radial공정은 트랜지스터, 세라믹 콘덴서, 스위치류 등과 같은 Radial형태의 부품을 수직 삽입하는 공정으로 Axial공정과 달리 Sequencer를 자체 부착하고 있어 Sequencing공정과 같은 준비작업이 필요없다. 로봇공정은 자삼기로 부품삽입이 불가능한 Connector류의 이형부품을 삽입시켜 주며 SMT공정에서는 상기의 자삼기로 삽입할 수 없는 극소형화된 부품인 Register, Ceramic Capacitor, SOIC(Small Outline Integrated Circuit) 등을 Bond Cream을 사용하여 표면에 부착시키는 공정이다.

PCB 자동삽입라인은 전형적인 유연흐름생산형태로서 단기간의 생산주기동안 여러 종류의 Board들에 다양한 이종의 부품을 조립한다. 그런데 최근 제품의 수명이 크게 단축됨에 따라 제품종류의 다양화, 주문의 소롯트화 및 단납기화가 초래되어 생산현장에서는 작업교체가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 작업교체는 부품삽입에 필요한 NC프로그램 변경, 부품의 Sequencing을 위한 부품 재배열 등과 같은 부수적인 작업준비시간을 증대시키는 결과를 가져와 생산성 저하의 주요 원인이 되고 있다. 특히 빈번한 작업교체로 부적합한 제품조합이 발생하여 공정간의 부하불균형이 일어난다. 이로 인해 공정간에 Blocking 또는 Starvation이 발생하여 공정내 재공물량과 설비의 유휴시간이 증대된다.

따라서 기업현장에서는 작업교체에 따라 발생하는 많은 량의 작업준비시간(Set Up Time)을 단축시키기 위해 삽입부품이 유사한 Board들을 GT(Group Technology)개념으로 분류해 몇개로 그룹화하여 생산하고



(그림 1) PCB 자동삽입라인의 공정구성도

있다. 이를 위해 공정 내의 설비들을 삽입부품의 그룹에 맞게 몇대씩 묶어 5~6개의 소공정으로 특화하여 운영하므로써 작업교체 회수를 최소화하고 있다. 그러나 이와같은 생산방식은 작업준비시간을 대폭적으로 줄여주는는 하나 공정의 부하량 예측이 어려워 공정간 부하불균형을 야기시키고 있다.

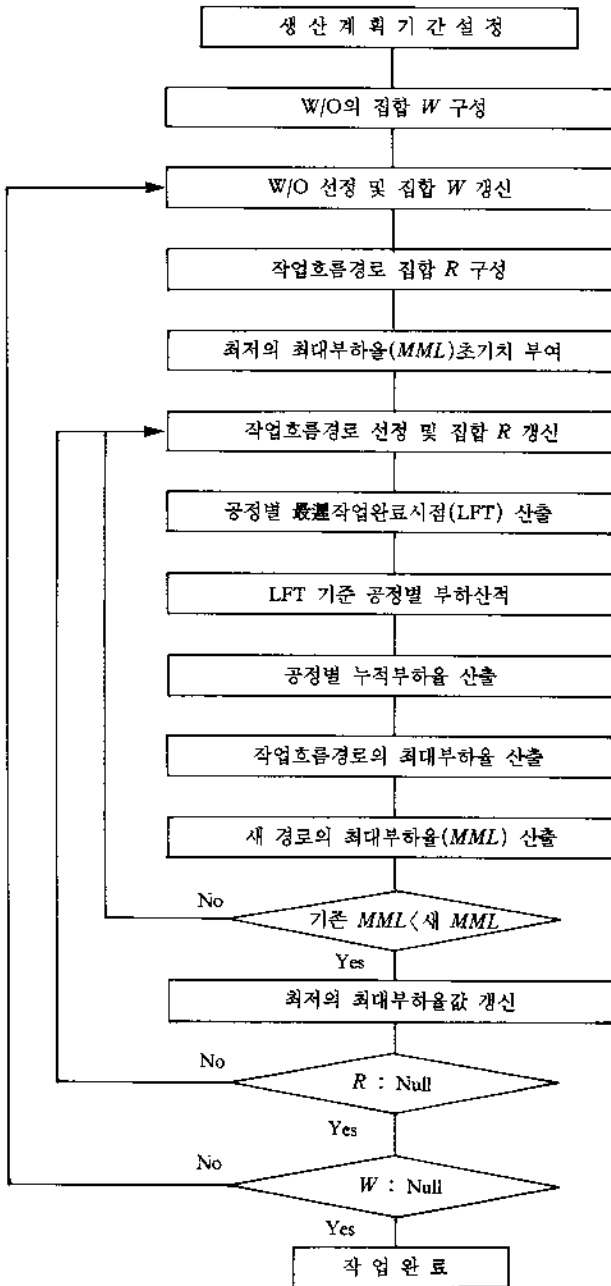
이와같은 공정간 부하불균형을 해소하기 위해 하나의 Board에 대해 부품의 삽입방식 변경과 부품의 삽입순서 조정 등을 통해 여러가지의 작업흐름경로(Route)를 설정해 놓고 공정의 부하상황에 따라 적절한 경로를 선택하고 있다. 그러나 현실적으로 생산현장의 작업자가 복수의 공정 및 소공정의 부하상황과 여러개의 작업흐름경로를 동시에 고려하는데는 한계가 있어 통상 초기공정의 부하상황 만을 보고 작업흐름경로를 선택하고 있는 실정이다. 과거에는 각 Board를 여러개의 가능한 작업흐름경로 중 단지 하나의 작업흐름경로로 고정시켜 놓았기 때문에 선호도가 높은 일부 소공정에 집중적으로 많은 부하가 편중되어 작업의 효율성이 크게 떨어졌다. 그러나 현재 사용 중인 초기 공정의 부하량 만을 평가하여 경로를 선정하는 경우도 역시 차기공정 이후 부터의 부하불균형이 초래되기는 마찬가지이다. 따라서 실질적인 부하의 평준화를 위해서는 라인 내의 전체 공정을 대상으로 부하량을 평가하는 공정간 부하평준화 방안이 필요하다.

### 3. 발견적 기법에 의한 작업흐름선택

유연흐름라인의 경우 일반적으로 대체 가능한 여러개의 작업흐름경로이 존재하게 되는데 본질에서는 여러 작업흐름경로 중 공정간 부하율을 가장 평준화시키는 작업흐름경로를 선택하는 발견적(Heuristic) 기법을 제시하고자 한다.

먼저 앞 절에서 언급한 PCB 자동삽입공정의 생산현장 특성을 감안하여 다음과 같은 가정을 설정한다. 라인 내의 모든 공정은 여러개의 소공정 그룹으로 구성된다. 각 Board별 작업준비는 1회로 완료되며 이에 소요되는 작업준비시간 및 작업시간은 일정한 값을 갖는다. 초기에 설정된 생산샤프트는 생산도중에 분리 또는 취합되지 않으며 일단 작업이 시작된 Board는 타작업에 의해 작업이 중단되지 않고(Nonpreemption) 완료될 때까지 계속 작업을 한다. 공정과 공정 사이에는 일정량의 재공을 허용할 수 있는 저장버퍼를 가지며 공정간 물류이동시간은 무시한다.

이상과 같은 전제조건 하에서 본 연구의 기법은 유연흐름라인 내 모든 소공정의 부하율을 최대한으로 평준화하는 작업흐름경로를 선택하는 것이 목표이다. 이를 위해 현재의 해를 점진적으로 개선하여 구하고자 하는 최종의 해를 구하는 단계적인 접근방법을 채택하고 있다. 이 방법은 먼저 발견적탐색에 의해 Work Order(W/O)를 선택하고 선택된 W/O에 대해 해당 공



〈그림 2〉 작업흐름경로 선택 절차 흐름도

정의 부하율을 Min-Max 알고리즘을 활용하여 공정간 부하율을 최소의 수준으로 평준화시키는 작업흐름경로를 선정한다. 발견적탐색은 W/O 단위로 작업흐름경로를 선택하기 위하여 PCB 자동삽입라인의 특징 및 작업부하분석의 특성을 고려하여 W/O를 선택하는 순서 기준을 수립한다. 그리고, 부하율에 따른 작업흐름경로의 선택에서는 각 W/O 마다 다수의 작업흐름경로에 대하여 부하율을 계산하여 평준화된 부하율을 지닌 최적의 작업흐름경로를 선정하게 된다. 이와같은 과정은 모든 W/O에 대하여 반복적으로 수행된다.

앞의 <그림 2>는 본 논문에서 제시한 작업흐름경로 선택기법의 흐름도이다. 이를 단계별로 보면 다음과 같다.

절차 1 : 생산계획기간(Time Horizon)을 설정하고 동 기간 중 처리해야 될  $k$ 개의 W/O들에 대한 집합 ( $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$ )을 구성하고 W/O 부하 File을 초기화한다.

절차 2 : W/O의 집합( $W$ )에 대해 다음의 W/O 선정기준에 의해 순위가 높은 W/O를 하나 선정한다. 선정기준은 가능한 작업흐름경로의 수가 적은 W/O순, 납기가 빠른 EDD(Early Due Date) W/O순, 작업부하량이 많은 LPT(Longest Processing Time) W/O순이다.

절차 3 : W/O의 집합이 만약  $\text{Null}(W = \emptyset)$ 이면 모든 작업을 끝마친다. 만약  $\text{Null}$ 이 아니면 다음을 계속한다.

절차 4 : 선택된 W/O의 가능한  $m$ 개의 작업흐름경로의 집합( $R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ )을 구성한다.

절차 5 : 최저의 최대부하율을 초기화( $MML_0 = 1$ )하고 작업흐름 부하 File을 초기화한다.

절차 6 : 가능한 작업흐름경로의 집합이 만약  $\text{Null}(R = \emptyset)$ 이면 W/O 부하 File에 작업흐름 부하 File의 부하량을 산적하고 절차 2로 간다. 만약  $\text{Null}$ 이 아니면 다음을 계속한다.

절차 7 : 가능한 작업흐름경로 집합( $R$ )에서 임의의 작업흐름경로를 하나 선택하고 나머지 경로들로 가능한 작업흐름경로 집합( $R$ )을 갱신한다.

절차 8 : W/O 작업을 하기 위해 거치는 작업흐름 경로 상의 최대  $n$ 개의 공정에 대해 늦어도 각 공정에서 작업이 완료되어야 할 시점인 最遲작업완료시점

(LFT : Latest Finish Time)을 산출한다.

절차 9 : W/O의 공정별 부하량을 상기의 LFT를 기준으로 Backward Loading한다.

절차10 : 절차 9에서 산적된 각 공정별 부하와 공정별 생산능력을 단위시간(Time Bucket)을 기준으로 전 생산계획기간 동안 순차적으로 계속 누적하여 누적부하율( $L_i = \text{공정}i\text{의 최대누적부하}/\text{공정}i\text{의 누적생산능력}, i = 1, 2, \dots, n$ )을 산출한다.

절차11 : 산출된 공정별 누적부하율 중에 최대치 ( $ML = \text{Max}\{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ )를 해당 작업흐름경로의 최대부하율( $MML_i = ML$ )로 설정한다.

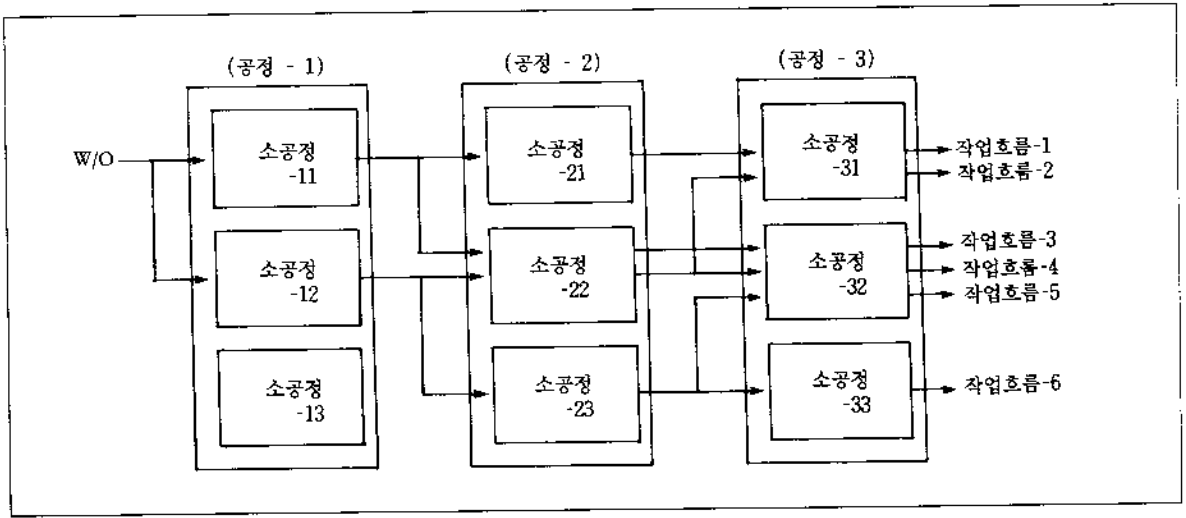
절차12 : 절차 5의 기준 최저의 최대부하율( $MML_0$ )과 절차 11에서 선택된 작업흐름경로의 최대부하율( $MML_i$ ) 중 작은 값으로 최저의 최대부하율( $MML_0 = \text{Min}\{MML_0, MML_i\}$ ) 값을 갱신한다.

절차13 : 상기의 절차 12에서 만약 새로운 작업흐름경로가 선택( $MML_0 \geq MML_i$ )되면 절차 5의 작업흐름 부하 File을 절차 9에서 산출한 해당공정의 단위시간별 부하량으로 갱신하고 절차 6으로 간다. 만약 새로운 작업흐름경로가 선택되지 않으면 그대로 절차 6으로 간다.

#### 4. 사례분석

본 절에서는 앞에서 제시한 작업흐름선택 기법에 대해 S전자의 생산현장 상황을 <그림 3>과 같이 모형화하여 다음과 같은 가정을 전제로 모의실험을 수행하였다.

- 1) 라인은 3개의 공정으로 구성되며 각 공정은 3개의 소공정으로 편성된다.
- 2) 모든 W/O는 상기의 3개 공정을 거쳐 작업이 완료된다.
- 3) 각 공정에서의 작업은 공정내에 존재하는 소공정중 하나에서 작업이 수행된다.
- 4) 공정간 및 소공정간의 생산능력은 평준화되어 있다.
- 5) W/O의 작업흐름경로 갯수는 최대 10개이다.
- 6) 각 W/O의 각 공정별 작업부하는 동일하다.
- 7) 공정간 물류이동시간과 작업준비시간은 무시한다.



〈그림 3〉 공정 구성도

8) 공정 내 설비는 항상 가동이 가능한 상태이다.  
 9) 생산계획기간은 1주일, 단위기간은 1일이다.  
 이상의 전제조건을 근거로 300개의 W/O를 대상으로 하여 아래 3가지 작업흐름선정 기준에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

- A) Board에 대한 작업흐름경로가 사전에 하나로 설정되어 W/O 발생시 경로가 고정되는 경우
- B) Board에 대한 가능한 작업흐름경로 중 W/O 발생시 초기공정 만의 부하율을 평가해서 초기공정이 최소의 부하율을 갖는 경로를 선택하는 경우
- C) Board에 대한 가능한 작업흐름경로 중 W/O 발생시 전체의 작업공정에 대한 부하율을 평가해 전공정의 부하율이 최소치로 평균화되는 경로를 선택하는 경우

기준 A)는 기업현장에서 과거에 사용했던 방법이며 기준 B)는 현재 사용 중인 방법이고 기준 C)는 본 연구에서 제안한 방법으로서 상기의 기준에 의해 선정된 작업흐름경로는 다음의 <표 1>과 같다.

시뮬레이션 과정에서 도출된 선택기준별 누적부하의 편차를 보면 <표 2>에서와 같이 기준 A)는 전 공정이 모두 약 200MH이고 기준 B)는 초기공정은

12.36MH로 매우 낮으나 공정-2는 209.11, 공정-3은 189.35로 급속히 증가하며 기준 C)는 전 공정이 약 20MH로서 라인 전체가 안정되어 있음을 알 수 있다. 또한 <표 3>의 시뮬레이션의 결과를 보면 동일한 실행가동시간 중 Starvation 시간과 Blocking 시간의 합이 기준 A), B), C)별로 3174.10 MH, 2620.06 MH, 799.56 MH로 나타나 라인의 비가동시간이 기준 C)의 경우 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 이 결과 라인의 평균설비가동율은 73.91%, 77.43%에서 기준 C)의 경우 91.83으로 크게 향상되어 생산성 향상에 크게 기여함을 알 수 있다. 여기서 평균설비가동율은 설비의 총 작업시간 대비 실행가동시간 비율로서 이론적인 최대 가동을 1에서 Blocking 및 Starvation에 의해 발생하는 설비의 손실율을 뺀 값이다.

그리고 추가적인 시뮬레이션에 의한 결과로서 현재 3개로 한정된 공정수를 10개 까지 점진적으로 증가시킬 경우 공정간의 부하불균형도가 높아져 설비가동율이 현격히 저하됨을 알 수 있었으며 소공정수의 변화는 공정간의 부하율에 영향을 주지않았다. 특히 W/O의 가능작업흐름경로수를 증가시킬 경우 공정간의 부하가 평균화되 설비가동율이 점진적으로 증가하였다.

〈표 1〉 기준에 따라 선택된 작업흐름경로

W/O 번호	가능 작업흐름 경로수	가능 작업흐름 경로	하기 기준에 의해 선택된 작업흐름경로		
			A) 고정경로기준	B) 첫 공정부하	C) 전공정 부하
1	1	1 → 1 → 1	1 → 1 → 1	1 → 1 → 1	1 → 1 → 1
2	3	2 → 2 → 3 1 → 2 → 3 3 → 1 → 1	2 → 2 → 3	2 → 2 → 3	2 → 2 → 3
3	2	3 → 1 → 1 2 → 3 → 1	3 → 1 → 1	3 → 1 → 1	3 → 1 → 1
4	7	3 → 1 → 3 3 → 2 → 2 3 → 3 → 2 1 → 2 → 3 2 → 1 → 3 3 → 3 → 1 3 → 2 → 1	3 → 1 → 3	3 → 1 → 3	3 → 3 → 2
5	6	3 → 1 → 2 2 → 2 → 3 1 → 2 → 1 2 → 1 → 2 3 → 1 → 1 2 → 2 → 1	3 → 1 → 2	1 → 2 → 1	2 → 2 → 3
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
300	2	3 → 1 → 2 2 → 3 → 1	3 → 1 → 2	2 → 3 → 1	2 → 3 → 1

〈표 2〉 선택기준에 따른 부하분석 결과

작업흐름경로 선택기준	누적부하의 편차 (단위: MH)			
	공정 - 1	공정 - 2	공정 - 3	Total
A) 작업흐름이 고정된 경우	220.94	193.17	208.54	622.65
B) 첫 공정의 부하자료만을 평가한 경우	12.36	209.11	186.35	407.82
C) 전 공정의 부하를 평가한 경우	25.73	19.45	23.19	68.37

(표 3) 시뮬레이션 결과

구	분	제1공정	제2공정	제3공정	합 계
A) 작업흐름이 고정된 경우	Starvation 시간	-	836.66	1090.05	1926.71
	Blocking 시간	1048.38	199.01	-	1247.39
	실 가동 시간	2993.79	3022.99	2975.87	8992.65
	총 작업 시간	4042.17	4058.66	4065.92	12166.75
	*평균 설비 가동율	74.04%	74.47%	73.18%	73.91%
B) 첫공정의 부하만을 평가한 경우	Starvation 시간	-	651.65	917.53	1569.18
	Blocking 시간	856.21	194.67	-	1050.88
	실 가동 시간	2993.79	3022.99	2975.87	8992.65
	총 작업 시간	3850.00	3869.31	3893.40	11612.71
	평균 설비 가동율	77.74%	78.10%	76.41%	77.43%
c) 전 공정의 부하를 평가한 경우	Starvation 시간	-	62.78	321.74	384.52
	Blocking 시간	238.00	177.04	-	415.04
	실 가동 시간	2993.79	3022.99	2975.87	8992.65
	총 작업 시간	3231.79	3262.81	3297.61	9792.21
	평균 설비 가동율	92.63%	92.64%	90.23%	91.83%

\* 평균 설비 가동율 = 설비의 실가동 시간 / 설비의 총 작업 시간 (단위:MH)  
 = 1 - (Blocking율 + Starvation율)

## 5. 결론

PCB 자동삽입라인과 같은 유연흐름라인에서는 통상 일련의 순서열을 갖는 여러개의 공정을 거쳐 제품이 완성된다. 따라서 연속되는 공정간에서 부하의 불균형이 발생할 경우 Starvation과 Blocking이 생겨 일부공정에 Bottle Neck 현상이 나타나서 부분적으로 생산이 중단된다. 그러나 유연흐름라인에서의 Bottle Neck현상은 과거의 단일 제품만을 생산하는 대량생산라인에서와 같이 고정된 공정에서 Bottle Neck이 발생하는 것이 아니고 생산에 투입되는 제품의 종류에 따라 Bottle Neck 공정이 변하게 된다.

따라서 본 논문에서는 PCB 자동삽입라인의 전공정의 부하를 평균화시켜 Starvation과 Blocking을 줄일 수 있는 작업흐름경로 선택기법을 발견적인 접근방법을 통해 제시하였으며 이에대한 유용성검증을 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 사례분석에서와 같이 라인전체의 생산성은 단지 초기공정의 부하만을 평가하는 것 보다 라인의 전공정을 대상으로 부하를 평가하여 평균화시키는 것이 더욱 효과적임을 알 수

있었다. 특히 기존의 방법인 고정경로선택이나 초기공정의 부하평가에 의한 경로선택 방법은 라인의 공정수가 늘어날 수록 공정간의 Blocking과 Starvation 현상이 상대적으로 증가하여 생산성이 현저히 떨어진다. 따라서 공정수가 많은 라인일수록 전체 공정의 부하를 평준화 시키는 본 기법이 유용하다. 향후 본 연구의 결과로 도출된 W/O별 작업흐름경로를 토대로한 Scheduling과의 연계 연구가 필요하다.

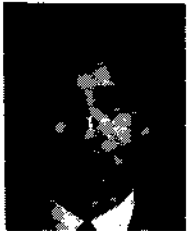
## [참고문헌]

- [1] R.J.Wittrock, "An Adaptable Scheduling Algorithm for Flexible Flow Lines," *Operations Research*, Vol. 36, 1988, pp.445-453.
- [2] S.Kochhar and R.J.T.Morris, "Heuristic Methods for Flexible Flow Line Scheduling," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.6, 1987, pp.299-314.
- [3] P.K.Johri, "Engineering a Circuit Board Assembly Line for a Desired Capacity and Flowtime," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.10/No.6, 1991, pp.



492-500.

- [4] L.Lin and J.F.Cochran, "Optimization of a Complex Flow Line for printed circuit board fabrication by computer simulation," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.6, 1987,pp.47-57.
- [5] Hsiang-Kuan Kung and Chaweng Changchit, "A Just-in-time Simulation Model of A PCB Assembly Line," *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 20/No.1, 1991, pp.17-26.
- [6] P.K.Johri, "A Heuristic Algorithm for Loading New Work on Circuit Pack Assembly Lines," *International Journal of Production Research*, Vol.28, 1990, pp.1871-1883.



**한성배(韓盛培)**  
 1977년 고려대학교 산업공학 학사  
 1984년 고려대학교 산업공학 석사  
 1994년 고려대학교 산업공학 박사수료  
 현 재: 시스템공학연구소 통합생산 시스템연구부 근무  
 관심분야: 생산계획 및 통제, 생산정보시스템



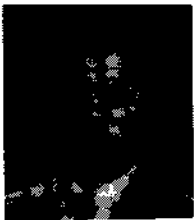
**함호상(咸昊相)**  
 1977년 고려대학교 산업공학 학사  
 1983년 고려대학교 산업공학 석사  
 1995년 고려대학교 산업공학 박사  
 현 재: 시스템공학연구소 통합생산 시스템연구부 근무  
 관심분야: 동적생산계획, 객체지향실시간시스템



**우훈식(禹勳植)**  
 1988년 한양대학교 산업공학 학사  
 1993년 IOWA State Univ. 산업공학 석사 및 박사  
 현 재: 시스템공학연구소 통합생산 시스템연구부 근무  
 관심분야: Real Time Expert System, FMS Modeling & Simulation



**김종배(金重培)**  
 1986년 고려대학교 산업공학 학사  
 1988년 한국과학기술원 산업공학 석사  
 현 재: 시스템공학연구소 통합생산 시스템연구부 근무  
 관심분야: Scheduling, SFC시스템



**조현규(趙顯圭)**  
 1988년 외국어대학교 학사  
 1990년 고려대학교 경영정보학 석사  
 현 재: 시스템공학연구소 통합생산 시스템연구부 근무  
 관심분야: Scheduling, SFC시스템