

☒ 연구논문

## 유연생산시스템에서 작업할당에 관한 연구 - A Study on Loading in Flexible Manufacturing System -

임재우<sup>1)</sup>  
Lim, Jae Woo  
노인규<sup>1)</sup>  
Ro, In Kyu

### Abstract

This study is concerned with the loading problems in flexible manufacturing system(FMS). The loading problem in FMS is a complex one, when the number of machine and job is increased. It may be time-consuming and even impossible to achieve an optimal solution about this problem mathematically. Thus, a heuristic method is recommended in order to gain near-optimal solutions in a practically acceptable time.

A new loading algorithm is developed with a multi-criterion objective of considering the workload unbalance, and maximizing the machine utilization, throughput for critical resources such as the number of tool slots and the number of working hours in a scheduling period and so on.

The results of SAS analysis indicated that true average throughput of proposed heuristic loading statistically exceeds that of Shanker and Srinivasulus loading algorithm at the significance level of 0.1.

### 1. 서론

오늘날 경제가 발달하고 사회가 풍요해 짐에 따라 현대의 제품생산은 다품종 소량 생산을 지향하고 있다. 따라서 기업들은 수요변화에 보다 신속하게 대응하고, 경쟁력 우위를 확보하기 위해 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)과 같은 자동생산시스템을 도입하고 있다.

FMS는 MC(Machining Center)와 같은 다양한 종류의 공정을 수행할 수 있는 가공 장비들이 자동화된 물류 운반시스템(Material Handling System)으로 연결되어서 집중화된 제어 및 운용 시스템에 의해 여러 가지 종류의 다양한 부품들을 동시에 유연하게 가공할 수 있는 생산 시스템이다[2].

FMS는 NC공작기계와 물류 운반시스템(MHS)을 컴퓨터로 제어하기 때문에 재공품을 줄이

---

1) 한양대학교 산업공학과

고, 품질을 향상시키며, 생산계획의 변경 등에 유연성 있게 대응 할 수 있어서 다품종 소량 생산에 적합하다. 그러나, 많은 시설투자 비용이 들기 때문에 투자효과를 높이기 위해서는 설비를 최대한 효율적으로 운영하여야 하며, 효율적 운영은 적절한 생산계획, 일정계획 및 현장관리에 의해서만이 가능하다.

그러나, FMS의 효율적 운영은 기존의 시스템에 비해 다음과 같은 이유 때문에 어렵다.

- 1) 각 기계는 공구의 분배에 따라 다양한 가공작업을 할 수 있다.
- 2) 서로 다른 부품이 같은 공구를 사용 할 수 있다. (tool sharing)
- 3) 다양한 다수의 부품이 동시에 시스템 안에서 가공될 수 있다.
- 4) 각 부품이 필요에 따라 수시로 다양한 대체 공정을 가질 수 있다.

전용 FMS는 제한된 가공조건으로 작고, 비슷한 부품그룹으로 생산하는 방식이고, 전용공구가 주로 사용된다. 이에 비해 범용 FMS는 요구되는 부품의 종류가 수시로 변할 뿐 아니라 매우 다양한 종류의 제품을 생산할 수 있으며, 범용공구를 사용한다. 각 주문은 하나의 부품을 뜻하며, 부품은 몇 가지 공정을 필요로 하고, 대체 공정경로를 가질 수 있다. 즉, 몇몇 종류의 기계는 같은 공정을 처리 할 수 있고, 시스템은 하나의 같은 종류의 기계보다 더 많은 같은 종류의 기계를 가질 수 있다.

그러므로, 본 연구의 목적은 범용 FMS에서 기계별 가용시간제약, 공구 저장함 용량제약 및 대체 작업경로를 고려하여, 단위시간당 생산량을 최대화하여 기계 이용률(machine utilization)을 높이는 동시에 기계간의 불균형을 고려하는 작업할당 알고리즘을 제시한다.

그리고, 제시된 작업할당 알고리즘은 Shanker와 Srinivasulu가 제시한 작업할당 알고리즘과 비교하여, 본 논문에서 제시하는 알고리즘의 우수성을 평가하고, 할당규칙(dispatching rule)인 SPT규칙과 LPT규칙을 사용하여, 기계 이용률을 비교한다.

## 2. 기존 연구 고찰

Liang은 기존의 공정별 배치 하에서 작업할당문제와 작업경로배정문제를 혼합정수계획법으로 다루었다. 이 모델에서는 가공비용(machining cost), 물류비용(material handling cost), 준비비용(setup cost), 기계유휴비용(machine idle cost)등을 고려했다[5].

Maimon and Gershwin은 FMS일정계획이 수행되기 전에 계획된 작업경로를 가지는 것은 매우 중요하다고 지적했다. 그러나 실제로, 이 중요한 사항은 대부분의 연구 논문에서는 잘 고려되지 않는다고 보고했다[6].

Shanker와 Tzen은 요구되는 부품의 종류가 수시로 변할 뿐 아니라 매우 다양한 random FMS에서 기계간의 할당된 작업량을 균등화시키고, 납기일을 고려하는 목적식을 갖는 0-1 정수계획모형을 제시하였다. 공구저장함의 용량과 각 기계의 가용시간의 제약을 가지고, 바로 다음 생산계획 동안에 가공할 부품을 선정하고, 기계부하문제를 해결하였다. 그러나, 하나의 공정은 단지 하나의 기계에만 할당하게 하는 제약식을 줌으로써 대체 공정을 허용하지 않았다[9].

Shanker와 Srinivasulu는 작업량배정을 최대화하는 것을 목적으로 0-1비선형 정수계획 모형을 제시하고, 이를 분지한계법(branch and bound method)을 사용하여, 문제를 해결하였다. 그리고, 공구제약조건과 생산계획 기간을 고려하여, 생산량을 최대로 배정하고, 작업량 불균형을 고려하는 목적을 갖는 발견적 기법을 제시하였다. 하지만, Shankar and Srinivasulu이 제시한 발견적 기법은 Shanker and Tzen에 의해 개발된 발견적 기법과 비슷하고, 다만, 목적이 작업량을 균등하게 할당하면서 생산량을 고려하는 것과, LPT규칙대신 SPT규칙을 사용하여 작업을 배정하는 것이 다르다[8].

Hwang은 FMS에서 하나의 선정된 부품군이 모두 완료되는 시점에서 공구의 교환이 일률적으로 발생한다는 가정아래 시스템 전체의 공구 저장용량과 기계의 가공시간의 제약조건인 상

황에서 가공하는 부품 수를 최대화하는 목적식을 갖는 정수계획모델로 다음 생산계획기간에 가공될 부품군을 선정하였다[4].

Heinrich K.는 작업할당문제를 각 기계에 할당되는 가장 큰 작업량을 최소로 하는 혼합0-1 선형정수계획모형을 제시하였다. 그리고, 각 기계에 배정된 공정에 의해 요구되는 공구 슬롯의 효과적인 할당을 위해 일반 배정문제를 사용하여 문제를 해결하였다[3].

작업할당문제는 주로 수리적 기법 및 발견적 기법에 의해 문제의 해를 구한다. 수리적 기법은 기계의 수나 부품의 수가 증가하는 경우에는 상당히 복잡한 문제가 되어서, 수리적으로 해를 구하는데 많은 시간이 걸리거나, 심지어는 해를 얻는 것이 불가능한 경우도 발생하므로, 본 논문에서는 적절한 시간 내에 최적의 해를 얻는 발견적 기법을 사용하였다.

### 3. 모델 설정

#### 3.1 모델의 가정

- ①기계의 공구 저장함은 용량제한이 있다.
- ②작업물의 가공시간과 무인운반차(Automated Guided Vehicle)의 이동시간 등은 미리 주어진다.
- ③각 작업은 하나이상의 공구를 필요로 하며, 또한 같은 공구가 서로 다른 부품에 사용될 수 있다.
- ④기계, 공구 및 운반장치의 고장은 고려하지 않는다.
- ⑤각 기계는 필요한 공구만 할당되면 어떠한 작업도 수행할 수 있는 범용기계(general purpose machine)이다.
- ⑥공구 저장함(tool magazine)에서 차지하는 슬롯 수는 알려져 있다.

#### 3.2 기호정의

##### 3.2.1 첨자(subscript)

- $i$  : 작업 ( $1 \leq i \leq I$ )
- $k$  : 공정 ( $1 \leq k \leq y_i$ )
- $j$  : 기계 ( $1 \leq j \leq J$ )

##### 3.2.2 매개변수(parameter)

- $y_i$  : 작업 $i$ 의 공정의 수
- $a_i$  : 작업  $i$ 의 배치크기(batch size)
- $B(i,k)$  : 작업 $i$ 의 공정 $k$ 가 수행될 수 있는 기계의 집합
- $H$  : 일정계획 기간
- $JS$  : 작업 집합(Job Set)
- $U$  : 할당되지 않은 작업집합(Unassigned set)
- $A$  : 할당된 작업집합(Assigned set)
- $R_j$  : 기계  $j$ 에 남아있는 가용시간
- $S_j$  : 기계  $j$ 에 남아있는 공구 슬롯의 수
- $tc_{ikj}$  : 작업 $i$ 의 공정 $k$ 가 기계 $j$ 에서 필요로 하는 공구 슬롯의 수
- $FT_j$  : 기계  $j$ 에 할당된 고정경로가 필요로 하는 가공시간
- $ot_{ikj}$  : 고정경로에서 작업 $i$ 의 공정 $k$ 가 기계 $j$ 에서 필요로 하는 가공시간
- $at_{ikj}$  : 대체경로에서 작업 $i$ 의 공정 $k$ 가 기계 $j$ 에서 필요로 하는 가공시간

$P_{ikj}$  : 작업  $i$ 의 공정  $k$ 가 기계  $j$ 에서 필요로 하는 가공시간

$RT_{ikj}$  : 남아있는 기계의 가용시간과 남아있는 고정 경로의 가공시간에 대한 대체 경로의 가공시간의 비율(Ratio Time)이다. 즉,  $RT_{ikj}$ 는 남아있는 기계의 가용시간( $R_j$ ) / 남아있는 고정 경로의 가공시간( $FT_j$ )의 식으로 구한다.  $RT_{ikj}$ 는 작업이 다양한 기계에서 수행될 때, 시스템 불균형을 최소화하면서 동시에 생산량을 최대한 배정 할 수 있도록 하는 식으로  $RT_{ikj}$ 가 가장 큰 값을 선택하여 선택된 기계에 작업을 할당한다.

$SU$  : 배정된 작업집합의 시스템 불균형(System Unbalance)으로 이상적 목표는 각 기계의 남아있는 가용시간을 Zero로 만드는 것이다. 하지만, 현실적으로 불가능하기 때문에 현실적 목표는 각 기계들 간의 작업처리시간의 균형을 맞춘다. 아래 식에서,  $R_j$ 가 +일 때는 사용되지 않고 남은 시간을 나타내며,  $R_j$ 가 -일 때는 가용시간이 초과된 시간을 의미한다.

$$SU = \sum_{j=1}^J |R_j|$$

### 3.2.3 용어 설명

- ①생산량(Throughput) : 할당된 작업집합에서의 배치(Batch)크기의 합을 나타낸다.
- ②고정경로 : 하나의 작업에는 여러 공정이 있을 수 있으며, 이 때 어느 한 공정에서 공정경로가 1개 밖에 없을 때를 의미한다.
- ③대체경로 : 어떤 한 공정에서 공정경로가 1개 이상일 때 대체경로를 가졌다고 한다.

### 3.2.4 결정변수(decision variable)

$$X_i = \begin{cases} 1 & \text{작업 } i \text{가 선택된 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$X_{ikj} = \begin{cases} 1 & \text{작업 } i \text{의 공정 } k \text{가 기계 } j \text{에 배정된 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

### 3.3 수리적 모델\*

목적식(Objective) : 시스템 불균형을 고려하면서, 동시에 생산량이 최대로 배정되게 하는 식이다.

제약식(Subject to)

- (1) 공구 저장함 용량(tool magazine capacity) : 각 기계의 작업할당은 공구 저장함의 공구 수용능력을 초과할 수 없다.
- (2) 기계 용량 (Machine capacity) : 기계의 가용시간 용량 제한을 의미한다.
- (3) 공정 할당 제한(Unique job routing) : 고정경로와 대체경로의 공정은 한 대의 기계에 한 번만 할당되어야 한다.
- (4) 작업 할당 제한 (Nonsplitting of the job) : 각 작업에서 할당 안된 공정이 있으면 안되므로, 작업의 모든 공정은 각 기계에 꼭 할당되어야 한다.
- (5) 통합제한(Integrality of decision variables) : 정수조건식이다.

$$X_i = 0 \text{ or } 1$$

$$X_{ikj} = 0 \text{ or } 1$$

\* 참고문헌 [8]번 참고

#### 4. 작업 할당 (Loading)

작업할당문제는 작업 집합(job pool)로부터 작업의 부분집합을 선택하고, 기계에 작업을 배치하는 것이다.

FMS의 랜덤타입을 위한 Shanker와 Tzen에 의해 제시된 작업량 균등화의 목적을 가진 발견적 기법은 각 기계에 대한 가공시간을 내림차순으로 배열하여 가장 큰 가공시간을 가지는 작업을 먼저 잔여 용량이 큰 기계에 할당하여 각 기계의 불균형을 최소화하는 기법이다[9].

이에 비해, Shanker와 Srinivasulu이 개발한 발견적 기법은 Shanker와 Tzen에 의해 개발된 발견적 기법과 비슷하나, 목적이 작업량을 균등하게 할당하면서 생산량을 고려하는 것과, 각 기계에 대한 가공시간을 내림차순 대신에 오름차순으로 배열하여 가장 작은 가공시간을 가지는 작업을 먼저 배정하는 것이 다르다[8].

하지만, 본 논문에서 제시하는 발견적 기법은 Shanker와 Srinivasulu의 작업할당 목적과 같지만, 각 기계에 대해 고정경로를 가진 작업과 대체 경로를 가진 작업을 구분하여, 대체 경로를 갖는 작업은 남아있는 기계의 가용시간과 남아있는 고정 경로의 가공시간을 고려하여, 시스템 불균형 고려 및 생산량을 최대화 하는 목적에 맞도록 작업을 할당할 기계를 선택하여 작업 할당을 하도록 했다.

또한, 여기서 제시하는 발견적 기법에 의한 작업할당은 기계별 가용시간제약, 공구 저장함 용량제약 및 대체 작업경로를 고려하여, 단위시간당 생산량을 최대화하여 기계이용률을 높이는 동시에 기계간의 불균형을 고려하는 작업할당 알고리즘이다. <그림 1>은 제시된 작업할당 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

##### 4.1 제시된 작업할당의 발견적 기법

###### 단계 1

각 기계에 대해 가용시간( $R_j$ ), 공구 슬롯제한 수( $S_j$ ) 및 고정경로에 대한 가공시간( $FT_j$ )을 계산하고, 각 작업의 총가공시간에 대해 오름차순으로 작업의 집합을 순서대로 나열하여, 작업을 배정한다.

###### 단계 2

고정 경로를 가진 작업( $P_{ikj} = ot_{ikj}$ )이면 단계 2. 1로 가고, 대체 경로를 가진 작업( $P_{ikj} = at_{ikj}$ )이면 단계 2. 2로 간다. 그리고, 작업이 배정될 때까지 단계 2. 1과 단계 2. 2를 반복한다.

###### 단계 2. 1

슬롯제한조건을 만족하는지를 확인하고, 만약, 음수값이 나오면, 작업을 제거하고, 그렇지 않으면, 작업 $i$ 의 공정 $k$ 를 기계  $j$ 에 배정하고,  $R_j$  ( $R_j = R_j - ot_{ikj}$ ),  $S_j$  ( $S_j = S_j - tc_{ikj}$ ),  $FT_j$  ( $FT_j = FT_j - ot_{ikj}$ ),  $A$ ,  $U$ ,  $SU$ 를 갱신한다.

###### 단계 2. 2

먼저 고정경로를 가진 공정을 단계 2. 1의 방법을 사용하여 배정하고, 대체 경로를 가진 공정은 작업 $i$ 의 모든 공정이 배정될 때까지  $RT_{ikj}$  (Ratio Time)값이 가장 큰 값이 나오는 기계에 할당한다. 그리고,  $R_j$  ( $R_j = R_j - at_{ikj}$ ),  $S_j$  ( $S_j = S_j - tc_{ikj}$ ),  $A$ ,  $U$ ,  $SU$ 를 갱신한다.

**단계 3**

단계 2에서 작업에 대한 공정이 배정되지 않고 남아있으면, 그 작업을 제거하고, 그 작업의 할당 전에 구한 값( $R_j, S_j, FT_j, A, U, SU$ )을 그대로 두고, 그렇지 않으면, 작업을 배정한다.

**단계 4**

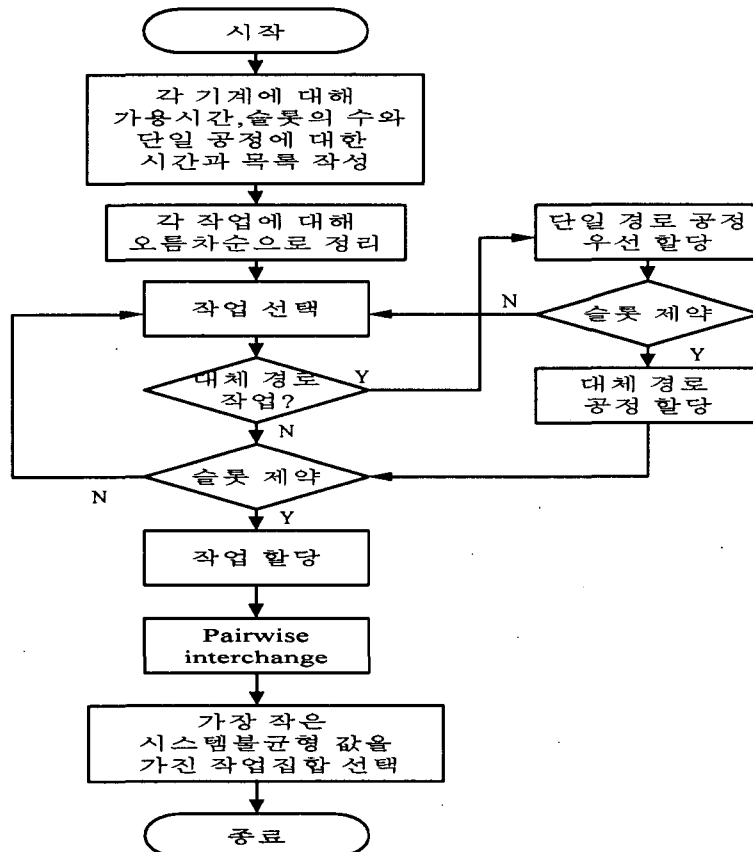
만약, 단계 3에서 시스템 불균형 값이 작아 지다가 커지면, 선택된 작업에서 할당된 마지막 작업은 제거하고, 이 작업을 선택하기 전의 값으로  $R_j, S_j, FT_j, A, U, SU$ 를 갱신한다.

**단계 5**

배정된 작업집합에서 마지막 작업을 제거하고, 배정 안된 작업집합의 작업을 하나씩 넣어 새로운 작업집합을 만들어 시스템 불균형을 고려한다. (Pairwise Interchange)

**단계 6**

단계 4, 5에서 시스템 불균형이 최소인 작업 집합을 최적해로 선택하고, 생산량을 구한다.



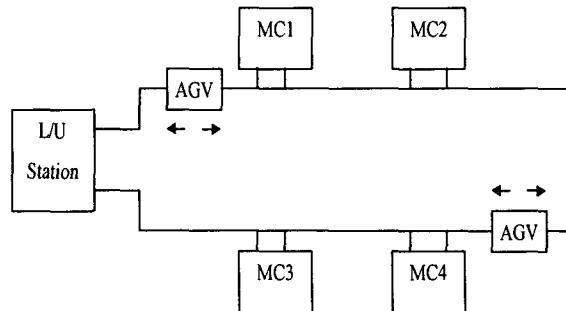
<그림 1> 작업할당 알고리즘의 순서도

## 5. 실험 및 결과 분석

### 5.1 유연생산시스템 모델

유연생산시스템의 가상모델은 <그림 2>와 같이 1개의 L/U Station과 양쪽 방향으로 움직일 수 있는 두 대의 AGV(Automated Guided Vehicle) 및 4대의 MC(Machining Center)로 이루어진 순환형(loop type)FMS이다.

각 기계는 공구 저장함의 용량 때문에 저장할 수 있는 공구수가 제한되어있다. 이 예제에서는 공구 저장함의 용량은 5슬롯(slot)이고, 각 공정은 하나의 공구를 필요로 한다. 각 기계에는 입출고 완충저장소가 있으며, 입출고 저장소(loading/unloading station)를 통해 들어온 작업물은 독립적이고, 랜덤(random)하게 각 기계로 보내진다.



<그림 2> 유연생산시스템 모델

배치(batch)의 크기는 정규분포  $U(5,15)$ 를 사용하고, 공정의 수는  $U(1,3)$ 이고, 각 공정에 대한 가공시간은  $U(6\text{분}, 30\text{분})$ 을 따른다. 시스템 내에서의 할당 규칙(dispatching rule)은 SPT규칙이나 제시된 할당규칙에 의해 가공을 받고, 모든 가공을 끝마친 작업물은 입출고 저장소를 통해 나가게 된다. 생산계획 기간은 8시간(480분)으로 한다.

제시된 작업할당 알고리즘은 Shanker & srinivasulu가 범용 FMS에 적용한 데이터를 사용하였다. <표 1>은 첫 번째 생산주기(first production cycle)동안의 작업목록을 보여준다.

<표 1> 작업 목록(first production cycle)

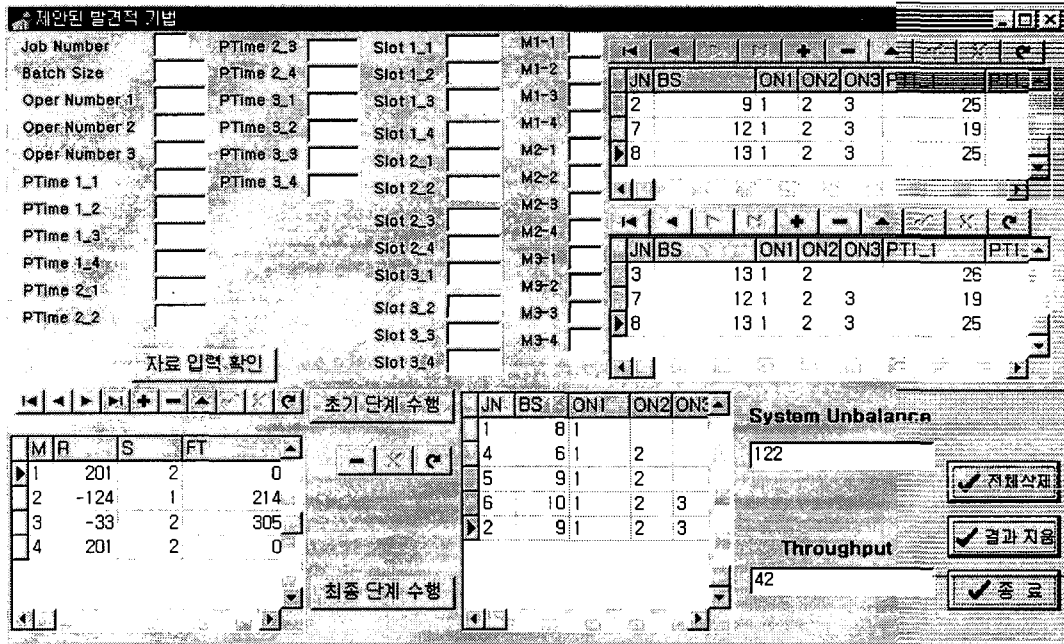
작업	배치 크기	공정	가공시간	슬롯 수	공정경로	기계
1	8	1	18	1	1	3
2	9	1	25	1	1	1
		2	24	1	1	4
3	13	3	22	1	1	4
		1	26	2	1	2
		2	11	3	1	1
4	6	1	14	1	1	3
		2	19	1	1	4
5	9	1	22	2	1	2
		2	25	1	2	3
6	10	1	16	1	1	2
		2	7	1	1	4
		3	21	1	1	2
7	12	1	19	1	2	3
		2	13	1	1	2
		3	23	3	2	4
		1	25	1	3	2
8	13	2	7	1	3	3
		3	24	3	1	2
		1	25	1	2	1

5.2 결과

작업할당 알고리즘을 실행하기 위해 Delphi 2.0을 이용하여 프로그래밍 하였고, 또한 기계 이용률(Machine utilization)을 구하기 위해 SIMAN II를 이용하였다.

<그림 3>은 작업데이터를 쉽게 입력할 수 있는 화면을 보여준다. 이 표에서는 첫 번째 생산 주기의 작업목록을 이용해 실행한 결과 값을 나타낸다.





<그림 3> Delphi를 이용한 작업할당 실행화면

<표 2>는 모든 생산주기(production cycle) 동안의 Shanker and Srinivasulu의 알고리즘과 제시된 알고리즘의 결과를 보여준다. 이 표에서, 평균 생산량은 Shanker and Srinivasulu의 알고리즘보다 좋은 결과를 나타내었다. 이 결과는 단위시간당 생산량을 최대화하고, 동시에 기계간의 불균형을 고려하는 작업할당 목적식에 일치하는 값이다.

<표 2> 모든 생산주기(production cycle)동안의 작업할당 알고리즘 비교

Shift Number	Shanker and Srinivasulu의 알고리즘		제시된 알고리즘	
	System unbalance	Throughput	System unbalance	Throughput
1	253	39	122	42
2	388	51	308	73
3	288	63	413	79
4	819	51	819	51
5	467	62	516	51
6	548	51	436	73
7	189	54	396	63
8	459	36	318	48
9	462	79	492	88
10	518	44	541	55
평균	439.1	53	436.1	62.3

기존의 작업할당 알고리즘과 제시된 작업할당 알고리즘의 생산량에 대한 통계적 분석을 하면, 다음과 같다.

$$\text{귀무가설}(H_0) : \mu_1 - \mu_2 \geq 0$$

$$\text{대립가설}(H_1) : \mu_1 - \mu_2 < 0$$

여기서,  $\mu_1$  : 기존의 작업할당 알고리즘에 의한 평균생산량 = 53개  
 $\mu_2$  : 제시된 작업할당 알고리즘에 의한 평균생산량 = 62.3개  
 유의수준 10%에서 귀무가설( $H_0$ )은 기각된다. 즉, 유의수준 10%에서 제시된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수하다고 할 수 있다.

<표 3>은 작업할당에 의해 선택된 작업을 데이터로 하여, SIMAN II를 이용한 모의 실험에 의해 기계 이용률을 비교하였다. 제시된 알고리즘을 할당규칙인 SPT규칙과 LPT규칙을 사용해 모의 실험한 결과 Shanker and Srinivasulu의 알고리즘보다 기계 이용률이 향상된 결과를 보여준다.

<표 3> 모의 실험(simulation)에 의한 기계 이용률(machine utilization)

Shift number	Shanker and Srinivasulu의 알고리즘		제시된 알고리즘	
	SPT	LPT	SPT	LPT
1	0.723	0.673	0.782	0.664
2	0.588	0.543	0.893	0.902
3	0.745	0.642	0.793	0.915
4	0.853	0.762	0.940	0.679
5	0.748	0.732	0.739	0.727
6	0.711	0.648	0.930	0.851
7	0.758	0.883	0.842	0.842
8	0.693	0.692	0.765	0.608
9	0.691	0.694	0.912	0.941
10	0.832	0.761	0.810	0.826
평균	0.734	0.703	0.840	0.796

## 6. 결론

본 논문에서는 범용(random) FMS에서 기계별 가용시간제약, 공구 저장함 용량제약 및 대체 작업경로를 고려하여, 단위시간당 생산량을 최대화하여 기계이용률을 높이는 동시에 기계간의 불균형을 고려하는 작업할당(Loading)에 대한 발견적 기법을 제시했다.

기존의 연구들이 대체 작업경로를 고려하지 않아 생기는 문제를 해소하고, 제시된 작업할당 알고리즘과 Shanker와 Srinivasulu가 제시한 작업할당 알고리즘을 비교하여, 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 더 좋은 결과를 나타냈으며, 할당규칙인 SPT규칙과 LPT규칙을 사용하여, 기계 이용률(machine utilization)을 비교한 결과 Shanker와 Srinivasulu가 제시한 작업할당 알고리즘보다 좋은 기계 이용률을 보여 주었다.

추후 연구 과제로는 10개의 작업목록을 이용해 문제를 풀었는데, 더 많은 데이터를 이용하여 제시된 발견적 기법의 수리적 검증이 있어야 되겠고, 기존의 할당 규칙이 아닌 새로운 할당 규칙을 제시하여 기계 이용률에 대한 비교를 하여야겠다.

### 참고 문헌

- [1] 양시준, "자동생산체제에서의 작업할당 및 작업우선순위에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 1993.
- [2] U. Rembold, B. O. Nnaji and A. Storr, "*COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING AND ENGINEERING*", Addison-Wesley, 1993.
- [3] Heinrich kuhn, "A Heuristic Algorithm for the Loading Problem in Flexible Manufacturing Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.7, pp.229-254, 1995.
- [4] Hwang, S.S. and A.W. Shogan, "Modelling and solving an FMS part selection problem" *Int. J. Prod. Res.*, Vol.27, No.8, pp.1349-1366, 1989.
- [5] Liang, M. and S. P. Dutta, "A mixed-integer programming approach to the machine loading and process planning problem in a process layout environment", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, No.8, pp.1471-1484, 1990.
- [6] Maimon O. Z., and Gershwin, S. B., "Dynamic scheduling and routing for Flexible Manufacturing Systems that have unreliable machines", *Operations Research*, 36 (2), 279-292, 1988.
- [7] Pierreval, H. and Mebarki, N. "Dynamic selection of dispatching rules for manufacturing system scheduling", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.35, No.6, pp.1575-1591, 1997.
- [8] Shanker, K., and Srinivasulu, A., "Some solution methodologies for loading problems in a flexible manufacturing system", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.27, No.6, pp.1019-1034, 1989.
- [9] Shanker, K., and Tzen, Y.-J. J., "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system", *Int. J. Prod. Res.*, Vol.23, No.2, pp.579-595, 1985.