

## FMS의 공구배분법에 가동률 분석

허성관\* · 하정진\*\*

### Utilization Analysis by Tool Allocation Method of the FMS

Sung-Kwan Huh\* and Joung-Chin Ha\*\*

#### Abstract

A completely separated functional FMS(flexible manufacturing systems), or a partly separated functional FMS, should be constructed because a fully functional FMS, where each machine has all of the tools required for processing various kinds of jobs, is superfluous and wasteful in meeting the multiform and changeable demands of consumers in a flexible manner. The effective methods are presented in this study for allocating the tools to each machine in a two-machine flow shop type FMS to meet the above demands and to maximize the utilization of the FMS. The methods for a completely separated functional FMS having no duplicated tools and a partly separated functional FMS having some duplicated tools are proposed in this paper. Some simulation results clarify that utilization of the FMS by this methods is as high as the fully functional FMS when the number of jobs is large.

#### 1. 서론

오늘날, 제조업을 중심으로 본격적으로 진행되고 있는 유연흐름생산시스템(Flexible Manufacturing System: 이하 FMS로 칭한다)은 동일한 작업영역에서 다양한 작업을 효율적으로 처리할 수 있는 기계들을 통합하여 관리, 통제

함과 동시에 통합생산시스템으로 일컬어지는 CIM(Computer Integrated Manufacturing)을 지원하는 가장 중요한 하드웨어(hardware)로서 생산시스템의 효율성과 유연성이 뛰어나기 때문에 관리자로 하여금 생산계획과 통제에 수반되는 문제점을 해결할 수 있다. 또한, FMS는 막대한 투자가 요구되기 때문에 생산관리측면에서 시스템을 효율적으로 운영하는 것이 투자

\* 대구대학교 산업공학과

\*\* 동아대학교 산업공학과

에 대한 최저필수수익률을 보전하는 방법이다. 따라서, FMS는 효율적 운영방법이 시스템 전체에 아주 큰 영향을 미치지 때문에 여기에 대한 연구의 필요성이 강조된다.

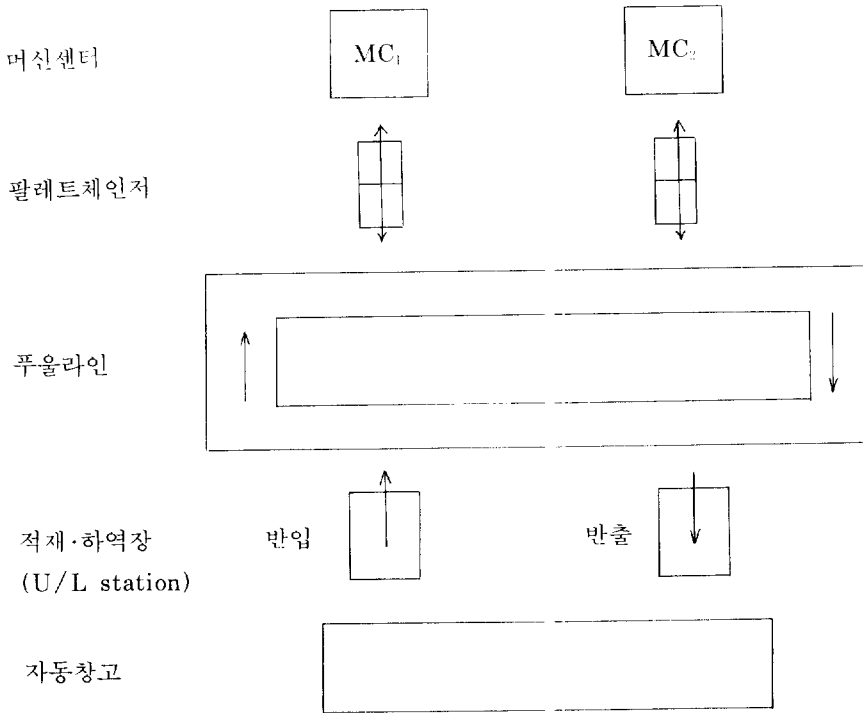
FMS의 형태는 그들의 유연성의 정도, 운영 형태 또는 구성원소의 특성 등에 의하여 여러 가지로 구분될 수 있으나 일반적으로 유연기계 공작셀(Flexible Machining Cell), 유연일괄라인(Flexible Transfer Line) 및 유연기계공작시스템(Flexible Machining System)로 나누어 볼 수 있다. 또한, FMS의 구성요소는 일련의 작업장들(Work Stations)(이는 하나의 작업장에서 다양한 종류의 작업(Job)을 수행할 수 있는 공작기계센터(Machine Center : MC)로 구성되어 있다), 자동창고(Automated Storage : AS) 그리고 이들을 서로 연결시켜 주는 작업물 운반시스템(Material Handling System : MHS), 공구운반시스템(Tool Delivery System : TDS)(대부분의 기존 시스템은 공구운반시스템을 가지지 않는 대신 공구는 각각의 기계에 존재하는 공구저장소(Tool Magazine)에 배치된다), 작업물의 시스템내의 적재, 하역장(Load/Unload Station : L/U) 및 이들의 각 요소들을 감독하고 통제하고 컴퓨터시스템(Computer System : CS)으로 구성되어 있다.

이러한 구성요소들 중에서 FMS는 MC를 이용한 경우가 많다. MC는 자동공구교환장치(Automatic Tool Change : ATC)를 갖춘 복합 가공용 수치제어(Numerical Control : NC) 공작기계군으로 되어 있기 때문에 단 한번의 준비로 여러 종류의 가공을 행할 수 있다. 이 경우 FMS를 효율적으로 가동시키기 위해서는 MC에서의 가공에 필요한 여러가지 공구를 어떻게 배분할 것인가가 중요한 문제로 대두된다.

Berrada와 Stecke[5]는 FMS내의 어느 한대의 MC에서 각 작업의 가공이 완료되는 것을 전제로 하여 공구저장소의 용량제한을 고려한 경우의 효율적인 공구분법을 제안했고, Sarin과 Chen[7]은 공구배분이 기계의 가동시간에 미치는 영향을 분석했다. Hirabayashi 와 Suzuki[6]는 필요공구수가 공구저장소의 용량 이하일 경우, 모든 부품을 가공하는데 필요한 최소수의 공구묘물을 제안했다. 또한, 大場등[4]은 한대의 MC를 대상으로 G.T(Group Technology)기법을 이용하여 공구교환의 횟수를 최소화하기 위한 공구배분법을 제안했다. 그러나, 기존의 연구들은 단일 또는 병렬MC를 대상으로 한 것으로서, 아직까지 복수의 MC를 대상으로 한 공구배분법은 제안되지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 복수의 MC를 대상으로 하는 경우, 각 MC마다 가공에 필요한 공구를 전종류 중복시켜서 배분하는 「전기능형」은 거의 100%에 가까운 가동율을 달성 할 수 있으며 운용면에서도 용이하지만, 이로 인한 공구저장소의 용량이 불필요하게 확대 되므로 경제적인 측면에서 손실이 많고, 또한 공구저장소의 용량이 제한되어 있기 때문에 현실적으로 적용하기에는 여러가지 어려운 점이 많다. 따라서, 이를 해결하기 위해서는 공구를 완전히 분할해서 배분하는 「완전기능분산형」이나 일부의 공구만을 중복시켜 배분하는 「기능분산형」의 공구배분법이 바람직하다.

본 연구에서는, 2기계 Flow-Shop형 FMS를 대상으로 완전기능분산형 및 기능분산형의 공구배분법에 대한 발전적 해법을 각각 제안하고, 제안된 해법이 FMS의 가동률에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 분석하고자 한다.



[그림 1] FMS 모델

## 2. FMS의 모델

### 2.1 모델의 구성 및 전제조건

본 연구에서는 [그림 1]과 같은 FMS모델을 대상으로 한다. 즉 FMS모델의 하드웨어는 2대의 기계(MC,  $i=1,2$ ), 팔레트체인저(pallet changer), 푸울라인(pool line), 반입·반출설비 및 자동창고를 구성되어진다. 그리고, 작업의 흐름을 살펴보면, 각 작업은 정해진 작업스케줄에 따라 자동창고로부터 반입장치에 의해 푸울라인에 반입된후, 푸울라인상의 컨베어를 통하여 일정속도로 반입되어 팔레트체인저에 의해 각 MC에 공급되어진다. 각 MC에서 소정의 가공이 완료되면, 다시 팔레트체인저에 의

해 푸울라인에 반출되어 컨베어를 통하여 반송되면 반출장치에 의해 자동창고로 되돌아 온다.

한편, 본 연구에서 대상으로 하는 모델의 전제조건은 다음과 같다.

- 1) 시스템에서 취급하는 공구종류수와 작업수는 사전에 정해져 있다.
- 2) 시스템의 각 구성요소는 고장없이 언제나 이용가능한 상태로 되어있다.
- 3) 작업은 팔레트에 정착되어진 상태로 자동창고에 보관되어 있고, 언제든지 가공 가능한 상태로 되어있다.
- 4) 일단 가공이 개시된 작업이 가공완료되진에는 다른 작업의 가공은 허용하지 않는다.
- 5) 각 작업은 MC<sub>1</sub>, MC<sub>2</sub>의 순으로 가공되어 지지만, 공구배분 또는 가공요소의 유무에 따

라서 일부의 MC만으로도 가공을 완료할 수 있다.

6) 각 MC에서의 작업에 필요한 준비시간은 가공시간에 포함된 것으로 하고, 또한 작업순서에 의해 변하지 않는다.

7) 반입·반출장치, 푸올라인, 팔레트체인저의 가공물 운반시간은 가공시간에 비하여 극히 짧고, 시스템의 가동률에는 영향을 미치지 않는다.

### 2.2 모델의 정식화

모델의 정식화를 위해 사용되는 기호의 정의는 다음과 같다.

- n : 작업의 종류수
- m : 기계(MC)대수
- p : 공구종류수
- q : 중복공구종류수(0 ≤ q ≤ p)
- J<sub>i</sub> : i번째 작업 i=1,2,...n
- T<sub>j</sub> : j번째 공구 j=1,2,...p
- MC<sub>k</sub> : k번째 기계 k=1,2
- t<sub>ij</sub> : 작업J<sub>i</sub>가 공구T<sub>j</sub>에 의해 가공되는 요소가 공시간
- d<sub>i</sub> : 작업J<sub>i</sub>의 가공수량
- δ(t<sub>ij</sub>) : 가공요소의 유무를 나타내는 함수

$$\delta(t_{ij}) = \begin{cases} 1 & (t_{ij} \geq 0) \\ 0 & (t_{ij} = 0) \end{cases}$$

P<sub>a</sub> : 가공요소수의 비율

$$P_a = \frac{\text{가공요소수}}{\text{작업종류수} \times \text{공구종류수}} \times 100(\%)$$

JT<sub>i</sub> : 작업J<sub>i</sub>의 총가공시간

$$JT_i = d_i \sum_{j=1}^p t_{ij}$$

JF<sub>i</sub> : 작업J<sub>i</sub>의 총가공회수

$$JF_i = d_i \sum_{j=1}^p \delta(t_{ij})$$

TT<sub>j</sub> : 공구T<sub>j</sub>의 총공구이용시간

$$TT_j = \sum_{i=1}^n d_i t_{ij}$$

TF<sub>j</sub> : 공구T<sub>j</sub>의 총공구이용회수

$$TF_j = \sum_{i=1}^n \delta(t_{ij})$$

MT<sub>ki</sub> : MC<sub>k</sub>에서 작업J<sub>i</sub>의 가공시간

$$JT_i = \sum_{k=1}^2 MT_{ki}$$

ST<sub>k</sub> : MC<sub>k</sub>에 배분되어진 공구의 집합

$$ST_1 \cup ST_2 = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$$

SJ<sub>ki</sub> : MC<sub>k</sub>에 배분되어진 공구T<sub>j</sub>에 의해 가공되어지는 작업의 집합

$$SJ_{1i} \cup SJ_{2i} = \{J_i \mid t_{ij} > 0, i=1,2,\dots,n\}$$

OT<sub>k</sub> : MC<sub>k</sub>에 배분되어진 중복공구의 집합

$$ST_1 \cap ST_2$$

OR : 공구종류수에 대한 중복공구수의 비율

$$OR = \frac{\text{중복공구수}}{\text{공구종류수}} = \frac{q}{p} \times 100(\%)$$

또한, 효율적인 공구배분에 의한 시스템의 생산성향상을 평가하기 위하여 시스템의 가동률의 최대화를 본 연구에서 대상으로 한 FMS 모델의 평가기준으로 삼는다. 여기서 가동률은 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$U = \frac{\text{총가공시간}}{\text{총처리시간} \times \text{기계대수}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p d_i t_{ij}}{F_{\max} \times 2} \times 100(\%) \quad (1)$$

단, 총처리시간(make-span) F<sub>max</sub>은 최초의 작업이 기계에서 가공을 개시한 후부터 최후의 작업이 기계에서 가공을 완료할 때까지 소요되

는 시간을 말한다. 그러므로, 가동율의 최대화는 본 모델의 경우 총처리시간의 최소화와 동가임을 알 수 있다.

따라서, 본 연구의 모델은 다음과 같이 정식화 되어진다.

$$\text{MAX } U \Leftrightarrow \text{MIN } F_{\max} \quad (2)$$

$$\text{s.t } ST_1 \cup ST_2 = \{T_1, T_2, \dots, T_n\} \quad (3)$$

$$SJ_{ij} \cup SJ_{j2} = \{J_i | t_i > 0, i=1,2,\dots,n\} \quad (4)$$

$$ST_1 \cap ST_2 = 2 \times \text{OR} \quad (5)$$

$$SJ_{i1} \cap SJ_{j2} = \Phi \quad (6)$$

$$\sum_{j \in ST_1} \sum_{i \in SJ_{ij}} d_i t_{ij} = \sum_{j \in ST_2} \sum_{i \in SJ_{ij}} d_i t_{ij} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in ST_1} \sum_{i \in SJ_{ij}} d_i \delta(t_{ij}) = \sum_{j \in ST_2} \sum_{i \in SJ_{ij}} d_i \delta(t_{ij}) \quad (8)$$

여기서, 식(7)은 각 MC의 부하를 균등하게 하기 위한 경우이고, 식(8)은 각 MC에 대한 공구이용회수를 균등하게 하기 위한 경우에 고려되어야 한다.

### 2.3 공구배분법에 따른 FMS의 유형

#### 2.3.1 전기능형

가공에 필요한 전종류의 공구를 각 MC에 완전중복 시켜서 배분하는 경우의 FMS (OR=1)를 「전기능형 FMS(Full functional FMS)」라 한다. 이러한 전기능형의 경우는 병렬형시스템에 가깝게 되기 때문에 전작업은 2대의 MC중 어느 MC에서나 가공이 완료될 수 있다. 따라서, 어느 MC에서 작업 및 작업의 가공요소를 가공 할 것인가를 결정하는 작업의 할당이 문제가 되기 때문에 공구 그 자체의 배분을 고려할 필요가 없다. 그러므로 작업할당에 있어서의 가동율을 최대화 하기 위한 기본

적인 방침은 각 MC에서 가공되어지는 작업의 추가공시시간이 균등화 될 수 있도록 부하평준화를 이루면 가동율은 거의 100%로 달성되어진다. 그러나 현실적으로 공구저장소의 용량이 제한되어 있는 경우는 불가능하다.

#### 2.3.2 완전기능분산형

가공에 필요한 공구를 완전히 분산해서 각 MC에 배분하는 것으로서 중복공구수가 전혀 없는 경우의 FMS(OR=0)를 「완전기능분산형 FMS(Completely separated functional FMS)」라 한다. 이러한 완전기능분산형의 경우는 각 공구를 어느 MC에 배분하는가에 따라 자동적으로 각 MC에서 가공되는 작업의 가공요소가 결정되어진다.

#### 2.3.3 기능분산형

가공에 필요한 공구중에서 일부의 공구만을 각 MC에 중복해서 배분하는 경우의 FMS(0 < OR < 1)를 「기능분산형 FMS(Partly separated functional FMS)」라 한다. 이러한 기능분산형의 경우에는 전기능형과 완전기능분산형을 동시에 고려하는 것으로서, 중복공구의 선정 및 선정된 중복공구에 의한 작업의 할당을 고려하여야 하며, 또한 비중복공구를 어느 MC에 배분할 것인가가 문제의 요인이 된다.

## 3. FMS의 공구배분법

본장에서는 앞의 2.3에서 논한 3가지의 공구 배분법에 따른 FMS의 유형중에서 실질적으로 공구배분에 따라서 가동률에 영향을 미치는 완전기능분산형과 기능분산형에 대한 효율적인 공구배분법을 제안한다.

### 3.1 완전기능분산형

완전기능분산형의 경우 어느 공구를 어느 MC에 배분하는가를 결정하는 공구할당이 문제가 된다. 따라서, 가동률을 최대화 하기 위한 공구배분법에 대한 기본방침은 각 MC의 총공구이용시간이 균등화 될 수 있도록 부하평준화를 이루는 것이다. 여기서, 총공구이용시간의 부하평준화에 대한 해법을 다음과 같이 제안한다.

〈단계 1〉 p종류의 공구중에서 공구이용시간이 가장 큰 공구를 MC<sub>1</sub>에, 그 다음으로 공구이용시간이 가장 큰 공구를 MC<sub>2</sub>에 할당한다.

〈단계 2〉 각 MC에 할당되어진 공구이용시간의 기계별누계값이 작은쪽의 MC(누계값이 동일한 경우에는 MC<sub>1</sub>)에 아직 미할당된 공구중에서 공구이용시간이 가장 큰 공구(복수가 존재하는 경우에는 공구의 번호가 작은 공구)을 할당한다.

〈단계 3〉 〈단계2〉의 절차를 전 종류의 공구가 전부 할당될 때까지 반복하여 일차적인 부하평준화를 행한 후 Johnson법에 의한 가공스케줄을 작성하여 총처리시간에 대한 가동율을 계산한다.

〈단계 4〉 각 MC에 할당되어진 공구를 서로 교환하는 것에 의해 가동률의 향상을 검토한다. 우선, 각 MC에 할당된 공구중에서 공구이용시간의 차가 기계별누계값의 차의 1/2이하에 가장 가까운 한쌍의 공구를 발견(반드시 기계별누계값이 큰쪽의 MC에 할당된 공구의 공구이용시간이 큰것을 기준)하여 서로 교환하여 부하평준화를 개

선시킨다. 그리고, Johnson법에 의한 가공스케줄을 작성하여 총처리시간에 대한 가동률을 계산한 후 〈단계3〉의 가동률과 비교해서, 가동률이 향상되지 않으면 MC간의 공구교환은 취소한다. 그러나, 가동률이 향상되면 다시 각 MC간의 공구교환에 의한 가동률의 향상을 검토한다. 이러한 공구의 교환은 가동률이 더 이상 향상되지 않을 때까지 반복한다.

### 3.2 기능분산형

#### 3.2.1 중복공구의 선정

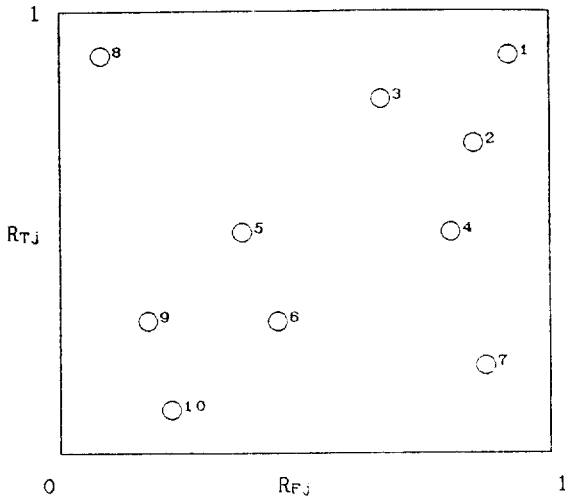
기능분산형의 경우는 우선 어느 공구를 중복할 것인가를 고려하여야 한다. 본 연구에서는, 중복공구를 선정하는 기준으로서 공구이용시간과 공구이용회수를 이용한다. 그것은 공구이용시간이 크면서 동시에 공구이용회수가 많은 공구를 중복공구로 선정하는 것이 시스템의 생산성을 향상시키는 측면에서 바람직하기 때문이다. 이러한 관점에서 다음과 같은 중복공구의 선정방법을 제시한다.

〈단계1〉 총공구이용시간에 대한 제j공구의 공구이용시간의 비율  $R_{Tj}$ 와 총공구 이용회수에 대한 제j공구의 공구이용회수의 비율  $R_{Fj}$ 을 구한다.

$$R_{Tj} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i t_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p d_i t_{ij}}, \quad j=1,2,\dots,p \quad (9)$$

$$R_{Fj} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \delta(t_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p d_i \delta(t_{ij})}, \quad j=1,2,\dots,p \quad (10)$$

〈단계2〉 공구이용시간비율  $R_{Tj}$ 를 종속으로 하고



[그림 2] 시간-빈도도

공구이용회수비율  $R_F$ 를 횡축으로 했을 때, 제j공구  $T_j$ 를 그래프상의 점( $R_{Tj}$ ,  $R_{Fj}$ )○로 표시하면 [그림2]와 같이 공구에 대한 시간-빈도도(time-frequency chart : TFC)를 작성한다.

<단계3> 점(1,1)과 점( $R_{Tj}$ ,  $R_{Fj}$ )에 대한 유클리드거리(Euclidean distance)값이 작은 순서, 즉 공구이용시간과 공구이용회수가 동시에 많은 공구순으로 중복공구를 선정한다.

[그림 2]에서 각 점상의 숫자는 이상의 절차에 의한 중복공구순위를 예로 나타내 본 것이다.

### 3.2.2 공구배분법

기능분산형에 있어서, 일단 중복공구의 선정이 결정되면 공구배분법의 기본방침으로서, 중복공구에 대한 작업할당을 할 경우의 작업가공시간의 부하평준화와 비중복공구에 대한 공구할당을 할 경우의 공구이용시간의 부하평준화를 동시에 이루는 것이다. 따라서, 중복공구에

대한 작업할당은 전기능분산형의 경우를 이용하고, 비중복공구에 대한 공구할당은 완전기능분산형의 공구배분법을 이용한다. 여기서, 양자의 부하평준화에 대한 해법을 다음과 같이 제안한다.

<단계1> 3.3.1에서 제시한 방법에 의해 중복공구를 선정한다.

<단계2> 중복공구를 포함한 전종류의 공구를 비중복공구로 가정하여 3.1에서 제안한 완전기능분산형의 공구배분법으로 각 MC에 대한 공구를 할당한다.

<단계3> 각 MC에 배분되어진 공구에 관한 각 작업의 가공시간을 고려하여 Johnson 법에 의한 가공스케줄을 결정한다. 이것을 작업할당의 초기상태로 한다. 따라서, 초기상태에서는 중복공구로 가공되어지는 모든 가공요소가 어느 하나의 MC만으로 가공되어지기 때문에, 가동률을 향상시키기 위해서는 이러한 가공요소들을 어느 MC에서 가공할 것인가를 고려하여야 한다.

<단계4> 초기상태로부터  $MC_1$ 에서 첫번째로 가공되는 작업에 주목하여, 그 작업의 가공요소중에서 중복공구에 의해 가공되는 요소가 있으면, 그 가공요소를 기계  $MC_1$ 에 할당한다. 그리고,  $MC_1$ 에서 제일 마지막으로 가공되는 작업의 가공요소중에서 중복공구에 의해 가공되는 요소가 있으면, 그 가공요소를  $MC_1$ 에 할당한 후 가동률을 계산한다. 이러한 중복공구에 대한 가공요소의 할당을  $MC_1$ 의 경우는 첫번째에 가공되는 작업에서부터 제[n/2]번째에 가공되는 작업까지,  $MC_2$ 의 경우는 제일 마지막으로 가공되는 작업에서부터 제

$n - [n/2] + 1$ 번째에 가공되는 작업까지 순차적으로 행하여 가장 가동률이 최대화로 되는 것을 기준으로 한다. 여기서, 기호  $|x|$ 는  $x$ 보다 작거나 같은 최대의 정수를 의미한다.

### 4. 시뮬레이션

#### 4.1 실험 조건

- 1) 작업의 수  $n=10, 50$
- 2) 공구종류수  $p=50, 100$
- 3) 가공요소수의 비율  $P_s=30\%, 60\%, 90\%$
- 4) 중복공구수  $q=0.25p, 0.5p, 0.75p,$
- 5) 작업그룹의 타입은 가공회수와 공구이용회수의 각 분포가 각각 (I)일양분포와 일양분포, (II)일양분포와 지수분포, (III)지수분포와 일양분포, (IV)지수분포와 지수분포의 4가지로 분류하였다.
- 6) 작업의 요소가공시간은 [1, 50]의 일양난수로 정했다.
- 7) 실험의 회수는 각각의 실험조합마다 50회 반복했다.

〈표 1〉 요소가공시간

$T_i$	$T_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$JT_i$	$JF_i$
1	27	5	0	16	47	0	0	0	16	0	111	5	
2	44	0	0	0	0	0	0	0	0	34	78	2	
3	37	18	4	0	30	0	0	0	0	0	89	4	
4	0	0	28	28	48	28	38	0	0	0	170	5	
5	6	35	0	0	25	48	9	0	0	0	123	5	
6	46	24	25	0	17	0	0	0	0	0	112	4	
7	44	50	0	3	6	28	0	0	0	0	131	5	
8	6	0	0	49	0	44	0	25	0	0	124	4	
9	34	18	0	0	22	0	0	0	0	0	74	3	
10	21	0	5	15	0	0	0	0	0	0	41	3	
$TT_i$	265	150	62	111	178	165	47	25	16	34	1053	-	
$TF_i$	9	6	4	5	6	5	2	1	1	1	-	40	

〈표 1〉은 작업수  $n=10$ , 공구종류수  $p=10$ , 작업그룹타입 II의 경우의 요소 가공시간의 예를 나타낸 것이다.

#### 4.2 결과 분석

4.1의 실험조건에 따라 시뮬레이션한 결과를 〈표 2〉 및 〈표 3〉에 나타냈다. 여기서, 〈표 2〉는 작업의 수  $n=10$ 일때, 〈표 3〉은 작업의 수  $n=50$ 일때의 결과이며, 각 조건에 의한 가동률의 값은 50회 반복실험한 결과의 평균과 신뢰구간을 표시한 것이다. 여기서 평균의 신뢰구간값은 각각의 조건에 대한 50회의 결과치에 대한 표준편차(s)를 구한 후 신뢰율  $(1-\alpha)95\%$ 의 t분포로 구하였다.

우선, 〈표 2〉 및 〈표 3〉의 결과에 따르면, 공구의 종류수 P의 변화에는 가동률이 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 또한 작업그룹의 타입에 있어서는 가공회수가 지수분포, 공구이용회수가 일양분포인 그룹(III)에서 공구종류수  $p=100$ 의 경우가 다른 그룹에 비하여 약 1%~4%정도 가동률이 낮게 나타났다. 그리고, 가공요소수의 비율  $p_s$ 에 대해 살펴보면, 모든 조건마다 대체로 가공요소수의 비율이 증가함에 따라 가동률은 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 가공요소수가 많으면 많을수록 그만큼 공구배분의 할당이 복잡해지는데 따른 결과로 볼 수 있다. 또한, 기능분산형에 있어서 공구종류수에 대한 중복공구수의 비율에 따른 가동률의 변화를 살펴보면, 중복공구수의 비율의 증가에 따라 가동률은 향상되는 것으로 나타났다. 이것은 중복공구수가 많으면 많을수록 그만큼 전기능형의 형태에 가까워지지 때문으로 해석할 수 있다. 그리고 각 조건마다 가동률의 평균에 대한 신뢰구간값은 거의 0.5% 이내로



〈표 2〉 평균가동률 (n=10의 경우)

작업 그룹	형태 P <sub>a</sub> P	완전기능분산형			기 능 분 산 형								
		30%	60%	90%	30%			60%			90%		
					0.25p	0.5p	0.75p	0.25p	0.5p	0.75p	0.25p	0.5p	0.75p
I	50	95.5±0.48	93.3±0.51	92.2±0.46	98.3±0.44	98.5±0.49	99.0±0.32	96.2±0.52	96.5±0.21	97.0±0.46	95.3±0.41	95.1±0.46	94.9±0.33
	100	94.0±0.35	92.7±0.48	91.8±0.36	97.2±0.41	98.3±0.39	99.2±0.36	95.2±0.35	97.1±0.48	98.5±0.47	94.2±0.38	95.1±0.43	98.1±0.36
II	50	95.3±0.29	93.8±0.35	93.2±0.27	98.2±0.33	98.5±0.26	98.8±0.24	97.2±0.29	97.3±0.30	98.0±0.41	96.7±0.40	96.9±0.19	97.2±0.32
	100	94.6±0.34	93.1±0.27	92.7±0.32	97.8±0.39	98.7±0.17	99.4±0.15	96.3±0.22	98.3±0.25	99.3±0.31	95.1±0.24	95.8±0.17	96.7±0.26
III	50	93.6±0.28	91.8±0.41	91.2±0.45	93.7±0.22	94.5±0.39	95.2±0.23	93.0±0.17	93.3±0.26	93.7±0.41	92.6±0.34	92.7±0.26	93.4±0.39
	100	89.7±0.48	89.1±0.30	88.5±0.40	93.0±0.36	92.0±0.29	92.3±0.27	89.1±0.46	89.0±0.34	89.9±0.29	89.0±0.35	89.1±0.43	89.3±0.28
IV	50	94.1±0.33	93.4±0.34	92.2±0.26	96.9±0.41	97.2±0.22	97.4±0.17	95.2±0.44	95.8±0.30	96.1±0.28	95.1±0.34	95.2±0.36	95.4±0.39
	100	94.0±0.19	91.2±0.23	90.2±0.31	96.5±0.37	96.9±0.35	97.1±0.17	94.8±0.40	95.2±0.22	95.6±0.39	94.3±0.43	94.6±0.36	95.1±0.15

〈표 3〉 평균가동률 (n=50의 경우)

작업 그룹	형태 P <sub>a</sub> P	완전기능분산형			기 능 분 산 형								
		30%	60%	90%	30%			60%			90%		
					0.25p	0.5p	0.75p	0.25p	0.5p	0.75p	0.25p	0.5p	0.75p
I	50	97.6±0.15	96.8±0.11	96.5±0.16	98.3±0.21	98.5±0.19	98.9±0.22	98.1±0.17	98.3±0.12	98.4±0.23	97.6±0.17	97.9±0.24	98.0±0.13
	100	97.2±0.13	96.7±0.16	96.4±0.13	98.1±0.14	98.4±0.20	98.3±0.16	97.7±0.14	98.4±0.07	98.4±0.17	97.1±0.09	97.2±0.20	97.4±0.22
II	50	97.5±0.09	97.1±0.19	97.0±0.16	98.2±0.27	98.9±0.16	98.3±0.12	97.9±0.21	97.9±0.11	98.0±0.14	97.6±0.18	97.5±0.25	97.7±0.23
	100	97.6±0.23	97.3±0.26	96.6±0.25	98.4±0.18	98.2±0.21	98.0±0.19	97.5±0.12	98.0±0.20	98.4±0.21	97.4±0.25	97.6±0.07	97.9±0.13
III	50	94.9±0.08	93.8±0.11	93.2±0.35	96.2±0.27	96.1±0.13	97.1±0.24	95.1±0.07	95.4±0.06	95.4±0.21	95.0±0.14	95.6±0.12	95.5±0.19
	100	93.7±0.08	93.1±0.13	92.5±0.15	95.1±0.08	95.0±0.07	95.3±0.16	95.2±0.13	95.6±0.16	95.6±0.18	94.3±0.13	94.1±0.06	95.1±0.24
IV	50	98.1±0.14	98.0±0.06	97.9±0.16	99.0±0.20	99.2±0.16	99.1±0.11	98.8±0.16	98.5±0.10	98.4±0.26	98.2±0.15	98.5±0.23	98.6±0.07
	100	97.7±0.15	97.3±0.2	97.4±0.21	98.6±0.16	98.9±0.25	99.1±0.15	98.1±0.12	98.5±0.07	98.4±0.06	99.0±0.13	98.2±0.24	98.3±0.26

나타났고 대체로 작업의 수  $n=50$ 의 경우가  $n=10$ 의 경우보다 적은 결과를 가져왔다.

한편, <표 2> 및 <표 3>을 비교해 보면 모든 조건에서나 작업의 수가 큰 <표 3>의 경우가 가동률이 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 최초와 최후의 유휴시간 (최초에 가공되는 작업이  $MC_1$ 에서 가공되는 동안의  $MC_2$ 에서의 유휴시간과 최후에 가공되는 작업이  $MC_2$ 에서 가공이 완료될때까지의  $MC_1$ 의 유휴시간)과 총거리시간과의 상대적 비율이 작업의 수가 증가함에 따라 감소하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 이 경우, 기능분산형의 가동률은 95%이상으로 거의 전기능형에 가까운 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 2기계 Flow-Shop형 FMS에 있어서의 완전기능형 및 기능분산형FMS의 공구배분법에 대한 발견적 해법을 제안하였다. 그리고, 제안된 해법의 유효성을 검토하기 위해 공구배분법이 FMS의 가동률에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 분석하였다.

그 결과, 작업의 수가 크고, 중복공구수의 비율이 높은 기능분산형의 경우는 전기능형에 가까운 높은 가동률이 나타남을 알 수 있었다. 따라서, 공구저장소의 제한된 용량을 고려하여 중복공구수의 비율을 가능한 높게하고 가공요소수의 비율은 낮게 고려한 기능분산형의 공구배분법을 적용하는 것이 가동율을 향상시키는 효율적인 공구배분법이라고 말할 수 있다. 그리고, 이러한 공구배분법의 절차는  $MC_1$ 에서부터 순차적으로 행 할 경우, 3기계이상의 FMS에 대해서도 적용가능 할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김성철, 「자동화 생산시스템 분석을 위한 생산관리론」, 1판, 형설출판사, 1989.
- [2] 이봉진, 「FA 시스템공학」, 1판, 문운당, 1991.
- [3] 伊東 諒, 巖田 一明, 「フレキシブル生産システム」, 初版, 日刊工業新聞社, 1984
- [4] 大場 史憲, 朱 躍展, 村山 長, “GT概念とスーリスティクスに基づくFMS.工具配分,” 「日本機械學會論文集C編」, 56卷, 530號(1990), pp.2756-2761.
- [5] Berrada, M. and K. E. Stecke, “A Branch and Bound Approach for Machine Load Balancing in Flexible Manufacturing Systems,” *Management Sci.*, Vol.32, No.10(1986), pp.1316-1335.
- [6] Hirabayashi, R., H. Suzuki, and N. Tsuchiya, “Optimal Tool Module Design Problem for NC Machine Tools,” *J. Opl. Res. Soc. of Japan*, Vol.27, No.3 (1984), pp.205-229.
- [7] Sarin, S. C. and C. S. Chen, “The Machine Loading and Tool Allocation Problem in a Flexible Manufacturing System,” *Int. J. Prod. Res.*, Vol.25, No. 7(1987), pp.1081-1102.