

플렉시블 제조시스템의 부품배분계획에 관한 최적화 해석

人見勝人* · 崔貞姬**

Optimum Analysis of Part Assignment Problem for Flexible Manufacturing System

Katsundo Hitomi*, Jung hee Choi**

Abstract

In parts assignment problem for FMS, both the parts and the tools required to process the parts are assigned to the machine tools for a specified planning period. This is an important decision-making problem for a short-term production planning of FMS. In this paper, parts assignment problem for FMS was analyzed to determine the optimal plan which has the adaptability to production fluctuation. A mathematical model was developed for determining the parts and the tools required for the machine tools which compose FMS, and the model was analyzed to obtain optimal solution. In addition, the validity and feasibility of the computational algorithm was examined by solving a numerical example.

1. 서 론

다품종소량생산의 자동화를 위한 생산시스템의 하나인 플렉시블제조시스템(FMS)은 다양한 부품의 생산에 유연하게 대처할 수 있는 생산시스템으로서, 컴퓨터통합생산(CIM)을 위한 가장 중요한 시스템이다[1]. 이와같은 FMS는 유연성(flexibility)이 높은 요소로 구성되는 생산설비에 의해, 잠재적으로 생산수준의 변동이나 부품의 종류, 수량, 납기 등의 변화에 신속히 대처할 수 있는 능력을

가지고 있다. FMS의 하드웨어 측면의 유연성을 효과적으로 달성하기 위해서는 FMS의 운용의 측면에도 유연성을 가지게 하는 것이 중요한 과제이다.

FMS의 가장 중요한 특징의 하나인 유연성을 고려한 연구로서는, 由良, 人見[2]이 FMS에 있어서의 기계선정문제의 유연성에 관하여 수요량변동에 대한 대체 기계군의 유연성을 평가하는 해석적 접근방법을 제안하였고, 山品 등[3]은 FMS의 구성 방법에 관하여 혼합유연성(mix-flexibility)을 고

*京都大學 工學部 精密工學科 教授

**京都大學 工學部 精密工學科 博士課程

려한 방법론을 제안하였다. 또한, FMS의 평가방법에서는 伊東등[4]이 유연성 평가벡터를 제안하여, 그 절대값에 의하여 시스템을 평가하였다. Brill and Mandelbaum[5]은 작업에 대한 기계의 효율성과 작업의 중요도를 나타내는 가중치를 사용하여, 작업의 집합에 대한 기계 및 기계그룹의 유연성을 평가하고 있다. 그러나 유연성을 고려한 FMS의 운용방법은 아직 확립되어 있지않은 상황이다[6].

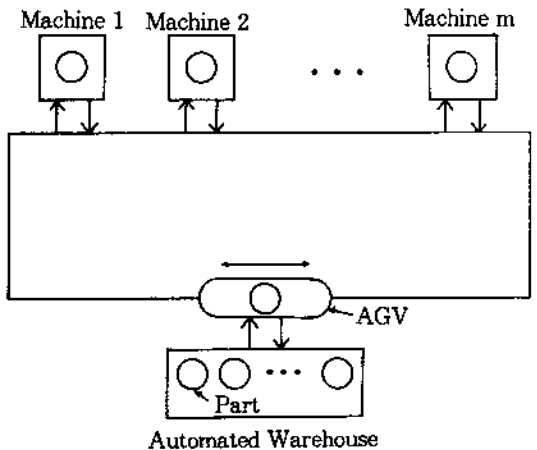
본 연구에서는 생산변동에 대한 FMS의 적응능력에 관한 최적계획문제의 하나로써, 유연성을 고려한 부품배분계획문제의 최적화방법에 관하여 고찰한다. 규정의 계획기간내에 특급부품의 도착이나 가공부품의 종류가 변동하는 것에 대처하기 위하여, 각 공작기계의 여유가공능력(여유공구매거진 용량과 여유가공시간)을 최대화시키는 부품의 배분계획과 배분되는 부품들의 가공에 필요한 공구의 배분계획을 최적으로 결정하는 알고리즘을 제안한다. 그리고 수치계산에 의하여 알고리즘의 타당성을 분석한다.

2. 유연성을 고려한 부품배분계획문제

일반적으로 FMS의 부품배분계획문제는 규정의 계획기간에 있어서 생산해야할 부품과 부품들의 가공에 필요한 공구를 각 공작기계에 배분하는 문제로 정의하고 있다[7]. FMS에서는 생산의 유연성, 즉 가공부품, 공정 및 생산수량 등의 다양성에 대처할 수 있는 것이 중요하므로, 이와같은 생산의 유연성을 고려하여 규정의 계획기간에 있어서 생산해야할 부품의 종류가 상정할 수 있는 범위에서 변동하여도 충분히 대처할 수 있도록 각 공작기계에 대하여 여유가공능력을 가지게 하여, 생산변동에 대한 FMS의 적응능력을 최대화하는 평가기준하에서 부품과 그 부품의 가공에 필요한 공구를 각 공

작기계에 최적으로 배분하는 문제를 분석한다.

유연성을 고려한 부품의 배분계획문제를 취급하는데 있어서, 그림1과 같은 Job Shop형의 FMS 모델을 설정한다. 계획기간동안에 생산해야 할 부품은 자동창고로부터 무인운반차에 의해 각 공작기계로 공급되고, 각 공작기계에는 유한용량의 공구매거진이 장착되어져 있다. 각 부품의 가공에 필요한 오퍼레이션은 공구매거진의 용량제약과 공작기계의 이용가능 가공시간제약하에서 실제로 처리될 수 있는 공작기계에 배분되어져 가공처리 되어서 필요한 전 오퍼레이션이 완료된 부품은 다시 무인운반차에 의해 자동창고로 되돌아 간다.



[그림 1]. FMS의 구성도

FMS의 부품배분계획에 관한 유연성을 고려하는데 있어서 최대의 문제점은 가공부품, 공정, 생산수량 등의 다양성을 정량적으로 평가하여, 그 다양성에 대한 부품배분계획의 적응능력을 어떻게 정의하는가에 있다. 본 연구에서는 규정된 계획기간동안에 생산해야 할 부품 종류의 변동에 중점을 두어서, 각 공작기계가 가지고 있는 여유가공능력에 의해 부품배분계획에 있어서의 유연성을 해석한다. 즉 규정된 계획기간에 특급부품의 도착이나 부품종류의 변동이 있는 경우는 각 공작기계가 갖는 이와같은 여유가공능력을 활용하여 유연하게 대처할 수가 있다.

3. 부품배분계획문제의 설정

3.1 전제조건

FMS에서의 부품배분계획문제를 해석하기에 위해, 다음과 같은 전제조건을 도입한다.

- (1) FMS는 m대의 공작기계, 무인운반차 및 자동창고로써 구성된다.
- (2) 부품의 오퍼레이션은 m대의 어느 기계에서도 처리가능하나, 공작기계에 따라 가공시간은 다르다.
- (3) 각 부품의 오퍼레이션은 각 공작기계에 있어서 각각 특정의 공구에 의하여 처리된다.
- (4) 각 공작기계에는 어떠한 공구도 격납할 수 있으며, 동일공구는 충분한 수만큼 준비되어져 있다.
- (5) 공구를 격납하기 위하여 필요한 각 공작기계의 공구매거진의 용량은 유한하며, 사전에 알려져 있다.

3.2 부품배분계획문제의 수학적 모델

부품계획문제의 수학적 모델에 사용하는 기호는 다음과 같다.

- i : 부품의 종류 ($i=1, 2, \dots, I$)
- O_{ij} : 부품 i 의 j 번째 오퍼레이션 ($j=1, 2, \dots, n_i$)
- N : 오퍼레이션의 총수 ($= \sum_{i=1}^I n_i$)
- k : 기계의 종류 ($k=1, 2, \dots, m$)
- t : 공구의 종류 ($k=1, 2, \dots, g$)
- P_{ijk} : 기계 k 에 있어서 오퍼레이션 O_{ij} 의 가공시간
- M_k : 기계 k 의 공구매거진용량
- s_t : 공구 t 를 격납하기 위하여 필요한 공구매거진의 스톱트 수
- H : 계획기간
- a_k : 기계 k 의 여유가공시간
- b_k : 기계 k 의 공구매거진의 여유공구 스톱트 수

W_k : 기계 k 에 있어서 여유시간의 유연성에 대한 가중치

W_{kb} : 기계 k 에 있어서 여유공구매거진용량의 유연성에 대한 가중치

T_k : 기계 k 에 사용할 수 있는 공구 집합
1: 오퍼레이션 O_{ij} 가 기계 k 에

X_{ijk} : 배분되어지는 경우
0: 그렇지 않은 경우

σ_{kt} : 기계 k 에 배분되어진 오퍼레이션 O_{ij} 중에서 공구 t 를 사용하여서 처리할 수 있는 오퍼레이션의 집합

부품배분계획은 다음의 제약조건을 만족해야 한다. 각각의 공작기계 k 에 있어서, 배분되어지는 오퍼레이션의 가공에 필요한 가공시간과 여유가공시간 a_k 과의 총합이 계획시간 H 보다 커서는 안되므로 이 제약은 다음 식(1)로 주어진다.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{n_i} P_{ijk} X_{ijk} + a_k \leq H \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

동일 기계에 배분되어진 부품의 오퍼레이션이 동일공구에 의하여 처리되는 경우는 그 공구를 한개만 공구매거진에 격납하여 놓으면 된다. 이러한 공통공구를 고려하여 구하여지는 공구매거진의 필요한 공구 스톱트 수와 여유공구 스톱트 수 b_k 와의 총합이 각 공작기계의 공구매거진용량보다 커서는 안된다. 이 제약은 다음 식(2)로 나타내어진다.

$$\sum_{t \in T_k} s_t \left(1 - \prod_{X_{ijk} \in \sigma_{kt}} (1 - X_{ijk}) \right) + b_k \leq M_k \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

또한, 각 부품의 오퍼레이션은 적어도 한대의 공작기계에 배분되어지지 않으면 안되므로, 이 제약은 다음 식(3)으로 주어진다.

$$\sum_{k=1}^m X_{ijk} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, n_i) \quad (3)$$

위의 제약조건 이외에, 의사결정변수 X_{ijk} , a_k , b_k 에 관하여 식(4)와 (5)의 제약조건이 필요하다.

$$X_{ijk} = 1 \text{ or } 0 \quad (i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, n_i; k=1, 2, \dots, m)$$

$$= 1, 2, \dots, m) \tag{4}$$

$$a_k, b_k \geq 0, \quad (k=1, 2, \dots, m) \tag{5}$$

본 연구에서는, FMS를 구성하는 공작기계의 이용가능시간인 계획기간 H동안에, 특급작업의 도착이나 생산해야 할 부품의 종류가 변동하는 것에 대처하기 위하여, 각 공작기계의 유연성에 대한 가중치를 부여한 여유가공능력의 총합의 최대화를 계획의 목표로 한다. 따라서 목적 함수 Z_0 는 다음 식(6)으로 주어진다.

$$\max Z_0 = \sum_{k=1}^m W_{ka} a_k/H + \sum_{k=1}^m W_{kb} b_k/M_k \tag{6}$$

4. 부품배분계획문제의 해법

4.1 문제의 해석

앞절에서 전개한 수학적 모델을 기초로 하여, 부품배분문제는 제약조건(1)~(5)하에서, 목적함수(6)을 최대화하는 문제로 귀착된다. 이 문제는 비선형의 혼합 정수계획 문제이다. 본 연구에서는 이 부품계획문제를 최소화 문제로 바꿔서 해석한다. 제약조건(1), (2)의 결정변수 a_k, b_k 는 각각의 공작기계에 대한 여유가공시간과 여유공구매거진용량을 나타내며, 목적함수(6)으로부터 최적해에 있어서 제약조건(1), (2)는 등호로 성립한다. 그래서, 제약조건(1), (2)가 등호로 성립하는 것으로 하여 a_k, b_k 를 구하여, 목적함수(6)에 대입하면 목적함수는 다음과 같이 변형된다.

$$\begin{aligned} \max Z_0 = & \sum_{k=1}^m W_{ka} (H - \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^{n_i} P_{ijk} X_{ijk})/H \\ & + \sum_{k=1}^m W_{kb} [M_k - \sum_{i \in T_k} s_i \{1 - \prod_{X_{ijk} \in \sigma_{ki}} (1 - X_{ijk})\}] / M_k \end{aligned} \tag{7}$$

식(7)에서 W_{ka} 와 W_{kb} 는 일정한 값이므로 목적함수를 다음 식(8)과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^{n_i} W_{ka} P_{ijk} X_{ijk}/H \\ & + \sum_{k=1}^m \sum_{i \in T_k} W_{kb} s_i \{1 - \prod_{X_{ijk} \in \sigma_{ki}} (1 - X_{ijk})\} / M_k \end{aligned} \tag{8}$$

제약조건으로서는, 각 공작기계에 대하여 실제로 배분되어지는 오퍼레이션의 총가공시간 및 배분되어지는 공구 스톱트의 총수가 계획기간 및 공구매거진용량보다 커서는 안되므로, 제약조건(1), (2) 대신에, 다음의 식(9), (10)을 설정한다.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} P_{ijk} X_{ijk} \leq H \quad (k=1, 2, \dots, m) \tag{9}$$

$$\sum_{i \in T_k} s_i \{1 - \prod_{X_{ijk} \in \sigma_{ki}} (1 - X_{ijk})\} \leq M_k \quad (k=1, 2, \dots, m) \tag{10}$$

이상과 같이 부품배분계획문제는, 제약조건 (3), (4), (9), (10)하에서, 목적함수(8)를 최소화하는 문제로 귀착되며, 이 문제는 비선형의 0-1형정수 계획문제이다. 이 문제는 FMS의 여유가공능력으로서 여유가공시간과 여유공구매거진용량을 동시에 고려하는 문제이며, 상위의 의사결정레벨인 생산계획의 결과에 의하여 각 계획기간에 생산해야 할 부품중에서 부품의 오퍼레이션이 될 수 있는 한가공시간이 짧고, 동시에 그 오퍼레이션의 가공에 필요한 스톱트수가 적은 공구로서 처리될 수 있는 공작기계에 배분되어진다.

4.2 해 법

부품배분계획문제에서는 가공부품의 종류가 많아짐에 따라서, 부품배분의 조합수가 지수함수적으로 증가한다. 본 연구에서는 최적해를 구하는 방법으로 분기한계법을 이용한다. 분기한계법은 오퍼레이션 O_i 를 적당한 공작기계 k 에 배분하는 분기절차와 생성되는 노드의 하계 Z 를 평가하는 한계절차로 구성된다.

4.2.1 분기절차

제안하는 해법의 분기절차에서의 목적은 가중치를 고려한 여유가공능력의 최대화이고, 제약조건이 가공시간과 공구매거진용량에 관한 것에 주목하여, 아직 배분이 결정되어져 있지 않은 오퍼레이션 O_{ij} 중에서 다음 식(11)으로 주어지는 오퍼레이션 O_{ij} 의 동작기계 k 에 대한 가중치를 고려한 가공능력 U_{ijk} 가 최소로 되는 것을 선택하여, 선택된 오퍼레이션을 배분하는 동작기계 $k(k=1, 2, \dots, m)$ 에 관하여 분기한다. 여기서, 가중치를 고려한 가공능력 U_{ijk} 는 다음 식(11)으로 주어진다.

$$U_{ijk} = W_{ka} P_{ijk}/H + W_{kb} S_i/M_k \quad (i=1, 2, \dots, I; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

U_{ijk} 는 계산에 있어서, 동작기계 k 에서 오퍼레이션 O_{ij} 를 처리하기 위하여 사용하는 공구 $t(t \in T_k)$ 와 동일한 공구가 이미 배분되어져 있는 경우, $s_t = 0$ 으로 한다. 따라서, 이미 배분되어져 있는 공구와 동일한 공구로써 처리 할 수 있는 오퍼레이션에 주목하여 우선적으로 분기하게된다.

4.2.2 한계절차

목적함수의 하계치 Z 의 계산에 있어서 사용되는 기호를 다음과 같이 정의한다.

- r : 분기레벨(깊이)을 나타내는 지표($r=1, 2, \dots, N$). 여기서, r 은 동작기계에 배분되어져 있는 오퍼레이션의 갯수, 즉 값이 1로 되는 0-1 변수 X_{ijk} 의 갯수와 일치한다.
- Z_r : 분기레벨 r 에 있어서의 하계값
- G_r : 분기레벨 r 에 있어서 아직 분배되어져 있지 않은 부품의 오퍼레이션의 집합
- F_r : 분기레벨 r 에 있어서 이미 배분되어져 있는 부품의 오퍼레이션의 집합

하계값 Z_r 은 F_r 에 속하는 오퍼레이션으로부터 계산되어지는 가중치를 고려한 가공시간과 가중치를

고려한 공구 스롯트수에 대한 평가치 D_r 과 G_r 에 속하는 오퍼레이션으로부터 추정되어 지는 가중치를 고려한 가공시간의 평가치 E_{ra} 와 가중치를 고려한 공구 스롯트수의 평가치 E_{rb} 과의 합으로 주어진다. 즉

$$Z_r = D_r + E_{ra} + E_{rb} \quad (13)$$

D_r 은 이미 배분되어져 있는 오퍼레이션에 대한 $W_{ka} P_{ijk}/H$ 와 $W_{kb} S_i/M_k$ 와의 합으로써 구하여진다.

E_{ra} 는 G_r 에 속하는 각 오퍼레이션에 대한

$$\min_{k \in \{1, 2, \dots, m\}} W_{ka} P_{ijk} \text{의 합으로써 주어지는 것으로 한다.}$$

E_{rb} 의 계산에 있어서는 G_r 에 속하는 각 오퍼레이션을 처리하기위하여 필요한 공구 스롯트수를 다음과 같이 설정하여 고친다. 동일기계에서 이미 배분하는 것이 정하여져 있는 공구를 사용해서 처리하는 오퍼레이션에 대하여서는 필요한 공구스롯트수를 0으로 한다. 또한 G_r 에 속해있는 오퍼레이션을 처리하기 위하여 사용되는 공구중에서, 아직 배분되어져 있지 않은 공구에 착안하여, 동일기계에서 $q(q=1, 2, \dots, N)$ 개의 오퍼레이션에 공통으로 사용할 수가 있는 공구에 대하여, 공구 스롯트 수를 q 로 나눈 값으로 설정하여 고친다. E_{rb} 는 이와 같이 하여 설정한 공구 스롯트 수를 가지고, G_r 에 속하는 각 오퍼레이션에 대하여 각 동작기계에 있어서의 가중치를 고려한 필요공구 스롯트 수의 최소값의 합으로써 주어진다.

이상과 같이 하여 설정되어진 Z_r 의 값은 G_r 에 속하는 오퍼레이션을 어떠한 방법으로 배분한 경우의 목적함수값보다도 작은 값이 되므로 하계의 조건을 만족한다.

4.2.3 알고리즘

제안하는 해법은 필요한 기억용량이 제일 적게 소요되는 깊이우선탐색(depth-first search)[8]을 채택한다. 분기에 의하여 생성된 각각의 노드에 대

하여 실행가능한가를 조사한다. 즉 그 노드에 배분되는 오퍼레이션을 처리하기 위하여서는, 공작기계의 가공시간 제약과 공구매거진용량 제약을 만족하지 않으면 안된다. 실행이 가능하면, 하계값이 최소로 되는 노드(그 값이 동일하면, 레벨이 높은 노드, 동일레벨인 경우는 임의의 노드를 택한다)에 주목하여, 다음의 하나의 오퍼레이션을 배분하는 것에 의하여 하나의 고차레벨의 노드를 생성한다. 실행이 불가능하면 그 노드의 하계값을 ∞ 로 한다.

알고리즘은 다음과 같이 설정된다.

[단계 1] $r=0, F_r=\emptyset, G_r=\{1, 2, \dots, N\}$, 잠정해에 있어서의 목적함수 값(잠정 해)을 $\tilde{Z}=\infty$ 로 놓으면, 전체의 오퍼레이션 O_i 에 대하여, 식(11)로부터 $U_{i,jk}$ 를 계산한다. $r=1$ 로 하여 단계 2로 간다.

[단계 2] $\min_{O_i \in G_r} U_{i,jk}$ 를 갖는 오퍼레이션 O_i 를 구

하여, 공작기계의 종류 m 에 관하여 노드를 생성한다. 식(12)로부터 각 노드에 대하여 하계값을 Z_r 를 계산한다. $Z_r=\infty$ 인 경우 그 노드는 다시 분기할 필요는 없다.

[단계 3] 생성된 노드중에서 하계값의 최소치를 구하여, 하계가 최소로 되는 노드에 주목하여, 그 값이 \tilde{Z} 보다 큰 경우는 단계 6으로 간다. 분기레벨 r 에서 배분되어지는 오퍼레이션 O_{ii} 를 구하여, $r=r+1, F_r=F_{r-1}+\{O_{ii}\}, G_r=G_{r-1}-\{O_{ii}\}$ 로 한다.

[단계 4] $r \leq N-1$ 인 경우, G_r 에 속하는 오퍼레이션에 대하여 식(11)로부터 $U_{i,jk}$ 를 계산하여, 단

계 2로 되돌아간다. $r=N$ 의 경우는 단계 5로 간다.

[단계 5] Z_r 이 \tilde{Z} 보다 작으면 $\tilde{Z}=Z_r$ 로 한다. 미분기의 노드중에서 하계가 \tilde{Z} 보다 적은 노드가 없으면 단계 7로 간다. 그렇지 않으면 단계6으로 간다.

[단계 6] 하계가 \tilde{Z} 보다 작은 미분기의 노드중에서, 분기레벨 r 의 최대치 \hat{r} 를 찾아내어, $r=\hat{r}+1$ 로 하여 단계 2로 되돌아 간다.

[단계 7] 계산을 종료한다. 이때 잠정해로써 기억되어져 있는 \tilde{Z} 가 최적해이며, 대응하는 계획이 최적부품배분계획이다.

5. 수치계산

앞절에서 해석한 부품배분계획문제의 알고리즘을 이용한 수치계산의 예를 나타낸다. FMS는 3대의 공작기계, 무인반송차 및 자동창고로부터 구성되며, 계획기간 동안에 생산해야할 부품종류수 $I=4$ (개), 4종류의 부품의 가공에 필요한 오퍼레이션의 총수 $N=13$ (개)이다. 각 공작기계에 있어서의 오퍼레이션의 가공시간이 <표 1>, 오퍼레이션과 가공에 필요한 오퍼레이션 공구와의 대응관계가 <표 2>, 공구를 적납하기 위하여 필요한 공구매거진의 스톱트 수가 표 3에 각각 주어져 있다. 각 공작기계의 유연성에 대한 여유가공시간 및 여유공구매거진 용량의 가중치가 $W_{ka}=0.5, W_{kb}=0.5$, 각 공작기계의 공구매거진용량이 $M_k=10$ (개), 계획기간 $H=240$ (분)이 경우를 고려한다.

<표 1>. 공작기계에서의 오퍼레이션 가공시간

[Unit : min]

| Part Type | Part 1 | | | Part 2 | | | Part 3 | | | Part 4 | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | O_{11} | O_{12} | O_{13} | O_{21} | O_{22} | O_{23} | O_{31} | O_{32} | O_{33} | O_{41} | O_{42} | O_{43} | O_{44} |
| Machine 1 | 60 | 62 | 45 | 55 | 38 | 30 | 42 | 55 | 55 | 56 | 54 | 48 | 56 |
| Machine 2 | 68 | 50 | 35 | 60 | 25 | 40 | 30 | 60 | 45 | 50 | 60 | 54 | 48 |
| Machine 3 | 55 | 55 | 50 | 50 | 46 | 42 | 48 | 45 | 60 | 68 | 50 | 60 | 40 |

<표 2>. 공작기계에서의 오퍼레이션과 공구와의 대응관계

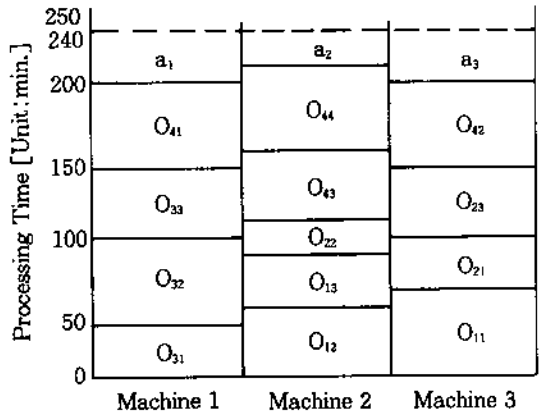
| Part Type | Part 1 | | | Part 2 | | | Part 3 | | | Part 4 | | | |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Operation | O ₁₁ | O ₁₂ | O ₁₃ | O ₂₁ | O ₂₂ | O ₂₃ | O ₃₁ | O ₃₂ | O ₃₃ | O ₄₁ | O ₄₂ | O ₄₃ | O ₄₄ |
| Machine 1 | Tool 1 | Tool 3 | Tool 2 | Tool 4 | Tool 8 | Tool 3 | Tool 7 | Tool 5 | Tool 6 | Tool 7 | Tool 3 | Tool 2 | Tool 9 |
| Machine 2 | Tool 7 | Tool 5 | Tool 6 | Tool 4 | Tool 3 | Tool 3 | Tool 1 | Tool 8 | Tool 2 | Tool 4 | Tool 9 | Tool 10 | Tool 5 |
| Machine 3 | Tool 4 | Tool 3 | Tool 6 | Tool 10 | Tool 2 | Tool 4 | Tool 1 | Tool 5 | Tool 9 | Tool 2 | Tool 4 | Tool 8 | Tool 7 |

<표 3>. 공구를 격납하기 위하여 필요한 공구 매거진의 스톱트수

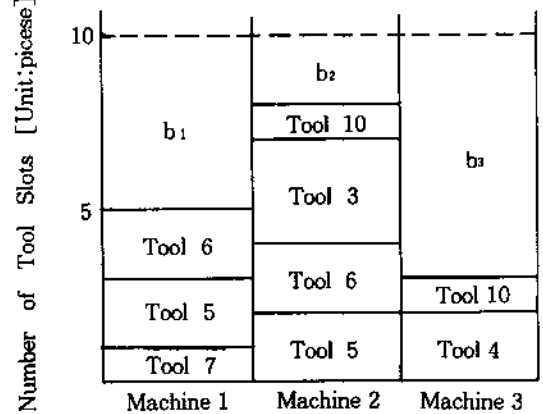
| Tool Type | Tool 1 | Tool 2 | Tool 3 | Tool 4 | Tool 5 | Tool 6 | Tool 7 | Tool 8 | Tool 9 | Tool 10 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Number of Tool Slots Required | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |

이러한 입력정보를 기초로 하여, 해법알고리즘을 적용하여 최적부품배분과 최적공구배분을 구한다. 알고리즘은 전 오퍼레이션 O_i의 가중치를 고려한 가공능력 U_{ik}값이 작은순으로 분기가 행하여지며, 제한한 알고리즘에 의한 최적의 부품배분과 공구배분이 각각 [그림 2] 및 3과 같이 얻어진다. 이 경우, FMS의 최대여유가공능력이 있어서의 여유가공시간이 103(분), 여유공구매거진의 스톱트수가 14(개)이다. 가공되는 13(개)의 오퍼레이션 중에서, 6개의 오퍼레이션 O₁₁, O₁₂, O₁₃, O₂₁, O₂₂, O₄₂가 가공시간이 가장 적은 공작기계에 배분되어지고, 6개의 오퍼레이션 O₂₃, O₃₁, O₃₂, O₃₃, O₄₁, O₄₃은 필요공구 스톱트수가 가장 적은 공작기계에 배분되어져 있다. 또한 3개의 공구가 각각 2개 이상의 오퍼레이션에 공통으로 사용되어져 필요한 공구 스톱트수가 절약된다. 즉 공구 4는 오퍼레이션 O₁₁, O₂₃, O₄₂에, 공구5는 오퍼레이션 O₁₂, O₄₄에 그리고 공구7은 오퍼레이션 O₃₁, O₄₁에 각각 공통으로 사용되어진다. [그림 4]는 최적해에 있어서의 각 공작기계의 여유가공시간과 여유공구매거진용량과의 관계를 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있듯이 각 공작기계마다 여유가공시간과 여유공구매거진용량이 균형을 이루고 있으므로 계획기간내에 특급부품의 도착이나 부품종류가 상정할 수 있는 범위 내에서 변동하여도, 우선적으로 가공시간면과

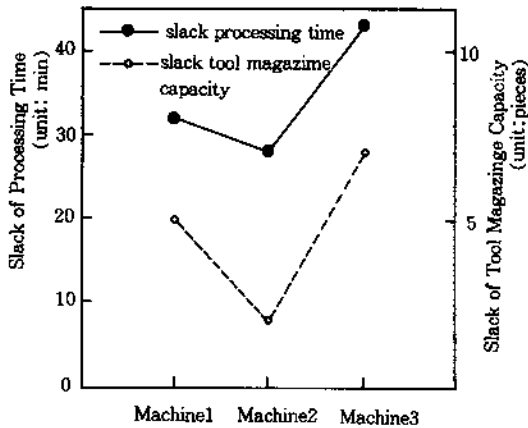
공구매거진용량면에서의 여유가공능력이 많은 공작기계로 대처할 수 있으므로 부품배분계획에 있어서 유연성이 높다고 할 수 있다.



[그림 2]. 공작기계에 배분되어진 오퍼레이션



[그림 3]. 공작기계에 배분되어진 공구



[그림 4]. 각 공작기계에 있어서의 여유가공능력과 여유공구매거진용량

6. 결 론

본 연구에서는 FMS에 있어서의 부품배분계획문제에 대하여 다음의 사항을 분석했다.

(1) FMS에 있어서 유연성을 고려한 부품과 공구의 배분계획문제에 대하여, 유연성의 개념을 각 기계의 여유가공능력(여유가공시간과 여유공구매거진용량)으로 정의하여, 여유가공능력의 최대화를 목표로 하는 계획문제를 정의했다.

(2) 정의한 계획문제가 비선형의 혼합정수계획문제로 정식화되는 것을 나타내었으며, 최적해를 구하기 위하여 분기한계법에 의한 알고리즘을 제안했다.

(3) 제안한 해법의 타당성을 보여주는 수치계산 예를 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 人見 勝人: 「CIM 概論」, オ-ム社, 1989年, pp.49-53.
- [2] 由良 憲二, 人見 勝人: 「FMS의構成における機械選定問題」, システムと制御, Vol.29, No.1, 1985年, pp.55-61.
- [3] 山品 元 ほか3名: 「ミックスフレキシビリティを考えたFMSの構成法」, 精密工學會誌, Vol.53, No.7, 1987年, pp.1080-1085.
- [4] 伊東 諒 ほか2名: 「フレキシブル生産システム(FMS)の平價法」, 機論(C編), 52巻, 473號, 1986年, pp.191-197.
- [5] P.H. Brill and M. Mandelbaum: "On measures of flexibility in manufacturing systems", INT. J. PROD. RES., Vol.27, No.5, 1989, pp.747-756.
- [6] V. Kumar: "On measurement of flexibility in flexible manufacturing systems; an information theoretic approach", Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS conference on FMSs, 1987, pp.131-143.
- [7] K. E. Stecke: "Formulation and Solution of Nonlinear Integer Production Planning Problems for FMS", Manage. Sci., Vol.29, No.3, 1983, pp.273-288.
- [8] 茨木 俊秀: 「組合せ最適化」, 産業圖書, 1983, pp.64-71.