Journal of the Korean Institute
of Industrial Engineers
Vol.20, No.2, June., 1994.



# 대체 가공경로를 갖는 FMS에서 예외적 요소가 존재하지 않는 최대수의 셀 형성방법

## Cell Formation Algorithm for the Maximum Number of Cell without Exceptional Element in FMS with Alternative Routings

이영광*, 윤창원*, 정병희*

Young Kwang Lee*, Chang Won Yun*, Byung Hee Chung*

**Abstract**

Cellular manufacturing requires formation of machine cells that can produce families of parts with similar processing requirement. The purpose of cell formation is to create separable machine clusters and part families simultaneously.

However, the cell formation process often includes the identification of exceptional elements.

This paper presents cell formation method under consideration of alternative routings in FMS which consists of machines capable of multi-processing and parts which require more than one operation.

We suggest theorems to calculate the maximum number of machine cell and part family which have no exceptional elements. We also develop a cell formation algorithm which is based on the suggested theorem.

A numerical example is provided to illustrate the proposed theorem and algorithm.

## 1. 서론

셀 제조방식(Cellular Manufacturing)은 GT (Group Technology)에 근거한 제조 방식으로서 다품종 중·소량의 생산을 흐름 생산방식과 같이 수행하고자 하는 것이다. Kusiak [1]은 셀 제조방식을 도입함으로써 얻을 수 있는 장점을 다음과 같이 제시하고 있다.

* 崇實大學校 産業工學科

- 생산기간의 감소 (20-88%)
- 재공품 재고의 감소 (20-88%)
- 노동력 감소 (15-25%)
- 치공구 교체의 감소 (20-30%)
- 재작업과 스크랩 자재의 감소(15-75%)
- 준비시간의 감소 (20-60%)

셀 제조방식를 FMS에 도입하기 위해서는 유사한 공정을 갖는 부품셀을 동일 기계셀 내에서 생산할 수 있도록 셀을 형성해야 한다. 이때 고려하여야 할 중요한 것은 셀 형성시 발생하는 예외적 요소(exceptional element)이다. 예외적 요소는 두개의 독립된 기계셀 간의 상호작용을 발생시키는 것으로써 한 개 이상의 부품셀 가공에 필요한 애로 기계(bottleneck machine)와 한 개 이상의 기계셀에서 가공되어야 하는 예외적 부품(exceptional part)을 의미한다[5].

예외적 요소가 중요한 의미를 갖는 것은 기계셀 형성시 고려되는 목적 중의 하나인 기계셀 간 이동의 최소화와 상반되기 때문이다. 셀 제조방식을 도입하는 이유는 생산성의 향상에 있는데 셀간 이동은 생산성 향상에 악영향을 미친다. 따라서 예외적 요소를 제거 또는 최소화하는 것은 제조 시스템의 생산성을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 예외적 요소를 제거하는 방법으로는 비용을 고려하여 외주 또는 기계를 중복시키는 방법이 주로 사용되고 있다[10].

대부분의 연구들은 셀 형성시 고정된 가공경로(fixed routing)를 고려하기 때문에 FMS의 장점 중의 하나인 대체 가공경로(alternative routing)를 활용하면 제거될 수 있는 예외적 요소를 발생시킨다.

Ballakur, Steudel[4]는 셀내 기계 이용율, 작업 부하량, 셀내 최대 기계수 등을 고려하여 발견적 셀 형성 알고리즘을 개발하였고, H. Lee[6]는 네트워크 문제의 해결방법 중 Relaxation 방법을 이용하여 셀 형성 알고리즘을 개발하였지만 부품의 가공경로가 고정되어 있다고 가정하였기 때문에 부품의 가공경로가 다수인 FMS의 경우에는 그 적용이 적합하지 않다.

Kusiak[2]은 기계셀 형성시 부품-기계 incidence matrix만을 사용하기 때문에 공정별 특성과 어느 공정이 셀 형성에 문제를 발생시키는지 파악할 수 없다. Kusiak[2]과 Gupta[11]는 대체 가공경로를 고려한 셀 형성 방법을 제시하였지만 한 부품이 가질 수 있는 가공경로의 수가 매우 제한적이다.

대부분의 셀 형성에 관한 연구들은 부품이 대체 가공경로를 갖는 상황에서 예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 수를 결정할 수 있는 분석적 방법을 제시하지 못하고 있다.

본 연구에서는 복수공정을 갖는 부품과 복수공정을 수행할 수 있는 기계들로 구성된 FMS에서 대체 가공경로의 장점을 활용할 수 있도록,

첫째, 부품, 공정(operation), 기계를 동시에 고려하기 위하여 부품-공정 incidence matrix와 기계-공정 incidence matrix를 이용하여 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수 산출을 위한 정리를 유도한다.
둘째, 이를 바탕으로 부품셀 및 기계셀 형성 알고리즘과 적용예를 제시한다.

## 2. 부품셀 및 기계셀 형성 알고리즘

일반적으로 FMS에서 부품셀 및 기계셀 형성시에 전통적 제조 시스템의 방법을 사용할 수 없는 것은 FMS를 구성하는 기계들이 다수의 공정을 수행하게 되면 한 부품이 거칠 수 있는 가공경로 또한 하나 이상이 되기 때문에 대체 가공경로들의 특성을 충분히 고려하여 예외적 요소의 발생이 최소가 되도록 부품셀 및 기계셀을 형성해야 한다. 이 장에서는 대체 가공경로와 Hamming 거리[8]를 고려하여 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수 산출을 위한 정리와 이를 바탕으로 부품셀 및 기계셀 형성 알고리즘을 제시한다.

### 2.1 가정 및 기호의 정의

본 연구는 다음과 같은 가정하에 진행되었다.

(1) 작업할당(FMS Loading)은 결정되어 있다.

(2) 각 부품은 하나 이상의 공정으로 구성된다.

(3) 각 공정을 수행할 수 있는 기계는 복수개이다.

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

$M_j$ : 공정 j를 처리할 수 있는 기계 수 (j=1,2,⋯,n)

$NM_j$ : 공정 j를 처리할 수 있는 잔여 기계 수

$P_j$ : 공정 j를 필요로 하는 부품의 수 (j=1,2,⋯,n)

$RPF_j$ : 공정 j를 필요로 하는 부품셀의 수 (j=1,2,⋯,n)

DTNO : 기계 할당 후 처리해야 할 잔여 공정 수

NPF : 기계의 할당이 필요한 부품셀의 수

AMC : 할당 가능한 기계의 수

$NMC_k$ : 할당된 부품셀의 필요공정 중 기계 k에서 처리할 수 있는 공정의 수 (k=1,2,⋯,l)

$PF_f$ : 부품셀 (f=1,2,⋯,F)

$CPF_f$ : 부품셀 f에서의 필요 공정의 수 (f=1,2,⋯,F)

$MC_g$ : 기계셀 (g=1,2,⋯,G)

$NAS_i$ : 부품 i가 속한 FMS에서의 대체 가공경로의 수 (i=1,2,⋯,m)

$NAC_i$ : 부품 i가 속한 기계셀 내의 대체 가공경로의 수 ($i \in PF_f$)

$CM_j$ : 기계셀 내의 기계 중 j공정을 처리할 수 있는 기계수 (j=1,2,⋯,n)

$S_i$ : 부품 i에서 $a_{ij} = 1$인 집합 (i=1,2,⋯,m)

$D_{ii'}$ : 부품 i와 부품 i'간의 Hamming 거리

$JLHd_{fk}$ : 부품셀 f와 기계 k간의 JL-Hamming 거리

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i\text{가 공정 } j\text{를 필요로 하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$b_{fj} = \begin{cases} 1, & \text{부품군 } f\text{가 공정 } j\text{를 필요로 하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$q_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } k\text{가 공정 } j\text{를 수행할 수 있는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\delta(a_{ij},a_{i'j}) = \begin{cases} 1, & a_{ij} \neq a_{i'j} \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\gamma(b_{fj},q_{kj}) = \begin{cases} 1, & b_{fj} > q_{kj} \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

### 2.2 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수 산출

일반적으로 FMS에서 작업할당의 목적은 한 공정을 가능한 한 많은 기계에서 처리할 수 있게 하는 것이다[7]. 작업할당은 경로 유연성(routing flexibility)에 직접적으로 영향을 미친다. FMS에서는 작업할당이 결정되면 한 부품이 거칠 수 있는 가공경로는 하나 이상이 된다. 이러한 상황에서 예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수는 다음 정리를 이용하여 산출할 수 있다.

정리 1 : $C = \min_{1\le j\le n}\{M_j ; M_j\langle P_j\}$라 하자.

예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 수를 최대로 하기 위해서는 먼저, 부품셀을 C개로 형성한 다음 셀별로 기계를 할당하여 기계셀을 형성할 때 모든 부품셀에서 기계의 할당이 더 이상 필요없을 때까지 다음 두 조건이 만족되어야 한다.

1. $RPF_j \le M_j$ $(j=1,2,\cdots,n)$
2. $NPF \le AMC$

증명 〉

i) 만약 $C \neq \min_{1\le j\le n}\{M_j ; M_j\langle P_j\}$ 이면,

부품셀을 C개로 구성했을 때 $RPF_j > M_j$인 j공정이 존재할 수 있다. 이는 j공정을 필요로 하는 부품이 예외적 부품이 되는 것을 의미한다. 따라서 $C = \min_{1\le j\le n}\{M_j ; M_j\langle P_j\}$ 이어야 한다.

ii) 만약 기계의 할당을 필요로 하는 부품셀이 존재할 때
$RPF_j > M_j$인 j공정이 존재하면, j공정을 필요로 하는 부품이 예외적 부품이 되는 것을 의미한다. 따라서 조건 $RPF_j \le M_j$는 모든 부품셀에서 기계의 할당이 필요 없을때까지 유지되어야 한다.

iii) 만약 기계의 할당을 필요로 하는 부품셀이 존재할 때
$NPF > AMC$ 이면,
부품셀의 수가 할당 가능한 기계의 수보다 많으므로 공정을 수행할 수 없는 부품셀이 존재하게 되어 예외적 요소를 발생시킨다. 따라서 모든 부품셀에서 기계의 할당이 필요 없을때까지 조건 $NPF \le AMC$는 유지되어야 한다.

다음의 정리 2는 의사결정자가 정리 1에 의하여 산출된 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수를 증가시키고자 할 때 어떤 행동을 취해야 할 것인가를 제시하는 것이다.

정리 2 : 예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수를 1 증가시키기 위한 조건은 $M_j\langle P_j$를

만족하는 $M_j$중 최소 $M_j$ 값에 해당하는 j공정을 처리할 수 있는 기계를 1증가시키고, 정리 1의 조건 1과 2를 만족시키는 것이다.

증명〉

$M_j<P_j$인 $M_j$중 최소값 C에 해당하는 j공정을 처리할 수 있는 기계의 수를 1증가시키면 C 값이 1만큼 증가한다. 이때 조건 1, 2를 만족하면 정리 1에 의하여 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수는 C+1이 된다.

j공정을 처리할 수 있는 기계의 수를 1 증가시키는 방법과 조건 1, 2를 만족시키는 방법은 다음과 같이 두가지로 나눌 수 있다. 첫번째 방법은 공정 작업할당을 변경하는 것으로써 문제가 되는 공정을 현재 수행할 수 있는 기계외에 다른 한 기계에 추가로 작업할당을 하는 것이다. 두번째 방법은 문제가 되는 공정을 수행할 수 있는 기계를 추가로 배치하는 것이다.

### 2.3 셀의 형성

먼저, 정수계획모델을 사용하여 부품셀을 형성한 후 이에 기계를 할당하여 기계셀을 형성한다. 부품셀은 정리 1에 의하여 산출한 C값을 정수계획모델에 적용하여 형성하고, 기계셀은 형성된 부품셀과 기계간의 JL-Hamming 거리를 이용하여 형성한다.

#### 2.3.1 부품셀의 형성

부품셀의 형성시 기본개념은 각 부품간의 유사성을 파악하여 유사성이 높은 부품을 같은 부품셀에 포함시키는 것이다. 즉, 비유사성이 낮은 부품을 같은 부품셀에 포함시키는 것을 의미한다[3]. 본 연구에서도 각 부품간의 비유사성을 기준으로 하여 부품셀을 형성한다. 비유사성의 척도로는 서로 다른 두 부품이 필요로 하는 공정 중 서로 다른 공정의 수를 나타내는 Hamming 거리를 식 (1)을 사용하여 구한다.

$$D_{ii'} = \sum_{j=1}^{n} \delta(a_{ij}, a_{i'j}), \quad i = 1,\cdots,m,\ i' = 1,\cdots,m \tag{1}$$

부품간 Hamming 거리의 합을 최소화하는 부품셀을 형성하기 위한 정수계획모델은 다음과 같다.

$$\text{MIN} \quad \sum_{i=1}^{m} \sum_{i'=1}^{m} D_{ii'} x_{ii'}$$

$$\text{S.T.} \quad \sum_{i'=1}^{m} x_{ii'} = 1 \qquad i = 1,\cdots,m$$

$$\sum_{i'=1}^{m} x_{i'i'} = C$$

$$x_{ii'} \le x_{i'i'} \qquad i = 1,\cdots,m,\ i' = 1,\cdots,m$$

$$x_{ii'} = 0, 1 \quad i = 1,\cdots,m,\ i' = 1,\cdots,m$$

이 모델은 Kusiak[1]이 제시한 모델로서 부품셀의 수를 모델 구성자가 결정해야 한다. 여기서 $x_{ii'}$은 부품 i가 부품셀 i'에 포함되면 1, 그렇지 않으면 0이 되는 의사결정변수이고, C는 의사결정자가 결정하는 부품셀의 수이다. 본 연구에서는 기존 모델과 달리 이 값을 정리 1에 근거하여 산출한다.

부품간 Hamming 거리의 합을 최소화하는 것을 목적으로 부품셀을 형성하면 부품셀간의 Hamming 거리는 최대가 된다. 이것은 각 부품셀이 필요로 하는 공정의 차이가 최대가 되면 셀간 독립성이 커지게 되어 예외적 부품이 발생할 가능성이 최소가 된다.

2.3.2 JL-Hamming 거리

JL-Hamming 거리란 부품군이 필요로 하는 공정 중 기계가 수행할 수 없는 공정의 수를 의미한다. 새로운 개념의 JL-Hamming 거리를 이해하기 위하여 다음과 같은 예를 제시한다.

| | 공정1 | 공정2 | 공정3 | 공정4 | 공정5 | 공정6 | 공정7 | Hamm -ing거리 | JL-Hamm -ing 거리 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품셀 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 기계 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 |
| 기계 2 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 2 | 1 |
| 기계 3 | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 |

이상에서 알 수 있듯이 Hamming 거리를 기준으로 하여 부품셀 1에 기계 3을 할당하면 부품셀 1에서 필요로 하는 공정을 모두 수행하기 위해서는 또 다른 기계를 추가로 할당하여야만 한다. 그러나 JL-Hamming 거리를 기준으로 하면 기계 1을 할당하게 되어 기계의 추가 할당없이 부품셀 1에서 필요로 하는 공정을 모두 수행할 수 있다. 따라서 기계셀의 형성시 JL-Hamming 거리를 이용하여 기계를 할당하는 것이 보다 효율적이다.

2.3.3 기계셀의 형성

형성된 부품셀에 기계를 할당하여 기계셀을 형성할 때 기계-부품 incidence matrix만을 사용하는 경우에는 공정별, 기계별 특성을 고려할 수 없었다. 본 연구에서는 서론에도 언급했듯이 기계-공정 incidence matrix와 부품-공정 incidence matrix를 사용하므로 공정별, 기계별 특성을 고려하여 기계셀을 형성할 수 있다.

공정별, 기계별 특성을 고려하기 위하여 기계셀의 형성시 부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리를 구하여 결정된 부품셀에 이 값이 최소인 기계를 할당하여 기계셀을 형성한다. 부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리를 구할 수 있는 것은 FMS에서 가공되는 부품이 대체 가공경로를 가지기 때문이다. FMS를 구성하는 기계들은 복수공정을 수행할 수 있기 때문에 기계-공정 incidence matrix의 행과 부품셀-공정 incidence matrix의 행간 JL-Hamming 거리를 구할 수 있다.

부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리는 다음 식에 의하여 구한다.

$$JLHd_{fk} = \sum_{j=1}^{n} \gamma(b_{fj}, q_{kj}),\ f = 1,2,\cdots,F,\ k = 1,2,\cdots,l \quad (2)$$

부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리가 최소인 기계를 우선적으로 부품셀에 할당하는 것은 부품셀이 필요로 하는 공정을 다른 기계보다 많이 수행할 수 있는 기계를 할당하는 것이므로 식 (3)에 의하여 표현되는 잔여 공정수 DTNO를 최소화한다.

$$DTNO = \sum_{f=1}^{F} CPF_f - NMC_k \quad (3)$$

이것은 부품셀에 기계를 할당하는 과정에서 식 (4)로 표현되는 $NM_j$의 감소를 최소화시킴으로서 정리 1의 조건 1이 만족되지 않는 경우의 발생 가능성을 최소화한다.

$$NM_j = \sum_{j=1}^{n} M_j - NMC_k \quad (4)$$

또 최소의 기계로 부품셀이 필요로 하는 공정을 수행할 수 있게 하므로 애로기계의 발생 가능성을 최소화시킨다.

2.3.4 알고리즘

본 연구에서의 부품셀 및 기계셀 형성 알고리즘은 6단계로 구성되어 있다. 단계 1, 2에서는 결정된 작업할당, 즉 기계-공정 incidence matrix와 부품-공정 incidence matrix에 의해 예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 초기 최대수 결정과 부품간 Hamming 거리의 총합이 최소가 되는 부품셀을 형성하는 것이다. 단계 3, 4, 5, 6에서는 결정된 부품셀이 필요로 하는 공정과 각 기계가 처리할 수 있는 공정들 간의 JL-Hamming 거리를 기준으로 예외적 요소가 발생하지 않도록 기계를 할당하는 것이다. 여기서 정리 1의 조건 1, 2가 만족되지 않는 경우가 발생하면 초기 C값을 수정한 후 단계 2로 간다.

단계 1 :

C = $\min_{1 \le j \le n} \{M_j ; M_j \langle P_j\}$ 값을 찾아 초기 C값으로 한다.

단계 2 :

정수계획모델을 이용하여 부품셀을 결정한다.

단계 3 :

각 부품셀이 필요로 하는 공정을 산출하여 부품셀-공정 incidence matrix를 작성하고, 부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리를 식 (2) 에 의하여 구한다.

단계 4 :

임의의 한 부품셀을 선택하여 $JLHd_{jk}$가 가장 작은 기계를 부품셀에 할당한 후 그 기계를 제외시킨다.

더이상 할당할 기계가 없으면 알고리즘을 종료한다.

단계 5 :

정리 1의 조건 1, 2가 만족되면, 단계 4로 아니면, 단계 6으로 간다.

단계 6 :

초기 C값을 C-1로 하여 단계 2로 간다.

### 2.4 대체 가공경로수 산출

일반적으로 FMS에서는 한 부품이 다수의 대체 가공경로를 갖는다. 대체 가공경로의 수가 많을수록 시스템의 이상 발생시 대응력이 커진다[9]. 예를 들면 부품이 한 가공경로를 따라 가공되고 있을 때 그 경로에 있는 기계에서 고장이 발생하더라도 그 기계에서 수행해야 하는 공정을 대체 가공경로에서 수행할 수 있기 때문이다. 대체 가공경로를 선택할 때에는 시스템의 전반적인 상황을 고려하여야 한다.

셀수가 1인 FMS 전체에 대한 부품의 대체 가공경로의 수는 다음식에 의하여 산출할 수 있다.

$$NAS_i = \Pi_{j \in S_i} M_j, \quad i = 1, \cdots, m \quad (5)$$

$NAS_i$는 부품 i가 필요로 하는 공정을 처리할 수 있는 기계의 수가 많을수록 커진다.

FMS에 셀 제조방식를 도입하면 식 (5)에 의한 대체 가공경로의 수는 큰 의미를 갖지 못한다. 왜냐하면 $NAS_i$는 기계셀간 이동을 발생시키는 대체 가공경로를 포함하고 있기 때문이다. 따라서 FMS에 셀 제조방식을 도입했을 때는 부품셀 및 기계셀이 결정된 후 각 부품이 기계셀간 이동을 발생시키지 않는 기계셀 내의 대체 가공경로의 수를 구해야 한다.

기계셀 내의 대체 가공경로의 수 $NAC_i$는 다음식에 의하여 산출할 수 있다.

$$NAC_i = \Pi_{j \in S_i} CM_j, \qquad i \in PF_f \qquad (6)$$

$NAC_i$는 기계셀에 포함되어 있는 기계의 수와 부품 i가 필요로 하는 공정을 처리할 수 있는 기계의 수가 많을수록 커진다.

## 3. 적용예

앞에서 개발한 알고리즘을 적용하기 위하여 다음의 예를 나타내었다. 10가지 부품이 8대의 기계로 가공되는 상황에서 부품-공정 incidence matrix와 기계-공정 incidence matrix가 각각 표1,2 와 같을 때 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 형성과정을 예시하면 다음과 같다.

### 3.1 알고리즘 적용

예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀을 형성하는 알고리즘의 적용단계는 다음과 같다. 본 연구에서 사용된 정수계획 프로그램은 MIP 83이다[13].

단계 1 : 부품셀 및 기계셀의 초기 최대수 결정

| | |
|---|---|
| $P_1=6$ | $M_1=5$ |
| $P_2=6$ | $M_2=4^*$ |
| $P_3=7$ | $M_3=5$ |
| $P_4=5$ | $M_4=5$ |
| $P_5=5$ | $M_5=5$ |
| $P_6=7$ | $M_6=5$ |
| $P_7=6$ | $M_7=5$ |
| $P_8=6$ | $M_8=5$ |

$C = \min_{1 \le j \le 8} \{M_j ; M_j \langle P_j\} = 4$ 이므로 부품셀 및 기계셀의 초기 최대수는 4이다.

단계 2 : 표 1에 식 (1)을 적용하여 각 부품간의 Hamming 거리를 구하면 표 3과 같다.

2.3.1에서 제시한 정수계획모델에 의해 결정된 부품셀은 다음과 같다.

$PF_1$ : 부품 1, 부품 8
$PF_2$ : 부품 2, 부품 6
$PF_3$ : 부품 4, 부품 5, 부품 9
$PF_4$ : 부품 3, 부품 7, 부품 10

단계 3 : 단계 2에 의하여 결정된 부품셀이 필요로 하는 공정을 나타내면 표 4와 같고, 표 2 및 표 4에 식 (2)를 적용하여 부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리를 구하면 표 5와 같다.

표 1. 부품-공정 incidence matrix

| | 공정1 | 공정2 | 공정3 | 공정4 | 공정5 | 공정6 | 공정7 | 공정8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| 부품 2 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 |
| 부품 3 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | |
| 부품 4 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 부품 5 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | |
| 부품 6 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 |
| 부품 7 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | |
| 부품 8 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 부품 9 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 부품 10 | | 1 | 1 | | | 1 | | 1 |

표 2. 기계-공정 incidence matrix

| | 공정1 | 공정2 | 공정3 | 공정4 | 공정5 | 공정6 | 공정7 | 공정8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M/C 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | |
| M/C 2 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | |
| M/C 3 | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 |
| M/C 4 | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| M/C 5 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 |
| M/C 6 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | |
| M/C 7 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| M/C 8 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 |

단계 4, 5, 6 : 표 2와 5를 이용하여 부품셀에 기계를 할당하는 과정을 요약하면 표 6과 같다.

이상에서 알 수 있듯이 부품에 기계를 할당할 때 정리 1의 조건 1과 2가 모두 만족되므로 C=4이다.

제안된 알고리즘의 적용 결과는 표 7과 같이 요약된다. 표 7을 보면 셀간의 이동을 발생시키는 예외적 요소인 애로기계나 예외적 부품이 발생하지 않음을 알 수 있다.

### 3.2 결과의 검토

#### 3.2.1 셀수와 예외적 요소의 발생관계

셀수 변화에 따른 부품셀 및 기계셀 형성은 표 8과 같다. 표에서 나타난 바와 같이 부

표 3. 부품간 Hamming 거리( $D_{ii'}$)

| | 부품1 | 부품2 | 부품3 | 부품4 | 부품5 | 부품6 | 부품7 | 부품8 | 부품9 | 부품10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품1 | 0 | 6 | 3 | 4 | 6 | 4 | 5 | 1 | 4 | 3 |
| 부품2 | 6 | 0 | 5 | 4 | 4 | 2 | 3 | 5 | 6 | 3 |
| 부품3 | 3 | 5 | 0 | 7 | 3 | 5 | 2 | 4 | 5 | 2 |
| 부품4 | 4 | 4 | 7 | 0 | 4 | 4 | 7 | 3 | 2 | 5 |
| 부품5 | 6 | 4 | 3 | 4 | 0 | 6 | 3 | 5 | 2 | 5 |
| 부품6 | 4 | 2 | 5 | 4 | 6 | 0 | 5 | 5 | 6 | 3 |
| 부품7 | 5 | 3 | 2 | 7 | 3 | 5 | 0 | 4 | 5 | 3 |
| 부품8 | 1 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 | 4 | 0 | 3 | 4 |
| 부품9 | 4 | 6 | 5 | 2 | 2 | 6 | 5 | 3 | 0 | 7 |
| 부품10 | 3 | 3 | 2 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 7 | 0 |

표 4. 부품셀-공정 incidence matrix

| | 공정1 | 공정2 | 공정3 | 공정4 | 공정5 | 공정6 | 공정7 | 공정8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품셀 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 부품셀 2 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 부품셀 3 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 부품셀 4 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 |

표 5. 부품셀과 기계간 JL-Hamming 거리($JLHd_{rk}$)

| | M/C1 | M/C2 | M/C3 | M/C4 | M/C5 | M/C6 | M/C7 | M/C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부품셀 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 부품셀 2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 부품셀 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 부품셀 4 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |

품셀 및 기계셀의 수가 정리 1에 의해 산출된 C값보다 커질수록 예외적 부품 및 애로기계의 수가 급격하게 증가함을 알 수 있다.

3.2.2 셀수에 따른 셀내 대체 가공경로의 수

셀수 변화에 따른 기계셀 내의 대체 가공경로의 수는 식 (6)에 의해 산출한다. 이것

표 6. 부품셀에 대응되는 기계셀 형성표

| 순서 | 부품셀 | 필요공정 | 할당기계 | 가능공정 | 남은공정 | $RPF_j \leq M_j$ | NPF ≤ AMC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 2,3,4,5,7,8 | M/C 4 | 2,4,5,7,8 | 3 | 3 < 5 | 4 < 7 |
| 2 | 3 | 1,2,4,5,6,7,8 | M/C 7 | 2,4,6,7,8 | 1 | 3 < 5 | 4 < 6 |
| | | | | | 5 | 1 < 4 | |
| 3 | 1 | 1,3,4,6,7,8 | M/C 1 | 1,2,3,4,6,7 | 8 | 2 < 3 | 4 < 5 |
| 4 | 4 | 1,2,3,6,7,8 | M/C 3 | 1,3,6,8 | 2 | 1 = 1 | 4 = 4 |
| | | | | | 7 | 1 < 2 | |
| 5 | 3 | 1,5 | M/C 6 | 1,3,4,5,7 | 0 | - | 3 = 3 |
| 6 | 4 | 2,7 | M/C 2 | 2,3,5,6,7 | 0 | - | 2 = 2 |
| 7 | 1 | 8 | M/C 8 | 1,3,4,5,8 | 0 | - | 1 = 1 |
| 8 | 2 | 3 | M/C 5 | 1,5,6,8 | 0 | - | - |

표 7. 부품셀 및 기계셀 형성표

| | 부품1 | 부품8 | 부품2 | 부품6 | 부품4 | 부품5 | 부품9 | 부품3 | 부품7 | 부품10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M/C 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| M/C 8 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| M/C 4 | | | 1 | 1 | | | | | | |
| M/C 6 | | | 1 | 1 | | | | | | |
| M/C 5 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| M/C 7 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| M/C 2 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| M/C 3 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 |

을 요약한 결과는 표 9와 같다. 표 9를 보면, 2.4절에서도 언급했듯이 기계셀에 포함되어 있는 기계의 수와 부품이 필요로 하는 공정을 처리할 수 있는 기계수가 감소할수록 기계셀 내의 대체 가공경로의 수는 급격하게 감소함을 알 수 있다.

부품셀 및 기계셀의 수가 5와 6인 경우는 예외적 부품 및 애로기계가 발생하므로 대체 가공경로의 수를 계산하면 기계셀 간의 이동을 발생시키는 경로를 포함하기 때문에 기계셀 내에서의 대체 가공경로의 수를 계산할 수 없다.

## 4. 결론

FMS의 특징은 복수공정을 갖는 부품과 복

표 8. 셀수 변화에 따른 부품셀 및 기계셀 형성표

| 셀 수 | 부 품 셀 | 기 계 셀 | 예외적 요소 | 예외적 부품 및 애로기계 |
|---|---|---|---|---|
| 2 | $PF_1$ : 1,2,3,6,7,10 | $MC_1$ : 1,3,5,6 | 발생하지않음 | 없음 |
| | $PF_2$ : 4,5,8,9 | $MC_2$ : 2,4,7,8 | | |
| 3 | $PF_1$ : 1,3,7,10 | $MC_1$ : 6,7 | 발생하지않음 | 없음 |
| | $PF_2$ : 2,6 | $MC_2$ : 1,2,8 | | |
| | $PF_3$ : 4,5,8,9 | $MC_3$ : 3,4,5 | | |
| 4* | $PF_1$ : 1,8 | $MC_1$ : 1,8 | 발생하지않음 | 없음 |
| | $PF_2$ : 2,6 | $MC_2$ : 4,6 | | |
| | $PF_3$ : 4,5,9 | $MC_3$ : 5,7 | | |
| | $PF_4$ : 3,7,10 | $MC_4$ : 2,3 | | |
| 5 | $PF_1$ : 1,8 | $MC_1$ : 6,7 | 발생함 | · 예외적부품은 부품5,10<br>· 애로기계는 MC¢1,2,4,7 |
| | $PF_2$ : 2,6 | $MC_2$ : 2,8 | | |
| | $PF_3$ : 3,7,10 | $MC_3$ : 1 | | |
| | $PF_4$ : 4,9 | $MC_4$ : 4,3 | | |
| | $PF_5$ : 5 | $MC_5$ : 5 | | |
| 6 | $PF_1$ : 1,8 | $MC_1$ : 7 | 발생함 | · 예외적부품은 부품1,2,5,6,8,10<br>· 애로기계는 M/C¢1,2,4,7,5,8 |
| | $PF_2$ : 2 | $MC_2$ : 2 | | |
| | $PF_3$ : 3,7,10 | $MC_3$ : 1 | | |
| | $PF_4$ : 4,9 | $MC_4$ : 4,3 | | |
| | $PF_5$ : 5 | $MC_5$ : 5,6 | | |
| | $PF_6$ : 6 | $MC_6$ : 8 | | |

표 9. 셀수 변화에 따른 기계셀 내의 대체 가공경로의 수

| 셀 수 | 부품별 대체 가공경로의 수 |
|---|---|
| 2 | $PF_1$ : 부품1(384),부품2(144),부품3(128),부품6(96), 부품7(96),부품10(64) |
| | $PF_2$ : 부품4(162),부품5(54),부품8(108),부품9(54) |
| 3 | $PF_1$ : 부품1(2),부품3(1),부품7(2),부품10(1) |
| | $PF_2$ : 부품2(24),부품6(24), |
| | $PF_3$ : 부품4(12),부품5(8),부품9(8),부품8(12) |
| 4 | $PF_1$ : 부품1(8),부품8(8) |
| | $PF_2$ : 부품2(2),부품6(4) |
| | $PF_3$ : 부품4(2),부품5(2),부품9(2) |
| | $PF_4$ : 부품3(4),부품7(2),부품10(4) |

* ( )은 대체 가공경로의 수

수공정을 수행할 수 있는 기계들로 구성되어 부품이 대체 가공경로를 갖는 것이다. 즉, 한 부품이 거쳐갈 수 있는 가공경로의 수가 다수라는 점이다.

본 연구에서는 FMS의 장점 중 하나인 대체 가공경로를 고려하여 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수 산출을 위한 정리를 제시(정리 1)하였다. 이를 바탕으로 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀 형성 알고리즘을 개발하였고, 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 최대수를 증가시키기 위해서 의사결정자가 어떤 행동을 취할 것인가를 결정할 수 있는 정리를 제시(정리 2)하였다.

또한 적용예를 통하여 부품셀 및 기계셀의 수가 정리 1에 의해 산출한 C값보다 커질 경우 예외적 요소가 발생하며, 그 값이 커질수록 예외적 요소의 수가 급격하게 증가함을 알 수 있었다. 기계셀 내의 대체 가공경로의 수는 기계셀에 포함되어 있는 기계의 수와 부품이 필요로 하는 공정을 처리할 수 있는 기계의 수가 감소할수록 급격하게 감소함을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌


[1] Andrew Kusiak, "*INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEM*", PRENTICE HALL. (1990).

[2] Andrew Kusiak, "*The Generalized Group Technology Concept*",INT. J.PROD.RES., 1987, VOL. 25, NO. 4, 561-569.

[3] Andrew Kusiak and M. CHO, "*Similarity Coefficients Algorithm for Solving the Group Technology Problem*", INT.J .PROD.RES., 1992, VOL. 30, NO. 11, 2633-2646.

[4] BALLAKUR, A., and STEUDEL, H. J., "*A with-cell Utilization Based Heuristic for Designing Cellular Manufacturing Systems*", INT.J.PROD.RES., 1987, VOL. 25, 639-665.

[5] GARY M. KERN and JERRY C. WEI, "*The Cost of Eliminating Exceptional Elements in Group Technology Cell Formation*", INT.J.PROD.RES., 1991, VOL. 29, NO. 8, 1535-1547.

[6] H. Lee and A. Garcia-Diaz, "*A Network Flow Approach to Solve Clustering Problems in Group Technology*", INT.J .PROD.RES. ,1993, VOL. 31, NO. 3, 603-612.

[7] INJAZZ J. CHEN and CHEN-HUA CHUNG, "*Effects of Loading and Routing Decisions on Performance of Flexible Manufacturing Systems*", INT.J.PROD. RES., 1991, VOL. 29, NO. 11, 2209-2225.

[8] NARSINGA DEO, "*GRAPH THEORY with Applications to Engineering and Computer Science*". P349, Prentice-Hall. (1974).

[9] Paul G. Ranky, "*Flexible Manufacturing Cells and Systems in CIM*", CIMware Limited Guildford, Surrey England (1990).

[10] SCOTT M. SHAFER, GARY M. KERN and JERRY C. WEI, "*A Mathematical Programming Approach for Dealing with Exceptional Elements in Cellular*

*Manufacturing*", INT.J.PROD. RES., 1992, VOL. 30, NO. 5, 1029-1036.

[11] TARUN GUPTA, "*Design of Manufacturing Cells for Flexible Environment Considering Alternative Routing*", INT. J.PROD. RES., 1993, VOL. 31, NO. 6, 1259-1273.

[12] WILLIAM W. LUGGEN., "*Flexible Manufacturing Cells and Systems*", Prentice Hall. (1991).

[13] SUNSET SOFTWARE, "*A Professional Linear and Mixed Integer programming System*", Ver. 4.0 U.S.A (1985).