

FMS에서 기계셀과 부품그룹의 동시형성을 위한 통합모형 : 기계-공정 빈도행렬과 부품-공정 빈도행렬의 이용†

정병희 · 윤창원*

An Integrated Model for Simultaneous Formation of
Machine Cells and Part Families in FMS : Using
Machine-Operation Incidence Matrix and Part-Operation
Incidence Matrix†

Byung Hee Chung* · Chang Won Yun*

ABSTRACT

The success of cell manufacturing applications in FMS rests on the effective cell formation to maintain the independent relations both between machine cells and between part families.

This paper presents an integrated method for concurrent formation of cells and families with no E.E(Exceptional Element) in FMS with alternative routings. To determine the maximum number of cell and family with no E.E, mathematical conditions and properties are derived.

New concept of nonsimilarity is introduced for each machine and part based on machine-operation incidence matrix and part-operation incidence matrix. To concurrently form the cells and families, integer programming based mathematical models are developed. For the predetermined number of cell or family, model I is used to identify whether E.E exists or not. Model II forms cells and families considering only nonsimilarity. But model III can consider nonsimilarity and processing times

The proposed method is tested and proved by using numerical examples.

* 崇實大學校 産業工學科

1. 서 론

셀 제조방식을 FMS에 도입하기 위해서는 유사한 공정을 갖는 부품으로 구성된 부품셀을 동일 기계셀 내에서 생산할 수 있도록 셀을 형성해야한다. 기계셀 및 부품셀을 형성하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫번째는 부품셀을 먼저 형성한 후 부품셀별로 대응하는 기계를 할당하여 기계셀을 형성하는 방법이다. 두번째 방법은 기계셀을 먼저 형성한 후 기계셀별로 대응하는 부품을 할당하여 부품셀을 형성한다. 이 두 가

지의 셀 형성 방법은 다음과 같은 몇 가지 목적을 기준으로 한다[12].

- (1) 셀간 이동과 셀 내의 이동에 의한 총 자재 취급 비용의 최소화[3].
- (2) 셀내 기계 이용률의 최대화[2].
- (3) 기계 중복의 최소화[14].
- (4) 예외적 부품과 셀간 이동의 최소화[10].

세번째 방법은 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 것이다. 이 세 가지 방법에 대한 기존의 연구현황을 요약하면 표 1과 같다.

[표 1] 셀 형성 방법

접 근 방 법	이 용 기 법	연 구 현 황
부품셀을 먼저 형성하는 방법	수식 모형(I.P)	ANDREW KUSIAK[1]
	알고리즘	A. KUSIAK and M.CHO[2]
기계셀을 먼저 형성하는 방법	알고리즘	DILEEP R. SULE[4], G. SRINIVASAN [6], H. Lee & A. Garcia-Diaz[7], TARUN GUPTA[11, 12], O, GEOFFREY OKOGBAA[9]
기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 방법	수식 모형	FAYEZ F. BOCTOR[5] N.E.DAHEL & S.B.SMITH[8]
	네트워크를 이용한 알고리즘	TAJINDER VOHRA[13]

셀 형성에 관한 연구를 표 1을 중심으로 살펴보면 다음과 같다. KUSIAK[1]은 부품간 유사도가 최대가 되는 부품셀을 형성하는 정수 계획법을 제시하였으며, M. CHO[2]는 부품간 유사도를 이용하여 부품셀을 먼저 형성한 후 그에 대응되는 기계셀을 형성하는 알고리즘을 개발하였다.

G. SRINIVASAN[6]는 기계간 유사도를 산출

하여 할당모형(assignment model)에 의해 기계셀을 형성한 후 그에 대응하는 부품셀을 형성하는 알고리즘을 개발하였다. 이들 셀 형성 알고리즘과 수식 모형들은 기계간 또는 부품간의 유사도를 주로 기계-부품 빈도 행렬을 이용하여 산출함으로써 공정별 특성을 정확히 반영하지 못한다.

GUPTA[11,12]와 OKOGBAA[9]는 기계간 호

를 기준으로 기계셀을 형성한 후 부품셀을 형성하는 알고리즘을 개발하였지만, 한 부품이 가질 수 있는 가공경로가 고정되어 있거나 매우 제한적이다.

DAHEL과 SMITH[8]는 셀간 이동의 최소화와 기계중복을 허용한 기계셀에 대한 유연성의 최대화를 목적으로 하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 수식모형을 개발하였다. VOHRA[13]는 네트워크를 이용하여 셀간 흐름을 최소화하는 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 알고리즘을 개발하였다. 이 두 가지 연구는 기계가 한가지 공정만을 수행하는 경우에 대한 수식 모형과 알고리즘이기 때문에 한 기계가 복수의 공정을 수행할 수 있는 FMS의 경우에는 그 적용이 적합하지 않다.

대부분의 셀 형성에 관한 연구들은 부품이 대체 가공경로를 갖는 상황에서 예외적 요소를 발생시키지 않는 부품셀 및 기계셀의 수를 결정할 수 있는 분석적 방법을 제시하지 않고 있다[15].

본 연구에서는 기계-공정 빈도 행렬과 부품-공정 빈도 행렬을 이용하여 예외적 요소의 최소화에 적합한 유사도를 산출하고, 또 이들 행렬을 이용하여 대체가공경로를 가지는 FMS에서 예외적 요소를 발생시키지 않는 최대 셀 수를 산출하는 성질을 유도한다. 성질을 바탕으로 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 수식모형 및 알고리즘을 제시한다.

2. 수식모형의 구성 및 최대 셀 수

2.1 가정 및 기호의 정의

본 연구는 다음과 같은 가정 하에 진행되었다.

- (1) 기술적 제약에 의한 공정할당은 결정되어 있다.

- (2) 각 부품은 하나 이상의 공정의 수행을 필요로 한다.

- (3) 각 기계는 복수공정을 수행할 수 있다.

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같다.

NOS_c : 기계셀 c가 처리할 수 있는 공정의 집합

NPS_f : 부품셀 f가 필요로 하는 공정의 집합

T_{kj} : 기계 k에서 공정 j의 가공시간

M_j : j공정을 처리할 수 있는 기계 수

DC_{ci} : 기계셀 c의 부품 i에 대한 비처리능력

DS_{ki} : 기계 k의 부품 i에 대한 비처리능력

TDS_{ki} : 가공시간을 고려한 기계 k의 부품 i에 대한 비처리능력

$S_{kk'}$: 기계 k와 기계 k'의 유사도

mic : 각 셀이 모든 공정을 수행할 수 있는 최대 셀 수

$$BC : \left[\frac{\text{총 기계수}}{2} \right]$$

$smic$: 부품 기계간 비처리능력이 0인 부품과 기계를 제거한 후 각 셀

이 모든 공정을 수행할 수 있는 최대 셀수

SBC : 부품 기계간 비처리능력이 0인 부품과 기계를 제거한 후의 BC

PMC : $DS_{ki}=0$ 인 기계와 부품에 의해 형성 가능한 셀 수

\overline{PC} : $DS_{ki}=0$ 인 기계와 부품에 의해 형성 가능한 셀들의 기계 집합

$$q_{ki} : \begin{cases} 1, & \text{기계 k가 공정 j를 수행할 수 있는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$MT_{ki} : \begin{cases} T_{ki}, & q_{ki}=1인 경우 \\ M, & q_{ki}=0인 경우 \end{cases} \quad (M : 임의의 큰 수)$$

$$X_{kk'} : \begin{cases} 1, & \text{기계 k가 기계 k'에 속할 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$Y_{ic} : \begin{cases} 1, & \text{기계 i가 기계 c에 할당될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$Y_{ik} : \begin{cases} 1, & \text{기계 i가 기계 k에 할당될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$a_{ij} : \begin{cases} 1, \text{기계 } i \text{가 기계 } j \text{를 필요로 하는 경우} \\ 0, \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\gamma(q_{ki}, a_{ki}) = \begin{cases} 1, q_{ki} < a_{ki} \text{인 경우} \\ 0, \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\delta(q_{ki}, a_{kj}) = \begin{cases} 1, q_{ki}=1, a_{kj}=1 \text{인 경우} \\ 0, \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$\alpha(q_{ki}, a_{ij}) = \begin{cases} 1, q_{ki} < a_{ij} \text{ 또는 } q_{ki}=1, a_{ij}=1 \text{인 경우} \\ 0, q_{ki} > a_{ij} \text{인 경우} \end{cases}$$

2.2 셀의 최대수

예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수를 파악하기 위해서는 우선 어떤 조건이 만족될 때 예외적 요소가 존재하지 않는가를 파악해야 한다. 예외적 요소가 발생하지 않기 위해서는 한 부품이 소속된 기계셀에서 완전히 가공되어야 한다.

기계셀과 부품셀이 형성된 후 예외적 요소가 발생하지 않기 위한 필요충분조건은 각 부품셀별로 필요로 하는 모든 공정을 처리할 수 있는 기계셀이 최소한 하나는 존재해야 하는 것이다. 이것을 성질로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$NOS_i \geq NPS_i \text{인 } c \text{가 각각 존재, } \forall f \quad (1)$$

조건은 FMS 뿐만 아니라 전통적인 제조 시스템에 대해서도 마찬가지로 적용될 수 있다. FMS에서 셀의 수를 한개 이상으로 구성해야 할 때, FMS를 구성하는 기계들이 복수공정을 수행할 수 있다는 특성을 이용하여 식 (1)을 만족시키는 간단한 셀 형성방법은 모든 기계셀이 모든 공정을 수행할 수 있게 하는 것이다

이렇게 형성할 수 있는 셀의 최대 수를 본 연구에서는 mic 로 표현하고 각 셀이 모든 공정을 수행할 수 있는 최대 셀 수라 하였다. mic 는 기계-공정 빈도 행렬을 이용하면 쉽게 산출 가능하다. mic 는 다음과 같은 두 가지 특성을 가지고 있다. 첫째, mic 는 예외적 요소가 존재하지 않는

최대 셀 수보다는 작거나 같다. 이것은 성질 1과 성질 2에 의해서 설명된다. 둘째, 기계-공정 빈도 행렬에 의해 파악할 수 있는 M_j 에 의해 mic 는 산출 가능하다. mic 는 모든 기계셀이 모든 공정을 수행할 수 있어야 하기 때문에 최소 M_j 보다는 클 수 없다. 따라서 복수개의 공정을 필요로 하는 부품과 복수개의 공정을 수행할 수 있는 기계로 구성된 FMS에서 mic 는 최소 M_j 값보다 작거나 같다.

앞에서 정의한 부품 i 에 대한 기계 k 의 비처리 능력은 기계 k 가 부품 i 가 필요로 하는 공정을 얼마나 수행할 수 있는 가를 나타내는 것으로 식 (2)에 의하여 산출한다.

$$DS_{ki} = \sum_{j=1}^n \gamma(q_{kj}, a_{ij}), i=1,2,\dots,m, k=1,2,\dots,l \quad (2)$$

mic 의 특성을 이용하여 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수를 파악할 수 있는 성질 1과 성질 2를 유도한다. 성질 1은 비처리능력이 0인 부품과 기계가 없는 경우의 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수를 파악하는 것이고, 성질 2는 비처리능력이 0인 부품과 기계가 존재하는 경우에 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수를 결정하는 것이다.

[성질 1] $DS_{ki}=0$ 인 기계 k 와 부품 i 가 존재하지 않을 때,

$BC = mic$ 이면 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 mic 이고, $BC > mic$ 이면 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 mic 와 BC 사이에 존재한다. 그리고 $BC < mic$ 인 경우는 존재하지 않는다.

증명 : $DS_{ki} > 0 \forall k, i$

이기 때문에 어떤 기계로 한 부품을 완전히 처리할 수 없는 경우이다. 따라서 예외적 요소가 존재하지 않을 가능성이 있는

최대 셀 수는 BC 이다.

1. $BC = mic$ 이면 mic 가 예외적 요소가 존재하지 않은 조건을 만족하기 때문에 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 BC 이다.
2. $BC > mic$ 이면 BC 가 예외적 요소가 존재하지 않을 가능성이 있는 셀의 최대 수이므로 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 mic 와 BC 사이에 존재한다.
3. $DS_{ki} > 0 \forall k, i$ 이기 때문에 mic 는 두대 이상으로 구성될 때의 셀의 수이다. 따라서 $BC < mic$ 인 경우는 존재하지 않는다.

부품 기계간 비처리능력이 0인 기계와 부품은 완전히 독립된 셀로 구성될 수 있다. 이와 같은 경우에는 다음 성질을 이용하여 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수를 파악한다.

[성질 2] $DS_{ki} = 0$ 이 기계 k 와 부품 i 가 존재할 때, $SBC = smic$ 이면 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 $smic^+(PMC)$ 이고, $SBC > smic$ 이면 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 $smic^+(PMC)$ 와 $SBC^+(PMC)$ 사이에 존재한다. 그리고 $SBC < smic$ 인 경우는 존재하지 않는다.

증명 : 부품, 기계간 비처리능력이 0인 부품과 기계는 독립된 부품셀 및 기계셀을 형성할 수 있으므로 이들을 제거한 후의 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 성질 1의 내용과 같다.

2.3 수식 모형

본 연구에서의 수식 모형은 크게 세 가지로 분류된다. 첫번째 모형은 기계간 유사도를 이용하여 기계셀을 형성하는 것으로써 mic 를 결정하기 위해 사용된다. 두번째 모형은 기계간 유사도와 부품 기계간 비처리능력만을 이용하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형이다. 세번째 모형은 비처리능력과 공정별 가공시간을 고려하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형이다.

2.3.1 기계셀 형성 모형

서로 다른 두 기계가 같은 부품을 처리하는 경우라도 서로 다른 공정을 수행할 수 있기 때문에 기계간 유사도를 기계-부품 빈도 행렬만을 이용하여 각 기계가 처리하는 부품에 의해 파악하면 정확한 기계간 유사도를 파악할 수 없다.

본 연구에서는 예외적 요소의 최소화에 적합한 기계간 유사도를 파악하기 위하여 각 기계가 어떤 공정을 수행할 수 있는 가를 나타내는 기계-공정 빈도 행렬을 이용한다. 기계-공정 빈도 행렬은 기술적 제약에 의한 공정 할당에 의해서 사전에 결정된다. 기계간 유사도는 두 기계가 수행할 수 있는 공정이 얼마나 유사한가를 나타내는 것으로 식 (3)을 이용하여 구한다.

$$S_{kk'} = \sum_{j=1}^n \delta(q_{kj}, q_{k'j}), k=1,2,\dots,l, k'=1,2,\dots,l, \quad (3)$$

기계셀 형성을 위한 수식 모형의 목적함수는 식 (3)에 의해서 산출되는 기계간 유사도를 최소화하는 것이다. 이 모형은 각 기계셀이 되도록 많은 공정을 수행할 수 있게 한다. 또한 기계셀 형성 모형의 이와 같은 특성은 앞절에서 정의한 mic 를 결정하기 위해 사용된다. 그 모형은 다음

과 같다.

모형 I

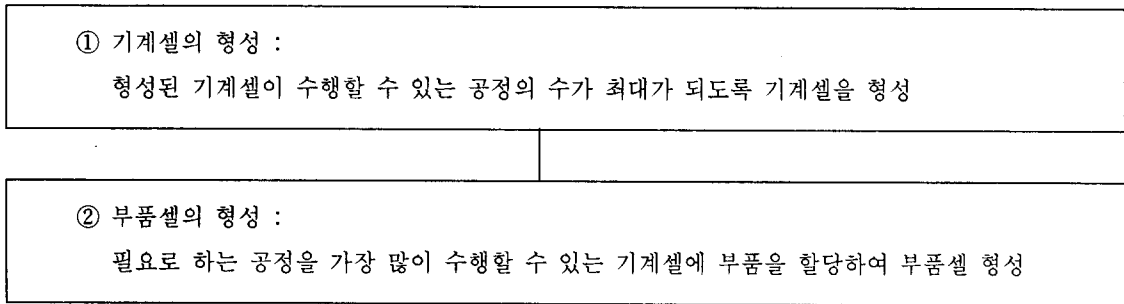
$$\begin{aligned}
 & \text{MIN} \sum_{k=1}^l \sum_{k'=1}^l S_{kk'} X_{kk'} \\
 & \text{s.t.} \sum_{k=1}^l X_{kk} = 1, \quad k=1, \dots, l \\
 & \sum_{k=1}^l X_{kk'} = \min_{j=1, \dots, l} M_j \\
 & X_{kk'} \leq X_{k'k}, \quad k=1, \dots, l \\
 & \quad \quad \quad k'=1, \dots, l \\
 & X_{kk} = 0, 1 \quad k=1, \dots, l \\
 & \quad \quad \quad k'=1, \dots, l
 \end{aligned}$$

여기서 세번째 제약의 $\min_{j=1, \dots, l} M_j$ 는 셀 수로서 *mic* 또는 *smic*를 결정하기 위한 것이다.

2.3.2 예외적 요소의 최소화를 위한 기계셀 및 부품셀 형성 모형

앞에서 제시된 모형 I은 기계셀만을 형성하는 모형으로 *mic* 또는 *smic*산출에 사용되는 것이다. 본 절에서는 성질 1 또는 성질 2에 의해 산출된 예외적 요소가 발생하지 않는 최대 셀 수를 바탕으로 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형을 제시한다.

예외적 요소는 기계셀에서 대응하는 부품셀이 필요로 하는 공정을 수행할 수 없을 때 발생한다. 따라서 예외적 요소를 최소화하기 위해서는 우선 기계셀이 수행할 수 있는 공정의 수를 최대한 한 후 형성된 기계셀에 부품을 할당하여 부품셀을 형성할 때 부품이 필요로 하는 공정을 가장 많이 수행할 수 있는 기계셀에 할당하면 된다. 이것을 요약하면 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 셀 형성방법

[그림 1]의 셀 형성 방법이 예외적 요소의 발생을 최소화할 수 있는 것은 첫째, 기계-공정 빈도 행렬과 부품-공정 빈도 행렬을 이용하여 유사도와 비처리능력을 산출하기 때문이고, 둘째, 예외적 요소의 발생이 공정에 의해 결정되기 때문이다.

[그림 1]을 수식 모형화 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{MIN} \sum_{k=1}^l \sum_{k'=1}^l S_{kk'} X_{kk'} + \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^m DC_{ci} Y_{ic} \\
 & \text{s.t.} \sum_{k=1}^l X_{kk} = 1, \quad k=1, \dots, l \\
 & \sum_{k=1}^l Y_{ic} = 1, \quad i=1, \dots, m \\
 & X_{kk'} = 1, \quad k' \in \overline{PC} \\
 & \sum_{k=1}^l X_{kk} = c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{kk'} &\leq X_{k'k} & k=1, \dots, l \\
 & & k'=1, \dots, l \\
 X_{kk'} &= 0, 1 & k=1, \dots, l \\
 & & k'=1, \dots, l \\
 Y_{ic} &= 0, 1 & k=1, \dots, m \\
 & & c=1, \dots, C
 \end{aligned}$$

모형에서 목적함수의 DC_{ci} 는 기계셀이 형성되어야 산출될 수 있는 부품 기계셀간 비처리능력이다. 따라서 모형의 수립 단계에서는 산출이 불가능하다. 모형의 특성을 이용하여 DC_{ci} 를 산출하지 않고 식 (2)에 의해 산출되는 부품 기계간 비처리능력 DS_{ki} 를 이용하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성할 수 있도록 위 모형을 변형시킬 수 있다. 왜냐하면 기계셀은 모형에서 수행할 수 있는 공정의 수가 최대가 되도록 형성되므로 부품을 비처리능력이 가장 낮은 기계에 할당하면, 그 기계는 수행할 수 있는 공정의 수가 최대가 되도록 다른 기계와 기계셀을 형성하기 때문이다.

변형된 모형의 기본개념은 기계간 유사도를 파악하여 유사도가 낮은 기계를 같은 기계셀에 포함시키고, 부품 기계간 비처리능력을 파악하여 각 부품에 대한 비처리능력이 낮은 기계에 부품을 할당하는 것이다. 유사도가 낮은 기계를 한 기계셀에 포함시키면 기계셀이 처리할 수 있는 공정이 최대가 되어 예외적 요소의 발생 가능성을 최소화한다.

기계간 유사도는 식 (3)에 의해서 산출하고 부품 기계간 비처리능력은 식 (2) 또는 식 (4)에 의해서 구한다. 식 (2)에 의해서 구해지는 비처리능력은 부품이 필요로 하는 공정과 기계가 수행할 수 있는 공정의 차이에 의해서만 결정되는 것이고, 식 (4)에 의해서 구해지는 비처리능력은 공정에 대한 가공시간을 고려한 것이다. 가공시간을 고려한 부품 기계간 비처리능력은 부품이 필요로

하는 공정을 기계가 수행할 수 있으면 가공시간을 그대로 반영하고, 수행할 수 없으면 임의의 큰 수를 할당하는 것으로 식 (4)에 의하여 구한다.

$$\begin{aligned}
 TDS_{ki} &= \sum_{j=1}^n \alpha(q_{ki}, a_{ij}) \times MT_{ki}, \\
 & i=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, l
 \end{aligned} \tag{4}$$

두 가지 부품 기계간 비처리능력에 따라 셀 형성 모형 두 가지를 제시한다. 모형 II와 모형 III의 차이점은 기계에 부품을 할당하여 부품셀을 결정할 때 가공시간의 고려여부이다. 모형 II는 가공시간을 고려하지 않는 식 (2)에 의해 산출되는 비처리능력과 식 (3)에 의해 산출되는 기계간 유사도를 이용하는 것으로 식 (5)와 같은 목적함수를 가지며, 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형이다. 모형 III는 가공시간을 고려하여 식 (4)에 의해 산출되는 비처리능력과 식 (3)에 의해 산출되는 기계간 유사도를 이용해 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형이다.

모형 II

$$\begin{aligned}
 MIN & \sum_{k=1}^l \sum_{k'=1}^l S_{kk'} X_{kk'} + \sum_{i=1}^l \sum_{c=1}^m DS_{ki} Y_{ic} \\
 \text{s.t.} & \sum_{k=1}^l X_{kk} = 1, k=1, \dots, l \\
 & \sum_{i=1}^c Y_{ic} = 1, i=1, \dots, m \\
 & X_{kk'} = 1, k' \in \overline{PC} \\
 & \sum_{k=1}^l X_{kk} = C \\
 & X_{kk'} \leq X_{k'k} \quad k=1, \dots, l \\
 & \quad \quad \quad k'=1, \dots, l \\
 & X_{kk'} = 0, 1 \quad k=1, \dots, l \\
 & \quad \quad \quad k'=1, \dots, l \\
 & Y_{ic} = 0, 1 \quad k=1, \dots, m \\
 & \quad \quad \quad c=1, \dots, C
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 두번째 제약은 각 부품이 한 기계에만 할당되게 하는 것으로 각 기계는 특정 기계셀에 포함되므로 기계셀에 부품을 할당하는 것과 같다. 모형 III은 부품이 필요로 하는 공정에 대한 가공시간이 될 수 있으면 짧은 기계에 할당하고자 하는 모형이므로 모형 II의 목적함수를 식 (6)과 같이 수정한다. 제약식은 모형 II와 같다.

모형 III

$$MIN \sum_{k=1}^l \sum_{k=1}^l S_{kk} X_{kk} + \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m TDS_{ki} Y_{ik} \quad (6)$$

모형 II에 비해 모형 III은 가능한 한 가공시간이 짧은 기계에 부품을 할당하는 것이므로 셀이 형성된 후 셀 내의 대체가공경로 선정에 적합한 결과를 도출한다. 왜냐하면 대체가공경로의 선정은 총처리완료시간을 최소화하기 위해 최소가공시간을 갖는 경로를 선정하는 것이기 때문이다.

2.3.3 기계셀 및 부품셀 형성 알고리즘

본 연구에서의 셀 형성 알고리즘은 6 단계로 구성되어 있다. 단계 1, 2, 3은 모형 I을 이용하여 *mic* 또는 *smic*를 결정한다. 단계 4는 성질에 의하여 예외적 요소가 발생하지 않는 최대 셀 수를 결정한다. 단계 4에서 결정된 최대 셀 수가 구간으로 산출될 경우, 단계 5는 최대 셀 수를 결정하여 기계셀과 부품셀을 형성한다. 단계 6에서는 단계 4에서 산출된 최대 셀 수가 구간이 아닌 경우에 기계셀과 부품셀을 형성한다.

단계 1 : *PMC*를 파악하여 0이면 최소 *M*를 셀 수로 하여 단계 2로 가고, 그렇지 않으면 $DS_{ki}=0$ 인 기계를 제거한 후의 최소 *M*를 셀 수로 하여 단계 3으로 간다.

단계 2 : 정해진 셀 수를 바탕으로 모형 I에

의해서 기계셀을 형성한다. 형성된 각 기계셀이 모든 공정을 수행할 수 있으면 그 때의 셀 수를 *mic*로 하여 단계 4로 가고 그렇지 않으면 셀 수를 1 감소시켜 단계 2를 반복한다.

단계 3 : 정해진 셀 수를 바탕으로 모형 I에 의해서 기계셀을 형성한다. 형성된 각 기계셀이 모든 공정을 수행할 수 있으면 그 때의 셀 수를 *smic*로 하여 단계 4로 가고 그렇지 않으면 셀 수를 1 감소시켜 단계 3을 반복한다.

단계 4 : 성질 1 또는 성질 2에 의해서 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수 또는 그 구간을 산출한다. 구간이 산출되면 단계 5로 그렇지 않으면 단계 6으로 간다.

단계 5 : *BC*에 의해 모형 II를 이용하여 기계셀과 부품셀을 형성한 후 예외적 요소가 발생하지 않는 조건이 만족되면 최대 셀 수를 *BC*로 하여 모형 III에 의하여 기계셀과 부품셀을 형성한 후 알고리즘을 종료한다. 그렇지 않으면 *BC*를 1 감소한 다음 단계 5를 반복한다.

단계 6 : 모형 II와 III에 의하여 기계셀과 부품셀을 형성한다.

3. 적용예

앞에서 개발한 알고리즘을 적용하기 위하여 다음의 예를 나타내었다. 10가지 부품이 8대의 기계로 가공되는 상황에서 부품-공정 빈도 행렬과 기계-공정 빈도 행렬이 각각 표 2, 3과 같고 각 공정의 기계별 가공시간은 표 4와 같을 때 예외적 요소가 발생하지 않는 부품셀 및 기계셀의 형성

과정을 예시하면 다음과 같다.

[표 2] 부품-공정 빈도 행렬

	공정 1	공정 2	공정 3	공정 4	공정 5	공정 6	공정 7	공정 8
부 품 1	1		1	1		1		1
부 품 2		1	1		1		1	1
부 품 3	1	1	1			1		
부 품 4				1	1	1	1	1
부 품 5	1	1			1	1	1	
부 품 6		1	1	1	1			1
부 품 7	1	1	1				1	
부 품 8	1		1	1		1	1	1
부 품 9	1			1	1	1	1	
부 품 10		1	1			1		1

[표 3] 기계-공정 빈도 행렬

	공정 1	공정 2	공정 3	공정 4	공정 5	공정 6	공정 7	공정 8
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

[표 4] 기계에서의 공정별 가공시간

	공정 1	공정 2	공정 3	공정 4	공정 5	공정 6	공정 7	공정 8
M/C 1	3	8	6	7		6	4	
M/C 2		3	2		7	4	3	
M/C 3	8		5			5		3
M/C 4		2		9	2		7	7
M/C 5	7				7	3		2
M/C 6	2		5	4	6		7	
M/C 7		4		7		2	5	6
M/C 8	9		6	8	2			5

3.1 알고리즘의 적용

예외적 요소를 발생시키지 않은 부품셀 및 기계셀을 형성하는 알고리즘의 적용단계는 다음과 같다. 알고리즘을 적용하기 위해서는 표 2,3,4를 이용하여 기계간 유사도, 부품 기계간 비처리능력, 가공시간을 고려한 부품기계간 비처리능력을

산출해야 한다. 이들의 산출 방법과 그 결과는 다음과 같다.

기계간 유사도를 산출하기 위하여 표 3에 식 (3)에 적용하여 요약하면 표 5와 같다. 표 5의 요소 중 기계 1행과 기계 2열의 4는 기계 1과 기계 2가 공통으로 수행할 수 있는 공정의 수이다.

[표 5] 기계간 유사도(S_{kk})

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4	기계 5	기계 6	기계 7	기계 8
기계 1	∞	4	3	3	2	4	4	3
기계 2	4	∞	2	2	2	3	3	2
기계 3	3	2	∞	1	3	2	2	3
기계 4	3	2	1	∞	2	3	4	3
기계 5	2	2	3	2	∞	2	2	3
기계 6	4	3	2	3	2	∞	2	4
기계 7	4	3	2	4	2	2	∞	2
기계 8	3	2	3	3	3	4	2	∞

가공시간을 고려하지 않는 부품 기계간 비처리 능력을 산출하기 위하여 표 2와 표 3에 식(2)를 적용하여 요약하면 표 6과 같다. 표 6의 요소 중

부품 1행과 기계 2열의 3은 기계 2가 부품 1에서 필요로 하는 공정 중 수행할 수 없는 공정의 수이다.

[표 6] 부품, 기계간 비처리능력(DS_{ij})

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4	기계 5	기계 6	기계 7	기계 8
부 품 1	1	3	1	3	2	2	2	1
부 품 2	2	1	3	1	3	2	2	2
부 품 3	0	1	1	3	2	2	2	2
부 품 4	2	2	3	1	2	2	1	2
부 품 5	1	1	3	2	2	2	2	3
부 품 6	2	2	2	1	3	2	2	1
부 품 7	0	1	2	2	3	1	2	2
부 품 8	1	3	2	3	3	2	2	2
부 품 9	1	2	3	2	2	1	2	2
부 품 10	1	1	1	2	2	3	1	2

가공시간을 고려한 부품 기계간 비처리능력을 산출하기 위하여 표 2,3,4에 식(4)를 적용하여 요약하면 표 7과 같다.

표 7의 산출과정을 예시하기 위해 부품 1행과

기계 1행의 산출과정을 나타내면 다음과 같다. 표 7에서 부품이 필요로 하는 공정을 기계가 수행할 수 없는 경우에는 임의의 큰 수 M을 20으로 하였다.

기계 1의 수행가능 공정	1	2	3	4	6	7		TDS ₁₁
부품 1의 필요공정	1		3	4	6		8	
가 공 시 간	3		6	7	6		20	42

[표 7] 가공시간을 고려한 부품, 기계간 비처리능력(TDS_{ki})

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4	기계 5	기계 6	기계 7	기계 8
부 품 1	42	66	41	76	52	51	55	48
부 품 2	58	35	68	38	69	58	59	53
부 품 3	23	29	33	62	50	47	50	55
부 품 4	57	54	68	45	52	57	40	55
부 품 5	41	37	73	51	57	56	51	76
부 품 6	61	52	68	40	69	55	57	41
부 품 7	21	36	53	49	67	33	49	55
부 품 8	46	69	61	83	75	58	60	68
부 품 9	30	54	73	58	57	39	64	59
부 품 10	40	27	33	49	45	67	58	51

산출된 결과를 바탕으로 알고리즘을 적용하는 과정은 다음과 같다.

단계 1 : 표 6에서 기계 1과 부품 3, 7의 비처리 능력은 0이므로 기계 1을 제거한 후의 최소 $M_i=3$ 이다. 3을 셀 수로 하여 단계 3으로 간다(표 3을 이용)

단계 3 : 셀 수를 3으로 하여 모형 I에 의해 기계셀을 형성하면 다음과 같다(표 5를 이용)

기 계 셀
기계셀 1 : 기계 2, 5, 8
기계셀 2 : 기계 3, 4
기계셀 3 : 기계 6, 7

형성된 기계셀이 $smic$ 의 특성을 만족하는지 검토한다.

$$NOS_1 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

$$NOS_2 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

$$NOS_3 = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$$

모든 기계셀이 전 공정을 수행할 수 있으므로 $smic=3$ 이다.

단계 4 : 부품 기계간 비처리능력이 0이 아닌 기계가 존재하므로 정리 2를 적용하여 최대 셀 수를 산출한다.

$$smic=3 \text{ 이고 } SBC = \lceil \frac{7}{2} \rceil = 3 \text{ 이다.}$$

따라서 예외적 요소가 존재하지 않는 최대 셀 수는 $PMC=1$ 이므로 4이다.

단계 6 : 모형 II에 의하여 기계셀과 부품셀을 형성하면 다음과 같다.(표 5와 표 6을 이용)

기계셀 1 : 기계 2, 기계 8

부품셀 1 : 부품 1, 6

기계셀 2 : 기계 2, 기계 5

부품셀 2 : 부품 3, 5, 7, 8

기계셀 3 : 기계 3, 기계 4

부품셀 3 : 부품 2

기계셀 4 : 기계 6, 기계 7

3.2 결과의 분석

본 연구에서 제시한 모형 II와 III은 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 모형이다. 본 절에서는 기계셀과 부품셀을 각각 형성하는 방법과 그 결과를 비교한다.

셀을 각각 형성하는 방법으로 기계셀은 모형 I을 사용하였고, 부품셀은 KUSIAK[1]이 제시한 p-median 모형을 사용하였다.

3.2.1 모형 I과 p-median에 의한 셀 형성

적용예에서의 최대 셀 수 4로 모형 I과 p-median에 의해 기계셀과 부품셀을 각각 형성한 후 식 (1)을 만족하는지를 검토한다.

기계셀의 수를 4로 하여 모형 I에 의해 기계셀을 형성하면 그 결과는 다음과 같다.

기 계 셀
기계셀 1 : 기계 2, 8
기계셀 2 : 기계 1, 5
기계셀 3 : 기계 3, 4
기계셀 4 : 기계 6, 7

p-media에 의해 부품셀을 4개로 형성하면 그 결과는 다음과 같다.

부 품 셀
부품셀 1 : 기계 1, 8
부품셀 2 : 기계 2, 6
부품셀 3 : 기계 4, 5, 9
부품셀 4 : 기계 3, 7, 10

형성된 기계셀과 부품셀이 식 (1)을 만족하는지

여부를 파악하기 위하여 각 기계셀이 처리할 수 있는 공정의 집합과 각 부품셀이 필요로 하는 공정의 집합을 산출하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 NOS_1 &= \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\} & NPS_1 &= \{1, 3, 4, 6, 7, 8\} \\
 NOS_2 &= \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\} & NPS_2 &= \{1, 3, 4, 5, 7, 8\} \\
 NOS_3 &= \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\} & NPS_3 &= \{1, 2, 4, 5, 6, 7, 8\} \\
 NOS_4 &= \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\} & NPS_4 &= \{1, 2, 3, 6, 7, 8\}
 \end{aligned}$$

이 결과는 모든 f에 대하여 $NOS_c \supseteq NPS_c$ 인 c가 존재하므로 예외적 요소를 발생시키지 않는다.

제시된 예제에서는 예외적 요소가 존재하지 않는 최대셀 수가 모든 공정을 수행할 수 있는 셀 수와 같으므로 각 부품셀에 포함된 부품과 각 기계셀에 포함된 기계와의 비처리능력을 구하여 이것이 최소가 되도록 형성된 기계셀과 부품셀을 대응시키는 방법을 이용하였다. 그 결과는 표 10에 요약하였다.

3.2.2 모형별 셀 형성 결과의 비교

본 연구에서 사용한 셀 형성 방법은 셀 형성 모형 II, III 그리고 모형 I과 p-median에 의한 방법으로 나누어진다. 이 세 가지 방법의 차이점은 부품셀을 어떻게 형성하는가이다. 모형 II, III은 부품 기계간 비처리능력을 이용하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 것이고, p-median에 의한 방법은 부품간 Hamming 거리를 이용하여 부품셀을 형성하는 것이다. 세 가지 방법의 셀 형성 결과를 요약하면 표 10과 같다.

표 10의 최소 가공시간과 최대 가공시간은 각 부품이 할당된 셀에서 최소 가공시간을 가지는 가공경로를 따라 부품이 가공될 때와 최대 가공시간을 갖는 가공경로를 따라 가공될 때, 각 부품이 필요로 하는 모든 공정을 수행하기 위해 필요한 가공시간의 총합을 나타낸 것이다. 그 결과를

[표 10] 셀 형성 방법별 비교

	기 계 셀	부 품 셀	최 소 가 공 시간	최 대 가 공 시간	TDS _{ki} 총 합	부 품 기 계 간 비 유 사 도 총 합
모형 I 과 p-median	기계셀 1 : 2, 8 기계셀 2 : 1, 5 기계셀 3 : 3, 4 기계셀 4 : 6, 7	부품셀 1 : 2, 6 부품셀 2 : 3, 7, 10 부품셀 3 : 1, 8 부품셀 4 : 4, 9, 9	231	270	397	10
모형 II	기계셀 1 : 2, 8 기계셀 2 : 1, 5 기계셀 3 : 3, 4 기계셀 4 : 6, 7	부품셀 1 : 1, 6 부품셀 2 : 3, 5, 7, 8 부품셀 3 : 2, 4 부품셀 4 : 9, 10	222	275	400	8
모형 III	기계셀 1 : 2, 8 기계셀 2 : 1, 5 기계셀 3 : 3, 4 기계셀 4 : 6, 7	부품셀 1 : 2, 6, 10 부품셀 2 : 3, 7, 8, 10 부품셀 3 : 1, 6 부품셀 4 : 4	221	241	374	8

비교해 보면 최소 가공시간의 경우는 기계셀과 부품셀을 각각 형성하는 모형 I 과 p-median에 의한 방법이 모형 II나 모형 III에 비해 각 부품을 처리하는데 많은 시간을 필요로 한다. 이것의 의미는 FMS에서의 셀 형성은 기술적 제약만을 고려한 공정할당을 시스템의 효율적 운영을 위한 공정 재할당의 의미도 포함하고 있다는 관점에서 파악이 가능하다. FMS에서의 공정할당은 경로선정의 입력자료가 되므로 공정할당의 결과에 따라 경로선정이 많은 영향을 받는다. 경로선정의 목적은 되도록 짧은 가공시간을 갖는 가공경로를 선택하는 것이므로 부품셀의 형성시 모형 II와 III이 대체가공경로 선정에 보다 적합한 입력자료를 제공하는 것임을 알 수 있다.

최소 가공시간과 최대 가공시간을 연관하여 보면 최소 가공시간은 모형 II와 III의 차이가 작지만 최대 가공시간은 모형 II가 모형 III에 비하여 큰 값을 갖는다. 이것은 각 공정의 기계별 가공시

간의 차이가 큰 경우에는 모형 III에 의하여 셀을 형성하는 것이 바람직하고, 가공시간의 차이가 크지 않은 경우에는 모형 II에 의하여 셀을 형성하여도 가공시간을 고려하는 모형 III과 큰 차이가 없음을 나타낸다.

그리고 모형 III은 가공시간과 부품 기계간 비처리능력을 동시에 고려하여 부품셀을 형성하므로 모형 II와 부품 기계간 비처리능력만을 비교하여도 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

지금까지 대부분의 셀 형성에 관한 연구에서는 기계간 또는 부품간 유사도를 파악하기 위해 부품-기계 빈도 행렬만을 이용하고 있다. 복수공정을 수행할 수 있는 기계로 구성된 FMS에서는 부품-기계 빈도 행렬만으로는 정확한 기계간 또는 부품간 유사도를 파악할 수 없다.

본 연구에서는 기계-공정 빈도 행렬과 부품-공정 빈도 행렬을 이용하여 보다 정확한 기계간, 부품간 유사도를 구할 수 있었고, 부품 기계간 비처리능력을 파악할 수 있었다. 이들 행렬을 바탕으로 예외적 요소가 발생하지 않는 최대 셀 수를 산출하는 성질(성질1, 성질 2)과 예외적 요소가 발생하지 않는 조건을 제시하였다. 또한 최대 셀 수에 의해 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하는 수식 모형을 제시하였다.

적용예를 통하여 기계셀과 부품셀을 동시에 형성하지 않는 경우와 본 연구에서 제시한 모형에 의해서 동시에 형성할 때를 비교해 본 결과 부품 기계간 비처리능력을 고려하여 기계셀과 동시에 부품셀을 형성하는 것이 부품의 처리시간의 측면에서 바람직한 셀 형성 결과가 산출되었음을 알 수 있었다. 이것은 될 수 있으면 짧은 가공시간을 갖는 가공경로를 선택하는 것을 목적으로 하는 셀내 대체가공경로 선정에 적합한 입력자료를 제공한다.

참 고 문 헌

1. Andrew Kusiak, "The Generalized Group Technology Concept", INT.J.PROD.RES., 1987, VOL. 25, NO. 4, 561-569
2. 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.
3. CHANDRASEKHARAN, N. P., and RAHAGOPALAN, R., "An Algorithm for Concurrent Formation of Part Families and Machine Cells", INT.J.PROD.RES., 1987, VOL. 25, 835
4. DILEEP R. SULE, "Machine Capacity Planning in Grouping Technology", INT.J.PROD.RES., 1991, VOL. 29, NO. 9, 1909-1992.
5. FAYEZ F. BOCTOR, "A Linear Formulation of the Machine-part Cell Formation Problem", INT.J.PROD.RES., 1991, VOL. 29, NO. 2, 343-356
6. G. SRINIVASAN, T. T NARENDRAN & B. MAHADEVAN, "An Assignment Model for the Part-Families Problem in Group Technology", INT.J.PROD.RES., 1990, VOL. 28, NO. 1, 145-152.
7. 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.
8. N. E. DAHEL and S. B. SMITH, "Designing Flexibility into Cellular Manufacturing System," INT.J.PROD.RES., 1993, VOL. 31, NO. 4, 933-945.
9. O. GEOFFREY OKOGBBA, MING-TE CHEN, CHAWENG CHANGCHIT and RICHARD L. SHELL, "Manufacturing System Cell Formation and Evaluation Using a New Intercell Flow Reduction Heuristic", INT.J.PROD.RES., 1992, VOL. 30, NO. 5, 1101-1118.
10. SEIFODDINI, H "A Note on Similarity Coefficient and the Problem of Improper Machine Assignment in Group Technology Applications", INT.J.PROD.RES., 1988, VOL. 27, 1161-1165.
11. TARUN GUPTA, "Design of Manufac-

- turing Cells for Flexible Environment Considering Alternative Routing*", INT.J. PROD.RES., 1993, VOL. 31, NO. 6, 1259-1273.
12. TARUN GUPTA and HAMID SELF-ODDINIM "*Production Data Based Similarity Coefficient for Machine-Component Grouping Decisions in the Design of a Cellular Manufacturing System*", INT.J. PROD.RES., 1990, VOL. 28, NO. 7, 1247-1269.
13. TAJINDER VOHRA, DERSAN CHENM, "*A Network Approach to Cell Formation in Cellular Manufacturing*", INT.J.PROD. RES., 1990, VOL. 28, 2075-2084.
14. VANNELLI, A., and KUMER, R. K. "*A Method of Finding Minimal Bottleneck Cells for Grouping Part-Machine Families*," INT.J.PROD.RES., 1986, VOL. 24, 387-400.
15. 이영광, 윤창원, 정병희, "대체가공 경로를 갖는 FMS에서 예외적 요소가 존재하지 않는 최대수의 셀 형성 방법", 대한산업공학회지, 제20권(1994), 2호, 51-64.