

기계셀의 수와 크기가 있는 기계-부품그룹 형성

김여근* · 오건철*

Machine-Part Group Formation Problem with the Number of Cells and Cell Size

Yea-Geun Kim* and Gun-Chul Oh*

Abstract

When we design, plan, and schedule for group technology, the limitation on the machine cells and cell size may occur.

The purpose of this study is to find machine cells and part families to minimize the exceptional elements, constraining both the number of machine cells and the cell size. To solve this problem, the algorithm extending Kusiak's p-median method is proposed. In the proposed algorithm, the method finding initial solution and reducing the number of constraints is presented for computational efficiency.

The proposed algorithm is evaluated and compared with well-known algorithms for machine-part group formation in terms of the exceptional elements. An example is shown to illustrate the proposed algorithm.

1. 서 론

FMS 공장과 같은 부품제조 공장에서는 각 부품마다 가공순서와 가공기계가 다른 경우, 기계를 셀(Cell)로 부품을 군(Family)으로 그룹화하여 생산원가를 낮추고 생산통제를 원활히 하고자 한다. 이러한 FMS의 설계 및 운용을 위

해서는 GT(Group Technology) 개념에 의한 기계-부품그룹 형성이 필요하게 된다. 기계-부품그룹 형성은 FMS 공장의 설계 및 운용에서 부품들을 가급적 기계셀(Machine Cell) 내에서 완전히 가공하여 부품의 셀간 이동을 최소화하는 기계셀과 부품군(Part Family)으로 형성하는 것을 다루는 문제이다. 이와 관련된 연구가

* 전남대학교 공과대학 산업공학과

많이 이루어져 왔다.

기계-부품그룹 형성에 관한 연구는 크게 유사계수법(Similarity Coefficient), 조합법, 그래프(Graph) 이론을 이용한 방법, 수리계획법 등으로 분류할 수 있다.

유사계수를 이용한 방법은 두 기계를 거쳐서 가공되는 부품의 수를 이용하여 두 기계 사이의 유사성을 나타내는 척도로 유사계수를 사용하는 방법으로 McAuley[5]에 의한 Single Linkage Clustering 방법과 De Witte[4]의 연구, 그리고 증법적 유사계수(Similarity Coefficient of Product)를 이용한 Waghodekar와 Sahu[17] 등의 연구가 있다. 조합법의 대표적 연구로는 King[7]에 의해 개발된 ROC(Rank Order Clustering) 방법을 들 수 있는데, 이 알고리즘은 유사계수의 개념을 이용하지 않고 기계-부품으로 이루어진 초기입력 행렬(Incidence Matrix)에서 각 행과 열에 2진 가중치(Binary Weight)를 주어 기계-부품을 그룹화 하였고, King과 Nakornchai[8]는 근본적으로는 ROC 알고리즘과는 동일하나 컴퓨터 계산이 용이한 ROC2 알고리즘을 개발하였다.

그래프 이론을 이용한 연구로 Rajagopalan과 Batra[13]는 각 정점(Vertex)과 선분(Edge)으로 형성된 그래프에서 기계(Vertex)를 최대로 모을 수 있는 집합인 Clique를 찾아서 이 Clique를 합치는 방법으로 기계-부품그룹을 형성하였다. Vannelli와 Kumar[16]는 기계와 부품으로 구별되는 2분할성 그래프(Bipartite Graph)를 이용하여 셀의 수를 변화시키면서 예외적 원소(Exceptional Element)를 최소화 하는 기계-부품그룹을 형성하였다. 수리계획법으로 Kumar et al[9]은 기계-부품 관계를 2차계획법(Quadratic Programming)으로 모형화하여 이 2차계획법을 수송문제로 변환시켜 기계-부품그룹을 형성하였으며, Kusiak[10]는 부품간의 부품 유사계수 행렬을 이용하여 고정된

부품군을 갖는 정수계획 모형을 개발하였고, 정성진등[1]은 헝가리법(Hungarian Method)을 이용하여 기계를 그룹화 하였다.

기존의 기계-부품그룹 형성문제의 연구에서는 대부분 기계셀의 수와 각 셀의 크기에는 무관하게, 단지 기계셀과 부품군에서 벗어난 병목기계와 병목부품이라는 예외적 원소를 최소로 하는 문제를 다루었다. 그러나 FMS 공장의 설계, 계획, 스케줄링에서는 기계셀의 수와 크기에 제약 받는 경우가 흔히 발생한다.

이 연구의 목적은 기계셀의 수와 크기를 동시에 고려하여 기계셀의 수가 고정되거나 또는 상한이 주어지고, 각 기계셀에 할당되는 기계수에 상한이 있는 경우 예외적 원소의 수를 최소화 하는 기계셀과 부품군을 형성하는데 있으며, 더 나아가 각 부품의 생산량과 단위 생산비용을 고려한 경우의 기계셀과 부품군을 형성하는데 있다.

이 연구에서는 고정된 부품군의 수를 갖는 Kusiak[10]의 p-median 모형을 기계셀의 수와 셀의 크기를 동시에 고려한 정수계획 모형으로 확장하면서도, 실제 활용에 있어서 제약식의 수를 줄일수 있는 모형을 제시하고자 한다. 더 나아가 컴퓨터의 계산시간을 줄이기 위하여 좋은 초기해를 찾는 방법도 제시하고자 한다.

2. Kusiak의 p-median 법

Kusiak[10]의 모형과 개발한 모형의 비교 분석을 위해서 먼저 Kusiak의 p-median 모형을 살펴보기로 하자. Kusiak[10]는 부품 유사계수 행렬과 고정된 부품군을 갖는 경우, 부품 유사계수를 최대로 하는 기계-부품그룹을 형성하였다.

m대의 기계로 n 종류의 부품을 생산하고, 부품군의 수를 p라고 하자. 이때 기계-부품 행렬의 원소 a_{ij} , $i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$ 는 부

품 i 가 기계 j 를 거치면 1, 그렇지 않으면 0을 갖는다. 이 모형에서는 부품의 유사계수를 사용하고 있는데 부품 i 와 부품 j 의 유사계수 S_{ij} 는

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^m \delta(a_{ik}, a_{jk})$$

$$\delta(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1, & a_{ik} = a_{jk} \text{ 일 때} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

으로 정의하고 있다. 그리고 변수 x_{ij} 는 아래와 같이 정의하고 있다.

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i \text{가 부품군 } j \text{에 속하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

이와 같이 부품 유사계수와 변수를 정의하여 아래와 같이 p -median 모형을 제시하고 있다.

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij} x_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, n \quad \dots\dots (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = p \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i=1, \dots, n \text{ 과 } j=1, \dots, n \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, n \text{ 과 } j=1, \dots, n \quad \dots\dots\dots (5)$$

식 (1)은 부품 유사계수의 합을 최대화 하는 목적함수이고, 식 (2)는 모든 부품은 반드시 하나의 부품군에 배정되어야 함을 나타내며, 식 (3)은 요구되는 부품군의 수를 나타내고 있다. 식 (4)는 부품군 j 가 형성되어야만 부품 i 가 부품군 j 에 포함될 수 있음을 나타내고 있으며, 식 (5)는 이 모형이 정수계획 모형을 나타내고 있다.

3. 모형의 개발

이 연구에서는 Kusiak[10]이 제시한 부품에 대한 유사계수 대신에 많이 사용되고 있는 기계에 대한 가법적 유사계수를 이용하여, 셀의 수에 상한이 주어진 경우와 고정된 경우, 그리고 셀의 크기에 상한이 주어진 경우에 있어서 유사계수를 최대화 하는 기계-부품그룹 형성에 대한 모형을 제시하고자 한다. 컴퓨터의 계산시간을 줄이기 위하여 초기해를 구하는 방법을 제시하고, 또한 이 모형이 Kusiak의 모형에 비하여 제약식의 수를 줄일 수 있음을 보이고자 한다. 더 나아가 초기 입력행렬에서 각 부품의 가중치가 같은 경우와 가중치가 다른 경우에 대해서도 다루고자 한다.

3-1. 모형 1: 각 부품의 가중치가 같은 경우

p -median 모형에서와 같이 m 대의 기계로 n 종류의 부품을 가공하며 기계셀의 상한을 p 라 하자. 그리고 하나의 기계셀에 포함되는 기계대수의 상한을 u 라 하자. 기계 i 와 기계 j 사이의 유사계수, S_{ij} 를

$$S_{ij} = \frac{NCC_{ij}}{TNC_i + TNC_j - NCC_{ij}}$$

단 $\begin{cases} NCC_{ij} : \text{기계 } i \text{와 } j \text{에서 가공되는 부품의 수} \\ TNC_i : \text{기계 } i \text{에서 가공되는 부품의 수} \end{cases}$

과 같이 정의하자. 또한 x_{ij} 는

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 기계셀 } j \text{에 속하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

로 정의한다.

각 부품의 가중치가 같고 기계셀의 수와 크기에 상한이 있는 모형을 아래와 같이 제시한다.

$$\text{Max } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m S_{ij} x_{ij} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, m \dots\dots (7)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq p \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq ux_{jj} \quad j=1, \dots, m \quad \dots\dots (9)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad i=1, \dots, m \text{ 과 } j=1, \dots, m \dots\dots\dots (10)$$

식(6)은 유사계수의 합을 최대로 하는 목적함수이고, 식(7)은 모든 기계는 반드시 하나의 기계셀에 배정되어야 함을 나타낸다. 식(8)은 요구되는 기계셀의 수에 상한이 주어짐을 나타내고 있으며, 식(9)는 기계셀 j가 형성되어야만 기계 i가 기계셀 j에 포함될 수 있음과, 각 기계셀에 포함될 기계의 상한이 u임을 동시에 나타내고 있다. 그리고 식(10)은 이 모형이 정수계획 모형임을 나타내고 있다.

위에서 설명되었듯이 식(9)는 기계셀의 상한과 기계셀 j가 형성되어야만 기계 i가 기계셀 j에 포함됨을 동시에 나타내는 제약식이다. 이의 설명을 위하여 식(9)와 식(11)을 살펴보자.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq ux_{jj} \quad j=1, \dots, m \quad \dots\dots (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq u \quad j=1, \dots, m \quad \dots\dots (11)$$

식(11)이 나타내고 있는 의미는 각 기계셀 j에 포함되는 기계의 수가 u의 상한이 있음을 나타내고 있다. 그런데 식(9)와 식(11)의 좌변은 $\sum_{i=1}^m x_{ij} (j=1, \dots, m)$ 으로 같고, 우변은 항상 $ux_{jj} \leq u$ 가 성립하기 때문에 식(11)을 사용하지

않고, 식(9)를 사용함으로써 위의 두가지 의미를 모두 표현할 수 있다.

Kusiak[10]의 모형과 개발한 모형을 비교하여 보면 Kusiak의 모형에서 제시된 부품에 대한 유사계수는 $a_{ik} = a_{jk}$ 일때 가중치를 부여함으로써, 각 부품간에 유사성이 없는 경우에도 높은 유사계수 값을 갖을 수가 있고, 부품군의 수만을 고정시킴으로써 각 부품군 사이에 일정하게 부품이 할당되지 않는 경우도 발생할 수 있다.

Kusiak[10]의 모형에서 식(4)는 부품군 j가 형성되었을때 각 부품 i가 부품군 j에 속함을 개별적으로 비교하는 반면에 식(9)는 기계셀 j가 형성되었을때 모든 기계 i를 동시에 비교함으로써 제약식의 수를 줄일 수 있다. 즉, 이 연구에서 제시된 모형은 Kusiak[10]의 모형에 셀의 크기를 첨가시켰지만 Kusiak 모형의 식(4)를 사용하는 것보다 식(9)를 사용함으로써, $n^2 + n - 2m$ 개 만큼의 제약식의 수를 줄일 수 있다. FMS 공장에서는 흔히 기계의 수가 생산부품의 수보다 훨씬 더 적으므로 실제 적용에서는 식(9)를 사용함으로써 많은 제약식의 수를 줄일 수 있다.

위의 모형에서 식(8)은 기계-부품그룹 형성시 필요한 기계셀의 수에 상한을 주고 있으나 설비 배치시 설비면적과 같은 요인 때문에 셀의 수를 고정시켜야 하는 경우 식(8) 대신에

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = p \quad \dots\dots\dots (12)$$

를 사용하여 이 모형을 이용할 수 있다.

이 연구에서 제안된 기법을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

[초기해를 구하는 과정 : 단계 1~단계 5]

단계 1 : 초기 입력행렬로부터 얻은 정보로 가법적 유사계수에 의해 유사계수 S_{ij} 를 구하고 유사계수 행렬을 형성한다. $w = u$ 로 둔다.

단계 2 : 남아있는 행의 수가 u보다 적으면 w를 남아있는 행의 수로 둔다.

단계 3: 남아있는 유사계수 행렬의 행번호와 같은 열에 대해(식(9)의 조건으로부터) 최대값을 구하여 그중 열의 합이 최대인 열 S_k 를 선택한다. 이때 열의 합이 같을 경우 임의로 열을 선택한다(유사계수 행렬은 대칭이므로, 최대값을 갖는 열은 항상 2개 이상 발생한다).

단계 4: 먼저 $x_{kk}=1$ 로 두고, k 열에 있어서 (1) 영이 아닌 유사계수의 수가 (w-1)개 보다 많으면 유사계수가 큰것부터 $x_{ij}=1, i \neq j$ 로 두고

(2) 영이 아닌 유사계수의 수가 (w-1)개 보다 적으면 영이 아닌 유사계수에 대응하는 $x_{ij}=1, i \neq j$ 로 두고, 영의 값을 갖는 유사계수 중에서 (w-1)개의 $x_{ij}=1$ 이 되도록 임의로 선택한다.

이렇게 하여 k 열에 대응하는 변수중에서 w 개가 1의 값을 갖도록 한다.

단계 5: 선택된 원소에 대해 행을 지운다.

유사계수 행렬의 모든 행이 지워지면 단계 6으로 간다.

그렇지 않으면 단계 2로 간다.

[해를 구함]

단계 6: 구한 초기해로부터 정수계획의 해법을 이용하여 최적해를 구한다.

[기계셀과 부품군의 형성]

단계 7: 단계 6에서 구해진 $x_{ij}=1$ 의 해에 대해 기계셀 j에 기계 i를 할당하여 기계셀 j를 구성한다.

단계 8: 각 기계셀에 부품을 할당한다.

초기해를 구하는 과정중 단계 3에서 유사계수 행렬에서 최대값을 구하고, 그중 열의 합이 최대인 S_k 를 선택하는데 이는 목적함수가 유사계수의 합을 최대로 하려함으로 선택된 열에 대해 w를 고려하여 값이 큰 유사계수를 초기해로 미리 배정함으로써 최적해에 빨리 접근할 수 있다.

3-2. 모형 2 : 각 부품의 가중치가 다른 경우

이 절에서는 각 부품에 대한 생산량이나 비용을 고려한 경우에 대해서 살펴보기로 한다. 부품에 대한 가중치가 같을 때는 각 부품의 가공기제만을 고려하여 특정 부품이 특정한 기계에서 가공되면 가중치를 "1"로써 같이 주었으나 생산량이나 부품 생산비용을 고려하여 보기로 한다.

예를 들어 부품 1, 2, 3과 4의 생산량 또는 비용의 가중치가 1:2:1:3이라 하자. 이 경우 초기 입력행렬은 각 행(부품)에 가중치를 곱하여 변형하면 된다. 이렇게 변형된 초기 입력행렬을 이용하여 제안된 모형으로 기계-부품그룹을 형성할 수 있을 것이다.

4. 예 제

초기 입력행렬은 아래 그림 1과 같고, 기계셀의 상한이 2이고, 셀의 크기의 상한이 3이고 가중치가 같은 예를 보자.

[초기해를 구함]

단계 1: 유사계수 행렬을 만들고 편의상 모든 원소에 100을 곱하였다. 그리고 $w=3$ 으로 둔다.

단계 2: 남아있는 행의 수가 4이므로 $w=3$ 으로 둔다.

		부 품			
		1	2	3	4
기 계	1	1			1
	2		1		
	3			1	
	4				1

그림 1 초기 입력행렬

$$S_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 100 & 25 \\ 0 & 0 & 0 & 33 \\ 100 & 0 & 0 & 25 \\ 25 & 33 & 25 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

그림 2. 유사계수 행렬

단계 3: 제1열의 최대치는 100, 제2열의 최대치는 33, 제3열의 최대치는 100, 제4열의 최대치는 33인데 이중 최대의 값을 갖는 열은 제1열과 제3열이다. 따라서 제1열과 제3열 중에서 열의 합이 최대인 열을 선택하는데, 제1열과 제3열의 합이 125로써 같으므로 임의로 3번열을 선택한다.

단계 4: 먼저 $x_{33}=1$ 로 두고 3번열에 대해서 영이 아닌 유사계수가 $(w-1)=2$ 개와 같으므로 유사계수가 큰것부터 $x_{13}=1, x_{43}=1$ 로 둔다.

단계 5: 선택된 원소에 대해 행을 지운다. 즉 1행, 3행과 4행을 지운다.

$$S_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -0 & -0 & -100 & -25 \\ 0 & 0 & 0 & 33 \\ -100 & -0 & -0 & -25 \\ 25 & -33 & -25 & -0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

그림 3. 선택된 행을 지움

모든 행이 지워지지 않았으므로 단계 2로 간다.

단계 2: 남아있는 행의 수가 1이므로 $w=1$ 로 둔다.

단계 3: 남아있는 유사계수 행렬의 행번호와 같은 열이 제2열 밖에 없으므로, 제2열을 선택한다.

단계 4: 먼저 $x_{22}=1$ 로 두면 더이상 선택할 행이 없으므로 단계 5로 간다.

단계 5: 선택된 원소에 대해 행을 지운다. 즉 2행을 지운다.

$$S_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & -0 & -100 & -25 \\ -0 & -0 & 0 & -33 \\ -100 & 0 & 0 & -25 \\ 25 & -33 & -25 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

그림 4. 선택된 행을 지움

모든행이 지워졌으므로 단계 6으로 간다.

[해를 구함]

단계 6: 앞에서 선택된 원소 $x_{33}=x_{13}=x_{43}=x_{22}=1$ 을 초기해로 하여 정수계획법으로 최적해를 얻는다.

이때 최적해는 $x_{33}=x_{13}=x_{44}=x_{24}=1$ 을 얻는다.

[기계셀과 부품군 형성]

단계 7: 단계 5에서 얻어진 최적해에 의해 기계 1과 3을 하나의 기계셀로 기계 2와 4를 또 다른 기계셀로 구성한다.

단계 8: 최종적인 각 기계셀과 부품군을 보면 그림 5와 같이 기계셀이 {1, 3}과 {2, 4} 부품군이 {1, 4}와 {3, 2}로 기계-부품그룹이 형성된다.

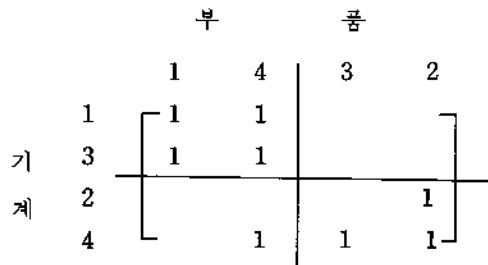


그림 5. 기계-부품그룹 형성의 해

그런데 기계 4와 부품 4에서 예외적인 원소가 발견되는데 이러한 병목기재나 병목부품의 처리 방안으로 기계셀 {1, 3}에 기계 4를 1대 더 증설하여 병목기계를 제거하는 방안과 부품군 {1, 4}에서 부품 4를 다른 제조업체에 하청을 주는 방안이 제시될 수 있다.

5. 모형의 평가

이 절에서는 지금까지 개발된 여러 기법들과 이 연구에서 제안된 모형과 비교분석 함으로써 제안된 모형을 평가해 보고자 한다. 비교평가는 기존 기법에서 제시한 예제를 사용하였다.

그림 6은 Chandrasekharan과 Rajagopalan[2]이 제시한 초기 입력행렬로 기계가 8대, 부품의 수가 20개이다. 표 1은 Chandrasekharan과 Rajagopalan[2]의 초기 입력행렬에서 셀의 크기는 기계수로 상한을 주고 셀의 수를 고정시켰을때 셀의 수에 따른 예외원소의 수를 나타내고 있다. 그리고 표 2는 셀의 수를 전체 기계수로 상한을 주고, 셀 크기의 상한의 변화에

표 1. [그림 6]의 초기 입력행렬에서 셀의 수에 따른 예외적 원소의 수 : $u=8, m=8, n=20$

고정된 셀의 수	예외원소의 수
2	5
3	9
4	14
5	20
6	27
7	32

따른 예외 원소의 수를 나타내고 있다. 표 2에서는 셀 크기의 상한이 4개 이상일때 예외 원소의 수가 일정하였는데, 이는 셀의 크기가 4개 이상으로 들때 최적의 기계-부품그룹이 형성됨을 나타낸다.

표 3은 셀의 수나 크기가 고려되지 않은 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘에서 셀의 수와 크기의 상한을 전체 기계수만큼 주었을때, 예외 원소의 수를 비교하였으며, 표 4는 셀의 크기에 상한이 주어지고 셀의 수를 변화시키면서 예외 원소를 최소로 하는 Vannelli와 Kumar[16]의

		부 품																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
기 계	1		1	1					1	1		1		1	1		1	1		1		
	2			1	1		1	1							1				1		1	
	3			1						1	1		1		1	1		1	1		1	
	4				1	1		1	1			1								1		1
	5		1				1	1				1		1			1		1			
	6		1					1			1	1		1			1					1
	7				1	1		1	1				1	1						1		1
	8				1	1		1	1											1		1

그림 6. Chandrasekharan과 Rajagopalan의 초기 입력행렬

표 2. [그림 6]의 초기 입력행렬에서 셀의 크기에 따른 예외적 원소의 수 : $p=8, m=8, n=20$

셀 크기의 상한	해	
	셀의 수	예외원소의 수
2	4	21
3	3	14
4	3	9
5	3	9
6	3	9
7	3	9

표 3. 셀의 수와 크기가 고려되지 않은 알고리즘과의 비교

인용예	기계수	부품수	적용된 방법	셀의수	예외원소
King and Nakornchai [8]	5	7	King and Nakornchai[8] 제안된 알고리즘	2	0
Waghodekar and Sahu [17]*	5	7	Waghodekar and Sahu[17] King [7] 제안된 알고리즘	2	2
Waghodekar and Sahu [17]**	5	7	Waghodekar and Sahu[17] King [7] 제안된 알고리즘	2	3
Ham.I.Y. [5]	10	8	King[7] 제안된 알고리즘	2	5
				3	2
Chandrasekharan and Rajagopalan [3]	8	20	Chandrasekharan and Rajagopalan[3] King[7] 제안된 알고리즘 제안된 알고리즘	3	9
				3	13
				3	9
				2	5
Robinson과 Duckstein [18]	5	7	Robinson and Duckstein[18] 제안된 알고리즘	2	0
				2	0

* 참고문헌 [17]의 [그림 3-a]의 초기 입력행렬의 경우

** 참고문헌 [17]의 [그림 5-a]의 초기 입력행렬의 경우

알고리즘과 고정된 셀의 수를 갖는 Kumar et al[9]과 Kusiak[10] 모형과 셀의 수와 크기의 상한을 전체 기계수만큼 주었을 때의 제안된 알고리즘과의 예외원소의 수를 비교하였다. Kumar et al[9]의 모형에서는 셀의 수를 3개로 고정시켰을때 예외원소가 1개였고, 제안된 모형에서도 셀의 수와 크기를 기계수만큼 주었을때 예외원소가 1개였다. 그런데 셀의 수를 2로 고정시키고 셀의 크기를 전체 기계수만큼 주었을 때 예외원소가 하나도 발견되지 않았다.

표 5는 초기해를 이용하였을 때와 이용하지 않았을 때의 Computer 계산시간을 나타내고 있다. 표 5에서 보듯이 기계수와 부품수가 5대와 7대로 같은 경우일지라도 컴퓨터 계산시간에서 차이가 나고 있는데, 이는 Waghodekar와 Sahu[17]에서처럼 예외원소가 있는 경우에는 컴퓨터의 계산시간이 길어지고, 상대적으로 예외원소가 없는 경우에는 컴퓨터의 계산시간이 짧아짐을 알수 있다. 여기서 사용한 정수계획법의 해법은 전개형(Enumeration) 방법을 사용하였고, 사용한 컴퓨터는 Qnix AT이다. 기계수가 8대 이상인 경우에는 LINDO 패키지를 이용하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 제안된 알고리즘은 기계셀의 수와 크기가 고려되지 않은 경우는

표 4. 셀의 수 또는 셀 크기가 고려된 알고리즘과의 비교

인용예	기계수	부품수	적용된 방법	셀의수	예외원소
Vannelli and Kumar [16]	4	5	Vannelli and Kumar[16] 제안된 알고리즘	2	1
				2	1
Kumar et al[9]	9	15	Kumar et al[9] 제안된 알고리즘 제안된 알고리즘	3	1
				3	1
				2	0
Kusiak [10]	4	5	Kusiak[10] 제안된 알고리즘	2	0
				2	0

표 5. 초기해를 이용한 경우와 이용하지 않은 경우의 컴퓨터 계산시간 비교

적용예	기계수	부품수	초기해를 이용하지 않은 경우	초기해를 이용한 경우
King and Nakornchai [8]	5	7	128.14 초	79.09 초
Waghodekar and Sahu [17]*	5	7	423.10 초	242.17 초
Waghodekar and Sahu [17]**	5	7	1083.24 초	290.46 초
Vannelli and Kumar [16]	4	5	11.87 초	9.06 초
Robinson and Duckstein[18]	5	7	128.19 초	120.51 초
Kusiak [10]	4	5	5.82 초	4.73 초

* 참고문헌[17]의 [그림 3-a]의 초기 입력행렬의 경우

** 참고문헌[17]의 [그림 5-a]의 초기 입력행렬의 경우

물론 고려된 경우에서도 항상 최소의 예외원소를 나타내고 있으며, 초기해를 구한 후에 제안된 알고리즘을 적용하면 컴퓨터의 계산시간을 줄일 수가 있었다.

6. 결 론

이 연구에서는 m대의 기계에서 서로 다른 n개의 부품을 생산할때 기계를 셀로 부품을 군으로 분류하는데 있어 기계셀의 수와 크기를 고려하여 최소의 예외원소를 갖는 기계-부품그룹 형성문제에 대한 모형을 제시하였다.

이 연구에서는 Kusiak[10]의 모형을 확장하여 기계셀의 수와 크기를 동시에 고려한 모형

을 개발하였으며, 더 나아가 컴퓨터의 계산시간을 줄이기 위하여 초기해를 구하는 방법과 제약식의 수를 줄이는 방법도 제시하였다. 또한 이 연구에서는 초기입력 행렬에 같은 가중치를 준 경우는 물론이고, 가중치가 다른 경우의 모형도 다루었다.

이 연구에서 제안된 모형은 초기 입력행렬의 위치가 바뀌더라도 항상 일정한 결과를 나타내었고, 기존의 알고리즘과 비교하더라도 항상 최소의 예외적 원소를 얻을수 있었으며, 초기해를 이용하면 컴퓨터의 계산시간도 줄일수 있었다.

이 연구결과는 FMS나 GT 공장 등의 설계 및 운용에 적용하여 예외원소를 최소로 함으로써 부품의 셀간 이동을 최소로 하고, 공정흐름을 단순화시켜 공정중 재고 감소가 기대된다. 또한 각 셀에서 가공될 부품을 그룹화 하여 원활한 생산 스케줄링을 세울수 있는 정보를 제공할 뿐만 아니라 적절한 설비 배치에 관한 정보를 제공하는데 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 정성진·박진우·김재윤, "FMS의 설계 및 운용을 위한 기계부품 그룹형성에 관한 연구", 경영과학, 제 4권, pp.76-83, 1987.12
2. Chandrasekharan, M.P. and Rajagopalan, R., "An Ideal Seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing", IJPR., 24, 2, pp.451-464, 1986
3. Chandrasekharan, M.P. and Rajagopalan, R., "MODROC: An Extension of Rank Order Clustering for Group Technology", IJPR., 24, 5, pp.1221-1233, 1986
4. De Witte, J., "The Use of Similarity Coefficient in Production Flow Anal-

- ysis", *IJPR.*, 18, 4, pp.503-514, 1980
5. Ham, I. and Yoshida, K., "Group Technology Applications to Production Management" Kluwer-Nijhoff Publishing, pp.159-164, 1985
 6. Greene, T.J. and Sadowski, R.P., "Cellular Manufacturing Control", *J. Mfg. Sys.*, 2, 2, pp.137-145, 1983
 7. King, J.R., "Machine-Component Group Formation in Group Technology", *OMEGA*, 8, 2, pp.193-199, 1980
 8. King, J.R. and Nakornchai, V., "Machine-Component Group Formation in Group Technology: Review and Extension", *IJPR.*, 20, 2, pp.117-133, 1982
 9. Kumar, R.K., Kusiak, A. and Vannelli, A., "Grouping of Parts and Components in Flexible Manufacturing Systems", *Europ. J. Oper. Res.*, 24, pp.387-397, 1984
 10. Kusiak, A. "The Generalized Group Technology Concept", *IJPR.*, 24, 4, pp. 561-569, 1987
 11. Kusiak, A., Vannelli, A. and Kumar K. R. "Clustering Analysis: Models and Algorithms", *Control and Cybernetic*, 15, 2, pp.139-154, 1986
 12. Kusiak, A. and Chow, W.S., "Efficient Solving of the Group Technology Problem", *J. Mfg. Sys.*, 6, 2, pp.117-124, 1987
 13. Rajagopalan, R. and Batra, L., "Design of Cellular Production Systems a Graphical Theoretic Approach", *IJPR.*, 13, 6, pp.567-579, 1975
 14. Purcheck, G.F.K. "Machine-Component Group Formation: An Heuristic Method for Flexible Production Cells and FMS" *IJPR*, 23, 5, pp.911-943, 1985
 15. Wemmerlöv, U. and Hyer, N., "Research Issues in Cellular Manufacturing" *IJPR.*, 25, 3, pp.413-431, 1987
 16. Vannelli, A. and Kumar, K.R., "A Method for Finding Bottle-Neck Cells for Grouping Part-Machine Families", *IJPR.*, 24, 2, pp.387-400, 1986
 17. Waghodekar, P.H. and Sahu, S., "Machine-Component Cell Formation in Group Technology: MACE", *IJPR.*, 22, 6, pp.937-948, 1984
 18. D.Robinson and L.Duckstein, "Polyhedral Dynamics as a Tool for Machine-Part Group Formation", *IJPR*, 24, 5, pp. 1255-1266, 1986