

대체공정이 있는 기계-부품 그룹 형성

이종섭^{1*} · 강맹규²

¹우송대학교 IT(경영정보)학과 / ²한양대학교 정보경영공학과

Machine-Part Grouping with Alternative Process Plans

Jong-Sub Lee¹ · Maing-Kyu Kang²

¹Department of Technical Management Information Systems, Woosong University, Daejeon, 300-718

²Department of Information & Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 425-791

This paper proposes the heuristic algorithm for the generalized GT problems to consider the restrictions which are given the number of machine cell and maximum number of machines in machine cell as well as minimum number of machines in machine cell. This approach is split into two phase. In the first phase, we use the similarity coefficient which proposes and calculates the similarity values about each pair of all machines and sort these values descending order. If we have a machine pair which has the largest similarity coefficient and adheres strictly to the constraint about birds of a different feather (BODF) in a machine cell, then we assign the machine to the machine cell. In the second phase, we assign parts into machine cell with the smallest number of exceptional elements. The results give a machine-part grouping. The proposed algorithm is compared to the Modified *p*-median model for machine-part grouping.

Keywords: group technology, cell formation, alternative process plan, similarity coefficient

1. 서론

데스크 탑 컴퓨터와 노트북 컴퓨터 등 전자제품에 대한 소비자의 요구와 유행에 대응하기 어려운 소품종 대량생산방식과 공정의 표준화, 납기의 다양성 등으로 인하여 발생하는 다품종 소량생산방식의 문제점을 해결하기 위해서 그룹테크놀로지(Group Technology; GT)라는 철학 또는 개념이 도입되어야 한다. 이것은 가공하는 제품의 형태, 치수, 공정, 설비 등의 유사정보를 비교하여 몇 개의 그룹에서 제품을 생산함으로써 규모에 따른 경제적인 효과를 누리려는 개념이다.

셀 생산방식(cellular manufacturing)은 그룹테크놀로지를 생산시스템에 적용한 예이다. 이러한 셀 생산방식은 크게 3단계로 구성된다. 첫 번째로 공정의 유사성을 바탕으로 기계(machine, m)들을 몇 개의 그룹으로 형성한다. 이것을 바탕으로 부품들을 기계그룹에 할당하여 몇 개의 기계-부품 그룹을 형성하는 기계-부품 그룹(셀) 형성문제이다. 두 번째로 이렇게 형성된 셀 내에서의 기계들의 배치를 다루는 기계 배치문제이

다. 세 번째로는 셀 간의 이동을 고려하여 셀의 위치를 결정하는 셀 배치문제이다.

Kusiak(1987)은 <Figure 1(a)>와 같이 각 부품(part, p)에 포함된 대체공정들 중 하나의 공정(routings, r)만 선택하여 부품을 생산하는 기계-부품 그룹 형성 문제를 Generalized GT 문제라고 정의하였다. 부품의 대체공정 정보는 0과 1의 값으로 표현이 되며 이는 기계-부품 행렬을 형성한다. 이 정보를 사용하여 기계그룹(machine cell)과 부품그룹(part family)을 형성하고 각 부품그룹을 대응하는 기계그룹에 배치함으로써 <Figure 1(b)>와 같이 기계-부품 그룹을 형성하게 된다. 이와 같은 유사한 작업들은 몇 개의 그룹에서 공구 및 기계를 공유함으로써 준비시간, 운반거리, 비용 등을 절감할 수 있다.

셀 생산시스템을 구축할 때 주로 고려되어야 하는 제약은 공장 크기, 형태와 같은 설비문제가 대부분을 차지한다.

본 연구에서는 기계-부품 그룹의 개수, 기계그룹의 최대 기계수, 기계그룹의 최소 기계수에 대한 제약을 고려하여 기계 그룹 간의 이동을 최소화하는 알고리즘을 제안하였다.

* 연락처 : 이종섭 교수, 300-718 대전시 동구 자양동 17-2 우송대학교 IT(경영정보)학과, Fax : 042-630-9859, E-mail : ljs@woosong.ac.kr
2004년 8월 접수; 2004년 10월 수정본 접수; 2004년 10월 게재 확정.

m \ p	p									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1	1						1
2		1	1				1	1		1
3			1	1	1		1			
4				1	1			1	1	
5	1	1			1	1		1		1
6						1	1		1	1
7				1	1	1		1		1
8	1	1					1	1	1	
9					1				1	1
10		1		1		1	1	1		
11							1		1	1

(a) Machine-part incidence matrix with alternative process plans(machine m, part p, route r)

m \ p	p									
	1	6	7	2	3	5	4	9	8	10
10	1		1			1				
2	1	1	1							
8	1	1	1							
3				1	1					
1				1	1	1				
5				1	1	1				1
7		1					1			
4							1	1		
6							1	1		
9									1	1
11									1	1

(b) Result of machine-part grouping

Figure 1. Machine-part grouping with alternative process plans.

Kusiak(1987)은 기계-부품 그룹 형성 문제를 NP-Complete 문제로 정의하였다 이것은 그룹을 형성해야 할 각각의 기계와 부품의 개수가 많은 경우에는 계산량이 지수적으로 증가하여 많은 시간이 소요된다는 것을 의미한다. 따라서 최적화 해법보다 발견적 해법(heuristic algorithm)을 많이 사용한다.

본 연구는 부품을 생산하는 데 대체공정이 있는 기계-부품 그룹 형성 문제를 사용하였다 기계-부품 그룹의 개수, 기계그룹 내의 기계 개수 제약을 고려하여 기계그룹을 형성하는 발견적 해법을 제시하였다 동시에 예외요소의 개수가 최소화하도록 부품들을 기계그룹에 할당하여 기계-부품 그룹을 형성하였다.

2. 기존 연구

기계-부품 그룹 형성 문제를 해결하기 위해서 수많은 방법이 제시되었다. 그 중에서 King(1980)의 배열을 이용한 그룹 형성

방법, McAuley(1972)의 유사계수법, Kusiak(1987)의 수리계획법, 유전해법 및 신경망을 이용한 방법 등이 있다 이와 같은 방법들은 하나의 부품을 가공하는 데 사용되는 기계의 순서를 나타내는 공정이 하나만 존재한다고 가정하였다 그러나 기술의 발달과 함께 다기능 기계들의 도입으로 인하여 하나의 부품을 가공하는 데 대체공정이 존재하는 것은 일반적인 것으로 받아들여지고 있다.

Kusiak(1987)은 최초로 대체공정하에서 기계-부품 그룹 문제를 제안하였다 그 이후 Shtub(1989), Rajamani *et al.*(1990), Nagi *et al.*(1990), Sankaran and Kasilingam(1990), Moon and Chi(1992), Won and Kim(1997) 등이 이 문제를 해결하기 위한 수리적인 모델을 제시하였다.

Seifoddini(1986)는 기계그룹을 형성하는 방법 중에서 유사계수를 이용하는 방법이 더욱 유연하게 해를 구할 수 있다고 하였다. 유사계수법은 셀 생산방식을 구현하기 위하여 먼저 기계그룹을 형성하는 데 적용된 하나의 그룹 형성 방법이다 유사계수를 이용하는 알고리즘들은 유사한 개체를 함께 모아서 하나의 그룹을 형성할 때 비교의 척도로서 유사계수를 사용한다.

유사계수를 이용하여 대체공정이 있는 기계-부품 그룹 형성 문제를 해결한 해법은 지금까지 두 가지 방법이 있다. 하나는 Kusiak and Cho(1992)가 제안한 방법으로서 부품 간의 유사계수를 사용하는 방법이다. 나머지 하나는 Won and Kim(1997)이 제안한 방법으로서 기계 간의 유사계수를 이용하는 방법이다 일반적으로 셀 생산방식에 적용된 기계 수와 부품 수를 비교한 결과 부품 개수가 기계 개수보다 훨씬 많으므로 Kusiak and Cho(1992)의 유사계수법보다 Won and Kim(1997)의 유사계수법이 좀더 효율적이다.

본 연구에서는 기계 간의 일반화된 유사계수를 사용한다

3. 제안하는 알고리즘

Generalized GT 문제에서 기계-부품 그룹 형성 문제의 해결과정은 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 첫째로 기계그룹을 형성하는 과정과 둘째로 전체 부품을 기계그룹으로 할당하여 기계-부품 그룹을 형성하는 과정이다. 단일공정이 존재하는 Simple GT의 경우 보통 동일한 기계를 사용하는 부품의 유사계수를 계산하여 부품그룹을 형성한 후 기계를 각 부품그룹으로 할당하는 방법을 주로 사용하였다. 그러나 대체공정이 존재하는 문제는 기계 간의 유사계수를 사용하여 기계그룹을 형성하는 방법을 주로 사용한다. 부품을 가공하는 공정들 간 유사계수보다 기계 간 유사계수가 훨씬 적으므로 계산량에 있어서 효율적이기 때문이다.

본 연구에서는 Generalized GT 문제에 적용할 수 있도록 기계 간 유사계수를 일반화시켜 사용한다. 유사계수가 큰 기계 그룹들을 형성하기 위하여 일반화된 유사계수의 결과를 내림

차순으로 정렬한다. 다음 단계로 기계 그룹 형성에 사용하지 않은 유사계수 중 가장 큰 값을 가지는 기계쌍을 선택한다. 각 기계그룹으로 할당된 기계들은 <Figure 2>와 같이 선형구조로 나열된다. 형성된 기계그룹들 중 그룹의 가장자리에 있는 기계가 현재 선택된 기계쌍 중 하나일 경우 나머지 기계는 해당 그룹에 포함이 가능한 기계이다. 가장자리의 기계와 연결이 가능하면 기계그룹의 최대 기계 수와 최소 기계 수의 제약을 고려한다. 제약 조건을 만족하면 해당 기계그룹에 기계를 할당한다. 이상의 과정을 반복하여 더 이상 할당할 기계가 없으면 기계그룹 형성 과정을 종료한다. 여기서 가장자리란 각 기계그룹에서 가장 최근에 할당된 두 기계로서 선형구조에서 가장 바깥쪽에 있는 두 기계를 지칭하는 것이다. 예를 들면 <Figure 2>에서 기계 3과 4가 가장자리이고 기계 1과 2가 중간이다.

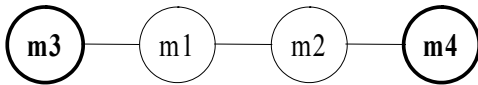


Figure 2. Edge and Node in a Machine Cell with machines.

각각의 형성된 기계그룹에서 최대한 독립적으로 생산하기 위하여 각 부품들은 대체공정들 중 한 공정을 통해서 생산한다. 일반적으로 전체 기계그룹에 대한 공정의 밀집도를 나타내는 척도인 예외요소의 개수를 각각의 기계그룹에 대한 공정의 밀집도를 나타내는 식으로 일반화하여 제안한다. 이는 공정의 밀집도가 가장 높은 기계그룹으로 부품을 할당함으로써 해당 부품들의 그룹을 형성한다.

3.1 기계 간의 일반화된 유사계수

기계그룹을 형성하는 데 사용하는 유사계수는 두 기계에서 모두 가공하는 부품의 개수를 두 기계 중에서 하나의 기계에서만 가공하는 부품의 개수로 나눈 것으로 정의한다. McAuley (1972)는 Simple GT 문제에 Jaccard 유사계수를 사용하였다. 그러나 대체공정이 존재하는 Generalized GT 문제에 Jaccard 유사계수를 사용할 경우 각 공정에 대해서 불필요한 계산이 지속적으로 증가하기 때문에 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 다음과 같은 일반화된 유사계수를 사용한다

$$S(i, j)_p = \frac{\text{두 기계 } i, j \text{가 공정 } p \text{에서 동시에 사용하는 부품 } p \text{의 개수}}{\text{두 기계 } i, j \text{중에서 적어도 하나의 기계를 사용하는 공정 } p \text{의 개수}} \quad (1)$$

3.2 기계 간의 이종관계(異種關係)

부품을 가공하는 대체공정에서 두 기계를 동시에 사용하는 부품이 존재하지 않는 기계쌍을 기계 간의 이종관계(birds of a difference feather; BODF)라고 정의한다. 이는 비유사계수 값이 1인 기계쌍을 의미하는 것으로서, 두 기계 간 유사계수 값이 0인 기계쌍을 일컫는 말이다.

예를 들어, <Figure 3>은 10종류의 부품에 총 22개의 공정을 나타내는 기계-부품 행렬이다. 기계쌍 1-7은 하나의 부품을 가공하는 데 동시에 두 기계를 사용하는 공정이 없는 이종관계다. 두 기계의 유사계수 값만 고려하여 기계를 할당하게 되는 경우, 이종관계의 기계들이 같은 기계그룹에 포함되는 문제가 발생할 수 있다.

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
m	r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1		1	1		1		1	1												1				
7				1	1	1				1													1	

Figure 3. Machine-part process incidence matrix with birds of a difference feather.

본 연구에서는 기계 간의 유사계수에 의하여 형성된 각 기계그룹에 부품을 할당하는 방법으로 예외요소의 개수를 이용한다. 각 부품에 대해서 예외요소의 개수($E_{pr}^{g(m)}$)가 가장 작은 공정을 선택한다. 결국 부품 p 는 공정 r 을 통하여 기계그룹 $g(m)$ 에서 생산된다.

$$E_{pr}^{g(m)} = \text{부품 } p \text{를 공정 } r \text{과 기계그룹 } g(m) \text{에서 가공할 때 발생하는 예외요소의 수} \quad (2)$$

여기에서 $g(m)$ 는 기계그룹번호, r 는 공정번호, p 는 부품번호이다.

본 논문에서 사용하는 기호의 정의와 제안하는 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

3.3 기호정의

- G = 생성해야 하는 전체 기계그룹의 개수
- ag = 할당 가능한 기계그룹의 개수
- cg = 현재 할당된 기계그룹의 개수
- mu = 기계그룹 내의 최대 기계 수
- ml = 기계그룹 내의 최소 기계 수
- cm = 현재 선택된 기계그룹의 기계 수
- cam = 현재 할당해야 하는 기계 수
- $a(i) = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 이미 할당된 경우} \\ 0, & \text{그 이외의 경우} \end{cases}$

3.4 제안하는 알고리즘

- 단계 1.** 기계쌍 i, j 의 유사계수 $S(i, j)_p$ 를 식 (1)과 같이 계산하고, 내림차순으로 정렬한다. 또한 G, ml, mu 의 값이 주어진다
- 단계 2.** 모든 기계들이 기계그룹에 할당될 때까지 다음의 절차를 따른다.

- 절차 1.** 현 상태에서 유사계수 값이 가장 큰 기계쌍 i, j 를 선택한다.
- 절차 2.** 할당 가능한 기계그룹의 개수(ag)와 기계그룹 내의 최소 기계대수(m)의 곱을 할당 가능한 기계대수(cam)와 비교한다.
- 절차 3.** 가장자리 연결 가능 여부를 확인한다.
- 절차 4.** 현재 기계그룹의 기계대수(cm)와 그룹 내의 최대 기계대수(mu)와 비교한다.
- 절차 5.** 기계그룹에 이미 할당된 기계들의 이중관계 여부를 확인한다.
- 절차 6.** 현재 기계그룹의 개수(cg)와 형성해야 하는 전체 기계그룹의 개수(G)를 비교한다.
- 절차 7.** 두 기계를 하나의 그룹에 할당할지의 여부를 결정한다
- 절차 8.** 선택된 기계쌍의 기계 중 이미 할당된 기계($a(i)$) 수를 확인하고, 모든 기계가 할당되었으면 단계 3으로, 그렇지 않으면 단계 2의 절차 1을 수행한다.
- 단계 3.** 기계-부품 행렬을 각 기계그룹별로 재정렬한다.
- 단계 4.** 각 부품에 대한 예외요소의 개수($E_{pr}^{g(m)}$)를 식 (2)와 같이 계산한다.
- 단계 5.** 모든 부품들이 기계그룹에 할당될 때까지 다음과 같은 절차를 따른다.
- 절차 1.** 각 부품별로 예외요소의 개수가 가장 작은 공정을 기계그룹에 할당한다.
- 절차 2.** 하나의 부품에 대하여 예외요소의 개수가 가장 적은 공정이 두 개 이상 존재할 때 공정 내의 다른 기계그룹에 할당될 때 발생하는 예외요소의 개수 차이가 가장 큰 공정을 선택한다
- 절차 3.** 절차 1, 2를 수행했음에도 불구하고 가장 큰 값을 가지는 공정이 둘 이상인 경우는 임의로 선택한다 모든 부품이 기계그룹에 할당되었으면 단계 6으로, 그렇지 않으면 단계 5의 절차 1을 수행한다.
- 단계 6.** 블록대각을 구성함으로써 기계-부품 그룹 형성 알고리즘을 종료한다.

4. 수치예제

<Figure 1(a)>는 Won and Kim(1997)이 제시한 문제로서 기계와 부품의 개수가 각각 11대와 10개인 문제를 사용한다. 부품별 공정의 개수는 각각 2, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3개로 총 22개다. 또한 네 개의 기계-부품 그룹을 형성해야 하는 제약(G)과 각 기계그룹에 포함 가능한 기계는 최대 3대(mu), 최소 2대(m)라는 제약을 가진다.

본 연구에서 제안하는 일반화 유사계수를 사용하여 각 기계쌍의 유사계수를 <Table 1>과 같이 내림차순으로 정렬하고 이중관계를 갖는 기계쌍을 나열하면 <Table 2>와 같다. <Table 1>, <Table 2>는 모든 기계가 각 기계그룹으로 할당이 끝날 때

까지 사용한다.

Table 1. Generalized similarity coefficient(GSC) of Machine pair(Mp)

No	Mp	GSC	No	Mp	GSC
1	2-8	0.3333	19	3-7	0.1111
2	1-5	0.3000	20	3-9	0.1111
3	4-6	0.2857	21	7-9	0.1111
4	9-11	0.2857	22	10-11	0.1111
5	1-6	0.2500	23	1-4	0.1000
6	4-7	0.2500	24	2-4	0.1000
7	1-3	0.2222	25	2-7	0.1000
8	3-10	0.2222	26	3-8	0.1000
9	1-2	0.2000	27	4-8	0.1000
10	2-10	0.2000	28	5-11	0.1000
11	3-5	0.2000	29	7-8	0.1000
12	4-5	0.2000	30	7-10	0.1000
13	8-10	0.2000	31	8-9	0.1000
14	5-8	0.1818	32	9-10	0.1000
15	3-11	0.1250	33	1-10	0.0909
16	6-7	0.1250	34	5-7	0.0909
17	2-6	0.1111	35	5-9	0.0909
18	2-11	0.1111	36	5-10	0.0833

제안하는 알고리즘은 <Table 1>, <Table 2>를 이용하여 4개의 기계그룹을 형성한다. <Figure 4>는 제안하는 알고리즘에 의하여 기계그룹이 형성되는 과정을 보여준다. 이렇게 형성된 기계그룹은 기계그룹의 개수 및 기계그룹 내의 기계 수 제약을 만족한다.

<Figure 4>의 결과에서 기계 10, 2, 8 / 3, 1, 5 / 7, 4, 6 / 9, 11의 네 개의 기계그룹($g(m)$)으로 형성된다. 굵게 표시된 숫자들은 각 단계에서 기계그룹으로 할당되는 기계들을 의미한다.

Table 2. Machine pair(Mp) with BODF

No	Mp	No	Mp	No	Mp
1	1-7	8	3-4	15	6-9
2	1-8	9	3-6	16	6-10
3	1-9	10	4-9	17	6-11
4	1-11	11	4-10	18	7-11
5	2-3	12	4-11	19	8-11
6	2-5	13	5-6		
7	2-9	14	6-8		

기계그룹 형성단계가 완료되면 예외요소의 개수를 사용하여 각 부품을 기계그룹으로 할당한다. 부품의 각 공정에 대해서 기계그룹의 밀집도 중 가장 큰 값을 가지는 공정을 선택하여 해당 공정의 부품을 기계그룹으로 할당하게 된다. <Table

3>은 부품에 따른 예외요소의 개수로서 굵게 표시된 숫자의 기계그룹으로 부품을 할당하게 된다. 만일 하나의 부품에 대하여 서로 다른 공정에서 예외요소의 수가 같은 경우에는 단일공정 내에서 서로 다른 기계 그룹에서 발생하는 예외 요소의 개수 차이가 가장 큰 공정에 할당한다(이와 같이 하였음에도 불구하고 예외요소의 개수 차이가 큰 공정이 둘 이상 존재하는 동률이 발생하면 임의로 선정한다.

Table 3. The number of exceptional elements($E_{pr}^{g(m)}$)

p	$g(m)$		1	2	3	4
	r					
1	1	1	1	1	2	2
	2	0	3	3	3	3
2	3	2	0	3	3	3
	4	2	2	2	3	3
3	5	2	2	2	3	3
	6	3	0	3	3	3
4	7	3	2	1	3	3
	8	3	3	0	3	3
5	9	2	2	3	2	2
	10	2	1	3	3	3
6	11	2	2	2	3	3
	12	2	2	3	2	2
	13	1	3	2	3	3
7	14	0	3	3	3	3
	15	2	2	2	3	3
8	16	1	2	2	1	1
	17	2	2	2	0	0
9	18	2	2	0	2	2
	19	2	1	1	2	2
10	20	1	2	2	1	1
	21	2	2	1	1	1
	22	3	2	3	1	1

<Table 3>에서 부품 1의 경우 공정2번을 사용하며 기계그룹 1번($g(m) = 1$)에 할당하고 9번의 경우 공정 18번을 사용하고 기계그룹 3번($g(m) = 3$)에 할당한다.

마지막으로 형성된 기계그룹과 부품그룹을 대각의 블록구조로 나타낸다. <Figure 1 (b)>는 본 예제의 기계-부품 그룹 형성 결과이다. 기계-부품 그룹 형성 결과는 예외요소의 수가 세 개이며 셀 간 이동은 부품 6, 5, 10에서 발생하는 것으로 나타난다.

5. 실험 결과와 분석

본 연구에서 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 사

용하는 문제는 기존 연구에서 인용되는 문제를 대상으로 하였다. 부품을 제조하는 데 대체공정이 있으며 셀의 개수 및 기계 그룹의 기계 수 제약을 고려할 수 있는 수리계획법으로 Won (2000)이 제안한 Modified p -median(MP) 모형의 해법과 비교하였다. <Table 4>는 제안하는 알고리즘과 MP 모형을 적용한 해를 비교한 결과이다.

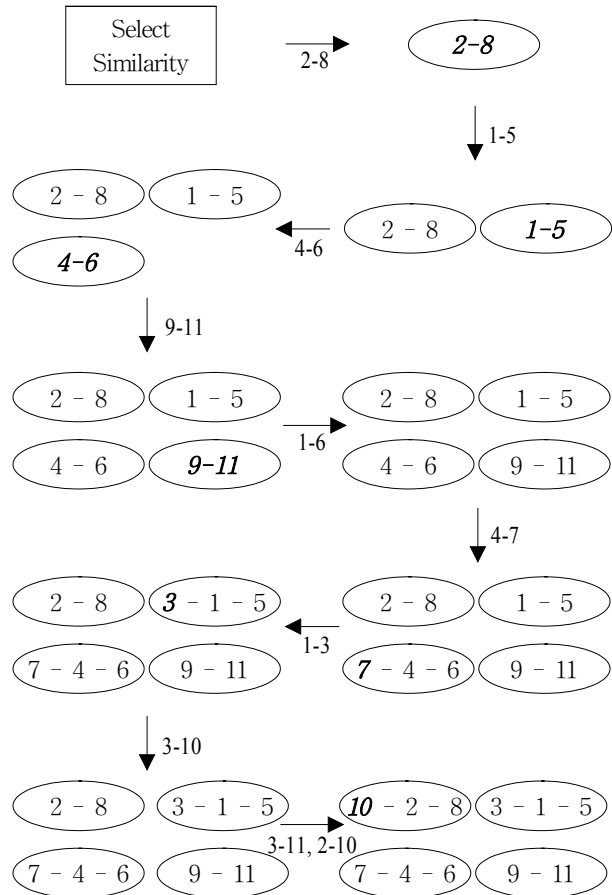


Figure 4. The process of machine cell.

<Table 4> 에서 *는 제안하는 알고리즘을 통하여 구한 해의 예외요소의 개수가 MP를 통하여 구한 해의 예외요소의 개수와 비교하여 더 적은 경우를 나타낸다. 모든 문제에 대해서 본 연구에서 제안하는 알고리즘이 제약을 고려할 수 있는 MP 모형과 비교하여 예외요소의 개수가 같거나 더 적게 발생하였다. Nagi et al.(1990)이 제안한 문제에서 7개의 예외요소가 1개로 6개의 예외요소가 더 적게 발생하는 것을 보여준다. 기계-부품 행렬의 '1'과 '0'의 비율을 조사한 결과 대체로 0.5 이내에서 좋은 결과를 보였다. 이것은 기계-부품 행렬에서 '1'의 개수가 적은 희박행렬이라는 것을 나타낸다. 따라서 제안하는 알고리즘은 기계-부품 행렬이 희박행렬일 때, 즉 부품을 가공하는 서로 다른 대체공정에서 어느 하나의 공정을 선택하는 것이 어려운 상황에서 MP 모형과 비교하여 더 좋은 결과를 제시하였다.

Table 4. The number of exceptional element Comparison for problems

Size (No of Machine ×No of Part(Routings))	Source of problems	No of Exceptional element		No of '0'	No of '1'	the Ratio of no of '1' to no of '0'
		MP	Proposed Algorithm			
4×5 (11)	Kusiak(1987)	0	0	23	21	0.9130
6×10 (20)	Sankaran and Kasilignam(1990)	2	2	64	56	0.8750
20×20 (51)	Nagi <i>et al.</i> (1990)	7	1*	840	180	0.2142
10×15 (28)	Kasilingam and Lashkari(1991)	12	11*	190	90	0.4736
6×6 (13)	Moon and Chi(1992)	0	0	48	30	0.6250
7×14 (32)	Logendran <i>et al.</i> (1994)	6	5*	146	78	0.5342
10×10 (24)	Adil <i>et al.</i> (1996)	2	2	164	76	0.4634
4×4 (8)	Won and Kim(1997)	0	0	16	16	1
7×10 (23)	Won and Kim(1997)	3	3	104	57	0.5480
11×10 (22)	Won and Kim(1997)	3	3	183	59	0.3224
26×28 (71)	Won and Kim(1997)	25	20*	1544	302	0.1955

* : Superior to the result of existing thesis

6. 결론

본 연구에서는 기계-부품 그룹을 형성하는 데 있어서 부품을 가공하는 공정이 하나로 고정된 Simple GT 문제뿐만 아니라 대체공정이 있는 Generalized GT 문제에서도 사용할 수 있는 발견적 알고리즘을 제시한다. 또한 기계그룹의 개수와 기계그룹 내 기계의 개수제약과 같은 생산환경에서 흔히 있을 수 있는 시설의 제약을 고려할 수 있다. 특히, 기계그룹의 기계들 중 가장자리에 있는 기계를 대상으로 하여 유사계수 및 그룹 내에 있는 기계들 간의 이종관계를 고려하여 할당하는 방법을 제안한다.

제안하는 알고리즘은 기계그룹을 형성하는 첫 번째 단계에서 Simple GT 문제에서 사용하던 유사계수를 대체공정이 있는 Generalized GT 문제에서 사용할 수 있도록 일반화된 유사계수를 사용한다. 그리고 부품을 기계그룹에 할당하는 두 번째 단계에서는 형성된 기계그룹에 공정별 예외요소의 개수를 계산하고 최소값을 가지는 부품(공정)을 기계그룹에 할당한다. 이와 같이 형성된 기계-부품 그룹을 블록대각구조로 재정렬함으로써 알고리즘을 완료한다.

기계-부품 행렬이 작고, 단순한 형태에서는 기존 알고리즘과 동일한 결과를 제시하였으나 크고, 복잡한 형태에서는 예외요소의 개수에서 차이가 있었다. 제안하는 알고리즘은 기계그룹을 형성하는 과정에서 이종관계와 더불어 기계그룹의 개수 및 그룹 내 기계의 개수상한을 고려하였다 또한 부품(공정)들을 기계그룹에 할당하는 과정에서 예외요소의 개수를 최소화하는 방향으로 부품(공정)들을 기계그룹에 할당하였다.

제안하는 알고리즘과 MP 모형을 비교한 결과, Kasilingam and Lashkari(1991)의 문제와 Logendran *et al.*(1994)의 문제는 1

개 차이로, Won and Kim(1997)의 문제는 5개 차이로 예외요소의 개수가 더 적게 발생하였다. 특히 Nagi *et al.*(1990)의 문제는 6개 차이로 예외요소 개수가 더 적게 발생하였다. 나머지 문제는 MP 모형의 해와 동일한 결과를 나타내었다.

제안하는 알고리즘은 복잡한 연산을 사용하지 않기 때문에 실시간으로 사용이 가능하며 변화하는 생산현장의 상황에 유연하게 적용할 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

- Adil, G. K., Rajamani, D., and Strong, D.(1996), Cell Formation Considering Alternate Routings, *International Journal of Production Research*, **34**, 1361-1380.
- Kasilingam, R. G., and Lashkari, R. S.(1991), Cell Formation in the Presence of Alternate Process Plans in Flexible Manufacturing Systems, *Production Planning and Control*, **2**, 135-141.
- King, J. R.(1980), Machine-Component Group Formation in Production Flow Analysis : An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm, *Industrial Journal of Production Research*, **18**(2), 123-232.
- Kumar, C. S., and Chandrasekharan, M. P.(1990), Grouping Efficacy: A Quantitative Criterion for Goodness of Block Diagonal Forms of Binary Matrices in Group Technology, *International Journal of Production Research*, **28**(2), 233-243.
- Kusiak, A.(1987), The Generalized Group Technology Concept, *International Journal of Production Research*, **25**, 561-569.
- Kusiak, A., and Cho, M.(1992), Similarity Coefficient Algorithms for Solving the Group Technology Problem, *International Journal of Production Research*, **30**, 2633-2646.
- Logendran, R., Ramakrishna, P., and Sriskandarijah, C.(1994),

- Tabu Search-Based Heuristics for Cellular Manufacturing Systems in the Presence of Alternative Process Plans, *International Journal of Production Research*, **32**, 273-297.
- McAuley, J.(1972), Machine Grouping for Efficient Production, *The Production Engineer*, **52**, 53-57.
- Moon, Y. B., and Chi, S. C.(1992), Generalized Part Family Formation Using Neural Network Techniques, *Journal of Manufacturing Systems*, **11**, 149-159.
- Nagi, R., Harhalakis, G., and Proth, J. M.(1990), Multiple Routings and Capacity Considerations in Group Technology Applications, *International Journal of Production Research*, **28**, 2243-2257.
- Rajamani, D., Singh, N., and Aneja, Y. P.(1990), Integrated Design of Cellular Manufacturing Systems on the Presence of Alternative Process Plans, *International Journal of Production Research*, **28**, 1541-1554.
- Sankran, S., and Kasilingam, R. G.(1990), An Integrated Approach to Cell Formation and Part Routing in Group Technology, *Engineering Optimization*, **16**, 235-245.
- Seifoddini, H. K., and Wolfe, M. P.(1986), Application of the Similarity Coefficient Method in Machine Cells Formation in Group Technology, *AIIE Transaction*, **18**, 271-277.
- Shtub, A.(1989), Modeling Group Technology Cell Formation as A Generalized Assignment Problem, *International Journal of Production Research*, **27**, 775-782.
- Trsuslugil, M., and Bllor, J.(1979), The Use of Similarity Coefficients and Cluster Analysis in Production Flow Analysis, *Proc. 20th Int. Machine Tool Des. Res. Conf.*, 525-531.
- Won, Y.(2000), New p -median Approach to Cell Formation with Alternative Process Plans, *Journal of Production Research*, **38**(7), 1601-1613.
- Won, Y., and Kim, S.(1997), Multiple Criteria Clustering Algorithm for Solving the Group Technology Problem with Multiple Process Routings, *Computers and Industrial Engineering*, **32**, 207-220.