

## 셀 생산방식에서 기계-부품 그룹을 형성하는 발견적 해법

김진석\* · 이종섭\*\*† · 강맹규\*\*\*

\* (주)에스에프에이 물류연구소  
\*\*† 우송대학교 IT(경영정보)학과  
\*\*\* 한양대학교 정보경영공학과

## A Heuristic Approach to Machine-Part Grouping in Cellular Manufacturing

Jin-Seock Kim\* · Jong-Sub Lee\*\*† · Maing-Kyu Kang\*\*\*

\* SFA Logistics System R&D Center  
\*\*† Dept. of Technical Management Information System, Woosong university  
\*\*\* Dept. of Information & Industrial Engineering, Hanyang university

This paper proposes the heuristic approach for the generalized GT(Group Technology) problem to consider the restrictions which are given the number of cell, maximum number of machines and minimum number of machines. This approach is classified into two stages. In the first stage, we use the similarity coefficient method which is proposed and calculate the similarity values about each pair of all machines and align these values in descending order. If two machines which is selected is possible to link the each other on the edge of machine cell and they don't have zero similarity value, then we assign the machines to the machine cell. In the second stage, it is the course to form part families using proposed grouping efficacy. Finally, machine-part incidence matrix is realigned to block diagonal structure. The results of using the proposed approach are compared to the Modified  $p$ -median model.

**Keywords** : group technology, cell formation, alternative process plan

### 1. 서론

다양한 소비자의 요구와 유행에 적절히 대처하기 힘든 소품종 대량생산방식의 문제점과 표준화가 힘들고 제품의 종류와 납기의 다양성으로 인해 합리적이지 못한 다품종 소량생산방식의 문제점을 해결하기 위해서 그룹테크놀로지(Group Technology : GT)가 나타났다.

이는 형태, 치수, 공정, 설비 등을 고려하여 유사한 부품들을 그룹화하여 생산하려는 개념이다[2]. 유사한 작업들을 그룹화하여 공구 및 기계를 공유함으로써 준비시간, 운반거리, 비용 등을 감소시킬 수 있다.

셀 생산 방식(cellular manufacturing)은 그룹테크놀로지

를 생산현장의 제조시스템에 적용한 생산방식이다. 이러한 셀 생산 방식은 셀 형성, 기계 배치, 셀 배치의 세 가지 과정을 순서로 하여 설계된다. 그림 1의 (a)와 같이 각 부품에 포함된 수 개의 대체공정들 중 하나의 공정만 선택하여 부품을 생산하는 기계-부품 그룹형성 문제를 Generalized GT[16]문제라고 한다. 부품의 대체공정 정보는 0과 1의 값으로 표현이 되며 이는 기계-부품공정 행렬을 형성한다. 이 정보를 사용하여 기계그룹(machine cell)과 부품 그룹(part family)을 형성하고 각 부품그룹을 대응하는 기계그룹에 배치함으로써 그림 1의 (b)와 같이 기계-부품 그룹을 형성하게 된다.

부품 기계	1		2		3		4		5		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1			1		1	1		1	1		1
2		1	1	1			1				
3	1			1	1				1	1	
4	1	1				1	1	1			1

(a) 대체공정이 있는 기계-부품공정 행렬

부품 기계	1		3		2		4		5	
	2	7	5	9	11					
2	1	1								
4	1	1								
1			1	1	1					
3			1	1						

(b) 기계-부품 그룹형성 결과

<그림 1> 대체공정이 있는 기계-부품 그룹형성 문제

셀 생산 시스템을 구축할 때 주로 고려되어야 하는 제약은 공장의 크기, 모양과 같은 시설문제가 대부분을 차지한다. 본 연구에서는 기계-부품 그룹의 개수, 기계그룹의 최대 기계수, 기계그룹의 최소 기계수에 대한 제약을 고려하여 기계그룹을 벗어나는 예외요소를 최소화하는 해법이다.

기계-부품 그룹형성 문제는 NP-Complete이므로[6] 그룹을 형성해야 할 각각의 기계와 부품의 개수가 많은 경우에는 계산량이 지수적으로 발생하여 많은 시간이 소요된다. 따라서 최적화 해법보다 발견적 해법(heuristic approach)을 많이 사용한다. 기계-부품 그룹형성 문제를 해결하기 위해서 수많은 방법이 제시되었는데 King[4]의 배열을 이용한 그룹형성 방법, McAuley[9]의 유사계수법, Kusiak[6]의 수리계획법, 유전해법 및 신경망을 이용한 방법들이 있다.

유사계수법은 기계간 공정상 유사도에 따라 유사계수를 구하고, 이 유사계수를 사용하여 기계그룹을 형성한다. 형성된 기계그룹에 부품을 할당함으로써 기계-부품 그룹을 형성하는 방법이다. McAuley[9]는 셀의 기계 간 유사도가 가장 크게 되도록 기계를 군집화하는 SLC(Single Linkage Clustering)해법을 제안하였다. Trsus-lugil과 Bloor[14]는 기계 간 비유사도가 가장 크게 되도록 기계를 군집화하는 CLS(Complete Linkage Clustering)해법을 제안하였으며 Seifoddini[13]는 SLC해법의 기계그룹을 형성하는 과정에서 두 기계의 유사도에 의해서 기계그

룹이 합쳐지는 chaining problem 현상을 감소시키기 위한 ALC(Average Linkage Clustering)해법을 제안하였다.

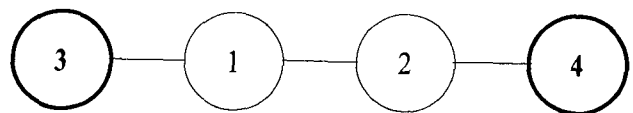
본 연구는 부품을 생산하는데 다수의 대체공정이 있는 문제를 사용하여 기계-부품 그룹의 개수, 기계그룹의 기계수의 제약을 고려하여 기계그룹을 형성하는 발견적 해법과 성능적으로 사용되는 그룹화 효율을 일반화하여 부품을 기계그룹으로 할당하는 방법을 제안한다.

## 2. 제안하는 알고리즘

Generalized GT문제에서 기계-부품 그룹형성 문제의 해결과정은 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 첫째로 기계 그룹을 형성하는 과정과 둘째로 전체 부품을 기계-부품 그룹으로 할당하여 부품그룹을 형성하는 과정이다. 단일공정이 존재하는 Simple GT[16]의 경우 보통 동일한 기계를 사용하는 부품의 유사계수를 계산하여 부품그룹을 형성한 후 기계를 각 부품그룹으로 할당하는 방법을 주로 사용하였다. 그러나 대체공정이 존재하는 문제는 기계의 유사도를 사용하여 기계그룹을 형성하는 방법을 주로 사용한다. 부품에 있는 공정들 간 유사도의 개수보다 기계 간 유사도의 개수가 훨씬 적으므로 계산량에 있어서 오히려 효율적이기 때문이다.

본 연구에서는 Generalized GT문제에 적용할 수 있도록 기계 간 유사계수를 일반화시켜 사용한다. 유사도가 높은 기계그룹들을 형성하기 위하여 일반화된 유사계수의 결과를 내림차순으로 정렬한다. 다음 단계로 기계그룹 형성에 사용하지 않은 유사계수 중 가장 큰 값을 가지는 기계쌍을 선택한다. 각 기계그룹으로 할당된 기계들은 그림 2와 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 기계수와 최소 기계수의 제약을 고려한다. 제약조건을 만족하면 해당 기계그룹에 기계를 할당한다. 이상의 과정을 반복하여 더 이상 할당할 기계가 없으면 기계그룹 형성과정을 종료한다.

여기서 가장자리란 각 기계그룹에서 가장 최근에 할당된 두 기계로서 선형구조에서 가장 바깥쪽에 있는 두 기계를 지칭하는 것이다. 예를 들면 그림 2에서 기계 3과 4가 가장자리이고 기계 1과 2가 중간이다.



<그림 2> 기계그룹의 가장자리와 중간

각각의 형성된 기계그룹에서 최대한 독립적으로 생산하기 위하여 각 부품들은 대체공정들 중 한 공정을 통해서 생산한다. 일반적으로 전체 기계그룹에 대한 공정의 밀집도를 나타내는 척도인 그룹화 효율을 각각의 기계그룹에 대한 공정의 밀집도를 나타내는 식으로 일반화하여 제안한다. 이는 공정의 밀집도가 가장 높은 기계그룹으로 부품을 할당함으로써 해당 부품들을 그룹화한다.

(1) 기계 간 유사계수 일반화

기계그룹을 형성하는 과정에서 사용하는 유사계수는 두 기계를 모두 방문하는 부품의 개수를 두 기계 중에서 하나의 기계를 방문하는 부품의 개수로 나눈 것으로 정의한다. McAuley[9]는 Simple GT문제에 Jaccard[13]가 제안한 유사계수를 사용하였다. 그러나 여러 가지 대체공정이 존재하는 Generalized GT문제에 Jaccard가 제안한 유사계수를 사용할 경우 각 공정에 대해서 불필요한 계산이 지수적으로 증가하기 때문에 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하기 위하여 일반화한 유사계수를 사용한다.

$$S_{ij} = \frac{\sum_k \sum_r MA_{kr}}{\sum_k \sum_r SA_{kr}} \dots\dots\dots (1)$$

- $S_{ij}$  = 기계  $i$  와 기계  $j$  의 유사계수
- $P$  = 총 부품수
- $R$  = 부품  $k$  의 대체 공정수
- $MA_{kr} = a_{ikr} \times a_{jkr}$
- $SA_{kr} = \begin{cases} 1, & a_{ikr} + a_{jkr} > 0 \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$

식 (1)의 정의에서  $MA_{kr}$ 은 부품  $k$ 를 제조할 때 공정  $r$ 을 사용할 경우 두 기계의 가용유무를 나타내며  $SA_{kr}$ 은 두 기계 중 하나의 기계에 대한 가용유무를 나타낸다. 결국, 식 (1)은 두 기계를 모두 사용할 수 있는 공정의 개수를 두 기계 중 한 기계를 사용할 수 있는 공정의 개수로 나눈 값이다. 순서에 관계 없이 기계쌍  $i-j$  와  $j-i$ 의 유사계수는 동일하다.

(2) 이종관계(異種關係)

$$gf_{mr}^p = \frac{\text{부품 } p \text{의 공정 } r \text{에서 기계그룹 } m \text{에 있는 1의 개수}}{\text{부품 } p \text{의 공정 } r \text{에서 기계그룹 } m \text{의 면적} + \text{예외요소의 개수}} \dots\dots\dots (2)$$

$m$  = 기계그룹 번호     $r$  = 공정번호     $p$  = 부품번호

공정 상 두 기계를 모두 방문하는 부품이 존재하지 않는 경우 이들 기계쌍을 이종관계라고 정의한다. ‘상호 분리 가능한 기계들(mutually separable machines)’라고 Won[16]의 논문에서 표현하였다. 이는 비유사도가 100 %인 기계쌍을 의미하는 것으로서 두 기계 간 유사계수 값이 0인 기계쌍을 일컫는 말이다.

예를 들어, 그림 3은 5종류의 부품에 총 11개의 공정을 나타내는 기계-부품공정 행렬이다. 기계쌍 1-2는 하나의 공정을 처리하는데 두 기계에서 모두 처리가 가능한 공정이 없는 이종관계다. 그러나 기계쌍 2-3의 경우, 공정 2와 10에서 두 기계 모두 처리 가능하기 때문에 이종관계가 아니다.

부품 기계 \ 공정	1		2		3		4		5			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1				1		1						
2	1	1	1					1			1	
3		1			1	1			1	1	1	

<그림 3> 이종관계가 있는 기계-부품공정 행렬

두 기계의 유사도 값만 고려하여 기계를 할당하게 되는 경우, 이종관계의 기계들이 같은 기계그룹에 포함되는 문제를 예방할 수 있다.

(3) 그룹화 효율 일반화

그룹화 효율은 그룹의 밀집성을 나타내는 척도로서 기계-부품 그룹형성 결과에 대한 효율을 평가하는 도구이다. Kumar과 Chandrasekharan[5]은 기계-부품 그룹형성 결과의 블록에 포함된 ‘1’의 요소 개수에 대한 블록에 포함되지 않은 예외요소의 개수와 블록에 포함된 ‘0’의 요소 개수의 비율로 정의하였다. 이는 0과 1사이 값을 가진다. 그룹화 효율이 1이면 각 블록 내에 모든 1이 포함된 상호 분리 가능한 기계-부품그룹을 형성한다는 의미이며, 0이면 그룹형성이 완료되지 않았음을 의미한다.

본 연구에서는 그룹화 효율을 각 기계그룹에 대한 공정의 밀집도로 일반화한다. 이를 사용하면 각 부품에 대한 공정과 기계그룹을 동시에 할당할 수 있다. 이를 부품  $p$ 에 존재하는 공정  $r$ 에 대한 기계그룹  $m$ 의 밀집도라고 정의한다.

식 (2)에서 각 부품에 대한 그룹화 효율의 개수는 해당 부품의 공정수×기계그룹의 개수이다. 각 기계그룹에 부품을 할당하는 방법은 그룹화 효율을 계산하고 각 부품에 대해서 가장 큰 값을 선택하는 것이다. 결국 부품  $p$ 는 공정  $r$ 을 통하여 기계그룹  $m$ 에서 생산된다.

본 논문에서 제안하는 해법에서 사용하는 기호의 정의와 절차는 다음과 같다.

**(4) 기호정의**

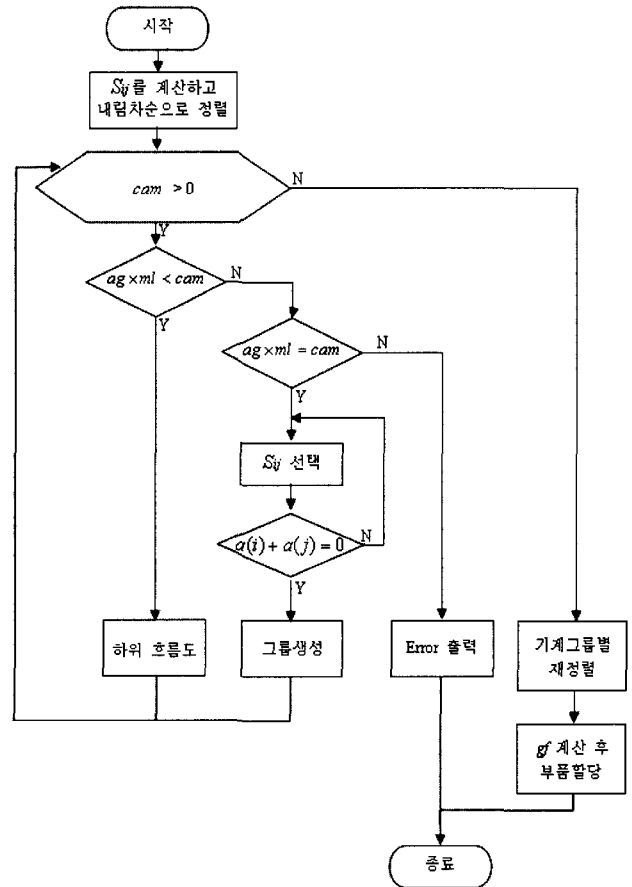
- $S_{ij}$  = 기계  $i$ 와  $j$ 의 유사계수
- $gf_{mr}^p$  = 부품  $p$ 에 존재하는 공정  $r$ 에 대한 기계그룹  $m$ 의 그룹화 효율
- $G$  = 생성해야 하는 전체 기계그룹의 개수
- $ag$  = 할당 가능한 기계그룹의 개수
- $cg$  = 현재 할당된 기계그룹의 개수
- $g(i)$  = 기계  $i$ 가 포함된 기계그룹
- $mu$  = 기계그룹 내 최대 기계수
- $ml$  = 기계그룹 내 최소 기계수
- $cm$  = 현재 선택된 기계그룹의 기계수
- $cam$  = 현재 할당해야 하는 기계수
- $a(i) = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 이미 할당된 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$

**(5) 제안하는 해법**

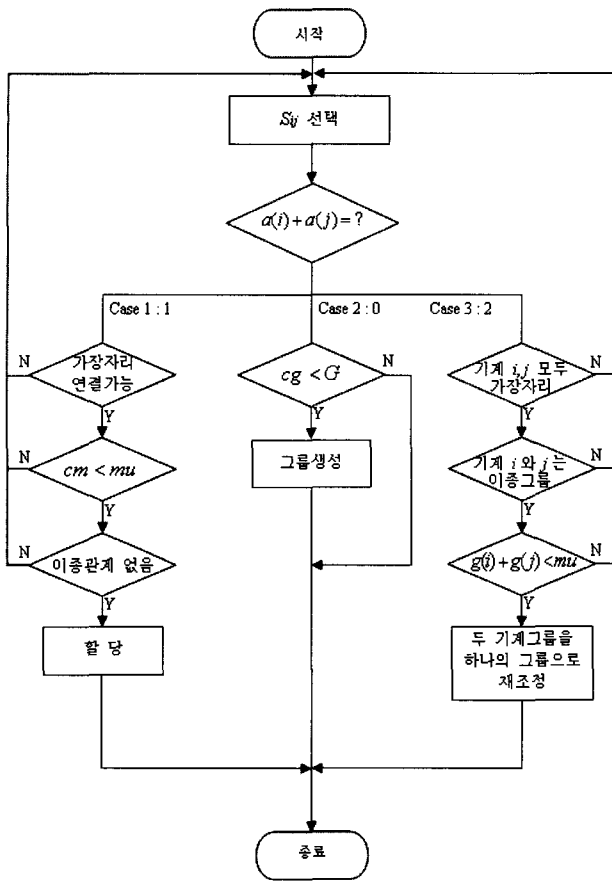
- 단계 1. 기계쌍의 유사계수( $S_{ij}$ )를 계산하고 내림차순으로 정렬
- 단계 2. 할당 가능한 기계( $cam$ )유무 확인
- 단계 3. 할당 가능한 기계그룹의 개수( $ag$ )와 기계그룹의 최소 기계수( $ml$ )의 곱을 할당 가능한 기계수( $cam$ )와 비교
- 단계 4. 유사계수 값이 가장 큰 기계쌍을 선택
- 단계 5. 선택된 기계쌍의 기계 중 이미 할당된 기계( $a(i)$ )수 확인
- 단계 6. 가장자리 연결가능유무 확인
- 단계 7. 현재 기계그룹의 기계수( $cm$ )와 그룹의 최대 기계수( $mu$ )와 비교
- 단계 8. 기계그룹에 이미 할당된 기계들의 이중관계 유무 확인

- 단계 9. 현재 기계 그룹수( $cg$ )와 형성해야 하는 전체 기계그룹의 개수( $G$ )를 비교
- 단계 10. 할당된 두 기계의 가장자리유무 확인
- 단계 11. 이중 기계그룹 유무확인
- 단계 12. 두 기계가 포함된 그룹  $g(i)$ 와  $g(j)$ 의 기계수의 합과 그룹의 최대 기계수( $mu$ )를 비교
- 단계 13. 두 기계의 할당유무 확인
- 단계 14. 기계-부품공정 행렬을 각 기계 그룹별로 재정렬
- 단계 15. 각 부품에 대한 그룹화 효율( $gf_{mr}^p$ )을 구하고 부품을 기계그룹으로 할당하고 블록대각을 구성함으로써 기계-부품 그룹형성 완료

본 연구에서 기계그룹형성에 사용되는 해법의 흐름도는 그림 4와 같다.



(a) 제안하는 해법의 흐름도



(b) 제안하는 해법의 하위흐름도

<그림 4> 기계그룹형성 해법 흐름도

### 3. 수치예제

Won[16]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 제약과 각 기계그룹에 포함 가능한 기계는 최대 3대, 최소 2대라는 제약을 가진다.

본 연구에서 제안한 일반화 유사계수를 사용하여 각 기계쌍의 유사계수를 표 1과 같이 내림차순으로 정렬하고 이종관계를 갖는 기계쌍을 나열하면 표 2와 같다. 각 표는 모든 기계가 각 기계그룹으로 할당이 끝날 때까지 사용한다.

표 1과 2를 사용하여 그림 4의 흐름도를 적용시키면 4개의 기계그룹이 형성된다. 그림 5는 기계그룹이 형성되는 과정을 보여준다. 셀의 개수 및 기계그룹의 기계수 제약을 만족한다.

<표 1> 유사계수 정렬

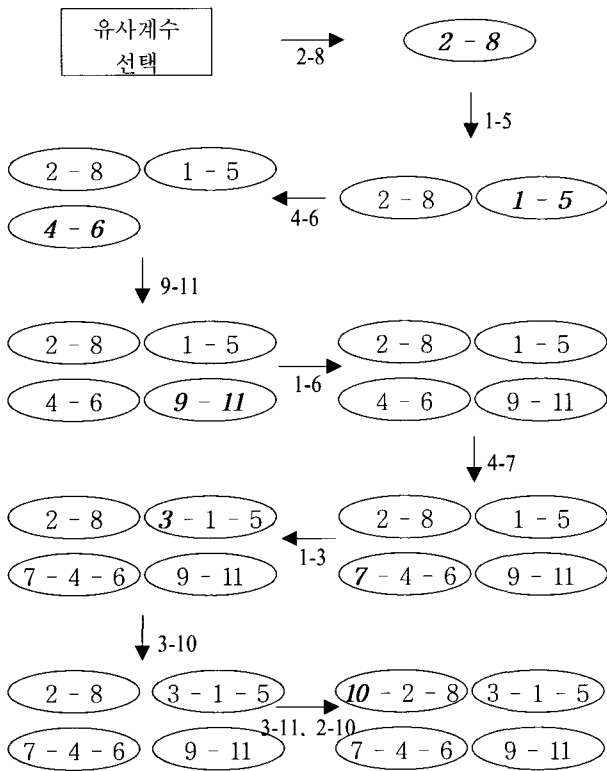
번호	기계쌍	유사계수	번호	기계쌍	유사계수
1	2-8	0.3333	19	3-7	0.1111
2	1-5	0.3000	20	3-9	0.1111
3	4-6	0.2857	21	7-9	0.1111
4	9-11	0.2857	22	10-11	0.1111
5	1-6	0.2500	23	1-4	0.1000
6	4-7	0.2500	24	2-4	0.1000
7	1-3	0.2222	25	2-7	0.1000
8	3-10	0.2222	26	3-8	0.1000
9	1-2	0.2000	27	4-8	0.1000
10	2-10	0.2000	28	5-11	0.1000
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

<표 2> 이종관계를 갖는 기계쌍

번호	기계쌍	번호	기계쌍	번호	기계쌍
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		

그림 5의 결과에서 기계 10, 2, 8 / 3, 1, 5 / 7, 4, 6 / 9, 11 의 네 개의 기계그룹으로 형성된다. 굵게 표시된 숫자들은 각 단계에서 기계그룹으로 할당되는 기계들을 의미한다.

기계그룹 형성단계가 완료되면 일반화한 그룹화 효율 공식을 사용하여 각 부품을 기계그룹으로 할당한다. 부품의 각 공정에 대해서 기계그룹의 밀집도 중 가장 큰 값을 가지는 공정을 선택하여 해당공정의 부품을 기계그룹으로 할당하게 된다. 표 3은 부품에 따른 그룹화 효율로서 굵게 표시된 숫자의 기계그룹으로 부품을 할당하게 된다.



<그림 5> 기계그룹 형성의 전개과정

<표 3> 부품별 그룹화 효율( $gf_{mr}^p$ )

$p$	$r$	$m$	1	2	3	4
1	1	0.25	0.25	0	0	
	2	1	0	0	0	
2	3	0	1	0	0	
	4	0.2	0.2	0.2	0	
3	5	0.2	0.2	0.2	0	
	6	0	1	0	0	
4	7	0	0.2	0.5	0	
	8	0	0	1	0	
5	9	0.2	0.2	0	0.25	
	10	0.2	0.5	0	0	
6	11	0.2	0.2	0.2	0	
	12	0.2	0.2	0	0.25	
7	13	0.5	0	0.2	0	
	14	1	0	0	0	
8	15	0.2	0.2	0.2	0	
	16	0.25	0	0	0.33	
9	17	0	0	0	1	
	18	0	0	0.67	0	
10	19	0	0.25	0.25	0	
	20	0.25	0	0	0.33	
10	21	0	0	0.25	0.33	
	22	0	0.2	0	0.67	

표 3에서 부품 1의 경우 공정 2번을 사용하며 기계그룹 1번에 할당하고 9번의 경우 공정 18번을 사용하며 기계그룹 3번에 할당한다.

마지막으로 형성된 기계그룹과 부품그룹을 대각의 블록 구조로 나타낸다. 그림 6은 본 예제의 기계-부품 그룹형성 결과이다.

부품 \ 기계	1	6	7	2	3	5	4	9	8	10
2	13			3	6	10	8	18	17	22
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

<그림 6> 기계-부품 그룹형성 결과

기계-부품 그룹형성 결과는 예외요소의 수가 세 개이며 셀 간 이동은 부품 6, 5, 10에서 발생하는 것으로 나타난다.

### 4. 타 해법과의 비교 및 분석

본 연구에서 제안하는 해법의 성능을 평가하기 위하여 사용하는 문제는 기존 연구에서 인용되는 문제를 대상으로 하였다. 부품을 제조하는데 대체공정이 있으며 셀의 개수 및 기계그룹의 기계수 제약을 고려할 수 있는 수리계획법으로 Won[15]이 제안한 Modified  $p$ -median (MP)모형의 해법과 비교하였다. 표 4는 제안하는 해법과 MP모형을 적용한 해를 비교한 결과이다.

다음의 표에서 \*는 제안하는 해법의 예외요소가 적은 경우를 나타낸다. 모든 문제에 대해서 본 연구에서 제안하는 해법이 제약을 고려할 수 있는 MP모형과 비교하여 예외요소의 개수가 같거나 더 적게 발생한다. Nagi et al.[11]이 제안한 문제에서 7개의 예외요소가 1개로 무려 6개가 감소하는 것을 보여준다. 나머지 문제의 경우도 예외요소의 수가 더 적거나 같음을 보인다.

<표 4> MP와 제안하는 해법의 예외요소 개수 비교

문 제	예외요소의 개수	
	MP (개)	제안하는 해법 (개)
Kusiak[7]	0	0
Sankaran and Kasilingam[12]	2	2
Nagi et al.[11]	7	1*
Kasilingam and Lashkari[3]	12	11*
Moon and Chi[10]	0	0
Logendran et al.[8]	6	5*
Adil et al.[1]	2	2
Won and Kim[16]	0	0
Won and Kim[16]	3	3
Won and Kim[16]	3	3
Won and Kim[16]	25	20*

### 5. 결 론

본 연구에서는 기계-부품 그룹을 형성하는 데 각 부품에 단일공정이 있는 Simple GT문제뿐만 아니라 다수의 공정이 있는 Generalized GT문제에서도 사용할 수 있는 발견적 기법을 제시한다. 또한 제안하는 해법은 셀의 개수와 기계그룹의 기계수 제약과 같은 생산환경에서 흔히 있을 수 있는 시설의 제약을 고려할 수 있다.

Simple GT문제에서 사용하던 유사계수를 대체공정이 있는 Generalized GT문제에서 사용할 수 있도록 일반화 유사계수와 그룹화 효율을 제안한다.

기계그룹을 형성하는 과정은 각 기계그룹의 기계들 중 가장자리에 있는 기계를 대상으로 하여 유사도 및 그룹의 기계들과 이종관계를 고려하여 할당하는 방법을 제안한다. 완성된 기계그룹에서 일반화한 그룹화 효율을 사용하여 공정별 밀집도를 계산하고 최대값을 가지는 공정의 부품을 기계그룹에 할당한다. 입력데이터를 각 기계그룹과 부품그룹으로 구성된 대각의 블록구조로 재정렬함으로써 기계-부품 그룹형성을 완료한다.

제안하는 해법과 MP모형을 비교한 결과, Kasilingam and Lashkari[3]의 문제와 Logendran et al.[8]의 문제는 1개, Won and Kim[16]의 문제는 5개의 예외요소가 감소하였다. 특히 Nagi et al.[11]의 문제는 7개의 예외요소가 무려 6개 감소하였다. 나머지 문제는 MP모형의 해와 동일한 결과를 나타내었다.

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

### 참고문헌

- [1] Adil, G. K., D. Rajamani, and D. Strong, "Cell Formation Considering Alternate Routings," International Journal of Production Research, 34 : 1361 -1380, 1996.
- [2] Ham, I., K. Hitomi, and T.Yoshida, Group Technology : Production Methods in Manufacture, Kluwer-Nijhoff, Boston, MA, 1985.
- [3] Kasilingam, R. G. and R. S. Lashkari, "Cell Formation in the Presence of Alternate Process Plans in Flexible Manufacturing Systems," Production Planning and Control, 2 : 135-141, 1991.
- [4] King, J. R., "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, 1980.
- [5] Kumar, C. S. and M. P. Chandrasekharan, "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, 1990.
- [6] Kusiak, A., "The Generalized Group Technology Concept," International Journal of Production Research, 25 : 561-569, 1994.
- [7] Kusiak, A. and W. S. Chow, "An Algorithm for Cluster Identification," IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, SMC-17(4) : 696-699, 1987.
- [8] Logendran, R., P. Ramakrishna, and C. Sriskandarijah, "Tabu Search-Based Heuristics for Cellular Manufacturing Systems in the Presence of Alternative Process Plans," International Journal of Production Research, 32 : 273-297, 1994.
- [9] McAuley, J., "Machine Grouping for Efficient Production," The Production Engineer, 52 : 53-57, 1972.
- [10] Moon, Y. B. and S. C. Chi, "Generalized Part Family Formation Using Neural Network Techniques," Journal of Manufacturing Systems, 11 : 149-159, 1992.
- [11] Nagi, R., G. Harhalakis, and J. M. Proth, "Multiple Routeings and Capacity Considerations in Group Technology Applications," International Journal of Production Research, 28 : 2243-2257, 1990.
- [12] Sankaran, S. and R. G. Kasilingam, "An Integrated Approach to Cell Formation and Part Routing in Group Technology," Engineering Optimization, 16 : 235-245, 1990.

- [13] Seifoddini, H. K. and M. P. Wolfe, "Application of the Similarity Coefficient Method in Machine Cells Formation in Group Technology," *AIIE Transaction*, 18 : 271-277, 1986.
- [14] Trsuslugil, M. and J. Bllor, "The Use of Similarity Coefficients and Cluster Analysis in Production Flow Analysis," *Proc. 20th Int. Machine Tool Des. Res. Conf.*, 525-531, 1979.
- [15] Won, Y., "New  $p$ -median Approach to Cell Formation with Alternative Process Plans," *Journal of Production Research*, 38(7) : 1601-1613, 2000.
- [16] Won, Y. and S. Kim, "Multiple Criteria Clustering Algorithm for Solving the Group Technology Problem with Multiple Process Routings," *Computers and Industrial Engineering*, 32 : 207-220, 1997.