

계층 분리 알고리즘에 의한 부품 그룹핑 및 셀 구성

이 춘식
한국기계연구소
자동화연구부

황 학
한국과학기술원
산업공학과

Parts Grouping by a Hierarchical Divisive Algorithm and Machine Cell Formation

Choon Shik Lee
Automation Eng. Dept.
KIMM

Hark Hwang
Dept. of Industrial Engineering,
KAIST

ABSTRACT

Group Technology (GT) is a technique for identifying and bringing together related or similar components in a production process in order to take advantage of their similarities by making use of, for example, the inherent economies of flow production methods. The process of identification, from large variety and total of components, of the part families requiring similar manufacturing operations and forming the associated groups of machines is referred as 'machine-component grouping'.

First part of this paper is devoted to describing a hierarchical divisive algorithm based on graph theory to find the natural part families. The objective is to form components into part families such that the degree of interrelations is high among components within the same part family and low between components of different part families.

Second part of this paper focuses on establishing cell design procedures. The aim is to create cells in which the most expensive and important machines-called key machine - have a reasonably high utilization and the machines should be allocated to minimize the intercell movement of machine loads. To fulfil the above objectives, 0-1 integer programming model is developed and the solution procedures are found.

Next an attempt is made to test the feasibility of the proposed method. Several different problems appearing in the literature are chosen and the results are briefly showed.

1. 서론

배치 생산(Batch Production)에서 각 부품은 설계, 공정계획, 생산관리, 공구설계/준비 및 가공이 개별적으로 행해져 왔다. 그러나 특정회사에서 생산되는 부품형태에 관한 상세한 통계조사에 의하면, 소량생산시에도 부품 형태는 안정적인 분포를 보이고 있다. Group Technology (GT)는 부품들 사이의 유사성을 찾고, 이에 의해 유사한 부품을 모아 생산함으로써 흐름 생산에서와 같은 경제적인 이익을 얻으려는 기법이다. 특정한 형태나 일정한 칫수 범위의 유사한 부품들을 부품군이라고 하며 이들을 가공하기 위해 기계들이 물리적으로 그룹 레이아웃 형태로 배치되거나 논리적으로 결합되어 셀을 구성하게 된다.

본 논문은 생산중인 다양하고 많은 부품들 가운데서 유사한 제조 공정을 거치는 부품군을 식별하고, 관련된 기계들을 셀로 구성하기 위한 '기계-부품 그룹핑' 문제를 다루고 있다. 첫부분에서는 동일한 부품군내의 부품 사이의 관련도는 높고, 다른 부품군에 속하는 부품사이의 관련도는 낮게 되도록, 자연적인 부품군을 식별하기 위해 그래프 이론에 근거한 계층 분리적 클러스터링 방법이 소개된다.

두번째 부분에서는 구해진 부품군을 가공하기 위한 셀을 구성하는 방법을 다룬다. 셀 구성 시 고려해야 할 중요 사항인 중요 기계 완전가동 원칙과 셀 사이의 기계부하 이동 최소화 원칙이 준수될 수 있도록, 셀 구성을 위한 0-1 정수계획법을 사용한 모델과 함께 해를 구하는 방법이 제시된다.

세번째 부분에서는 제안된 방법의 효용성을 평가하기 위해 문헌상에 나타난 문제들에 대해 문헌상의 기법에 의한 부품군과 본 논문에서 소개한 방법에 의한 부품군의 비교결과를 제시한다.

2. 문제제시

기계-부품 그룹핑은 G.T 도입시 필요한 핵심기술로 그동안 여러 사람에 의해 여러가지의 방법이 제시되었다. King and Narkornchai[1]의 분류에 따르면, 1) 클러스터링 방법, 2) 집합론적인 방법, 3) 평가적 방법, 4) 분석적 방법으로 구분할 수 있다.

기계-부품 그룹핑문제는 기존의 작업장을 경제적인 라인흐름 작업장으로 전환시키기 위한 생산흐름 분석(Production Flow Analysis) 방법이 Burbidge[2]에 의해서 제안되면서 대두되었다. 적당한 부품그룹수를 정한 후, 부품을 가공 공정순서에 따라 배열. 할당하고 이들로부터 각 그룹에 필요한 기계를 비교. 평가해 기계-부품을 그룹핑해 나가는 방식으로 De Beer 등[3]에 의해 제안된 PFS(Production Flow Synthesis)와 마찬가지로 주관적 평가가 개입되어 전산화하기 힘들다는 단점이 내재되어 있다.

부품과 이의 가공에 필요 한 공정은 0-1을 원소로 하는 기계-부품 행렬에 의해 표시될 수 있다. 분석적 방법에 속하는 많은 방법은 이 기계-부품행렬의 행과 열을 적당한 방법에 의해서 재배열하여 1의 값으로 구성되는 대각 형태의 중첩이 안되는 블록을 구하는 시도로, ROC, ROC-2[1], MODROC[4], DCA[5], BEA[6]등이 이에 속한다. 이와 같은 방법에서 부품(기계)군은 재배열된 행렬을 판단하여 결정된다.

이외의 분석적인 방법으로 Kumar 외[7], Chandrasekharan과 Rajagopalan[8], Co와 Araar[9], Han과 Ham[10]에 의해서 최적 기계-부품 그룹을 구하기 위한 수리계획 모델이 작성되었다. 이러한 방법들은 작성해야 할 그룹의 수를 미리 정해 모델내에 모수로 하고 있어 이 값에 따라서 해가 달라질 수 있다는 점과 변수가 정수형이어서 계산량이 과다해진다. 집합론적인 방법은 Purcheck[11]에 의해서 집중적으로 연구되었다.

3. 계층 분리적 클러스터링 방법

클러스터 분석(CA : Cluster Analysis)은 '자연적인 그룹'을 발견하기 위한 것으로 주어진 관측대상을 같은 그룹에 속하는 것들 사이에는 '자연적인 관련도'가 높고, 서로 다른 그룹에 속하는 것들 사이에는 그 정도가 낮게 되도록 분류하는 것이다. 여기서 관련도는 두개의 관측대상 사이에 정의되는 유사성(Similarity Coefficient)에 의해 측정된다. CA에서 미리 알 수 있는 것은 관측대상뿐으로 그룹 수, 각각의 소속, 분류체계는 전혀 주어져 있지 않다.

기계-부품 그룹핑과 CA가 대상으로 하고 있는 문제가 서로 유사하다는데 확인해, McAuley[12]는 SLHA(Single Linkage Hierarchical Agglomerative method)를 적용해 기계 그룹핑하는 방법을 제안했다. 이 방법은 Seifoddini와 Wolfe[13]가 제안한 Average Linkage Clustering 방법과 같이 유사성이 가장 큰 그룹이 순차

적으로 계층 병합되어 최종적으로 하나의 그룹으로 되어 가는 과정을 검토하여 그룹을 작성한다.

계층 분리적인 클러스터링 방법(Hierarchical Divisive Clustering Method)은 순차적으로 전체의 관측대상을 이분해 가는 방법으로 이에 속하는 방법은 아주 드물다 [14].

이외에도 미리 정해진 기준을 최적화할 수 있도록 관측대상을 주어진 수의 그룹으로 분할하는 비계층적인 방법이 Chandrasekharan과 Rajagopalan[15]에 의해 채택된 바 있다.

3-1 기호의 정의

본 연구의 명료한 표현을 위한 기호들은 다음과 같이 정의된다.

$G = (V; E)$, 부품사이의 유사성 계수 그래프

V = 대상 부품 집합

E = 아크(arc) 집합

n = 그래프 G 내의 부품수

$(V_1, V_2) =$ 한 끝은 V_1 에 있고 다른 끝은 V_2 에 있는 모든 아크의 집합. 여기서 $V_1 \subset V$, $V_2 \subset V$ 이고 $V_1 \cap V_2 = \emptyset$. $V_1 \cup V_2 = V$ 이면 (V_1, V_2) 는 cutset이 된다.

F = 연결 그래프 G 의 cutset. 그래프 G 의 cutset로 $F \subset F$ 인 F 가 존재하지 않으면 F 는 proper cutset이다.

$N(S)$ = 집합 S 의 원소수

$w(G)$ = 그래프 G 내의 모든 arc값의 합

$v(F)$ = 아크의 집합 F 내의 모든 arc값의 합

$A - B =$ 집합 A 와 B 의 차집합, $\{x \mid x \in A \text{ and } x \notin B\}$

3-2 문제의 정식화

CA에 의해 부품을 그룹핑하기 위해서는 부품사이의 유사성을 정의하여 이를 이용하여야 한다. 표 1과 같은 기계-부품 행렬이 주어져있을 때 부품사이의 유사성은 여러가지로 정의될 수 있으나[14] 가장 많이 쓰이는 척도는 Jaccard에 의해 정의된 것으로 부품 i 와 j 사이의 유사성 계수 $s_{i,j} = N(M_i \cap M_j) / N(M_i \cup M_j)$ 로 정의된다. 여기서 M_i 와 M_j 는 각각 부품 i, j 를 가공하는데 필요한 기계의 집합이다. 예를 들어 표 1에서 부품 1과 3 사이의 유사성 계수는 $M_1 = \{2, 4, 6, 8\}$, $M_3 = \{2, 4, 5, 8\}$ 이므로 $s_{1,3} = s_{3,1} = 0.6$ 이된다. $s_{i,j} = s_{j,i}$ 이므로 부품사이의 유사성 계수를 구해 그래프로 표시하면 그림 1과 같다.

대상 부품들을 두개의 그룹으로 계층적으로 분리하는 것은 그래프에서 proper cutset 을 제거함에 의해 두개의 서브그래프를 계층적으로 구하는 것과 동등하다.

그림 1에서 $F_1 = \{e_4, e_6, e_8\}$, $F_2 = \{e_3, e_5, e_6, e_8\}$, $F_3 = \{e_1, e_2, e_7, e_8\}$ 과 $F_4 = \{e_2, e_5, e_7, e_8\}$ 은 proper cutset의 예이다.

주어진 부품을 두가지 그룹으로 나누는 방법의 수는 유사성 그래프를 두개의 서브 그래프로 나누는 방법의 수와 같으며 그래프의 proper cutset의 총수와 같게 된다. 이중에서 가장 바람직한 방법은 같은 서브그래프

표 1. 기계-부품 행렬의 예

Table 1. An example of machine-component matrix

	components				
	1	2	3	4	5
m	1				1
a	2	1		1	1
c	3		1	1	
h	4	1		1	
i	5		1	1	1
n	6	1			1
e	7		1	1	
s	8	1		1	1

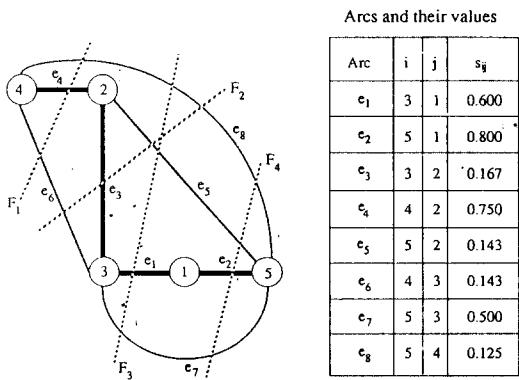


그림 1. 부품간 유사성 그래프

Fig. 1 Components similarity graph

에 속하는 부품사이에는 유사성이 크고, 서로 다른 서브그래프에 속하는 부품사이의 유사성은 작게 되는 방법이다.

F_j 를 proper cutset, $w(G)$ 를 그래프 G 내의 모든 아크값의 합이라고 하면 다음식이 성립한다.

$w(G) = w(G_{1,j}) + w(G_{2,j}) + v(F_j)$, 여기서 $G_{1,j}$ 와 $G_{2,j}$ 는 proper cutset F_j 를 제거해서 얻어지는 서브그래프이며 $v(F_j)$ 는 F_j 에 속하는 아크값의 합이다. 가능한 방법중에서 $w(G_{1,2})$, $w(G_{2,2})$ 의 값이 크고 $v(F_2)$ 의 값이 적은 것을 선택해야하므로 $c(F_j) = \text{Min}[w(G_{1,j}), w(G_{2,j})] - v(F_j)$ 를 그 기준으로 삼을 수 있다. 앞의 그림 예에서 $c(F_1) = \text{Min}[0, 2.21] - 1.018 = -1.018$, $c(F_2) = \text{Min}[0.75, 1.9] - 0.578 = 0.172$, $c(F_3) = \text{Min}[1.06, 0.8] - 1.368 = -0.568$, $c(F_4) = \text{Min}[1.66, 0] - 1.568 = -1.568$ 이므로 네가지 분할방법중 $c(F_j)$ 값이 가장 큰 F_2 에 의한 분할이 바람직하다. 따라서 계층분리 방법은 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

주어진 그래프 G 에 대해

$$\text{Maximize } c(F_j).$$

여기서 F_j 는 proper cutset이고

$$c(F_j) = \text{Min}[w(G_{1,j}), w(G_{2,j})] - v(F_j)]$$
이다.

그래프 G 의 모든 proper cutset을 찾아내어 최적해를 구하는 방법은 부품수가 증가하면 계산시간과 노력이 기하급수적으로 증가하게 되므로 그래프의 MST

(Maximum Spanning Tree)를 이용하는 발견적 방법이 본 저자들[16]에 의해서 제안된 바 있다. 이 방법의 개요는 부품유사성 그래프의 MST를 구해 MST에 속하는 아크를 단하나 포함하는 proper cutset(fundamental cutset)만을 대상으로 목적함수 값을 최대로 하는 것을 선택해 계층적으로 목적함수 값이 음이 될 때까지 분할해 간다.

목적함수값이 음이 되는 경우는 그 서브그래프에 속하는 부품들이 하나의 부품군을 구성하게 된다.

3-2 수치 예

표 2에 주어진 부품-기계행렬은 Chandrasekharan과 Rajagopalan[15]에 나타난 예이다. 이 예의 부품 사이의 유사성을 구해 이를 그래프로 표시하고 MST를 구하면 그림 2와 같다. 19개의 fundamental cutset 중 주어진 목적함수를 최대로 하는 것은 F_{11} 로 이에 의해 그래프는 $G^0_{1,11}$ 과 $G^0_{2,11}$ 로 분리된다.

$G^0_{1,11}$ 는 다시 분리되어 최종적으로 {1,5,10, 12, 15}와 {3,4,6,7,18,20}으로 구성되는 부품군을 형성하게 된다. 그래프 $G^0_{2,11}$ 를 분할하는 방법은 목적함수 값이 음이 되므로 더 이상 분할되지 않고 하나의 부품군을 구성하게 된다.

표 2. 기계-부품 행렬 [15]

Table 1. Machine-component matrix [15]

	components																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
a	2		1	1		1	1				1			1		1	1	1	1	1
c	3	1							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
h	4		1	1		1	1				1			1		1	1	1	1	1
i	5	1			1	1					1			1		1	1	1	1	1
n	6	1				1			1	1	1			1		1		1	1	1
e	7		1	1		1	1				1	1				1		1	1	1
s	8	1			1	1										1		1	1	1

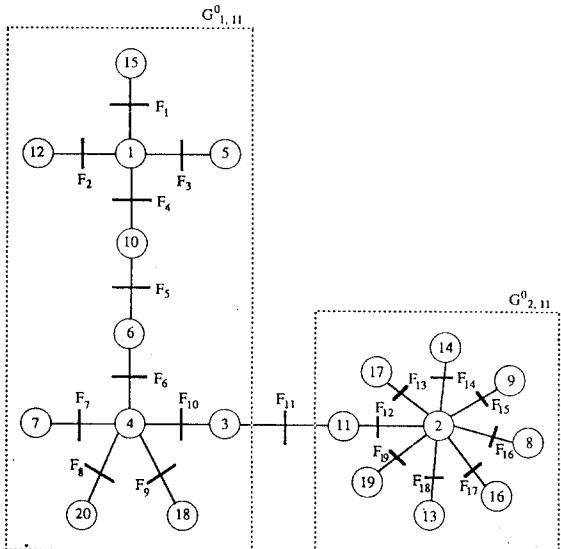


그림 2. 부품간 유사성 그래프의 MST 및 fundamental cutsets

Fig. 2 An MST and the corresponding fundamental cutsets

4. 가공셀 구성

부품군을 만든 후의 단계는 이 부품군을 가공할 기계들의 와 수를 결정하여 가공 셀을 만드는 것이다. 이때 착안해야 할 중요지침으로 Gallagher와 Knight는 1) 중요 기계(Key machine)의 이용율은 보조 기계보다 높게 유지해야 하며, 2) 가능한 한 많은 작업이 셀 내에서 이루어져야 하고, 셀사이의 이동을 줄여야 한다는 것을 지적하고 있다[17]. 1)을 중요기계 완전 가동원칙이라 하며 2)를 셀 사이의 기계부하 이동 최소화 원칙이라 한다.

구체적인 가공 셀 구성 절차는 다음과 같다.

1 단계 : 열처리 설비, 표면처리 설비등과 같이 기술적인 이유로 인해 셀에 할당될 수 없고 공용으로 이용해야 하는 설비를 찾아내 이들을 셀 구성대상 설비에서 제외시킨다.

2 단계 : 부품군 각각의 가공에 필요한 기계를 찾아낸다.

3 단계 : 한 부품군에만 사용되는 기계를 그 부품군 가공 셀에 할당한다. 여러 부품군에 사용되는 기계는 필요댓수를 계산해 할당 조정한다.

4 단계 : 기계들을 셀로 구성해 운영한다.

제3단계에서 중요 기계 완전가동원칙과 기계부하 이동 최소화 원칙이 준수될 수 있도록 필요 기계댓수를 할당하기 위한 수리 모델과 최적해를 구하는 방법은 다음과 같다.

4-1 기호의 정의

N = 부품군의 수

P_i = 부품군 i 에 속하는 부품 집합

M_i = 부품군 i 의 가공에 필요한 기계의 집합

T_j = 기계 j 의 년간 가용 시간

AM_j = 기계 j 의 총 댓수

$[x]^+$ = x 보다 큰 정수 중 가장 작은 정수

$[x]^-$ = x 보다 작은 정수 중 가장 큰 정수,

즉 $[x]^- \leq x \leq [x]^+$

d_k = 수요예측에 근거한 부품 k 의 년간 생산 예정량

$t_{j,k}$ = 부품 k 의 기계 j 에서의 가공 표준시간(분)

K_i = 기계 i 의 총 가용시간으로부터 유효 생산시간 을 산출하기 위한 부하 변환계수

4-2 수리 모델

부품군 i 를 가공하기 위한 중요 기계 j 의 순부하량

$NML_{i,j}$, 총부하량 $GML_{i,j}$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$NML_{i,j} = \sum_{k \in P_i} d_k \times t_{j,k} / 60 \quad (1)$$

$$GML_{i,j} = K_i \times NML_{i,j} \quad (2)$$

모든 부품 가공을 위한 기계 j 의 부하량은 현재의 보유 댓수로 처리가 가능하다고 가정해도 좋으므로 다음 식이 성립한다.

$$[\sum GML_{i,j} / T_j]^+ \leq AM_j \quad (3)$$

또한 부품군 i 에 필요한 기계 j 의 댓수는 다음과 같다.

$$NRM_{i,j} = [GML_{i,j} / T_j]^+ \quad (4)$$

이로부터 현재 기계 j 의 보유댓수와 필요댓수 사이에는 다음과 같은 두가지 경우가 발생하게 된다.

$$\text{경우 1} : \sum NRM_{i,j} \leq AM_j \quad (5)$$

$$\text{경우 2} : \sum NRM_{i,j} > AM_j \quad (6)$$

1의 경우, 현 보유댓수가 필요댓수를 초과하므로 기계 할당에 문제가 없고, 2의 경우에는 앞에서 언급한 두 가지 원칙에 따라 기계가 할당되어야 한다. 위의 식 3), 4), 6)과 다음 식 7)로부터 식 8)을 유도할 수 있다.

$$[GML_{i,j} / T_j]^+ \geq GML_{i,j} / T_j \geq [GML_{i,j} / T_j]^- \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum NRM_{i,j} &= [\sum (GML_{i,j} / T_j)^+] > AM_j \geq [\sum GML_{i,j} / T_j]^+ \\ &\geq \sum [GML_{i,j} / T_j]^- \end{aligned} \quad (8)$$

우선 각 부품군 i 에 기계 j 를 $NAM_{i,j} = [GML_{i,j} / T_j]$ 만큼 씩 할당하면 이들은 완전가동이 가능하다. 나머지 기계는 최대 가동과 기계 부하의 이동이 최소화되도록 할당되어야 하므로 다음과 같은 수리 모델을 작성할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min } & [(GML_{i,j})^+ - (GML_{i,j}/T_j)] X_{i,j} \\ & + ((GML_{i,j}/T_j) - [GML_{i,j}/T_j]) (1 - X_{i,j}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{s.t. } \sum X_{i,j} = AM_j - \sum NAM_{i,j} \quad (10)$$

$$X_{i,j} \in \{0, 1\}$$

변수 $X_{i,j}$ 는 기계 j 한대가 부품군 i 에 할당되면 1, 아니면 0값을 취하게 된다. 목적함수내의 $[(GML_{i,j})^+ - (GML_{i,j}/T_j)]$ 항은 기계 j 의 부품군 i 가공부하량을 초과하는 부하여유분이고 $((GML_{i,j}/T_j) - [GML_{i,j}/T_j])$ 항은 부하부족분으로 기계부하의 이동을 야기하게 된다. 남은 기계만이 할당 가능함은 식 10)에 의해 보장된다. 위의 수리 모델을 정리하면, 동일한 제약조건하에 목적함수가

$$\begin{aligned} \text{Min } & [(GML_{i,j}/T_j)^+ + (GML_{i,j}/T_j) - 2(GML_{i,j}/T_j)] X_{i,j} = \\ & \text{Min} [2[GML_{i,j}/T_j] + 1 - 2(GML_{i,j}/T_j)] X_{i,j} \end{aligned}$$

인 것과 동일하게 되어 다음의 절차에 의해 최적해를 구할 수 있다.

1) 계수 $(GML_{i,j}/T_j)^+ - [GML_{i,j}/T_j]$ 를 내림차순으로 배열한다. 결과를 (c_1, c_2, \dots, c_N) 라 하자.

2) 기계 j 의 남은 댓수를 (c_1, c_2, \dots, c_N) 순서대로 해당 부품군에 한대씩 할당하여 남지 않도록 한다.

이상의 절차를 모든 중요 기계에 대해 되풀이 한다.

중요기계가 아닌 경우는 대개 가격이 저렴하고 완전가동이 되지 않아도 좋으므로 부족한 경우에도 추가구입에 의해 필요댓수만큼 할당한다.

4-3 수치예

가공셀 구성과정을 Chandrasekharan과 Rajagopalan [15]에 나타난 예제에 표 3과 같은 표준시간(분)과 생산예정량을 가정하여 보이면 다음과 같다. 앞에서 설명한 계층분리 방법에 의한 부품군과 기계별, 부품군별 순부하량과 부하변환계수에 의한 총부하량이 표 4와 같이 계산된다. 각 부품군 i 에 기계 j 를 $[GML_{i,j} / T_j]$ 만큼 씩 할당하고 나머지 기계를 배분하기 위한 계산결과가 표 5에 주어져 있다. 이들로부터 앞에서 구한 남은 기계 배분절차에 따른 최종 결과는 표 6과

표 3. 기계 할당을 위한 기본 자료(총가용시간 2000시간/년)

Table3. Basic data for machine allocation

Component	k	P _n												AM _i
		3	4	6	7	8	0	2	8	9	3	4	1	
	2	10	28	7	54	17	15							.4
Machine	4	22	63	51	32	46	46							7
type	7	24	9	7	29	14	39							3
	8	42	10	48	25	34	36							5
j	1	74			57	42	18	10	42	33	51	7	30	9
	3				26	56	28	16	53	8	14	26	49	7
	6				40		54			29	25	27	60	57
	5				53				24	31	38	15	18	38
d _k		3	2	3	2	1	1	2	1	2	3	2	2	3
		5	0	4	7	7	2	5	8	7	1	0	4	4
		5	5	5	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

표 4. 부품군별 총 부하량과 순부하량

Table4. Gross and net machine loads for each part family

K _j	(3,4,6,7,18,20)			Part family (2,8,9,13,14, 16,17,19,11)			(1,5,10,12,15)				
	NML _{1,j}	GML _{1,j}	GM _{1,j} /T ₁	NML _{2,j}	GML _{2,j}	GM _{2,j} /T ₂	NML _{3,j}	GML _{3,j}	GM _{3,j} /T ₃		
2	1.04	4927	5124	2.56	1300	1352	0.68				
Machine	4	1.05	9322	9788	4.89			2108	2214	1.10	
type	7	1.07	3973	4251	2.13	650	696	0.35	222	237	0.12
	8	1.07	7823	8371	4.16						
j	1	1.07	4378	4685	2.34	11680	12498	6.25			
	3	1.05				11768	12356	6.18			
	6	1.03	133	137	0.07	1575	1622	0.81	8301	8550	4.28
	5	1.07	3048	3261	1.63	980	1049	0.52	5836	6244	3.12

표 5. 초기 기계 할당

Table5. First allocation of machines

AM _i	(3,4,6,7,18,20)			Part family (2,8,9,13,14, 16,17,19,11)			(1,5,10,12,15)			
	(GML _{1,i} /T ₁)	-(GML _{1,i} /T ₁)	(GML _{2,i} /T ₂)	-(GML _{2,i} /T ₂)	(GML _{3,i} /T ₃)	-(GML _{3,i} /T ₃)	(GML _{1,i} /T ₁)	-(GML _{1,i} /T ₁)	(GML _{2,i} /T ₂)	-(GML _{2,i} /T ₂)
2	4	2	0.56	0	0.68					
Machine	4	7	4	0.89			1		0.10	
type	7	3	2	0.13	0	0.35	0.	0.	0.12	
	8	5	4	0.16						
j	1	9	2	0.34	6	0.25				
	3	7			6	0.18				
	6	6	0	0.07	0	0.81	4		0.28	
	5	6	1	0.63	0	0.52	3		0.12	

표 6. 최종 기계 할당

Table6. Final allocation of machines

AM _i	(3,4,6,7,18,20)			Part family (2,8,9,13,14, 16,17,19,11)			(1,5,10,12,15)			
	2 + 1	0 + 1		4 + 1	0 + 1		2 + 1	6	6 + 1	4 + 1
Machine	4	7		4 + 1			1			
type	7	3	2	2	0 + 1					
	8	5		4 + 1						
j	1	9	2	2 + 1		6				
	3	7			6 + 1					
	6	6			0 + 1	4 + 1				
	5	6	1	1 + 1	0 + 1	3				

같다.

5. 해법의 평가

부품 그룹핑과 셀 구성 방안의 효율성은 정성적·정량적인 측면에서의 평가되어 하나 아직 그 기준이 마련되어 있지 않다. 특히 셀 구성시에 기계부하, 생산예정량등의 필요한 자료가 주어져 있지 않은 관계로 부품 그룹 형성에 관해서만 관련논문에서 발췌한 문제들에 대해 결과를 비교하여 제한적인 형태로 효율성을 평가하였다. 이를 요약하면 표 7과 같다. 이 표에서 제안된 방법은 상당히 효율적인 방법임을 알 수 있다.

표 7. 부품군 형성결과 비교

Table 7. Comparison of the results

문제	크기 기계수 X 부품수	결과
Ref[15]	8 X 20	동일
Ref[4]	20 X 35	동일
Ref[1]	16 X 43	개선가능
Ref[18]	문제 1 18 X 24 문제 2 28 X 46	동일 차이
Ref[5]	문제 1 7 X 5 문제 2 15 X 10 문제 3 15 X 10 문제 4 16 X 43	동일 동일 동일 개선가능
Ref[19]	문제 1 7 X 14 문제 2 30 X 40	2개부품차이 개선가능
Ref[7]	문제 1 9 X 15 문제 2 23 X 20	개선가능 동일 1개부품차이

(주) 결과중 '개선가능'은 형성된 부품군중 하나를 제외한 부품군은 동일하고 하나의 부품군을 세분할 수 있었음을 의미한다.

6. 결론

기계-부품 그룹핑을 위한 그래프 이론에 근거한 계층 분리적 클러스터링 방법과 셀 구성을 위한 수리모델이 개발되었다. 모든 가능한 부품군을 매겨 하는 방법에 의해 최적해를 찾을 수 있으나, 부품수가 증가하면 시간과 노력이 기하급수적으로 증가하게 되어 바람직하지 않으므로 효율적인 발견적 기법으로 본 인들에 대해서 개발된 방법이 예와 함께 제시되었다. 제안된 방법은 종전의 방법들과는 달리 식별해야 할 부품군의 수를 미리 정할 필요도 없고 부품군 형성과정을 판단할 필요도 없다.

또한 중요 기계 완전기동 원칙과 셀 사이의 기계부하 이동 최소화 원칙에 근거한 셀 구성방법을 제시하였다. 제안된 방법의 효용성을 평가하기 위해 문현상에 나타난 문제들에 대해 문현상의 기법에 의한 부품군과 본 논문에서 소개한 방법에 의한 부품군의 비교결과 상당히 유효한 방법임을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] King, J. R, and Nakornchai, V. (1982). Machine component group formation in group technology- review and extension. International Journal of Production Research, 20,117-133.
- [2] Burbidge, J. L.(1963). Production flow analysis Production Engineer, 42, 742-752.
- [3] De Beer, C., Eindhoven,T. H., De Witte, J., and Eindhoven,T.H.(1978). Production flow synthesis. Annals of C.I.R.P., 27, 389-392.
- [4] Chandrasekharan,M.P., and Rajagopalan, R.(1986). MODROC:an extension of rank order clustering for group technology. International Journal of Production Research, 24, 1221-1233.
- [5] Chan, H. M., and Milner, D. A. (1982). Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 1, 65-74.
- [6] McCormick, W. T., Schweitzer, P. J., and White, T. W. (1972). Problem decomposion and data reorg-anisation by a clustering technique. Operations Research, 20, 993-1009.
- [7] Kumar, K.R., Kusiak, A., and Vannelli, A.(1986). Groupingof parts and components in flexible manufacturing systems. European Journal of Operational Research, 24, 387-397.
- [8] Chandrasekharan, M.P.,and Rajagopalan,R. (1987). ZODIAC-an algorithm for concurrent formation of part-families and machine-cells. International Journal of Production Research,25, 835-850.
- [9] Co,H.C.,and Araar,A.(1988). Configuring cellular manufacturing systems. International Journal of Production Research, 26, 1511-1522.
- [10] Han,C.,and Ham,I.(1986). Multiobjective cluster analysis for part family formations. Journal of Manufacturing Systems, 5, 223-230.
- [11] Purcheck, G.F.K. (1985). Machine-Component Group Formation : An Heuristic Method for Flexible Cells and Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research,23,911-943.
- [12] McAuley,J.(1972).Machine grouping for efficient production. Production Engineer, 51, 53-57.
- [13] Seifoddini,H.,and Wolfe,P.M.(1986). Application of the similarity coefficient method in group technology. IIE Transactions, 18, 271-277.
- [14] Anderberg,M.R.(1973). Cluster Analysis for Applications, New York: Academic Press.
- [15] Chandrasekharan, M.P., and Rajagopalan, R. (1986). An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing. International Journal of Production Research, 24,451-464.
- [16] Lee, C. S., and Hwang, H. (1991)., Hierarchical Divisive Clustering Method for Machine-component Grouping Problems, Engineering Optimization,17, 65-78.
- [17] Gallagher, C. C., and Knight, J. A. (1973). Group Technology, London: Butterworth.
- [18] Carrie, A. S. (1973). Numerical taxonomy applied to group technology and plant layout. International Journal of Production Research,11,399-416.
- [19] Tabucanon, M. T., and Ojha, R. (1987). ICRMA- A heuristic approach for intercell flow reduction in cellular manufacturing systems. Material Flow, 4, 189-197.