Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 17, No. 1, June, 1991

유연생산시스템(FMS) 에서의 기계－부품그룹 형성기법

노인규* · 권혁천*

Machine-part Group Formation Methodology for Flexible Manufacturing Systems

In-Kyu Ro* and Hyuck-Chun Kwon*

Abstract

This research is concerned with Machine-Part Group Formation(MPGF) methodology for Flexible Manufacturing Systems(FMS).

The purpose of the research is to develop a new heuristic algorithm for effectively solving MPGF problem. The new algorithm is proposed and evaluated by 100 machine-part incidence matrices generated. The performance measures are (1) grouping ability of mutually exclusive block-diagonal form, (2) number of unit group and exceptional elements, and (3) grouping time. The new heuristic algorithm has the following characteristics to effectively conduct MPGF : (a) The mathematical model is presented for rapid forming the proper number of unit groups and grouping mutually exclusive block-diagonal form, (b) The simple and effective mathmatical analysis method of Rank Order Clustering(ROC) algorithm is applied to minimize intra-group journeys in each group and exceptional elements in the whole group.

The results are compared with those from Expert System(ES) algorithm and ROC algorithm. The results show that the new algorithm always gives the group of mutually exclusive block-diagonal form and better results(85%) than ES algorithm and ROC algorithm.

1. 서 론

오늘날 산업 현장에서의 제품생산 형태는 일정한 생산기간 동안 많은 종류의 제품을 소량으로 생산해야 하는 다품종 소량생산의 형태를 지향하고 있다. 이러한 생산 형태에서는 생산에 투입된 전체 기간에서 약 95%가 작업 준비시간, 공정간 운반시간, 그리고 대기시간 등으로 소비되고 있는 실정이다[3]. 이 때 전체적인 가공 대상작업에 그룹테크놀러지(group technology : GT)의 핵심인 기

* 한양대학교 공과대학 산업공학과

계－부품그룹 형성(machine-part group formation : MPGF) 기법을 통해 유사부품을 그룹화 함으로써 그룹내 가공수량(lot size)을 크게하고, 공정흐름 단순화를 유도할 수 있어 개별생산의 형태에서 대량생산의 효과를 기대 할 수 있다[1].

그리고 형성된 부품군에 알맞는 구룹별배치를 위해 최적의 기계셀을 구성시 유연생산시스템(Flexible Manufacturing Systems : FMS) 설비의 경우, 형성된 그룹의 정보가 공구저장함(tool magazine)의 공구 선정시 직접적인 정보로 이용되어 단일기능 기계의 고정설비 한계성을 용이하게 극복할 수 있다. 또한 FMS의 실제 운영 및 통제시 가공설비들은 한정된 수의 공구 꽂이 Slot(보통 30~60개)에 의해 가공대상 부품들은 제한받게 된다. 이 때 적절한 공구의 선택문제와 공구 꽂이 Slot에 공구 장착위치를 선정하기 위해, 형성된 단위그룹을 조밀(compact)하게 재 구성하여 상호 관련도가 높은것들을 인접하게 위치시켜 자동공구교환장치(Automatic Tool Changer : ATC)의 활용도를 극대화 할 수 있다.

현재까지 MPGF에 관련된 많은 연구가 발표되었는 데 이들은 유사계수(similarity coefficient)법, 조합(permutation)법, 그래프 이론, 수리계획법, Expert System 형 이론 등으로 크게 분류 할 수 있다.

유사계수법으로는 McAuley[3], 1985, pp.159-164]의 연구를 비롯하여 Witte[4], Waghodekar와 Sahu[5], Seifoddini와 Wolfe[6] 등의 연구가 있으며, 정 성진외[2]는 Hungarian 해법을 응용하여 생산량의 가중치를 고려한 해법을 발표하였다. 조합법으로는 King[7]의 ROC(rank order clustering) 해법, King과 Nakornchai[8]의 ROC2 해법, Chandrasekharan과 Rajagopalan[9]의 MODROC 해법, 그리고 McCormick외[10]의 Bond Energy 해법 등을 들 수 있다. 그래프 이론으로는 Rajagopalan과 Batral[11], Vannelli와 Kumar[12], Chandrasekharan과 Rajagopalan[13, 14] 등의 연구가 있다. 수리계획법으로는 Kumar 외[15]와 Kusiak[16] 등의 연구를 들 수 있다. Expert System 형 이론으로는 Kusiak[17, 18], Kusiak과 Chow[19] 등의 연구가 있다.

본 연구에서는 조합법인 ROC 해법과 Expert System 형(ES) 해법을 중점적으로 분석하고 이를 보완하여 효율적인 MPGF를 위한 발견적 해법을 개발하고자 한다. 그런데 King[7]의 ROC 해법은 초기 입력행렬 자료를 이용하여 각 행과 열을 정렬하는데 있어서 $O(m^2n+mn^2)$의 계산량(complexity)에 의한 2 Power Series로 반복되는 과다한 계산이 가장 큰 단점이다. 그리고 ES 해법은 적은 계산량($O(2mn)$)으로 상호 독립적(mutually exclusive)인 그룹을 형성하지만, 예외원소가 있는 경우 기대이상의 비대한 단위그룹을 형성하는 단점이 있다. 이러한 단점을 배제하기 위해 Kusiak[17], Kusiak과 Chow[19]는 각 기계셀의 최대기계댓수(N)를 초기에 제한하거나 혹은 외주비용을 고려하여 해결을 시도하였고, 이 때의 계산량은 $O(2mn+n \log n)$으로 나타난다. 따라서 본 연구에서는 기존의 ROC 해법과 ES 해법의 단점을 개선하여 보다 효율적이고 효과적인 MPGF를 위한 해법을 개발하고자 한다.

2. 모델의 선정

2-1. 전제조건

본 연구의 효과적인 기계－부품그룹 형성 및 그 활용을 위해 다음의 전제조건을 제시한다. (1) 공정경로정보(processing route information)를 근거로한 2진수로 구성된 초기입력행렬을 이용하여 그룹화 한다. (2) 형성된 부품군에 적합한 기계셀 구성 및 그룹별배치를 용이하게 할 수 있기 위해서 각 기계는 다종의 부품을 유연성있게 가공할 수 있는 범용기계인 FMS 설비로 한다. (3) 검토대상 기계는 고장이 없는 것으로 가정한다.

2-2. 기호의 정의

본 연구의 수리적 모델 전개에 필요한 기호들은 다음과 같이 정의된다.

A : $[a_{ij}]_{m*n}$으로 구성된 초기입력 행열

단, a_{ij}= 1 ; 부품 j가 기계 i에서 가공될 때
0 ; 다른 경우

A_k : 행렬 A의 k번째 Submatrix

i : 기계 지수(i=1, 2, …, m)

j : 부품 지수(j=1, 2, …, n)

k : 반복(iteration) 지수

h_i : i행에 작성되는(된) 횡선(horizontal line)

v_j : j열에 작성되는(된) 종선(vertical line)

$\lambda_i(\lambda_j)$: 행 i(열 j)에서 C_{ij}와 S_{ij}의 구성비율

G_k : MC_k와 PF_k로 구성된 k번째 단위그룹

MC_k : k번째로 형성되는 단위그룹의 기계셀(machine cell)

PF_k : k번째로 형성되는 단위그룹의 부품군(part family)

E(i, j) : a_{ij}=1 중에서 G_k 형성시 MC_k 및 PF_k의 i 및 j에 속하면서 그룹에 포함되지 못한 요소

C_{ij} : a_{ij}=1 중에서 h_i와 v_j가 교차(crossed)하는 경우의 a_{ij}(이 때, $\Sigma_j C_{ij}$ ($\Sigma_i C_{ij}$)는 i행(j열)에 대한 C_{ij}의 합을 나타냄)

S_{ij} : a_{ij}=1 중에서 h_i 혹은 v_j 하나만 그어지는 경우의 a_{ij}(이 때, $\Sigma_j S_{ij}$ ($\Sigma_i S_{ij}$)는 i행(j열)에 대한 S_{ij}의 합을 나타냄)

M_i : 기계 i에 할당된 부품수

M_o : $(M_{max}+M_{min})/2$로 구해지는 대표값

$M_{max}(M_{min})$: M_i의 최대값(최소값)

$DE_i(DE_j)$: 행 i(열 j)의 십진값(Decimal Equivalent Value)

$RO_i(RO_j)$: $DE_i(DE_j)$에 의해 결정되는 행 i(열 j)의 Rank order

2-3. 수리적 모델

본 연구에서는 ES 해법의 단점인 비대한 그룹 형성 결과를 방지하기 위하여 대표값 M_o와 평가척도 λ_i, λj 등을 도입하고, ROC 해법의 단점인 과다한 계산량에 대해서는 m 및 n의 크기를 크게 줄여서 적용할 수 있게하여 효율적으로 그룹을 형성 가능하게 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 구체적인 수리모델로써 i번째 기계에 할당된 부품수(M_i)와 M_i의 최대값(M_{max}) 및 최소값(M_{min}), 대표값(M_o) 그리고 이에 가장 근사한 값(M_i^*)과 각 단계 단위그룹에 포함여부를 판정하기 위한 평가척도인 구성비율(λ_i, λ_j)과 선택기준을 설정하고, 그리고 형성된 각 단위그룹을 정렬하기 위해 사용되는 각 행과 열의 십진값(DE_i, DE_j)과 이의 순위(RO_i, RO_j)를 구하는 방법을 3. 해법의 개발에서 제시하였다.

3. 해법의 개발

3-1. 대표값

ES 해법에서는 최기횡선(h_i^*)을 작성할 때 임의의 기계 i를 선택하므로, 많은 부품이 할당된 i가 선택 될 경우 결과적으로 비대한 그룹을 형성할 가능성을 내포하고 있다. 그러나 본 연구에서는 대표값 M_o를 정의하여 이에 가장 근사한 i^*를 선택하여 h_i^*를 작성하고, 중간 검증단계를 도입하여 비대한 그룹으로 형성될 가능성을 배제하였고 또한 예외원소를 최소화 할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 A행렬의 i번째 기계의 행벡터($A_{i\cdot}$)는 $[a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{in}]$이므로, 부품수와 최대값 및 최소값, 대표값, 그리고 이에 가장 근사한 값 등은 다음과 같이 구한다.

$$M_i = \Sigma_j\ a_{ij},\quad \text{for } \forall\, i \quad \cdots\cdots (1)$$

$$M_{max} = \max\{M_i\} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$M_{min} = \min\{M_i\} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$M_o = (M_{max}+M_{min})/2 \quad \cdots\cdots (4)$$

$$M_i^* = \min\{\,|M_o - M_i|\,\} \quad \cdots\cdots (5)$$

⋮

3-2. 평가척도(λ_i, λ_j)

중반단계에서는 각 단계에서 형성될 그룹에 포함시킬 가치여부를 판정하는 척도변수로 λ_i 및 λ_j를 정의하여 h_i와 v_j를 작성한 후에 이들 h_i에 대해 우선 λ_i를 계산하여 그 값이 0.5(즉 50%)보다 큰 값의 기계를 선택하며, 동일한 방법으로 v_j에 대한 λ_j를 계산하고 상기 조건을 만족하는 부품 j를 선택하여 현 단계 그룹에 포함시켜 그룹형성을 효율화 하였다.

$$\lambda_i = \frac{\Sigma_j C_{ij}}{\Sigma_j C_{ij} + \Sigma_j S_{ij}} = \frac{\Sigma_j C_{ij}}{\Sigma_j a_{ij}} \cdots\cdots (6)$$

$$\lambda_j = \frac{\Sigma_i C_{ij}}{\Sigma_i C_{ij} + \Sigma_i S_{ij}} = \frac{\Sigma_i C_{ij}}{\Sigma_i a_{ij}} \cdots\cdots (7)$$

$$h_i = \{i \mid \lambda_i > 0.5\} \cdots\cdots (8)$$

$$v_j = \{j \mid \lambda_j > 0.5\} \cdots\cdots (9)$$

3-3. 단위그룹 정렬

본 해법의 후반단계에서는 형성된 단위그룹을 대상으로 그룹내의 이동거리 최소화와 자동 공구교환장치(ATC)의 활용도를 극대화하기 위해 ROC 해법의 수리적 모델을 이용하여 정렬함으로써 조밀한 그룹을 형성한다. 그런데 ROC 해법에서는 2 Power Series의 지수형 계산을 반복하여 행과 열이 완전히 정렬되어 순위변동이 없을 때까지 수행됨으로 과다한 계산이 요구된다.

그러나 본 해법에서는 초기 입력행렬의 m, n Size를 절반 수준이하인 단위그룹의 m, n Size로 축소시킨 상태의 크기에서 ROC 해법을 적용할 수 있으며, 이때 형성된 각 단위그룹(G_k)을 정렬하기 위해 사용되는 각 행과 열의 십진값(DE_i, DE_j)은 다음과 같이 구한다. 이 때 i번째 행 벡터($A_{i\cdot}$)는 [$a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{in}$]이고, j번째 열벡터($A_{\cdot j}$)는 [$a_{1j}, a_{2j}, \cdots, a_{mj}$]^T 이므로,

$$DE_i = a_{i1} * 2^{(n-1)} + \cdots + a_{i(n-1)} * 2^1 + a_{in} * 2^0 \cdots\cdots (10)$$

$$DE_j = a_{1j} * 2^{(m-1)} + \cdots + a_{(m-1)j} * 2^1 + a_{mj} * 2^0 \cdots\cdots (11)$$

와 같으며 각 행과 열의 순위(RO_i, RO_j)는 십진값의 크기 순으로 결정된다.

3-4. 해법의 전개

[Step 0] k=1, A=A_k로 초기화 한다.

[Step 1] I=m(기계대수)으로 두고, M_i 및 M_o를 계산한다.

[Step 2] M_i 중에서 M_o에 가장 근사한 M_i^*의 i^*를 선택(해당 i^*가 둘이상이면 임의선택)하여 h_i^*를 작성하고, h_i^*와 $a_{ij}=1$이 만나는 모든 j에 V_j를 작성한다.

[Step 3] V_j와 $a_{ij}=1$이 만나는 모든 i에 h_i를 작성한다. 이 때 작성된 h_i의 총 개수가 I/2보다 많은가?

YES → GO TO Step 5, NO → GO TO Step 4

[Step 4] 작성된 모든 h_i 중에서 S_{ij}만을 색출하여 해당 j에 대해 추가로 v_j를 작성한다.

[Step 5] 각 각의 h_i에 λ_i를 계산하고 그 값이 0.5보다 큰 h_i만 선택한다.

[Step 6] 각 각의 v_j에 λ_j를 계산하고 그 값이 0.5보다 큰 v_j만 선택한다.

[Step 7] Step 5, 6에서 선택된 h_i와 v_j를 행렬 A에서 분리 시키고 지수(Index) 순으로 MC_k 및 PF_k를 구성한다. 이 때 MC_k 및 PF_k에 i혹은 j가 포함되면서 현단계 그룹에서 제외된 E(i, j)를 기억한다.

[Step 8] Step 7의 결과로 구성된 MC_k 및 PF_k의 단위그룹에 대해 DE_i 및 DE_j를 구한다. 그리고 이의 순위 RO_i 및 RO_j에 의거 내림차순으로 정렬하고 행과 열의 순위변동이 없을 때까지 이를 반복한다.

[Step 9] $A_k=A_{k+1}$을 구성하고 Step 1에서 Step 9까지 반복 수행한다. 이 때 $A_{k+1}=0$이면 끝내고 단위그룹의 k순으로 대각선 구조형태(diagonal form)로 전체행렬을 작성하면서 E(i, j)를 복귀한다.

3-5. 수치예제

본 연구의 해법을 Kumar의[15]의 행렬($A=[a_{ij}]_{9*15}$)을 초기입력행렬로 이용하여 전개하면 다음과 같다.

$$
A_1=\begin{array}{c}
\\ 1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\\9
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccccccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8&9&10&11&12&13&14&15\end{array}\\
\left[\begin{array}{ccccccccccccccc}
 & &1&1& & & &1&1&1& & &1& &1\\
 & &1& & & & &1&1& & &1&1& & \\
1& & & & & &1& & & & & & & & \\
 & & &1& &1& & & & &1& & & & \\
 &1& &1& & & &1&1&1& & &1& &1\\
 & & & & &1& & & & & & & &1& \\
 & & & &1& & & & & &1& & & & \\
 & & & &1& & & & & &1& & & & \\
 &1& & & & &1& & & & & & & &
\end{array}\right]
\end{array}
$$

* ITERATION 1

Step 0) [초기화] $k=1$, $A=A_1$

Step 1) [$I=9$, M_i 및 M_o 계산]

$M_1=M_5=7$,　$M_2=5$,　$M_3=M_6=M_7=M_8=M_9=2$, $M_4=3$

$M_o=(M_{max}+M_{min})/2=(7+2)/2=4.5$

Step 2) [i^* 선택, h_i^* 및 v_j 작성]

$M_2=5$가 $M_i^*=0.5$로써 최소이므로 $i^*=2$가 초기 선택.

Step 3) [h_i작성] h_1, h_5 연계작성

이 때, $I=9$에서 $I/2=4.5$이고 h_i의 갯수는 3개이므로 Step4)로 간다.

Step 4) [추가 v_j 작성] v_2, v_4, v_{10}, v_{15}

$$
\begin{array}{cc}
\\ h_1&1\\h_2&2\\&3\\&4\\h_5&5\\&6\\&7\\&8\\&9\\ \\
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccccccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8&9&10&11&12&13&14&15\end{array}\\
\left[\begin{array}{ccccccccccccccc}
 & &1&1& & & &1&1&1& & &1& &1\\
 & &1& & & & &1&1& & &1&1& & \\
1& & & & & &1& & & & & & & & \\
 & & &1& &1& & & & &1& & & & \\
 &1& &1& & & &1&1&1& & &1& &1\\
 & & & & &1& & & & & & & &1& \\
 & & & &1& & & & & &1& & & & \\
 & & & &1& & & & & &1& & & & \\
 &1& & & & &1& & & & & & & &
\end{array}\right]\\
\begin{array}{ccccccccccccccc} &v_2&v_3&v_4& & & &v_8&v_9&v_{10}& &v_{12}&v_{13}& &v_{15}\end{array}
\end{array}
$$

Step 5) [λ_i계산] λ_1, λ_2 그리고 λ_5

$\lambda_1=7/7(7+0)=1$, $\lambda_2=5/(5+0)=1$, $\lambda_5=7/(6+1)=1$

$\therefore h_i=h_1$, h_2, h_5

Step 6) [λ_j계산] λ_2, λ_3, λ_4, λ_8, λ_9, λ_{10}, λ_{12}, λ_{13} 그리고 λ_{15}

$\lambda_2=1/(1+1)=0.5$, $\lambda_3=\lambda_{10}=\lambda_{15}=2/(2+0)=1$

$\lambda_4=2/(2+1)=0.67$, $\lambda_8=\lambda_9=\lambda_{13}=3/(3+0)=1$

$\lambda_{12}=1/(1+0)=1$

$\therefore v_j=v_3$, v_4, v_8, v_9, v_{10}, v_{12}, v_{13}, v_{15}

Step 7) [단위행렬 G_1 구성]

$$
\begin{array}{cc}
 & \\ MC_1 & \begin{array}{c}1\\2\\5\end{array}
\end{array}
\begin{array}{c}
PF_1\\
\begin{array}{cccccccc}3&4&8&9&10&12&13&15\end{array}\\
\left[\begin{array}{cccccccc}
1&1&1&1&1& &1&1\\
1& &1&1& &1&1& \\
1& &1&1&1& &1&1
\end{array}\right]
\end{array}
\begin{array}{l}
E(4,4),\\ E(5,2)\\ :\text{기억}
\end{array}
$$

Step 8) [행과 열의 순위결정]

1) DE_i ; $DE_1=251$, $DE_2=182$, $DE_5=123$

$\therefore RO_1=1$, $RO_2=3$, $RO_5=3$; 변동없음

2) DE_j ; $DE_3=6$, $DE_4=DE_{10}=DE_{15}=5$, $DE_8=DE_9=DE_{13}=7$, $DE_{12}=2$

$\therefore RO_8=RO_9=RO_{13}=1$, $RO_3=4$, $RO_4=RO_{10}=RO_{15}=5$, $RO_{12}=8$

결국, $G_1=$

$$
\begin{array}{cc}
 & \\ MC_1 & \begin{array}{c}1\\2\\5\end{array}
\end{array}
\begin{array}{c}
PF_1\\
\begin{array}{cccccccc}8&9&13&3&4&10&15&12\end{array}\\
\left[\begin{array}{cccccccc}
1&1&1&1&1&1&1& \\
1&1&1&1& & & &1\\
1&1&1& &1&1&1&
\end{array}\right]
\end{array}
\begin{array}{l}
E(4,4),\\ E(5,2)
\end{array}
$$

Step 9) [A_2 작성]

$$
A_2=
\begin{array}{c}
\\ 3\\4\\6\\7\\8\\9
\end{array}
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccc}1&2&5&6&7&11&14\end{array}\\
\left[\begin{array}{ccccccc}
1& & & &1& & \\
 & & &1& &1& \\
 & & &1& & &1\\
 & &1& & &1& \\
 & &1& & &1& \\
 &1& & &1& &
\end{array}\right]
\end{array}
$$

* ITERATION 2

Step 1) A_2에 대한 M_i는 모두 2, $M_o=2$ 이므로 i^*는 임의 선택($i^*=3$)되고, Step2부터 Step8까지 수행하면 G_2는 다음과 같다.

$$G_2=\quad \begin{array}{cc} & PF_2 \\ & \begin{array}{ccc} 7 & 1 & 2 \end{array} \\ MC_2 \begin{array}{c} 3 \\ 9 \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & \\ 1 & & 1 \end{bmatrix} \end{array} \quad E(i, j) : \text{없음}$$

Step 9) [A_3 작성]

$$A_3=\quad \begin{array}{cc} & \begin{array}{cccc} & & 1 & 1 \\ 5 & 6 & 1 & 4 \end{array} \\ \begin{array}{c} 4 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \\ & 1 & & 1 \\ 1 & & 1 & \\ 1 & & 1 & \end{bmatrix} \end{array}$$

* ITERATION 3

Step 1) A_3에 대한 M_i는 모두 2, $M_o=2$ 이므로 i^*는 임의 선택($i^*=4$)되고, Step2부터 Step8까지 수행하면 G_3는 다음과 같다.

$$G_3=\quad \begin{array}{cc} & PF_3 \\ & \begin{array}{cccc} 1 & & & 1 \\ 1 & 5 & 6 & 4 \end{array} \\ MC_3 \begin{array}{c} 7 \\ 8 \\ 4 \\ 6 \end{array} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & & \\ 1 & 1 & & \\ 1 & & 1 & \\ & & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \quad E(i, j) : \text{없음}$$

Step 9) [A_4 작성] $A_4=0$ 이므로 끝내고 전체행렬을 작성한다.

이 때 E(4, 4), E(5, 2)복귀된다.

		PF₁								PF₂			PF₃			
		8	9	13	3	4	10	15	12	7	1	2	11	5	6	14
MC₁	1	1	1	1	1	1	1	1								
	2	1	1	1	1				1							
	5	1	1	1		1	1	1				1				
MC₂	3									1	1					
	9									1		1				
MC₃	7												1	1		
	8												1	1		
	4					1							1		1	
	6														1	1

4. 해법의 평가

개발한 해법의 전반단계에서는 단위그룹 형성을 위해 ES 해법의 신속한 그룹형성 능력을 응용하면서 동시에 비대 그룹형성의 잠재특성은 새로운 수리적 모델을 제시하여 해결하였다. 후반단계에서는 그룹내의 이동거리를 최소화하기 위해 이미 형성된 단위그룹을 대상으로 ROC 해법의 단순하고 효율적인 수리적 분석방법을 응용하여 조밀(compact)하게 재구성 하였다.

기계－부품 그룹형성에 관한 문제는 NP-Complete 유형으로 큰 규모(large scale)의 문제를 해결하기 위해서는 발견적 해법이 효과적인 방법으로 이용되고 있다[18, 19]. 그러나 이러한 발견적 해법의 효율성을 평가하는 절대적인 방법은 없는 실정이다. 따라서 개발한 해법의 효율성을 평가하기 위해 입력자료의 초기입력행렬을 관련 논문과 도서에서 발췌(30%)하거나 난수를 발생시켜 작성(70%)한 100개의 샘플행렬(sample matrix)을 ES 해법, ROC 해법, 그리고 개발한 해법에 각각 이용하여 프로그램을 실행시켜 구한 결과로 평가하였다. 개략적인 결과는 도표와 같다.

결국 ES 해법은 그룹내의 이동거리를 최소화할 수 있는 조밀한 그룹을 제공하지 못하고, 최적수준의 N을 입력하는 수준에 따라 그룹의 효율이 크게 좌우되었다. 즉 N을 큰 수준으로 결정시 비대한 그룹이 형성되고, 적은 수준으로 결정시 해당그룹에 포함될 가치가 있으면서도 N의 제약으로 타그룹에 포함되면서 유사성 정보를 상실하게 되거나, 예외원소로 취급되어 예외원소가 과다하게 발생하였다. 더우기 최적수준을 결정한 상태에서도 예외원소의 수는 개발한 해법이 약 85%의 경우에서 적게 나타났다.

한편 ROC 해법은 과다한 계산량과 Sparse Data로 구성된 행렬에 대해서는 상호독립적인 대각구조형태로 그룹을 구성하지 못하는 큰 단점이 있으며[9],

	ES 해법	ROC 해법	본 연구 해법
계 산 방 법	h_i와 v_j의 교차특성 이용	2 Power Series로 $2^{(m-1)}$, $2^{(n-1)}$까지 반복계산	두가지 해법 절충
계산량	0(2mn) 0)2mn＋nlogn)	$0(m^2n+mn^2)$	$0(1/8(m^2n+mn^2))$ (단, 92%의 경우)
장 점	적은 계산량으로 그룹형성	비교적 안정되고 조밀한 그룹형성	안정되고 조밀한 그룹형성
단 점	· N의 최적 수준 결정곤란 · N의 수준에 의해 그룹효율 좌우	· 과다한 계산량 · Sparse Data의 경우 상호 독립된 그룹 형성 불가	두가지 해법의 단점을 해소한 반면, 계산량은 중간수준
예 외 원 소 영 향	기대 이상의 비대한 그룹 형성	Mutually Exclusive Diagonal Group 구성 불가	E(i, j)로 처리 후 복귀하므로 영향 없음

2 Power Series로 계산시 관련되는 기계 및 부품의 크기를 자체 크기로 적용하는 반면, 개발한 해법에서는 약 92%의 경우가 절반이하로 감축된 상태에서 ROC 해법을 효과적으로 적용할 수 있었다.

본 해법에서는 전반단계에서 신속하게 상호독립적인 대각구조형태가 형성되고, 이를 대상으로 후반단계에서 조밀한 그룹을 제공하는 장점이 있다.

5. 결　　론

본 연구에서는 FMS의 효율을 최대화하기 위해 GT의 개념을 활용하였고, GT의 개념을 활용할 때 GT의 핵심인 부품군 형성을 위해서 초기입력 행렬을 이용한 기계－부품 그룹형성에 대한 발견적 해법을 개발하였다.

개발한 해법은 어떠한 나쁜형태(ill-structured)의 초기입력행렬인 경우에도 항상 상호독립적인 대각구조형태의 그룹을 형성하였고, 동시에 그룹내의 이용거리를 최소화해주는 조밀한 그룹형성 결과를 신속하게 제공하였다.

참고문헌

[1] 조규갑(역), K. Hitomi(저). 생산시스템공학, 희중당, 서울, 1986.

[2] 정성진, 박진우, 김재윤, "Machine-Part Group Formation for FMS Planning and Operation," 경영과학, Vol. 4, pp. 76-83. 1987.

[3] Ham, I., Hitomi, K., and Yoshida, T., *Group Technology*. Ch, 2, Kluwer-Nijhoff Pub, Boston, 1985.

[4] Witte, J.D., "The Use of Similarity Coefficient in Production Flow Analysis," *Int.J.Prod.* Res, Vol. 18, No. 4, pp. 503-14. 1980.

[5] Waghodekar, P.H., and Sahu, S., "Machine-Component Cell Formation in GT," *Int.J. Prod.Res*, Vol. 22, No. 6, pp.937-48. 1984.

[6] Seifoddini, H., and Wolfe, P.M., "Application of the Similarity Coefficient Method in GT," *IIE trans.*, pp.271-7, Sep., 1986.

[7] King, J.R., "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis : an Approach Using ROC Algorithm," *Int.J.Prod.Res*, Vol. 18, No. 2, pp.213-32, 1980.

[8] King. J.R., and Nakornchai, V., "Machine-Component Group Formation in Group Technology : Review & Extension," *Int.J.Prod.Res*, Vol. 20, No. 2, pp.117-33, 1982.

[9] Chandrasekharan, M.P. and Rajagopalan, R., "MODROC : An Extension of ROC for GT," *Int.*J.Prod.Res, Vol. 24, No. 5, pp.1221-33, 1986.

[10] McCormick, W.T., Schweitzer, P.J., and White, T.E., "Problem Decomposition and Data Reorganization by Clustering Technique," *Oper.Res.*, Vol. 20, pp.993-1009, 1972.

[11] Rajagopalan, R., and Batra, J.L., "Design of Cellular Production Systems : a Graph-Theoretic Approach," *Int.*J.*Prod.Res*, Vol. 13, No. 6, pp.567-79, 1975.

[12] Vannelli, A., and Kumar, K.R., "A Method for Finding Minimal Bottleneck Cells for Grouping Part-Machine Families," *Int.J.Prod.Res*, Vol. 24, No. 2, pp.387-400. 1986.

[13] Chandrasekkharan, M.P., and Rajagopalan, R., "An Ideal Seed Non-Hierarchial Clustering Algorithm for Cellular Manufacturing," *Int.J. Prod.Res*, Vol. 24, No. 2, pp.451-64, 1986.

[14] Chandrasekharan, M.P., and Rajagopalan, R., "ZODIAC-An Algorithm for Concurrent Formation of Part-Families and Machine-Cells," *Int.J.Prod.Res*, Vol. 25, No. 6, pp.835-50, 1987.

[15] Kumar, R.K., Kusiak, A., and Vannelli, A., "Grouping of Parts and Components in FMS," *Europ.J.Prod.Res*, Vol. 24, pp.387-97, 1984.

[16] Kusiak, A., "The Generalized Group Technology Concept," *Int.*J.Prod.Res, Vol. 24, No. 4, pp.561-9, 1987.

[17] Kusiak, A., "An Expert System for Group Technology," *IE*, pp.56-61, Oct, 1987.

[18] Kusiak, A., "EXGT-S : A Knowledge Based System for Group Technology," *Int.*J.*Prod. Res*, Vol. 26, No. 5, pp.887-904, 1988.

[19] Kusiak, A., and Chow, W.S., "Efficient Solving of the GT Problem," *Journal of Manufacturing systems*, Vol. 6, No. 2, pp.117-24, 1987.