

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

셀제조시스템 설계를 위한 부품-기계 셀의 형성기법

조 규 갑*, 이 병 욱**

A Method of Component-Machine Cell Formation for Design of Cellular Manufacturing Systems

Kyu-Kab Cho*, Byung-Uk Lee**

ABSTRACT

The concept of cellular manufacturing is to decompose a manufacturing system into subsystems, which are easier to manage than the entire manufacturing system. The objective of cellular manufacturing is to group parts with similar processing requirements into part families and machines into cells which meet the processing needs of part families assigned to them. This paper presents a methodology for cell formation based on genetic algorithm which produces improved cell formation in terms of total moves, which is a weighted sum of both intercell moves and intracell moves. A sample problem is solved for two, three and four cells with an approach based on genetic algorithms.

Key Words : Cellular Manufacturing(셀제조), Cell Formation(셀형성), Genetic Algorithm(유전알고리즘).

1. 서 론

셀제조(Cellular Manufacturing, CM)는 제조시스템을 보다 효율적으로 운영하기 위해서 몇개의 하위시스템으로 분할하려는 개념이다. 셀제조는 목적은 유사한 가공요구사항을 갖는 부품들로 구성된 부품군(Part Family)과 각 부품군의 가공요구를 충족시키는 기계들로 구성된 기계셀(Machine Cell)로 이루어진 제조셀(Manufacturing Cell)을 형성하는 것이다.

제조셀 형성기법으로 생산흐름분석의 개념이 Burbidge⁽¹⁾에 의해 처음으로 제안된 이래 여러가지기법들이 제안되었다. 배열-기반 클러스터링기법은 입력자료로 부품-기계 행렬(component-machine incidence matrix)을 사용하고, 초기행렬이 대각블록형태를 취할 때까지 반복적으로 행과 열을 재배열한다. 두가지의 전형적인 배열-기반 클러스터링기법으로 ROC(Rank Order Clustering)와 DCA(Direct Clustering Algorithm)가 있다^(2,3).

* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소, 정밀정형 및 금형가공연구소

** 부산대학교 기계기술연구소 자동화연구소

유사계수(similarity coefficient)에 기초한 접근방법은 각 기계(또는 부품)쌍 사이의 유사성척도(similarity measure)와 그들을 기계셀(또는 부품군)로 그룹화하기 위해 명시된 역치값(threshold value)을 사용한다. 유사계수를 이용한 알고리즘은 계층적알고리즘과 비계층적알고리즘의 두가지 범주로 분류되며, SLC(Single Linkage Clustering)와 ALC(Average Linkage Clustering) 알고리즘은 대표적인 계층적 알고리즘의 예이다^(4,5).

Vohra et al.⁽⁶⁾은 최소의 셀간 이동(intercell moves)을 갖는 제조셀을 형성하기 위해 네트워크 접근방법을 제안했다. 가공시간을 포함하는 부품-기계 행렬은 최소의 셀간 이동을 알기 위해 수정된 Gomory-Hu 알고리즘을 사용함으로써 계속해서 분할된 네트워크로 표현된다.

수리계획법은 대개 문제의 크기가 커짐에 따라 계산의 복잡성이 문제가 된다. Dahel과 Smith⁽⁷⁾는 셀제조시스템에 있는 기존의 제조시설을 인식하기 위해서 0-1 정수계획 모델을 제안했다. 0-1 정수계획은 기계용량과 셀크기의 제약하에서 셀간 이동을 최소화한다.

Kaparthi와 Suresh⁽⁸⁾는 그룹테크놀러지에 있어 부품-기계 그룹화문제에 대한 신경망 클러스터링방법을 제안하였고, Chu⁽⁹⁾는 셀형성문제를 풀기 위해 competitive learning 알고리즘에 기초한 신경망 절차를 개발했다.

Venugopal과 Narendran⁽¹⁰⁾은 셀형성문제를 셀간 이동량(volume of intercell moves)의 최소화와 셀내 부하변동합(total within cell load variation)의 최소화라는 두가지 목적함수를 고려하는 수리적인 모형으로 표현하였고, 이 문제를 풀기위해 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 사용하였다. Hon과 Chi⁽¹¹⁾는 제조셀의 수와 제조셀의 크기(하나의 셀에 포함된 기계대수와 부품수의 합)의 제약하에서, 예외요소의 수를 최소로 하는 제조셀의 형성결과를 얻기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. Gupta et al.⁽¹²⁾은 주어진 수준의 기계활용도(Machine Utilization)를 만족하면서 셀간 이동과 셀내 이동(intracell move)의 가중합을 최소화하는 제조셀을 형성하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다.

이상에서 고찰한 대부분의 제조셀형성방법은 대개 부품-기계 행렬을 입력자료로 사용한다. 이것은 하나의 가공경로를 갖는 부품이 거치는 각 공정을 처리할 수 있는 기계가 단지 하나만 존재한다는 의미이다. 그러나 실제로 하나의 공정을 처리할 수 있는 기계가 유일하게 하나만 존재하지는 않는다. 따라서 보다 유연한 제조셀의 형성을 위해서는 각 부품이 거처야 할 공정에 대해 대안기계를

고려함으로써 다수의 가공경로를 갖게 하는 것이 바람직할 것이다. 이영광 외⁽¹³⁾는 부품-공정 행렬과 기계-공정 행렬을 입력자료로 사용하여 대안기계를 고려함으로써, 예외요소가 발생하지 않는 셀형성결과를 얻을 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 그러나 이들은 제조셀의 크기나 기계셀 내의 기계대수가 제한을 받게 되어 예외요소가 발생하는 경우에 대해서는 고려하지 않았을 뿐만 아니라, 제조셀의 수가 주어지고 예외요소를 발생시키지 않는 셀형성 결과가 둘 이상 존재할 경우, 어떤 결과를 선택해야 하는지에 대한 명확한 기준을 제시하지 않았다.

본 연구에서는 부품-공정 행렬(component-operation incidence matrix)과 기계-공정 행렬(machine-operation incidence matrix)을 입력자료로 사용하며, 대안기계를 고려하여 유연한 제조셀을 형성하고, 또 제조셀의 크기나 기계셀 내의 기계대수가 제한을 받는 경우 다수의 셀형성결과에 대한 합리적인 선택을 할 수 있도록 유전 알고리즘을 사용하여 셀간 이동과 셀내 이동의 가중합이 최소로 되는 제조셀의 형성기법을 개발하였다.

2. 문제의 정의

대부분의 제조셀형성 알고리즘은 부품-기계 행렬을 사용하는데, 부품-기계 행렬 A는 '0'과 '1'의 요소값을 갖는 $m \times p$ 행렬(단, m 은 기계대수, p 는 부품수)이다. 행렬 A에서 행 i 와 열 j 에 있는 요소값 a_{ij} 가 '1'인 경우는 부품 j 가 기계 i 에서 가공됨을 의미하고, '0'의 값을 갖는 경우는 그렇지 않음을 의미한다. 부품군과 그에 대응하는 기계셀을 형성함에 있어, 요소값 '1'이 행렬의 대각영역에 집중되는 대각블록형태의 결과를 갖도록 유도하는 것이 중요하다. 왜냐하면 이렇게 함으로써 제조셀의 형성시에 발생하는 '예외요소(exceptional element)'를 최소화할 수 있기 때문이다. 예외요소란 두개의 독립된 기계셀 간의 상호작용을 야기시키는 것으로서 두 개 이상의 부품군 가공에 필요한 애로기계(bottleneck machine)와 두 개 이상의 기계셀에서 가공되어야 하는 예외부품(exceptional part)을 의미한다. 이러한 예외요소는 '셀간 이동(intercell moves)'을 야기함으로써 제조시스템의 생산성 향상을 저해하므로 예외요소를 최소화하는 것은 제조시스템에서 중요한 역할을 한다. 그러므로 대부분의 접근방법은 최소의 예외요소를 갖는 셀을 형성하기 위한 효과적인 셀형성기법의 개발에 초점을 맞춘다.

본 연구에서는 제조셀의 수, 제조셀의 크기 및 하나의

기계셀에 포함된 기계대수 등의 제약을 갖는 제조셀형성 문제에 있어, 예외요소를 야기하는 셀간 이동 뿐만 아니라 하나의 기계셀 내에서 부품이 가공되기 위해 거쳐야 할 기계의 대수를 나타내는 셀내 이동(intracell moves)까지도 고려함으로써, 보다 유연한 제조셀의 형성이 가능하도록 했다. 본 연구에서 제조셀을 형성하기 위해 사용하는 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\text{Min } T_M = \omega \sum_{j=1}^p (N_j - 1) + (1 - \omega) \sum_{l=1}^c \sum_{j=1}^p (M_{jl} - 1) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} \geq 1 \quad (j = 1, \dots, p) \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n y_{ik} \geq 1 \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^p u_{jl} = 1 \quad (j = 1, \dots, p) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{il} = 1 \quad (i = 1, \dots, m) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^p u_{jl} + \sum_{i=1}^m v_{il} \geq C_L \quad (l = 1, \dots, c) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^p u_{jl} + \sum_{i=1}^m v_{il} \leq C_u \quad (l = 1, \dots, c) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{il} \geq M_L \quad (l = 1, \dots, c) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{il} \leq M_U \quad (l = 1, \dots, c) \quad (9)$$

T_M : 셀간 이동과 셀내 이동의 가중합

ω : 셀간이동에 대한 중요도를 나타내는 정규화된 가중치 ($0 \leq \omega \leq 1$)

P : 부품의 수

m : 기계의 대수

c : 제조셀의 수

n : 공정의 수

N_j : 부품 j 가 가공요구사항을 완전히 충족시키기 위해 거쳐야 할 제조셀의 수

M_{jl} : 부품 j 가 가공요구사항을 부분적으로나 완전히 충족시키도록 계획된 셀 l 에 있는 기계의 최소대수

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } j \text{가 공정 } k \text{를 거칠때} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 공정 } k \text{를 처리할 수 있을 때} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

C_L : 셀크기의 하한

단, 셀크기는 하나의 셀에 있는 기계대수와 부품수의 합이다.

C_U : 셀크기의 상한

M_L : 하나의 기계셀에 포함된 기계대수의 하한

M_U : 하나의 기계셀에 포함된 기계대수의 상한

$$u_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } j \text{가 셀 } l \text{에 속할때} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

$$v_{il} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 셀 } l \text{에 속할때} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

식 (1)에서 목적함수 T_M 은 주어진 부품-기계셀에 대한 셀간 이동과 셀내 이동의 가중합을 계산한다. 식 (2)는 부품 j 가 가공요구사항을 충족시키기 위해 거쳐야 할 공정이 하나이상임을 나타내고, 식 (3)은 기계 i 가 하나 이상의 공정을 처리할수 있음을 나타낸다. 식 (4)와 (5)는 부품 j 와 기계 i 가 단지 하나의 셀에만 속함을 명시한다. 식 (6)과 (7)은 셀 l 에 속한 부품과 기계 대수의 합, 즉 제조셀 크기의 하한과 상한에 대한 제약이고, 식 (8)과 (9)는 셀 l 에 속한 기계 대수의 하한과 상한에 대한 제약이다.

본 연구에서 사용된 모델은 형성될 제조셀의 수, 제조셀의 크기에 대한 제약을 고려한다. 이러한 의사결정사항은 일반적으로 하나의 셀에 할당될 기계대수, 현장의 물리적인 제약 등과 같은 요인에 따라 결정된다.

3. 제조셀형성문제에 대한 유전 알고리즘의 적용

GA는 1975년 Holland에 의해 처음으로 소개되었으나, 그 개념은 최근에 많은 문제에 대해 광범위하게 이용되어오고 있는 실정이다. GA는 수학, 의학 및 공학 등 많은 분야에서 탐색(search), 최적화(optimization) 및 기계학습(machine learning)을 위해 사용되어 왔다⁽¹⁴⁾. GA는 복잡한 탐색공간에서 글로벌 최적화(global optimization)를 추구하는 탐색기법이기때문에, 매우 효율적이고 유연한 것으로 판명되어 왔다. GA는 생태계의 적자생존 및 유전법칙에 바탕을 둔 발전적 탐색기법으로 최적화하고자 하는 목적함수에 대한 임의의 후보해들(candidate solutions)의 집단(population)으로부터 출발하여 유전법칙을 적용함으로써 진화·발전시켜 가는 반복적인

과정을 거치는 알고리즘이다. 최적화할 대상 목적함수의 한 후보해는 하나의 string으로 부호화되어 표현되며, 다수의 string들이 모여 집단 P(t)를 형성하게 된다. 주어진 집단이 존재하는 시점을 그 집단의 세대(generation)라 부르며, 각 세대에 존재하는 string의 수를 집단크기(population size)라고 한다. 매 세대마다 후보해의 집단은 선택(selection), 재결합(recombination; crossover와 mutation으로 구성), 평가(evaluation)의 세 단계를 거친다. 평가단계에서는 집단 P(t)에 있는 각 string을 적합함수(fitness function)의 값으로 평가한다. 이러한 적합함수값을 그 string의 적합도(fitness)라고 하는데, 적합도는 그 string의 상대적 우열정도에 대한 정보를 지닌다. GA의 일반적인 알고리즘은 Fig. 1과 같다.

```

procedure GA
begin
  t=0;
  initialize P(t);
  where P(t) is the population at time t
  evaluate structures in P(t);
  while (termination condition not satisfied) do
  begin
    t=t+1;
    select P(t) from P(t+1);
    recombine structures in P(t);
    evaluate structures in P(t);
  end
end
    
```

Fig. 1 Principle of Genetic Algorithm

제조셀형성문제에 유전 알고리즘을 적용하기 위해서 고려해야할 유전알고리즘의 몇가지 구성요소에 사용되는 기호는 다음과 같다.

(기호 설명)

- N = 집단 크기
- T = 최대 세대수
- Mi = 기계 i(i=1,...,m)
- Pj = 부품 j(j=1,...,p)
- P(t) = 세대 t에서의 부품-기계셀 string 집단(t=1,...,T)
- Ci(t) = 세대 t에서 집단 P(t)에 존재하는 i번째 부품-기계셀 string(i=1,...,N)
- gi(t) = 세대 t에서 string Ci내에 존재하는 부품-기계

셀 유전정보로서, 부품이나 기계가 속한 셀의 번호를 의미(j=M1,...,Pp)
 즉, Ci = (gi(M1) ... gi(Mm) gi(P1) ... gi(Pp))

3.1 string의 표현

임의의 최적화문제에 GA를 적용시키는 첫번째 단계는 주어진 문제를 string으로 표현하는 적당한 표현체계를 설계하는 것이다. 이러한 표현체계는 문제에 종속적이며, 유일한 것은 아니다. 제조셀형성문제에서 string의 표현이 의미하는 것은 기계와 부품이 속하는 셀의 구조이며, string의 길이는 기계의 대수와 부품의 수를 합한 값인 'm+p'가 된다. 예를 들면, 기계가 4대이고, 부품이 5개인 경우 string의 길이는 '9(=4+5)'이며, string C1=(1-2-1-2-1-2-1-2-2)가 의미하는 것은 C1(기계 1이 속한 셀의 번호-기계 2가 속한 셀의 번호-기계 3이 속한 셀의 번호-기계 4가 속한 셀의 번호-부품 1이 속한 셀의 번호-부품 2가 속한 셀의 번호-부품 3이 속한 셀의 번호-부품 4가 속한 셀의 번호-부품 5가 속한 셀의 번호)임을 나타낸다. 따라서 기계 1, 3과 부품 1, 3이 셀 1에 속하고, 기계 2, 4와 부품 2, 4, 5가 셀 2에 속한다는 의미이다.

3.2 집단초기화

일단 표현체계가 결정되면, 두번째 단계는 string들의 집단을 초기화하는 것이다. 집단초기화의 과정은 집단을 임의로 생성하는 것(randomly-created population)과 문제에 맞게 생성하는 것(well-adapted population) 등 두가지가 있다. 본 연구에서는 string들의 초기집단을 임의로 생성했다.

3.3 적합함수

적합함수(fitness function)는 본질적으로 문제에 대한 목적함수(objective function)와 같은 의미이다. 즉 이것은 string의 질을 평가하는 수단을 제공한다. 문제에 대한 목적함수값이 좋을수록 string에 대한 적합도(fitness)가 높은 우수한 string임을 알 수 있다. Goldberg⁽¹⁶⁾는 목적함수를 적합함수로 변환하는 여러가지 방법을 제안했다. 일반적으로 목적함수 g(t)가 최소화문제인 경우 최대화문제인 적합함수 f(t)로 변환하기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하여 적합함수를 구한다.

$$f(t) = \begin{cases} F^{\max} - g(t), & g(t) < F^{\max} \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

단, F^{\max} 는 임의의 큰 양의 정수

그런데 본 연구에서 모형화된 문제는 제약식을 갖는 최적화문제이므로, 제약식을 위반하지 않는 것이 매우 중요하다. 따라서 제약식을 갖는 문제를 제약식을 갖지 않는 문제로 변환시키기 위해서 penalty 기법을 이용하여 목적함수 $g(t)$ 를 다음과 같이 $g'(t)$ 로 변환하였다.

$$g'(t) = g(t) + P$$

단, P 는 제약식을 위반함에 따라 부과되는 *penalty* 따라서, 본 연구에서 사용하는 적합함수는 다음의 식과 같다.

$$f(t) = \begin{cases} F^{\max} - g'(t), & g'(t) < F^{\max} \text{ 인 경우} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases} \quad (10)$$

단, F^{\max} 는 임의의 큰 양의 정수

3.4 재생산

재생산(Reproduction)은 개별 string들이 자신들의 적합함수값 $f(t)$ 에 따라 복제되는 과정이다. 자신들의 적합도에 따라 string을 복제한다는 것은 높은 적합도를 갖는 string이 다음 세대에서 하나 이상의 자손을 발생시킬 확률이 더 높다는 것을 의미한다. 따라서 각 string은 목적함수의 값이 좋을수록 적합도가 높게 되어 많은 수의 자기 복제를 허용함으로써, 다음 세대에 그 세력이 확장된다.

3.5 유전 연산자

한 세대에서 다음 세대로의 새로운 해 탐색을 위해 사용되는 기본적인 유전 연산자(genetic operator)인 교배와 돌연변이에 대해 설명한다. 교배(Crossover)란 재생산이후 변화된 세력판도 하에서 집단내의 string들이 교배확률에 따라 무작위적으로 쌍을 짓게 한후, 쌍들이 서로 일부 bit string을 교환하게 함으로써 새로운 쌍의 string을 생성하게 하는 것으로, 본 연구에서는 두 개의 교차점(crossover point)을 갖는 교배를 수행한다. 즉 두 개의 부모 string C_1, C_2 가 주어졌을 때, 두 개의 교차점 r_1, r_2 를 임의로 선택한 다음, 아래의 규칙에 따라 자손 string C_3, C_4 를 생성하는 것이다.

$$C_1 = (g_{1(1)} - g_{1(2)} - \dots - g_{1(n)}), \quad C_2 = (g_{2(1)} - g_{2(2)} - \dots - g_{2(n)}) \text{ 일때}$$

$$C_3 = (g_{2(1)} - \dots - g_{2(r_1-1)} - g_{1(r_1)} - \dots - g_{1(r_2)} - g_{2(r_2+1)} - g_{2(n)})$$

$$= \begin{cases} C_1, & r_1 \leq j \leq r_2 \text{ 인 경우} \\ C_2, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

$$C_4 = (g_{1(1)} - \dots - g_{1(r_1-1)} - g_{2(r_1)} - \dots - g_{2(r_2)} - g_{1(r_2+1)} - g_{1(n)})$$

$$= \begin{cases} C_2, & r_1 \leq j \leq r_2 \text{ 인 경우} \\ C_1, & \text{그밖의 경우} \end{cases}$$

예를 들어, $C_1=(1-2-2-3-1-2-1-3)$, $C_2=(1-1-2-1-3-3-2-2)$ 이고, $r_1=2$, $r_2=5$ 인 경우, $C_3=(1-1-2-3-1-3-2-2)$, $C_4=(1-2-2-1-3-2-1-3)$ 이다(Fig. 2).

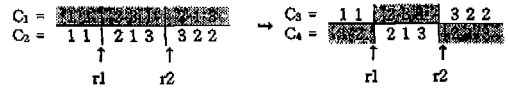


Fig. 2 An example of two-point crossover operation

돌연변이(Mutation)란 집단에 무작위성을 부여하기 위해 string내의 임의의 한 bit를 돌연변이확률에 따라 다른 값으로 변화시키는 것으로, 탐색의 방향이 지나치게 무작위적으로 바뀌지 않도록, 매우 낮은 확률로 적용된다. 예를 들어, string이 (1-1-2-1-3-3-2-2)이고 4번째 bit string이 '1'에서 '3'으로 돌연변이가 발생할 경우, string은 (1-1-2-3-3-2-2)가 된다(Fig. 3).

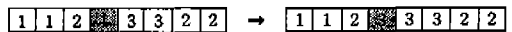


Fig. 3 An example of mutation operation

3.6 대체전략

대체전략(replacement strategy)이란 이전 세대에 있는 string들 중에서 현 세대의 집단에 있는 string보다 높은 적합도를 갖는 것은 현 세대의 집단에 있는 낮은 적합도를 갖는 string과 대체하자는 전략을 말한다. 이 전략을 사용하는 이유는 교배나 돌연변이로 인하여 가장 좋은 string이 사라지는 일이 없도록 하고자 함에 있다. 본 연구에서는 이전 세대에서 가장 높은 적합도를 갖는 string을 현 세대의 집단에서 가장 낮은 적합도를 갖는 string과 대체하는 "엘리트전략(elitist strategy)"을 사용한다.

3.7 적합도 조정

적합도 조정(fitness scaling)은 다음의 두가지 경우에서 생기는 불이익을 제거하는데 효과적인 역할을 한다. 첫째, GA 실행의 전반부에 집단내에 양질의 string이 극소수 존재할 수도 있다. 정상적인 선택규칙을 고수한다면, 양질의 string이 전체 집단에서 큰 비중을 차지하게 되고, 조기수렴을 야기하게 될 것이다. 둘째, GA 실행의 후반부에서 집단의 평균적합도가 집단의 최고적합도와 매우 가깝게 될 때, 평균적인 string과 최고의 string이 차세대에 거의 같은 수의 복사본을 얻게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 적합도 조정을 사용하여 GA의 실행 초반에는 개별 string 간의 커다란 적합도 차이를 둔감시키고, 실행 중반에는 개별 string 간의 조그마한 적합도 차이를 민감하게 반영하도록 하였다. 본 연구에서 사용한 적합도 조정은 다음과 같은 선형조정(linear scaling) 방법이다.

$$f' = \alpha f + \beta$$

단, f = 본래의 적합함수
 f' = 조정된 적합함수

$$f_{\min} > \frac{\alpha f_{\text{avg}} - f_{\max}}{a - 1} \text{ 인 경우, } \begin{cases} \alpha = \frac{\alpha f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} \\ \beta = f_{\text{avg}} \frac{f_{\max} - \alpha f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} \end{cases}$$

$$\text{그 밖의 경우, } \begin{cases} \alpha = \frac{f_{\text{avg}}}{f_{\text{avg}} - f_{\max}} \\ \beta = -\frac{f_{\min} f_{\text{avg}}}{f_{\text{avg}} - f_{\min}} \end{cases}$$

단 f_{\max} = 적합도의 최대값
 f_{avg} = 적합도의 평균값
 f_{\min} = 적합도의 최소값
 a = 상수

3.8 매개변수값의 결정

교배확률(probability of crossover, Pc), 돌연변이확률(probability of mutation, Pm), 집단크기(population size, Ps), 최대세대수(maximum number of generations, T) 및 대체전략 등과 같은 매개변수와 정책들의 결정은 GA의 성공적인 수행에 매우 결정적인 역할을 한다. 이러한 매개변수값과 정책의 결정은 전형적으로 문제에 의존하며, 실험적으로 결정된다. 또한 제조셀

매개변수인 제조셀의 수, 제조셀의 크기 및 기계셀에 포함될 기계 대수 등에 대한 결정은 현장의 상황에 가장 부합하는 방향으로 의사결정권자에 의해 정해진다. 본 연구에서는 GA 매개변수값과 제조셀 매개변수값을 다양하게 변화시켜가면서 실험을 수행함으로써, 보다 유연한 제조셀형성결과를 얻을 수 있게 하였다.

4. GA를 이용한 셀형성기법과 적용

4.1 셀형성기법의 절차

본 연구에서 제안하는 ... GA를 이용한 제조셀형성기법의 절차는 다음과 같다(Fig. 4).

(단계 1) 초기화 ... GA 매개변수값의 결정, 제조셀 매개변수값의 결정 및 집단초기화

- ① 집단크기(Ps), 최대세대수(T), 교배확률(Pc) 및 돌연변이확률(Pm)값 결정.
- ② 부품-공정 행렬과 기계-공정 행렬의 각 요소값을 읽어 들임.
- ③ 제조셀수(c), 제조셀크기의 상·하한(Cu, Cl), 기계셀에 포함될 기계 대수의 상·하한(Mu, Ml)값 결정.
- ④ 집단크기가 Ps인 초기집단을 생성하고 oldpop이라 명명함.
- ⑤ 식 (10)을 사용하여 각 string의 적합도를 계산
- ⑥ 현 세대수 G를 '1'로 지정(즉 G=1).

(단계 2) 재결합(Recombination) ... 집단 oldpop에 재결합 연산을 적용

- ① Pc의 확률로 교배연산을 적용
- ② Pm의 확률로 돌연변이연산을 적용.
- ③ 각 string의 적합도를 계산

(단계 3) 대체(Replacement) ... 집단 oldpop에 대해 대체 전략을 적용시켜 새로운 집단 newpop을 생성

- ① 집단 oldpop내에서 가장 높은 적합도를 갖는 string을 best_old로 명명함.
- ② 현 세대에서 가장 낮은 적합도를 갖는 string을 worst_pop로 명명함.
- ③ string best_old와 worst_pop을 서로 교환하여 새로운 집단 newpop를 생성

(단계 4) 종료조건 점검 ... 다음 세대로 진화를 계속할 것 인지를 결정하기 위해 현 세대를 평가

- ① 세대수 $G < T$ 이면, 현재 집단이 oldpop이 되고, 세대수를 $G=G+1$ 로 증가시킨 다음 단계 2로 간다.
- ② 세대수 $G \geq T$ 이면, 종료. 현재 집단에서 가장 높은 적합도를 갖는 string이 최적해가 된다

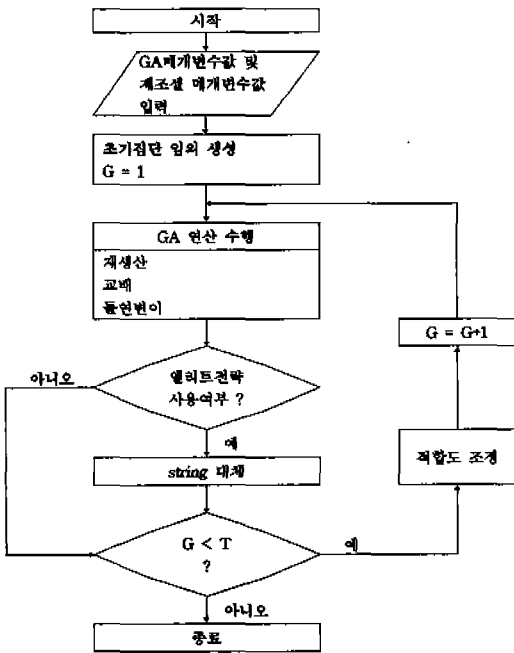


Fig. 4 Flowchart of the GA used for manufacturing cell formation

대안기계를 고려한 제조셀형성기법의 문제점은 같은 수의 예외요소를 갖는 셀형성의 결과가 둘이상 존재할 때, 이들 중 단지 하나의 결과만을 "임의로" 받아들인다는 것이다. 그러므로 최소예외요소를 갖는 셀형성 결과가 둘이상 존재할 때 대안 결과들 중 보다 나은 결과를 선택하기 위한 평가최도의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해 셀간 이동과 셀내 이동의 가중함을 최소화하는 제조셀형성결과를 선택하는 방안을 제시한다. 또한 현장 상황의 잦은 변화에 유연하게 대처하기 위해서 형성될 제조셀의 수, 제조셀의 크기에 대한 상한과 하한 및 기계셀에 포함될 기계대수의 상한과 하한을 고려함으로써 보다 현실적인 제조셀을 형성할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안된 알고리즘은 SUN Sparc 20에서 C언어로 프로그래밍하여 수행하였다.

4.2 셀형성기법의 적용

제안된 알고리즘의 수행도를 평가하기 위해서 8대의 기계, 10개의 부품 및 8개의 공정으로 구성된 부품-공정 행렬과 기계-공정 행렬을 고려한다(Fig. 5의 (a)와 (b))⁽¹³⁾. 주어진 입력자료에 대해 GA 매개변수값과 제조

셀 매개변수값에 따른 제안된 알고리즘의 적용결과들이 Table 1과 Table 2에 요약되어 있다.

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

(a) part-operation matrix

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

(b) machine-operation matrix

Fig. 5 Part-operation matrix and machine-operation matrix used for input data

제조셀형성문제의 탐색공간에서 고려할 수 있는 string의 수는 c^{m+p} (단, c 는 제조셀의 수)개로서 제조셀의 수 c 가 커질수록 증가하므로, P_s 값은 제조셀의 수가 '2개인 경우($P_s=50$)' 보다 '3개 또는 4개인 경우($P_s=100$)'가 더 크다. P_c 및 P_m 의 값은 실험을 통해 참고문헌 (14)에서 제안한 값인 '0.6'과 '0.001'을 그대로 사용하였다⁽¹⁴⁾. 제조셀 매개변수 중 C_u 와 C_L 및 M_u 와 M_L 의 값은 문제의 크기(부품의 수와 기계의 대수)와 형성될 제조셀의 수에 따라 결정된다. 문제의 크기가 커질수록 C_u 와 C_L 및 M_u 와 M_L 의 값도 커지게 되고, 형성될 제조셀의 수가 많아질수록 C_u 와 C_L 및 M_u 와 M_L 의 값은 작아지게 된다. 일반적으로 예외요소에 의해 야기되는 셀간 이동이 셀내 이동보다 목적함수 T_m 값에 더 많은 영향을 주기때문에, ω 의 값은 주로 '0.7'을 사용한다. 그렇지만, ω 값은 현장상황에 대한 의사결정권자의 판단에 따라 '0'과 '1'사이의 어떠한 값이라도 가질 수 있다. 대체전략(Elitist)의 값이 '0'인 경우는 대체전략을 사용하지 않았음을 나타내고, '1'인 경우는 대체전략을 사용하였음을 나타낸다.

Table 1은 제조셀의 수가 각각 2, 3, 4개로 정해져 있을 때, 제안된 알고리즘을 적용하기 위해 실험에서 사용한 GA 매개변수 P_s , T , P_c 및 P_m 의 값과 제조셀 매개변수 C_u , C_L , M_u , M_L 및 ω 의 값을 상세히 보여주며, 이들의 각기 다른 값에 대한 목적함수 T_m 의 값을 나타낸다. 총이동량 T_m 은 제조셀의 수에 관계없이 '2.4'의 값을 갖는데, 이것은 셀내 이동이 8번 존재하고 셀간이동은 존재하지 않기 때문이다.

Table 2에서는 참고문헌 (13)에서 제시한 결과를 본 연구의 결과와 비교하기 위해 함께 나타내었다. 이들이 제시한 결과는 제조셀의 수가 '2'개인 경우는 총이동량이 ' $T_m=2.4$ '로 제안된 알고리즘의 결과와 동일하지만, 제

Table 1. GA parameters and manufacturing cell parameters used for experiments

대계변수		제조셀의 수 = 2		제조셀의 수 = 3		제조셀의 수 = 4	
		실험 1	실험 2	실험 3	실험 4	실험 5	실험 6
제조셀의 크기제한	C ₀	10	11	7	8	6	6
	C ₁	8	7	5	4	4	4
기계대수의 제한	M ₁	4	5	3	4	2	2
	M ₂	4	3	2	2	2	2
가중치	w	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
집단크기	P ₀	50	50	100	100	100	100
최대세대수	T	20	20	10	10	20	20
교배확률	P _c	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
돌연변이확률	P _m	0.001	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005
대체전략	Elitist	0	0	1	1	1	1
총이동량	T _M	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
예외요소수	Excepts	0	0	0	0	0	0

Table 2. Manufacturing cell formation results of experiments

셀수	실험	제조셀	기계셀	부품군	T _M
1	1	1	m1, m2, m4, m6	p3, p6, p7, p9	2.4
		2	m3, m5, m7, m8	p1, p2, p4, p5, p8, p10	
	2	1	m1, m4, m8	p3, p5, p7, p8	2.4
*	1	m1, m3, m5, m6, m7	p1, p2, p4, p6, p9, p10	2.4	
	2	m2, m4, m7, m8	p4, p5, p8, p9	2.4	
3	1	1	m2, m3, m8	p4, p5	2.4
		2	m1, m4	p2, p3, p6, p7, p8	
		3	m5, m6, m7	p1, p9, p10	
4	1	1	m2, m3, m6	p5, p8	2.4
		2	m1, m4	p2, p3, p4, p6, p7	
		3	m5, m7, m8	p1, p9, p10	
*	1	m6, m7	p1, p3, p7, p10	3.0	
	2	m1, m2, m8	p2, p6		
	3	m3, m4, m5	p4, p5, p8, p9		
5	1	1	m5, m6	p1, p4, p8	2.4
		2	m7, m8	p2, p10	
		3	m1, m2	p3, p7, p9	
		4	m3, m4	p5, p6	
6	1	1	m5, m7	p4, p8	2.4
		2	m2, m8	p2, p6, p8, p9	
		3	m3, m4	p1, p10	
		4	m1, m5	p3, p7	
*	1	m1, m8	p1, p8	3.0	
	2	m4, m6	p2, p6		
	3	m5, m7	p4, p5, p9		
	4	m2, m3	p3, p7, p10		

* manufacturing cell formation results of reference(13)

조셀의 수가 '3'개와 '4'개인 경우는 총이동량이 'T_M=3.0'으로 본 연구에서 제안된 알고리즘의 결과 보다 좋지 않다. Table 2에서 나타내지는 않았지만 총이동량이 '2.4'이면서 제조셀형성결과가 다른 대안결과들이 다수 존재한다. 그러나 이것은 예제의 입력자료에서 주어지는 현대의 기계가 처리할 수 있는 공정의 수, 부품의 수 및 기계의 대수에 의존하므로 Table 2에 제시하지 않았다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 예제에 적용시켜본 결과, 대안기계를 고려함으로써 부품이 다수의 가공경로

를 가질 수 있게 되었고, 이를 바탕으로 예외요소의 감소는 물론 총이동량을 최소화함으로써 제조생산성을 크게 향상시킬 수 있는 제조셀을 형성할 수 있게 되었다. 아울러 제조셀의 크기 및 기계셀 내의 기계의 대수에 대한 제한을 가할 수 있도록 함으로서, 보다 현실적인 제조셀의 형성이 가능하게 하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 유전 알고리즘에 의한 부품군-기계셀 동시형성기법에 대한 새로운 접근방법을 제안하였다. 입력자료는 대안기계를 고려할 수 있도록 부품-공정 행렬과 기계-공정 행렬을 고려하였고, 제조셀형성을 위한 목적함수로는 셀간 이동과 셀내 이동의 가중합을 사용하였다. 제안된 알고리즘은 기존의 다른 알고리즘을 이용한 제조셀 형성결과 보다 더 현실적인 해를 갖기 위해 제조셀의 크기 및 기계대수에 제한을 가했다. 또한 제안된 알고리즘은 예외요소수의 측면에서 동일한 결과가 둘이상 존재할 경우, 다른 제조셀형성기법들이 임의로 어느 한 결과를 임의로 선택하는 것과는 달리 총이동량(셀간 이동과 셀내 이동의 가중합)을 최소로 하는 결과를 선택함으로써 합리적인 의사결정이 가능하게 한다.

REFERENCES

1. Burbidge, J.L., "Production Flow Analysis for Planning Group Technology", Journal of Operations Management, Vol.10, No.1, pp.5-27, 1992.
2. King, J.R., "Machine-component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm", International Journal of Production Research, Vol.18, No.2, pp.213-232, 1980.
3. Chan, H.M., and Milner, D.A., "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacture", Journal of Manufacturing Systems, Vol.1, No.1, pp.65-75, 1982.
4. Gupta, T., and Seifoddini, H., "Production Data Based Similarity Coefficient for Machine-component Grouping Decisions in

- the Design of a Cellular Manufacturing System", International Journal of Production Research, Vol.28, No.7, pp.1247-1269, 1990.
5. Gupta, T., "Design of Manufacturing Cells for Flexible Environment Considering Alternative Routeing", International Journal of Production Research, Vol.31, No.6, pp.1259-1273, 1993.
 6. Vohra, T., Chen, D.S., Chang, J.C., and Chen, H.C., "A Network Approach to Cell Formation in Cellular Manufacturing", International Journal of Production Research, Vol.28, No.11, pp.2075-2084, 1990.
 7. Dahel, N.-E., and Smith, S.B., "Designing Flexibility into Cellular Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol.31, No.4, pp.933-945, 1993.
 8. Kaparthi, S., and Suresh, N.C., "Machine-component Cell Formation in Group Technology: a Neural Network Approach", International Journal of Production Research, Vol.30, No.6, pp.1353-1367, 1992.
 9. Chu, C.-H., "Manufacturing Cell Formation by Competitive Learning", International Journal of Production Research, Vol.31, No.4, pp.829-843, 1993.
 10. Venugopal, V., and Narendran, T.T., "A Genetic Algorithm Approach to the Machine-Component Grouping Problem with Multiple Objectives", Computers and Industrial Engineering, Vol.22, No.4, pp.469-480, 1992.
 11. Hon, K.K.B., and Chi, H., "A New Approach of Group Technology Part Families Optimization", Annals of the CIRP, Vol.43, No.1, pp.425-428, 1994.
 12. Gupta, Y.P., Gupta, M.C., Kumar, A., and Sundram, C., "Minimizing Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing: A Genetic Algorithm Approach", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.8, No.2, pp.92-101, 1995.
 13. 이영광, 윤창원, 정병희, "대체 가공경로를 갖는 FMS에서 예외적 요소가 존재하지 않는 최대수의 셀 형성방법", 대한산업공학회지, Vol.20, No.2, pp.51-64, 1994.
 14. Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.