

# 유전 알고리즘에 기초한 제조셀의 설계

조 규 갑\*, 이 병 옥\*

## Design of Manufacturing Cell based on Genetic Algorithm

Kyu-kab Cho\*, Byung-uk Lee\*

### ABSTRACT

In this study, a design approach based on genetic algorithm is proposed to solve the manufacturing cell design problem considering alternative process plans and alternative machines. The problem is formulated as a 0-1 integer programming model which considers several manufacturing parameters, such as demand and processing time of part, machine capacity, manufacturing cell size, and the number of machines in a machine cell. A genetic algorithm is used to determine process plan for each part, part family and machine cell simultaneously.

**Key Words :** Manufacturing Cell(제조셀), Alternative Process Plans(대안공정계획),  
Alternative Machines(대안기계), Genetic Algorithm(유전알고리즘)

### 1. 서 론

셀 제조(cellular manufacturing)는 제조공정의 유사성에 의해서 그룹화된 부품군(part family)에 속하는 부품들을 생산하는데 필요한 기계셀(machine cell)들로 구성된 제조셀(manufacturing cell)에서 부품을 제조하는 시스템이다. 셀 제조는 작업준비시간의 감소, 공정 중 재고의 감소, 작업시간의 단축, 공간활용도의 증가 및 생산계획과 스케줄링의 단순화 등과 같은 이점을 갖는다. 셀 제조시스템의 구현을 위해서는 부품군과 기계셀의 형성을 의미하는 제조셀의 설계가 중요한 과제이다<sup>(1)</sup>.

제조셀의 설계문제에 대한 접근방법으로는 Burbidge가 제안한 생산흐름분석(Production Flow Analysis,

PFA)과 같은 시스템적 방법<sup>(2)</sup>, ROC<sup>(3)</sup>와 DCA<sup>(4)</sup> 등의 클러스터링(clustering) 알고리즘, 유사성계수방법<sup>(5, 6)</sup>, 수리계획법<sup>(7, 8, 9, 10)</sup>, 발견적기법<sup>(11, 12, 13)</sup>, 전문가시스템 및 인공지능을 이용한 접근방법<sup>(14, 15, 16)</sup> 등이 있다. 제조셀 설계에 대한 기존의 대부분의 접근방법들은 부품의 대안공정계획, 임의의 공정을 처리할 수 있는 기계들의 집합을 의미하는 대안기계, 부품의 가공시간, 부품의 수요 및 기계의 생산능력 등과 같은 보다 현실적인 고려사항 하에서는 충분히 잘 적용되지 않는다. 그러나 Kusiak<sup>(7)</sup>, Sundaram와 Doshi<sup>(8)</sup>, Hwang와 Ree<sup>(9)</sup>, 그리고 Adil 외<sup>(10)</sup> 등은 대안공정계획을 고려한 제조셀 설계기법을 제안하였으나, 부품의 가공시간, 기계의 생산능력, 부품의 수요 등의 사항에 대해 고려하지 않았다. Logendran 외<sup>(11)</sup>는

\* 부산대학교 산업공학과

제조셀 설계에서 같은 형식의 기계대수의 결정 및 각 부품에 대한 하나의 공정계획의 선택만을 다루었을 뿐, 각 제조셀에 대한 부품군과 기계셀의 할당을 다루지 않았다. Hon과 Chi<sup>(17)</sup>는 제조셀의 수와 기계셀의 크기 제약하에서 예외요소의 수를 최소화 하는 제조셀을 형성하기 위하여 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 이용하였고, Gupta 외<sup>(18)</sup>는 주어진 수준의 기계활용도(machine utilization)를 만족하면서 셀간 이동(intercell moves)과 셀내 이동(intracell moves)의 가중합을 최소화 하기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. 그러나 이들은 부품의 대안공정계획과 공정별 대안기계에 대한 고려를 하지 않았다.

제조셀의 설계에서 부품의 대안공정계획 및 임의의 공정을 처리할 수 있는 기계들의 집합을 의미하는 대안기계, 부품의 수요, 기계의 생산능력, 각 부품에 대한 특정한 공정의 대안기계별 가공시간(또는 비용), 제조셀의 크기(제조셀에 속하는 기계셀 또는 부품군의 수), 기계셀의 크기(기계셀에 포함된 기계대수) 등을 고려한 제조셀 접근방법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 대안공정계획 및 대안기계, 부품의 수요 및 기계의 생산능력, 대안기계별 공정의 처리시간, 제조셀 및 기계셀의 크기 등을 고려하여 부하를 평준화하는 제조셀의 설계문제에 대한 0-1 정수계획 모델을 개발하였다. 이 문제를 해결하기 위하여 대규모의 문제를 풀이 하는데 성공적으로 응용되어 온 유전 알고리즘을 사용하였다.

## 2. 제조셀 설계문제의 수리모형

이 장에서는 부품에 대한 공정계획의 선정과 부품군 및 기계셀의 동시형성에 대한 수리모형에 대해서 고찰한다. 수리모형의 개발에서 목적함수는 기계셀에 속하는 기계들의 평균부하와 각 기계의 부하 사이의 편차의 합, 기계의 생산능력을 초과하는 부하의 합, 모든 기계에 대한 평균부하 등의 가중합으로 표현되고, 고려한 사항은 대안공정계획 및 대안기계, 부품의 수요 및 기계의 생산능력, 대안기계별 공정의 처리시간, 제조셀 및 기계셀의 크기 등이다.

본 연구에서 대상으로 하는 제조셀 설계문제에 대한 수리모형의 개발에 도입한 가정은 다음과 같다.

- (1) 각 부품의 수요가 알려져 있다.
- (2) 각 기계의 생산능력이 알려져 있다.

(3) 각 부품의 해당 공정이 특정한 기계에서 처리되는데 필요한 시간이 알려져 있다.

(4) 각 부품에 대한 대안공정계획이 알려져 있다.

(5) 공정별 대안기계가 알려져 있다.

(6) 제조셀 및 기계셀의 크기가 알려져 있다.

### 〈 기호정리 〉

$m$	제조셀을 구성하는 모든 기계의 대수
$i$	기계 인덱스( $i=1, \dots, m$ )
$p$	제조셀을 구성하는 모든 부품의 개수
$j$	부품 인덱스( $j=1, \dots, p$ )
$np(j)$	부품 $j$ 의 대안공정계획의 수
$r$	공정계획 인덱스( $r=1, \dots, np(j)$ )
$n$	모든 공정의 수
$k$	공정 인덱스( $k=1, \dots, n$ )
$nc$	제조셀의 크기(제조셀에 속하는 기계셀 또는 부품군의 수)
$c$	기계셀 또는 부품군의 인덱스( $c=1, \dots, nc$ )
$d_j$	부품 $j$ 의 수요
$CA_i$	기계 $i$ 의 생산능력
$UMc$	기계셀 $c$ 에 속하는 기계대수의 상한
$U_{ic}$	$= \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 기계셀 } c \text{에 속하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$
$V_{jc}$	$= \begin{cases} 1, & \text{부품 } j \text{가 부품군 } c \text{에 속하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$
$PP_{jr}$	$= \begin{cases} 1, & \text{부품 } j \text{가 공정계획 } r \text{을 사용해서 가공될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$
$X_{jrk}$	$= \begin{cases} 1, & \text{부품 } j \text{가 공정계획 } r \text{에서 공정 } k \text{를 사용하는 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$
$Y_{ik}$	$= \begin{cases} 1, & \text{기계 } i \text{가 공정 } k \text{를 처리할 수 있을 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$
$Z_{jrk}$	부품 $j$ 의 공정계획 $r$ 에 있는 공정 $k$ 를 기계 $i$ 에서 처리하는 시간
$W_i$	목적함수에 사용되는 가중치 ( $\sum_i W_i = 1, 0 \leq W_i \leq 1$ )
$ML_i$	기계 $i$ 에 할당된 부하 ( $ML_i = \sum_j \sum_r \sum_k V_{jc} PP_{jr} X_{jrk} Y_{ik} Z_{jrk} d_j$ )
$A_c$	기계셀 $c$ 에 속하는 기계들의 평균부하 ( $A_c = (\sum_i U_{ic} ML_i) / \sum_i U_{ic}$ )

본 연구에서 제안한 수리모형의 목적함수식 (1)은 기계 셀에 속하는 기계들의 평균부하와 셀 내의 각 기계들의 부하와의 편차의 합(첫 번째 항), 기계의 생산능력을 초과하는 부하들의 합(두 번째 항) 및 기계들의 평균부하(세 번째 항) 등에 대한 가중합으로 아래와 같이 표현한다.

$$\text{Min } W_1 \cdot \sum_c \sum_i U_{ic} |A_c - ML_i| + W_2 \cdot \sum_{CA_i < ML_i} (ML_i - CA_i) + W_3 \cdot (\sum_i ML_i / m) \quad (1)$$

(제약식)

$$\sum_c U_{ic} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_c V_{jc} = 1 \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_r PP_{jr} = 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_i U_{ic} \leq UM_c \quad \forall c \quad (5)$$

$$U_{ic}, V_{jc} = 0 \text{ or } 1 \quad (6)$$

목적함수식이 의미하는 것은 모든 기계에 대해 가능한 한 각 기계의 생산능력을 초과하지 않도록 하면서 각 기계에 할당된 부하를 평준화 하고자 하는 것이다. 이를 위해서는 목적함수식의 첫번째 항에서 표현한 것과 같이 기계셀에 속하는 각 기계들간의 부하가 평준화 되어야 한다.

다음으로 임의의 기계에 대해 생산능력을 초과하는 부하가 할당된 경우 비록 기계셀에 속한 기계들간의 부하 평준화가 다소 나쁘게 되더라도 각 기계에 할당된 부하가 기계의 생산능력을 초과하지 않게 하는 것이 제조셀 설계의 전체적인 입장에서 더 좋을 수도 있으므로 목적함수식의 두번째 항에 이를 반영하였다. 본 연구에서는 대안공정계획과 대안기계를 고려하기 때문에, 기계에 할당된 부하가 기계의 생산능력을 초과하지 않으면서 부하 평준화의 정도가 같은 설계대안이 다수 존재할 수도 있다. 이러한 경우 기계에 할당된 부하의 합이 가장 적은 설계대안을 선택함으로써 기계의 여유생산능력을 극대화 시키는 것이 합리적일 것이므로 목적함수식의 세번째 항에 이를 반영하였다.

본 연구는 대안공정계획과 대안기계를 고려하기 때문에, 제조셀의 설계시 필요한 제약은 각 부품은 단지 하나의 공정계획에 의해서만 가공이 완료된다는 것과 하나

의 부품(또는 기계)은 반드시 하나의 부품군(또는 기계 셀)에만 속해야 한다는 것이다. 제약식 (2)는 각 기계가 정확하게 하나의 기계셀에만 속하고, 제약식 (3)은 각 부품이 하나의 부품군에만 속해야 함을 보장하며, 제약식 (4)는 각 부품은 항상 하나의 공정계획에 의해서만 가공이 완료됨을 나타낸다. 또한 제약식 (5)는 기계셀에 속한 기계의 대수를 나타내는 기계셀의 크기에 대한 제한을 가함으로써 생산현장에서 특정 기계셀이 다른 기계 셀에 비해 비대해지는 것을 방지하기 위하여 하나의 기계셀에 속하는 기계대수는  $UM_c$  보다 작아야 함을 나타낸다. 본 연구에서는 기계의 중복을 고려하지 않기 때문에 대상문제에 따라 제조셀을 형성할 때 기계의 생산능력을 초과하지 않는 해가 존재하지 않을 경우도 있다. 이러한 경우 기계의 생산능력을 가장 적게 초과하는 해를 도출하기 위하여 기계의 생산능력을 제약식에 반영하지 않고 목적함수에 반영하여 고려하였다.

단지 기계들의 부하평준화 만을 고려하는 경우(즉,  $W_1=1, W_2=W_3=0$ ), 다음의 두 가지 경우가 존재할 수도 있다. 첫번째 경우는 기계들의 부하가 평균적으로 평준화 되긴 하였지만, 임의의 기계에 할당된 부하가 생산능력을 초과하는 경우이다. 이 경우는 부하평준화가 다소 나쁘더라도 해당기계의 생산능력을 초과하지 않도록 하는 것이 바람직 할 것이다. 따라서 목적함수식 (1)의 두 번째 항에서  $W_2 \neq 0$ 으로 하여 기계의 생산능력을 초과하는 부하의 양에 따라 벌점을 부과함으로써 기계생산능력을 초과하여 부하가 걸리는 기계대수의 최소화 가능성을 높였다. 두 번째 경우는 기계들의 부하평준화만을 고려하고자 한다면, 모든 기계의 부하의 합이 다른 대안과 비교해서 지나치게 많을 수 있다는 것이다. 예를 들어 하나의 공정을 처리할 수 있는 다수의 대안기계가 존재한다고 하자. 이 경우 주어진 공정을 처리하는 데 걸리는 가공시간이 대안기계마다 각기 다를 것이다. 그러나 단지 부하평준화 측면에서 좋은 결과를 가지게 되도록 공정을 대안기계에 할당할 경우, 가공시간이 긴 기계에 공정이 할당되는 경우가 발생할 수도 있다. 이 경우에 비록 부하평준화는 다소 나빠지더라도 전체적인 부하가 훨씬 적게 되는 결과를 얻는 것이 더 효율적일 수도 있기 때문에 목적함수식 (1)의 세 번째 항에서  $W_3=1$ 으로 하여 모든 기계에 대한 총부하가 최소화 되도록 할 수 있다. 그러므로 제조셀 설계자는 전체 부하의 최소화와 기계부하의 평준화를 놓고 어느 쪽에 더 비중을 둘 것인지를 결정해야 할 것이다.

### 3. 유전 알고리즘에 기초한 제조셀의 설계

본 연구에서 제안한 수리모형은 대상문제의 규모가 큰 경우에 많은 시간이 소요되더라도 만족할 만한 좋은 해를 얻을 수 없는 경우도 생기기 때문에 유전 알고리즘을 이용하여 제조셀을 설계하였다. 유전 알고리즘은 자연선택의 원리에 기초한 확률적 탐색기법으로 전통적인 탐색기법과는 달리 동시에 다수의 탐색공간을 조사함으로써 국부최적화(local optima)에 빠지는 위험을 최소화 하고 전체 최적화(global optima)를 찾는 데 주력한다<sup>(19)</sup>. 다음에서 제조셀의 설계문제에 유전 알고리즘을 적용하기 위하여 필요한 몇 가지 주요 문제들에 대하여 고찰한다.

#### 3.3.1 후보해의 표현방법

유전 알고리즘의 개발에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 것은 대상문제에 대한 후보해의 표현방법이다. 일반적으로 하나의 후보해는 하나의 스트링(string) 형태로 표현되는데, 본 연구에서는 다수의 스트링이 모여 하나의 후보해를 구성하도록 하였다. 하나의 후보해를 표현하기 위해 필요한 모든 입력정보를 하나의 스트링에 포함시키는 경우에는 대상 문제의 규모가 큰 경우에 오랜 기간에 걸쳐 교배 연산 및 돌연변이 연산을 수행하더라도 만족할 만한 해를 얻기가 어렵다.

기계관련 정보	부품관련 정보	공정계획관련 정보
1 2 1 2	2 1 2 1 1	1 2 1 2 2

(1) 입력정보를 하나의 스트링으로 표현한 예

기계관련 정보	부품관련 정보	공정계획관련 정보
1 2 1 2	2 1 2 1 1	1 2 1 2 2

(2) 입력정보를 3개의 스트링으로 표현한 예

Fig.1 후보해를 스트링으로 표현하는 두가지 경우

그러나 본 연구에서는 이들 입력정보를 관련 있는 것끼리 묶어서 각각을 다른 스트링에 나누어 표현함으로써 이러한 문제를 해결하였다. Fig. 1의 (2)에 나타난 바와 같이 각각 관련 있는 정보로 구성된 스트링 개리만 따로 GA연산을 수행함으로써, Fig. 1의 (1)과 같이 모든 입력정보가 포함된 스트링에 GA연산을 적용시킨 것보다 더 다양한 후보해의 탐색이 가능하도록 하였다.

본 연구에서 하나의 후보해는 각각 기계가 속한 기계셀 번호, 부품이 속한 부품군 번호 및 부품별 공정계획에 대한 정보를 갖는 3개의 스트링으로 구성 된다. 또한 각 스트링의 길이는 제조셀을 구성하는데 필요한 모든 기계의 대수 및 모든 부품의 개수와 같다. Fig. 1의 (2)와 같이 표현된 스트링 (1-2-1-2)-(2-1-2-1-1)-(1-2-1-2-2)은 4대의 기계와 5개의 부품으로 2개의 기계셀과 부품군을 형성한 것을 나타낸다; 기계셀 1은 기계 1과 3, 그리고 부품군 1은 부품 2, 4, 5로 구성되었고, 기계셀 2는 기계 2와 4, 그리고 부품군 2는 부품 1과 3으로 구성되었으며, 부품 1, 3은 공정계획 1을 부품 2, 4, 5는 공정계획 2를 사용하여 가공됨을 의미한다.

후보해의 두 가지 표현방법에 따른 새로운 후보해의 생성절차에 관한 차이를 다음의 예를 통하여 살펴보자. 예를 들어 Fig. 1의 (1)과 같은 방법으로 표현된 스트링을 임의의 다른 스트링 (2-1-2-1-1-2-2-1-2-2-1-2-1-1)과 교차점(crossover point)이 두 개인 교배 연산을 적용하면 아래의 Fig. 2와 같다.

이 때, 두 개의 스트링에서 변환된 정보는 단지 두 개의 교차점 사이에 존재하는 부분에 관한 것이다. 그러나 Fig. 1의 (2)와 같이 표현된 스트링을 다른 스트링 (2-1-2-1)-(1-2-2-1-2)-(2-1-2-1-1)과 교배 연산을 적용시키는 경우, 하나의 교차점을 갖는 교배 연산을 적용하더라도 각각의 스트링에 대해 연산이 따로 적용되므로 Fig. 3의 결과와 같이 생성된 해의 다양성이 높다.

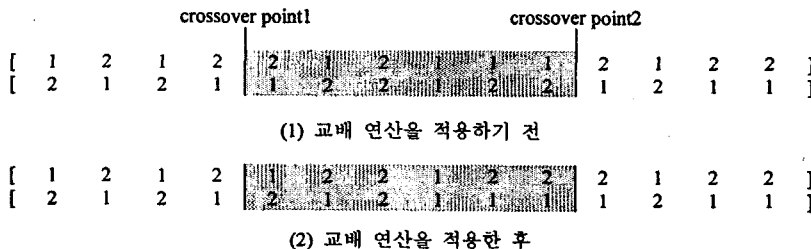


Fig.2 첫번째 표현방법을 사용한 스트링에 대한 교배 연산의 적용

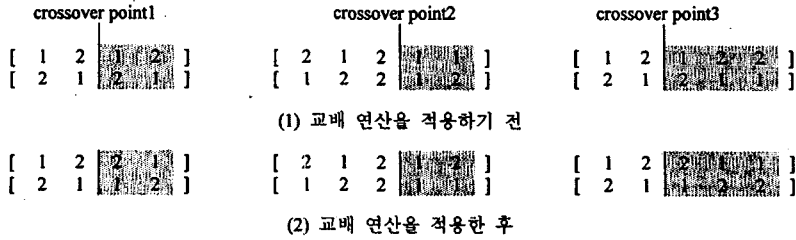


Fig. 3 두 번째 표현방법을 사용한 스트링에 대한 교배연산의 적용

### 3.3.2 적합도 함수

적합도 함수(fitness function)는 유전 알고리즘의 핵심 부분으로 대상 문제의 목적함수에 해당되는 것이다. 즉 후보해의 목적함수를 유전 알고리즘의 적합도 함수에 전사함으로써 좋은 목적함수 값을 갖는 후보해일수록 큰 적합도를 갖게 하여 그 후보해 주위의 탐색공간을 더욱 주의 깊게 조사하도록 하는 것이다. 그런데 본 연구에서와 같이 대부분의 최적화 문제가 비용의 최소화에 목적을 두기 때문에 이러한 목적함수  $g(t)$ 를 적합도 함수  $f(t)$ 로 전사하기 위해서는 다음과 같은 변환이 필요하다.

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

where,  $F^{\max}$  is a large positive number

또한 본 연구에서는 제약식을 갖는 제조셀의 형성문제를 제약식을 갖지 않는 문제로 변환하기 위하여 제약식을 위반하는 정도에 따라 벌점  $P$ 를 목적함수 값에 더하는 벌점법(penalty method)을 도입하였다. 제안한 수리모형의 제약식 이외에도 부품의 셀간 이동을 의미하는 '예외 요소의 수'에 벌점을 부과함으로써 제조셀 설계결과의 질을 높였다.

본 연구에서 제안한 수리 모형은 최종적으로 다음과 같이 적합도 함수로 변환된다.

$$f(t) = \begin{cases} F^{\max} - G(t), & \text{if } G(t) < F^{\max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

where,  $G(t) = g(t) + P$

$P$  is penalty

본 연구에서는 대안기계를 고려하기 때문에 주어진 공정을 처리하기 위한 기계의 선택에 대한 일정한 기준이 없다면, 해당 공정이 어느 기계에서 처리될 지를 알 수 없

으므로 각 기계에 얼마의 부하가 할당되었는지를 계산할 수 없다. 그러므로 유전 알고리즘을 적용함에 있어 부품의 해당 공정을 대안의 기계들 중 어느 기계에 할당할 것인가를 결정하기 위한 규칙이 필요하다. 본 연구에서는 동일한 기계셀에 속하는 기계들의 부하를 평준화 하는 방향으로 해당 공정을 기계에 할당하는 규칙을 개발하였고, 할당 규칙에서 사용한 절차와 이를 적용한 예는 다음과 같다.

〈대안기계에 대한 공정할당규칙의 절차〉

[단계 1] 주어진 공정을 처리할 수 있는 기계가 유일한 경우

⇒ 해당 공정을 그 기계에 할당한다.

[단계 2] 주어진 공정을 처리할 수 있는 대안의 기계가 존재하는 경우

⇒ '(이미 할당된 부하)/(기계의 생산능력)'의 값이 작은 기계에 할당한다.

[단계 3] '(이미 할당된 부하)/(기계의 생산능력)'의 값이 같은 대안의 기계가 둘이상 존재하는 경우

⇒ 해당 공정을 처리하는데 필요한 시간이 짧게 걸리는 기계에 할당한다.

[예] 기계셀 내에 3종류의 기계 A, B, C가 존재하고 각 기계의 생산능력은 '12'이며, 현재까지 기계별로 할당된 부하가 Fig. 4의 (1)과 같이 각각 '9, 7, 7'이라고 하자. 3종류의 기계가 모두 특정한 공정을 처리할 수 있고, 기계별 공정의 처리시간이 각각 '2, 3, 4'일 때, 제안한 절차를 적용하면; 먼저 공정에 대한 대안의 기계 A, B, C 중에서 단계 2에 의하여 대안기계 B와 C를 선택한 다음, 단계 3에 의해서 Fig. 4의 (2)와 같이 공정을 기계 B에 할당한다.

위에서 언급한 할당규칙의 절차는 비록 단순하기는 하지만 기계셀 내의 기계들의 부하평준화를 달성하면서 전체 부하의 합을 최소화 하고자 하는 경우에 효과적이다.

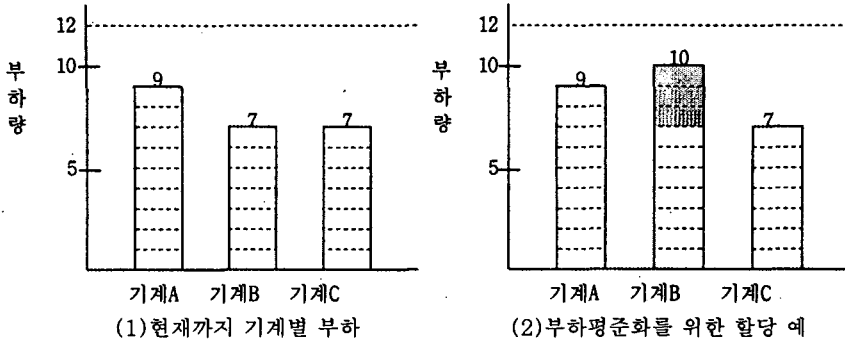


Fig. 4 기계별 부하평준화를 위한 공정의 할당 예

이러한 절차를 이용하여 공정의 할당시 대안기계 중 하나의 기계를 선정함으로써, 각 공정에 대해 특정한 하나의 기계가 아닌 다수의 대안기계를 고려함으로써 인해 발생하는 부하계산시의 애매성을 해결할 수 있다.

4. 수치예제

본 연구에서는 부품의 대안공정계획과 각 공정의 대안 기계에 대하여 Table 1에 나타난 입력정보를 가진 예제에 대하여 제안된 알고리즘을 고찰하였다. 이 예제는 기

계가 8대, 부품이 10개, 공정이 8개인 경우로 각 부품은 하나 또는 그 이상의 공정계획을 가지며, 각 공정을 처리할 수 있는 대안기계도 하나 이상 존재한다.

이 예제에 제안된 알고리즘을 적용하기 위해 사용된 매개변수의 값은 다음과 같다.

(제조셀의 매개변수 값)

부품	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
수요	20	30	20	20	30	10	20	30	20	10

제조셀의 수 = 3; 기계셀 내에 있는 기계대수의 상한 = 4:

기 계	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
생산능력	500	750	650	720	600	750	800	600

(유전 알고리즘의 매개변수 값)

집단의 크기 = 100; 최대 세대수 = 81; 교배의 확률 = 0.9; 돌연변이의 확률 = 0.001;

이러한 매개변수 값들을 이용해서 제안된 알고리즘에 예제를 적용한 몇 가지 결과가 Table 2~6에 표시되어 있다. 또한 각 가중치  $W_i$ 를 '0.1'의 단위로 세분화 한 뒤, 가중치의 조합 ( $W_1, W_2, W_3$ )을 (1.0, 0.0, 0.0), (0.9, 0.1, 0.0), ..., (0.0, 0.0, 1.0) 등의 66가지로 나누어 주어진 예제를 적용함으로써 문제에 대한 각 가중치의 영향을 분석하였다.

기본적으로 제조셀의 설계결과는 각 가중치  $W_i$ 가 가중치의 조합 ( $W_1, W_2, W_3$ )에서 차지하는 상대적인 비율을 달리함으로써 만족스러운 부하평준화를 갖는 경우, 각 기계에 할당된 부하가 생산능력을 초과하지 않는 경우 및 모든 기계에 할당된 부하의 총합이 최소화 되는 경우 등 세가지로 나누어 볼 수 있다. 그러나 가중치 조합에서 가

Table 1. 대안 공정계획과 대안기계를 포함하는 행렬

부종	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
공정계획	1	1	2	1	2	3	1	2	1	1	2
공정	기계										
O1	M1	6		7	4	5	9	4	4	6	5
	M3	9		3	8	6	1	9	6	8	6
	M4	8		4	3	1	3	9	8	3	4
	M5	5		3	4	8	6	2	4	2	7
	M2		8	3	8	4	6	6	7	8	9
O2	M4	9	1	3	8	7	2	9	7	3	6
	M4	5	4	3	2	8	7	9	4	9	2
	M6	9	1	1	6	6	9	1	2	2	5
O3	M8	2	1	7	6	4	9	3	1	9	7
	M1	4	5	5	1	1	4	7	5	3	5
	M2	1	9	5	6	5	5	7	8	3	2
O4	M4	8	2	3	8	8	9	3	1	7	2
	M7	3	8	6	6	6	2	7	7	2	1
	M5	7	7	9	5	7	9	7	7	6	1
O5	M6	6	1	2	4	7	8	6	9	2	4
	M7	1	3	5	2	4	6	7	8	9	8
	M5	9	4	2	7	7	3	9	6	4	4
O6	M8	3	3	7	4	4	4	8	1	3	7
	M1	1	7	7	3	1	4	3	3	7	1
	M3	5	3	4	2	3	7	3	6	4	3
O7	M7	8	4	3	3	3	2	4	5	5	8
	M2	8	7	2	1	2	4	2	2	5	9
	M3	7	6	5	6	9	8	1	9	6	6
O8	M6	8	9	6	1	4	8	9	3	1	2
	M7	6	6	5	2	7	2	2	9	2	3
	M8	1	7	6	9	8	7	6	5	4	3
	M8	1	7	6	9	8	7	6	5	4	3

중치  $W_1$ 의 절대적인 크기가 크다고 해서 부하평준화 측면에서 항상 만족스러운 결과를 초래하지는 않는다. 다시 말해서 두 가지 가중치 조합 a 와 b 에서 가중치  $W_1$ 의 값이 가중치 조합 a 에서 보다 b 에서 더 크다고 해서 가중치 조합 a 에 의한 제조셀의 설계결과가 가중치 조합 b 에 의한 제조셀의 설계결과 보다 반드시 부하평준화가 잘 된다고 볼 수는 없다.

본 연구에서는 각 공정에 대한 대안기계를 적절히 활용함으로써 기계의 중복이 없이도 모든 부품의 가공요구사항을 충족시키고자 한다. 그러나 부하평준화 측면에서 만족스러운 제조셀의 설계결과가 둘 이상 존재하더라도, 앞서 언급한 바와 같이 부품의 셀간 이동에 별점을 부과함으로써 되도록 셀간 이동을 발생시키지 않는 제조셀의 설계결과를 선택하는 것이 좋다.

다음의 결과들은 모두 부품의 셀간 이동을 의미하는 예외요소가 존재하지 않는 경우로써, 부품의 셀간 이동이 존재하지 않는 이상적인 제조셀을 형성한다. 더욱이 Table 3, 4, 6 의 결과는 기계에 할당된 부하가 기계의 생산능력을 초과하지 않음을 보여준다.

Table 2. 가중치 조합 ( $W_1=0.8, W_2=0.1, W_3=0.1$ )의 결과

셀	기계(부하)	부품(공정계획)	평균부하
1	M1(440), M8(570)	P1(1), P8(1)	505
2	M4(690), M5(760), M7(710)	P2(2), P4(1), P5(1), P10(2)	720
3	M2(620), M3(600), M6(590)	P3(2), P6(1), P7(2), P9(2)	603.3

Table 2에서 두 번째 기계셀에 속하는 기계 5의 부하가 '760'인데 이는 기계 5의 생산능력인 '600'을 초과하게 된다. 그러나 Table 2의 가중치 조합 ( $W_1=0.8, W_2=0.1, W_3=0.1$ )의 결과는 가중치  $W_1$ 의 비율이 '0.8'로 크기때문에 부하평준화의 측면에서 Table 3~6 의 다른 결과들보다 좋다는 것을 알 수 있다.

Table 3. 가중치 조합 ( $W_1=0.4, W_2=0.6, W_3=0.0$ )의 결과

셀	기계(부하)	부품(공정계획)	평균부하
1	M1(440), M8(570)	P1(1), P8(1)	505
2	M4(690), M5(530), M7(770)	P4(1), P5(1), P9(1), P10(2)	663.3
3	M2(740), M3(650), M6(700)	P2(1), P3(2), P6(1), P7(2)	696.7

Table 3에서 가중치 조합 ( $W_1=0.4, W_2=0.6,$

Table 4. 가중치 조합 ( $W_1=0.2, W_2=0.4, W_3=0.4$ )의 결과

셀	기계(부하)	부품(공정계획)	평균부하
1	M1(440), M8(570)	P1(1), P8(1)	505
2	M3(440), M4(460)	P3(3), P7(1)	450
3	M2(530), M5(560), M6(530), M7(660)	P2(2), P4(1), P5(1), P6(3), P9(1), P10(1)	570

$W_3=0.0$ )의 결과는 기계의 생산능력을 초과하지 않는 결과에 초점을 맞춘 것으로 기계의 생산능력을 초과하는 기계가 존재하지 않는다.

Table 4에서 가중치 조합 ( $W_1=0.2, W_2=0.4, W_3=0.4$ )에 대한 결과는 Table 2, 3과는 달리 두 개의 작은 제조셀과 하나의 큰 제조셀로 이루어져 있다. 가중치 조합 ( $W_1=0.2, W_2=0.4, W_3=0.4$ )은 두 번째 가중치  $W_2$ 의 비율이 크기때문에 큰 제조셀인 세 번째 제조셀에 속하는 어떠한 기계도 자신의 생산능력을 초과하지는 않는다.

Table 5. 가중치 조합 ( $W_1=0.2, W_2=0.3, W_3=0.5$ )의 결과

셀	기계(부하)	부품(공정계획)	평균부하
1	M1(440), M8(570)	P1(1), P8(1)	505
2	M4(520), M5(590), M7(630)	P4(1), P5(1), P6(2), P10(2)	580
3	M2(680), M3(770), M6(670)	P2(1), P3(3), P7(2), P9(2)	706.7

Table 6. 가중치 조합 ( $W_1=0.0, W_2=0.4, W_3=0.6$ )의 결과

셀	기계(부하)	부품(공정계획)	평균부하
1	M1(440), M8(570)	P1(1), P8(1)	505
2	M4(690), M5(530), M7(770)	P4(1), P5(1), P9(1), P10(2)	663.3
3	M2(740), M3(650), M6(700)	P2(1), P3(2), P6(1), P7(2)	696.7

Table 5에서 세 번째 제조셀에 속하는 기계 3에 할당된 부하는 '770'인데, 이것은 기계 3의 생산능력인 '650'을 초과하는 것이다. 그러나 3개의 기계셀에 할당된 총부하는 '3860'으로, Table 2의 총부하 '3970' 및 Table 3의 총부하 '4080' 보다 적음을 알 수 있다.

Table 2, 3, 5, 6 의 결과로부터 형성된 기계셀의 구성은 각각 (기계 1, 8), (기계 4, 5, 7), (기계 2, 3, 6)으로 같지만, 이에 대응하는 부품군의 구성과 부품별 공정

계획은 사용된 가중치 조합에 따라 각기 다르다. Table 4와 6에서 사용한 가중치 조합은 기계별 부하평준화보다는 기계별로 할당된 부하가 기계의 생산능력을 초과하지 않게 하고, 총부하를 최소화하려는 것에 초점을 맞춘 것이다.

Table 3, 4, 6에서 가중치  $W_2$ 가 차지하는 비율은 각각 0.6, 0.4, 0.4로, Table 2와 5에서 가중치  $W_2$ 가 차지하는 비율 0.1, 0.3 보다 상대적으로 크기때문에 모든 기계의 부하가 기계의 생산능력을 초과하지 않음을 알 수 있다.

대부분의 제조셀 설계기법의 문제점은 동일한 문제에 대해 예외요소를 갖지 않는 대안의 해가 존재하는 경우에도 단지 하나의 해만을 알 수 있다는 것이다. 그러나 본 연구에서 제안된 알고리즘은 동일한 예제에 대해 서로 다른 대안의 해를 제시하기도 한다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 제안된 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 다양한 결과를 제시함으로써 의사결정자에게 선택의 범위를 넓혀줄 뿐만 아니라 갑작스러운 현장 상황의 변화에 유연히 대처할 수 있도록 한다. 하지만 제안된 알고리즘이 보다 큰 효과를 갖기 위해서는 대안 결과들 중에서 주어진 상황에 대해 최선의 해를 선택할 수 있는 평가 척도의 개발이 필요하다.

## 5. 결 론

본 연구는 대안공정계획 및 대안의 기계를 고려한 제조셀의 설계문제를 다루기 위하여 제조셀의 크기, 제조셀 내에 있는 기계의 대수, 기계의 생산능력, 부품의 수요, 부품의 가공시간 등의 정보를 포함하는 수리 모형을 정식화하였고, 유전 알고리즘을 사용하여 해를 도출하였다. 제안된 수리 모형은 각 제조셀에 속하는 기계들의 부하평준화, 기계의 생산능력을 초과하는 부하량의 합 및 모든 기계에 대한 부하량의 합을 고려하여 이들의 가중합을 최소화하도록 하였다.

본 연구에서 유전 알고리즘을 적용함에 있어, 큰 규모의 문제에 대하여 보다 효율적인 수행이 가능하도록 모든 정보를 포함하는 하나의 스트링을 관련있는 부분적인 정보만을 포함하는 다수의 스트링으로 분할하여 후보해에 대응시켰다. 또한 기계들 간의 부하평준화의 정도를 의미하는 적합도를 계산할 때, 대안기계에 대한 공정의 할당 규칙을 이용하였다. 분할된 다수의 스트링은 각기 다른 확률과 방법으로 GA연산을 수행할 수 있으므로 탐색공

간의 다양성을 확보하는데 도움이 된다.

## 후 기

이 논문은 1997년도 교육부 학술연구조성비 지원과제 '유전알고리즘에 기초한 제조셀과 셀배치의 설계(과제번호: 기계공학 ME97-E-13)'의 제 1차년도 연구결과임.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. Burbidge, J.L., "Production Flow Analysis for Planning Group Technology," *Journal of Operations Management*, Vol. 10, No. 1, pp. 5-27, 1992.
3. 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.
4. Chan, H. M. and Milner, D. A., "Direct Clustering Algorithm for Group Formation in Cellular Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.1, No.10, pp. 65-74, 1982.
5. McAuley, J., "Machine Grouping for Efficient Production," *The Production Engineer*, February, pp. 53-57, 1972.
6. Carrie, A. S., "Numerical Taxonomy applied to Group Technology and Plant Layout," *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 10, pp. 1795-1810, 1973.
7. Kusiak, A., "The generalized group technology concept," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No. 4, pp. 561-569, 1987.



8. Sundaram, R. M., Doshi, K., "Formation of Part Families to Design Cells with Alternative Routing Considerations," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 23, No. 1-4, pp. 59-62, 1992.
9. Hwang, H. and Ree, P., "Routes Selection for the Cell Formation Problem with Alternative Part Process Plans," *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 30, No. 3, pp. 423-431, 1996.
10. Adil, G. K., Rajamani, D. and Strong, D., "Cell Formation Considering Alternative Routeings," *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 5, pp. 1361-1380, 1996.
11. Logendran, R., Ramarkrishna, P. and Srisankandarajah, C., "Tabu search-based Heuristics for Cellular Manufacturing Systems in the Presence of Alternative Process Plans," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 2, pp. 273-297, 1994.
12. Logendran, R., "A Workload Based Model for Minimizing Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 913-925, 1990.
13. Mukhopadhyay, S. K., Sarkar, P., and Panda, R. P., "Machine-component Grouping in Cellular Manufacturing by Multidimensional Scaling," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 2, pp. 457-477, 1994.
14. Elmaraghy, H. A., and Gu, P., "Feature Based Expert Parts Assignment in Cellular Manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 8, pp. 139-152, 1988.
15. 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.
16. Chu, C.-H., "Manufacturing Cell Formation by Competitive Learning," *International Journal of Production Research*, Vol. 31, No. 4, pp. 829-843, 1993.
17. 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.
18. 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.
19. Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, 1989.