

# 유전 알고리즘에 기초한 셀 배치의 설계

이병욱\*, 조규갑\*

## Design of Cellular Layout based on Genetic Algorithm

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

### ABSTRACT

This paper presents an operation sequence-based approach for determining machine cell layout in a cellular manufacturing environment. The proposed model considers the sequence of operations in evaluating the intercell and intracell movements and it includes the impact of cell blocks in evaluating the intercell movements. In this paper, design of cellular layout has an objective of minimization of total material flow among facilities, where the total material flow is defined as a weighted sum of both intercell and intracell part movements. The proposed algorithm is developed by using genetic algorithm and can be used to design an optimal cellular layout which can cope with changes of shop floor situation by considering constraints such as the number of machine cells and the number of machines in a machine cell.

**Key Words** : cellular manufacturing (셀 제조), cellular layout (셀 배치), genetic algorithm (유전 알고리즘)

### 1. 서론

설비배치(Facility Layout)는 생산의 최적흐름을 위해서 공장내의 생산설비 등과 같은 물적요소의 위치를 공간적으로 최적 배열하는 것을 말한다. 효율적인 설비배치를 통하여 총생산시간의 최소화, 물자운반에 소요되는 시간과 비용의 최소화, 설비투자의 최소화 및 공간의 경제적 이용 등과 같은 구체적인 목표가 달성된다<sup>[1]</sup>. 설비배치의 한 형태인 셀배치(Cellular Layout)는 생산량의 변화에 적절히 대응할 수 있도록 생산설비를 작업장에

배치하는 방식으로 많은 종류의 제품을 생산할 때 이용하는 공정별 배치의 유연성과 소수의 제품을 생산할 때 이용하는 제품별 배치의 생산능률의 장점을 결합한 방법이다.

설비배치문제는 QAP(Quadratic Assignment Problem)의 한 형태로서 NP-complete문제에 속하기 때문에 실제 응용에서는 근사최적해를 찾기 위한 발견적기법들이 개발되었다. Kusiak과 Heragu<sup>[2]</sup>는 자동제조시스템에서 설비배치문제를 해결하기 위해서 효율적인 모델과 알고리즘을 사용하여 최적화 접근방법과 전문가시스템을 결합한 기

\* 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

계 배치를 위한 지식베이스시스템(Knowledge Base System for Machine Layout, KBML)을 제안하였다. Chan과 Carter<sup>[3]</sup>는 설비배치문제에 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 적용하였고, 교차연산자(Crossover Operator)인 PMX(Partially Matched Crossover), CX(Cycle Crossover), OX(Order Crossover) 중에서 PMX가 설비배치문제에 가장 적합함을 보였다. Sirinaovakul과 Thajchayapong<sup>[4]</sup>은 여러 가지 복잡한 설비배치문제에 패턴생성알고리즘(Pattern Generation Algorithm), 발견적 기법, 전문가시스템 및 지식베이스시스템 등을 적용하여 최적 배치안을 생성하였다. Suresh 등<sup>[5]</sup>은 설비배치문제에 유전 알고리즘을 적용함에 있어 항상 가능해만이 존재하도록 하였고, 새로운 효율적인 교차연산자를 개발하였다. 그러나 이들은 모두 주어진 위치에 기계를 배치함에 있어 단지 이동거리 및 기계들 간의 이동빈도 등의 정보에만 의존하기 때문에 셀 제조(Cellular Manufacturing)에서의 설비배치에 그대로 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 셀 배치가 기존의 설비배치문제와는 달리 부품 군 및 기계 셀의 형성이 주어진 과제이므로, 대안 공정계획이 존재하는 각 부품을 가공 공정순서가 유사한 것끼리 묶어 부품별로 하나의 공정계획만을 선택하고 부품 군(Part Family)으로 그룹화 하는 단계 I과 부품군의 가공에 필요한 기계 셀(Machine Cell)의 형성 및 기계들의 배치를 결정하는 단계 II의 두 단계를 거쳐 셀 배치안을 결정하는 방법을 개발하였다. 본 연구에서는 부품의 가공 공정순서를 고려한 유사계수를 개발하였으며, 이 유사계수를 기반으로 하여 단계 I에서는 부품별로 대안 공정계획 중에서 하나의 공정계획만을 선정하고 부품 군을 형성하였다. 단계 II에서는 단계 I에서 구해진 부품 군 형성결과를 토대로 하여, 기계 셀의 형성을 위해 부품의 셀 간 이동(intercell movement)과 셀 내 이동(intracell movement)의 가중 합으로 표현되는 총물류이동 비용을 최소화 하는 셀 배치를 설계하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 단계 II에서 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계를 위하여 GA를 적용하였으며, 최종적인 셀 배치안은 기계 셀간의 경계를 결정 짓는 셀 블록(Cell Block)에 의해 기계 셀을 구분함으로써 기계 셀을 형성하는 효과가 있다.

2. 문제의 정의

연구대상의 셀 배치문제는 여러 가지 제약조건을 만족하는 배치 대안들 중에서 부품의 가공 공정순서에 영향을 받는 셀 내 이동과 셀 간 이동의 가중 합으로 표현되는 총물류이동 비용을 최소로 하는 배치안을 선택하는 것이다. 여기서 제약조건이란 셀 배치를 설계함에 있어 설계자의 의도를 반영하기 위한 것으로 형성될 기계 셀의 수와 하나의 기계 셀에 포함될 수 있는 기계대수의 상한 등을 의미한다. 기존의 연구는 셀 배치를 수행함에 있어 부품의 대안 공정계획을 고려하지 않는다. 따라서 각 부품은 단지 하나의 공정계획만을 가지게 되며, 각 부품의 가공 공정순서 역시 하나로 고정된다. 그러나 본 연구에서는 각 부품에 대하여 대안 공정계획이 존재한다는 가정 하에서 부품의 다양한 가공 공정순서를 고려할 수 있게 되어, 부품별 가공 공정순서가 다른 부품의 가공 공정순서와 유사한 공정계획만을 선택함으로써 셀 배치를 수행한다. 셀 배치의 설계시 각 부품의 가공 공정순서를 고려함으로써 같은 기계 셀에 속한 기계들의 위치를 결정하며, 기계 셀을 블록화 하여 부품의 셀 간 이동에 많은 비용을 부과함으로써 같은 기계 셀에 속한 기계들이 서로 인접해서 배치되도록 한다. 예를 들어, 4대의 기계 M1, M2, M3, M4로 이루어진 기계 셀에서, 기계들의 배치가 Fig. 1(a)에서는 서로 연결되어 있지만, Fig. 1(b)에서는 서로 분리되어 있으므로, (a)의 배치안이 권장됨을 알 수 있다.

M1	M2	M5	M6
M3	M4	M7	M8
M9	M10	M11	M12

(a) layout 1

M1	M2	M11	M12
M5	M6	M7	M8
M9	M10	M3	M4

(b) layout 2

Fig. 1 An example of two types of layout for a machine cell

본 연구에서 제안한 방법의 특징은 Fig 2에서 이중선으로 구분한 것처럼 기계 셀들을 블록화함

로써 다른 기계 셀과의 경계를 명백히 한다는 것이다. 이것은 부품의 이동을 고려함에 있어 셀 내 이동과 셀 간 이동을 구별하기 위해서 반드시 필요하다. 이러한 구분을 통해서 각 기계가 어느 기계 셀에 속하는 지를 파악할 수는 있지만, 각 기계 셀에 속한 기계들의 셀 내에서의 구체적인 위치는 알 수 없다. 이 때 부품의 가공 공정순서를 고려하여 불류이동이 적게 일어나는 방향으로 기계들의 순서를 정하여 위치시킨다.

M1	M2	M3	M4
M5	M6	M7	M8

- (주)  machine cell #1 (M2, M3, M4)
- machine cell #2 (M1, M5, M6, M7, M8)
- machine cell #3 (M9, M10, M11, M12)

Fig. 2 An example of cell block

본 연구에서는 셀 배치를 설계함에 있어 모든 기계가 동일한 면적을 취하는 것으로 가정하였다. 그러나 일반적으로 기계는 서로 다른 크기와 형상을 갖는다. 그러한 경우에 설비배치문제를 단위면적으로 표현되는 기계들의 배치에 대한 문제로 변환할 수 있다. 즉 각 기계에 대한 면적을 단위면적의 승수로 표현한 다음, 각 기계가 차지하는 단위면적의 개수만큼을 그룹화하여 이들을 함께 배치하는 제약조건을 첨가함으로써 설비배치문제를 재정의할 수 있다.

### 3. 셀 배치의 설계를 위한 알고리즘의 개발

#### 3.1 단계 1: 유사계수를 이용한 공정계획의 선택 및 부품 군 형성

##### 3.1.1 가공 공정순서를 고려한 유사계수의 개발

부품의 가공 공정순서를 고려한 부품 군을 형성하기 위하여 새로운 유사계수를 개발한다. 제안한 유사계수는 두 공정계획 사이의 가공 공정순서의

유사성에 기초한 것으로, '기계 M1 → 기계 M2' 및 '기계 M2 → 기계 M1'과 같이 동일한 기계조합을 사용하더라도 부품의 가공 공정순서가 다르면 두 공정계획의 유사성은 낮아진다. 본 연구에서 제안한 유사계수를 이용하여 각 부품에 대해 대안 공정계획 중에서 전체의 유사성을 최대로 하는 특정 공정계획을 선택한 다음, 선택된 공정계획만을 가진 부품들을 대상으로 하여 부품 군을 형성하기 위해 두 부품  $p$ 와  $q$ 에 대한 유사계수는 다음 식 (1)과 같이 계산된다.

$$S_{pq} = \frac{b+d}{a+{}_bC_2} \quad (1)$$

- $a$  : 부품  $p$  또는  $q$  중에서 어느 하나라도 필요한 공정의 수
- $b$  : 부품  $p$ 와  $q$ 에 모두 필요한 공정의 수
- $d$  : 부품  $p$ 와  $q$ 에 모두 필요한 공정들의 순서쌍에 대하여 두 공정의 상대적인 선행관계가 일치하는 순서쌍의 수

$a$  값은 부품  $p$ 나  $q$  중에서 적어도 하나의 부품에서 요구하는 공정의 수를 나타내므로, 부품  $p$ 와  $q$ 에서 동시에 요구하는 공정의 수  $b$ 보다는 항상 크거나 같다.  $b$ 의 값이 클수록 부품  $p$ 와  $q$ 가 동시에 요구하는 공정이 많다는 의미이므로 유사계수의 값이 커지게 된다.  ${}_bC_2$ 의 값은 부품  $p$ 와  $q$ 가 동시에 요구하는 공정에 대한 순서쌍의 조합에 대한 총수를 나타내며,  $d$ 는 이들 순서쌍 중에서 상대적인 가공 공정순서가 같은 조합의 수를 나타낸다.  $d$ 의 값이 클수록 부품  $p$ 와  $q$ 가 동시에 요구하는 공정들의 가공 공정순서가 같다는 의미이므로, 두 개의 부품이 같은 부품 군에 속하게 될 확률이 높아지게 된다.

##### 3.1.2 부품별 공정계획 선정 및 부품 군 형성

다음의 수리모형은 본 연구에서 개발한 유사계수를 이용하여 각 부품의 가공 공정순서에 대한 유사성의 합이 최대가 되도록 부품들을 부품 군으로 그룹하기 위한 것으로 Kusiak<sup>[3]</sup>이 제안한 수리모형을 보완(하나의 부품 군에 존재할 수 있는 부품의 개수에 대한 제약식 첨가)한 것이다. 다음의 모델 F1을 이용하여 부품별 대안 공정계획-기계 행렬로부터 전체 가공 공정순서의 유사성이 최대가 되도록 부품 별 대안 공정계획으로부터 오직 하나의 특

정공정계획만을 선택한다.

**기호설명**

- $n_p$  부품의 수
- $n_r$  공정계획의 수
- $F_p$  부품  $p$ 에 대한 공정계획의 수( $p=1, \dots, n_p$ )  
공정계획 군 또는 부품 군의 수로 기계
- $n_c$  셀의 수와 동일
- $S_{rs}$  공정계획  $r$  과  $s$  간의 유사계수  
( $r, s=1, \dots, n_r$ )
- $x_{rs} = \begin{cases} 1, & \text{공정계획 } r \text{ 이 공정계획군 } s \text{ 에} \\ & \text{속하는 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$

<F1 : 공정계획 선정모델의 정식화>

$$\text{Max } \sum_{r=1}^{n_r} \sum_{s=1}^{n_r} S_{rs} x_{rs} \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{r \in F_p} \sum_{s=1}^{n_r} x_{rs} = 1, \quad \forall p \quad (3)$$

$$\sum_{s=1}^{n_r} x_{ss} = n_c \quad (4)$$

$$x_{rs} \leq x_{ss}, \quad \forall r, s \quad (5)$$

$$x_{rs} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall r, s \quad (6)$$

제약식 (3)은 하나의 공정계획은 단지 하나의 공정계획 군에만 속함을 의미하고, 제약식 (4)는 공정계획군의 수가 'n<sub>c</sub>'개로 주어짐을 뜻한다. 또한 제약식 (6)은 변수  $x_{rs}$ 가 이진변수임을 나타낸다. 이상의 모델을 이용하여 얻은 결과로부터 아래의 모델 F2를 이용하여 부품 군을 형성한다.

**기호설명**

$L_p$  부품 군을 구성하는 부품의 최소 개수

$S_{pq}$  부품  $p$  와  $q$  간의 유사계수( $p, q=1, \dots, n_p$ )

$$x_{pq} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } p \text{ 가 부품군 } q \text{ 에 속하는 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

<F2 : 부품 군 형성모델의 정식화>

$$\text{Max } \sum_{p=1}^{n_p} \sum_{q=1}^{n_p} S_{pq} x_{pq} \quad (7)$$

subject to

$$\sum_{q=1}^{n_p} x_{pq} = 1, \quad \forall p \quad (8)$$

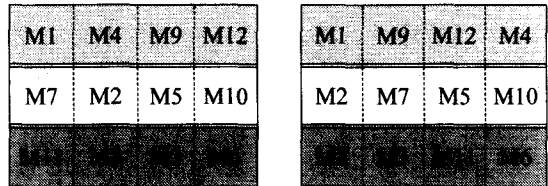
$$\sum_{q=1}^{n_p} x_{qq} = n_c \quad (9)$$

$$\sum_{q=1}^{n_p} x_{pq} \geq L_p x_{qq} \quad (10)$$

$$x_{pq} \leq x_{qq}, \quad \forall p, q \quad (11)$$

$$x_{pq} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall p, q \quad (12)$$

제약식 (10)은 임의의 부품군에 속한 부품의 수에 대한 하한을 보장한다. 단계 I에서는 수리 모형에 단지 부품별 대안 공정계획-기계 행렬만을 이용하여 부품별 필요 공정의 유무에 대한 정보만을 고려한다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 두 개의 배치안이 동일한 기계 셀의 구성을 갖더라도 기계 셀 내에 존재하는 각 기계의 상대적인 위치는 다를 수 있다.



(a) layout 1

(b) layout 2

- (주) machine cell #1 {M1, M4, M9, M12}
- machine cell #2 {M2, M5, M7, M10}
- machine cell #3 {M3, M6, M8, M11}

Fig. 3 Two types of layout for the same machine cells

즉 기계 셀 2의 경우 Fig. 3 (a)의 배치안 1은 기계들의 배치순서가 'M7-M2-M5-M10'인 것에 반하여, (b)의 배치안 2는 'M2-M7-M5-M10'임을 알 수

있다. 이것은 부품의 가공공정순서에 따라 물류이동이 적게 발생하도록 기계를 배열하는 것을 고려하고 있다는 의미이다.

### 3.2 단계 II: 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계

이 절에서는 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계를 위하여 부품의 수요, 기계의 생산능력 등과 같은 입력정보를 고려한 수리모형에 대하여 설명하고자 한다. 제안된 수리모형에 사용된 기호와 가정은 다음과 같다.

#### 기호설명

- $m$  셀 배치에서 고려하는 위치(또는 기계)의 총 개수
- $n_p$  부품의 총 개수
- $n_c$  형성될 기계 셀의 수
- $i, j$  위치번호( $i, j=1, \dots, m$ )
- $p$  부품번호( $p=1, \dots, n_p$ )
- $k, n$  기계번호( $k, n=1, \dots, m$ )
- $c$  셀번호( $c=1, \dots, n_c$ )
- $D_p$  부품  $p$ 의 수요
- $f_{ij}$  위치  $i$  와  $j$  에 있는 기계들 간의 이동빈도
- $d_{ij}$  위치  $i$  와  $j$  사이의 이동거리  
( $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ 이고,  
 $x_i, y_i$  는 각각 위치  $i$  의  $x, y$ 의 좌표값)
- $C_{ij}$  위치  $i$  와  $j$  사이의 단위 거리당 운반비용
- $w_1$  셀 내 이동을 유발하는 물류이동에 대한 가중치
- $w_2$  셀 간 이동을 유발하는 물류이동에 대한 가중치(단,  $w_1 + w_2 = 1$ )
- $UM$  기계셀 내에 있는 기계대수의 상한
- $LM$  기계셀 내에 있는 기계대수의 하한
- $X_{kc} = \begin{cases} 1, & \text{기계 } k \text{ 가 기계셀 } c \text{ 에 속하는 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$
- $M_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{위치 } i \text{ 에 기계 } k \text{ 가 할당될 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$

$$Y_{ijp} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } p \text{ 가 위치 } i \text{ 에 있는 기계에서} \\ & \text{가공을 끝낸 후 위치 } j \text{ 에 있는} \\ & \text{기계에서 가공될 경우} \\ 0, & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

#### 가정

- (1) 각 기계는 하나의 위치에만 할당되어야 한다.
- (2) 각 기계는 동일한 면적을 가진다.
- (3) 기계 셀 내에 있는 기계대수에 대한 상한과 하한이 존재한다.
- (4) 부품의 셀 내 이동과 셀 간 이동에 대한 단위 거리당 비용이 서로 다르다.

기존의 설비배치문제는 비용함수인  $\sum_i \sum_j f_{ij} d_{ij} C_{ij}$  를 최소로 하는 배치안을 구하는 것으로 두 개의 위치에 대한 상대적인 거리만을 고려하여 총물류이동 비용을 구하였다. 그러나 본 연구에서 제안한 셀 배치문제는 아래와 같이 셀 내 이동과 셀 간 이동의 가중 합으로 정의되는 총물류이동 비용을 최소로 하는 배치안을 찾는 것을 목적으로 한다. 비록 두 개의 위치에 대한 상대적인 거리가 동일할 지라도 각 위치에 속한 기계가 서로 동일한 기계 셀에 속하는지 아니면 다른 기계 셀에 속하는지에 따라 단위거리당 운반비용이 달리 적용되므로 상대적인 거리가 다르게 반영되는 효과를 갖는다. 또한 본 연구에서는 각 부품의 가공공정순서를 고려함으로써 기계들 간의 실질적인 이동을 포함하도록 하였다. 셀 배치의 설계에 대한 목적함수와 제약식은 다음과 같다.

<F3 : 기계 셀 및 셀 배치 설계모델의 정식화>

$$\text{Min } \sum_c \sum_p \sum_i \sum_j \sum_k \sum_n W \cdot Q \quad (13)$$

$$\text{where, } Q = M_{ik} M_{jn} C_{ij} D_p d_{ij} Y_{ijp}$$

$$W = w_1 X_{kc} X_{nc} + w_2 (1 - X_{kc} X_{nc})$$

subject to

$$\sum_i M_{ik} = 1, \quad \forall k \quad (14)$$

$$\sum_k M_{ik} = 1, \quad \forall i \quad (15)$$

$$\sum_c X_{kc} = 1, \quad \forall k \quad (16)$$

$$\sum_k X_{kc} \leq UM, \quad \forall c \quad (17)$$

$$\sum_k X_{kc} \geq LM, \quad \forall c \quad (18)$$

$$M_{ik}, X_{kc}, Y_{ijp} = 0 \text{ or } 1, \quad (19)$$

$\forall i, j, k, p, c$

가중치  $w_1, w_2$ 는 각각 위치  $i$ 와  $j$ 에 대해 부품의 셀 내 이동과 셀 간 이동의 단위거리당 운반비용에 차등을 두기 위한 것으로 일반적으로  $w_1 < w_2$ 의 관계가 있다<sup>6)</sup>. 예를 들면, 셀 내 이동을 유발하는 경우는  $w_1=0.3$ 을, 셀 간 이동을 유발하는 경우는  $w_2=0.7$ 로 값을 부여할 수 있으며, 실제로 셀 간 이동이 물류의 흐름을 상당히 악화시키는 경우  $w_1=0.0, w_2=1.0$ 으로 둘 수도 있다. 제약식 (14)와 (15)는 각각 한 대의 기계는 하나의 위치에 한 할당되며, 하나의 위치에는 한 대의 기계만이 할당될 수 있음을 나타낸다. 제약식 (16)은 각 기계가 단지 하나의 기계 셀에만 속함을 보여준다. 제약식 (17)과 (18)은 기계 셀 내에 존재하는 기계 대수의 상한과 하한을 의미하고, 제약식 (19)는 모든 변수가 '0' 또는 '1'의 값을 갖는 변수임을 나타낸다. 본 연구에서는 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계를 위한 단계 II의 모델 F3이 대상문제가 큰 경우에 많은 시간이 소요되더라도 만족할 만한 좋은 해를 얻지 못하게 되므로, GA를 이용하여 모델 F3을 최적화 한다.

GA는 1975년 Holland에 의해 처음으로 소개되었으며, 수학, 의학 및 공학 등 많은 분야에서 탐색(search), 최적화(optimization) 및 기계학습(machine learning) 등을 위해 사용되어 왔다<sup>7)</sup>. GA는 복잡한 탐색공간에서 전역 최적화(global optimization)를 추구하는 탐색기법이기에 때문에 매우 효율적이고 유연한 것으로 판명되어 왔다. GA는 생태계의 적자생존 및 유전법칙에 바탕을 둔 발전적 탐색기법으로 최적화 하고자 하는 목적함수에 대한 임의의 후보해들(candidate solution)의 집단(population)으로부터 출발하여 유전법칙을 적용함으로써 진화·발전시

켜 가는 반복적인 과정을 거치는 알고리즘이다.

다음에서 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계를 위해 GA를 적용하기 위하여 필요한 몇 가지 요소에 대하여 고찰한다.

(1) 후보해의 표현방법

주어진 문제에 GA를 적용시키는 첫 번째 단계는 문제에 대한 하나의 후보해를 스트링(string)으로 표현하기 위해 적당한 표현체계를 설계하는 것이다. 대상 문제의 규모가 큰 경우에 모든 입력정보를 하나의 스트링에 포함시킨다면, 오랜 기간에 걸쳐 교차 연산 및 돌연변이 연산을 수행하더라도 만족할 만한 해를 얻기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 4 와 같이 후보해를 하나의 스트링 S로 표현하지 않고, Fig. 5 와 같이 두 개의 스트링 S1과 S2이 모여서 하나의 후보해를 구성하도록 하였다<sup>8)</sup>. 스트링 S1과 S2가 의미하는 것은 '각 위치에 놓이는 기계번호(S1)'와 '각 기계가 속한 기계 셀 번호(S2)'로 다음과 같이 표현된다.

$$S1 = (M_1, \dots, M_i, \dots, M_m)$$

단,  $M_i$  는 위치  $i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) 에 존재하는 기계번호

$$S2 = (C_1, \dots, C_j, \dots, C_m)$$

단,  $C_j$  는 기계  $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ ) 가 속한 기계 셀의 번호

각 위치에 놓이는 기계번호	각 기계가 속한 기계 셀 번호
1-4-5-2-3-6	1-1-2-1-2-2

Fig. 4 Candidate solution has only one string, S

각 위치에 놓이는 기계번호	각 기계가 속한 기계 셀 번호
1-4-5-2-3-6	1-1-2-1-2-2

(a) string S1

(b) string S2

Fig. 5 Candidate solution consists of two strings, S1 and S2

예를 들어, Fig. 5 와 같이 셀 배치의 공간에 있는 위치의 수가 6곳이고, 기계의 수가 6대이며, 기계 셀의 수가 2개인 경우, 스트링 S1=(1-4-5-2-3-6) 과 S2=(1-1-2-1-2-2)로 주어진 후보해가 의미하는 것은 다음과 같다.

S1 : 위치 1에는 기계 M1, 위치 2에는 기계 M4, 위치 3에는 기계 M5, 위치 4에는 기계 M2, 위치 5에는 기계 M3, 위치 6에는 기계 M6 가 놓인다.

S2 : 기계 M1, M2 및 M4는 기계 셀 C1에 속하고, 기계 M3, M5 및 M6은 기계 셀 C2에 속한다.

하나의 셀 배치 대안에 대응하는 후보해를 두 개의 스트링 S1과 S2를 이용하여 표현하는 이유는 스트링 S1과 S2가 서로 다른 표현체계를 따르기 때문이다. 즉 S1의 경우 순열형태(Permutation Type)로 표현되기 때문에 교차연산자 PMX, CX, OX 등을 이용할 경우에만 교차 연산을 적용한 후에도 스트링의 정보가 유지된다. S2의 경우는 그룹형태(Group Type)로 표현되기 때문에 1점 교차연산자(One-point Crossover)나 2점 교차연산자(Two-point Crossover)를 이용한다. 본 연구에서는 단계 II에서 위와 같은 표현체계를 사용하여 GA를 적용시킴으로써 셀 내 이동과 셀 간 이동 비용의 가중 합으로 표현되는 부품의 총물류이동 비용을 최소화하는 셀 배치안을 설계한다.

(2) 교차 연산자

본 연구에서는 서로 다른 형태의 표현체계를 가진 정보로 이루어진 후보해에 대하여 동일한 표현체계를 갖는 스트링끼리 교차연산을 적용함으로써 교차연산 후에도 항상 실행가능한 해가 생성되도록 하였다. 이것은 문제의 크기가 커짐에 따라 스트링의 길이가 길어지게 되어 좋은 해에 도달하는 속도가 느려지는 단점을 극복하는 데도 도움이 된다. 본 연구에서는 관련 있는 정보끼리 스트링 S1과 S2를 구성하여 Fig. 6 과 같이 각 스트링 별로 서로 다른 교차연산을 적용하기 때문에, 후보해를 하나의 스트링으로 표현하는 것보다 탐색공간의 다양화 측면에서 유리하다.

(3) 적합도 함수

적합도 함수(fitness function)는 본질적으로 문제에 대한 목적함수(objective function)와 같은 의미로 후보해의 품질을 평가하는 수단을 제공한다. 문제에서 후보해에 대한 목적함수의 값이 좋을수록 후보해에 대한 적합도가 높게 평가된다. 본 연구의 모델 F3와 같이 목적함수  $g(t)$ 가 최소화 문제인 경우, 최대화 문제인 적합도 함수  $f(t)$ 로 변환하기 위하여 다음과 같은 변환이 필요하다.

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

단,  $F^{\max}$  는 매우 큰 양의 수

또한 본 연구에서는 제약식을 갖는 셀 배치의 설계문제를 제약식을 갖지 않는 문제로 변환하기 위하여 제약식을 위반하는 정도에 따라 벌점  $P$ 를 목적함수 값에 더하는 벌점법(penalty method)을 도입하였다. 따라서 본 연구에서 제안한 모델 F3의 목적함수는 최종적으로 다음과 같이 적합도 함수로 변환된다.

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

단,  $G(t) = g(t) + P$   
 $P$  는 벌점 (penalty)

1	4	5	2	3	6	1	1	2	1	2	2
2	3	4	6	1	5	1	1	1	2	2	2

PMX crossover

one-point crossover

(a) Before crossover operation

1	5	4	6	3	2	1	1	2	2	2	2
6	3	5	2	1	4	1	1	1	1	2	2

PMX crossover

one-point crossover

(b) After crossover operation

Fig. 6 Crossover operation

(4) 대체 전략

대체전략(replacement strategy)이란 이전 세대에 있는 후보해들 중에서 현 세대의 집단에 있는 후보해 보다 높은 적합도를 갖는 것은 현 세대의 집단에서 낮은 적합도를 갖는 후보해와 대체하려는 전략을 말한다. 이 전략을 사용하는 이유는 교차나 돌연변이로 인하여 가장 좋은 후보해가 사라지는

일이 없도록 하고자 함에 있다. 본 연구에서는 이전 세대에서 가장 높은 적합도를 갖는 후보해 Z1이 현 세대의 집단에서 가장 낮은 적합도를 갖는 후보해 Z2보다 높은 적합도를 가질 때, 이전 세대의 후보해 Z1을 현 세대의 후보해 Z2와 대체하는 “엘리트 전략(elitist strategy)”을 사용한다.

#### 4. 수치예제 및 실험

본 연구에서는 동일한 크기의 공간을 갖는  $a$  행  $\beta$  열로 이루어진 ( $a \times \beta$ )개의 위치에 대해 ( $a \times \beta$ )대의 기계를 배치하는 예제를 통해서 부품의 총 물류이동 비용을 최소화 하는 최적의 셀 배치안을 설계하고, 부품의 가공 공정순서에 기초한 셀 배치의 결과를 분석한다. Fig. 7에 나타난 부품의 대안 공정계획-기계 행렬의 각 요소 값은 대안공정계획에 따른 각 부품의 가공 공정순서를 의미하며, 위치  $i$ 와  $j$ 사이의 거리를 나타내는 척도로써 직각거리(rectilinear distance)를 사용한다. 부품별 대안공정계획의 선정 및 부품군의 형성을 위한 수리 모델 F1과 F2는 LINDO package를 이용하여 최적화 하였고, 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계를 위한 수리 모델 F3은 GA를 적용하여 최적화 하였다.

##### 4.1 수치예제의 실험

대안 공정계획을 가진 18종류의 부품을 가공하기 위해 필요한 15대의 기계를 3행 5열로 이루어진 15개의 위치에 배치할 때 고려해야 하는 변수의 값과 셀 배치 수행절차는 다음과 같다.

(셀배치에 관련된 변수)

$$n_c=4, LM=3, UM=4, \text{부품의 } w_1=0.3, w_2=0.7$$

(GA 수행에 관련된 변수)

$$\text{집단크기}=140, \text{최대세대수}=1000,$$

$$\text{교배/돌연변이의 확률}=0.9/0.1,$$

$$\text{교차 연산자: 스트링 1} = \text{PMX}$$

$$\text{스트링 2} = \text{two-point crossover}$$

[단계 I]

- ① 모델 F1을 LINDO를 수행하여 최적화한 부품별 공정계획은 다음과 같다.

부품	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
공정계획	1	4	7	8	12	14	16	17	20

부품	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
공정계획	22	26	28	30	31	34	35	37	38

- ② 앞의 ①에서 선정된 부품별 공정계획을 부품 군 형성을 위한 모델 F2에 적용시켜 LINDO를 수행시킨 결과는 다음과 같다.

군	부품	부품의 가공 공정순서
C1	P1	M4→M1→M9→M13
	P5	M4→M1→M10→M13
	P9	M4→M1→M9→M13
	P16	M4→M1→M11→M13
C2	P2	M2→M7→M14→M11
	P7	M3→M7→M14→M11
	P10	M2→M8→M14→M11
	P13	M2→M7→M12→M11
C3	P3	M3→M12→M8→M15
	P6	M3→M8→M12→M15
	P11	M3→M12→M8→M14
	P14	M3→M12→M9→M15
C4	P4	M5→M10→M6
	P8	M5→M10→M6
	P12	M8→M10→M6
	P15	M5→M9→M6

[단계 II] 수리 모델 F3를 통한 기계 셀의 형성 및 셀 배치의 설계

단계 I에서 구성한 부품 군 형성결과를 모델 F3에 적용시켜서 GA를 이용하여 기계 셀을 형성하고 기계들을 셀 배치한 결과는 Fig. 8과 같으며, 총물류이동 비용은 '2800(=0.3×3570+0.7×2470)'이다. 부품 군 C4에 속한 부품 P4와 P8의 경우 셀 내 이동만이 존재하며, 기계 M5에서 M10까지 거리 1만큼의 이동을 하고 기계 M10에서 M6까지 거리 1만큼 이동한다. 부품 P12의 경우 셀 내 이동과 셀 간 이동이 모두 존재하며, 기계 M8(기계 셀 C3)에서 M10(기계 셀 C4)까지 거리 3만큼의 셀 간 이동을 하고 기계 M10에서 M6(기계 셀 C4)까지 거리 1만큼의 셀 내 이동을 한다.



$P_i$	$\begin{matrix} M_i \\ R_i \end{matrix}$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	$D_i$
P1	1	2			1					3				4			100
	2	1				2					4				3		
P2	3	1				2			3					4			100
	4		1					2				4			3		
	5		2				1						3			4	
P3	6			1					2				3			4	100
	7			1					3				2			4	
P4	8					1	3				2						100
	9					1			2			3					
P5	10	1			2					3			4				80
	11	2				1								3			
	12	2			1					3				4			
P6	13			1					3			2				4	100
	14			1					2				3			4	
P7	15	1					3			2						4	90
	16			1				2				4				3	
P8	17					1	3				2						100
	18					1		2					3				
P9	19	2			1				3						4		100
	20	2			1					3				4			
	21	1					2					3					
P10	22		1					2				4				3	90
	23		1				2			3			4				
P11	24			1					2			3			4		80
	25			1					3				2		4		
	26			1					2						3	4	
P12	27					1		2					3				80
	28						3		1		2						
	29			1			2			3					4		
P13	30		1					2				4	3				80
P14	31			1						3			2			4	90
	32			1						3			2		4		
P15	33					1					2					3	80
	34					1	3			2							
P16	35	2			1							3		4			80
P17	36			1							3		2			4	80
	37			1					3				2		4		
P18	38		1					2				4		3			80
	39	2				1						4			3		
	40	1				2				3			4				

where,  $P_i$ =part number,  $M_i$ =machine number,  $R_i$ =process plan number,  $D_i$ =demand

Fig. 7 Alternative process plan-machine matrix for parts

4.2 수행결과의 분석

주어진 예제에서는 동일한 기계 셀에서 처리되

는 부품들의 가공공정순서가 서로 다르고, 동일 부품 군에 속한 부품들이 하나의 기계 셀에서 처리될 수 없는 경우에 셀 간 이동이 존재한다. 예를 들

어, 부품 군 C1에 속한 부품 P16의 경우 가공 공정 순서가 'M4 → M1 → M11 → M13' 이므로 기계 셀 C1과 C2를 거쳐야 가공이 완료됨을 알 수 있다. 대부분의 경우에 기계 셀 내에 존재하는 기계들의 위치는 부품의 가공 공정순서대로 배치하는 것이 일반적이지만, 부품의 셀 간 이동을 고려할 경우 기계들의 위치가 가공 공정순서에 일부 위배될 수도 있다. 예를 들어, 기계 셀 C2의 경우에 부품 군 C2에 속한 부품들의 셀 내 이동만을 고려한다면, 기계들의 위치가 Fig. 9 (b)와 같이 'M2 → M7 → M14 → M11'의 순서로 배치되는 것이 바람직할 것이다. 그러나 부품 P7, P13, P18에 의해 야기되는 셀 간 이동을 고려할 경우, 실제로 기계들이 'M7 → M2 → M14 → M11'의 순서로 배치되는 것이 부품의 총 물류이동 비용을 적게 만든다는 것을 알 수 있다.

Cell	Machines
C1	M4, M1, M9, M13
	M11, M14, M2, M7
C3	M8, M15, M12, M3
C4	M10, M6, M5

(a) Formation of machine cell

M3	M12	M15	M9	M6
	M8	M13	M1	M10
			M4	M5

(b) Result of cellular layout

Fig. 8 Formation of machine cell and cellular layout

M4	M1			
M10	M9	M13	M8	
M6	M5	M15	M12	M3

(a) layout 1

M3	M12	M15	M9	M6
	M8	M13	M1	M10
			M4	M5

(b) layout 2

Fig. 9 Two alternative cellular layout for the same machine cell

실제로 GA를 반복 수행하였을 때, 80% 정도는 Fig. 8 (b)의 결과를 얻지만 나머지 20% 정도는 Fig. 9의 (a), (b)와 같이 기계 셀의 구성은 Fig. 8 (b)와 동일하지만 해당 기계들의 위치나 순서가 서로 다른 셀 배치안을 얻는다. 더욱이 (a)와 (b)의 두 가지 대안은 총물류이동 비용이 각각 '2870'과 '2855'로 예제의 수행결과와 차이가 거의 없기 때문에 물리적인 제약 등이 존재하는 경우에 고려해 볼 만하다.

### 4.3 셀 간 이동과 셀 내 이동의 가중치 영향에 대한 토의

셀 간 이동과 셀 내 이동에 대한 가중치의 영향을 조사하기 위하여 다른 가중치 조합에 대한 셀 배치 결과를 요약하면 Fig. 10 과 같다. Fig. 10 에서 셀 간 이동과 셀 내 이동에 대한 가중치의 조합이 서로 다른 경우에도 기계 셀의 구성은 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. Fig. 10 (a)는 셀 간 이동에 대한 물류이동 비용만을 고려하는 경우로 (d)와 같이 셀 간 이동과 셀 내 이동이 총물류이동 비용에서 차지하는 비중이 비슷한 경우 보다 셀 내 이동량이 많다. 즉, Fig. 10 (a)의 경우 셀 내 물류이동량이 '5170'인데 반해서 (d)의 경우 셀 내 이동량은 '3180'이다. 그러나 Fig. 10 (a)의 셀 간 이동량은 '2390'으로 다른 셀 배치안에 비해 상대적으로 작다.

Table 1에서 Fig. 10 (b)와 (c) 및 Fig. 8 (b)는 다소의 차이가 존재하지만, 셀 간 이동량과 셀 내 이동량이 매우 흡사함을 알 수 있다.

Table 1. Inrcell and intracell movements for the different weights

weighting factors		movement	
$w_1$	$w_2$	intracell	intercell
0.0	1.0	5170	2390
0.1	0.9	3570	2470
0.2	0.8	3570	2570
0.3	0.7	3570	2470
0.4	0.6	3180	2880

결과적으로 셀 내 이동에 대한 가중치  $w_1$ 이 [0.1, 0.3] 사이의 범위에 존재할 때 셀 배치안의 결정에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

M5	M10			
M6	M9		M7	M14
M4	M1	M13	M11	M2

(a)  $w_1=0.0, w_2=1.0$

M2	M14	M11	M4	M6
M7		M13	M1	M10
			M9	M5

(b)  $w_1=0.1, w_2=0.9$

			M5	M6
M7		M13	M9	M10
M2	M14	M11	M1	M4

(c)  $w_1=0.2, w_2=0.8$

M4	M13	M11	M14	M7
M1	M9			M2
M6	M10	M5		

(d)  $w_1=0.4, w_2=0.6$

Fig. 10 Alternative cellular layout for the different weighting factors

### 5. 결론

본 연구에서는 셀 제조시스템에서 부품의 셀 내 이동과 셀 간 이동의 가중 합으로 표현되는 총물류 이동 비용을 최소화하는 셀 배치의 설계문제를 풀기 위해 GA를 이용한 해법을 제시하였다. 본 연구에서는 셀 배치의 설계문제에서 부품의 대안 공정계획과 공정계획에 따른 부품의 가공 공정순서를 고려하였고, 부품별 대안 공정계획 중에서 하나의 공정계획만을 선정하기 위하여 각 부품의 대안 공정계획에 대하여 가공 공정순서의 유사성에 기초한 유사성계수를 개발하였다. 단계 I에서는 제한한 유사계수들의 총합을 최대로 하도록 부품별로 하나의 공정계획을 선정(수리 모델 F1)하였고, 이 결과를 토대로 수리 모델 F2를 이용하여 부품 군을 형성하였다. 단계 II에서는 단계 I의 부품별 공정계획의 선정 및 부품 군 형성의 결과로부터 부품의 총물류 이동 비용을 최소화하는 수리 모델 F3을 이용하여 기계 셀의 형성과 셀 배치를 설계하였다. 또한 현장의 상황이나 의사결정자의 의도를 보다 반영하기 쉽도록 셀 배치를 설계함에 있어서 기계 셀의 수나 임의의 기계 셀에 포함될 수 있는 기계대수를 제어함으로써 셀 배치의 설계에 유연성을 부여하였다.

### 후기

이 논문은 1997-1999년도 교육부 학술연구조성비 지원과제 '유전알고리즘에 기초한 제조 셀과 셀 배치의 설계(과제번호: 기계공학 ME97-E-13)'의 연구결과의 일부분임.

### 참고문헌

- Francis, R. L., McGinnis, L. F., and White, J. A., Facility Layout and Location : An Analytical Approach, Prentice Hall, 1992.
- Kusiak, A., and Heragu, S. S., "Machine Layout: An Optimization and Knowledge-base Approach," International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 4, pp.615-635, 1990.
- Chan, K. C., and Carter, J. N., "A Study of Genetic Crossover Operations on the Facilities Layout Problem," Computers and Industrial Engineering, Vol. 26, No. 3, pp.537-550, 1994.

4. Sirinaovakul, B., and Thajchayapong, P., "A Knowledge Base to Assist A Heuristic Search Approach to Facility Layout," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No. 1, pp.141-160, 1994.
5. Suresh, G., Vindo, V. V., and Sahu, S., "A Genetic Algorithm for Facility Layout," *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 12, pp.3411-3423, 1995.
6. 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.
7. Goldberg, D. E., *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
8. Cho, K. K., and Lee, B. U., "Design of Manufacturing Cell based on Genetic Algorithm," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 12, pp. 72-80, 1998.