

공정순서에 기초한 생산셀 설계를 위한 유전 알고리즘 접근

문치웅* · 김재균*

A Genetic Algorithm for Manufacturing Cell Design Based on Operation Sequence

Chiung Moon* · Jaegyun Kim*

Abstract

A cell design model based on operation sequence is proposed for maximizing the total parts flow within cells considering the data of process plans for parts, production volume, and cell size. A relationship between machines is calculated on the basis of the process plans for parts obtained from process plan sheets. Then the machines are classified into machine cells using the relationship. The model is formulated as a 0-1 integer programming and a genetic algorithm approach is developed to solve the model. The developed approach is tested and proved using actual industrial data. Experimental results indicate that the approach is appropriate for large-size cell design problems efficiently.

1. 서 론

GT(group technology)는 생산성 향상을 위하여 공정작업이 같거나 유사한 부품들을 군(family)으로 분류하고, 하나 또는 그 이상의 부품군의 작업을 위하여 기계들을 셀(cell)로 구성하는 도구로서

응용되고 있다[8]. 이때 유사한 공정들을 가지는 부품들의 집합을 부품군(part family)이라 하고, 그 부품군의 가공을 위해 그룹화된 기계들의 집합을 셀이라 한다. 또한, 부품군과 기계셀 구성을 위한 절차를 생산셀 설계(manufacturing cell design)라 한다. 이밖에 생산과 관련한 GT의 응용분야로는 부품분류와 코딩(classification & coding),

* 울산대학교 수송시스템공학부

공정계획(process planning), 셀 배치계획(cell layout), 일정계획(scheduling) 등이 있으며, GT 응용에 의한 효과로는 생산 리드타임(production read time)과 셋업시간(setup time)의 단축, 재공품 재고(work-in-process)의 감소, 품질향상 등이 있다[11, 20].

생산공정(manufacturing process)에 기초한 부품분류와 코딩에 의하여 각 부품은 군으로 분류되고, 코드에 의하여 공정계획 단계에서는 표준 공정계획(standard process plans)을 검색하여 각 부품에 대한 공정순서 등을 포함한 공정계획을 결정할 수 있다. 이때 부품에 관련한 정보는 코드(code)를 사용하여 읽고 저장된다. 그러므로 생산셀 설계 문제에서도 부품코드에 대한 공정계획 정보를 입력자료로 하여 셀간 이동을 최소화하는 셀을 구성할 수 있으며[14], 이러한 셀 구성을 통하여 생산계획(production planning), 자재이동(material handling), 일정계획의 단순화를 이룰 수 있다. 지난 20 여년간에 걸쳐 생산셀 설계를 위한 많은 연구들이 이루어졌는데, Gunasekaran et al. [6]과 Joines et al. [10]는 기존연구의 고찰을 통해 접근 방법들을 몇 개의 그룹으로 분류하고 그 특징에 대하여 논하였다. 또한 Wemmerov & Hyer [20]는 GT 개념을 응용하고 있는 기업들을 대상으로 한 조사연구를 통해 적용 효과에 대한 결과를 제시하였다. Kusiak[11]은 현장에서 생산셀을 설계하는 가장 큰 목적중의 하나가 자재이동의 최소화 및 취급의 단순화이며, 이를 통해 자재취급에 대한 효율성이 기존의 방법에 비해 20-88% 향상되었음을 보고하였다. 본 논문은 생산셀 설계시 이러한 자재이동의 최소화를 위한 방법을 제시한다.

생산셀 설계를 위한 많은 연구들 [1, 2, 10, 16]이 이루어졌는데, 이들 대부분이 공정계획, 생산량, 자재취급비용, 셀 크기 등과 같은 생산관련요인(manufacturing factor)을 고려하여 모델화하지는

못하였다. 그러나 보다 현실적인 생산셀 설계를 위하여 이러한 생산관련 요인들은 적절히 고려되어야 한다. 최근에, Harhalakis et al. [9]은 공정계획과 셀크기를 고려하여 셀간이동의 최소화를 위한 휴리스틱 알고리즘을 제시하였고, Zhou 와 Askin [19]은 기계비용, 가공비용, 자재취급비용, setup 비용 등을 고려하여 모델화하고, 이 문제의 해결을 위하여 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Moon 과 Gen[15]은 생산량, 가공시간, 기계가용능력, 셀 크기 등을 고려하여 가공시간과 기계중복투입 비용의 최소화를 위한 모델을 제시하고 유전 알고리즘(genetic algorithm)을 이용한 해법을 개발하였다.

본 논문에서는 공정순서, 생산량, 셀 크기, 자재취급장치의 능력을 고려하여 전체 부품의 가공작업 과정에서 발생하는 기계간 자재 이동들 중 셀안에서의 이동(intracell moves)을 최대화함으로써 셀간이동(intercell moves)을 최소화하는 생산셀 설계 모델을 제시하고자 한다. 또한 제시된 모델의 해결접근을 위하여 유전 알고리즘에 의한 해법을 개발하겠다.

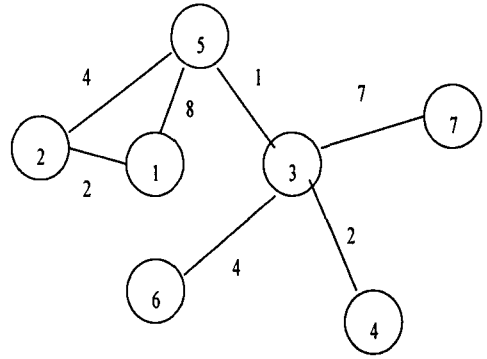
2. 문제 정의

제품 생산을 위해서는 그 제품을 구성하는 많은 종류의 부품을 필요로 한다. 이때 부품들은 부품분류 및 코딩에 의하여 몇 개의 부품군으로 분류되며, 각 부품들은 고유한 코드가 부여된다. 이 코드를 매개체로 공정계획 데이터베이스에 저장된 표준 공정계획을 검색하여 각 부품에 대한 공정계획표(process plan sheet)가 생성된다. 일반적으로 공정계획표에는 부품의 생산량, 단위작업, 사용기계 및 보조장치, 공정순서 등의 정보가 들어 있다.

표 1은 W사의 터빈·발전기(turbine and generator) 제품 생산을 위해 필요한 220770번 코드를 갖는 부품에 대한 공정계획표의 예이다.

표 1에서 공정번호는 220770번 부품에 대한 공정순서를 의미하며, 각 공정작업을 위한 기계는 가공장비코드로서 나타내었으며, 생산량은 2개이다. 이때 기계간 이동은 301→201→306의 순서로 표현된다. 그러므로 가공될 모든 부품에 대하여 하나의 공정순서가 생성되며, 이 공정순서를 사용하여 기계간 자재이동 관계를 그래프로 나타내면 그림 1의 예와 같다. 그림 1의 그래프에서 노드(node)는 기계번호이며, 아크(arc)의 값은 기계간 자재 이동횟수를 나타낸다. 이때, 이동횟수는 이송장치의 능력과 부품의 생산량에 의하여 결정되는데, 만약 한번에 하나의 부품을 운반한다면 표 1의 220770번 부품의 이동횟수는 2이다. 이러한 관계에 의하여 기계들 간의 관계가 계산되는데, 구성하고자 하는 셀의 수와 하나의 셀 안에서의 기계수로 표현되는 셀 크기가 정해지면, 이 그래프는 셀 수만큼의 부분그래프(subgraph)로 나누어지는데, 최종 셀 구성 결과에서 각 부분그래프는 최대걸침나무(maximum spanning tree)를 형성한다.

만약 셀 수가 2이고 셀 크기가 4라면 그림 1의 셀 구성은 { 1, 2, 5}와 {3, 4, 6, 7}이 된다.



[그림 1] 자재이동 관계 그래프

3. 모델 정식화

부품 또는 부품군의 가공을 위하여 셀간 이동을 최소화하고 생산과정의 효율성 증대를 위하여 기계들을 몇 개의 그룹으로 나누어 셀을 구성할 수 있다. 이때 셀간이동의 최소화는 가공 대상 부품

<표 2> 공정계획표

부품코드	부품명		부서코드	부서명	입고	출고	생산량	
220770	HP Diaphragm		W980	가공부	WX3	W92	2	
공정번호	작업조코드	가공장비코드	대체장비코드	MC/H	M/H	작업자수	Duration	작업내용
101	A10	301	302	60	60	1	3	황삭1
102	A10	301	302	120	120	2	7	황삭2
201	A10	201	202	160	80	1	2	드릴링1
301	A10	201	202	80	160	1	9	드릴링2
401	A20	306	305	80	160	1	4	보링1
402	A20	306	305	100	50	2	4	보링2
501	A10	306	305	40	80	1	2	정삭3
합계				640	710	9		

들의 기계간 자재이동 관계를 이용하여 서로 관련성이 큰 기계들은 같은 셀에 포함되도록 하는 과정을 통하여 셀을 구성할 수 있다. 즉, 가공을 위해 발생하는 전체 이동횟수 중에서 셀안에서의 이동횟수를 최대화함으로써 셀간이동을 최소화할 수 있다.

모델의 제시를 위하여 기본적으로 필요한 정보는 다음과 같다.

- (1) 부품분류와 코딩에 의하여 부품군은 이미 구성되었다.
- (2) 각 부품의 코드번호에 대하여 하나의 공정계획표가 있다.
- (3) 계획기간 동안의 부품에 대한 생산량은 알고 있다.

또한 모델의 정식화를 위하여 다음의 기호를 사용하겠다.

- i, j : 기계 인덱스 ($i, j=1, 2, \dots, Nm$)
 k : 부품 인덱스 ($k=1, 2, 3, \dots, Np$)
 c : 셀 인덱스 ($c=1, 2, 3, \dots, Nc$)
 pv_k : 부품 k 의 생산량
 cd_k : 자재취급장치에 의한 이동당 부품 k 의 운반량
 Uc : 최대 셀 크기
 $x_{ic} = \begin{cases} 1 & \text{기계 } i \text{가 셀 } c \text{에 할당되었다} \\ 0 & \text{그외} \end{cases}$

위의 기호를 이용하여 계획기간 동안의 기계 i 와 j 간의 이동횟수는 다음의 식 (1)에 의하여 계산된다.

$$nt_{ijk} = \left\lceil \frac{pv_k}{cd_k} \right\rceil \quad (1)$$

여기서 $\lceil x \rceil$ 의 의미는 x 보다 크거나 같은 최소 정수이다.

셀 구성을 위한 전체적인 수학적 모델은 다음과 같이 하나의 0-1 정수계획법으로 정식화된다.

$$\text{Maximize } Z = 1/2 \sum_{c=1}^{Nc} \sum_{i=1}^{Nm} \sum_{j=1}^{Nm} \sum_{k=1}^{Np} nt_{ijk} x_{ic} x_{jc} \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_{c=1}^{Nc} x_{ic} = 1, \quad \forall i \quad (3)$$

$$1 \leq \sum_{i=1}^{Nm} x_{ic} \leq Uc, \quad \forall c \quad (4)$$

$$x_{ic} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, c \quad (5)$$

위의 모델의 목적함수는 셀간 이동의 최소화를 위하여 전체 이동 중 셀 안에서의 이동을 최대화하고자 하는 것이다. 첫 번째 제약식 (3)은 가공에 참여하는 각 기계는 하나의 셀에 포함된다는 조건이며, 두 번째 제약식 (4)는 모든 셀은 최소 한 대의 기계를 포함하며 셀 크기 제약을 만족해야 함을 나타낸 것이다. 그리고, 제약식 (5)는 0-1 변수 제약이다.

위의 수학적 모델은 정수형 변수를 포함하는 NP-hard 문제이며, 문제의 크기가 커졌을 경우 해를 구하는데 많은 어려움이 있으므로 다음 장에서는 효율적으로 해를 구할 수 있는 방법을 개발하겠다.

4. 유전 알고리즘 접근

유전 알고리즘은 외판원 문제(travelling salesman problem), 일정계획(scheduling), 공정계획(process planning), 생산셀 설계 문제 등의 복잡한 조합최적화(combinatorial optimization) 문제의 최적 또는 근사 최적 해를 구하는데 탁월한 기능을 발휘하고 있다 [4, 5]. 조합최적화 문제중 생산셀 설계 문제는 2개의 외판원 문제를 동시에 해결하는 것과 같은 복잡함을 갖고 있으므로 실제 현장의 대규모의 문제 등과 같이 크기가 커졌을 경우 기존의 방법으로는 많은 어려움이 있다. 최근에 이러한 셀 설계문제의 해결을 위해 유전 알고리즘에 의한 방법들이 제시되었다 [7, 10, 15, 16, 18]. 유전 알고리즘의 적용은 다음과 같은 면에서 기존의 방법과 다르다 [5].

- (1) 유전 알고리즘은 가능해를 컴퓨터 구조에 적합한 문자열 코드로 나타낸다.
- (2) 유전 알고리즘은 가능해 집합을 가지고 가능해 공간을 탐색한다.
- (3) 유전 알고리즘은 확률적인 변이과정(probabilistic transition rule)에 의하여 최적해를 탐색한다.
- (4) 적합도 함수만을 이용하여 해를 구하므로 유연하고 간단하게 적용 가능하다.

유전 알고리즘의 응용에서 가장 중요한 문제들은 해의 표현(representation), 해의 초기화(initialization), 평가함수(evaluation function), 교차변이(crossover), 돌연변이(mutation), 선택(selection) 등이다. 또한 유전 파라미터로는 모집단

크기(population size: *pop_size*), 세대수(number of generation: *max_gen*), 교차변이율(crossover rate: *pc*), 돌연변이율(mutation rate: *pm*)가 있으며 유전 알고리즘의 실행에 앞서 설정되어야 한다.

4.1 해의 표현과 초기화

유전 알고리즘은 모집단이라 불리는 가능해 집합을 가지고 해를 탐색해 나가는데, 모집단의 각 요소를 염색체(chromosome) 또는 개체(individual)라 하며, 염색체를 구성하는 요소를 인자(gene)이라 한다. 이러한 실제문제의 발생 가능해를 유전 알고리즘의 염색체로 나타내는 것을 해의 표현이라 한다. 생산셀 설계 문제에 유전 알고리즘을 응용하면서 몇 개의 표현 방법들이 제시되었는데, (1) 셀 번호 표현법 [7, 10, 16, 18], (2) 기계번호와 그룹위치 표현법[2], 2단계법 [15] 등이 있다. 이러한 방법들은 해결하고자 하는 문제의 형태에 의해 결정된다. 본 논문에서는 셀 번호 표현법에 기초한 방법에 의하여 해를 표현하겠다. 가능해의 한 예는 다음과 같다.

기계번호 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

셀 번호	3	1	1	3	2	1	2	2	1	3
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

해의 표현에서 스트링의 길이는 기계 수를 의미하며, 기계번호는 올림차순 순으로 정리되어 있다. 그리고, 인자 값은 그 기계가 포함될 셀 번호를 의미한다. 위의 결과에 대하여 기계들은 { 2, 3, 6, 9 }, { 5, 7, 8 }, { 1, 4, 10 }과 같이 세 개의 셀로 그룹화 된다.

유전 알고리즘의 실행에 있어서 두 번째 단

계는 해의 초기화이다. 모집단 크기만큼의 가능해 집합을 결정하여야 하는데, 본 논문에서는 랜덤하게 난수를 발생시켜 초기 가능해를 구성하겠다. 그런데 랜덤하게 발생된 염색체들 중에는 제 3장에서 정식화된 수학적모델의 제약범위를 벗어나는 것들이 있을 수 있다. 따라서 초기화 단계에서의 실행 불가능 해(infeasible solution)의 처리는 다음의 절차에 따라 가능해 만을 가지는 모집단을 생성하겠다.

Initialization Procedure :

Begin

For $i \leftarrow 1$ to pop_size **Do**

 generate a chromosome st_i

 randomly;

If (st_i is not feasible) **Then**

$i \leftarrow i - 1$;

End : **End** : **End**

4.2 해의 평가

세대를 반복하는 동안 해를 개선하기 위해서는 어떤 평가척도에 의하여 모집단의 개체들은 평가하여야 한다. 이러한 평가척도로써 제 3장에서 정식화된 수학적모델의 목적함수를 가능해의 평가를 위한 적합도 함수(fitness function)로 이용하겠다. 그러므로 유전 알고리즘의 적합도 함수는 다음과 같이 표현된다.

$$fitness(st_i) = Z(st_i) \quad (6)$$

이러한 적합도 기준에 의하여 해를 평가함에 있어서 생산셀 설계 문제의 셀 크기나 셀 수 제

약을 벗어나는 염색체들에 대한 조치가 필요한데, Gen과 Cheng [4]은 이러한 비실행 해의 처리를 위한 방법들을 (1) rejecting, (2) repairing, (3) modifying genetic operators, (4) penalizing 등의 5 가지로 분류하였다. 이러한 방법들 중 repairing 방법은 다른 방법들에 비해 속도가 빠르며 수행도가 뛰어난 특징이 있다 [13]. 본 논문의 유전 알고리즘에서는 repairing 방법에 기초한 새로운 절차에 의하여 비 실행 가능해를 처리하겠다. 제시된 비 실행 해의 처리를 위한 절차는 다음과 같다.

Repairing procedure :

Begin

For $i = 1$ to pop_size

Repeat

 check the Uc and Nc in each chromosome;

If (not feasible) **Then**

 select machines having

 overflow cell number, replace

 current cell numbers by new

 cell numbers generated

 randomly;

 update data;

End

Until (Uc and Nc become feasible)

$i = i + 1$;

End : **End**

4.3 유전 연산자

유전 알고리즘에 의한 생산셀 설계에서 현재

세대의 셀 구성 결과를 개선하여 다음 세대에 보다 나은 해를 제공하기 위한 유전 연산자 (genetic operator)로서 교차변이와 돌연변이가 있다. 교차변이 연산은 핵심적인 유전 연산자이며 부모 염색체의 몇 개의 인자를 서로 교환하여 새로운 해를 만들어 내는 역할을 한다. 반면에 돌연변이 연산자는 염색체 구조에 아주 작은 변화를 줌으로써 해의 개선을 돕는 역할을 한다. 일반적으로 외판원 문제와 같이 순서를 고려하지 않는 문제에 대한 교차변이는 한 점 절단법 또는 두 점 절단법에 의한 교차변이를 이용한다. 본 논문에서는 해의 개선 속도가 상대적으로 빠른 두 점 절단법을 이용하겠다. 교차변이를 위한 두 개의 염색체와 교차점이 '*' 와 같이 선택되었다 할 때,

$$st_1 = [2 * 3 1 1 * 2 3 1]$$

$$st_2 = [3 * 1 2 3 * 1 2 2]$$

두 교차점을 기준으로 인자들이 서로 교환이 이루어지며, 그 결과는 다음과 같다.

$$op_1 = [3 3 1 1 1 2 2]$$

$$op_2 = [2 1 2 3 2 3 1]$$

또한 돌연변이 연산은 랜덤하게 하나의 인자를 선택한 후, 그 인자에 할당된 셀 번호를 새롭게 발생된 셀 번호로 대체하는 방법에 의한 다. 이때 발생 난수의 범위는 $[1, Nc]$ 이다. 만약에 염색체 st_1 이 돌연변이를 위해 선택되었으며, 난수 발생에 의하여 돌연변이 위치가 세 번째 기계가 결정되었을 때, 새롭게 발생된 난

수 값이 2라면 새로운 염색체는 다음과 같다.

$$op_3 = [2 3 2 1 2 3 1]$$

4.4 선택 전략

선택전략은 모집단의 염색체들에 대한 유전 연산의 실행을 위하여 또는 다음 세대의 모집단 형성을 위하여 현재의 모집단에서 염색체들을 어떻게 선택할까 하는 방법의 설계에 대한 것이다. 본 논문에서는 룰렛휠 방법과 엘리트 보존 전략을 혼합한 방법에 의하여 염색체들을 선택하였다.

4.5 유전 알고리즘의 절차

현재 세대 t 에서의 부모와 자식 염색체를 각각 $P(t)$ 와 $C(t)$ 라 할 때, 본 논문에서 개발된 유전 알고리즘의 전체적인 절차는 다음과 같다.

Genetic algorithm Procedure :

Begin

$t \leftarrow 0$;

initialize $P(t)$;

evaluate $P(t)$;

While (not termination criteria) **Do**

apply the genetic operators into the $P(t)$ to yield $C(t)$;

evaluate $C(t)$;

select $P(t+1)$ from $P(t)$ and $C(t)$;

$t \leftarrow t + 1$;

End: End

5. 수치 예

공정순서와 생산관련 요인을 고려한 생산셀 설계 문제의 해결 접근을 위해 개발된 유전 알고리즘을 간단한 수치 예와 실제적인 현장 데이터 적용을 통하여 효율적으로 해를 탐색함을 보이도록 하겠다. 먼저 10개의 부품과 8대의 기계에 대하여 공정계획과 생산량이 표 2와 같이 주어 있다. 또한 자재 이송장치의 한번 이동에 대한 적재능력은 일괄적으로 1로 두겠다.

〈표 2〉 부품 가공 공정정보

부품	공정순서	생산량
1	M ₁ →M ₃ →M ₄	1
2	M ₂ →M ₅ →M ₁	1
3	M ₁ →M ₂	3
4	M ₁ →M ₅ →M ₂	1
5	M ₃ →M ₈ →M ₆	1
6	M ₄ →M ₆ →M ₈ →M ₃	4
7	M ₆ →M ₇ →M ₂	2
8	M ₅ →M ₂	1
9	M ₆ →M ₇ →M ₈	1
10	M ₇ →M ₈ →M ₂	2

위의 정보에 대해 기계들 간의 전체 이동횟수는 식 (1)에 의하여 다음의 표 3과 같이 계산되어 진다.

표 2와 3의 정보를 이용하여 구성하고자 하는 셀의 수가 3이고 각 셀에서의 셀 크기가 [3, 4]라 할 때, 유전 파라미터 값을 $max_gen = 100$; $pop_size = 20$; $pc = 0.5$; $pm = 0.1$ 로 설정하고 실험을 반복하여 시행하였다. 그 결과 모든 실행에 대하여 일정한 결과를 보였으며, 3 개의 셀에 대해 셀 크기가 4일 때 가장 좋은

해가 구해졌다. 이때의 염색체는 [1 1 2 3 1 2 2 2] 이다. 이것을 해석하면 기계 1, 2, 5는 1번 셀에, 3, 6, 7, 8은 2번 셀에, 4번 기계는 3번 셀에 각각 할당된다. 전체적인 결과는 표 4에 요약되었다.

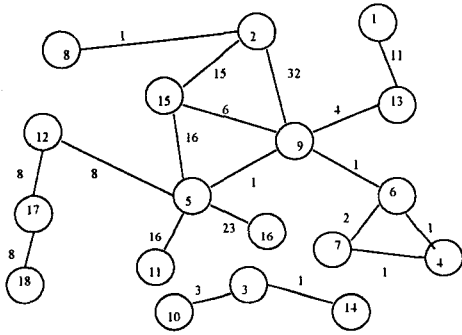
〈표 3〉 기계간 부품 이동정보

From \ To	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
M ₁	0	3	1	0	2	0	0	0
M ₂	0	0	0	3	0	2	2	
M ₃	0	1	0	0	0	5		
M ₄	0	0	4	0	0			
M ₅	0	0	0	0				
M ₆	0	3	5					
M ₇	0	3						
M ₈	0							

보다 현실적인 예제 적용을 위하여 W 중공업의 터빈·발전기 공장의 제품 생산에 대한 자료를 이용하여 실험을 하였다. 이 공장은 double gantry plano millers, boring & milling machines, lathes, tapping machines 등의 25 종류의 장비들을 이용하여 가스터빈, 선박용 터빈, 발전소용 발전기 등과 같은 제품을 생산하고 있다. 이 제품들 중 모델번호가 WES903번인 발전기 제품에 대한 자료를 이용하여 개발된 알고리즘이 큰 규모의 문제에 대해서도 일관되게 해를 구함을 보이겠다. 이 제품을 구성하는 전체 부품 수 중 가공부에서 작업이 이루어지는 부품은 46이며 사용장비는 18대이다. 이 부품들에 대하여 공정계획표에서 입력받은 공정계획 자료를 이용하여 기계간 이동관계를 계산하고 그래프로 나타내면 그림 2와 같다.

〈표 4〉 셀구성 결과 요약

셀 수 = 3 셀 크기 = 3		셀 수 = 3 셀 크기 = 4
대안 1: 셀 1: M ₄ M ₆ M ₇ 셀 2: M ₁ M ₂ M ₅ 셀 3: M ₃ M ₈	대안 2: 셀 1: M ₁ M ₂ M ₃ 셀 2: M ₃ M ₄ 셀 3: M ₆ M ₇ M ₈	셀 1: M ₁ M ₂ M ₅ 셀 2: M ₃ M ₆ M ₇ M ₈ 셀 3: M ₄
적합도 값 = 20	적합도 값 = 20	적합도 값 = 24
전체이동수 : 34		



[그림 2] 기계간 자재이동 관계 그래프

위의 문제에 대하여 구성하고자 하는 셀의 수는 4 와 5개, 셀 크기는 5 와 6으로 정하고 유전 파라미터 값을 $max_gen = 100$; $pop_size = 20$; $pc = 0.5$; $pm = 0.1$ 로 설정하여 실험을 행하였다. 기계들 간의 부품의 전체 이동횟수는 146회이며, 가장 좋은 해를 발생시키는 경우의 셀 안에서의 최대 이동 횟수는 118회 이었다. 이때의 셀 수와 셀 크기는 각각 4와 6 이다. 전체적인 결과가 표 5에 요약되었다.

〈표 5〉 셀 구성결과 요약

셀 수	셀 크기	셀 구성	셀 안에서의 최대 이동횟수	전체 이동횟수
4	5	셀_1: M ₁ M ₃ M ₁₀ M ₁₃ M ₁₄ 셀_2: M ₂ M ₅ M ₉ M ₁₅ M ₁₆ 셀_3: M ₄ M ₆ M ₇ M ₈ 셀_4: M ₁₁ M ₁₂ M ₁₇ M ₁₈	116	146
	6	셀_1: M ₁ M ₂ M ₈ M ₉ M ₁₁ M ₁₃ 셀_2: M ₄ 셀_3: M ₃ M ₄ M ₆ M ₇ M ₁₀ 셀_4: M ₅ M ₁₂ M ₁₅ M ₁₆ M ₁₇ M ₁₈	118	
5	4	셀_1: M ₅ M ₁₂ M ₁₅ M ₁₆ 셀_2: M ₃ M ₁₀ M ₁₁ 셀_3: M ₄ M ₆ M ₇ M ₈ 셀_4: M ₁ M ₂ M ₉ M ₁₃ 셀_5: M ₁₄ M ₁₇ M ₁₈	109	
	5	셀_1: M ₃ M ₈ M ₁₀ 셀_2: M ₁ M ₆ M ₇ M ₁₁ M ₁₃ 셀_3: M ₁₄ 셀_4: M ₄ M ₁₂ M ₁₇ M ₁₈ 셀_5: M ₂ M ₅ M ₉ M ₁₅ M ₁₆	113	

위의 결과에서, 유전 알고리즘은 규모가 큰 문제에 대해서도 일관된 결과를 제공하였으며, 셀 크기나 셀 수의 변화에 쉽고 유연하게 대응 가능함을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 공정계획에 기초한 생산셀 설계를 위한 하나의 0-1 정수계획 모델이 제시되었다. 모델은 공정순서, 생산량, 셀 크기, 자재이송 장치의 능력을 고려하여 기계간 이동관계를 계산하고, 이 관계에 의하여 셀간이동을 최소화하는 셀을 구성하도록 하였다. 또한 제시된 수학 모델의 해결 접근을 위하여 유전 알고리즘에 의한 해법이 개발되었다. 간단한 수치 예와 실제 현장의 데이터를 이용하여 개발된 알고리즘이 효율적으로 해를 탐색함과 일관된 결과를 제공함을 보였다. 이 알고리즘은 셀 크기나 셀 수의 변화에 쉽고 유연하게 적용 가능한 특징이 있다.

그런데 표 1의 공정계획표를 보면 임의의 기계에 과부하가 걸리면 다른 기계를 사용하여 해결할 수 있도록 각 공정에 대해 대체 기계가 있다. 이와 같은 대체 기계를 고려한 셀 설계 문제가 현실적으로 대두되는데, 이 문제는 다음 연구과제로 두도록 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Adil, G. K., Rajamani, D. and Strong, D., "Assignment Allocation and Simulated Annealing Algorithms for Cell Formation", *IIE Transactions*, Vol.29(1997), pp. 53-67.
- [2] Billo, R. E., Bidanda, B. and Tate D., "A Genetic Algorithm Formulation of the Cell Formation problem", *Proceedings of 16th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, March(1994), pp.7-9.
- [3] Chang, H. and Wang, H. P., Computerized Classification and Coding for the Die Casting Industry, *Recent Developments in Production Research*, Mital, A. (Eds.), Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam(1988), pp.555-561.
- [4] Gen, M. and Cheng, R., *Genetic Algorithms & Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [5] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
- [6] Gunasekaran, A., Goyal, S. K., Virtanen, I. and Yli-olli, P., "An Investigation into the Application of Group Technology in Advanced Manufacturing Systems", *International Journal of CIM*, Vol.7, No.4 (1994), pp.215-228.
- [7] 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 CIM*, Vol.8, No.2(1995), pp.92-101.
- [8] Ham, I., Hitomi, K. and Yoshida, T.,

- Group Technology*, Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, 1985.
- [9] Harhalakis, G., Nagi, R. and Proth, J. M., "An efficient Heuristic in Manufacturing Cell Formation for Group technology Application", *International Journal of Production Research*, Vol.28(1990), pp.185-198.
- [10] Joines, J., Culbreth, C. T. and King, R. E., "Manufacturing Cell Design: An Integer Programming Model Employing Genetic Algorithms", *IIE Transactions*, Vol. 28(1996), pp.69-85.
- [11] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [12] Lenstra, "Clustering a Data Array and the Travelling Salesman Problem", *Operational Research*, Vol.22(1974), pp.413-414.
- [13] Liepins, G., Hilliard, M., Richardson, J. and Pallmer, M., Genetic Algorithm Application to Set Covering and Traveling Salesman Problems, in Brown editor, *OR/AI: The Integration of Problem Solving Strategies*, 1990.
- [14] Luong, L. H. S., "A Cellular Similarity Coefficient Algorithm for the Design of Manufacturing Cells", *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.8(1993), pp.1757-1766.
- [15] Moon, C. and Gen, M., "A Genetic Algorithm-based Approach for Design of Independent Manufacturing Cell", *International Journal of Production Economics*, Vol.49(1998).
- [16] Moon, C., Sure, G. A. and Gen, M., and Tsujimura, Y. (Eds.), Evolutionary Programming for Designing and Controlling Manufacturing Cells, *Evolutionary Computations and Intelligent Systems*, Gordon & Breach Publishers, Inc., (to appear) 1998.
- [17] Rajamani, D., Singh, N. and Aneja, Y. P., "A Model for Cell Formation in Manufacturing Systems with Sequence Dependence", *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.6(1992), pp.1227-1235.
- [18] Venugopal, V. and Narendran, T. T., "A Genetic Algorithm Approach to the Machine-Component Grouping Program with Multiple Objectives", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.22, No.4(1992), pp. 469-480.
- [19] Zhou, M. and Askin, R. G., "Formation of General GT Cells: An Operation-based Approach", *Computers & Industrial Engineering*, Vol.34, No.1(1998), pp.147-157.
- [20] Wemmerov, U. and Hyer, N. L., "Cellular Manufacturing in the U.S. Industry: A Survey of Users", *International Journal of Production Research*, Vol.27, No.9(1989), pp.1511-1530.