

다목적 셀 형성을 위한 유전알고리즘 †

이준수 · 정병호*

전북대학교 산업정보시스템공학과

A Genetic Algorithm for A Cell Formation with Multiple Objectives

Jun-Su Lee · Byung-Ho Jeong

Dept. of Industrial Information & Systems Engineering, Chonbuk National University

This paper deals with a cell formation problem for a set of m -machines and n -processing parts. Generally, a cell formation problem is known as NP-completeness. Hence the cell formation problem with multiple objectives is more difficult than single objective problem. The paper considers multiple objectives; minimize number of intercell movements, minimize intracell workload variation and minimize intercell workload variation. We propose a multiple objective genetic algorithms(MOGA) resolving the mentioned three objectives. The MOGA procedure adopted Pareto optimal solution for selection method for next generation and the concept of Euclidean distance from the ideal and negative ideal solution for fitness test of a individual.

As we consider several weights, decision maker will be reflected his consideration by adjusting high weights for important objective. A numerical example is given for a comparative analysis with the results of other research.

Keywords : cellular manufacturing system, cell formation, multiple objective genetic algorithm(MOGA)

1 서 론

제조업체간 시장경쟁이 심화되고 소비자의 요구가 다양해짐에 따라 생산성, 품질과 아울러 유연성을 추구하는 새로운 생산 시스템을 필요로 하게 되었다. 이러한 요구에 대응하기 위해 주문 생산방식이 확산되고 단품 종 소량생산의 환경에서 GT(group technology)를 채택하는 기업이 증가하고 있다(Wemmerlov와 Hyer 1989). GT를 구현하는 대표적인 방법으로는 셀 제조 시스템(cellular manufacturing system, CMS)을 들 수 있는데 CMS의 출발점은 기계와 셀을 분류하는 것이므로 셀형성(cell formation, CF)문제는 CMS에서 매우 중요한 역할을 하게 된다.

초기의 셀형성 문제는 문제의 복잡성(problem com-

plexity)으로 인하여 단일 기준(single criterion)을 갖는 문제에 집중되었다.

따라서 셀 개수 및 크기에 대한 제약이 주어지는 비교적 큰 문제에 대한 다목적을 고려해야하는 현실적인 부분을 해결해 주지 못하였다. 그러나 90년대 이르러 큰 규모의 문제와 여러 제약식을 해결하는 연구들이 주를 이루었고, 특히 다목적을 고려한 연구들이 증가하게 되었다. 그 연구자들 중 Venugopal과 Narendran(1992)은 유전알고리즘을 이용하여 셀간 이동거리의 최소화와 셀내의 하중편차를 최소화하는 문제를 해결하였다. 이 연구에서는 각 목적에 관한 별도의 개체군(population)을 형성하고 서로 다른 목적의 개체군간 교차연산을 실시하여 세대를 진행시켰다. 그리하여 각 개체군 별로 별도의 적합도 평가를 실시하였다. 그러나 다목적을 고려할 경-

† : 이 논문은 전북대학교 부설공학연구원 공업기술연구센터 지원에 의해 이루어졌습니다.

* : 의견교환 저자

우 목적을 동시에 평가할 수 있는 통합된 적합도 평가 방법이 제시되어야 하는데 그렇지 못했다. Zhao와 Wu(2000)는 다수 가공경로와 다목적(예외부품의 최소화, 셀내 작업하중 편차의 최소화, 셀내/셀간 총 이동의 최소화)을 고려한 유전알고리즘을 제안하였다. 이때 사용된 유전알고리즘 중 교차연산자는 교차블록(crossover block, 기계집합)과 교차행렬(crossover matrix)을 이용하였다. 또한 교차연산 과정에서 발생할 수 있는 비가능해 개체(illegal partition)의 생성을 방지하기 위해 교차행렬에 기반을 둔 방법이 채택되었다. 하지만, 이 방법은 해 영역을 충분히 탐색하지 못해 국부 최적해(local optimum)에 빠질 수 있는 단점을 지니고 있다. Onwubolu와 Muntingi(2001)의 연구에서는 셀의 예외부품(exceptional part)과 셀 하중편차의 최소화라는 두 목적을 고려한 셀 형성 문제를 다루었다. 이 연구에서는 우선 예외부품을 최소화하는 단일 목적으로 해를 산출한다. 그리하여 산출된 해는 셀의 예외부품에 관련된 이웃해를 탐색하면서 셀의 하중편차와 예외부품을 최소화하는 공통해가 존재하면 해를 구하고 그렇지 않으면 각 목적에 최적인 해를 산출한다. 따라서 이 연구에서 고려한 알고리즘은 목적들 간의 절충을 고려하면서 두 목적을 만족시키는 해

를 구하는 절차라고 말하기 어렵다. Hsu와 Su(1998)는 3 가지 목적(총 비용, 셀내 기계하중의 불균형, 셀간 기계하중 불균형의 최소화)을 가진 셀형성 문제를 유전알고리즘으로 해결하였다. Pierreval과 Plaquin (1998)은 칼 제조공정의 셀형성 문제에서 셀간 이동과 작업하중의 분포를 최소화하기 위한 적소 파레토(niched pareto) 개념을 이용한 진화 알고리즘을 제안하였다. Hassan 등(1998)은 셀형성 기술을 묘사절차(descriptive procedure), 클러스터 분석(cluster analysis), 그래프 분할(graph partitioning), 인공지능(artificial intelligence), 수리적 프로그래밍의 5가지로 분류하고 각 방법론에 대하여 설명하였다. 또한 문제의 다양성을 만족하기 위해 문제와 셀의 크기 등에 대한 제약조건을 만족시켜야 한다고 주장하였다. 이러한 다목적 셀형성 문제에 관한 기존연구는 <표 1>과 같다.

그러므로 본 연구에서는 셀간 이동횟수의 최소화, 셀내, 셀간 작업하중편차의 최소화에 관한 다목적을 고려한 셀의 크기, 가중치변화 및 셀형성의 제약이 존재하는 경우 다목적 유전알고리즘을 이용한 셀형성 다목적 유전알고리즘을 제안하고자 한다. 제안한 알고리즘에서 해 영역의 탐색은 우수한 해를 탐색하도록 광역탐색 전략과 국소최적화 전략의 조화를 고려하여 설계하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 연구에서 고려

<표 1> 다목적을 가진 기존 셀형성에 관한 연구

논문	목적	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	방법론
Longendran(1991)				*	*					확장 King's Algo.
Venugopal & Narendran(1992)			*		*					GA
Dahel & Smith(1993)	*				*					IP
Adil et al.(1996)	*			*	*					TS
Gupta et al.(1996)		*		*	*					GA
Lee & Alberto(1996)					*		*			NFBM
Hus & Su(1998)			*	*					***	GA
Pierreval & Plaquin(1998)		*			*					EA
Zolfaghari & Liang(1998)								**		SA, NN
Zhao and Wu(2000)	*	*		*	*					GA
Onwubolu & Muntingi(2001)	*	*								GA

註. ① Exceptional Elements ② Intracell Load imbalance
 ③ Intercell Load imbalance ④ Minimize Intracell movement
 ⑤ Minimize Intercell movement ⑥ Maximize Total Number of part within cell
 ⑦ Maximize Total of Similarity coefficient
 ⑧ 기타 : **-Group Efficiency, ***-Total cost

방법론 IP-integer programming, TS-tabu search,
 NFBM-network flow based method, EA-evolutionary algorithm,
 SA-simulated annealing, NN-neural network

될 3개의 목적에 대하여 설명하였고 3장에서는 MOGA 및 유전인자, 적응도 평가 등을 설명하였다. 4장에서는 다목적을 고려한 셀형성에 관한 실험 및 결과를 분석하고 제안된 알고리즘은 기존의 연구와 비교하여 성능을 평가하였다. 마지막으로, 본 연구를 통하여 얻어진 결과에 대하여 논한다.

2. 문제정의

본 연구에서는 CMS를 도입하여 셀을 형성할 경우 사용될 수 있는 3가지의 다목적을 고려하고자 한다. <표 1>의 셀형성에 관한 기준에 연구된 목적들 중 예외부품 및 셀간 이동횟수의 최소화 부분은 셀간 이동횟수의 최소화로 대체하였다. 부품의 셀간 이동횟수의 최소화는 SFC(shop floor control)의 단순화를 꾀할 수 있어 물류비용을 절감하는 효과가 있다(Venugopal과 Narendran 1992). 또한, 셀내 작업하중의 편차를 최소화함으로써 셀내의 자재흐름을 원활하게 해줄 뿐만 아니라, 셀내의 기계에 관한 작업하중의 균형을 맞춤으로써 WIP(Work In Process)를 줄이는 효과가 있다(Gupta 등 1996). 셀간 작업하중 편차의 최소화는 각 셀에 대하여 작업하중의 균형(line balancing)을 이루어 셀간 자재 및 공장 전체적인 기계 가동률을 높일 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 위에서 언급한 3가지 목적을 고려하여 공장물류가 원활하게 운영되고 생산성을 향상시킬 수 있는 다목적 셀형성 문제를 다루고자 한다. 연구에서 고려된 3가지 목적 함수는 다음과 같다.

F1 : 셀간의 이동횟수의 최소화 :

$$\min \sum_{j=1}^n N_j \left(\sum_{l=1}^k y_{jl} - 1 \right)$$

F2 : 셀내의 작업하중 편차의 최소화 :

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^k x_{il} (w_{ij} - m_{lj})^2$$

F3 : 셀간의 작업하중 편차의 최소화 :

$$\min \sum_{l=1}^k (m_{lj} - \bar{M})^2$$

여기서,

N_j : 부품 j 의 생산량

T_i : 특정기간에 기계 i 의 가용시간

t_{ij} : 기계 i 에서 부품 j 의 가공시간

$x_{il} = \begin{cases} 1 & \text{기계 } i \text{가 셀 } l \text{에 있으면} \\ 0 & \text{그렇지 않으면(o/w)} \end{cases}$

w_{ij} : 부품 j 에 의해 발생되는 기계 i 의 작업하중

$E = \{e_{ji}\}$: 부품 \times 기계 행렬,

$$\text{여기서 } e_{ji} = \begin{cases} 1, & t_{ij} > 0 \\ 0, & \text{o/w} \end{cases}$$

$$y_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{만약 } \sum_{i=1}^m e_{ji} x_{il} > 0 \text{ 일 경우} \\ 0, & \text{o/w} \end{cases}$$

$$\bar{M} = \frac{\sum_{l=1}^k m_{lj}}{N_c}, \quad N_c : \text{셀의 수}$$

$$w_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^n (t_{ij} \times N_l)}{T_i}, \quad m_{lj} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{il} \times w_{ij})}{\sum_{i=1}^m x_{il}}$$

3. 다목적 유전알고리즘(multiple objective genetic algorithms, MOGA)

MOGA는 단순 유전알고리즘과 같이 생물의 진화과정, 즉 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법으로 복수개의 잠재 해들로 이루어진 해집단(population)을 운영한다. 이러한 해집단은 교차와 돌연변이의 유전법칙 메커니즘을 적용하여 세대를 진행시키고 탐색된 개체들은 적응도 평가에 의해서 다음세대에 살아남을 개체들로 선별된다. 유전알고리즘은 셀형성 문제를 해결하는 방법으로 많은 연구자들에 의해 연구되고 있다. 본 연구에서 제안된 MOGA방법론은 적합도 평가를 위해 이상해(ideal solution)와 비이상해(negative ideal solution)에 대한 상대적 근접도를 고려하여 개체들을 평가하였으며 우수한 개체를 다음 세대까지 유지시키는 엘리티즘(elitism) 전략으로 파레토 최적해를 이용하였다. 제안된 MOGA의 절차는 <그림 1>과 같다.

MOGA 절차

- 세대 $t := 0$;
- 유전파라미터 ; // (교차율, 돌연변이율, 개체크기, 세대 수 등)
- $p(t)$ 의 초기화 ;
- $p(t)$ 의 적응도 평가 ;
- 가중 유클리디안 거리개념을 이용한 이상해와 비이상해를 이용한 적응도 평가
- While (stop condition = false) do
 - begin
 - 세대 $t := t+1$;
 - 교차와 돌연변이에 의한 재생산 ;
(비가능해에 대한 복구전략 적용)
 - $p(t)$ 의 적응도 평가 ;
 - 선별 ; // (pareto 최적해 및 적응도 평가사용)
 - end;

<그림 1> MOGA 절차

3.1 염색체 표현(chromosome representation)

유전알고리즘에서 염색체(chromosome)의 표현은 유전 알고리즘의 절차에 영향을 주기 때문에 문제의 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 셀과 각 셀에 할당되는 기계사이의 관계를 잘 설명할 수 있는 정수열(integer string) 표현을 사용하였다. 예를 들어 10대의 기계를 3개의 셀에 할당하는 문제라고 할 경우 염색체가 (1 1 2 2 1 2 2 3 3 1)와 같다고 하면, 기계1, 2, 5, 10은 셀1에 할당되고 기계 3, 4, 6, 7은 셀2에 기계 8, 9는 셀3에 포함되는 것을 의미한다. 즉, 각 유전자(gene)는 해당 기계가 할당된 셀의 번호를 의미하는 것이다.

3.2 유전연산자(genetic operators)

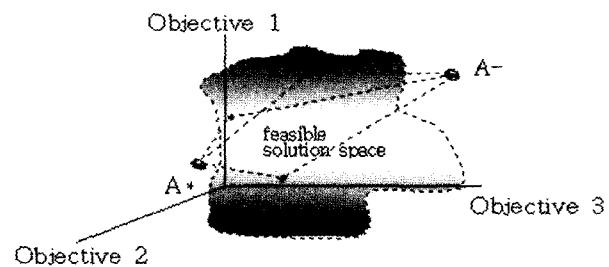
유전연산자로는 교차연산자(crossover operator)와 돌연변이 연산자(mutation operator)가 있다. 교차연산자는 일반적으로 1점 교차 또는 2점 교차가 많이 사용되는데 이것은 교차를 통하여 해 탐색영역을 다양화시키는 역할을 하게 된다. 이 연구의 교차연산은 염색소 수의 범위 내에서 랜덤(random)하게 2개의 숫자를 발생시키고 그 발생된 숫자가 교차기준이 되어 2점 교차방법을 사용하였다. 돌연변이는 자연환경에서 발생할 수 있는 갑작스런 환경의 변화 등을 표현하기 위한 방법으로 사용된다. 돌연변이 연산자는 염색체를 나쁜 방향으로 변이를 일으키는 것이 일반적이다. 대표적인 돌연변이 연산자로는 임의의 두 원소를 교환하는 교환방법(exchange method)과 임의의 원소를 다른 위치에 삽입하는 삽입방법(insert method)이 있다. 본 연구에서는 임의의 2점을 선택하여 서로 자리를 교환방법을 이용하여 돌연변이 연산을 실행하였다.

3.3 적합도 함수(fitness function)

교차와 돌연변이에 의해 생성된 각 염색체의 적합도(fitness)를 평가하기 위해 이 연구에서는 이상해(A^*)와 비이상해(A^-) 사이의 거리를 계산한다. 그리하여 이상해에 가깝고 비이상해에 거리가 먼 좋은 대안을 선정하는 것에 이론적 근거를 두고 있다. 이상적인 해란 가능한 해 영역에서 각각의 목적함수 중 가장 좋은 값을 가질 경우이며 이를 도시화하면 <그림 2>와 같다(Hwang & Yoon 1981).

A^* 는 각 F1, F2, F3을 단일목적으로 설정하여 이를 최소화(minimize)하는 실험결과 값으로 정하고, A^- 는 각

목적 값을 최대화(maximize)로 했을 때 나온 결과 값으로 설정하였다. 그러므로 실제 A^* 와 A^- 는 <그림 2>에서 알 수 있듯이 비가능해(infeasible) 영역에 위치할 수 있다. 해당개체와 A^* 와 A^- 의 상대적 근접도를 구하는 절차는 아래와 같다.



<그림 2> 3개의 목적을 가진 3차원의 가능해 공간에서의 A^* 와 A^- 의 설명

step 1 : A^* 와 A^- 을 결정

$$A^* = [A_1^*, A_2^*, A_3^*], \text{ 여기서 } q=1, 2, 3$$

$$A^- = [A_1^-, A_2^-, A_3^-], \text{ 여기서 } q=1, 2, 3$$

A_q^* : 예비실험결과로 얻어진 단일목적 q 의 최소 값,
 $q=1, 2, 3$

A_q^- : 예비실험결과로 얻어진 단일목적 q 의 최대 값,
 $q=1, 2, 3$

step 2 : 규준화된 의사결정 행렬과 규준화된 가중 의사 결정 행렬(weighted decision matrix)

x_{pq} : q 목적에 대한 p 번째 개체의 목적 값

$$r_{pq} = \frac{x_{pq}}{\sqrt{\sum_{p=1}^{pop_size} x_{pq}^2}} \text{ 여기서 } p=1, 2, \dots, pop_size$$

v_q^* : A_q^* 의 규준화된 값

v_q^- : A_q^- 의 규준화된 값

가중 의사결정 행렬, $v_{pq} = w_q \times r_{pq}$,

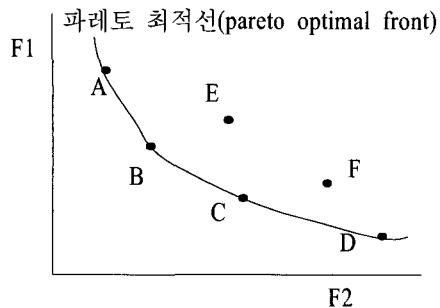
여기서 w_q 는 가중치($\sum_{q=1}^n w_q = 1$)

step 3 : 비교대상 개체와 A^* 와의 거리, 비교대상 개체와 A^- 사이의 거리를 아래와 같이 구함

$$S_{p*} = \sqrt{\sum_{q=1}^n (v_{pq} - v_q^*)^2}, p = 1, 2, \dots, pop_size$$

$$S_{p-} = \sqrt{\sum_{q=1}^n (v_{pq} - v_q^-)^2}, p = 1, 2, \dots, pop_size$$

step 4 : 해당개체와 A^* 와 상대적 근접도(relative closeness) 계산, $C_{p*} = \frac{S_{p-}}{(S_{p*} + S_{p-})}$



註 : A, B, C, D : pareto optimal solution
or non-dominated solution(NDS)
D, F : dominated solution or inferior solution

<그림 3> 2차원의 목적을 가진 경우의 파레토 최적해

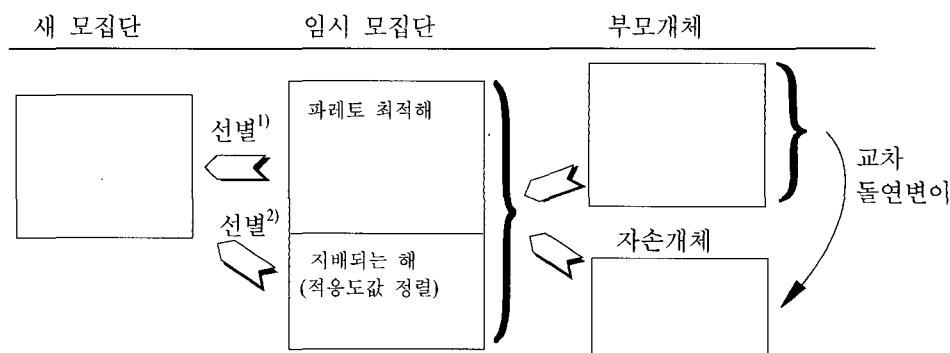
3.4 세대의 선별과 해 영역의 탐색

본 연구에서 사용된 유전알고리즘은 현 세대의 모집단으로부터 교차 및 돌연변이, 선별과정을 거쳐 새로운 세대를 구성하고 이 과정을 종료조건에 도달할 때까지 반복하면서 해 공간을 탐색한다. 단, 초기모집단은 특정 n개의 개체를 랜덤하게 발생시켜 구성하며, 각 개체들은 교차와 돌연변이 연산을 위해 [0, 1]사이의 확률 값을 할당받는다. 본 연구의 예비실험결과 교차연산과 돌연변이율을 각각 0.7, 0.01로 설정했을 때 가장 좋은 결과를 보인바 각 개체의 확률값이 0.7이하인 개체에 한하여 교차연산을 실시하고, 0.01이하이면 돌연변이 연산을 실시한다. 탐색 알고리즘이 효과적으로 우수한 해를 탐색하기

위해서는 해 공간에서 다양한 해들을 생성해 낼 수 있는 광역탐색 전략과 좋은 해의 성질을 이용하여 그 해의 인접공간을 집중적으로 탐색할 수 있는 국소 최적화 전략이 조화를 이루어야 한다. 본 연구의 MOGA의 선별과정에서 단일목적 유전알고리즘의 우수개체 보호전략처럼 각 세대에서 생성된 파레토 최적해를 유지·보호하는 전략을 사용하였다(Hisashi 등 1995).

<그림 3>은 F1, F2의 두 목적의 최소화에 관한 2차원 파레토 최적해에 관한 설명이다. 해 A, B, C, D는 2차원의 목적에서 다른 해에 지배받는 관계가 아니므로 ‘비지배해’ 또는 ‘파레토 최적해(pareto-optimal solution)’라고 한다. 반면, 해E와 F는 각각 파레토 최적해 B와 C에 의해 지배되기 때문에 해E와 F를 ‘지배받는 해’ 또는 ‘열등해(inferior solution)’라고 한다. <그림 4>는 교차와 돌연변이 연산에 의해 자손개체가 생성되는 것을 설명하였다. 생성된 자손개체는 부모개체와 합해져서 임시모집단을 이루고 임시모집단은 각 개체간의 비교를 통하여 파레토 최적해와 지배되는 해로 구분된다. 파레토 최적해는 각 목적에 관하여 성능 면에서 우수한 결과를 보이는 개체이므로 일정한 수(모집단의 60%)가 다음 세대에 그대로 살아남는 것을 의미한다. 해의 탐색영역을 넓히기 위한 광역 탐색 전략으로 지배되는 해 중 적응도 값이 좋은 개체를 선별하여 다음세대의 모집단을 형성한다(모집단의 40%). 이는 Deb(1995)의 연구에서 언급한 것처럼 파레토 최적해가 항상 최선의 파레토 최적선을 형성하는 것이 아니기 때문에 해의 탐색영역을 넓혀 다음세대에서 다른 탐색영역의 파레토 최적해를 찾음으로써 파레토 최적선을 명확하게 그릴 수 있다.

자손개체를 생성하는 과정에서 실행되는 교차와 돌연변이 연산에 의해서 비가능해(infeasible solution)가 발생하는데 이를 해결하기 위한 방법은 탈락 전략(rejecting strategy), 복구 전략(repairing strategy), 수정 유전연산자 전



선별¹⁾: 파레토 최적해 개체의 확률 값에 의해 다음세대(60% 차지)에 상속
선별²⁾: 지배되는 해 개체의 상위에 위치한 개체가 다음세대(40% 차지)에 상속

<그림 4> 선별에 의한 새로운 모집단 형성

략(modifying genetic operator strategy), 벌칙전략(penalizing strategy) 등이 있다. 이러한 비가능해를 수정하는 알고리즘 중 복구전략이 가장 합리적이고 우수한 결과를 보이는 것으로 알려져 있다.(Gen과 Cheng 1994). 따라서 본 연구에서는 비가능해를 가능해로 복구하는 알고리즘을 채택하여 사용하였으며 복구 전략은 <그림 5>와 같다(Moon과 Kim 1999).

Algorithm for Repair procedure

```

Begin
  For i=1 to chrom_size do
    begin
      check (MCs in cell) ; // cell의 제약조건
      if (Chromosome = infeasible) then
        begin
          finding MC(overs and shorts MCs ) in
          chromosomes ;
          replace and repair the infeasible
          chromosome into feasible. ;
          update chromosome. ;
        End
      repeat (Chromosome=feasible);
      i=i+1 ;
    End.
  End.

```

<그림 5> 불가능해 수정알고리즘 절차

4 실험 및 분석

4.1 실험에 사용된 문제

제안된 알고리즘의 유전파라미터 설정 및 성능평가를 위하여 이 연구에서는 다양한 조건에서 실험이 실시되었다. 제안한 유전알고리즘이 주어진 문제에 대해 좋은 해를 제공하기 위해서는 적합한 유전 파라미터 값들을 설정하여야 한다(Goldberg 1999). 예비실험에서 유전파라미터 값들의 변화에 따른 유전알고리즘의 성능변화와 수렴추이를 알아보기 위하여 충분히 긴 시간동안 세대수와 염색체의 크기에 대한 실험을 수행하였다. 이 실험을 통하여 나타난 결과들을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 모집단의 크기는 클수록 좋은 결과를 보이지만, 30 이상인 경우 계산시간의 증가에 비해 알고리즘의 성능에는 큰 변화가 없다.
- 2) 세대의 수에 관한 예비실험에서 2000세대(문제1,

2), 5000세대(문제 3) 이상인 경우 계산시간의 증가에 비해 알고리즘의 성능에는 큰 변화가 없다.

- 3) 돌연변이율은 모집단 크기의 1%로 하는 것이 좋은 결과를 보였다.
- 4) 실제 셀형성은 각 목적함수 값의 중요도는 의사 결정자의 경험이나 실제 공장현장에서 선호하는 정보에 따라 주관적인 관점이 반영되지만 본 연구에서는 4가지의 가중치 집합들을 미리 설정하여 실험하였다. 본 연구에서 고려한 다목적 유전알고리즘의 파라미터 값은 <표 2>와 같다.

<표 2> 다목적 유전알고리즘을 위한 파라미터 설정

파라미터 이름	파라미터 값
종료 조건	2000세대(문제 1, 2), 5000세대(문제3)
교차율	0.7
돌연변이율	0.01
모집단의 크기	30
셀수	문제 1,2 - 2, 3, 4개, 문제 3 - 4, 5, 6개
가중치 집합	I : (0.6-0.3-0.1), II : (0.3-0.6-0.1) III : (0.1-0.3-0.6), IV : (0.33-0.33-0.33)

본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Logendran(1991) 및 Gupta 등(1996)의 연구에서 제시한 문제 중 배치에 대한 고려(one-line 배치와 double-line 배치)는 무시하고 생산량과 각 셀에서 제약식을 추가하여 실험자료를 만들었다. 문제1은 5×7 (기계×부품) 크기의 셀형성 문제이다. 셀의 개수는 2, 3, 4개로 구분되어 생산량은 [155, 150, 148, 160, 144, 158, 152]이고 기계-부품의 가공시간은 Logendran(1991) 및 Gupta 등(1996)에서 사용된 자료와 같다. 문제2는 7×14 크기의 셀형성 문제이다. 셀의 개수는 2, 3, 4개로 구분되어 생산량은 [123, 118, 111, 94, 141, 62, 105, 59, 79, 89, 141, 148, 51, 92]이다. 문제3은 15×30 크기의 셀형성 문제이다. 셀의 개수는 4, 5, 6개로 나누어서 실험을 하며 생산량은 [155, 150, 148, 160, 144, 158, 152, 155, 164, 148, 140, 144, 145, 162, 170, 140, 156, 132, 172, 164, 144, 158, 155, 152, 140, 166, 148, 145, 144, 170]이다.

4.2 실험결과 및 분석

다목적을 갖는 셀형성 문제를 고려할 경우, 시스템 설계자 및 의사결정자는 셀형성에 대한 사전지식 또는 경

험을 바탕으로 각 목적에 가중치를 부여할 수 있을 것이다. 물론 가중치를 결정하지 못할 경우 각 목적들의 쌍대비교(pair-wise comparison)를 통하여 중요도를 구하거나 다른 방법론을 사용하여 중요도를 구할 수 있다. 본 연구에서는 가중치가 셀형성 결과에 어느 정도 영향을 미치는가를 알아보기 위해 4가지의 가중치벡터에 대하여 실험하였다.

<표 3> 실험조건

셀수 \ 가중치	I	II	III	IV
2	(1, 2, I) (2, 2, I)	(1, 2, II) (2, 2, II)	(1, 2, III) (2, 2, III)	(1, 2, IV) (2, 2, IV)
3	(1, 3, I) (2, 3, I)	(1, 3, II) (2, 3, II)	(1, 3, III) (2, 3, III)	(1, 3, IV) (2, 3, IV)
4	(1, 4, I) (2, 4, I) (3, 4, I)	(1, 4, II) (2, 4, II) (3, 4, II)	(1, 4, III) (2, 4, III) (3, 4, III)	(1, 4, IV) (2, 4, IV) (3, 4, IV)
5	(3, 5, I)	(3, 5, II)	(3, 5, III)	(3, 5, IV)
6	(3, 6, I)	(3, 6, II)	(3, 6, III)	(3, 6, IV)

<표 3>에 셀의 수, 가중치벡터에 대한 실험조건을 정리하였다. 실험조건(p, c, w)에서 p, c, w 는 각각 문제구분, 셀의 수, 가중치 벡터를 의미한다. 가중치 벡터 w 는 $\{(0.6-0.3-0.1), (0.3-0.6-0.1), (0.1-0.3-0.6), (0.33-0.33-0.33)\}$ 로 4가지 경우에 대하여 실험하였다. <표 3>의 실험조건 (1, 2, II)은 문제 1에 대하여 셀을 2개로 형성하고 이때 가중치벡터 II(0.3-0.6-0.1)로 실험한다는 의미이다.

<표 4>는 문제1의 셀형성에 관한 실험결과를 정리하였다. 실험조건 (1, 2, I), (1, 2, II)으로 얻어진 해는 높은 가중치 0.6을 갖는 목적 F1과 F2의 목적값이 각각 233, 94829.16으로 다른 해와 비교하여 좋은 결과를 보이고 있다. 그러나 실험조건 (1, 2, III), (1, 2, IV)에서는 가중치의 변화에 무관하게 염색체 12221(또는 21112)로 셀을 형성하였다. 이러한 현상은 (1, 3, I), (1, 3, III), (1, 3, IV)는 13332(또는 12223)의 염색체로 (1, 4, I), (1, 4, II), (1, 4, IV)는 14123(41423 또는 12143)의 특정 염색체로 수렴하는 결과를 볼 수 있다. 이는 문제의 크기가 비교적 작기 때문에 유전알고리즘 중 영역 탐색 및 해 생성에 중요한 역할을 하는 유전연산자의 활동범위가 좁아서 발생되는 현상으로 추정된다. 또한, 실험결과 산출된 좋은해(sub-optimal solution)는 대부분 100세대이하에서 구할 수 있었다. <표 4>의 세대는 각 실험조건에서 얻어진 셀형성 결과의 세대번호를 의미한다.

<표 5>의 문제2의 대한 결과를 살펴보면, 문제1에서 나타나는 특정개체 수렴현상은 나타나지 않았으며 가중치 벡터의 변화에 따라 해당목적 값이 변화하는 것을 알 수 있다. 실험조건 (2, 2, I), (2, 2, II), (2, 2, III)을 보면, 가중치 벡터 I의 (0.6-0.3-0.1)로 F1에, II의 (0.3-0.6-0.1)로 F2에, III의 (0.1-0.3-0.6)로 F3에 가중치가 높기 때문에 다른 해와 비교하여 (2, 2, I)의 F1 값 (312), (2, 2, II)의 F2 값(110726.72), (2, 2, III)의 F3 값 (3410.15)이 우수한 결과를 보인다. 이러한 현상은 셀을 3개, 4개로 형성한 실험결과에서도 해당 가중치에 따라 우수한 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 가중치의 변화에 있어 가중치 벡터(III, IV) 즉, (0.1-0.3-0.6)과 (0.33-0.33-0.33)의 F1의 가중치는 각각 0.1과 0.33으로 가중치 벡터 IV

<표 4> 문제 1의 실험결과

실험조건	M/C in cell i				각 목적 값			part in cell i				세대	비고
	1	2	3	4	F1	F2	F3	1	2	3	4		
(1,2, I)	1,3,5	2,4	-	-	233	268554.66	1662.72	2,3,5,7	1,4,6	-	-	104	1개의 셀당 2개이상의 MC할당
(1,2, II)	4,5	1,2,3	-	-	441	94829.16	74048.34	1,3,4	2,5,6,7	-	-	5	
(1,2, III)	1,5	2,3,4	-	-	297	251530.67	8756.06	3,5,7	1,2,4,6	-	-	5	
(1,2, IV)	2,3,4	1,5	-	-	297	251530.67	8756.06	1,2,4,6	3,5,7	-	-	5	
(1,3, I)	1	5	2,3,4	-	297	241448.67	21756.74	5,7	3	1,2,4,6	-	5	1개 셀 당 1개 이상의 MC할당
(1,3, II)	1,3,5	4	2	-	404	29122.67	241648.97	2,3,6,7	1,4	5	-	10	
(1,3, III)	1	2,3,4	5	-	297	241448.67	21756.74	5,7	1,2,4,6	3	-	5	
(1,2, IV)	1	2,3,4	5	-	297	241448.67	21756.74	5,7	1,2,4,6	3	-	5	
(1,4, I)	1,3	4	5	2	674	4802.00	265682.75	2,5,7	4	3	1,6	5	
(1,4, II)	2	4	5	1,3	674	4802.00	265682.75	1,6	4	3	2,5,7	5	
(1,4, III)	1	2,4	5	3	697	239432.00	31616.75	1,4	6	3	2,5,7	10	
(1,4, IV)	1,3	2	5	4	674	4802.00	26582.75	2,5,7	1,6	3	4	50	

<표 5> 문제 2의 실험결과

실험 조건	M/C in cell i				각 목적 값			part in cell i				세대	비고
	1	2	3	4	F1	F2	F3	1	2	3	4		
(2,2, I)	3,4	1,2,5, 6,7	-	-	312	1822217.0	38321.57	3,7,10,11,12, 13	1,2,4,5,6,8, 9,14	-	-	382	1개의 셀당 2개 이상의 MC할당
(2,2, II)	2,3,4 ,5,6	1,7	-	-	778	110726.72	637344.13	1~4,6~8, 10~14	5,9	-	-	1852	
(2,2, III)	2,6,7	1,3, 4,5	-	-	473	1920015.38	3410.15	1,3~7,9,10	2,8,11,12, 13,14	-	-	729	
(2,2, IV)	3,4,5	1,2, 6,7	-	-	463	1707593.75	65366.41	2,3,7,10, 11,12,13,14	1,4,5, 6,8,9	-	-	1048	
(2,3, I)	6	1,5,7	2,3,4	-	686	772849.25	519671.31	1,3,6	2,4,5,8,9, 10,14	7,11, 12,13	-	110	1개의 셀당 1개 이상의 MC할당
(2,3, II)	2,3,4	1,7	5,6	-	778	104506.09	863253.25	1,3,4,6,7, 10,11,12,13	5,9,14	2,8	-	1897	
(2,3, III)	3	4,5	1,2, 6,7	-	752	1702301.25	84112.58	3,10,11, 12,13	2,7,14	1,4,5, 6,8,9	-	1097	
(2,3, IV)	2,3,4	5	1,6,7	-	778	1214928.63	265022.69	2,3,4,10, 11,12,13	7,14	1,5,6, 8,9	-	1688	
(2,4, I)	3,4	1,7	5	2,6	1060	9391.35	983176.81	2,7,10, 12,13	4,5,8,9,14	3,11	1,6	1927	
(2,4, II)	2,6	4,5	1,7	3	1231	4570.34	973049.56	1,3,4,5,7	2,11,12,14	5,9,10	7,13	34	
(2,4, III)	3	1,4,6,7	5	2	1172	1439855.75	250627.30	3,10,12,13	1,2,5,6,7,14	4,6	9,11	36	
(2,4, IV)	2,6	4	1,3,7	5	1260	610589.06	539458.81	3,4,6,7	2,11,12	5,9,10, 13,14	1,8	549	

<표 6> 문제 3의 실험결과

실험 조건	M/C in cell i						각 목적 값			세대
	1	2	3	4	5	6	F1	F2	F3	
(3,4, I)	6,7	1,14	3,8,11	4,5,9,10, 12,13,15	-	-	3828	608356.9	115638.9	3865
(3,4, II)	4,5,6,8, 11,15	2,9,10, 12,13	7,14	1,3	-	-	5394	202685.4	302725.9	200
(3,4, III)	1,6	2,3	5,7,9, 10~14	4,8,15	-	-	5255	1163855.4	1609.3	955
(3,4, IV)	2,14	3,4,9~13,15	5,6,7	1,5	-	-	4356	929424.3	48647.9	3399
(3,5, I)	1,2	6,9,10, 12,13,15	4,5,14	7,11	3,8	-	6174	508279.9	199635.2	254
(3,5, II)	5,8,11	4,6,13	2,9,10,12	1,15	3,7,12	-	8592	146181.9	306556.4	1061
(3,5, III)	3,13	4,5,7,10	1,12	2,8,11	6,9,14,15	-	7631	1159183.9	2885.9	96
(3,5, IV)	5,8	7,9,10,12,15	1,2,11,14	4,5	3,13	-	7058	1105155.4	14516.4	455
(3,6, I)	12,14	4,8	1,5	3,7	2,6,9,10,15	11,13	5979	414203.8	224244.8	183
(3,6, II)	1,5,15	6,12,13	4,11	7,14	2,9,10	3,8	7363	120222.8	424670.8	2605
(3,6, III)	7,10	2,9,11,12	4,5	3,6	1,15	8,13,14	7688	984997.2	54437.4	124
(3,6, IV)	2,3,9, 10,12,13	1,8	4,5	6,7	11.14	15	6153	647347.8	141856.8	566

<표 7> 문제1, 2, 3의 셀간의 이동횟수와 셀내의 작업하중편차의 실험결과

구 분	해 표 현	각 목 적 값			
		F1		F2	F3
(1, 2, ob.1)	22221	167		244,270.00	17,672.00
(1, 2, ob.2)	22211	441		94,829.16	# 74,048.34
(1, 3, ob.1)	32221	297	*, @	241,448.67	21,756.74
(1, 3, ob.2)	32311	571	*, #	17,762.50	# 187,748.17
(1, 4, ob.1)	21234	674	@	4,802.00	265,682.75
(1, 4, ob.2)	23241	674		4,802.00	265,682.75
(2, 2, ob.1)	22222-12	244	*,#,@	1,631,590.25	175,068.25
(2, 2, ob.2)	12222-21	778		110,723.72	# 637,344.13
(2, 3, ob.1)	33331-23	454	*,#,@	1,517,107.00	214,814.56
(2, 3, ob.2)	13222-31	883		9,862.88	# 936,020.56
(2, 4, ob.1)	31443-21	776	*,#,@	1,385,198.25	358,798.34
(2, 4, ob.2)	43211-34	1231		4,570.34	# 973,049.56
(3, 4, ob.1)	34444-24444-44414	2189	#,@	1,006,792.00	127,475.08
(3, 4, ob.2)	21342-43211-24122	6289		140,325.31	# 330,953.69
(3, 5, ob.1)	52222-43242-22212	4812	#,@	533,612.06	446,109.97
(3, 5, ob.2)	45144-53122-15511	8143		117,771.70	# 575,913.56
(3, 6, ob.1)	35555-51455-62525	3639	#,@	655,443.63	236,754.86
(3, 6, ob.2)	62534-35122-43251	7549		84,512.26	# 323,045.16

註 * : 제안한 알고리듬의 결과가 Logendran(1991)보다 좋은 경우

: 제안한 알고리듬의 결과가 Gupta 등(1996)보다 좋은 경우

@ : 제안한 알고리듬의 결과가 Hsu와 Su(1998)보다 좋은 경우

의 F1이 III의 F1보다 높은 가중치를 부여받았지만 실험 결과 (2, 3, III)의 F1 값(752)과 (2, 3, IV)의 F1 값(778) 그리고 (2, 4, III)의 F1 값(1172)과 (2, 3, IV)의 F1 값(1260)으로 오히려 낮은 가중치를 갖는 실험조건에서 높은 가중치를 갖는 실험조건보다 더 좋은 결과를 보이고 있다. 이는 고려한 목적들 간 상호 절충하는 과정에서 도출되는 현상으로 보인다. 즉 F1의 단일 목적에 대한 결과는 좋지 않지만, F3나 F2에서 가중치의 변화를 반영해 준 것으로 추정된다.

<표 6>은 문제3의 실험결과를 정리하였다. 문제 3의 결과에서는 각 셀에 할당된 부품에 관한 표현은 생략하였다. 문제 1, 2의 셀을 2개로 형성할 경우와 문제 3에서 셀을 형성할 때 각 셀에 최소 2대 이상의 기계가 할당되도록 하는 제약조건 아래에서 실험을 실시하였다. <표 6>에서 알 수 있듯이 의사결정자의 중요도를 반영한 가중치의 변화에 따라 셀형성 문제의 해가 도출됨을 알 수 있다. 문제3의 문제크기가 문제 1, 2에 비해 상대

적으로 크기 때문에 유전연산자의 새로운 해 탐색 활동이 활발해져 새롭고 향상된 해들이 빠르게 제시되었다. 실험조건 (3, 5, I), (3, 5, II), (3, 5, III)과 (3, 5, IV)의 경우, 각 가중치의 중요도가 변화함에 따라 도출되는 해와 해당 목적 값이 변하기 때문에 셀을 형성하는 문제에서 의사결정자의 중요도를 정확하게 산출되는 것이 중요하리라 본다. 이상의 실험결과를 요약하면 문제의 크기가 작은 경우에는 가중치가 해에 미치는 영향이 일정하지 않으나 문제의 크기가 큰 경우에는 가중치의 변화에 따라 해의 변화가 정상적으로 일어난다는 점을 보여주고 있다.

본 연구에서는 제안한 알고리듬의 성능을 비교하기 위해 기존연구에서 도출된 해를 정수열로 변환하여 본 연구의 적합도함수를 이용하여 평가하였다. <표 7>은 셀간의 이동횟수와 셀내의 작업하중 편차에 관한 실험을 정리하였다. 이는 기존의 Logendran(1991), Gupta 등(1996) 그리고 Hsu와 Su(1998)의 연구에서 고려한 유사

한 목적 및 실험환경에서 실험하였다. 위의 실험에서 셀 간의 작업하중편차의 최소화는 다른 연구에서 고려하지 않았기 때문에 실험 범위에서 제외되었다. <표 7>의 구분란은 (문제번호, 셀수, 목적번호)으로 대별된다. (1, 4, ob.1)은 문제1을 4개 셀로 나누며 목적1(셀간의 이동횟수)에 대한 실험을 의미한다. 기존연구에서 사용된 목적과 본 연구에서 고려한 목적에는 목적간의 상이함이 존재하지만 비교실험 결과 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능은 만족할 만한 수준이다.

5. 결 론

본 연구는 생산현장에서 셀 제조시스템을 적용하여 제조 셀을 형성할 경우 고려될 수 있는 셀간 이동횟수의 최소화, 셀 내 또는 셀간 작업하중 편차의 최소화라는 다목적 셀형성 유전알고리즘을 제시하였다. 특히 이 연구에서는 셀형성 문제의 변화나 셀의 크기에 따라 유연성을 발휘할 수 있도록 알고리즘을 개발하였고 적합도 평가에서 이상적인 해(ideal solution)와 비이상해(negative ideal solution)의 가중 유클리디안 거리(weighted euclidean distance)를 고려함으로써 이상해와 상대적인 근접도를 계산하였다. 셀형성을 표현하기 위한 개체 생성단계에서 발생할 수 있는 비가능해를 가능해로 수정하는 알고리즘(repair algorithm)을 사용함으로써 다목적 유전알고리즘의 해 성능의 상승효과를 반영할 수 있었다. 또한 다른 개체에 지배되지 않는 우수한 개체, 패레토 최적해를 다음세대까지 유지하고 해의 탐색영역을 확대하기 위해 패레토 보호전략을 사용하였다.

본 다목적 유전알고리즘을 이용한 셀형성 문제를 해결함에 있어 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

- 1) 서로 상충되는 다 목적들을 고려하여 셀을 형성할 때 사용자의 선호정도나 중요도를 가중치벡터로 표현하여 셀형성 문제에 적용할 수 있었다.
- 2) 해의 탐색공간을 활용함에 있어 패레토 최적해 개념을 도입하여 다음 세대에 좋은 개체를 유지하도록 알고리즘을 채택하여 실험한 결과 좋은 결과를 보였다.
- 3) 본 연구에서는 가중치 변화, 셀 크기, 셀에 할당된 기계수에 관한 제약 하에서 셀형성 문제를 해결할 수 있었다.

따라서 생산현장에서 셀 제조시스템을 도입하여 기계×부품에 관한 셀을 형성할 경우 본 연구에서 제안한 다목적 유전알고리즘을 사용하여 셀을 형성한다면 생산현

장에서 필요에 따라 목적에 중요도를 반영한 셀형성이 가능할 것이다. 또한 본 연구에서는 세 개의 목적을 고려했지만 필요하다면 그 이상의 목적을 고려하여 셀을 형성할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Adil, G. K., D. Rajamini and D. Strong; "Cell formation considering alternative routings", International journal of production research, vol. 34, no. 5 : pp.1361-1380, 1996
- [2] Dahel, N.-E and S. B. Smith; "Designing flexibility into cellular manufacturing systems", International journal of production research, vol. 31, no. 4 : pp.933-945, 1993
- [3] Deb, Kalyanmoy; "Optimization for engineering design : Algorithms and examples", New Delhi : Prentice Hall, 1995
- [4] Gen, Mitsuo and Runwei Cheng; "Genetic algorithms and Engineering design", John Wiley & Sons, INC., pp.49-59, 1994
- [5] Goldberg, D.E; "Genetic algorithms for search, optimization, and machine learning", Reading MA : Addison-Wesley, 1999
- [6] Gupta, Y., Gupta, M., Kumar, A. and Sundaram, C; "A Genetic algorithm-based approach to cell composition and layout design problems", International journal of production research, Vol.34, No. 2 : pp.447-482, 1996
- [7] Hassan M. Selim, Ronald G. Askin and Asoo J. Vakharia; "Cell formation in group technology : Review, Evaluation and Directions for future research", Computers industrial engineering, vol. 34, no.1 : pp.3-20, 1996
- [8] Hisashi Tamaki, Hajime Kita and Shigenobu Kobayashi; "Multi-Objective Optimization by Genetic Algorithms : A Review", IEEE : pp. 517-522, 1995
- [9] HSU, Chin-Ming and Chao-Ton Su : "Multi-objective machine-component grouping in cellular manufacturing : a genetic algorithm", Production planning & control, vol. 9, no. 2 : pp. 155-166, 1998
- [10] Hwang, Ching-Lai and Kwangsun Yoon; "Lecture notes in Economics and Mathematical systems", Springer verlag. Berlin Heidelberg, New York, pp. 128-140, 1981
- [12] Lee, Hongchul and Alberto Garcia-diaz; "Network flow procedure for the analysis of cellular manufacturing systems", IIE transaction, vol. 28 : pp. 333-345, 1996
- [13] Logendran, Rasaratnam; "Impact of sequence of oper-

- ations and layout of cells in cellular manufacturing”, International journal of production research, vol.29, no. 2 : pp375-390, 1991
- [14] Moon, Chiung and Jaegyun Kim; “Genetic algorithm for maximizing the parts flow within cells in manufacturing cell design”, Computers & industrial engineering, Vol.3 6 : pp.379-389, 1999
- [15] Onwubolu, G.C. and M. Mutingi; “A genetic algorithm approach to cellular manufacturing system”, Computers & industrial engineering, vol.39 : pp.125-144, 2001
- [16] Pierreval, Henri and Marie-France Plaquin; “An Evolutionary Approach of Multicriteria Manufacturing Cell Formation”, International transactions operations research, vol.5, no.1 : pp.13-25, 1998
- [17] Venugopal, V and Narendran, T. T.; “A Genetic Algorithm Approach to the Machine-Components Grouping problem with Multiple Objectives”, Computers and industrial engineering, Vol.22, No.4 : pp 469-480, 1992
- [18] Wemmerlov, U. and N.L. Hyer; “Cellular manufacturing in the U.S.A. industry : A survey of users”, International journal of production research, vol.27, no. 9 : pp.1511-1530, 1989
- [19] Zhao, Chunwei and Zhiming Wu; “A genetic algorithm for manufacturing cell formation with multiple routes and multiple objectives”, International journal of production research, vol. 38, no. 2 : pp. 385-395, 2000
- [20] Zolfaghari S. and M. Liang; “Machine cell/ part family formation considering processing times and machine capacities : A simulated annealing approach”, Computers industrial engineering, vol. 34, no. 4 : pp. 813-823, 1998