

설비배치안 작성을 위한 유전 알고리즘에 관한 연구

A Genetic Algorithm for the Quadratic Assignment Formulation to the Facility Layout Problem

홍 관 수

(계명대학교 경영대학 경영학과)

권 성 우

(경동전문대학 사무자동화과)

Kwan Soo Hong

(Department of Management, Keimyung University)

Sung Woo Kwon

(Department of Office Automation, Kyungdong College)

Abstract

The facility layout problem has the goal of locating the different facilities in a floor to achieve the greatest efficiency in producing a product or service. This problem is usually formulated as the quadratic assignment problem(QAP). However, the problem of finding optimal layout is hard and traditional approaches are not computationally feasible. In this paper, a genetic algorithm is presented for obtaining efficient layouts. To test the effectiveness of the algorithm, a set of examples is solved and the results are compared to those from other known algorithms. The comparison indicates that the proposed method performs well for the classical test problems.

1. 서 론

설비 배치는 막대한 자금과 노력이 소요되며 기업의 장단기 생산 능력 및 효율에 영향을 미친다. 또한 일단 설치된 설비를 재배치하는 것은 기업 활동에 여러 가지 영향을 미치므로 이의 수정이 곤란하다는 점에서 중요한 기업의사결정 중의 하나라고 말할 수 있다. 이처럼 설비 배치 문제는 제조업 및 서비스 산업에 있어 매우 중요한 문제이나 최적의 설비 배치안을 찾는다는 것은 매우 어려운 일이다.

이러한 설비 배치 문제는 이차할당문제(Quadratic Assignment Problem : QAP)로 모형화 할 수 있으며 이차할당문제를 해결하기 위한 방법은 최적화 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘이 있다. 그러나 현실적으로 볼 때 설비의 수가 15개 이상인 경우에는 설비 배치 문제에 있어 최적해의 도출은 어렵다(Suresh, 1995). 따라서 휴리스틱 알고리즘들이 이의 해결을 위해 일반적으로 사용되었는데 휴리스틱 알고리즘은 초기배치안작성(constructive) 알고리즘과 반복(iterative) 알고리즘으로 나눌 수 있다(Hanan, 1972). 그러나 이들 대부분의 휴리스틱 알고리즘들은 목적함수를 개선할 수 있는 대안만을 받아들이는 greedy 알고리즘에 기초하기 때문에 최종 해가 국부최소점(local optimization point)에 수렴하여 전체 최소점(global optimization point)을 찾지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

유전학상의 자연도태 개념에 바탕을 둔 검색 기법인 유전 알고리즘(genetic algorithm)도 일종의 휴리스틱 검색 알고리즘(search algorithm)으로서 앞에서 논한 국부최소점 수렴 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 볼 수 있으며, 근래에 들어 조합 최적화 문제(combinatorial optimization problem)의 해결에 많이 적용되고 있다. 유전 알고리즘을 이용하여 설비 배치 문제를 해결하고자 한 연구들은 Tate & Smith(1995)의 연구와 Suresh & et al.(1995)의 연구에서 그 예를 찾을 수 있다.

그러나 이러한 기존의 연구들은 설비 배치 문제의 특성을 그다지 고려하지 않았고 또한 부모 세대(parent generation)의 우수한 유전적 특성을 자녀 세대(child generation)로 최대한 전달하고자 하는 시도가 부족하였다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점들을 해결함으로써 효율적으로 설비 배치 문제를 해결할 수 있는 개선된 유전 알고리즘을 제시해 보고자 한다.

II. 기존 문헌 연구

1. 설비배치문제와 관련된 연구동향

설비배치문제를 위한 알고리즘이 지난 40년 동안 여러 학자들에 의해 수행되어져 왔다. 이러한 국내의 연구 동향을 요약하면 다음과 같다.

(1) 체계적 도해법(Graphical systematic techniques)

1960년초부터 연구되기 시작한 이 기법은 설비들간의 자재흐름의 양과 순서를 고려하였다. 이런 기법들은 travel charting, sequence analysis, systematic layout planning, straight line arrangement, 그리고 factor analysis 등이 여기에 속한다. 이런 기법들은 주관적 판단에 너무 의존하고 시행착오적 방법을 사용하기 때문에 배치하여야 할 설비의 수가 많은 경우에는 해를 찾는 것이 거의 불가능하다.

(2) 최적화와 휴리스틱 알고리즘(Optimizing and heuristics algorithms)

1960년 후반부터 연구되기 시작하여 제일 활발히 연구되는 분야인 이 접근법은 배치문제를 이차할당문제(QAP)로 모형화하였다. 최적화 알고리즘은 설비의 수가 많은 경우에는 최적해를 구하는 것이 불가능하기 때문에 휴리스틱 알고리즘들이 개발되었다. 이러한 휴리스틱 알고리즘은 초기배치안작성(Lee & Moore, 1967, Seehof & Evans, 1967, Edwards et al., 1970, Hassan, et al., 1986)과 개선해도출(Armour & Buffa, 1963, 1964, Hiller, 1963, Hiller & Connors, 1966, Nugent et al., 1968, Picone & Wilhelm, 1984) 알고리즘으로 분류할 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘들의 최종 배치안은 초기배치안에 의해 크게 영향을 받는 단점을 가지고 있다.

(3) 다수목표접근법(Multi-goal Approach)

앞의 휴리스틱 알고리즘들은 크게 두 가지 접근방식이 있다. 하나는 양적요인인 설비들간의 자재취급비용을 최소화하는 방식이고 다른 하나는 Muter(1973)가 제시한 질적요인인 설비들간의 근접도(closeness rating)를 최대화하는 방법이다. Rosenblatt(1979)가 두 가지 접근방식을 통합한 모형을 제시한 이래로 여러 학자들에 의해 새로운 접근방식이 제시되었다(Dutta & Sahu, 1982, Fortenberry & Cox, 1985, Urban, 1987, Harmonosky & Tothero, 1992, 홍관수, 1995).

(4) 그래프이론접근법(Graph theoretical approach)

1980년 중반부터 연구가 시작된 그래프 이론에 기초를 둔 휴리스틱 알고리즘인 이 접근법은 설비들간의 흐름 또는 근접도를 가지고 가중치를 부여한 관계 그래프를 가지고 상대적으로 높은 가중치를 가진 maximal planner subgraph를 찾는 방법들이 여러 학자들에 의해 연구가 되고 있다(Foulds, 1983, Green & AI-Hakim, 1985, Giffin and et al., 1986, Hassan & Hogg, 1987, Leung, 1992).

(5) Simulated annealing 알고리즘

대부분의 휴리스틱 알고리즘은 greedy 알고리즘을 사용하였다. 이러한 반복적 개선법의 단점을 극복하기 위하여 비용함수를 증가시키는 대안들도 받아들임으로써 국부최소해에 수렴되는 것을 방지할 수 있는 simulated annealing(SA) 알고리즘을 설비배치문제에 적용하여 기존의 greedy 알고리즘과 비교하여 SA의 결과가 보다 우수하다는 것을 제시하였다(Jajodia, 1992, Kouvelis, 1992, Wilhelm & Ward, 1987, 홍관수, 1995).

(6) 퍼지이론접근법(Fuzzy set theory approach)

복잡한 현상의 문제를 해결한다는 것은 대부분이 복잡한 문제를 단순화시켜 우리가 이해할 수 있는 정도의 간단한 문제를 만든 다음 그 문제를 해결하는 것이다. 그러나 단순화 과정에서 필연적으로 문제에 관련된 정보가 손실된다. 따라서 복잡한 문제를 단순화시킬 때 가능하면 정보의 손실을 줄이기 위해 일상적으로 많이 사용하는 애매한 표현을 그대로 처리할 필요가 있고 이러한 방향으로 연구가 진행되고 있다(Karwowski & Evans, 1986, Grobelny, 1987, 1988, Raoot & Rakshit, 1993, 1994).

(7) 유전알고리즘(Genetic Algorithms)

유전학상의 자연도태 개념에 바탕을 둔 유전알고리즘도 SA와 같이 휴리스틱 검색 알고리즘으로 국부최소점에 수렴하는 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 최근에 배치문제 해결에 많이 적용되고 있다(Tate & Simth, 1995, Suresh & et al, 1995).

2. 유전 알고리즘의 개관

(1) 유전 알고리즘의 개념

유전 알고리즘은 유전학상의 자연 도태(natural selection) 개념에 바탕을 둔 검색 알고리즘으로서 미국 미시간 대학교의 John Holland와 그의 연구팀에 의해서 개발되었다. 이 알고리즘의 기본 원리는 구조적이면서 동시에 무작위적인 정보교환(information exchange)과 적자 생존의 원리를 결합한 것이다. 알고리즘의 실행 중 생성되는 모든 해집단(population)의 해는 일반적으로 비트열(bit string)로 구성되며 부모 세대의 일부분을 결합하거나 무작위로 두 개의 요소를 교환함으로써 이루어지는데 세대가 진행될

수록 보다 더 좋은 특성을 가지도록 노력하게 된다. 유전 알고리즘은 또한 무작위적인 선택을 하게 되는데 이렇다고 해서 무조건 무작위적인 것은 아니며 과거의 정보를 탐색하여 보다 더 성능이 나아지도록 새로운 검색 위치를 찾게 된다.

유전 알고리즘은 다음과 같은 특징을 가지고 있기 때문에 많은 분야에서 효과적으로 적용될 수 있다(Goldberg, 1989).

첫째, 유전알고리즘은 각 후보해에 대한 목적함수값만을 필요로하고 도함수와 같은 부가적인 정보를 요구하지 않는다.

둘째, 유전알고리즘은 모수 자체를 사용하는 것이 아니고 모수의 코딩(coding of parameter set)을 이용하여 이산변수, 연속변수를 표현할수 있기 때문에 변수와 목적함수의 형태에 제약을 받지 않는다.

셋째, 기존의 기법은 하나의 해만을 대상을 탐색하는 방법이나 유전알고리즘은 해집단을 탐색하는 방법이므로 국부적 최소점에 수렴될 확률이 적어진다.

넷째, 확률적 규칙(deterministic rules)이 아니라 확률적 변이규칙(probabilistic transition rule)을 사용한다.

(2) 유전 알고리즘의 동작 원리

일반적인 유전 알고리즘은 크게 복제(reproduction), 교차(crossover), 그리고 돌연변이(mutation)의 세 가지 연산자(operator)로 이루어진다. 복제란 개개의 스트링들이 그들의 목적함수 값에 따라서 다음 세대로 복사되어지는 과정을 말한다. 여기서 목적함수란 이익, 효용, 또는 바람직한 정도의 측정을 말하며, 생물학자들은 이 함수를 적응함수(fitness function)라고 부른다.

두 번째 연산자는 교차로서 일반적인 교차는 부모 세대에서 무작위로 두 개의 해를 취하여 이들의 일부분을 서로 결합함으로써 이루어진다. 이 방법은 가장 간단한 교차 방법이며, 이외에도 partially matched crossover(PMX), the order crossover(OX), cycle crossover(CX)와 같은 방법도 있다(Goldberg, 1989).

세 번째 연산자인 돌연변이는 해의 비트열에서 임의의 두 위치에 있는 데이터를 무작위로 바꾸는 것이다. 복제와 교차를 통하여 효과적인 재배치가 이루어졌다 하더라도 때때로 중요한 유전적인 특성을 놓치는 수가 있기 때문에 돌연변이를 통하여 이를 극복할 수가 있는 것이다.

이외에도 유전 알고리즘을 이용하여 문제를 해결하기 위해서는 해당 문제를 유전 알고리즘에 적용하기 알맞도록 해 표현(solution representation)을 하여야 하며, 또한 목

적합수 값은 해당 문제의 해결 목표를 충분히 달성할 수 있도록 작성되어야 한다.

III. 설비 배치를 위한 유전 알고리즘

1. 알고리즘의 절차

설비 배치안 작성을 위한 본 연구의 알고리즘은 다음과 같은 단계를 거치며 알고리즘 설명에 사용되는 기호들의 의미는 다음과 같다.

NP = 해집단의 크기

MR = 돌연변이 비율

CR = 교차 비율

단계 1 : [초기화]

NP개의 초기 해집단(initial population)을 무작위로 생성한다.

단계 2 : [해의 평가]

해집단 내의 각 해를 평가한다. 즉, 3절에서 설명할 방법대로 각 해의 총 비용을 계산한다.

단계 3 : [정렬 및 선택]

현재의 해집단에서 총 비용이 낮은 순으로 CR*NP개를 선택한 다음 나머지 NP(1 - CR)개는 제거한다. 이렇게 함으로써 우수한 부모 세대의 해들이 자녀세대로 이동하게 될 확률이 높아지게 된다.

단계 4 : [이동]

단계 3에서 선택된 CR*NP개를 새로운 해집단으로 이동시킨다.

단계 5 : [교차]

단계 2에서 선택된 CR*NP개의 해 중에서 무작위로 2개를 선택하여 교차를 실시한후 새로운 해집단에 2개의 새로운 해를 추가시킨다. 이

과정을 $\frac{NP(1-CR)}{2}$ 회 반복함으로써 NP(1 - CR)개의 해를 가진 새로운 해집단을 만든다.

단계 6 : [돌연변이]

단계 4와 단계 5에서 만들어진 새로운 해집단의 NP개의 해를 대상으로 MR의 확률로서 돌연변이를 실시한다.

단계 7 : [반복]

멈춤 규칙을 충족시킬 때까지 단계 2에서 단계 6까지를 반복한다.

2. 해의 표시 방법(Solution Representation)

Liepins and Vose는 해의 표시 방법에 대한 연구 결과를 제시하였으나 문제에 가장 적합한 해 값의 표시 방법을 찾는 것 또한 매우 어려운 일이다(Suresh, 1995). 따라서 유전 연산자(genetic operator)가 쉽게 이용할 수 있고 계산 시간을 줄일 수 있도록 해 표시 방법이 결정되어야 한다.

본 연구에서는 기존의 비트(bit) 방법 대신에 단순화와 일반화를 위해 정수값으로 표시하였다. 즉, 각 설비 배치안은 1부터 시작하는 정수의 열(string)로 표시된다. 스트링 내의 정수값은 해당 설비의 번호를 가리키며 각 숫자의 위치는 설비 배치안에서의 해당 설비의 위치를 가리킨다. 예를 들어, 설비의 갯수가 6개인 경우 설비 배치안이 두 개의 행과 세 개의 열로 구성되어 있다면 다음과 같은 스트링 6 4 1 3 2 5는 [그림 1]과 같은 배치안을 나타낸다.

6	4	1
3	2	5

[그림 1] 배치안의 예

3. 적응 함수(Fitness Function)

설비 배치에 있어서의 최종 목표는 각 설비간의 총 이동 비용을 최소화하는 것이다. 총 이동 비용은 설비 간의 흐름량과 그 거리의 곱으로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} * d_{ij}$$

여기서, C : 총 비용

f_{ij} : 설비 i로부터 설비 j까지의 흐름량

d_{ij} : 설비 i로부터 설비 j까지의 거리

설비들간의 거리 d_{ij} 는 사각형 형태를 가진 설비들의 중심점(centroid)의 좌표인 $[(x_i, y_i), (x_j, y_j)]$ 변수들의 함수이다. 본 연구에서는 다음과 같은 두가지 형태의 거리 측정 방법을 고려한다.

직선거리(rectilinear distance)

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

유클리디언 거리(euclidean distance)

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}$$

4. 유전적 조작(Genetic Operations)

(1) 초기 해집단의 생성

1	2	3	4	5
2	3	4	5	1
3	4	5	1	2
4	5	1	2	3
5	1	2	3	4
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:

[그림 2] 후보해 생성 예

본 연구에서의 초기 해집단은 초기 해집단의 생성시 설비의 수가 k개일 경우 1에서 k까지의 설비를 차례로 할당하여 하나의 후보해를 만들고 다음 k-1개의 후보해는 처음 생성한 후보해에서 하나 설비씩 왼쪽으로 이동시켜서 구성하였다. [그림 2]는 설비가 5개인 경우의 예이다. 그리고 나머지 NP-k개의 후보해는 무작위로 배치하였다.

(2) 교차(Crossover)

앞 절에서 소개한 바와 같이 교차에는 여러 가지 방법이 있으나 모든 문제에 있어 우월한 방법은 없다. 따라서 본 연구에서의 교차는 단순교차법(Goldberg, 1989)를 기초로 하여 변형을 가하였다. 아래와 같은 두 개의 부모 세대 스트링 P_1 , P_2 가 있고 이로부터 자식 세대 스트링 O_1 , O_2 가 만들어 진다고 하면 임의로 결정된 기준점을 중심으로 O_1 의 앞부분은 P_1 의 앞부분을 그대로 물려 받고 뒷부분은 P_2 의 뒷부분이 그대로 이동하게 된다.

그리고 O_2 의 앞부분은 P_1 의 뒷부분이 그대로 이동하게 되고 뒷부분은 P_2 의 앞부분이 그대로 이동하게 된다. 이렇게 함으로써 부모 세대의 특성이 자녀 세대로 전해지면서 동시에 단순교차법(goldberg, 1989)보다는 더욱 다양한 형태의 후보해가 나오게 된다. 이 과정을 표시하면 [그림 3]과 같다.

$$\begin{array}{l}
 P_1 = 1\ 2\ 4 \mid 3\ 6\ 5 \\
 P_2 = 3\ 5\ 1 \mid 4\ 2\ 6 \\
 \\
 O_1 = 1\ 2\ 4 \mid 4\ 2\ 6 \\
 O_2 = 3\ 6\ 5 \mid 3\ 5\ 1
 \end{array}$$

[그림 3] 교차 방법

위의 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 기준점을 중심으로 O_1 의 앞부분은 P_1 의 앞부분 1 2 4 가 그대로 유지되었고, O_1 의 뒷부분은 P_2 의 뒷부분 4 2 6 이 이동하였다. 또한 O_2 의 앞부분에는 P_1 의 뒷부분인 3 6 5 가 옮겨 왔고 O_2 의 뒷부분은 P_2 의 앞부분인 3 5 1 이 이동했다.

그런데 새로운 세대의 해집단 O_1 과 O_2 를 살펴 보면 O_1 의 경우 2번과 4번 설비가 중복되었으며 O_2 의 경우 3번과 5번 설비가 중복되어 실행 불가능 해이다. 이와 같은 중복 문제의 해결을 위하여 두 개의 배치안으로부터 중복된 설비의 위치를 파악하여

앞에서부터 차례로 중복된 설비 숫자의 반 만큼의 횟수만 서로 교환하도록 하였다. 이 과정이 [그림 4]에 나타나 있다.

$$O_1 = 1 \ 2 \ 4 \ 4 \ 2 \ 6$$

$$O_2 = 3 \ 6 \ 5 \ 3 \ 5 \ 1$$

[그림 4] 중복된 설비의 교환

O_1 과 O_2 각각 4개의 설비가 중복(O_1 의 경우 2 4 4 2 그리고 O_2 의 경우 3 5 3 5) 되어 있으므로 앞에서부터 중복된 설비의 반 만큼인 2개의 설비를 차례로 교환한다. 이 과정을 거친 후의 새로운 배치안은 [그림 5]와 같다.

$$O_1 = 1 \ 3 \ 5 \ 4 \ 2 \ 6$$

$$O_2 = 2 \ 6 \ 4 \ 3 \ 5 \ 1$$

[그림 5] 중복 처리 후의 배치안

(3) 돌연변이

본 연구에서의 돌연변이는 무작위로 두 개의 요소를 바꾸는 기존의 방법 대신 하나의 설비를 무작위로 선정하여 이 설비와 흐름량이 가장 많은 설비를 인접하게 위치시키도록 하였다. [그림 1]의 배치안과 <표 1>과 같은 설비들간의 흐름량에 관한 예를 가지고 설명하기로 한다.

[그림 1]에서 무작위로 4번 설비가 선정되었다면, 4번 설비와 이동량이 가장 많은 설비의 흐름량은 <표 1>에서 5번 설비가 된다. [그림 1]에서 5번 설비는 4번 설비와의 거리가 2이므로(즉, 인접되어 있지 않으므로) 4번 설비와 인접해 있는 1번, 2번, 그리고 6번 설비중의 하나와 교환하게 된다. 이때 교환할 수 있는 경우의 수는 3가지가 되므로 어느 설비와 교환할 것인가의 문제가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이를 위한 교환 기준으로 5번 설비를 1번, 2번, 그리고 6번 설비와 각각 교환했을 경우의 총 비용을 구하여 이 총 비용이 가장 적은 경우의 설비와 교환하도록 하였다.

<표 1> 설비들간의 흐름량

	1	2	3	4	5	6
1	0	5	2	4	1	0
2	5	0	3	0	2	2
3	2	3	0	0	0	0
4	4	0	0	0	5	2
5	1	2	0	5	0	10
6	0	2	0	2	10	0

IV. 실험 결과

본 연구에서는 다른 연구들(Suresh & et al., 1995, Tate & Smith, 1995)과의 비교를 위하여 문제의 수를 <표 2>와 <표 3>에서 볼 수 있는 것처럼 설비의 수가 5개에서 36개까지 11개의 경우로 설정하였다. 또한 실험의 결과를 기존 연구와 비교하기 위하여 기존 연구에서 사용한 NP = 100과 멈춤 규칙으로 총 반복 횟수가 2,000이 되면 멈추는 방법을 사용하였다.

그외의 초기값으로 CR = 0.5로 하였고 MR은 0.5, 0.75, 그리고 1.0의 3가지로하여 이 3가지 경우에 대해 각각 10회씩 반복함으로써 각 문제의 경우마다 실험 횟수가 30이 되도록 하였다. 본 연구의 알고리즘은 C언어를 이용하여 프로그래밍 되었고 개인용 컴퓨터(PENTIUM-75)에서 수행되었으며 그 결과는 <표 2>와 <표 3>에 요약되어 있다.

<표 2>는 Suresh등의 연구(Suresh, 1995)와 비교한 것으로서 이들의 연구는 돌연변이 비율 4가지와 교차 비율 10가지의 경우를 조합하여 총 40개의 경우를 그리고 각 경우를 10회씩 반복하여 총 400회 중에서 가장 좋은 경우의 해와 그 해가 나온 세대 반복 횟수(number of generations)를 기록하였다. <표 2>에서 볼 수 있듯이 본 연구의 결과는 각 문제의 실험 횟수가 Suresh의 경우는 400회인데 비해 본 연구에서는 30회로 상당히 적지만 설비의 수가 5개인 문제부터 20개인 문제까지는 설비 배치안의 총 비용은 동일하였으나 이 값이 나온 세대 반복 횟수는 Suresh 등의 연구 결과에 비해 빠르게 나온 것을 볼 수 있다.

<표 2> 실험의 결과 (Suresh 등의 연구와의 비교)

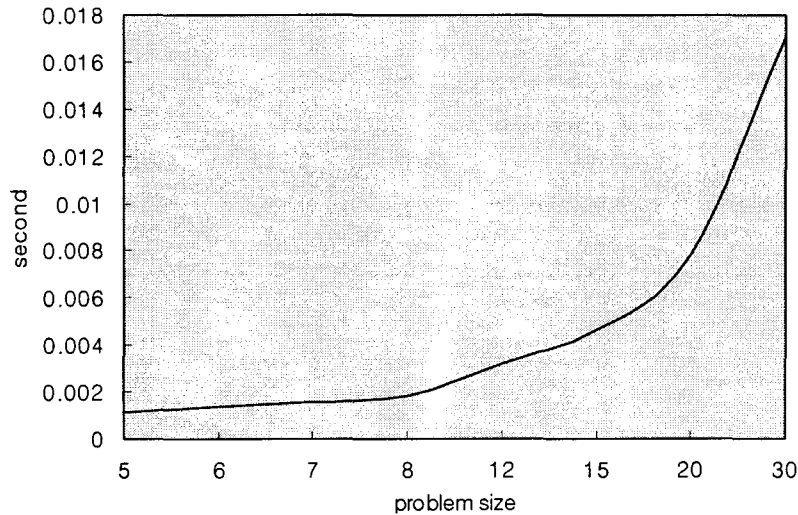
설비수	계산법	총 비용		세대 반복 횟수		1개 해의 수행 시간 (단위:초)	
		Suresh 등의 연구	본 연구	Suresh 등의 연구	본 연구	Suresh 등의 연구	본 연구
5	Rectilinear	25	25	0	0	0.00039	0.0011
6	"	43	43	0	0	0.00040	0.0014
7	"	74	74	20	0	0.00058	0.00155
8	"	107	107	20	1	0.00048	0.0018
12	"	289	289	180	12	0.00077	0.0032
15	"	575	575	340	51	0.0011	0.00465
20	"	1285	1285	660	574	0.0018	0.0078
30	"	3084	3071	1840	1788	0.0038	0.01705
16	"	48	48	60	15	0.0012	0.00515
25	Euclidean	1625.1	1594.5	460	79	0.0078	0.01165
34	"	4234.99	4219.9	1800	1451	0.016	0.02385

* 설비 반복 횟수에서 0은 초기 해집단을 가리킴.

* 시간은 RM = 100의 경우를 기준으로 산출함.

또 설비의 수가 25개, 30개 그리고 34개인 경우에는 총 비용과 세대 반복 횟수 모두 개선된 것을 볼 수 있다. 1개 해의 수행 시간의 경우 Suresh 등의 연구는 HP-9000(800 series)에서 수행되었고 본 연구는 개인용 컴퓨터(PENTIUM-75)에서 수행되었기 때문에 절대 시간 자체를 비교할 수는 없으나 수행 시간을 [그림 6]에서와 같이 그래프로 나타낼 경우 Suresh 등의 연구와 동일한 패턴을 보인다.

<표 3>은 Tate & Smith의 연구(Tate & Smith, 1995)와 비교한 것으로서 이들은 돌연변이와 교차 비율에 따른 3가지 경우를 설정하여 각 경우에 대해 10회 반복함으로써 각 문제마다 실험 횟수가 본 연구와 같이 30이 되도록 하여 가장 좋은 해, 해들의 평균 값 그리고 총누적반복횟수를 기록한 것이다.



[그림 6] 1개 해의 수행 시간

비용의 경우 모든 문제에 있어 본 연구가 Tate & Smith의 연구 결과와 동일하거나 우위에 있는 것을 볼 수 있다. 또한 해 탐색 총누적반복횟수에 있어서는 설비가 15개와 20개인 경우의 가장 좋은 탐색 횟수와 설비가 12개인 경우의 평균 탐색 횟수를 제외하고는 모든 경우에 있어 본 연구가 우위에 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 해 탐색 누적 횟수의 경우에 있어서도 전체적으로 볼 때 본 연구가 Tate & Smith의 연구에 비해 우위에 있다고 볼 수 있겠다.

이와 같은 연구 결과가 나온 것은 본 연구에서는 돌연변이시 설비 배치 문제의 특성을 충분히 고려하여 이를 반영하였으며 아울러 열등한 해를 가진 후보해(CR*NP)만을 제거함으로써 부모 세대의 우수한 특성을 자녀 세대로 최대한 이동시키려는 시도를 한 이유라고 생각한다. <표 4>는 본 연구에서의 돌연변이 방법에서 세대가 반복됨에 따라 비용이 개선되는 비율과 무작위로 두 개의 설비를 바꾸었을 경우에 비용이 개선되는 비율을 비교한 것으로서 세대 반복 초기에는 본 연구의 돌연변이 방법이 거의 두배 이상의 효과를 거두고 있는 것을 볼 수 있다.

<표 3> 실험의 결과 (Tate & Smith 연구와의 비교)

설비수	비 용				해 탐색 누적 횟수			
	Best		Mean		Best		Mean	
	T & S	본 연구	T & S	본 연구	T & S	본 연구	T & S	본 연구
5	25	25	25	25	203	0	304	0
6	43	43	43	43	174	0	485.2	0
7	74	74	74	74	192	0	1106.8	0
8	107	107	107	107	214	5	3508.4	589.2
12	289	289	294.4	294.5	2069	897	13105	16910.3
15	575	575	590.3	583.9	2082	2871	23495.7	18757.4
20	1299	1285	1325.8	1311.9	2099	3902	59479.3	46588.1
30	3092	3071	3164.8	3145.3	13211	10069	114220	105530.7
16	48	48	58.1	50.9	2068	1402	18038.3	2612.3
25	1624.6	1594.5	1788.4	1637.6	8147	4301	70696	32422.7
34	4271.5	4219.9	4448.6	4342.0	26093	21810	130551.7	109368.5

<표 4> 세대 반복 횟수에 따른 비용 개선 비율 비교

세대 반복 횟수	개선 비율(%)		세대 반복 횟수	개선 비율(%)	
	본 연구	무작위 교환		본 연구	무작위 교환
1	86.0	41.0	50	48.2	26.0
10	64.0	31.5	100	37.9	24.7
20	57.6	28.0	500	25.7	24.8
30	54.9	27.2	1000	23.4	24.7
40	51.0	26.2	2000	21.8	24.7

* 설비 수 = 30, 돌연변이 확률 = 100(%) 기준

V. 결 론

설비 배치는 기업의 장단기 생산 능력 및 효율에 상당한 영향을 미치므로 중요한 기업의사결정 중의 하나라고 말할 수 있으나 최적의 설비 배치안을 찾는다는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 설비 배치 문제의 해결을 위해 일반적으로 휴리스틱 알고리즘이 많이 채택되고 있다. 유전학상의 자연도태 개념에 바탕을 둔 검색 기법인 유전 알고리즘은 전통적인 검색 기법에 비해 우위에 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 본 연구에서는 설비 배치 문제의 해결을 위하여 유전 알고리즘의 개발을 시도하였으며, 선행 연구들과의 비교 분석 결과 기존 연구들에 비해 더 우수한 해를 제시할 수 있었다.

그러나 본 연구에서는 설비를 배치할 부서의 크기가 동일하다고 가정한데 그 한계가 있다고 볼 수 있으며, 향후 부서의 크기가 다른 경우, 다요인을 고려한 경우, 그리고 설비가 다층(multi-story)에 분포될 경우에 대해서도 연구가 되어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Armour, G.C. and E.S. Buffa, "A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Location of Facilities," *Management Science*, Vol. 9, No. 2, 1963, pp. 294-309.
- [2] Dutta, K.N. and S. Sahu, "A Multigoal Heuristic for Facilities Design Problems: MUGHAL," *International Journal of Production Research*, Vol. 20, No. 2, 1982, pp. 147-154.
- [3] Edwards, H.K., B.E. Gillett and M.E. Hale, "Modular Allocation Technique(MAT)," *Management Science*, Vol. 17, No. 3, 1970,, pp. 161-169
- [4] Fortenberry, J.C. and J.F. Cox, "Multiple Criteria Approach to the Facilities Layout Problem," *International Journal of Production Research*, Vol. 23, No. 4, 1985, pp. 773-782.
- [5] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in search, optimization, and machine*

- learning(Reading, Massachusetts : Addison-Wesley), 1989.
- [6] Grobelny, J., "On One Possible 'Fuzzy' Approach to Facilities layout problems," *International Journal of Production Research*, Vol. 25, 1987, pp. 1123-1141.
- [7] Grobelny, J., "The 'Linguistic Pattern' Method for a Workstation Layout Analysis," *International Journal of Production Research*, Vol. 26, 1988, pp. 1779-1798.
- [8] Hanan, M. and Kurtzberg, J.M., "A Review of the Placement and Quadratic Assignment Problems," *SIAM Review*, Vol. 14, 1972, pp.324-342.
- [9] Harmonosky, C.M. and G.K. Toth, "A Multi-factor Plant Layout Methodology," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 8, 1992, pp. 1773-1789.
- [10] Hiller, F.S., "Quantitative Tools for Plant Layout Analysis," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 14, 1963, pp. 33-40.
- [11] Hiller, F.S. and M.M. Connors, "Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities," *Management Science*, Vol. 13, No. 1, 1966, pp. 42-57.
- [12] Jajodia, S., I. Minis, G. Harhalakis and J. Proth, "CLASS: Computerized Layout Solutions Using Simulated Annealing," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 1, 1992, pp. 95-108.
- [13] Karwowski, W., and Evans, G.W., "Fuzzy Concepts in Production Management Research: A Review," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, 1986, pp. 129-147.
- [14] Kouvelis, P. and W. Chiang, "A Simulated Annealing Procedure for Single Row Layout Problems in Flexible Manufacturing Systems," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 4, 1992, pp. 717-732.
- [15] Lee, R.C. and J.M. Moore, "CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 3, 1967, pp. 195-200.

- [16] Muther, R., Systematic Layout Planning, Cahers Books, Boston, 1973.
- [17] Nugent, C.E., T.E. Vollman and J. Ruml, "An Experimental Comparison of Techniques for the Assignment of Facilities to Locations," Operations Research Vol. 16, 1968, pp. 150-173.
- [18] Picone, C.J. and W.E. Wilhelm, "A Perturbation Scheme to Improve Hiller's Solution to the Facilities Location Problem," Management Science, Vol. 30, No. 10, 1984, pp. 1238-1249.
- [19] Raoot, A.D., and Rakshit, A., "The 'Linguistic Pattern' Approach for Multiple Criteria Facility Layout Problems," International Journal of Production Research Vol. 31, 1993, pp. 203-222.
- [20] Raoot, A.D., and Rakshit, A., "A 'Fuzzy' Heuristic for the Quadratic Assignment Formulation to the Facility Layout Problem," International Journal of Production Research, Vol. 32, 1994, pp. 563-581.
- [21] Rosenblatt, M.J., "The Facilities Layout Problem: A Multi-goal Approach," International Journal of Production Research, Vol. 17, No. 4, 1979, pp. 323-332.
- [22] Seehof, J.M. and W.O. Evans, "Automated Layout Design Program," Journal of Industrial Engineering, Vol. 18, No. 12, 1967, pp. 690-695.
- [23] Suresh, G., Vinod, V.V., and Sahu, S., "A genetic algorithm for facility layout", International Journal of Production Research, Vol. 33, 1995, pp.3411-3423.
- [24] Tate, D.M. and Smith, A.E., "A genetic approach to the quadratic assignment problem", Computers and Operations Research, Vol. 32, 1995, 73-83.
- [25] Urban, T.L., "A Multiple Criteria Model for the Facilities Layout Problem," International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 12, 1987,, pp. 1805-1812.
- [26] Wilhelm, M. and T. Ward, "Solving Quadratic Assignment Problems by Simulated Annealing," IIE Transactions, 1987, pp. 107-119.

APPENDIX

다음은 본 연구의 결과로 나온 최종 배치안이다. “V” 표시는 비어있는 공간을 가리킨다.

설비 = 5

4 5 V
1 2 3

설비 = 6

1 2 3
4 5 6

설비 = 7

4 V V
5 6 7
1 2 3

설비 = 8

5 4 1 2
6 7 8 3

설비 = 12

5 6 10 2
4 8 11 1
12 7 9 3

설비 = 15

1 2 13 8 9
4 3 14 7 11
10 15 6 5 12

설비 = 20

6 1 7 5 17
13 8 20 15 19
16 11 12 2 4
9 3 10 14 18

설비 = 30

12 6 25 13 5 28
24 26 10 9 2 21
1 22 7 19 29 20
17 18 8 16 3 14
15 23 11 30 27 4

설비 = 16

4 3 2 1
8 7 6 5
12 11 10 9
16 15 14 13

설비 = 25

2 3 4 5 6
1 9 7 18 15
10 12 13 8 1
11 19 14 17
20 21 22 23 24

설비 = 30

17 3 1 6 11 27 26 25 24
18 8 10 13 12 20 23 21 22
2 4 5 7 14 28 19 32 V
V 9 16 15 29 30 31 34 33