

천장형 설비의 배치 설계를 위한 해법의 개발

양 병 학*

*경원대학교 산업정보시스템공학과

Algorithms on layout design for overhead facility

Byoung-Hak Yang*

*Department of Industrial Engineering, Kyungwon University

Abstract

Overhead facility design problem(OFD) is one of the shortest rectilinear flow network problem(SRFNP)[4]. Genetic algorithm(GA), artificial immune system(AIS), population management genetic algorithm (PM) and greedy randomized adaptive search procedures (GRASP) were introduced to solve OFDP. A path matrix formed individual was designed to represent rectilinear path between each facility. An exchange crossover operator and an exchange mutation operator were introduced for OFDP. Computer programs for each algorithm were constructed to evaluate the performance of algorithms. Computation experiments were performed on the quality of solution and calculations time by using randomly generated test problems. The average object value of PM was the best of among four algorithms. The quality of solutions of AIS for the big sized problem were better than those of GA and GRASP. The solution quality of GRASP was the worst among four algorithms. Experimental results showed that the calculations time of GRASP was faster than any other algorithm. GA and PM had shown similar performance on calculation time and the calculation time of AIS was the worst.

Keyword : Overhead facility design problem, Genetic algorithm, Population management, Artificial immune system, GRASP

1. 서 론

반도체 공장에서 웨이퍼들은 250개 공정 기계를 거치며 수 백 가지 세부 공정을 수행하고 약 16km정도를 이송하고 있다. 따라서 반도체 공장에서 자재 취급은 매우 중요한 요소로 간주되고 있다[1]. 반도체 공장은 장비들이 일정한 그룹을 형성하고 있는 베이들로 구성되어 있고 이송시스템은 베이 내와 베이 간 장비들로 구성되어 있다. 오버헤드 셔터가 베이간의 이송을 주로 담당하고 있다[8]. 다른 산업 분야의 물류 현장에서도 작업장의 상부 공간을 이용해서 자재를 이송시키는 천장형(overhead) 시스템이 많이 사용된다. 대부분의 반

도체 공장은 직각사각형 형태의 배치를 사용하고 있으며 지상의 복도는 수직 수평선상의 직각거리 복도 형태를 이루고 이 복도의 양 쪽으로 장비들이 배치되어 있다. 지상이든 지하이든 이러한 장비들을 연결하는 각종 통신선과 보조 연결망도 직각거리 형태로 배치되어 있다[11]. 이러한 이유로 반도체 공장에서 천장형 설비를 설계할 때에는 각 출발지-도착지 쌍을 직각거리로 연결하고 있으며 이러한 형태의 설비 배치는 물류 현장에서 많이 사용되고 있다.

물류 현장에서 사용되는 천장형 설비의 배치 설계 문제를 설명하면 다음과 같다. 먼저 각 장비들 간에 서로 연결해야 하는 연결 쌍이 주어지고 각 장비의 위치도

† 이 논문은 2011년도 경원대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임(KWU-2011-R072).

† 교신저자: 양병학, 경기도 성남시 수정구 복정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과
M·P: 031-750-5368, E-mail: byang@kyungwon.ac.kr

2011년 1월 3일 접수; 2011년 3월 8일 수정본 접수; 2011년 3월 10일 게재확정

알려져 있다. 천장형 설비는 양방향으로 이동 가능하며 모든 연결 쌍을 직각거리로 연결하려고 한다. 고려해야 할 비용요소는 천장형 설비 설치비용과 경로비용이다.

설치비용은 모든 천장형 설비 길이의 합에 비례한다.

경로비용은 연결 쌍 간에 연결된 길이에 비례하여 경로비용을 최소화하기 위해서는 모든 연결 쌍을 최단거리로 연결해야 한다. 그래서 모든 연결 쌍을 최단거리로 연결하면서 설치비용을 최소화한다면 이 문제는 Chhaged et al.가 제시한 최단 직각거리 흐름 네트워크 문제(SRFNP: Shortest Rectilinear Flow Network Problem)[4]가 되며 이것이 우리가 해결하려는 문제이다.

본 연구의 목적은 천장형 설비 배치 문제에 대하여 유전 해법, 인공지능시스템, 모집단관리 유전 해법, GRASP(Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)을 이용하여 해법을 개발하고 실험을 통하여 해법 간에 차이점을 분석하는 것이다.

2장에서는 연구의 주제인 SRFNP를 제시한 Chhaged et al. [4]의 논문을 인용하여 문제를 설명하고 3장에서는 연구의 배경인 메타 휴리스틱들을 소개한다. 본 연구의 주요 내용인 4장에서는 각 해법들의 알고리즘 설계 방법을 설명하고 있으며 5장에서는 해법간의 비교 실험한 내용을 정리하였다. 마지막으로 6장에서 연구의 결과를 제시하였다.

2. 문제 설명

천장형 설비 배치 문제의 수리 모형인 SRFNP는 Chhaged et al. [4]가 제시했으며 그들의 논문을 인용하여 SRFNP를 2장에서 설명하려고 한다. 먼저 설명을 위한 용어는 다음과 같다.

E_p : p 번째 장비.

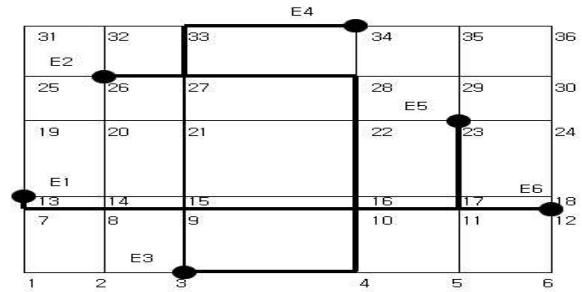
연결 쌍 (E_p, E_q) : 서로 연결해야 하는 장비의 쌍.

경로 t : (E_p, E_q)를 t 번째 연결 쌍이라 할 때 (E_p, E_q)를 연결하는 경로.

<그림 1>에 E1부터 E6까지 6개의 장비가 있고, 연결해야 할 연결 쌍이 (E_3, E_5), (E_1, E_6), (E_2, E_4), (E_2, E_6)로 4개가 있다. 연결 쌍의 순서대로 경로 1, 2, 3, 4가 있고 경로 1이란 (E_3, E_5)을 연결하는 경로를 의미한다.

4개의 연결 쌍을 최소비용으로 연결하면서 전체 설비 배치 비용을 최소화해야 한다. 각 장비의 위치에 수직선과 수평선을 작성하고, 수직선과 수평선이 만나는 교점들로 이루어진 격자구조를 만들 수 있다.

이 격자 구조의 교점들은 격자점이라 한다.



<그림 1> 6개 장비를 연결한 천장형 설비 배치.
출처 : Chhaged et al. [4]의 <그림 2,3>을 수정함.

<그림 1>의 경우 6개의 장비에 의해 6개의 수직선과 수평선으로 36개의 격자점이 있고 1번부터 36번까지 번호를 부여하였다. 직각거리 설비배치 문제에서 장비는 격자점을 따라 최단 거리로 연결하면 된다. 예를 들어 장비 E3에서 E5까지 가는 직각 거리 최단 경로는 E3과 E5를 마주보는 꼭짓점으로 하는 사각형내의 격자점들을 수직 또는 수평으로 연결하면 되고 그러한 최단 경로는 복수개가 존재 한다[4].

Chhaged et al.는 이와 같이 모든 연결 쌍을 최단거리로 연결하면서 전체 설비 배치비용을 최소화하는 문제인 SRFNP를 다음과 같이 수리 모형화 하였다[4].

상수

n : 장비의 수

m : 연결쌍의 수(경로의 수)

i, j : 격자점의 지수.

t : 경로의 지수.

C_{ij} : 호(i, j)의 설치비용

f^t : 최단 경로 t 를 이루는 호 집합

A^t : 최단 경로 t 를 위한 점과 호구성 행렬

b^t : 최단 경로 t 를 위한 우변 상수

결정변수

x_{ij} : 호(i, j)의 설치 변수

y_{ij}^t : 경로 t 에서 호(i, j)의 경로 변수

Y^t : y_{ij}^t 로 이루어진 벡터

SRFNP[4] :

$$\text{Min} \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij}$$

s.t.

$$A^t Y^t = b^t, \forall t \tag{1}$$

$$y_{ij}^t \leq x_{ij}, \forall (i, j) \in f^t, \forall t \tag{2}$$

$$y_{ij}^t \geq 0, \forall (i, j) \in f^t, \forall t \tag{3}$$

$$x_{ij} = \{0, 1\}, \forall i, j \tag{4}$$

목적함수식은 설비 설치비용을 최소화하는 것이다. 제약식(1)은 연결 쌍을 최단 경로를 이루는 격자점 집합 내에서 하나의 경로로 연결하라는 행렬 제약식이다. 식(2)는 호(i,j)에 경로가 있으려면 호(i,j)를 설치하라는 제약식이다. 식(3)은 비용조건이고 식(4)는 이진변수 제약식이다[4].

이 문제는 NP - complete로 알려져 있어서 최적해를 구하는 것은 어려운 문제로 알려져 있다[9]. 이 문제를 제안한 Chhajed et al.[4]는 연결 쌍 간의 경로 중 일부를 고정하고 다른 연결 쌍을 위한 경로를 고정된 경로와 중첩시키는 “경로 개선 절차”를 이용한 휴리스틱을 제안하였다. 그들의 경로 개선 절차는 먼저 임의의 연결 쌍을 선택하고 선택된 연결 쌍의 경로를 고정시킨다. 고정된 경로를 지나는 호들은 설치비용을 0으로 수정한 후, 이 수정된 설치비용 조건에서 다른 경로들에 대하여 시작점에서 종착점까지의 최단 경로를 새롭게 구하는 방법으로 연결 쌍 간의 경로를 수정하는 방법이었다[4]. 그들의 경로 개선 절차 휴리스틱은 본 연구에서 지역 탐색 방법으로 사용하였다.

3. 메타휴리스틱 소개

본 연구에서는 유전 해법, 인공면역시스템, 모집단 관리 유전 해법, GRASP를 이용하여 해법을 개발하려고 한다. 먼저 각각의 해법을 기존의 연구 논문을 참조하여 간단히 소개하고 연구 내용인 알고리즘 설계 과정은 4장에서 다루도록 하겠다.

유전 해법은 복수개의 해를 모집단에 개체 형태로 저장하고 개체들에 대하여 돌연변이, 교차, 지역 탐색을 수행하여 개체들을 변화시킨다. 개체들이 유전 해법의 전략에 의해서 변경되면 우수한 개체들을 선별에 의해서 다음 세대로 상속 시켜서 모집단을 유지 발전시키는 방법으로 메타 휴리스틱의 대표적인 해법이다[2]. 모집단관리 유전 해법과 유전 해법의 차이점은 모집단의 상속 시 선별을 사용하지 않고 모집단 관리를 사용한다. 자식 개체의 목적함수 값이 기존의 개체들과 비교하여 큰 차이가 나지 않으면 모집단을 수정하지 않고 자식 개체의 목적함수 값이 다른 개체들과 차이가 날 때 자식 개체를 기존의 개체 중 열등한 개체와 교환하여 모집단의 분산성을 강제로 관리하는 해법이다[3][10][15][16]. 인공면역시스템은 유전 해법과 달리 선별과 교차를 사용하지 않고 복제를 사용하는데 복제란 모집단내에서 우수한 개체들을 선택하여 복제하고 복제된 개체에 돌연 변이를 적용하는데 돌연변이율을 개체마다 다르게 적용하는 것으로 열등한 개체에는 높

은 돌연변이율을 적용하고 우수한 개체는 낮은 돌연변이율을 적용하는 하이퍼 돌연변이를 사용하는 것이 특징이다[5][6][12][13][14][15]. GRASP은 유전 해법과는 달리 모집단이라는 개념이 없고 하나의 초기해를 사용하며 해의 탐색 시에도 유전 해법 계열과는 다르게 돌연 변이 등을 사용하지 않고 일반 휴리스틱을 적용하며, 초기해를 랜덤하게 여러 번 반복적으로 구하여 휴리스틱 해법을 여러 번 반복하는 메타 휴리스틱이다[7].

4. 알고리즘 설계

해법들을 위한 알고리즘을 설계하기 위해서는 먼저 해를 표현하는 개체를 설계해야 하고, 모집단의 상속 방법, 개체를 수정하는 전략인 돌연변이, 교차, 지역 탐색 등을 설계해야 한다. 본 연구에서 개발한 각 전략의 설계 내용은 다음과 같다.

4.1 개체의 설계

개체란 문제의 한 해를 표현하는 방식으로 개체, 유전자, 항체라고 불린다. 본 문제에서는 연결 쌍을 연결한 경로를 메타 휴리스틱에 알맞게 표현하는 방식을 설계해야 한다.

지금 t번째 연결 쌍 (Ep, Eq)를 연결하는 경로 t를 개체로 표현하는 방법을 설계하도록 하자. (Ep, Eq)을 위한 경로는 Ep와 Eq를 꼭짓점으로 한 사각형 영역 내에서 Ep와 Eq를 직각거리의 패턴으로 연결하면 된다[4]. Ep와 Eq중 X축 상의 좌측 점을 시작점으로, 우측 점을 종착점으로 설정하면 시작점에서 종착점까지의 경로는 격자점을 따라 이동하는데 가능한 방향은 우측, 위 또는 아래의 세 가지 방향이다. <그림 1>의 (E3, E5)의 배치 경로를 예로 설명하면 먼저 E3이 E5보다 좌측에 있어서 시작점으로 설정하고 E5로 가는 경로를 표현하면 (우측, 위, 우측, 위, 위)로 표현된다.

우리는 이런 방식으로 연결 쌍 간의 경로를 표현하기 위해서 다음과 같은 경로 방향 변수를 도입하였다.

경로 방향 변수 Dtr를 경로 t에서 r번째 점에서의 다음 점으로 이동하는 방향이라 하고 방향에 따라 다음과 같이 세 가지 경우로 값을 배정하였다.

$$D_r^t = \begin{cases} 0 : \text{우측방향으로 이동} \\ 1 : \text{윗 방향으로 이동} \\ -1 : \text{아랫 방향으로 이동} \end{cases}$$

예를 들어 <그림 1>의 연결 쌍 (E3,E5)의 경로인 (우측, 위, 우측, 위, 위)를 Dtr으로 표현하면 벡터

(0,1,0,1,1)을 얻을 수 있다. 이제 경로 t를 위한 경로를 이러한 벡터를 사용하여 표현할 수 있고 이러한 벡터가 m개가 필요하다. 이 m개의 벡터들로 구성된 행렬로 설비 배치의 거오를 표현한 것이 본 연구에서 설계한 개체이며 우리는 이 개체를 경로 행렬 개체라 하였고 형태는 다음과 같다.

경로 행렬 개체

경로1	D_1^1	D_2^1		
경로2	D_1^2	D_2^2		
.					
경로m	D_1^m	D_2^m		

<그림 1>의 배치 안을 경로 행렬 개체로 표현한다면 4개의 연결 쌍 (E3, E5), (E1, E6), (E2, E4),(E2, E6)가 있고 각각의 경로를 순서대로 경로1,2,3,4라 했다. 가장 먼저 연결 쌍 (E3, E5)에 대한 경로 1은 이미 설명한대로 (0,1,0,1,1)이다. (E1, E6)의 경우 (아래, 우측, 우측, 우측, 우측, 우측)이고 이를 벡터로 표현하면 경로 2는 (-1,0,0,0,0)이 된다. 같은 방법으로 (E2, E4)에 대한 경로 3은 (0,1,0)이고 (E2, E6)에 대한 경로 4는 (0,0,-1,-1,-1,0)이어서 4개의 벡터를 모아서 만든 경로 행렬 개체는 다음과 같다.

경로1	0	1	0	1	1		
경로2	-1	0	0	0	0	0	
경로3	0	1	0				
경로4	0	0	-1	-1	-1	0	0

<그림 2> 설비 배치 안에 대한 경로 행렬 개체의 예

4.2 개체의 평가

개체의 평가란 개체의 목적함수 값을 구하는 것이다. 경로 행렬 개체의 경로 방향 변수 Dtr에 의해서 설비 배치 경로를 구할 수 있다. 격자 구조상에서 설비 배치 경로가 지나가는 모든 호(i,j)에 대하여 xij는 1을 배정하고 배치 경로가 지나지 않는 xij에는 0을 배정하여 설치비용식 $\sum \sum C_{ij}x_{ij}$ 에 대입하면 개체의 설치비용을 구할 수 있다. 예를 들어 경로 행렬 개체의 첫 번째 경로는 (0,1,0,1,1)이고 이는 연결 쌍 (E3,E5)의 경로이다. E3의 격자점은 <그림 1>에서 점 3이고 경로를 추적해보면 (E3,E5)의 배치 경로는 (3,4,10,11,17,23)이다. 따라서 다음의 변수들을 1로 배정한다.

$$x_{3,4} = 1, x_{4,10} = 1, x_{10,11} = 1, x_{11,17} = 1, x_{17,23} = 1$$

경로 행렬 개체의 나머지 경로에 대해서 같은 방법으로 경로가 지나가는 호에 대한 변수 xij들을 1로 배정하면, 그 결과에 의해서 설치비용을 구할 수 있다.

4.3 돌연변이

선택된 개체에 대하여 일부 개체 정보를 교환하여 새로운 개체를 형성하는 교환 돌연변이를 사용하였다. 돌연 변이를 수행할 개체가 다음과 같다고 하자.

돌연변이 전 개체

경로1	0	1	0	1	1		
경로2	-1	0	0	0	0	0	
경로3	0	1	0				
경로4	0	<u>0</u>	-1	<u>-1</u>	0	0	-1

네 번째 경로에서 밑줄 친 두 개의 셀이 돌연변이 셀로 선택되었다고 하면 교환 전략에 따라 이 두 셀을 서로 교환하였다. 이러한 돌연변이에 의해서 생성된 돌연변이 후 개체는 다음과 같다.

돌연변이 후 개체

경로1	0	1	0	1	1		
경로2	-1	0	0	0	0	0	
경로3	0	1	0				
경로4	0	<u>-1</u>	-1	<u>0</u>	0	0	-1

4.4 하이퍼 돌연변이

인공 면역시스템에서는 하이퍼 돌연변이를 사용하는 데 이는 개체에 대하여 돌연변이를 수행할 때 개체의 목적함수 값에 따라 돌연변이율을 달리 적용하는 것이다[5][6]. 목적함수 값의 크기에 따라 가장 우수한 개체는 최소 돌연변이율을 적용하였으며 가장 열등한 개체에는 최대 돌연변이율을 적용 했고 나머지 개체들은 최소 돌연변이율과 최대 돌연변이율 사이의 하이퍼 돌연변이율이 적용 하였다[13][14].

4.5 교차

교차는 선택된 두 부모 개체의 성질을 서로 교환하여 다음 세대에 상속하려는 전략이다. 두 부모 개체를 선택하고 두 부모의 경로 행렬 개체 내에서 선택된 경

로를 교환하는 교환 교차를 사용하였다. 지금 교차를 수행 할 두 부모 개체가 각각 다음과 같다고 하자.

부모 개체1

경로1	0	1	0	1	1		
경로2	-1	0	0	0	0	0	
경로3	0	1	0				
경로4	0	0	-1	-1	0	0	-1

부모 개체2

경로1	1	0	1	0	1		
경로2	0	0	-1	0	0	0	
경로3	0	0	1				
경로4	0	-1	0	-1	0	-1	0

부모 개체의 경로 중에서 밑줄 처진 경로 2가 교차를 수행할 경로로 선택되었다고 하면 교환 교차를 수행하기위해 부모 개체1의 경로2를 부모 개체 2의 경로 2와 서로 교환하여 다음과 같은 두 개의 자식 개체가 생성된다.

자식 개체1

경로1	0	1	0	1	1		
경로2	0	0	-1	0	0	0	
경로3	0	1	0				
경로4	0	0	-1	-1	0	0	-1

자식 개체2

경로1	1	0	1	0	1		
경로2	-1	0	0	0	0	0	
경로3	0	0	1				
경로4	0	-1	0	-1	0	-1	0

4.6 지역탐색

지역 탐색은 현재의 해에서 일반 휴리스틱을 적용하여 개선하는 전략이다. 우리는 개체에서 랜덤하게 선택된 하나의 연결 쌍에 대한 경로를 고정하고 다른 연결 쌍들의 경로들에 대하여 Chhajed et al.가 제안한 경로 개선 절차[4]에 따라 경로를 수정하고 이것이 현재의 해보다 우수하면 채택하는 지역 탐색 방법을 사용하였다.

4.7 모집단의 상속

현재의 모집단에서 다음 세대의 모집단으로 개체를

상속하기 위해 토너먼트 선별, 모집단 관리, 복제를 사용했다.

토너먼트 선별 : 토너먼트 선별이란 집단내의 개체들을 그룹으로 분할하고 그룹 내에서 가장 우수한 하나의 개체만을 선별하고 다음 세대에 상속하는 선별 방법이다[2]. 일반적으로 토너먼트의 수는 2개를 많이 사용한다[15]. 본 연구에서도 모집단내에서 두 개의 개체를 랜덤하게 선택하여 우수한 개체를 상속시키는 토너먼트 선별을 모든 개체가 구해질 때까지 반복하는 전략을 사용하였다.

모집단 관리 : 모집단 관리 유전해법에서 사용하는 모집단 상속 방법으로 자식 개체의 목적함수 값과 다른 개체들의 목적함수 값의 차이를 개체 거리라 할 때 최소 개체 거리를 구하여 이 값이 기준보다 큰 경우에만 자식 개체를 모집단에 상속시키는 방법이다[15][16].

본 연구에서는 n을 장비의 수라 했을 때 최소 개체 거리가 n/100보다 크면 자식 개체를 모집단내의 열등한 개체 중 하나와 교환하였다. 자식 개체의 최소 개체 거리가 n/100보다 작으면 자식 개체를 모집단에 포함시키지 않도록 설계하였다.

복제 : 인공 면역시스템의 모집단 상속 방법으로 모집단내의 개체들의 목적함수 값에 따라 우수한 개체들에는 높은 복제 확률을 부여하고 열등한 개체들은 낮은 복제 확률을 부여한 후 각 개체별로 랜덤함수에 의해서 다음 세대로 복제할 개체를 선정하는 것이다 [13][14][15]. 모든 개체가 구해질 때까지 반복적으로 복제 확률에 의해서 복제를 수행하도록 설계하였다.

4.8 종료조건

해법을 진행하면서 발견된 해중 가장 우수한 해를 최우수해라 하고, 최우수해의 개선이 없이 50회가 반복되면 종료하거나 반복회수가 1000번이 되면 종료하였다.

4.9 해법별 알고리즘

본 연구에서 개발된 4가지 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

4.9.1 천장형 설비배치 문제를 위한 유전 해법

Step 1(초기설정)

초기 모집단을 구성한다. 초기 모집단에서 가장 우수한 해를 최우수해로 저장한다.

Step 2(선별)

현재의 모집단에서 토너먼트 선별을 수행하여 다음

세대의 모집단을 구한다.

Step 3(교차)

선택된 두 개체에서 교환 교차한다.

Step 4(돌연 변이)

선택된 개체 내에서 교환 돌연변이를 수행한다.

Step 5(지역 탐색)

선택된 개체에 대하여 경로 개선 절차[4]를 이용한 지역 탐색을 수행한다.

Step 6(최우수해 수정)

모집단내에서 가장 우수한 해를 최우수해와 비교하여 최우수해를 수정한다.

Step 7(종료 조건)

종료 조건을 만족하면 종료한다.

종료 조건을 만족하지 않으면 Step 2로 간다.

4.9.2 천장형 설비배치 문제를 위한 인공면역시스템

Step 1(초기설정)

초기 모집단을 생성한다. 초기 모집단에서 가장 우수한 해를 최우수해로 저장한다.

Step 2(복제)

모집단에서 우수한 개체들을 복제한다.

Step 3(하이퍼 돌연변이)

복제된 개체별로 하이퍼 돌연변이율을 적용하여 교환 돌연 변이를 수행한다.

Step 4(지역 탐색)

선택된 개체에 대하여 경로 개선 절차[4]를 이용한 지역 탐색을 수행한다.

Step 5(최우수해 수정)

모집단내에서 가장 우수한 해를 최우수해와 비교하여 최우수해를 수정한다.

Step 6(종료 조건)

종료 조건을 만족하면 종료한다.

종료 조건을 만족하지 않으면 Step 2로 간다.

4.9.3 천장형 설비배치 문제를 위한 모집단관리 유전 해법

Step 1(초기설정)

초기 모집단을 생성한다. 초기 모집단에서 가장 우수한 해를 최우수해로 저장한다.

Step 2(교차)

선택된 개체들에 대하여 교환 교차를 수행한다.

Step 3(돌연변이)

선택된 개체에서 교환 돌연변이를 수행한다.

Step 4(지역탐색)

선택된 개체에서 경로 개선 절차[4]를 이용한 지역

탐색을 수행한다.

Step 5(모집단 관리)

생성된 자식 개체의 개체 거리가 $n/100$ 보다 크면 자식 개체를 모집단의 임의의 열등한 개체와 교환한다. 개체 거리가 $n/100$ 보다 작으면 자식 개체를 선택하지 않는다. Step 6을 수행한다.

Step 6(최우수해 수정)

모집단내에서 가장 우수한 해를 최우수해와 비교하여 최우수해를 수정한다.

Step 7(종료 조건)

종료 조건을 만족하면 종료한다.

종료 조건을 만족하지 않으면 Step2로 간다.

4.9.4 천장형 설비배치 문제를 위한 GRASP해법

Step 1(초기설정)

초기해를 랜덤하게 구하고 초기해를 최우수해로 저장한 후 Step 3으로 간다.

Step 2(초기해)

초기해를 랜덤하게 다시 구한다.

Step 3(지역 탐색)

초기해로부터 경로 개선 절차[4]를 이용하여 지역 탐색을 수행한다.

Step 4(최우수해 수정)

지역 탐색으로 구해진 해와 최우수해를 비교하여 최우수해를 수정한다.

Step 5(종료 조건)

종료 조건을 만족하면 종료한다.

종료 조건을 만족하지 않으면 Step2로 간다.

5. 해법의 비교 분석

5.1 실험 환경

실험을 위한 문제로 크기가 다른 10가지 실험 문제를 랜덤 함수를 이용하여 만들어 냈다. 장비의 수는 (10, 20, ..., 100)개의 경우로 구성하였고 장비의 수가 n 개인 경우에 연결해야할 연결 쌍의 수는 장비 수의 두 배인 $2n$ 개로 설정하여 문제를 만들어 냈다. 실험 문제는 <표 1>에 제시되어 있다.

실험을 위해 4장에서 설계한 4가지 알고리즘을 비주얼 스튜디오를 이용하여 구축하였으며 실험은 Intel(R) Core (TM)2 Quad Q8200 CPU 2.33GHz에서 각 문제당 10번의 반복 실험을 실시하였다. GRASP 해법은 모집단을 사용하지 않는 해법이어서 개체를 하나만 사용

<표 1> 실험을 위한 문제군

실험 문제	장비의 수	연결 쌍 수
MHA	10	20
MHB	20	40
MHC	30	60
MHD	40	80
MHE	50	100
MHF	60	120
MHG	70	140
MHH	80	160
MHI	90	180
MHJ	100	200

하였고 나머지 3가지 해법들은 모집단의 개체수를 50개를 사용하였다. 해법 간의 비교 실험을 실시하기 전에 해법을 수행하기 위해 필요한 파라미터를 추정하기 위한 예비 실험을 먼저 수행하였다.

5.2 파라미터 추정

교차율, 돌연변이율, 하이퍼 돌연변이율의 적절한 값을 설정하기 위해서 예비 실험을 실시하였다. 예비 실험을 위하여 장비의 수가 15개이며 연결 쌍이 30개인 MHP란 문제를 생성하여 10번씩 반복하여 해법을 수행하기로 했다.

5.2.1 유전해법

돌연변이율은 (1%,2%,...,10%)인 경우와 교차율은 (10%, 20%,30%,40%,50%)인 경우에 대하여 예비 실험을 실시하였다. 각 돌연변이율에 대한 유전 해법의 평균 목적함수 값을 구한 결과가 <표 2>에 제시되었으며 실험 결과에 의하면 돌연변이율은 1%에서 가장 우수한 결과를 보였다. 교차율에 대한 실험 결과는 <표 3>에 제

<표 2> 유전해법의 돌연변이율 예비 실험 결과

돌연변이율	목적함수의 값
1%	5.980
2%	6.018
3%	6.030
4%	6.061
5%	6.088
6%	6.133
7%	6.122
8%	6.063
9%	6.129
10%	6.066

시되었으며 교차율이 40%일 때 가장 우수한 결과를 보였다. 유전 해법의 파라미터로는 돌연변이율 1%와 교차율 40%로 설정하였다.

5.2.2 모집단관리 유전해법

모집단 관리 유전해법도 유전 해법과 동일한 구간에서 돌연변이율과 교차율에 대한 예비실험을 실시한 결과가 <표 4>와 <표 5>이다. 모집단 관리 유전해법은 돌연변이율 9%에서 가장 우수한 결과를 보여 주고 있다. 교차율은 20%에서 목적함수 값이 가장 우수하여 이 값들을 모집단 관리 유전해법의 교차율과 돌연변이율로 설정하였다.

<표 3> 유전해법의 교차율 예비 실험 결과

돌연변이율	목적함수의 값
10%	6.059
20%	6.066
30%	6.095
40%	6.055
50%	6.070

<표 4> 모집단 관리 유전해법의 돌연변이율 예비 실험 결과

돌연변이율	목적함수의 값
1%	5.981
2%	5.944
3%	6.013
4%	5.988
5%	5.998
6%	5.945
7%	5.961
8%	5.964
9%	5.940
10%	6.009

<표 5> 모집단 관리 유전해법의 교차율 예비 실험 결과

돌연변이율	목적함수의 값
10%	5.986
20%	5.959
30%	5.983
40%	5.961
50%	5.982

<표 6> 인공면역시스템의 예비 실험 결과

하이퍼 돌연변이율	목적함수의 값
(1%~5%)	6.128
(2%~10%)	6.144
(3%~15%)	6.071
(4%~20%)	6.173
(5%~25%)	6.050
(6%~30%)	6.034
(7%~35%)	6.229
(8%~40%)	6.103
(9%~45%)	6.119
(10%~50%)	6.137

5.2.3 인공면역시스템

인공면역시스템에서는 하이퍼 돌연변이를 위하여 최소돌연변이율과 최대돌연변이율의 범위를 (1%~5%), (2%~10%), (3%~15%),..., (10%~50%)의 10개 구간으로 설정하여 예비 실험을 실시하였다. 예비 실험 결과는 <표 6>에 제시하였으며 하이퍼 돌연변이율의 범위가 (6%~30%)인 경우에 목적함수 값이 가장 우수하게 나와서 이를 인공면역시스템의 하이퍼 돌연변이율로 설정하였다.

5.3 해법 간 비교 분석

먼저 해법별 목적함수 값에 비교 결과가 <표 7>에 제시되었다. 평균적으로 모집단 관리 유전 해법으로 구한 해의 목적함수 값이 가장 우수하게 나왔다. 그 다음 순위는 인공면역시스템, 유전해법, GRASP 이었다.

가장 잘 알려진 유전 해법의 목적함수 값을 기준으로 다른 해법의 목적함수 값과 비교해 보면 모집단관리 유전해법은 98.99%, 인공면역시스템은 99.52%이고 GRASP 은 103.40%였다. 전체 10개의 문제 중 모집단 관리 유전 해법은 5개, 유전 해법은 5개 문제에서 우수하였다.

소형 문제에서는 유전해법이 우수했지만 장비의 수가 60 개 이상인 MHF 문제부터 MHJ 문제까지는 모집단 관리 유전해법이 가장 우수한 것으로 분석되었다. 인공면역시스템도 60개 이상의 대형 문제에서는 유전해법보다 우수했다.

해의 품질 면에서 GRASP은 다른 해법에 3.4%에서 5% 정도 열등하여 사용하기 어려운 해법으로 판단되며 모집단 관리 유전해법은 평균적으로 해의 품질이 우수했고, 문제의 크기가 큰 경우에는 더욱 우수한 결과를 보여 주었다.

<표 7> 해법별 목적함수 값의 비교. 밑줄은 목적함수 값이 가장 우수한 경우

문제유형	유전 해법			인공면역시스템			모집단관리 유전 해법			GRASP		
	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
MHA	3.93	4.18	3.82	4.09	4.27	3.86	4.04	4.25	3.82	4.13	4.45	3.82
MHB	6.77	6.95	6.37	6.96	7.25	6.69	6.93	7.16	6.42	7.44	7.64	7.18
MHC	11.26	11.90	10.56	11.48	12.05	11.18	11.35	11.69	11.04	11.76	12.17	11.56
MHD	13.64	14.17	12.74	13.99	14.60	13.50	13.76	14.23	13.04	14.48	15.00	13.82
MHE	15.47	15.90	15.00	15.59	16.06	14.80	15.56	15.99	15.05	16.40	16.95	15.89
MHF	19.29	20.13	18.43	19.09	19.60	18.82	18.95	19.43	18.35	19.70	20.99	18.86
MHG	21.98	22.75	20.84	21.56	22.23	20.54	21.50	21.90	21.12	22.52	23.37	21.77
MHH	24.64	25.12	23.99	24.45	24.88	23.94	24.31	25.42	23.00	25.47	25.87	24.98
MHI	27.94	28.62	27.51	27.54	28.68	26.74	27.54	28.40	26.75	28.46	29.42	27.74
MHJ	30.99	32.22	30.52	30.33	30.74	29.32	30.19	30.93	29.23	31.52	32.35	30.27
평균	17.59			17.51			17.41			18.19		

<표 8> 해법별 연산시간의 비교. 단위 초. 밑줄은 연산시간이 가장 우수한 경우

문제유형	유전 해법			인공면역시스템			모집단관리 유전 해법			GRASP		
	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
MHA	92	152	71	299	412	256	17	29	15	10	19	6
MHB	190	303	131	320	483	263	21	29	20	10	22	6
MHC	170	259	80	454	716	281	38	44	36	14	37	10
MHD	210	352	97	358	870	300	65	90	61	16	16	16
MHE	211	422	113	412	629	340	115	116	115	44	138	29
MHF	191	271	139	433	650	385	196	263	188	61	127	42
MHG	258	425	174	470	696	438	292	369	276	72	106	68
MHH	305	478	230	543	629	524	427	428	426	105	106	105
MHI	388	502	280	660	1053	601	590	704	573	142	142	141
MHJ	523	1091	373	803	1187	715	880	1340	804	197	198	197
평균	254			475			264			67		

다음으로 연산 시간에 대한 비교 결과가 <표 8>에 제시되었다. 연산 시간에 대한 해법별 비교에서는 평균적으로 GRASP해법이 다른 해법에 비하여 월등히 우수하였다. GRASP의 연산 시간이 우수한 것은 모집단을 유지하지 않고 하나의 개체만으로 해법을 진행하여 컴퓨터 연산의 부담이 작기 때문에 발생하는 현상으로 해석된다. 모집단을 유지하는 3가지 해법 간의 비교에서는 유전 해법, 모집단 관리 유전 해법, 인공면역시스템의 순서로 우수하였다. 유전 해법의 연산시간을 기준으로 다른 해법을 비교해보면 평균적으로 인공면역시스템은 187%로 연산 시간이 상당히 길게 나왔으며 모집단관리 유전 해법은 104%, GRASP은 26%의 수준이었다. 각 문제 유형별 연산 시간을 살펴보면 전체적으로 문제의 크기가 커지면서 연산 시간이 커지는 추세는 명백해 보인다. 네 가지 해법의 연산 시간을 문제의 크기인 n을 독립 변수로 두고 회귀 분석한 결과가 <표 9>에 제시되었다. 회귀 분석결과는 모든 해법이 문제의 크기에 2차 함수형태로 결정 계수 90%이상으로 분석되었다. 문제의 크기가 커짐에 따라 연산 시간은 제곱의 형태로 증가할 것으로 분석되었다.

연산시간과 목적함수 값을 동시에 고려한다면 GRASP 해법의 경우에는 목적함수 값이 지나치게 열등하여 비록 연산 시간이 가장 우수했지만 사용하기에는 적절하지 않은 해법으로 판단된다. 유전 해법은 소형 문제에서 해의 품질이 우수했지만 대형 문제에서는 해의 품질이 나빠지고 평균적으로도 모집단 관리 유전해법과 인공면역시스템보다 열등한 것으로 분석되었다. 인공면역시스템은 해의 품질에서 모집단 관리 유전해법보다 불리하고 연산 시간도 불리하게 분석되었다. 모집단 관리 유전해법이 해의 품질이 가장 우수했고 연산 시간에서는 유전 해법과 유사한 수준이었다.

<표 9> 해법별 연산 시간의 회귀 분석 결과
(n은 장비의 수)

해법	평균 연산 시간	결정계수
유전해법	$0.0517n^2 - 2.0164n + 165.48$	90.83%
모집단관리 유전해법	$0.1449n^2 - 7.185n + 101.37$	99.13%
인공면역시스템	$0.0649n^2 - 2.4626n + 360.89$	91.61%
GRASP	$0.0282n^2 - 1.133n + 20.742$	99.08%

6. 결론

본 연구의 목적은 천장형 설비 배치 문제를 위한 메타 휴리스틱 해법들을 개발하고 해법들 간의 우월성을 비교 실험하는 것이다.

천장형 설비 배치 문제를 위해서 경로 행렬 개체를 새롭게 제안하였고, 각 해법에 적용하기 위한 교환 교차, 교환 돌연변이를 도입하였다. 모집단의 상속을 위해서는 토너먼트 선별, 모집단관리, 복제 등을 사용하였다. 개발된 각 전략을 이용하여 유전해법, 모집단 관리 유전 해법, 인공면역시스템, GRASP해법의 알고리즘을 설계하고 실험용 프로그램을 구축하였다.

실험을 위하여 장비의 크기가 10개의 실험 문제를 작성하였고, 문제의 크기는 장비 수 기준으로 최대 100개, 연결 쌍 기준으로 최대 200개까지였다. 해법간의 비교 실험에서 GRASP해법은 연산시간이 우수했으나 해의 품질이 지나치게 열등하여 사용하기 부적절했다.

유전 해법은 소형 문제에서 해의 품질이 우수했지만 대형 문제에서는 모집단관리 유전해법과 인공면역시스템이 더 우수했다. 전체적인 해의 품질 면에서 모집단 관리 유전해법이 가장 우수했으며 특히 문제의 크기가 큰 경우에 모집단 관리 유전해법의 해가 우수하였다.

7. 참고 문헌

- [1] Agrawal, G.K., S.S. Heragu. "A Survey of Automated Material Handling Systems in 300-Mm Semiconductor Fabs." *IEEE transactions on semiconductor manufacturing*, 19 (1) (2006): 112-120.
- [2] Bäck, Thomas, *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*, Oxford University Press, (1996)
- [3] Boudia, M., C. Prins. "A Memetic Algorithm with Dynamic Population Management for an Integrated Production-Distribution Problem." *European journal of operational research*, 195 (3) (2009): 703-715.
- [4] Chhajer, D., B. Montreuil, T.J. Lowe. "Flow Network Design for Manufacturing Systems Layout." *European journal of operational research*, 57 (2) (1992): 145-161.
- [5] de Castro, L.N. "Fundamentals of Natural Computing: An Overview." *Physics of Life Reviews*, 4 (1) (2007): 1-36.
- [6] de Castro, L.N., F.J. von Zuben. "Artificial Immune System, Part 1, Basic Theory and Applications." *Technical Report, TR-DCA,01/99* (1999).

- [7] Festa, P., M. Resende. "Hybrid Grasp Heuristics." In Foundations of Computational Intelligence, edited by A. Abraham et al., (2009): 75-100
- [8] Gartland, K. "Automated Material Handling System (AMHS) Framework User Requirements Document: Version 1.0 ". Technol. Transfer # 99 073 793A-TR: International SEMATECH, (1999).
- [9] Johnson, D.S., J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan. "The Complexity of the Network Design Problem " Networks, 8 (1978): 279-285.
- [10] Sořrensen, K., M. Sevaux. "MaPm: Memetic Algorithms with Population Management." Computers & operations research, 33 (5) (2006): 1214-1225.
- [11] Ting, J.H., J.M.A. Tanchoco. "Optimal Bidirectional Spine Layout for Overhead Material Handling Systems." IEEE transactions on semiconductor manufacturing, 14 (1) (2001): 57-64.
- [12] Yang, B.H. "Introduction to a Novel Optimization Method : Artificial Immune Systems." IE Interfaces, 10 (3) (2007): 217-225.
- [13] Yang, B.H. "A Vehicle Routing Problem in the Vendor Managed Inventory System." Journal of the Korea Safety Management and Science, 10 (3) (2008): 217-225.
- [14] Yang, B.H. "A Clonal Selection Algorithm Using the Rolling Planning and an Extended Memory Cell for the Inventory Routing Problem." Korea Management Science Review, 26 (1) (2009): 171-182.
- [15] Yang, B.H. "Developing Meta Heuristics for the Minimum Latency Problem." Journal of the Korea Safety Management and Science, 11 (4) (2009): 213-220.
- [16] Yang, B.H., A. Badiru. "An Population Management Genetic Algorithm on Coordinated Scheduling Problem between Suppliers and Manufacture." Journal of the Korea Safety Management and Science, 11 (3) (2009): 131-138.

저 자 소 개

양 병 학



서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 경원대학교 산업정보시스템공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 물류관리, 공급사슬관리이다.

주소 : 경기도 성남시 수정구 경원대학교 산업공학과