

개선된 유전자 알고리즘을 이용한 최적 공간 배치 설계에 관한 연구

한성남*, 이규열**, 노명일***

A Study on the Optimal Facility Layout Design Using an Improved Genetic Algorithm

Han, S. N.*, Lee, K. Y.** and Roh, M. I.***

ABSTRACT

This study proposes an improved genetic algorithm (GA) to derive solutions for facility layout problems having inner walls and passages. The proposed algorithm models the layout of facilities on a four-segmented chromosome. Improved solutions are produced by employing genetic operations known as selection, crossover, inversion, mutation, and refinement of these genes for successive generations. All relationships between the facilities and passages are represented as an adjacency graph. The shortest path and distance between two facilities are calculated using Dijkstra's algorithm of graph theory. Comparative testing shows that the proposed algorithm performs better than other existing algorithm for the optimal facility layout design. Finally, the proposed algorithm is applied to ship compartment layout problems with the computational results compared to an actual ship compartment layout.

Key words : Facility layout problem, Ship compartment layout problem, Genetic algorithm, Passage, Inner structure wall, Dijkstra's algorithm

1. 서 론

최근 공간 배치 설계의 기초를 형성하는 수학적 모델의 개발 방법에 대한 이해의 증가와, 컴퓨터 공학의 발달에 따라 산업 공학, 건축 등 여러 분야에서 공간 배치 최적화와 관련된 공간 배치 문제(FLP; Facility Layout Problem)가 다수의 연구가들에 의해 심도 있게 연구되고 있다. 공간 배치 문제는 facility(공간, 장비 또는 선박의 격실에 해당)가 배치될 가용 면적(available area), facility의 수, facility간 재화(material)의 유동량(flow volume) 등이 주어졌을 때, 가용 면적 내에 facility들을 배치하여 facility간 재화의 운반비용의 합이 최소가 되는 facility들의 최적 배치를 찾는 것으로서, 현재 공장 배치, 공장 내의 장비 배치, 건물 내의 사무실 배치 등과 같은 다양한 분야에 응용

되고 있다^(1,2).

FLP는 크게 동등 면적 배치 문제(equal area layout problem)와 비동등 면적 배치 문제(unequal area layout problem)로 나뉠 수 있다. 동등 면적 배치 문제는 가용 면적 내의 미리 정해진 여러 위치에 facility들을 하나씩 배치하는 문제로서 일대일 할당 문제(one-to-one assignment problem)라고도 한다. 반면, 비동등 면적 배치 문제는 가용 면적 내의 미정의 위치에 facility들을 배치하는 문제로서 동등 면적 배치 문제에 비해 풀기가 더 어렵다. 비동등 면적 배치 문제는 facility들이 배치되는 가용 면적의 특성에 따라 다시 격자 기반 공간 배치 문제(grid-based facility layout problem)와 연속 공간 배치 문제(continual facility layout problem)로 나뉠 수 있다. 전자의 경우 facility들이 일정한 크기의 격자로 나뉘어진 가용 면적 내에 배치되며, 후자의 경우는 빈 가용 면적 내에 배치된다. 격자 기반 공간 배치 문제를 풀기 위한 기존의 알고리즘으로는 CRAFT⁽³⁾, ALDEP⁽⁴⁾, CORELAP⁽⁵⁾, FRAT⁽⁶⁾, COFAD⁽⁷⁾, FLAC⁽⁸⁾, DISCON⁽⁹⁾, SHAPE⁽¹⁰⁾, MULTIPLE⁽¹¹⁾, SABLE⁽¹²⁾ 등이 있으며, 특히 Islier⁽¹³⁾

*해군본부 조함단

**중신회원, 서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템 공학 연구소

***학생회원, 서울대학교 조선해양공학과

- 논문투고일: 2001. 3. 7

- 심사완료일: 2001. 5. 7

는 이 문제를 유전자 알고리즘(GA; Genetic Algorithm)을 이용하여 계산한다. 그러나 이들 알고리즘의 가장 큰 단점은 facility들의 최종 형상이 직사각형 형태가 아닌 불규칙적인 형상을 가질 수 있다는 것이다. 이는 격자 기반 공간 배치 문제에서 격자로 나뉘어진 가용 면적 내에 배치되는 facility들의 최종 형상을 제어하기 어렵기 때문에 발생한다. 이러한 단점을 해결하기 위해 Lee와 Kim^[14]은 격자 기반 공간 배치 문제에서 facility들의 비정규 형상(irregular shape)을 정규 형상(regular shape)으로 변환하는 방법을 제안한 바 있다. 연속 공간 배치 문제를 풀기 위한 알고리즘으로는 가용 면적의 분할에 관한 정보를 나타내기 위해 slicing tree structure(STS) 개념을 도입한 Tam^[15,16]의 알고리즘 등이 있다. 비동등 면적 배치 문제를 풀기 위한 또다른 접근 방법으로는 그래프 이론을 이용한 Goetschalcks^[17], Kim과 Kim^[18]의 알고리즘들이 있다.

앞에서 언급한 공간 배치 알고리즘들은 가용 면적의 경계 형상을 직사각형 형태로 고정시켰으며, 가용 공간 내의 구조 내벽(inner structure wall)을 고려하지 않았고, 또한 facility간의 통로(access passage)의 구조와 형상을 전혀 고려하지 않았다. 그러나 합정의 격실 배치 문제(compartment layout problem)와 같이 주어진 가용 면적의 경계 형상이 곡선이고, 가용 면적을 몇 개의 하부 면적(sub-area)으로 나누는 구조 내벽이 존재하며, facility간의 접근 통로가 주어진 공간 배치 문제에 기존의 알고리즘들을 그대로 적용하여 풀기는 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 구조 내벽과 통로를 갖는 공간 배치 문제를 해결하기 위해 이를 수학적으로 정식화하였고, 유전자 알고리즘을 기반으로 한 최적 공간 배치 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 또한, 제안된 알고리즘의 효율성을 평가하기 위해 기존의 공간 배치 알고리즘과 비교 테스트를 수행하였으며, 마지막으로 합정의 격실 배치 문제에 제안된 알고리즘을 적용하였다.

2. 최적 공간 배치 문제

2.1 구조 내벽과 통로를 가진 공간 배치 문제

본 연구에서 해결하고자 하는 문제는 가용 면적 내에 facility들을 배치하여 구조 내벽, 접근 통로, facility 요구 면적 등과 관련되는 제약 조건들을 모두 만족하고 facility들 간의 재화의 전체 운반비용을 최소화하는 Fig. 1과 같은 facility들의 최적 배치를 찾는 것이다. 여기서, 최적 배치를 찾는다는 것은 facility들의 배치 순서와 면적 그리고 통로의 위치를 결정하는 것을 의

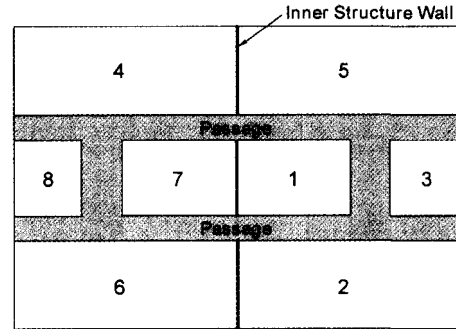


Fig. 1. An example of the best layout of the facilities (1 ~ 8) having the inner structure walls and passages.

미한다. 여기서는 간단한 설명을 위해 facility가 배치될 가용 면적의 경계 형상은 직사각형이라 가정하며, 설계자로부터 주어지는 입력 정보는 다음과 같다.

- 가용 면적
- 구조 내벽의 수와 설치 위치
- 수평 · 수직 방향 통로의 수와 폭
- 각 facility의 최소 · 최대 요구 면적
- 각 facility의 최소 · 최대 요구 종횡비(aspect ratio)
- facility 간 재화의 유동량

2.2 최적 공간 배치 문제의 정식화

2.1절에서 설명된 문제를 수학적으로 정식화하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M f_{ij} \times d_{ij} \quad (1)$$

Subject to

$$g_1 = \alpha_k^{\min} - \alpha_k \leq 0 \quad (2)$$

$$g_2 = \alpha_k - \alpha_k^{\max} \leq 0 \quad (3)$$

$$g_3 = a_k^{\min} - a_k \leq 0 \quad (4)$$

$$g_4 = a_k - a_k^{\max} \leq 0 \quad (5)$$

$$g_5 = \sum_{k=1}^M a_k - A_{available} \leq 0 \quad (6)$$

$$g_6 = x_j^t - x_s^{t,w} \leq 0 \quad (7)$$

$$g_7 = x_s^{t,w} - x_j^t \leq 0 \quad (8)$$

$i, j, k = 1, \dots, M, s = 1, \dots, P$

여기서,

f_{ij} : facility i 와 j 사이의 재화의 유동량

d_{ij} : facility 중심 사이의 거리

- M : facility의 수
- α_k : facility k 의 종횡비
- $\alpha_k^{\min}, \alpha_k^{\max}$: facility k 에 대한 종·횡비의 하한과 상한 값
- a_k : facility k 의 할당 면적
- a_k^{\min}, a_k^{\max} : facility k 에 대한 요구 면적의 하한과 상한 값
- $A_{available}$: 주어진 가용 면적
- P : 구조 내벽의 수
- $x_i^{l,s,w}$: 구조 내벽 s 의 위치
- x_i^r, x_j^l : facility i 의 오른쪽 경계의 x 좌표(위치)와 facility j 의 왼쪽 경계의 x 좌표(위치)

제약 조건에서 식 (2)와 (3)은 배치 결과로 얻어진 facility k 의 종횡비가 각각 이의 상·하한값 사이에 존재해야 하고, 식 (4)와 (5)는 facility k 에 할당된 면적이 각각 이의 상·하한값 사이에 존재해야 함을 의미하며, 식 (6)은 facility들의 면적의 합이 주어진 가용 면적보다 작거나 같아야 한다는 것을 각각 의미한다. 또한, 식 (7)과 (8)은 구조 내벽과 facility 사이에 간섭(interference)이 없어야 한다는 것을 나타낸다. 즉, 하나의 facility가 구조 내벽에 의해 두 개의 sub-facility로 분할되는 것을 막기 위한 제약 조건이다.

유전자 알고리즘은 근본적으로 제약 조건이 없는 비제약 최적화 문제를 해결하기 위해 사용되므로 식 (1)~(8)과 같이 표현되는 제약 조건이 있는 최적화 문제를 penalty function 방법을 이용하여 제약조건이 없는 비제약 최적화 문제로 변환하면 식 (9)와 같다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M f_{ij} + d_{ij} \times \sum_{m=1}^7 R_m \max(g_m, 0) \quad (9)$$

여기서, R_m 는 penalty coefficients이다.

3. 제안된 최적 공간 배치 알고리즘

3.1 제안된 최적 공간 배치 알고리즘의 개요

본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘은 많은 분야에서 활발히 이용되고 있는 유전자 알고리즘을 기반으로 한다. 유전자 알고리즘은 다윈이 주장한 자연 진화의 법칙인 적자 생존(survival of fittest)과 자연 도태(natural selection)의 원리를 기반으로 하여 정립된 최적화 알고리즘이다. 유전자 알고리즘에 대한 자세한 내용은 많은 참고 문헌 등에 나타나 있으므로 여기서는 생략하기로 한다^{19,20)}. 유전자 알고리즘을 기반으로 하여 본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘의

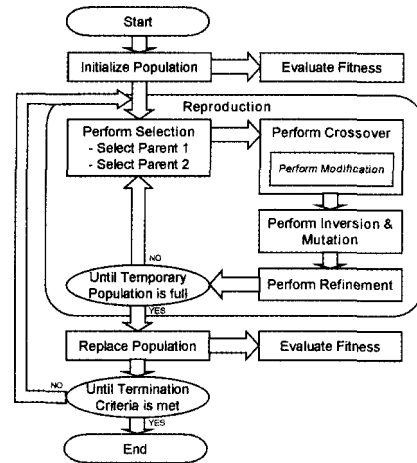


Fig. 2. Scheme of the proposed algorithm for the facility layout problem having inner structure walls and passages.

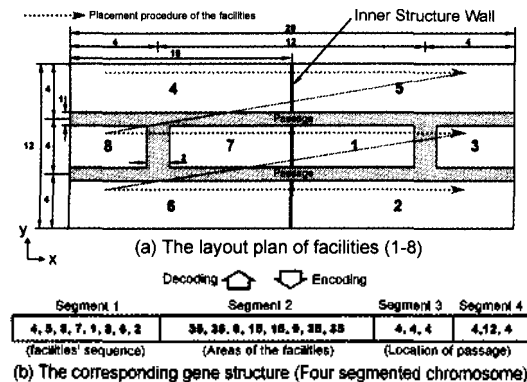


Fig. 3. An example of the facilities layout and the corresponding representation of the four-segmented chromosome.

개요가 Fig. 2에 나타나 있다.

3.2 Facility 배치의 표현 방법

유전자 알고리즘을 이용하여 최적 공간 배치를 수행하기 위해서는 facility들의 배치가 염색체로서 표현되어야 하고(encoding process), 반대로 알고리즘 수행 과정에서 얻어진 염색체가 facility들의 배치로 표현되어야 한다(decoding process). 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 facility들의 배치를, 통로를 고려한 4개의 segment를 갖는 염색체(chromosome)로 표현하는 방법을 제안하였다. Fig. 3(b)에서 첫 번째 segment는 가용 면적 내의 facility들의 배치 순서, 두 번째 segment는 첫 번째 segment에 상응하는 facility들의 할당 면적,

그리고 세 번째 segment와 네 번째 segment는 각각 수평·수직 방향의 통로의 위치를 나타낸다.

3.3 Facility간 거리 계산 방법

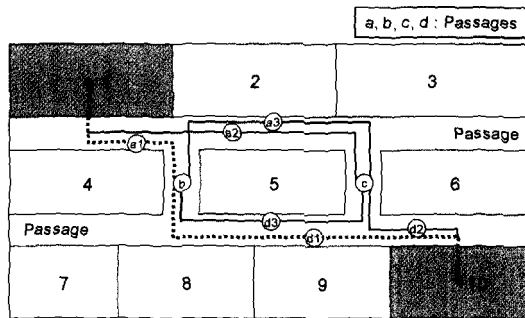
기존의 공간 배치 알고리즘에서는 식 (9)에 포함되어 있는 두 facility간의 거리(d_{ij})를 계산하기 위해 rectilinear distance 방법을 이용하였다. 이 방법에서는 두 facility간의 거리가 다음 식과 같이 두 facility간의 수평·수직 거리의 합으로 계산된다.

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (10)$$

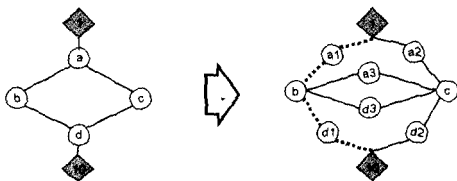
그러나 통로에 관한 정보가 주어진 공간 배치 문제에서 재화의 이동은 반드시 통로를 경유하여 이동되기 때문에 식 (10)과 같은 기존의 거리 계산 방법을 이용할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 그래프 이론을 이용하여 임의의 두 facility간의 최단 거리를 계산하는 새로운 거리 계산 방법을 제안하였다. 즉, 두 facility와 통로간의 인접 관계를 그래프로 표현하고, 그래프 이론의 Dijkstra's algorithm^[21]를 이용하여 두 facility간의 최단 거리를 구하였다. Fig. 4에는 facility 1과 10간의 모든 경로와 이들 사이의 최단 거리를 구하기 위해 facility 1, 10과 통로간의 인접 관계를 표현한 인접 그래프(adjacency graph)가 함께 나타나 있다.

3.4 개선된 유전자 연산

본 연구에서 제안된 공간 배치 알고리즘에서 네 가



(a) All paths between the compartment 1 and the compartment 10



(b) Original adjacency graph (c) Modified adjacency graph
Fig. 4. All paths between the facilities 1 and 10, and the adjacency graph to calculate the distance.

지 유전자 연산 즉, 선택(selection), 교배(crossover), 역위(inversion) 및 돌연변이(mutation) 연산이 새로운 개체(individual, 자손; child)를 생성하기 위해 이용되며, 염색체를 facility들의 배치로 변환하는 과정에서 발생하는 빈 공간(void space)을 처리하기 위해 수정(refinement) 연산이 도입된다.

3.4.1 선택(selection) 연산

선택 연산은 이후의 유전자 연산 단계를 위해 모집단(population)으로부터 두 개의 부모 개체를 선택하는 과정으로 제안된 알고리즘에서는 비례 선택(proportionate selection, roulette wheel selection) 방법이 사용된다. 비례 선택 방법에서 각 개체가 부모 개체로서 선택될 확률 $p_{selection}(i)$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$p_{selection}(i) = \frac{F_i(i)}{\sum_i F_i(i)} \quad (11)$$

여기서, $F_i(i)$ 는 i 번째 개체의 적합성값(fitness value)을 나타낸다. 위 식으로부터 각 개체의 선택 확률은 적합성값의 함수임을 알 수 있으며, 적합성 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_i = -F_i' \text{ or } F_i = \frac{1}{F_i'} \text{ (if } F_i' > 0) \quad (12)$$

본 연구에서의 적합성 함수는 식 (12)의 두 번째 방법이 이용되었다. 이러한 선택 방법에 의해 적합성값이 높은 개체일수록 부모로서 선택되어 다음의 유전자 연산에 이용될 확률이 높아지게 된다.

3.4.2 교배(crossover) 연산

교배 연산은 선택 연산을 통해 선택된 두 개의 부모 개체로부터 새로운 자손 개체를 생성하는 과정으로서 본 연구에서는 modified crossover와 one-point crossover가 이용된다. 그리고 이들 교배 연산으로부터 얻어진 자손 개체에 대해 수정 연산 역시 도입된다.

(1) Modified crossover

Modified crossover는 두 부모 중 적합성값이 높은 개체가 그렇지 않은 개체보다 더 많은 유전 인자(gene)를 자손에게 상속해야한다는 가정을 기반으로 하는 유전자 연산으로서 부모 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment에 일체히 적용된다.

첫 번째 자손 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment를 생성하기 위해, 먼저 첫 번째 부모 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment에서 $s1$ 개의 위치가 임의로 선택된다. 여기서 $s1$ 의 값은 첫 번째 부모 개체의 인자들 중에서 두 번째 부모 개체의 것으로 대체될 인자들의 수

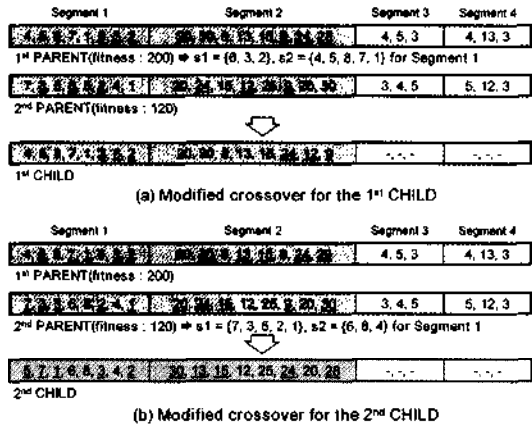


Fig. 5. An example of the modified crossover operation applied to the first and second segments of the parents.

를 나타낸다. s_1 의 값은 두 부모개체의 적합성값에 따라 다음과 같은 식에 의해 결정된다.

$$s_1 = \frac{\{Ft(p1) + Ft(p2)\} - Ft(p1)}{Ft(p1) + Ft(p2)} \times n_{(discard\ decimal)}$$

$$s_2 = n - s_1 \quad (13)$$

여기서, $Ft(p1)$ 과 $Ft(p2)$ 는 각각 첫 번째 및 두 번째 부모 개체의 적합성값을 나타내고, s_2 는 첫 번째 부모 개체에서 첫 번째 자손 개체로 그대로 전달되는 인자들의 수를 나타낸다. 그리고 n 은 첫 번째 및 두 번째 segment에서의 인자들의 수를 나타낸다.

다음 단계에서는 첫 번째 부모 개체의 s_2 위치에 있는 인자들이 첫 번째 자손 개체의 해당 위치로 그대로 전달된다. 마지막 단계에서는 첫 번째 부모 개체의 s_1 위치에 있는 인자들이 두 번째 부모 개체에서의 그 인자들의 순서에 따라 정렬된 뒤 첫 번째 자손 개체의 해당 위치로 전달된다. 이와 유사한 과정이 두 번째 부모 개체에 대해 두 번째 자손 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment를 생성하기 위해 수행된다. Fig. 5에는 두 자손 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment를 생성하기 위해 두 부모 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment에 적용된 modified crossover의 예가 나타나 있다.

(2) One-point crossover

One-point crossover는 세 번째 및 네 번째 segment에 적용되며, 무작위로 선택된 split line을 기준으로 그 이후의 인자들을 두 부모 개체들 간에 상호 교환하여 새로운 자손 개체를 생성하게 된다. Fig. 6에는 두 부

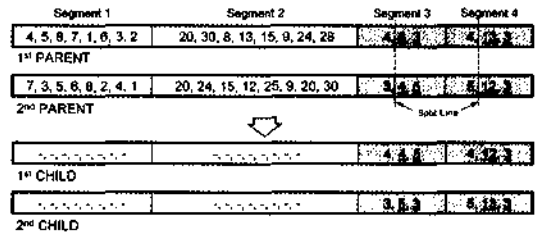


Fig. 6. An example of the one-point crossover operation applied to the third and fourth segments of the parents.

모 개체의 세 번째 및 네 번째 segment에 적용된 one-point crossover 연산이 나타나 있다.

(3) 수정(modification) 연산

3.2절에서 언급하였듯이 각 개체의 세 번째 및 네 번째 segment는 각각 수평·수직 통로의 위치를 나타낸다. 그리고 세 번째 및 네 번째 segment 내의 인자들의 합은 각각 가용 면적의 높이와 폭을 나타낸다. 수정 연산은 앞의 교배 연산으로부터 생성된 자손 개체에 대해 세 번째 및 네 번째 segment에서의 정합성(integrity)을 만족시키기 위해 적용된다. 여기서 정합성이란 자손 개체의 세 번째 및 네 번째 segment 내의 인자들의 합이 각각 가용 면적의 높이(Fig. 3에서 12) 및 폭(Fig. 3에서 20)과 일치해야함을 나타낸다. 수정 연산에서는 자손 개체의 세 번째 및 네 번째 segment 내의 마지막 인자의 값을 조정함으로써 이러한 정합성을 만족하도록 한다. Fig. 7은 수정 연산을 통해 세 번째 및 네 번째 segment의 마지막 인자가 조정되는 것을 나타낸다.

3.4.3 역위(inversion) 연산

역위 연산은 교배 연산을 통해 얻어진 두 자손 개체 중에서 첫 번째 자손 개체의 첫 번째 및 두 번째 segment에 적용되는 연산으로, 첫 번째 및 두 번째 segment 내의 인자들 중에서 각각 두 개의 인자를 임의로 선택하여 상호 교환함으로써 새로운 자손 개체를 생성하게 된다. 제안된 최적 공간 배치 알고리즘에 이

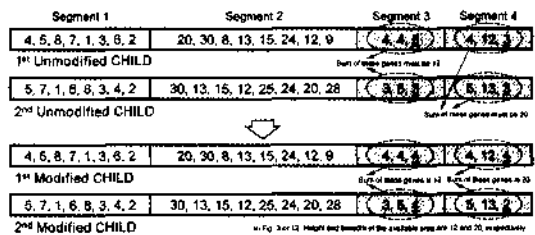


Fig. 7. An example of the modification operation applied to the third and fourth segments of the children.

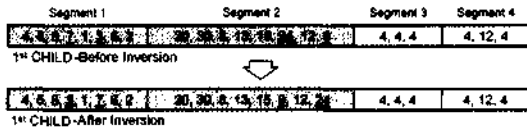


Fig. 8. An example of the inversion operation applied to the first and second segments of the first child.

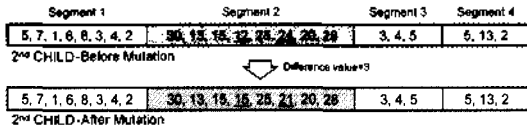


Fig. 9. An example of the mutation operation applied to the second segment of the second child.

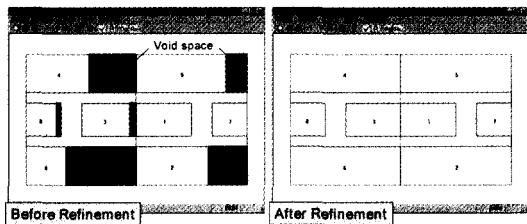


Fig. 10. Facility layouts before and after the refinement operation for the first child.

용된 역위 연산이 Fig. 8에 나타나 있다.

3.4.4 돌연변이(mutation) 연산

돌연변이 연산은 교배를 통해 얻어진 두 자손 개체들 중에서 두 번째 자손 개체의 두 번째 segment에 적용되는 연산으로, 두 번째 segment 내의 두 개의 인자와 차이값(difference value)을 임의로 결정하여 첫 번째 인자에는 차이값만큼 더해주고 두 번째 인자에는 차이값만큼 감해줌으로써 새로운 자손 개체를 생성하게 된다. 제안된 최적 공간 배치 알고리즘에서 이용된 돌연변이 연산이 Fig. 9에 나타나 있다.

3.4.5 순정(refinement) 연산

위와 같은 연산들을 통해 얻어진 새로운 개체(염색체로 표현)를 3.2절에 설명된 facility들의 배치 방법으로 표현하게 되면, Fig. 10에 나타난 것과 같이 다수의 빈 공간이 생기게 된다. 이는 직사각형의 가용 면적 내에 염색체의 첫 번째 segment에 표현된 facility들의 배치 순서에 따라 facility들을 배치할 경우 구조 내벽과 이들간에 간섭이 일어나지 않도록 하는 과정(식 (7), (8)과 관련)에서 발생된 것이다. 따라서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘에서는 빈 공간을 제거하고 주어진 가용 면적을 효율적으로 활용하기 위해 순정 연산을 도입하였다. Fig. 10에는 순정 연산을 수행하기 전과

수행한 후 facility들의 배치 형상을 나타내고 있다.

4. 제안된 최적 공간 배치 알고리즘과 기존 알고리즘의 효율성 비교

본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘의 효율성, 특히 개선된 유전자 연산의 효율성을 평가하기 위하여 기존의 최적 공간 배치 알고리즘들 중에서 그 효율성이 입증된 Islier의 알고리즘⁽¹³⁾과 비교를 수행하였다. 제안된 알고리즘의 보다 정확한 효율성 비교를 위해 목적 함수, 염색체의 구조, facility 배치의 표현 방법을 Islier의 그것과 동일하게 설정한 후 비교 테스트를 수행하였다. Islier의 알고리즘에서 facility들의 배치 형상은 Fig. 11(c)에 나타난 것과 같이 3개의 segment를 갖는 염색체로 표현된다. 그리고 facility들은 Fig. 11(b)에 나타난 일정한 크기의 격자로 나뉘어진 가용 면적 내에 Fig. 11(a)와 같은 방식으로 배치된다. 따라서 이 경우 facility의 최종 형상은 직사각형뿐만 아니라 임의의 다각형 형상을 가질 수 있다. Fig. 11은 Islier의 알고리즘에서의 facility 배치의 표현 방법을 나타낸다.

테스트는 최대 세대(generation) 수 500, 모집단 수 500에 대해 facility의 수를 각각 8, 12, 16, 20의 네 가지 경우로 변화시켜 수행하였으며, 각 경우별로 10 번을 수행하여 목적 함수값의 평균값과 최적 목적 함수값, 그리고 계산 시간을 각각 비교하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타난 바와 같이 제안된 알고리즘이 Islier의 알고리즘과 비교하여 그 효율성이 보다 우수함을 알 수 있다. Fig. 12는 facility 수가 20인 경우에 대해 Islier의 알고리즘과 제안된 알고리즘에 의해

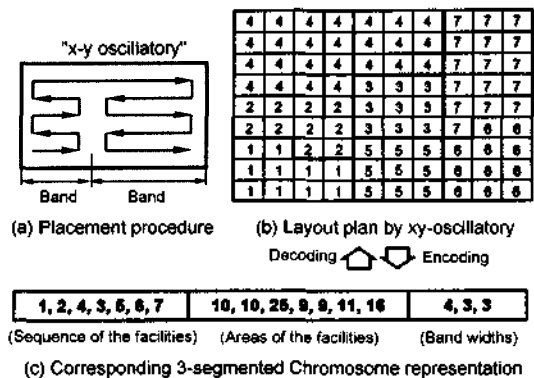


Fig. 11. Example of the layout of the facilities and the corresponding three-segmented chromosome of Islier's algorithm.

Table 1. Comparison of computational results of the proposed and Islier's algorithms for various facility layout problem

Case	Islier's Algorithm (A)		Proposed Algorithm (B)		Computation Time (A/B)
	Best OFV	Mean OFV	Best OFV	Mean OFV	
8 Facilities	27.345	27.417	27.102	27.225	1.52:1
12 Facilities	28.276	28.571	28.064	28.563	1.49:1
16 Facilities	31.190	31.692	31.176	31.424	1.43:1
20 Facilities	37.698	37.949	37.198	37.437	1.38:1

*OFV : objective function value.

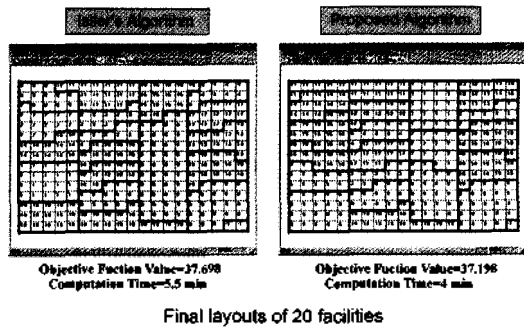


Fig. 12. Final layouts obtained from the proposed and Islier's algorithms for the case of 20 facilities.

각각 얻어진 최종 facility들의 배치 형상을 나타내고 있다.

5. 제안된 알고리즘의 적용 예

본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘을 보다 실제적인 함정(FF-21 multi-mission frigate⁽²²⁾)의 격실 배치 문제(compartment layout problem)에 적용해 보았다. 즉, 제안된 알고리즘을 함정의 선미부(aft body, 가용 면적의 경계 형상이 직사각형) 및 선수부(fore body, 가용 면적의 경계 형상이 곡선)의 격실 배치에 각각 적용하여, 얻어진 결과를 실제 함정의 격실 배치와 비교하였다. 공간 배치 문제는 함정의 경우 격실 배치 문제로 생각할 수 있으며, 이후부터는 facility를 격실(compartment), 구조 내벽을 수밀 횡격벽(watertight transverse bulkhead)으로 각각 표기하기로 한다. Fig. 13은 FF-21의 두 번째 갑판(second deck) 상의 격실 배치와 본 연구에서 제안된 알고리즘을 적용할 선미부 및 선수부의 영역을 함께 나타내고 있다.

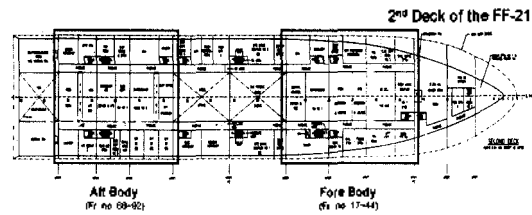


Fig. 13. Compartment layout plan of the second deck of the FF-21.

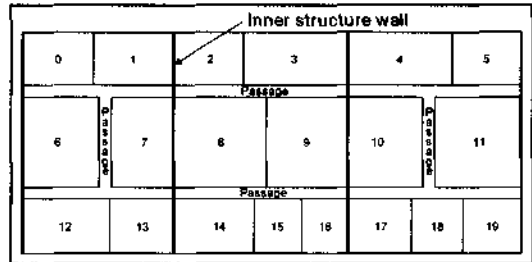


Fig. 14. Compartment layout plan of the second deck of the FF-21(frame no. 68~92).

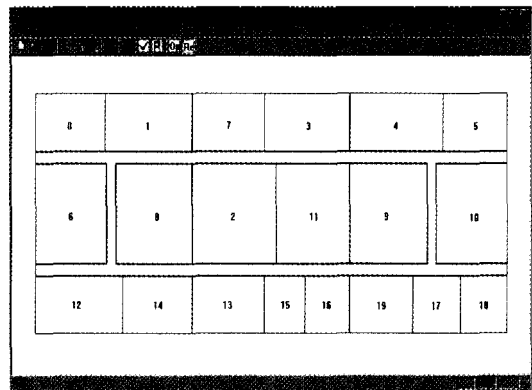


Fig. 15. Best compartment layout plan using the proposed algorithm for the second deck of the FF-21(frame no. 68~92).

5.1 함정 선미부의 격실 배치 문제

제안된 알고리즘의 적용 대상 함정인 FF-21의 선미부(second deck, frame no. 68~92)의 실제 격실 배치 모습은 Fig. 14와 같다. Fig. 14에서 알 수 있듯이 FF-21의 선미부는 직사각형 형태의 경계 형상을 가지며, 20개의 격실, 2개의 구조 내벽, 각각 2개의 수직·수평 통로를 가지고 있다.

본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행한 결과, 얻어진 최적 배치 결과는 Fig. 15와 같다. 제안된 알고리즘을 이용하여 얻어

진 최적 배치 결과가 Fig. 14에 나타나 있는 실제 함정의 격실 배치 모습과 다소 상이하게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 격실들의 배치에 영향을 미치는 격실간의 재화의 유동량 등이 정량화된 자료로 존재하지 않기 때문에, 본 연구에서는 그 정보를 추정한 후 제안된 최적화 알고리즘의 입력 정보로 이용했기 때문이다. 실제 함정의 격실 배치에서도 설계자의 경험에 따라 개념적으로 격실 배치가 이루어질 뿐 격실간의 재화의 유동량 등이 정량적으로 나타나 있지는 않다. 만일, 격실간의 재화의 유동량 등의 정보가 정량화될 수 있다면, 본 연구에서 제안된 최적 공간 배치 알고리즘을 통로와 구조 내벽이 있는 실제 함정의 격실 배치에 적용하여 만족할만한 결과를 얻을 수 있을 것이다. Fig. 16에는 세대 수 변화에 따른 목적 함수값의 수렴 과정이 나타나 있다.

5.2 함정 선수부의 격실 배치 문제

제안된 알고리즘의 적용 대상 함정인 FF-21의 선수부(second deck, frame no. 17~44)의 실제 격실 배치 모습은 Fig. 17과 같다. Fig. 17에서 알 수 있듯이 FF-21의 선수부는 곡선 형태의 경계 형상을 가지며, 20개의 격실, 2개의 구조 내벽, 1개의 수직 통로, 2개의 수평 통로를 가지고 있다.

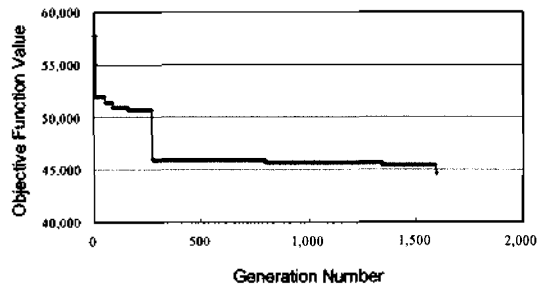


Fig. 16. Convergence history of the objective function value for maximum generation number 2,000.

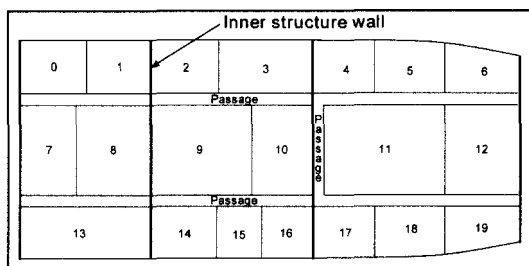


Fig. 17. Compartment layout plan of the second deck of the FF-21(frame no. 17~44).

본 연구에서 제안된 최적 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행한 결과 얻어진 최적 배치 결과는 Fig. 18과 같다. 5.1절의 경우에서의와 마찬가지로 제안된 알고리즘을 이용하여 얻어진 최적 배치 결과가 Fig. 17에 나타나 있는 실제 함정의 격실 배치 모습과 다소 상이하게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 5.1절에서 언급한 것과 동일하다. Fig. 19에는 세대 수 변화에 따른 목적 함수값의 수렴 과정이 나타나 있다.

5.3 선형 표현과 격실의 면적/위치 계산

본 연구에서 FF-21의 선형은 텍스트 파일 형태의 오프셋(offset) 데이터를 이용하여 NURBS(Non Uniform Rational B-Spline) 곡선으로서 표현되었다. 각 격실이 3.2절에 설명된 방법에 따라 배치될 때 격실의 오른쪽 경계의 x 좌표(x')가 격실의 왼쪽 경계의 x 좌표(x)와 할당 면적(a)을 이용하여 결정된다. 이를 위해 격실의 오른쪽 경계의 x 좌표(x')에 대한 면적 곡선이 먼저 생성된 후, 임의의 할당 면적(a)을 갖는 격실의 오른쪽

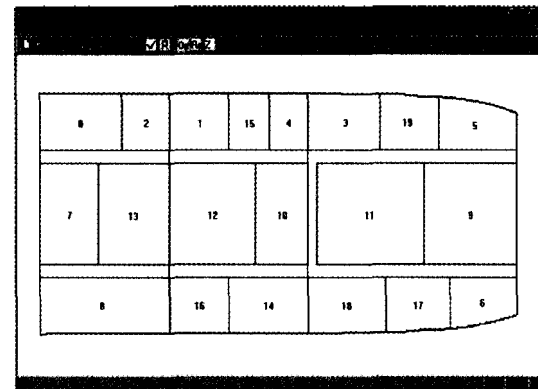


Fig. 18. Best compartment layout plan using the proposed algorithm for the second deck of the FF-21(frame no. 17~44).

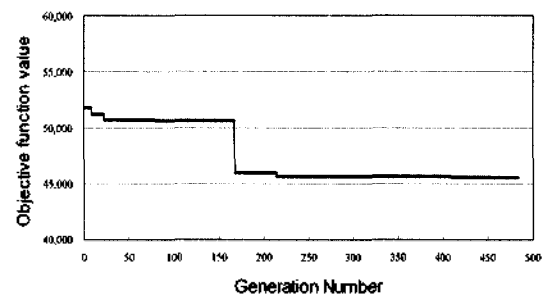


Fig. 19. Convergence history of the objective function value for maximum generation number 500.

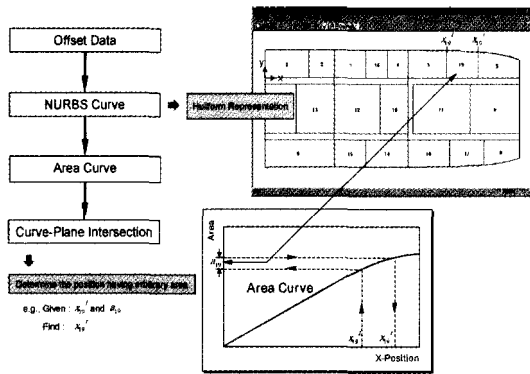


Fig. 20. Scheme of the representation of the hull form and calculation of the right boundary x coordinate (x^r) for the compartment with arbitrary area.

쪽 경계의 x 좌표(x^r)가 곡선-평면 교차(curve-plane intersection) 계산을 통해 결정된다. Fig. 20은 No. 19 격실의 왼쪽 경계의 x 좌표(x_{19}^l)와 할당 면적(A_{19})이 주어졌을 때, No. 19 격실의 오른쪽 경계의 x 좌표(x_{19}^r)를 결정하는 과정을 나타내고 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 구조 내벽과 통로가 존재하는 공간 배치 문제를 풀기 위해 이를 수학적으로 정식화하였고, 유전자 알고리즘을 기반으로 한 최적 공간 배치 알고리즘을 제안하고 구현하였다. Facility의 배치를 표현하기 위해 4개의 segment를 갖는 염색체를 제안하였으며, 그래프 이론의 Dijkstra's algorithm을 이용하여 두 facility간의 최단 거리를 구하였다. 제안된 최적 공간 배치 알고리즘의 효율성을 평가하기 위해 기존의 알고리즘과 비교 테스트를 수행하였으며 그 결과 기존 알고리즘에 비해 효율성이 우수함을 알 수 있었다. 마지막으로 합정의 구획 배치 문제에 제안된 알고리즘을 적용함으로써 그 응용 가능성을 확인하였다.

본 연구에서는 제안된 알고리즘을 합정의 선수부 및 선미부의 일부분에 한해 적용하였으나, 향후에는 단일 갑판 전체에 대한 격실 배치와 나아가서 다중 갑판(multi-deck) 격실 배치 문제에 적용할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 한국 과학 재단의 특정 기초 연구 과제 "웹 기반 다분야 강건 선박설계"(과제 번호: 99-2212)

연구 결과의 일부임을 밝혀둔다. 또한 서울대학교 해양 시스템 공학 연구소의 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kado, K., *An Investigation of Genetic Algorithms for Facility Layout Problems*, MSc Thesis, University of Edinburgh, 1995.
2. Liggett, R. S., "Automated Facilities Layout : Past, Present and Future," *Automation in Construction*, Vol. 9, pp. 197-215, 2000.
3. Armour, G. C. and Buffa, E. S., "A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Location of Facilities," *International Journal of Management Science*, Vol. 9, No. 1, pp. 294-309, 1963.
4. Seehof, J. M. and Evans, W. O., "Automated Layout Design Program," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18, pp. 690-695, 1967.
5. Lee, R. and Moore, J. M., "CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 195-200, 1967.
6. Khalil, T. M., "Facilities Relative Allocation Technique (FRAT)," *International Journal of Production Research*, Vol. 11, No. 1, pp. 183-194, 1973.
7. Tompkins, J. A. and Reed, R. J., "An Applied Model for the Facilities Design Problem," *International Journal of Production Research*, Vol. 14, No. 5, pp. 583-595, 1976.
8. Scriabin, M. and Vergin, R. C., "A Cluster Analytic Approach to Facility Layout," *International Journal of Management Science*, Vol. 31, No. 1, pp. 33-49, 1985.
9. Drezner, Z., "A Heuristic Procedure for the Layout of a Large Number of Facilities," *International Journal of Management Science*, Vol. 33, No. 7, pp. 907-915, 1987.
10. Hassan, M. M. D., Hogg, G. L. and Smith, D. R., "SHAPE: A Construction Algorithm for Area Placement Evaluation," *International Journal of Production Research*, Vol. 24, No. 5, pp. 1283-1295, 1986.
11. Bozer, Y. A., Meller, R. D. and Erlebacher, S. J., "An Improvement-Type Layout Algorithm for Single and Multiple-Floor Facilities," *International Journal of Management Science*, Vol. 40, No. 7, pp. 918-932, 1994.
12. Meller, R. D. and Bozer, Y. A., "A New Simulated Annealing Algorithm for the Facility Layout Problem," *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 6, pp. 1675-1692, 1996.
13. Islier, A. A., "A Genetic Algorithm Approach for Multiple Criteria Facility Design," *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 6, pp. 1549-1569, 1998.

14. Lee, G. C. and Kim, Y. D., "Algorithms for Adjusting Shapes of Departments in Block Layouts on the Grid-Based Plane," *International Journal of Management Science*, Vol. 28, No. 1, pp. 111-122, 2000.

15. Tam, K. Y., "A Simulated Annealing Algorithm for Allocating Space to Manufacturing Cells," *International Journal of Production Research*, Vol. 30, No. 1, pp. 63-87, 1992.

16. Tam, K. Y., "Genetic Algorithms, Function Optimization and Facility Layout Design," *European Journal of Operational Research*, Vol. 63, No. 2, pp. 322-346, 1992.

17. Goetschalckx, M., "An Interactive Layout Heuristic Based on Hexagonal Adjacency Graphs," *European Journal of Operational Research*, Vol. 63, pp. 304-321, 1992.

18. Kim, J. Y. and Kim, Y. D., "Graph Theoretic Heuristics for Unequal-Sized Facility Layout Problems," *International Journal of Management Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 391-401, 1995.

19. Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Reading, MA, Addison Wesley, 1989.

20. Davis, L. (Eds.), *Handbook of Genetic Algorithms*,

New York, Van Nostrand-Reinhold, 1991.

21. McHugh, J. A., *Algorithm Graph Theory*, New Jersey, Prentice-Hall Inc., pp. 90-96, 1990.

22. Afanasieff, L. and Mabry, J. P., "The Design of the FF-21 Multi-Mission Frigate," *Naval Engineers Journal*, Vol. 106, No. 3, pp. 150-162, 1994.

이 규 열



1971년 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사
 1975년 독일 하노버 공과대학 조선공학 석사 (Dipl.-Ing.)
 1982년 독일 하노버 공과대학 조선공학 박사 (Dr.-Ing.)
 1975년~1983년 독일 하노버 공과대학 선박 설계 및 이론연구소, 주정부 연구원
 1983년~1994년 한국기계연구원 선박해양공학연구센터, 선박설계, 생산자동화 연구사업(CSDP)담당
 1994년~2000년 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 부교수
 2000년~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수
 관심분야: 최적설계, 형상모델링, CALS

한 성 남



1991년 해군사관학교 조선공학 학사
 1995년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 2001년 서울대학교 조선해양공학과 석사
 2001년~현재 해군 조함단 소령
 관심분야: 최적 설계, 선박 설계

노 명 일



1998년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 2000년 서울대학교 조선해양공학과 석사
 2000년~현재 서울대학교 조선해양공학과 박사과정
 관심분야: 최적 설계, 선박 설계