유전자 알고리듬을 이용한 선박용 파이프 경로 최적화

Ship Pipe Layout Optimization using Genetic Algorithm

박철우 [1], 천호정 [2,✉]
Cheol Woo Park[1] and Ho Jeong Cheon[2,✉]

1 두산엔진(주) (Doosan Engine Co., Ltd.)
2 서울대학교 해양시스템공학연구소 (Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National Univ.)
✉ Corresponding author: maxcae@gmail.com, Tel: 02-880-7338

Manuscript received: 2011.4.27 / Revised: 2011.11.29 / Accepted: 2011.12.8

This study aims to discover the optimal pipe layout for a ship, which generally needs a lot of time, efforts and experiences. Genetic algorithm was utilized to search for the optimum. Here the optimum stands for the minimum pipe length between two given points. Genetic algorithm is applied to planar pipe layout problems to confirm plausible and efficiency. Sub-programs are written to find optimal layout for the problems. Obstacles are laid in between the starting point and the terminal point. Pipe is supposed to bypass those obstacles. Optimal layout between the specified two points can be found using the genetic algorithm. Each route was searched for three case models in two-dimensional plane. In consequence of this, it discovered the optimum route with the minimized distance in three case models. Through this study, it is possible to apply optimization of ship pipe route to an actual ship using genetic algorithm.

Key Words: Genetic Algorithm (유전자 알고리듬), Optimization (최적화), Pipe Layout (배관 배치), Obstacles (장애물), Ship Machinery System (선박 의장시스템)

기호설명

d = Manhattan distance
Arc_{ij} = Connection line of node i and node j
pp = Penalty Parameter
L_i = The length of the i^{th} pipe
L_{Total} = The total length of pipe
$f(\vec{x})$ = The objective function of the total length of pipe

1. 서론

현재 우리나라는 세계 제 1 위의 조선국이며, 조선·해운시황 전문분석기관인 영국의 클락슨(Clarkson)에 따르면 2006 년 2 월말까지 수주 잔량을 기준으로 평가한 전 세계 수주잔량이 1 억 734 만 CGT(Compensated Gross Tonnage, 표준화물선 환산톤수)이며, 한국의 상위 7 개 업체가 무려 세계 시장의 35 % 나 점유한 셈이다. 수주 잔량은 건조되고 남은 일감으로 세계 조선 업체의 수준을 평가하는 가장 좋은 잣대로 통용되고 있다.

현재 조선 산업이 호황을 누리고 있는 가운데 선박 건조에 있어 파이프 배관들의 경로 최적화에 대한 비중이 커지고 있다. 그 이유는 선박 한 척을 건조하기 위해서 사용되는 모든 파이프 배관들의 경제성, 안전성, 조작의 편의성 및 유지 보수 등을 고려하여 파이프 배관들의 경로 최적화가 이루어져야 하기 때문이다. 하지만 선박용 파이프 배관을 설계하기 위해서는 설계자의 축적된 경험

과 지식이 뒷받침 되어야 하며 설계도를 완성하기까지도 상당 시간이 소요된다.

본 연구에서는 유전자 알고리듬을 이용하여 선박용 파이프 경로를 최적화함으로써 설계자가 최적의 경로를 찾을 수 있도록 작업 능률을 향상시킬 뿐만 아니라 경로 최적화의 효율적인 방법 개발로 국내 조선 산업 발전에 기여하고자 한다. 본 연구는 선박용 파이프 경로 최적화에 대한 1 단계 연구로서 현 단계에서는 선박의 특성이 고려되지 않았다. 그러나 연구의 최종 목표가 선박용 파이프의 경로 최적화이기 때문에 현 단계에서도 선박용 파이프라는 용어를 사용하였다.

현재 경로 최적화에 대한 연구는 그 적용 가능한 분야가 굉장히 광범위하기 때문에 여러 학문에서 연구 개발이 이루어지고 있다. 특히 공장에서의 기계 배치 과정과 파이프 경로 최적화에 대한 연구가 수학적 방법이나 MILP(Mixed Integer Linear Programming) 방법 등으로 연구가 이루어지고, 관련 논문 및 이론이 발표되고 있다. 하지만 유전자 알고리듬을 이용하여 파이프 경로 최적화에 적용된 사례는 소수의 논문만이 존재할 뿐 아직까지 그 연구는 진행되고 있는 중이다.

본 연구에서는 전역 탐색능력을 가지는 유전자 알고리듬을 이용하여 최적의 경로를 탐색할 수 있는 부 프로그램을 개발 및 추가하여 보다 효율적인 방법으로 선박용 파이프 경로를 결정하고자 한다. 그리고 본 연구는 선박에서 요구하는 파이프 경로 최적화로 그 목표을 지향한다. 완성된 경로 탐색 능력을 가지는 유전자 알고리듬으로 세 가지 예제 모델에 적용하였으며 해당 모델에서 최적의 경로를 탐색하는지 평가한다.

실제로 선박에서 사용되는 파이프 경로는 3 차원 공간에서 그 경로가 결정되지만, 본 연구에서는 유전자 알고리듬을 이용한 경로 탐색의 적용 가능성과 효율성을 먼저 확인하고자 2 차원 평면상에서 우선적으로 연구를 하였다.

2. 경로 최적화에 관한 이론

2.1 맨하탄 거리(Manhattan Distance)

선박에서의 파이프 배관을 설계할 때는 대각선 사용을 회피한다. 이를 위해 도입된 이론이 맨하탄 거리 이론(Manhattan Distance Theory)이다.

맨하탄 거리 이론은 두 점 사이의 거리를 직각 방향으로 정확히 잰 거리이다. P1(x1, y1) 좌표와 P2(x2, y2) 좌표가 한 평면에 있을 때, 맨하탄 거리(Manhattan Distance)는 |x1 - x2| + |y1 - y2| 이다.

맨하탄 거리를 식으로 나타내면 Eq. (1)과 같다.

$$d = \sum_{i=1}^{n-1} \{|x_{i+1} - x_i| + |y_{i+1} - y_i|\} \quad (1)$$

2.2 그리드 영역(Grid Region)

선박에서 파이프 배관들이 지나가는 경로에는 직선 경로와 굽힘 경로의 조합으로 전체 파이프 배관이 설계된다. 최적의 파이프 배관을 설계하기 위해서는 파이프 굽힘이 필요한 영역과 선체 형상 및 공간을 고려하여 파이프 경로를 최적화한다. 그리드 영역(Grid Region)이란 선박의 특성을 고려하여 파이프 굽힘이 발생하게 될 예상지역에 그리드 영역을 설치하고 그리드 영역 내부에 정의 되어있는 절점들을 탐색하여 최적의 파이프 경로를 결정할 수 있게 하는 것이다. 이때 파이프의 경로는 굽힘 예상 발생지역에 설치되어 있는 모든 그리드 영역을 거쳐야만 하는 것이 아니고, 최적의 경로를 탐색하기 위해 꼭 필요한 그리드 영역만 선택하여 그 경로를 결정한다.

2.2.1 그리드 영역(Grid Region)의 내부 특성

그리드 영역의 내부 특성은 다음과 같다.

(i) 그리드 영역 내에 층(Layer)을 정의

영역 내에 파이프가 위치할 수 있는 층(Layer)을 정의한다. 그리고 층의 개수는 선택이 가능하고, 각각의 층에는 파이프가 취할 수 있는 위치인 선(Line)을 정의한다.

(ii) 그리드 영역 내에 선(Line) 정의

층내에 선을 정의한다. 선의 개수는 선택이 가능하며, 선상에 굽힘(Bend)위치인 절점(Node)를 정의한다.

(iii) 그리드 영역 내에서의 절점(Node) 정의

통과 금지면을 고려하여 절점위치를 진행 가능 방향에 등 간격으로 설치한다. 영역 내에 복수개의 절점이 설치 가능하다.

2.2.2 그리드 영역(Grid Region)의 정의 시 고려사항

그리드 영역의 정의 시 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

(i) 벽면 등으로 부터의 최소 거리

(ii) 파이프 상호간의 최소거리
(iii) 통로 등과의 간섭 회피
(iv) 파이프 랙(Pipe-Rack) 상에서의 파이프 위치고려

2.3 그래프 이론(Graph Theory)

프러시아의 쾨니히스베르그(Konigsberg)에는 도시를 가로지르는 프리젤(Pregel) 강이 있으며, 안에는 두 개의 섬이 있다. 섬을 연결하여 놓여져 있는 7 개의 다리를 각각 한 번만 건너면서 출발한 자리로 돌아오는 방법이 있을까 하는 문제에서 많은 사람들은 경험적으로 이러한 방법이 존재하지 않을 것이라고 생각했으며 1736 년에 유명한 수학자 오일러(Euler, 1707-1784)에 의하여 이 문제는 증명되었다. 우선 그는 모든 다리를 한 번씩만 지나서는 절대로 출발점으로 되돌아 올 수 없다고 결론을 짓고 육지와 섬을 점으로 각 다리는 선으로 나타내어 그래프를 그려 이 문제를 쉽게 해결하였다.

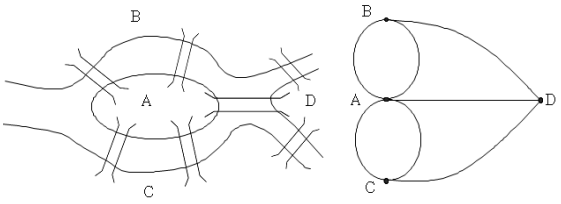

Fig. 1 An Example of Graph Theory

위의 Fig. 1 을 보면 이제 이 문제는 어느 한 점에서 출발하여 모든 선을 꼭 한 번씩만 지나서 시작점으로 되돌아 올 수 있는 방법이 존재하는가 하는 문제로 바뀐 것을 알 수 있다. 오일러는 주어진 그래프에서 꼭지점에 연결된 변의 수가 짝수인 경우에만 임의의 꼭지점에서 출발하여 각 변을 단 한 번씩만 거치고 출발한 꼭지점으로 되돌아오는 길이 있음을 증명하였다. 쾨니히스베르그 다리 문제는 이후 그래프 이론이 발전하여 왔으며 여러 분야에 응용되고 있다. 예컨대, 각 도시들을 연결하는 도로망이나 항공망, 수송망, 각 전화국들을 연결하는 전송망 등 많은 분야에서 그래프를 사용하고 있다. 이 때, 한 지점에서 다른 지점까지의 거리, 시간 등을 나타내는 비용을 최소화하는 문제 등을 해결하는 데 활용하고 있다.

선박용 파이프 경로 최적화를 위해 그래프 이론은 다음과 같은 방법으로 응용이 된다. 우선 절점이 정의되고 그리고 절점 i 와 절점 j 사이의 연결선을 만드는 호(Arc)가 정의된다. 여기서 호에 대해서는 길이가 부여되며 이 길이는 Arc_{ij} 로 표시된다. Arc_{ij} 를 이용하여 파이프 경로의 길이인 L_i 가 계산 가능해진다. L_i 는 파이프 상에 있는 모든 호(Arc)의 길이의 합을 나타낸다

3. 유전자 알고리듬을 이용한 선박용 파이프 경로 최적화

선박에서 사용되는 파이프는 수송하는 물질의 종류와 특성, 그리고 목적에 따라 그 경로의 선택이 아주 다양해질 것이다. 이렇게 다양하고 복잡한 파이프 경로를 최적화해야 할 필요성이 있다. 그 이유는 파이프 경로가 단순하고 짧아질수록 배관 관리에 편의성을 제공하고 비용 측면에서 또한 많은 절감 효과를 가지고 온다. 선박에서 파이프 경로를 설계하기 위해서는 설계자의 오랜 기간 동안 축적된 경험과 지식이 뒷받침 되어야 한다. 하지만 이런 경험과 지식은 단기간에 얻어지는 것이 아니다. 선박용 파이프 경로의 이런 문제점을 보완하고 보다 효율적이며 단기간 안에 파이프 경로를 최적화하기 위해서 유전자 알고리듬을 도입하였다. 유전자 알고리듬을 이용하여 최적의 선박용 파이프 경로를 탐색할 것이다. 본 연구에서의 최적의 파이프 경로는 최단거리를 의미하는 것이다.

선박용 파이프 경로를 탐색할 때는 그 경로를 단순화할 필요가 있다. 하지만 경로 단순화 작업에 어려움을 끼치는 인자에는 선박에서의 장애물(Obstacle)이나 벽면 그리고 통로 등이 있다. 이런 장애물들을 회피하면서 최적의 경로를 찾기 위해 장애물 주위 및 파이프가 꼭 지나가야 하는 위치에 그리드 영역(Grid Region)을 만들고, 파이프 경로는 그리드 영역을 지나가야 한다. 파이프의 경로는 출발점에서 목적지까지 최적의 경로를 찾기 위해 반드시 필요한 그리드 영역이 선택되고 그 영역을 따라서 파이프의 경로가 결정된다.

선박용 파이프의 설계는 실제로 3 차원 공간에서 그 경로가 결정된다. 하지만 이 논문에서는 2 차원 평면상에서 다뤄질 선박용 파이프 경로 최적화에 대해서 먼저 살펴보도록 하겠다.

3.1 설계변수의 정의

3.1.1 그리드 영역(Grid Region)

유전자 알고리듬을 최적화에 적용시키기 위해

설계변수 범위를 정한 후 유전 정보를 갖는 염색체로 표현해야 한다. 설계변수의 개수에 의해 코드화된 염색체의 길이가 정해지며, 이는 곧 연산시간과 직결되기 때문에 효율성을 고려하여 정확도가 높은 해를 구하기 위한 설계변수 선택이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 2 차원 평면상에서 경로를 탐색한다. 그렇기 때문에 하나의 그리드 영역은 X 와 Y 좌표를 가진다. 유전자 알고리듬으로 하나의 모집단에서 그리드 영역의 설계변수를 표현하면 Fig. 2 와 같다.

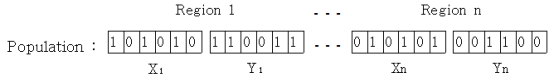

Fig. 2 Design Variable of Grid Region

그리드 영역의 수에 의해서 설계변수가 결정이 되며 그리드 영역의 수가 n 개이면 하나의 영역에 X, Y 좌표를 나타내는 2 개의 변수가 있으므로 총 설계변수는 (2×n)개가 된다. 그리드 영역의 위치를 결정할 때는 파이프 경로의 굽힘(Bend) 부분이 발생할 지역을 신중하게 선택하여 그 위치를 선정해야 한다.

그리드 영역의 범위는 직사각형이며 최소 (x, y) 좌표와 최대 (x, y) 좌표 사이의 절점들로 구성된다.

Fig. 3 에서는 하나의 그리드 영역에 총 25 개의 절점이 있다.

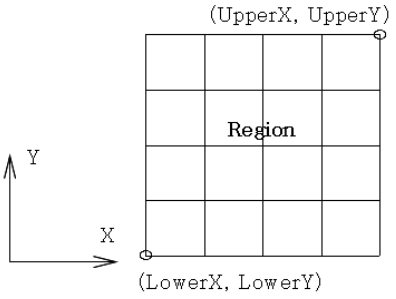

Fig. 3 Nodes of Grid Region

이렇게 정해진 그리드 영역상의 절점들은 파이프가 지나가는 경로에서 하나의 영역(Region)안에 한 절점만 선택이 가능하며 이 절점에서 파이프 경로의 굽힘이 발생한다.

본 연구에서는 2 차원 평면상에 파이프가 지나가는 경로가 될 그리드 영역을 결정하고 이로부터 유전자 알고리듬을 이용하여 각 그리드 영역 내의 한 절점을 선택한다. 그리고 각 그리드 영역의 절점들로 출발점에서 목적지까지를 연결하는 최적의 선박용 파이프 경로를 탐색한다. 단, 여기서 중요한 것은 선박의 파이프 배관 설계 시 대각선 사용을 회피하기 때문에 파이프의 경로는 항상 수직으로만 이동할 수 있다.

3.1.2 장애물(Obstacle)

선박 위의 구조물이나 벽면 및 통로는 선박용 파이프가 지나가는 경로 상에 장애물로 인식하며 파이프 경로는 장애물들을 피해가면서 최적의 파이프 경로를 탐색해야 한다. 파이프 경로를 탐색하는 동안 파이프와 장애물과의 최소거리 이상 유지할 필요가 있다. 여기서 장애물의 종류에 따라 장애물과 파이프 경로 사이의 최소거리가 다르게 설정될 것이다. 이렇게 장애물마다 서로 다른 최소거리를 그리드 영역의 위치 변경으로만 유지하게 된다면, 장애물과의 최소거리가 변경될 때 마다 그리드 영역을 움직여야 하는 불편함이 있다. 장애물과 최소거리 유지를 위한 효율적인 방법은 각각의 장애물에 서로 다른 최소 거리를 입력할 수 있고 이렇게 설정된 장애물 최소거리에 포함된 그리드 영역의 절점들은 파이프 경로를 탐색할 때 절점 선택에서 제외시킨다.

3.2 목적 함수(Objective Function)

선박용 파이프 경로 최적화의 목적 함수로 고려되어야 할 사항들 중에는 파이프의 비용과 파이프 총 길이, 파이프의 치수 그리고 굽힘의 개수 등이 사용될 수 있다. 하지만 본 연구에서는 최적의 파이프 경로 즉 최단거리만을 고려한 파이프 총 길이만을 목적 함수로 사용하였다.

목적 함수의 최소화를 위해서 파이프 통과 경로 상의 그리드 영역 내에 있는 절점들을 변경하면서 최소 경로를 탐색한다. 이때 설계 조건인 벽면이나 장애물 등으로부터의 최소 거리와 통로 등과의 간섭 회피가 고려되어야 한다.

경로 최적화에서 파이프의 총 길이는 다음 식과 같이 맨하탄 거리방법으로 구한다.

$$\text{Pipe Total Length : } L_{Total} = \sum_{i}^{n} L_i \qquad (2)$$

3.3 최적설계 문제 정의

제한 조건식은 선박용 파이프 경로 탐색의 최적화, 즉 최소거리 결정으로 하였다. 목적 함수식은 다음과 같고 선박용 파이프의 총 길이를 나타낸다.

$$f(\vec{x}) = \sum_i L_i \tag{3}$$

이때 L_i 는 두 절점을 잇는 파이프 길이다. 2 진 정수의 1 차원배열로 표현된 개체의 유전정보를 역사상한 후 그리드 영역 내의 한 좌표를 결정한다. 해석 결과에 기초하여 개체의 적합도를 평가한다. 적합도를 평가하기 위해서는 목적함수 값 f 를 계산한 후 설계 조건식의 값들을 계산하여 벌칙함수 값 R 을 계산한다. f 및 R 을 이용하여 다음과 같은 함수 f'을 계산한다.

$$f' = f + pp \times R \tag{4}$$

pp 는 벌칙계수(Penalty Parameter)의 값이며 pp 의 선택에는 주의를 요한다. f'은 최적화가 될수록 작은 값을 취하게 되나, 최적설계의 판단기준이 되는 적합도(Fitness)는 최적화 될수록 크게 된다. 따라서 다음과 같이 변환시킨 새로운 적합도 F 가 정의된다. 적합도 F 는 개체간의 우열에 대한 변별을 위하여 도입된 것으로 물리적 의미를 갖지 않으며, 크기 또한 정해져 있지 않다.

$$F = \frac{C_1}{C_2 + f'} \tag{5}$$

단, C_1 및 C_2 는 적응도의 크기를 조절하기 위해 사용되는 상수이며 문제마다 적당한 값이 선정되어야 한다.

모든 예제에서 초기 모집단의 설계변수는 난수 발생기에 의해 생성되며 모집단의 크기(Population Size)는 300, 유전자 연산을 위해 교차확률(Crossover Probability)은 85 %로서 2 점 교차를 사용하였으며 돌연변이 확률(Mutation Probability)은 5 %로 하여 우수한 유전자가 생성되도록 하였다.

3.4 예제 1

2 차원 좌표 평면상에서 2 개의 그리드 영역을 통과하는 간단한 파이프 경로 탐색 모델을 Fig. 4 에 정리하였다. 출발지점은 좌표 (0, 0)에서 시작하여 Region 1 을 지나 Region 2 를 거쳐 목적지인 좌표 (20, 0)에 도착하기까지 최적의 파이프 경로를 탐색한다. 단, 여기서 좌표 평면상 눈금의 단위는 무차원이다.

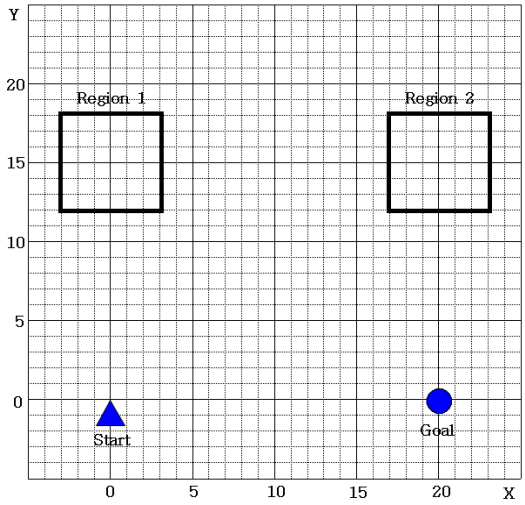

Fig. 4 Example (1) for Piping Route Search

예제 1 에서 사용될 출발점과 도착점의 좌표 그리고 그리드 영역의 좌표 범위를 Table 1 에 정리하였다.

Table 1 Design Data for Example (1)

	X Coordinate		Y Coordinate	
Start	0		0	
Goal	20		0	
	X-Min	Y-Min	X-Max	Y-Max
Region 1	-3	12	3	18
Region 2	17	12	23	18

예제 1 문제에서는 이진수 유전자 알고리듬(BCGA)이 사용되었으며, 실험에 사용한 시스템 변수(System Parameter)의 값은 Table 2 에 정리하였다.

Table 2 System Parameter of Example (1)

Item	Value
Generation	300
Population Size	300
Chromosome Length	24(Bit)
Number of Grid Region	2
Crossover Probability	85%
Mutation Probability	5%

Table 2 의 염색체 길이(Chromosome Length)는 X, Y 좌표에 각각 6Bit 씩 할당되어 하나의 Region 에 12Bit 가 할당된다. 2 개의 Grid Region 을 가지는 예제 1 모델은 총 24Bit 의 염색체 길이가 사용된다.

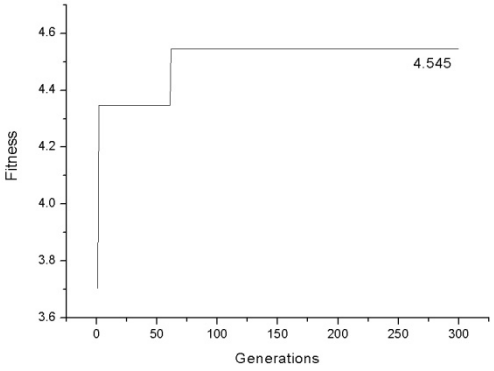

Fig. 5 Fitness History of Example (1)

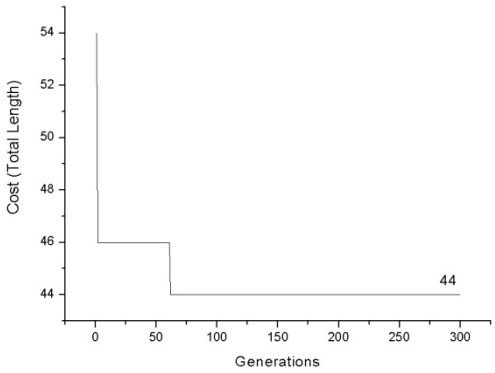

Fig. 6 Total Length History of Example (1)

예제 1 모델의 경로 최적화 결과 62 세대 이후 최적 경로에 대해서 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 유전자 알고리듬을 사용하여 얻어진 경로 최적화 결과를 적합도 이력곡선과 목적함수인 파이프 총 길이 이력곡선으로 각각 Fig. 5 및 6 에 정리하였다.

예제 1 모델의 선박용 파이프 경로 최적화로 얻어진 그리드 영역에서의 좌표와 해당 모델의 적합도 그리고 맨하탄 거리 방법으로 구한 파이프 경로의 총 길이를 Table 3 에 나타냈다.

Fig. 7 과 같이 62 세대 이후로 최적의 경로를 찾아 그 값이 수렴함을 알 수 있으며 Region 1 의 (0, 12)와 Region 2 의 (20, 12)를 지나 목적지에 도착하며 이때 파이프의 총 길이는 44 이다.

Table 3 Optimal Piping Route Value at Example (1)

Sequence	Location	X Coordinate	Y Coordinate
1	Start	0	0
2	Region 1	0	12
3	Region 2	20	12
4	Goal	20	0
Fitness = 4.545 Total Length of Pipes = 44			

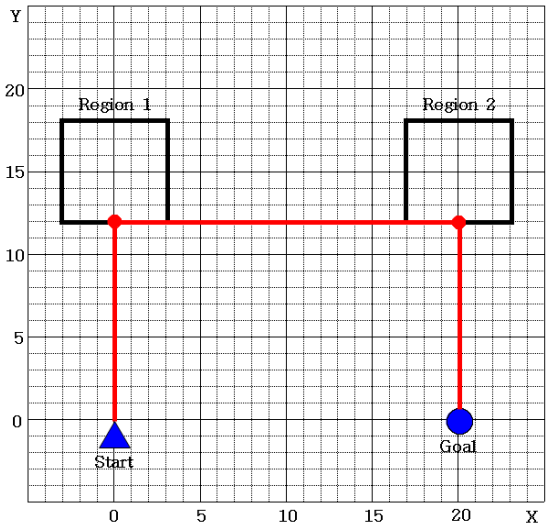

Fig. 7 Optimal Piping Route Path at Example (1)

3.5 예제 2

2 차원 좌표 평면상에서 8 개의 영역(Region)이 있고 1 개의 장애물이 있는 모델을 Fig. 8 에 정리하였다. 출발지점은 좌표 (0, 0)이고 목적지는 좌표 (50, 50)이다. 예제 2 모델에서는 장애물과의 최소거리가 0 인 경우를 Step 1, 장애물과의 최소거리가 3 인 경우를 Step 2 라고 하고 이 두 가지 경우에 대해서 파이프 경로 최적화를 수행하였다. 단, 여기서 좌표 평면상 눈금의 단위는 무차원이다.

예제 2 에서 사용될 출발점과 도착점의 좌표 그리고 그리드 영역의 좌표 범위를 Table 4 에 정리하였다.

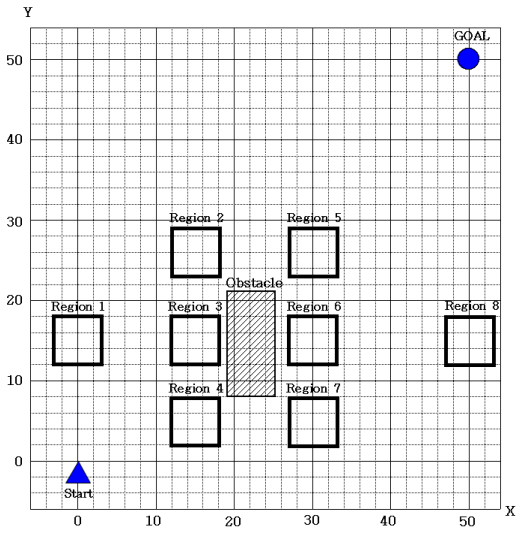

Fig. 8 Example (2) for Piping Route Search

Table 4 Design Data for Example (2)

	X Coordinate		Y Coordinate	
Start	0		0	
Goal	50		50	
	X-Min	Y-Min	X-Max	Y-Max
Region 1	-3	12	3	18
Region 2	12	23	18	29
Region 3	12	12	18	18
Region 4	12	2	18	8
Region 5	27	23	33	29
Region 6	27	12	33	18
Region 7	27	2	33	8
Region 8	27	12	53	18
Obstacle	47	8	25	21

예제 2 문제에서는 이진수 유전자 알고리듬이 사용되었으며, 실험에 사용한 시스템 변수의 값은 Table 5 에 정리하였다.

Table 5 System Parameter of Example (2)

Item	Value
Generation	30,000
Population Size	300
Chromosome Length	96(Bit)
Number of Grid Region	8
Crossover Probability	85%
Mutation Probability	5%

Table 5 에서 염색체 길이는 X, Y 좌표에 각각 6Bit 씩 할당되어 하나의 Region 에 12Bit 가 할당된다. 8 개의 그리드 영역을 가지는 예제 2 모델은 총 96Bit 의 염색체 길이가 사용된다.

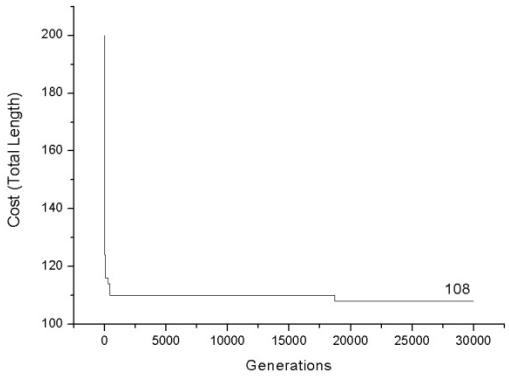

Fig. 9 Total Length History of Example (2) – Step1

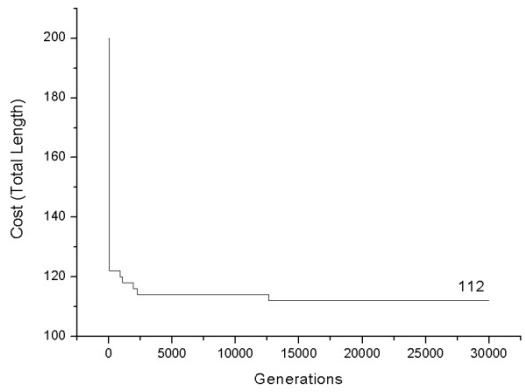

Fig. 10 Total Length History of Example (2) – Step2

파이프와 장애물과의 최소거리가 0 인 예제 2-Step 1 의 모델에서는 18,718 세대 이후 총 파이프 길이가 108 인 최적 경로로 수렴하는 것을 확인할 수 있었고 파이프와 장애물과의 최소거리가 3 인 예제 2-Step 2 의 모델에서는 12,639 세대 이후 총 파이프 길이가 112 인 최적 경로로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 유전자 알고리듬을 사용한 경로 최적화 결과는 목적함수인 파이프 총 길이 이력곡선으로 각각 Fig. 9 및 10 에 정리하였다.

예제 2 모델에서 장애물과의 최소거리가 0 인 경우에는 파이프 통과 Region 이 출발점을 시작으로 Region 1-3-4-7-6-8 을 거쳐 목적지로 도착하고, 장애물과의 최소거리가 3 인 경우에는 파이프 통

과 Region 이 출발점을 시작으로 Region 1-3-2-5-6-8 을 거쳐 목적지에 도착한다. 파이프의 경로가 달라지는 이유는 장애물과의 최소거리가 달라짐에 따라 최적의 탐색 경로가 달라지기 때문이다.

예제 2 모델의 Step 1 과 Step 2 의 최적화된 파이프 경로를 Fig. 11 에 나타냈다.

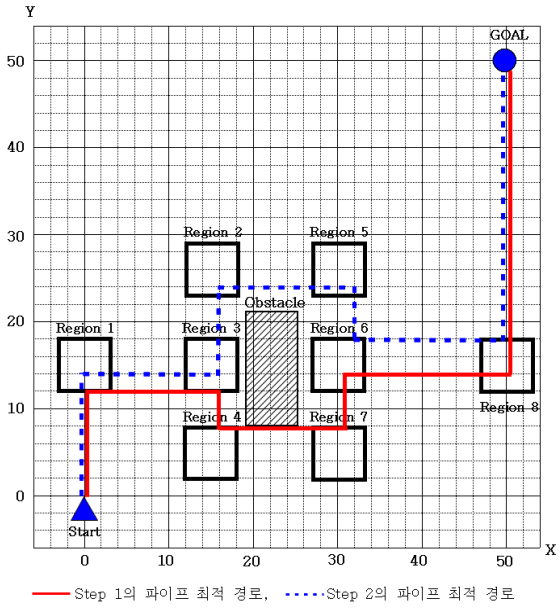

Fig. 11 Optimal Piping Route Path at Example (2)

3.6 예제 3

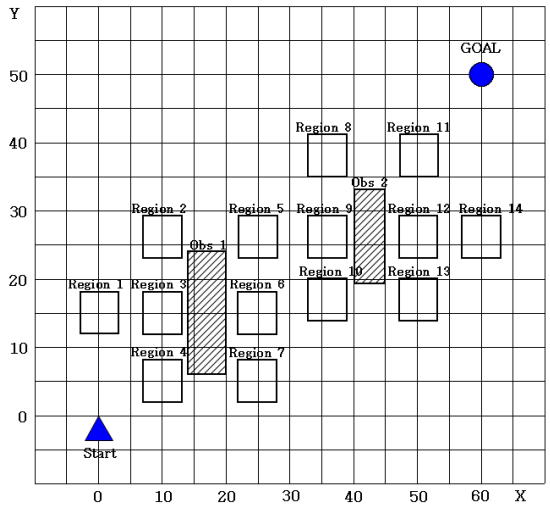

Fig. 12 Example (3) for Piping Route Search

2 차원 좌표 평면상에서 14 개의 Region 이 있고 2 개의 장애물이 있는 모델을 Fig. 12 에 정리하였다. 출발지점은 좌표 (0, 0)이고 목적지는 좌표(60, 50)이다. 예제 3 모델에서는 장애물과의 최소거리가 0 인 경우를 Step 1, 장애물과의 최소거리가 3 인 경우를 Step 2 라고 하고 이 두 가지 경우에 대해서 파이프 경로 최적화를 수행하였다. 단, 여기서 좌표 평면상 눈금의 단위는 무차원이다.

Table 6 Design Data for Example (3)

	X Coordinate		Y Coordinate	
Start	0		0	
Goal	60		50	
	X-Min	Y-Min	X-Max	Y-Max
Region 1	-3	12	3	18
Region 2	7	23	13	29
Region 3	7	12	13	18
Region 4	7	2	13	8
Region 5	22	23	28	29
Region 6	22	12	28	18
Region 7	22	2	28	8
Region 8	33	35	39	41
Region 9	33	23	39	29
Region 10	33	14	39	20
Region 11	47	35	53	41
Region 12	47	23	53	29
Region 13	47	14	53	20
Region 14	57	23	63	29
Obstacle 1	14	6	20	24
Obstacle 2	40	19	45	33

예제 3 에서 사용될 출발점과 도착점의 좌표 그리고 그리드 영역의 좌표 범위를 Table 6 에 정리하였다.

예제 3 문제에서는 이진수 유전자 알고리듬이 사용되었으며, 실험에 사용한 시스템 변수의 값은 Table 7 에 정리하였다.

Table 7 System Parameter of Example (3)

Item	Value
Generation	200,000
Population Size	300
Chromosome Length	168(Bit)
Number of Grid Region	14
Crossover Probability	85%
Mutation Probability	5%

Table 7 에서 염색체 길이는 X, Y 좌표에 각각 6Bit 씩 할당되어 하나의 Region 에 12Bit 가 할당된다. 14 개의 그리드 영역을 가지는 예제 3 모델은 총 168Bit 의 염색체 길이가 사용된다.

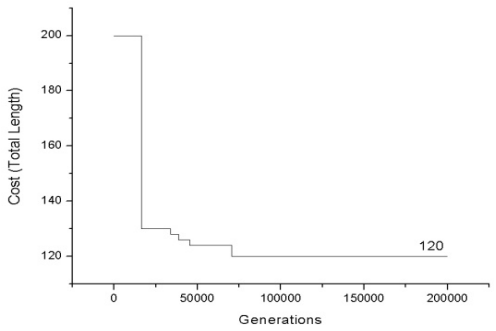

Fig. 13 Total Length History of Example (3) – Step1

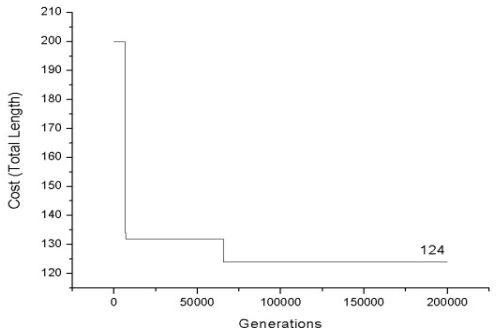

Fig. 14 Total Length History of Example (3) – Step2

파이프와 장애물과의 최소거리가 0 인 예제 3-Step 1 의 모델에서는 70,512 세대 이후 총 파이프 길이가 120 인 최적 경로로 수렴하는 것을 확인할 수 있었고 파이프와 장애물과의 최소거리가 3 인 예제 3-Step 2 의 모델에서는 65,698 세대 이후 총 파이프 길이가 124 인 최적 경로로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 유전자 알고리듬을 사용하여 얻어진 경로 최적화 결과를 목적함수인 파이프 총 길이 이력곡선으로 각각 Fig. 13 및 14 에 정리하였다.

예제 3 모델에서 장애물과의 최소거리가 0 인 경우에는 파이프 통과 Region 이 출발점을 시작으로 Region 1-3-2-9-10-13-12-14 을 거쳐 목적지로 도착하고, 장애물과의 최소거리가 3 인 경우에는 파이프 통과 Region 이 출발점을 시작으로 Region 1-3-2-9-8-11-12-14 을 거쳐 목적지에 도착한다. 파이프의 경로가 달라지는 이유는 장애물과의 최소거리가 달라짐에 따라 최적의 탐색 경로가 달라지기 때문이다.

예제 3 모델의 Step 1 과 Step 2 의 최적화된 파이프 경로를 Fig. 15 에 나타냈다.

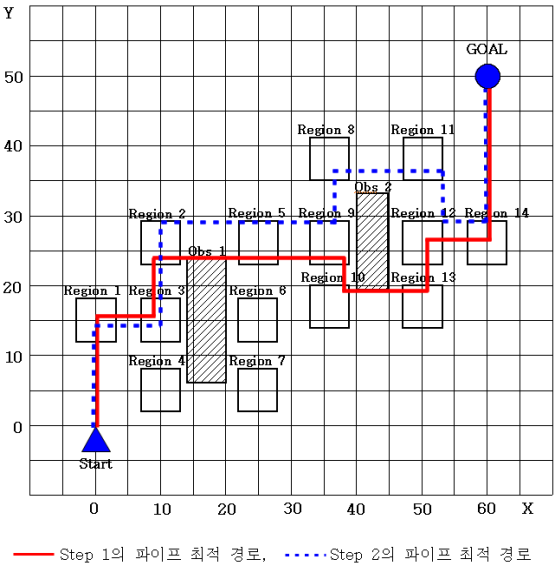

Fig. 15 Optimal Piping Route Path at Example (3)

4. 결론

본 연구에서는 선박에서의 배관 설계를 보다 효율적인 방법을 이용하여 최적의 경로를 탐색하고자 했다. 이를 위해 우수한 전역탐색 기능을 가지고 있는 유전자 알고리듬을 이용하여 선박용 파이프 경로 최적화에 대해 연구하였다.

1) 유전자 알고리듬을 기반으로 하여 경로 최적화를 할 수 있는 부 프로그램을 개발 및 완성하여 유전자 알고리듬에 추가하였다. 목적 함수는 파이프 경로 최단거리 함수 값을 찾는 것이다.

2) 완성된 프로그램을 이용하여 2 차원 평면상에 구현된 예제 모델을 경로 최적화를 하였다. 이 예제 모델은 임의의 장애물을 설치하고 그 주변에 그리드 영역을 설치하여 출발점에서 목적지까지 그리드 영역을 통과하면서 최적의 경로를 탐색한다.

3) 세 가지의 예제 모델로 경로를 탐색한 결과 세 가지 예제 모델 모두 최단거리를 갖는 최적의 경로를 찾았다. 각각의 예제 모델을 비교했을 때 설계 변수인 그리드 영역의 수가 많아질수록 최적

경로를 탐색하는 연산시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 예제 2 와 3 모델에서는 파이프 경로와 장애물과의 최소거리가 0 과 3 의 두 가지 경우에 대해서 최적의 경로를 탐색했을 때 최소거리의 변화로 인하여 탐색된 최적의 경로 또한 달라지는 것을 알 수 있다.

4) 2 차원 평면상의 세 가지 예제 모델에 대하여 경로 탐색을 한 결과 유전자 알고리듬을 이용한 선박용 파이프 경로 최적화가 실제 모델에도 적용 가능하다 할 수 있다.

유전자 알고리듬을 이용하여 선박용 파이프 경로 최적화에 대한 연구로 실제 선박에서의 배관 설계 시 이번 연구 결과가 유용하게 사용될 수 있을 것이며 그리드 영역의 수와 범위를 조절하여 경로를 탐색한다면 보다 효율적으로 최적의 경로를 탐색할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Lee, S. B., Seong, H. G. and Cheon, H. J., “Optimization of a Membrane with a Center Hole using Natural Element Method and Genetic Algorithm,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 105-114, 2008.
2. Lee, J. O., Seong, H. G. and Cheon, H. J., “The Shape Optimal Design of Marine Medium Speed Diesel Engine Piston,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 9, pp. 59-70, 2008.
3. Teruaki, I., “A genetic algorithm approach to piping route path planning,” Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 10, No. 1, pp. 103-114, 1999.
4. Guirardello, R. and Swaney, R. E., “Optimization of process plant layout with pipe routing,” Comput. Chem. Eng., Vol. 20, No. 1, pp. 99-114, 2005.
5. Georgiadis, M. C. and Macchietto, S., “Layout of Process Plants: A Novel Approach,” Comput. Chem. Eng., Vol. 21, No. 1, pp. S337-S342, 1997.
6. Georgiadis, M. C., Schilling, G., Rotstein, G. E. and Macchietto, S., “A general mathematical programming approach for process plant layout,” Comput. Chem. Eng., Vol. 23, No. 1, pp. 823-840, 1999.
7. Patsiatzis, D. I. and Papageorgiou, L. G., “Optimal multi-floor process plant layout,” Comput. Chem. Eng., Vol. 26, No. 4-5, pp. 575-583, 2002.
8. Schmidt-Traub, H., Köster, M., Holtkötter, T. and Nipper, N., “Conceptual Plant Layout,” Comput. Chem. Eng., Vol. 22, No. 1, pp. S499-S504, 1998.
9. Brintrup, A. M., Ramsden, J. and Tiwari, A., “An interactive genetic algorithm-based framework for handling qualitative criteria in design optimization,” Computers in Industry, Vol. 58, No. 3, pp. 279-291, 2007.
10. Aiello, G., Enea, M. and Galante, G., “A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method,” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 22, No. 5-6, pp. 447-455, 2006.
11. Papageorgiou, L. G. and Rotstein, G. E., “Continuous-Domain Mathematical Models for Optimal Process Plant Layout,” Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 37, No. 9, pp. 3631-3639, 1998.