한국해양공학회지 제23권 제6호, pp 67-70, 2009년 12월 (ISSN 1225-0767)

유전자 알고리즘을 이용한 부재 절단 경로 최적화

박주용* · 서정진*
*한국해양대학교 조선해양시스템공학부

A Study on Cutting Path Optimization Using Genetic Algorithm

Ju-Yong Park* and Jeong-Jin Seo*
Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

KEY WORDS: Optimizartion 최적화, Cutting path 절단 경로, Genetic algorithm 유전자 알고리즘, Center of figure 도심, Vertex 꼭지점

ABSTRACT: *Nesting and cutting path optimization have a great effect on the improvement of productivity in many industries such as shipbuilding, automotive, clothing, and so on. However, few researches have been carried out for the optimization of a cutting path algorithm. This study proposed a new method for cutting optimization using gravity center of cutting pieces and a genetic algorithm. The proposed method was tested for a sample plate including many different shapes of cutting pieces and compared to 2 other conventional methods. The test results showed that the new method had the shortest cutting path and the best effectiveness among the 3 methods.*

1. 서 론

부재 최적 배치(Nesting)와 절단 경로 최적화 알고리즘은 원판으로부터 부재를 절단, 가공하여 조립하는 조선 공업, 자동차 산업, 의류 산업 등 매우 다양한 산업 분야에 가격 경쟁력 및 생산성 향상에 매우 큰 파급 효과를 미치는 요소 기술이라 할 수 있다. 특히 조선산업은 구성부재의 수가 수십만 개 이상이고 형상도 다양하여 절단공정에서의 재료절약을 위한 네스 팅과 함께 절단시수를 최소화하기 위한 절단경로 최적화는 매우 중요한 문제이다. 이와 연관하여 네스팅에 대해서는 이미 많은 연구가 수행되어 다양한 알고리즘이 개발, 현장적용되고 있다(방기범, 1989; 이철수 등, 1997; 한윤근, 2000). 하지만 절단 경로 최적화 문제는 아직 연구가 미진한 편이다.

최근 레이저 절단의 토치 경로 생성에 관한 연구가 이루어졌고(한국찬과 나석주, 1996) 유전자 알고리즘(Genetic algorithm, 이하 GA)를 이용한 부재 절단 경로 최적화의 연구가 이루어진 바 있다(한윤근과 장창두, 2000). 용접의 경우는 GA를 이용한 용접조건의 최적화(박주용, 2004)와 조선 소조립공정에 용접로봇의 최적경로에 대한 연구가 발표된 바 있다(강현진, 2005; 박주용 등, 2009). 하지만 아직은 절단 경로의 최적화 문제에 대한 실용적 해법이 마련되지 않아 현재는 작업자의 경험에 의존하거나 토치 출발점에서부터 인접한 부재에 대해 순차적으로 절단 경로를 결정하고 있다. 이에 본 연구에서는 네스팅된 부재의 도심과 유전자 알고리즘을 이용한 절단 경로 최적화 방법을 고안하여 이를 현장에서 사용하는 순차적인 경로 설정 방법과 다른 연구자가 제안한 알고리즘과 비교하여 본 연구에서 제안한 방법의 타당성과 효용성을 제시하였다.

2. 절단 경로의 최적화

2.1 연구 목표

본 연구의 목표인 절단 경로의 최적화 문제는 "하나의 판재상에서 폐곡선으로 이루어진 N개의 부재가 배치되어 있을 때, 토치가 하나의 출발점에서 시작하여 이들을 모두 절단하기 위한 이동거리가 최소가 되는 경로를 구하는 것"으로 정의 된다. 본 연구에서 최적화된 절단 경로를 구하는 대상은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 여러 가지 도형의 형상을 가진 총 17개의 절단 부재를 포함하는 가로 9,800mm, 세로 3,100mm인 철판이다. Fig. 1에서 도형을 통과하는 경로는 절단 경로의 한 예를 보여주고 있다.

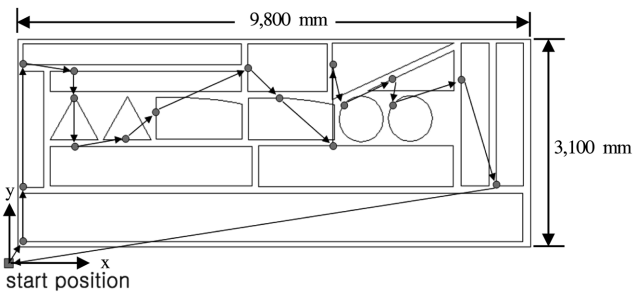

Fig. 1 Cutting path determined in the nearest order of figure's location from the start position

교신저자 박주용: 부산광역시 영도구 동삼동 1번지, 051-410-4307, jypark@hhu.ac.kr

2.2 절단 경로의 최적화 방법

절단경로의 최적화 문제는 절단이 완료된 한 도형에서 그 다음 도형으로 토치가 이동하는 거리가 최소로 되는 경로를 찾는 문제로 귀착된다. 실제로 토치는 절단경로를 결정하는 방법에 상관없이 절단되는 도형의 외곽선을 반드시 일주하게 되어있고 이 일주 거리는 항상 동일하므로 절단경로의 거리를 비교할 때 도형 일주 거리는 배제할 수 있다.

본 연구에서는 절단경로를 정하는 방법으로 통상적으로 현장에서 사용하는 방법과 최근 타 연구자가 제안한 방법, 그리고 본 연구에서 제안하는 방법 등 3가지로 나누 어 살펴보았다. 방법 1은 일반적으로 현장에서 널리 쓰이는 방법으로 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 토치 시작점에 근접한 부재순으로, 즉, 네스팅된 철판에 대한 CAD 파일을 읽어서 토치 시작점에서 먼저 x축을 기준으로 근접하고 다음으로 y축 기준으로 근접한 도형의 둘레상의 점이 있는 도형 순으로 절단경로를 정한다. 피어싱점(Piercing point)은 이전의 피어싱점에서 다음 절단부재도형의 둘레상의 점 중 가장 거리가 짧은 점이 다음 피어싱점으로 결정된다. 여기에서 피어싱점은 한 도형에서 절단토치가 시작되는 점을 뜻한다. 이 방법의 장점은 절단부재도형의 순서를 결정하는 방법이 매우 단순하여 누구나 쉽게 절단경로를 결정할 수 있다는 점이다. 하지만 절단경로의 결정방법이 최적화된 방법이 아니기 때문에 일반적으로 절단경로의 거리가 길어질 수 있다. 타연구자에 의해 제안된 방법인 방법 2는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 모든 절단도형의 볼록 꼭지점 중 임의의 한 점을 피어싱점으로 하고 GA를 통해서 절단경로가 최소가 되는 각 도형의 피어싱점과 그 피어싱점들의 통과순서를 결정하는 방법이다(한윤근과 장창두, 2000). 이 방법은 GA의 최적화 기능을 활용하고 있으나 피어싱점이 반드시 절단부재도형의 꼭지점 중에서 정해져야 하는 한계가 있다. 이 경우 Fig. 1의 4번째와 6번째 도형에서와 같이 도형사이의 이동거리가 최소화되는 지점이 꼭지점이 아니고 도형 둘레상의 임의의 점이 될 경우 최적화가 어려운 단점이 있다.

방법 3은 본 연구에서 제안한 방법으로 Fig. 3과 같이 각 절단부재도형의 도심을 이용하여 부재간의 이동 거리가 최소화되는 도형의 순서를 GA를 이용하여 결정한 후 각 도형상의 피어싱점은 방법 1과 동일하게 결정하는 방법이다. 3가지 방법을 서로 비교해보면 방법 1과 방법 3은 도형의 순서를 먼저 결정하는 점과 피어싱점을 결정하는 방법은 동일하나 도형의 순서를 결정하는 방법에서 차이가 있다. 방법 2와 방법 3은 최적화 도구로 GA를 이용한 점은 동일하나 방법 2의 경우는 각 도형의 피어싱점과 도형의 절단순서를 모두 GA를 통해서 결정된다는 점과 방법 3은 도형의 도심을 대상으로 GA를 이용해서 도형의 절단순서를 결정한 후 피어싱점은 다음 절단도형의 둘레상의 점 중 가장 가까운 점으로 결정된다는 점에서 차이가 있다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 절단부재도형이 배치된 판재를 대상으로 전술한 3가지 방법을 적용하여 총 절단경로의 거리를 비교하여 본 연구에서 제안한 방법이 최적화된 방법임을 입증하였다.

3. 절단도형의 도심과 GA를 이용한 절단경로의 최적화

3.1 절단 경로 최적화의 목적 함수

본 연구에서 제안된 절단경로 최적화 방법은 절단부재도형의 도심을 대상으로 각 도심사이의 이동거리를 최소화하는 도심의 순서를 GA를 이용하여 결정한다는 점에서 다른 절단경로 결정방법과 차이가 있다. Fig. 1과 같이 n개의 부재들이 배치되어진 판재에서 임의의 $i(1 \le i \le n)$번째 부재도형에 대한 도심을 p_i로 할 때 i번째 도형과 $i+1$번째 도형의 이동거리 D_i는 식 (1)로 표현되며 모든 절단부재도형의 도심을 통과하는 임의의 경로에 대한 이동거리는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $i=0$는 토치의 시작점으로 Fig. 1에서 좌표계의 원점에 해당된다. 따라서 본 연구에서 제안한 최적화의 목적함수는 도심간의 이동거리의 총합인 TD가 되며 이 TD가 최소화되는 경로가 최적의 해가 된다. 이는 전형적인 TSP(The traveling salesman problem)의 형태로 GA가 가장 효과적인 최적화 방법임이 널리 알려져 있다(Applegate et al., 2006; Gutin et al., 2002; Mitchell, 1999).

$$D_i = \sqrt{[p_{xi} - p_{x(i+1)}]^2 + [p_{yi} - p_{y(i+1)}]^2} \tag{1}$$

$$TD = \sum_{i=0}^{n-1} D_i \tag{2}$$

절단부재의 순서를 결정한 다음에는 각 도형의 피어싱점을

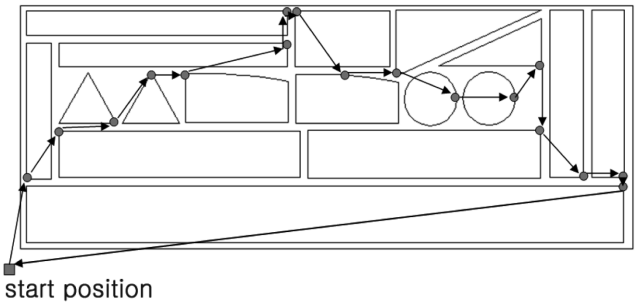

Fig. 2 Cutting path generated by using GA and the convex vertex

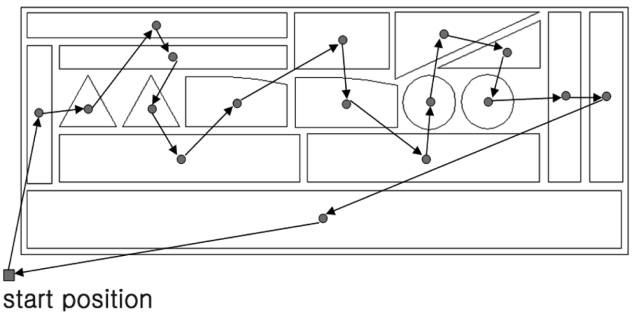

Fig. 3 Cutting sequence determined by using GA and the center of figure

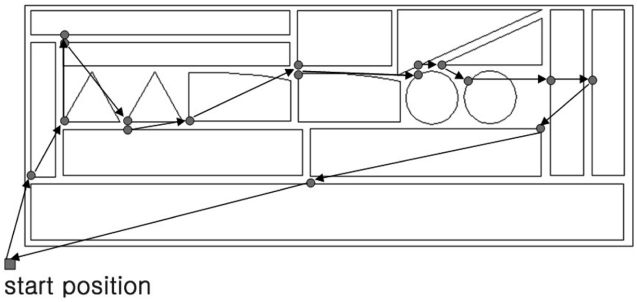

Fig. 4 Cutting path presented by piercing points

결정하여야 한다. 피어싱점은 이전 도형의 피어싱점에서 다음 도형의 둘레상의 점 중 가장 가까운 점으로 결정되며 Fig. 4는 Fig. 3의 도심으로 표현된 도형의 순서에 따라 피어싱점으로 표현된 절단경로의 예를 보여주고 있다.

3.2 절단경로의 GA 모델링

본 연구에서는 절단경로의 최적화 방법을 각 도형의 도심을 하나의 노드(Node)로 보고 모든 노드를 거쳐 돌아오는 경로 중 최단경로를 찾는 문제로 변환하고 다음과 같은 GA 모델을 적용하여 이 경로를 찾는 방법을 취하였다. 즉, 각 노드를 하나의 알파벳으로 표현하고 Fig. 5와 같이 알파벳의 순서를 절단경로로 간주하여 그 때의 경로의 길이가 최소가 되도록 GA를 적용하였다. GA는 일반적으로 Fig. 6과 같이 7단계를 거치게 된다 (기타노 히로아키와 조성배, 1996; 박성수와 박해영, 2001; Adachi, 1987). 1단계의 개체의 표현에서 각 부재는 알파벳으로 표현되었으며 이 알파벳 문자에는 해당부재의 도심의 좌표가 연결되어 있다. 따라서 알파벳 문자가 Fig. 5에서와 같이 임의의 순서로 배열되면 그것이 곧 절단순서를 나타내게 되며 각 알파벳 문자에 연결된 도심의 좌표값을 이용하여 각 부재사이의 거리의 합을 구하면 이 값이 식 (2)의 TD값이다. 전체절단경로거리인 TD값의 최소화는 Fig. 6에서와 같이 GA의 선별→교차→돌연변이 과정을 반복함으로써 구해진다.

Initial path: A → B → C → D → E → F → G →
H → I → J → K → L → M → N → O
i-th path: B → C → G → A → H → C → M →
N → K → O → E → F → I → J → K

Fig. 5 The cutting order of pieces presented by string

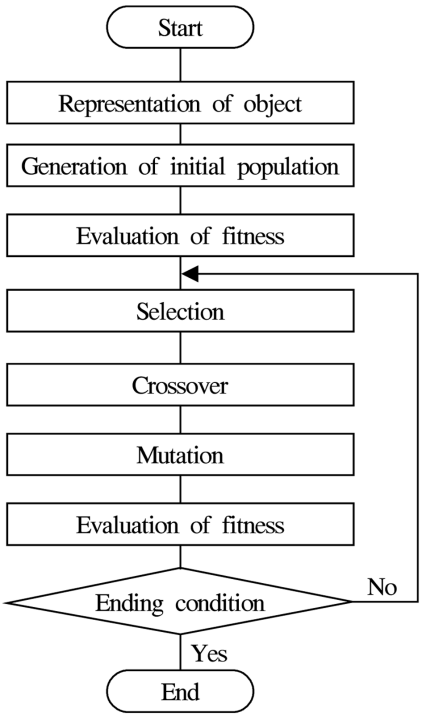

Fig. 6 Flow of GA processing

3.3 컴퓨터 모의 실험 및 분석 결과

3.2절에 기술된 방법으로 유전자 모형을 만들어 선별→교차→돌연변이를 통해서 목적함수값의 최소화에 대한 적응도 평가를 수행해본 결과 TD의 값은 세대가 거듭됨에 따라 크게 줄어들어 540세대에 이르러 TD의 감소치가 거의 0에 가까운 최소값으로 수렴하였다. 그리고 실제의 TD 값은 GA를 적용하기 전 42,680mm에서 적용 후 23,399mm로 56.2% 수준으로 감소되었다.

다음으로 절단 경로를 결정하는 3가지 방법에 대한 최단 경로의 거리는 방법 1의 경우 24,416mm, 방법 2는 23,528mm, 방법 3의 경우는 21,328mm로 나타났다. 이 수치는 모든 부재를 절단하는 절단토치경로의 총거리에서 각 절단부재도형의 둘레를 제외한 거리이다. 즉, 방법 3은 단순히 왼쪽 부재순으로 경로를 결정한 방법 1에 비해서 3,088mm가 감소하였으며 동일하게 GA를 이용한 방법 2에 비해서도 2,200mm가 감소한 결과를 보여주고 있다.

이러한 결과는 방법 1의 경우는 도형의 통과순서를 단순히 왼쪽에 위치한 순서대로 하는 것이 일반적으로 최단경로가 아니기 때문이며 방법 2의 경우는 GA를 이용하여 최적의 피어싱점의 순서 및 이에 따른 도형의 순서를 구하였지만 피어싱점이 반드시 꼭지점이 되어야 하는 조건으로 인해 최단경로를 구하는 데에 한계가 있었던 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구를통해 제안한 방법은 기존의 다른 2가지 방법들에 비해서 최단 절

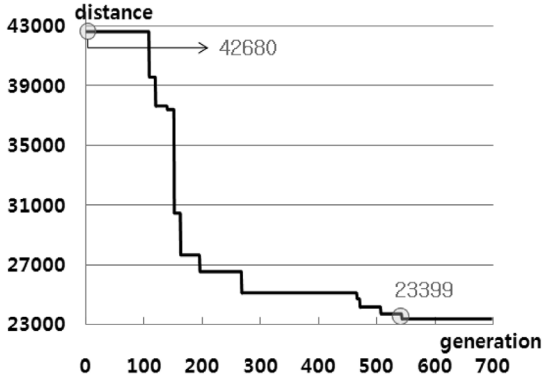

Fig. 7 Decrease of TD value according to the passage of generation

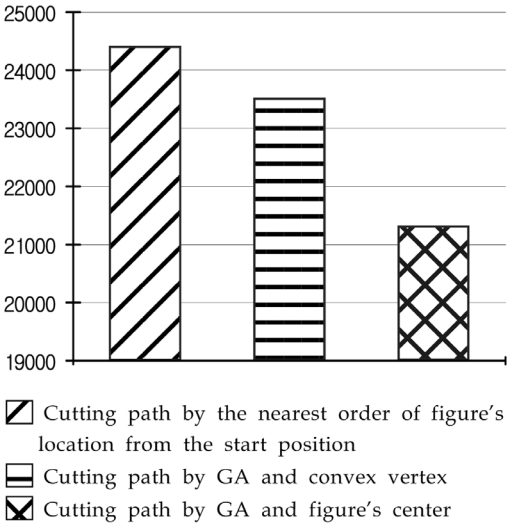

Fig. 8 Comparison of the total distance of cutting path between 3 methods

단 경로를 각각 12.7%, 9.4%를 감소시킨 효과를 보인 것으로 이 절단경로 최적화 기법이 매우 효과적임을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 절단부재도형의 도심을 이용한 GA 모델을 적용하여 절단경로거리가 최소가 되는 절단순서를 구하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법이 효율적임을 검증하기 위해 다양한 도형으로 절단되는 판재에 대해 현장에서 널리 적용되고 있는 토치 시작점에서 가까운 순서대로 배치된 부재순서로 정해지는 단순배치법과 기존의 연구에서 제안된 부재도형의 볼록꼭지점을 활용한 GA 적용법을 비교하였다. 그 결과 단순배치법에 대해서는 12.7%, 볼록꼭지점을 활용한 GA 적용법에 비해서는 9.4% 가 감소된 바 본 연구에서 제안한 부재도심을 활용한 GA 적용법이 매우 효과적임을 알 수 있었다. 절단용 CAD/CAM시스템에 본 연구에서 제시한 절단경로 최적화 루틴을 포함시킨다면 절단가공시간의 단축을 통해 생산성 향상 및 비용절감에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

방기범 (1989). 판재 소모를 최소화하는 이차원형상의 최적 배치, 서울대학교 기계설계학과 대학원 박사학위논문, pp 3-15.

이철수, 강현구, 박광렬 (1997). "CAD 데이터를 이용한 플랫바의 네스팅 및 가공데이터 생성의 자동화", 선박설계연구발표회논문집, pp 4-1~4-10.

한윤근 (2000). 임의 형상 부재의 자동 네스팅 시스템에 대한 연구, 서울대학교 조선해양공학과 박사학위본문, pp 3-9.

한국찬, 나석주 (1996). "레이져 절단공정에서의 토치 경로 생성에 관한 연구", 대한기계학회 논문집, Vol 20, No 6, pp 1827-1835.

한윤근, 장창두 (2000). "개선된 유전자 알고리즘을 이용한 부재 절단경로 최적화에 관한 연구", 대한조선학회논문집, Vol 20, No 3, pp 90-98.

박주용 (2004). "선박 곡블록의 경사 필렛 이음부의 적정 용접조건 (I)", 한국해양공학회지, Vol 18, No 6, pp 79-83.

강현진 (2005). 유전자 알고리즘을 이용한 조선 소조립 로봇용접 공정 최적화 및 3D 시뮬레이션을 통한 검증, 한국해양대학교 조선해양시스템공학과 대학원 석사학위논문, pp 17-29.

박주용, 서정진, 강현진 (2009). "유전자 알고리즘을 이용한 조선 소조립 로봇용접공정의 최적화", 대한용접접합학회지, Vol 27, No 2, pp 57-62.

기타노 히로아키, 조성배 (1996). 유전자 알고리즘, 대청정보시스템, pp 87-101.

박성수, 박해영 (2001). C++로 구현한 유전자 알고리즘, 한올출판사, pp 201-223.

Adachi, N. (1987). Framework of Mutation Model for Evolution in the Ecological Model World 'Game World', ILAS-SIS Research Report, No 74.

Applegate, D.L., Bixby, R.E., Chvátal, V. and Cook, W.J. (2006). The Traveling Salesman Problem: A Computational Study, Princeton University Press. ISBN 978-0-691-12993-8.

Gutin, G., Yeo, A. and Zverovich, A. (2002). "Traveling Salesman Should Not be Greedy: Domination Analysis of Greedy-type Heuristics for the TSP", Discrete Applied Mathematics 117.

Mitchell, J. (1999). "Guillotine Subdivisions Approximate Polygonal Subdivisions: A Simple Polynomial-time Approximation Scheme for Geometric TSP, k-MST, and Related Problems", SIAM Journal on Computing, 28.

2009년 8월 31일 원고 접수
2009년 10월 28일 심사 완료
2009년 12월 21일 게재 확정