



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

유전자 알고리즘을 이용한 부재 절단 경로 최적화

A Study on Optimization of Cutting Path Using Genetic Algorithm

지도교수 박 주 용



2009년 2월

한국해양대학교 대학원

해양시스템공학과

서 정 진

本 論 文 을 서 정 진 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위원장 : 공학박사 조 효 제 (인)

위 원 : 공학박사 박 명 규 (인)

위 원 : 공학박사 박 주 용 (인)



2009년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

목 차

List of tables	III
List of figures	IV
Abstract	VI
1. 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 기존 연구	1
1.3 연구의 목적	2
2. 선박 절단 공정	3
2.1 절단 공정	3
2.1.1 절단 공정 과정	3
2.1.2 선박용 CAD/CAM 시스템	4
3. 선박 부재 절단법	5
3.1 가스 절단법	5
3.1.1 가스 절단법의 기초	5
3.1.2 가스 절단의 응용기술	6
3.2 플라즈마 절단법	7
3.2.1 플라즈마 절단법의 기초	7
3.2.2 플라즈마 절단의 응용기술 및 장치구성	9
4. 절단 경로 최적화	12
4.1 절단 경로	12
4.1.1 절단 부재	12
4.1.2 절단 경로 최적화 방법	13
4.1.3 절단 순서 결정, 고려할 요소 및 목적 함수	16
5. GA를 이용한 절단 순서 결정	18

5.1 절단 순서의 중요성	18
5.2 절단 순서 결정 문제의 특성	18
5.3 절단 순서 결정 방법의 모색	19
5.4 GA	19
5.4.1 GA의 개요	19
5.4.2 GA의 요소	20
5.4.3 GA의 절차	23
5.4.4 스키마 정리	25
5.5 GA의 적용	28
5.5.1 표현형의 설정	28
5.5.2 초기모집단	29
5.5.3 적응도 평가	29
5.5.4 선별	29
5.5.5 교차	30
5.5.6 돌연변이	30
5.5.7 종료 조건	31
6. 절단 방향의 결정	32
7. 컴퓨터 실험 결과	33
7.1 GA를 이용한 절단 순서 결정 결과	33
7.2 GA를 이용한 절단 경로 최적화 결과	34
8. 결론	37
참고 문헌	39



List of tables

Table 5.1 Selection probability by roulette wheel	29
Table 5.2 Adjacent gene	30



List of figures

Fig. 2.1 Concept of cutting process in product line	3
Fig. 2.2 Components of an integrated CAD/CAM system for 2D cutting process	4
Fig. 3.1 Flame temperature of gas cutting	5
Fig. 3.2 Plasma arc cutting	8
Fig. 3.3 Plasma torch	10
Fig. 4.1 An example layout of plate from which 8 different parts are cut	12
Fig. 4.2 Definition of part by vertex	14
Fig. 4.3 Definition of part by sequence from left side	14
Fig. 4.4 Definition of part by center of gravity	15
Fig. 4.5 Cutting sequence determined using GA	16
Fig. 4.6 Cutting path	16
Fig. 5.1 Feature and solution of TSP	18
Fig. 5.2 General structure of GA	21
Fig. 5.3 Single point crossover and two point crossover	22
Fig. 5.4 Mutation	23
Fig. 5.5 Flow chart of GA	24
Fig. 5.6 Procedure of GA	24
Fig. 5.7 The string of solution	28
Fig. 6.1 Concept of algorithm for cutting direction	32
Fig. 7.1 Shape of parts to be cut	33
Fig. 7.2 Improvement of solution according to alternation of generations	33
Fig. 7.3 Cutting sequence determined using GA	34
Fig. 7.4 Cutting path generation by vertex	34

Fig. 7.5 Cutting path generation by sequence from left side 35
Fig. 7.6 Cutting path generation by center of gravity 35
Fig. 7.7 Comparison of cutting path according to each method 36



A Study on Optimization of Cutting Path Using Genetic Algorithm

Jeong-Jin, Seo

Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering

Graduate School of Korea Maritime University

Abstract

Nesting and cutting path optimization have a great effect on the price competition and improvement of productivity in various industries such as shipbuilding, automobile, clothing, and so on. But the theoretical approach on the development of cutting path optimization algorithm, which can be applied effectively in the shipbuilding, has not been performed enough because structural parts of a ship are so complex and various. In this study, a new approach has been suggested to solve the cutting path problem in 2-D cutting by using genetic algorithm and cutting sequence of each part by its center of gravity. The presented optimization algorithm can search the cutting sequence of parts by applying the effective neighborhood solution generating method.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

부재 최적 배치(nesting)와 절단 경로 최적화 알고리즘은 부재의 원판을 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. 그동안 많은 산업 분야에서 네스팅과 절단 경로 최적화에 주력하여 왔으나, 부재가 매우 복잡하고 다양하며 절단 공정에서의 높은 정도 관리가 요구되는 조선 산업 분야에 효율적으로 적용할 수 있는 연구는 아직 미진하며, 특히 최소 절단 시간을 구하기 위한 최적화 문제의 이론적인 접근은 거의 전무하다.

조선 공업에서 일반적으로 설계가 끝난 각 부재는 네스팅 공정을 통해 판재 위에 배치되어지면 절단 경로를 결정한 후 가공조건과 함께 수치제어 공작기계의 제어에 필요한 CNC 프로그램을 생성하게 된다. 최근 많은 상업용 CAD/CAM 패키지는 절단 경로의 생성을 제공하여 화염 절단, 플라즈마 절단 등에 사용되고 있다. 그러나 이들 대부분의 시스템에서는 작업자의 경험에 의존하는 대화식을 채택하거나 최적경로와는 무관한 CAD 데이터에 따른 순차적인 절단 경로를 생성하는 것이 일반적이다¹⁾.

본 연구에서는 조선 산업의 설계, 생산 공정 특성과 강판용 NC 절단기에 적합한 절단 경로 최적화 알고리즘을 개발함으로써 절단시간의 단축, 생산원가를 감소시켜 중소 조선소의 여건에서도 사용 가능하도록 하였다.

1.2 기존의 연구

절단경로 문제는 일반적으로 조합최적화 문제 중 하나인 순회판매원 문제(traveling salesman problem)로 정식화 될 수 있는데, TSP 문제의 정의는 N개의 도시를 가장 짧은 거리로 여행하는 경로의 순서를 찾는 것으로, 정의 자체는 매우 단순하지만 매우 어려운 전형적인 조합 최적화 문제이다. 현재까지의 절단경로에 관련된 문헌들은 최적해를 구하기보다는 경험적이거나 직관적인 휴리스틱한 정보를 사용하여 근사 해를 구하는 데에 국한되어 있는 경우가 대부분이었다. 하지만 본 연구에서의 절단 경로 생성은 절단 부재의 도심을 구하여 절단 경로 최적화 알고리즘을 개발하였다.

Manber와 Israni는 동일한 모양이나 불규칙한 모양의 부재들이 배치된 판재에서 이

들을 절단하기 위한 시작점(판재상의 한 점으로서 판재를 관통하여 뚫어야 하는 최초의 점)들의 개수를 최소화하는 문제에 대하여 그래프 이론(graph theory)을 이용한 알고리즘을 제시하였다. Raggen-bass와 Reissner는 CAD도면으로부터 스탬핑(stamping)과 레이저 절단가공을 각각 또는 동시에 수행하기 위한 토치 경로를 생성하는 전문가 시스템을 제안하였다. Jackson과 Mittal은 주어진 CAD도면으로부터 부재정보를 추출하고 각 부재의 정점(vertex)과 에지(edge) 정보를 이용하여 절단 경로를 생성하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 그러나 다각형구조인 부재만을 다룰 수 있는 단순화된 알고리즘이어서 곡선을 포함하는 불규칙한 형상으로 이루어진 일반적인 부재들의 절단가공에는 적용하기가 어렵다. 다각형 부재의 절단순서와 각 부재의 시작점의 위치를 동시에 결정할 수 있는 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)을 기반으로 한 토치경로 알고리즘이 한국찬과 나석주에 의하여 제시되었다. 제시된 알고리즘은 대규모 토치경로 문제에 대한 효과적인 해를 생성할 수 있으나 다각형 모양의 부재만을 대상으로 하고 있고 시작점도 각 부재의 정점으로 제한되어 있어서 얻어지는 경로가 최적 경로에서 벗어날 가능성이 많고 불규칙한 형상의 부재를 다루기가 힘들다는 단점이 있다.

최근 대규모 최적화 문제를 풀기 위해 모의 어닐링 법(simulated annealing), 타부서치(tabu search), 유전자 알고리즘(genetic algorithm: 이하 GA), 그리고 신경 회로망(neural networks) 등 확률론적인 방법을 채택한 알고리즘들이 많이 등장하였는데, 이들은 실행시간이 상당히 길다는 단점과 항상 유용한 해를 제공한다는 확증은 없음에도 불구하고 국지 해(local solution)를 탈출할 수 있는 가능성이 크기 때문에 전역해(global solution)를 구하는데 매우 유리하다는 이유로 선호되고 있다. 한 등은 모의 어닐링 기법을 이용하여 절단 경로 최적화 문제를 풀었으며 좋은 결과를 나타내 주었다.

1.3 연구의 목적

본 연구의 목적은 불규칙적인 부재들이 배치된 2차원 판재 위에서 절단 공정의 비용을 줄이기 위해 최소의 거리를 갖는 절단경로를 생성하는 것이다. 이를 위해 조합최적화 문제에 효과적으로 적용되고 있는 GA를 적용한 절단경로 알고리즘을 제안하였다. 또한 모의 어닐링 기법에서 많이 사용되는 이웃해 생성 법을 GA에 도입하여 빠른 수렴 시간 내에 최적 해를 구할 수 있는 TSP 알고리즘을 개발하고, 이를 이용하여 부재 절단을 위한 최적의 절단 경로를 구하는데 있다.

제 2 장 선박 절단 공정

2.1 절단 공정

2.1.1 절단 공정 과정

절단 공정의 선체의 내판 및 외판의 보강재가 될 부재를 절단하는 공정이다. 현재 사용되고 있는 대부분의 절단 가공기는 컴퓨터가 내장되어 있는 CNC 시스템화 되어있어서 설계에서 가공까지 전 과정의 자동화가 가능하다. 가공의 생산성과 정밀도를 향상시키기 위해서는 CAD 도면으로부터 공정계획(process planing)을 하고 그에 따라 절단 작업을 하기 위한 가공 토치(torch)의 경로가 결정되면 실제 가공을 위한 CNC 프로그램을 생성할 수 있는 CAD/CAM 시스템이 필수적이다²⁾. Fig 2.1은 네스팅과 절단 작업의 전 과정의 자동화 CNC 프로그램의 절차를 보여주고 있다. 현재 실용화된 대부분의 절단 가공기에서는 이러한 CAD/CAM 시스템이 설치되어 있는 PC와 연결되어 있어서 바로 NC 프로그램을 이송 받아 가공작업을 자동으로 실행하고 있다.

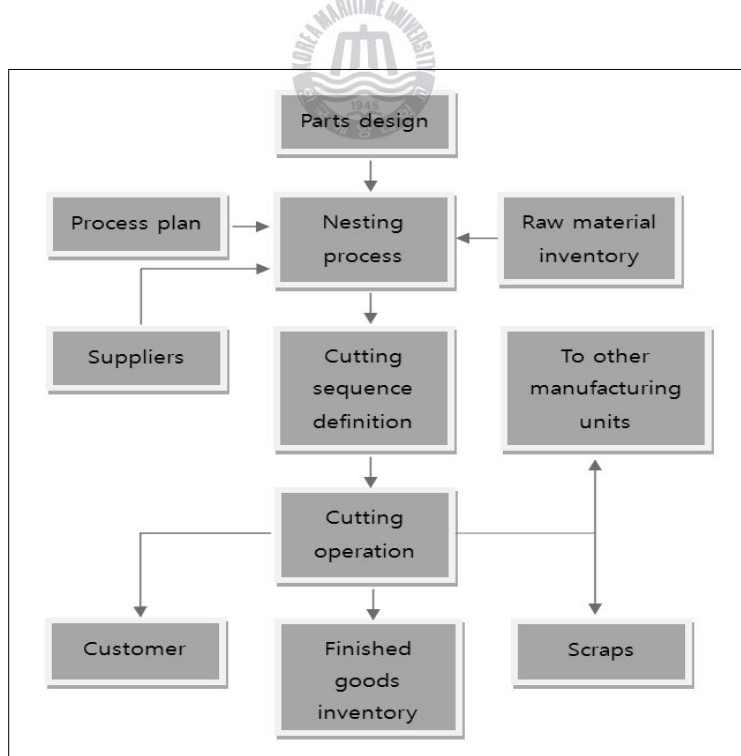


Fig. 2.1 Concept of cutting process in product line

2.1.2 선박용 CAD/CAM 시스템

CAD/CAM 시스템에서는 절단해야 할 판재의 평면도가 CAD파일 형태로 완성되는데, 이 파일로부터 절단해야 할 판재의 경로는 작업자의 경험적 직관에 전적으로 의존하는 대화식(interactive) 작업으로 결정되거나 또는 소프트웨어 내에 설치된 가공경로 결정 루틴에 의하여 자동으로 결정될 수도 있다²⁾. 그러나 대부분의 기존 자동경로 결정루틴들은 절단 경로결정 문제가 수리적으로 난제에 속하기 때문에, 작업효율의 극대화한 비용 최소화의 관점을 고려하지 않고 CAD 파일을 읽어서 단순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우가 일반적이다. 이렇게 결정된 가공경로는 절단시간의 증가, 재료비과다 지출, 작업비용의 증가 등 생산원가를 증가시키는 원인으로 작용한다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2.2에서 보는바와 같이 많은 공정 과정 중에서 절단 부재 형상과 절단 경로의 최적화를 고려하였다.

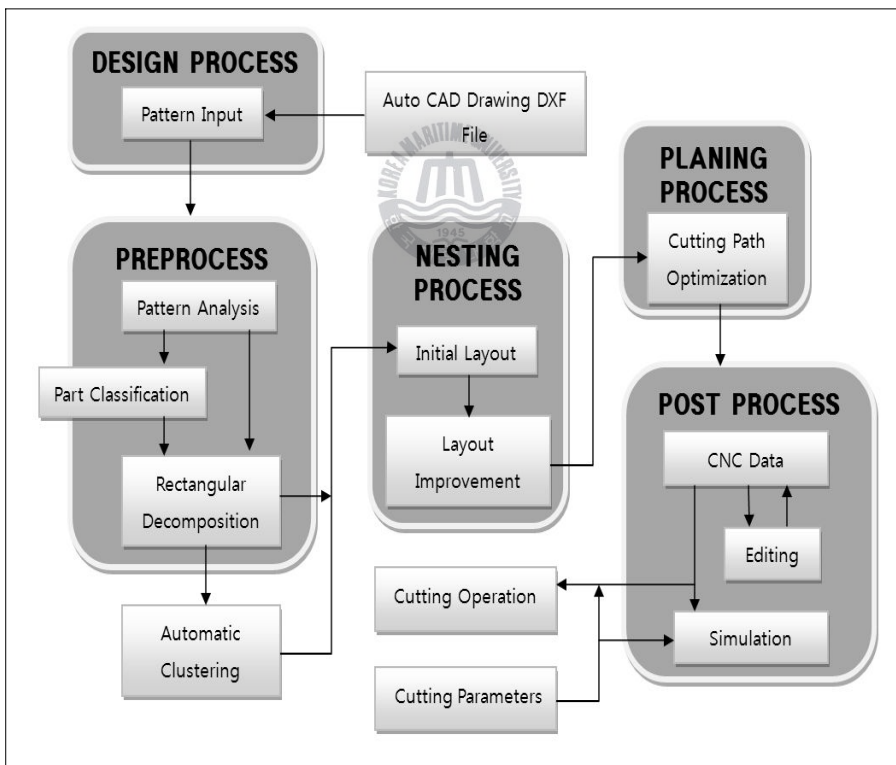


Fig. 2.2 Components of an integrated CAD/CAM system for 2D cutting process

제 3 장 선박 부재 절단법

3.1 가스 절단법

3.1.1 가스 절단법의 기초

(1) 가스 절단법의 원리

가스 절단은 Fig. 3.1과 같이 순수한 산소와 가열된 금속의 화학적인 반응(산화)에 의하여 발생된 열이 그 금속을 녹여 내어 절단이 이루어지기 때문에, 연료가스 불꽃으로 피 절단재를 반응에 필요한 온도 이상으로 유지시키는 것이 필요하다. 산화반응에 문제가 있을 경우에는 화학적인 분말이나 금속분말을 절단 산소에 첨가함으로써 절단력을 증가시키기도 한다. 그러나 실제의 절단은 고압산소의 기류로 이루어지며, 연료가스 불꽃은 산화를 일으키기 위하여 금속을 가열시켜 주는 역할을 한다.

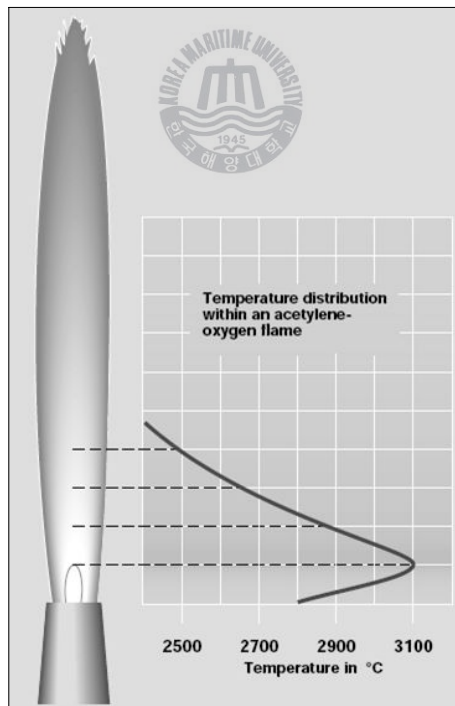


Fig. 3.1 Flame temperature of gas cutting

가스절단에는 각각의 절단 특성에 적합한 여러 가지 토치를 사용하며, 절단부에 공급되는 순도 99.5% 이상의 고 순도 산소와 절단면과의 사이에서 발생하는 고밀도의 화학 반응열을 이용하여 모재를 용융시키고, 고 유속, 고압의 산소가 이들 용융금속을 토치 반대편 방향으로 드래그(drag)라인을 따라 붙여 내게 됨으로써 절단이 이루어진다. 또한 이러한 가스 절단법의 특성에 따라 대단히 두꺼운 부재도 절단할 수 있으며, 필요에 따라서는 여러 장을 겹쳐서 절단할 수도 있다.

(2) 가스 절단법의 적용조건

가스 절단 법은 매우 고전적인 절단방법이지만, 플라즈마, 레이저 절단 등 새로운 절단법이 상당히 보급된 지금에도 강재 절단의 주된 방법으로 사용되고 있는 유용한 절단법이다. 이러한 가스 절단 법은 장비가격이 저렴하고, 사용이 간편하며, 철과 산소의 반응에서 나오는 직접적인 에너지를 이용하고 있기 때문에 에너지의 사용효율이 높다는 장점이 있다. 그러나 저탄소강 및 Ti과 같은 극히 일부의 재료에서만 제한되어 사용되며, 사용범위를 확대하기 위해서는 철분이나 화학분말을 연속적으로 절단부에 공급하는 분말 절단 법을 적용해야 한다. 또 절단 시작점을 발화온도까지 예열해야 하고, 수 mm 이하의 얇은 판은 적용이 곤란하며, 절단속도가 비교적 늦기 때문에 열 변형이 크다. 이러한 이유로 조선에서 사용하는 큰 부재를 정밀 절단할 경우에는, 변형을 저감시키기 위해 브리지(bridge) 절단과 같은 방법을 사용하기도 한다.

3.1.2 가스 절단의 응용기술

(1) 수동 절단기 및 반자동 절단기

수동 절단기는 사람의 손에 의해 자유롭게 절단을 수행하는 기구로써, 장비의 특성상 정밀절단이나 장시간 연속적인 절단이 곤란하고, 간이절단을 하거나 반자동 및 자동절단 장비를 사용할 수 없는 부분에 주로 사용된다.

또한 수동절단의 이러한 단점을 보완하여 작업자가 자유롭게 쥐고 움직일 수 있을 정도의 무게를 갖는 전동식 반자동 절단기가 개발되었다. 이 절단기는 모터에 의해 구동되기 때문에 절단속도가 일정하고, 수동 절단기에서는 얻을 수 없는 양질의 절단면을 얻을 수 있으며, 비교적 긴 시간의 연속작업이 가능하다. 따라서 재료를 이동하기보다는 절단기를 이동하는 것이 유리할 경우에는 이와 같은 전동식 반자동 절단기가 사용되며, 여러 가지 목적에 따라 다양한 종류가 있다.

(2) 고정식 자동 절단기

고정식 자동 절단기는 절단기 자체가 정 위치에 고정되어 있거나, 주행레일에 의해 한정된 범위를 종횡으로 움직이며 형상을 절단하는 장치로써, 동일한 형상으로 여러 개를 동시에 절단하거나, 수동으로는 절단하기 어려운 복잡한 형상을 절단하는데 사용된다. 이 고정식 절단기에는 도면을 광학적으로 판독하여 절단하는 아이 트레이서(eye tracer)방식과, 수치제어방식에 의해 입력된 자료를 판독하여 절단을 행하는 NC방식 및 직선부재를 전문적으로 절단하기 위한 플레임 플레이너(flame planer) 등이 있다. NC 절단기는 절단형상, 절단 시작점, 절단조건 및 절단방향 등 절단에 필요한 모든 정보를 종이테이프 혹은 플로피 디스크와 같은 정보매체에 수록하고, NC 장치에서 이 정보를 읽어 들임으로써 절단기를 제어하여 자동적으로 절단을 행하며, 장착된 장치에 따라 그루브 각도의 설정, 구멍 뚫기, 토치 높이의 설정 등 모든 것이 자동으로 수행되기도 한다.

(3) 수중 가스 절단기

조선이나 해양구조물 등의 제작, 수리, 해체작업을 위해서는 수중 가스 절단법이 사용되기도 한다. 이 방법의 기본적인 원리는 공기 중에서 하는 가스절단과 큰 차이는 없지만, 수중 가스절단 토치의 구조는 일반 가스절단 토치의 둘레에 공기커튼을 만들기 위한 장치가 추가되어 있다. 이 공기커튼의 역할은 수중 절단 시 절단면에 물이 닿는 것을 막아주고, 예열불꽃을 안정시켜서 절단이 원활하게 이루어 질 수 있도록 하는 것이다.

3.2 플라즈마 절단법

3.2.1 플라즈마 절단의 기초

플라즈마 절단은 Fig. 3.2와 같이 금속노즐로 아크를 가늘게 압축하여 고온, 고 유속, 고밀도의 열원을 절단부에 집중적으로 투사함으로써 피 절단재를 절단하는 방법이다. 따라서 플라즈마 절단 법은 분류상으로 전기 에너지를 이용한 아크 절단의 범주에 속한다.

플라즈마 절단은 토치의 전극과 절단재 사이에서 발생하는 플라즈마 아크를 수랭식의 노즐과 가스로 강하게 구속하고, 절단재를 국부적으로 용융시키면서 지향성이 강한 플라즈마로 용융된 금속을 제거하여 절단하는 방법이다. 노즐을 전극으로 하는 플라즈

마 제트 절단법도 있지만, 기본적인 원리는 동일하다. 절단 재료 측에 전극점이 형성되고, 전극의 발생 열이 직접 재료의 용융절단 에너지로 이용되기 때문에 에너지 효율이 높다. 따라서 주로 금속재료의 절단에는 플라즈마 아크 방식이 많이 사용되며, 비금속 재료의 절단에는 플라즈마 제트 방식이 사용된다.

작동가스로는 Al, 스테인리스강 등 비철금속이나 고합금강의 절단 시에는 Ar과 H₂의 혼합 가스나 Ar, H₂, N₂의 혼합가스가 사용되고 있으며, 일반강의 절단에는 공기나 산소가 많이 사용된다. 그 외에 N₂, H₂ 등도 경우에 따라 많이 사용되고 있지만, 이러한 작동 가스는 절단효율, 품질 및 소요경비에 크게 영향을 미치기 때문에 적절한 선택이 필요하다. 또한 활성 가스는 토치의 전극을 소모시키기 때문에, 소모율을 최소화시키고 사용 수명을 최대로 연장하기 위하여 가스의 종류 및 공급방법이 다양하게 연구되고 있다.

절단토치의 구조는 작동가스의 종류에 따라 상이하다. 텅스텐 봉을 전극으로 사용하는 경우는 Ar + H₂ 및 N₂를 작동가스로 하고, 선회류(旋回流) 방식과 축류(軸流)방식의 어느 쪽도 사용할 수 있으나, 통상 Ar + H₂용으로는 축류방식을 많이 사용한다. 그러나 공기와 산소를 작동가스로 하는 경우에는, 노즐로서 Cu에 Hf이나 Zr을 삽입한 것을 사용하며, 이때는 음극점을 고정시키기 위해 선회류 방식이 사용된다.

이와 같은 플라즈마 절단은 가스 절단에 비해, 피 절단재의 두께가 수 mm에서 30mm 정도까지 비교적 얇은 판을 열변형도 적고, 고속으로 절단할 수 있다. 또 절단 시 예열이 필요 없기 때문에 작업성이 좋다. 그러나 장치가 비싸고, 절단 흠이 비교적 넓으며, 절단면에 경사각이 생기는 문제점이 있기 때문에 실용적으로 30mm 이상의 두꺼운 부재에 대한 절단은 특수한 경우에만 한정하여 적용하는 것이 좋다. 이 외에도 절단 시 소음과 분진의 발생이 심하고, 소모품의 수명이 짧다는 단점도 있다.

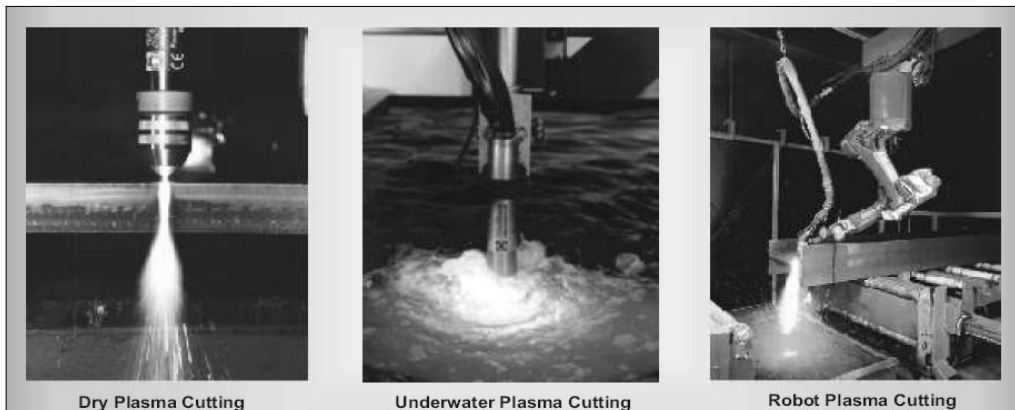


Fig. 3.2 Plasma arc cutting

3.2.2 플라즈마 절단의 응용기술 및 장치구성

(1) 절단장치

플라즈마 절단기의 기본적인 구성은 절단기 본체 외에 절단정반, 가스 공급 장치, 냉각장치, 주행 장치, 집진장치 등으로 되어 있고, 자동절단에는 로봇과 NC장치 등이 조합되어 사용되기도 한다. 절단기의 본체는 플라즈마 아크 발생용 전원과 제어장치, 아크 기동장치(고주파 발생장치와 파일릿 아크회로) 및 절단토치로 구성되어 있지만, 시중에서 판매되는 장치는 대부분 토치를 제외하고는 모두 하나의 케이스에 내장된 일체화 방식이 많다.

1) 절단용 전원

플라즈마 아크 절단용 전원으로는 통상 전극이 마이너스(-)인 직류전원이 사용되며, 그 특성은 GTAW 전원과 같은 정 전류 특성을 가진다. 그러나 용접용 전원에 비하여 부하시의 전압이 높고, 무부하시 전압도 200~400V로 높게 설정되어 있다. 출력전류의 제어방식은 100A 이하의 소 용량에서는 트랜지스터 인버터 제어가 주류를 이루고, 100A 이상에서는 싸이리스터에 의한 위상제어 방식이 많이 사용된다.

플라즈마 아크의 기동방식은 우선 전극과 노즐 사이에 고주파 불꽃방전을 발생시키고, 이어서 파일릿 아크를 일으키며, 그 다음에 플라즈마 흐름의 도움으로 전극과 모재 간에 아크를 이행 및 이를 성장시킨다.

2) 절단토치

Fig. 3.3은 토치의 모습이며 토치는 냉각방식에 따라 대용량의 수랭식과 소 용량의 공랭식으로 분류되며, 가장 주요한 부분은 전극과 노즐의 형상 및 플라즈마 가스의 공급방식이다. Ar을 주성분으로 하는 가스의 경우, 끝단을 날카롭게 가공한 텅스텐 봉을 전극으로 사용하고, 그 주위를 밀폐하여 축류가스를 공급하는 형태가 대부분이다. N₂를 사용하는 경우는 텅스텐 봉의 끝단이 심하게 마모되기 때문에 수냉되는 Cu봉에 텅스텐을 삽입한 전극을 사용한다. 또한 그 주위에 가스를 선회시킴으로써 전극의 중심에 아크를 집중시킨다. 한편 공기 및 산소를 사용하는 경우에는 텅스텐 봉이 산화되기 쉽다. 따라서 전극의 소모를 최소화시키기 위하여 산화 시 용점이 상승하는 Zr이나 Hf를 삽입한 전극을 사용한다. 또 노즐의 측면 구멍 또는 노즐의 외측으로부터 보조 가스나 물을 공급함으로써, 플라즈마 아크의 형태와 절단 부 품질을 개선시키기도 한다.

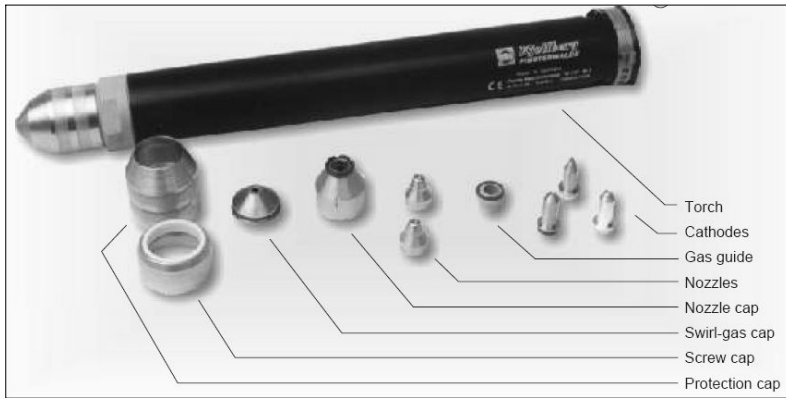


Fig. 3.3 Plasma torch

(2) 전극 및 노즐의 내구성

플라즈마 절단에서 절단품질을 유지하기 위해 유의하여야 할 사항 중의 하나가 전극과 노즐의 내구성 문제이다. 특히 최근 적용이 확대되고 있는 O_2 및 공기 플라즈마의 경우, 전극의 소모를 억제하기 위해서는 전극의 구조와 재질 등의 선택이 매우 중요하며, 아크가 발생하는 누적시간이 동일한 경우에는 펄스의 주기가 짧고 스타트 횟수가 많으면 전극의 소모가 심해진다.

전극은 아크가 기동되는 시점이 아크가 정상적으로 발생될 때보다 소모되기 쉽다. 또한 노즐의 내구성은 돌발적으로 발생하는 시리즈 아크에 의한 손상이 크기 때문에 정량적으로 평가하는 것은 곤란하며, 노즐의 형상과 지름에 적합한 전류, 가스유량 등의 관리가 필요하다.

(3) 작업환경과 안전성

플라즈마 절단에서는 피 절단 금속의 증발로 흠(fume)이 발생하는 것과 같이 주위 공기와의 반응에 의해 NO_x 와 같은 유독가스가 발생되기 때문에, 특히 대전류로 절단하는 경우에는 이들 가스와 분진을 처리할 수 있는 배연장치 혹은 집진장치가 반드시 필요하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것 중의 하나가 수중 플라즈마 절단이다. 이 방법 플라즈마 아크의 주위에 에어커튼을 치고, 물이 직접 아크에 닿지 않게 한 채로 절단한다.

일반적으로 절단 시에는 전극과 모재간의 전압이 용접의 부하전압에 비하여 높지만, 전극 자체는 노출되어 있지 않기 때문에 작업 중의 위험은 적다. 그러나 노즐 및 전극의 교환 시 부주의로 전원이 투입되면, 200~400V의 무 부하 전압이 통전되기 때문에 대단히 위험하다.

절단시의 소음은 통상 대전류일수록 크며, 경우에 따라 100~110dB 정도가 넘기도 하지만, 수중 플라즈마 절단인 경우는 90~100dB 정도로 소음이 감소한다.



최적으로 가공하는 경로를 구할 수 있는 알고리즘의 개발되면 하나의 일차 부재 내에 있는 이차 부재들을 가공하기 위한 최적 경로도 역시 동일한 알고리즘을 응용하여 구할 수 있기 때문이다.

4.1.2 절단 경로 최적화 방법

일차 부재의 최적 경로는 그 윤곽선상에 있는 임의의 한 점을 지나게 되는데 이 점을 시작점으로 하여 폐곡선에 따라 한 바퀴 돌아오면 절단이 이루어진다. 이러한 과정을 모든 부재에 대하여 반복 수행하게 되면 총 절단경로는 각 부재의 윤곽선의 길이와 부재간의 이동거리의 합으로 표현된다. 이때 부재들의 윤곽선 길이는 부재의 모양이 주어지면 고정된 값이기 때문에 결국 최적경로는 부재간의 이동거리의 합을 최소화하는 문제가 된다. 절단 경로 최적화 문제는 조합 최적화 문제로 널리 알려진 TSP의 특수한 경우로 정식화되지만 TSP와는 달리 여러 가지 제한 조건들을 가지고 있다. TSP에서는 방문 도시의 위치가 고정되어 있으나 절단 경로 생성의 경우에는 각 부재의 위치가 윤곽선 상의 한 점으로서 가변적이라는 것이다. 이 문제에 대한 하나의 가능해(feasible solution)는 부재들의 경로와 각 부재를 절단하기 위한 절단 시작점(piercing points)들로 정의된다. 따라서 절단 경로 문제는 이러한 방문 위치의 가변성을 고려하여 일반적인 TSP를 확장한 형태로서 정형화될 수 있다⁸⁾.

본 연구에서는 불규칙적인 부재들이 배치되어 있는 2차원 부재 위에서 최소의 거리를 가지는 절단 경로를 생성하기 위해 GA를 도입하여 최소 경로를 구하였다. GA의 최종해의 질(quality) 및 수렴 속도는 유전자 조작 함수 및 조작 발생률 등의 선택에 따라 큰 영향을 받기 때문에 우수한 결과를 얻기 위해서는 문제의 적용대상에 따라 적절한 유전자 조작 함수의 선택이 필요하다.

효과적인 유전자 조작 함수를 도입하기 위하여 Lin에 의해 제시되어 모의 어닐링을 이용한 TSP문제에서 많이 사용되는 이웃해(neighborhood solution) 생성 방법을 GA의 유전자 조작 함수로 도입하였다.

본 연구에서 다루는 부재의 기본 형상은 다각형(polygon)이다. 부재의 절단방향은 모두 반시계 방향으로 가정하였다. 기존의 연구에서는 절단경로의 문제를 단순화시키기 위해 피어싱점을 고정시켜 토치 경로를 결정하는 연구들이 많았으나 본 연구에서는 도심의 총 이동 거리로 최적화하여 절단 순서를 결정한 다음 절단하기 때문에 부재의 모든 convex vertex들이 피어싱점으로 채택될 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 절단 경로를 최적화 시키는 방법으로 3가지의 경우를 비교, 검토하였다.

첫 번째로, 기존의 연구에서 이용한 판재위의 절단해야 할 도형의 Fig. 4.2와 같이 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 뒤 GA를 적용한 경우이다.

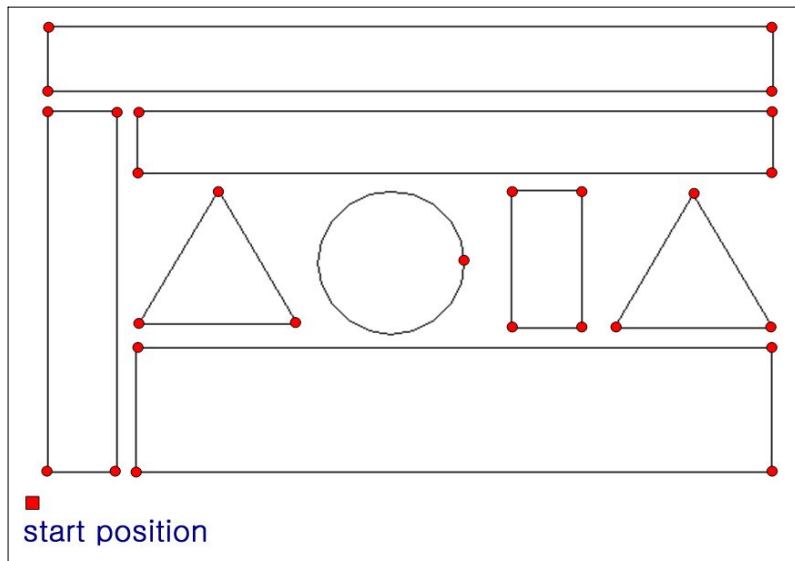


Fig. 4.2 Definition of part by vertex

두 번째로, CAD/CAM 시스템에서 사용되는 CAD 파일을 읽어서 Fig. 4.3과 같이 단 순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우이다.

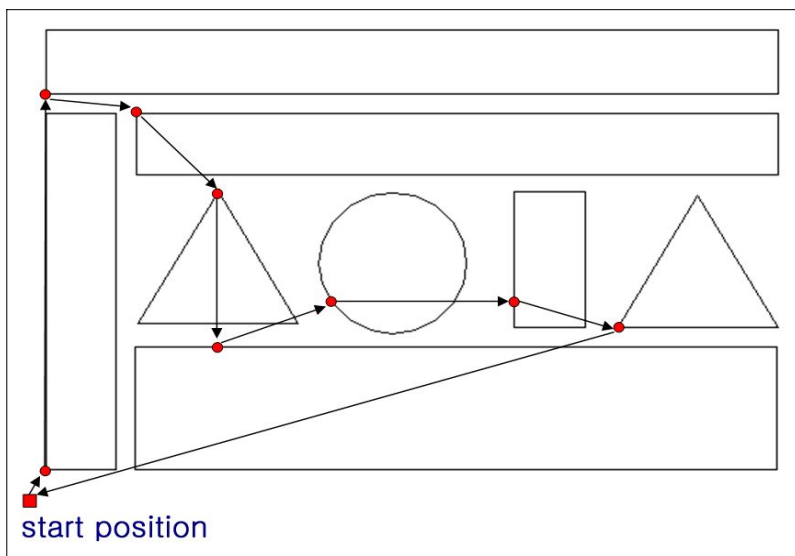


Fig. 4.3 Definition of part by sequence from left side

마지막으로 본 연구에서 사용한 방법으로 판재위의 절단해야 할 각 도형의 중심점으로 GA로 절단 순서를 결정한 다음 절단 방향을 고려하여 최적의 절단 경로를 찾는 방법이다. 본 연구에서의 경로 최적화 기법의 순서는 다음과 같다.

- 1) 크기와 모양이 다른 블록 다각형 형상이 주어진다.
- 2) 각 도형의 중심점(무게중심)을 구한다.(Fig. 4.4)
- 3) 각 도형들의 중심점을 가지고 GA를 적용한다.
- 4) GA에 의해 처리된 각 형상의 절단 순서에 따라 절단 방향을 결정한 다음 각 도형의 피어싱점으로 이동한다.(Fig. 4.5)
- 5) 최적 절단 경로를 결정한다.(Fig. 4.6)

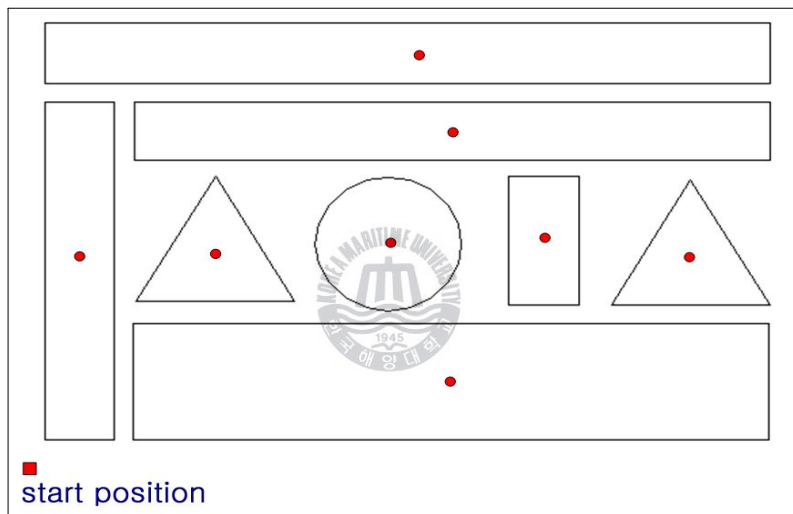


Fig. 4.4 Definition of part by center of gravity

로만 최적화 과정을 수행할 수 있다.

본 연구에서 사용된 최적 절단순서를 생성하기 위한 목적함수는 판재 위의 절단해야 할 도형 중심점의 총 길이이고 설계변수는 부재별 중심점 및 중심점들의 배치순서이다. 도형간의 두 중심점 $p(i)$ 와 $p(i)+1$ 사이의 경로의 합이 짧을수록 최적의 해에 접근하게 되는데, 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$CD = \sum_i^{n-1} \sqrt{(xp_i - xp_{i+1})^2 + (yp_i - yp_{i+1})^2}$$

여기서 CD는 중심점간의 총 거리이고, (xp_i, xp_{i+1}) , (yp_i, yp_{i+1}) 은 i 번째와 $i+1$ 번째 중심점의 x , y 좌표를 나타낸다.

Fig. 4.4는 임의의 선택된 판재 위의 중심점으로 절단 순서 탐색하는 방법에 대해 도시적으로 보여주고 있다. 즉 중심점의 최단 거리가 되는 경우를 구해 절단해야 할 도형의 작업 순서를 결정한 후 절단 경로를 찾게 된다.

본 연구에서 적용된 부재의 형상은 선분의 끝점이 반시계 방향으로 연결된 다각형으로 정의되어 폐곡선을 이루고 있어 한 번의 피어싱으로 하나의 윤곽절단을 하는 방법을 이용하고 있다. 이밖에도 현실적으로 고려되어야 할 공정상의 구속조건들이 존재하고 있다. 판재의 최초 피어싱점에서 과도한 입열을 방지하기 위해 일반적으로 lead-in 절단을 사용하게 된다. 이는 절단 토치가 부재의 윤곽상의 시작점에서 약간 떨어진 거리에서 피어싱점을 잡아 서서히 재료를 제거하면서 윤곽으로 접근하는 방법이다. 또한 절단 폭(kerf-width)의 위치와 절단품질의 영향을 고려한 절단방향을 생각할 수가 있다. 본 연구에서는 이러한 열 영향에 대한 고려는 생략하고 절단 순서를 결정할 때 중심점의 총 길이만을 목적함수에 포함시켰다.

제 5 장 GA를 이용한 절단 순서 결정

5.1 절단 순서의 중요성

절단 순서를 결정할 때 많은 부재가 존재하며 어떠한 순서로 처리 할 것인지 결정해야 한다. 판재위의 절단할 도형의 개수가 적으면 어떠한 순서로 작업을 하는 것이 시간을 줄일 수 있는 효율적인 경로인지 판단하기 쉽지만, 그 수가 많으면 경우의 수가 커지기 때문에 모든 경우를 고려하여 순서를 결정하는 일은 많은 시간과 계산 과정을 요구한다. 또한 자동화를 위해서는 도형의 개수가 많고 적음에 상관없이 절단 순서 설정을 위한 일정한 규칙이나 알고리즘이 필요하다.

절단 순서는 작업 시간과 직결되는 요소이므로 본 연구에서는 각 도형의 중심점의 길이를 짧게 하는 경로를 찾아 작업 시간을 크게 줄일 수 있게 하였다.

5.2 절단 순서 결정 문제의 특성

각 도형의 절단 순서를 결정하는 일은 인공지능의 대표적 문제인 TSP(traveling salesman problem)로 간주 할 수 있다. TSP는 순회판매원 문제라고도 하며 n 개의 도시 사이의 거리가 주어질 때, 어떤 도시를 출발하여 방문 할 도시를 단 한번만 방문하고 원래의 출발지로 되돌아오는 최단 길이의 여행을 찾는 것이다. 즉 도시들의 가능한 방문의 모든 순열(permutation)이 주어질 때 각 도시와 다음 도시와의 유클리드 거리(uclidean distance)의 합이 최소가 되는 여행을 선택하는 것이다. 따라서 TSP의 탐색 공간은 가능한 모든 여행의 집합 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 이 되고 그 크기는 $n!$ 이며 이 중에서 여행거리(경비)가 가장 짧은 것이 해가 된다.

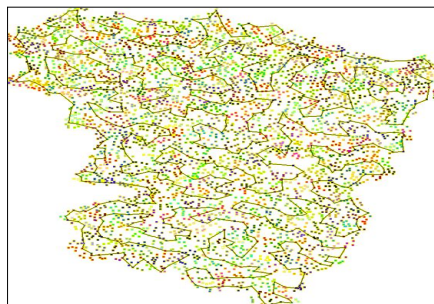


Fig. 5.1 Feature and solution of TSP

5.3 작업 순서 결정 방법의 모색

절단 순서를 결정하는 일은 TSP문제로 간주하였고, 이 문제를 어떤 방법으로 푸느냐는 문제가 남았다. 판재위의 절단할 도형의 개수가 10개 정도만 되어도 작업 순서의 경우의 수는 $10! = 3628800$ 이다. 경우의 수가 너무 많기 때문에 모든 경우를 고려하는 방법은 효율적이지 못하다. 즉 이것은 어떠한 최적화 기법을 사용할 것인가라는 문제와 같다.

기존의 대표적인 최적화 기법으로는 목적함수의 도함수를 이용하는 gradient 기법이 있다. 그러나 이것은 설계변수가 많거나 목적함수가 복잡한 경우 최적 해를 찾는 데 어려움이 있으며, 지역 해(local optimum)에 빠질 가능성이 크다. 그러나 GA는 기존의 최적화 방법과 달리 도함수의 정보가 필요하지 않으며, 지역 해에 빠질 가능성이 낮고 해에 대한 신뢰성이 높기 때문에 많은 최적화 문제에 사용되고 있다.

5.4 GA

5.4.1 GA의 개요



자연계 생물들은 그들의 유전자를 보존하고 생존을 지키기 위해 자손을 생산하고 끊임없이 환경과 투쟁하면 적응해 가는 일련의 과정은 주어진 환경에서 최선이라는 사실에 입각하여, Holland는 유전학과 진화원리를 컴퓨터 알고리즘과 결합시키는 가능성을 연구하게 되었다. 오랜 노력 끝에 그는 이진 스트링의 개체집단 위에서 모의진화(simulated evolution)를 일으켜 효율적으로 최적 해를 탐색하는 알고리즘을 고안해 내고 그의 저서 “Adaptation in Natural and Artificial Systems”에 발표하게 되었는데 이것이 최초의 GA이다.

GA는 생물의 진화과정, 즉 찰스 다윈(Charles Darwin)이 ‘種의 기원’에서 제시한 두 부모의 유전자로부터 그들 자손의 유전자를 형성하는 유성생식과 자연환경에서 일어나는 진화원리를 흉내 내고 있다. 이러한 과정이 문제 해결에 이용될 때, 기본적으로 요구되는 전제는 인위적인 진화현상을 일으킬 초기 집단을 구성하는 것이다. 집단은 문제 공간상에서 잠정적인 해를 뜻하는 다수의 개체로 형성되고 이들은 유전자의 역할을 반영하도록 흔히 비트 스트링 형태로 표현된다. 이 집단은 유성생식과 진화원리를 모방한 유전 연산자에 의해 점진적으로 개선되게 된다. 각 개체는 집단의 구성원으

로서 더 적합하고 덜 적합한 어떤 특징을 가지고 있기 때문에 적합도 함수에 의해 계량화될 수 있다. 따라서 적합도 값이 큰 개체들은 더 많이 선택된다. 선택된 개체들 간의 유전정보가 교환되고, 무작위적인 유전자 변경이 도입됨으로써 다음 세대의 집단이 형성된다.

GA의 가장 큰 특징은 뉴턴법과 같은 고전적 최적화기법이나 타부서치(tabu search), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)과 같은 이웃해 탐색기법이 하나의 해를 이용하는 데 반하여, GA는 복수 개의 잠재 해들로 이루어진 해야 집단(population)을 운용한다는 것이다. 이러한 해 집단에 자연선택과 유전법칙의 메커니즘을 적용하여 세대(generation)를 진행시키면서 해 공간을 탐색해 간다. GA는 좋은 해의 이용능력과 해 공간의 탐색능력이 적절히 조화되어야 한다. 좋은 해의 이용만을 강조하면 조기 수렴하여 부분 최적에 빠질 수 있고 해 공간의 탐색만을 임의탐색에 가까워 좋은 해를 찾아가지 못하게 된다. GA는 매 세대마다 모집단을 운용함으로써 내재된 병렬성(parallelism)을 갖는 기법이다⁹⁾.

5.4.2 GA의 요소

GA는 문제의 잠재 해를 표현한 개체들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 모집단은 매 세대마다 일정수의 개체를 유지하고 매 세대에서 각 개체의 적응도(fitness)를 평가하여 이에 따라 다음 세대에 생존할 개체들을 확률적으로 선별한다. 선별된 개체들 중 일부의 개체들이 임의로 짝을 지어 교배하여 자손을 생성한다. 이 때 교차(crossover)에 의해 부모의 유전자가 자손에게 상속되고 돌연변이가 일어날 수 있다. 자손은 부모로부터 좋은 유전형질을 상속받는다 가정함으로써 다음 세대의 잠재해들은 평균적으로 전 세대보다 더 좋아진다고 본다. 이러한 진화과정은 종료조건을 만족할 때까지 반복한다.

GA에서는 생물학의 용어가 자주 사용된다. 문제의 잠재 해를 표현하는 개체는 스트링(string) 또는 염색체(chromosome)라 부르며, 각 개체를 이루는 단위를 유전자라 부른다. 어떤 형질을 갖는 유전자가 놓이는 위치를 염색체 座(locos)라 하고, 각 유전자는 형질을 특징짓는 여러 상태를 가질 수 있는데 이를 대립유전자(allele)라 부른다. 유전자로 이루어진 염색체의 표현을 유전자형(genotype)이라 하고, 눈과 머리 색깔 등 보이는 생물의 체질(즉, 염색체가 의미하는 것)을 표현형(phenotype)이라 부른다. GA의 요소로는 표현, 초기 모집단, 적응도 평가, 선별, 유전연산자, 유전 파라미터 등이 있다¹⁵⁾.

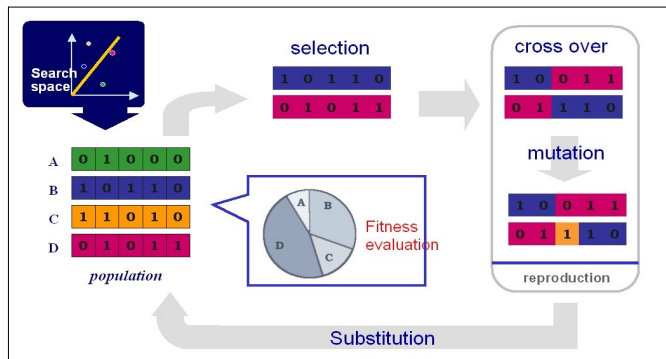


Fig. 5.2 General structure of GA

(1) 표현

GA를 구축하는 첫 단계로 문제의 잠재 해를 유전적 표현, 즉 개체로 표현하여야 한다. 이 유전적 표현은 GA의 다른 절차(적응도 평가와 유전연산자 적용 등)에 영향을 주므로 문제의 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다. 대표적으로 이진코딩법이 있으며 유전 연산자들은 이진 스트링을 기반으로 부호 공간상에서 연산되며, 개체 능력을 평가하는 목적함수에 적용 및 적합도 계산에서는 파라미터를 기반으로 해 공간에서 이루어진다. 그 외에 순열 표현, 그룹번호 표현 등이 있다.

(2) 초기모집단

GA는 개체들로 구성된 모집단을 운영하므로 초기에 모집단이 생성되어야 한다. 초기의 모집단을 만드는 방법으로는 문제의 특성을 이용한 기존의 발견적 방법이나, 임의생성방법이 있다. 발견적 기법에 의한 초기해보다는 임의생성방법을 흔히 사용한다. 왜냐하면 발견적 기법에 의해 생성된 해들은 초기 수렴하여 해공간의 다양한 탐색을 방해하는 경향이 있기 때문이다.

(3) 적응도 평가

적응도는 자연개체의 생존능력을 나타낸다. 최적화문제에서 적응도는 목적함수에 의해 측정된다. 적응도를 평가하는 함수로는 최적화문제의 목적함수 자체를 흔히 사용한다. 평가함수로 목적함수를 사용하는 경우, 개체 v 의 평가함수 값 $eval(v)=f(X)$ 가 된다. 여기서 x 는 개체 v 에 대응하는 변수 값이다. 그러나 평가함수로 목적함수를 사용하지 않고, 좋은 해를 유도할 수 있는 유전자 구조를 갖는 개체의 적응도가 높게 평가될 수 있는 함수를 사용하기도 한다.

(4) 선별

선별은 적자생존의 자연법칙에 기초하여, 즉 환경에 대한 적응도에 의해 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 과정이다. GA에서 선별은 모집단의 다양성과 선별압력이 조화를 이룰 수 있어야 한다. 강한 선별압력은 모집단의 개체들을 조기 수렴시키는 경향을 갖는다. 즉 모집단의 다양성을 약화시켜, 해공간의 다양한 탐색을 막는 결과를 가져온다. 한편, 약한 선별압력은 모집단의 다양성은 유지되나, 좋은 해를 효율적으로 탐색하지 못하여, 임의탐색(random search)과 비슷한 결과를 초래할 수 있다. 선별방법은 확률바퀴(roulette wheel), 순위선별(ranking selection), 토너먼트 선별(tournament selection) 등 여러 방법들이 있다.

(5) 유전 연산자

유전연산자는 교차와 돌연변이로 나누어진다. 교차는 두 부모가 갖는 유전자를 조합하여 자손을 생산하는 과정이다. 교차는 좋은 해를 이용하는 역할을 한다. 이를 위해서 교차는 부모의 좋은 형질이 가능한 파괴되지 않고 자손에 상속될 수 있어야 한다.

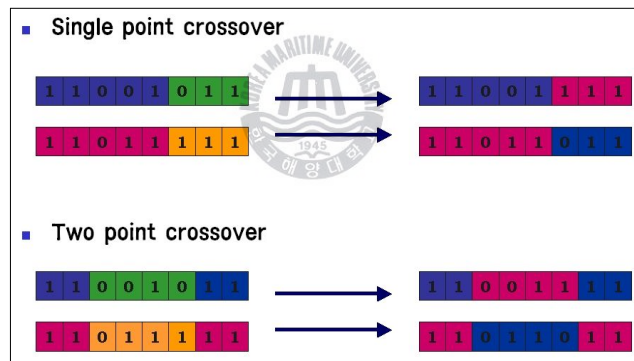


Fig. 5.3 Single point crossover and two point crossover

돌연변이는 개체에 새로운 유전자가 생성되는 것으로, 한 개체에서 아주 작은 수의 유전자를 임의로 변화시키는 과정이다. GA에서 돌연변이는 해 공간을 다양하게 탐색하는 역할을 한다. 돌연변이는 완전히 새로운 유전자를 생성하기 때문에 이를 ‘진화의 연료’라 하기도 한다. 돌연변이는 대부분 해로운 것이다. 해로운 돌연변이는 자손들의 적응을 감퇴시켜 자연선별에서 제거된다. 그러나 때때로 유익한 돌연변이가 일어나며, 이런 돌연변이에 의한 개체는 환경에 잘 적응하여 유사한 자손을 번식시킨다¹⁵⁾.

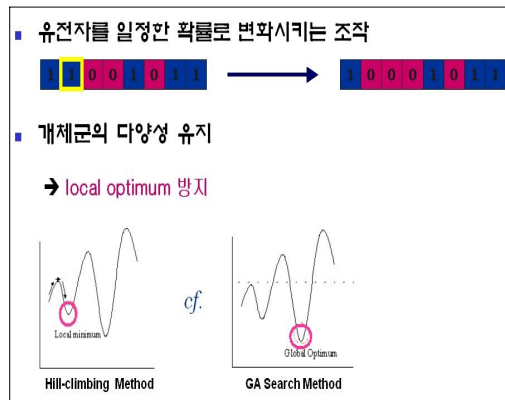


Fig. 5.4 Mutation

(6) 유전 파라미터

GA에 사용되는 파라미터로는 모집단의 크기, 교차율, 돌연변이율, 종료조건 등이 있다. 모집단의 크기는 모집단을 이루는 개체의 수를 의미한다. 교차율은 각 개체가 교차될 확률을 나타낸다. 모집단이 100개의 개체로 이루어진 경우에 교차율 0.5는 평균적으로 50개의 개체가 교차된다는 것을 의미한다. 돌연변이는 흔히 유전자 단위로 이루어진다. 돌연변이율은 각 유전자가 돌연변이 될 확률을 나타낸다. 예로 100개의 개체가 있고 각 개체가 10개의 유전자로 구성되어 있다면, 돌연변이율 0.01은 1,000개의 유전자 중에서 평균적으로 10개의 유전자가 돌연변이 한다는 것을 의미한다. 알고리즘의 종료조건으로는 진행된 세대수 또는 생성된 개체 수, 해의 개선이 이루어지지 않고 진행된 세대수 또는 생성된 개체 수, 계산 소요시간 등이 흔히 사용된다.

5.4.3 GA의 절차

GA는 다음과 같은 절차에 따라 진화한다.

단계 1: (초기모집단), $t \leftarrow 0$ 으로 두고 $P(t)$ 를 생성한다. 즉, 초기모집단을 만든다.

단계 2: (적응도평가), $P(t)$ 에 있는 모든 개체의 적응도를 평가한다.

단계 3: (선별), $t \leftarrow t + 1$ 로 두고 $P(t-1)$ 로부터 $P(t)$ 를 선별한다.

단계 4: (교차)

① $[0,1]$ 사이의 난수를 발생시켜 $r < P_c$ 이면 그 개체를 교차하는 개체로 둔다.

모든 개체에 대해 이를 행한다.

② 교차 대상 개체 중에서 임의로 쌍(두 부모)을 만든다.

③ 각 쌍(두 부모)의 개체를 교차하여 두 자손을 생산한다. $P(t)$ 에서 교차된 부모 개체를 제거하고 생산된 자손을 $P(t)$ 에 삽입한다.

단계 5: (돌연변이), $P(t)$ 을 돌연 변이시킨다. 개체의 각 원소에 대해 $[0,1]$ 사이의 난수 r 을 발생하여, $r < P_m$ 이면 그 원소를 돌연변이시킨다.

단계 6: (적응도 평가), $P(t)$ 의 각 개체에 대해 적응도를 평가한다.

단계 7: (종료조건), 종료조건을 만족하면 끝낸다. 그렇지 않으면 단계 3으로 간다.

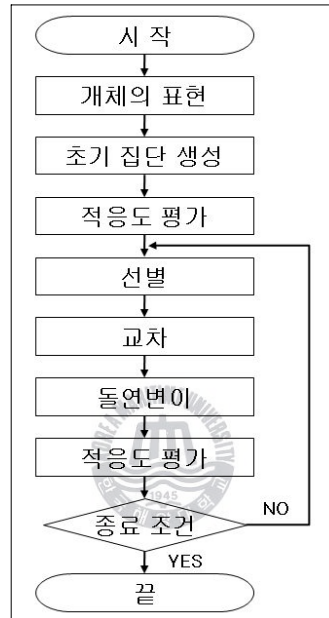


Fig. 5.5 Flow chart of GA

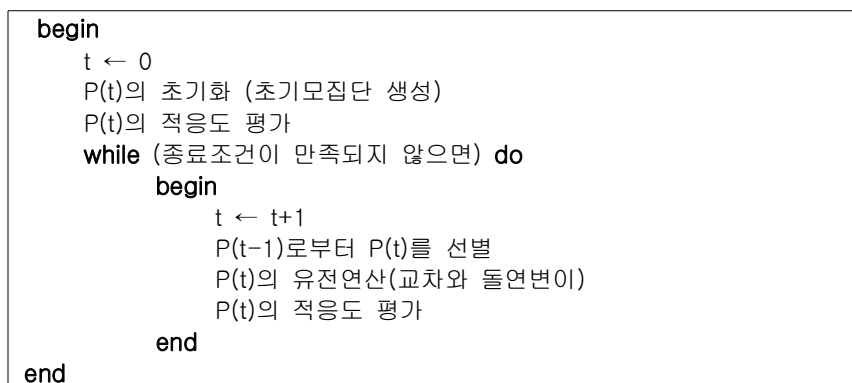


Fig. 5.6 Procedure of GA

$P(t)$: 세대 t 의 모집단

N_p : 모집단의 크기, 즉 모집단의 개체 수

N_g : 개체의 원소 수

P_c : 교차율

P_m : 돌연변이율

5.4.4 스키마 정리

GA의 이론은 스키마 정리(schema theorem)에 기초한다. 이 정리는 GA에서 선별, 교차, 돌연변이 등의 일련의 과정에서 개체들에 존재하는 유사한 인자들이 어떻게 다른 개체로 전파 또는 소멸되면서 좋은 해를 찾아가는가를 보여준다. ‘스키마’는 개체들 간의 유사성을 나타내는 일종의 전형(template)이다. 개체의 특정위치들에 존재하는 인자들의 값에 의해 스키마는 나타나며 스키마에서 특정인자의 값을 정의할 때 어느 인자 값이나 가질 수 있다는 표시로 ‘*’가 사용된다. 예로 이진표현에서 스키마(* 0 0 1 1)에는 두 개체 (0 0 0 1 1)과 (1 0 0 1 1)이 속하고, 스키마 (* * 0 1 1)에는 네 개의 개체 (0 0 0 1 1), (0 1 0 1 1), (1 0 0 1 1), (1 1 0 1 1)이 포함된다. 따라서 이진표현에서 r 개의 *를 갖는 스키마에 부합되는 개체의 수는 2^r 개가 된다.

(1) 차수와 정의 길이

스키마 S 의 차수는 고정된 값을 갖는 인자(*가 아닌 원소)의 수로 정의된다. 따라서 이진표현에서의 차수는 *가 아닌 0또는 1의 값을 갖는 인자의 수가 된다. 차수는 스키마의 특이성을 나타낸다. 다음과 같이 개체의 길이가 10인 세 개의 스키마가 있다고 하자.

$$S_1 = (* * * 1 0 0 * 1 0 0)$$

$$S_2 = (* * * * 0 1 * 1 * *)$$

$$S_3 = (0 1 1 0 * * * * * 1)$$

스키마의 차수는 $o(S)$ 로 나타내며, 각 스키마의 차수는 $o(S_1) = 6$, $o(S_2) = 3$, $o(S_3) = 5$ 가 된다. 여기서 스키마 S_1 이 가장 큰 특이성을 갖는다고 할 수 있으며, 스키마 S_1 에 일치하는 개체의 수가 스키마 S_2 나 S_3 에 비해 적다는 것을 의미한다. 스키마의 차수 개념은 어떤 스키마가 돌연변이에 의해 생존할 확률을 계산하는데 사용된다.

스키마의 정의길이는 개체의 고정된 위치들의 처음과 끝 사이의 거리로 정의되며, 스키마 S의 정의길이를 $\delta(S)$ 로 나타내자. 이것은 스키마에 포함된 정보의 밀집성을 정의한다. 위의 각 스키마의 정의 길이는 $\delta(S_1) = 10-4 = 6$, $\delta(S_2) = 8-5 = 3$, $\delta(S_3) = 10-1 = 9$ 가 된다. 정의길이의 개념은 어떤 스키마가 교차에 의해 생존할 확률을 계산하는데 사용된다.

(2) 선별의 효과

스키마의 한 특성은 t세대에서 스키마 S의 적응도 $eval(S, t)$ 로 나타낼 수 있다. $eval(S, t)$ 는 스키마 S를 갖는 모집단 개체들에 대한 적응도의 평균으로 정의된다. t세대에서 스키마 S에 속하는 개체가 $\{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ip}\}$ 로 p개 존재한다면

$$eval(S, t) = \sum_{j=1}^p eval(v_{ij})/p$$

가 된다. 선별단계에서는 적응도에 의해 모집단의 수만큼 전 세대에 생성한 모집단으로부터 개체를 선택한다. 선별 후 $m(S, t+1)$ 은

스키마 S에 속하는 개체의 평균 선별확률 : $eval(S, t)/F(t)$

($F(t)$: t세대의 전체 모집단에 대한 적응도의 총합)

이전 세대에서 스키마 S에 속했던 개체 수 : $m(S, t)$

모집단의 크기 : N_p or n

등의 세 요소에 의해 결정된다. 즉

$$m(S, t+1) = m(S, t) \cdot n \cdot eval(S, t)/F(t)$$

로 표현된다. 그리고 모집단의 평균적응도 $F(t) = F(t)/n$ 이므로 선별 후에 모집단에서 스키마 S를 갖는 개체의 수는 다음과 같이 된다.

$$m(S, t+1) = m(S, t) \cdot eval(S, t)/\bar{F}(t)$$

이 식을 재생산 스키마 성장 식(reproductive schema growth equation)이라 부른다. 이 식으로부터 $m(S, t+1)$ 는 모집단의 평균적응도에 대한 스키마의 적응도 비율로 결정됨을 알 수 있다. 이것은 평균 이상의 적응도를 갖는 스키마는 다음 세대에서 개체수가 증가하고, 평균 이하의 적응도를 갖는 스키마는 그 수가 감소하며, 적응도가 평균인 스키마는 그 상태를 유지한다는 것을 의미한다.

스키마 S가 $\epsilon\%$ 만큼 평균 이상의 적응도를 갖는 경우,

$$m(S, t) = m(S, 0) \cdot (1 + \epsilon)^t \text{ 이고,}$$

$\epsilon = (eval(S, t) - \bar{F}(t))/F(t)$ 이 된다.

따라서 적응도가 평균 이상인 스키마를 갖는 개체의 수는 다음 세대에서 지수 적으로 증가하게 된다.

(3) 교차의 효과

스키마의 정의 길이가 그 스키마의 생존과 파괴확률에 중대한 역할을 하고 있다. 일점교차연산에서 절단 점은 일반적으로 $l-1$ 개의 가능한 위치 중에서 임의로 선택된다.

이것은 일점교차에 의한 스키마 S의 파괴확률이 $P_s(S) = 1 - \frac{\delta(S)}{l-1}$ 이라고 할 수 있다.

또한 모집단의 모든 개체들이 교차되는 것이 아니라 교차에 선택된 개체들만이 연산되고, 교차율이 P_c 이므로 교차에 의한 스키마 S의 생존확률은 $P_s = 1 - P_c \cdot \frac{\delta(S)}{l-1}$

이 된다. 그런데 교차점이 스키마의 고정위치 사이에 선택되더라도 아주 적기는 하지만 그 스키마가 생존할 가능성이 있다. 따라서 교차에 의한 스키마 S의 생존확률은 다음과 같이 변형된다.

$$P_s(S) \geq 1 - P_c \cdot \frac{\delta(S)}{l-1}$$

결국 선별과 교차에 의한 재생산 스키마성장식은 다음과 같이 된다.

$$m(S, t+1) \geq m(S, t) \cdot eval(S, t) / \bar{F}(t) \cdot \left[1 - P_c \cdot \frac{\delta(S)}{l-1} \right]$$

이 식은 다음 세대에서 스키마 S에 부합되는 개체수가 이전세대에 그 스키마에 속했던 개체 수, 스키마의 상대적 적응도, 그리고 정의길이의 함수임을 의미한다. 이 식으로 짧은 정의길이와 평균 이상의 적응도를 갖는 스키마가 선택될 확률은 세대가 진행됨에 따라 지수 적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

(4) 돌연변이의 효과

GA에서 돌연변이는 P_m 의 확률로 각 개체 내 각각의 원소들을 선택하여 임의로 변경한다. 이진 표현의 돌연변이에서는 흔히 0을 갖는 원소는 1로, 1을 가질 때는 0으로 변경한다. 한 스키마가 돌연변이에 생존하기 위해서는 스키마의 모든 고정위치들이 변화되어서는 안 된다. 다시 말해, 고정위치들 중 하나라도 돌연 변이되면 그 스키마는 파괴된다. 따라서 돌연변이의 영향은 그 스키마의 차수에 따라 달라진다. 또한 한 원소가 변경될 확률은 P_m 이므로 각 원소가 돌연변이 후에 생존할 확률은 $1 - P_m$ 이 된다. 그리고 하나의 돌연변이는 다른 돌연변이와 독립적이므로 스키마 S가 돌연변이에 의해

생존할 확률 $P_s(S) = (1 - P_m)^{o(S)}$ 가 된다. 흔히 돌연변이율은 $P_m \ll 1$ 의 아주 작은 값이 사용되므로

$$P_s(S) \approx 1 - o(S) \cdot P_m$$

결국 스키마 S에 대한 선별, 교차, 돌연변이의 결합된 효과는 아래와 같은 재생산 스키마성장식으로 나타낼 수 있다.

$$m(S, t+1) \geq m(S, t) \cdot eval(S, t) / \bar{F}(t) \cdot \left[1 - P_c \cdot \frac{\delta(S)}{l-1} - o(S) \cdot P_m \right]$$

이 식은 선별, 교차, 돌연변이를 거쳐 다음 세대에 스키마 S에 부합되는 개체수가 이전단계의 스키마수, 스키마의 상대적 적응도 그리고 정의길이와 차수의 함수임을 나타내고 있다. 또한, 짧은 정의 길이와 낮은 차수를 갖는 적응도가 평균 이상인 스키마가 다음 세대에 선택될 확률은 지수 적으로 증가한다는 것을 의미한다.

이러한 스키마 이론에 근거한 GA는 세대가 갈수록 좋은 해들을 유도한다고 설명할 수 있다.

5.5 GA의 적용

본 연구에서는 절단 순서를 결정하기 위해 각 도형의 중심점을 node로 보고 이 node를 거쳐 돌아오는 최단 경로를 찾는 문제로 변환하였고, 여기에 GA 기법을 적용하였다.

5.5.1 표현형의 설정

작업의 순서를 위한 해를 얻기 위해 어떠한 개체를 운용하는 것이 가장 효율적인지를 고려하여 표현형을 설정하였다. 본 문제의 표현형을 이진 코드로 할 경우 경로 표현에 있어 어려움이 있으며 계산과정 또한 복잡해진다. 따라서 각 부재에 알파벳으로 이름을 붙이고 그것의 순서를 절단 순서로 표현 할 수 있도록 하였다. 표현형은 Fig. 5.7과 같은 형태로 나타난다. 표현형에서 각 인자가 나타나는 순서가 절단 순서가 된다¹⁵⁾.

(A B C D E F G H I J K L M N O) (B G H C M N K J L O E F A I D)
--

Fig. 5.7 The string of solution

5.5.2 초기모집단

초기모집단은 부재의 개수만큼 난수를 발생시켜 다양한 초기 해를 설정하도록 하였다. 개체는 순서를 표현해야 하므로 개체 내 인자는 중복 없이 한번 씩 모두 나타나도록 설정해야 한다.

5.5.3 적응도 평가

적응도 평가를 위해서는 각각의 개체가 목적하는 바에 얼마나 부합하는가를 판단해야 하기 위한 기준이 있어야 한다. 이것을 목적함수라고 하며 목적함수는 모든 node를 경유하는 거리를 최소로 하는 함수이다. 부재의 도심 점의 좌표 값을 이용하여 각 개체 및 모집단에 대한 적응도를 구하여 다음 세대로의 개체 선별에서 사용할 수 있도록 하였다.

5.5.4 선별

선별과정에서는 목적함수를 통해 얻어진 목적 함수 값을 이용하여 개체를 다음 세대로 가져오도록 하였다. 여러 가지의 선별 방법 중에서 확률바퀴방법을 사용하였다. 확률바퀴방법은 가장 대표적인 선별방법으로 개체의 적응도에 비례하여 개체가 선택될 확률을 부과하는 것이다. 따라서 각 개체에 대하여 목적함수를 통해 작업 시간을 구하고 목적함수 값이 작은 개체, 즉 이동거리가 짧은 개체가 선택되도록 하였다.

Table 5.1 Selection probability by roulette wheel

No	Individual	x value	Fitness : $f(x)$	Selection probability
1	(A B D C E F)	10	2	0.047
2	(D C B A F E)	2	10	0.233
3	(D A F E C B)	30	22	0.511
4	(B C A E F D)	17	9	0.209
Total			43	1.000

5.5.5 교차

선별이 된 개체들로 새로운 집단이 구성되면, 교차단계를 거친다. TSP문제에서는 어느 도시에서 어느 도시로 가는지에 관한 즉, 인접정보가 중요하므로 인접인자재결합교차(edge recombination crossover)를 사용하였다. 이 교차는 인접정보를 중요시한다. 외판원문제에서는 어느 도시에서 어느 도시로 가느냐가 중요한 정보가 될 것이다. 따라서 외판원문제와 같이 인접한 인자의 정보가 중요시되는 경우에는 인접인자재결합교차의 사용이 바람직하다.

Table 5.2 Adjacent gene

Flat bar	Adjacent flat bar
A	I, B, D
B	A, C, E
C	B, D, F
D	C, E, H, A
E	D, E, I, B
F	E, G, C
G	F, H
H	G, I, D
I	H, A, E

단계 1: 시작인자(부재)를 선택한다. 한 부모의 첫 인자를 선택하거나 인접 표에서 인접한 부재의 수가 가장 적은 도시를 선택할 수 있다. 선택된 부재는 인접 표에서 지운다.

단계 2: 직전에 선택된 도형과 연결된 도형 중에서 남아있는 인접된 도형의 수가 가장 적은 부재를 선택한다. 동일한 경우 임의로 선택한다.

단계 3: 완전히 새로운 자손이 생성될 때까지 단계 2를 반복한다.

5.5.6 돌연변이

돌연변이 연산자로는 교환연산자를 사용하였다. 교환연산자는 부모에서 서로 같지 않은 임의의 두 인자를 교환하여 자손을 생산하는 방법이다.

돌연변이 전 : (A B C D E F G H I J K L M N O)

돌연변이 후 : (A B C D L F G H I J K E M N O)

5.5.7 종료 조건

종료 조건으로는 진행된 세대수를 사용하였다. 보통 절단 도형 표현형의 인자가 많이 때문에 세대수가 짧게 되면 충분한 연산을 수행하지 못하여 좋은 해를 유도하지 못한다. 그러한 문제로 인해 700세대까지 해를 진화시켰다. GA에서는 선별과정이 확률적으로 진행되기 때문에 좋은 해가 다음 세대에 유전되기 위해 선택되지 않을 수 있고, 또한 좋은 해가 유전연산 과정에서 파괴될 수도 있다. 이런 현상을 방지하기 위해 각 세대가 지나는 동안 그 때까지 나타난 가장 좋은 해를 따로 보관하는 방법(elitist strategy)을 사용하였다. 이렇게 하면 가장 좋은 해가 선별과정에서 사라지지 않고 계속 유지될 수 있다.



제 6 장 절단방향의 결정

절단 순서가 결정되면 토치가 부재를 거치는 순서가 결정된다. 그러나 도형의 중심점을 node로 삼았기 때문에 부재 사이의 어느 점이 절단의 시작점인지는 알 수 없다. 즉, 절단 방향을 결정해야 한다. 절단 방향을 결정하는 방법은 Fig. 6.1과 같다.

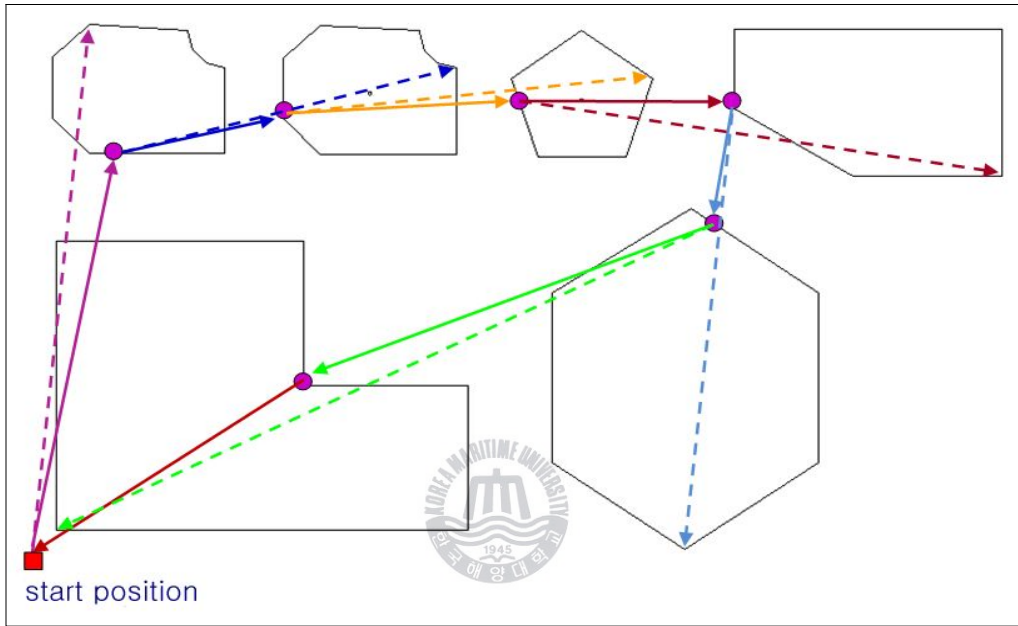


Fig. 6.1 Concept of algorithm for cutting direction

GA를 통해 절단 순서가 결정되면 토치 출발점에서 다음 절단 할 부재인 ①로 진행할 때 점선이 가리키는 곳이 아닌 거리가 짧은 실선이 가리키는 곳이 ①부재의 절단 시작점과 종료점이 된다. 이런 과정을 거치면 Fig. 6.1의 경우 ①,②,③,④,⑤,⑥순으로 절단이 이루어지게 된다.

제 7 장 컴퓨터 실험 결과

7.1 GA를 이용한 절단 순서 결정 결과

본 연구에서 대상이 되는 부재의 형상은 Fig. 7.1과 같으며 각 부재의 절단 순서를 결정하기 위해 중심점을 node로 보고 이 node를 거쳐 돌아오는 최단 경로를 찾는 문제로 변환하였고, 여기에 GA 기법을 적용하였다. 종료 조건으로 진행된 세대수를 사용하였으며 700세대까지 해를 진화시켰다. 그 결과 Fig. 7.2와 같이 세대가 진행됨에 따라 해가 진화해가는 것을 볼 수 있었으며 대략 540세대에서 수렴하였다. 또한 GA를 사용 전인 판재 위의 절단해야 할 도형의 중심점들 사이의 거리가 42680mm에서 적용 후 23399mm로 감소한 것을 볼 수 있었다.

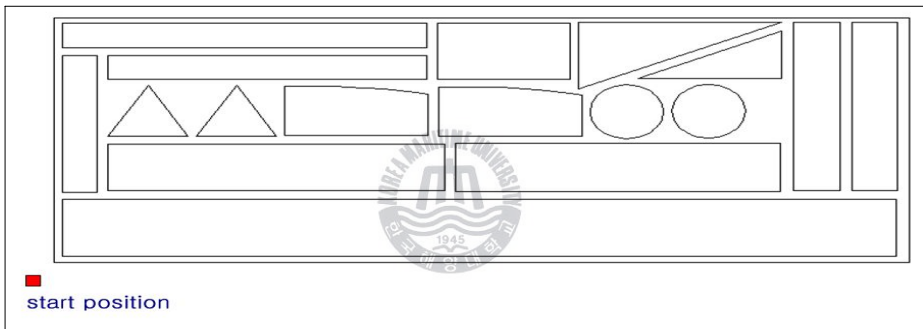


Fig. 7.1 Shape of parts to be cut

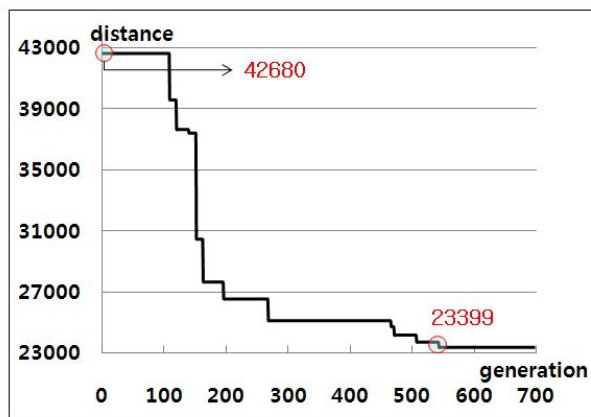


Fig. 7.2 Improvement of solution according to alternation of generations

판재 위의 절단해야 할 도형의 절단 순서를 결정하기 위해 중심점 사이의 최단거리로 GA를 적용한 결과는 Fig. 7.3과 같았다.

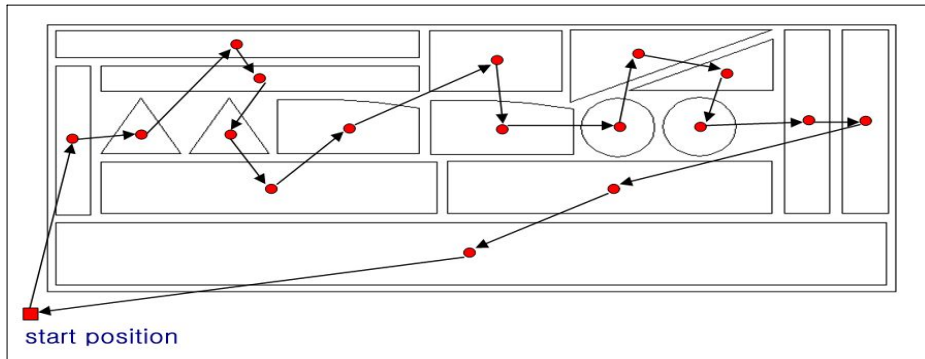


Fig. 7.3 Cutting sequence determined using GA

7.2 GA를 이용한 절단 경로 최적화 결과

본 연구에서는 절단 경로를 최적화 시키는 방법으로 3가지의 경우를 비교, 검토하였다. 첫 번째로, 기존의 연구에서 이용한 판재위의 절단해야 할 도형의 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 뒤 GA를 적용한 경우의 절단 경로 최적화 결과(Fig. 7.4)이다. 두 번째로, CAD/CAM 시스템에서 사용되는 CAD 파일을 읽어서 단순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우의 절단 경로 최적화 결과(Fig. 7.5)이며, 마지막으로 본 연구에서 사용한 방법으로 판재위의 절단해야 할 각 도형의 중심점으로 GA로 절단 순서를 결정한 다음 절단 방향을 고려하여 최적 절단 경로를 찾은 방법의 결과(Fig. 7.6)이다.

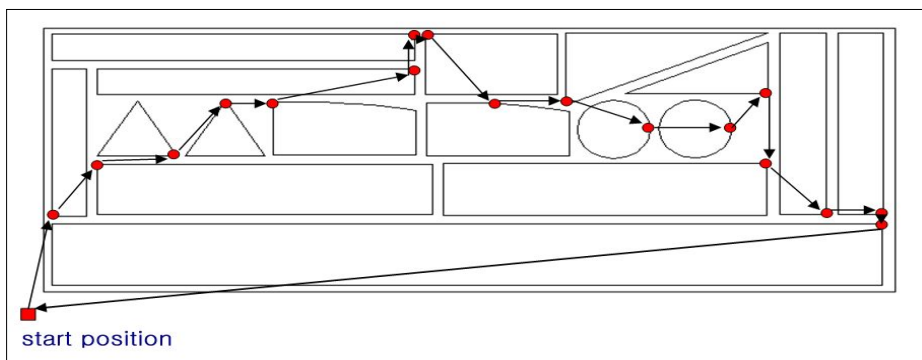


Fig. 7.4 Cutting path generation by vertex

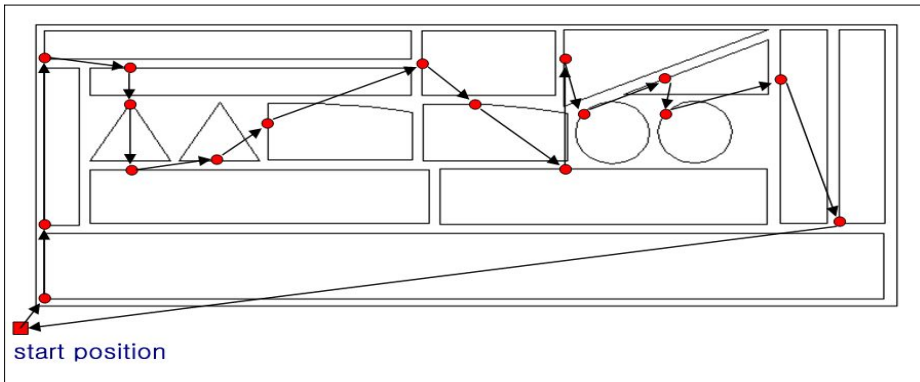


Fig. 7.5 Cutting path generation by sequence from left side

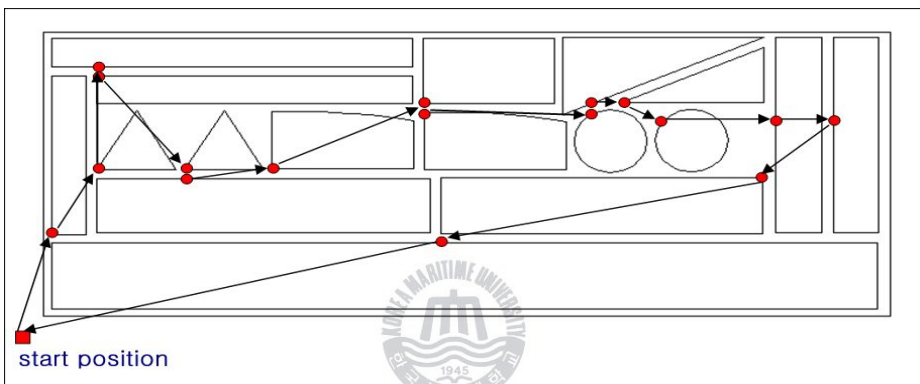


Fig. 7.6 Cutting path generation by center of gravity

절단 경로를 최적화 시키는 3가지의 방법으로 최단 경로의 거리는 Fig. 7.7과 같았다. 판재위의 절단해야 할 도형의 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 뒤 GA를 적용한 경우는 최단 절단 경로가 23528mm이었으며, CAD/CAM 시스템에서 사용되는 CAD 파일을 읽어서 단순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우 24416mm이었다. 마지막으로 본 연구에서 사용한 판재 위의 절단해야 할 각 도형의 중심점으로 GA로 절단 순서를 결정한 다음 절단 방향을 고려하여 최적의 절단 경로를 찾았을 경우 21328mm의 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 제안한 방법의 최단 절단 경로는 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 뒤 GA를 적용한 경우와 비교하였을 때 2200mm 감소하였으며, 단순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 방법의 경우와는 3088mm 감소한 것을 볼 수 있었다. 이는 본 연구에서 제안한 절단 경로 최적화 기법이 타 기법과 비교하여 최단 절단 경로를 9.4%, 12.7%를 감소시키는 효과이다. 이 결과로 볼 때 본 연구에서 도입한 절단 경로 최적화 기법은 매우 효과적임을 알 수 있었다.

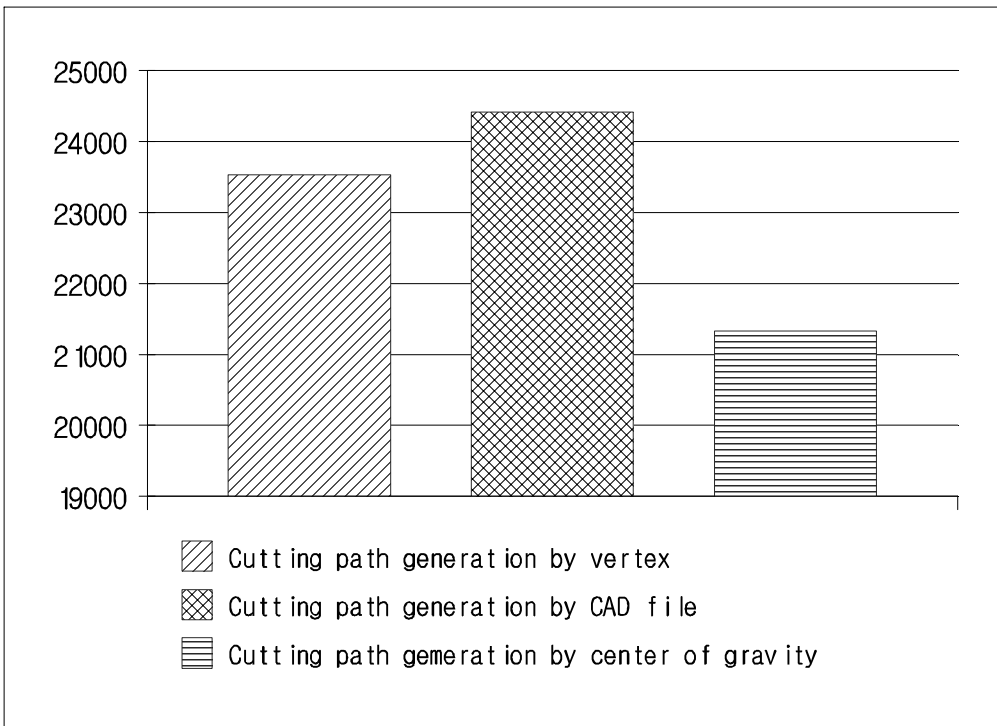


Fig. 7.7 Comparison of cutting path according to each method



제 8 장 결 론

본 연구에서는 절단해야 할 부재들이 판재에 2차원으로 배열되는 네스팅 작업이 완료된 후, 이들을 절단하기 위한 절단 경로 문제를 다루었다. 절단 경로를 결정할 때 많은 부재가 존재하며 어떠한 순서로 처리 할 것인지 결정하는 것은 매우 중요하다. 판재 위의 절단할 도형의 개수가 적으면 어떠한 순서로 작업을 하는 것이 시간을 줄일 수 있는 효율적인 경로인지 판단하기 쉽지만, 그 수가 많으면 경우의 수가 커지기 때문에 모든 경우를 고려하여 순서를 결정하는 일은 많은 시간과 계산 과정을 요구한다. 그러므로 자동화를 위해서는 도형의 개수가 많고 적음에 상관없이 절단 순서 설정을 위한 일정한 규칙이나 알고리즘이 필요하다. 따라서 불규칙적인 부재들이 배치되어 2차원 판재 위에서 절단 공정의 비용을 줄이기 위해 최소의 거리를 가지는 절단경로를 생성하고자 하였다. 이를 위해 조합최적화 문제에 효과적으로 적용되고 있는 GA를 기반으로 하는 절단경로 알고리즘을 제안하였다. 또한 모의 어닐링 기법에서 많이 사용되는 이웃해 생성 법을 GA에 도입하여 빠른 수렴 시간 내에 최적 해를 구할 수 있는 TSP 알고리즘을 개발하고, 이를 이용하여 부재 절단을 위한 최적의 절단 경로를 연구하였다.

본 연구에서는 절단 순서는 작업 시간과 직결되는 요소이므로 본 각 도형의 중심점의 길이를 짧게 하는 경로를 찾아 작업 시간을 크게 줄일 수 있게 하였다. 이러한 문제는 TSP를 확장한 최적화 모형으로 정형화될 수 있음을 보였고, 다양한 조합최적화 문제에 많이 활용되어 왔던 GA를 바탕으로 한 판재 위의 절단해야 할 각 도형의 중심점으로 GA를 적용하여 절단 순서를 결정한 다음 절단 방향을 고려하여 최적의 절단 경로를 찾는 알고리즘을 제안하였다. 그리고 부재가 규칙적인 형상은 물론 원과 같이 다각형이 아닌 형상이 포함된 경우에도 효과적으로 적용될 수 있음을 알 수 있었으며, 부재가 많은 대규모의 절단 문제에도 우수한 성능을 나타낼 수 있었다. 이를 위해 본 연구에서 제안한 절단 경로 알고리즘과 기존의 연구에서 이용한 판재 위의 절단해야 할 도형의 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 뒤 GA를 적용한 경우와 CAD/CAM 시스템에서 사용되는 CAD 파일을 읽어 단순히 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우와 비교하였다. 그 결과 본 연구에서 제안한 알고리즘은 꼭짓점을 피어싱점으로 결정한 후 GA를 적용한 경우와 비교하여 최단 절단 경로는 9.4% 감소하였으며, 단순히 CAD 파일을 읽어 배치된 순서대로 경로를 결정하는 경우와 12.7% 감소시키는 효과를 얻을 수 있었다. 이 결과로 볼 때 본 연구에서 도입한 절단 경로 최적화 기법은 매우 효과적임을 알 수 있었다.

따라서 현재 상용화된 절단 가공기에 설치되어 있는 CAD/CAM시스템의 절단경로

자동화 루틴의 성능을 향상시키는 데 이 알고리즘을 사용할 수 있을 것이다. 이렇게 되면 절단경로를 최적화하여 가공시간의 단축, 비용 절감 등에 큰 도움이 될 것으로 사료된다.



참 고 문 헌

- [1] 이철수, 강현구, 박광렬, “CAD 데이터를 이용한 플랫폼의 네스팅 및 가공데이터 생성의 자동화”, 선박설계연구발표회논문집
- [2] 한윤근, “임의 형상 부재의 자동 네스팅 시스템에 대한 연구”, 서울대학교 조선해양공학과 박사학위논문, 2000년
- [3] G. Gutin, A. Yeo and A. Zverovich, “Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP”, Discrete Applied Mathematics 117, 2002
- [4] J. Mitchell (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, 1999
- [5] D.L. Applegate, R.E. Bixby, V. Chvátal and W.J. Cook, “The Traveling Salesman Problem: A Computational Study”, Princeton University Press. ISBN 978-0-691-12993-8, 2006
- [6] S. Arora (1998). “Polynomial Time Approximation Schemes for Euclidean Traveling Salesman and other Geometric Problems”, Journal of ACM, 45 (1998), pp. 753-782.
- [7] 한국찬, 나석주, “레이저 절단공정에서의 토치 경로 생성에 관한 연구”, 대한기계학회 논문집, Vol. 20, No. 6, pp.1827-1835, 1996
- [8] 방기범, “판재 소모를 최소화하는 이차원형상의 최적 배치”, 서울대학교 기계설계학과 대학원 박사학위논문, 1989
- [9] 박성수, 박해영, “C++로 구현한 유전자 알고리즘”, 한울출판사, 2001

- [10] 기타노 히로아키, 조성배, “유전자 알고리즘”, 대청정보시스템, 1996
- [11] Chang-Sei Kim, Keum-Shik Hong, and Hans Yong-Sub Han, “PC-Based Off-Line Programming in Shipbuilding Industry: Open Architecture”
- [12] Adachi, N., “Framework of Mutation Model for Evolution in the Ecological Model World 'Game World'”, ILAS-SIS Research Report, No.74, 1987
- [13] Matsuo, K. and Adachi, N., “Metastable Antagonistic Equilibrium and Stable Cooperative Equilibrium in Distributed Prisoner's Dilemma Game”, proc.Int.Symp.Syst.REs.Infor.Cybern., 1989
- [14] Muehlenbein, H. and Kindermann, J., “The Dynamics of Evolution and Learning-Towards Genetic Neural Networks”, in connectionism in persoectives,R. Pfeifer(ed.), Elsevier, 1990
- [15] 강현진, “유전자 알고리즘을 이용한 조선 소조립 로봇용접 공정 최적화 및 3D 시뮬레이션을 통한 검증”, 한국해양대학교 조선해양시스템공학과 대학원 석사학위논문, 2005