

# 유전 알고리즘을 이용한 V그루브 아크 용접 공정변수 최적화

## Optimization of V-groove Arc Welding Process Using Genetic Algorithm

안홍락\*, 이세현\*\*, 안승호\*\*\*, 강문진\*\*\*\*

\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 한양대학교 기계공학부

\*\*\* 철도대학교 기계공학과

\*\*\*\* 생산기술연구원

**ABSTRACT** A genetic algorithm was applied to an arc welding process to determine near optimal settings of welding process parameters which produce good weld quality. It has an advantage of being able to find optimal conditions with a fewer number of experiments than conventional full factorial design. According to the conventional full factorial design, in order to find the optimal welding conditions, 16,384 experiments must be performed. The genetic algorithm, however, found the near optimal welding conditions from less than 60 experiments.

## 1. 서 론

아크 용접 공정은 다중 입출력 공정이고, 용접 출력 변수들이 서로 커플되어 있기 때문에 시행착오법에 의해 용접 공정 변수를 조정하여 양호한 용접 품질을 얻기 위해서는 많은 실험과 노력이 필요로 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 용접 공정의 입력 변수와 출력 변수 사이의 모델을 구하고 이것을 이용하여 용접 공정 변수를 결정하는 방법들이 제안되고 있다. 그 방법들 중 하나가 해석적이나 수치적인 방법에 기초하여 용접 공정을 표현하는 모델을 유도하는 것이다. 그러나 용접공정은 복잡하고 비선형적인 공정이고 이러한 방법으로 모델을 유도하는 것이 매우 어렵다.

또 다른 방법은 실험 데이터를 이용하여 용접 공정의 모델을 만들어 내는 것이다. 이 방법은 용접 공정의 복잡성에 의해 실험 영역이 커지면 모델의 정확성이 떨어지게 되고 용접시 발생하는 용락과 같은 점에서는 모델을 예측하지 못하는 문제가 생기게 된다.

따라서 본 연구에서는 비록 용접 전문가가 아니라도 적은 횟수의 체계적인 실험을 통해 양호한 용접 품질을 나타내는 용접 공정 변수를 유전 알고리즘(genetic algorithm)으로 결정하는 방법을 제안하였다. 유전 알고리즘은 최적화하려는 목적함수가 미분가능일 필요가 없고, 전역적인 알고리즘이기 때문에 기존의 구배(gradient)에

근거한 최적화 알고리즘을 적용하기 어려운 비연속적 이거나 다중 극점을 가진 목적함수의 최적화 문제를 해결할 수 있는 장점을 지니고 있다(9,10). 따라서 용접 공정과 같이 복잡한 시스템에 적용하기에 유용하고, 용락과 같은 용접 현상에 영향을 받지 않고 탐색을 진행할 수 있는 장점을 지니고 있다. 본 연구에서는 V-그루브 가스 메탈 아크 용접에서 원하는 용접 비드 형상을 만들어내는 용접 공정 변수를 결정하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다. 용접 비드 형상을 제어하기 위한 입력 변수는 용접 전류, 루트면, 용접 속도, 용접 전압, 루트 간격 이고, 출력 변수는 용접 비드 형상의 비드 높이, 비드 폭, 이면 비드의 폭, 용입 깊이, 용접속도였다.

## 2. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연 선택의 원리와 자연계의 생물 유전학에 기본 이론을 둔 병렬적이고 전역적인 알고리즘으로 Darwin의 적자생존의 이론을 기본 개념으로 한다. 가능한 해들을 정해진 구조의 자료 구조로 표현한 다음 이들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해들을 만들어 내는 유전 알고리즘은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

첫째, 유전 알고리즘은 파라미터값(parameter value) 대신에 일정한 길이를 가진 스트링(string)을 사용한다. 일반적인 유전 알고리즘에

서는 0과 1로 구성된 이진 스트링(binary string)이 주로 이용된다. 둘째, 유전 알고리즘은 탐색 공간에서 일정 크기의 가능해들(possible solutions)을 동시에 고려하여 탐색을 진행한다. 유전 알고리즘의 이러한 병렬 처리는 지역적인(local) 극점으로 수렴하는 것을 방지하고 전역적인(global) 극점을 찾는 데 효과적인 방법이다. 셋째, 유전 알고리즘은 각 스트링의 적합도값(fitness value)만을 이용하기 때문에 그 적합도 함수가 반드시 연속적이거나 미분가능해야 할 필요는 없다. 넷째, 많은 최적화 방법은 결정론적인 전이규칙(deterministic transition rule)을 이용하지만 유전 알고리즘은 확률적인 전이규칙(probabilistic transition rule)을 이용한다.

유전 알고리즘은 크게 재생산(reproduction), 교차(crossover), 돌연변이(mutation)의 과정으로 이루어진다.

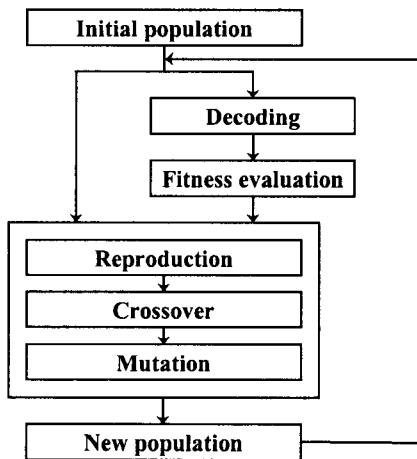


Fig. 1 A general procedure of a genetic algorithm

### 3. 실험 방법

용접 비드 형상은 용접부의 기계적 성질을 결정하는 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 Fig. 2에 나타낸 것처럼 비드 높이, 비드 폭, 이면 비드의 폭, 용입 깊이가 용접 비드 형상을 표현하기 위해 사용되었다. 이 비드 형상 변수들은 용접 공정 변수의 설정에 따라 크게 영향을 받고, 용접 공정 변수는 용접 전류, 루트면, 용접 속도, 용접 전압, 루트 간격을 사용하였다. 그러므로 용접 공정 변수와 비드 형상 변수는 각각 아크 용접 공정의 입력 변수와 출력 변수라고 할 수 있다. 원하는 용접 비드 형상을 설정하고 나서, 그것에 영향을 주는 용접 공정 변수를 결정하기

위해 유전 알고리즘을 이용하였다.

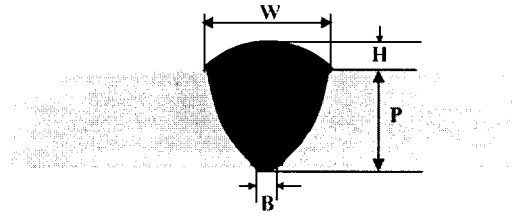


Fig. 2 Weld bead geometry

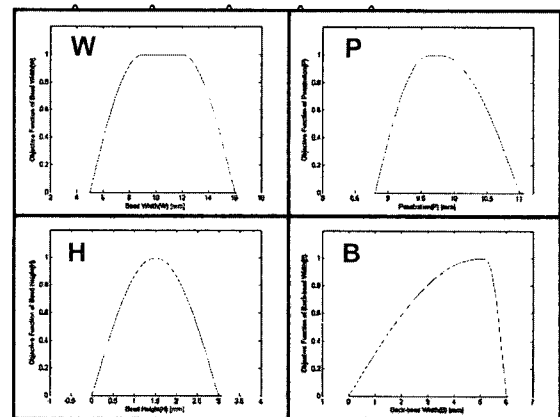
용접 조건은 table 1과 같다.

Table 1 Welding Condition

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| thickness                   | 9 [mm]     |
| type of joint               | V groove   |
| single pass welding process |            |
| filler metal                | AWS 부류     |
| electrode diameter          | 1.2 [mm]   |
| shielding gas               | 100% CO2   |
| flow rate                   | 20 [l/min] |

### 3. 실험 결과 및 고찰

유전 알고리즘을 이용하여 용접 공정 변수를 최적화하기 위해서는 다음 세대에 생존을 평가해 주는 지수가 필요하다. 본 연구에서는 용접 품질에 영향을 주는 용접 비드 형상 변수인 비드 높이, 비드 폭, 이면 비드의 폭, 용입 깊이와 경제성을 고려하여 용접 속도까지 고려하여 다음과 같은 목적함수를 만들었다.



(1)

Fig. 3 Objective function of output values

식 (1)을 최소로 하는 용접 공정 변수를 찾기 위한 공정 변수의 탐색 범위, 비트수, 수준수를

Table 2와 같이 하였다. 따라서 Table 2과 같은 수준수로 요인 실험에 의해 최적 공정 변수를 찾기 위한 탐색점의 수는 16,384이고, 이 방법을 적용하는 것은 너무 많은 실험을 필요로 하기 때문에 비현실적이라는 것을 알 수 있다.

Table 2 Search range for welding parameters

| Parameter | Range         | Resolution |
|-----------|---------------|------------|
| 용접 전압     | 20 ~ 37.5 (V) | 2.5 (V)    |
| 전류        | 200 ~ 350 (A) | 10 (A)     |
| 용접 속도     | 3 ~ 10.5      | 0.5 (mm/s) |
| 루트 간격     | 0 ~ 2.1 (mm)  | 0.7 (mm)   |
| 루트면       | 3 or 6 (mm)   | 3 (mm)     |
| 개서각       | 60 (degree)   | -          |
| CTWD      | 20 (mm)       | -          |

본 연구에서는 개체수 16, 교차율 0.95, 돌연변이율 0.01로 설정하였다.

Table 3 Results of initial generation

| 실험 번호 | Wire Feed Rate | Root Face Height | Welding Speed | Welding Voltage | Root Opening | Fitness |
|-------|----------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|---------|
| 1     | 200            | 3                | 3             | 20              | 0            | 1.9135  |
| 2     | 200            | 3                | 4.5           | 37.5            | 2.1          | 2.2858  |
| 3     | 210            | 6                | 9             | 22.5            | 2.1          | 2.3358  |
| 4     | 210            | 6                | 10.5          | 35              | 0            | 2.9589  |
| 5     | 260            | 3                | 9             | 35              | 0.7          | 2.8867  |
| 6     | 260            | 3                | 10.5          | 22.5            | 1.4          | 2.9239  |
| 7     | 270            | 6                | 3             | 37.5            | 1.4          | 0.4067  |
| 8     | 270            | 6                | 4.5           | 20              | 0.7          | 1.1877  |
| 9     | 300            | 6                | 5.5           | 25              | 1.4          | 1.3264  |
| 10    | 300            | 6                | 6             | 32.5            | 0.7          | 1.7315  |
| 11    | 310            | 3                | 7.5           | 27.5            | 0.7          | 3.166   |
| 12    | 310            | 3                | 8             | 30              | 1.4          | 2.9565  |
| 13    | 320            | 6                | 7.5           | 30              | 2.1          | 3.5357  |
| 14    | 320            | 6                | 8             | 27.5            | 0            | 2.1291  |
| 15    | 330            | 3                | 5.5           | 32.5            | 0            | 4.238   |
| 16    | 330            | 3                | 6             | 25              | 2.1          | 3.1333  |

Table 4 Results of 6th generation

| 실험 번호 | Wire Feed Rate | Root Face Height | Welding Speed | Welding Voltage | Root Opening | Fitness |
|-------|----------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|---------|
| 1     | 330            | 6                | 6             | 30              | 2.1          | 4.1038  |
| 2     | 280            | 6                | 6             | 20              | 1.4          | 1.3381  |
| 3     | 330            | 3                | 5.5           | 30              | 1.4          | 3.3121  |
| 4     | 310            | 6                | 6             | 30              | 2.1          | 3.9886  |
| 5     | 330            | 6                | 6             | 30              | 2.1          | 3.8014  |
| 6     | 330            | 6                | 6             | 30              | 2.1          | 4.261   |
| 7     | 330            | 6                | 5.5           | 30              | 2.1          | 3.457   |
| 8     | 330            | 6                | 7.5           | 27.5            | 2.1          | 3.2188  |
| 9     | 330            | 6                | 6             | 30              | 1.4          | 4.084   |
| 10    | 330            | 6                | 6.5           | 30              | 1.4          | 4.352   |
| 11    | 330            | 6                | 9             | 30              | 2.1          | 3.1524  |
| 12    | 330            | 6                | 6.5           | 30              | 1.4          | 4.356   |
| 13    | 330            | 3                | 7.5           | 30              | 2.1          | 2.569   |
| 14    | 330            | 6                | 6.5           | 30              | 1.4          | 4.368   |
| 15    | 330            | 6                | 7.5           | 30              | 1.4          | 4.0614  |
| 16    | 330            | 6                | 6.5           | 30              | 1.4          | 4.253   |

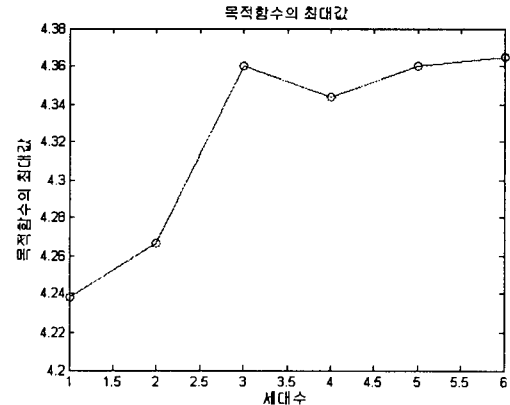


Fig. 4 Maximum Objective function value

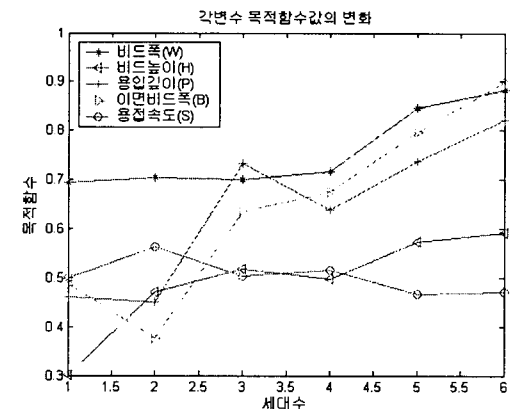


Fig. 5 Fitness values of each input variable

6세대 까지의 실험 결과 용접 전류 320(A), 루트면 6(mm), 용접 속도 6.5(mm/s), 용접 전압 30(V), 루트 간격 1.4(mm)에서 매우 좋은 품질의 용접 비드 형상을 얻었다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 용접공정에 대한 전문적인 지식 없이, 용접 품질을 나타내는 정량적인 지표와 유전 알고리즘에 근거한 실험 계획을 이용하여 양호한 용접 품질을 나타내는 근사 최적 조건을 찾는 실험 방법을 제안하였다. 그 결과 약 60회의 실험만으로도 매우 양호한 용접 비드 형상을 만들어 내는 용접 공정 변수를 찾아낼 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. 김동철, "유전 알고리즘과 반응표면 분석법을 이용한 CO<sub>2</sub> 아크 용접 공정의 최적화에 관한 연구", 한양대학교 박사

학위 논문, 2000.

2. Goldberg D.E., "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", Addison-Wesley, 1989.
3. J. J. Grefenstette : Optimization of control parameters for genetic algorithms, IEEE Syst. Man Cybern. Vol.16 (1986), pp.122 ~ 128