

유전 알고리즘을 이용한 아크용접공정의 용접공정변수 최적화

Optimization of Welding Process Parameters for a Arc Welding Process
Using a Genetic Algorithm

김동철*, 강문진**, 이세현***, 엄기원***

*학생회원, 한양대학교 정밀기계공학과

**정회원, 포항산업과학연구원

***정회원, 한양대학교 정밀기계공학과

1. 서론

용접 비드 형상은 용접부의 기계적 성질을 결정하는 중요한 역할을 한다. 그리고 비드 폭, 비드 높이, 용입 깊이와 같은 용접 비드 형상은 와이어 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도, 보호가스, CTWD와 같은 용접 공정 변수에 의해 결정된다. 따라서 양호한 용접 품질을 나타내는 용접 비드 형상을 얻기 위해서 적절한 용접 공정 변수를 설정하는 것이 매우 중요한 작업이다. 그러나 용접 공정은 다중입력 다중출력 공정이고, 용접 비드 형상 변수들은 서로 커플 되어 있기 때문에, 시행착오법에 의해 용접 공정 변수들을 조정하여 원하는 용접 비드 형상을 얻는다는 것은 많은 실험과 노력을 필요로 한다.

이런 문제점을 해결하기 위해 용접공정의 입력변수와 출력변수사이의 관계식을 구하고 이것을 이용하여 용접공정변수를 결정하는 방법들이 제안되고 있다. 그 방법들중 하나가 해석적이나 수치적인 방법에 기초하여 용접공정을 표현하는 모델을 유도하는 것이고¹⁾. 또 다른 방법은 실험 데이터를 이용하여 용접공정의 입출력변수 사이의 관계식을 유도하는 것이다^{2,3)}. 그러나 유도된 용접 공정 모델은 용접공정의 비선형성과 복잡성 때문에 작은 실험영역에서는 모델의 정확성이 높지만 실험영역이 커지면 모델의 정확성이 떨어진다. 즉 용접공정의 입출력 변수 사이의 모델은 제한된 범위 내에서만 타당하기 때문에 어느 정도 양호한 용접 품질을 나타내는 관심영역을 찾기 위한 선행 실험이 필요하다. 또 다른 문제점은 용접공정변수의 탐색영역중에는 용락과 같은 현상이 나타나고 이 용접조건에서 얻어진 비드형상은 입출력 관계식을 유도하는데 정확한 정보를 주지 못한다.

본 연구에서는 GMA용접에서 최적인 용접 비드 형상을 만들어내는 용접공정변수를 결정하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였고, 이 방법은 입출력 사이의 관계식을 유도하지 않고 일련의 실험을 통해 최적인 용접공정변수를 찾아내는 방법이다. 용접 비드 형상을 제어하기 위한 입력변수는 루트 오픈링(root opening), 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도이고, 출력변수는 용접 비드 형상의 비드 높이와 용입 깊이이다.

2. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 자연선택과 유전론에 근거하여 개발된 전역적인 최적화 알고리즘이다. 본 연구에서는 원하는 용접 비드 형상을 얻기 위한 최적인 용접공정변수를 결정하기 위해 유전 알고리즘을 사용하였다. 여러 가지 복잡한 문제를 해결할 수 있도록 고안된 유전 알고리즘은 다음과 같은 특성을 가지고 있다⁴⁾.

첫째, 유전 알고리즘은 파라미터값 대신에 일정길이를 가진 스트링을 사용한다. 일반적인 유전 알고리즘에서는 0과1로 구성된 이진스트링을 주로 사용한다. 둘째, 유전 알고리즘은 탐색공간에서 일정 크기의 가능한 해들(possible solutions)을 동시에 고려하여 탐색을 진행한다. 셋째, 유전 알고리즘은 각 스트링의 적합도 값만을 사용하기 때문에 그 적합도 함수가 반드시 연속적이거나 미분가능할 필요는 없다. 넷째, 많은 최적화 방법은 결정론적인 전이규칙을 사용하지만 유전 알고리즘은 확률적인 전이규칙을 사용한다. 유전 알고리즘을 이용한 일반적인 최적화 과정은 Figure 1과 같다.

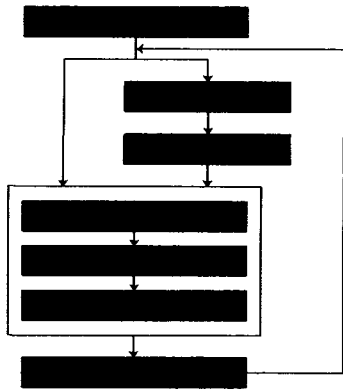


Fig. 1 A general procedure of a genetic algorithm.

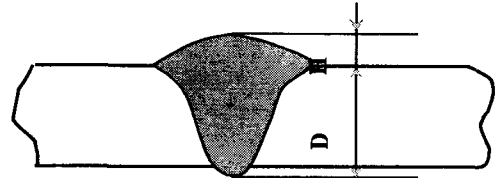


Fig. 2 Weld bead geometry.

3. 실험 방법

본 연구에서는 Fig. 2에 나타낸 것처럼 비드 높이와 용입 깊이가 용접 비드 형상을 표현하기 위해 사용되었다. 이 비드 형상 변수들은 용접 공정 변수의 설정에 따라 크게 영향을 받고, 용접 공정 변수로 루트 오프닝, 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도를 사용하였다. 원하는 용접 비드 형상을 설정하고 나서, 그것에 영향을 주는 용접 공정 변수를 결정하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다.

용접될 모재는 두께가 4.5mm 인 연강이고, 전극와이어는 AWS 규격 ER 70S-6 이었고, 이 전극와이어의 지름은 1.2 mm 였다. 실험에 사용된 보호가스는 100% CO₂가스였고, 가스의 흐름속도는 16 l/min였다. 4개의 용접 공정 변수는 유전 알고리즘에 의해 설정된다. 유전 알고리즘으로 설정된 각 입력 변수값에 대하여 용접을 수행하고, 3곳서 비드 높이와 용입 깊이를 각각 측정하고 평균한 값을 출력으로 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

유전 알고리즘을 이용하여 용접 공정 변수를 최적화하기 위해서는 다음 세대의 생존을 결정하는 적합도를 평가하는 지수(index)가 필요하다. 본 연구에서는 용접 품질에 중요한 영향을 주는 용접 비드 형상인 비드 높이와 용입 깊이를 이용하여 다음과 같은 목적함수를 만들었다

$$J = (H_d - H)^2 + (D_d - D)^2 \quad (1)$$

여기서 H_d, D_d 는 설계자가 원하는 비드 높이와 용입 깊이이고, H와 D는 실험으로부터 얻은 비드 높이와 용입 깊이를 나타낸다. 따라서 원하는 비드 형상은 J를 최소화 하거나 $1/(J+1)$ 를 최대 로 하는 용접공정변수를 찾는다는 것을 의미한다. 그리고 용접 공정 변수의 탐색 범위, 비트수와 변수의 레벨수를 Table 1과 같이 하였다. 이런 탐색공간으로부터 유전 알고리즘을 이용하여 최적 인 용접변수를 결정하는 절차는 다음과 같다.

Table 1 Search range for welding parameters

| Parameter | Range | Number of bits | Number of levels |
|-----------------|---------------------|----------------|------------------|
| Root gap | 0 - 1.5 (mm) | 2 | 4 |
| Wire feedrate | 1.35 - 14.40 (cm/s) | 4 | 16 |
| Welding voltage | 15 - 30 (V) | 4 | 16 |
| Welding speed | 3 - 10.5 (mm/s) | 4 | 16 |

먼저 유전 알고리즘의 제어 파라미터를 초기화한다. 다음에 이진 스트링으로 이루어진 용접 공정 변수를 개체수만큼 발생시키고 각 이진스트링을 Table 1의 범위의 값으로 변환시킨다. 그리고 이 변환된 각 용접 공정 변수값을 이용하여 아크용접실험을 수행한다. 실험후 각 조건에서 얻어진 용접 비드 형상을 계측한 후, 식(1)에 의해 목적 함수값을 계산하고, 그 값을 이용하여 적합도 함수값을 계산한다. 제1세대에서 랜덤하게 발생된 용접 공정 변수값과 각 조건에 대한 실험결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Results of initial generation

| Individual number | Gap (mm) | Feedrate (cm/s) | Voltage (V) | Speed (mm/s) | Height (mm) | Depth (mm) | Objective function | Fitness function |
|-------------------|----------|-----------------|-------------|--------------|-------------|------------|--------------------|------------------|
| 1 | 0.0 | 5.70 | 26 | 10.5 | 1.7 | 2.4 | 9.65 | 0.094 |
| 2 | 1.0 | 1.35 | 22 | 7.0 | 1.2 | 3.7 | 3.33 | 0.231 |
| 3 | 0.5 | 3.09 | 15 | 4.0 | 3.7 | 1.5 | 20.84 | 0.046 |
| 4 | 0.5 | 4.83 | 25 | 4.5 | 2.2 | 4.0 | 2.74 | 0.267 |
| 5 | 0.5 | 12.66 | 20 | 9.0 | 3.7 | 2.7 | 12.68 | 0.073 |
| 6 | 1.0 | 13.53 | 25 | 10.0 | - | - | 31.26 | 0.031 |
| 7 | 1.5 | 7.44 | 24 | 6.0 | - | - | 31.26 | 0.031 |
| 8 | 1.0 | 9.18 | 21 | 5.5 | 3.7 | 3.4 | 9.25 | 0.098 |
| 9 | 1.5 | 12.66 | 20 | 9.0 | 0.0 | 8.6 | 11.86 | 0.078 |
| 10 | 0.0 | 3.96 | 30 | 9.5 | 1.5 | 1.2 | 18.49 | 0.051 |

실험 번호 6과 7에 해당되는 용접조건에서는 불규칙하게 용락 현상이 발생하였기 때문에 이 조건에서 계측된 데이터는 Bad data로 간주하였다. 본 연구에서는 두 용접조건 중 가장 큰 목적 함수값의 1.5배로 하여 탐색을 진행하였다. 이렇게 각 개체에 대하여 계산된 적합도 함수값에 따라 유전 알고리즘의 세 연산자를 이용하여 다음 세대의 개체군을 결정한다. 이 과정을 만족할만한 용접 품질을 얻을 때까지 반복한다. 본 연구에서는 제 8세대까지 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 8세대까지 수행한 유전 알고리즘의 결과를 보여주고 있다. 그림으로부터 세대수가 증가함에 따라 목적 함수값이 작은 값으로 수렴해가는 것을 할 수 있고, 제4세대에서 근사 최적(near-optimal) 조건을 찾았다는 것을 알 수 있고 이것은 단지 40번의 실험을 통해 얻어진 결과이다. 그 이후 세대의 실험은 4세대에서 얻어진 최적조건이 타당한가를 검증한 것이고, 설계 기준에 따라 제4세대에서 실험을 중단할 수도 있다. Fig. 4는 각 세대에서 목적 함수값을 최소로 하는 용접 공정 변수값에서 얻어진 용접비드의 형상이 원하는 값으로 수렴해가는 과정을 나타내고 있다. 최적의 용접조건은 루트 오프닝이 1.0mm, 와이어 송급속도가 5.7cm/s, 용접전압이 24V, 용접속도가 6.0mm/s 또는 6.5mm/s 였다.

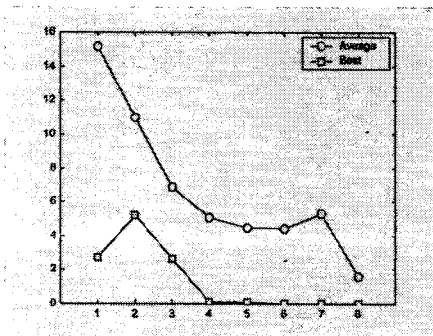


Fig. 3 Results of the genetic algorithm.

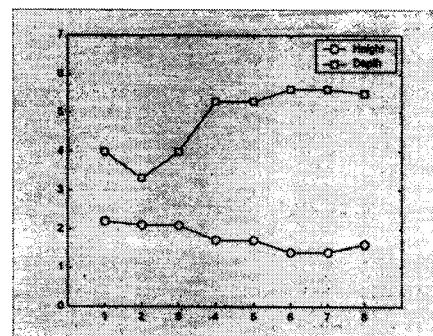


Fig. 4 Results of the bead height and depth of penetration.

5. 결론

유전 알고리즘을 이용하여 아크용접공정에서 최적인 용접공정변수를 결정하는 효과적인 방법을 제안하였다. 아크용접공정에서 용접 비드 형상은 용접 품질을 결정하는 중요한 인자이고, 본 연구에서는 완전용입용접형상을 만들어내는 용접공정변수를 유전 알고리즘을 이용하여 결정하였다. 유전 알고리즘을 이용한 용접공정의 최적화에서 목적함수는 용접 비드 형상의 비드 높이와 용입 깊이로 만들었으며, 용접 비드 형상은 루트 오프닝, 와이어 송급속도, 용접전압, 용접속도에 의해 제어되었다. 제안된 방법은 입력변수와 출력변수사이의 관계식 없이 체계적인 실험을 통해 최적인 용접공정변수를 찾아내는 방법이고, 기존의 방법보다 적은 실험횟수로 근사 최적 조건을 찾을 수 있었다.

참고문헌

1. Eagar, T.W., and Tsai, N.S.: Temperature fields produced by traveling distributed heat sources, *Welding Journal*, Vol.62, No.12, (1983), pp.347s-355s.
2. Konkol, P.J., and Koons, G.F.: Optimization of parameters for two-wire AC-AC submerged arc welding, *Welding Journal*, Vol.57, No.12, (1978), pp.367s-374s.
3. Li, P., Fang, M.T.C., and Lucas, J.: Modeling of submerged arc weld beads using self-adaptive offset neural networks, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 71, (1997), pp.288-298.
4. Goldberg, D.E.: *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley, (1989).
5. *Structural welding code-steel*, American Welding Society, Miami, Fla., (1993).
6. *Arc-welded joints in steel - Guidance on quality levels of imperfections*, ISO 5817, (1992).