

용가 와이어를 적용한 알루미늄 레이저 용접에서 공정 자동화를 위한 유전 알고리즘을 이용한 공정변수 최적화

박 영 환*

*한양대학교 BK21 혁신설계 기계인력 양성사업단

Optimization of Process Parameters Using a Genetic Algorithm for Process Automation in Aluminum Laser Welding with Filler Wire

Young Whan Park*

*The BK21 Program for Research and Education in Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract

Laser welding is suitable for welding to the aluminum alloy sheet. In order to apply the aluminum laser welding to production line, parameters should be optimized. In this study, the optimal welding condition was searched through the genetic algorithm in laser welding of AA5182 sheet with AA5356 filler wire. Second-order polynomial regression model to estimate the tensile strength model was developed using the laser power, welding speed and wire feed rate. Fitness function for showing the performance index was defined using the tensile strength, wire feed rate and welding speed which represent the weldability, product cost and productivity, respectively. The genetic algorithm searched the optimal welding condition that the wire feed rate was 2.7 m/min, the laser power was 4 kW and the welding speed was 7.95 m/min. At this welding condition, fitness function value was 137.1 and the estimated tensile strength was 282.2 N/mm².

*Corresponding author : honeydew@hanyang.ac.kr

(Received August 25, 2006)

Key Words : Automated laser welding, Aluminum laser welding, Process parameter optimization, Genetic algorithm, Regression model.

1. 서 론

레이저는 1960년대에 Maiman에 의하여 처음 미국의 휴스 연구소(Hughes Research Laboratory)에서 루비를 이용한 레이저가 최초로 발진된 이후, 다양한 레이저가 개발되었고 자동차 및 전자산업 그리고 의료 산업 등 많은 산업에 적용되었다. 레이저 가공은 재료의 열적 변환을 이용한 가공으로서 용접(welding)을 비롯한 절단(cutting), 드릴링(drilling), 마킹(marking) 그리고 쾌속 조형(rapid proto typing) 등에 많이 사용되고 있다. 용접에 있어서 레이저는 높은 에너지 밀

도를 가지고 있으며, 정밀하고, 가공속도가 빠르며, 비접촉식 가공이므로 그 사용이 점차 늘어가고 있는 추세이다.

박판의 알루미늄 용접에 있어서 레이저를 이용한 방법이 많이 사용되고 있다. 그 이유는 알루미늄의 재료 특성상, 용접에 있어서 고밀도 열원이 필요하기 때문이며 그러므로 레이저를 이용한 알루미늄 용접은 매우 유효한 방법이다. 알루미늄 용접은 차량 경량화에 있어서 매우 중요한 기술이며 차체의 생산라인에 반드시 필요하다. 그러나 현재까지의 아크 용접이 박판에 적용되는 경우, 변형과 같은 결함에 의해 생산라인에 적용되지 못했으나 레이저를 이용한 알루미늄 용접이 생산라인에

적용되기 시작하였고, 앞으로도 그 적용되는 산업분야가 더욱 다양화될 것으로 예상되고 있다¹⁾. 레이저 용접공정이 생산라인에 적용되기 위해서는 반드시 생산성의 극대화가 필요하다. 이를 위하여 용접공정의 최적화는 반드시 선행되어야 할 부분이다

레이저 용접은 다양한 용접 변수를 가지고 있다. AA5182 알루미늄 판재에 있어서 레이저 출력 용접속도, 보호가스의 방향 등에 따른 용접성을 관련하여 Loeng²⁾ 등이 연구하였다. 5000계열 알루미늄 레이저 용접에 있어서 용접부의 강도가 용접 후에 약화에 되는데 Paster³⁾ 등은 용접부의 기공(porosity), 용착 부족(underfill), 그리고 마그네슘 손실(magnesium loss)에 의하여 이러한 현상이 발생한다고 발표하였다. 이를 보상하기 위하여 용가 와이어(filler wire)를 이용한 레이저 용접이 제안되었고^{4,5)} 용가 와이어를 이용한 레이저 용접에는 레이저 용접의 변수 이외에 용가 와이어의 종류, 방향 그리고 송급속도 또한 매우 중요한 변수로 작용한다⁶⁾. 이 모든 것이 서로 복잡하게 연관되어 있으므로 최적의 용접 조건을 얻는다는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 생산성과 용접성등을 고려하여 모든 용접 조건들에 대한 최적화가 요구되고 있다

유전 알고리즘(genetic algorithm: G.A.)은 전역적인 최적점을 찾는 방법으로서 아크 용접과 같은 비선형 공정의 최적화에 많이 사용되었다^{7,8)}. Correia⁹⁾ 은 유전 알고리즘과 또 다른 최적화 방법 중 하나인 반응표면 분석법(response surface methodology)를 이용하여 가스메탈 아크용접의 용접 공정을 최적화하는 것에 적용하였고, 유전 알고리즘이 효과적인 방법임을 밝혔다

본 논문은 용가 와이어를 이용한 AA5182 알루미늄 합금 판재의 레이저 용접에서 용접 공정변수를 최적화하고자 하였다. 이를 위하여 레이저 출력, 용접속도, 용가 와이어의 송급속도를 입력변수로 하여 실험을 하였고, 인장강도를 이용하여 용접성을 판단하였다. 공정변수의 최적화에 있어서 유전 알고리즘을 이용하여 수행하였으며, 유전 알고리즘의 적합도함수는 용접성과 생산성을 고려하여 정의하였다. 공정변수를 이용하여 용접성을 나타낼 수 있는 인자인 인장강도 예측모델을 개발하였고 이것을 용접성을 나타내는 인자로 사용하였다. 그리고 용접속도와 와이어 송급속도를 생산성을 나타낼 수 있는 인자로 적용하였다. 이를 기반으로 유전 알고리즘을 이용하여 최적의 용접조건을 탐색하였다

2. 실험

2.1 실험장치 및 방법

AA5182 알루미늄 합금의 AA5356 용가 와이어를

이용한 레이저 용접공정을 최적화하기 위하여 용접조건에 따른 실험을 수행하였다. 실험의 장치는 Fig. 1과 같다. 사용된 레이저는 4 kW Nd:YAG 레이저이며, ABB 사의 로봇에 용접헤드를 장착하여 로봇암을 움직이며 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 레이저의 출력 방법은 연속파(continuous wave) 발진을 이용하였고, 레이저빔의 품질을 나타내는 BPP(Beam Propagation Parameter) 값은 12 mm x mrad 였다. 레이저 파장은 1.06 μm 이고, 초점거리는 250 mm, 초점 위치에서 빔의 크기는 0.4 mm 이다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 레이저를 직각으로부터 18° 를 기울였다. 그 이유는 레이저가 알루미늄에 조사시 알루미늄에서 역반사(back reflection)된 레이저 빛에 의해 광학계의 손상을 막기 위하여 각도를 주어 실험을 수행하였다

실험에 사용된 판재는 AA5182로 두께는 1.4 mm, 용접 길이는 280 mm 이고, 용가 와이어는 직경 1.2 mm 의 AA5356 용접봉이다. 알루미늄 판재의 화학적 조성은 Table 1 과 같으며, AA5356 filler wire의 조성은 Table 2 와 같다. 용가 와이어는 용접점의 앞에서 공급되었고, 레이저와는 45° 의 각도를 이루고 있다.

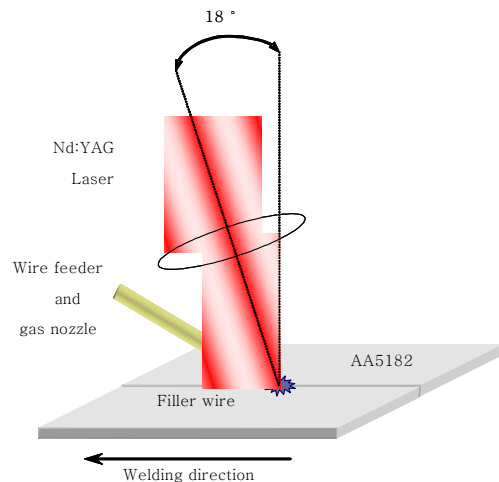


Fig. 1 Schematic figure for welding system

Table 1 Chemical composition of AA5182 (wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	other	Al
0.06	0.19	0.02	0.24	4.46	0.03	0.03	0.01	0.02	Re.

Table 2 Chemical composition of AA5356 filler wire (wt%)

Mg	Mn	Cr	Ti	Al
5.00	0.35	0.10	0.15	Re.

용가 와이어를 이용한 레이저 용접은 많은 용접 파라미터가 있다. 예를 들면, 레이저 출력, 용접속도, 보호가스의 유량 및 방향, 판재의 갭 등이 있으며 그 중에서 용가 와이어의 종류와 송급속도 그리고 공급위치는 주요 변수이다. 본 연구에서는 많은 용접 변수 중 용접속도와 레이저 출력 그리고 와이어 송급속도를 제어인자로 사용하여 실험하였다. 레이저 출력은 4, 3.5, 3 kW 의 3 수준으로 나누었고, 용접속도는 6, 7.5, 9 m/min의 3 수준으로 실험을 수행하였으며, 용가 와이어의 송급속도는 2, 3, 4 m/min 으로 설정하였다. 그러므로 용접 조건은 27개이며, 반복 회수는 3회로 함으로써 총 실험회수는 81회를 수행하였다. 실험의 진행은 실험계획법의 3원 배치법으로 하였고 실험의 순서는 무작위로 하였다.

이외의 실험의 고정인자로서 보호가스는 아르곤(Ar)을 이용하였다. 보호가스는 용접부의 상면과 이면에서 동시에 공급하였는데, 상면에서는 와이어 공급장치와 같은 축에 있는 노즐을 이용하여 공급하였고, 이면은 보호가스 채널을 이용하여 공급하였다. 이때의 유량은 상면에서 20 l/min, 이면에서 10 l/min 으러 설정하였다. 그리고 레이저의 초점은 시편의 표면위에 맞추었으며, 용접 그루브(groove)는 I형 맞대기 용접으로 수행하였다. 용접 그루브면(groove face)이 일정하도록 밀링 가공을 하였다. 용접 모재간의 갭(gap)은 0 mm 로 설정하였다.

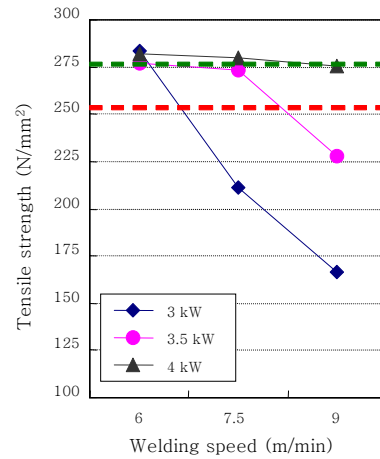
용접성을 나타낼 수 있는 인자로 본 논문에서는 인장강도를 선택하였다. 인장강도는 각 실험에서 2개씩 채취하여 실험을 수행하였다. 그러므로 각 조건당 6개의 인장시편을 얻을 수 있었고, 이를 평균하여 실험 결과를 하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

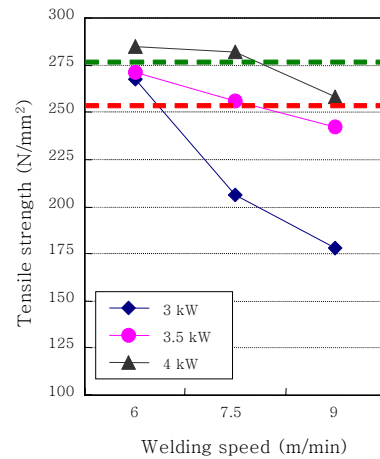
용가 와이어를 이용한 레이저 용접의 인장시험 결과는 Fig. 2와 같다. AA5182 알루미늄 판재의 모재 인장강도는 277 N/mm² 이고, ISO에서 규정하고 있는 알루미늄 AA5182 합금의 최소 인장강도는 255 N/mm² 이다. 이 두 인장강도는 Fig. 2에서 점선으로 표시를 하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 용가 와이어의 송급속도가 빨라지는 경우 이 두 범위를 넘는 용접조건 영역이 줄어들고 있다. 이것은 같은 입열인 경우 용가 와이어의 공급으로 인하여 입열이 용가 와이어를 녹이는데 많이 분산되므로 모재를 녹이는데 필요한 열량이 줄어들기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 인장 시험 후 시편의 파단형태를 보여주고 있다. Fig. 2 에서 277 N/mm² 보다 높은 인장강도를

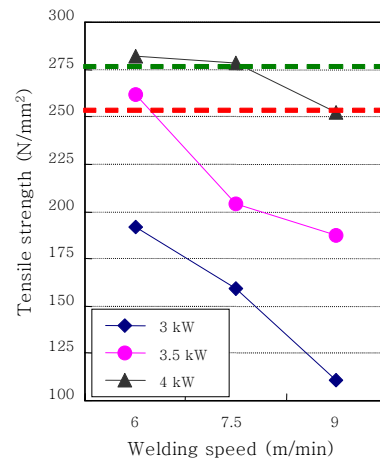
갖는 경우, Fig. 3 (a) 와 같이 모재에서 파단이 발생하고, 인장강도가 모재보다 낮으면 (b) 와 같이 용접부나 열영향부에서 파단이 발생한다. 기존의 연구³⁾에서는 5182 판재의 레이저에서는 용접부의 강도가 모재보



(a) Wire feed rate = 2 m/min

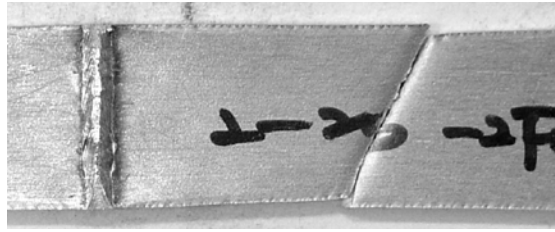


(b) Wire feed rate = 3 m/min

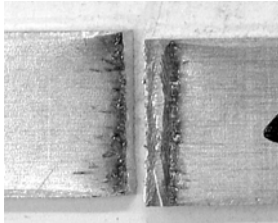


(c) Wire feed rate = 4 m/min

Fig. 2 Tensile strength according to welding conditions



(a) Fracture at base metal



(b) Fracture at weld or HAZ

Fig. 3 Fracture type after tensile test

다 낮았으나, 본 실험에서는 용가 와이어를 이용하여 모재보다 더 높은 인장강도를 얻을 수 있었다 이것은 용접부의 형상이 건전해지고 용가 와이어에 의한 덧살의 형성 및 용가 와이어에 의한 용접부의 마그네슘 함량이 강화되기 때문인 것으로 사료된다⁹⁾.

3. 유전 알고리즘을 이용한 용접 공정변수 최적화

3.1 유전 알고리즘

AA5182 알루미늄 판재의 AA5356 용가 와이어를 이용한 레이저 용접의 조건을 유전 알고리즘을 이용하여 최적화하였다. 유전 알고리즘의 전개과정에 필요한 유전 인자의 개체의 수는 20개로 하였고, 최대 학습 세대수는 10세대로 초기화 하였다. 유전 연산자 중, 교배율은 0.8로 돌연변이율은 0.01로 하였다. 각각의 파라미터의 설정값은 Schaffer 등의 연구¹¹⁾에 근거하여 설정하였다.

최적화를 위한 변수의 구간은 실험 영역과 같이 용가 와이어의 송급속도는 2-4 m/min, 레이저의 출력은 3-4 kW, 용접속도는 6-9 m/min으로 설정하였다. 이것을 이진 스트링으로 부호화 하기 위하여 각각의 변수를 5, 4, 6개의 bit으로 나누었고 이것을 순서대로 나열하여 총 15개의 길이를 갖는 스트링으로 염색체를 구성하였다. 다시 말하면 와이어 송급속도는 5개의 bit으로 구성되며 2에서 4까지의 값을 2⁵ 개인 32 수준으로 분할된다. 그러므로 와이어 송급속도는 0.0625의 간격으로 입력된다 이와 같이 레이저의 출력은 16개 수준의 0.0625 간격으로 분할되며, 용접속도의 경우는

64 수준의 0.0469의 간격이 된다.

이와 같은 수준으로 전체 영역에 대하여 격자 탐색법 (grid search method)을 이용하여 최적화 하기 위해서는 32,768번의 연산이 필요하지만 본 유전 알고리즘을 이용하는 경우 200번의 연산만 수행하면 된다 그러므로 전체 영역에 대하여 격자 탐색법을 이용하는 것 보다 훨씬 효과적인 최적화 방법이라고 할 수 있다

3.2 인장강도 예측모델

유전 알고리즘의 세대간의 생존확률을 결정하기 위해서는 적합도함수를 정의 하여야 한다 본 논문에서는 적합도함수를 정의하기 위하여 인장강도 와이어 송급속도, 용접속도 3가지를 고려하였다. 유전 알고리즘에서 인장강도에 대한 정보를 얻기 위하여 유전 알고리즘의 염색체의 분해능(resolution)에 해당하는 실험조건으로 각 실험을 모두 수행하는 것은 그 수가 너무 많고 많은 비용이 요구되는 관계로 본 연구에서는 이를 극복하기 위하여 용접조건을 이용하여 인장강도를 예측할 수 있는 모델을 이용하고자 하였다. 모델로는 통계적 기법을 이용한 2차 다항 회귀모델을 이용하였다.

회귀모델의 입력인자로는 용가 와이어의 송급속도 레이저 출력, 용접속도로 설정하였고, 출력인자로는 Fig. 2의 인장강도로 하였다. 구하여진 2차 다항 회귀 모델은 다음과 같다.

$$\hat{y} = 4938 - 258x_1 + 609x_2 - 911x_3 + 278x_1x_2 - 1.1x_1x_3 + 256x_2x_3 - 136x_1^2 - 370x_2^2 - 1.0x_3^2 \quad (1)$$

식(1)에서 x_1, x_2, x_3 는 입력 인자로서 각각 와이어 송급속도, 레이저 출력, 용접속도다. \hat{y} 는 출력 인자로 각각의 모델에 의해 예측된 인장 강도의 값이다. 각 계수 값은 최소제곱법 (least square method)로 구하였다. 위의 회귀식의 통계적 유의성을 판단하기 위해 분산분석 (analysis of variation : ANOVA)을 수행하였다. 분산분석의 결과는 Table 3 과 같다. Table 3에서 DOF는 자유도 (degree of freedom)의 약자이고, SS는 제곱합 (sum of square), MS는 평균 제

Table 3 ANOVA for second order polynomial regression model

Factor	DOF	SS	MS	F0	F(0.05)
Regression	9	55894.5	6210.5	44.1	2.49
Residual	17	2393.4	140.8		
Total	26	58287.9			

곱 (mean square) 의 약자이다. F_0 는 회귀의 평균 제곱에 대한 잔차의 평균제곱 비로서 F_0 의 값이 크면 클수록 회귀식의 정도 (precision)가 좋다고 말할 수 있다. $F(0.05)$ 는 유의 수준 95% 에 대한 F- 검정의 기각치 (critical value)로 F_0 가 $F(0.05)$ 보다 큰 경우 위의 회귀식의 유의정도는 95% 이상임을 나타낸다. Table 3 에서는 F_0 가 $F(0.05)$ 보다 매우 크므로 본 인장강도 회귀 모델이 입력변수에 대하여 출력변수의 관계를 잘 설명해 주고 있고 통계적으로 의미가 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 목적함수 및 적합도함수

유전 알고리즘의 세대간의 생존확률을 결정하기 위해서는 적합도함수를 정의하는 것이 매우 중요하다 본 논문에서는 적합도함수를 정의하기 위하여 3가지를 고려하였다. 하나는 레이저 용접의 용접성을 나타낼 수 있는 인자인 인장강도로 식(1)을 이용하여 각 용접조건에서 예측된 인장강도를 이용하였다 그리고 제품 생산의 생산성을 나타낼 수 있는 인자인 용접속도와 제품의 생산원가에 영향을 주는 와이어의 송급속도를 이용하였다. 그러나 적합도함수에 적용되는 인장강도와 와이어 송급속도 그리고 용접속도의 값의 범위가 큰 차이가 있으므로 이 값을 그대로 이용하는 경우 인장강도의 영향력 다른 두 인자에 비하여 상대적으로 매우 커진다 이를 보상하기 위하여 각각의 값을 표준화(normalizing) 하였다. 각각의 인자에 대하여 표준화를 위하여 제안된 목적함수는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4 (a)는 인장 강도에 대한 목적함수이다 인장 강도의 경우 클수록 용접부의 강도가 좋아지므로 목적함수의 값도 커지도록 정의하였다 Fig. 2 에서 보는 바와 같이, 실험조건 전체 영역에서 인장강도의 최소 값보다 약간 작은 값인 약 100 N/mm^2 과 모재의 인장 강도인 277 N/mm^2 을 기준으로 그 구간내의 값이 0에서 1이 되도록 목적함수를 정의하였다 모재보다 높은 인장 강도로 예측되는 구간에 대해서는 1.5의 가중치를 줌으로서 그 중요도를 더하였다 와이어 송급속도에 대한 목적함수는 제품의 무게와 생산원가를 고려할 때, 와이어 송급속도가 작을수록 유리하다 그러므로 와이어 송급속도는 작아질수록 목적함수는 커지도록 정의하였다. 변수 영역 내에서 가장 작은 값을 갖는 2 m/min 은 1로, 가장 큰 값을 갖는 4 m/min 은 0로 되도록 Fig. 4 (b)와 같이 설정하였다. 그리고 용접속도는 빠를수록 생산성에 유리하므로 목적함수는 커지도록 정의하였다 용접속도에 대한 목적함수는 변수

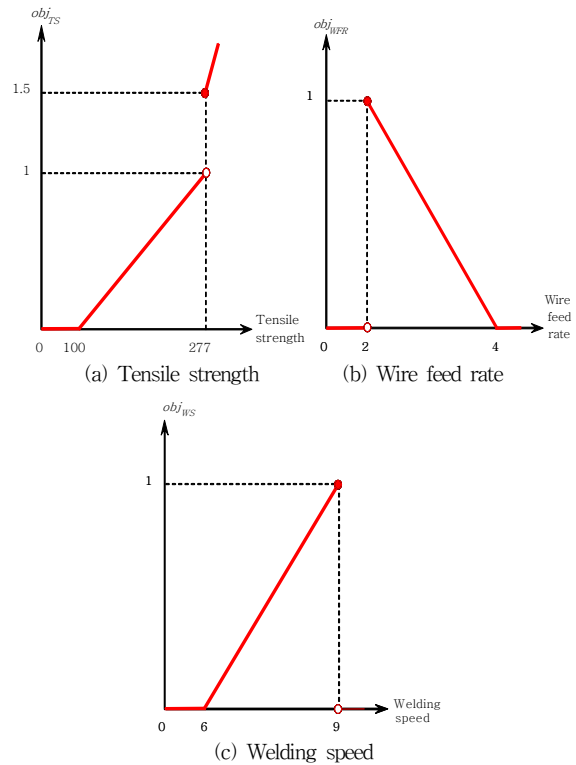


Fig. 4 Objective function

영역내의 가장 빠른 속도인 9 m/min 은 1로, 가장 느린 속도인 6 m/min 은 0이 되도록 정의하였다 각 목적함수에서 탐색영역의 범위 밖에 있는 값은 모두 0으로 하였다.

각 용접조건에 따른 적합도를 판단하기 위하여 적합도함수를 용접성을 나타낼 수 있는 인장강도에 대한 목적함수와 생산성을 나타낼 수 있는 목적함수인 와이어 송급속도와 용접속도를 이용하여 다음과 같이 정의하였다

$$fitness = (w_{TS} \quad w_{WFR} \quad w_{WS}) \cdot \begin{pmatrix} obj_{TS} \\ obj_{WFR} \\ obj_{WS} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서, *fitness* 는 적합도함수의 값을 나타내며 obj_{TS} 는 용접성을 나타내는 인장강도의 목적함수 값이고 obj_{WFR} 와 obj_{WS} 는 생산성을 나타낼 수 있는 와이어 송급속도와 용접속도의 목적함수 값이다 w_{TS} 와 w_{WFR} , w_{WS} 는 각 목적함수에 대한 가중치의 값을 나타낸다 본 연구에서는 인장 강도에는 80의, 용접속도에는 15의, 와이어 송급속도는 5의 가중치를 두었다. 일반적인 경우 제품의 신뢰성이 생산성에 비하여 우선되기 때문에 용접부의 강도에 큰 가중치를 두었다 그리고 신뢰성있는 용접범위 내에서 생산속도와 생산원가가 가장 빠르고

적은 부분의 용접조건을 찾기 위하여 위와 같이 가중치를 설정하였다. 본 가중치는 생산여건이나 부품의 종류에 따라 다르게 설정하여 최적화할 수 있다.

3.4 변수 최적화 결과

유전 알고리즘의 각 세대별로 얻어지는 20개의 탐색점의 레이저 출력, 용접속도, 그리고 와이어 송급속도를 이용하여 식 (1)에서 인장강도의 값을 얻고 Fig. 4 표준화된 목적함수를 얻는다. 이 목적함수의 값으로부터 식 (2)를 통하여 적합도함수값을 얻으며 유전 알고리즘을 통해 세대가 진행됨에 따라 가장 높은 적합도함수값을 갖는 곳으로 수렴하게 된다 Fig. 5는 각 세대에서 최고의 적합도함수를 갖는 레이저 출력 용접속도, 와이어 송급속도 값을 나타내며, Fig. 6은 각 세대별 적합도함수의 최대값과 평균값을 보여주고 있다. 그림과 같이 5세대부터 최적점을 찾았음을 알 수 있다. 7세대에서는 약간 최대값이 떨어지고 용접속도의 값이 변화하며 이는 용접속도를 나타내는 비트(bit) 중에서 돌연변이가 발생하였기 때문이다. 그러나 바로 8 세대부터는 다시 최적점으로 수렴하여 있음을 알 수 있다. 최종적으로 얻

은 용접 공정 변수는 10세대에서 최대의 적합도함수를 갖는 용접 공정 변수의 값을 선택하였다

유전 알고리즘을 이용하여 구한 최적의 공정변수는 용가 와이어 송급속도는 2.7 m/min, 레이저 출력은 4 kW, 그리고 용접속도는 7.95 m/min 이다. 이때의 적합도함수의 값은 137.1 이고 예측되는 인장강도의 값은 282.2 N/mm² 이다. 예측되는 인장강도가 277 N/mm² 보다 높으므로 파단은 모재에서 발생될 것으로 예상된다.

Fig. 7은 4 kW 레이저 출력에서 와이어의 송급속도와 용접속도에 따른 적합도함수값의 곡면과 등고선(contour)을 표시한 그림이다. 각 지점에서 가장 높은 적합도함수의 값을 갖는 곳을 최적점(optimal point)으로 표현 하였다. Fig. 7 (a) 에서 보는 바와 같이 탐색 영역 내에서 순간적으로 그 값이 급격하게 증가하는 부분이 있다. 이것은 Fig. 7 (a) 와 같이 인장강도에 대한 목적함수에서 모재 보다 높은 인장강도로 예측되는 구간에 대해서는 1.5의 가중치를 주어 비선형적으로 증가하게 하였기 때문이다. 그러므로 Fig. 7 (b)의 그래프에

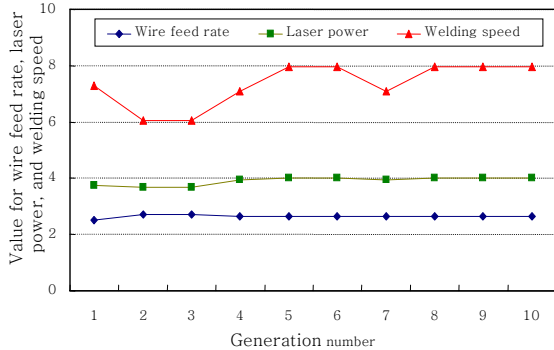


Fig. 5 Variation of each parameter according to generation

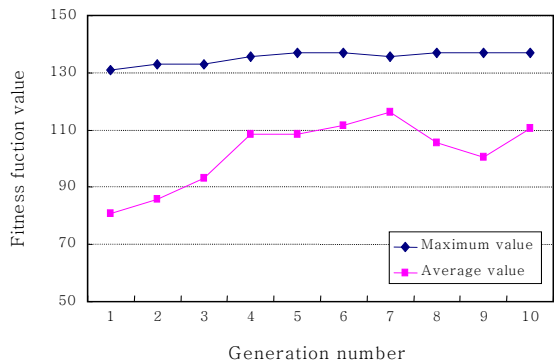


Fig. 6 Best and average values of fitness function in each generation

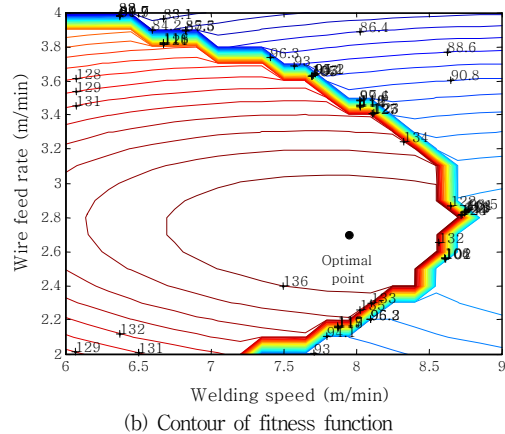
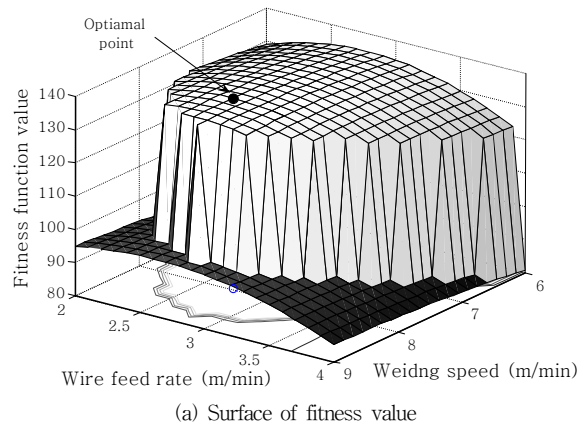


Fig. 7 Fitness function value at 4 kW of laser power

서 등고선이 밀집된 영역을 기준으로 인장강도가 모재의 인장강도보다 큰 경우와 그렇지 않은 경우로 구분되고 있다. 모재의 인장강도 보다 높은 영역내에서 생산성이 좋은 곳을 최적점으로 선정하였다.

6. 결 론

본 연구는 생산 자동화를 위하여 AA5182 알루미늄 합금의 레이저 용접에서 공정 변수를 최적화하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 용가 와이어는 인장강도 측면에서 적정의 용접범위를 떨어뜨리는 요인이지만, 입열이 충분하면 용접강도를 향상시킬 수 있는 요인으로 작용하였다.

2) 유전 알고리즘의 생존확률을 결정하기 위하여 용접성과 제품의 단가 및 생산성을 고려하여 인장강도, 와이어 송급속도, 용접속도를 이용하여 적합도함수를 정의하였다.

3) 유전 알고리즘의 분해능에 따른 각 용접조건의 인장강도를 얻기 위하여 용접공정변수를 이용하여 용접강도를 예측할 수 있는 2차 다항 회귀모델을 구하였고, 분산분석을 이용하여 모델의 유의성을 판단하였다.

4) 유전 알고리즘을 이용하여 10 세대 동안 최적의 용접조건을 탐색하였다. 유전 알고리즘을 이용하여 구한 최적의 공정변수는 용가 와이어 송급속도는 2.7 m/min, 레이저 출력은 4 kW, 그리고 용접속도는 7.95 m/min 이다. 이때의 적합도함수의 값은 137.1 이고 예측되는 인장강도의 값은 282.2 N/mm² 이다.

후 기

이 논문은 2006년도 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. G. Mather : The Welding of Aluminum and its Alloy, Woodhead Publishing Ltd, (2002)

2. K. H. Leong, K. R. Sabo, B. Altshuller, T. L. Wilkinson and C. E. Albright : Laser Beam Welding of 5182 Aluminum Alloy Sheet, *Journal of Laser Applications*, **11-3** (1999), 109-118

3. M. Pastor, H. Zhao, R. P. Martukanitz and T. Debroy : Porosity, Underfill and Magnesium Loss during Continuous Wave Nd:YAG Laser welding of Thin Plates of Aluminum Alloys 5182 and 5754, *Welding Journal*, **78-6** (1999), 207s-216s

4. M. Naeem and R. Jessett, "Aluminium Tailored Blank Welding With and Without Wire Feed, Using High Power Continuous Wave Nd:YAG Laser, SAE Conference Proceedings P, **334** (1998), 247-256

5. J. W. Yoon : Laser welding of aluminum alloys, *Journal of Korean Welding Society*, **18-2** (2000), 147 - 153 (in Korean)

6. A. S. Salminen and V. P. Kujanpää : Effect of Wire Feed Position on Laser Welding with Filler Wire, *Journal of Laser Applications*, **15-1** (2003), 2-10

7. D. Kim and S. Rhee : Determination of Optimal Conditions for a Gas Metal Arc Welding Process Using Genetic Algorithm, *Journal of Korean Welding Society*, **18-5** (2000), 63-69 (in Korean)

8. D. Kim and S. Rhee : Optimization of Arc Welding Process Parameters Using a Genetic Algorithm, *Welding Journal*, **80-7** (2001), 184s-189s

9. D. S. Correia, C. V. Gonçalves, S. S. da Cunha, Jr. and V. A. Ferraresi : Comparison Between Genetic Algorithms and Response Surface Methodology in GMAW Welding Optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, **160-1** (2005), 70-76

10. Y. W. Park : A Study of the Process Variables Optimization Methodology and Intelligent Quality Estimation for the Manufacturing automation in Laser Material Processing, Ph. D. Dissertation. Hanyang University, (2006)

11. J. D. Schaffer, R. A. Caruana, L. J. Eshelman, and R. Das : A Study of Control Parameters Affecting Online Performance of Genetic Algorithms for Function Optimization, *Proceedings of 3th International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, (1989), 51-60