

GMAW의 이면비드에 있어 다중회귀분석법을 이용한 공정변수 예측시스템 개발에 관한 연구

A Study on Development of System for Prediction of Process Parameters by Using Multiple Regression Analysis in Back-bead of Gas Metal Arc Welding

이정익*, 이세현**, 엄기원**

*학생회원, 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

**정회원, 한양대학교 기계공학부

1. 서 론

본 연구에서는 맞대기 GMA용접에서 외부 용접변수에 의해서 이면비드의 기하학적 형상을 효과적으로 제어하기 위한 다중회귀분석법(multiple regression analysis)에 의한 이면비드의 형상변수에 따른 실험식들을 개발하였다. 그리고, 이를 역변환시켜 실제 용접공정에서 원하는 이면비드 형상을 얻기 위해 공정변수를 예측하는 회귀식을 개발하였다. 또한, 이 회귀식에 실험을 통해 얻은 데이터들을 이용하여 회귀 데이터와 비회귀 데이터에 적용시켜봄으로서, 공정변수 예측시스템을 실시간 적응제어에 사용할 수 있음을 보여주었다.

2. 실험장치

실험장치는 로봇 장치, 용접장비 및 이면비드 계측용 비전 장비로 구성된다. 로봇 장치로는 3축 모션제어기를 이용하였다. 용접기는 CO₂ 아크 용접기로 100% CO₂를 보호가스로 사용하였다. 와이어는 지름 1.2mm에 최대 정격 2차 전류가 350A인 정전압 전원방식의 용접기를 사용하였다. 이면비드의 갭, 폭과 깊이 검출을 위한 비전 장치로는 레이저 비전 시스템을 사용하였으며, 이는 비전 시스템 콘트롤러와 비전 카메라로 구성되어 있다. 이 비전 콘트롤 시스템에는 PC기능이 있으므로 비전 처리, 비전 카메라 제어 기능 및 다중회귀분석을 수행할 수 있다. 시험을 위한 장치 개략도는 아래 Fig. 1에 나타내었다.

2.1 실험 데이터를 얻기 위한 비전처리

맞대기 용접의 갭에 따른 정량적인 이면비드의 폭과 깊이값을 산출하기 위해서는 비전센서에 의해 얻어지는 데이터를 빠르고 정확하게 계측해야만 한다. 레이저 비전센서를 통해 획득한 용접 비드의 형태인 레이저 떠는 일련의 256개의 점들로 이루어지며 갭, 이면비드의 폭, 깊이 측정을 위하여 우선 점들의 집합을 선 또는, 곡선 성분들로 표현해야 한다. 디지털로 표현된 프로파일은 픽셀의 이산성 때문에 본래 형태의 윤곽을 잘 표현할 수 없기 때문에 이를 위해 직선이나 곡선으로 약근(approximation)시켜야 한다. 평면 곡선에서는 매개변수형(parametric form)을 많이 사용하며 픽셀영역의 선분에서 한 점까지의 수직거리를 구함에 있어서 피팅(fitting)의 적합성을 기준으로 삼아 분할법(segment splitting method)을 수행한다. 생성시키는 예지점은 최대 17까지 두고 수행하였다. 이 방식에 의하면 본 연구의 GMA 용접에서는 이면비드의 정확한 폭과 깊이를 정밀도(resolution) 0.05 mm의 레이저 비전센서로 측정하였다.

2.2 실험 방법

실험에서 사용된 시편(180mm(W) X 100mm(L) X 6mm(t))은 SS41 연강을 두 장 맞대기 용접한 것이다. 실험에 사용된 모재의 기계적 특성 및 화학적 조성은 SS41에 따른다. 용접

변수 종류 및 용접조건은 Table 1에 나타내었다. 위의 조건을 조합하여 96가지 실험을 각 3회씩 수행 후 각 조건마다 평균하여 96개의 조건에 대한 데이터를 얻었다. 이들 각각의 실험조건과 시편 이면의 용접부위 길이방향 100mm중 최초, 최후 양측 10mm를 제외한 80mm를 비전센서로 측정하여 용접될 이면비드의 갭의 평균, 이면비드의 폭과 깊이 값을 구하여 이면비드 공정변수 예측시스템을 구성하기 위한 데이터로 사용하였다. 이면비드의 개략도는 Fig. 2와 같다. 프로파일 데이터 측정에 사용된 레이저 비전센서는 출력 40mW, 파장 680nm의 레이저 다이오드와 대역 통과 필터가 설치되어 있고, 한 프로파일당 256개의 점을 샘플링하며 초당 40프로파일링을 수행할 수 있다. 용접을 위한 보호가스의 유량은 15ℓ/min, 용접팁과 작업물(모재) 사이 거리는 15mm로 정하여 실험하였다.

3. 다중회귀 분석법의 결과 및 고찰

3.1 용접 공정변수들과 이면비드 변수와의 관계

GMA 맞대기 용접에서 용접 입력변수인 아크 전압, 용접 전류, 용접 속도에 따른 이면비드의 형성은 그루브 갭, 이면비드 용접부위의 비드 폭, 깊이와는 어느정도 상관관계를 갖고 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 아크 전압, 용접 전류, 용접 속도와 이면비드 용접부위의 갭, 폭과 깊이와의 상관관계를 검토하는 비드 예측 회귀 모델을 만들었다. 이들 예측 회귀모델 검토방법으로는 통계적인 방법인 다중회귀분석법(multiple regression analysis)을 사용하였다. 회귀분석에 사용하는 독립변수로는 용접기에서 공급되는 아크 전압, 용접 전류와 3축 모션제어에 의한 용접속도이다. 회귀분석에 사용된 데이터는 독립변수의 조건을 조합하여 회귀분석에 사용되었던 5가지 조건과 임의의 5가지 조건을 사용하여 개발된 실험식들의 회귀모델 적합성을 검증하였다. 또한, 이들의 결과는 Table 2와 같다.

$$G = 0.849 + (I \cdot 0.617) + (V \cdot 0.622) + (S \cdot -0.745) \quad (1)$$

$$W = 1.334 + (I \cdot 5.039) + (V \cdot 5.981) + (S \cdot -6.671) \quad (2)$$

$$D = 0.458 + (I \cdot 3.036) + (V \cdot 2.697) + (S \cdot -3.246) \quad (3)$$

여기서, G: gap to be welded, W: width of back-bead, D: depth of back-bead,
I: welding current, V: arc voltage, S: welding speed

3.2 이면비드 변수와 용접 공정변수와의 관계

앞서 용접공정 변수를 통해서 맞대기 용접의 임의의 갭에서 원하는 형상의 비드를 얻을 수도 있으나, 실제 로봇 GMA용접에서 용접선 추적과 같은 용접 자동화 및 제어 알고리즘에 이용할 수 있으며, 다양한 용접 조건에서도 쉽게 임의의 비드형상을 위한 최적의 공정변수 예측을 가능하게 하기 위해서 다음과 같은 연구방법을 시도하였다. 식 (1), (2), (3)을 다음 벡터로 정의하여 다음과 같은 간단한 행렬의 형태로 바꿀 수 있다.

$$S = T_M P \quad (4)$$

여기서,

S: bead shape matrix, T_M : transformation matrix, P: welding parametric matrix,

$$S = \begin{pmatrix} G & -0.849 \\ W & -1.334 \\ D & -0.458 \end{pmatrix}, \quad T_M = \begin{pmatrix} 0.617 & 0.622 & -0.745 \\ 5.039 & 5.981 & -6.671 \\ 3.036 & 2.697 & -3.246 \end{pmatrix}, \quad P = \begin{pmatrix} I \\ V \\ S \end{pmatrix}$$

여기서, G: gap to be welded, W: width of back-bead, D: depth of back-bead

I: welding current, V: arc voltage, S: welding speed

식 (4)을 이용한 시스템 결정 인자는

$$\begin{pmatrix} I \\ V \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -13.9708 & 0.0957 & 3.0098 \\ -38.2656 & 2.5438 & 3.5545 \\ -44.8607 & 2.2031 & 5.4603 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G - 0.849 \\ W - 1.334 \\ D - 0.458 \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (5)로 부터 시스템 공정변수를 위해 사용되는 용접 전류, 아크 전압, 용접 속도의 방정식은 다음과 같이 식 (6), (7), (8) 나타낼 수 있고, 이들의 해석결과는 Table 3과 같다.

$$I = 10.3551 + (-13.9708*G) + (0.0957*W) + (3.0098*D) \quad (6)$$

$$V = 27.4661 + (-38.2656*G) + (2.5438*W) + (3.5545*D) \quad (7)$$

$$S = 32.6470 + (-44.8607*G) + (2.2031*W) + (5.4603*D) \quad (8)$$

4. 결 론

1. 용접공정변수로 이면비드 형상을 제어하기 위한 다중회귀식을 모델링하고, 실제 용접에 적용할 수 있을 만큼의 작은 평균 오차율을 얻었다.
2. 형상제어에서는 비드 형성부위의 갭이 가장 큰 오차율을 보여줌으로서 실제 시스템에서 제어하기 어려운 변수로 생각된다.
3. 원하는 이면 비드형상을 얻기위해 용접공정 변수를 제어에서 용접 속도가 가장 큰 오차를 나타내 역변환시에 시스템에서 실시간으로 가장 제어가 어려운 변수로 생각된다.
4. 원하는 이면비드 형상을 얻기 위한 용접공정 변수 제어용 다중회귀분석 모델링을 구하였고, 이를 역변환하여 실제 자동화용접에 사용될 수 있는 공정 변수 예측시스템을 개발하였다.

참고문헌

1. T. Takagi and M. Segeno, " Fuzzy identification of systems and its applications to moeling and control", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 15, No. 1, (1985), pp. 116-132.
2. G. E. Cook, K. Andersen and R. J. Barnett, " Keynote address: Feedback and adaptive control in welding", Proceedings of an International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, USA, 18-22, (1986), pp. 891-903.
3. J. Raveendra and R. S. Parmar," Mathematical models to predict weld bead geometry for flux cored arc welding", Metal Construction, Vol. 19, No. 2, (1987), pp. 31R-35R.
4. R. S. Chandel, "Mathematical modeling of as metal arc weld features", Proceedings of the Fourth International Conference on Modeling of Casting and Welding Processes, April, (1988), pp. 109-120.
5. R. S. Chandel, "Mathematical modeling of as metal arc weld features", Proceedings of the Fourth International Conference on Modeling of Casting and Welding Processes, April, (1988), pp. 109-120.
6. L. J. Yang, R.S. Chandel and M.J. Bibby, "The effects of process variables on the weld deposit area of submerged arc welds", Welding Journal, Vol. 72, No. 1, (1993), pp. 11-s-18-s.

Table 1 Welding parameters and conditions

variables	units	conditions
welding current	ampere	200, 210, 220, 230
arc voltage	volt	24, 25
welding speed	mm/sec	4, 5, 6

Table 2 Model summary and prediction errors

dependent variable	model summary	regression result
gap of back-bead	adjusted R^2	0.873
	standard error of the estimate	0.1622
	analysis error of non-regression data	8.92 %
	analysis error of regression data	6.53 %
width of back-bead	adjusted R^2	0.948
	standard error of the estimate	0.2206
	analysis error of non-regression data	7.35 %
	analysis error of regression data	5.52 %
depth of back-bead	adjusted R^2	0.888
	standard error of the estimate	0.1651
	analysis error of non-regression data	8.51 %
	analysis error of regression data	6.15 %

Table 3 Model summary and results of multiple regression analysis

dependent variable	analysis error	regression result
normalized welding current	analysis error of non-regression data	4.56 %
	analysis error of regression data	2.84 %
normalized arc voltage	analysis error of non-regression data	5.38 %
	analysis error of regression data	3.66 %
normalized welding speed	analysis error of non-regression data	6.35 %
	analysis error of regression data	4.67 %

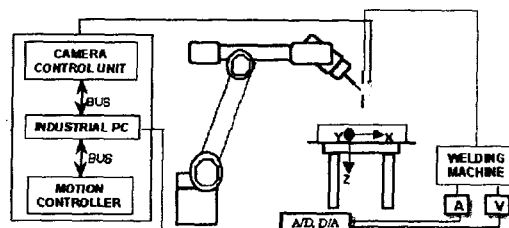


Fig. 1 System configuration for prediction of back-bead

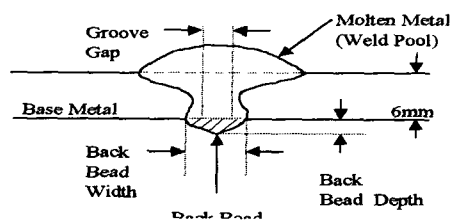


Fig. 2 Schematic diagram of width and depth of back-bead