

신경회로망을 이용한 용접공정변수와 비드폭과의 상관관계에 관한 연구

김인주**, 박창언*, 김일수*, 박순영*, 정영재**, 임현**, 박주석***

A Study on the Relationship Between Welding Variables and Bead Width Using a Neural Network

I. J. Kim**, C. U. Park*, I. S. Kim*, S. Y. Park*, Y. J. Jeong**, H. Lim**, J. S. Park***

ABSTRACT

The automation and control of robotic welding process is a very complex assignment because the system is affected by a number of variables which are very difficult to determine or predict in practice. Not only the optimization of the robotic welding process is considered from the point of view of the time and the cost of manufacturing, as well as quality of the weldment, the human factors of the production and many other factors must taken into consideration. In order to determine the optimal parameters of robotic welding process, it is necessary to build a computer model representing all parameters influencing the welding process as well as the mutual dependence between them.

This paper presents an approach to modeling the robotic welding process in which all parameters affecting the welding process are included using a neural network. A detailed analysis of the simulation results has been carried out to evaluate the proposed neural network model.

Key Words : Neural network(신경회로망), Hidden layer (은닉층), Process variables(공정변수), Factorial design method(요인시험방법)

1. 서론

신경회로망에 관한 연구는 오래 전부터 계속되어 왔으며, 컴퓨터의 발달과 더불어 인공지능 구현을 위하여 많은 연구가 수행되고 있다. 일반적으로 신경회로망 모델들은 최근에 시각적 패턴인식, 광학, 음성타자기, 문자인식, 음성분석, 로봇학 분야까지 광범위하게 이용되고 있다. 이러한 신경회로망의 알고리즘을 이용하여 컴퓨터 통합생산 시스템(computer integrated manufacturing), 지능로봇, 공정 데이터베이스, 지식형 전문가시스템(knowledge-based expert system)개발에 적용함으로써, 생산성을 향상시키고 있다.⁽¹⁻²⁾ 최근에 수학적으로 모델링하기 어려운 분야에 신경회로망을 이용하여 접근하는 연구

가 많이 행하여지고 있다. Cook et al.⁽³⁾은 신경회로망을 이용하여 용접공정을 모델링하고 비드크기를 예측하는 방안을 최초로 제시하였다. 공정변수는 용접전류, 아크전압, 토치 이동속도 및 전극선 송급속도를 신경회로망의 입력으로 사용하고, 비드크기 지수들을 신경회로망의 출력으로 하여 그 사상(mapping) 관계를 학습한 후 용융지 크기를 예측하였다. 하지만 용접기와 관련된 변수들만 고려하고 용접 중의 외란에 의한 영향이나, 용접재료에 의한 영향 및 열역학적인 요인들을 고려하지 않아 정확한 비드크기 예측평가가 불가능하였다. 따라서, 본 연구에서는 신경회로망을 이용하여 공정변수들(와이어 직경, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유출량)과 비드폭과의 상관관계를 조사하고, GMA 용접

* 목포대학교 교수
** 목포대학교 대학원생
***울산기능대학 교수

공정에서 용접중 발생하는 여러가지 외란의 영향을 최소화하여 균일한 비드폭을 얻기 위한 최적의 제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 실험 및 방법

본 실험은 완전한 부분요인실험(partial factorial design)으로 연구할 수 있는 최소한의 처리 콤비네이션(combination)과 주 영향 및 상호작용의 영향도 연구가 가능한 방법을 선정하였다. 이 실험을 위해 선택한 공정변수들은 와이어 직경, 용접전류, 아크 전압, 용접속도, 가스유출량 등이며 응답요소는 비드폭이다. 5개의 공정변수의 실험 레벨과 한계는 Table 1에 나타낸다. 여기서 아크전류는 와이어 직경에 크게 영향을 받으므로, 와이어 직경 0.9 mm인 경우 아크전류는 90, 190, 250 Amp이며, 반면에 직경이 1.2 및 1.6 mm인 경우 아크전류는 180, 260, 300 Amp를 선정하였다. 그 외에 용접변수는 변화하지 않는 것으로 가정하였다. 사용된 용접재료의 기계적 성질 및 화학적 성분은 Tables 2~3에 각각 나타낸다.

Table 1 Welding parameters and limits

Parameter	Symbol	Unit	Limits
Wire diameter	D	mm	0.9, 1.2, 1.6
Gas flow rate	G	ℓ	6, 10, 14
Welding speed	S	mm/min	250, 330, 410
Arc current	I	Amp	90, 190, 250, 180, 260, 360
Welding voltage	V	Volt	20, 25, 30,

Table 2 Mechanical properties of base metal

Material	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield point (kg/mm ²)	Elongation (%)	Impact value (kgm/cm ²)	Hardness (HV)
SS400	43.5	32.5	25	6.2	128

Table 3 Chemical composition of base metal

Element(%) Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Fe
	SS 400	0.1	0.0	0.69 7	0.01 3	0.00 7	0.04 1	0.08 7	0.50 3

실험을 위하여 사용된 아크용접기는 6축 용접로봇 (대우 ABB1400)을 선택하였으며, 용접 시험편 가공은 힘이나 변형을 방지하기 위하여 프레스를 사용하여 절단한 후 밀링머신으로 마무리 작업을 한다. 실험에 사용된 시험편은 200×70×12mm 두께의 SS400 일반구조용 압연강재로서 시험편에 용접하고자 하는 평면은 표면의 녹, 스케일, 산화물 등 이물질이 용접결함의 원인이 되지 않도록 stainless wire-brush 및 sand paper로 깨끗이 닦아낸다. 시험편을 용접지그에 위치한 다음 실험디자인에서 선정된 공정변수를 프로그램 유니트(program unit)를 이용하여 로봇에 입력시킨 다음 로봇을 이용하여 용접을 실시한다. 새로운 공정변수값은 프로그램 유니트를 이용하여 재 프로그램화하고 계속하여 용접을 수행한다. 비드크기를 측정하기 위해 용접시험편의 가로축을 중간 부분에서 wire cutting machine을 사용하여 자르고 양쪽을 연삭 후 폴리싱(polishing)한다. 비드폭을 측정하기 위하여 시험편 양쪽을 광택하고 HNO₃ 3% + H₂O 97% Nital 용액을 이용하여 에칭 하였다. 측정은 시험편 양쪽의 에칭된 면을 배율 10배의 광학 현미경으로 사진을 현상하여 스캐닝 후 컴퓨터에서 비드폭을 측정한다.

3 실험결과 및 고찰

Fig. 1은 5개의 공정변수들로부터 다층 신경회로망을 이용하여 비드폭을 예측하는 방법이 도식적으로 나타낸다. 먼저 신경회로망을 이용한 비드폭 예측기를 실제 예측에 사용하기에 앞서, 이러한 목적에 적합한 비드폭의 예측기를 구축하기 위해 신경회로망을 학습시킨다. 이는 학습법칙에 의해 신경회로망 내부의 매개변수를 조절함으로써 이루어진다. 용접물상의 5개의 공정변수들로부터 측정되고 실제로 형성된 비드폭 지수가 신경회로망의 출력측에 목표값(target value)으로 주어진다. 신경회로망의 입력으로는 5개의 공정변수들에 관한 정보가 들어간다. 이로부터 신경회로 예측기는 비드폭의 지수 예측값을 계산하게 된다. 이는 실제 측정된 비드폭 지수들과 비교된다. 예측값이 실제 측정값과 차이가 있으면, 학습법칙에 의해 신경회로망 내부의 매개변수들을 조절하여 오차가 줄어들도록 학습시킨다. 학습의 초기에는 신경회로 예측기가 완전하게 구축되지 않았으므로 이들의 오차가 크다.

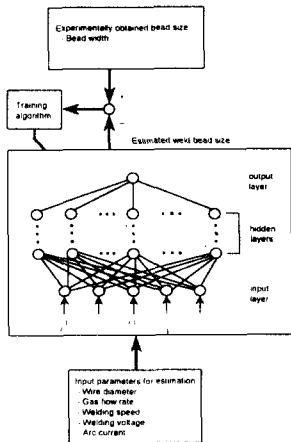


Fig. 1 Block diagram of the training and estimated procedures for weld width using a neural network estimator.

따라서, 학습법칙에 의해 오차가 줄어들도록 신경 회로망 내부의 매개변수의 고정값이 계산되며, 이를 이용하여 매개변수는 수정되며, 새로운 매개변수에 비드크기의 예측값이 다시 계산되어 실제 크기와 비교된다. 이러한 반복적인 학습에 의해, 비드 크기 지수들의 예측값과 실제 실험된 값과의 차이는 줄어들게 되며, 이들의 차이가 충분히 줄어들 때까지 계속 실행하면서 결정하였다. 학습데이터로 백프로파게이션(Backpropagation)⁽⁸⁾을 이용하였으며 학습율은 0.01이고 모멘텀은 0.85로 결정하였다. 다양한 용접조건에서 행한 81회의 실험으로부터 5개의 공정변수(와이어 직경, 용접전류, 아크전압, 용접 속도, 가스 유출량)에 대응하는 비드폭 측정 실험결과는 신경회로 예측기의 학습에 사용되었다. 개발한 신경회로 예측기의 예측성능을 평가하기 위하여 Table 4에 나타난 것과 같이 추가로 36회 실험을 실시하였으며, 그 결과는 실제 비드폭과의 예측값과 비교하는데 이용되었다. Figs. 2~3은 비드폭에 대한 신경회로망의 은닉층이 1개인 경우와 2개인 경우의 산란그래프(scatter graph)를 나타내었다. Fig. 2는 은닉층이 1개인 경우에 있어서 실선은 실험값을 산란점들은 예측값(desired output)을 나타내며, 은닉층이 1개인 예측값은 실제의 실험값에 대하여 상당히 근접함을 알 수 있다. Fig. 3은 은닉층이 2개인 경우에 있어서 예측값들을 산란그래프 형태로 나타낸 것으로 은닉층이 1개인 경우와 마찬가지로 상당한 정확성을 가짐을 나타내고 있다. Fig. 4는 은닉층이 1개인 경우와 2개인 경우의 예측값을 오차 백분율

Table 4 Additional experiment results for verification of the neural network estimator

Trial No.	Wire diameter	Gas flow rate	Welding speed	Welding current	Arc voltage	W _T
1	0.9	6	270	140	22	8.91779
2	0.9	6	270	140	27	10.64394
3	0.9	6	370	140	22	7.12779
4	0.9	6	370	140	27	8.85394
5	0.9	10	270	220	22	10.56779
6	0.9	10	270	220	27	12.49394
7	0.9	10	370	220	22	8.77779
8	0.9	10	370	220	27	10.70394
9	0.9	14	270	300	22	12.21779
10	0.9	14	270	300	27	14.34394
11	0.9	14	370	300	22	10.42779
12	0.9	14	370	300	27	12.55394
13	1.2	6	270	140	22	9.83732
14	1.2	6	270	140	27	11.78802
15	1.2	6	370	140	22	8.04732
16	1.2	6	370	140	27	9.99802
17	1.2	10	270	220	22	11.48732
18	1.2	10	270	220	27	13.63802
19	1.2	10	370	220	22	9.69732
20	1.2	10	370	220	27	11.84802
21	1.2	14	270	300	22	13.13732
22	1.2	14	270	300	27	15.48802
23	1.2	14	370	300	22	11.34732
24	1.2	14	370	300	27	13.69802
25	1.6	6	270	140	22	11.06336
26	1.6	6	270	140	27	13.31346
27	1.6	6	370	140	22	9.27336
28	1.6	6	370	140	27	11.52346
29	1.6	10	270	220	22	12.71336
30	1.6	10	270	220	27	15.16346
31	1.6	10	370	220	22	10.92336
32	1.6	10	370	220	27	13.37346
33	1.6	14	270	300	22	14.36336
34	1.6	14	270	300	27	17.01346
35	1.6	14	370	300	22	12.57336
36	1.6	14	370	300	27	15.22346

(error percentage)로 비교하여 나타내며, 은닉층이 1개인 경우 보다 2개의 은닉층인 경우 오차가 현저하게 줄어들었음을 알 수 있다.

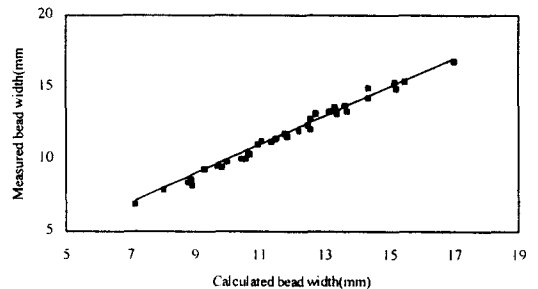


Fig. 2 Comparison of measured and calculated bead width for one hidden layer

참고문헌

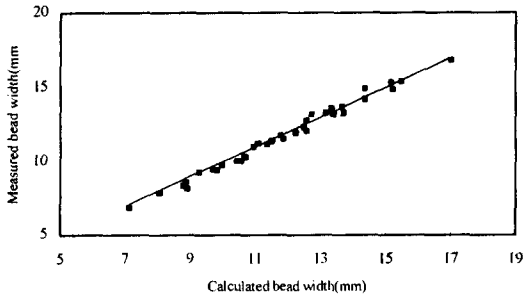


Fig. 3 Comparison of measured and calculated bead width for two hidden layer

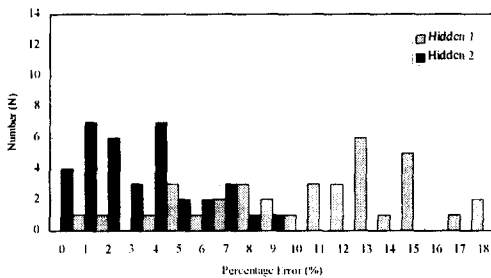


Fig.4 Accuracy analysis of penetration

4. 결론

신경회로망을 이용하여 GMA 공정변수(와이어 직경, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유출량)를 이용하여 최적의 비드폭을 예측 및 제어 할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 비드폭은 공정변수들의 변화에 따라 변화함을 실험결과로부터 알 수 있었다. 또한 5개의 공정변수와 비드폭과의 상관관계를 신경회로망을 사용함으로써 잘 구현할 수 있었다.
2. 신경회로망의 비드폭이 은닉층을 1개인 경우 및 은닉층이 2개인 경우 예측값은 모두 실제값과 유사한 값을 나타냄을 알 수 있었다.
3. 위와 같은 연구 결과를 통하여 신경회로망 이용은 보다 정확한 공정변수 예측에 적용할 수 있기 때문에 주로 제어 및 데이터 분석에 분야에 널리 이용될 수 있을 것으로 기대되며 용접현장에서 균일한 비드폭을 얻을 수 있는 효과적인 판단 기초로 이용될 수 있다.

1. H. B. Smartt, P. Einerson, A. D. Watkins and R. A. Morris. "Gas metal arc welding process sensing and control". Proceedings of an International Conference on Trends in Welding Research, Gatlinburg, Tennessee, USA, 18-22, May, pp. 461~465, 1986.
2. R. S. Chandel and S. R. Bala, "Effect of welding parameters and groove angle on the soundness of root beads deposited by the SAW process". Advances in Welding Science and Technology, pp. 379~385, 1986.
3. G. E. Cook, "Feedback and adaptive control in automated arc welding system", Metal Construction, Vol. 13, No. 9, pp. 551~556, 1980.
4. T. Shinoda, and J. Doherty, "The relationship between arc welding parameters and weld bead geometry: A literature survey", The Welding Institute Report 74/1978/PE, 1978.
5. J. C. McGlone, and D. B. Chadwick, "The submerged arc butt welding of mild steel Part 2: The prediction of weld bead geometry from the procedure parameters", The Welding Institute Report 80/1978/PE, 1980.
6. J. Doherty, T. Shinoda and J. Weston, "The relationships between arc welding parameters and fillet weld geometry for MIG welding with flux cored wires", The Welding Institute Report 82/1978/PE, 1978.
7. D. E. Rumelhart, J. L. McClelland, and the PDP Research Group, parallel Distributed Processing, Volume I, II, MIT Press, 1986.
8. T. K. Kohonen, "The neural phonetic typewriter", IEEE Computer, Vol. 1, No. 3, pp. 11~22, March, 1998.
9. J. J. Hopfield, "Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons", Proc. of the National Academy Science 81, pp. 3088~3092, 1984.