

신경회로망을 이용한 실시간 비드높이 모니터링에 관한 연구 A Study on Real Time Monitoring of Bead Height Using Neural Network

손준식*, 김학형**, 김일수**, 김인주***, 강봉용***

* (주)프로맥스 기술연구소

** 목포대학교 기계공학과

*** 한국생산기술연구원

1. 서 론

최근까지 용접자동화 관련 연구는 생산성 향상을 통한 경비절감을 위하여 고효율의 용접기술 개발에 집중되었다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 고에너지 열원을 갖고 있는 레이저, 플라즈마 등이 검토 및 적용되고 있으며, 이외에도 용접공정의 효율을 향상시키기 위하여 서보전, 로봇 등의 신기술이 개발되고 있다. 그러나 고효율의 접합기술을 사용하더라도 용접품질을 확보하지 못하면 실제 생산라인에 적용이 불가능하다. 따라서 고효율과 품질이라는 두 가지 목적을 모두 달성할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있는 실정이며, 이러한 목표를 달성하기 위해서는 용접공정에서 대상제품의 품질을 제어하기 위한 관련 공정변수들의 측정이 먼저 이루어져야 한다. 기존의 연구들에서 용접전류, 용접전압, 이송속도, 와이어 공급속도 등과 같은 공정변수들을 측정할 수 있는 장치에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나 실제 용접 공정에서는 이와 같은 변수들만으로 용접 품질을 제어하기에는 한계가 있다¹⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 용접부의 품질을 직·간접적으로 대변할 수 있는 인자들을 찾아 이를 통하여 용접공정 중 용접품질을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 용접품질을 대변할 수 있는 변수를 실시간(real-time)으로 측정하여 측정된 변수와 비드형상 예측모델을 이용하여 비드높이를 예측함으로써 실시간으로 용접품질을 모니터링하고자 한다.

2. 용접 실험

본 연구는 용접품질을 예측하기 위한 모델 개

발에 필요한 데이터 획득을 위하여 용접실험을 수행하였다. 용접실험에 사용된 용접변수는 일반적으로 용접품질에 가장 영향을 미치는 용접전류, 아크전압, 용접속도를 선정하였으며, Table 1과 같이 각각의 변수에 대해 3개의 레벨을 사용하여 총 27회의 용접실험을 실시하였다. 용접 실험 중 용접부 온도를 측정하여 측정된 데이터를 용접 품질 모니터링에 활용하였다.

용접실험에 사용된 시험편은 300×150×4.5 mm SS400 압연강재를 이용하였으며 직경 1.2mm 플럭스코어드 와이어(flux-cored wire)를 이용하였으며, 보호가스는 100% CO₂를 사용하여 실험을 수행하였다.

Table 1 Welding parameters and their levels

Input parameters	Unit	Symbol	Level		
			Low	Middle	High
Welding Speed	mm/sec	S	8	10	12
Arc voltage	Volt	V	26	28	30
Welding current	Amp.	C	240	260	280

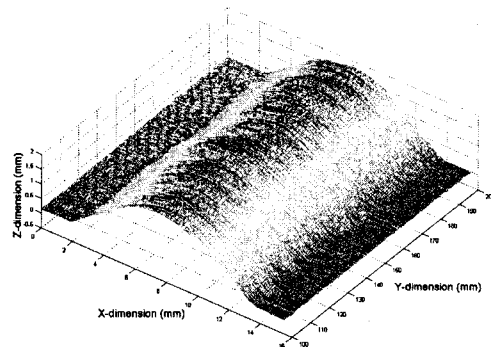


Fig. 1 The measured bead geometry using a 3D scanner

27회의 용접실험 후 Fig. 1과 같이 용접시편

의 비드형상을 측정하기 위하여 3D 레이저스캐너를 이용하여 비드형상을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Off-line 수학적 모델

Off-line 변수를 이용한 모델의 정확도를 분석하기 위하여 off-line 수학적 모델을 개발하였다. 개발된 수학적 모델의 변수사이의 상호작용도 고려하여 개발하였으며, 개발된 비드높이를 예측할 수 있는 수학적 모델은 식 (1)과 같다.

$$H = 4.658 + 0.043S - 0.026V - 0.012C - 0.018SV + 2.230 \times 10^{-4}VC + 5.045 \times 10^{-5}SVC \quad (1)$$

3.2 On-line 신경회로망 모델

보다 정확한 비드형상을 예측을 위하여 수학적 모델링하기 어려운 비선형적 요소를 많이 포함한 분야에 광범위하게 적용되고 있는 신경회로망을 이용하였다.

신경회로망의 학습을 위하여 1679개의 데이터를 이용하였으며, 테스트를 위하여 172개의 데이터를 이용하였다.

4. 용접품질 모니터링 모델 성능평가

개발된 모델의 성능평가를 위하여 추가적 용접 실험을 실시하였으며, 실험을 수행하기 위하여 선정된 용접변수는 Table 3과 같다.

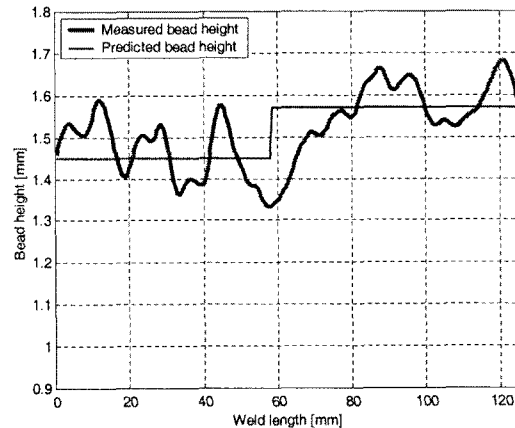
Table 3 Welding parameters and their values in additional experiment

Trial No.	Welding parameter				
	Welding speed (mm/sec)	Section 1		Section 2	
		Arc voltage (V)	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding current (A)
1	9	27	250	27	270
2	11	27	250	29	250

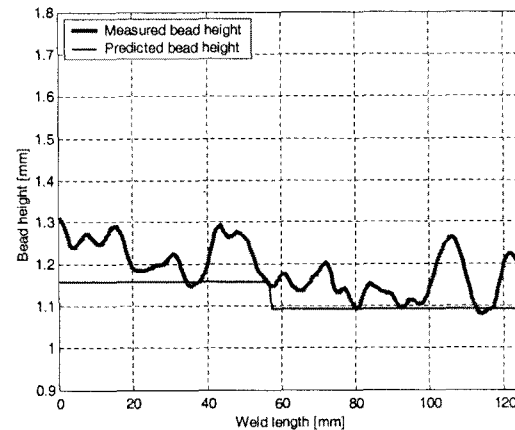
4.1 Off-line 수학적 모델

Off-line 수학적 모델을 이용하여 예측한 비드

형상과 측정된 비드형상을 비교하였다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 off-line 수학적 모델은 용접공정 중 발생하는 용접조건 변화에 따른 비드형상의 변화를 표현하지 못하고 있다. 이는 off-line 수학적 모델이 용접 전 설정한 용접조건을 가지고 비드형상을 예측하기 때문이다.



(a) Trial No. 1



(b) Trial No. 2

Fig. 2 Comparison of the measured and predicted bead width using off-line empirical model

예측한 비드형상을 보다 정확하게 비교하기 위하여 식 (2)와 같이 Poliak이 정의한 PAM (Predictive Ability of Model)을 이용하여 정확도를 평가하였다²⁾.

$$PAM = \frac{N_{PAM}}{N_{total}} \times 100 \quad (2)$$

여기서, N_{PAM} 은 $\left| \frac{B_m - B_p}{B_m} \right| \leq 0.1$ 범위의 예측치의 수를 나타내며, N_{total} 은 전체 예측치 수를 나타낸다. 그리고 B_m 는 실측치 비드형상이며, B_p 는 계산된 비드형상을 의미한다.

Table 4에 Off-line 수학적 모델의 PAM과 평균오차를 나타내었다. 두 시편 모두 PAM에서 90%이상의 적중률을 보이고 있으며, 평균오차에서 대략 0.06mm의 오차를 보이고 있다.

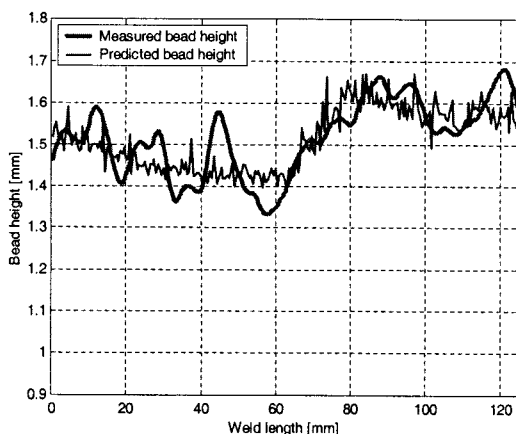
Table 4 Performance of off-line empirical model for prediction of the bead geometry

		Trial No.1	Trial No.2
Bead height	PAM (%)	95.2	90.4
	Average error	0.0635	0.0645

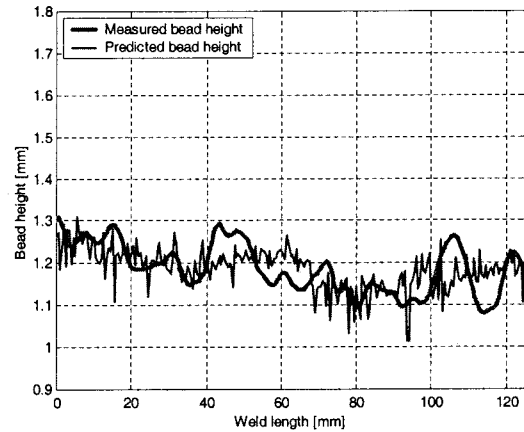
4.2 On-line 신경회로망 모델

On-line 신경회로망은 실시간으로 들어오는 데이터를 이용하여 비드형상을 예측한다. Fig. 3에서 바와 같이 off-line 수학적 모델과 달리 on-line 신경회로망 모델은 용접 중 용접조건 변화에 따라 비드형상을 상당히 정확하게 예측하는 것을 확인할 수 있다.

Table 5는 on-line 신경회로망 모델의 PAM, 표준편차, 평균오차를 나타낸다. Table 5에서 보는 바와 같이 on-line 신경회로망 모델이 비드높이를 매우 정확하게 예측하였다. 특히 PAM을 보면 최대 99.6%의 예측성능을 보이는 등 on-line 신경회로망 모델이 off-line 수학적 모델에 비하여 매우 우수한 예측성능을 가지고 있는 것을 수치적으로 확인할 수 있었다.



(a) Trial No. 1



(b) Trail No. 2

Fig. 3 Comparison of the measured and predicted bead width using off-line learning neural network model

Table 5 Performance of on-line neural network model for prediction of the bead geometry

		Trial No.1	Trial No.2
Bead height	PAM (%)	99.6	96.8
	Average error	0.0485	0.0460

4. 결 론

- 1) 개발된 off-line 수학적 모델은 용접변수에 따른 비드높이를 상당히 근접하게 예측하였지만, 용접공정 중 발생하는 변화에 대해서는 만족할 만한 성능을 보이지는 못하였다.
- 2) 비선형 시스템에 대해 우수한 성능을 갖는 신경회로망을 모델 개발에 적용하였다. 개발된 on-line 신경회로망 모델은 비드높이에 대해서 최대 PAM 99.6%까지 정확하게 예측하였으며 용접공정 중 발생하는 변화에 대해서도 수학적 모델이 가지고 있는 문제점을 개선하였다.

참 고 문 헌

1. J.M. Viet et al : Weld pool shape prediction in plasma augmented laser welded steel, Science and Technology of Welding and Joining, 6 (2001), 305-314
2. E.I. Poliak : Application of linear regression analysis in accuracy assessment of rolling force calculations, Metals and Materials, 4-5 (1998), 1047-1056.