

# 맞대기 용접의 최적 공정변수 선정에 관한 연구

## Selection of optimal Process Parameters for Butt Welding

김일수\*, 박창언\*, 차용훈\*\*, 성백섭\*\*, 박영문\*\*, 안영호\*\*\*, 김기우\*\*\*, 정영재\*\*\*\*

\*Department of Mechanical Engineering, Mokpo National University

\*\*Department of Mechanical Engineering, Chosun University,

\*\*\*Department of Computer Aided Machinery Technology, Mokpo Polytechnic College,

\*\*\*\*Korea Chamber of Commerce and Industry

\*\*\*\*\*Graduated School, Mokpo National University,

### 1. 서론

최근에 산업발달과 더불어, 용접중 용접부 품질을 대변하는 공정변수를 실시간(real-time) 측정하여 용접중 발생하는 여러 외란에 의한 영향을 실시간으로 보상할 수 있는 시스템 개발 및 로봇을 이용한 용접공정의 전자동화 방향으로 연구가 진행되고 있다<sup>(1-3)</sup>.

McGone<sup>(4)</sup>과 McGone 및 Chadwick<sup>(5)</sup>은 공정변수(용접전류, 아크전압, 용접속도, 경사각, 용접봉지름)에 대한 서브머지드 아크용접에 적용할 비드형상의 수학적 모델의 개발을 하였고, Doherty et al.<sup>(6)</sup>은 GMA용접을 이용한 비드형상과 공정변수 사이의 수학적 관계, Raveendra와 Parmar<sup>(7)</sup>는 비드형상 및 크기를 예측할 수 있는 수학적 모델을 최초로 CO<sub>2</sub> 아크용접 방법에 적용하였다. Chandel<sup>(8)</sup>은 최초로 요인설계(factorial design) 실험방법을 GMA용접공정에 적용하였으며, 공정변수와 bead-on-plate 비드형상과의 관계를 연구하였다. 이 연구결과에 따르면 용접전류가 비드형상에 가장 큰 영향을 미치고, 실험결과로부터 선정된 수학적 모델은 비교적 정확하게 비드형상을 예측할 수 있다고 주장하였다. 최근에는 수학적 모델링 선정에 인공지능 형태인 신경회로망을 이용하여 용접조건 선정 모델선정에 이용되고 있다. Cook et al.<sup>(9)</sup>은 신경회로망을 이용하여 용접공정을 모델링하고, 비드크기를 예측하는 방안을 최초로 제시하였다. 공정변수는 용접전류, 아크전압, 토치 이송속도 및 전극선 송급속도를 신경회로망의 입력으로 사용하고, 비드크기 값들을 신경회로망의 출력으로 하여 사상(mapping)관계를 학습한 후 용융부의 크기를 예측하였다. 하지만 대부분 개발된 알고리즘은 현장 용접에서는 사용되지 않을 bead-on-plate 형태로서 실용화에는 한계가 있으며 GMA 용접시 다양한 용접방법에 따라 용접품질과 관련된 비드형상과 용접조건과의 상관관계와 최적의 용접조건 선정에 관한 수학적 모델선정이 전무한 실정으로 이에 대한 연구가 시급히 요구되고 있다.

따라서, 본 연구는 보다 현실적인 가정하에서의 GMA 아크용접 공정변수의 최적화 및 제어시스템 설계를 달성하기 위하여 요인설계(factorial design) 실험방법을 이용하여 고장력강 판재(BV-AH32)에 용접실험을 실시한다. 로봇을 이용한 GMA 아크용접의 맞대기용접시 용접부의 성능에 영향을 미치는 팁 비드폭과 공정 변수들과의 상관관계를 나타내는 모델을 개발하기 위하여, 실험결과 데이터 값을 기초로 실험방정식(직선 및 곡선 방정식), 인공신경회로망 모델을 개발하여, 모델의 신뢰성 및 정확성을 평가한다. 또한, 최적의 용접조건 예측 수학적 모델을 선정하기 위하여 추가적인 실험을 실시한 다음 실험결과를 이용하여 예측한 결과값과 비교분석을 통하여 맞대기 용접에 필요한 최적의 용접조건 모델을 선정하였다.

### 2. 실험

최적 용접조건 설정을 위하여 실험에 사용된 시험편은 150mm×200mm×12mm의 BV-AH32(KR-RA32, ABS-AH32)고장력강 판재로서 현재 선박구조물에 주로 사용되고 있다. 기계적 성질을 구하기 위하여 시험편을 압연방향으로 채취한 후 KS B 0801 13A로 인장시험편을 제작하였다. 실험에 사용한 용접봉은 고려용접봉(주) 고장력강용인 Solid SM-70 6type이고, 직경은 1.2mm, 보호가스는 Ar 80%, CO<sub>2</sub> 20%를 사용하였으며, 팁 높이는 15mm, 토치각도는 90°로 하고 용접을 하기 전에 시험편의 밑면에 가접인 Sealing bead를 140(A)×20(V)×22cm/min으로 하였다. 고장력강 판재인

BV-AH32를 시험편으로 하여 GMA 용접기를 사용하여 총27회 맞대기 용접을 실험 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 맞대기 용접(butt welding)의 톱 비드폭 실험식 선정

실험결과를 이용하여 톱 비드폭을 예측하고, 입력계수들과 톱 비드폭 사이의 상호관계를 조사하기 위하여 직선방정식과 곡선방정식을 실험결과로부터 다중회귀분석(multiple regression analysis) 방법을 이용하여 선정하였다. 이 방정식을 선정하기 위하여 통계 컴퓨터 프로그램 SPSS를 이용하였으며, 용접공정 변수에 해당하는 상수 값들을 얻을 수 있었다. 실험결과값을 이용하여 패스변화(2pass)에 따라서 톱 비드폭을 계산할 수 있는 곡선 및 직선방정식을 선정하였으며 다음과 같다.

##### ① 직선방정식

$$2\text{pass} \quad W_T = -33.292 - 0.105I - 0.405 S_2 + 3.25V \quad (1)$$

##### ② 곡선방정식

$$2\text{pass} \quad W_T = 10^{-2.446} I^{-2.093} S_2^{-0.435} V^{6.51} \quad (2)$$

선정된 수학적 방정식의 정확성을 비교· 분석하기 위하여 분산분석(variance technique)을 이용하였으며, 선정된 방정식들의 산출표준오차(standard error of estimate), 복합상관계수(coefficient of multiple correlation) 그리고 결정계수(coefficient of determination)를 계산하였다. 또한 Fig. 1은 실험으로 측정된 값과 선정된 직선 및 곡선방정식을 이용하여 계산 값을 산란 그래프(scatter graph)로 나타내고, 선형회귀 방법을 이용하여 플롯 점들의 최적의 선을 표시하였다.

Fig. 2에 따르면, 2pass에서 선정된 직선 및 곡선의 방정식을 이용하여 계산된 값이 잘 수렴함을 알 수 있었다.

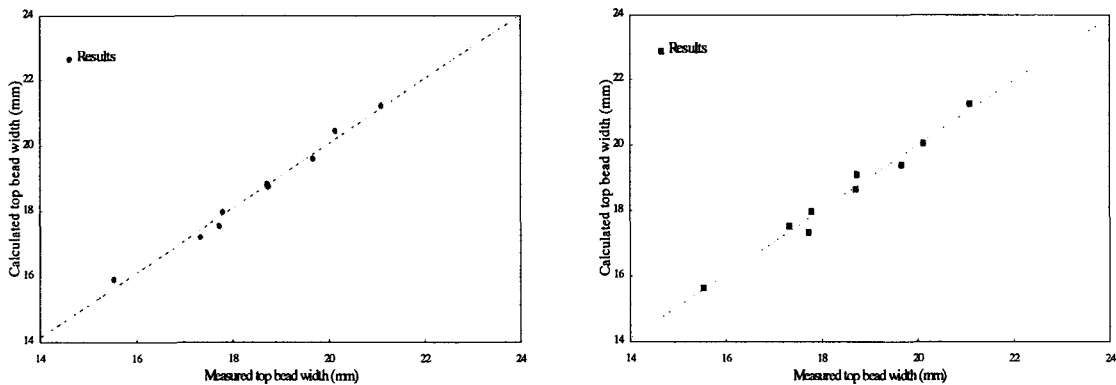


Fig. 1 Comparison between measured and calculated for top bead width(2pass) using linear equation and curvilinear equation

#### 3.2 신경회로망을 이용한 톱 비드폭 예측

다양한 맞대기 용접공정 조건에서 수행한 실험의 입력변수는 패스, 아크전압, 용접전류, 용접속도로 선정하였고, 출력변수로는 톱 비드폭을 선정하였다. 앞에서 선정한 신경회로망 알고리즘을 이용하여 4개의 입력 값과 1개의 출력 값으로 총 27개의 맞대기 용접공정 시험편의 데이터를 인공신경회로망 시스템에 학습시켰다. 예측기의 은닉층은 1층이며, 질 점수 40개로 설정하였다. 또한, 학습률은 0.5, 관성률 0.7이며, 최대 학습반복횟수는 20,000번으로 하였다. 인공 신경회로망을 이용하여 톱 비드폭을 비교· 분석하기 위하여 인공 신경회로망 시스템을 이용, 예측한 값과 실험에서 측정된 결

과를 비교한 것을 패스변화에 따라서 Fig. 2에 나타내었으며, 예측값과 측정값이 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

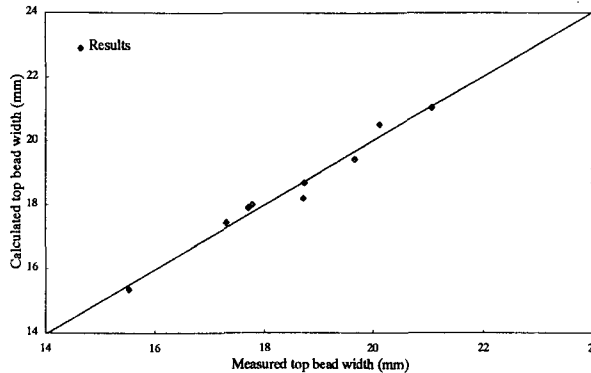


Fig. 2 Comparison between measured and calculated for top bead width(2pass) using neural network

### 3.3 최적의 용접조건 선정

GMA 용접자동화에서 최적의 용접조건 선정이 가장 중요한 요인이며, 이러한 목표를 달성하기 위해 최적의 수학적 모델의 선정이 요구된다. 먼저 기존의 실험장비를 이용하여 추가적인 실험을 총 6회 실시하였다. 추가적인 실험을 통하여 얻은 실험결과를 이용하여 앞에서 선정한 직선방정식, 곡선방정식, 신경회로망 모델을 이용하여 예측한 결과값과 실험값을 비교·분석하여 최적의 용접조건 모델을 선정하였다. 추가적인 실험을 통하여 주어진 비드크기(톱 비드폭)에 대한 최적의 용접조건을 선정하기 위하여 선정한 직선방정식, 곡선방정식, 마지막으로 신경회로망 모델을 이용하여 예측한 값과 실험값을 비교·분석한 결과를 Fig. 3에 나타냈다. Fig. 3에 따르면 신경회로망 모델은 비교적 잘 수렴하지만 직선 및 곡선방정식을 이용하여 예측한 값은 상당한 오차가 존재함을 알 수 있었다. 따라서 GMA 자동화 용접시 임의의 비드크기에 최적의 용접조건 선정 모델은 신경회로망 모델을 Fig. 3으로 알 수 있었다.

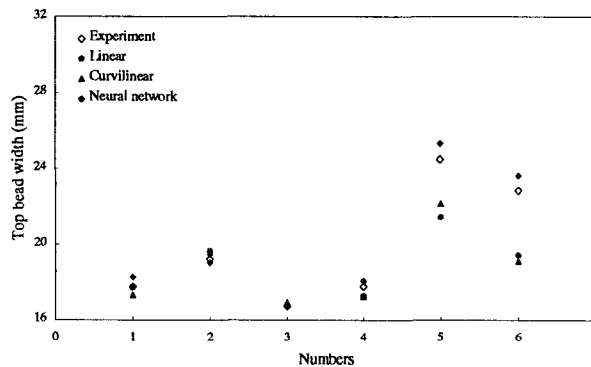


Fig. 3 Comparison between measured and calculated top bead width using a neural network and multiple regressions

## 4. 결론

- (1) 실험 결과값을 기초로 회귀분석 기법을 이용하여 선정한 직선 및 곡선방정식은 공정변수와 비드크기가 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있었고, 톱 비드폭 예측용 방정식은 복잡 상관계수가 90%이상으로 상당히 정확하게 비드크기를 예측할 수 있었다.
- (2) 신경회로망 모델을 이용하여 개발한 결과와 직선 및 곡선방정식을 이용하여 계산한 실험결과를

비교·분석해 본 결과 비교적 잘 수렴함을 알 수 있었다.

- (3) 임의의 비드크기(툽 비드폭)에 대하여 최적의 공정변수 예측을 위한 모델을 선정하였으며, 신경 회로망 모델이 최적의 모델임을 알 수 있었다.

본 연구결과는 산업현장에서 균일한 비드크기를 보장하기 어려운 부분에 효과적으로 제어함으로써 안정된 용접결과를 얻을 수 있는 용접의 실시간 예측 및 제어시스템 그리고 전문가 시스템의 구성에 가장 효과적인 수단으로 이용될 것으로 예상된다.

## 5. 참고문헌

1. K. Masubuchi, "*Analysys of welded structure*", International Series on Materials Science and Technology, Vol. 33(1980), pp. 1~10
2. J. F. Lancaster, "*Metallurgy of welding*" Third Edition(1980), pp. 1~5
3. T. Araya and S. Saikawa, "*Recent actives on sensing and adaptive control of arc welding*", 3rd Int. Con. on Trends in welding Research(1992), pp. 833~842
4. J. C. McGlone, "*The submerged arc butt welding of mild steel Part 1: The influence of procedure parameters on weld bead geometry*", The Welding Institute Report (79/1978)PE
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
6. Doherty. J., Shinoda, T. and Weston, J.,(1978), "*The relationships between arc welding parameters and fillet weld geometry for MIG welding flux cored wires*", The Welding InStitute Report (82/1978)PE
7. J. Raveendra and R. S. Parmer, "*Mathematical models to predict weld bead geometry for flux cored arc welding*", Metal Construction, Vol. 19, No. 2(1987), pp. 33R-3 5R
8. R. S. Chandel, "*Mathematical modelling of gas metal arc weld features*", Proceedings of the Fourth International Conference on Modeling of Casting and Welding Processes(1988), pp. 109~120
9. G. E. Cook, K. Andersen and R. J. Barrett, "*Keynote address : Feedback and adaptive control in welding*", *Recent Trends in Welding Science and Technology : TWR '89 : Proceeding of the 2nd International Conference on Trends in Welding research*(1989), pp. 891-903