

원주형 Tig용접에서 인공신경회로망을 이용한 이면비드 추정에 관한연구

A study on the estimation of back bead size in orbital TIG welding

오성원*, 장희석**, 강선호***, 장용삼***

(* 명지대학교 기계공학과 대학원, ** 명지대학교 기계공학과, *** 대성중앙연구소)

1. 서론

TIG(Tungsten Inert Gas)용접은 비소모성 텅스텐 전극과 용융 풀(weld pool)사이의 아크발생을 이용하여 금속을 접합하는 용접법으로 보호가스(shield gas)로는 아르곤(Ar)이나 헬륨(He) 또는 이의 혼합 가스를 주로 사용한다. 본래 빨리 산화하여 용접에 어려움이 많은 마그네슘을 용접하기 위해 개발되었으나, 다른 아크 용접과는 달리 스팟터가 없고 양질의 용접이 가능하므로 현재에는 많은 산업분야에서 사용되고 있으며 특히 원주 용접에 있어 고도의 정밀을 요하는 원자력 발전소의 핵 배관 장치나 화학 플랜트의 배관시 초층용접(root pass)은 TIG 용접으로 하고 있다. 1990년대 중반을 넘어서면서 도시가스의 공급이 증가함에 따라, LNG파이프 용접의 수요가 급증하고 있으나, 용접작업시 땅속에 매설된 파이프를 용접해야 하는 어려움이 있고, 또한 파이프 용접의 경우 평판과는 달리 이면비드의 형상을 확인하기가 매우 곤란하다. 특히 가스사고는 한 번 발생하면 대형사고로 이어지므로 LNG파이프 용접시 용접품질에 대한 확실한 보장이 무엇보다도 중요하다. 특히, 용접성을 나타내는 기준중의 하나는 이면비드의 형상이며, 따라서 이면의 비드형상에 대한 추정 시스템은 용접자동화에 중요한 과제라 할 수 있다.

자동용접은 수동용접에 비해 용착 금속의 소모가 적고 용접속도가 빠르며 윗면과 아랫면의 열입도 비교적 고르기 때문에 열변형에 의한 각변형이 적은 장점이 있다. 이런 이유에서 원주 자동용접은 용접 신뢰성 보장 측면과 자동화에 따른 인건비 절감과 용접속도 향상에 의한 경제적 측면 등에 의의가 있다. 원주 자동용접에서는 필수적으로 360° 전 용접위치에 대한 균일한 용접질의 보장이 선행되어야 한다. 그러나 원주 용접은 평판을 용접할 때보다 용접결과에 직접, 간접으로 영향을 주는 용접공정변수가 많아 동일한 용접조건에서 균일한 용접결과를 보장하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 도시가스 공급용 LNG 파이프라인 등의 배관시 각 파이프를 연결하는 용접작업에 있어서, 용접불량의 발생 없이 양호한 이면 비드를 형성하는 용접조건을 통해 원주 용접의 용접결과를 나타내는 용접공정변수인 이면 비드 형상의 추정에 대하여 최근 다수의 연구에서 성공적으로 적용된 바 있는 인공신경회로망을 이용해 구현해 보려 하였다.

2. 용접부 온도 분포와 인공신경회로망을 이용한 실시간 추정

일반적으로 아크용접에서 순간적으로 큰열원이 주어지면 그 열원을 중심으로 시간의 경과와 함께 모재에 온도구배(temperature gradient)가 생기게 된다. 특히 이 온도구

배는 토치의 후반부에서 상당히 급격한 변화를 보이거나 전반부에서는 비교적 안정적인 것으로 알려져 있다. 앞에서 언급했듯이, 아크용접에서 모재에 축적된 에너지는 대류나 복사로 대기중에서 잃게 되지만, 대부분은 넓고 차가운 모재의 좌우 및 두께 방향으로 열전도가 일어난다. 따라서 원주용접의 경우 온도분포는 보통의 열전도와 같은 이론계산에서 구할수도 있으나 현상이 복잡하며, 매우 짧은 시간내에 국부적인 변화가 생기기 때문에 실제의 계산에는 여러 가지 가정을 두므로 실제 공정에 적용하는데 한계가 있다. 그러나 용접입열(welding heat input)에 의한 모재의 온도상승은 예열(preheating)효과를 내어 비드 형성에 영향을 미칠 수도 있으며, 용접공정시 발생하는 외란에 대해 다소 저항성을 줄수 있다. 따라서 본 연구에서는 실제 용접공정중 모재의 온도를 측정하여 이면비드 추정에 외란을 보정하려 하였다.

인공신경회로망은 크게 일련의 입·출력패턴의 함수관계(mapping)를 규명하고 가중치를 구하는 학습단계(training stage)와 계산된 가중치(mapping characteristics)를 이용하여 새로 유입된 입력패턴으로부터 원하는 출력패턴을 계산하는 생산단계(production stage)로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 범용으로 널리 사용되는 semi-linear feedforward back-propagation method를 사용했으며, Fig. 1은 인공신경회로를 이용한 이면비드의 학습(training)과 추정(estimation)과정에 대한 흐름도이다.

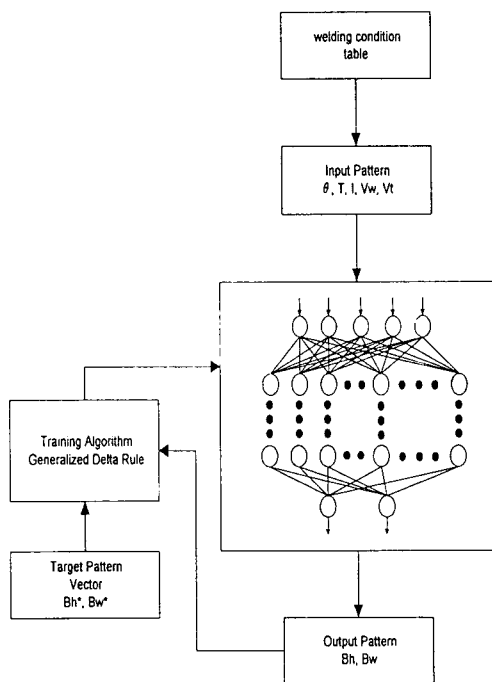


Fig 1. Block diagram of training and estimation procedures for back bead estimator

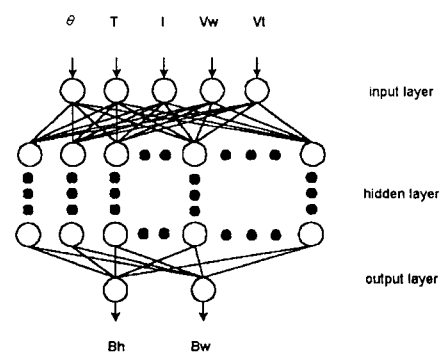


Fig 2. The structure of the ANN estimator

본 연구에서는 학습단계에서, 용접실험을 통해서 얻어진 용접공정변수인 용접전류(I), 피용접속도(Vt), 강관원주의 중심에 대한 토치의 위치(θ), 용접 모재의 온도(T), 용가재의 송급속도(V_w)를 입력패턴으로 사용하고, 각각의 공정변수에 의해 생성된 이면 비

드(back bead)의 높이(B_h)와 폭(B_w)을 출력패턴으로 사용하였으며 반복학습이 가능한 인공신경회로망의 피이드 백 학습 알고리즘인 generalized delta rule을 사용하였다. Fig. 2에 보여지듯, 인공신경회로(artificial neural networks)는 입력층(input layer)과 은닉층(hidden layer), 출력층(output layer)으로 이루어져 있으며, 각각의 층(layer)은 수많은 절점(node)들로 구성되어 있다. 입·출력층의 절점을 제외하고는 모든 절점의 입력은 학습에 의한 가중합(weighted sum)이며, 각각의 절점은 각각의 입력에 대하여 활성화 함수(activation function)와 절점의 기저값(bias)에 민감하게 변하며 동작한다.

학습에 의한 데이터와 출력패턴과의 시스템 오차가 허용범위내에 들면 학습단계가 종료되고 현재의 입·출력패턴의 가중치(mapping characteristics)가 시스템의 인공신경회로에 저장된다. 이상의 과정을 거쳐서 학습단계가 종료되면 인공신경회로에 저장된 가중치에 실제 용접공정에서 monitoring되는 각 용접공정변수를 인공신경회로망에 입력패턴으로 입력시킴으로써 이면비드의 크기를 실시간 추정하는 생산단계의 운용이 가능하게 된다.

3. 실험방법

본 연구에서는 용접공정변수의 Programming과 Sequence에 탁월한 성능을 가진 ARC MACHINES사의 M-227 원주형 TIG용접기를 사용하였다. 이 용접기는 GTA outside 파이프 용접기로 파이프를 둘러싸고 있는 가이드 레일을 따라 파이프를 일주하며 안정적인 용접을 보장한다. 용접시편은 용접기의 주행에 방해가 되지 않도록 철 골구조물을 사용하여 고정하였다. 용접에 사용한 시편은 실제 도시가스의 배관에 사용되는 판지름216.5mm, 두께 5.26mm의 LNG배관용 파이프를 사용하였으며, joint의 홈(groove)은 일반적으로 연강에서 사용되는 90° single V-groove를 사용하였다. 1급용접사에 의해 찾아진 양호한 용접조건을 용접기에 Programming하여 원주용접을 시행하였으며, 이면 비드에 영향을 미치는 중요한 요소중에 하나인 시편의 온도는 0°C ~ 500°C까지 측정이 가능한 일본 KEYENCE사의 적외선 온도센서를 사용하여, 용접토치의 전면, 가로×세로(20mm,20mm)의 위치에서 측정하였다. 실드 가스는 아르곤(Ar)을 사용하였으며, 가스압은 20kgf/cm²를 유지하였다.

수차례에 의해 온도파형을 구하고, 용접후 얻어진 용접공정 변수인 용접전류(I), 피용접속도(V_t), 강관원주의 중심에 대한 토치의 위치(θ), 용접 모재의 온도(T), 용가재의 송급속도(V_w)를 입력패턴으로 하고, 실측을 통해 구해진 이면 비드의 폭(B_w)과 높이(B_h)를 출력패턴으로 하여 인공신경회로망을 학습시켰다. 회로망에 사용한 hidden layer는 시행오차를 통하여 추정오차가 작아지고 신속한 학습을 이루는 20개의 node를 갖는 두 개의 층으로 구성하였으며, 학습에 있어서 수렴성을 보장하고 진동(oscillation)의 수반을 방지하고자 learning rate(η)는 0.9, momentum rate(α)는 0.7을 사용하였다.

생산단계에서는 학습단계를 통해 얻어진 input/output pattern set의 mapping characteristics가 인공신경회로에 저장되고, 실제 용접시 측정된 용접공정변수인 용접

전류(I), 용접속도(V_t), 강관원주의 중심에 대한 토치의 위치(θ), 용접 모재의 온도(T), 용가재의 공급속도(V_w)를 학습을 통해 구축된 회로망의 가중치(weight value)에 통과시켜 이면비드의 형상을 실시간 추정하였으며, 이를 다시 실제 측정된 이면 비드의 폭(B_w)과 높이(B_h)에 비교, 분석 하였다.

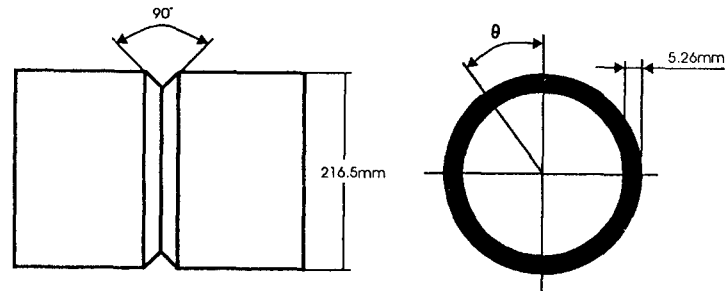


Fig 3. Dimensions of prewelded circular pipe

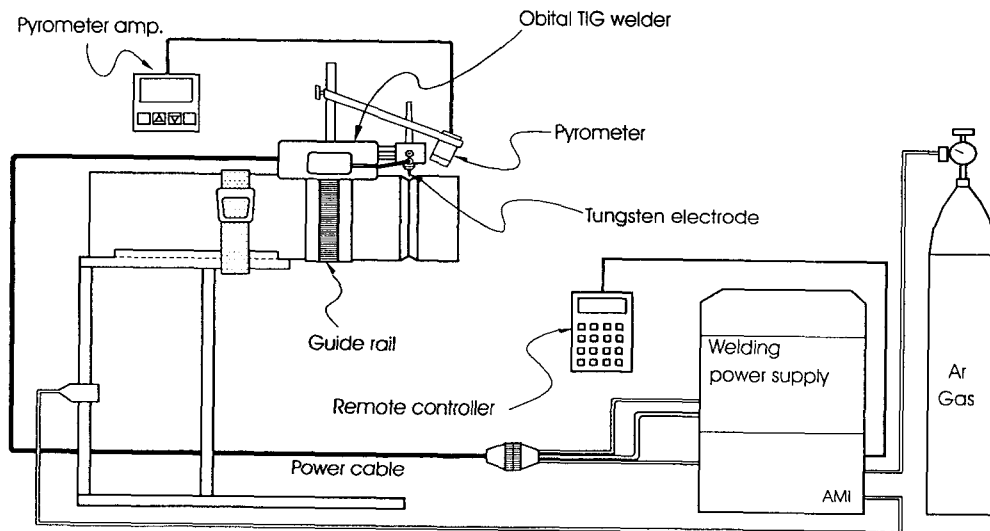


Fig 4. Orbital TIG Welding System

4. 결과 및 분석

일반적으로 모재의 냉각속도에 영향을 미치는 용접조건에는 용접전류, 아크전압 및 용접속도 등을 들 수 있으며, 용접입열이 일정한 경우 시작점의 냉각속도가 최종점보다 빠르다. Fig. 5는 실험을 통해 얻은 강관의 온도변화를 토치의 이송각도에 대해 나타낸 그래프로 용접이 진행되는 동안 온도 변화의 경향을 알 수 있다. Fig. 5에서 100°, 140°, 240° 부근에서 가시적으로 나타나는 변곡은 용접조건에 의해 모재의 온

도가 변화되는 부위이며, 특히 300° 부근에서 모재의 온도가 가장 높게 나타났는데, 이는 관의 특성상 토치의 전·후반부로 부터 전달되는 용접열입에 의한 보상이 가장 큰 부분으로 보인다. 이후의 온도는 가시적으로 떨어진 후 원만한 상승을 보였다. 그래프의 추세를 보면, 용접시행후 50sec동안은 급격한 상승을 보였으며 이후에는 비교적 점차적인 상승곡선을 나타내었다. Fig. 6에서 이면비드의 높이는 중력에 영향으로 윗보기 자세(overhead)의 경우 상당히 감소한 것을 볼수 있으며, 동일한 중력의 영향에도 불구하고 비드높이가 비대칭을 이루는 것으로 용접열입에 의한 예열(preheating)효과를 확인할 수 있었다. Fig. 7에서 이면비드의 폭은 중력에 대해 다소 자유로워 보이나 90° 부근과 270° 부근을 비교해 볼 때, 온도에 영향으로 중력에 대한 저항성이 낮아진 것으로 보인다. 용접실험을 통해 얻은 온도값을 인공신경회로의 입력패턴에 추가하여 학습하였으며, Fig. 8와 Fig. 9에 학습과 추정에 대한 오차분포를 도시하였다. Fig. 10과 Fig. 11는 본 연구과정에 의해 실시간 추정된 이면비드 크기와 실제 이면비드 크기의 비교 그래프이며, 그림에서 볼 수 있듯이 ±0.1mm이상의 추정이 가능함을 알 수 있다.

5. 결론

- ① 본 실험에서, 강관의 300° 부근에서 용접열의 원주방향 열전도에 의해 모재의 온도가 최대치를 보였으며 molten pool이 받는 용접자세에 따른 중력의 영향은 $\theta=60^\circ$ 에 비해 300° 위치에서 이면 비드의 높이가 월등히 높아 지므로 열전도에 의한 예열(preheating)효과를 확인할 수 있었다.
- ② 용접공정변수에 모재의 온도값(T)를 고려함으로써, 용접공정시 발생하는 외란에 대해 다소 신뢰성 있는 이면비드의 높이(B_h)와 폭(B_w)을 추정할 수 있었다.

6. 참고문헌

- ① Amerian Welding Society, "Welding Handbook", 1991, volume2, pp.74~90
- ② Yoh-Han Pao, "Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989
- ③ 조용준, 이세현, 엄기원, "인공신경회로망을 이용한 탄산가스 아크 용접의 잔류응력 예측에 관한 연구", 대한용접학회지, 제13권, 3호
- ④ 임태균, 조형석, 부광석, "신경회로를 이용한 GMA 용접 공정에서의 용융지의 크기 제어", 대한용접학회지, 제12권, 1호
- ⑤ 최용범, 조형석, 장희석, "저항 점용접에서 인공신경망을 이용한 용융부 추정에 관한 연구", 1993, 대한 기계학회 논문집, 제17권 2호, pp.393~406
- ⑥ 이철구, "용접공학", 1992, pp.47~50
- ⑦ 김은양, "용접기술", 1992, pp.47~58
- ⑧ Larry Jeffus, "Welding : principles and applications", Delmar publishers Inc., pp.338~35

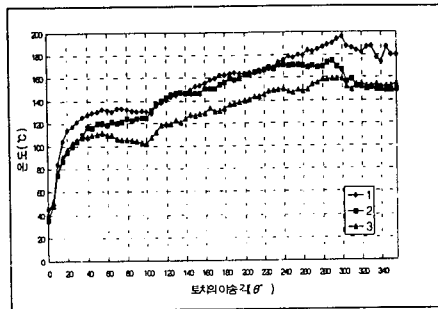


Fig. 5 The Change of Pipe Temperature as Welding Sequence

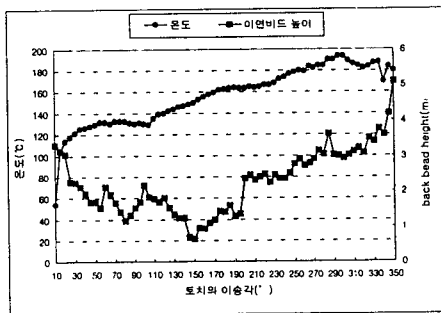


Fig. 6 Pipe temperature vs. back bead height

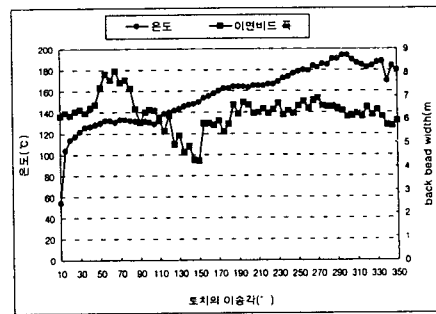


Fig. 7 Pipe temperature vs. back bead width

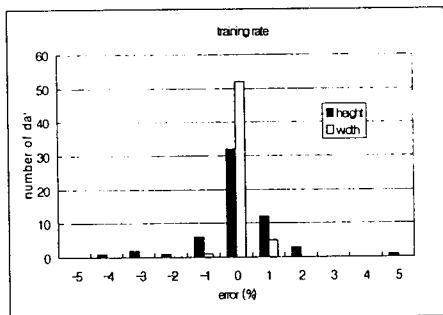


Fig. 8 Error distribution of training

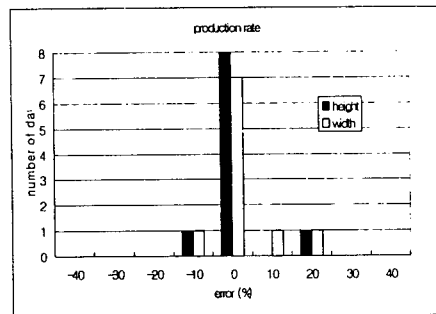


Fig. 9 Error distribution of production

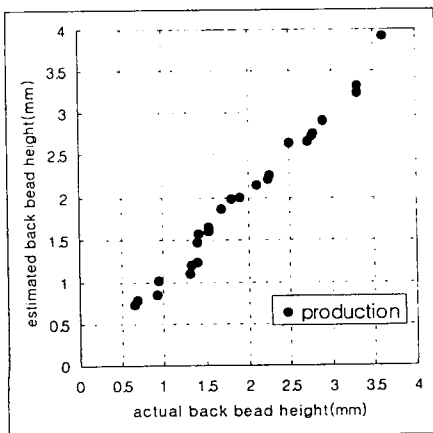


Fig. 10 Actual vs. estimated back bead height

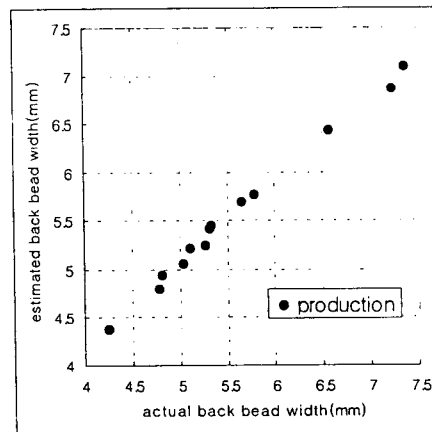


Fig. 11 Actual vs. estimated back bead width