

협개선 배관 용접을 위한 용접선 추적 및 위빙 폭 자동 제어에 관한 연구

문형순[†] · 이석형 · 김종준 · 김종철
현대중공업(주) 생산기술연구소

A Study on Automatic Seam Tracking and Weaving Width Control for Pipe Welding with Narrow Groove

Hyeong-Soon Moon[†] · Seok-Hyoung Lee · Jong-Jun Kim · Jong-Cheol Kim
Industrial Technology Institute, Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd

Abstract

From broad point of view, seam tracking has been one of main issues with respect to welding automation. Several attempts have been successful for seam tracking of fixed weaving width. As a solution of the seam tracking methods for varying groove width, the visual sensors such as CCD cameras have been adopted. Although the vision sensing techniques can achieve high accuracy, the weak point is that well-prepared vision sensor environment should be required to obtain high-quality visual measurements which can be easily affected by significant noises in industrial areas. This paper proposed an alternative seam tracking algorithm for narrow groove. A special measurement device for arc voltage, in this study, is developed to enhance the reliability of the measured welding signals. Based on the developed arc sensor algorithm, an automatic weld-width tracking algorithm is also proposed, which is able to predict the weld-position more accurately. The usefulness of the automatic weld-width tracking algorithm was well verified by applying it to gas tungsten arc welding (GTAW).

Keywords : Narrow Groove(협 개선), Seam Tracking(용접선 추적), Weaving Width Control(위빙폭 제어), Pipe Welding (파이프 용접)

1. 서론

배관의 용접부 형상은 일반적으로 수동용접이 가능하도록 개선 각도가 약 60도이며 부재 두께는 최대 30mm까지 다양하게 구성된다. 또한 직경도 소구경에서 대구경까지 다양한 범위에 존재하기 때문에 용접에 소요되는 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 특히 후판 배관은 적절한 용접 품질을 확보하기 위해 보통 TIG 공법을 이용하며 고 숙련된 용접사에 의해 용접이 이루어지는 특징이 있다. Fig. 1에 대표적인 후판 배관의 용접 부재 사진을 나타내었다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 후판의 경우 용접을 완료하기 위해서는 다층 용접이 이루어져야 하며 이 과정에서 작업자의 수동용접 접근성 향상 및 용접 결함을 최소화하기 위해 용접부 개선 각도를 60도 정도로 형성한다.

Fig. 2에 약 60도로 형성된 용접 개선 형상을 나타내었으며 본 개선형상은 수동용접이 가능한 구조이나 용접부를 형성하기 위한 적층수가 많아 한 조인트를 완전히 용접하는데 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.



Fig. 1 고압 배관 용접 부재 사진

용접 생산성은 용접 공법, 용접장치, 작업자의 숙련도 및 개선 형상 등에 크게 영향을 받는다. 이 중 용접 공법은 적용되는 표준 룰에 의거하여 개발되어야 하며 작업자의 숙련도는 제어할 수 있는 변수에서 제외할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 작업자에 비

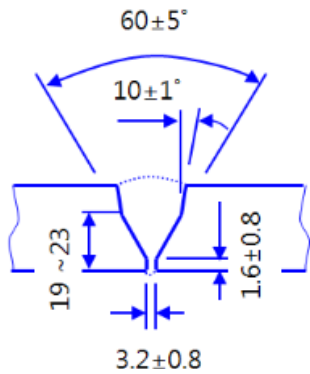


Fig. 2 일반적인 개선 형상

의존적인 용접장치와 개선 형상을 최적화하여 생산성을 향상시킬 수 있는 시스템을 구성하였다.

Fig. 2의 개선 형상의 경우 많게는 20패스(pass) 이상 수동으로 용접해야 한 조인트 용접이 완료되지만 Fig. 3과 같이 협 개선 (narrow groove) 용접부를 이용하여 용접을 할 경우 용착량이 급격히 줄어들고 전체 용접을 완료하기 위한 시간도 대폭 작아지게 된다.

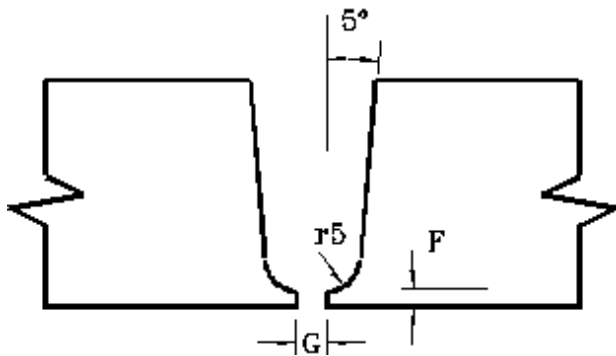


Fig. 3 제안된 협 개선 용접부 형상

Fig. 3의 협 개선 용접은 용착량 감소를 통해 용접 시간을 줄일 수 있는 장점이 있으나 용접을 위한 작업 공간이 축소되어 수동용접이 용의하지 않는 문제와 그루브(groove) 각도가 작아짐으로서 용입 결함 발생 확률이 증가될 수 있는 문제가 여전히 존재한다. 즉 고 숙련 용접사가 협 개선 용접을 수행하더라도 용접 아크를 용의하게 관찰할 수 없기 때문에 원활한 용접이 이루어 지지 않게 되며 이로 인해 그루브 단면적을 줄임으로서 용접시간을 단축하고자 하는 목적을 달성할 수 없게 된다.

협 개선 용접부의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 작업자의 개입 없이도 용접선을 자동으로 추적하는 기능과 부재 핏업(fit-up) 상태에 따라 달라지는 그루브 폭(width of groove)을 대응하기 위한 위빙폭 자동 제어기능이 필수적이다.

본 연구에서는 협 개선을 자동용접하기 위한 용접선 추적 알고리즘, 그루브 폭 변화를 감지하여 자동으로 그루브 폭을 조정하는 알고리즘을 제시하였으며 실험을 통해 개발된 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다.

2. 용접시스템 구성

2.1 용접조건에 따른 용접 벽면 용융 시험

협 개선의 경우 일반 위빙 조건 만으로는 용접 벽면을 용융하기에는 많은 문제가 발생할 수 있다. 용융폭은 용접속도와 용접 전류값에 크게 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 용접속도와 용접 전류에 따른 용융지 폭을 실험적으로 구하였다.

실험을 위한 TIG 텅스텐 봉의 직경 및 아크 길이를 Fig. 4에 나타내었으며, 용접 전류 및 용접속도에 따른 용융폭 실험 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 이때 사용한 용접 조건은 다음과 같다.

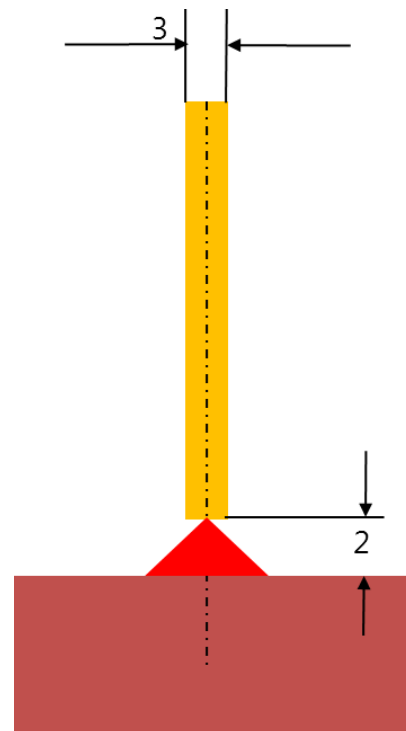


Fig. 4 텅스텐 전극과 모재 및 아크간의 관계

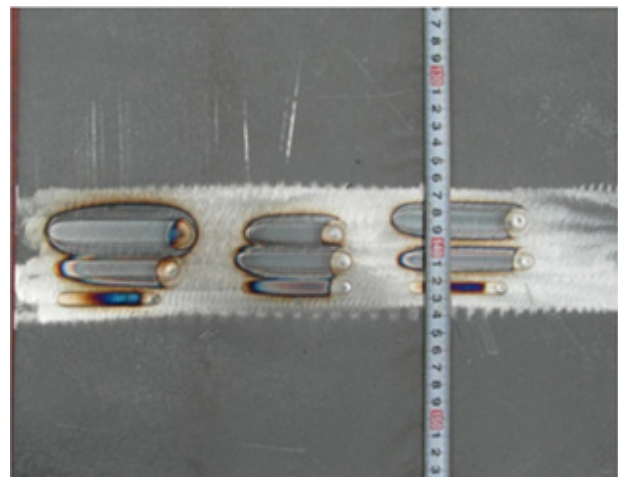


Fig. 5 용접 조건에 따른 용융 비드 폭 사진

- 용접 기법 : 수동 티그
- 텅스텐 전극 : 직경 3.0mm, 60도
- 보호가스 : 아르곤 100%
- 아크 길이 : 2mm

본 실험 조건에서 아크 길이를 2mm로 선정한 이유는 실제 용접 시 최소 아크 길이가 2mm이며 2mm 이상의 아크 길이의 경우 전압 반경이 증가하여 더 넓은 용융폭을 형성시킬 수 있기 때문이다. 즉 2mm 아크 길이에서 용접 벽면을 녹일 수 있다면 이 보다 큰 아크 길이에서는 더 넓은 용접 벽면을 녹일 수 있다.

Fig. 4를 기준으로 Fig. 3에 표기된 용접 개선 내부에 토치를 위치시킬 경우 아크 반경에 의해 용접 벽면이 녹는 폭을 EMZ(Extra Melting Zone)으로 정의하였으며 Bead Width는 실험을 통해 용접부가 실제 용융된 폭의 측정치를 나타낸다.

EMZ는 그루브 용접 시 용접 토치를 용접 벽면에서 2mm 정도 유격시키고 텅스텐 전극의 직경을 3mm로 사용한다는 가정을 기

준으로 계산한 값이며 다음과 같은 식을 통해 계산된다. EMZ가 양의 값인 경우 용접 벽면을 완전히 녹일 수 있는 조건을 의미하며 음의 값인 경우 용접 벽면을 녹이지 못하는 조건을 의미한다.

$$EMZ = \text{Bead Width} / 2 - \{ \text{텅스텐 전극 직경} / 2 + \text{용접벽면으로 부터 텅스텐 전극의 유격 거리} \} \quad (1)$$

$$= (\text{Bead Width} - 3) / 2 - 2$$

Fig. 6에 용접속도 15cm/min, 용접 전류 200Amps에 대한 용융폭의 기하학적 관계를 도식적으로 나타내었으며, 본 조건 하에 실험적으로 구한 Bead Width는 8.7mm이다. 이 조건을 식 (1)에 대입하면 EMZ가 0.85mm로 계산되며 이는 용접 벽면 기준으로

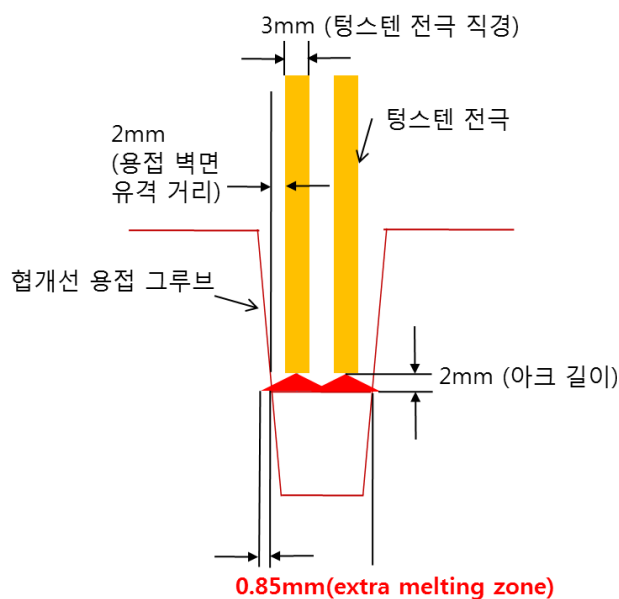


Fig. 6 용접 조건에 따른 용접 벽면 용융 폭의 기하학적 관계

용접 벽면 안쪽으로 더 녹을 수 있는 폭을 나타낸다. 즉 본 조건으로 위빙을 통해 용접을 하면 용접 벽면이 완전히 녹아서 용입 결함이 발생하지 않는다는 결론을 얻을 수 있다.

본 실험은 시스템 개념 설계 시 매우 중요하게 사용될 수 있다. 즉 실제 용접 시 위빙 폭, 용접 벽면에서 용접 토치를 유격시켜야 하는 거리 등을 결정할 수 있으며 이를 기반으로 별도의 스윙(swing) 축 없이 위빙 모션만으로 용입 결함 발생이 발생하지 않는 시스템을 구성할 수 있다.

2.2 시스템 구성

협 개선에서 용입 결함을 방지할 수 있는 실험 조건을 선정한 이후 단순한 위빙 조건만으로 충분히 용접부를 용융시킬 수 있는 결론을 얻었다. 본 실험을 기반으로 배관 용접을 위한 장치를 구성하였으며, 개발된 시스템은 크게 오비탈 용접 헤드, 모션 및 용접조건을 제어하기 위한 제어기, 용접 데이터베이스(DB) 관리 장치, 작업자용 리모트 펜던트 및 용접기로 구성된다.

용접 헤드는 파이프 직경 5인치에서 6인치를 대응할 수 있는 구조로 설계 및 제작하였으며, 제어기는 각종 시퀀스 제어, 터치센서 알고리즘, 아크센서, 모션제어 및 용접기 제어 기능을 하도록 소프트웨어를 개발하였다. 리모트 펜던트는 각종 DB 선택 및 용접과 관련된 다양한 기능을 작업자가 실행할 수 있도록 구성하였다. 용접기는 터치센서 및 전압신호 측정을 위한 부가적인 기능을 내장한 Fronius사의 TIG 용접기를 사용하였다. 장치의 구성을 Fig. 7에 도식적으로 나타내었다.



Fig. 7 배관 용접용 오비탈 자동 용접시스템 구성도

본 장치는 크게 위빙폭을 자동으로 측정하는 단계와 용접 시작 단계로 나눌 수 있다. 위빙폭 자동 측정은 터치 센서를 통해 구현되며 용접 시작은 Lift Start 방식을 이용하였다.

용접 속도는 위빙 및 드웰(dwel) 시 개별 설정 가능하도록 하였으며 위빙 시에는 용접 속도로 움직이고 드웰 시 정지하여 아크가 완전히 용접 벽면을 녹일 수 있도록 구성하였다.

용접선 자동 추적은 크게 높이와 좌우추적 기능으로 나누었으며 좌우 추적을 위해 위빙 시 높이 추적을 드웰 시 좌우 추적을 위한 보정량을 계산하여 다음 위빙에 반영하도록 하였다.

와이어 공급 속도는 위빙 시와 드웰 시 개별 설정 가능하도록 구성하였는데 향후 2G 및 6G 자세에서 다양한 용접조건을 설정할 수 있도록 하였다.

용접 전류 또한 위빙 시와 드웰 시 개별 설정 가능하며 본 연구에서는 위빙시보다 드웰 시 높은 전류를 사용하여 용접 벽면을 녹일 수 있도록 시퀀스를 개발하였다.

3. 용접선 자동 추적

일반적으로 TIG 용접기는 정전류 특성이 있어 항상 일정한 전류를 유지하지만 전압의 경우 텅스텐 전극봉과 모재사이의 거리가 멀어 질수록 전압 값이 증가하는 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 물리적인 특성을 이용하여 협 개선에서의 용접선 추적 센서를 개발하였으며 실험을 통해 그 신뢰성을 검증하였다.

3.1 용접 전압 신호 측정

용접선 추적을 위해서는 용접토치와 모재간 거리의 기하학적 관계와 이에 따른 전압 혹은 전류 신호 변화값의 물리적인 관계를 확립해야 한다. 본 연구에서는 정전류 용접기를 사용하여 시스템을 구성하였으며 용접선 추적 용 신호는 용접토치와 모재간 거리에 따라 값이 변화되는 전압 신호를 이용하였다.

GTAW 용접은 텅스텐 전극봉에 순간적인 고전압을 인가하여 아크가 발생하는 원리를 이용한 것으로 용접선 추적을 위한 아크 센서 구현 시 고전압 신호를 처리해야 하는 문제점이 있다. 고전압 신호는 일종의 노이즈로 작용하기 때문에 이를 처리하기 위해서는 회로의 부피가 증가하고 실제 전압과 측정 전압간의 보정(calibration)이 불편하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 고전압 노이즈를 차단하기 위해 고전압 발생장

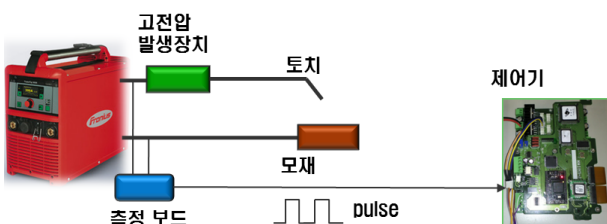


Fig. 8 고전압 노이즈를 처리하기 위한 용접 전압 측정 방법

치 전단에서 전압을 측정할 수 있는 회로를 구성하였다. Fig. 8에 용접 전압 측정 방법을 도식적으로 나타내었다.

용접전압 측정방법은 아크 전압을 직접검출하지 않고 용접기 내부에 별도의 전압검출 보드를 설치하여 검출된 신호를 제어보드로 전송하는 방식을 설계했다. 본 전압검출 보드는 용접기의 출력 전압에 비례하는 PWM(pulse width modulation) 신호를 0-5 볼트 범위, 8 비트 분해능, 3.937kHz의 주파수 출력한다. 용접헤드 제어기에서는 이러한 PWM 신호를 수신하기 위해서 저역통과 필터를 구비하고 옵토커플러(opto-coupler)를 거쳐서 DSP(digital signal processor)의 캡처 기능을 이용해 PWM의 듀티(duty)비를 검출하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 전압이 높을 경우 듀티를 크게 하였으며 전압이 낮을 경우 듀티를 작게 하는 방법으로 프로그램을 구성하였다.

실제 측정된 전압 신호는 용접풀의 오실레이션(oscillation), 아크 자체 특성 및 부가적으로 공급되는 용접 와이어의 용융 거동에 의해 불안정한 패턴을 나타내게 된다. 용접선 자동 추적 성능을 높이기 위해서는 불안정한 신호 패턴을 안정적으로 변환해야 하며 이를 위해서 본 논문에서는 이동 평균(moving average) 신호처리 기법을 사용하였다.

측정된 신호 데이터를 S라고 하면 S는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

이동 평균을 위한 개수를 M으로 두고 이동 평균된 신호를 \bar{x}_k 라고 하면 이동 평균된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{x}_k = \bar{x}_{k-1} + \frac{(x_k - x_{k-M})}{N}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

여기서, $\bar{x}_0 = 0$, and if $k \leq M$, $N = k$ and $x_{k-M} = \bar{x}_{k-1}$, otherwise $N = M$

3.2 용접선 추적 알고리즘

정전류 용접기는 용접 팁-본 연구에서는 텅스텐 전극봉의 끝 부분-와 모재간의 거리가 커질수록 전압값이 증가하는 특성을 갖는다. Fig. 9에 용접 팁과 모재 간 거리에 따른 전압 신호의 관계를 나타내었다.

$$\Delta V / \Delta L = k \quad (3)$$

여기서, $\Delta V = V_2 - V_1$

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

k : 팁 모재간 거리와 전압간의 비례계인

V_1, V_2 : 1 및 2 위치에서 측정된 용접신호

L_2, L_1 : 1 및 2 위치에서 팁-모재간 거리

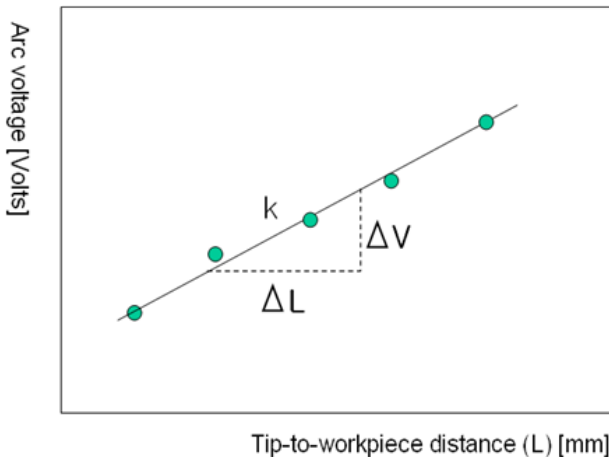


Fig. 9 용접 팁과 모재 간 거리와 전압 신호 관계

아크 센서용으로 사용가능한 신호처리 알고리즘은 크게 적분법(integral method), 커브 피팅법(curve fitting method) 및 위빙 끝단에서 토치가 머무르는 동안 신호를 측정하는 드웰 평균법(dwel averaged method) 등이 있다.

적분법의 경우 노이즈에 둔감한 특성을 가지고 있으나 위빙 끝단에서의 전압신호를 대변하기에는 민감도가 너무 낮다는 문제가 있다. 커브 피팅의 경우도 위빙 끝단에서 노이즈가 많이 개재되는 경우 적분법과 유사하게 위빙 끝단 전압 예측 값이 왜곡되는 특성이 있으나 적분법보다는 양호한 결과를 얻을 수 있다. 드웰 평균법(dwel averaged method)은 위빙 양 끝단부의 일정 구간에 대해서만 적분법을 사용하는 방법으로 구현이 간단하지만 드웰 구간에서 용접신호가 불안정한 경우가 많기 때문에 이에 대한 신호 처리 알고리즘이 요구된다. 아래 그림에 각 알고리즘에 대한 장단점을 정리하였다.

용접 그루브는 매우 다양한 형태가 있지만 Fig. 11과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다. 각 그루브 별로 적용 가능한 용접선 추적용 아크센서 알고리즘은 Fig. 10에 설명된 알고리즘 모두 사용할 수 있으나 추적 정밀도 측면에서 보면 그루브 별로 적용 알고리즘을 달리해야 한다.

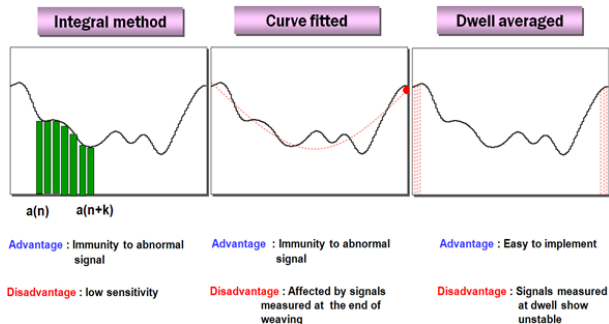


Fig. 10 신호처리 기법에 따른 특성

V 그루브는 커브 피팅 및 적분법 모두 적용이 가능하다. Fig. 12에 커브 피팅 및 적분 알고리즘을 이용한 위빙 끝단에서의 전류 예측치를 나타내었다. 본 그림은 정전압 용접기를 사용하여

용접을 수행한 예를 나타내었으며 이 때 팁-모재간 거리의 변화에 따라 전압값은 큰 변화가 없는 반면 전류값은 팁-모재간의 거리에 따라 신호가 변하게 된다. 그림의 결과에서 알 수 있듯이 커브 피팅에 의한 위빙 끝단의 전류 예측치가 적분법에 의한 결과보다 우수함을 알 수 있다. 하지만 위빙 끝단에서 아크 불안정 및 노이즈가 많이 발생될 경우에는 적분법이 커브 피팅 방법보다 약간 노이즈에 둔감한 특성을 나타낸다.

커브 피팅을 사용할 경우 Fig. 9와 같이 실험적으로 구한 비례계수를 직접 사용하면 된다. V 그루브를 이용한 아크 센서 구현 절차를 아래에 나타내었다. Fig. 13에 토치 위빙 시 토치와 모재간의 기하학적 관계를 나타내었다.

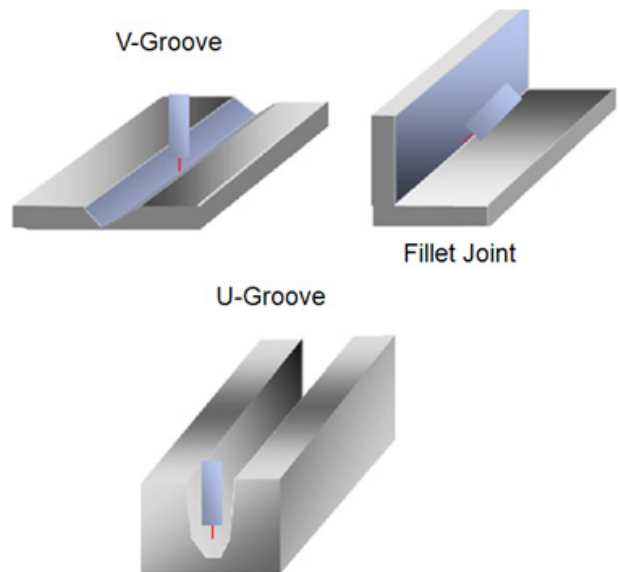


Fig. 11 다양한 용접 그루브 형태

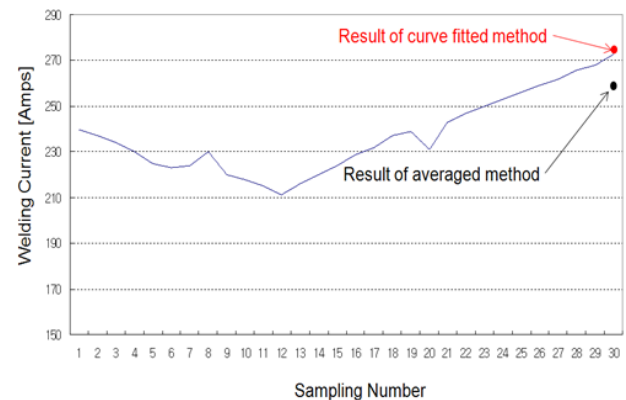


Fig. 12 신호 처리 알고리즘에 따른 예측 결과

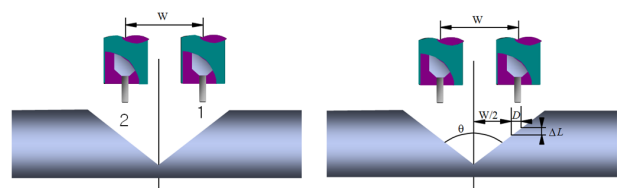


Fig. 13 V 그루브에 대한 토치와 모재간의 기하학적 관계

식(3)과 Fig. 13의 기하학적 관계를 이용하면 아래와 같은 식을 구할 수 있다.

$$D = \tan(\theta/2) * \Delta V / k \quad (4)$$

여기서, D : 위빙 중심점에서 토치가 벗어난 양
 θ : 그루브 각도

위 절차에서 용접선 추적을 위해 최종적으로 결정되는 변수는 위빙 중심점에서 벗어난 양 D이며 이를 다음 위빙에서 보상해 주면 된다. 결론적으로 위빙 중 끝단의 전류차-정전압 용접기의 경우는 전류차, 정전류 용접기의 경우 전압차만 알면 미리 결정된 그루브의 기하학적 형상 및 비례계산을 이용해서 용접 중심선에서 벗어난 양을 알 수 있기 때문에 용접선 추적이 가능하다. 단 아크 센서의 안정성을 위해서는 D 값의 최대치를 설정해 줄 필요가 있다.

본 연구에서는 협 개선을 이용한 용접선 추적 알고리즘을 개발하였으며 Fig. 11에 나타낸 U 그루브 형상이 협 개선 형상과 동일하다.

협 개선 그루브는 다른 그루브와는 달리 매우 독특한 전압신호 패턴-정전류 용접기를 사용한 경우-을 갖는다. V 및 필릿 그루브의 경우 토치가 위빙 양 끝단에 도달하더라도 전압값이 급격하게 바뀌지 않지만 U 그루브는 Fig. 14와 같이 갑작스런 전압 변화 패턴을 갖게 된다.

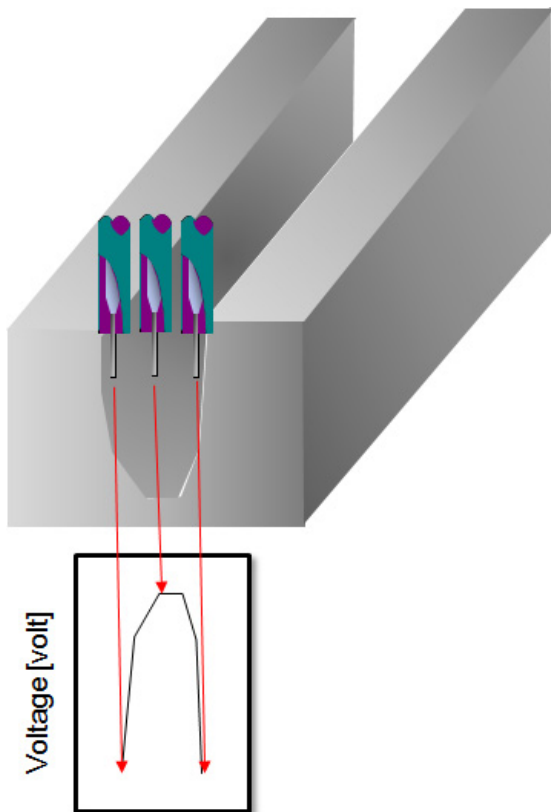


Fig. 14 협 개선에서 용접토치 위치에 따른 전압값 변화

전압값의 급격한 변화 이외에도 위빙 끝단에서 아크가 모재에 직접 접촉하기 때문에 용융풀이 형성되어 있는 위빙 중심 근처의 신호보다 요동(fluctuation)이 많이 발생하게 된다. 따라서 위빙 끝단 전압값 패턴에 영향을 많이 받는 커브 피팅 방법을 U 그루브에 적용하기 보다는 적분법을 사용하는 것이 신뢰성을 높이는 방법 중에 하나이다.

적분 알고리즘을 U 그루브에 적용하고자 할 경우 용접의 안정성을 확보하기 위해 아래와 같은 매우 복잡한 상황을 고려해야 한다.

약간의 보정량 계산이 잘 못 되더라도 팁 혹은 토치가 그루브 벽에 충돌할 수 있다.

벽에 충돌할 경우 전압값이 갑자기 감소하기 때문에 표준 전압을 유지하기 위해 토치가 갑자기 하강할 수 있다.

용접선 추적이 중심에서 조금이라도 벗어나면 불완전 용입 결함(Incomplete Fusion Defect)이 발생한다.

측정 신호 영역이 벽면 기준으로 너무 떨어지면 측정된 신호 값들이 평면 용접과 같이 일직선 형태가 되어 민감도가 떨어진다. 반대로 벽면에 너무 가깝게 측정하면 용접 신호의 급격한 변화에 의해 보정량의 신뢰도가 낮아져 위빙 모션이 불안해 진다.

측정 신호 개수를 너무 많이 하면 적분법의 특성상 민감도가 떨어지고 너무 작게 하면 민감도가 높아져 전체적으로 아크 센서 신뢰도 및 정밀도가 떨어진다.

본 연구에서 제안한 협 개선 용접선 추적 알고리즘은 다음과 같은 절차를 통해 구현하였으며 개발된 알고리즘을 기반으로 한 용접선 자동 추적 결과를 Fig. 15에 나타내었다.

1. 좌우 전압 차 = 좌측 벽면 평균 전압(V1) - 우측 벽면 평균 전압(V2)
2. 좌우 전압 차가 양수면 토치 중심 좌측 이동(위치 보정), 음수면 우측 이동(위치 보정)
3. 위치 보정량 = (좌측 벽면 평균 전압 - 우측 벽면 평균 전압) / Gain



Fig. 15 협 개선 용접선 자동 추적 결과

여기서, Gain : 측정된 신호를 위치 보정량으로 변환할 수 있는 게인 값(상수 값)

4. 위치 보정량이 설정된 최대 보정량 이상이면 위치 보정량을 최대 보정량으로 설정
5. 좌우 전압 차가 없으면 토치 중심 이동 없음

위에 나타난 최대 보정량은 위빙 주파수와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 용접 시 위빙 주파수가 높으면 용접선 추적을 위한 보정 횟수도 증가하며 주파수가 낮으면 보정 횟수로 감소하게 된다. 따라서 주파수가 높으면 최대 보정량을 작은 값으로 설정하고 주파수가 낮으면 이 값을 크게 설정해야 신뢰성 있는 용접선 추적 시스템을 구현할 수 있다.

위빙시 최대 보정량 \propto 1/위빙 주파수 (5)

3.3 위빙폭 자동 제어

일반적으로 현장에서 가공된 그루브는 그 폭이 일정하지 않기 때문에 현장 적용성을 높이기 위해 위빙 폭 자동 제어 기능이 필수적이라 할 수 있다.

벽면에 가까이 갈수록 전압이 떨어지는 점을 이용하고 벽면에서 용접 가능한 기준 전압 값을 실험을 통해 설정해 두면, 용접선 폭 추적 기능이 구현 될 수 있다. 위빙 폭 자동 제어 기능은 다음과 같은 로직을 통해 구현하였다. Fig. 16에 용접 위빙 폭 자동 제어를 위한 개략도를 나타내었다.

1. 좌측 전압 평균 < 좌측 기준 전압 and 우측 전압 평균 < 우측 기준 전압 \Rightarrow 용접 위빙 폭 감소

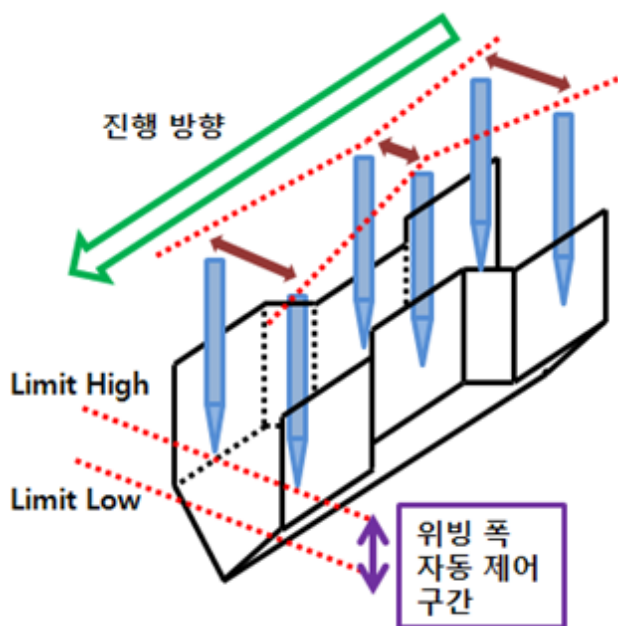


Fig. 16 용접 위빙 폭 자동 조정 개략도

2. 좌측 전압 평균 < 좌측 기준 전압 and 우측 전압 평균 > 우측 기준 전압 = 용접 위빙 폭 변화 없음
3. 좌측 전압 평균 > 좌측 기준 전압 and 우측 전압 평균 < 우측 기준 전압 \Rightarrow 용접 위빙 폭 변화 없음
4. 좌측 전압 평균 > 좌측 기준 전압 and 우측 전압 평균 > 우측 기준 전압 \Rightarrow 용접 위빙 폭 증가

본 알고리즘은 앞 절에 기술한 용접선 자동추적 기능과 함께 구현하였다. 위빙 폭 자동 제어 시험을 위해 기준 그루브 폭을 기준으로 용접 방향으로 그루브 폭이 3mm 증가하는 용접 시편을 대상으로 용접 시험을 수행하였다. Fig. 17에 용접선 추적 기능 및 위빙 폭 자동 제어 기능을 동시에 구현한 용접 실험 결과를 나타내었다.



Fig. 17 위빙 폭 자동 제어 및 용접선 자동추적 결과

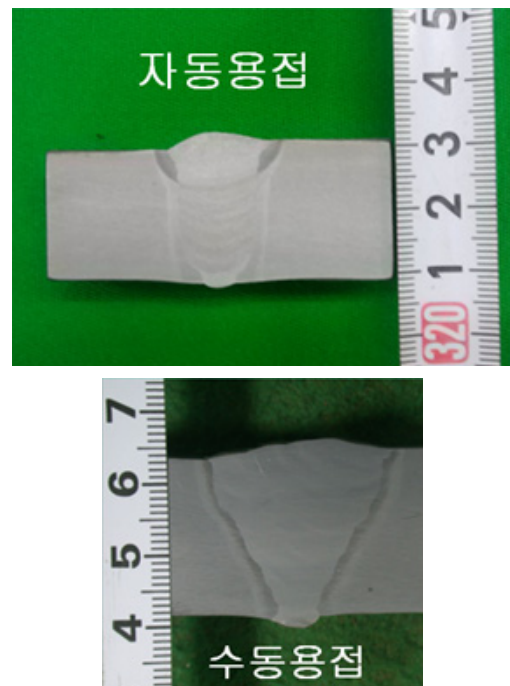


Fig. 18 협 개선 자동 용접 및 수동 용접 단면 사진

Fig. 18에 60도 그루브를 이용한 수동 용접과 본 연구에서 제안한 협 개선을 대상으로 자동 용접한 용접 결과를 나타내었다. 본 결과에서 알 수 있듯이 협 개선을 이용한 용접은 기존 광 개선 용접부 대비 용착량을 대폭 감소시킬 수 있으며 이를 통해 전체 용접에 소요되는 시간을 크게 감소시킬 수 있었다.

5. 결론 및 현업 적용 방안

본 연구를 통해 협 개선에 적용 가능한 용접선 자동 추적 알고리즘 및 그루브 폭 변화에 대응할 수 있는 위빙 폭 자동 제어 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 고전압 노이즈 문제 해결을 위한 용접신호 측정 시스템개발
- 측정 신호의 신뢰성을 높이기 위한 이동 평균 알고리즘 적용
- 협 개선 용접선 자동 추적 안정성 확보를 위한 고려 항목 도출
- 협 개선 용접선 자동 추적 알고리즘 개발
- 그루브 폭 변화 대응이 가능한 위빙 폭 자동 제어 알고리즘개발

본 장치가 개발 완료되어 향후 배관 자동 용접에 투입되면 혁신적으로 생산성을 향상시켜 작업 공기를 단축함과 동시에 공사원가 절감을 크게 이룰 수 있을 것이다. 또한 다양한 센서 기술이 집약된 자동 용접장치를 보유함으로써 발주처에게 신뢰를 주어 파이프 공사 수주에도 기여할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- Hyeongsoon Moon and Sukjoo Na, 1996, "A study on algorithm for seam tracking by considering weld defects in horizontal fillet welding", Korean Welding Society.
- Hyeongsoon Moon and Ko Sunghoon, 2008, "Automatic Pipeline Welding System Equipped with Six Welding Carriages, Laser Vision Sensor and Arc Sensor for Offshore Pipeline Laying", ISOPE.
- Hyeongsoon Moon, Sunghoon Ko and Jongcheol Kim, 2006, "A Study on Signal Processing Method for Automatic Seam Tracking in Pulse Welding", Korean Welding Society.
- Singapore Institute of Manufacturing Technology, 2000, "Development of a Closed-loop Through-the-Arc-Sensing Controller for Seam Tracking in Gas Metal Arc Welding", Technical Report.

