

아크신호를 이용한 수평 필릿 용접선 추적에 관한 연구

김재용^{*}, 나석주^{*}, 최집룡^{**}

(* 한국과학기술원 생산공학과, ** 한국용접기술연구조합)

1. 서 론

용접이라는 작업은 작업환경이 매우 열악하며 그러면서도 용접부의 적절한 수준의 품질을 유지하기 위해서는 숙련된 작업자가 필요하다라는 문제가 있다. 따라서 용접공정의 자동화는 중요하게 대두되고 있으며 그중 용접선의 자동 추적은 자동화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 여러가지 센서개발 및 적용에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

GMA용접에서 아크센서는 용접전류가 팁-모재간의 거리에 따라 변화하는 특성을 이용한 것이다. 즉 팁-모재간의 거리가 가까워지면 용접전류가 커지고, 거리가 멀어지면 전류가 작아지기 때문에, 용접전류를 측정하면 팁-모재간 거리의 변화를 알 수 있게 되고, 따라서 그루브(groove) 용접선을 자동으로 추적할 수 있게 된다^{1)~3)}.

일반적으로 아래보기 맞대기 용접과 아울러 수평 필릿 용접이 많이 사용되고 있으며, 그 용접선이 곡선인 경우도 많다. 수평 필릿 용접에서는 용융지의 불안정한 위치로 인하여 상부에 언더컷, 하부에 오버랩이 발생하기 쉽다. 또한 용접토치의 위치를 정해주는 3축 구동장치와 아울러 토치가 용접선에 수직이 되도록 자세를 결정하기 위한 회전축이 필요하여 하향용접의 경우보다 복잡한 시스템이 요구된다.

본 연구에서는 임의의 수평 필릿 용접선을 추적함에 있어서 토치자세의 제어를 포함하는 알고리즘을 제시하였으며, 용접품질 개선하기 위한 각종변수들의 영향을 실험적으로 조사하였다.

2. 수평 필릿 용접선 추적 알고리즘(algorithm)

2.1. 토치의 구동 방법

용접선의 진행 방향이 X축이나 Y축과 일치하지 않는 경우, 각각의 축들의 속도벡터 합은 용접속도와 위빙속도의 벡터 합과 같다. X-Y-Z축이 Fig.1과 같이 놓여 있을 때, 각 축의 속도 V_x , V_y , V_z 는 다음과 같다.

$$V_x = V_w \cos \theta + V_{wv} \sin \theta / \sqrt{2} \quad (1)$$

$$V_y = V_w \sin \theta - V_{wv} \cos \theta / \sqrt{2} \quad (2)$$

$$V_z = V_{wv} / \sqrt{2} \quad (3)$$

회전축은 토치의 자세결정을 위한 것이므로 용접속도나 위빙속도에 관계없이 용접전류 신호로부터 회전각이 결정된다.

2.2. 용접선 추적오차 제어 방법

용접전류를 측정하여 팁-모재간 거리를 알아내야 하므로 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계식이 필요하다. 허장욱⁴⁾의 연구결과 GMA용접에서 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$I = -a L + b \quad (4)$$

본 연구에서는 CO₂용접공정을 대상으로 하였으며, 실험적으로 구한 a, b값은 각각 4.11 A/mm, 394.95 A이었다. 전류의 변화 ΔI는 측정된 전류에서 기준전류(I_{ref})를 뺀 값이며, 이때 기준전류는 식(4)의 관계로부터 목표모하는 전류값이다. 따라서 전류의 변화 ΔI로부터 팁모재간의 거리변화 ΔL를 구할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta L = -\Delta I / a \quad (5)$$

본 알고리즘에서는 위빙주기(T_{wv})를 고정시키는 방법을 적용하였으며, 위의 ΔL을 이용하여 위빙속도를 조정하여 위치를 보정하였다. 따라서 용접선의 중심으로부터의 오차가 다음의 식들에 의해서 조정을 받게 된다.(Fig. 2)

$$V_x = V_{w1} \cos \theta_2 + \left[V_{wv} + \frac{\Delta I/a}{T_{wv}} \right] \sin \theta_2 / \sqrt{2} \quad (6)$$

$$V_y = -V_{w1} \sin \theta_2 + \left[V_{wv} + \frac{\Delta I/a}{T_{wv}} \right] \cos \theta_2 / \sqrt{2} \quad (7)$$

$$V_z = - \left[V_{wv} + \frac{\Delta I/a}{T_w} \right] / \sqrt{2} \quad (8)$$

용접선으로부터의 방향에 대한 오차는 다음과 같이 제어 받게된다. 즉 φ를 출발선과 용접선과의 차이인 오차라고 한다면

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{\Delta I/a}{L_w} \right] / \sqrt{2} \quad (9)$$

가 되는데, 여기서 L_w는 두번 위빙했을 때 위치가 용접선을 따라 이동한 거리이다. 이때 φ가 비교적 작은 값이라면

$$\phi \approx \frac{\Delta I/a}{L_w} / \sqrt{2} \quad (10)$$

로 나타낼 수 있고, 여기서 얻은 φ를 출발각에 합하여 출발각을 고정한다. θ₁을 기존의 출발각이라고 한다면 수정된 출발각 θ₂는 다음과 같다.

$$\theta_2 = \theta_1 + \phi \quad (11)$$

이 값에 의해서 V_x, V_y, V_z를 새로이 구하게 된다. 구해진 속도로 한번 더 위빙을 하고나면, 출발점에서의 용접 중심선에 대한 오차및 높이 오차가 이론적으로는 거의 없는 상태가 된다.

3. 용접선 추적실험

3.1. 실험장치 및 방법

실험장치는 용접기와 전류측정장치 및 컴퓨터, 그리고 모터를 구동하기 위한 회로와 모터 및 이송 테이블로 이루어진다. 실험에 사용된 용접기는 보호가스로서 CO₂를 사용하는 용접기이며, 전류 측정장치는 선트와 증폭회로, 저역통과필터, A/D 컨버터로 이루어져 있다. 타이머는 8253 타이머를 이용하여 제작 하였다. 이것은 용접전류를 컴퓨터로 읽을 때 샘플링 타임의 기준시간으로 사용된다. 컴퓨터의 기종은 IBM XT이며, 용접선을 추적하기 위한 프로그램은 터보 BASIC과 어셈블리어를 연결하여 개발하였다.

용접선 추적실험에는 절곡형과, 파이프형, S자형 시편을 이용하였는데 이것은 각 시편의 형상에 따라서 용접선의 추적 상태가 특색을 지니게 되기 때문이다. 토치의 각도는 수평판과는 40°, 용접선과는 90° ~ 95° 로 결정하였다. 용접전압과 와이어의 공급속도는 각각 25 V , 118.5 mm/sec로 하였으며, 데이터 측정속도는 50 Hz, CO₂ gas의 유량은 18 l/min로 하였다.

3.2. 실험결과 및 토의

1) 용접선 추적오차에 대한 계인

용접선의 방향이 변하게 되면 추적에 오차가 발생하게 되는데, 이것을 줄여주기 위해서는 오차의 값이 콘트롤러에 들어가기 전 상태에서 계인을 급해 주어야 한다. 본 연구에서는 계인의 값을 변화 시키면서 용접선 추적 실험을 한 다음 용접 품질을 서로 비교하여 이때 품질이 가장 좋은 때의 값으로 계인의 값을 결정 하였다. 여기서 계인을 1 로 하였을 때는 Photo 1-(a) 와 같이 추적동작이 매우 느렸으나, 계인을 3 으로 증가 시켰을 때는 좀더 빨라지는 것을 알수 있었다 (Photo 1-(b)). 그러나 계인을 5 이상으로 증가시키면 워빙이 몹시 불안정 하게 되어 용접선을 추적할 수 없었다. 따라서 계인을 2~3으로 정하는것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

2) 수직, 수평판에서의 기준전류(I_{ref})차이

필릿 용접에서는 용접시 아크의 열이 모재에 일정하게 들어 가더라도 수직 철판은 수평판에 비해서 용융부가 좀더 크게 된다. 따라서 수평판에는 수직판쪽보다 좀더 많은 열입력을 주어 용융부들 서로 대칭이 되도록 조정을 해야하는데 이것은 Fig. 3 과 같이 용접 와이어를 용접선의 중심으로부터 약간 편심지게 해 줌으로서 해결 할 수 있다. 이 편심의 정도가 작을 때는 수직판이 좀더 많이 녹게 되고 너무 크면 수평판이 많이 녹아서 용접비드는 45°를 이루지 못하고 평평하게 되는데 이 기준전류의 차이를 3~6 A 로 할 때에 적당하였다.

3) 전류변화량(ΔI)에 대한 이동평균화의 가중치

수직, 수평판에서의 I_{ref}가 다르므로 각각 경우의 전류변화량을 ΔI_v 와 ΔI_h 로 나타내었다. 비록 저역통과필터로 전류파형을 안정화 하였다고는 하지만, 용융부의 유동현상 등의 요인으로 인하여 ΔI는 일정하게 유지되지 못하고 오차가 존재하게 된다. 이러한 ΔI의 오차는 보통 +/-로 불규칙하게 변화하여, 워빙의 안정성을 크게 저하 시키는데, 워빙이 불안정하면 용접부에 언더컷과 오버랩이 발생하여 품질이 크게 떨어지며, 용접선의 추적이 불가능해 질 수도 있다. 따라서 ΔI_v 와 ΔI_h 에 대하여 각각 이동평균화를 하였는데, 이동평균화를 하면 용접선 추적이 둔화 되기는 하지만 이동평균화의 가중치를 1/4로 하면 워빙의 안정성을 좋게 하면서도 용접선의 추적이 적당하였다.

4) 용접 성능

파이프형 시편에대한 외경용접의 경우에 φ80 mm 까지는 품질을 보장하면서 추적이 가능하였으며, φ60 mm 의 시편에서는 용접선의 추적이 가능하였지만 용접을 한 다음 비드모양에는 꽃모양과 같은 형태의 흔적을 남기게 되었다 (Photo 2). 파이프형 시편에서 파이프의 내경용접은 φ120 mm 까지는 품질을 보장하면서 추적이 가능하였으며, 그 이하의 작은 파이프의 내경용접은 파이프가 너무 작아서 용접부위에 토치가 접근 할 수 없었다.

S자형 용접시편을 이용한 용접(Photo 3)에서는 파이프의 외경용접과 내경용접을 연결하여 작업하는 것과 같았으나, S자형 자체의 특별히 어려운점 으로서는 먼저 용착금속량의 차이를 들 수 있다. S자의 내경을 용접할 때는 용착금속부의 단면적이 큰 데 비하여, 외경을 용접할 때는 용착금속부의 단면적이 작아진다. 이와같이 용착 금속량의 차이가 외관적으로 나타나서 용접의 불량으로 나타나기 쉬웠으나 용접선 추적은 비교적 무난하였다. 용착금속부의 단면적을 일정하게 유지하기 위해서는 각 위치에 따라 와이어의 공급속도를 조절해주는 알고리즘이 필요할 것이다.

4. 결 론

수평자세의 필릿 용접에서 용융풀은 중력의 영향을 받으며 토치의 방향은 용접선에 따라 결정된다. 따라서 용접선 자동 추적시스템은 4축의 구동장치를 필요로 하며, 용접변수 및 제어변수의 수도 많다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 CO₂ 용접에서 아크신호 즉 용접전류신호를 이용한 수평 필릿 용접선 자동 추적 알고리즘을 개발하였다. 여기서 용접전류신호로부터 토치의 위치정보를 알아내기 위해 용접전류와 팁-모재간 거리에 대한 실험적인 모델을 이용하였다. 실험을 통하여 용접전류신호의 처리 및 제어변수에 대한 적정치를 결정하였으며, 그 결과 본 연구에서 제시한 알고리즘은 CO₂ 수평 필릿 용접의 용접선 추적에 실용 가능성이 있는 것으로 판단되며 실제 작업시에 나타날 수 있는 여러가지 문제점들을 해결하기 위한 연구가 계속적으로 기대된다.

『 참고 문헌 』

- 1) 김재응, 나석주 : 아크센서를 이용한 용접선 추적장치, 대한용접학회지, 제6권, 제4호, (1988), pp.1-6.
- 2) G.E.Cook : Robotic arc welding ; Research in sensory feedback control, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.IE-30, No.3, (1983), pp.252-268.
- 3) H.Nomura et al. : Automatic real time bead height control with arc sensor (report 2), Trans. of the Japan Welding Society, Vol.18, No.2, (1987), pp.43-50.
- 4) 허장욱 : 혼합가스 GMAW 공정에서의 전기적인 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1989).

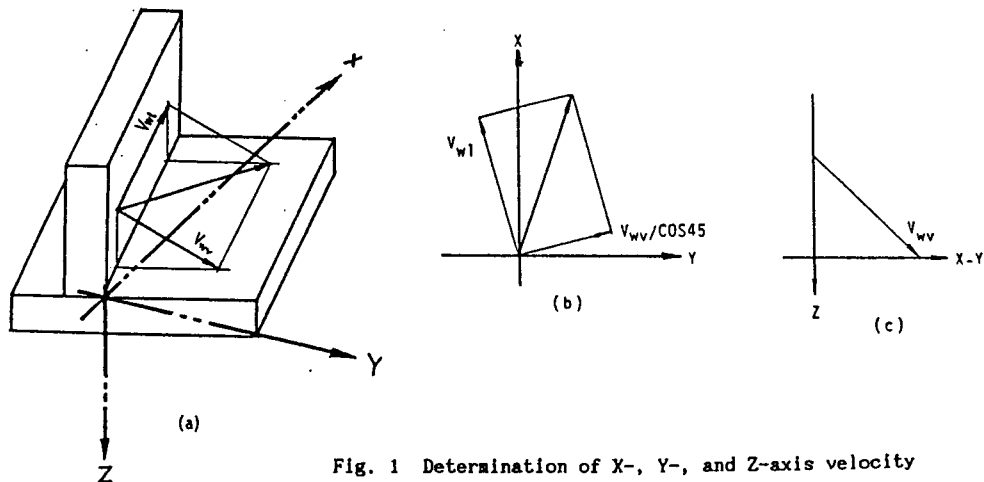


Fig. 1 Determination of X-, Y-, and Z-axis velocity

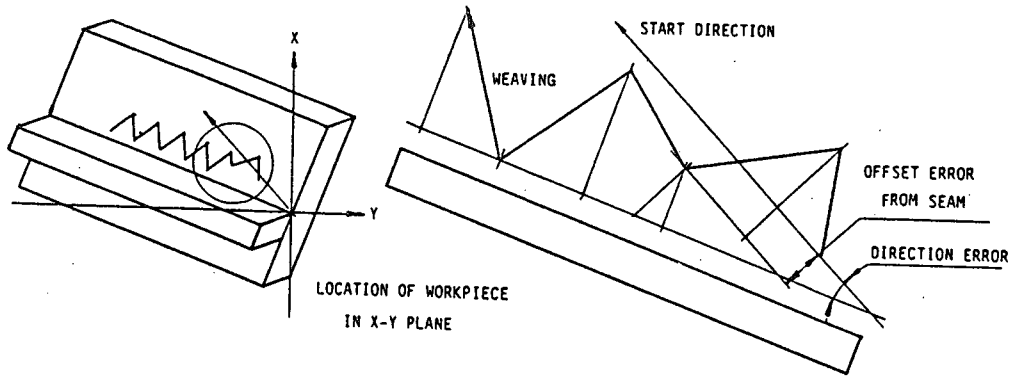


Fig. 2 Control of offset error and direction error

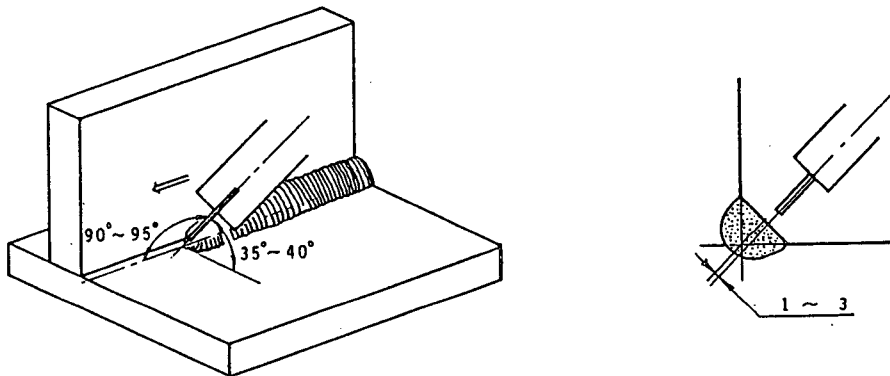
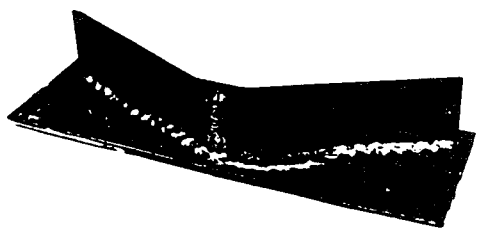
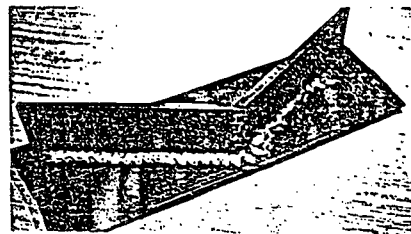


Fig. 3 Illustration of torch position



(a) offset error gain = 1



(b) offset error gain = 3

Photo 1 Example of seam tracking at 45° angled workpiece with various offset error gain

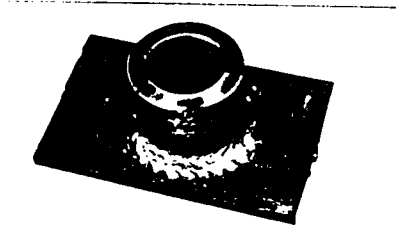


Photo 2 Example of seam tracking at pipe-typed workpiece



Photo 3 Example of seam tracking at S-shaped workpiece