

研究論文

GMA 용접에서 강제적인 위빙이 없는 아크센서 시스템에 관한 연구(I)

- 용접선 추적 알고리즘의 구현 -

안 재 현* · 김 재 웅**

A Study on the Weavingless Arc Sensor System in GMA Welding(I)
- Implementation of Weld Seam Tracking Algorithm -

J. - H. Ahn* and J. - W. Kim**

Key words : GMA Welding (가스금속 아크용접), Arc sensor (아크센서), Constant voltage characteristic (정전압 특성), Tip-to-workpiece distance (팁-모재간거리), Automatic weld seam tracking (용접선 자동추적), Moving averaging (이동평균), Metal transfer (금속이행)

Abstract

In this study a new arc sensor algorithm for automatic weld seam tracking was proposed, which uses the relative welding current variation according to the tip-to-workpiece distance in GMA welding. Since the new developed arc sensor algorithm is not sensitive to unstable factors of arc signal, the system is expected to get rid of the problems of already existing arc sensor system which include the difficulty of modeling the process for various welding conditions and limitation of application to thick plate welding. Thus the system is applicable not only to thick plate welding but also to thin plate welding.

To implement the new arc sensor algorithm the system parameters which include sampling time, averaging range, weighting factor of moving averaging, basic compensation time, and basic compensation distance were determined by experimental analysis. Consequently this system has shown the successful tracking capability for the various welding conditions.

※ 1997년 11월 15일 접수

* 비회원, 삼성전자(주) 카미디어팀

** 정회원, 영남대학교 기계공학부

1. 서 론

용접작업은 각종 구조물의 제조과정에서 핵심적인 조립공정이라 할 수 있다. 열악한 작업환경으로 인한 작업자의 기피 현상, 대량생산 체제에 있어서 생산성의 향상, 그리고 용접부의 품질을 적정한 수준으로 유지하기 위한 고도기술 요구 등의 측면을 볼 때 자동화가 절실히 요구되고 있으며, 또한 지속적으로 발전하고 있는 분야 중의 하나이다.

현재 기계화된 용접장치들이 작업자를 대체하여 생산 현장에 투입되고 있으나 용접 대상물의 형상 오차, 부정확한 장착, 열변형 등에 따른 용접조건의 변화에 의해 균일한 품질의 용접물을 생산하는 데는 한계가 있다. 따라서 용접과정 중에 발생하는 변수에 대응해서 적절히 대처해 주는 것이 필요하다. 자동용접에서는 균일한 품질의 용접부를 얻기 위해서 용접부 품질에 영향을 미치는 인자를 센서를 통하여 감지하고 변화된 상황에 대응하는 제어시스템을 적용하여 지능화된 자동 용접 시스템을 구축하는 방법을 생각할 수 있다.¹⁻⁴⁾

지금까지 발표된 아크센서를 이용한 용접선 추적은 강제적인 위빙을 이용하거나 토치에 편심된 전극을 고속으로 회전시켜 전류 또는 전압신호를 이용하는 방법을 사용하였다.⁵⁾ 여기서 텃-모재간 거리와 전류 또는 전압신호의 관계를 이용하여 용접선을 추적하므로 용접 조건의 변화에 의해 영향을 받게 되며, 결국 접합부(weld joint)의 형태, 용접물의 두께, 금속이행의 종류 등에 의해 그 적용 범위가 제한되고 있다. 따라서 다양한 접합부와 다양한 용접조건에 적용 가능한 용접선 추적 알고리즘의 개발이 요구된다. 특히 박판 용접에 적용되는 T접합부는 90° 필릿 조인트로서 두꺼운 판재의 용접부에서 일반적으로 사용되는 60° 개선각을 가지는 접합부와는 그 형상이 다르다. 그리고 박판 용접을 위한 용접조건에서의 금속이행은 용접 전류의 변동이 매우 큰 단락이행(short circuit metal transfer)을 나타내므로 용접전류의 모델링을 통한 방법에 의해서 용접선을 추적하는 것에는 어려움이 따른다.⁶⁾

본 연구에서는 전술한 문제점들을 해결하기 위해 텃-모재간 거리변화에 따른 상대적인 전류변화를 이용하여 강제적인 위빙을 사용하지 않는 방법

으로 용접선을 추적할 수 있는 새로운 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘에서는 토치의 미소이동에 따른 전류값의 변화를 감지하여 용접부 중심위치와 아크위치의 일치성을 판별하며, 보정을 위해 토치가 이동해야 할 방향을 설정한다. 즉 텃-모재간 거리와 전류와의 관계식을 이용하지 않으므로 용접 접합부의 형태 및 용접조건의 변화에 민감하지 않은 용접선 추적을 기대할 수 있다. 본 알고리즘을 다양한 용접조건과 접합부의 형태에 적용하여 신호처리 및 제어를 위한 시스템 변수들을 선정하였으며, 추적실험 결과 양호한 용접선 추적성능을 확인할 수 있었다.

2. 강제적인 위빙이 없는 아크센서 (weavingless arc sensor) 시스템

2.1 아크센서의 기본원리

GMA(Gas Metal Arc) 용접과 같이 정전압 특성의 전원을 사용하는 공정에서 용접전류는 텃-모재간 거리에 따라 달라진다. 텃-모재간 거리가 변하게 되면 아크길이는 자기제어 원리에 의해서 일정하게 유지되므로 와이어 돌출길이가 변하게 된다. 이러한 와이어 돌출길이의 변화는 돌출된 와이어에서의 저항 변화를 유발하게 되고 따라서 용접전류는 변하게 된다.

Fig.1은 텃-모재간 거리 변화에 따른 동작점(operating point), 와이어 돌출 길이, 전류, 전압의 변화를 나타내고 있다. 텃-모재간 거리가 A_0 에서 A_1 으로 커졌을 때 동작점도 a_0 에서 a_1 으로 변하게

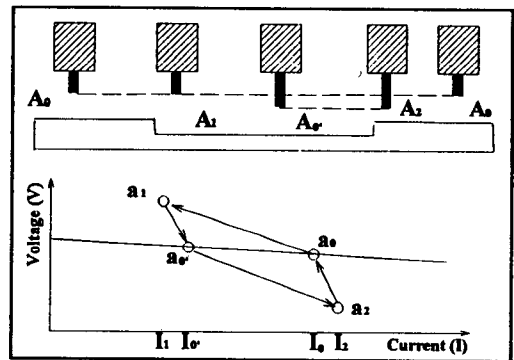


Fig. 1 Arc variations over idealized stepped plate

된다. 그러나 아크 길이의 자기제어 원리에 의하여 동작점이 a_0 로 이동하려 하지만 길어진 와이어 돌출길이에서의 저항 증가로 인한 용접전류의 감소에 의해서 새로운 동작점 a_0 에서 정상적인 아크가 발생하게 되며 용접전류는 I_0 에서 I_0 로 감소하게 된다. 위와 같은 사실을 통하여 텡-모재간 거리가 변함에 따라 와이어 돌출길이가 변하게 되고 돌출 와이어의 저항성분에 의해서 전류값이 변하게 됨을 알 수 있으며 이러한 관계에 의해 전류값을 이용하여 그루브 면에 대한 토치의 위치정보를 얻을 수 있다.

그러나 전류신호에는 텡-모재간 거리변화에 의해 전체적으로 변화하는 전류신호와 함께 미소하게 변동을 일으키는 전류신호가 포함되어 있음을 알 수 있다. 이것은 각 용접조건이 가지는 금속이행(metal transfer)에 의해서 와이어 공급속도(wire feeding rate)와 와이어 용융속도(wire melting rate)가 완벽한 평형상태에 도달하지 못하기 때문에 발생하는 것으로 각 용접조건에 의해서 발생하는 금속이행의 형태에 따라 신호의 특성이 달라진다.^{7~9)}

2.2 강제적인 위빙이 없는 아크센서의 용접선 추적 알고리즘

지금까지 아크센서를 이용한 용접선 추적에서는 강제적인 위빙을 사용한 방법이 발표되어 왔다. 이것은 위빙 양 끝단의 전류 값의 차이로 그루브의 중심에서 벗어난 정도를 감지하여 보상하므로써 용접선을 추적하는 방법이었다. 이것은 양 끝단의 전류값만을 사용하기 때문에 신호자체의 변동값에 영향을 받기 쉽다. 특히 용접전류의 변동이 심한 단락이행의 금속이행모드에서 측정된 전류값으로 용접선에서 벗어난 정도를 계산하기가 어려우며, 각종의 용접조건에 적용할 수 있는 모델링이 되어 있어야 하므로 다양한 용접조건에 적용하기 어렵다. 그리고 고정된 위빙거리를 적용하게 되므로 각 접합부에 따라 위빙거리를 입력하여야 한다.

본 연구에서는 입상이행과 단락이행의 금속이행을 나타내는 용접조건에서 텡-모재간 거리변화에 따른 용접전류의 증가와 감소만을 이용하여 강제적인 위빙을 하지 않고 짧은 시간 동안 그루브 중심에서 벗어난 정도를 보상함으로써 용접 토치가

그루브의 중심을 따라가도록 하고자 한다. 본 연구에서 사용하고 있는 알고리즘은 텡-모재간 거리 변화에 따른 특정 전류값을 이용하지 않고 단순히 토치의 움직임에 의한 전류의 증가 또는 감소만을 사용하므로써 금속이행 형태에 구애받지 않고 다양한 용접조건에 적용이 가능하게 되며 강제적인 위빙을 사용하지 않으므로 다양한 접합부의 형상에 적용 가능하게 된다.

용접선 추적 알고리즘은 아크센서의 원리에 의해서 토치가 그루브 중심에 있을 때 전류값이 최소가 되는 것을 이용해서 전류 값이 감소되는 방향으로 토치를 이동시키면서 전류가 최소값이 되도록 하여 용접선을 추적하는 것이다. Fig. 2는 토치의 방향에 따른 용접전류의 변화를 나타내는 개략도이다.

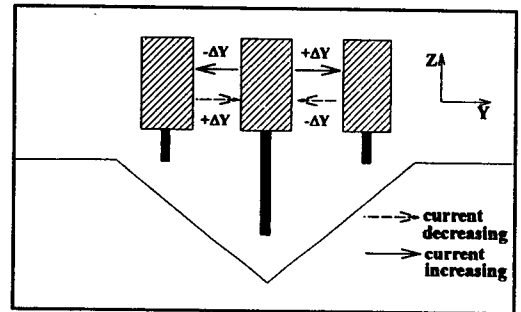


Fig. 2 Welding current variation according to torch movement

용접선의 추적을 위해 Y축으로 움직이는 토치의 방향을 결정하기 위한 알고리즘은 다음과 같다. Table 1에 나타난 바와 같이 용접선과 토치의 위치 오차를 보정하기 위한 토치의 이동방향을 결정하기 위해서 이전의 토치 이동방향과 현재와 이전의 전류값의 차이를 이용하게 되는데 이전의 토치가 움직인 방향에 의해서 전류값이 감소했다면 이전

Table 1 Weld seam tracking algorithm

| Previous direction of torch movement $\Delta Y(n-1)$ | Welding current variation $[I(n) - I(n-1)]$ | Next direction of torch movement $\Delta Y(n)$ |
|---|--|---|
| + | - | + |
| + | + | - |
| - | - | - |
| - | + | + |

의 방향을 유지하고 전류값이 증가했으면 이전의 방향과 반대 방향으로 토치를 움직이게 하므로써 전류가 감소하는 방향으로 토치의 방향을 결정하여 그루브의 중심을 따라가도록 하는 것이다.

2.3 신호처리

GMA 용접공정에서의 전류신호는 금속이행과 팁-모재간 거리변화에 의해서 변하게 된다.

Fig.3는 그루브의 중심을 따라 직선으로 용접했을 때(신호A)와 60°의 개선각을 가지는 그루브내에서 토치를 위빙시키므로써 팁-모재간 거리가 변화될 때(신호B)의 용접전류이다. 그림에 나타난 바와 같이 금속이행에 의한 전류 변동값은 팁-모재간 거리변화에 의한 전류변화에 비해 작게 나타난다. 그러나 금속이행에 의한 전류변화가 포함된 신호로 팁-모재간 거리변화에 따른 그루브 중심에 대한 위치를 보다 정확히 나타내기 위해서는 금속이행에 의한 전류 변동값이 제거된 보다 평탄한 전류신호가 요구된다.

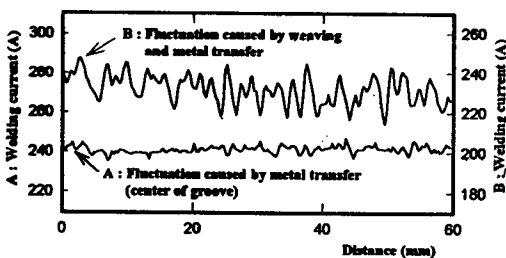


Fig. 3 Welding current variation caused by torch action and metal transfer

본 실험에서는 용접전류 신호를 선트저항을 통해서 미소전압으로 변환하고 증폭한 후 저역통과필터를 통과시켜 1차적인 신호처리를 하고 있다.

Fig. 4는 100A 20V와 240A 33V의 용접조건으로 용접했을 때 용접전류에 대응되는 선트저항에서 출력된 미소전압을 증폭시킨 후 하드웨어로 구성된 저역통과필터를 통과시킨 신호로서 200Hz의 샘플링 시간으로 얻은 신호이다. 그림에 나타난 바와 같이 100A 20V의 단락이행모드에서 용접전류의 변동값은 240A 33V의 입상이행모드에서 보다 더 크다는 것을 알 수 있다. 이렇게 신호를 저역통과필터를 통과시킨다 하더라도 금속이행에 의한 전

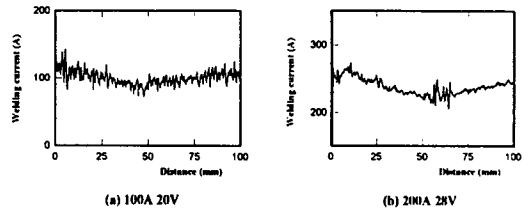


Fig. 4 Welding current at short circuit and globular metal transfer mode

류신호의 변동이 나타남을 알 수 있다.

이러한 변동을 제거하기 위해서 먼저 저역통과필터를 통과한 신호에 대해서 구간평균을 적용하였다. 구간평균은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$I_f(n) = \left[\sum_{k=1}^d I_o(n \times d_1 + k) \right] / d_1 \quad (n=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

I_o : 저역통과필터를 통과한 신호

I_f : I_o 를 d_1 개의 구간으로 평균을 취한 신호

d_1 : 평균구간

이러한 구간평균법에 의해 출력되는 신호는 평균구간(d_1)에 따라 달라지며 평균구간이 클수록 금속이행에 의한 변동이 제거된 평탄한 신호가 출력된다. 그러나 이러한 평균구간은 신호의 평활도 뿐만 아니라 토치위치의 보정을 위한 단위시간에도 영향을 미치게 되어 평균구간이 커지면 토치의 단위보정시간이 길어지게 된다. 결국 토치의 단위보정시간이 너무 길어지면 용접선 추적 정밀도가 나빠지게 된다. 따라서 최적의 평균구간이 존재하게 되며 이러한 구간을 본 연구에서는 용접선 추적 실험을 통하여 보다 정밀한 용접선 추적이 가능한 구간을 설정하게 된다.

앞에서 설명한 바와 같이 적정의 평균구간이 존재하지만 이러한 평균구간에서도 아직 금속이행에 의한 전류변화가 발생할 수 있게 되며 이러한 전류변화를 제거할 수 있는 방안이 요구된다. 따라서 이러한 구간평균을 취한 신호에 이동평균법을 적용하였다. 이동평균법은 다음 식에 의해서 계산된다.

$$I_r(n) = (1-w_1) \times I_r(n-1) + w_1 \times I_f(n) \quad (2)$$

$I_r(n)$: 이동 평균 전류값

$I_r(n-1)$: 전 이동 평균 전류값

$I_f(n)$: 구간 평균을 취한 전류값

w_1 : 가중치 (weighting factor)

이동평균법은 가중치 (weighting factor)에 따라 필터링의 효과가 달라지게 된다. 즉 구간평균을 취한 전류 ($I_f(n)$)에 곱해지는 가중치 w_1 이 너무 크면 필터링의 효과가 없고 w_1 이 너무 작으면 보다 평활한 신호가 출력되나 이동평균을 취한 신호에서 시간지연이 발생하게 되어 용접선 추적 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구에서는 용접선 추적 실험을 통하여 가장 좋은 정밀도를 나타내는 가중치를 결정하게 된다.

Fig. 5에는 용접선 추적을 위한 신호처리의 과정을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 하드웨어로 필터링된 신호를 구간평균법과 이동평균법을 이용해서 처리한 후 용접선 추적에 적용한다.

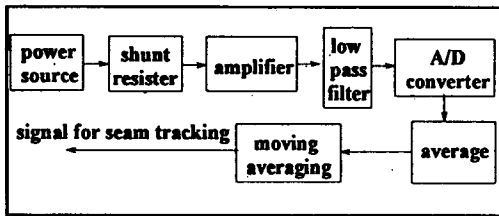


Fig. 5 Block diagram for signal processing

3. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치로는 3축-이송테이블 (Pimco-ODIII A), GMA용접기 (NEW- T500), 퍼스널 컴퓨터 (486DX2), 용접전류 측정장치, A/D 컨버터 (PCL-812) 그리고 3축-이송테이블 구동장치로 구성된다. 용접기의 냉각방식은 공냉식이며 정격 용량은 500A이고 출력 전압범위는 16~42V이다. 용접전류 측정장치는 0.1mΩ의 500A용 션트저항, 차동증폭기, 5Hz의 차단주파수를 가진 저역통과필터 (low pass filter)로 구성하였다. 그리고 AC서보 모터를 통하여 구동되는 3축-이송테이블은 이송시 0.01mm/pulse의 분해능을 가진 것이다. 실험용 재료와 그루브의 형상으로는 12mm 두께의 연강일 때 60°의 개선각도를 가지는 V그루브 형상 그리고 2mm두께의 냉간압연강판에 대해서는 90° 필릿 조인트를 사용하였다. 그리고 전극은 1.2mm직경의

CO₂ 가스아크용접용 와이어인 ER70S-G를 이용하였고 보호가스는 두가지로 CO₂ 가스와 혼합가스 (Ar 80% + CO₂ 20%)를 각각 사용하였으며, 용접 속도는 5mm/sec를 적용하였다. 전체적인 실험장치의 개략도를 Fig. 6에 나타내었다.

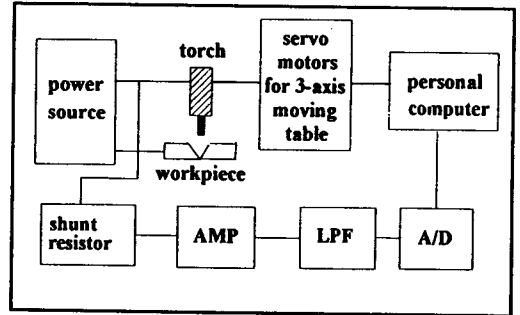


Fig. 6 Schematic diagram of experimental system

그림과 같이 토치의 위치에서 용접할 때의 용접 전류에 대응되는 값을 0.1mΩ의 500A용 션트저항에서 미소 전압값으로 얻게 되고 이러한 미소 전압을 차동증폭기 (AMP)를 이용하여 증폭시키고 저역통과필터 (LPF : low pass filter)를 통과시킨 후 A/D컨버터로 데이터를 획득한다. 이러한 용접전류 신호를 이용하여 컴퓨터에서 프로그램으로 구현된 용접선 추적 알고리즘에 의해서 용접선에 대한 토치의 위치정보를 출력하게 된다. 이러한 정보는 3축-이송테이블에 의해서 실제로 구현되는데 컴퓨터와 3축-이송테이블의 콘트롤러를 인터페이스한 펄스 제너레이터에서 펄스를 출력하여 AC서보 모터를 구동하므로써 3축-이송테이블을 통하여 용접선 추적을 하게 된다.

4. 용접선 추적 실험 및 시스템 변수의 설정

앞에서 설명한 용접선 추적 알고리즘으로 용접선 추적 실험을 하였다. 이러한 강제적인 위빙이 없는 아크센서 알고리즘으로 보다 나은 용접선 추적 정밀도를 가지기 위해서는 저역 통과필터를 통과한 신호의 소프트웨어적인 평균구간 즉 단위보정시간, 단위보정시간 당 토치의 이동거리 (단위보정거리), 그리고 이동평균의 가중치의 최적값이 결정되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 변수에

대한 최적값들을 실험적으로 결정하였다.

4.1 단위보정시간의 결정

본 실험에서는 저역통과필터에서 출력되는 신호를 200Hz의 샘플링 시간으로 Λ/D 컨버터를 통해 얻게 된다. 앞에서 설명한 바와 같이 이러한 신호는 금속이행에 의한 변동값을 가지므로 소프트웨어적인 필터링 방법으로 먼저 구간평균을 취하게 된다. 이러한 구간평균에서 평균구간은 신호의 평활화에 영향을 미치며 아울러 토치위치의 보정을 시행하는 시간간격적인 단위보정시간을 결정하게 된다.

Fig. 7은 평균구간 즉 토치 움직임의 단위시간에 따른 용접선 추적 결과이다.

이 때의 용접조건은 240A 33V이고 시편으로는 60°의 개선각도를 가지는 12mm두께의 연강을 사용하였다. 본 실험에서 적용한 평균구간은 30개와 10개였으며, 이 때 각각에 해당하는 토치 움직임의 단위보정시간은 0.15sec와 0.05sec이다. 그림에 나타난 바와 같이 30개의 구간으로 평균을 취했을 때 전체적으로 용접선 추적이 불가능하였으며 10개의 평균구간에서 다양한 각도에 대해서 용접

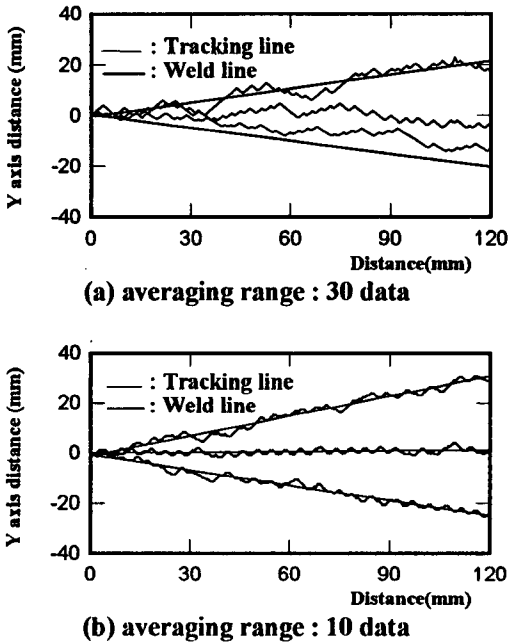


Fig. 7 Tracking result according to the averaging range

선 추적이 가능함을 알 수 있다. 따라서 용접전류의 평균구간을 10개로 결정하였다. 그러나 10개의 평균구간을 설정해서 용접선 추적을 할 때 전체적으로 다양한 각도로 기울어진 용접선을 추적하나 용접선 추적 정밀도가 좋지않은 것을 볼 수 있다. 따라서 용접선 추적 정밀도를 향상 시킬 수 있는 방안이 요구됨을 알 수 있다.

4.2 용접선 추적 알고리즘의 개선

본 실험에서 사용하고 있는 알고리즘에서 토치의 움직임은 전류파형에 의해 영향을 받게 되는데 좀더 정확히 표현하면 전류파형에서 증가하거나 감소하는 전류 데이터의 갯수에 의해 영향을 받게 된다. 즉 증가되는 전류 데이터의 갯수에 의해서 토치의 방향이 결정되고 감소되는 전류 데이터의 갯수에 의해서 중심선에서 벗어난 거리가 보상된다.

Fig. 8는 양호한 추적 성능으로 용접하다가 한번 크게 벗어난 후 다시 중심선으로 돌아오는 경우의 실험결과이며 벗어나는 부분을 확대한 것으로 이때의 전류와 토치의 궤적을 나타 내었다. 그림의 전류가 증가되는 (i)부분을 보면 전류증가의 갯수는 3개로 홀수개이다. 이렇듯 본 알고리즘은 본질적으로 전류가 증가하는 갯수가 홀수개이면 이전의 전

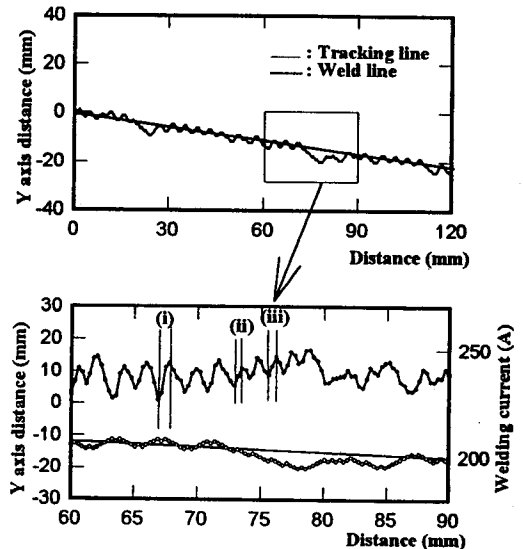


Fig. 8 Relation between welding current and torch action

류감소에 의한 토치의 방향과 반대 방향으로 움직이게 되고 짝수개이면 이전과 동일한 방향으로 움직이게 된다. (ii)와 (iii)의 경우를 보면 전체적으로 전류가 증가되어 전류 감소에 의한 토치의 방향과 반대 방향으로 움직여야 함에도 불구하고 미소변동의 전류 증가 갯수가 짝수개이므로 중심선에서 벗어나는 방향을 계속 유지하여 크게 벗어나게 된다. 이러한 미소 변동의 전류는 불규칙한 금속이행에 의한 것으로 미리 예측할 수 없는 것이며, 미소 전류 변동의 영향에 있어서도 전류 증가 갯수가 짝수개일 때만이 문제가 된다. 이것에 대한 대처방안으로 전류가 증가할 때의 데이터 갯수를 인위적으로 홀수개로 유지시키는 방법을 생각할 수 있으며 이것을 적용하면 Fig. 8에서 나타나는 심하게 벗어난 부분은 방지될 것으로 예상할 수 있다.

Fig. 9는 전류증가의 데이터 갯수가 홀수개로 유지하도록 하는 방법 (reverse action)을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때 용접선 추적결과를 비교한 것이다. Fig. 9(a)는 전류증가의 갯수가 홀수개로 유지하도록 하는 방법을 적용하지 않았을 때의 결과로서 용접선에서 벗어나는 경우가 나타난다.

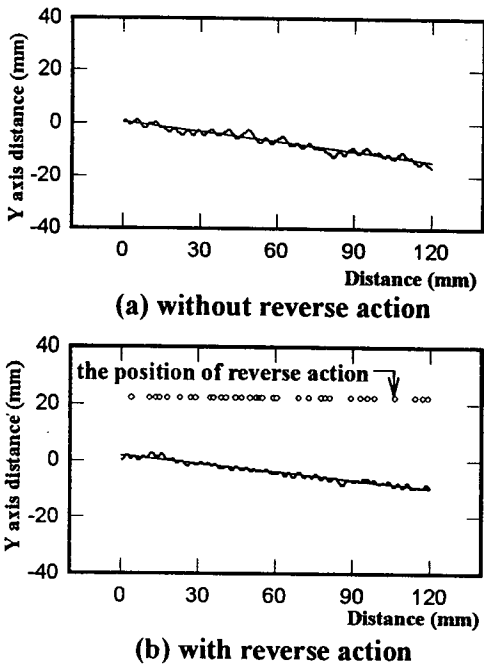


Fig. 9 Effect of reverse action

Fig. 9(b)는 전류증가의 갯수가 홀수개로 유지하도록 하는 방법을 적용하였을 때의 결과로서 양호한 추적 결과를 보여주고 있다. 여기서 점으로 표시된 부분이 전류증가의 갯수가 짝수개가 된 후 전류가 감소하는 순간에 이때의 방향을 바꾸기 위해서 전류가 증가되었다고 가정한 지점이다. 이렇게 함으로써 토치의 방향을 그루브 중심쪽으로 향하게 하여 토치가 중심에서 크게 벗어나는 부분을 방지하게 된다.

4.3 이동평균 가중치의 결정

일반적으로 용접전류신호는 GMA용접공정의 금속이행의 특성에 따라 심한 변동값을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 신호를 1차적으로 하드웨어를 이용한 필터링을 하고 소프트웨어적인 방법으로 구간평균을 하여 변동성분을 제거하게 된다. 그러나 이러한 평균구간을 적용했을 때 여전히 금속이행의 변동성분이 포함되어 있으므로 토치의 단위보정시간을 그대로 유지하면서 변동성분을 제거할 수 있는 방안으로 이동평균법을 적용하였다. 식 (2)에 나타난 이동평균법을 적용하는데 있어서 결정해야 될 인자는 이동평균의 가중치(w_i)이다. 이동평균의 가중치에 따라 출력되는 전류신호는 달라지는데 입력된 신호에 적용되는 가중치가 너무 크면 필터링의 효과가 없어지고 또 너무 작으면 필터링의 효과는 좋아지나 시간 지연이 커지게 된다. 따라서 용접선 추적 정밀도를 높일 수 있는 이동평균의 가중치의 최적값이 존재하게 된다. 본 실험에서는 이동평균 가중치의 최적값을 용접선 추적실험을 통해서 구하였다. 이동평균의 가중치를 변화시키면서 실시한 용접선 추적실험에 대해서 용접선 추적 정밀도를 정량적으로 평가하였다. 용접선 추적 정밀도의 평가는 용접선 중심에서 벗어난 절대오차를 용접선 단위 길이당의 값으로 나타내었으며 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10(a)와 (b)는 각각 200A 28V의 용접조건에서 12mm두께의 60°의 개선각을 가지는 시편과 100A 20V의 용접조건에서 2mm두께의 필릿조인트에서 용접선 추적을 할 때 단위 길이당 벗어난 양을 나타내고 있다. Fig. 10을 통하여 이동평균의 가중치가 클수록 필터링의 효과가 나타나지 않고 가중

치가 적을수록 이동평균에 의한 시간지연에 의해서 용접선 중심에서 벗어나는 양이 커짐을 알 수 있고 용접선 추적 정밀도를 높일 수 있는 이동평균의 가중치의 최적값이 존재함을 알 수 있다. Fig. 10(a)의 용접조건에서는 이동평균의 가중치가 0.7일 때 그리고 Fig. 10(b)에서는 이동평균의 가중치가 0.6일 때 용접선 중심에서 벗어난 양이 가장 적은 것으로 나타났으며 이때 단위 길이당 중심선에서 벗어난 양의 평균값은 박판 필릿 접합부에서 $\pm 1.5\text{mm}$ 이고 60° 의 개선각을 가지는 12mm두께의 시편에서는 $\pm 1.1\text{mm}$ 였다.

4.4 단위보정거리의 결정

4.1절에서 용접선 추적이 가능한 전류신호의 평균구간 즉 토치의 단위보정시간을 0.05sec로 결정하였다. 이렇게 용접선 추적이 가능한 전류신호의 평균구간에서 용접선 추적 정밀도에 영향을 미칠 수 있는 인자는 토치의 단위보정거리이다. 본 실험에서는 단위보정거리를 0.325mm/action에서 0.5mm/action으로 0.025mm/action씩 증가시키면서 용접선 추적실험을 하였다. 이때 단위보정시간이 0.05sec

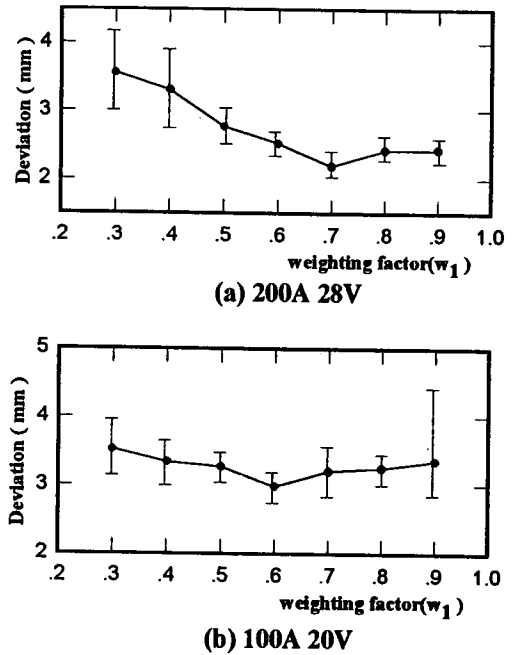


Fig. 10 The variation of tracking accuracy according to weighting factors for moving average

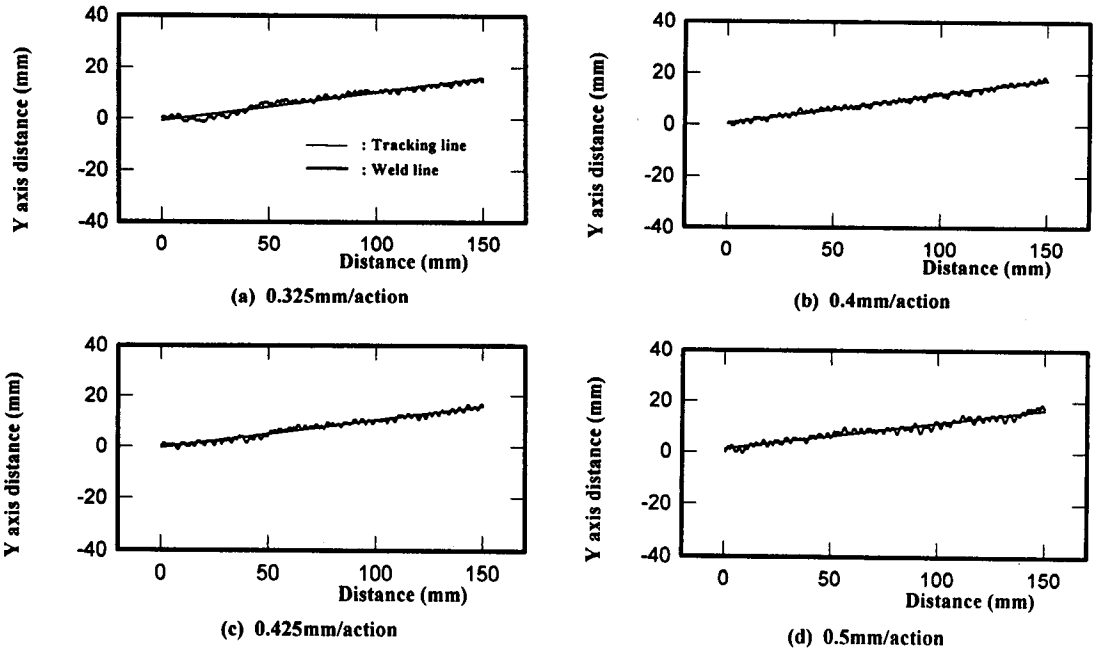


Fig. 11 Tracking result according to compensation distance [200A 28V]

이므로 Y축으로 출력되는 속도는 각각 6.5mm/sec에서 10mm/sec까지 0.5mm/sec씩 증가되게 된다.

Fig. 11에는 단위보정거리에 따른 용접선 추적 결과를 나타내고 있다. 이때의 용접조건은 200A 28V이고 보호가스는 Ar 80% + CO₂ 20%를 사용하였다. 단위보정거리가 작아질수록 용접 진행방향으로 치우쳐서 용접선을 추적하게 되고 또한 단위보정거리가 커질수록 과도한 토치의 움직임에 의해서 용접선 추적 정밀도가 떨어지게 된다. 따라서 좋은 용접선 추적 정밀도를 가지는 적정의 단위보정거리가 존재하게 되며 토치의 단위 보정거리가 0.4mm/action일 때 용접선 추적 정밀도가 가장 우수함을 볼 수 있다.

5. 다양한 용접조건에의 적용

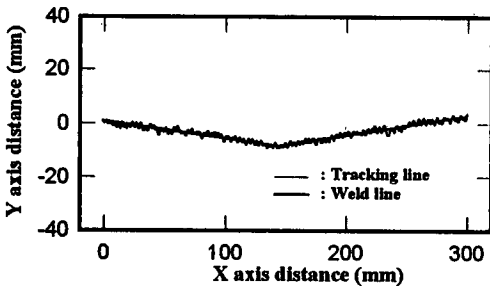
본 용접선 추적을 위한 알고리즘에서는 실험적인 모델링에 의해서 결정된 값을 적용하는 것이 아니고 틱-모재간 거리변화에 의한 상대적인 전류의 변화를 이용하여 용접선 추적을 하게 되므로 동일한 제어변수 즉 동일한 토치 움직임의 단위보정시

간과 단위보정거리 등으로도 다양한 용접조건과 그루브 형태에 적용이 가능하리라 생각된다. 따라서 본 알고리즘을 다양한 실험조건에 적용하였으며 본 실험에서 사용되고 있는 용접조건과 그루브 형태는 Table. 2에 나타낸 것과 같다.

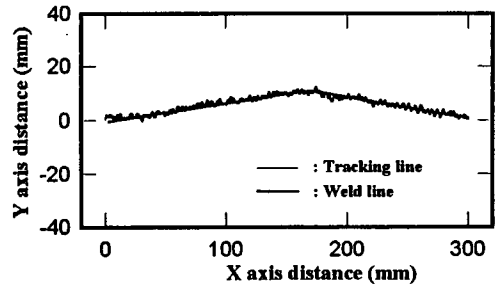
Fig. 12는 위의 각각의 조건에서 용접선 추적 결과를 나타내고 있다. 이때 적용된 단위보정 시간은 0.05sec, 그리고 단위보정거리는 0.4mm/action이었다. 각각의 시편은 5°의 중심선 오차를 가지는 시편을 사용하였다. Fig. 12(a)는 용접 조건이 240A, 33V, Fig. 12(b)는 200A, 30V, Fig. 12(c)는 200A, 28V이고 12mm 두께 시편의 60° 개선각을 가지는 용접선을 추적했을 때의 결과이다. 위의

Table 2 Welding conditions for weld seam tracking experiments.

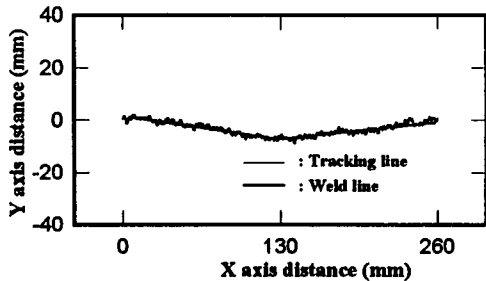
| Welding current | Welding voltage | Plate thickness | Groove | Shielding gas |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|----------------------------|
| 240A | 33V | 12mm | 60° V | Ar 80%+CO ₂ 20% |
| 200A | 30V | 12mm | " | Ar 80%+CO ₂ 20% |
| 200A | 28V | 12mm | " | Ar 80%+CO ₂ 20% |
| 100A | 20V | 2mm | 90° fillet | CO ₂ |



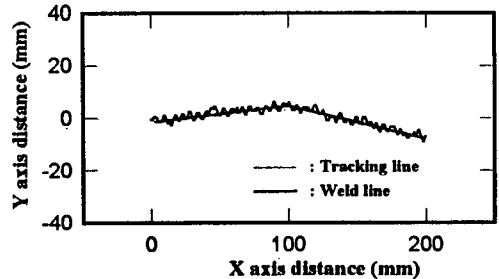
(a) 240A 33V (Shielding gas Ar 80% + CO₂ 20%)



(b) 200A 30V (Shielding gas Ar 80% + CO₂ 20%)



(c) 200A 28V (Shielding gas Ar 80% + CO₂ 20%)

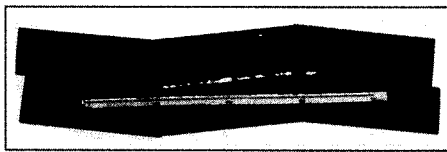
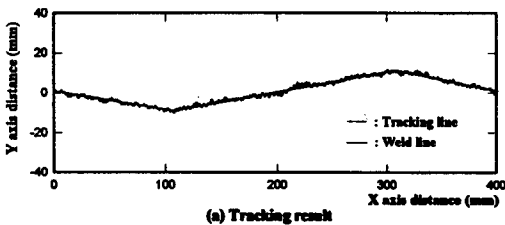


(d) 100A 20V Fillet joint (Shielding gas 100% CO₂)

Fig. 12 Tracking result at various welding conditions

용접조건에서의 금속이행형태는 입상이행으로 보호가스는 Ar 80% + CO₂ 20%의 혼합가스를 사용하였다. 그리고 Fig. 12(d)는 단락이행의 금속이행 형태를 나타내는 100A 20V의 용접조건에서 CO₂ 100%의 보호가스를 사용하여 2mm두께의 필릿 접합부를 추적한 결과이다. 여기서 용접선 추적 오차는 Fig. 10에 나타난 오차의 범위를 보이고 있으며, 이와 같은 추적능력으로 개선된 맞대기 용접선이나 필릿 접합부의 적용이 가능한 것으로 판단되며, 박판의 겹치기 이음에 적용하기 위해서는 보다 토치 궤적의 진폭이 작고 추적정밀도가 높은 알고리즘으로의 개선이 요망된다.

Fig. 13는 200A 28V의 용접조건에서 위와 동일한 용접선 추적을 위한 제어변수로서 다양하게 변하는 각도를 가진 시편에서 용접선 추적을 한 결과와 사진을 나타내고 있다. Fig. 12와 Fig. 13에서 나타난 바와 같이 다양한 용접조건과 시편의 접합형태에 대해서 본 용접선 추적 알고리즘을 적용하여 용접선 추적을 한 결과 양호한 추적성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.



(b) Photograph of weld bead

Fig. 13 Result of weld seam tracking

6. 결 론

GMA용접공정에서 강제적인 위빙이 없는 아크센서 시스템 알고리즘을 적용한 용접선 추적용 아크센서 시스템을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 텃-모재간 거리가 변하게 되면 돌출 와이어의 저항이 변하게 되어 용접전류가 변하게 된다.

텃-모재간 거리변화에 따른 상대적인 용접전류의 변화를 이용해서 강제적인 위빙없이 용접선을 추적할 수 있는 아크센서 알고리즘을 구현하여 용접선 추적이 가능함을 확인하였다.

2) 용접선 추적을 위해서 결정되어야 할 시스템 변수는 토치 움직임의 단위보정시간, 단위보정거리 그리고 신호처리를 위해 적용된 이동평균의 가중치이다. 본 연구에서는 이러한 변수를 실험을 통해서 결정하였으며 이때 결정된 값은 토치 움직임의 단위보정시간은 0.05sec, 단위보정거리는 0.4mm/action, 그리고 현재의 데이터에 대한 이동평균의 가중치는 단락이행의 용접조건에서 0.6, 입상이행의 용접조건에서는 0.7이었다.

3) 본 알고리즘에 의한 용접선 추적에서 토치의 움직임은 전류파형에서 증가하거나 감소하는 전류 데이터의 개수에 의해 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이를 보상하기 위해 증가되는 데이터의 수를 홀수로 가정하는 방법을 적용함으로써 용접선 추적 정밀도를 향상시킬 수 있었다.

4) 강제적인 위빙이 없는 아크센서 시스템을 구축하여 다양한 용접조건과 접합부 형태에 대해서 양호한 용접선 추적 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. H. Nomura, Y. Sugitani, Y. Suzuki, N. Tamaoki, Y. Kobayashi, and M. Murayama : Automatic Control of Arc Welding by Arc Sensor System, Nippon Kokan Technical Report, Overseas No. 47 (1986)
2. R. E. Reeves, T. D. Manley, A. Potter, and D. R. Ford : Expert System Technology - an Avenue to an Intelligent Weld Process Control System, Welding Journal, June (1988), pp. 33-41
3. R. W. Richardson : Robotic Weld Joint Tracking Systems-Theory and Implementation Methods, Welding Journal, November (1986), pp. 43-51
4. H. Fujimura, E. Ide, and H. Inoue : Joint Tracking Control Sensor of GMAW, Transaction of the Japan Welding Society, Vol. 18, No. 1, April (1987)

5. H. Nomura, and Y. Sugitani : Narrow Gap Welding Process with High Speed Rotating Arc, IIW-SG. 212-527-82, (1982)
6. J. Nakajima, T. Araya, M. Tsuji, and S. Sarugaku : Arc Sensor for Welding Line Tracking Application to Welding Robot, IIW-XII-954-86, July (1986)
7. S. Liu, and T. A. Siewert : Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding : Droplet Rate, Welding Research Supplement, February (1989), pp.52/s-58/s
8. G. Adam, and T. A. Siewert : Sensing of GMAW Droplet Transfer Modes Using an ER100s-1 Electrode, Journal of Welding Research, (1990), pp103/s-108/s
9. P. R. Heald, and R. B. Madigan, T. A. Siewert, and S. Liu : Mapping the Droplet Transfer Modes for an ER 100s-1 GMAW Electrode, Welding Research Supplement, February (1994), pp.38/s-44/s