研究論文

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

- 용접선 추적의 토치방향 높이제어 -

안 재 현* · 김 재 웅**

A Study on the Weavingless Arc Sensor System in GMA Welding(Ⅱ)

- Torch Height Control in Weld Seam Tracking -

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

Key words : GMA Welding (가스금속 아크용접), Arc sensor(아크센서), Automatic weld seam tracking(용접선 자동추적), Basic compensation distance(단위보정거리), Moving averaging(이동평균), Height control (높이 제어), On-off control (온-오프 제어)

Abstract

Among the position sensing methods available, the arc sensor which utilizes the electrical signal obtained from the welding arc itself is one of the most prevalently used methods, because it has an advantage that no particular sensing device is necessary and real-time sensing of a groove position is possible directly under the arc.

The authors have already developed a seam tracking system that contains a new arc sensor algorithm, which uses the relative welding current variation according to the tip-to-workpiece distance in GMA welding. In this study a torch height control algorithm for automatic weld seam tracking was proposed for completing the previous system, which uses an on-off control technique. To implement the torch height control algorithm during weld seam tracking the system parameters which include 2nd averaging range, weighting factor for 2nd moving averaging, and Z-directional basic compensation distance were determined by experimental analysis. Finally the two different height control methods, one is simple on-off control and the other on-off control using a reference current value, were compared tn their tracking abilities.

※ 1997년 11월 15일 접수

* 비회원, 삼성전자(주) 카미디어팀

** 정회원, 영남대학교 기계공학과

1. 서 론

최근 전자기술의 급속한 발전과 아울러 용접공정의 자동화 및 제어기술 또한 발전을 거듭하고 있다. 각종 센서들과 제어용 소프트웨어, 산업용 로봇 및 자동화 장치들이 지속적으로 개발되고 있다. 그중 용접선의 자동추적은 아크용접공정의 자동화에 있어서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 여러 가지 용접선 추적용 센서의 개발 및 적용에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.[1] 아크센서는 용접시의 전압 또는 전류신호를 이용하여 용접선을 추적하는 것으로 용접토치에 부착되는 별도의 감지장치가 필요없고 주요기능이 아크의 특성을 이용하는 소프트웨어로 이루어져 제작비가 저렴하며 신호의 측정위치와 용접위치가 동일하다는 장점이 있어 적용범위의 확대와 용접선 추적 정밀도를 개선하는 새로운 알고리즘들이 개발되고 있다.[2~5] 그러나 지금까지 제시된 아크센서 알고리즘들은 용접 그루브 내에서 토치의 위빙에 따른 아크신호의 변화량을 이용하므로 위빙이 필요없는 박판금속의 용접에는 적용이 곤란하며, 전기적인 노이즈의 영향으로 아크센서의 정밀도가 낮아지기 쉬우며 용접조건의 변화에 따라 아크신호의 특성이 변한다는 단점이 있어 현장적용에 어려움이 따르고 있다[1,6].

본 저자들의 전단계 연구에서[7] 전술한 문제점들을 해결하고자 팁-모재간 거리의 미세 변화에 따른 상대적인 전류변화를 이용하여 강제적인 위빙을 사용하지 않는 방법으로 용접선을 추적하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 여기서 팁-모재간 거리와 전류와의 관계식을 이용하지 않으므로 용접 접합부의 형태 및 용접조건의 변화에 민감하지 않은 용접선 추적성능을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 강제적인 위빙을 사용하지 않는 방법으로 용접선을 추적하면서 용접물의 높이오차에 대해서도 적응할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다. 이를 위해 별도의 신호처리과정이 필요하였으며, 토치의 높이 제어시스템을 구축하여 입체적으로 변화가 있는 용접선을 추적하는 시스템의 성능을 검토하였다.

2. 토치의 높이제어 알고리즘

전단계 연구에서는 토치의 높이방향 위치를 고정한 상태에서 용접선을 가로지르는 방향으로의 위치오차에 적응하는 용접선 추적에 대해서 검토하였다. 공정 중에 발생할 수 있는 용접선의 오차에 대해서 보다 범용성 있게 대처할 수 있기 위해서는 좌우방향뿐만 아니라 높이방향의 변화에 대해서도 적응할 수 있는 알고리즘이 개발되어야 한다.

시편의 높이오차에 적응할 수 있는 제어 알고리즘은 시편의 높이오차에 의해서 발생하는 전류의 증가 또는 감소에 따라 높이방향의 단위보정거리를 출력하는 것이다. 용접선 추적용 아크센서는 팁-모재간 거리에 따라 전류값이 변하는 원리를 기본적으로 이용한다. 따라서 시편의 높이오차에 적응하는 제어 알고리즘에서도 용접선 추적(seam tracking)에서와 같이 용접 전류신호를 이용하게 된다. 여기서 토치의 좌우(Y축)방향 이동이나 토치의 높이(Z축)방향 이동에 따른 전류값의 변화는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

그러나 일반적으로 용접공정 중에 발생되는 용접물의 부정확한 장착에 의해서 발생되는 높이오차는 급격하게 변하지 않고 지속적으로 증가 또는 감소하게 된다. 따라서 보다 안정된 높이제어를 하기 위해서는 큰 변동값(fluctuation)이 포함된 용접 전류신호를 시편의 높이오차를 나타내는 상당히 평활된 신호로 변환하기 위한 신호처리가 필요하게 된다. 본 연구에서는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 용접선 추적을 위해 처리된 전류신호에 다시 구

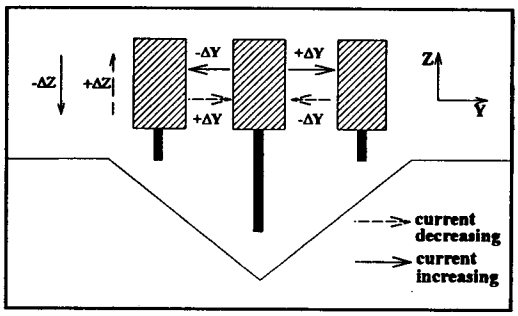

Fig. 1 Welding current variation according to torch movement

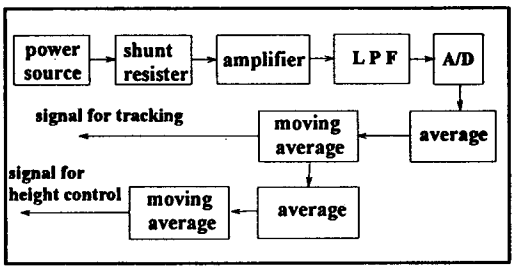

Fig. 2 Block diagram of signal processing

간평균과 이동평균을 적용하여 높이제어에 사용하게 된다.

전류신호는 션트저항에서 출력되는 미소 전압을 100배 증폭하고 5Hz의 차단 주파수를 가진 저역통과필터(low pass filter)를 통과시킨 후 200Hz로 샘플링하여 획득한다. 이 신호를 용접선 추적에 적용하기 위해 식(1-a)를 적용하여 10개의 구간으로 평균을 취하고 다시 식(1-b)의 이동평균방법을 사용하여 신호처리를 하게된다. 다음은 높이제어를 위한 신호처리 과정으로 앞에서 처리된 신호에 대해 식(1-c)를 적용하여 구간평균을 취하며 또한 식(1-d)의 이동평균방법을 사용하여 신호처리를 하게된다.

$$I_f(n)=[\sum_{k=1}^{d_1} I_o(n\times d_1+k)]/d_1 \qquad (1-a)$$

$$I_t(n)=(1-w_1)\times I_t(n-1)+w_1\times I_f(n) \qquad (1-b)$$

$$I_{hf}(n_1)=[\sum_{k=1}^{d_2} I_t(n_1\times d_2+k_1)]/d_2 \qquad (1-c)$$

$$I_{ht}(n_1)=(1-w_2)\times I_{ht}(n_1-1)+w_2\times I_{hf}(n_1) \qquad (1-d)$$

여기서, I_o : 저역통과필터를 통과한 신호
I_f : I_o를 d_1개의 구간으로 평균을 취한 신호
I_t : I_f를 이동평균 취한 신호
(용접선 추적에 적용되는 신호)
I_{hf} : I_t를 d_2개의 구간으로 평균을 취한 신호
I_{ht} : I_{hf}를 이동평균을 취한 신호
(높이제어에 적용되는 신호)

결국 $I_{ht}(n_1)$에 의해서 출력되는 전류신호의 차이가 토치의 높이제어를 위한 알고리즘에 적용된다. 여기서 d_1과 w_1은 전단계 연구에서 결정한 값인 10개 구간(0.05sec에 해당)과 0.7(입상금속이행의 조건에서)을 각각 적용하며, d_2와 w_2는 실험을 통하여 결정한다.

2.1 온-오프 제어(On-off control)

온-오프 제어(On-off control)는 시편과 토치의 상대적인 팁-모재간 거리변화에 의한 전류신호의 변화에 따라 일정한 보정거리를 출력함으로써 높이제어를 하는 것이다. 이러한 높이제어 알고리즘은 Table 1에 나타낸 바와 같다. 높이제어를 위해 처리된 전류신호의 현재와 이전의 데이터의 차이가 (+)이면 윗쪽으로 그리고 전류차이가 (-)이면 아랫쪽으로 일정한 보정거리를 출력하므로써 시편의 높이변화에 대응하게 된다. 이러한 알고리즘은 용접조건에 대한 모델링을 하지 않고도 적용할 수 있으므로 다양한 용접조건에 적용이 가능하고 단위시간당 동일한 보정거리를 출력하므로 순간적인 아크불안에 의한 급격한 전류변화에 대해 큰 영향을 받지 않게 된다.

Table 1 On-off height control algorithm

Welding current variation $[I(n_1)-I(n_1-1)]$	Torch height direction
+	+ ↑
-	- ↓

2.2 기준전류(reference current)치를 이용한 온-오프 제어

앞에서 설명한 높이제어 알고리즘에서는 현재 입력된 신호($I_{ht}(n)$)와 이전의 전류신호($I_{ht}(n-1)$)의 차이를 이용한다. 이러한 알고리즘에서 높이제어에 적용하는 전류신호의 변동이 크면 높이제어가 불안해지는 것을 예상할 수 있다. 따라서 안정된 높이제어 결과를 얻기 위해 상당히 평활된 전류신호가 필요하게 되고 이러한 평활된 신호를 얻기 위해 이동평균을 적용할 때 이전의 데이터에 상당히 큰 가중치를 적용해야 한다. 그러나 이전의 데이터에 큰 가중치를 적용하면 신호의 평활도는 좋아지나 이전의 데이터의 영향이 크게 작용하게되고 현재 입력된 데이터를 바로 이전 데이터와 비교하여 높이제어를 행하므로 높이오차를 가진 시편

을 용접할 때 용접 시작점에서의 팁-모재간 거리를 일정하게 유지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 용접진행 중 높이오차가 발생하였을 때 일정한 팁-모재간 거리를 유지할 수 있도록 하기 위해 기준전류를 이용한 높이제어 알고리즘을 제안하였다.

Table 2에 기준전류를 이용한 높이제어 알고리즘을 나타내었다. 본 알고리즘은 용접전류의 상대적인 증감에 따라서 일정한 보정거리를 출력하는 점에서 온-오프제어(On-off control)와 유사한 방법이나 온-오프제어와 다른점은 용접 시작점에서의 용접전류를 기준전류(I(0))로 사용하여 입력된 전류신호와 비교하여 높이제어를 위한 방향을 결정하는 것이다. 따라서 용접시작점에서의 용접전류를 용접중에도 계속 유지하도록 Z축을 제어하므로써 초기점과 동일한 팁-모재간 거리를 계속 유지하도록 한다.

Table 2 On-off height control algorithm with reference current value

Welding current variation $[I(n_1)-I(0)]$	Torch height direction
+	+ ↑
-	- ↓

3. 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치는 3축-이송테이블(Pimco-ODⅢA), GMA용접기(NEW- T500), 퍼스널 컴퓨터(486DX2), 용접전류 측정장치, A/D 컨버터 (PCL-812) 그리고 3축-이송테이블 구동장치로 구성된다. 용접전류 측정장치는 0.1mΩ의 500Λ용 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 연강에 대해 60°의 개선각도를 가지는 V그루브 형상 그리고 두께 2mm의 냉간압연강판에 대해서는 90° 필릿 조인트를 사용하였다. 그리고 전극은 1.2mm직경의 CO_2 가스아크용접용 와이어인 ER70S-G를 이용하였고 보호가스는 2가지로 CO_2 가스와 혼합가스(Ar 80% + CO_2 20%)를 각각 사용하였으며, 용접속도는 5mm/sec를 적용하였다. 실험에서 100Λ 20V를 적용한 경우는 CO_2가스를 사용한 2mm두께 강판의 필릿 용접이며, 200Λ 28V를 적용한 경우는 혼합가스를 사용한 12mm 두께 연강의 V그루브 맞대기 용접이다. 전체적인 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다.

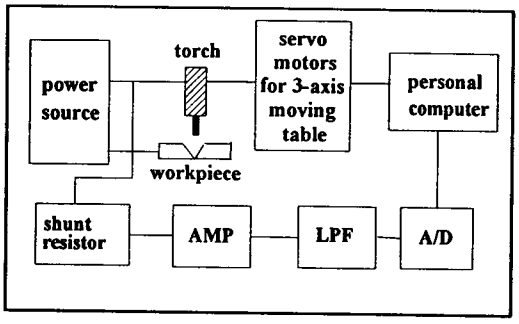

Fig. 3 Schematic diagram of experimental system

그림과 같이 토치의 위치에서 용접할 때의 용접전류에 대응되는 값을 0.1mΩ의 500Λ용 션트저항에서 미소 전압값으로 얻게 되고 이것을 차동 증폭기(AMP)를 이용하여 증폭시키고 저역통과필터(LPF : low pass filter)를 통과시킨 후 A/D컨버터로 데이터를 획득한다. 이 용접전류 신호를 이용하여 컴퓨터에서 프로그램으로 구현된 용접선 추적 및 높이제어 알고리즘에 의해서 용접선에 대한 토치의 위치정보를 출력하게 된다. 이 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. 토치의 높이제어 실험 및 결과

강제적 위빙이 없는 아크센서의 용접선 추적 알고리즘으로 용접선을 추적하면서 토치의 높이제어 실험을 하였다. 높이제어를 위해서는 용접선 추적을 위해 처리된 전류신호에 대해 다시 구간평균과 이동평균법을 적용하게 되므로 이들에 대한 평균구간(d_2)와 이동평균을 위한 가중치(w_2)의 최적값이 결정되어야 한다. 본 연구에서는 각 높이제어

알고리즘에 대해 이러한 변수의 적정값들을 실험적으로 결정하였다.

4.1 토치 높이의 온-오프 제어실험

본 알고리즘을 적용하기 위해서 먼저 결정되어야 할 변수는 2차 이동평균법의 가중치, Z축 움직임의 단위보정시간과 단위보정거리이다.

Fig. 4에는 200A 28V의 용접조건에서 신호처리에 사용된 이동평균의 가중치 w_2에 따른 높이제어 결과를 나타내고 있다. 이 때의 실험은 현재의 데이터에 취해지는 이동평균의 가중치가 커짐에 따라 높이제어를 위한 전류신호의 변동이 커지게 되고 따라서 w_2가 큰 값으로 설정되었을 때 높이제어가 불가능해짐을 알 수 있다. 이와 같이 전류신호의 변동이 커지면 불안정한 제어결과를 초래할 수 있으므로 보다 평활된 신호가 필요하게 된다. 따라서 본 실험에서는 w_2의 가중치를 0.1로 설정하였다.

높이제어를 위한 Z축 움직임의 단위보정시간은 w_1의 가중치로 이동평균한 신호를 일정한 구간으로 평균을 취할 때의 구간과 밀접한 관계를 가지는

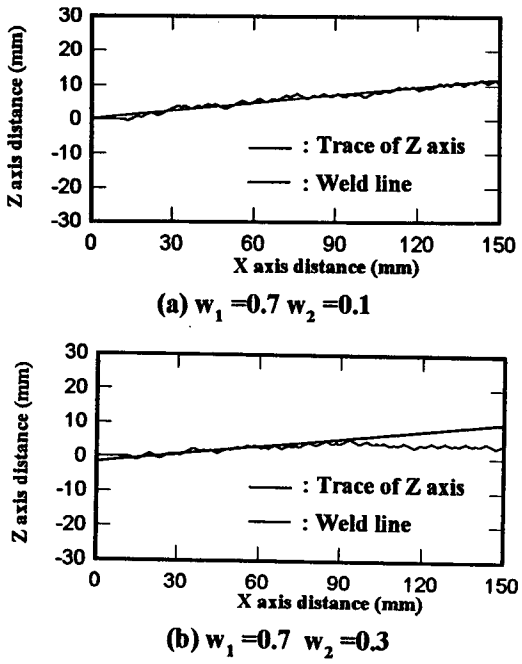

Fig. 4 Results of height control according to weighting factors for 2nd moving average

것으로 본 실험에서는 0.25sec(5개 구간), 0.5sec(10개 구간), 0.75sec(15개 구간)에 대해서 실험을 하였다. 이 때 0.25sec(5개 구간)와 0.5sec(10개 구간)인 경우 우수한 높이제어 결과를 볼 수 있었다.

Fig. 5는 200A 28V의 용접조건에서 Z축의 보정속도를 2mm/sec로 고정하고 단위보정시간을 각각 0.25sec, 0.5sec, 0.75sec로 하였을 때, 즉 Z축 움직임의 단위보정거리가 각각 0.5, 1.0, 1.5mm/action일 때 높이제어를 한 결과이다. 여기서 이동평균의 가중치는 w_1=0.7, w_2=0.1이었으며 시편의 높이차이는 10mm이었다. Z축 단위보정거리가 증가함에 따라 Z축의 움직임이 점점 커짐을 알 수 있었고 1.0과 1.5mm/action일 때 과도한 높이제어 궤적이 나타남을 알 수 있었다. 반복적인 실험결과 0.25sec, 2mm/sec일 때와 0.5sec, 1mm/sec일 때, 즉 Z축 움직임의 단위보정거리가 0.5mm/action에서 양호한 높이제어 결과를 보여주고 있다. 따라서 Z축 움직임의 단위보정거리를 0.5mm/action으로 설정하였다.

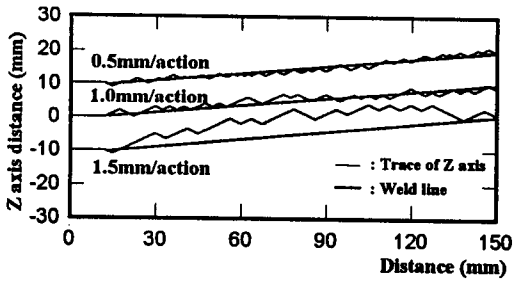

Fig. 5 Results of height control according to Z-axis compensation distance

Fig. 6는 Z축 움직임의 단위 보정시간이 0.5sec일 때 100A 20V, 200A 28V의 용접조건에서 용접선 추적과 높이제어를 동시에 적용한 결과이다. 이 때 시편의 높이차이는 10mm였고, Z축의 속도는 1mm/sec로서 보정거리는 0.5mm/action이었다. Fig. 6(a)는 100A 20V일 때 그리고 Fig. 6(b)는 200A 28V의 조건에서 시편의 높이가 증가될 때의 용접선 추적과 높이제어 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 비교적 양호한 추적 성능과 높이제어 결과를 볼 수 있다.

Fig. 7은 200A, 28V의 용접조건에서 Y축 방향으로 약 10°의 중심선 오차를 가지며 약 10°의 높이

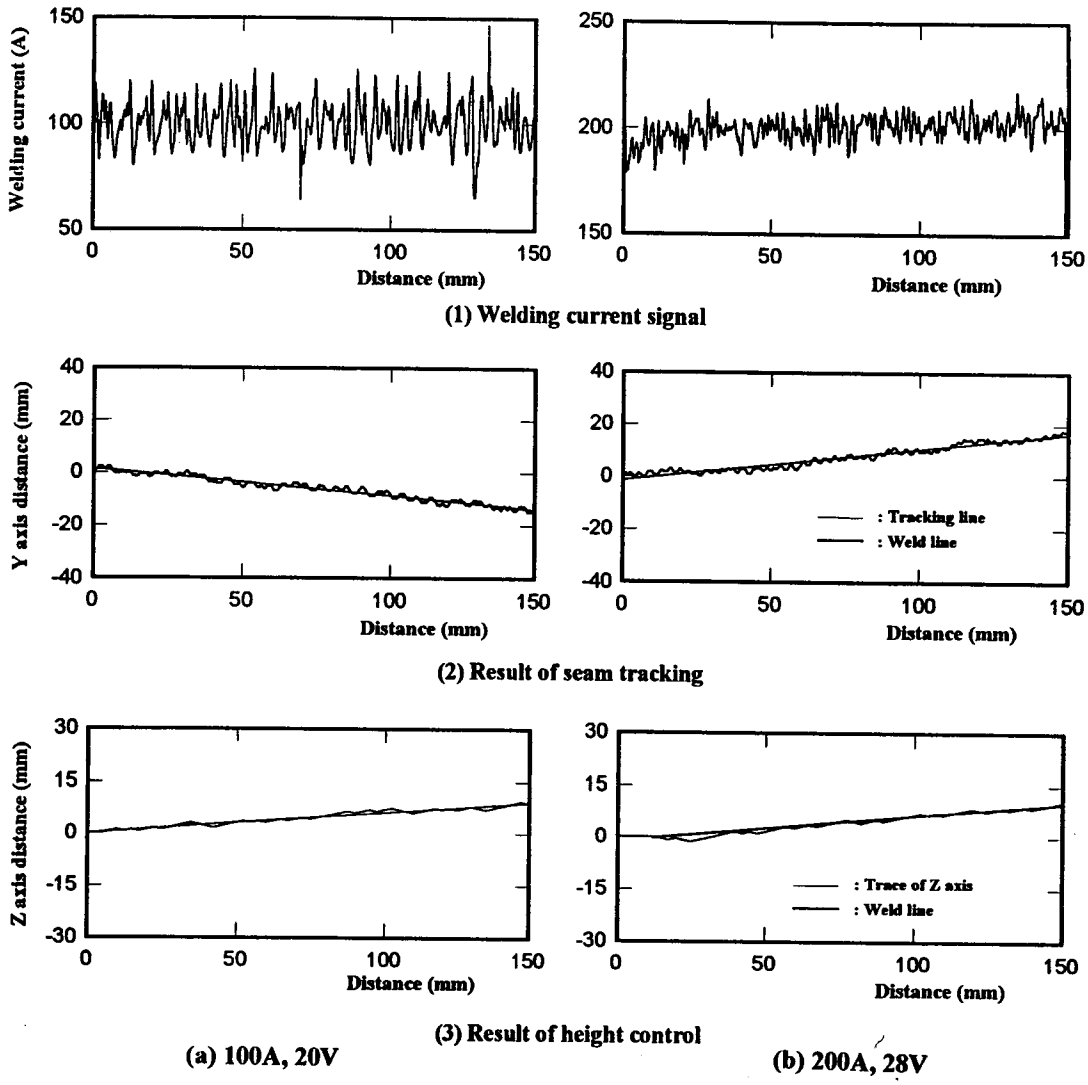

Fig. 6 Results of seam tracking and height control at different welding conditions

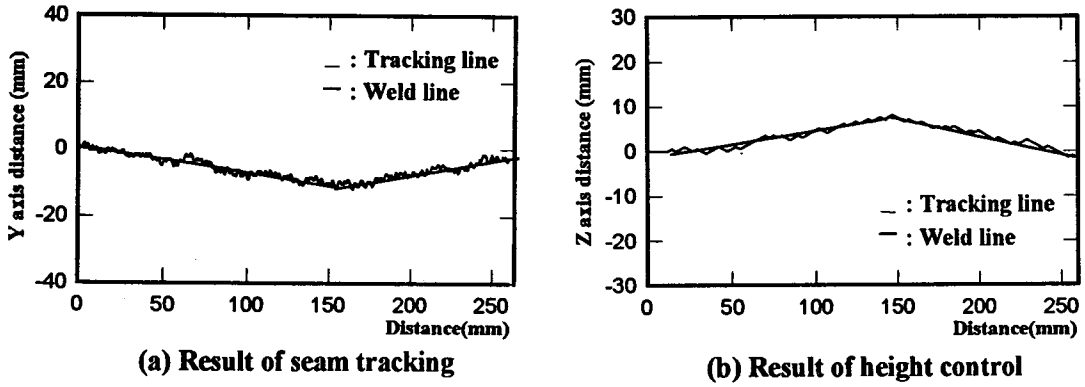

Fig. 7 Result of seam tracking and height control

오차를 가지는 시편에 대해 본 알고리즘을 적용한 결과이다. 이때 Y축 움직임의 단위보정시간은 0.05sec, 보정거리는 0.4mm/action이고 Z축 움직임의 단위보정시간은 0.5sec 보정거리는 0.5mm/action이며 이동평균의 가중치 w_1=0.7, w_2=0.1일 때의 용접선 추적과 높이제어의 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 양호한 추적 성능과 높이제어 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 기준전류치를 이용한 토치높이의 온-오프 제어실험

기준전류치를 이용한 토치 높이의 온-오프 제어에서는 Z축의 단위보정시간을 0.5 sec로 하고 단위보정거리는 0.5mm/action을 적용하여 앞에서 적용한 조건과 동일한 조건으로 실험을 하였다.

Fig. 8은 높이제어를 위한 신호처리에 적용되는 이동평균의 가중치에 따른 높이제어와 용접선 추

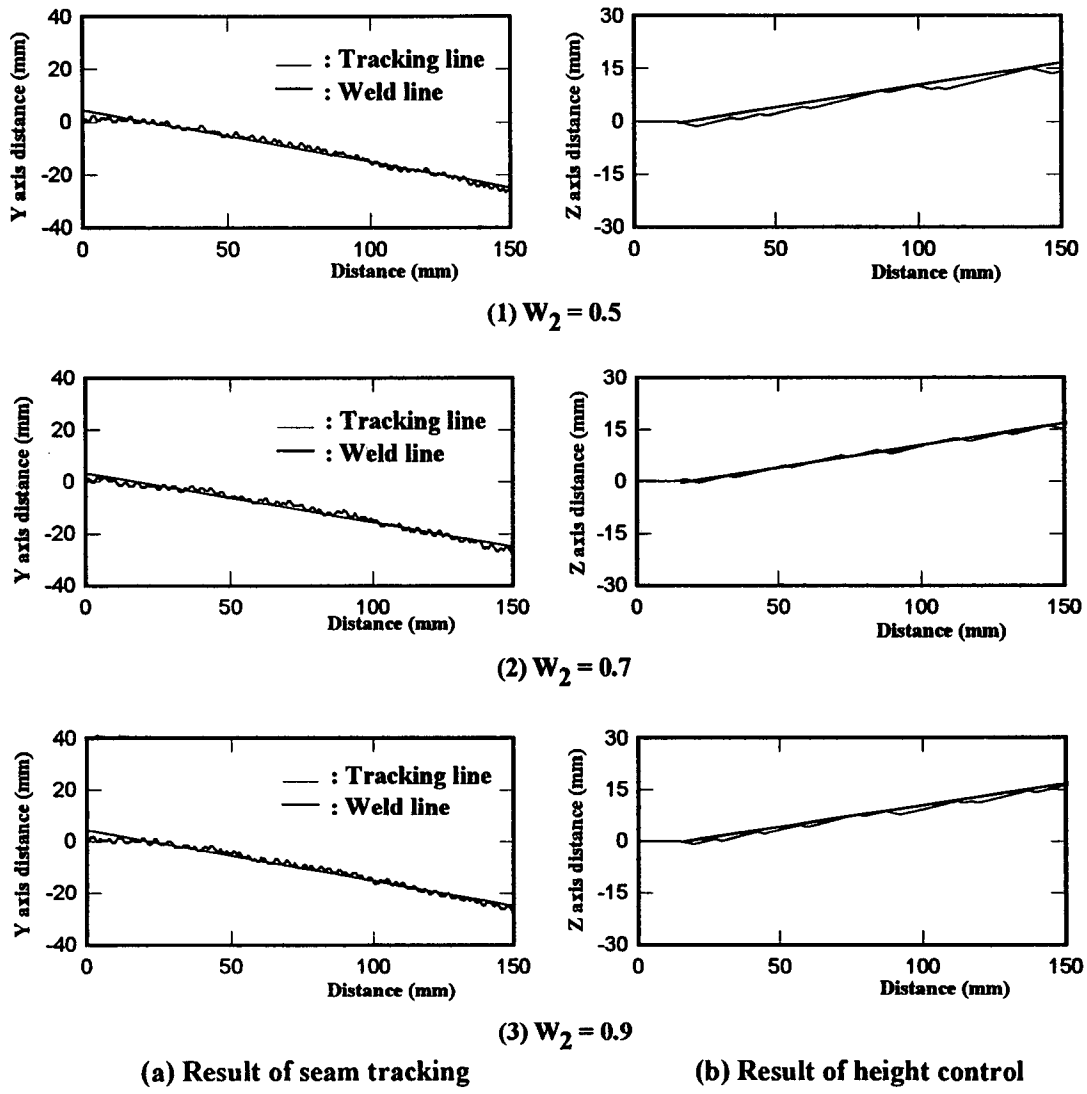

Fig. 8 Results of seam tracking and height control with reference current according to the weighting factors for 2nd moving average

적을 동시에 하였을 때의 결과를 나타내고 있다. Fig. 8(a)는 용접선 추적 결과이며 Fig. 8(b)는 동시에 수행된 높이제어 결과이다. Fig. 8(b)에 나타나 있는 높이 제어 결과를 보면 현재 입력된 데이터에 적용되는 가중치가 작은 경우, 즉 이전의 데이터에 의한 영향이 크게 작용할 때 Z축의 움직임이 과도해짐을 알 수 있다. 이것은 Z축 움직임에 의해서 생성된 전류신호에 의한 영향보다 이전에 생성된 전류신호의 영향이 크게 작용하여 전류신호의 변동은 줄어들었으나 이동평균에 의한 시간지연이 발생하게 되고 이러한 전류신호에 의해서 Z축이 움직이게 되기 때문이다. Fig. 4에 나타낸 단순한 온-오프 제어에서 가중치가 클 때(w_2=0.3) 용접선의 높이방향 추적이 불량해지는 것을 볼 수 있었으나, Fig. 8에 나타난 결과를 보면 가중치가 넓은 값의 범위에서 용접선의 높이방향 추적이 가능한 것을 보이고 있어 본 알고리즘이 보다 강인한 제어효과가 있음을 알 수 있다. Fig. 8에서 이동평균의 가중치(w_2)가 0.7일 때 가장 좋은 높이제어와 용접선 추적결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 9은 좌우방향과 높이방향으로 용접선이 변화하는 시편에서 용접선 추적과 높이제어를 동시에 적용한 결과이다. 이때의 용접조건은 200A, 28V이며 용접선 추적을 위한 신호처리에 적용되는 1차 이동평균의 가중치는 0.7, 높이제어를 위한 신호처리에 적용되는 2차 이동평균의 가중치도 0.7이다. 그리고 용접선추적을 위한 단위보정시간과 단위보정거리는 0.05sec와 0.4mm/action이며 높이제어를 위한 단위보정시간과 단위보정거리는 각각 0.5sec와 0.5mm/action이었다. 그림에서 보는 바와 같이 양호한 높이제어와 용접선 추적 결과를 확인할 수 있었다.

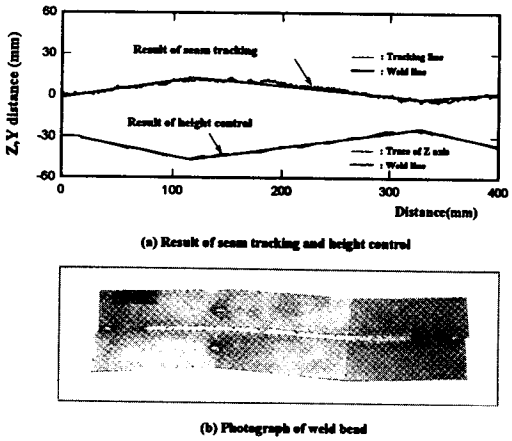

Fig. 9 Result of seam tracking and height control with reference current

5. 결 론

GMA용접공정에서 강제적인 위빙이 없는 아크센서 알고리즘을 개발하여 용접선 추적과 시편의 높이변화에 적응하는 높이제어 시스템을 구축하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 팁-모재간 거리변화에 따른 상대적인 용접전류의 변화를 이용해서 강제적인 위빙없이 용접선을 추적하며, 동시에 같은 원리를 적용하여 시편의 높이변화에 적응할 수 있는 시스템을 구축하므로써 용접선 추적중에 높이제어가 가능함을 확인하였다.

2) 전단계 연구에서 결정된 전류신호처리를 위한 변수로 평균구간 0.05sec, 이동평균의 가중치 0.7을 적용시켰을 때, 높이제어를 위해서는 이보다 더욱 평활시킨 신호가 요구되었으며, 이를 위해 구간평균과 이동평균을 재차 적용하였다. 2차 구간평균의 구간은 0.5sec가 적당한 것으로 나타났다.

3) 토치높이의 온-오프제어를 적용할 경우 다양한 용접조건에 적용이 가능하고 아크불안에 대한 영향을 크게 받지않는 높이제어 결과를 얻을 수 있었으며, 2차 이동평균의 가중치는 0.1이 적정한 것으로 나타났다. 그러나 높이제어를 위한 각 단계마다 기준전류값이 변화하여 높이오차를 가진 시편을 용접할 때 용접 시작점에서의 팁-모재간 거리를 일정하게 유지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

4) 용접 초기의 팁-모재간 거리에 따른 전류값을 기준전류치로 설정하여 토치높이의 온-오프제어 알고리즘을 적용하였을 때 위의 문제를 해결할 수 있었으며, 이 때 2차 이동평균의 가중치는 0.7이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이 방법을 이용하여 높이제어와 용접선 추적을 동시에 적용한 결과 양호한 높이제어와 용접선 추적결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. T. Araya and S. Saikawa : Recent Activities on Sensing and Adaptive Control of Arc Welding, 3rd Int l Conf. on Trends in Welding Research, Gatinburg, USA, (1992), pp. 833-842
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, 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)
4. J.-W. Kim and S.-J. Na : A Study on Arc Sensor Algorithm for Weld Seam Tracking in Gas Metal Arc Welding of Butt Joints, Procd. IMechE, Vol. 205, (1991), pp. 247-255
5. K. Oshima, S. Yamane, M. Yabe, K. Akita, K. Kugai and T. Kubota : Cotrolling of Torch Attitude and Seam Tracking Using Neuro Arc Sensor, Technical Commission on Welding Process-Automation Technology of Arc Welding(Ⅱ), JWS, (1996), pp. 31-36
6. 조시훈, 김재웅 : 퍼지제어를 이용한 용접선 추적용 아크센서에 관한 연구, 대한용접학회지, 제13권, 제1호, (1995), pp. 156-166
7. 안재현, 김재웅 : GMA용접에서 강제적인 위빙이 없는 아크센서 시스템에 관한 연구 (Ⅰ) - 용접선 추적 알고리즘의 구현 -, 대한용접학회지, 제16권, 제3호, (1998)