

펄스 GMA 위빙 용접에서 그루브형상에 따른 아크특성에 관한 연구

최광덕* · 조원익** · 김철희* · 나석주**†

*한국생산기술연구원 용접접합연구부

**KAIST 기계공학과

Influence of the Groove Angle on Arc Characteristics in Pulsed GMA Weaving Welding

Kwang-Deok Choi*, Won-Ik Cho**, Cheolhee Kim* and Suck-Joo Na**†

*Advanced Welding & Joining Technology Research Team, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

**Dept. of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-343, Korea

†Corresponding author : sjna@kaist.ac.kr

(Received April 2, 2009 ; Revised May 26, 2009 ; Accepted July 6, 2009)

Abstract

In this paper, arc characteristics of V groove joints using pulsed GMA welding were found out. The bevel angles of 22.5° and 30.0° were chose to make the V groove configuration with the groove angles of 45° and 60.0°, respectively. In the experiment, the arc current waveform measurement and the high speed photography were taken to investigate the arc characteristics for a single-beveled asymmetric workpiece. Consequently, the welding current was changed abnormally around the edge of groove. As the arc moved close to the groove face, the welding current was increased rapidly because the welding arc was affected by the inclined surface. Also the welding current waveforms were measured for the double-sided symmetric workpiece to verify the previous measurements for the single-beveled workpiece, and similar current waveforms were found.

Key Words : Arc characteristics, V groove joints, Pulsed GMA welding, Bevel angle, Groove angle, Weaving

1. 서 론

용접공정의 자동화에서 용접부의 감지 용접선의 추적, 용접현상의 모니터링을 위해 다양한 센서가 이용되고 있으며¹⁾, 특히 용접선 자동추적을 위해 접촉식 센서 시각센서, 아크센서 등이 많이 이용되고 있다²⁾. 이 중 아크센서는 용접아크의 전압과 전류를 측정하여 동축으로 용접선 추적 및 용접품질 모니터링하기위해 이용되고 있으며 주로 적용하기 용이한 DC GMA(Gas Metal Arc) 용접 전원을 중심으로 다양한 연구가 진행되어 왔다²⁻⁵⁾. 최근의 연구에서 기존의 아크센서에 새로운 알고리즘을 적용한 연구가 진행되고 있는데 안 등은 GMA 용접에서 탐-모재간의 거리변화에 따른 용접전류의 변

화를 이용하여 강제적인 위빙이 없는 아크센서에 관하여 연구하였으며⁴⁾, 김 등은 위빙용접에서 관찰된 용접전류의 변화 패턴을 비교하여 용접선 정보를 얻는 방법으로 용접선을 추적하였다⁵⁾.

펄스 GMA 용접은 1960년 중반에 입상용적이행(globular transfer)의 단점을 버리고 스프레이이행(spray transfer)의 장점을 취하고자 개발되었다 이 방법의 특징은 용접전류가 피크전류(peak current)와 베이스전류(base current)를 가지는 펄스의 형태로 평균전류가 스프레이 이행의 천이 전류 보다 낮은 전류값을 가지는 것이다. 이때, 베이스전류는 아크를 유지 시키고 피크전류는 용적이 이행될 수 있도록 충분한 시간동안 유지된다⁶⁾. 펄스전류를 가할 때마다 하나의 용적이 용접봉으로부터 모재에 이행이 되도록 함으로서 금속이행

(metal transfer)을 제어 한다 DC GMA 용접전원에 비하여 모재에 가해지는 입열량이 적고 주기적인 금속이 행으로 인하여 용접부의 품질을 향상시킬 수 있다. 기존의 정전압방식의 DC GMA용접에서 아크센서를 위해 주로 CW(continuous wave)형태로 측정되는 전류값을 이용하는데 비해 펄스 GMA용접에서는 피크전류, 베이스전류 등이 존재하여 전류파형의 변수가 늘어난다. 또한 펄스 GMA의 전원은 정전류, 정전압, 정전류와 정전압을 혼합으로 사용하는 방식 등이 다양하게 사용되고 있으며, 펄스 파형을 제어하기 위한 방식으로 시너지 제어방식 등이 이용되고 있다 이러한 이유로 아크센서의 적용이 어려워 기존의 연구에서는 특정 용접기를 대상으로 피크전류 또는 펄스주기가 탐모재간의 거리의 변화에 따라 선형적으로 변화함을 이용하여 아크센싱에 적용한 사례가 있으나 다양한 용접부 형태에 따른 연구 사례는 많지 않다⁹⁾.

후판의 맞대기용접에서 완전용입을 달성하기 위해 루트간격(root gap), 그루브각도를 적절히 선정하여 용접을 수행하는데 그루브각도가 작을수록 용착량이 줄어들어 생산성은 올라가지만 용융풀 선행으로 인하여 용입 부족이나 그루브면 융합불량 등 용접불량 발생이 증가한다. 따라서 작업조건에 따라 최적화되어진 다양한 그루브형상이 이용되고 있다 그루브 용접부를 위빙하면서 용접하는 경우에는 아크 형상이 그루브각도에 따라 달라지고 위빙속도 및 그루브각도에 따라서 아크의 자기 제어효과가 달라지므로 용접 신호의 패턴에도 영향을 준다.

따라서 본 연구에서는 펄스 GMA용접에서 용접선추적을 위해 아크센서 특성을 파악하기 위한 기초연구로 V 그루브 용접부에서 그루브각도와 루트간격을 변화시켜가며 위빙용접을 수행하였고 이를 통해 아크의 형상 및 전류파형의 특성을 파악하고자 하였다

2. 실험장치

실험장치는 토치 구동을 위한 2축 이송장치와 인버터 타입의 용접기를 이용하였다. 용접전류의 측정을 위하여 홀센서를 이용하였으며, 데이터 수집은 A/D 컨버터를 이용하여 8kHz로 샘플링하였으며, 1kHz의 저역통과 필터를 사용하였다. 실험에 사용한 시편은 연강을 이용하였다. 고속카메라의 영상은 용접전류와 동기화하였으며 1000frame/s로 획득하였다.

3. 신호 처리

측정된 용접전류는 Fig. 1과 같이 기준값 이상을 피크

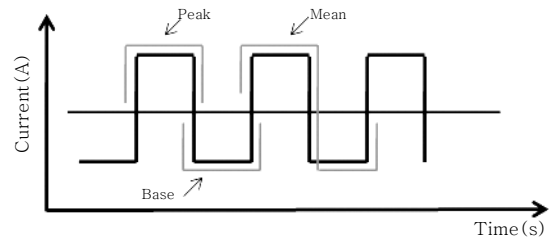
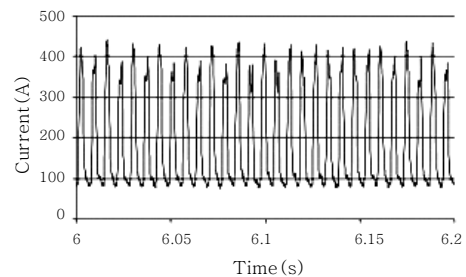
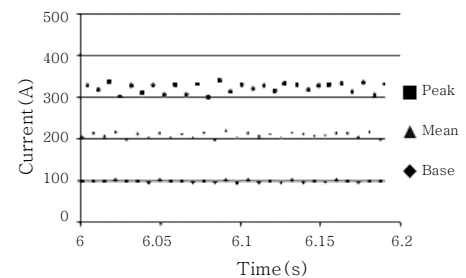


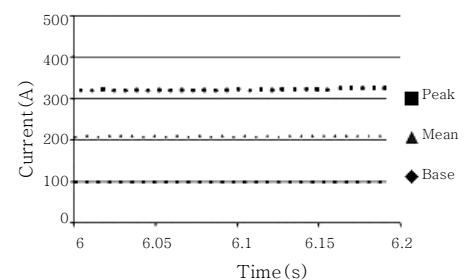
Fig. 1 Typical shape of pulse signal



(a) Measured pulse signal



(b) Separated pulse signal



(c) Moving averaged signal

Fig. 2 Moving-averaged pulse signal

전류, 기준값 이하를 베이스전류로 구분하였다

따라서 Fig. 2(a)와 같이 측정된 전류파형 신호는 Fig. 2(b)와 같이 피크, 평균, 베이스전류로 구분할 수 있다 그러나 구분된 전류 신호들의 각 주기별 변동이 심하므로 이동평균을 이용하여 Fig.2(c)와 같이 안정화하였다. 이때 15개의 데이터에 가중치를 주고 이동평균을 하였으며 계산식은 아래 식(1)과 같다.

$$I_{w_k} = \left[\sum_{i=1}^n w_i \times I_{k-i+1} \right] / \left[\sum_{i=1}^n w_i \right] \quad (1)$$

I_{w_k} : moving averaged welding current

w_i : weight factor

n : number of data

I : welding current

4. 경사면을 가지는 용접부에서 아크특성

4.1 실험방법

실제 용접부에 해당하는 V 그루브 용접부 형상에서의 아크특성을 살펴보기 이전에 Fig. 3과 같이 용접부 형상의 절반에 해당하는 경사면을 가지는 용접부에 대해 Table 1과 같은 용접조건으로 실험을 수행하였다 이러한 형상은 루트간격의 크기가 용접신호에 영향을 주지 않는 형상으로 즉, 루트간격의 크기가 충분히 큰 용접부를 의미한다

4.2 경사면을 가지는 용접부에서의 아크특성

Fig. 4는 팁-모재간의 거리에 따른 피크, 평균, 베이

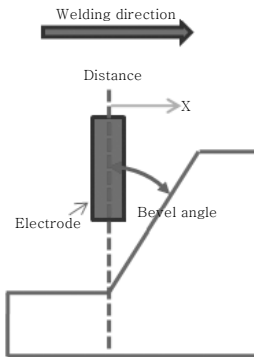


Fig. 3 Configuration of single-sided asymmetric workpiece

Table 1 Welding condition for single-sided symmetric workpiece

Electrode	diameter 1.2mm, YGW15
Shielding gas	100%Ar, 30 ℓ/min
Wire feed rate	6m/min
Travel speed	8mm/s
Peak current	360A
Mean current	240A
Base current	106A

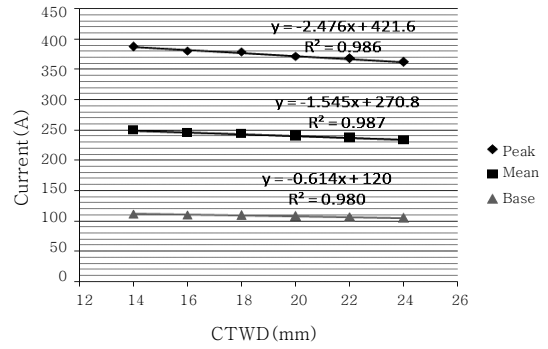


Fig. 4 Sensitivities for pulse parameters

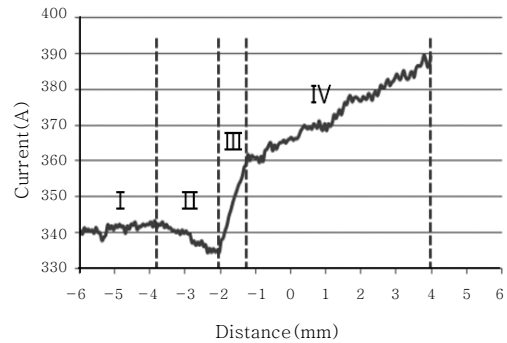


Fig. 5 Peak currents for the bevel angle of 22.5°

스전류값으로 직선의 기울기는 아크센서의 민감도를 나타낸다. 여기에서 피크 전류를 사용한 경우의 민감도가 가장 큰 값을 가지며 아크 특성을 파악하는데 피크 전류를 사용하였다

베벨각도(bevel angle) 22.5°에 대해 용접전극과 모재의 상대 위치에 따라 측정된 피크전류 형상을 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 x 축 좌표는 루트와 그루브면이 만나는 모서리(edge)를 기준점인 0mm가 되도록 정의하였다.

용접이 진행됨에 따라 피크전류는 평평한 루트부에서 일정(구간 I)하다가 용접전극이 모서리에 근접함에 따라 용접전류는 감소하는 경향(구간 II)을 보인 이후 급격히 증가(구간 III)하다가 증가기울기가 감소(구간 IV)하는 현상을 관찰할 수 있다 이와 같은 특이 현상을 면밀히 살펴보기 위해 용접전류 신호 특성에 따라 4구간으로 구분하였으며 각 구간별 아크형상은 고속촬영을 통해 획득하였다. 이송위치와 동기화한 영상촬영을 통해 피크전류와 베이스전류위치에서 영상을 획득하였다

구간 I은 루트부에서 비드용접(bead welding)과 유사하게 용접전류가 일정하게 유지되며 Fig. 6(a)와 같이 아크형상도 베벨의 영향을 거의 받지 않는다 구간 II는 아크가 모서리에 접근함에 따라 Fig. 6(b)와 같이 아크가 모서리를 지향하며 편향되므로 팁-모재간 거리가 멀

Section	I		II		III		IV			
Electrode position	(a) -6mm	(b) -4mm	(c) -2mm	(d) -1mm	(e) 2mm					
Peak										
Base										
Schematic diagram of arc shape										

Fig. 6 Arc shape and schematic diagram for the bevel angle of 22.5°

어지는 효과가 발생하여 용접전류가 감소한다

구간III에서의 용접전극의 이송에 따라 Fig. 6(c), (d)와 같이 용접아크가 모서리에서 그루브면으로 급격히 이동하면서 탑-모재간 거리 또한 급격히 감소하고 이에 따라 용접전류가 급격히 증가한다

마지막 구간IV에서 그루브면을 따라 아크의 위치가 일정하게 이동하면서 탑-모재간의 거리가 연속적으로 감소되는 효과로 인하여 용접전류가 증가한다

베벨각도(bevel angle) 30°에 대해 용접전극의 위치에 따라 측정된 피크전류 형상을 Fig. 7에 나타내었다.

그림에서와 같이 베벨각도 30°에서의 용접전류는 앞선 베벨각도 22.5°의 결과와 비슷한 구간별 특성을 보인다.

Fig. 8은 베벨각도 22.5°와 30°에 대한 10회 실험을 통해 얻어진 각 특이점의 평균 위치이다 베벨각도 22.5°의 경우는 모서리로부터 -2.5mm에서 아크가 이동되며, 베벨각도 30°에서는 -1mm에서 아크가 그루브면

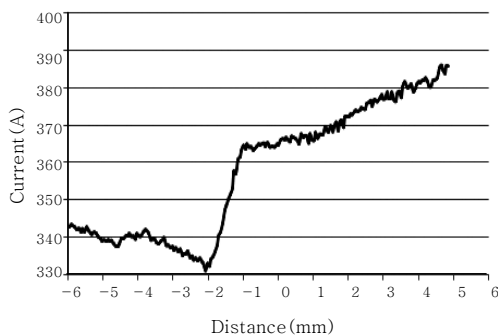


Fig. 7 Peak currents for the bevel angle of 30°

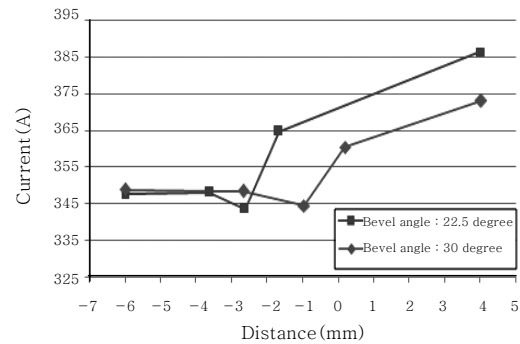


Fig. 8 Characteristic peak current at each point for the bevel angles of 22.5° and 30°

으로 이동된다. II, III 구간의 시작위치가 베벨각도 22.5°에 비해 30°가 모서리에서 더 가까워진다 즉 베벨각도 30°에서 아크가 그루브면으로 이동하는 위치가 모서리에 더 가까운 것을 의미하는데 이것은 용접전극의 끝단과 그루브면까지의 거리가 더 멀기 때문이다

5. V 그루브에서 아크특성

5.1 실험방법

Fig. 9과 같이 루트간격을 가진 V 그루브 형상에 대하여 Table 2와 같은 용접 조건으로 각각 용접을 수행하여 용접전류를 측정하였다

그루브 형상마다 3가지 루트간격(3mm, 5mm, 8mm)에 대하여 실험을 수행하였다 위빙중심과 위빙끝단의 높이 차이를 6mm로 고정시키기 위하여 그루브각도 45°에서는 용접전극의 위치가 각 모서리로부터 2.5mm 떨어진

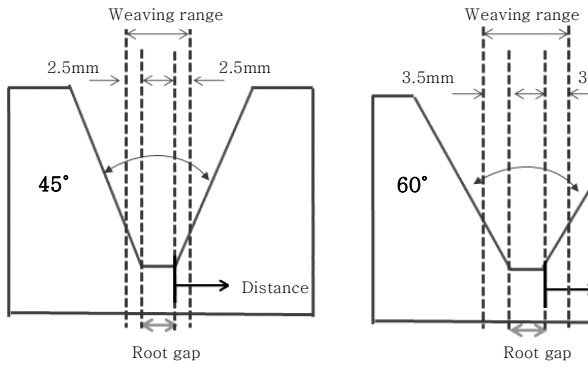


Fig. 9 Configuration of V groove joint

Table 2 Welding condition for V groove

Electrode	diameter 1.2mm, YGW15
Shielding gas	100%Ar, 30 ℓ/min
Wire feed rate	6m/min
Weaving speed	8mm/s
Welding speed	4mm/s
Peak current	360A
Mean current	240A
Base current	106A

위치까지 위빙을 하며 그루브각도 60°에서는 용접전극의 위치가 각 모서리로부터 3.5mm 떨어진 위치까지 위빙을 하였다.

5.2 그루브각도 45°, 60°에서의 아크특성

먼저 그루브각도 45°에서 루트간격을 3mm, 5mm, 8mm로 변화시켜가며 얻은 실험결과를 Fig. 10~Fig. 12 에 각각 나타냈다.

경사면의 가지는 용접부에서의 실험결과인 Fig. 8에서는 용접전극이 이동함에 따라 아크가 그루브면으로 이동되어 용접전류의 급격한 증가를 관찰할 수 있었다 이와 비슷한 경향으로 아크가 그루브면을 따라 내려가는 동안 용접전류의 급격한 감소를 예상할 수 있으나 용접

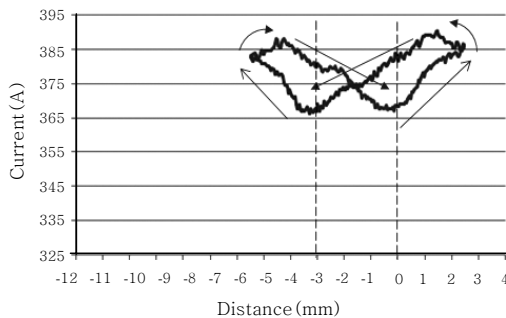


Fig. 10 Peak current waveform for 45° groove angle and 3mm root gap

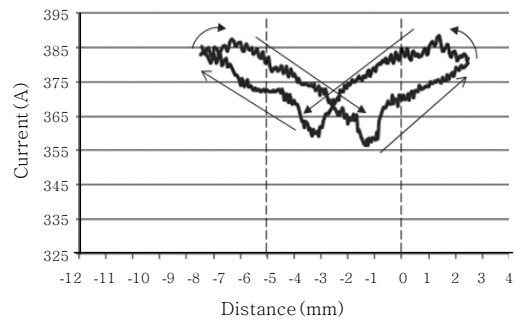


Fig. 11 Peak current waveform for 45° groove angle and 5mm root gap

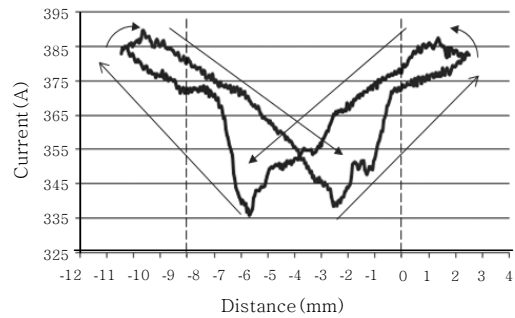


Fig. 12 Peak current waveform for 45° groove angle and 8mm root gap

전류는 완만한 감소를 보인다 이는 용적이 그루브면을 따라 루트로 흘러내려 용융지가 존재하는 부분으로 이동하고 용접이 진행됨에 따라 아크는 용융지가 존재하는 부분으로 이동하기 때문이라 생각된다 이러한 영향으로 아크의 급격한 이동이 생기지 않고 아크가 루트로 이동하는 것으로 판단된다

다음으로 그루브각도 60°에서 루트간격을 3mm, 5mm, 8mm로 변화시켜가며 얻은 실험결과를 Fig. 13~Fig. 15 에 각각 나타냈다.

그림을 통해 아크가 그루브면을 따라 내려가는 동안 용접전류의 급격한 감소는 찾아볼 수 없었고 이는 그루브각도 45°인 경우와 유사한 결과이다. 하지만 Fig. 12

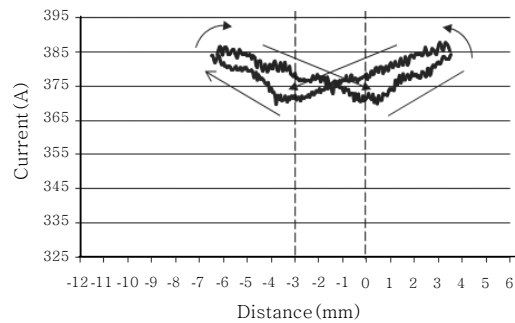


Fig. 13 Peak current waveform for 60° groove angle and 3mm root gap

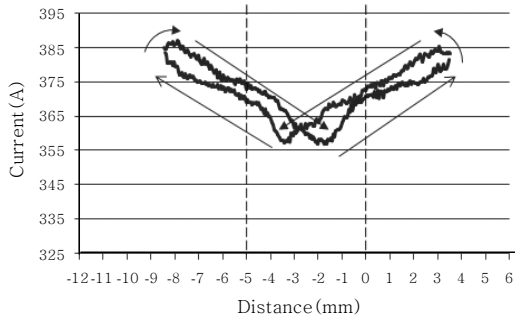


Fig. 14 Peak current waveform for 60° groove angle and 5mm root gap

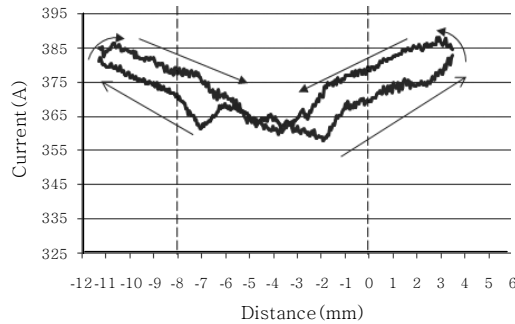


Fig. 15 Peak current waveform for 60° groove angle and 8mm root gap

와 Fig. 15와 같이 루트간격이 충분히 큰 경우에 전류 변화폭의 관점에서 서로 다른 결과를 얻었다 이는 Fig. 8에서 언급한 베벨각도에 따른 특이점의 위치와 연관 지어 설명할 수 있다 즉, 베벨각도 또는 그루브각도가 클수록 특이점의 위치가 모서리에 가까워져 급격했던 아크길이의 변화가 완화되고 따라서 전류의 변화폭 역시 줄어드는 것으로 보여진다

6. 결 론

본 연구의 목적은 V 그루브 용접부에서의 아크특성을 파악하여 이를 이용하여 용접선 추적의 기초자료로 적용할 수 있도록 하는 것이다 다음과 같은 용접부 형상에 의한 아크현상은 아크센서를 이용한 용접선 추적에서 고려되어야 한다

1) 루트에서 그루브면으로 용접이 진행됨에 따라 아크는 V 그루브의 모서리 부분으로 기울어진 형태가 되어 용접전류가 감소한다 이후 용접이 진행됨에 따라

아크는 그루브면으로 이동되어 용접전류가 급격히 증가한다. 그루브면으로 이동된 아크는 그루브면을 따라 이동되며, 용접전류는 완만히 증가한다

2) 그루브면에서 루트로 용접이 진행됨에 따라 아크의 급격한 이동은 관찰되지 않으며, 이에 대한 원인은 용융지의 영향으로 용접전극과 모재와의 거리가 급격히 변화하는 구간이 존재하지 않기 때문이다

3) 아크는 용접전극과 그루브면의 거리가 상대적으로 가까운 작은 그루브각도에서 급격히 이동된다

후 기

본 연구는 BK21 및 지식경제부 산업원천기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H. Nomura : Sensors and Control Systems in Arc Welding, Chapman & Hall, London, 1994, 1-7
2. J.-W.Kim, S.-J.Na : A study on an arc sensor for gas metal arc welding of horizontal fillets, Research Supplement, Welding Journal, No.8, 1991, 216-221
3. J.-W.Kim : A study on the analysis of weld pool convection and seam tracking by considering the arc length characteristics in GMA welding, KAIST, doctoral thesis, 1991
4. J.-H.Ahn, J.-W.Kim : A Study on the Weavingless Arc Sensor System in GMA Welding(1) - Implementation of Weld Seam Tracking Algorithm, Journal of KWJS, 16-3 (1998), 44-54 (in Korean)
5. Yong-jae Kim, Se-hun Rhee, Ki-woan Um : A Study of Seam Tracking by Arc Sensor Using Current Area Difference Method, Journal of KWJS, 6-3 (1998), 44-54 (in Korean)
6. Wu, C S, Chen, M A, Lu, Y F : Effect of current waveforms on metal transfer in pulsed gas metal arc welding, Measurement Science & Technology, 16-12 (2005), 2459-2465
7. J. Norrish : Advanced Welding Processes, Institute of physics Publishing, Bristol, 1992
8. P.K. Palani, N. Murugan : Selection of parameters of pulsed current gas metal arc welding, Journal of Materials Processing Tech., 2006, 1-10
9. Hao SHEN : Seam Position Detection in Pulsed Gas Metal Arc Welding, Uni. of Wollongong, mater's thesis, 2003