

研 究 論 文

大韓熔接學會誌
第9卷第3號 1991年 9月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol.9, No.3, Sep., 1991

GMA용접의 용접신호 모니터링에 관한 연구

신정식* · 김재웅** · 나석주**

A Study on Monitoring of Welding Signals in Gas Metal Arc Welding

J. S. Sin*, J. W. Kim**, S. J. Na**

Key Words : GMAW(가스 메탈 아크 용접), Monitoring(모니터링), Welding Signal(용접신호), Metal Transfer Mode(금속 이행 모드), Short Circuit Mode(단락 모드), Interrupt Circuit(인터럽트 회로)

Abstract

An automatic welding system was constructed with a personal computer to capture the welding data in addition to vision seam tracking for the gas metal arc welding process.

The monitoring of welding signals is composed of the acquisition of welding voltage and current, obtained by using two differential amplifiers and A/D converters, and processing of the measured data. Using interrupt handling circuit for time sharing, two jobs of seam tracking and monitoring were performed at the required sampling time. Relations between welding signals and various welding circumstances were analyzed from the experimental results.

1. 서 론

GMA(Gas Metal Arc)용접 방법은 보호가스 분위기에서 용가재인 전극봉과 용접하려는 모재사이에 인가된 전기적 방전현상을 이용하는 것으로, 여기서 발생된 아크열로 전극봉과 모재를 녹여 금속을 접합하는

용접공정중의 한가지이다.

이때 발생된 아크는 그 특성이 아크전압, 전류의 관계로서 나타나며 일반적인 GTA(Gas Tungsten Arc)용접의 경우 아크전압, 전류의 관계는 음극(cathode) 및 양극(anode)의 재료, 크기, 온도 그리고 보호가스의 종류와 아크길이에 관계된다. GMA

* 정회원, 삼성전자(주)

** 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

용접의 경우는 GTA 용접과는 달리 전극봉에서 용융된 금속이 모재의 용융부에 떨어지는 과정이 있으므로 이 영향이 아크전압 및 전류에 큰 영향을 미친다¹⁾.

GMA 용접에서 용융금속의 이행법은 크게 단락모드(short circuit mode), 글로블라 이행 모드(globular transfer mode), 스프레이 이행 모드(spray transfer mode), 펄스드 아크 모드(pulsed arc mode)로 나뉘며 이들 각각의 모드는 용접전압 및 전류의 신호로써 구별이 가능하다²⁾. 전류, 전압의 신호는 용접공정중 용접환경의 변화에 관계하여 변할 것으로 예측되는데 이는 용접환경의 변화가 용융금속의 이행 및 보호가스 분위기 대하여 직접 또는 간접적으로 영향을 미칠 것이라는 데서 비롯된다. 실제로 전류신호는 용융금속의 이행과 관계가 깊어, 전류의 파형을 변화시킴으로써 용접공정을 제어하거나^{3,4)}, 스파터(splatter)를 줄이는 방법⁵⁾이 연구되었다. 용접공정중 갑작스런 용접 환경의 변화나 비정상적인 거동이 결국은 전류, 전압의 신호로서 나타날 것이므로 그 상황의 발생이 인식될 수 있다. 따라서 용접후 검사를 위한 용접신호의 모니터링에 관한 연구도 진행되었다⁶⁾. 이외에도 용접전원장치의 출력특성에 대한 용접전류 전압신호의 분석⁷⁾과 와이어 공급속도의 모니터링에 의한 송급계통의 상태파악에 관한 연구⁸⁾도 진행되었다. 이러한 모니터링 작업은 용접부의 작은 결함이 구조물 전체의 안전에 큰 영향을 미친다는 관점에서 매우 중요하며, 발생의 인식과 더불어 그 원인의 파악도 중요한 과제이다.

근래에 용접작업환경의 열악함과 균일한 품질유지의 해결을 위하여 용접 자동화 장치에 대한 관심이 높아지고 있다. 이중 용접선 추적장치는 용접자동화의 기본적인 장치로 여겨지고 있으며 여기에 공정중의 용접환경 변화를 측정하여 이상거동을 찾아낼 수 있다면 용접구조물의 안전성 및 경제적인 측면에서 보다 효과적인 자동화 장치를 구성할 수 있다. 이를 위해서는 기계가 용접공정의 수행과 동시에 용접환경에 대한 정보를 얻어야 하는데, 일반적으로 용접은 그 속도가 비교적 느린 공정이므로 하나의 컴퓨터에서 두가지 작업을 동시에 수행할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 박판의 용접선 추적에 사용되는 시각 추적시스템에 용접신호 모니터링 기능을 부가하여 효과적인 용접 자동화 장치를 구성하였으며 이의 실효성을 검토하였다. 용접선 추적과 용접신호 모니터링의 두가지 기능을 공정중 모두 수행하기 위하여 적절한 시간분할을 하는 인터럽

트(interrupt) 회로를 제작하였으며 용접신호 모니터링을 위해 용접공정중의 전류, 전압을 측정하는 회로를 구성하였다. 본 글에서는 이러한 시스템구성의 설명과 용접변수 및 용접환경과 용접신호간의 관계에 대한 실험적인 분석을 서술하였다.

2. 용접신호 모니터링과 장치 구성

2.1. 용접신호 모니터링과 단락모드 금속이행

용접신호는 전극봉과 모재 사이에서 발생한 아크내를 흐르는 전류와 아크내에서 발생한 전압강하, 즉 용접전류와 아크전압을 말한다. GMA용접에서 용접신호는 용융금속의 이행모드에 의한 직접적인 영향을 받으며, 용융금속의 이행모드는 용접전류, 음극과 양극의 재질 및 크기, 보호가스의 종류, 와이어 돌출길이 등 주요 용접변수들의 합성적인 영향의 결과로 나타난다. 따라서 용접신호와 주요 용접변수들과의 관계를 자세히 알 수 있다면 용접신호로부터 용접공정중의 용접변수 및 환경의 변화로 인한 용접품질의 변화를 예측할 수 있을 것이며 이런 기능을 용접 자동화 시스템에 직접 적용할 경우 공정중 용접품질의 영향을 크게 변화시키는 환경에 대하여 작업자에게 경고신호를 보낼 수 있는 역할이 가능하고 또한 용접후 용접신호, 용접환경, 용접품질의 관계로 부터 용접품질의 검사도 가능할 수 있을 것이다.

박판의 겹치기 이음 용접에서는 용접 열입력이 작아야 하므로 대부분 낮은 용접전류, 전압 범위에서 용접을 시공하며 이때 용융금속의 이행모드는 단락모드가 된다. 용접의 금속이행 방법중 단락모드는 전극봉으로부터 용융된 금속이 모재의 용융부와 전극봉사이에서 주기적으로 단락되어 용융금속이 이동하는 이행법이며 용접중 전극봉과 모재가 단락됐을 때 아크가 소멸되고 이때부터 전류는 크게 증가(전압은 감소)한다. 단락후 전류가 최대가 되면 전극봉과 모재는 다시 떨어져 아크가 발생하고 전류는 감소(전압은 증가)한다⁹⁾. 단락모드를 더 자세히 살펴보면 다음과 같은 현상이 반복되는 것을 볼 수 있다(Fig. 1).

1) 아크 발생중 용융된 전극봉의 끝이 모재의 용융부에 닿게된다. 즉 단락되어 아크가 소멸된다.

2) 단락이 되면 전류는 급상승하고 순수 아크에 의한 전압은 0 이된다.

3) 상승된 전류는 줄 법칙(Joule's law)에 따라 열

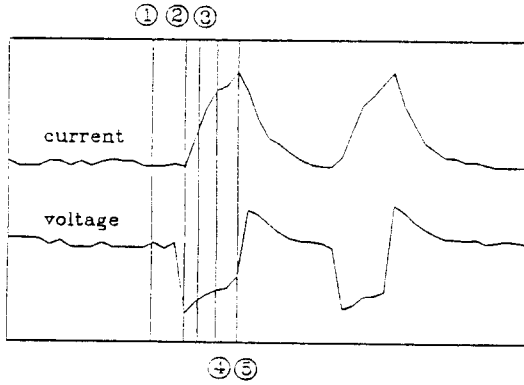


Fig. 1 Waveform of short circuit mode

을 발생시켜 전극봉을 계속 녹인다. 이때 전자기력에 의한 전단력 (pinch force)도 증가한다.

4) 용융금속이 모재의 용융지로 이동하며 전단력의 영향으로 전극봉의 끝부분에서 목(neck)이 형성된다.

5) 결국 목 부분이 파단되어 용적(droplet)이 전달된다. 이때 아크가 다시 발생되며 전압은 상승, 전류는 감소하게 된다.

이러한 단락의 진동수는 용접전원장치와 보호가스에 따라 다르지만 대략 10-150Hz를 가진다.

2.2. 모니터링을 위한 장치 구성

용접중 용접 와이어와 모재사이에 발생한 순수아크에 대한 전압(캐소드 스팟과 애노드 사이의 전압)을 측정하기는 일반적으로 매우 어렵다¹⁾. 따라서 용접전

압과 전류를 측정하기 위하여 2개의 차동앰프를 용접기의 출력단자와 션트저항(shunt resistor)에 각각 연결하고 앰프의 출력을 A/D 변환하여 컴퓨터로부터 그 값을 읽는다(이렇게 할 경우 용접전압은 순수 아크전압뿐만 아니라 전극봉 전체에 걸친 전압강하도 포함한다). 단락모드에서 용접조건으로 전압이 18(V), 와이어 송급속도가 160(ipm)이고 아르곤가스를 보호가스로 사용할 때 전류신호의 진동수는 약 60-120Hz이다. 이 진동수를 고려한다면 전류, 전압의 신호를 측정키 위한 샘플링 시간(sampling time)이 매우 짧을 필요가 없으므로²⁾ 컴퓨터의 메모리 크기에 적절한 1.25kHz로 하였다. 용접선 추적을 수행하면서 용접신호를 측정해야 하므로 각각에 필요한 시간들을 고려한 시간분할이 요구된다. 용접선 추적을 위해 수행되는 프로그램은 본 연구와 병행하여 개발한 방법을 적용할 경우 0.3초 안에 한주기의 작업을 마칠 수 있으며¹⁰⁾ 모니터링을 위한 시간은 단락모드 전류신호의 가장 긴 주기가 0.0167초(60Hz)라고 생각하여 약 6-7번의 주기에 해당하는 전류신호를 받아들일 수 있는 0.1초로 하였다. 따라서 프로그램 전체의 샘플링 시간은 0.4초가 되며 이중 0.3초는 추적을 위해 사용되며 0.1초는 모니터링을 위해 사용된다. 이러한 작업의 보다 정확한 수행을 위해 타이머 칩(timer chip)을 이용한 하드웨어 인터럽트(hardware interrupt)회로를 구성하였다. 회로에서 추적과 모니터링을 위한 두 프로그램은 컴퓨터의 외부에서 주어지는 각각의 인터럽트 신호에 의해 구동되는데 추적 프로그램은 IBM-PC AT의 IRQ3단자, 모니터링 프로그램은 IRQ4단자에 할당하였다(Fig. 2). 즉, 추적을 위한 샘플링 시간의 조건이 만족되면 IRQ3단자에 입력되는 신호가 low에서 high로 바뀌며 이 신호의 상승단(rising edge)에서 인터럽트가 발생된다. 인터럽트가 발생하면 추적 프로그램이

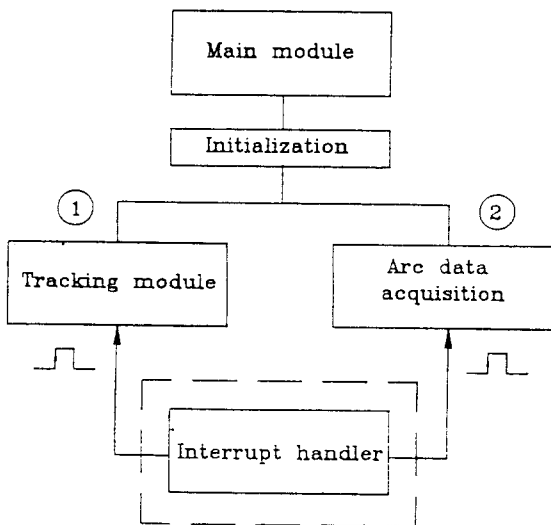
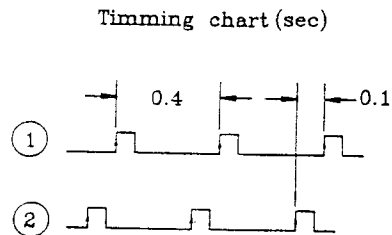


Fig. 2 Structure of total program



수행되며 이 프로그램의 수행 초기에서 IRQ3단자의 신호를 high에서 low로 바꾸어 놓는다. IRQ4단자에서는 IRQ3단자의 인터럽트 신호후 0.3초 경과한 후에 인터럽트가 발생되며 이 신호에 의해서 모니터링 프로그램이 수행된다. IRQ4단자 역시 프로그램 수행 초기에 다음 인터럽트 신호를 위한 초기화(reset)를 한다. 이들 인터럽트 신호는 프로그램의 수행중에는 어떠한 인터럽트의 요구에도 응하지 않도록 마스킹(masking)처리 하였다.

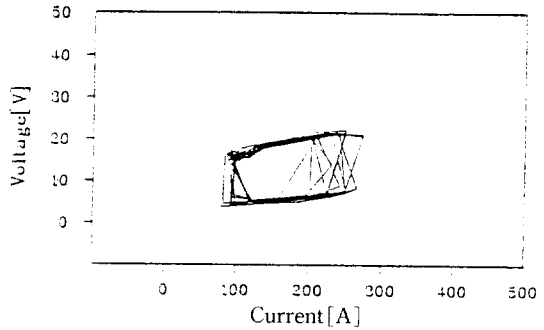
3. 실험 및 용접신호 분석

실험의 내용은 용접공정중의 상황인식을 위하여 공정의 정상적인 용접조건에서의 상태와 비정상적인 조건에서의 상태를 비교 분석하는 것이다. 이를 위하여 정상상태의 조건을 아래와 같이 정하고 비정상적인 조건을 가정하기 위하여 팁-모재간 거리, 보호가스 등의 변화와 불순물의 영향을 고려 하였다.

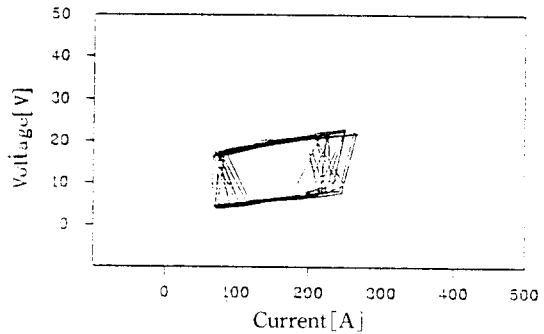
- 용접전압 : 18(V)
- 와이어 공급속도 : 160(ipm)
- 용접속도 : 7(mm/s)
- 팁-모재간 거리 : 15(mm)
- 보호가스 : Ar(99%)
Ar(80%) + CO₂(20%)
- 와이어 직경 : 1.2(mm)
- 이음법 : 겹치기이음
- 모재 : mild steel(2t)

(1) 정상적인 용접조건 : 약 60-120Hz의 진동수로 단락을 이루므로 전류-전압의 그래프는 Fig. 3과 같이 루프를 그리며 이때 매주기에서의 전류, 전압 신호 각각의 파형에 대한 피크(peak)값에 약간의 차이가 있으므로 루프내의 단락이 이루어질 때와 아크가 발생될 때는 서로 다른 궤적을 나타내고 있다. 아크가 발생된 후에는 용접전원이 일정한 전압을 이루려 하는 정전압 특성 때문에 비교적 일정한 궤적을 나타낸다. 혼합가스의 경우와 아르곤 가스의 경우를 비교해 보면 혼합가스의 경우가 보다 안정한 경향을 나타내며 그 진동수도 다소 높는데, 이는 순수 아르곤 가스를 보호가스로 사용할 때 나타나는 심한 캐소드 스폿(spot)의 움직임을 CO₂를 첨가함으로써 줄인데 기인한 것으로 사료된다". Fig. 4는 정상적인 용접조건에서 수행된 용접부의 모양이다.

(2) 팁-모재간의 거리 변화 : Fig. 5는 팁-모재간

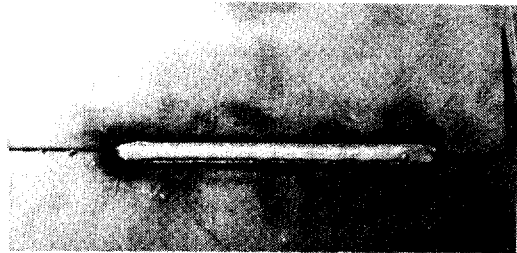


(a) In the case of argon gas for shielding

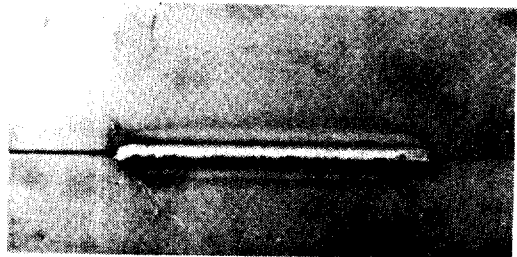


(b) In the case of mixed gas for shielding

Fig. 3 Locus of welding signals (normal operating mode)



(a) In the case of argon gas for shielding

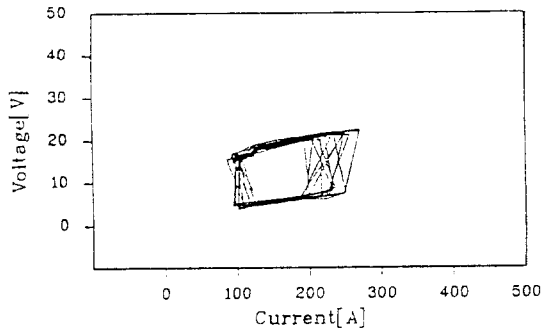


(b) In the case of mixed gas for shielding

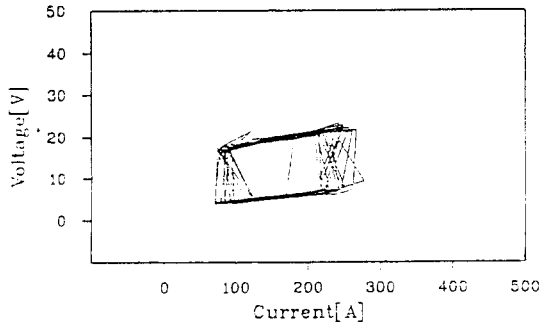
Fig. 4 Shape of welded part (normal operating mode)

의 거리가 10mm인 경우인데 정상 상태 (15mm)의 경우보다 전체적으로 전류가 약 5-10A정도 상승되었음이 나타났고 Fig. 6은 그 거리가 20mm로 정상일 때보다 5-10A정도 줄어 들었음이 나타났다. 이 현상은 아크센서의 원리로 이용되는 것으로 팁-모재간 거리와 용접전류는 역비례의 관계가 있다¹¹⁾.

(3) 보호 가스의 영향: 일반적으로 단락 모드에서의 보호가스의 영향은 매우 적다고 알려져 있다⁶⁾. 그러나 보호가스가 전혀 없는 경우(대기중)라면 그 영향은 매우 크다. Fig. 7은 이 경우를 나타내는데 보호가스가 공기(O₂, N₂)라고 생각할 때, 공기와 아르곤의 이온화 경향을 비교해 보면, 이온화 첫 단계에서는 공기가 아르곤보다 이온화 에너지가 작아 이온화가 더 쉽지만 이온화가 진행될수록 공기의 이온화 에너지가 아르곤보다 커져 이온화가 더 어려워 진다¹¹⁾. 이것은 동일한 온도, 압력하에서 완전히 이온화됐다고 가정하면 공기가 보호가스인 경우 아르곤의 이온화된 전자가 적어 전기적 전도성이 아르곤의 경우보다 나쁘다는 것을 나타낸다. 일반적으로 이온화 에너지가 높을수록 아크전

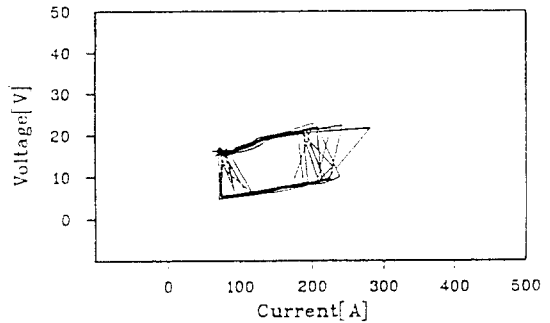


(a) In the case of argon gas for shielding

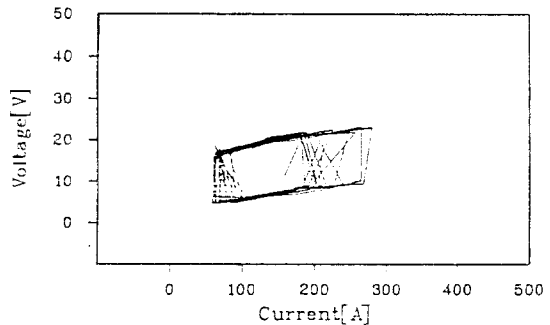


(b) In the case of mixed gas for shielding

Fig. 5 Locus of welding signals (tip-to-workpiece distance=10mm)



(a) In the case of argon gas for shielding

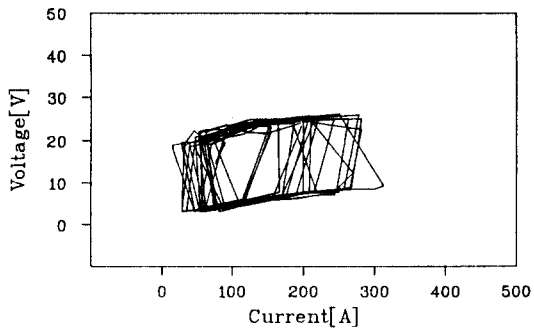


(b) In the case of mixed gas for shielding

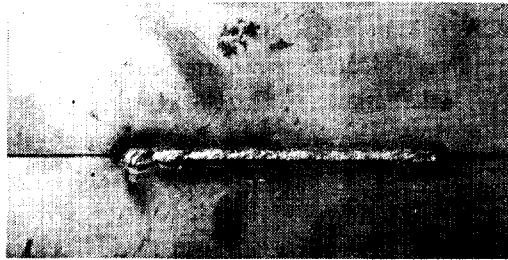
Fig. 6 Locus of welding signals (tip-to-workpiece distance=20mm)

압이 높다는 것을 생각하면¹¹⁾, 공기에 대한 아크 특성 곡선은 아르곤에서의 특성 곡선보다 전압이 큰 방향으로 상승할 것을 유추할 수 있다. 따라서 공기에서의 아크전압은 아르곤의 경우보다 높고 전류는 낮게된다. 보호가스를 사용하지 않았을 때의 실험결과인 Fig. 7의 용접신호로부터 아크가 발생된 상태에서의 용접전압이 크게 나타난 것을 볼 수 있으며, 또한 아크 발생 및 소멸시의 전류값이 많이 분산되어 있어 단락이행이 불균일 했음을 알 수 있다. 불균일한 단락이행과 더불어 용융부와 공기의 접촉에 의한 영향으로 용접비드는 요철이 심한 상태의 균일하지 않은 형상을 나타내고 있다.

(4) 바람의 영향: 용접이 실외에서 이루어 질 때를 가정한 것으로 바람이 용접신호에 미치는 영향을 실험하였다. 바람은 용접위치의 전방 1(m) 거리에서 일반 선풍기에 의해 발생되었으며 풍량은 중간세기로 하였다. 보호가스로 아르곤을 이용했을 경우의 실험결과 용접신호는 심한 변화를 나타내었는데 이러한 경우 용접신호는 보호가스가 없는 상태와 비슷하게 나타났으

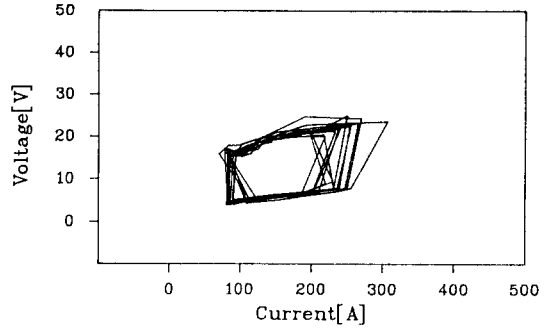


(a) Locus of welding signals

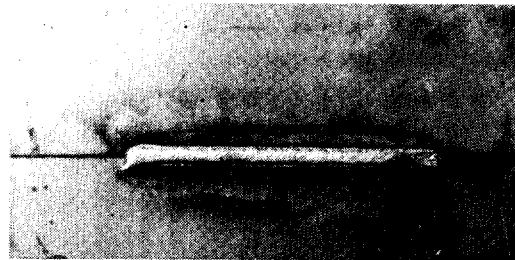


(b) Shape of welded part

Fig. 7 Welding without shielding gas

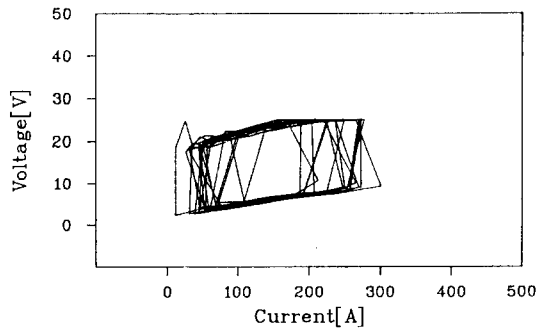


(a) Locus of welding signals

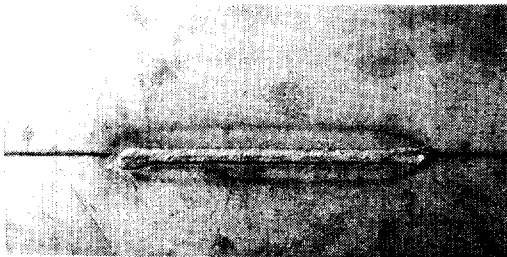


(b) Shape of welded part

Fig. 9 The effect of impurity (water)

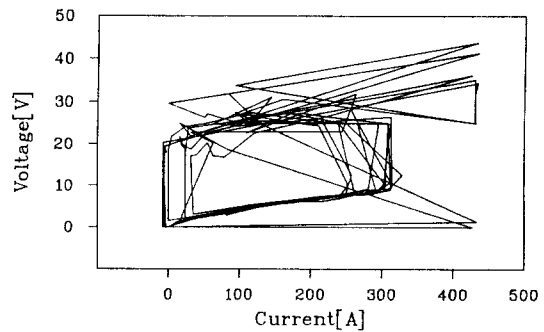


(a) Locus of welding signals



(b) Shape of welded part

Fig. 8 The effect of wind



(a) Locus of welding signals



(b) Shape of welded part

Fig. 10 The effect of impurity (grease)

며 (Fig. 8) 실제 용접부 역시 보호가스가 없는 경우와 비슷한 양상을 보였다.

(5) 불순물의 영향 : Fig. 9와 10은 아르곤 가스를 보호가스로 용접할 때 불순물이 용접부에 있는 것을 가정하기 위해 물과 윤활유를 용접시편에 바르고 용접을 수행한 결과이다. 물을 시편에 바르고 용접한 경우의 용접신호는 정상조건인 용접신호와 크게 다르지 않았는데 이는 아크 열에 의해 용접부의 물이 증발되었기 때문에 용접신호에 영향을 미치지 않은 것으로 생각되며, 윤활유의 경우는 용접신호의 상태가 정상조건인 경우와 매우 달랐으며 이는 탄화수소 화합물의 연소에 의한 각종 가스의 발생이 아크에 영향을 주어 나타나는 현상으로 사료된다. 실제 용접부 모양에서도 물이 덮힌 시편의 경우는 정상상태에서와 거의 비슷하나 윤활유가 덮힌 시편의 경우는 불규칙한 용접비드 현상이 발생하여 용접신호의 차이를 잘 나타내 주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서 구성한 시스템을 이용하여 용접선 추적과 용접신호 측정의 기능을 용접공정중 모두 수행할 수 있었으며, 모니터링을 통하여 용접조건 및 환경의 변화가 용접신호의 변화로 나타나는 것을 확인했다.

따라서 용접신호 모니터링은 공정중의 상태 파악이나, 용접 완료후 용접조건 및 환경의 이상 유무를 감지하는데 유용하게 적용될 수 있는 것으로 사료되며, 앞으로 용접신호의 정상조건에 대한 이상상태의 정량적 척도가 개발된다면 더욱 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 시스템을 이용하면 용접전원 장치의 성능평가도 가능하기 때문에 새로운 용접전원의 개발에도 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 1) J. F. Lancaster : The Physics of Welding, Pergamon Press, Oxford, (1984)
- 2) G. Adam, et al. : Sensing of GMAW droplet transfer modes using an ER100S-1 electrode, *Welding Journal*, Vol.69, NO. 3, (1990), pp. 103s-108s
- 3) T.Ogasawara, et al. : A power source for gas shield arc welding with new current waveforms, *Welding Journal*, Vol.66,NO.3, (1987), pp.57-63
- 4) W. G. Essers. et al. : Arc control with pulsed GMA welding, *Welding Journal*, Vol. 63, NO. 6, (1984), pp. 26-32
- 5) T. Mita : Reducing spatter in CO₂ gas shield arc welding - waveform control, *Welding International*, No. 3, (1989), pp. 227-232
- 6) G. E. Cook, et al. : Analyzing arc welding signals with a microcomputer, *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 27, NO.7, (1982), pp. 1282-1288
- 7) J. L. Pan, et al. : Adaptive control GMA welding-A new technique for quality Control, *Welding Journal*, Vol. 68, NO. 3, (1989), pp. 73-76
- 8) T. Yamada, et al. : Fluctuation of the wire feed rate in gas metal Arc welding, *Welding Journal*, Vol. 66, NO. 10, (1987), pp. 35-42
- 9) S. Liu, et al. : Metal transfer in gas metal arc welding-droplet rate, *Welding Journal*, Vol. 68, NO. 2, (1989), pp. 52s-58s
- 10) 신정식 : 겹치기 이음에서의 용접선 추적과 아크 데이터 모니터링 시스템에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, (1991)
- 11) 허장욱 외 : 혼합가스 GMA용접에서 아크신호를 이용한 용접선 추적에 관한 연구, *대한용접학회지*, 제8권, 제1호, (1990), pp. 23-30