

광소자를 이용한 TIG 용접 가공의 모니터링 TIG Welding Process Monitoring using Photo Diode

장 욱 진*, 김 재 도**

* : 인하대학교 기계공학과 대학원

** : 인하대학교 기계공학과

ABSTRACT

The ARC light has been measured using photo-detect system under different TIG welding condition. Light detect system consists of photo diode, ND Filter, OP Amp. A/D convertor and PC. The purpose of this experiment is to show the relationship between ARC light and process variables such as welding current, torch travel speed, etc. The results can be applied to estimate the condition of welding process and the quality of welding products.

The signal of ARC light has periodic patterns in good TIG welding condition whereas in abnormal condition the signal has different pattern. Amount of Ar shielding gas and distance from electrode to specimen affect the signal pattern significantly.

I. 서론

TIG(tungsten inert gas) 용접은 불활성 가스 아크 용접의 한 방법으로써 아르곤(Ar)이나 헬륨(He) 등의 불활성 가스 분위기 속에서 텅스텐 전극봉과 모재 사이에 아크를 발생시켜 용접하는 방법이다. TIG 용접은 알루미늄 합금, 스테인레스강을 비롯하여 거의 대부분의 금속을 접합할 수 있어 정밀 분야의 부품 제조에 많이 사용되고 있다.

현재까지 용접의 가공변수 조정은 숙련된 작업자의 경험 및 직관 그리고 용융비드를 육안으로 관찰하는 방법 등으로 이루어지고 있다. 그러나 용접제품에 대한 용접 품질의 판단은 실시간(real time)측정이 어려워 품질제어에 이용되지는 않고 있다. 즉 여러 가공조건으로 실험을 수행한 후 시험편의 기계적 성질 분석 등을 통해 최적의 가공 조건을 찾아내고 이를 로봇을 이용한 자동화나 수작업의 가공 데이터로 사용하고 있다.

산업이 다양화 되고 다품종 소량 생산 시스템의 적용이 더욱 중요시 되면서 최적의 용접 가공변수를 실시간으로 찾는 방법과 용접제품의 품질 판단을 작업 현장에서 수행하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한

노력 중의 하나가 용접 중 발생하는 아크 빛의 변화를 모니터링 하여 용접 공정제어의 입력신호로 활용하는 것이다.

본 연구는 광소자(photo diode)를 이용하여 TIG 용접 중 발생하는 아크 빛의 양을 여러 가공 변수들의 조건 하에서 측정하는 것이다. 즉 아크 빛의 양과 가공 변수와의 상관관계를 규명하여 이를 용접가공 상태의 판단 및 용접 제품의 품질판단에 응용하는 것이 본 연구의 목적이다.

II. 실험장치

1. TIG 용접기

TIG 용접은 그림 1과 같이 모재와 텅스텐 전극 사이에 용접 전원과 아크를 쉽게 발생시키기 위한 고주파 발생장치가 접속되어 있고 모재 표면과 텅스텐 전극 선단과의 사이에서 아크가 발생한다. 텅스텐 전극 주변에는 가스 노즐을 통하여 불활성 가스가 분출되어 텅스텐 전극과 아크 및 용융지 등을 완전히 대기로부터 보호한다. 용가제는 아크 측면에서 수동 혹은 자동으로 일정 속도를 유지하면서 공급하도록 한다. 그러나 박판의 용

접은 용가제를 첨가하지 않고 아크 열로 모재 자체를 녹여서 용접하는 경우도 있다.

TIG 용접에서는 교류(AC)와 직류(DC)전원 두 가지를 용접 전원으로 사용하고 있다. 사용전원의 선택 기준은 모재와 용가제의 재질에 따라 정해진다. 또한 직류 전원은 정극성(DC Straight Polarity)과 역극성(DC Reverse Polarity)으로 구분되며 극성에 따라 용접 성질이 달라진다.

TIG 용접 방법에는 수동식(manual), 반 자동식(semi-automatic), 자동식(automatic) 등이 있다. 실험에 사용된 TIG 용접기는 수동식 TIG 용접기로서 Sanrex Corp. 사의 제품이며 세부적 제원은 다음 표에 나타나 있다.

Table 1 Specification of TIG Welding Machine.

정격입력전압		220 V
입력 전압 변동 허용범위		180 - 220 V
전원 주파수		50/60 Hz
정격 입력		9.4 KW
용접 전류 범위	TIG	4-300 A
	손용접	4-250 A
초기 전류		4-300 A
정격 용접	TIG	20 V
전압 범위	손용접	30 V
정격 사용률		40 %
제어 방식	트랜지스터에 의한 인버터 방식	
냉각 방식	강제 풍냉	
고주파 발생 장치	화학 발진식 직렬 중량형	
규격	285×486×516 [mm]	
중량	34 Kg	

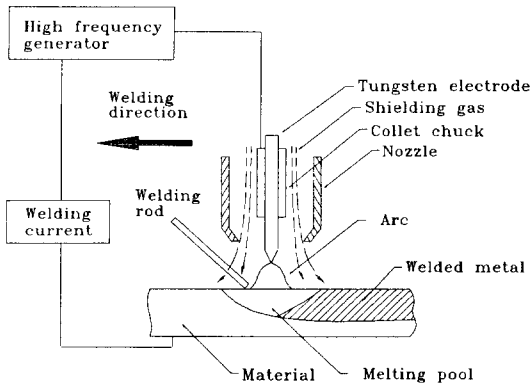


Fig. 1 Example of TIG Welding.

2. 로봇 아암

TIG 용접기의 전극봉과 시편 사이의 거리를 일정하게 유지하면서 토치를 정해진 속도로 이송시키기 위해서 ABB 사의 로봇 아암을 사용하였다. 이송 속도와 거리의 조정은 로봇의 제어를 통하여 프로그램화 되어 이루어졌다.

3. 실리콘 (Si) 포토다이오드

실험에 사용된 실리콘 포토다이오드는 Kodenshi Corp. 제품으로 분광감도 영역이 450 - 1050 nm로 특히 850 nm의 파장영역에서 감도가 최대가 되며 입사광량에 대한 출력 전류의 직진성과 고속의 응답성을 가지고 있다. 온도에 의한 변화가 적고, 암전류(dark current)가 적으며 잡음특성(NEP)도 우수하다. 본 실험에 사용된 실리콘 포토다이오드의 제원과 특징은 표 2와 그림 2에 나타나 있다.

Table 2 Specification of Si photodiode.

Type	HP-3MLR2
유효면적 (mm ²)	3.2x3.2
분광감도 (nm)	450 - 1050
출력전류 (Amps/Watt)	0.30
암전류 (nA)	5
잡음등가전류 (W√Hz)	1x10 ⁻⁷

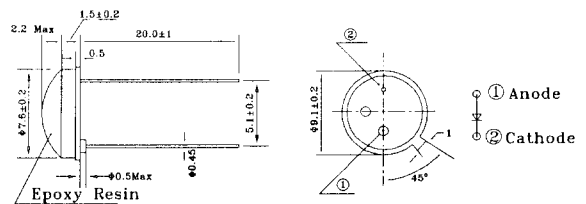


Fig. 2 Apparatus of photodiode.

4. 광전소자 증폭기

포토다이오드에서 출력되는 전류신호를 처리하기 위한 전압신호로 변환시키고, 전압신호에서 다시 필요한 성분만을 골라내는 작업이 필요하다. 이를 위해 LF356N 증폭소자를 이용해 증폭기를 제작 하였다. 그리고 증폭기로 +15V, 0V, -15V의 전원을 공급할 수 있는 장치를 제작하였다. 증폭기는 2000KΩ의 반고정 저항을 이용하여 증폭 범위를 조정할 수 있도록 하였으며 인터페이스를 통해 발생되어지는 잡음의 제거를 위해 증폭기에 입력감도 조절스위치를 설치하였다.

5. A/D 변환기

축차비교형 A/D 변환기를 사용하였으며 이것은 중간 속도에서부터 고속의 A/D 변환을 수행하는 기술을 이용한 것이다. 이는 이진코드로 입력 신호를 근사화 하는 것으로 가장 양호한 근사화가 이루어질 때까지 코드의 각 비트를 계속적으로 수정하는 방법이다.

III. 실험 재료 및 방법

1. 실험재료

스테인레스 강은 내식성, 내열성, 내산화성이 좋으므로 화학산업, 의학용기, 고정밀 산업 등에 많은 사용되고 있다. 특히 재료의 경량성 안정성 및 경제성이 우수하여 1993년 이후 전동차 제작시 기존의 연강 SS41을 대신하여 스테인레스강이 쓰이고 있다.

본 실험의 재료는 신규 전동차의 제작에 사용되는 STS 304를 사용하였으며 시편의 두께는 1.5 mm와 2.0mm로 달리 하였다. 다음 표는 STS 304의 화학 성분이다.

Table 3 Chemical composition of STS 304.

Specimen	Composition (Wt %)						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
STS304	0.08	2.00	1.00	1.90	9.25	0.045	0.03

2 실험방법

2.1 용접조건

용접은 수동식 TIG 용접기를 사용하였으며 전극봉은 KS 등급 YWTh-1 인 1% 토륨 텅스텐봉 중 직경이 2 mm인 것을 선택하여 사용하였다. 전극봉의 돌출길이는 2-3 mm 정도로 유지하였으며 용접전압은 전격전압인 20 V로 조정하였다. 보호가스는 알곤 가스를 사용하였으며 순도 99.999 %의 고순도 가스를 사용하였다.

TIG 용접의 가공변수는 크게 용접전류 이송속도 용접재료와 토치 사이의 거리 및 보호가스의 유량이다. 실험은 먼저 용접재료와 전극봉 선단의 거리 6mm로, 보호가스 유량은 4-6 l/min로 고정 시킨 후 용접전류와 이송속도를 표 4와 같이 조정하였다. 이 실험을 통해 시편의 두께에 따른 용접전류와 이송속도의 영향을 살핀 후 적정 용접전류와 이송속도에 대해서 가스의 유량과 토치 거리를 변화시켜가며 실험하여 보호가스의 유량과 토치와 모재사이의 간극이 아크 빛의 양에 미치는 영향을 조사하였다.

2.2 신호 획득 방법

용접중 발생되어지는 빛을 ND 필터(Neutral density filter)로 감소 정제시킨 후 포토다이오드에 의해서 전기적 신호로 바꾸어 진다. 발생되어지는 전기적 신호는 앰프를 통해 증폭되어지고 증폭된 아날로그 신호는 A/D 변환기를 통해서 디지털 신호로 변환되어진다. 전체적인 시스템의 구성은 그림 3에 나타내었다.

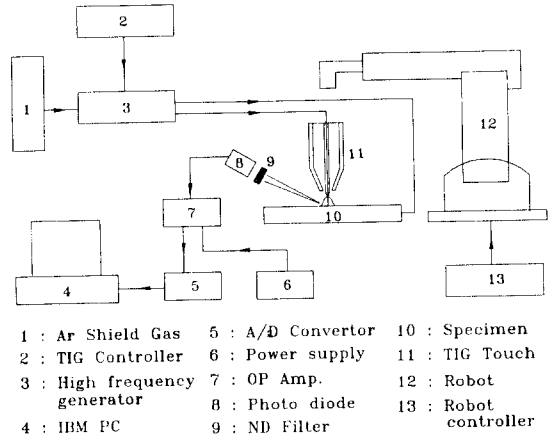


Fig. 3 Experimental setup for ARC light detection from TIG welding process.

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 용접결과

표 4는 용접실험의 실험조건과 실험 시편의 두께 토치의 이송속도 전류를 변화 시켰을 경우의 비드의 폭과 용입정도를 나타낸 것이다. 시편의 두께가 1.5 mm 인 경우는 비드폭이 4.0 mm를 전후로 양호한 결과가 나타나며 2 mm 인 경우는 4.5 mm를 전후로 양호한 결과가 나타남을 알 수 있다.

표 5은 보호가스의 유량 및 모재와 토치사이의 거리인 간극을 용접변수로 하여 용접한 결과이다. 보호가스의 유량은 적정범위가 있음을 알 수 있으며 과다한 경우는 비드의 형상 및 용입에 이상이 생김을 알 수 있다. 간극도 정적범위를 넘지 못하면 전극봉이 모재에 붙거나 비드의 형상이 불규칙해짐을 알 수 있었다.

Table 4 Welding current, trave speed and results.

(shield gas flow : 5 l/min, distance from electrode to material : 6 mm)

두께 [mm]	이송속도 [mm/sec]	전류 [A]	평균 비드폭 [mm]	용입정도	
1.5	1	20	3.86	불량 (小)	
		25	4.04	양호	
		35	4.49	양호	
		45	5.15	양호	
	1.5	15	20	3.72	불량 (小)
			25	3.88	불량 (小)
			35	4.21	양호
			45	4.45	양호
	2	2	20	3.59	불량 (小)
			25	3.68	불량 (小)
			35	3.98	양호
			45	4.24	양호
2.0	1	30	4.16	불량 (小)	
		40	4.50	불량 (小)	
		50	4.67	양호	
		60	5.97	불량 (大)	
	1.5	15	30	3.57	불량 (小)
			40	4.42	불량 (小)
			50	4.62	양호
			60	5.72	불량 (大)
	2	2	30	2.85	불량 (小)
			40	3.61	불량 (小)
			50	4.52	양호
			60	5.41	불량 (大)

Table 5 Shield gas flow, distance and results.

용접조건	가스 유량 [l/min]	비드 폭 [mm]	용입결과
두께 1.5 mm 전류 35 A 이송속도 2 mm/min	2	3.75	양호
	5	3.98	양호
	20	4.32	불량 (大)
용접조건	토치 간극 [mm]	비드 폭 [mm]	용입결과
두께 1.5 mm 전류 35 A 이송속도 2 mm/min	4	3.2	불량 (小)
	6	3.98	양호
	10	4.41	불량 (小)

2. 전기적 신호

그림 4는 용접 상태가 양호한 경우 그림 5, 6은 용접 상태가 불량한 경우의 시그널, 비드형상, 용입 정도를 나타낸 그림들이다.

용접 상태가 양호한 경우는 아크 빛의 변화가 비교적 주기적인 것을 볼 수 있다. 용접 속도가 느린 경우는 들어 오는 빛의 양이 불규칙 하며 정상상태의 경우 보다 적은 것을 알 수 있다. 이는 아크 빛 중 재료를 통과하여 빠져 나가는 양이 많기 때문이라 생각되어진다. 또한 용접속도가 빠르거나 전류가 부족한 경우는 용접이 잘 이루어 지지 않으며 이 경우 빛의 변화가 상당히

빠름을 알 수 있다.

그림 8과 9는 보호가스의 유량과 전극봉과 모재 사이의 거리가 비 정상적일 때 신호와 용접결과이다 유량이 과대인 경우 비드의 모양은 균일 하지 못하며 발생하는 신호 역시 다른 주기성을 갖게 된다. 이는 보호가스가 난류상태로 붙어지기 때문이라 생각되어진다. 또한 간극이 너무 작은 경우는 이크 전압이 낮게 발생하여 빛의 양이 감소 됨을 알 수 있다.

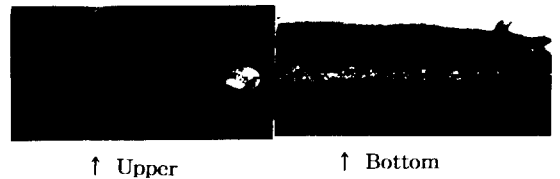
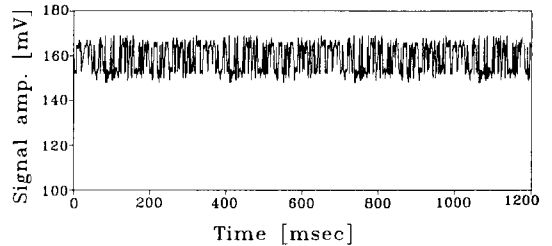
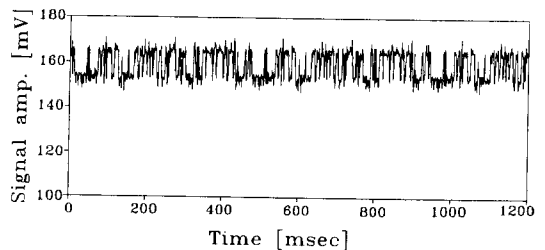


Fig 4. Arc light signal, bead shape and penetration (t=1.5 mm, speed=2 m/s current=40 A)



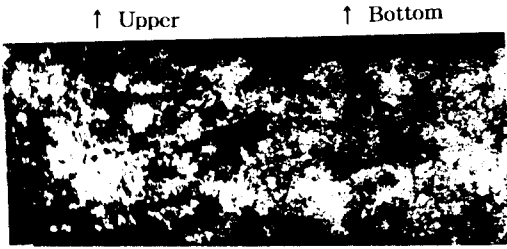


Fig 5. Arc light signal, bead shape and penetration ($t=1.5$ mm, speed=2 m/s, current=60 A)

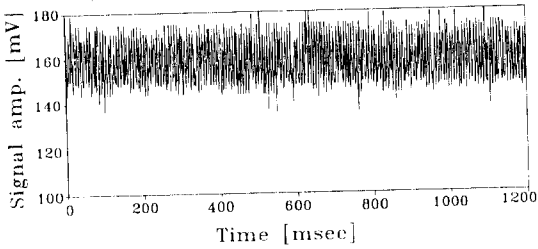


Fig 6. Arc light signal, bead shape and penetration ($t=2$ mm, speed=2 m/s, current=30 A)

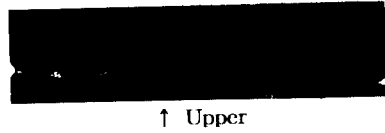
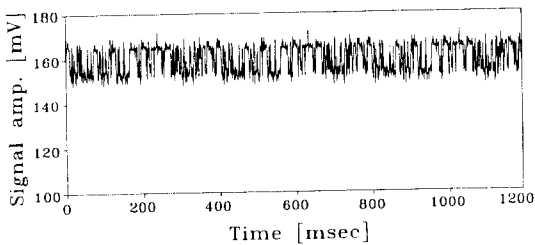


Fig 7. Arc light signal and bead shape ($t=1.5$ mm, speed=2 m/sec, current=40 A, shield gas=20 l/min)

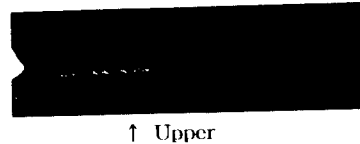
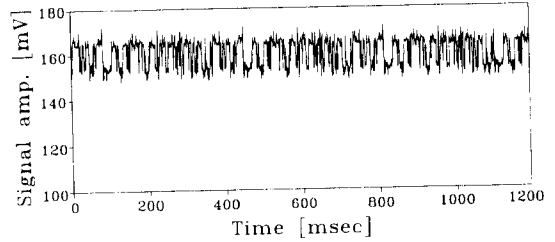


Fig 8. Arc light signal and bead shape ($t=1.5$ mm, speed=2 m/sec, current=40 A, distance from touch=2.5 mm)

V. 결론

TIG 용접 상태를 실시간으로 판단하고 용접 품질을 결정할 수 있는 시스템을 위해 가공변수의 영향을 광소자를 이용해서 모니터링 하였다. TIG 용접의 가공 조건의 변화는 발생하는 아크 빛의 양과 주기의 변화를 가지고 왔으며 이를 광소자를 이용한 모니터링 시스템으로 관측할 수 있었다. 관측 결과는

- (1) 정상적 가공조건 하에서 발생하는 아크 빛은 일정한 주기성을 갖는다.
- (2) 토치의 이송속도가 정상보다 빠르거나 전류가 작은 경우 아크 빛은 빠른 주기성을 갖는다.
- (3) 토치의 이송속도가 느리거나 전류가 큰 경우에 감지되어 지는 아크 빛의 양은 줄어 든다.
- (4) 보호가스 유량의 과다는 발생되어 지는 아크 빛의 주기성에 영향을 준다.
- (5) 전극봉과 모재와의 사이가 너무 작을 때는 용접상태가 불량하며 이때 감지되어 지는 빛의 양은 줄어 든다.

VI. 참고 문헌

- [1] Beattie. R. J, S. Cheng, P. Logue, "The Use of Vision Sensors in Multipass Welding Applications", *Welding Journal*, pp 28-33, Nov. 1988.
- [2] Smati. Z, P. J. Alberry, D. Yapp, "Strategies for Multipass Welding", In *Proceeding of 1st Int. Conf. on Advanced Welding Systems*, pp219-38, London, Nov. 1985.
- [3] Numura. H, Y. Sugitani, N. Tamaoki, "Automatic Real Time Height Control with Arc Sensor in TIG Welding", *Transaction of Japan Welding Society*, pp 35-50, Oct. 1987.
- [4] Richardson. R. W, "Robotic Weld Joint Tracking System-Theory and Implementation Method", *Welding Journal*, pp 43-51, Nov. 1986.
- [5] O. Madsen, H. Holm, "Realtime Requirements to a CAD and Sensor Based Control System for Robotic Multi-pass Welding", *Proceeding of IEEE Int. Conf. on Intelligent Motion Control*, Istanbul, Turkey, Aug. 1989.
- [6] J. K. Lauridsen "Computer Aided Off-line Programming of Multipass TIG Welding", PhD-thesis, University of Aalborg, Institute of Production, 1992.
- [7] G. L. Oomen, W. J. Verbeck, "A Realtime Optical Profile Sensor for Robotic Arc Welding", *Proceeding of 3rd Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Control*, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 659-668, May. 1983.
- [8] O. Madsen, H. Holm, "Vision Processing for Sensor Based Robotic Multipass Welding", *Proceeding of Int. Robot & Vision Conf. Detroit, USA*, pp. 18.31-18.45, Oct. 1991.
- [10] R. C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital Image Processing", Addison-wesley, 3ed, 1992.
- [11] Harley R. Myler and Arthur R. Weeks, "Computer Imaging Recipes in C", Prentice Hall, 1993.
- [12] Gregory A. Baxes, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons, 1994.
- [13] Claus Bagger and Flemming Oisen, "On-Line Photo Diode Monitoring of The CO₂ Laser Welding Process", *Proceeding of 3rd Conf. Laser Material Processing in the Nordic Countries Lappeenranta and Finland*, pp. 189-197, 1991.
- [14] Cook G. E., Andersen K. and Barnett R.J. "Feedback and Adaptive Control in Welding", ASM International, Materials part, pp 891-904, Ohio, 1990.
- [15] Andersen K., "Studies and Implementation of Stationary Models of the Gas Tungsten Arc Welding Process", M.S. Thesis, Department of Electrical Engineering, Vanderbilt University, 1992.