

용접자동화를 위한 센싱 시스템 개발에 관한 연구

김 일 수 · 강 봉 용

A Study on Development of Sensing System for Welding Automation

Ill-Soo Kim and Bong-Yong Kang

1. 서 론

선박 및 자동차산업의 고효율 접합기술은 크게 용접, 기계적 접합, 그리고 실링기술로 분류한다. 용접의 경우 고에너지 열원을 갖고 있는 레이저(laser), 플라스마(plasma) 등이 주로 이용되고 있으며, 그 밖에도 용접공정의 효율 향상을 위한 서보전, 로봇 등의 신기술이 개발 및 적용되고 있다¹⁻²⁾. 그러나 실제 구조물 용접에서 부재의 위치, 가공정도, 취부상태 등에 따라 작업 중 용접위치와 용접조건을 조정해야 하는 경우가 자주 발생하게 된다. 특히 생산성 향상 및 품질 고급화를 위해서 용접선 자동추적 기술과 용접조건 선정기술 개발이 선행되어야 한다. 또한 용접과 같은 생산공정에서 대상제품의 품질을 제어하기 위해서 관련 공정변수들의 측정 및 제어가 요구되며, 이러한 관련 공정변수를 측정 및 제어를 위한 센서의 개발이 요구된다³⁾.

기존의 연구들은 용접전류, 용접전압, 이송속도, 와이어 송급속도 등과 같은 공정변수들을 측정 및 제어할 수 있는 관련기술 개발에 대한 연구가 많이 이루어져 왔으나, 실제 용접공정에서 이와 같은 변수들 제어만으로 용접선 추적 및 용접품질을 유지하는데 한계가 있었다⁴⁻⁹⁾. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 센서들의 개발이 필수적으로 요구되었으며, 접촉식 센서, 아크센서, 레이저센서 등이 장착된 용접자동화 시스템 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 국외에서는 이미 용접선 추적을 위한 시각센서의 개발과 상품화를 통해 다양한 응용분야에 적용단계에 있고, 이에 대한 지속적 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 90년대 초 일부 대학 및 연구소를 중심으로 실험적인 연구를 필두로 시각센서에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있고, 현재 일부 신제품 활용단계에 있다¹⁰⁻¹³⁾.

본 보에서는 용접자동화 필수적인 센서 및 센싱 개발 현황, 적외선센서, 적외선 센서를 이용한 용접선 추적 시스템 구축, 성능평가를 위한 용접자동화 시스템의 구현에 대하여 소개한다.

2. 센싱 시스템의 일반적인 특성

센서는 시스템이나 장치에 대한 상태를 감시를 하고, 이상 검출, 위험 예지, 이상·위험시의 경보신호나 보호계에 발동신호를 획득함으로써 이들의 운전 및 안전을 관리하는 핵심기술이다. 또한 대상계, 제어계에 연관된 작업상태를 검출하여, 글자, 기호, 코드, 그림 등의 형식으로 변환하고, 제어정보로 하여 그들의 제어상태를 안정하게 제어하고, 또는 변화하여 목표값을 추종하게 하는 역할을 수행한다. 이러한 역할을 수행하기 위한 센싱 시스템은 체계적으로 결합된 부분모임 형태로, 각 부분의 역할을 분담해서 일정한 원리, 법칙, 규칙, 순서에 의한 상호관계를 유지하면서 전체의 기능을 수행하도록 구성한다. 특히 센서시스템은 Fig. 1은 점선블록 안에 표시한 것과 같이 그 자체가 변환요소, 신호전송요소, 신호처리 요소, 정보처리 요소, 정보출력 요소로 구성되어 정확한 정보를 출력시킬 수 있도록 노이즈, 드리프트, 온도특성 등의 보상·보정의 기능을 갖고 있는 하나의 시스템이다.

센싱 기능은 디바이스(device)의 설계/제작 기술, 즉 하드웨어 기술과 디바이스 응용기술, 소프트웨어 기술이 유기적으로 연결된 형태로 구성된다. 하지만 현재까지 하드웨어 부분에 편중되고, 소프트웨어 부분은 2차적인 연구로 취급되는 경향이 있다. 따라서 센서를 개발하기 위해서는 그 센서의 적용대상에 대하여 어떠한 정보가 어떤 조건하에서 필요한가를 연구하는 것이 중요하다. 그러한 관계로 시스템의 정의, 목적, 배경, 제약조건과 특수성, 구성·운용 방침, 문제점, 니즈(needs)

3. 적외선 센싱 시스템

3.1 적외선센서 제작

적외선센서는 생산설비 및 시설상태 모니터링에서 비 파괴 시험·분석 분야까지 광범위하게 이용되고 있다. 초기에 적외선 카메라는 용접부 품질 및 실시간 용접의 집합력을 모니터링 하는데 주로 이용되고 있다. 이 시스템은 용접 중 발생하는 열 신호를 저장한 데이터에 대하여 측정된 자료를 비교할 수 있도록 마이크로프로세서 형태로 구성되어 있다.

특히 적외선센서에서 발생하는 전압의 변화는 매우 미약한 값일 뿐만 아니라 낮은 전류의 형태를 갖고 있는 관계로 노이즈에 취약하다. 또한 용접시 발생하는 노이즈는 매우 심각한 정도이므로 최적 회로설계와 시험을 통하여 적절한 앰프모듈 개발이 필요하다. 최근에 용접부 온도를 직접 측정하기 위하여 적외선센서의 신호를 계측·제어장비에서 획득하기 위한 센서 앰프모듈이 개발되었다.

적외선센서 증폭모듈은 크게 세 단계로 구성되며, 1차 앰프부에서는 센서신호에 적절한 기본 전압을 걸어 주고 발생된 미약한 전류와 전압을 필터를 걸 수 있는 상태로 신호를 증폭한다. 필터부는 센서신호의 노이즈 부분을 제거하는 부분이다. 노이즈는 기본적으로 60 Hz대역의 교류전원 노이즈를 제거하고 용접시 발생하는 불필요한 노이즈를 제거하는 LPF 부분이 필요하다. 2차 앰프부는 필터 처리된 신호를 측정부에서 필요로 하는 적절한 값으로 증폭하는 부분으로 적절한 증폭은 센서의 정밀도를 결정한다.

적외선센서의 측정값은 대상체의 온도와 센서자체의 온도에 의존하는 함수이므로 신뢰성 있는 측정값 획득을 위해서는 적외선센서의 온도를 일정하게 유지가 요구된다. 개발된 센서 앰프모듈은 다양한 용접환경에서 수차례 반복시험을 통해 회로의 안정성과 성능을 확보하는 단계를 거쳐 확인된 모듈로 노이즈 차폐와 충격에 대비하여 PCB 설계와 몰딩공정을 통해 신뢰성을 확보가 필수적이다 Fig. 3은 본 연구실에서 개발된 적외선 센서를 나타낸다.

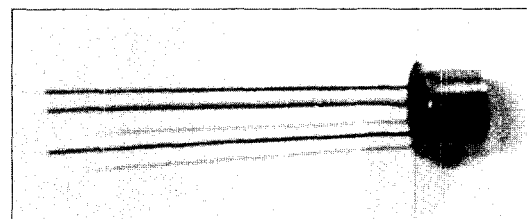


Fig. 3 Developed IR sensor

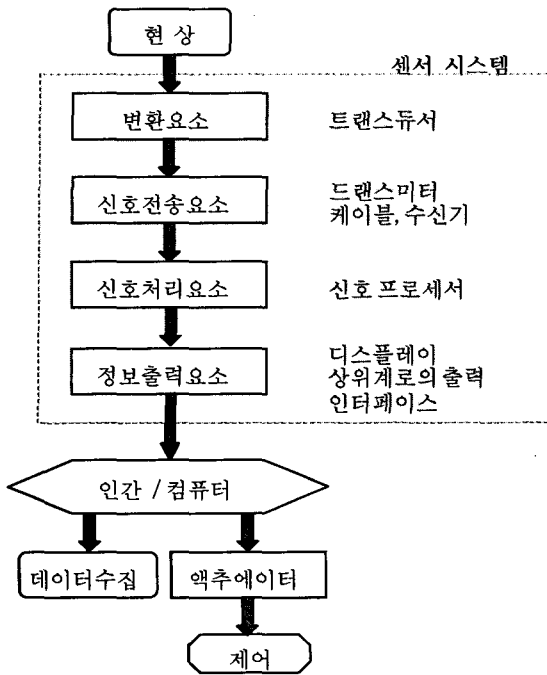


Fig. 1 Configuration for sensor system

등을 분명하게 하여 그 성격에 부합한 센서를 설계하여야 한다. 센서개발은 여러 가지 가능성 추구라는 관점에서 그 자체가 중요한 것이지만, 적용성에 대한 검토가 없으면 연구단계에 머무를 수밖에 없다. Fig. 2는 이러한 상황을 종합한 구성도를 나타낸다.

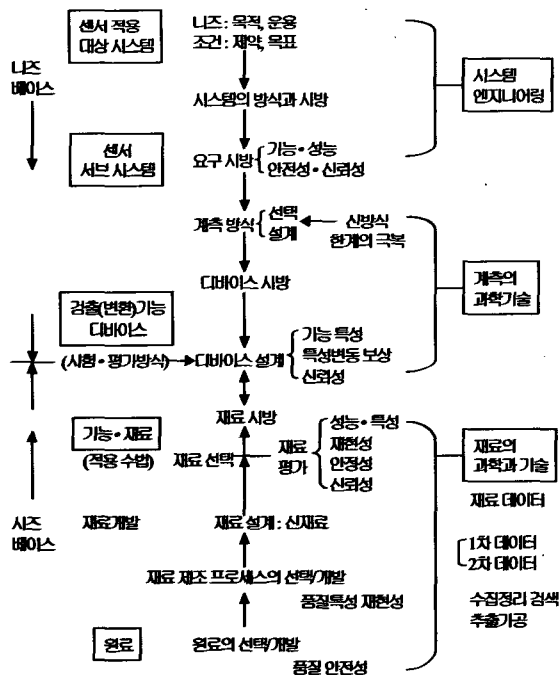


Fig. 2 Development process for sensor system

3.2 센서 성능 분석

용접부에서 발생하는 온도분포를 측정하기 위한 방법으로는 열전대(thermocouple)를 이용하는 방식과 적외선센서 에너지를 이용한 방식으로 분류한다. 이 중 열전대를 이용하는 방식은 서로 다른 금속을 전기적으로 접속시키고 양단에 온도변화를 주면 회로에 전류가 흐르는 Zeebeck 효과를 이용한 방식으로 정확한 온도 측정이 가능하며, 특히 내부온도 측정에 유리하지만, 반면에 접촉식이기 때문에 측정대상과의 접촉이 있어야 하며 측정 전에 준비작업이 요구된다. 한편 적외선센서는 비접촉식이기 때문에 측정 자체가 측정대상에 영향을 미치지 않는다. 특히 움직이는 물체의 경우 종전의 접촉식 센서로 측정이 어려웠던 것에 비해 고온에서 나오는 물체의 방사에너지를 측정하기 때문에 소형 및 움직이는 물체도 쉽게 온도측정이 가능하다.

또한 물체가 시야에 들어오는 위치에 존재하고, 접촉이 불가능하거나 거리가 떨어져 있다라도 측정이 가능하며 응답속도가 빠르고 비접촉식이므로 물체에 나오는 열 관련장치가 손상되지 않는 특징을 갖고 있다. 비접촉식 적외선센서를 이용하여 용접시 용접부 온도측정은, 응답시간이 빠르고 측정 전의 준비작업이 간단하다는 특징 때문에 용접공정 제어에 매우 효과적으로 적용되고 있다. 즉 적외선센서는 다른 센서에 비해 상온동작과 감도에 파장 의존성이 없으며, 넓은 파장대역에서 투과성이 좋아, 사용목적에 맞는 센서 제작할 수 있고, 조작이 간단하고 회로설계가 용이하여 광범위하게 응용되고 있다.

적외선센서를 이용한 용접선추적(Seam tracking)은 용접중 용접선의 센싱 및 실시간(real-time) 추적을 동시에 수행하여야 하므로 정확한 온도측정이 요구된다. 따라서 용접부 온도를 정확히 측정하기 위해서는 적외선센서에서 감지된 빛을 전기적 신호로 변환 시킨 후 온도로 환산해야 하며 시편과 동일한 소재에 열전대를 고정 시킨 후 온도변화에 따른 센서의 출력값을 확인하는 것이 바람직하다. 또한 적외선센서는 용접부의 표면으로부터 떨어진 센서의 측정거리에 따라 측정오차가 발생됨으로 측정결과에 대하여 센서거리 변화에 따른 영향을 분석하여야 한다. 먼저 개발된 적외선센서의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 4에서 보는 바와 같이 T=300, 450, 700, 1000℃의 4가지 경우의 온도변화에 대한 적외선센서의 높이와 적외선센서 전압에 대하여 측정하였다. 또한 적외선센서 높이 h=30, 50, 70, 100 mm 일 경우의 적외선센서 전압에 대한 온도 분포의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었다. 결론적으로 적외선센서의 온도변화 및 시험편에 대한 센서 높이변

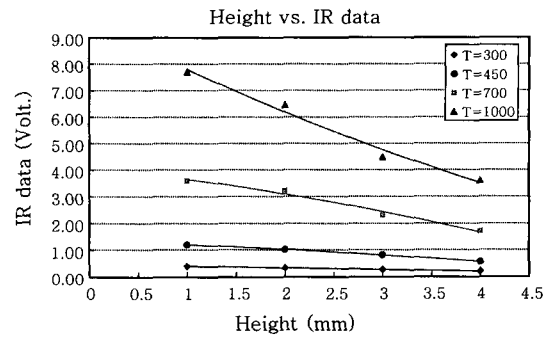


Fig. 4 Sensor height and IR data

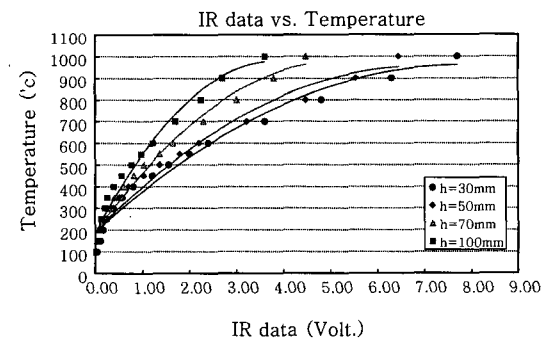


Fig. 5 IR sensor data vs the measured temperature

화에 대한 센서의 측정성능을 검증할 수 있었다.

4. PC 기반 용접 모니터링 시스템

PC(Personal Computer)를 기반으로 한 제어기는 PC CPU의 급속한 발전과 더불어 일반 산업현장에 급속도로 퍼져가고 있다. 하지만 PC의 운영시스템 자체의 신뢰성 때문에 비교적 높은 신뢰도를 요구하는 제어기 구성에는 한계가 있다. 최근에 PC의 운영체제 자체의 신뢰성이 상당히 향상되어 PC가 산업용 제어기를 수행하는데 중요한 역할을 담당하고 있다. 현재 PC용 보드는 비교적 저가이며, 그 종류가 매우 다양하여 산업용 제어기로써 많이 사용되고 있다. 특히 사용자 인터페이스를 위한 MMI(Man Machine Interface) 도구(tool)들이 많이 제공되고 개발자의 입장에서도 쉽게 접근할 수 있도록 다양한 드라이브들이 제공되기 때문에 향후 제어기 분야에서 중추적인 역할을 수행할 것이다.

Fig. 6는 개발된 시스템의 전체 구성도를 나타낸다. 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 시스템 구성을 위하여 이동성 및 신뢰성을 고려하여 일반 하드디스크가 아닌 M-system의 플래시 디스크(flash disk)를 사용하여 진동으로부터 강인하도록 하였다. 시스템 구동하기 위한 부팅(booting) 시간은 약 30초 정도가 소요되며,

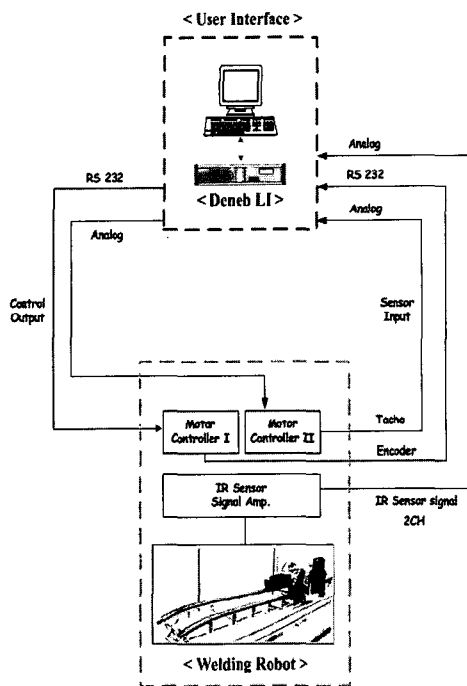


Fig. 6 Configuration of developed PC based monitoring System

정상적인 OS(Operating System)처럼 사용할 수 있고, 어플리케이션(Application) 프로그램도 그대로 사용 가능하다. 성능평가를 위하여 GMA(Gas metal Arc) 용접기를 이용하여 일정한 용접속도로 다양한 두께 시험편에 맞대기용접(butt welding)을 하였다. 용접 중에 Fig. 7에서 본 바와 같이 적외선센서 1과 2의 온도에 따른 전압이 나오며 앰프에서는 신호를 증폭시켜 DAQ(Data Acquisition)보드로 보낸다. DAQ보드에서 읽어 들인 신호는 모니터링 프로그램에서 온도 값으로 보정이 된다.

적외선센서로부터 획득한 출력은 매우 미약한 관계로 적외선센서로부터 신호를 획득하기 쉬운 크기로 증폭하

기 위하여 교류증폭을 선정하여 범용 OP-AMP를 제작하였다. 또한 저역필터를 사용하여도 무방하지만 획득한 주파수를 다른 센서에도 사용할 수 있도록 밴드 대역필터를 사용하였다. 하드웨어 장치구성은 적외선센서 amp 및 filter를 위한 제어기와 모터의 주행방향을 제어하기위한 모터 드라이브(motor driver)로 구성한다. 이 모터 드라이브에서 x축 모터는 RS232를 통하여 제어하고 y축 모터는 아날로그 제어신호를 통하여 모터를 구동한다.

개발된 소프트웨어의 메인 화면을 Fig. 7에 나타내었다. 구성은 크게 4개의 구역으로 구성하였으며, 실험시 위치와 온도의 정보를 보여주는 그래프 영역(좌측 상단), 용접 케리지를 활성화 시키고 수동으로 케리지의 조작 영역(좌측 하단), 시간과 케리지의 용접 토치의 위치 그리고 적외선센서의 온도값의 모니터링 영역(우측 상단), 용접의 각 인자들을 설정하고 케리지를 구동하는 영역(우측하단)으로 구성되어 있다.

5. 전체 시스템 통합 및 용접선 추적

Fig. 8은 개발된 시스템을 이용하여 평판에서 용접을 실시한 결과를 나타낸다. 적외선센서 및 관련 알고리즘 개발을 통하여 평판용 용접선추적 시스템을 구축하고 개발된 시스템의 성능평가를 통하여 개발된 시스템의 유효성을 검증하였다.

Fig. 9는 본 개발된 용접선 추적을 위한 파이프 용접용 시스템의 구성도를 나타낸다. 기 개발된 평판용 전자동 용접선추적 시스템을 파이프 용접용으로 전환하고자 레일의 한쪽 면을 타이밍 벨트-폴리 형태의 레일로 제작하였고 반대쪽 면은 수직형 벨트 타입으로 제작하여 케리지 구동효율 향상 및 케리지 자체의 진동을 저감하고자 하였다. 또한, 케리지 바퀴의 한쪽면에 플

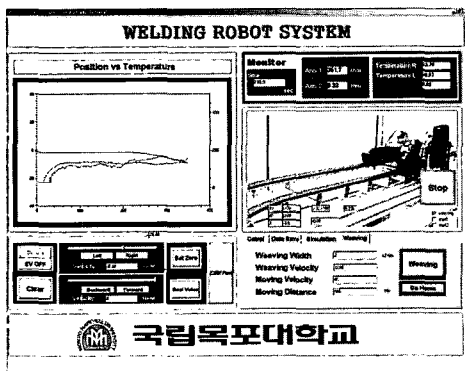


Fig. 7 Developed PC based monitoring S/W

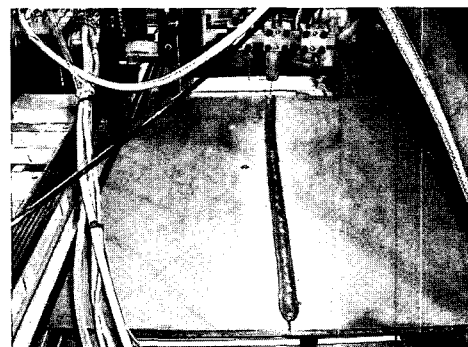


Fig. 8 Seam tracking using developed welding automation system

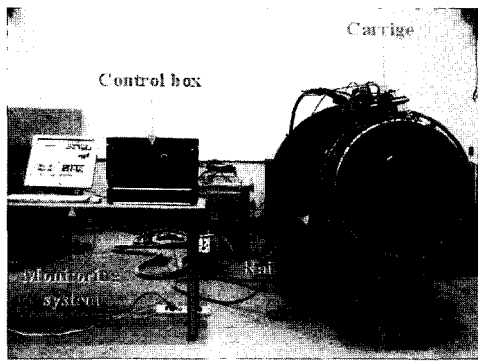


Fig. 9 Integration of seam tracking system for pipe welding

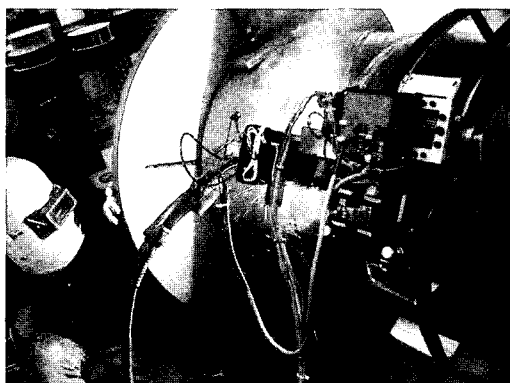


Fig. 10 Performance test for seam tracking system for pipe welding

랜지를 장착하여 백래시 감소, 정속도 유지를 통해 체결성능을 향상시켰다.

Fig. 10은 통합된 파이프 용접용 용접선 추적시스템의 성능평가를 위한 성능테스트 장면을 나타낸다. 용접선 추적장치는 용접부 품질검증을 위한 Visual test 결과 양호한 추적성능을 나타내었다.

6. 결 론

적외선센서 및 관련 알고리즘 개발을 통하여 평판 및 파이프 용접용 용접선 추적시스템을 구축하고, 구축된 시스템의 성능평가를 통하여 용접자동화 시스템 구현에 대하여 논의하였다. 먼저 적외선센서의 성능을 평가하기 위하여 4가지 경우의 온도변화에 대한 적외선센서의 높이와 적외선센서 전압에 대하여 측정하고 상관관계 분석을 통해 적외선센서 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 적외선센서를 용접토치의 후면 양쪽에 설치하여 센서로부터 획득한 용접부의 열분포 차이를 이용하여 용접선을 추적하며, 용접품질을 센싱하기 위한 적외선 센싱 알고리즘을 개발하였고 성능시험 결과 양호

한 추적성능을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 적외선센서, 제어모드 알고리즘, 용접선 추적 및 용접품질 알고리즘, 실시간 용접상태 계측 알고리즘을 통합한 용접선 추적 시스템은 실제 테스트 결과 양호한 추적성능을 나타내었고, 작업자의 편의성 측면에서도 만족할 만한 결과를 나타내었다. 향후 이 시스템을 off-line 용접공정에 적용을 통하여 1인 통합 관리화 추진 및 기존의 작업자 중심의 용접품질의 판단에서 실시간 센싱 기술 및 지능제어 시스템을 통한 용접품질의 고급화, 안정화 도모를 위한 지속적인 연구가 수행되어야 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. H. B. Smartt : Arc-welding process welding: Theory and practice, Elsevier Science Publishers, (1990), 175-208
2. A. Newell and H. Simon : Human problem-solving, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall (1972)
3. R. W. Richardson, A. Gutow, R. A. Anderson and D.F. Parson : Coaxial weld pool viewing for process monitoring and control, Welding Journal, 63-3 (1984), 43-50
4. H. B. Smartt, P. Einerson, A. D. Watkins and R. A. Morris : Gas metal arc welding process sensing and control, Proceedings of an International Conference on Trends in Welding Research (1986), 461-465
5. G. E. Cook : Through-the-arc sensing for arc welding, Proceedings of the Tenth Conference on Production Research and Technology, National Science Foundation, ISBN 0-89883-087-7, (1983), 141~151
6. J. J. Hunter, G. W. Bryce and J. Doherty : On-line control of the arc welding process, the 2nd International Conference on Computer Technology in Welding, Cambridge 37 (1988), 1-12
7. R. J. Salter and R. T. Deam : A practical front face penetration control system for TIG welding, Developments in Automated and Robotic Welding, Cambridge, UK, The Welding Institute, (1987), 38-1~38-12
8. David Nizan : Three-dimensional vision structure for robot applications, IEEE Trans. on PAMI, 10-3 (1988)
9. Y. Suga, T. Kitaoka and K. Okawa : On detection of the weld line and automatic seam tracking by the a welding robot with a visual sensor for the lap welding of the thin aluminum plates, Welding international 12 (1990), 218-225
10. Y. Suga, and Y. Sano : Recognition of the weld line by a visual system and weld line tracking in automatic welding of thin aluminium, Welding International 50 (1993), 18-25

11. M. Y. Lee and H. W. Kim : On-line penetration depth measurement system using infrared temperature sensing on CO₂ laser welding, APCNDT (2003), 192 (in Korean)

12. W. Ameling, J. Borowka, U. Dilthey, L. Kreft, M. Raus and W. Scheller : Adaptive arc sensor

for varying joint geometry—the use of artificial neuronal networks, *Welding and Cutting*, February, (1992)

13. X. M. Zeng : Report on network for TIG welding knowledge base system, Liverpool University, (1990), 150-163



- 김일수(金一洙)
- 1958년생
- 국립목포대학교 기계선박해양공학부
- 용접자동화, 특수용접/접합기술
- e-mail : ilsookim@mokpo.ac.kr



- 강봉용(姜奉龍)
- 1960년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합팀
- 용접전원파형제어, 용접재료개발
- e-mail : kanbo@kitech.re.kr