

## 적외선 센서를 이용한 금속아크 용접 공정 모니터링 Monitoring of the GMAW Process Using Infra-red Sensor

정영재\*, 김일수\*, 박창언\*, 김수광\*\*

\* 목포대학교, 전남 무안군 청계면 도림리 산 61번지

\*\* 포항제철 기술연구소, 경북 포항시 남구 괴동동1번지

**ABSTRACT** This paper discusses the application of infra-red thermography in monitoring the robotic arc welding process, and its potential for weld bead dimension and seam tracking control. Thermal images illustrating weld pool formation dynamics and heat distribution phenomena are digitized and their characteristics are measured. At each sampling point the maximum depth of penetration is recorded together with additional information regarding weld bead placement in relation to the seam location. Deficiencies such as incomplete penetration and lack of side wall fusion are readily identified and can be remained during the process. The technique can help an increase in productivity and weld quality by minimizing the amount of post process rework and inspection efforts needed otherwise.

### 1. 서론

적외선 센서는 생산장비 및 시설상태 모니터링과 비파괴시험 및 분석 분야에 많은 연구가 실시되었다. 과거에는 용접시 적외선 센서는 용접 품질과 실시간 동안 전기 저항용접의 접합력을 모니터링 하는데 이용되고 있다. 이 시스템은 허용한 용접 열 신호를 저장한 모델들에 대하여 측정된 자료를 비교할 수 있도록 마이크로프로세서(microprocessor)에 통합한 것이다. 또 다른 예는 자동차의 에어백 부품으로 이용되고 있는 용접 품질의 전기적 장치를 온라인(on-line)모니터링 하는 것이다. 용접 인장 강도에 관계되는 정보는 온도의 분포 및 온도 분포 지역으로부터 추정할 수 있다. 적외선 센서는 항공기 산업과 석유 화학 같은 산업에 용접의 완전한 상태를 평가하는데도 이용되었다<sup>1</sup>. 적외선 센서를 사용한 최초의 연구<sup>2</sup>는 용접공정을 자동화 하기 위한 알고리즘 개발을 위하여 공정변수들의 변화에 따른 모재의 표면 열 분포의 관계를 조사하였다. 전면에 위치한 적외선 카메라는 용접공정 중 용융지와 표면 온도 분포를 모니터 하는데 사용되었으며 공정변수들의 변화는 용입깊이를 변화시키고 이에 대응하는 표면 온도 분포는 기록하였다. 이것은 비드폭과 적외선 영상 폭 사이에 선형적 관계가 존재한다는 것을 보여 주었다. 추가로 용입깊이는 금속 용융지의 중심선에서 측정된 표면 온도 형상 아래의 면적 값에 지수적인 관계를 나타냈다<sup>3</sup>. 이러한 연구는 적외선 센서에서 측정된 표면 온도는 실시간에 비드폭과 용입깊이를 제어 하는데 이용될 수 있다는 것을 명확히 알 수 있다.

최근의 연구<sup>4</sup>는 용접부 후면의 근적외선에서 발산한 적외선량을 측정함으로써 용접공정 변수들에 대해 용입깊이의 제어를 가능하게 했다. 또한 시스템은 용접부에서 센서로 빛을 전달하기 위해 광섬유를 이용하여 성능을 증명하는데 이용되었다. 광섬유 기술은 이면 용접부에 제한적으로 접근할 수 있는 용접 조립시설에 도움이 되며 비교적 작은 직경 판의 용접에 적합하다. 이 기술은 가격이 비싸다는 단점이 있지만, 중요한 요소의 필요한 일들을 최소화하기 위한 그리고 설계 명세서를 확인하기 위한 도구로 이용할 수 있다<sup>5</sup>. 위에서 언급한 기술들은 실질적으로 적외선 센서를 이용한 자동 로봇 아크 용접시 용입깊이를 모니터링 하기 위한 모델 연구에 집중되었다. 그러나 용접선 추적에 대한 잠재능력에 관해서 언급하지 않았다. 다시 말해서 단지 실시간의 적용될 수 있는 용입깊이 변화와 관련하여 발생하는 여러 가지 문제점들을 교정할 수 있는 통합 기술 능력에 제한되었다. 용접부 검사보다는 균일한 품질을 갖기 위하여 정확한 용접용착 부분을 융합하는데 필요하지만 정확한 접합부 위치 선정 또한 중요하다<sup>6</sup>. 비록 용접비드 형상 제어 및 용접선 추적의 모니터링을 하기 위한 적외선 센서와 연결시킨 용접선 추적 시스템은 현재 존재하지만, 양쪽의 작업은 동시에 수행할 수 있는 보다 좋은 잠재력 있는 시스템은 아직 개발되지 않고 있다. 이것은 현재 이 논문에서 수행된 연구 배경이다.

### 2. 용착비드와 적외선 센서를 사용한 용접선 추적 모니터링

로봇 가스금속 아크용접기를 이용하여 일련의 실험을 실시하였다. 사용한 시험편은 길이 200mm, 폭 100mm, 각각 5mm와 10mm두께의 연강판을 사용하였다. 아크전류, 용접전압, 용접속도와 같은 여러 가지 공정변수들을 이용하여 비드온플레이트(bead-on-plate)용접을 실시하였다. 로봇과 용접 제어기는 용접 전원장치와 연결되었으며 이것은 50-350 Amps범위의 출력전류와 16-36 Volts범위의 출력전압을 가지

고 있다. 원하는 출력값을 얻기 위해 공정변수들의 조합을 포함하고 있는 자동아크 용접 제어기와 컴퓨터 입출력장치를 어드레스하기 위해 마이크로컴퓨터를 사용하였다. 이 결과는 용접비드 크기 (비드폭, 비드높이, 용융깊이)로써 표시하였다. 이(메뉴)는 100개의 다른 용접변수 변환들을 포함하고 있는데 이것은 실험적인 제스의 원칙을 이용하여 공정 출력변수들과 상호 연계시켰다. 이런 상호 연관성들을 독립된 파일에 보관시키고 필요시 마이크로프로세서로부터 불러낼 수 있다. 용접을 성공적으로 수행하기 위하여 용접하는 동안 마이크로프로세서로부터 다른 파일들을 연속적으로 불러낼 수 있어야 한다. 비록 이런 성능이 연속 적응제어를 실시간에 실행할 수 있는 장점이 있지만 폐회로제어는 이미지 분석 및 공정 제한 때문에 이용될 수 없다. 액체질소로 냉각된 적외선 카메라는 용접하는 동안 적외선이 전기적 비디오 신호로 전환 및 증폭되어 디스플레이 장치로 전송된다. 이장치는 멀리 떨어져 설치되었지만 용접되는 용접관편의 뒷면에서 직접 볼 수 있고 자동 용접 제어기처럼 마이크로프로세서를 비디오 출력 단자를 거쳐 연결되어 있다. 이 출력은 이미지 프레임 그래비(image frame grabber)로 이송되고 이미지 분석 프로그램을 이용하여 작업하였다. 카메라의 주사율은 초당 30 프레임이며 컴퓨터 이미지 표본추출과 저장 배율은 초당 5 프레임이다. 전기신호 프레임은 분석과 공정을 위해 C.D레이저 장치에 저장되었다. 또한 용접하는 동안 판 표면과 관계 있는 용접토치와 위치 좌표측정이 가능한 곳에 설치하여 플레이어는 재생될 수 있도록 하였다. 그림 1은 이용한 장비들의 배치도를 나타낸다. 150-250 Amps의 용접전류, 20V의 아크전압 2 cm/min 의 일정한 용접속도, 1.2mm의 filler직경과 2 cm<sup>3</sup>/h의 실드 가스유동율을 사용하여 비드애플레이트 용접을 실시하였다. 용접 작업 후 시험편을 절단 분리한 후 금속조직 검사를 실시하였다. 용접부를 연마 및 에칭한 후 용접비드의 치수를 측정하기 위하여 이미지 분석 프로그램, Image Analyst, 을 이용하였다. 그림 2는 비드폭과 비드높이를 나타내기 위한 금속 조직의 예이다.

### 3. 실험의 결과 토론 및 결론

각각 5mm와 10mm두께의 연강시편에 대한 아크전류와 비드폭, 비드높이와 관계된 결과들을 그림 3-4에 나타냈다. 용접전압과 용접속도처럼 중요한 공정변수들이 일정하게 유지될 때 공정 출력변수들과 용접전류 사이에는 선형적인 관계가 있음을 명백히 보여 준다. 같은 용접 조건에서 감열식 현상들의 관계를 그림 5-6에서 보여 준다. 여기서 용접 출력변수는 각각 5mm와 10mm두께의 연강시편에 의해 측정된 등온반경(isotherm radii)으로 부터 그런 것이다. 로봇 아크용접 공정 중 얻어지는 선형적 관계를 통해서 용작비드 형상과 크기를 적응제어를 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 추가적으로 같은 공정변수들을 이용하여 맞대기 용접 실험 결과는 공정중 용접선 추적(seam tracking)을 달성할 수 있다는 것을 보여 준다. 용접하는 동안 얻어진 등온 곡선은 감열식 형상 위에 주요 스파크가 나타나는데 이것은 용접선 추적(seam tracking) 방향을 나타낸다. 등온 반경이 얻어지는 기준 점에서 이와 같은 등온스파크 방향이 용접선 위에 접근한 것은 정확한 지점에서 용접할 수 있도록 하기 위한 것이다. 비록 로봇아크 용접하는 동안 적응제어를 위한 잠재적인 기술이 입증되었지만, 그 기술의 가치를 평가하기 위하여 더 많은 연구 및 기술개발이 필요하다. 예를 들어 공정변수들은 일반적으로 서로 상호 관계를 갖고 있으며 비드의 모양과 크기에 아크의 전류의 영향을 각각 분리시키지 않고 용접속도, 용접전압의 변화와 함께 연구하여야 한다. 추가로 로봇아크 용접공정의 적응제어를 얻기 위한 다양한 와이어 직경과 평판두께를 사용하여 이 기술을 검증하여야 한다. 실시간 귀환제어 문제 역시 일반적인 해답을 얻기 위해서 지속적인 연구가 필요하다. 현재 이러한 목표를 달성하기 위하여 연구가 진행되고 있다.

### 4. 참고문헌

1. Ramsey, P. W., Chyle, J. J., Kuhr, J. N., Myers, P. S., Weiss, M., and Groth, W., *Welding Journal*, Vol. 42, No. 8, 1963, pp. 337-346.
2. Chin, B. A., Madsen, N. H., and Gooding, J. S., *Welding Journal*, Vol. 62, No. 9, 1983, pp. 227-s-234-s.
3. Vroman, A. R. and Brandt, H., *Welding Journal*, Vol. 55, No. 9, 1976, pp. 742-749.
4. Hanright, J., *Welding Journal*, Vol. 65, Vol. 11, 1986, pp. 19-24.
5. Boillot, J. P., Cielo, P., Begin, G., Michel, C., Lessard, M., Fafard, P., and Villemure, D., *Welding Journal*, Vol. 64, No. 6, 1985, pp. 209-s-217-s.
6. Nagarajin, S., Chin, W. H., and Chin, B. A., *Welding Journal*, Vol. 68, No. 11, 1989, pp. 462s-466s.
7. Chen, W., and Chin, B. A., *Welding Journal*, Vol. 69, No. 4, 1990, pp. 181-s-185-s.

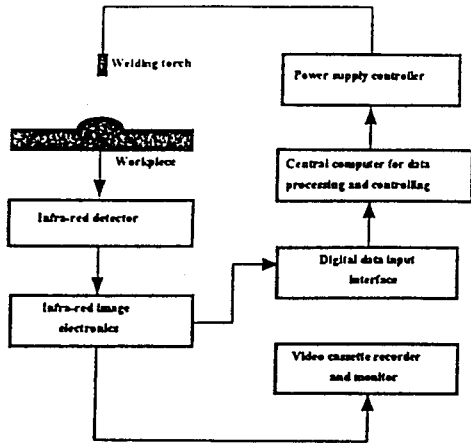


Fig. 1 The schematic diagram of the experiment

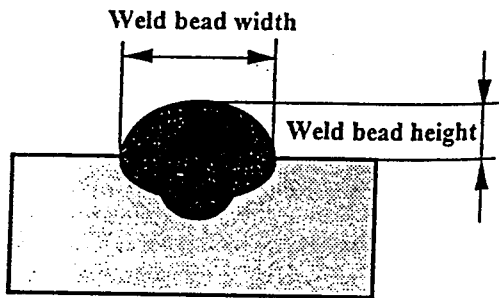


Fig. 2 Metallographic weld sample showing measurements of weld bead width and weld bead height

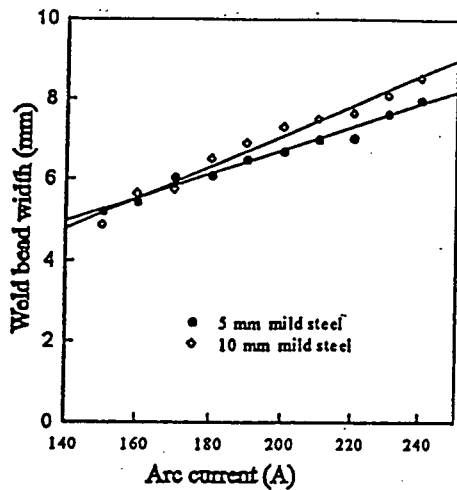


Fig. 3 Arc current versus weld bead width

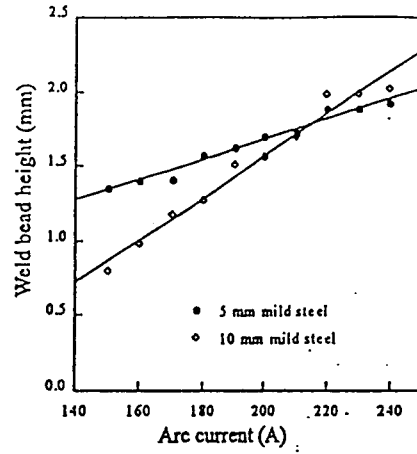


Fig. 4 Arc current versus weld bead height

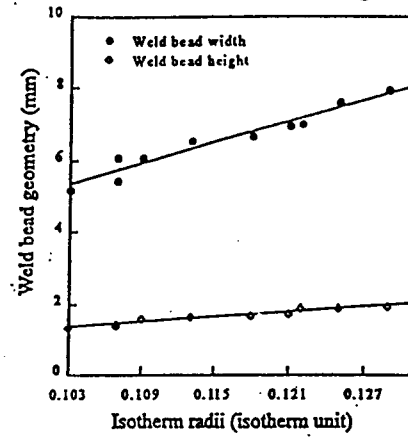


Fig. 5 Isotherm radii versus weld bead geometry for 5 mm mild steel

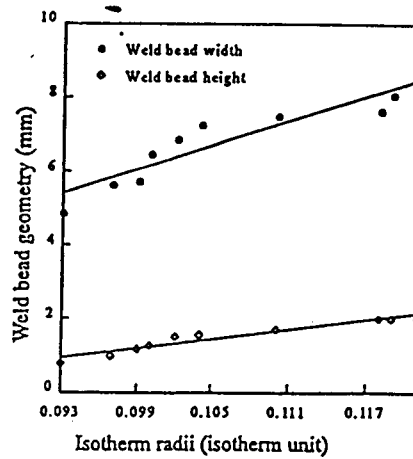


Fig. 6 Isotherm radii versus weld bead geometry for 10 mm mild steel