

GMA용접공정의 실시간 모니터링을 위한 표면온도 측정 Measurement of Surface Temperature for Real Time Monitoring of the GMA Welding Processes

부 광석*, 조 형석**

* 인제대학교 기계공학과, 경남 김해시

** 한국과학기술원 정밀공학과, 대전

ABSTRACT This paper describes a method to measure a weldment surface temperature for estimating variations of the weld pool size in the gas metal arc(GMA) welding processes. An Infrared sensing system is designed to measure the radiation emitted from the top surface of the weldment. The interference effect of the electric arc to the measurement is rejected by detecting the low peaks of the noisy signal. An optimizing criterion, in which the correlation between the weld quality and the measured temperature is maximized, is also proposed to determine the optimal measurement location.

1. 서론

모든 용융 용접공정과 같이 아크 용접은 모재의 용융과 응고에 의해서 형성되며, 따라서 결과되는 용융비드의 기하학적인 모양 및 크기가 용융 정도의 좋은 성능지수가 된다. 용융용접공정의 자동화를 달성하기 위해서 이러한 용융비드의 공정중 크기변화를 측정하거나 예측하기 위한 많은 시도가 있었다. GMA 용접의 경우에는 모재로 전달되는 용융전극의 액적들에 의해 발생하는 스패터로 인하여 비드의 형상을 직시하는 방법에는 많은 어려움이 있었고, 그 대안으로서 용접부의 표면온도를 이용하는 방법이 많이 연구되었다.^{1),2)} 용접부에서의 표면온도를 측정하는데에는 주로 적외선 radiometer를 이용해서 측정이 이루어지고 있다. 이러한 적외선 radiometer를 이용한 방법은 온도측정시 용접물 또는 용접공정과 상호작용이 없는 비접촉식이므로 매우 효과적인 온도측정 방법이다. GMA 용접공정에서 표면온도를 측정하여 용융비드의 크기의 변화를 모니터링할때 두가지 근본적인 문제점이 야기된다. 하나는 용융전극에 의한 스패터등에 기인하는 측정신호상의 잡음을 어떻게 제거할 것인가 이고, 다른 하나는 용융전극이 비드표면에 덮혀 비드의 크기인자들을 직접 측정할 수 없기때문에 이러한 비드크기 인자들을 가장 잘 예측할수 있는 측정점을 선정하는 문제이다. 따라서, 본 논문에서는 GMA 용접중 온도 측정시에 발생하는 스패터 및 아크광의 영향을 제거하는 방법을 제안하고 모니터링 대상인 용융비드의 크기인자들의 거동을 가장 잘 예측할 수 있는 측정점을 선정하는 방법을 제안한다.

2 적외선 온도 측정 센서

2.1 측정원리 및 장치구성

절대온도 0°K이상인 모든물체는 그 온도의 양에 따라서 분자의 운동량이 달라지게 되고 그에따른 에너지를 방출하게 된다. 여기서의 에너지는 전자기파로서 그 양을 측정함에 의해서 그 물체의 온도를 알 수 있다. 개발된 적외선 온도센서는 Wide Band형으로서 Fig 1에 그 구성을 나타내었다. 센서의 구성은 대물렌즈, aperture, 적외선 광센서 및 신호증폭회로로 구성되어 있다. 본 연구에서 사용된 적외선 광센서는 PbSe photo conductive형의 적외선센서로서 수광량의 증가에 따라서 그 저항이 감소하는 성질을 갖고 있다. 그러므로 센서의 한단과 직렬로 연결된 부하저항의

한단사이에 여기전압인 10V를 가할 때 수광량에 따라서 변하는 센서의 저항에 따라 회로내의 전류량이 변화하게 된다. 적외선센서의 목표의 면적은 1 입방 밀리미터로서 거의 한점의 온도값으로 여겨지도록 제작하였다. aperture에 의해서 센서 목표 외의 다른영역에서 반영된 빛은 모두 제거되게 된다.

2.2 신호 및 아크 광 간섭처리

만일 적외선 온도 센서가 아크와 가까운 점에 위치하면, 센서의 출력은 용접부 표면상의 한 점의 온도에 해당하는 방사 에너지 뿐만 아니라 전기적인 아크에 의한 방사 에너지와 전극의 용융온도를 갖는 스패터에 의한 방사광에 해당하는 에너지가 될 것이다. 그러므로, 측정된 신호는 표면온도보다도 높은 값이 될 것이다. Fig. 2의 실선은 아크의 가까운 위치에서 측정한 온도 센서의 전형적인 응답을 보여주는 데 신호 특성은 아크 광 또는 스패터에 의한 광량과 목표되는 측정점에서 방출되는 에너지의 결합된 형태이다. GMA 용접에서는 아크의 발생이나 스패터의 발생이 용접 조건에 따른 전류, 전압 상태에 따라 발생하는 정도가 연속적이지 못하다. 따라서 센서에서 측정된 신호는 용접부의 표면온도보다는 큰 값으로 변동하게 되고 그 정도는 용접전류, 전압조건에 따라서 달라진다. 그 신호를 단순히 low pass filter로서 처리한다면 그 신호의 평균값은 실제의 표면온도 값보다도 더 높은 값을 나타낼 것이다. 뿐만아니라, 같은 온도의 물체에 센서가 노출된 경우에도 그 출력값은 측정위치와 용접입력의 크기에 따라서 다른값을 나타내게 될것이다. 측정된 신호의 가장 낮은 값은 아크가 off되거나 측정 목표점을 스쳐가는 상태에서의 측정신호로 여겨지며 이것이 실제 표면에서 방출되는 방사에너지를 나타내리라 판단된다. 센서의 출력신호중에서 가장 낮은 값은 low peak detector를 이용하여 처리 함으로써 얻어졌다.

3 측정점의 결정

3.1 측정점 결정지수

이론적으로 용접부의 모든 공간영역상에서의 온도를 측정하여만 용융비드의 크기를 예측할수 있으나 이것은 현실적으로 불가능하기 때문에 유한개의 온도 측정센서로서 용접부의 공정상태변수인 용융비드의 크기를 예측하는 방법이 고려되어야 한다. 용융지의 크기와 어떤점에서 측정된 온도간의 상호 관계성을 평가 하기 위해서 상관관계수를 이용하였으며, 이는 다음과 같다.

$$\rho_{wt} = \frac{\sigma_{wt}}{\sigma_w \sigma_t}, \quad -1 \leq \rho_{wt} \leq 1 \quad (1)$$

여기서, ρ_{wt} 는 상관관계수, w 와 t 는 각각 비드크기와 용접부 표면에서 측정된 온도를 나타낸다. 그리고, σ_w , σ_t 및 σ_{wt} 는 각각 w 의 variance, t 의 variance 및 w 와 t 의 covariance이며 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_w^2 = E[(w - \mu_w)^2] \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = E[(t - \mu_t)^2] \quad (3)$$

$$\sigma_{wt}^2 = E[(w - \mu_w)(t - \mu_t)] \quad (4)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 expectation을 나타내며 μ_w 와 μ_t 는 각각 w 와 t 의 평균값이다. 상관관계수 ρ_{wt} 의 양은 두 변수 w 와 t 의 선형종속정도를 평가하는데 사용할 수 있으며 -1에서 +1 사이의 값이다.

3.2 측정점의 영향 실험

실험의 목적은 여러측정위치에대한 상관관계수(1)과 출력변수의 variance를 구

하고 실제 용접상황하에서의 최적온도측정점을 선정하는 것이다. 실험에 사용된 시편은 열간압연 AISI 1052강판이며 크기는 두께 4mm에 200x60 mm이다. GMA용접이 시편의 중심선을 따라서 수행되었으며 보호가스는 Ar가스를 사용하였다. 사용전극은 직경 1.2mm의 연강용 전극이다. 실험은 5개의 선택된 측정점에서 온도를 측정하며 여러 용접전압 및 용접전류, 용접속도에 대해서 반복하여 실행하였다. 용융부의 크기는 용접이 완료된 후에 용융부를 절단하고 폴리싱을 한후 Nital용액으로 에칭한후에 단면을 검사하여 덴드라이트 조직을 이용하여 구하였다.

3.3 결과 및 검토

Fig.3는 여러가지 측정점에서 측정한 온도 값과 그때의 용융비드의 크기지수간의 관계를 나타낸 것이다. Fig.3(c)는 측정점(-14,7,0)에서 구한 온도와 용융비드 크기지수들간의 관계를 나타낸 것으로 다른 두 경우인 Fig.3(a)와 (b)의 결과와 비교할때 매우 선형적인 성질을 가짐을 알수있다. 즉, 온도를 측정하는 위치에 따라서 용접조건에 의해서 유발된 용융비드의 크기지수들의 변화와 측정온도들의 변화간의 관계가 변화함을 알수있다. Fig.4(a)에서 y=7mm에서 용접선과 평행하게 측정점을 변화시킬때 용접토치에서 부터의 거리가 증가함에 따라서 상관관계계수들은 증가하다가 감소한다. 이는 이동열원에 의하여 용접부가 가열되기때문에 열원 뒤쪽부의 온도분포가 보다 높아지고 여기서 용융부가 형성되므로써 용융부의 크기와 표면온도간의 상관관계계수가 더 크게된다. 열원에서의 거리가 멀리 떨어진 곳에서의 측정위치에서는 용융부가 형성되지 않기 때문에 그 상관관계계수가 다시 감소하게 된다. Fig.4(b)는 x=-9mm에서 용접선과 수직방향으로 측정점의 위치를 변화시키면서 구한 상관관계계수들의 변화를 나타낸 것이다. 여기서의 상관관계계수는 용접선에서 부터의 거리가 약 8mm까지는 거의 변화가 없으나 그 이후부터는 급격한 감소가 이루어진다. 이상에서 부터 GMA용접에서 준 정상상태에서의 용융비드의 크기변화를 잘 예측하기 위한 표면온도의 측정에는 용접토치의 진행방향의 반대쪽으로 약 14mm 떨어진 곳에서 용접선에서 부터의 거리가 8mm 이내에서 표면온도의 측정이 이루어져야 함을 알수있다.

4 결론

GMA 용접에서 크기 변화를 실시간으로 모니터링하기 위해서 온도센서를 이용해서 표면온도를 측정하는 방법에 대한 연구를 하였다. 이상의 연구에서 다음과 같은 결론이 가능하였다.

- 1) 적외선 온도 센서를 이용하여 용접부의 표면온도를 측정할때에 발생하는 아크 광의 영향은 표면에서의 방사에너지에 포함되어 나타나고, 이는 최저점 감지회로에 의해서 효과적으로 제거되었다.
- 2) 준 정상상태의 측정위치에 따른 상관관계계수를 검증함으로써 공정상의 비선형 요인을 최소화 하는 측정점의 선정이 가능 하였으며 그 측정위치는 $-14\text{mm} < x < -12\text{mm}$, $0 < y < 8\text{mm}$ 이다.

5. 참고문헌

1. Lukens W.E., and Morris R.A.: "Infrared temperature sensing of cooling rates for arc welding control", Welding Journal, Jan., 1982, pp27-33.
2. Kozono Y., Kokura S. and Onuma A.: "Control system of reverse side bead width by surface temperature monitoring of TIG weld", J. of Japan Wel. Soc., Vol. 4 No.2, 1986, pp58-61.

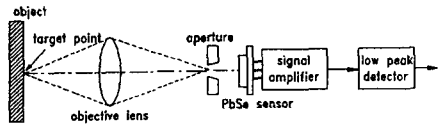
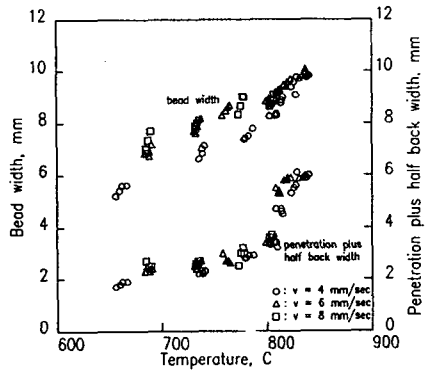
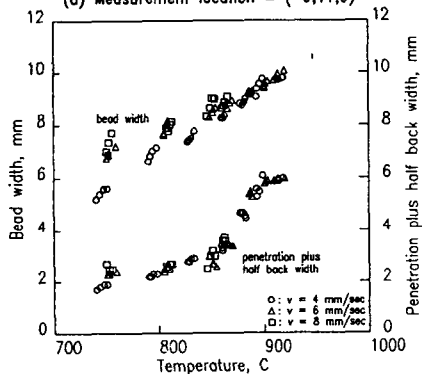


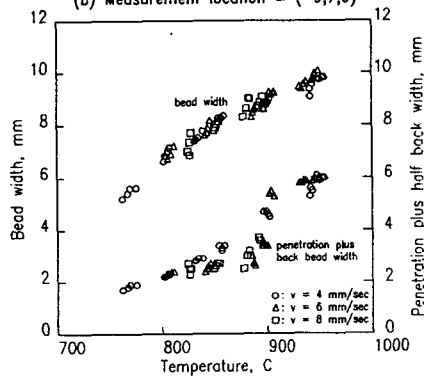
Fig. 1 Schematic diagram of the infrared sensing system



(a) Measurement location = (-9, 11, 0)



(b) Measurement location = (-9, 7, 0)

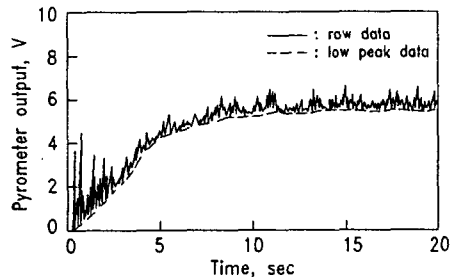


(c) Measurement location = (-14, 7, 0)

Fig. 3 Relationship between the bead sizes and the measured temperature for various measurement locations

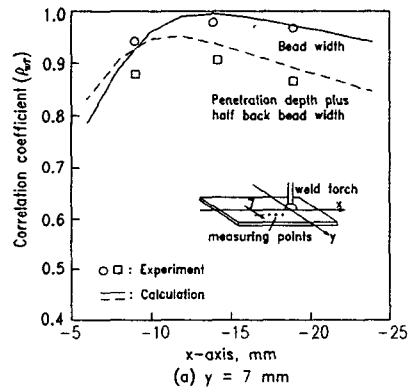


(a) Welding speed=6mm/sec, Heat input=6400W

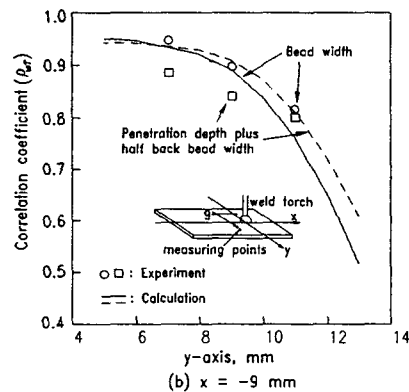


(b) Welding speed=3mm/sec, Heat input=3200W

Fig. 2 Results of the low peak processing



(a) $y = 7$ mm



(b) $x = -9$ mm

Fig. 4 Correlation coefficients for various measurement locations