

다중회귀분석을 이용한 CO₂레이저 모니터링 및 비드예측에 관한 연구 Development of Monitoring System in CO₂ Laser Welding

박현성*, 이세현**, 엄기원**

*한양대학교 정밀기계공학과 대학원

**한양대학교 기계공학부

1. 서론

최근에 레이저를 이용하여 고속, 대량으로 용접을 하는 경우, 용접 품질을 확보하는 것이 중요하며, 레이저 용접 품질 검사 방법이 계속적으로 연구되고 있다. 특히 자동차용 테일러드 블랭크(tailored blank)와 같이 CO₂ 레이저를 사용하여 고속으로 용접을 하는 경우, 판재로 사용되는 박판의 상태, 레이저 출력, 보조가스의 유량, 용접속도등 용접변수들의 변화에 의해 용접비드의 형상과 크기가 변화할 수 있으며, 이것이 용접 결함으로 작용하게 된다. 또한 대량생산 체제로 돌입하게 되면, 약간의 용접변수 변화는 불연속적인 비드 형상을 발생시키게 되고, 그로 말미암아 용접부의 강도가 변하게 되지만 이를 육안으로 관측하기는 매우 어렵다. 따라서 레이저 용접을 하면서 발생하는 용접부의 비드 형상을 실시간으로 검출해 내어야만 계속되는 불연속 비드의 발생을 막을 수 있으며, 재료의 손실을 줄이고, 우수한 품질을 얻을 수 있다. 그러므로 비드의 형상을 실시간으로 검출해낼 수 있는 용접 비드 예측 시스템이 요구되고 있다.

Chen¹⁾은 용접부에서 나오는 자외선 신호와 적외선 신호를 동시에 계측하여 용접품질을 판단하였으며, 레이저출력, 보조가스, 용접속도 등을 변화시켜 이에 따른 신호의 거동도 연구하였다. 또한 Miyamoto²⁾은 최대 파장감도가 적외선 파장대(950nm)인 포토 다이오드(photodiode) 두개를 각도를 다르게 하여 플라즈마를 계측한 후 용접품을 판단하는 연구를 진행시켜 왔다.

레이저 용접의 경우, 현재까지 용접 비드의 형상을 예측하는 연구가 부족하여 용접품을 모니터링 하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 자동차용 아연도금 강판의 용접시 포토다이오드를 사용하여 용접속도, 레이저 출력 등의 용접변수 변화에 따른 플라즈마와 스펙터를 측정, 그 신호들을 체계적으로 분석하며, 이를 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 사용하여 용접 비드 형상을 정량적으로 예측하는 시스템을 구현하고자 한다.

2. 플라즈마와 스펙터의 계측

레이저 용접시 발생하는 자외선 영역의 광신호는 플라즈마의 변화에 대한 정보를 갖고 있으며, 적외선 영역의 광신호는 스펙터의 발생을 나타내게 된다. 센서로 사용한 포토 다이오드는 들어오는 빛의 세기에 따라 전류가 변하게 되며, 변화하는 전류를 전압신호로 변환, 증폭하여 빛의 세기를 알아내게 된다. 한편, 포토 다이오드는 모든 빛에 대하여 동일하게 반응하는 것이 아니라, 특정 파장대의 빛에 반응하게 되므로 적절한 파장범위의 포토 다이오드를 선택하여 플라즈마 혹은 스펙터 광의 세기를 측정하게 된다. 한편 측정 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다.

3. 신호와 용입형상의 변화

용접조건이 바뀌면 입열량이 변화하게 되고, 이로 말미암아 플라즈마와 스펙터의 신호는 신호의 DC성분의 평균뿐만 아니라 AC성분까지도 변화함을 알 수 있으며, 이들이 용접비드의 형상을 결정짓는 독립변수라고 할 수 있다.

UV2와 IR센서의 신호는 용접속도 9m/min에서4m/min까지는 증가하다가 3m/min이 되면 갑

자기 감소함을 볼 수 있다. 이는 키폴의 영향임을 알 수 있다. 용입깊이는 속도가 작아짐에 따라 선형적으로 커짐을 알 수 있고, 비드폭은 커지다가 완전용입시 작아지는 비선형적인 형태로서, UV2나 IR의 신호패턴과 유사하다.

4. 다중회귀분석

UV1, UV2, IR신호와 용입깊이, 비드폭과는 선형 혹은 비선형의 복잡한 관계를 갖고 있다. 따라서 이 신호를 이용하여 용입깊이와 비드폭을 예측하기 위해서는 통계적인 방법인 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 통하여 체계적으로 분석하여 회귀 모델을 만들었다. 회귀분석에 사용하는 독립변수로는 신호의 DC성분 평균과 AC성분을 나타내는 신호의 표준편차를 사용한다. 본 회귀분석은 상용 통계 프로그램인 SPSS를 사용하였다.

용접조건에 대해서 각 신호들과 용입깊이, 비드폭의 공상관관계를 구하여 전용접조건, 부분용입시, 완전용입시의 신호에 대한 회귀 모델을 구해보면 다음과 같다.

전용접조건

$$P = 0.363 \cdot U_2^{1.076} \cdot I^{-1.153} \quad (1)$$

$$W = 0.549 \cdot U_1^{-0.159} \cdot U_2^{0.396} \cdot I^{-0.292} \cdot U_{2S}^{0.11} \quad (2)$$

부분용입시

$$P = 1.132 \cdot U_1^{-0.794} \cdot I^{1.063} \cdot U_{IS}^{0.322} \quad (3)$$

$$W = 1.096 + 0.269U_2 - 0.351I \quad (4)$$

완전용입시

$$P = 0.787 \cdot U_2^{0.509} \cdot I^{-1.129} \quad (5)$$

$$W = 0.932 \cdot U_1^{-0.145} \quad (6)$$

전 용접조건에서 부분용입과 완전용입의 공존으로 인한 비선형성으로 인하여 용입깊이의 경우 35%이상의 큰 오차를 갖게 되었으며, 비드폭의 경우에는 10%내외의 오차를 보이게 된다. 실제 비드 형상 예측 시스템으로 구현하기 위해서는 약 5%내외의 오차를 가져야만 타당성이 있는 것으로 간주하므로, 모든 조건에서 동시에 사용할 수 있는 회귀분석 모델을 구현하는 것은 상당히 어렵다. 부분용입과 완전용입을 구분하여 적용할 경우에는 부분용입시 용입깊이를 제외하고는 모두 5%내외의 오차를 가지므로 어느 정도 타당성이 있다고 생각되어진다. 또한 부분용입시의 용입깊이도 수정된 결정계수가 0.929를 나타냄으로 미루어 보아 정확한 비드측정이 이루어지고, 더 많은 분석데이터를 사용한다면, 좀더 정확한 회귀 모델을 구현할 수 있을 것이다. 따라서 퍼지기법등과 같은 판단 알고리즘을 이용하여 부분용입과 완전용입을 구분한 후 이 모델에 적용시킬 경우에는 비교적 정확한 용입형상 예측시스템으로 사용할 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

- 1) H. B. Chen, L. Li, D. J. Brookfield, K. Williams, and W. M. Steen, Laser Process Monitoring with Dual Wavelength Optical Sensors, Proceeding of ICALEO '91, pp. 113-122, (1991)
- 2) K. Mori, H. Sakamoto, and I. Miyamoto, Detection of Weld Defects in Tailored Blanks, 日本溶接學會 論文集, 14(4), pp. 689-693, (1996)

Table 1 Model summary and estimation errors

		Total regression	Partial penetration regression	Full penetration regression
Penetration depth	Adjusted R^2	0.493	0.929	0.773
	Standard error of the estimate	0.4597	0.1373	0.0213
	Error for analysis(%)	36.8	10.3	1.5
	Error for production(%)	38.6	8.0	4.4
Bead width	Adjusted R^2	0.715	0.914	0.526
	Standard error of the estimate	0.1316	0.1235	0.0541
	Error for analysis(%)	9.8	5.8	4.2
	Error for production(%)	10.3	5.0	4.8

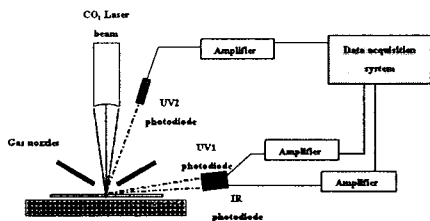


Fig. 1 Schematic diagram of the laser monitoring system

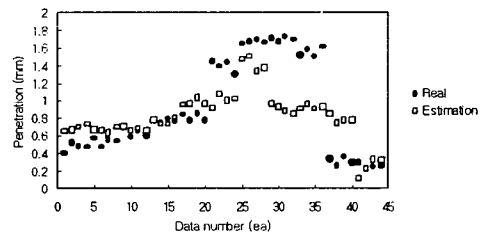


Fig. 2 Estimated penetration depth (total data)

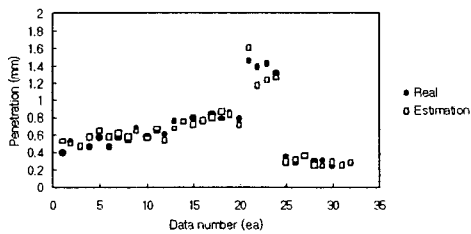


Fig. 3 Estimated penetration depth (partial penetration)

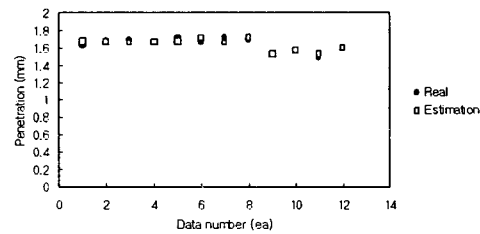


Fig. 4 Estimated penetration depth (full penetration)