

레이저 용접 결합 검출 알고리즘 및 품질 예지 통계 프로그램의 개발

Development of Detecting Algorithm for Laser Weld Defect and Statistical Quality Prediction Program

박 영 환*, 이 세 현**

* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** 한양대학교 기계공학부

1. 서 론

레이저 용접은 고 에너지 빔 용접으로 그 생산성과 용접품질의 우수함 때문에 점차로 그 사용이 확대되어 지고 있다. 자동차 산업을 포함한 생산 공정에서, 이중 두께의 테일러드 블랭크 (Tailored Blanks) 용접 등에서 레이저 용접의 중요성이 날로 커지고 있다. 레이저 용접은 많은 용접변수를 가지고 있다. 레이저의 출력의 변화나 용접속도의 변화, 보조가스의 유량이나 보조가스의 취입방향, 맞대기 용접에서는 모재의 절단 상태등에 의해 용접시 발생하는 플라즈마 용융금속이 많은 영향을 받게 되어 용접부 비드의 형상에 큰 영향을 주게 된다. 레이저 용접이 대량의 생산에 적용될 때, 레이저 용접의 품질 확보와 생산성의 증대를 위해 레이저 용접품을 실시간으로 판단하는 알고리즘 및 시스템의 개발이 필요하다. 또한 이를 통계적으로 처리하여 레이저 용접의 상태 변화를 예측하는 프로그램의 개발의 필요성이 요구되어지고 있다. 레이저 용접의 상태를 모니터링 하는 방법에는 acoustic emission, sound emission, plasma monitoring 등의 방법이 있다. Beyer¹⁾ 등은 레이저 용접 중 발생하는 플라즈마 신호와 sound 신호를 계측하였고, Farson²⁾ 등은 광신호와 음향방사 신호를 계측, 두 신호간의 관계를 규명하였다. Rhee³⁾ 등은 플라즈마와 스패터를 계측하여 용접 비드의 크기를 회귀분석과 신경회로망으로 예측하였고, Miyamoto⁴⁾ 등은 각도가 다른 10개의 UV photodiode를 이용하여 플라즈마를 계측하고, 용입깊이를 예측하는 방정식을 유도하였다.

본 연구에서는 퍼지 패턴인식 알고리즘을 이용하여 레이저 용접 품질을 실시간으로 판단할 수 있는 시스템을 구현하였고, 중앙 통제 시스템을 위한 초기 작업인 용접 결과 및 신호의 변화를 직관적으로 볼 수 있는 통계프로그램과 이를 이용한 용접 결과를 예지할 수 있는 프로그램을 소개하고자 한다.

2. 레이저 용접 모니터링 시스템 및 실험 방법

레이저 용접은 레이저가 시편에 조사됨으로 인해 발생하는 키홀을 이용한 용접이다. 이 키홀은 레이저에 의해 생성되고 소멸되는 플라즈마와 깊은 관계가 있고 이것은 용융 금속과 함께 레이저의 용접 품질을 좌우하는 요소이다. 레이저 용접 시 발생하는 플라즈마와 용융금속을 계측하기 위하여 2가지의 포토다이오드를 사용하였다. 플라즈마의 파장 범위인 190 - 400 nm의 빛을 감지하기 위해 UV 센서가 사용되었고 용융금속을 계측하기 위하여 IR 영역대의 센서를 이용하였다. 이 2가지의 센서를 이용한 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

위의 실험 장치를 이용하여 레이저 용접 변수에 따른 실험을 실행하였다. 우선 레이저 출력과 용접 속도에 따른 신호변화를 계측하였다. 실험방법은 반복이 있는 이원배치법을 이용하였고, 레이저 출력은 4수준 용접 속도는 3수준으로 나누어 실험을 하였다. 또한 노즐의 위치변화에 따른 실험도 수행하였는데, 반복이 있는 일원배치법을 이용하여 노즐의 위치변화에 따른 신호변화를 계측하였다. 두 실험에 사용된 시편은 1.6t, 2.0t 의 이중두께 고장력강을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

계측된 신호를 레이저 출력과 용접 속도에 따라 신호의 평균과 표준 편차를 표시하면 Fig. 2와 같

다. 이것을 전면 비드와 이면 비드에 따라 분산 분석을 수행하였다. 그 결과는 전면비드는 레이저의 출력과 관계가 많고 이면 비드는 용접 속도와 관계가 많음을 알 수 있다. 이것은 키폴의 생성시간과 열전달 그리고 보조가스의 유입량과 관계가 있는 것으로 사려된다. 또한 노즐의 변화에 따른 신호의 변화는 Fig. 3과 같다. 노즐의 변화에 따른 것을 살펴보면 UV1 신호가 가장 잘 표현하고 있는데 이것은 UV1 이 시편위의 플라즈마를 계측하고 있기 때문이다.

4. 레이저 용접 품질 평가 알고리즘

레이저 용접의 신호변화와 용접 조건과의 변화를 이용하여 레이저 용접의 품질을 평가하게 된다. 레이저의 출력과 용접 속도가 적정한 경우는 키폴의 생성이 일정하고 안정되므로 이에 생성되는 신호 역시 일정하고 안정한 신호가 나오게 된다. 그러나 초점이 이탈되거나 노즐의 위치의 변화에 의해 키폴이 안정적으로 생성되지 못하는 경우는 불안정한 신호가 발생되고 나쁜 용접 품질을 갖게 된다. 이런 용접의 품질과 신호와의 관계를 이용하여 레이저 용접 품질 평가 알고리즘 및 시스템을 구현하였다.

레이저 용접 모니터링 알고리즘의 과정은 Fig. 4와 같다. 레이저의 용접에서 발생 될 수 있는 품질을 총 5가지 클래스로 구분하였는데, 적정입열, 약간의 입열부족, 입열부족, 초점 이탈, 노즐이상으로 구분하였다. 이 중 앞의 2개는 양호한 용접으로 뒤의 3개는 불량으로 처리하였다. 기준 신호로부터 현재 용접된 결과와 비교하여 기준 신호의 범위를 넘는 신호의 개수와 기준 신호의 표준 편차와 현재의 표준 편차와의 상대값을 이용하였다. 그리고 퍼지 규칙베이스에 근거한 퍼지 소속함수와 가중치를 적용하여 퍼지 소속도를 구하고, 이중 최고치를 갖는 용접 품질을 최종용접 결과로 선정하였다. 또한 순간적으로 플라즈마의 소멸로 인한 이면 비드가 생성이 안 되는 경우를 UV2 신호를 이용하여 검출해 내는 알고리즘도 구현하였다.

이 알고리즘을 이용한 프로그램은 Fig. 5와 같다. 적정 입열의 예로서 계측된 신호가 기준신호 내에 있어 기준 신호를 벗어난 신호가 적음을 알 수 있다. 또한 신호변화도 적음을 알 수 있는데 이것은 키폴의 생성이 안정적이라는 것을 의미한다. 그러므로 각 용접 품질의 소속도 함수는 적정입열의 소속도 함수가 가장 크고, 그러므로 최종의 용접결과는 양호한 것으로 판단하였다.

Fig. 6은 용접 예지 프로그램의 예이다. 과거에 나타난 용접 결과를 비교하여 앞으로 일어날 용접의 결과를 예상하여 이것을 막을 수 있도록 하고, 현재 수행되고 있는 용접의 경향이 어떤 방향으로 흐르고 있는 지를 파악하여 재료의 손실이나 불량한 용접의 발생을 막기 위한 프로그램이다. 이를 위해 현재로부터 과거 N개까지의 용접 결과를 이용하여 현재의 용접 결과는 큰 소속도를 주고 과거의 결과는 점차로 작은 소속도를 주게 된다. 이것을 앞의 모니터링 알고리즘의 분류에서처럼 각 클래스 별로 합산하여 그 중 가장 큰 것을 예지의 결과로 판단하는 것이다. Fig. 6에서 좌측의 배열은 과거의 용접 결과를 표시한 것이고 오른쪽의 값은 각 클래스별 소속도의 값을 합산한 것이다. 이중 가장 큰 값인 노즐이상을 예지하고 작업자에게 노즐의 위치를 조정하도록 지시를 내리는 것이다.

5. 결론

레이저 용접은 많은 용접 변수에 따라 그 결과가 변하게 된다. 이 연구에서는 레이저 용접시 발생되는 플라즈마와 용융금속을 UV, IR영역대의 포토다이오드를 이용하여 계측하고 용접의 결과와 이 신호 변화와의 관계를 살펴보았다. 이 관계를 이용하여 퍼지 패턴인식 기법을 이용하여 레이저의 용접 품질을 평가하는 알고리즘을 구현하였다. 더 나아가 용접의 결과를 통계적으로 이용하여 앞으로의 용접 결과를 예측 할 수 있는 프로그램을 구현하였다.

참고논문

1. W. Gatzweiler, D. Maischner, and E. Beyer, "On-line Diagnostic for Process control in Welding in CO2 Lasers", High Power CO2 Laser Systeme, & Applications, SPIE 1020, pp.142-148, (1988)

2. F. D. Farson, A. Ali, Y. Sang, "Relationship of Optical and Acoustic Emission to Laser Weld Penetration", *Welding Journal*, Vol 77, No. 4, pp.142s-148s (1998)
3. H. Park, and S. Rhee, "Estimation of Weld Bead Size in CO₂ Laser Welding by using Multiple Regression and Neural Network", *Journal of Laser Applications*, Vol. 11, No. 3, 1999, pp.143-1503.
4. T. Inoue, I. Miyamoto, K. Ono, K. Adachi, and Y. Matsumoto, "In-Process Monitoring of Penetration Depth in 20kW-class CO₂ Laser Welding of Thick Section.", *Proceedings of ICALEO 1999*, Section E, pp.34-42. (1999)

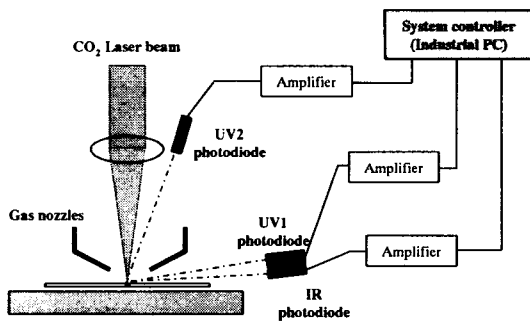


Fig. 1 Schematic diagram of system

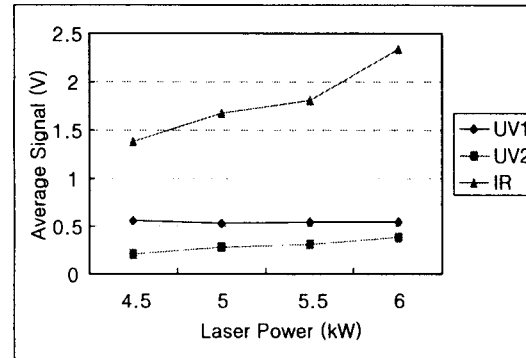


Fig. 2 Average signals of sensors with laser power

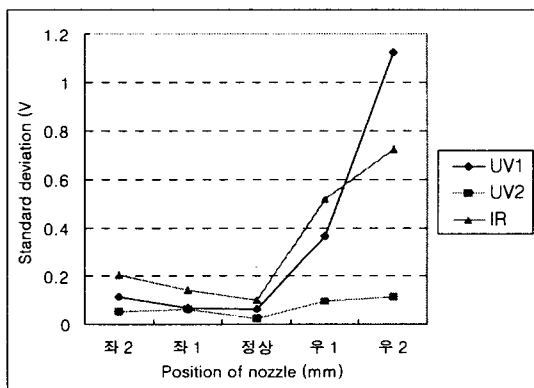


Fig. 3 Standard deviation of sensors with nozzle positions

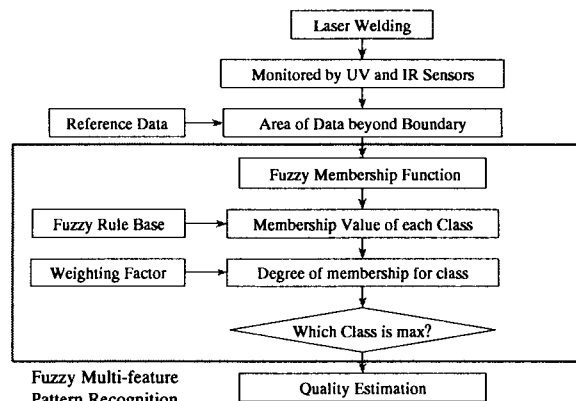


Fig. 4 Process of Laser quality Monitoring Algorithm

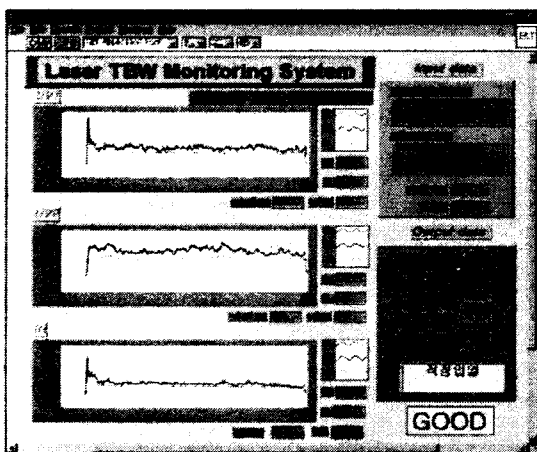


Fig. 5 Example of Monitoring Program

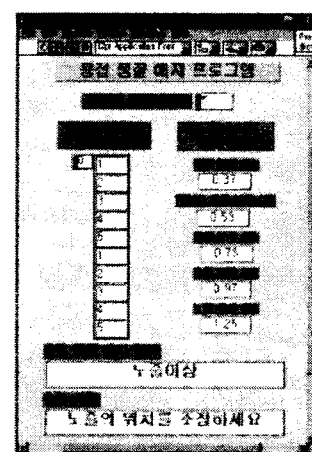


Fig. 6 Example of Weld Quality Prediction Program