

알루미늄 레이저 용접에서 용접 품질 모니터링 시스템의 개발

Development of Monitoring System for Weld Quality in Aluminum Laser Welding

박 영 환*, 김 철 희**, 김 정 한**, 이 세 현***

* 한양대학교 BK21 기계사업단

** 한국생산기술연구원 정밀접합팀

*** 한양대학교 기계공학과

1. 서 론

전 세계적으로 환경 보호의 차원에서 자동차 업체는 자동차의 연비 향상을 위한 차체의 경량화가 큰 이슈로 대두되고 있다. 이를 위해 알루미늄과 같은 경량화 소재를 이용하여 차체 조립에 투입하고자 연구 중에 있다. 또한 고정밀 고품질의 레이저 용접을 경량화 재료의 가공에 적용하여 생산성을 극대화 하고자 노력하고 있다.

경량화 소재인 알루미늄은 용접시 입열의 밀도가 커야 하므로 레이저 용접이 유효하다. 그러나 레이저만을 이용하여 용접하는 경우 용접 후에 용접부의 강도가 모재보가 약화되며¹⁾ 이를 극복하기 위하여 용가 와이어를 이용한 레이저 용접이 제안되고 있다²⁾. 이와 같은 레이저 용접 공정이 현장에 적용되기 위해서는 용접부의 품질을 실시간으로 모니터링하고 품질을 판단하여야 생산성을 극대화 할 수 있다. 이에 따라 많은 연구자들이 레이저 용접의 용접 모니터링의 기법을 제시하였다. 일반적인 모니터링 방법으로는 레이저 용접시 발생하는 음향방출, 소리, 광신호와 같은 신호를 계측하여³⁾ 다양한 알고리즘을 이용하여 용접부 품질을 판단하는 기술이 개발되었다⁴⁾.

본 연구에서는 알루미늄 AA5182 알루미늄 판재의 용가 와이어를 이용한 레이저 용접에서 용접부를 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 그리고 이것을 인공 신경망 모델과 퍼지 패턴인식 기법을 이용하여 품질 판단할 수 있는 알고리즘을 구현하였고, 이를 실시간으로 판단할 수 있도록 컴퓨터 프로그램으로 구현하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치 및 조건

알루미늄 레이저 용접을 수행하기 위한 시스템과 모니터링 시스템의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험에 사용된 레이저는 4kW급 Nd:YAG 레이저로 TEM₀₀ 모드를 사용하였다. 발전기의 출력 방법은 연속파 출력으로 실험을 수행하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 레이저는 직각으로부터 18°를 기울였다. 이것은 레이저가 알루미늄 판재에 조사될 때, 반사된 빛에 의해 레이저 발전시 시스템이 손상되는 것을 방지하기 위해서였다. 보호가스는 아르곤(Ar) 가스를 사용하였다. 실험에 사용된 판재는 AA5182 1.4t이고 용가 와이어는 AA5356 와이어였다.

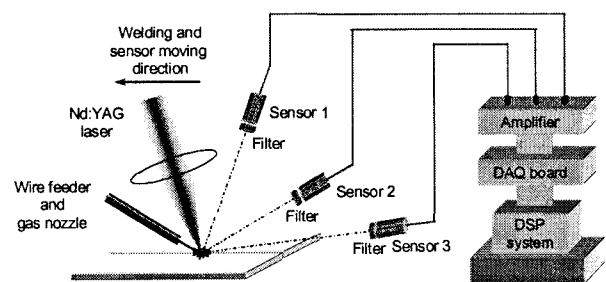


Fig. 1 Laser welding and monitoring system

용접부 모니터링을 위한 센서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 3개가 사용되었다. 각도가 낮은 센서는 시편위에 생기는 플라즈마를 계측하기 위한 것이고, 각도가 높은 센서는 키홀 내에 생기는 플라즈마를 계측하기 위한 것이다. 발생하는 플라즈마의 광 강도가 용접 조건에 따라 달라지므로 이를 보상하기 위하여 센서 앞에 ND 필터를 사용하였다. 센서의 반응 범위는 190 nm~

680 nm이고 최대 반응 파장은 610 nm 이다. 센서로부터 계속된 신호는 증폭기를 거쳐 DAQ 보드를 통해 초당 10,000 samples/sec 로 컴퓨터로 입력된다.

레이저 용접에서 모니터링을 위한 실험은 삼원배치법을 이용하였고 공정변수로는 레이저 출력과 와이어 송급속도를 선택 하였다. 레이저 출력은 4, 3.5, 3 kW, 용가와이어의 송급속도는 2, 3, 4 m/min 으로 설정하였다. 반복 회수는 3회로 총 실험회수는 27회였다.

2.2 실험결과

각 용접 조건에서 센서의 평균값을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, 레이저의 출력이 커짐에 따라 각 센서로부터 얻는 센서의 광강도가 커지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 와이어 송급속도에 있어서는 다른 양상을 보여주고 있다. 다시 말하면, 용접입열이 충분하여 용가 와이어와 모재를 모두 녹일 수 있는 영역에 대해서는 용가 와이어의 양이 많아질수록 신호의 평균값이 커진다. 그러나 용접 입열이 충분하지 않는 영역에 대해서는 용가 와이어의 공급량이 많아질수록 플라즈마의 광강도가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이것은 결과적으로 용접부의 용입 깊이에 크게 영향을 주며 용접 강도에도 크게 영향을 주게 된다.

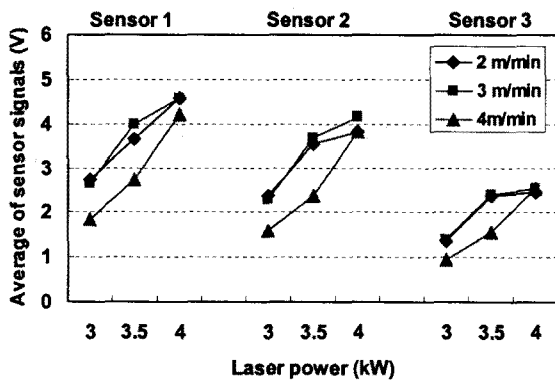


Fig. 2 Experimental results

3. 품질 판단 알고리즘

이 신호와 용접 품질은 비선형적 관계를 가지고 있으므로 본 연구에서는 용접 품질을 예측하는 방법으로 퍼지 패턴인식 알고리즘과 계속신

호를 이용한 인장강도 예측모델을 이용하여 품질 평가 알고리즘을 구현하였다. 이 알고리즘의 과정은 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 품질판단 알고리즘은 2개의 품질판단 방법을 병렬로 연결하여 2개 중 1개라도 불량이면 불량으로 처리하는 알고리즘을 구성하였다.

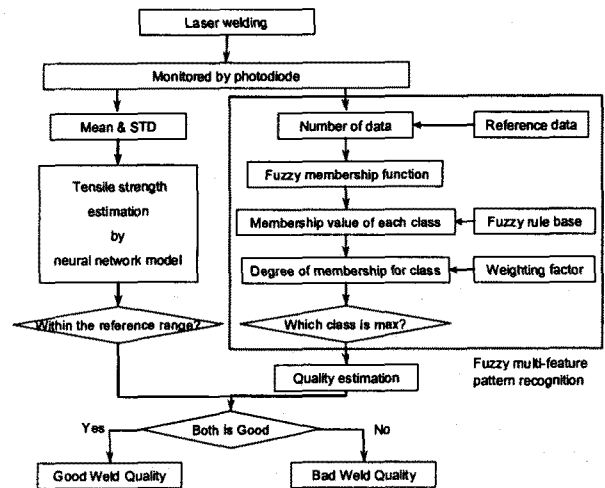


Fig. 3 Algorithm for quality prediction

레이저 용접에서 발생하는 플라즈마의 광신호를 계속하여 용접부의 인장강도를 예측하기 위해 학습의 능력을 갖춘 신경회로망을 이용하였다. 구성된 모델은 1개의 입력층, 2개의 은닉층 그리고 출력층로 구성되어 있으며 각각의 층에는 6개, 7개, 5개, 1개의 노드를 가지고 있다. 입력으로는 각 센서의 평균과 표준편차 값이고 출력은 인장강도 값으로 설정하였다. 예측모델의 결정계수는 0.9967이고, 평균 오차율은 0.008로 신경망 모델이 정량적으로 예측 성능이 우수함을 알 수 있다.

실험 결과와 기존의 모니터링 관련 연구 결과를 이용하여 레이저 용접의 품질을 Class I, Class II, Class III, 그리고 Class IV로 분류하였다. Class I은 용접 인장강도가 모재 강도 이상이 나오는 경우이다. 이 경우 아주 좋은 용접 품질을 나타내는 것이라고 할 수 있다. Class II는 모재강도 보다는 적게 나오나 ISO에서 제시한 AA 5182판재의 요구 강도 이상으로 나오는 경우이다. Class III의 경우는 AA5182판재의 요구 강도 이하로 강도가 나오는 경우이다. 기존의 연구 결과에 의하면 보호가스 유량이 적거나 없는 경우 모재 강도보다 낮은 강도가 측정되었다. 이 경우 전체 신호가 매우 크다. 이

런 경우의 용접 품질은 Class IV로 분류하였다. 이들 인자와 용접 품질과의 관계를 이용하여 규칙 베이스 (rule base)를 Table 1과 같이 정의하였다.

Table 1 Fuzzy rule base

	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3	
	L	U	L	U	L	U
Class I	M	S	M	S	M	S
Class II	S	M	S	M	S	M
Class III	S	B	S	B	S	B
Class IV	B	S	B	S	B	S

퍼지 패턴인식 알고리즘을 용접의 품질판단에 이용하기 위해서는 퍼지 소속함수와 기준신호를 정의하여야 한다. 기준신호는 레이저 출력 4 kW, 와이어 송급속도 2 m/min의 계측신호를 이용하여 0.6 과 1.4를 곱하여 만들었다 퍼지 소속함수는 기준 신호를 기준으로 하여 각 용접 조건에서 센서 신호가 기준신호를 이탈하는 개수와 퍼지 규칙베이스간의 상관관계를 통하여 S, M, B의 퍼지 소속함수를 정의하였다. Table 1에서 L과 U는 기준 신호의 상한과 하한 한계를 넘는 데이터의 개수에 대한 소속함수를 의미한다.

소속함수로부터 각 Class 별 소속도를 구하게 된다. 소속도는 소속함수의 값에 가중치를 주어 각 Class에 따른 소속도 값을 구하게 되고, 이 중 가장 큰 소속도를 갖는 Class를 최종의 소속도로 결정한다.

신경망 모델을 통해 얻어진 예측된 인장강도가 255 N/mm² 이상이며, 패턴인식 알고리즘을 통해 얻어진 최종 Class가 I, II 인 경우, 최종의 용접 품질은 양호로 판단하며, 그렇지 않은 경우는 모두 불량으로 처리한다.

4. 모니터링 프로그램

앞장의 퍼지 패턴인식 방법과 신경망 모델을 이용한 알고리즘을 기반으로 레이저 용접부의 품질평가 프로그램을 구성하였다.

Fig. 4는 품질판단 프로그램의 예이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 센서에서 받은 신호에서 가운데 선은 센서의 계측신호이고 나머지 두 신호는 기준 신호의 상과 하한선을 의미한다. Strength Estimation과 Index of Class는 품질판

단 알고리즘을 통해 얻은 결과 값을 나타낸다. 이 두 값이 모두 양호인 경우 용접품질이 Good으로 그렇지 않은 경우는 Bad로 판단한다.

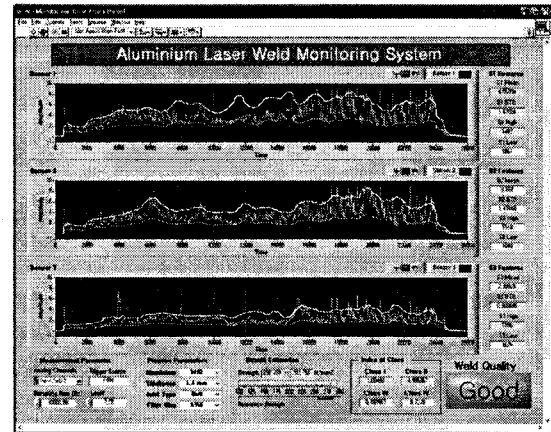


Fig. 4 Example of monitoring program

5. 결 론

본 논문에 대한 결론은 다음과 같다

- 1) 알루미늄 레이저 용접에서 모니터링 할 수 있는 시스템을 구성하여 각 용접조건 별로 신호를 계측하여 분석하였다.
- 2) 이를 기반으로 용접부의 품질을 판단할 수 있는 알고리즘을 신경망 모델과 퍼지 패턴인식 기법을 이용하여 구현하였고, 이를 프로그래밍하였다.

참 고 문 헌

1. M. Pastor, H. Zhao, R. P. Martukanitz, and T. Debroy : Porosity, Underfill and Magnesium Loss during Continuous Wave Nd:YAG Laser Welding of Thin Plates of Aluminum Alloys 5182 and 5754, Welding Journal, 78-6 (1999), 207s-216s.
2. J. W. Yoon, Y. S. Lee, K. D. Lee, and K. Y. Park : Effect of Filler Wire Composition on the Solidification Cracking of 6061 Aluminum Alloy Laser Aelds, Proceedings of the 2003 Fall Annual Meetings of KWS, 41 (2003), 98-100
3. A. Sun and E. Kannatey-Asibu, Jr. : Sensor System for Real-time Monitoring of Laser Weld Quality, Journal of Laser Applications, 11-4 (2001), 153-168.
4. Y. W. Park, H. Park, S. Rhee, and M. Kang : Real Time Rstimation of CO₂ Laser Weld Quality for Automotive Industry, Optics and Laser Technology, 34-2 (2002), 135-142.