

# 레이저 용접 품질 모니터링

## Laser Welding Quality Monitoring

\*\*강희신<sup>1</sup>, 서정<sup>1</sup>, 김정오<sup>1</sup>, 윤충섭<sup>2</sup>, 조택동<sup>3</sup>

\*H. S. Kang(khs@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, J. Suh<sup>1</sup>, J. O. Kim<sup>1</sup>, C. S. Yoon<sup>2</sup> and T. D. Cho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 정보장비센터, <sup>2</sup>한밭대학교 생산가공공학과, <sup>3</sup>충남대학교 기계설계공학과

Key words : laser, welding, quality, monitoring , inspect, defect

### 1. 서론

레이저 용접은 용접부의 비드폭이 좁으며, 또한 단시간에 급속한 열 방출 및 빛 반사가 수반되어 작업자가 육안으로 관찰시 설명의 위험이 있다. 또한 고속의 자동화된 레이저 용접 시스템은 고속으로 용접이 수행되어서 용접 중 작업자가 실시간으로 품질을 모니터링하는 것은 쉽지 않다. 따라서 레이저 용접 공정 중 실시간으로 용접 품질을 확인하려면 용접 품질을 실시간 모니터링할 수 있는 시스템을 필요하다. 이러한 이유로 용접 품질 모니터링에 관한 연구를 수행하였고 용접 품질 모니터링 시스템을 적용하면 제품의 품질을 정량적으로 평가하고 자동으로 제품의 양성 여부를 분류할 수 있다. 또한, 작업의 효율을 높일 수 있고 전체 작업 공정의 생산성 향상을 가져올 수 있다.

생산 현장에서 레이저 용접 품질을 모니터링할 수 있는 기술들을 살펴 보면 주로 레이저 유도 플라즈마 광 측정<sup>1</sup>, 음향 신호 측정<sup>2,3</sup>, 레이저의 반사광 강도 측정<sup>4</sup> 플라즈마 전계 강도 측정<sup>5</sup> 등에 대한 연구가 수행되어 왔다. 특히 레이저 유도 플라즈마 광 측정은 측정 장치의 단순성과 용접 조건과의 상관성이 뛰어나 많은 연구가 이루어졌으나, 주로 관제를 이용하여 연구가 이루어졌다. 따라서, 본 연구에서는 레이저 용접 시 발생하는 플라즈마 광을 측정하여 용접부의 양성 여부를 판단할 수 있는 품질 측정에 관해 연구를 하였다.

### 2. 실험방법

금속 표면상에 고출력 레이저를 조사하는 경우, 고밀도의 레이저 빔에 의하여 중심부 구역에서는 금속의 증발이 일어나고, 그 외곽지역에서는 용융이 일어난다. 중심부의 큰 증기압은 용융금속을 레이저 빔이 조사되는 중심부 구역으로부터 바깥쪽으로 밀어내게 된다. 이로 인해 재료 내부에는 좁고 깊은 형상의 구멍이 생기게 되는데 이를 키홀(keyhole)이라 한다. 키홀이 형성되면, 키홀 내의 레이저 빔이 난반사가 일어나서 재료는 더 많은 에너지를 흡수한다. 용융된 금속은 기화하여 플라즈마를 형성하게 되고 이것은 레이저 빔이 키홀 내로 들어가는 것을 방해하게 된다. 레이저 빔이 지나가면 키홀 내에서는 용융된 금속이 다시 키홀을 메우면서 용접의 과정이 수행된다. 그러므로 레이저 용접에서 키홀의 형성과 플라즈마의 생성, 용융금속의 유동은 용접 품질에 큰 영향을 주게 된다. 또한, 적절한 광센서의 사용으로 이를 계측하면 용접부에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다.

대기압보다 높은 압력에서 플라즈마는 전기적으로 준중성이고, 국부적으로 열평형 상태에 있다. 레이저 용접에서는 단면의 위치에 따라 온도가 다르기 때문에 열평형 상태는 아니지만 한정된 작은 부분에서는 전자, 이온, 중성 입자들 간에 존재하는 열평형이 있어 이를 국부적 열평형 상태(local thermal equilibrium, LTE)에 있다고 한다. 레이저 용접 시 발생하는 플라즈마는 이와 같은 국부적 열평형 상태에 있다고 알려져 왔고, 이 경우에 흑체의 스펙트럼 방출과 유사하다.

검출되는 신호 중 비교적 일정한 주기를 가지는 신호는 재료의 용융 및 응고 과정에서 발생하는 신호와 키홀 생성

및 소멸 시 발생하는 신호로 양분할 수 있으며 전자는 IR 센서로 측정하고 후자는 UV 센서를 이용하여 신호를 검출하였다.

레이저 용접 시 플라즈마를 이용한 용접 품질 모니터링을 위해서는 먼저 용접부의 불량 여부를 판단하기 위해 플라즈마 강도의 초기 기준값을 설정하여야 한다. 여러 번 같은 용접조건에서 반복 실험을 한 후 용접결함이 없는 시편들 중 얻어진 신호를 평균화하여 초기 기준값을 설정한다. 용접 중 발생하는 플라즈마 강도가 기준값을 기준으로 최대 및 최소값 영역 내부에 존재하면 양호한 용접이며 실시간으로 용접자가 모니터 상의 데이터를 확인함으로써 용접품의 양성 여부를 결정할 수 있다.

실험장치는 Fig. 1과 같이 4kW급 Nd:YAG 레이저 및 용접지그와의 인터페이스를 토대로 레이저 용접 시스템을 구축하고, 레이저 용접 시스템에 대한 기초 성능시험 및 평가를 실시하였다. 레이저 발전기는 TRUMPF사의 4kW급 Nd:YAG(HL 4006D) 시스템이다.

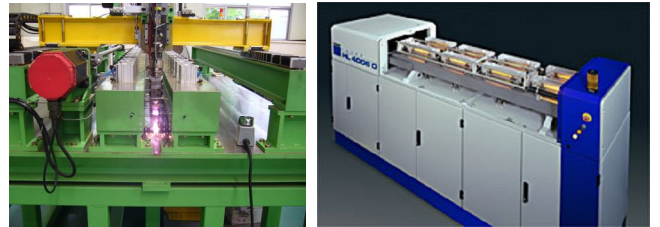


Fig. 1 Laser welding system

본 연구에서 Nd:YAG 레이저의 플라즈마를 측정하기 위하여 플라즈마 측정기를 사용하였다. 레이저 파워가 60W, 250W, 4kW 인 Nd:YAG 레이저를 이용해서 실험했으며 시편은 일반 스테인리스와 자동차용 강판을 사용하여 용접 시 발생하는 플라즈마의 특성을 조사하였다. Fig. 2에서 플라즈마 측정 시스템의 제어기를 볼 수 있으며 플라즈마 감지 센서는 UV와 IR 센서를 사용하였다. 센서로부터 얻은 신호를 처리하는 계측기는 마이콤을 이용하여 소형으로 모듈화 하였다. 임베디드 정수형 DSP로 모니터링 시스템을 구축하였으며, 신호해석을 DSP에서 실시간으로 처리할 수 있도록 하였고, 그 결과를 산업용 통신선을 통하여 데이터를 주고받을 수 있도록 분산 모니터링 시스템을 구현하였다. 또한 원활한 신호 알고리즘 개발을 위해 모니터링 시스템과 PC와의 데이터를 고속으로 주고받을 수 있는 USB 포트를 추가하였다.

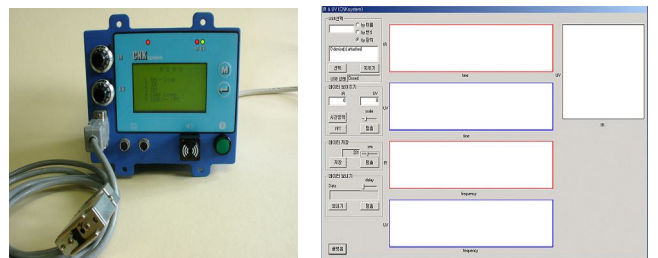


Fig. 2 Plasma detecting system

### 3. 실험결과

Fig. 3은 레이저 용접 시스템을 이용하여 플라즈마 측정 실험을 한 용접시편의 사진이다. 먼저 강관에 세 개의 구멍을 가공하여 기계가공 결함으로 인하여 플라즈마가 발생하지 않는 결함 부분을 감지할 수 있는지 확인하고자 하였고 철사를 두 개를 부착하여 레이저 초점거리 변화에 의한 플라즈마의 발생변화를 감지할 수 있는지를 확인하고자 하였다. Fig. 3의 시편에 적용한 용접조건은 레이저 출력이 3kW이고 용접속도는 3m/min로 하여 실험을 수행하였다. 시편에 같은 조건으로 5번의 실험을 수행하였으며 시편 상에 표시된 두 개의 화살표는 용접 실험 진행 순서를 보여준다. 오른쪽 사진은 용접 실험을 한 후 시편에 있는 구멍과 철사 부위의 확대 사진이다. 구멍 부위에서 용융부가 소멸했다 다시 생성된 것을 확인할 수 있고 철사 위를 레이저 빔이 지나가는 구간에서는 용접조건이 변화되어 용융부가 일정하지 않음을 확인할 수 있었다.



Fig. 3 Laser welding specimens

레이저 용접 중 여러 가지 원인에 의해 용접부가 일부 접합 안 되는 불량 발생할 수 있다. Fig. 4는 이러한 용접 불량을 정확히 발견할 수 있는지 시스템을 검증하기 위해 시편 용접부에 임의로 구멍과 철사를 발생시킨 후 용접 중 발생하는 플라즈마 신호를 검출하여 도표로 나타낸 것이다. 선도에서 파란 원으로 표시된 부분은 시편의 구멍 위치에서 발생한 파형이 된다. 파형을 분석해 보면 플라즈마가 소멸되면서 검은색의 UV 신호가 급감하고 온도를 나타내는 IR 신호가 소멸되었다. 이와 달리 철사가 위치한 부분에서는 플라즈마가 급격히 소멸 및 증가가 발생했으나 온도 관련한 IR 신호는 유지되고 있다. 초점거리의 변화로 플라즈마의 발생 양은 변화하지만 소멸되지 않고 플라즈마의 발생은 계속되고 있음을 선도로부터 확인할 수 있었다.

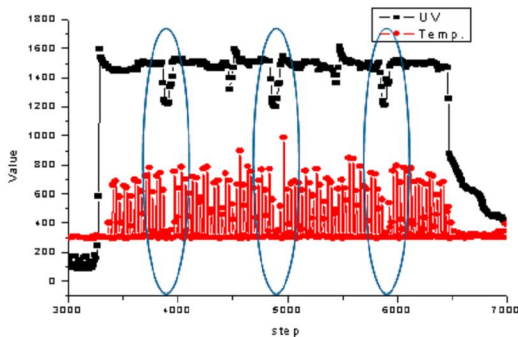


Fig. 4 Graph fo UV and IR sensor signals with defects

### 4. 결론

레이저 및 지그 시스템과의 인터페이싱을 토대로 레이저 용접 시스템을 구축하고, Nd:YAG 레이저 용접 시스템에 대한 기초 실험을 수행한 후 레이저의 용접 중 용접부의 건전성을 판단할

수 있는 품질 모니터링에 관하여 연구하였다.

용접부의 품질을 판정하기 위해 플라즈마 강도 측정법을 사용하였고 플라즈마 신호의 감지센서로 UV와 IR 센서를 사용하였다. Nd:YAG 레이저 용접 실험 중에 발생하는 플라즈마 신호의 강도를 측정하여 양호한 측정 신호를 검출할 수 있었고, 용접 중 발생한 플라즈마 신호로부터 인위적 결함인 구멍과 철사를 감지하여 플라즈마 강도 측정 시스템의 신뢰성을 검증하였다. 또한, 레이저 용접 중 발생하는 플라즈마 신호를 계측한 후 신호 처리를 통해서 품질 모니터링 기법에 관한 연구를 수행하여 레이저 용접 공정 중 실시간으로 용접부의 건전성을 판별할 수 있다는 결론을 얻었다.

레이저 용접 중 발생하는 신호를 계측하고 신호 처리를 통해 용접과정의 현상을 분석하고, 계측신호와 레이저 용접 품질과의 상관관계를 파악함으로써 용접공정 제어의 기반기술을 구축할 수 있었다.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 성장동력사업의 지원을 받아 수행되었고 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Beyer, E., and Abels, P., "Process Monitoring in Laser Materials Processing," Laser Advanced Materials Processing(LAMP92)," pp. 433-438, 1992.
2. 윤충섭, "IR 및 UV센서를 이용한 레이저 용접시의 실시간 모니터링 DSP 시스템," 대한용접학회지, 23권 4호, 53-58, 2005.
3. Li, L., Steen, W. M., "Non-Contact Acoustic Emission Monitoring During Laser Processing," ICALEO '92, Laser Institute of America, pp. 719-728, 1992.
4. Ishide, T. et. al, "High Power YAG Laser Welding and Its In-Process Monitoring Using Optical Fibers," Proc. ECLAT, pp. 183-192, 1994.
5. Watanabe, M., Okado, H., Inoue, T., Nakamura, S. and Matsunawa, A., "Features of Various In-Process Monitoring Methods and Their Applications to Laser Welding," ICALEO '95, Laser Institute of America, 80, pp. 719-728, 1992.