

레이저 용접시 방출되는 광과 음의 스펙트럼 분석

Spectral Analyses of Light and Acoustic Emission in Laser Welding

김 종 도

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

1. 서 언

본 연구는 용접현상의 금속재료학적 측면에서의 실험결과를 바탕으로 하고 있으며, 실시간 레이저 용접시 유기 플라즈마로부터의 발광(light emission: LE)신호와 음향(acoustic emission: AE)신호를 동시계측하여 용접조건에 따른 각 신호의 전파 및 주파수 특성을 비교·분석하였다. 이들의 상관관계를 명확히 함으로써 용접중의 물질수송현상, 용융부 내부에 형성되는 키홀(keyhole)의 동적 거동과 키홀 내의 플라즈마화 여부 및 정성적 온도, 그리고 증발 상황 등의 물리적 현상에 대한 기초적 지견을 갖고자 하였다. 궁극적으로는, 이러한 결과를 기초로 하여 광과 음향신호의 변화에 따른 용접 비드의 단면형상을 검토하여 결함 발생시의 실시간 모니터링 기법에 관한 적용성을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

사용재료는 STS304와 A5083이다. Fig. 1에 본 계측의 모식도를 나타낸다. 유기 플라즈마와 키홀의 이미지를 2대의 고속도 카메라(Max.: 40,500 f/s)로 촬영하고, AE 및 LE 신호를 마이크로폰(주파수 범위: 4~40kHz)과 광다이오드에 의해 각각 계측하였다. 이들 4개의 상황을 전기적으로 동기시켜 용접현상을 고시간 분해능으로 해석하였다.

용융지의 조명용 광원으로서, Ar⁺ 레이저의 514.5nm의 단파장을 이용하고 각각의 집광 광학계에는 간섭필터를 채용하였다. AE 및 LE 신호는 프리앰프로 증폭한 후 분석장치에 의해 100kHz의 데이터 처리속도로 취입, A/D 변환 후 FFT 해석을 행하였다. 사용한 레이저 장치는 최대출력 5.5kW의 CO₂레이저(조점거리: 254mm, 노즐직경: 8mm φ)이다. 본 계측에서는 Ar, N₂ 및 He 실드가스를 사용하였으며, 용접속도를 25~300mm/s로 변화시켜 키홀 용접현상을 해석하였다.

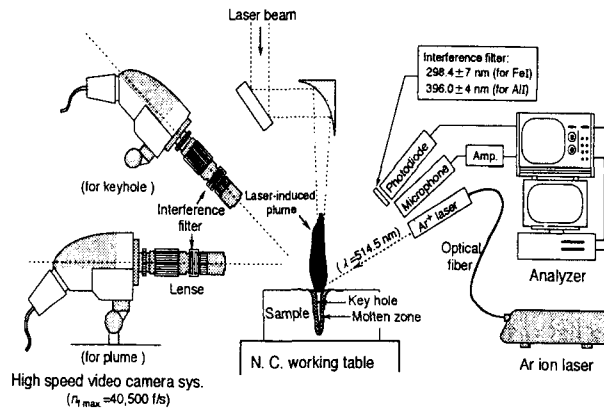


Fig. 1 Schematic set up for high speed video observation of plasma/keyhole and sensing of light/acoustic emission during CO₂ laser welding

3. 실험결과 및 고찰

CW CO₂ 레이저 빔을 펄스화 시켜 용접시료에 조사하고 그때 방출하는 LE와 AE신호의 상관성에 대하여 조사한 결과를 Fig. 2에 나타낸다. 레이저의 조사조건은 레이저 출력(P₁) 5kW, 용접속도(v) 25 mm/s에서 100Hz·듀티 70%의 구형파 펄스를 Ar실드분위기에서 조사하였다. 그림에 도시된 계측시점은 각 펄스가 조사되는 시간을 중심으로 샘플링하였다. AE와 LE의 상관성을 비교·분석하기 위하여 발원지로부터 센싱부까지의 거리에 대하여 각각의 신호가 가지는 전파시간을 보정하였으며, 또한 주변의 노이즈 신호를 계측전 측정하여 보정하였다. AE신호가 LE신호보다 다소 빨리 발생하고, 그 발생초기의 강도는 상당히 높은 부(負)의 피크(peak)를 나타내고 있다. 이것은 레이저가 조사됨에 따라서 모재의 급속한 용융과 증발에 수반하여 플라즈마의 착화현상(着火現象)에 기인하는 것으로 사려된다. 또한 플라즈마 착화 후의 LE와 AE의 거동은 키홀의 불안정한 거동에 수반되는 증발증기의 분출현상에 의하여 발생하는 것으로 추정된다. 즉, LE와 AE 스펙트럼의 시간변화는 키홀 거동을 매우 잘 반영하고 있다고 생각된다.

다음으로, He실드분위기 속에서 CW CO₂ 레이저를 조사하여 용접속도의 변화에 따른 LE와 AE의 주파수 해석결과와 용입깊이와의 상관성에 대하여 비교·검토하였다. LE의 주파수 해석결과의 한 예를 Fig. 3에 나타낸다. 용접속도가 증가하면 용입깊이는 얕게되고 그때의 AE와 LE신호사이에는 상관성이 확인되었다. 주어진 실험결과로부터, 이러한 상관성을 가진 AE 및 LE의 주파수는 용접속도

가 증가할수록 저주파수로부터 고주파수쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 용접부의 용입깊이 감소, 즉 용융부에 형성되는 키홀의 고유 진동수의 증가를 반영하고 있는 것으로 추정된다. 이러한 경향은 Ar 및 N₂실드분위기에서도 동일한 결과가 계속되었다.

레이저 용접현상의 실시간 모니터링으로의 적용성을 평가하기 위해서, Fig. 4(a) 및 (b)의 용접비드 형성조건에서, 용입깊이를 조사함과 동시에 LE와 AE신호의 해석을 행하였다. 그 결과를 Fig. 5에 나타낸다. 불안정한 비드 발생시의 AE 및 LE의 강도변화는 실시간으로 비드의 변동요소를 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. 이 때 ㉠과 ㉡의 용입깊이의 차이는 0.5mm차이에 지나지 않는다. 또한 영역별 LE 및 AE신호의 주파수 해석결과로부터도 용접비드의 변화가 식별될 수 있음을 확인하였다. 즉, 용접중 비드변화와 같은 결함발생시의 실시간 검출은 AE 및 LE의 거동을 비교·분석함으로써 그 해석이 가능함을 시사하고 있다. 이러한 실험결과는 용융부에 형성되는 키홀의 안정화와 유기 플라즈마의 제어입장에서, 방출되는 AE와 LE신호의 상관성을 접목하는 물리적 측면에서 보다 많은 연구가 보완되어야 한다.

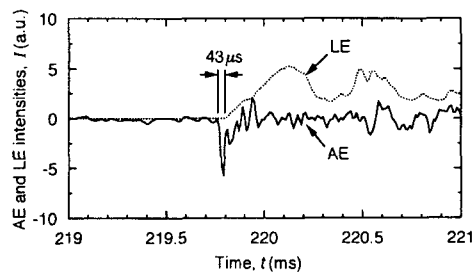


Fig. 2 Comparison of AE and LE near initiation of laser irradiation measured during pulsed CO₂ laser welding of A5083 alloy

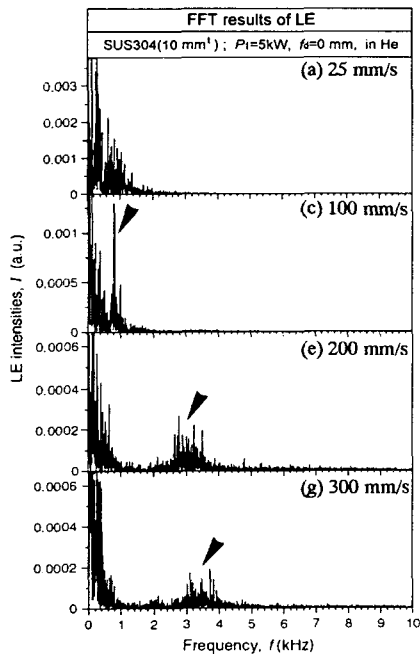


Fig. 3 FFT results of LE signals measured during CO₂ laser welding of STS304 at various welding speeds in He gas.

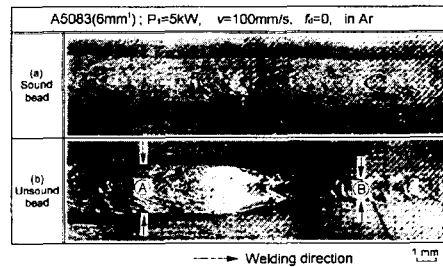


Fig. 4 Examples of sound and unsound CO₂ laser weld beads formed in A5083 alloy.

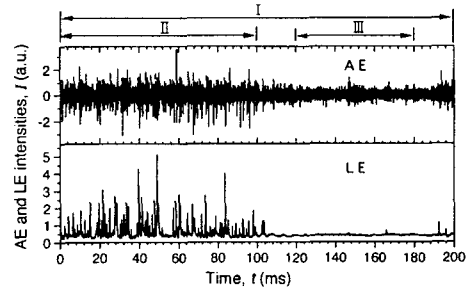


Fig. 5 Raw AE and LE signals measured in Fig. 4(b), showing drastic change in signal intensities after formation of unsound beads.