

레이저 용접에서 음파 및 프라즈마의 신호해석

윤충섭, 박정수*, 김정오, 김인용, 한유희
한국기계연구원 레이저가공연구그룹
* 충남대학교 대학원 기계공학과

1. 서 론

레이저 용접은 레이저 가공기술의 한 분야로 넓은 응용분야를 가지고 있으며, 정밀도가 매우 높고, 자동화가 용이하고, 고속 용접이 가능하여 생산성이 높으며, 고기능 부품가공 등 고도의 기술 활용이 되고 있으며, 그 활용 범위는 계속 확장 추세에 있는 부가가치가 높은 첨단 기술이다. 레이저 용접 자동화를 위하여 필요로 하는 요소 기술중 on-line으로 레이저 용접상태를 monitoring하는 기술이 중요하다. 본 연구에서는 on-line monitoring에서 사용하는 방법중 음파 및 프라즈마의 상호관계를 신호해석을 이용하여 고찰하였다.

2. 배 경

고출력 레이저에서는 단일파장의 집속도가 높은 광자 다발, 즉, 레이저빔을 에너지원으로 사용한다. 그리고, 레이저빔은 거울 및 렌즈에 의해 시편에 높은 에너지 밀도로 집속이 되고, 빛 에너지(photo energy)가 흡수에 의해 열에너지로 전환되어 용접에 이용된다. 이때 집속된 높은 출력 밀도(약 10^5-10^7 W/cm²)로 금속의 표면은 순간적으로 용융 기화 된다. 그리고 그 용융된 금속 표면의 경계면은 시편내부로 이동하며 키홀을 형성한다. 키홀이 형성되면 입사하는 레이저빔의 흡수율은 키홀 내부의 다중반사에 의해서 더욱 증가 한다. 이 때 용융된 금속의 기화로 키홀내부의 압력은 증가하고 금속증기는 압력차에 의해 키홀 외부로 분출된다. 이 금속증기는 레이저빔의 에너지를 흡수하며 이온화하여 시편의 키홀 위에 프라즈마를 형성한다. 그러나 발생한 프라즈마는 레이저빔의 일부를 차단하게 된다. 그러므로 키홀에 입사하는 에너지는 감소한다. 그리고, 용융된 금속의 대류 및 열전도에 의한 온도 감소 및 금속증기의 분출로 키홀 내부의 압력은 떨어지게 보호 가스가 흘러들어 간다. 따라서 금속증기의 분출이 줄고 발생한 프라즈마의 크기도 감소하여 시편에 전달되는 레이저의 에너지는 증가하게 되어 키홀에 의한 레이저 에너지의 흡수과정이 반복하게 된다[1-3].

키홀은 레이저 용접때 시편의 이동에 따라 이동하며 발생된 키홀 및 프라즈마는 레이저 용접에서 레이저 에너지가 시편에 전달되는 과정에 있어서 중요한 매개역할을 하는 것으로 알려져 있다. 키홀의 동적 운동에 대한 도식적 설명은 그림 1과 같다[3]. 레이저 용접을 on-line 으로 monitoring 하기 위하여는 키홀의 동적인 변화를 관찰하는 것이 중요하다. 이러한 키홀의 동적인 변화와 관계하여 관측이 용이한 신호는 레이저 용접에서 발생하는 음파와 프라즈마에서 방출되는 빛이다. 음파신호는 금속 표면에서 프라즈마의 밀도 변화에 기인하는 것이라고 알려져 있다[1-3].

3. 실험 방법

전체적인 실험에 대한 개괄도는 그림 1(a)에 도식하였다. 용접에 사용한 레이저는 RofinSinar의 4kW cw CO₂ 레이저이고 음파를 검출하기 위하여 주파수 범위가 50-13,000Hz인 마이크로폰을 사용하였고, 프라즈마는 photodiode 앞에 500nm의 파장영역대를 통과하는 렌즈를 사용하여 검출하였다. 40kHz의 sampling rate로 음파 및 프라즈마의 신호를 동시에 얻도록 하였다. 이는 음파와 프라즈마 사이의 지연을 없애도록 하기 위함이다. 사용된 시편은 이중두께[그림 1(b)]로 자동차 구조용 열간 압연 강판(SAPH 45)을 사용하였다. 시편 S1의 용접 조건: laser power = 4kW, speed = 3m/min. 시편 S2의 용접조건: laser power = 3kW, speed = 3m/min. Ar 을 보호 가스로 사용하였고 flow rate는 30 l/min이다. 초점은 두꺼운 시편에서 아래쪽으로 설정하였다. 용접결과는 시편 S1의 경우 완전용입을 보여 주는 반면 S2의 경우 대체적으로 부분용입

음 보였다[그림 2].

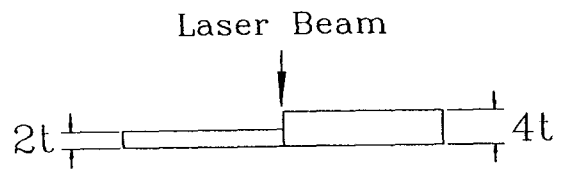
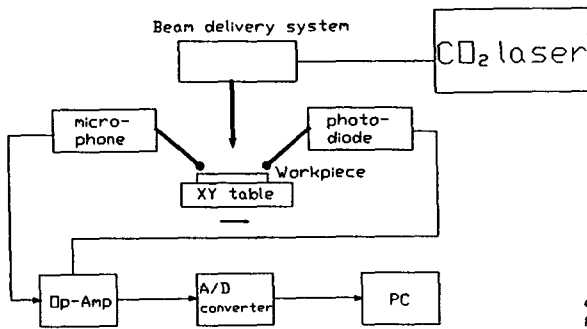


그림 1(a) On-line process monitoring
실험 개괄도

(b) 시편

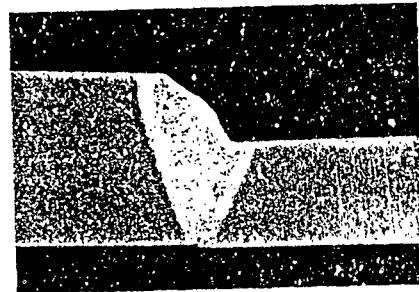
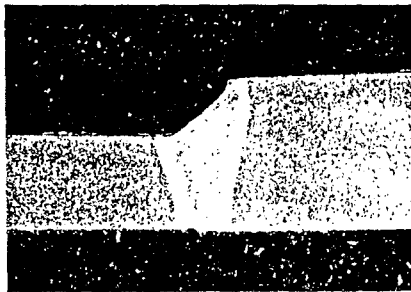


그림 2(a) 시편 S1

(b) 시편 S2

4. 음파 및 플라즈마의 신호해석

용접때 발생하는 음파 및 플라즈마는 각각 그림 3(a)와 3(b)와 같다. 그 특징을 보면 특정 주기를 갖는 지배적인 신호가 없고, 또한 신호의 크기에서도 뚜렷한 변화를 찾아보기가 힘들다(용입 깊이에 대한 음파의 변화[4]). 이는 S1과 S2의 용접결과로서 설명할 수 있는데, S2는 S1보다 충분한 Back bead을 가지고 있지 않지만, 거의 같은 용접결과를 가지고 있다.

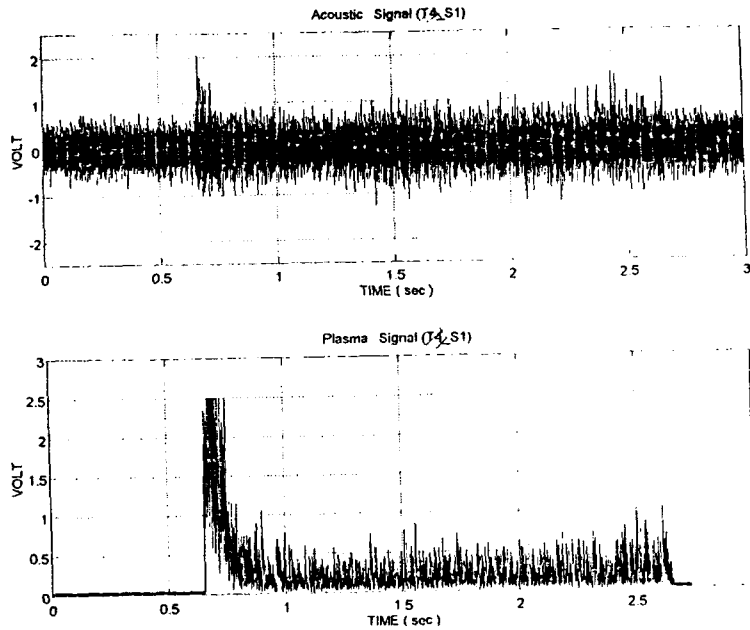


그림 3(a) 시편 S1의 음파 및 프라즈마신호

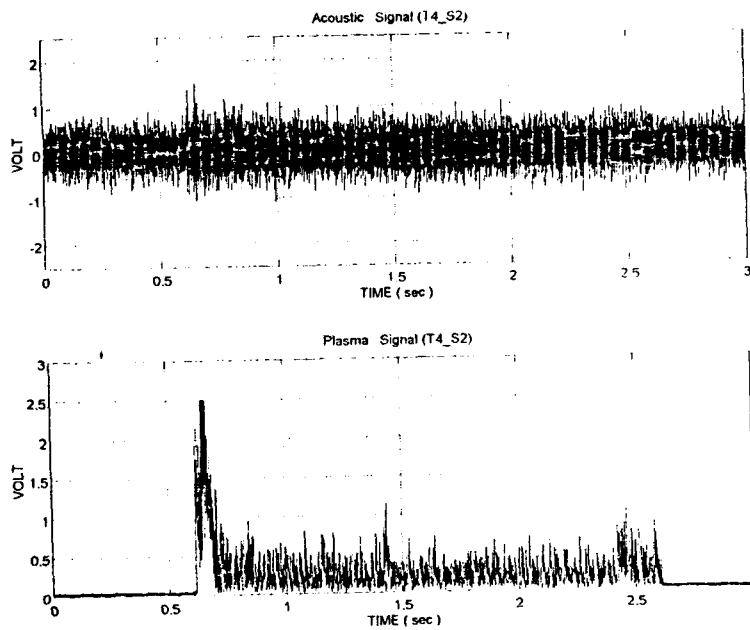


그림 3(b) 시편 S2의 음파 및 프라즈마의 신호

음파 및 프라즈마의 신호의 특성을 이해하기 위하여 auto-correlation, 음파와 프라즈마의 cross-correlation을 Matlab Software를 이용하여 구했다. 그림 3에서 1초, 1.5초, 2초을 기준으로 200개의 데이터를 취하여 auto-correlation 및 cross-correlation을 구하였다. 그림 4는 시편 S1에 대한 결과를 보여 준다. 그림 5는 보호가스의 FFT 결과 및 auto-correlation을 나타낸다.

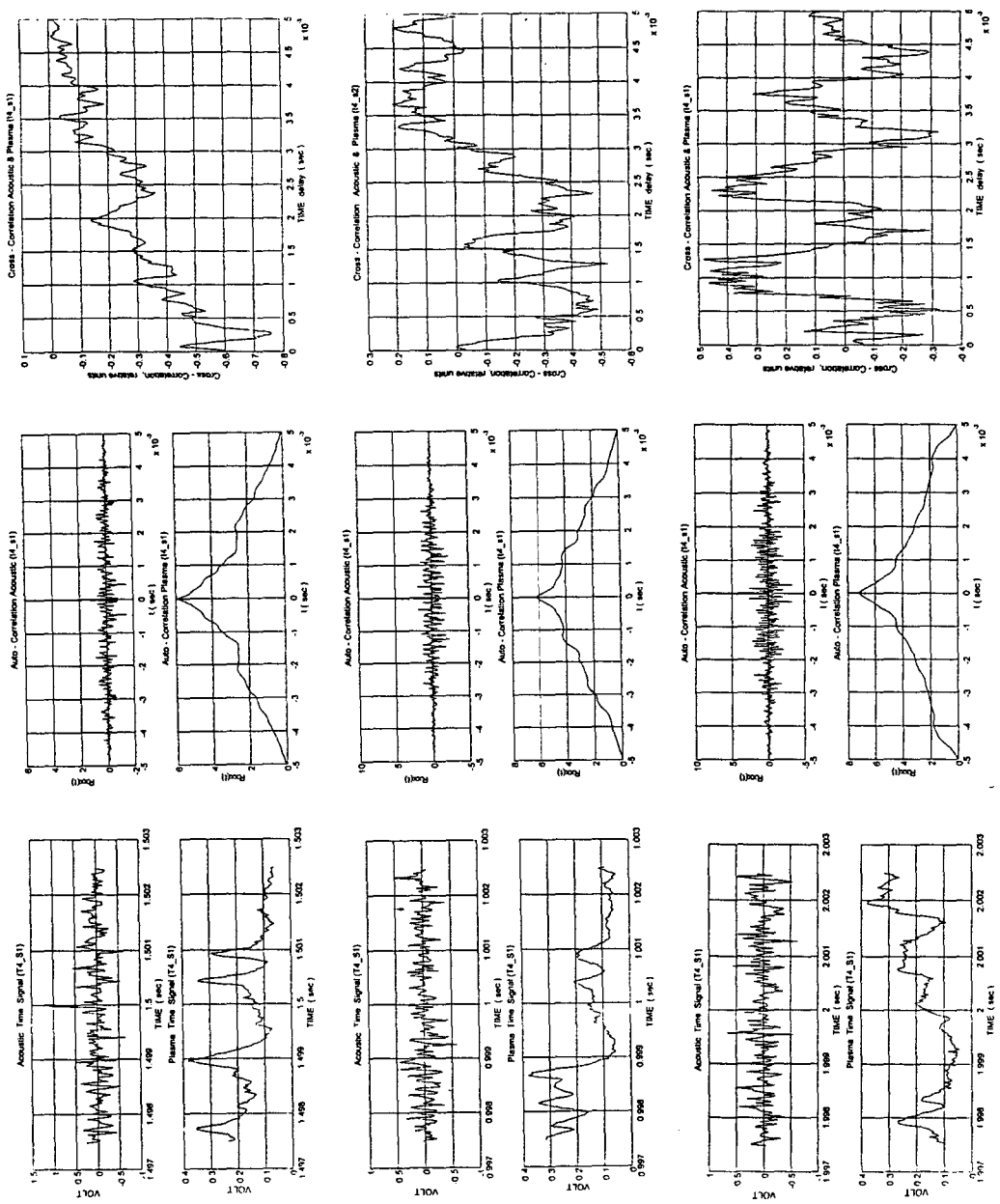


그림 4. (a) 관측된 신호 (b) auto-correlation (c) cross-correlation

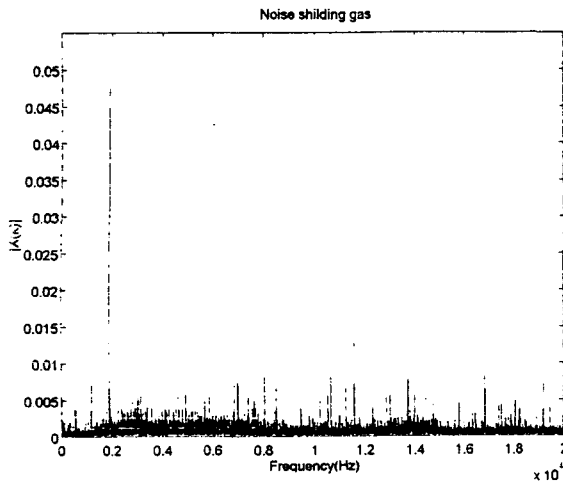
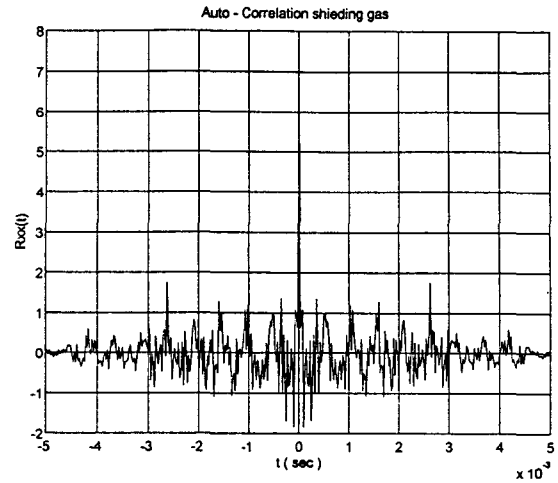


그림 5(a) 보호가스의 FFT 결과



(b) 보호가스의 auto-correlation

5. 고찰

관측된 음파와 플라즈마(그림 4(a))를 보며 플라즈마가 증가하면 음파의 강도는 감소하는 경향을 보인다. 이는 플라즈마가 금속 표면 위에서 팽창할때 이에 따른 밀도는 감소하기 때문이다. 밀도의 감소는 음파의 강도를 약하게 하기 때문이다[3]. 그림 4(c) cross-correlation과 correlation coefficient(-0.0871 at 1초, -0.0869 at 1.5초, -0.0443 at 2초)의 값을 비교하여 보면 알 수 있다. 즉 음파와 플라즈마의 관계는 역으로 변한다는 것을 신호해석을 통하여 알 수 있으나, 음파와 플라즈마의 관계는 항상 역의 관계만을 보여 주지는 않는다. 가령 S2의 correlation coefficient(-0.0382 at 1초, 0.0263 at 1.5초, -0.0593 at 2초)을 보면 1.5초에서는 양의 값을 가짐을 알 수 있다. 그림 5는 매우 넓은 범위에 주파수 범위의 노이즈를 포함하고 있는데, 관측된 음파에 보호가스와 같이 포함된다. 그림 4(b)는 음파와 플라즈마의 auto-correlation을 보여주는데, 음파 및 보호가스의 auto-correlation은 비슷한 양상을 보이고 있다. 관측된 음파는 보호가스의 영향이 매우 지배적임을 나타낸다. 반면에 플라즈마의 auto-correlation은 상당히 예측가능한 신호임을 보여 주고 있다. On-line process에서는 음파보다는 플라즈마가 더욱더 robust하다. 그러나 플라즈마 측정장치는 마이크로폰 보다는 설치의 어려움이 있다. 다르게 생각해 볼 수 있는 방법으로는 보호가스의 노즐의 모양을 변화하여 발생하는 노이즈를 일정한 범위로 국한하여 필터를 사용하는 방법을 고려하여 볼 수가 있다. 또는 단지 플라즈마의 변화로 인한 주위 압력의 변화를 감지할 수 있는 센서를 사용한다면, 그 다음 단계인 용접결합에 대한 신호 해석을 쉽게 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] E. Beyer, G. Herziger, A. Gasser, W. Sokolowski, "Plasma Fluctuations during Laser Machining with cw-CO₂-Lasers", SPIE, Vol. 801 High Power Lasers, pp. 178-184, 1987.
- [2] W. Gatzweiler, D. Maischner, E. Beyer, "On-line plasma diagnostics for process-control in welding with CO₂ lasers", SPIE, Vol. 1020 High Power CO₂ Laser Systems and Applications, pp. 142-148, 1988.
- [3] W. Gatzweiler, D. Maischner, F.J. Faber, C. Derichs, E. Beyer, "Model of Dynamic Behaviour in Laser Beam Welding", SPIE Vol. 1132 High Power Laser and Laser Machining Technology, pp. 157-165, 1989.8
- [4] 윤충섭, 김인웅, 김경오, 박정수, "레이저 및 전자빔 용접에서 On-Line Process Monitoring", 제 5회 레이저 가공기술 심포지움, 한국기계연구원, pp 69-77, Oct. 1994.