

헬륨 보호가스 내에서의 레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 거동에 관한 해석

A study on the analysis of laser arc hybrid plasma in helium gas

조영태*, 나석주*

* 한국과학기술원

ABSTRACT 레이저 아크 하이브리드 용접에서 보호가스로 헬륨을 사용하였을 때 레이저에 의해 발생하는 금속 증기가 아크 플라즈마의 거동에 미치는 영향에 관하여 시뮬레이션 하였다. 해석에 필요한 기본적인 물성치들은 헬륨과 금속 증기의 부분압에 따라 비율로서 결정하였고 아르곤을 사용하였을 때와 비교하여 헬륨 플라즈마의 특성을 파악하였다. 또한 보호가스의 종류에 따라 레이저 빔의 흡수율을 계산하여 고온의 플라즈마가 발생할 때 헬륨 보호가스가 적당함을 보였다.

1. 서 론

최근 레이저와 아크를 동시에 사용하는 레이저 아크 하이브리드 용접에 관하여 활발한 연구가 진행되고 있는데 하이브리드 용접의 경우 아크와 레이저를 동시에 사용하므로 다양한 용접 변수가 존재한다. 그 중 보호가스의 종류는 용접의 품질에 지대한 영향을 미치며 어떠한 보호가스를 쓰느냐에 따라 어떠한 용접 열원이 되는 지가 결정되므로 다른 용접 결과를 얻게 될 수 밖에 없다. 따라서 보호가스의 종류에 따른 플라즈마의 거동 변화가 관심의 대상인데 먼저 레이저의 관점에서 보면 고출력의 레이저 용접 시 발생하는 플라즈마는 레이저 빛의 진행을 막아서 용접의 품질에 좋지 않은 영향을 미치므로 플라즈마의 발생을 억제해야 할 필요성이 발생하며 따라서 아르곤보다 이온화 에너지가 높아서 플라즈마의 발생량이 적은 헬륨이 레이저 용접의 품질 향상이란 측면에서 보다 유리한 점을 가지고 있다. 아크 용접의 관점에서 보면 아르곤 보호가스의 경우 높은 전기전도도(electrical conductivity)를 가지므로 아크 시작(arc ignition)이 쉽고 아크 길이의 변화에 따른 아크 파워의 변화가 적어서 보다 안정된 아크를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있는 반면 헬륨 보호가스의 경우 높은 열전도도(thermal conductivity)를 가지고 있어서 용접 속도를 향상시킬 수 있고 두꺼운 모재를 용접하는데 유리하다. 이렇게 레이저와 아크 용접에서 각각의 특성을 가지는 보호가스를 레이저 아크 하이브리드 용접에 사용하게 되면 어떠한 성질을

가지게 되는지 알아볼 필요가 있다.

본 연구에서는 보호 가스의 종류를 아르곤으로 하였을 때와 헬륨으로 하였을 때 레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 거동 변화를 해석적으로 시뮬레이션 하였고 또한 레이저 빛이 플라즈마를 통과하면서 발생하는 손실량이 얼마나 되는지 규명하여 레이저 아크 하이브리드 용접에서 플라즈마의 역할에 대한 이론적인 근거를 제시하고자 한다.

2. 레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 해석 방법

레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 거동을 해석하기 위해서 먼저 레이저 조사에 의한 모재의 온도 변화를 구해야 한다.

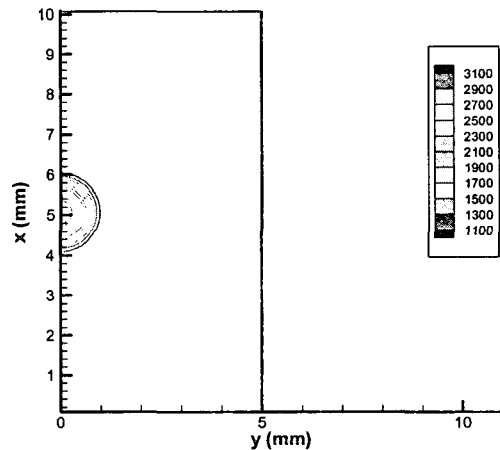


그림 1. 1kW CO2 레이저를 사용하였을 때 모재의 온도 분포

본 연구에서는 용접부 보다는 플라즈마에 관점을 두고 있으므로 모재의 해석은 간단하게 열전달 방정식을 풀어서 결정하였다. 1kW CO₂ 레이저를 사용하였을 때 모재 표면의 온도 분포를 그림 1에서 보여주고 있다.

금속 증기의 발생은 이러한 모재의 온도 분포에 의존하는 함수로 다음과 같은 식에 의해 결정된다[1].

$$J_m = \frac{P_{torr}}{1.71\sqrt{T/M}} \quad (1)$$

여기서 P는 압력, T는 온도, M은 분자량이다. 모재의 온도분포가 나오면 식 (1)을 사용하여 각각의 레이저 파워에 대한 금속 증기의 발생 유속 (vaporization flux)를 다음과 같이 구할 수 있다.

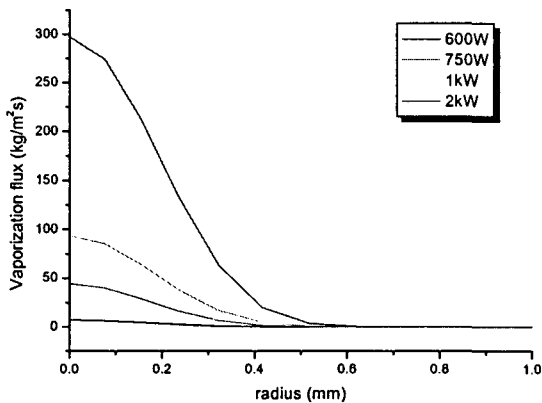


그림 2. vaporization flux by laser

그림 2와 같은 vaporization flux를 가지고 금속 증기가 발생될 때 금속 증기의 확산이 이루어지며 질량 보존, 운동량 보존, 에너지 보존식으로 표현되는 Navier-Stokes 식을 풀면 금속 증기의 확산 정도를 구할 수 있게 된다[2].

해석에 필요한 물성치로는 electrical conductivity, thermal conductivity, viscosity, specific heat, density 등이 있는데 그 중 전기 전도도를 그림 3에서 보여 주고 있다[3].

3. 레이저 빛의 흡수

레이저 빛이 플라즈마를 통과하면서 에너지의 손실이 발생하게 되는데 이러한 레이저 빛의 흡

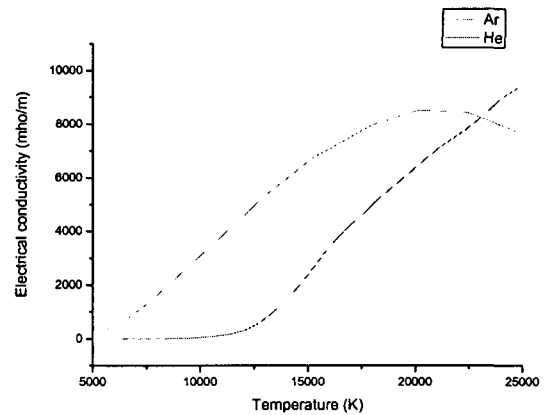


그림 3. 전기전도도

수는 다음과 같은 역제동복사 (Inverse Bremsstrahlung)식에 의해 결정된다[4].

$$\alpha = \frac{n_i n_e Z^2 e^6 (1 - e^{-h\omega/kT_e})}{6\sqrt{3}\mu\epsilon_0^3 c h \omega^3 m_e^2} \left(\frac{m_e}{2\pi k T_e} \right)^{1/2} \frac{1}{g} \quad (2)$$

이 식에서 n_i, n_e 는 각각 이온과 전자의 밀도로서 플라즈마의 온도의 함수이다. 이로 인해 레이저의 종류 및 보호가스의 종류에 따라 흡수율이 달라지게 된다.

3. 해석 결과

헬륨 보호가스 내에서 레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 온도 분포는 그림 4와 같다. 레이저가 조사 되는 지점으로 플라즈마의 집중효과를 확인할 수 있다.

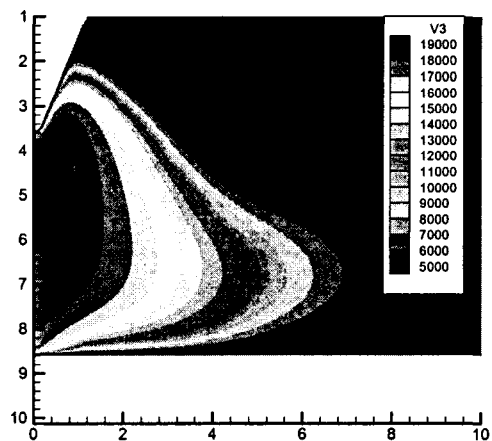


그림 4. 헬륨 보호가스에서 하이브리드 플라즈마의 온도 분포

모재 상에서 보호가스의 종류에 따른 전류 밀도 분포 변화를 그림 5에서 보여주고 있다.

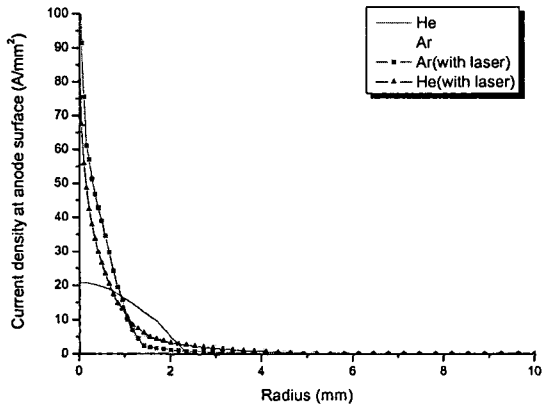


그림 5. Anode로 전달되는 전류 밀도

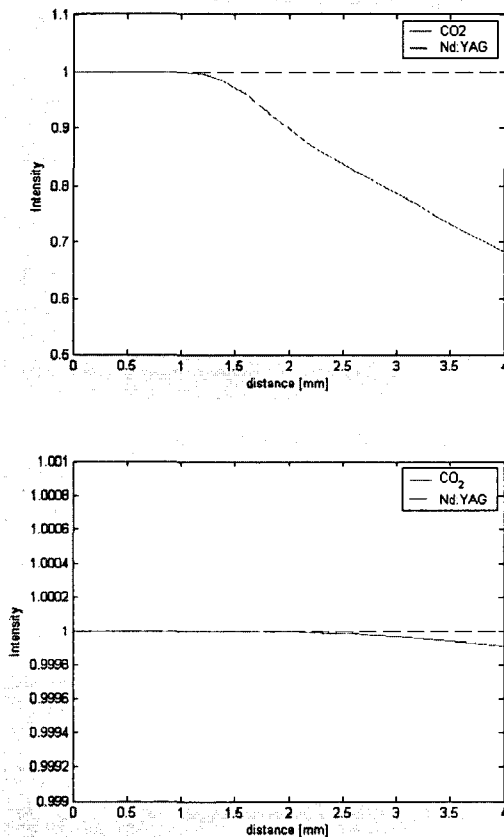


그림 6. 보호가스 및 레이저 종류에 따른 빛의 흡수

그림 6은 레이저가 플라즈마를 관통하면서 발생하는 레이저 빛의 강도(intensity)변화를 보여주고 있다. Nd:YAG 레이저를 사용하면 보호가

스의 종류에 상관없이 레이저 빛의 흡수가 거의 일어나지 않는데 반해 CO2레이저를 사용하게 되면 아르곤 보호가스에서 빛 에너지의 많은 손실이 발생함을 알 수 있다.

4. 결 론

레이저 아크 하이브리드 용접에서 보호가스로 헬륨을 사용할 때 레이저 빛이 플라즈마에 미치는 영향에 관해 시뮬레이션 하여 그 결과로 플라즈마의 온도 분포를 얻을 수 있었다. 전기전도도가 낮은 헬륨 보호가스에서 전기전도도가 매우 높은 금속 증기가 발생하면 플라즈마의 집중 효과를 얻을 수 있음을 알았다. 또한 레이저 빛이 헬륨 플라즈마를 통과할 때는 레이저의 종류에 상관없이 레이저 빛의 흡수가 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국생산기술연구원 에서 지원하는 2010 생산기반혁신기술개발사업의 후원을 받아 수행되었습니다. 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Choo R.T.C et. al : On the calculation of free surface temperature of gas-tungsten arc weld pool from first principles : Part 2. Modeling of the weld pool and comparison with experiments, Met. Trans. B, (1992), 371-384
2. M. Aden et. al : Laser-induced vaporization of a metal surface, J. Phys. D: Appl. Phys. 25(1992) 57-65
3. J.F. Lancaster : The physics of welding, Pergamon press, (1986)
4. B. Hu, Absorption of laser energy by a welding arc, ICALEO, Jacksonville Florida, (2003)