

레이저 - MIG 하이브리드 용접의 과도 용융풀 모사

Transient Molten Pool Simulation of Laser □ MIG Hybrid Welding

조 정호*, 나석주**

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

1. 서 론

깊은 용입을 얻을 수 있는 레이저 용접의 장점과 두 모재 사이의 갭에 민감하지 않고 넓은 비드를 얻을 수 있는 아크 용접의 장점을 모두 이용하는 하이브리드 용접이 각광을 받고 있다. 특히, 근래에 들어 고출력 레이저가 과거에 비해 저렴한 가격으로 다수 공급되어, 산업 현장에 적용되는 경우를 종종 볼 수 있다. 그러나, 대부분의 현장 적용 사례는 Trial & Error에 의해 용접 조건을 찾아내고 있으며, 이는 많은 시간과 비용을 초래한다.

이에 따라, 용융풀 모사를 통해 예측 가능한 비드 형상을 얻고 학술적 근거를 뒷받침하는 선행연구들이 이루어져왔다. 본 연구에서는 고출력 CO2 레이저와 MIG의 하이브리드 용접의 용융풀을 모사하고, 실험결과와 비교하여 비드 형상의 예측이 가능한 해석 모델을 제시한다.

2. 이론적 배경

용융풀의 거동은 일반적인 유동의 지배방정식인 질량 보존 방정식, 운동량 보존 방정식, 에너지 보존 방정식을 따른다. 이들 식의 자세한 설명은 지면 관계상 생략하기로 한다.

레이저 빔의 열원은 많이 사용되고 있는 Gaussian 분포의 열원을 사용하였고, 그 식은 아래와 같다[1].

$$q_L = \eta_L \frac{3Q}{\pi r_L^2} \exp\left(-3 \frac{r^2}{r_L^2}\right) \quad (1)$$

여기서 η_L 는 열입력 효율, Q 는 레이저의 파워, r_L 는 유효반경을 각각 의미하며, 위 식은 전

체 레이저 파워의 95%가 유효반경 내에 분포함을 의미한다.

아크의 열입력 분포 역시 레이저의 경우와 마찬가지로 Gaussian 분포의 열원 모델을 사용하였고, 그 식은 아래와 같다[2].

$$q_A = \eta_A \frac{VI}{2\pi r_A^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2r_A^2}\right) \quad (2)$$

마찬가지로, 위 식에서 η_A 는 열입력 효율, r_A 는 유효반경, V 는 용접전압, I 는 용접전류를 각각 의미한다.

레이저에 의한 반발압력[3]과 아크에 의한 아크압력[4]은 각각 아래와 같다.

$$P_L \cong 0.54P_0 \exp\left(\frac{\Delta H_{LV}}{RTT_{LV}} \frac{T - T_{LV}}{RTT_{LV}}\right) \quad (3)$$

$$P_A \cong \frac{\mu_0 I^2}{4\pi^2 \sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

위 식에서 P_0 는 대기압을 나타내며, ΔH_{LV} 는 증발잠열, T 는 표면온도, T_{LV} 는 증발온도, R 은 기체상수를 나타낸다. 아크압력식에서 μ_0 는 진공투자율, I 는 용접전류, σ 는 아크의 유효반경을 의미한다.

용융풀에 작용하는 체적력은 중력과 아크에 의한 전자기력이 있다. 전자기력은 선행연구의 결과를 이용하였으며, 각 축방향으로의 힘의 크기를 아래와 같다[2].

$$F_x = -\frac{\mu_0 I^2}{4\pi^2 \sigma^2 r} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)\right] \left(1 - \frac{z}{c}\right)^2 \frac{x}{r} \quad (5)$$

$$F_y = -\frac{\mu_0 I^2}{4\pi^2 \sigma^2 r} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)\right] \left(1 - \frac{z}{c}\right)^2 \frac{y}{r} \quad (6)$$

$$F_z = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi^2 r^2 c} \left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \right]^2 \left(1 - \frac{z}{c}\right) \quad (7)$$

위 식에서 r 은 원통좌표계에서의 radial 방향 거리이고, x, y 는 중심축에서 각 지점까지의 거리이며 z 는 모재 표면에서부터의 거리, 그리고 c 는 모재의 두께이다.

문헌[5]에 따르면 용적의 크기는 Globular 모드의 경우엔 1.6mm-1.8mm이므로 본 연구에서는 1.7mm로 정해주었으며, 용적의 이행 주파수는 와이어의 송급 속도에 따라 단위 시간당 부피를 계산하여 정해 주었다. 또한, 용적의 초기온도[6]와 초기속도[2]도 선행연구자의 연구결과에 따라 적용해 주었다.

3. 해석결과 및 실험결과 비교

Fig. 1. 레이저 출력 8kW, 아크 출력 8kW, 용접속도 1m/min, 아크 3mm 선형의 경우의 단면 비드와 해석 결과 모습.

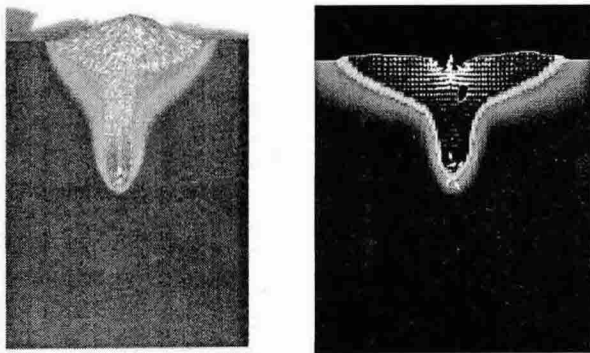


Fig. 1에서 보듯이 해석 결과는 대체로 실험결과와 잘 맞고 있으나, 비드의 가로 너비와 용입 깊이는 근소한 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 해석상에 많은 가정이 설정되어 있어, 실제 시험의 조건과는 다소 차이가 발생할 수 밖에 없는 이유와 함께, 실제 용접 실험 역시 경우에 따라 같은 조건이라도 다른 결과는 보이는 용접 현상만의 특성에 기인한다 할 수 있겠다.

4. 결 론

본 연구로부터 우리는 과도 용융풀 해석을 위한 초석을 마련할 수 있었으며, 미흡하나마 해석을 통해 어느 정도 실험결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

추후 더 세밀한 해석 기법의 변경과 다중반사

나 온도에 따른 표면장력 고려 등의 추가적인 용접특성을 추가하여 더 정확한 해석방법에 대해 연구해 나갈 것이다.

참고문헌

1. 조영태, 박사학위 논문, “레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 해석 및 모니터링에 관한 연구”, 2005, 한국과학기술원
2. K. C. Tsao and C. W. Wu, “Fluid Flow and Heat Transfer in GMA Weld Pools”, *Welding Journal*, March, 1988, pp. 70-75.
3. J. Y. Lee, S. H. Ko, D. F. Farson and C. D. Yoo, “Mechanism of Keyhole Formation and Stability in Stationary Laser Welding”, *J. Phys. D:Appl. Phys.* 35(2002), pp.1570-1576.
4. Z. Cao, Z. Yang and X. L. Chen, “Three-Dimensional Simulation of Transient GMA Weld Pool with Free Surface”, *Welding Journal*, June, 2004, pp. 169-176.
5. G. Han, S. Yun, X. Cao and J. Li, “Acquisition and Pattern Recognition of Spectrum Information of Welding Metal Transfer”, *Materials and Design*, 24(2003), pp. 699-703.
6. Y. Wang and H. L. Tsai, “Impingement of Filler Droplets and Weld Pool Dynamics During Gas Metal Arc Welding Process”, *Int. Jour. of Heat and Mass Transfer*, 44(2001), pp. 2067-2080.

부 록(필요한 경우)

부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부
록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부
록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부록 부
록 부록