

# GMAW 에서 와이어 용융속도에 대한 연구

생산기술연구원 이 세 현

## 1. 서론

GMAW 에서 와이어 용융속도는 생산성과 용융비드에 직접적인 영향을 미친다. 일반적으로 일렉트로드 와이어는 전자 흡수에 의한 에너지와 일렉트로드 자체의 주울에너지에 의하여 용융된다. 아노드 열원은 고온의 아크기동에서의 열전자 흐름에 의한 효과와 아노드 근방에서 열전자의 가속에너지, 그리고 condensation 에 의한 열에너지로 구성되며 (Wilkinson, 1960) 전체 전위차는 여러 연구자에 의하여 다르게 설정되고 있다 (Ando, 1968; Glickstein, 1979; Jelmorini, 1977; Lancaster, 1986).

주울열은 최초로 Wilson (1956) 에 의하여 연구가 되었으며, 저항률이 높거나, 길이가 긴 경우에 중요한 열원으로 작용하고, 알루미늄과 같이 저항률이 낮은 경우에는 거의 무시 될 수 있다. Lesnewich (1958) 에 의하여 아르곤을 보호가스로 하여 용융속도에 대한 주울열 효과에 대하여 연구가 되었으며, Amson (1972) 은 일정한 비열과 전기 저항율에 대한 일렉트로드 길이에 따라 전압의 변화를 해석하였으며, 1979년 Halmoy (1979) 에 의하여 온도 변화의 함수로서의 비열과 전기저항율을 이용하여 주울을 해석하였다. Waszink (1982) 는 일렉트로드를 따라 온도 분포를 구한 후 metal transfer 형상에 따라 용융속도를 각각 구분하여 구했으며, Ma(1983)는 직경 1.2 mm 의 와이어를 5x 탄산가스 95x-아르곤의 분위기에서 용접실험을 한 결과 글로블러와 스프레이 사이의 transition 영역에서 용융속도가 가장 큰 것을 나타냈다.

오랫동안 많은 연구자들에 의하여 용융속도에 영향을 주는 변수에 대하여 연구되어 왔다. 대부분의 연구자는 용융속도는 보호가스에 무관하다고 주장해 왔으며, 일렉트로드 길이를 일정하게 하기가 어려웠다. 본 연구에서는 보호가스 및 일렉트로드 길이에 따른 용융속도를 실험적으로 구했으며 그에 따른 주요 열원을 해석하였다.

## 2. 열원과 열전달

열원으로서 아노드 에너지  $H_a$  와 주울 에너지  $H_j$  는 다음과 같이 나타내진다.

$$H_a = \left( \theta + V_{an} + \frac{3\sigma}{2e} T \right) I = KI$$

$$H_j = \int_0^L \frac{\rho_r(x) I^2}{S} dx$$

열평형 법칙에 의하여 열원을 통해 발열된 열에너지는 손실된 에너지와 같다.

$$H_j + H_a = H_w + H_s$$

#### 4. 결과 및 토의

용융 속도와 일렉트로드 길이를 일정하게 유지하기 위하여 전류조절 버튼을 보호가스 및 일렉트로드 길이에 따라 변경한다. 아르곤, 탄산가스, 헬륨을 보호가스로 이용 할 때 용접전류에 따른 용융속도의 변화량이 Fig. 1 에 보여지는데, 이 결과로 부터 용융속도는 탄산가스 분위기에서 가장 높으며 헬륨, 아르곤 순서로 변함을 알 수 있다. 헬륨과 탄산가스를 이용할 경우 이온화에너지 및 해리에너지의 증가로 인한 온도의 상승과 더불어 Thomson effect에 의한 아노드에너지가 증가 되기 때문이다. 이는 주울열에 의한 효과보다도 드류로부터의 열전달 효과가 보호가스에 영향을 받기 때문이다 ( Fig 4 ). 탄산가스-아르곤 혼합 기체일 경우는 보호가스 변화는 용융속도에 큰 영향을 주지 못한다 ( Fig. 2 ). 한편 용융속도는 일렉트로드 길이에 따라 영향을 받게 되는데, 주울열과 드류로부터의 열전달이 모두 영향을 받기 때문이다. 이 영향은 높은 전류 영역에서 두드러 진다 ( Fig. 3 ).

#### 5. 결론

일렉트로드 길이를 일정하게 유지시키면서 여러가지 보호가스하에서 용융속도와 전류 사이의 관계식을 constant current mode 로 실험데이터를 이용하여 결정하였다. 용융속도는 보호가스로서 탄산가스를 이용하였을 경우 가장 높고 헬륨과 아르곤의 순서이며, 아르곤-탄산가스 혼합기체에서는 보호가스에 거의 영향을 받지 않는다. 열전달만이 용융속도에 직접적인 영향을 준다. 열전달 및 주울열에너지의 비는 전류와 일렉트로드 길이가 증가함에 따라서 반대로 줄어들며 이 값은 역시 탄산가스 일 경우에 가장 큰 값을 갖는다.

#### 6. 참고 문헌

- 1) Allum, C. J., 1983, "MIG welding-time for a reassessment," Metal Construction, Vol. 15, PP. 24-29.
- 2) Glickstein, S. S., 1979, "Arc modeling for welding analysis," Proc.Int. Conf. on Arc Physics and Weld Pool Behaviour, pp. 1-16.
- 3) Jelmorini, G., 1977, "Drop temperature measurement in arc welding," IIW Doc. 212-411-77.
- 4) Lesnewich, A., 1958, "Control of melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding," Welding Journal, Vol. 37, No. 8, pp. 343s-353s, 418s-425s.
- 5) Ma, J., and Apps, R. L., 1983, "Analyzing metal transfer during MIG-welding," Welding and Metal Fabrication, Vol. 51, pp. 119-128
- 6) Rhee, S., and Kannatey-Asibu, E., 1991, "Melting rate and heat flow for wire electrode in GMAW," 75th AWS Conventional Annual Meeting.
- 7) Rhee, S., and Kannatey-Asibu, E, 1991, "Arc pressure effect on the metal transfer in GMAW," Journal of Applied Physics, November
- 8) Rhee, S., and Kannatey-Asibu, E., 1992, "Observation of metal transfer in GMAW, Welding Journal, To be published.
- 9) Waszink, J. H., and Van Den Heuvel, G. J. P. M., 1982, "Heat generation and heat flow in filler metal in GMAW," Welding Journal, Vol. 61, No. 8, pp. 269s-282s.

여기서  $H_w$  와  $H_s$ 는 각각 일렉트로드 끝을 녹이는데 사용되는 열량과 드륵의 온도를 용융온도에서 드륵온도로 증가시키는데 쓰이는 열량을 나타낸다. 와이어를 녹이는 데 드는 열량  $H_w$ 는

$$H_w = H_m + H_l = m ( \Delta H + \Delta H_l )$$

열원과 소모에너지는 열평형방정식에 대입함으로써 용융속도가 구해진다.

$$m = \frac{(V_a + \theta + \frac{3\sigma T}{2e}) I + \int \frac{\rho r(x) I^2}{S} dx}{\int_{T_0}^{T_m} C_s(T) dT + \Delta H_e + C_l (T_{dr} - T_m)}$$

일렉트로드를 따라 발생하는 주울열에너지는 와이어를 녹이기에는 불충분하기 때문에 드륵으로부터의 열전달이 있게되는데

$$H_f = H_w - H_j = H_m + H_l - H_j$$

$H_f$  를 구하기위하여  $H_j$  가 결정되어야하며, 따라서 일렉트로드 길이에 대한 열평형 방정식은

$$\frac{d}{dx} (k \frac{dT}{dx}) - C_s(T) \rho V_w \frac{dT}{dx} + \frac{I^2 \rho r(T)}{S^2} = 0$$

보호가스는 주울열 변화에는 아무런 영향을 주지 못하며, 용융속도를 변화시키는 것은 과열된 드륵의 에너지가 고체 일렉트로드로 흘러들어오는 열전달에 영향을 준다. 한편 여러 보호가스에 대하여  $H_f$  와  $H_j$  의 비율이 열평형 방정식과 측정된 용융 속도로부터 구해지며, 비록 보호가스가 주울열에는 영향을 주지 않지만, 일렉트로드 길이에 영향을 받는다.

### 3. 실험

용접 실험에 있어서 수직용접 상태의 DCRP 하에서 수행되어진다. 와이어 직경 1.6 mm, 시편 두께 6 mm의 연강을 이용하였으며, 용접속도는 0.75 cm/sec 로 일정하게 유지하였다. 보호가스로는 탄산가스, 5% 탄산가스 -95% 아르곤, 15% 탄산가스 -85% 아르곤, 25% 탄산가스 -75% 아르곤, 아르곤, 헬륨 등을 이용하였으며, 일렉트로드 길이는 각각 14, 19, 24 mm로 고정제어하였다. 입력데이터로서의 용융 속도는 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5.5 m/min를 이용하여 실험하였다. 용접의 입력데이터 및 출력데이터는 IBM-AT 마이크로 컴퓨터에서 제어하며 아크를 제어하기 위하여 레이저 ( 5 mW power, 632.6 nm wavelength ) 와 자체 조립된 관련 광학 시스템을 이용 하였으며, 고속 비디오 카메라 (Kodak Ektapro 1000)에 의하여 측정된다 ( Rhee, 1991 ) 실험에러를 줄이기 위하여 동일 조건하에서 5 번씩 수행 한 후 평균치를 산정했다.

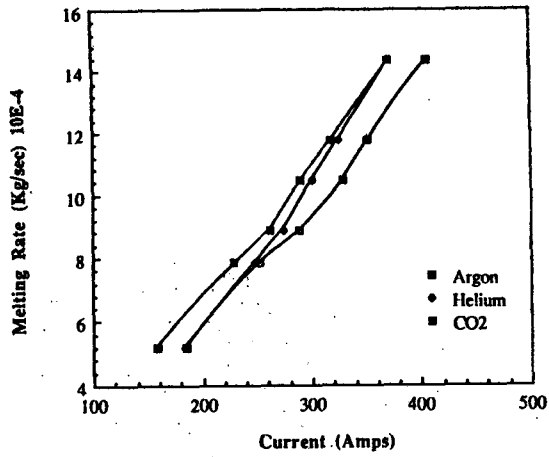


Fig. 1 Melting rate variation in CO2, Helium, Argon

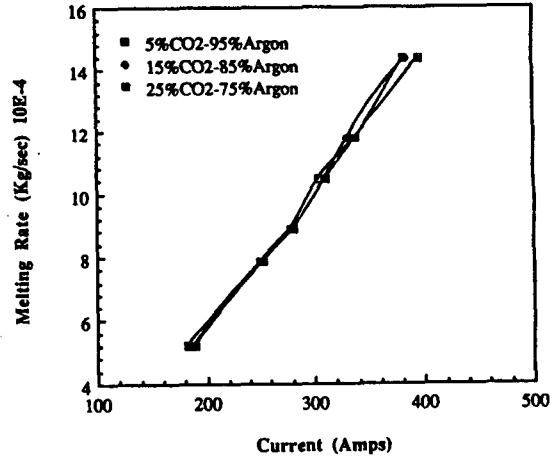


Fig. 2 Melting rate variation in CO2-Argon mixture

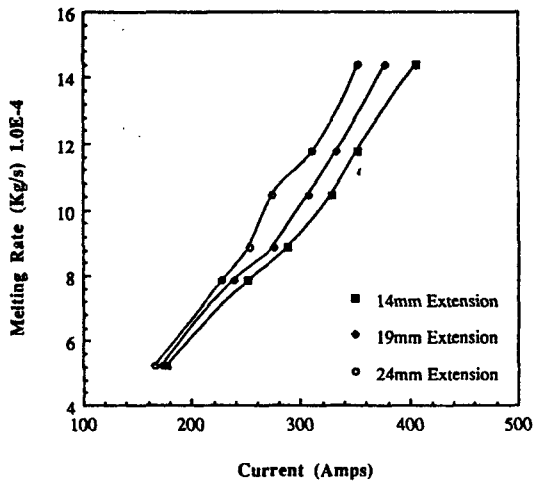


Fig. 3 Melting rate variation in different extension.

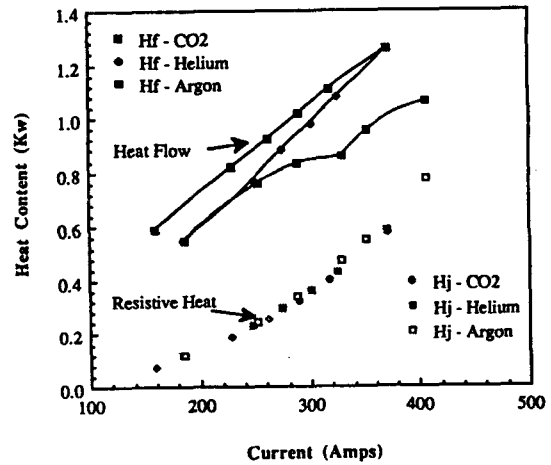


Fig. 4 Effect of Heat flow and Joule heating