

GMA용접에서 아크 길이와 용접 전류의 동특성에 관한 연구

A Study on Dynamic Characteristics of Arc Length and Welding Current At GMAW

한정기* , 김면희* , 최상균** , 이상룡**

* 경북대학교 대학원 기계공학과

** 경북대학교 공과대학 기계공학부

1. 서 론

최근 용접 공정의 자동화에 따른 용접 품질에 대한 관심이 커짐에 따라 용접 공정에서의 용접 조건과 변수들이 용접 품질의 향상과 생산의 경제성을 높이는데 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구가 활발하게 진행되어지고 있다.^{1)~2)} 이러한 용접 변수의 영향은 용접 공정과 품질에 큰 영향을 미치기 때문에 용접 변수에 대한 충분한 이해와 설정이 용접 공정을 수행하는데 있어 필수적이다.^{3)~4)} 본 연구에서는 GMA용접에 대한 모델링을 통해 용접 공정에서의 아크 길이와 용접 전류의 동특성을 살펴봄으로써 용접 시스템에 대한 이해와 특성을 파악하여 실제 용접 공정을 수행함에 있어서 도움을 주고자함에 있다.

2. 금속 이행 모델링 및 시뮬레이션

2.1 GMA용접기 회로 및 아크 특성

용접기 회로는 크게 용접 전원부와 아크부로 나눌 수 있다. 용접시 전원부와 아크부는 서로 다른 회로적 기능과 물리적인 현상으로 나누어 생각할 수 있다.⁵⁾ 단순한 인덕턴스와 저항을 통한 GMA용접기 회로의 모델링은 다음과 같은 식으로 표현된다.⁶⁾

$$U_o = (L_{ps} + L_c) \frac{dI}{dt} + (R_{ps} + R_c + R_e)I + U_{arc} \quad (1)$$

$$U_w = (R_c + R_e)I + U_{arc} \quad (2)$$

$$U_{arc} = U_{a0} + R_a I + E_a l_{arc}, \quad E_a = E_{a1} + E_{a2} I \quad (3)$$

용접봉의 용융 속도는 아크열과 용접봉의 저항열에 의하여 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$v_m = aI + b l_e I^2 \quad (4)$$

용접봉에서 동적으로 성장하는 용적의 부피 변화는 성장하는 용적의 형태가 완전한 구(球)라고 가정한다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dV_0}{dt} = v_m \left(\frac{\pi d_e^2}{4} \right) \quad (5)$$

2.2 시뮬레이션(Simulation)

모델링을 통한 위의 식들을 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{1}{L_{ps} + L_c} \right) [(R_{ps} + R_c + R_e)I + U_{a0} + R_a I + (E_{a1} + E_{a2} I) l_{arc} - U_0] \quad (6)$$

$$\frac{d l_s}{dt} = v_w - (aI + b l_e I^2) \quad (7)$$

$$\frac{d V_0}{dt} = (aI + b l_e I^2) \left(\frac{\pi d_e^2}{4} \right) \quad (8)$$

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi a^3 - \frac{1}{3} \pi h^2 (3a - h) \quad (9) \quad l_d = 2a - h \quad (10)$$

위의 식(6), (7), (8)은 동적 시스템을 기술하는 미분 방정식의 형태로 표현된다. 위의 식들을 상태 변수형으로 표현하여 동적 시스템의 물리적인 특성을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 상태 변수형 미분 방정식의 형태를 Fourth Runge-Kutta 방법을 사용하여 시간 간격 0.05ms마다 용접 시스템의 동특성에 대해서 파악하였다. 사용된 초기값은 통상 실험적으로 사용되는 값을 사용하였으며, 용접의 이탈 조건으로는 Globular모드에서는 Force Balance 모델과 Spray모드에서는 Pinch Instability 이론을 적용하였다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 자유 응답(Free Response)

Fig.1은 Globular모드와 Spray모드에서의 전류의 자유 응답(Free Response)를 나타낸다. 용접이 시작된 후 자유 응답은 1차 시스템의 거동과 유사하게 나타난다. 용접 전류가 Steady State 상태로 되기 위한 안정한 영역까지의 걸리는 시간이 Globular모드가 Spray모드보다 더 걸리는 것을 볼 수가 있다. 이것은 Globular모드가 용적이 생성되어 용적이 이탈되는데 소요되는 시간이 Spray모드보다 더 걸리기 때문에 안정 영역에 도달하는 자유 응답 시간(Free Response Time)이 더 길어지는 것으로 사료된다. Fig.2는 자유 응답 시간이 지나 용접이 안정되게 진행될 때 용접 전류 신호와 아크 길이를 나타낸다. Globular모드의 경우는 용적의 크기가 크므로 주로 낮은 주파수로 이행되며, 용접봉 끝에서 이탈될 때, 아크 길이가 순간적으로 증가하므로 이에 따라 용접 전압이 증가하며, 용접 전류는 감소됨을 볼 수 있다. Spray모드의 경우는 작은 용적이 빠른 주기로 이행되므로 아크 길이가 비교적 일정하며 용접 전압 및 전류의 변동폭이 작게 일어남을 볼 수 있다.

3.2 계단(Step) 입력에 대한 응답

Fig.3~4는 용접이 진행 중 접지기 이음(Lap Joint)형태의 계단 입력을 만났을 때의 각각의 모드에 대한 시뮬레이션 결과이다. 본 논문에서는 Contact-Tip과 모재 사이의 거리(CTWD)를 변화시켜 현상을 관찰하였다. CTWD가 작을수록 전류가 크게 나타나고, 아크의 길이는 전류의 변동에 대해 반대로 일어남을 알 수가 있다. Fig.3~4의 용적의 크기에서도 CTWD가 짧아지는 순간에는 전류가 급격하게 증가해서 용적의 크기가 작은 용적들이 많이 이탈된 후 다시 안정 영역으로 진행된다.

3.3 경사(Ramp) 입력에 대한 응답

Fig.5~6은 용접 진행 중 경사면을 만났을 때에 각각의 모드에 대한 응답을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 용접 팁의 이동 속도가 큰 경우에는 어느 정도 길이를 따라가다가 아크가 꺼져서 전류가 0이 됨을 알 수가 있다. 본 연구에서는 각도 15°에서는 4mm/s 정도의 속도로 팁을 이동시킬 경우에는 경사면을 추적해 나감을 알 수가 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 동일한 속도라도 각도의 변화에 따라 경사면을 따라 가는데 필요한 속도가 달라진다.

3.4 개방 전압의 변화에 대한 응답

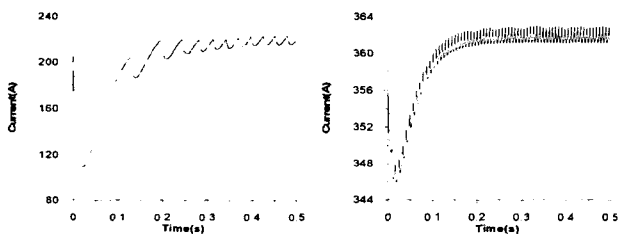
Fig.7~8은 개방 전압을 변화시켰을 때 나타나는 전류와 아크 길이에 대한 결과이다. 개방 전압을 변화시키면 전류의 큰 변화가 일어난다. 전류의 경우에는 앞에서 언급한 Contact-Tip과 모재 사이의 거리(CTWD)의 계단 입력에 대한 현상과 비슷하게 나타나지만, 아크 길이의 경우에는 다르게 나타난다. 전류의 급격한 변화로 아크의 길이와 용적의 크기가 전류의 크기에 따라 다르게 변한다.

4. 고찰 및 결론

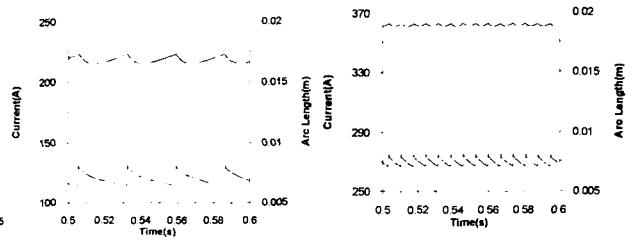
용접이 시작되고 용접 공정이 올바르게 수행되기 위해서는 모드에 따라 적당한 시간이 걸리는 자유 응답(Free Response) 시간이 필요하다. Contact-Tip과 모재 사이의 거리(CTWD)의 계단 응답에서도 계단의 높이에 따라 전류의 변화가 다르게 나타나는 것을 볼 수가 있고, 경사면 입력에서도 경사면을 추적해 나가기 위한 한계 속도가 있음을 알 수가 있다. 그리고 개방 전압이 변하는 경우에 대해 용접 전류와 아크 길이의 동특성에 대해 살펴보았다. 용접 현상에서 중요한 요소인 용접 전류와 아크 길이에 대한 동특성을 제대로 파악함으로써 실제 용접 시스템과 현상을 제대로 파악하고 용접 시스템을 적절하게 제어할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 용접 전류와 아크 길이의 동특성에 대한 올바른 이해는 용접 자동화 공정의 한 부분인 용접선 추적(Seam Tracking) 알고리즘에 대한 기본적인 정보가 된다.

참고 문헌

1. Lancaster, J.F : The physics of welding, 2nd Ed., Pergamon Press, 1985
2. 최상균 : GMA용접의 금속이행에 관한 동적해석, 박사학위논문, KAIST, 1998
3. 이재영 : 단순 모델을 이용한 GMA용접 시스템의 동적거동 해석, 석사학위논문, KAIST, 1999
4. 이원수 : Neuro-Fuzzy를 이용한 GMA용접의 비드형상에 대한 기하학적 추론, 석사학위논문, 경북대학교, 2000
5. 용접 접합 편람, 대한용접학회, 1998, pp525~526
6. Ushio, M. and Mao. W. : Modeling of the arc sensor for DC MIG/MAG welding in open arc Mode - A study on the improvement of the sensitivity and the reliability of the arc sensor in GMA welding(1st report), J. of Japan Welding Society, Vol.14, No.1, 1996



(a) Globular mode (b) Spray mode
Fig.1 Calculated Free response



(a) Globular mode (b) Spray mode
Fig.2 Calculated Steady state response

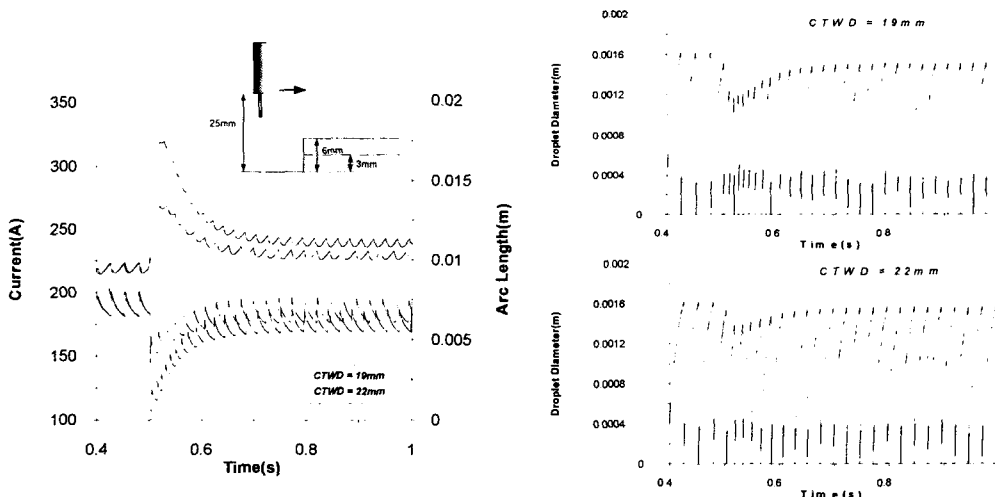


Fig.3 Calculated Globular mode in step input

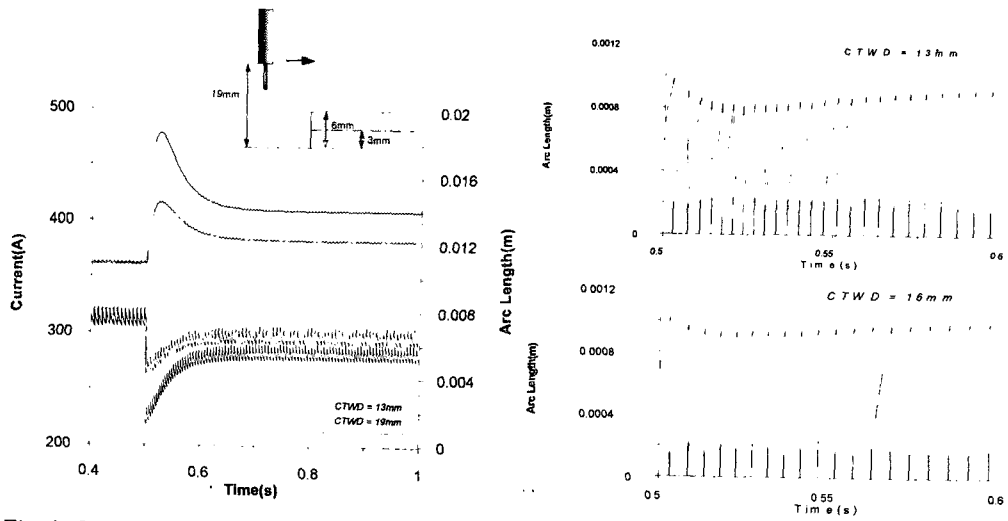
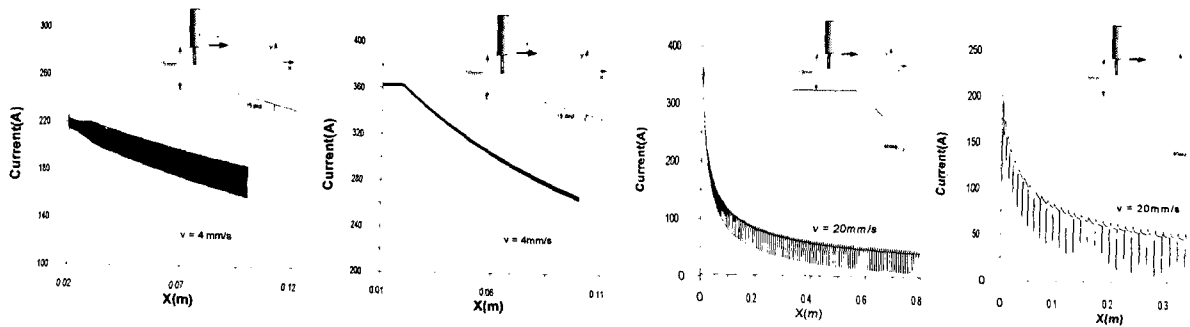


Fig.4 Calculated Spray mode in step input



(a)Globular mode (b)Spray mode
Fig.5 Calculated Ramp input(angle = 15 °)

(a)Globular mode (b)Spray mode
Fig.6 Calculated Ramp input(angle = 60 °)

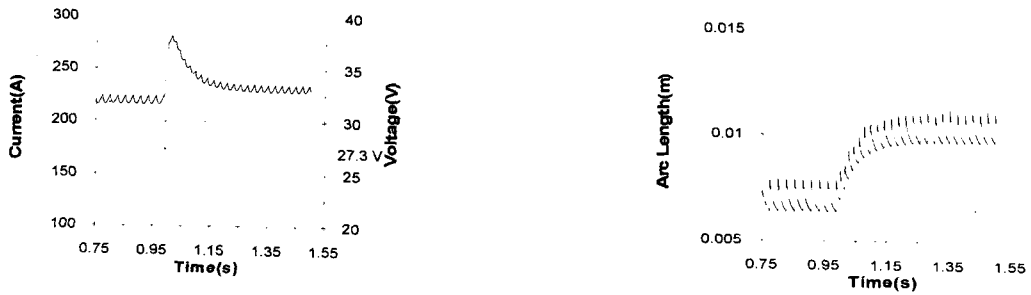


Fig.7 Current due to voltage change in Globular

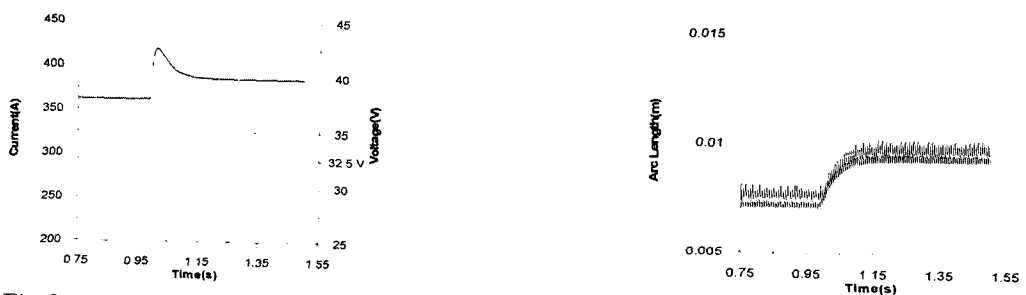


Fig.8 Current due to voltage change in Spray mode