

마랑고니 영향을 고려한 GTA 용융지의 진동현상 해석

Analysis of Oscillation on GTA Weld Pool including Marangoni Effects

고성훈*, 최상균**, 유중돈*

* 한국과학기술원 기계공학과 ** 영남대학교 기계공학부

1. 서론

GTA용융지의 진동은 용융지의 형상과 밀접한 연관이 있음이 알려져 있다^{1,2)}. 따라서 용융지의 진동 주파수를 측정함으로써 용융지의 형상을 예측하려는 많은 노력이 있어왔다. 용융지의 진동의 측정은 용접 전압 아크 빛을 이용하여 간접적으로 측정되며, 용융지 진동에 대한 해석적 모델은 용융지의 기하학적 형상과 모재의 물성치에 따른 고유 진동수를 구하여 실험 결과와 비교하고 있다.

본 연구에서는 자유 표면을 고려한 용융지의 유동 해석을 통하여 용융지 표면의 진동을 추적하여 진동 파형을 구하고, 용융지에 가해지는 아크 압력, 전자기력, 표면 장력에 의한 마랑고니 효과가 진동에 미치는 영향을 알아보았다.

2. 용융지의 모델링

용융지는 부분 용입에 대하여 반구형으로 가정하였다. 용융지 유동은 전보³⁾에서 설명하였듯이 VOF(Volume of Fluid)방법을 이용하여 자유 표면을 해석하였으며, 아크 압력과 전자기력을 고려하였다. 표면의 곡률과 표면 장력을 이용하여 표면에서의 압력을 구하였으며, 용융지의 표면을 따라 가정한 온도 구배와 표면 장력 온도 계수로 용융지 표면에서의 전단력을 구하여 마랑고니 효과를 고려하였다. 용융지의 가해지는 아크 압력을 다른 실험결과⁴⁾를 이용하여 가정하였으며, 아크에 의한 전류 밀도 입력과 용융지의 온도 구배 역시 다른 해석결과⁵⁾를 참조하여 결정하였고 사용된 물성치와 함께 전보⁶⁾에 나타내었다.

용융지 표면 중심에서의 변형을 추적하여 진동 파형을 구하였으며, FFT(Fast Fourier Transform)를 통하여 진동수를 구하였다.

3. 용융지의 진동 해석

용융지의 진동은 아크 압력, 전자기력, 마랑고니 효과, 용융지 형상에 의한 표면 변형의 진폭 변화와 진동수 변화를 중심으로 해석하였다.

아크 압력은 용융지 표면의 변형과 진동을 발생시키는 주요 원인이다. 아크 압력 변화에 따른 용융지 표면 중심의 진동 파형을 Fig.1에 나타내었다. 아크 압력이 증가함에 따라 진폭이 증가하였고, 시간에 따라 차츰 진폭이 감소하는 경향을 보였다. 아크 압력 P₃₀₀의 경우 일정한 주기와 진폭을 가지지 않고 초기의 큰 진폭이 매우 빠르게 감소하여 100msec이후 정상 상태에 도달하였다. 이는 매우 큰 아크 압력은 표면 변형이 회복되는 것을 억제하여 변형된 상태를 유지 시키므로 진동이 유지되지 않고 정상상태에 빠르게 도달하게 됨을 나타낸다. 아크 압력 변화에 따른 주파수의 변화는 없었다.

전자기력은 용융지 내부에 반시계 방향의 회전 유동을 발생시킴이 알려져 있다. 부분 용입에서 이러한 회전 유동은 용융지 외곽에서 중심으로 향하는 유동을 발생시킴으로 용융지 중심에서의 변형을 감소시키는 역할을 한다. 부분 용입에서의 용융지 진동 파형을 Fig.2에 나타내었다. 초기의 파형은 전자기력에 관계없이 일치하고 있지만, 시간이 지남에 따라 전자기

력이 증가할수록 용융지의 진폭이 감소함을 알 수 있다. 전류 300A의 경우 100A와 비교해서 같은 시간 변화에 1/4이하로 진폭이 감소하였다. 진동 주파수는 전자기력에 증가에 의해 변화하지 않았고, 아크 압력만을 고려한 경우와 같은 58.6Hz의 주파수를 가졌다.

표면 장력의 영향을 알기 위하여 1200과 1800dyne/cm에 대해 해석하였고 그 진동 파형을 Fig.3에 나타내었다. 표면 장력이 클수록 같은 곡률 변화에 대한 표면 압력이 증가하게 되므로 표면 변형이 감소하게 된다. 진폭이 감소함과 동시에 주기 또한 감소하여 주파수는 73.2Hz로 증가하였다. 마랑고니 효과를 고려하기 위하여 표면 장력 온도 계수를 ± 0.49 dyne/cmK으로 가정하여 해석한 진동 파형을 Fig.4에 나타내었다. 표면 장력 온도 계수가 0.49dyne/cmK인 경우 초기서부터 진폭이 매우 빠르게 감소하여 100msec 이후에는 완전히 정상 상태에 도달하여 진동을 확인할 수 없었다. 이것은 마랑고니 효과에 의한 유동이 전자기력에 의한 회전유동과 같은 반시계 방향이기 때문에 두 유동이 합하여져 매우 빠른 유동을 형성하기 때문으로, 용융지 외곽에 중심으로 향하는 빠른 유동이 표면의 변형을 방해하여 빠르게 평형 상태에 도달하게 만들기 때문이다. 이에 반해 -0.49dyne/cmK인 경우는 초기에 불규칙하던 진폭이 150msec 이후 안정되면서 규칙적인 진폭 변화를 보이며 진동하였다. 이는 마랑고니 효과에 의해 용융지 표면 중심에서 외곽으로 향하는 유동이 발생하기 때문에 변형의 진폭이 감소하는 것을 막기 때문이다. 진동 주파수는 표면 장력 온도 계수가 -0.49dyne/cmK일 때 65.9Hz로 증가하였다.

용융지의 형상 변화에 따른 영향을 알기 위하여 용융지의 반경과 깊이를 변화시켜 해석한 결과를 Fig.5, 6에 나타내었다. 용융지의 반경이 감소할수록 작은 변형에도 큰 곡률 변화를 가지기 때문에 같은 아크 압력에 대하여 진폭이 감소하였고 진동 주파수도 증가하였다. 이에 반해 깊이 변화에는 큰 파형 변화가 없었는데, 반경 보다 큰 깊이에 대해서는 진폭과 주파수 모두 거의 일치하였으며 반경 보다 작은 깊이에 대해서만 진폭이 감소하고 주파수가 증가하는 경향을 보였다.

4.결론

자유 표면을 고려한 유동 해석을 통하여 용융지의 진동 파형을 구하여 진동 현상을 해석하였다. 아크 압력과 전자기력에 의해서는 진폭이 변화하지만 주파수의 변화는 없었다. 표면 장력이 증가하면 진폭은 감소하고 주파수는 증가하는 경향을 보였으며, 표면 장력 온도 계수가 양의 값을 가질 때는 주파수의 변화는 없지만 진폭이 빠르게 감소하였으며 음의 값을 가질 때는 주파수가 증가하는 경향을 보였다. 용융지의 반경이 감소할수록 주파수가 증가하였고, 반경보다 큰 깊이 변화에 대해서는 그다지 변화하지 않았다.

참고문헌

- (1) Renwick,R.J. and Richardson,R.W., "Experimental investigation of GTA Weld Pool Oscillations", *Welding J.*, Vol.62, No.2, pp.29s~35s
- (2) Yoo,C.D. and Richadson,R.W., "Modeling of Weld Pool Oscillation using Energy Method", *J.of Japan Welding Society*, Vol.12, No.1, pp.30~38
- (3) Xiao,Y.H. and Den Ouden,G., "A Study of GTA Weld Pool Oscillation", *Welding J.*, Vol.69, No.8, 1990, pp.289s~293s
- (4) Choo,R.T.C. and Szekely,J., "The Effect of Gas Shear Stress on Marangoni Flows in Arc Welding", *Welding J.*, Vol.70, No.8, 1991, pp.289s~293s.

(5) Lin, M.L. and Eagar, T.W., "Influence of Arc Pressure on Weld Pool Geometry", *Welding J.*, Vol.64, No.6, 1985, pp.163s~169s.

(6) 고성훈, 최상균, 유중돈, "아크 압력을 고려한 GTA 용융지의 동적 유동 해석", 대한용접학회 춘계학술발표, 1999

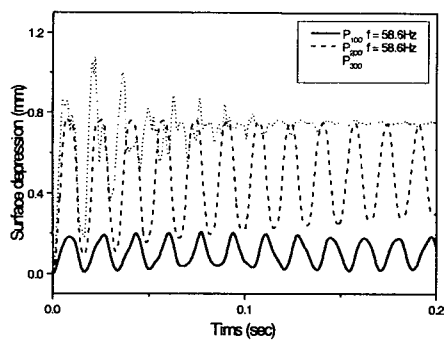


Fig.1 Effect of arc pressure

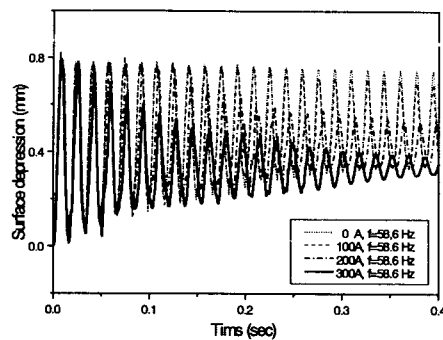


Fig.2 Effect of current

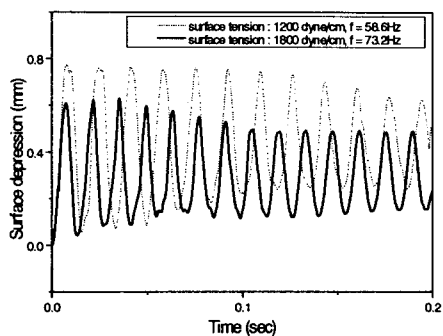


Fig.3 Effect of surface tension

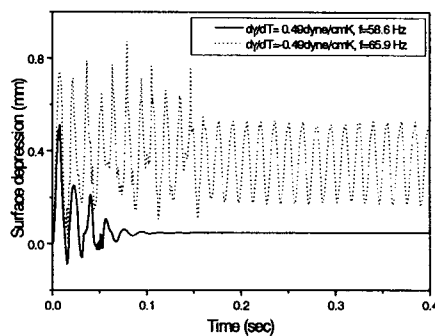


Fig.4 Effect of surface tension gradient

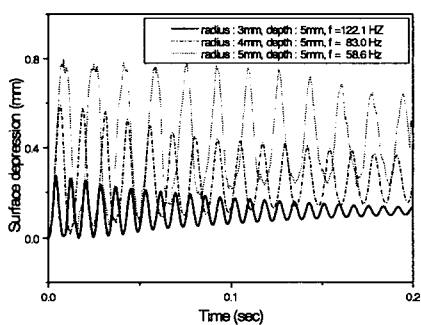


Fig.5 Effect of weld pool radius

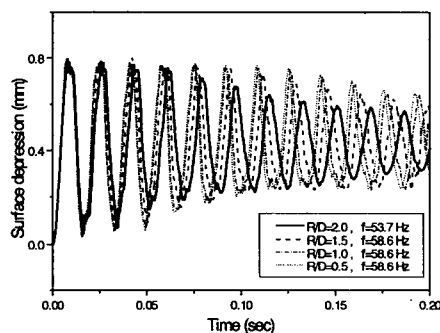


Fig.6 Effect of weld pool depth (radius : 5mm)