

# 전자기적 아크 요동을 이용한 내로우 갭 용접에 관한 연구

## A study on narrow-gap welding by using electromagnetic arc oscillation

강윤희, 나석주

한국과학기술원 기계공학과, 대전

### 1. 서론

두꺼운 판재가 사용되는 기계부품 또는 구조물 등의 제조에 주로 이용되는 내로우 갭 용접은 높은 생산성 및 품질을 얻을 수 있으며, 열변형이 최소화되고 위보기, 수직상향/하향 등의 모든 용접자세의 용접이 가능하다는 장점을 가지고 있어 미국, 일본, 독일 등의 기술선진국을 중심으로 현재까지 많은 연구가 진행되어져 왔다.<sup>[1]</sup>

내로우 갭 용접 특성상 적은 열 유입과 작은 용융풀로 인하여 발생하는 내로우 갭 내부 옆면에서의 융합불량(lack of fusion)은 내로우 갭 용접 결합 중 가장 자주 발생하며 접합강도에 영향을 미치는 매우 치명적인 결함이다. 따라서 접합부 옆면의 용입이 충분히 일어나도록 하여 신뢰성 높은 접합품질을 얻기 위해서는 용접아크의 위빙(weaving)이 필수적이다. 현재까지 개발된 내로우 갭 용접시 아크 위빙 방법에는 용접토치의 기계적인 이송방법, 소모성 전극의 소성변형을 이용한 방법, 편심된 용접팁을 회전시켜 회전아크를 발생시키는 방법 등이 있다.<sup>[1,2,3]</sup> 기존에 개발된 내로우 갭 용접공정들은 나름대로 각각의 장점이 있으나, 용접부재의 크기나 재질의 변화에 따른 용접변수의 선정 및 조절, 아크의 위빙 폭 및 주파수 선정, 내로우 갭의 폭에 대한 제한 등의 문제점을 가지고 있어, 제한된 범위에서 적용되고 있다.

전자기적 아크 요동은 Fig.1(a)와 같이 용접 아크에 자기장을 인가하여 아크가 Lorentz 힘을 받아서 자기장의 방향에 수직한 방향으로 편향되게하는 방법으로, 전자석에 인가되는 전류의 크기와 양극/음극의 스위칭 주파수를 조절하면

용접변수와 독립적으로 위빙 폭과 위빙 주파수를 쉽게 제어할 수 있고, 또한 아크의 위빙이 기존의 방법에서 사용된 기계적인 방법이 아닌 전자기적 방법이므로 아크를 고속으로 위빙할때도 토치의 진동이나 굽힘등이 발생하지 않는다. 본 연구에서는 아크 위빙방법으로 전자석을 사용하는 전자기적 아크 요동을 이용한 내로우 갭 용접 토치를 개발하여 내로우 갭 용접시 아크 특성 및 용접비드 특성 등을 알아보았다. 또한, 수치해석 및 용접실험을 통하여 자동 용접선 추적을 위한 아크센서로서의 특성을 알아보았다.

### 2. 용접 토치와 전자석의 개발

내로우 갭 용접에 사용될 전자석을 설계하기 위해서 전자석의 전자기 해석을 수행하였고, 그 결과 개발된 내로우 갭 용접토치는 Fig.1(b)와 같다. 전자석이 토치에 부착된 형태로 두께, 길이, 넓이는 각각 6mm, 160mm, 60mm이다. 용접팁의 표면은 세라믹으로 코팅되어 토치 몸체와 절연되어 있다. 냉각수는 용접팁 및 전자석의 과열을 방지하기 위해서 토치 내부를 순환되며, 보호가스는 토치 내부를 통하여 용접부 양쪽으로 공급된다. 아크 요동 제어기는 요동 주파수와 폭을 조절하는 기능을 가지고 있다.

### 3. 전자기적 아크 요동의 용접특성

자속밀도와 용접비드와의 관계를 조사하기 위해 아크 요동 주파수는 30Hz로 고정하였고, 전자석에 인가되는 전류를 변화시켜 용접아크에 인가되는 자속밀도를 0에서 75gauss 까지 변화시켰다. Figure

2는 자속밀도에 따른 용접비드의 변화를 나타낸 것으로 자속밀도가 증가할수록 용접비드의 용입 깊이 H는 감소하고, P는 증가하였다. 자속밀도가 증가하면 아크 요동 폭이 증가하기 때문에 비드 폭이 커져 옆면에서의 융합이 점차 증가하나 자속밀도가 너무 크게 증가하면 (75gauss) 언더컷이 발생하였다. 10mm 직각 홈의 용접시편에 용접전류 280A, 전압 31V, 용접속도 22cm/min, CTWD 15mm, 요동 주파수 30Hz의 용접조건에서는 약 50gauss의 자속밀도가 적절한 것으로 나타났다. Figure 3은 두께 22mm의 10mm 홈을 가진 후판의 내로우 갭 용접단면을 나타낸 것이다.

#### 4. 내로우 갭 용접에서의 아크센서 특성

내로우 갭 용접에서는 용접부위의 폭이 매우 작아, 용접 토치와 용접선의 작은 오차도 용접부 양쪽 벽면의 융합불량을 초래하기 때문에 센서를 이용한 자동 용접선 추적에 필요하며 전자기적 아크 요동을 이용한 아크센서는 부가적인 장치가 필요하지 않고 아크 요동에 따른 용접전류의 변화량 즉, 센서 민감도(sensitivity)가 크기 때문에 내로우 갭 용접의 용접선 추적에 적합하다.

전자기적 아크 요동은 아크 길이를 변화시키고, 아크길이에 따라 용접전류는 주기적인 변화를 갖게 된다. 내로우 갭 용접시 이러한 용접전류의 변화특성을 실험적으로 조사하였고, 수치해석을 통하여 이론적으로 고찰하였다.

아크길이는 Fig. 4와 같이 아크 편향 각  $\theta$ , CTWD  $L_t$ , 와이어 전극의 돌출길이  $L_e$ , 와이어 전극과 갭내부 옆면과의 거리  $W$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 아크길이는 다음과 같다.

$$I. (L_t - L_e) \tan \theta \leq W \rightarrow L_a = \frac{L_t - L_e}{\cos \theta} \quad (1)$$

$$II. (L_t - L_e) \tan \theta > W \rightarrow$$

$$L_a = \frac{L_t - L_e}{\cos \theta} - \frac{(L_t - L_e) \tan \theta - W}{\sin \theta} \quad (2)$$

Figure 5와 같이 같은 용접조건에서도 갭 폭에 따라 아크 모양 및 아크 요동 폭은 변한다. 그러므로 아크센서 시뮬레이션을 위해 다음과 같은 아크길이에 대한 가정을 이용하였다.

- |  |   |
|--|---|
| a. $W \leq W_c$  |   |
| ① $L_a > W$  | $\rightarrow$ Arc length = $W$              |
| ② $L_a \leq W$   | $\rightarrow$ Arc length = Eq.(1) or Eq.(2) |
| b. $W > W_c \rightarrow$ Arc length = Eq.(1) or Eq.(2) |   |

where  $W_c$  is the critical gap width.

와이어 전극과 홈 내부 옆면과의 거리  $W$ 가 어떤 임계값  $W_c$  보다 작을 경우, 아크길이가  $W$ 보다 크면 아크는 와이어 전극과 홈 내부 옆면에서 발생되고, 아크길이가  $W$ 보다 작으면 아크길이는 식(1), (2)에 의해서 계산된다. 또한  $W$ 가  $W_c$ 보다 클 경우의 아크길이는 식(1), (2)에 의해서 결정된다.

Figure 6은 아크 요동에 의한 용접전류 신호의 변화 및 모의실험 결과를 나타낸 것으로서, 요동 주파수 5Hz, 자속밀도 50gauss를 사용하였다. Figure 6(a)는 용접토치와 홈의 중심과의 편심이 없는 경우의 용접전류의 파형이고, (b)는 한쪽으로 1mm 편심을 주었을때의 용접전류의 파형이다. 전자기적 아크 요동을 이용한 아크센서는 용접선에 대한 용접토치의 편심에 높은 민감도를 나타냄을 알 수 있다.

#### 5. 결론

내로우 갭 용접시 나타나는 아크 모양 및 용접비드 모양을 관찰한 결과 높은 용접품질을 갖는 용접 조건과 아크 요동 조건을 선정할 수 있었다. 전자기적 아크 요동은 홈 내부 옆면에서의 용입을 증가시키고, 아크 요동 주파수가 증가함에 따라 옆면에서

의 용입은 약간씩 증가하였다. 자속밀도의 증가는 아크 요동 폭을 증가시키므로 자속밀도의 증가에 따라 옆면에서의 용입이 증가하였다.

아크 모양 관찰결과 아크 길이 및 아크 요동 폭은 내로우 갭 폭의 변화에 따라 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 아크 센서의 수치해석을 위해 아크길이에 대한 가정이 필요하였다. 실험결과와 가정을 이용한 해석결과는 잘 일치함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 Brain Korea 21 과제로 수행되었으며,

POSCO 연구소의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] V.Y.Malin:The State-of-the-Art of Narrow Gap Welding Part I, Welding Journal, April, 1983, pp.22-30  
 [2] Y.Sugitani, Y.Kobayashi and M.Murayama: Development and application of automatic high speed rotation arc welding, Welding International, 5(7), 1991, pp.577-583  
 [3] S.Kimura, I.Ichihara and Y.Nagai : Narrow-gap, gas metal arc welding process in flat position, Welding Journal, July, 1979, pp.44-52

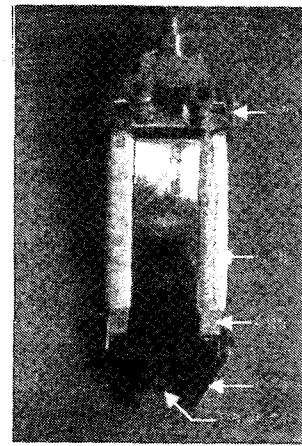
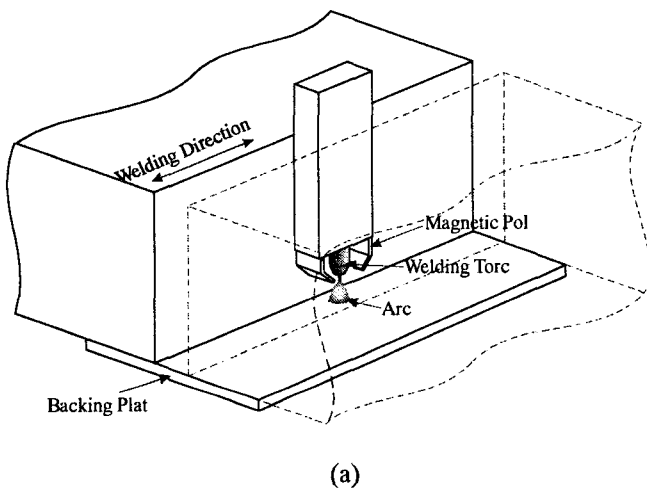


Figure 1 Narrow-gap welding by using electromagnetic arc oscillation

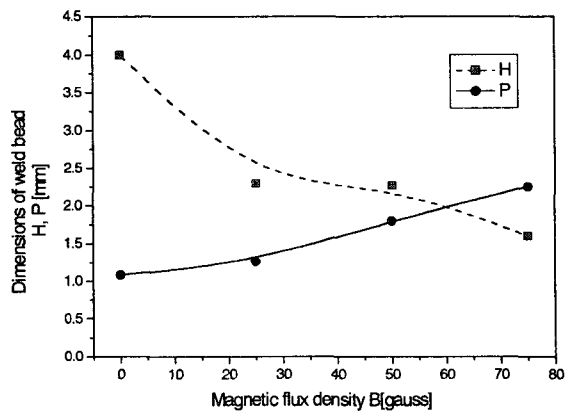
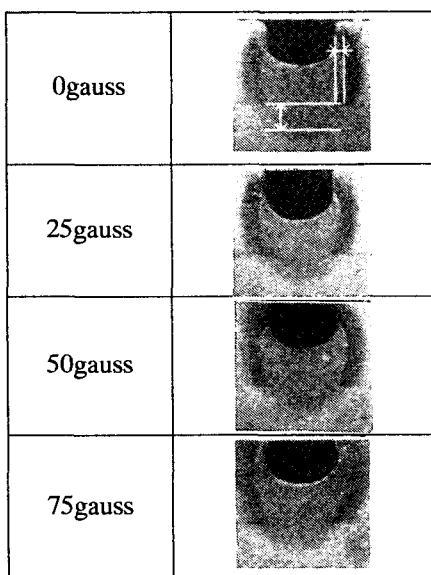


Figure 2 Influence of magnetic flux density on bead shape (oscillation frequency = 30Hz)

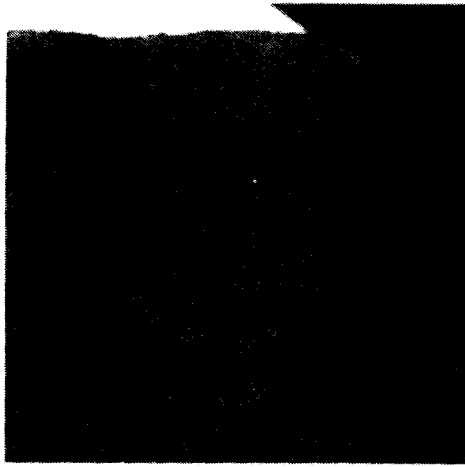


Figure 3 Example of macro section of thick plate (thickness:22mm, gap width:10mm)

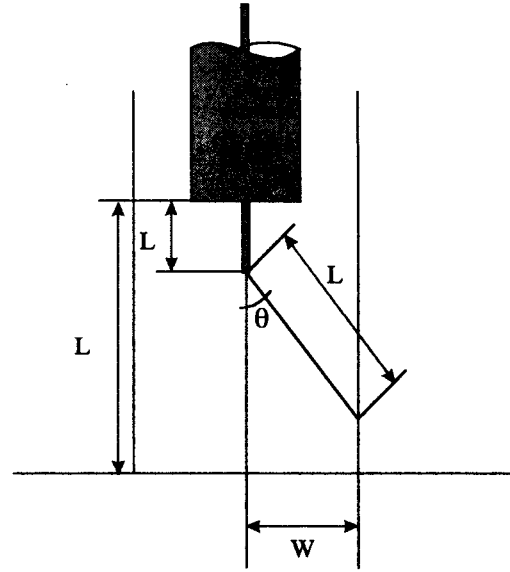


Figure 4 Arc length in narrow gap welding

Gap width	LEFT	CENTER	RIGHT
10mm			
8mm			

Figure 5 Arc column images for various gap widths during narrow gap welding

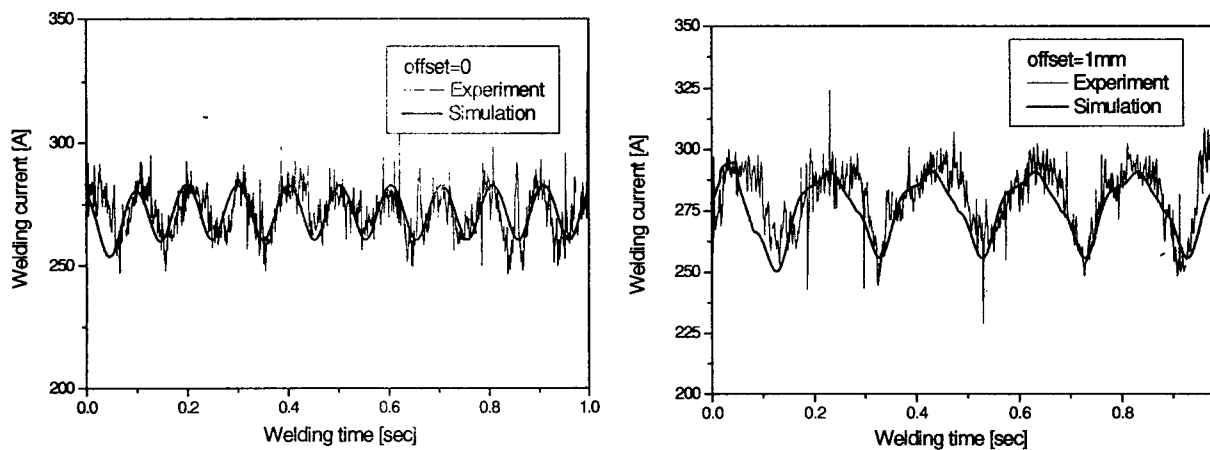


Figure 6 Welding current waveforms in narrow gap welding using magnetic arc oscillation