

MIAB용접에서 코일에 의한 자속밀도 분포의 수치적 해석에 관한 연구

A Study on the Numerical Analysis of MIAB Magnetic flux density by a Solenoid for Welding

구진모*, 최동혁*, 김재웅**

* 영남대학교 대학원 기계공학과

** 영남대학교 기계공학부

1. 서론

MIAB(magnetically impelled arc butt welding)용접법은 맞대 놓은 두 파이프 단면 사이에 아크를 발생시켜 이것을 전자기력으로 회전시킴으로써 단면부를 용융시키고 파이프를 축방향으로 가압하여 접합하는 방법이다. 따라서 MIAB용접법은 용접 토치나 모재의 동작이 없어 간단한 시스템으로도 자동화가 용이하고 파이프가 전극이 되어 대 전류 사용이 가능하여 고 능률적이다. 그리고 파이프 사이에 아크가 존재하므로 전력 손실을 줄일 수 있으며 특히 짧은 용접시간으로 생산성 향상에 기여할 수 있다. 또한 MIAB용접법은 스파터가 적기 때문에 상대적으로 깨끗한 용접부를 얻을 수 있으며 재료 소모량도 적다. 그리고 플래쉬용접과 비교해 전력 요구량이 적고 정렬오차(mismatch)가 있는 파이프간의 맞대기 용접도 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 두 파이프 사이 틈새에 형성되는 자속에 영향을 미치는 주요인자들을 선정해 자속 밀도에 대한 영향을 조사하였으며 실제모델을 충분히 대변할 수 있는 2차원 유한요소 해석모델을 구축해 실제 용접조건에서 측정 불가능한 자속밀도의 분포와 특성을 파악하였다. 또 해석한 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 실제 측정치와 비교하였다. 특히 자속밀도에 대한 해석결과들은 아크회전과 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일시스템 그리고 MIAB용접 장치의 설계에 유용한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

2. MIAB용접원리 및 해석모델

MIAB용접법은 회전하는 아크를 열원(heat source)으로 사용하며 파이프의 맞대기 용접에 효과적인 방법으로 Fig. 1에 MIAB용접법의 원리를 나타내었다. 우선 여자코일(exciting coil)은 각각의 파이프 끝에서 같은 극성(polarity)을 가지는 방법으로 자화되고 자속의 경로는 두 파이프 사이 틈새에서 파이프의 반경방향으로 된다. 그 후 아크를 접합부 틈새에 발생시키면 아크는 반경방향 자속과 교차하기 때문에 Fig. 2와 같이 플레밍의 왼손 법칙(Fleming's left-hand law)에 따라 전자기력을 받고 파이프 틈새에서 원주 방향으로 회전하기 시작한다. 그 결과 파이프 끝면은 가열되고 용융된다. 접합부가 적절한 용접 온도에 도달하는 순간에 파이프를 축방향으로 가압하여 접합한다.

파이프 사이 틈새에 형성되는 자속밀도는 아크회전과 용접품질에 중요한 변수로 작용하기 때문에 자속밀도에 영향을 미치는 주요인자들을 선정해 그 영향을 조사하였다. 그러나 실제 용접조건에서 자속밀도는 측정장치의 기하학적 형상의 제약으로 인해 측정 불가능하기 때문에 실제 용접조건에서 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을 미치는 파이프 틈새와 상하방향 자속밀도의 분포와 특성을 파악하기 위해 Fig. 3과 같이 실제 모델을 대변할 수 있는 2차원 유한요소 해석모델을 구축해 수치적으로 해석을 수행하였다. 실제 해석모델은 파이프 전체 길이를 모두 포함하나, 그림에서는 코일 근처의 유한 요소들을 나타내었다. 본 해석의 계산과정에는 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하였다.

3. 실험방법 및 장치

Fig. 3의 해석모델을 이용해 수치해석한 결과의 신뢰성 검증을 위해 실제 자속밀도의 측정치와 비

교를 목적으로 주요변수들에 따라서 나타나는 자속밀도를 측정하였다. 자속밀도의 실제 측정과 해석에 사용된 주요인자들은 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 파이프 사이 틈새(L_g), 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리(L), 그리고 코일에 흐르는 여자전류(I_e)로 하였다. 실험과 해석에 사용한 피용접재는 외경 48.1mm, 두께 2.0mm의 탄소강관으로 하였다. 파이프 사이 틈새에 반경방향 자속을 형성시키기 위해 자속발생용 코일시스템을 설계, 제작하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 여자전류에 따른 자속밀도

코일에 인가할 여자전류(I_e)에 따라서 발생하는 자속밀도는 달라지고 파이프 사이 틈새로 유기되는 자속은 영향을 받는다. 따라서 이러한 영향들을 파악하기 위해 Fig. 5에 각각의 여자전류의 수준에 따라서 나타나는 아크가 존재하는 파이프 틈새와 파이프 두께 상하방향의 자속밀도 분포와 특성을 측정치와 계산치를 비교해 나타내었다. Fig. 5(a)의 경우 자속밀도의 최대값은 약 650 Gauss로 (b)의 경우와 비교해 그 값의 비율은 거의 2배에 도달한다. 즉, 여자전류가 증가함에 따라 자속밀도의 최대치와 파이프 두께 외연부와 내연부의 자속밀도 차는 해석치와 측정치 모두가 커지고 해석치와 측정치의 값은 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

4.2 코일위치에 따른 자속밀도

여자전류와 같이 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리(L)도 자속밀도에 영향을 미치는 인자이다. 또 그것에 따라 실제 용접시 코일의 위치를 결정할 수 있다. 따라서 Fig. 6에 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리가 변할 때 나타나는 자속밀도 변화의 경향을 측정치와 해석치를 비교해 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 파이프 틈새 중심으로부터 코일까지 거리가 가까울수록 파이프 틈새부분의 자속밀도 값과 최대치는 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면 거리가 멀어질수록 자속밀도의 최대값은 감소하고, 일부부분에서 측정치와 해석치의 차가 증가 하는 것을 볼 수 있으나 자속밀도 분포의 경향은 전체적으로 잘 일치한다.

4.3 파이프 사이 틈새에 따른 자속밀도

파이프 사이 틈새(L_g)가 변할 때 아크를 회전시키는 전자기력은 달라지며 자속밀도에도 영향을 미치는 중요한 인자로 작용한다. 따라서 실제 용접시 파이프 사이 틈새 수준과 더불어 다양한 틈새 크기에 따라 나타나는 자속밀도의 특성을 파악하기 위해 측정장치를 이용해 측정하였다. Fig. 7은 그 결과를 보여준다. 파이프 사이 틈새가 좁을수록 자속밀도의 최대값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또 파이프 두께 외연부 근처에서 자속밀도 값은 파이프 틈새에 따라 상대적으로 큰 차이를 보이거나 파이프 두께 바깥표면으로부터 거리가 멀어질수록 자속밀도 값의 차이는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 파이프 두께 아래방향의 자속밀도 측정은 측정장치 프로브의 크기보다 파이프 사이 틈새가 좁은 관계로 측정이 불가능하였다. 실제 용접시 틈새 수준은 1.5-2.0mm이다. 따라서 이때 아크가 존재하는 파이프 두께와 파이프 두께 상하방향 부분의 측정 불가능한 자속밀도 값과 또 파이프 두께 바깥표면으로부터 거리에 따른 자속밀도 변화를 수치적 해석모델을 이용해 시뮬레이션(simulation)하였다. Fig. 8은 다양한 파이프 사이 틈새 크기에 따라서 파이프 두께부분과 그 주변의 자속밀도의 분포 특성을 나타낸다. 파이프 두께 부분에 자속밀도 변화의 기울기와 자속밀도의 최대값은 파이프 사이 틈새가 좁을수록 증가하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

- 1) 실제 모델을 대변할 수 있는 MIAB용접용 2차원 유한요소 해석모델을 구축하였다. 해석모델의 신뢰성 검증을 위해 자속밀도에 영향을 미치는 주요 인자들을 선정해 실제 측정치와 비교하였으며 그 결과 잘 일치하는 것을 볼 수 있었다.
- 2) 유한요소 해석모델을 이용함으로써 실제 용접조건에서 측정 불가능한 자속밀도에 대한 주요 변수

들의 영향을 파악하였다.

- 3) 여자전류와 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리 그리고 파이프 사이 틈새는 아크를 회전시키는 자속밀도 변화에 중요한 인자들로 작용한다.
- 4) 아크회전과 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일시스템 그리고 MIAB용접장치 설계에 필요한 기초자료를 제시하였다.

참고문헌

- [1] K.I. Johnson, A.W. Carter, W.O. Dinsdale, P.L. Threadgill and J.A. Wright, "The Magnetically Impelled Arc Butt Welding," *Welding Journal*, Vol. 58, No. 11, pp.17-27, 1979.
- [2] Shuzo MORI and Katsuhiko YASUDA, "Magnetically Impelled Arc Butt Welding Of Aluminum Pipes," *Transaction of J.W.S*, Vol. 21, No. 1, pp.3-10, 1990
- [3] Tsugihiko Satoh, Joichi Katayama, Seiji Ioka and Masahiro Otani, "An Experimental Study On Rotating Behavior Of Arc during Magnetically Impelled Arc Butt Welding", *Journal of J.W.s.*, Vol. 8, No. 1, pp.71-77, 1990.

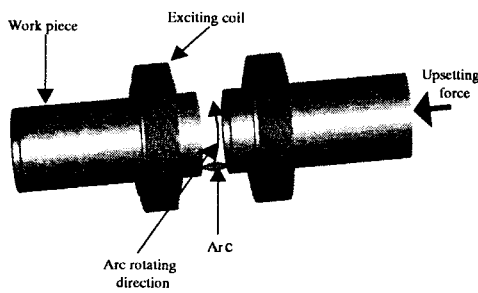


Fig. 1 Principle of MIAB welding

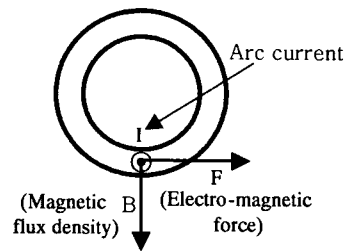


Fig. 2 Fleming's left-hand law

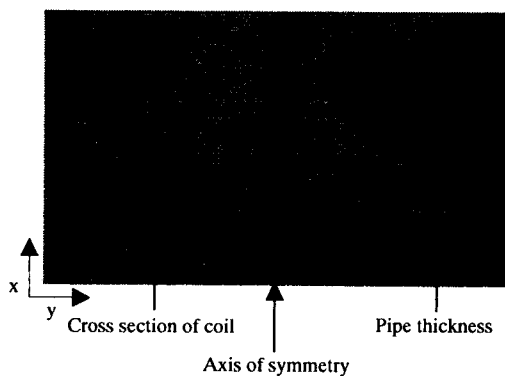


Fig. 3 Analysis model

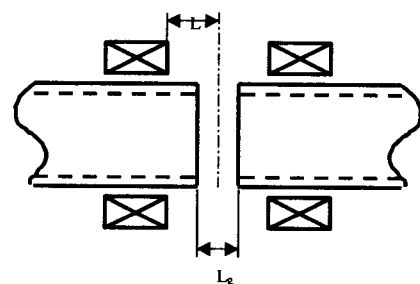
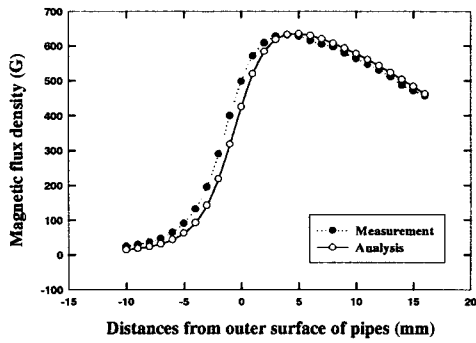
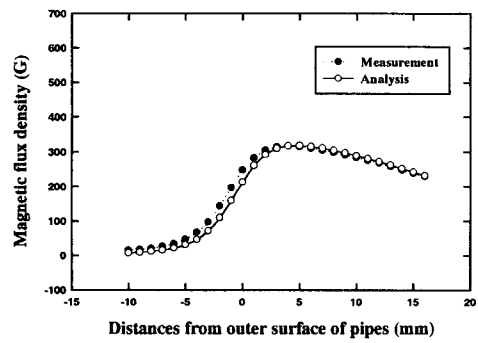


Fig. 4 Main factors in the measurement and analysis of magnetic flux density

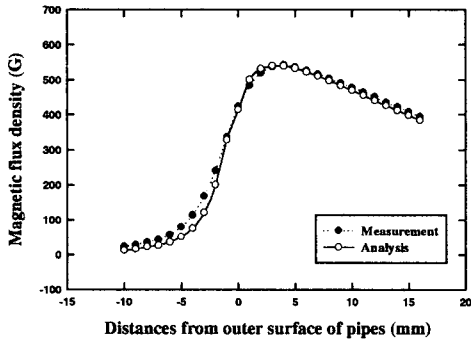


(a) $I_e = 2.0 \text{ A}$

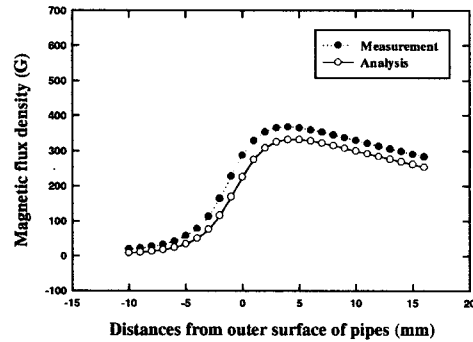


(b) $I_e = 1.0 \text{ A}$

Fig. 5 Comparison between measurement and analysis corresponding to the exciting current ($L=10\text{mm}$, $L_g=7.0\text{mm}$)



(a) $L = 20 \text{ mm}$



(b) $L = 50 \text{ mm}$

Fig. 6 Comparison between analysis and measurement corresponding to the interval ($I_e=2.0 \text{ A}$, $L_g=7.0 \text{ mm}$)

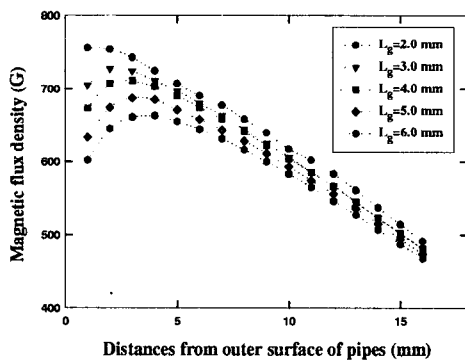


Fig. 7 Magnetic flux density distributions according to the gap ($I_e=2.0\text{A}$, $L=10\text{mm}$)

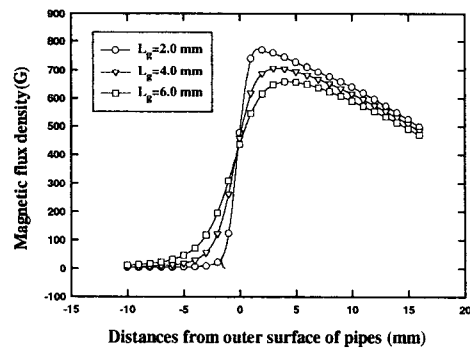


Fig. 8 Result of analysis according to the gap (L_g) ($I_e=2.0\text{A}$, $L=10\text{mm}$)