

# MIAB 용접용 개폐형 자속발생장치의 설계에 관한 연구

## A Study on Design of an Openable Magnetic Flux Generator for MIAB Welding

구 진모\*, 김 재웅\*\*

\* (주)대현테크 기술연구소, 대구

\*\* 영남대학교 공과대학 기계공학부, 경북 경산

### 1. 서 론

용접 자동화가 추진되고 있는 가운데 파이프의 용접에서도 TIG용접법이나 MAG용접법을 중심으로 자동화 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 이 방법들과 달리 MIAB 용접법은 2개의 파이프 틈에 아크를 발생시키고 그곳에 인가한 교차하는 자기장과 상호 작용으로 아크를 고속으로 회전시켜 파이프의 단면을 용융시킨 후 압접하는 방법이다. TIG 용접법과 MAG 용접법은 파이프 원주 방향의 용접선을 따라 용접하는 방법들이다. 따라서 용접 품질을 보장하기 위해서는 토치 헤드부의 정밀한 위치제어가 필요하다. 하지만 MIAB 용접법은 토치나 모재의 동작이 없어 간단한 시스템의 자동화가 용이할 뿐만 아니라 공정도 신속하게 진행할 수 있다는 장점을 가진다.

본 연구에서는 아크 회전에 필요한 자장 발생용 개폐형 코일 시스템과 MIAB 용접장치를 설계 제작하였다. 본 용접법에 대한 이전 연구에서 파이프 반경 방향 자장이 강할수록 아크 회전 속도는 증가하고 파이프 끝의 용융이 균일해지며 더 좋은 용접 결과를 얻을 수 있다고 알려져 있다. 따라서 이러한 점을 고려하여 코일 시스템에 대한 주요 변수들을 선정해 적절한 코일 시스템을 구축하였다.

### 2. MIAB 용접의 원리

MIAB 용접법은 별도의 코일에 전류를 인가해 자기장을 형성시켜 투자율이 높은 2개의 파이프 사이에 자장을 집중시키고 그 후 아크를 발생시켜 아크와 자기장의 상호작용으로 발생된 전자기력에 의해 아크를 고속으로 회전시켜 파이프 단면을 용융시킨 후 압접하는 방법이다. Fig. 1은

MIAB용접법의 원리를 나타낸다. 우선 여자 코일은 같은 극성을 가지는 방법으로 자화되고 자속의 경로는 두 파이프 사이 틈에서 파이프 축에 반경 방향으로 된다. 그 후 아크를 접합부 틈새에 발생시킨다. 아크는 반경 방향 자기장과 교차하기 때문에 그것은 플레밍의 왼손 법칙으로 인한 전자기력을 받고 파이프 끝면을 따라서 자기장과 아크전류에 수직인 방향으로 회전하기 시작한다. 그 결과 파이프 끝면은 가열되고 용융된다. 접합부가 적절한 용접 온도에 도달하는 순간에 접합부를 접합시키기 위한 가압력을 적용한다.

아크 회전 방향은 플레밍의 왼손 법칙에 의해서 결정된다. 즉 Fig. 1의 오른쪽 그림과 같이 전류의 방향과 자기장의 방향이 수직인 경우 왼손의 엄지, 검지 그리고 중지 세 손가락을 수직이 되게 뻗을 때 중지는 전류(I)의 방향, 검지는 자기장(B)의 방향 그리고 엄지는 전류가 자기장 내에서 받는 전자기력(F)의 방향이 된다. 아크는 파이프 사이 틈에 steel 조각을 삽입해 2개의 파이프에 전압을 가함으로서 특정 위치에 발생시킬 수도 있다.

Fig. 2와 같이 나타낸 개폐형 코일은 기존 연구자의 코일에 비해 모재 착탈이 용이해 생산성을 향상시킬 수 있고 자속 발생장치를 용접부에 근접시킬 수 있어 모재의 돌출길이를 짧게 함으로써 용접품질을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

### 3. 자속밀도의 FEM 해석

#### 3.1 개폐형 코일의 형상결정

파이프 사이 틈새에서 아크를 회전시키기 위해 필요한 자속밀도를 충분히 발생시킬 수 있는 개폐형 코일 형상을 제작하기 위해 상용 유한요소

해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 코일 형상을 결정지었다.

해석의 기초자료로 기존연구자의 결과를 바탕으로 하여 해석을 수행하였고, 해석 조건은 파이프 사이 틈새 길이를 7mm, 코일에 흘려주는 여자 전류는 2A로 하였고 코일의 turn수는 1200회로 하였다. 코일이 감기는 core 부분을 파이프 쪽으로 돌출시킨 형상으로 해석을 수행해 보았고 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 결과에서 보이듯이 core가 존재하는 부분에서는 아크를 회전시키는 충분한 자속밀도가 형성되지만 core와 core 사이에서의 자속밀도가 낮아서 아크가 불안정하게 회전하게 됨을 알 수 있다. 따라서 최종 개폐형 코일의 형상은 concentrator를 Fig. 4와 같이 ring 형상으로 결정하여 해석을 수행하였다. 이때 파이프 끝 단면에서의 반경방향 자속밀도는 Fig. 4의 오른쪽 그림과 같이 형성되고 앞의 경우와 비교해서 균일한 자속밀도가 형성됨을 알 수 있다.

### 3.2 개폐형 코일의 FEM 해석

균일한 용접 품질을 나타내기 위해서 파이프 사이 틈새에 형성되는 자속을 가능한 크게 하는 것이 필요하다. 따라서 반경 방향 자속은 아크 회전 거동과 용접품질에 영향을 미치는 주요인자이기 때문에 자속발생에 영향을 미치는 주요 변수들을 선정해 그것들과의 상관 관계를 살펴보았다.

자속밀도의 수준 변화에 영향을 미치는 인자들로 코일에 흐르는 여자전류( $I_e$ ), 파이프 외주 표면과 코일까지의 거리(L), 파이프 사이틈새( $L_g$ )를 선정했다. 각각의 인자들과 해석 조건은 각각 Fig. 5와 Table 1에 나타냈었다. 해석에서 좌표는 파이프의 하단 두께 바깥 표면을 중심으로 위쪽을 양의 방향 아래쪽을 음의 방향으로 하였다.

Table 1 Analysis conditions for the magnetic flux density measurement

Exciting current $I_e$ (A)	Interval L (mm)	Gap $L_g$ (mm)
1.0	10	2.0
1.5	20	3.0
2.0	30	4.0
	40	5.0
	50	6.0
		7.0

#### 3.2.1 여자전류에 따른 자속밀도

Fig. 6은 코일에 흐르는 여자전류와 자속밀도의 상관관계를 보여주고 그 때의 파이프 두께 상하 방향의 자속밀도의 변화를 나타내고 있다. 코일에 인가할 여자전류( $I_e$ )에 따라서 발생하는 자속밀도는 달라지고 파이프 틈새로 유기되는 자속은 영향을 받는다. 그림에서 알 수 있듯이 여자전류가 증가할수록 자속밀도의 값이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 여자전류에 따른 파이프 두께 부분의 자속밀도를 보면 내연부가 최소이고 외연부가 최대이며 그 비율은 약 4배에 도달한다. 해석시 파이프 사이 틈새는 실제 용접조건인 2 mm로 하였고, 파이프 바깥 표면에서 코일까지의 거리는 10 mm로 하였다.

#### 3.2.2 코일-파이프 표면 거리에 따른 자속밀도

파이프 바깥 표면으로부터 코일까지의 거리도 자속밀도의 값에 영향을 미칠 수 있다. Fig. 7은 그 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 파이프 바깥 표면으로부터 코일까지의 거리가 가까울수록 파이프 틈새 부분의 자속밀도 값이 커지는 것을 볼 수가 있다. 반면 거리가 증가할수록 자속밀도의 최대값은 감소한다. 코일까지의 거리가 10mm를 넘어서게 되면 자속밀도의 차가 확연히 나타남을 알 수 있고, 여기서 코일까지의 거리를 10mm로 결정하였다. 해석의 수행시 파이프에 흘려주는 여자전류는 2 A로 하였고, 파이프 사이 틈새길이는 2 mm로 하였다.

#### 3.2.2 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 위하여 해석을 수행하였다. Fig. 8은 그 결과를 보여준다. 파이프 사이 틈새가 좁을수록 자속밀도의 최대값과 자속밀도 변화량(기울기)이 증가하는 것을 볼 수 있다. 파이프 두께 외연부 근처에서 자속밀도 값은 파이프 틈새에 따라 별 차이가 없다. 즉, 파이프 사이 틈새에 따른 자속밀도의 차이는 그렇게 많이 나지 않음을 알 수 있는데, 이것은 코일을 감는 코어부분을 서로 연결해 주는 concentrator에 의해서 파이프 사이 틈새가 달라져도 concentrator가 있는 영역에서는 자속들이 concentrator로 집중되기 때문일 것으로 사료된다.

#### 4. 자속밀도의 측정 및 해석결과와의 비교

실험에서 사용한 파이프들은 강자성 재료인 외경 48.1mm, 두께 2mm의 일반 구조용 탄소강관으로 하였다. 파이프 사이 틈새에 형성되는 자속밀도는 아크회전과 용접품질에 중요한 변수로 작용하기 때문에 자속밀도에 영향을 미치는 주요인자들을 선정해 그 영향을 조사하였다. 실제용접조건인 파이프 틈새가 2mm때의 측정은 앞에서 언급한 바와 같이 측정장치의 기하학적 형상으로 인해 측정이 불가능해 틈새가 7mm 일 때의 측정치와 해석결과를 비교하였다. 측정 위치의 좌표는 파이프 두께 바깥쪽 표면을 중심으로 위쪽을 양의 방향 아래쪽을 음의 방향으로 한다. 개폐형 코일의 형상 특성상 파이프 하단쪽에서만 측정이 가능하다. 개폐형 코일을 열은 상태에서 파이프 하단 쪽에서 측정하였다. 또, 앞에서 언급한 인자들인 여자전류( $I_e$ ), 파이프 바깥 표면에서 코일까지의 거리( $L$ ), 그리고 파이프 사이 틈새( $L_g$ )에 따라 측정을 하여야겠지만 개폐형 코일의 형상 특성상 여자전류에 따른 자속밀도의 변화만을 측정하였다. 측정시 코일을 열고 측정을 하여야 하기 때문에 해석모델에서도 파이프의 상부 코일을 없애 버리고 하부 코일만을 적용하여 해석을 수행하였다. Fig. 9는 각각의 여자전류의 수준에 따라서 나타나는 아크가 존재하는 파이프 틈새와 파이프 두께 상하방향의 자속밀도 분포와 특성을 측정치와 비교해 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 여자전류가 증가함에 따라 자속밀도의 최대치와 파이프 두께 외연부와 내연부의 자속밀도차는 해석치와 측정치 모두가 커지고 해석치와 측정치의 값은 비교적 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

#### 5. 결 론

- 1) 실제 모델을 대변할 수 있는 MIAB 용접용 3차원 유한요소 해석모델을 구축해 실제 용접조건에서 측정 불가능한 자속밀도에 대한 주요 변수들의 영향을 파악하였다.
- 2) 해석의 신뢰성 검증을 위해 자속밀도에 영향을 미치는 주요 인자인 여자전류의 변화에 따른 자속밀도의 변화를 실제 측정치와 비교하였고, 그 결과 잘 일치하는 것을 볼 수 있었다.
- 3) 여자전류와 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지의 거리, 그리고 파이프 사이 틈새는 아

크를 회전시키는 자속밀도 변화에 중요한 인자들로 작용했으며, 즉 여자전류가 증가할수록, 파이프 사이 틈새가 감소할수록 파이프 사이 틈새에 형성되는 반경방향 자속밀도는 증가하였다. 특히 파이프 바깥 표면에서 코일까지의 거리가 가까울수록 자속밀도는 증가하고, 파이프 두께 외연부와 내연부의 자속밀도 차는 커지는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Kenji Tagaki, Fumiho Arakida, Hideaki Miyamori and Mikio Ozawa : Arc Rotating Phenomena in Rotating Arc Butt Welding Of Steel Pipes, Journal of J.W.S., 4-2(1986), 305-311.
2. K.I. Johnson, R.C. Crafer and D.A. Edson : Advanced In Laser and MIAB Welding Technique, Welding Journal, 62-2(1983), 15-20
3. K.I. Johnson, A.W. Carter, W.O. Dinsdale, P.L. Threadgill and J.A. Wright : The Magnetically Impelled Arc Butt Welding, Welding Journal, 58-11(1979), 17-27.
4. Shuzo MORI and Katsuhiko YASUDA : Magnetically Impelled Arc Butt Welding Of Aluminum Pipes, Transactions of J.W.S. 21-1(1990), 3-10.
5. 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., 8-1(1990), 71-77.
6. Dong-Hyeok Choi, Jae-Woong kim : A Study on an Electro-Magnetic System for Arc Rotating in MIAB Welding, Journal of KWS Vol. 19, No. 4. August 2001.
7. Dong-Hyeok Choi, Jae-Woong kim : A Study on the Numerical Analysis of Magnetic flux density by a Solenoid for MIAB Welding, Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 18, No. 12. December 2001.

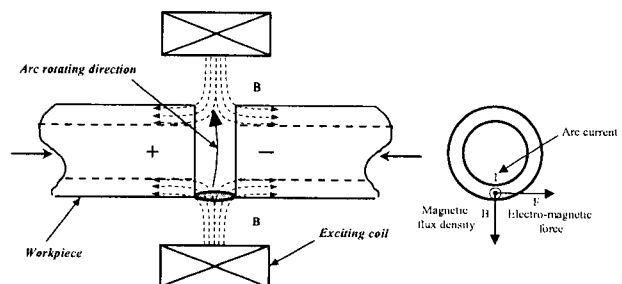


Fig. 1 Principle of Magnetically Impelled Arc Butt

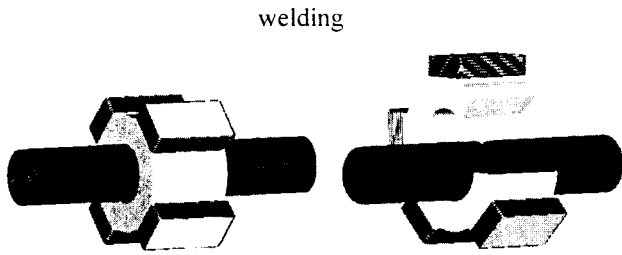


Fig. 2 Openable coil

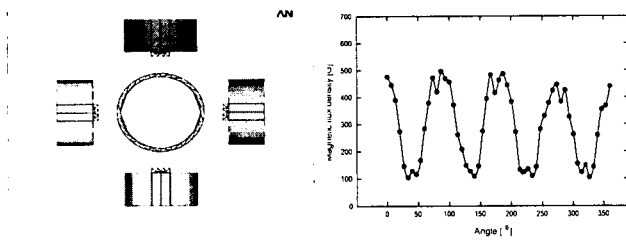


Fig. 3 Analysis model (4 core) and result of analysis

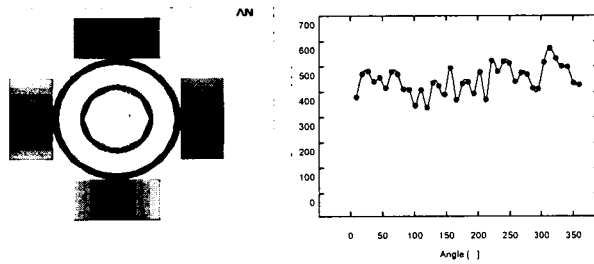


Fig. 4 Final Analysis model and result of analysis

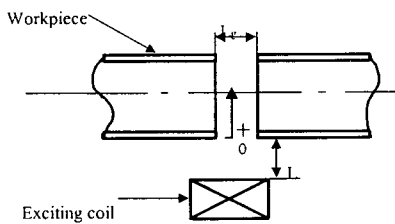


Fig. 5 Main factor in the measurement of flux density

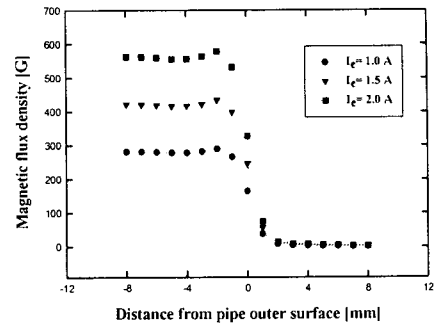


Fig. 6 Relation between flux density and exciting current

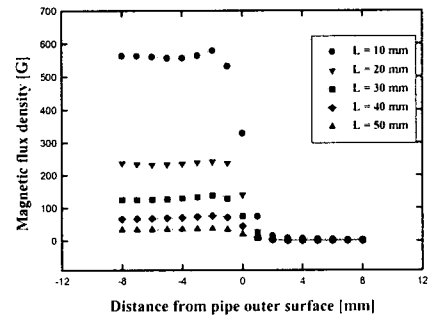


Fig. 7 Relation between flux density and interval

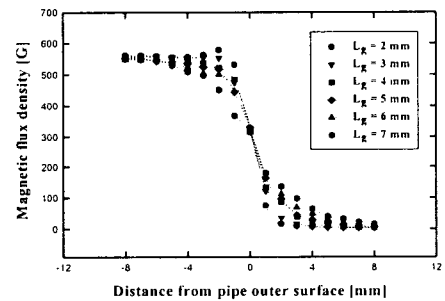


Fig. 8 Relation between flux density and gap

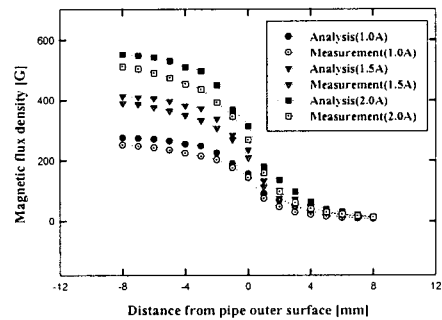


Fig. 9 Comparison between measurement and analysis corresponding exciting current