

# MIAB용접에서 자속밀도 분포 및 아크회전 특성에 관한 연구

## A Study on a Magnetic Flux Density Distribution and Arc Rotating Characteristics in Magnetically Impelled Arc Butt Welding

최동혁\* · 김재웅\*\*

\* 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 영남대학교 공과대학 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. 자속밀도는 MIAB용접공정과 용접품질에 중요한 인자로 작용하므로 MIAB용접법의 특성상 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일 시스템은 MIAB용접에서 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 자속 발생 및 집속에 유리한 코일시스템 설계와 용접품질 모니터링 및 공정제어를 하기 위해 선행되어야 할 초기단계의 실험으로써 자속밀도와 아크회전거동에 대한 공정변수들의 영향을 파악하고자 하였다.

### 2. MIAB용접의 원리

MIAB용접법은 회전하는 아크를 열원(heat source)으로 사용하며 파이프의 맞대기 용접에 효과적인 방법으로 Fig. 1에 MIAB용접법의 원리를 나타내었다.

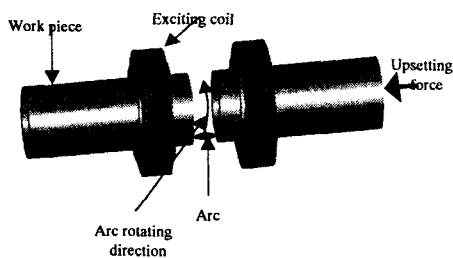


Fig. 1 Principle of MIAB welding

우선 여자코일(exciting coil)은 각각의 파이프 끝에서 같은 극성(polarity)을 가지는 방법으로 자화되고 자속의 경로는 두 파이프 사이 틈에서 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 전자기력(electro-magnetic force)을 받고 파이프 틈새에서 원주 방향으로 회전하기 시작한다. 그 결과 파이프

끝면은 가열되고 용융된다. 접합부가 적절한 용접 온도에 도달하는 순간에 파이프를 축방향으로 가압하여 접합한다.

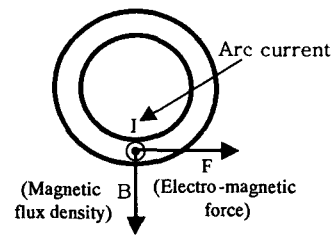


Fig. 2 Fleming's left-hand law

### 3. 실험방법 및 장치

#### 3.1 코일 시스템 제작

실험에서 사용한 파이프들은 강자성 재료인 외경 48.1mm, 두께 2mm의 일반 구조용 탄소강관(KS D 3566)으로 하였다. 코일선은 0.5mm직경의 에나멜 와이어이며 아크 회전에 필요한 자기력을 얻기 위해 권수가 960회(turn)인 코일을 2개 사용했다<sup>1)</sup>.

#### 3.2 실험방법

##### 3.2.1 자속밀도 측정

반경방향 자속은 아크 회전 거동과 용접품질에 영향을 미치는 주요 인자로 작용하기 때문에 자속발생에 영향을 미치는 주요 변수들을 선정해 그것들과의 상관 관계를 조사하였다. Fig. 3과 같이 가우스 메타(Gauss meter)의 프로브(probe)를 이용해 파이프 두께와 상하 방향의 자속밀도를 측정하였다.

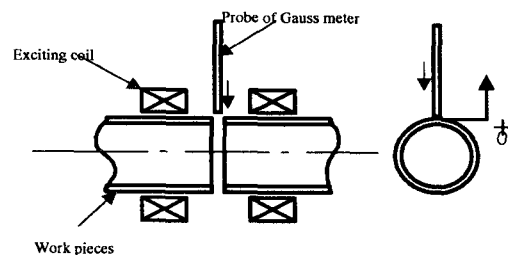


Fig. 3 Measuring method of magnetic flux density

측정 위치의 좌표는 Fig. 3과 같이 파이프 두께 바깥 쪽 표면을 중심으로 위쪽을 양의 방향 아래쪽을 음의 방향으로 한다. 자속밀도는 코일에 인가할 여자전류 ( $I_e$ ), 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리 ( $L$ ), 그리고 파이프 사이 틈새( $L_g$ )에 따라 측정하였다. 이들 각각의 인자들은 Fig. 4에 나타내었다. 그리고 자속밀도 측정에 사용한 각 변수들의 조건은 Table. 1에 나타내었다.

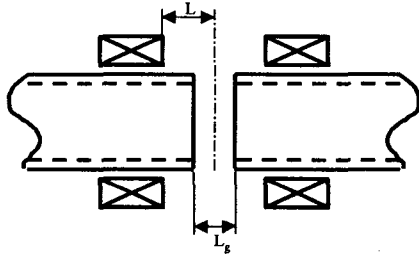


Fig. 4 Main factors in the measurement of the magnetic flux density

Table 1. Experiment 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

### 3.2.2 아크의 회전 거동

아크를 구동시키는 전자기력의 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B} \quad (1)$$

$\vec{F}$  : Density of force propelling arc

$\vec{J}$  : Current density

$\vec{B}$  : Magnetic flux density

하지만 이 전자기력은 아크의 길이에 따라 달라지기 때문에 다음과 같이 표현 할 수 있다<sup>2)</sup>.

$$F \propto B \cdot I \cdot L_a \quad (2)$$

$F$  : Force propelling arc

$B$  : Magnetic flux density

$I$  : Arc current

$L_a$  : Arc length

위 식에서 알 수 있듯이 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을 미치는 주요 변수들로 자속밀도, 용접전류, 그리고 아크 길이를 들 수 있다. 자속밀도 값의 변화는 실제로 여자전류에 의해서 얻을 수 있고 아크길이의 변화는 틈새에 따라 달라지기 때문에 여자전류와 틈새를 변수로 선정하였다.

### 3.2.3 아크회전수 측정

아크 회전수 측정을 위한 실험조건들은 Table. 2와 같다.

Table 2. Experiment conditions for the arc rotating frequency measurement

Welding current $I_w$ (A)	Exciting current $I_e$ (A)	Gap $L_g$ (mm)
400	2.0	2.0
300	1.5	1.5
200	1.0	

아크 회전수 측정을 위해 포토 트랜지스터를 파이프 아래쪽에 위치시켜 아크 광에 의한 포토 트랜지스터의 출력 신호를 이용하여 아크 회전수를 측정하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 주요인자들에 따른 자속밀도

#### 4.1.1 여자전류에 따른 자속밀도

코일에 인가할 여자전류에 따라서 발생하는 자속밀도는 달라지고 파이프 틈새로 유기되는 자속은 영향을 받는다. Fig. 5는 자속밀도에 대한 여자전류의 영향을 나타낸다

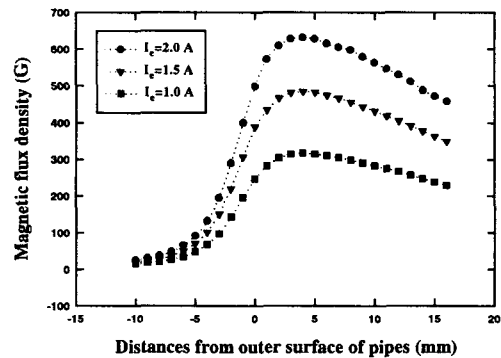


Fig. 5 Magnetic flux density distributions according to the exciting current  $I_e$ , ( $L=10$ mm,  $L_g=7.0$ mm)

여자전류가 증가할수록 자속밀도의 최대치와 파이프 단면 외연부와 내연부의 자속밀도 차는 커진다.

#### 4.1.2 코일의 위치에 따른 자속밀도

Fig. 6은 자속밀도에 대한 파이프 사이 틈새 중심으로 부터 코일까지 거리의 영향을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이 거리가 가까울수록 누설자속이 감소하여 파이프 사이 틈새로 유기되는 자속밀도 값은 증가하고 파이프 단면 외연부와 내연부의 자속밀도 차도 커지는 것을 볼 수 있다.

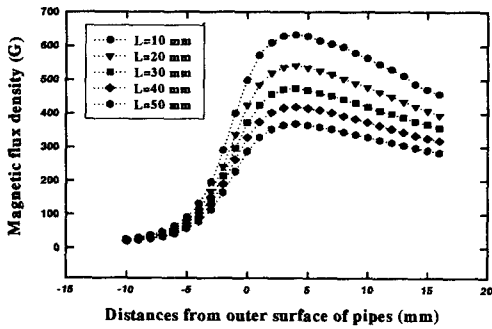


Fig. 6 Magnetic flux density distributions according to the interval  $L$ , ( $I_e=2.0A$ ,  $L_g=7.0mm$ )

#### 4.1.3 파이프 사이 틈새에 따른 자속밀도

파이프 사이 틈새크기에 따라 아크길이와 자속밀도는 달라진다. 따라서 실제 용접시 틈새의 수준과 더불어 다양한 틈새 크기의 자속밀도에 대한 영향을 조사하였다. 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

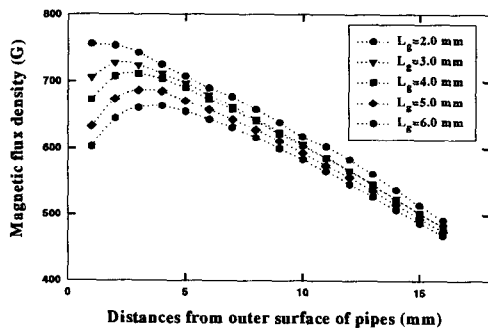


Fig. 7 Magnetic flux density distributions according to the gap  $L_g$ , ( $I_e=2.0A$ ,  $L=10mm$ )

그림에서 알 수 있듯이 틈새가 좁을수록 자속밀도 값은 증가하는 것을 볼 수 있다.

## 4.2 공정변수들에 따른 아크 회전수

### 4.2.1 용접 전류에 따른 아크 회전수

용접전류는 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을 주는 인자들 중 하나이다. Fig. 8은 아크 회전수에 대한 용접전류의 영향을 나타낸다.

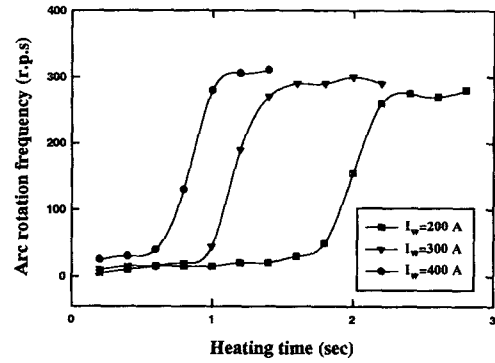


Fig. 8 Arc rotating frequency according to the welding current( $I_w$ )

그림에서 알 수 있듯이 용접전류는 아크회전수 변화 시간에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

### 4.2.2 여자 전류에 따른 아크 회전수

Fig. 9는 여자전류에 따른 아크회전수 변화를 나타낸다.

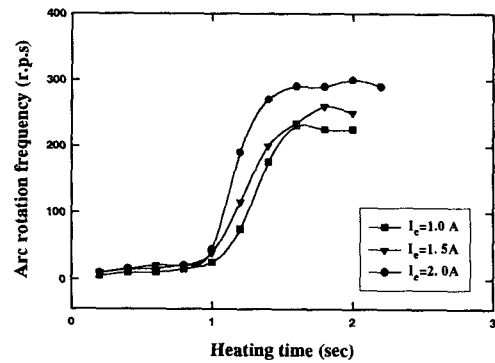


Fig. 9 Arc rotating frequency according to the exciting current( $I_e$ )

여자전류는 아크회전수 변화시간과 위치에는 연관하지 않으며 아크회전수의 정량적인 변화에 작용하는 것을 알 수 있다.

### 4.2.3 파이프 사이 틈새에 따른 아크 회전수

파이프 사이 틈새도 용접전류, 여자전류와 같이 아

크를 회전시키는 전자기력에 영향을 주는 인자이다. Fig. 10은 아크회전수에 대한 파이프 사이 틈새의 영향을 보여준다.

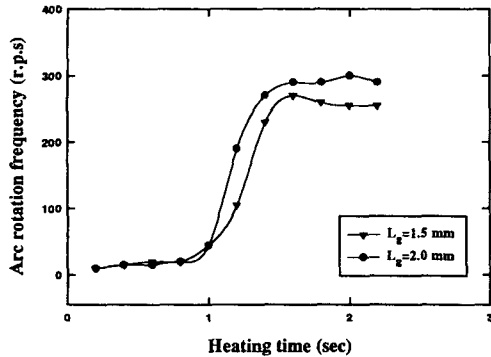


Fig. 10 Arc rotating frequency according to the gap(L<sub>g</sub>)

그림에서 보는 것처럼 여자전류와 같이 아크회전수 변화시간과 위치에 대한 틈새의 영향은 없으며 아크회전수 증감에만 작용하고 있다.

## 5. 결론

본 연구는 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일시스템 설계와 용접품질 모니터링 및 공정제어를 하기 위해 선행되어야 할 초기단계의 실험으로써 외경 48.1mm, 두께 2.0mm의 탄소강 파이프를 대상으로 자속 밀도와 아크회전거동 특히, 아크회전수에 대한 공정변수들의 영향들을 조사하였다.

1) 본 연구에서는 파이프 사이에 발생시킨 아크를 회전시킬 수 있는 코일시스템을 설계, 제작하였다.

2) MIAB용접법의 특성상 아크를 회전시키는 자속 밀도는 매우 중요한 변수이다. 따라서 자속 밀도에 대한 주요인자들의 영향을 조사하였다. 즉, 여자전류가 증가할수록, 파이프 사이 틈새 중심으로부터 코일까지 거리가 가까울수록 그리고 파이프 사이 틈새가 좁을수록 아크를 회전시키는 파이프 사이 틈새에 형성되는 자속 밀도는 증가하고 또 파이프 두께 내연부와 외연부의 자속 밀도차는 커지는 것을 알 수 있었다.

3) 아크회전거동 특히, 아크회전수의 증감은 여자전류와 파이프 사이 틈새에 영향을 받으며 용접전류는 아크회전수 변화시간에 영향을 크게 미치는 것을 볼 수 있었다. 즉, 용접초기 아크는 파이프 단면 내연부에서 저속회전하고 그 후 외연부로 이동해 고속으로 회전한다.

4) 아크 회전속도는 파이프 단면의 용융상태를 반영하는 것으로 판단되며 파이프 단면 전체를 균일하게 용융시키기 위해 필요한 용접시간은 용접전류가 감소할수록 길어진다는 것을 알 수 있었다.

5) 이상의 결과들은 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일시스템 설계 및 용접품질 모니터링에 대한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 6. 참고 문헌

1. 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.
2. 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.