

MIAB용접에서 아크 회전을 위한 전자기 시스템에 관한 연구

최 동 혁*·김 재 응**

* 영남대학교 대학원 기계공학과

** 영남대학교 공과대학 기계공학부

A Study on an Electro-Magnetic System for Arc Rotating in MIAB Welding

Dong-Hyeok Choi* and Jae-Woong Kim**

* Graduate School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyongsan Kyongbuk 712-749, Korea

** School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyongsan Kyongbuk 712-749, Korea

Abstract

MIAB welding method uses a rotating arc as its heat source and is known to be efficient in pipe butt welding. The arc is rotated around the weld line by the electro-magnetic force resulting from the interaction of arc current and magnetic field.

This paper is concerned with the experiment of initial stage for process control, monitoring for weld quality, and the design of coil system which is efficient for flux generation and concentration.

A coil system for the generation of magnetic flux was designed and constructed. Magnetic flux density and arc rotating behavior are important factors in MIAB welding, so the relations between these factors and process parameters were investigated. Various experiments were performed for the steel pipes(48.1mm O.D and 2.0mm thickness). The magnetic flux density is increased by increasing exciting current and decreasing gap size. The maximum of arc rotating frequency is affected by exciting current and gap size. However, the variations of arc rotating frequency during welding and then the melting process are mainly influenced by welding current.

Thus, it is considered that the results of this study can be used as important data on the monitoring for weld quality and the design of efficient coil system.

(Received January 30, 2001)

Key Words : MIAB welding method, Electro-magnetic force, Magnetic flux density, Arc rotating frequency

1. 서 론

용접 자동화가 추진되고 있는 가운데 파이프의 용접에서도 TIG(tungsten inert gas)용접법이나 MAG(metal active gas)용접법을 중심으로 자동화 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. TIG용접법과 MAG용접법은 용접선을 따라 파이프 주위를 토치 헤드부가 이동하면서 용접하는 방법이다. 이런 방법들에서 용접부 품질을 보장하기 위해서는 토치 헤드부의 정밀한 위치제어가 필요하다.

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 대전류 사용이 가능하고 능률적이다¹⁾. 그리고 파이프 사이에 아크가 존재하므로 전력 손실을 줄일 수 있다. MIAB용접에서 용접시간은 파이프의 직경과 두께에 따라 적절하게 결정되지만 일반적으로 짧은 용

접시간으로 인해 생산성 향상에 기여할 수 있다. 또한 MIAB용접법은 스파터가 적기 때문에 상대적으로 깨끗한 용접부를 얻을 수 있으며 재료 소모량도 적다²⁾. 그리고 플래쉬 용접과 비교해 전력 요구량(power requirements)이 적고 정렬오차(mismatch)가 있는 파이프간의 맞대기 용접도 가능하다는 장점이 있다³⁾.

MIAB용접법은 일본, 독일, 러시아 등 몇몇의 선진국들에서 개발 예를 볼 수 있다. 기존의 연구들에서는 주로 MIAB용접의 특성 중 하나인 피 용접재의 두께에 따라서 나타나는 자속밀도의 분포와 아크회전거동(arc rotating behavior) 특히, 아크회전의 위치변화와 특성에 초점을 맞추어 그 원인을 규명하고자 하였다. 자속밀도는 MIAB용접공정과 용접품질에 중요한 인자로 작용하므로 MIAB용접법의 특성상 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일 시스템은 MIAB용접에서 매우 중요한 요소이다. 기존의 연구들에서 코일의 위치 및 파이프 튜스에 따른 자속밀도 분포의 변화, 시간에 따른 아크회전 속도의 변화등 보다 세밀한 연구가 미흡한 실정이다. 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. 우선 여자코일(exciting coil)은 각각의 파이프 끝에서 같은 극성(polarity)을 가지는 방법으로 자화되고 자속의 경로는 두 파이프 사이 튜스에서 파이프의 반경방향으로 된다. 그 후 아크를 집합부 튜스에 발생시키면 아크는 반경방향 자속과 교차하기 때문에 Fig. 2와 같이 플레밍의 왼손 법칙(Fleming's left-hand law)에 따라 전자기

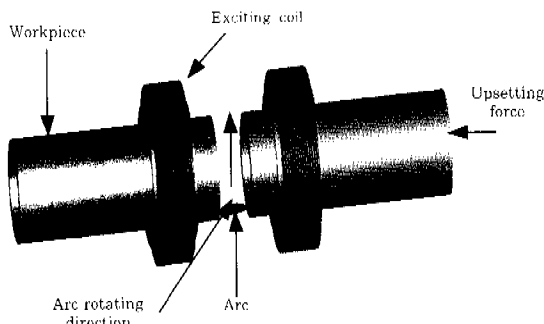


Fig. 1 Principle of MIAB welding

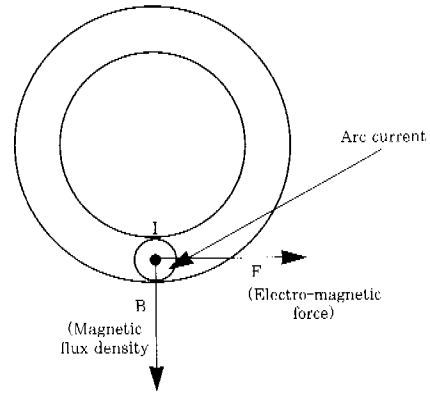


Fig. 2 Fleming's left-hand law

력(electro-magnetic force)을 받고 파이프 튜스에서 원주 방향으로 회전하기 시작한다. 그 결과 파이프 끝면은 가열되고 용융된다. 집합부가 적절한 용접 온도에 도달하는 순간에 파이프를 축방향으로 가압하여 접합한다.

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. 코일의 개략적인 형상은 Fig. 1에서 볼 수 있다. 본 용접법에 대한 이전 연구에서 파이프 반경방향 자속이 강할수록 아크 회전 속도는 증가하고 파이프 끝의 용융은 균일해지며 더 좋은 용접결과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 따라서 이러한 점을 고려해 코일 시스템을 설계 제작하였다. 우선 코일에 인가할 전류의 범위를 설정하고 그것에 따라 적절한 코일선 직경을 선정했다. 선택한 코일선은 0.5mm직경의 에나멜 와이어이며 아크 회전에 필요한 자기력을 얻기 위해 권수가 960회(turn)인 코일을 2개 사용했다⁵⁾. 또 코일선의 단면적과 길이에 따른 저항을 계산해 코일에 여자전류를 공급하기 위한 전원장치(power supply)를 결정하였다. 코일의 형상 즉, 폭과 두께에 따라 자속밀도의 값은 달라지게 된다. 즉, 코일의 폭이 좁을수록 자속밀도 값은 증가하고 집합부 사이 튜스로 유기되는 자속밀도도 커진다. 적절히 선정한 코일의 폭과 두께는 30mm와 10mm로 하였으며, 코일의 내경은 60mm로 하였다.

3.2 실험방법

3.2.1 자속밀도 측정

균일한 용접품질을 얻기 위해서 파이프 사이 튜스에 형성되는 자속은 가능한 크게 되는 것이 필요하다.

따라서 반경방향 자속은 아크 회전 거동과 용접품질에 영향을 미치는 주요 인자로 작용하기 때문에 자속 발생에 영향을 미치는 주요 변수들을 선정해 그것들과의 상관 관계를 조사하였다. 자속밀도 측정방법은 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 가우스 메타(Gauss meter)의 프로브(probe)를 이용해 파이프 두께와 상하 방향의 자속밀도를 측정하였다.

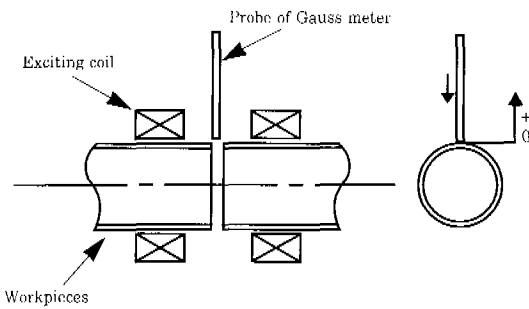


Fig. 3 Measuring method of magnetic flux density

측정 장치의 기하학적 형상의 제약으로 인해 파이프 사이의 간격은 7.0mm로 실제 용접시의 경우보다 크게 설정하였다. 측정 위치의 좌표는 Fig. 3과 같이 파이프 두께 바깥쪽 표면을 중심으로 위쪽을 양의 방향 아래쪽을 음의 방향으로 한다. 아크 회전 거동과 용접 품질에 영향을 미치는 자속밀도를 코일에 인가할 여자 전류(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.

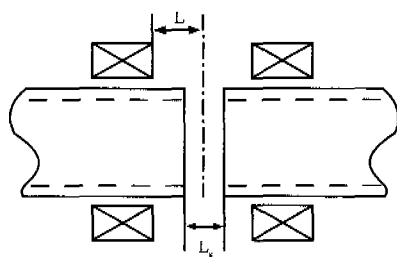


Fig. 4 Main factors in the measurement of flux density

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

자장 내에서 움직이는 전하는 힘을 받는다. 그 힘을 로렌츠 힘(Lorentz force)이라 한다. 전류는 전하의 흐름이므로 전류가 흐르는 도체가 자장 내에서 받는 전자기력은 각각의 전하가 받는 로렌츠 힘의 합으로 생각할 수 있다. 아크를 구동시키는 전자기력의 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = J \times B \tag{1}$$

F : Density of force propelling arc

J : Current density

B : Magnetic flux density

하지만 이 전자기력은 아크의 길이에 따라 달라지기 때문에 다음과 같이 표현 할 수 있다¹⁾.

$$F \propto B \cdot I \cdot L_a \tag{2}$$

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 틈새를 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 회전 거동 중 아크 회전수(arc rotating frequency)는 MIAB 용접공정과 용접품질에 중요한 인자로 작용하기 때문에 공정변수들의 아크 회전수에 대한 영향들을 실험으로 조사하였다. 실험조건들은 Table. 2와 같다. 아크 회전수 측정 방법의 개략적인 그림은 Fig. 5에 나타내었다. 아크 회전수 측정을 위해 포토 트랜지스터를 그림과 같이 파이프 아래쪽에 위치시켜 아크 광에 의한 포토 트랜지스터의 출력신호를 이용하여 아크 회전수를 측정하였다.

아크회전수 측정실험은 우선 두 파이프를 고정시키고 여자코일을 파이프 사이 틈새로 부터 일정한 거리에 두고 코일에 여자전류를 인가해 자화시킨다. 아크의 시작은 두가지 방법으로 하였다. 파이프 두께 특정 부분에 아크를 발생시키기 위해서는 두 파이프 사이에 steel wire를 삽입해 파이프 양단에 전압을 가함으로써 아크를 발생시킬 수 있다. 또 한가지 방법은 두 파이

Table 2 Experiment conditions for the arc rotating frequency measurement

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

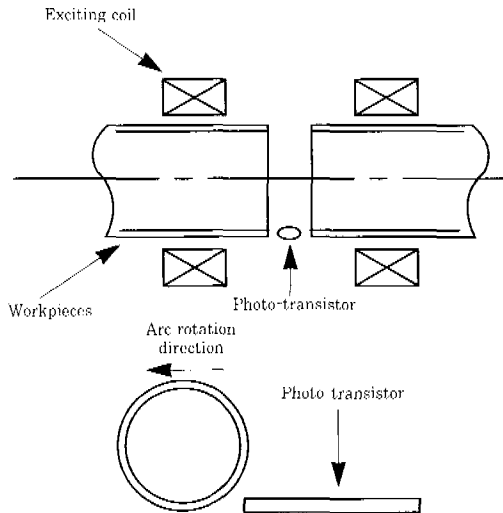


Fig. 5 Measuring method of arc rotating frequency

프 사이 틈새를 미리 선정한 크기로 설정한 후 파이프 양단에 고주파 전원을 인가하여 아크를 발생시킬 수 있다. 실제 용접시 용접부를 보호하기 위해 아크가 발생하는 틈새 주변에 탄산가스, 아르곤 등 보호가스를 사용하나 본 실험에서는 아크의 회전특성 조사를 목적으로 하였기에 보호가스를 사용하지 않았다.

3.3 실험장치 및 구성

두 파이프에 용접전류를 공급하기 위한 전원 장치로 정격출력전류 500A의 정전류 특성의 직류(D.C) 용접 전원장치(welding machine)를 사용했다. 그리고 여자코일에 전류를 공급하는 전원장치로 10A, 50V규격 정전류 특성의 직류(D.C) 전원장치를 사용하였다. 또 아크회전수 실험에 사용한 장치는 두 파이프를 고정시킬 clamping장치와 코일을 고정할 별도의 장치 그리고 두 파이프 사이 틈새를 조절할 수 있는 sliding 장치 등으로 구성하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 주요인자들에 따른 자속밀도

4.1.1 여자전류에 따른 자속밀도

코일에 인가할 여자전류에 따라서 발생하는 자속밀

도는 달라지고 파이프 틈새로 유기되는 자속은 영향을 받는다. 따라서 이러한 영향들을 파악하기 위해 각각의 여자전류의 수준에 따라서 나타나는 아크가 존재하는 파이프 틈새와 파이프 두께 상하방향의 자속밀도 분포와 특성을 조사하였다. Fig. 6에 그 결과를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 자속밀도의 분포는 각각의 여자전류에 대해 자속밀도 변화의 기울기(gradient)는 -5~3mm위치에서 급격히 나타나고 이외 영역에서 자속밀도 변화의 기울기는 상대적으로 완만한 형태를 나타내고있다. 또 자속밀도의 최대치는 파이프 단면 바깥표면위 3~4mm위치에 형성되어 있다. 여자전류가 증가할수록 자속밀도의 최대치와 파이프 단면 외연부와 내연부의 자속밀도 차는 커지고 외연부와 내연부의 자속밀도 값의 비율은 약 2배에 도달한다.

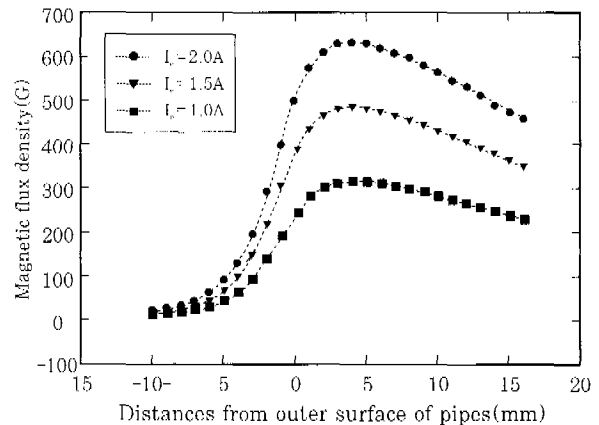


Fig. 6 Magnetic flux density distributions according to exciting current I_e , ($L=10$ mm, $L_x=7.0$ mm)

4.1.2 코일의 위치에 따른 자속밀도

파이프 사이 틈새에 형성되는 자속은 틈새 중심으로 부터 코일까지 거리에 따라서도 달라진다. 또 그것에 따라 실제 용접시 코일의 위치를 결정할 수 있다. 따라서 파이프 사이 틈새 중심으로 부터 코일까지 거리와 자속밀도의 상관관계를 조사하였다. Fig. 7에 그 결과를 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 코일까지 거리가 가까울수록 파이프 사이 틈새로 유기되는 자속밀도 값은 증가하고 파이프 단면 외연부와 내연부의 자속밀도 차도 커지는 것을 볼 수 있다.

4.1.3 파이프 사이 틈새에 따른 자속밀도

파이프 사이 틈새크기에 따라 아크길이와 자속밀도는 달라지며 아크를 회전시키는 전자기력에도 영향을 미친다. 따라서 실제 용접시 틈새의 수준과 더불어 다양한 틈새 크기의 자속밀도에 대한 영향을 조사하였다.

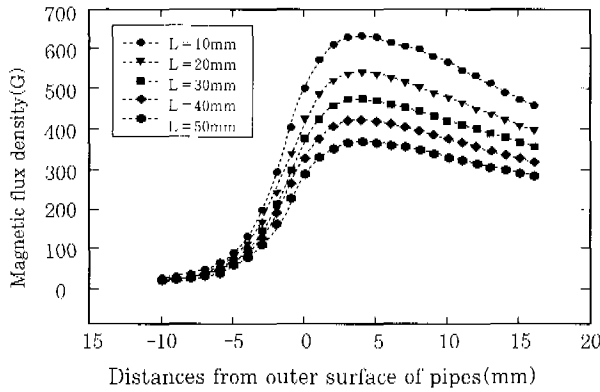


Fig. 7 Magnetic flux density distributions according to interval L ($I_w=2.0A$, $L_k=7.0mm$)

그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 틈새가 좁을수록 자속밀도 값은 증가하는 것을 볼 수 있다. 파이프 두께 아래방향의 자속밀도 측정은 측정장치의 프로브의 크기보다 파이프 사이 틈새가 좁기 때문에 측정이 불가능하였다. 따라서 실제의 용접조건에서(파이프 사이 틈새가 1.5~2.0mm) 아크를 회전시키는 파이프 두께 부분의 자속밀도의 분포특성은 파악할 수 없다. 이러한 경우 실제 용접조건을 충분히 대변할 수 있는 자속밀도 해석모델이 절실히 요구된다. 해석 모델을 이용함으로써 효과적인 자속 발생 및 집속에 유리한 코일시스템 설계를 위한 모재의 투자율과 코일의 형상에 따른 자속의 집속효과(concentration effect) 그리고 파이프와 전체 코일내경과의 간격 등에 따라 나타나는 아크회전에 작용하는 자속밀도의 영향을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

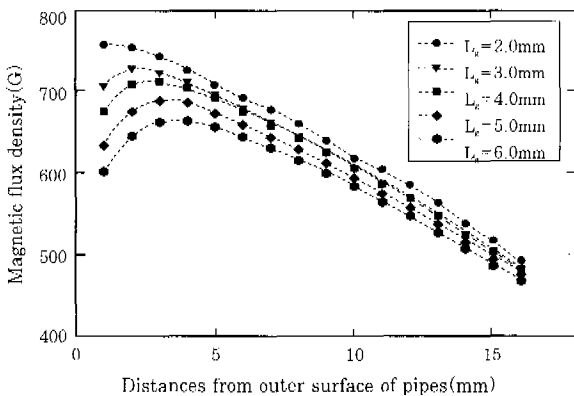


Fig. 8 Magnetic flux density distributions according to gap L_g , ($I_w=2.0A$, $L=10mm$)

4.2 공정변수들에 따른 아크 회전수

4.2.1 용접 전류에 따른 아크 회전수

용접전류는 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을

주는 인자들 중 하나이다. 따라서 용접시간에 따라서 나타나는 아크회전거동 특히, 아크회전수에 대한 용접 전류의 영향을 조사하였다. Fig. 9는 그 결과를 나타내었다. 우선 아크회전수 변화에 대하여 살펴 보았다. 결과적으로 용접 초기에 아크는 저속회전하는 것은 자속밀도가 낮은 관두께 내연부에서 회전하기 때문이고 그 후 고속으로 회전하는 이유는 아크가 어떤 힘을 받아 파이프 두께의 내연부에서 외연부로 이동해 자속밀도가 높은부분에서 회전하기 때문인 것으로 생각된다. 용접초기에 아크가 파이프 두께 내연부를 회전하는 것이 아크시작 위치에 연관하는 것인지를 조사하기 위해 코일을 파이프 틈새로부터 일정한 거리에 두고 파이프 사이 틈새에 steel wire를 파이프 두께 외연부에 삽입해 아크를 시작하였다. Fig. 10은 통전 약 0.8초 후 아크의 회전궤적을 보여준다.

그림에서 알 수 있듯이 아크는 시작 후 파이프 외연부에서 내연부로 이동해 회전한 것을 알 수 있다. 따라서 아크가 용접초기에 파이프 두께 내연부를 저속회전하는 것은 아크 시작 위치와는 관계가 없

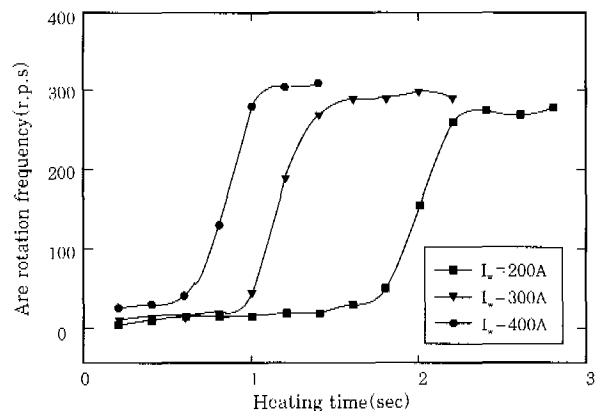


Fig. 9 Arc rotating frequency according to welding current (I_w)

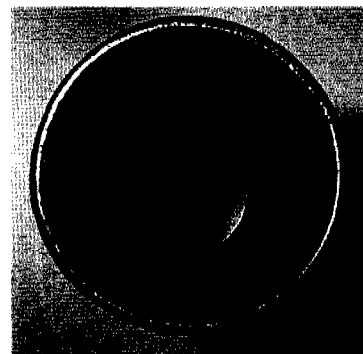


Fig. 10 Traces of arc at the welding initial stage ($I_w=300A$, $l_c=2.0A$, $L=50mm$, $L_k=2.0mm$, $T_w=0.8sec$)

는 것을 알 수 있다. 이상의 결과로 아크가 용접초기에 파이프 두께 내연부를 회전하는 것은 피 용접재의 자기적 성질에 의한 아크의 자기블로(magnetic arc blow)현상에 의한 것이라고 여겨진다. 즉, 강자성체인 강관의 경우 아크의 자기자계 분포는 Fig. 11과 같이 아크의 외측에 만들어진 자기력선들은 투자율(permeability)이 매우 높은 파이프 쪽으로 흐르려고 하기 때문에 상대적으로 조밀한 자기력선 분포를 가지게 되고 그 결과 내측과의 자속밀도 차에 의해 생기는 아크의 자기블로현상으로 인해 아크는 파이프 두께 내연부로 힘을 받아 이동하는 것으로 생각한다⁵⁾. 그 후 아크는 파이프 두께 외연부로 이동해 회전한다. 이것은 파이프 단면의 온도 상승에 따른 강관의 자기 변태에 의한 것으로 사료된다. 즉 파이프 단면은 온도상승과 함께 자화율이 감소하고 큐리온도(Curie temperature) 이상에서 강관은 강자성을 소실하고 알루미늄이나 구리와 같은 비자성체의 자계환경으로 된다. 이때 아크의 자기자계 분포는 파이프 외측의 자속밀도보다 내측의 자속밀도가 높고 그것에 의한 자기블로현상에 의해 아크가 파이프 외측으로 이동한다.

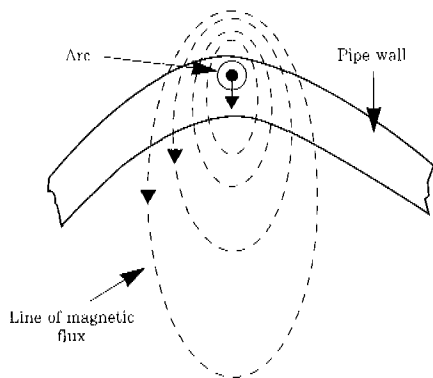


Fig. 11 Imaginative picture of the magnetic arc blow in the case of the steel pipe⁵⁾

아크가 외측으로 이동하는 또 한가지 원인으로 아크 회전에 따른 원심력의 영향도 있을 것으로 생각된다. 아크의 회전위치가 변하는 시간은 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 용접전류에 따라서 달라진다. 즉, 용접전류가 각각 200A, 300A, 400A인 경우 아크가 파이프 두께 내연부에서 외연부로 이동하는 시간은 각각 1.8, 1.0, 0.6초로 용접전류가 증가할수록 짧아진다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 용접품질 monitoring을 위한 자료로 사용하기 위해 용접전류에 따른 파이프 단면의 용융상태를 조사하였다. Fig. 12, 13은 용접 1.4초 후 각 조건에 대해 파이프 단면의 용융상태를 보여준다. Fig. 12와 같이 용접전류가 300A인 경우 파이프 단면 전체가 용융된 것을 볼 수 있으나 Fig. 13의 200A의 용접전류에서는 아직 파이프 단면 내연부만 용융된 것을 볼 수 있다. 200A의 용접조건으로 좀더 시간이 경과한 후 파이프 단면의 용융상태를 관찰해 보았다. Fig. 14는 용접 약 2.3초 후 파이프 단면의 상태로 단면 전체가 용융된 것을 볼 수 있다. 이처럼 200A의 용접전류로 용접할 경우 파이프 단면 전체가 용융되기 위해서는 적어도 2초

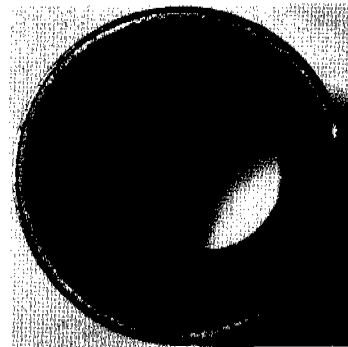


Fig. 13 Traces of the molten zone in the pipe wall ($I_w=200A, I_e=2.0A, L=50mm, L_g=2.0mm, T_w=1.4sec$)

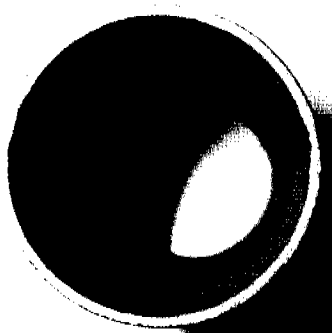


Fig. 12 Traces of the molten zone in the pipe wall ($I_w=300A, I_e=2.0A, L=50mm, L_g=2.0mm, T_w=1.4sec$)

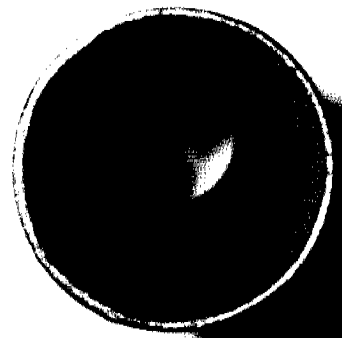


Fig. 14 Traces of the molten zone in the pipe wall ($I_w=200A, I_e=2.0A, L=50mm, L_g=2.0mm, T_w=2.3sec$)

이상의 용접시간을 필요로 한다.
또 용접전류가 300A인 경우 용접 후 약 3초이상이면 과도한 용융이 일어난다. 위의 결과로부터 파이프 단면 전체를 균일하게 용융시키기 위해 필요한 시간은 용접전류가 감소할수록 더 긴 용접시간을 필요로 한다.

4.2.2 여자 전류에 따른 아크 회전수

여자전류에 따라서 자속밀도는 달라지고 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을 주는 변수로 작용하기 때문에 아크회전수와 여자전류와의 상관관계를 조사하였다. Fig. 15에 그 결과를 나타내었다.

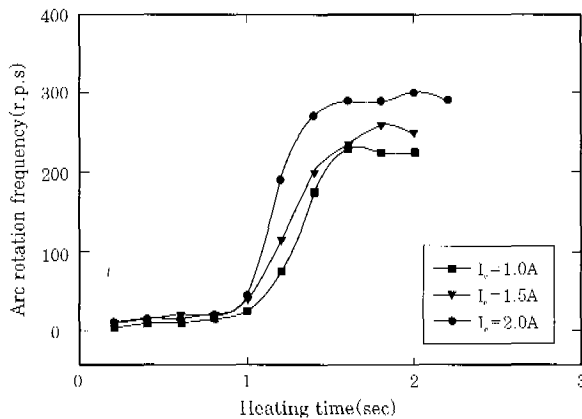


Fig. 15 Arc rotating frequency according to exciting current(I_c)

그림에서 알 수 있듯이 아크회전수 변화양상은 용접 초기 아크가 저속회전 후 회전수가 급속하게 증가하여 고속으로 회전하는 형태를 보여준다. 그러나 여자전류는 용접전류와 달리 아크회전수가 급속하게 변하는 시간은 여자전류에 따라서 달라지지 않는 것을 볼 수 있다. 따라서 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 아크를 회전시키는 전자기력에 영향을 주는 인자이다. Fig. 16은 용접시간에 따라서 나타나는 아크회전수에 대한 파이프 사이 틈새의 영향을 보여준다. 아크시작의 실험결과 파이프 사이 틈새가 2.0mm 이상에서는 아크가 발생되지 않았다. 그림에서 보는 것처럼 여자전류와 같이 아크회전수 변화시간과 위치에 대한 틈새의 영향은 없으며 아크회전수 증감에만 작용하고 있다. 그러나 기존연구에 따르면 파이프 사이 틈새가 아크회전수 증감에 큰 영향을 미치는 것으로 되어 있으

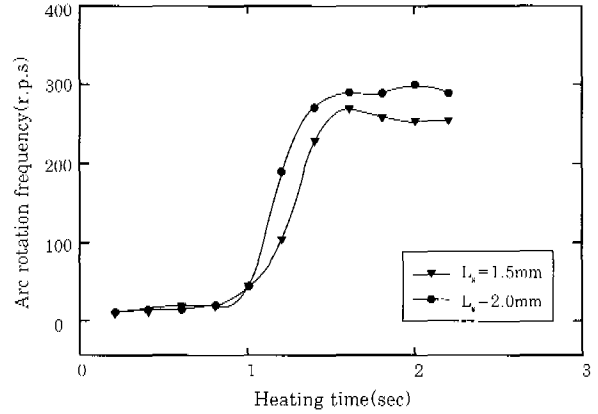


Fig. 16 Arc rotating frequency according to gap(L_g)

나 본 연구의 실험결과 여자전류와 같이 정량적인 차이를 보이는 것으로 나타난다.

5. 결 론

본 연구는 효과적인 자속발생 및 집속에 유리한 코일 시스템 설계와 용접품질 모니터링 및 공정제어를 하기 위해 선행되어야 할 초기단계의 실험으로써 외경 48.1mm, 두께 2.0mm의 탄소강 파이프를 대상으로 자속밀도와 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 자속밀도는 매우 중요한 변수이다. 따라서 자속밀도에 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 자속밀도는 증가하고 또 파이프 두께 내연부와 외연부의 자속밀도차는 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.

후 기

본 논문은 2000년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음

참 고 문 헌

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