



## TIG 용접에서의 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포 특성

오 동 수\* · 김 영 식\*\* · 조 상 명\*\*\*

\*창원기능대학 플랜트설비자동화과

\*\*부경대학교 기계공학부 기계설계·생산자동화공학전공

\*\*\*부경대학교 신소재공학부 프로세스공학전공

### The Characteristics on Arc Pressure Distribution of TIG Welding with Shield Gas Mixing Ratio

Dong-Soo Oh\*, Yeong-Sik Kim\*\* and Sang-Myung Cho\*\*\*

\*Dept. of Plant Facility Automation, Changwon Polytechnic College, Changwon 641-772, Korea

\*\*Major of Machine Design & Manufacturing Automation Eng., Div. of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

\*\*\*Course of Materials Processing Eng., Div. of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

#### Abstract

Arc pressure is one of important factors in understanding physical arc phenomena. Especially it affects on the penetration, size and shape of TIG welding. Some researches were reported on the effect of arc pressure in low and middle current region. But there are not any research in high current region. The purpose of this study is to investigate the arc pressure distribution with mixing ratio of shield gas such as Ar and He gases. A Cu block with water cooling was specifically designed and used as an anode electrode in order to measure the arc pressure in high current region. Then, the arc pressure distribution was measured with change in welding current and mixing ratio of shield gases. The arc force was obtained by numerically integrating the measured results. As the results, it was shown that the arc pressure was concentrated at the central part of the arc in middle and high current regions when a pure Ar gas was used. In case of Ar + He mixing gas, the arc pressure was much lower than that of pure Ar gas. In addition, it was widely distributed to radial direction.

\* Corresponding author : dongsoh@kopo.ac.kr

(Received July 22, 2004)

Key Words : TIG welding, Arc pressure distribution, Shield gas mixing ratio, Maximum arc pressure, Arc force

#### 1. 서 론

TIG 용접에서 아크 압력은 용융풀 위에 플라즈마 젯의 충돌로 인한 운동량의 전달에 의해 생성되는 현상이며<sup>1)</sup>, 용입과 비드가 형성되는 물리적 아크 현상을 이해함에 있어서 가장 중요한 인자 중의 하나이다<sup>1-4)</sup>. TIG 용접에서는 사용된 실드 가스 종류에 따라 음극인 텅스텐 전극 팁의 아크 루트 직경에 큰 변화를 주어, 양극인 모재 쪽의 아크 압력분포에 영향을 미치며 용접품질

을 좌우하게 되는 아크 물리학적 성질이 있다<sup>5-7)</sup>. 기존의 연구자들은 저전류나 중전류 영역의 TIG 용접에서 텅스텐 전극의 선단각과 용입 형태와의 관계를 plasma 기류 등에 의해 고찰<sup>2)</sup>하거나, 최대 아크압력에 미치는 전극형상의 영향과 전류분포 등에 대하여 연구<sup>3-4,7)</sup>하였다. TIG 용접에서 생산성을 높이기 위해 대전류 고속 용접을 하면, 언더컷이나 험핑 비드와 같은 불안정 비드가 나타나게 되어 용접속도를 낮추어야 한다고 알려져 있다<sup>8-9)</sup>. 이러한 문제는 용융지에 미치는 아크 압력 또는 아크 력과 용융지의 형상 및 깊이에 대한 연구를

통하여 해결하려는 노력이 시도되고 있다<sup>10-11)</sup>. TIG 용접의 대전류 영역에서 험핑 비드가 형성되지 않도록 아크 압력과 아크 력을 감소시키는 특별한 수단이 필요한데, 그 중의 하나가 실드 가스로써 Ar 가스 대신 He 가스나 혼합가스를 사용하는 것이다<sup>1,6-7)</sup>. 몇몇 연구자들에 의해 TIG 용접에서 중전류 영역의 실드 가스와 최대 아크압력 관계를 보고하고 있으나<sup>3,7)</sup>, 대전류 영역에서 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포 특성에 대한 구체적인 연구와 고찰은 찾아보기 어렵다. 따라서 대전류 고속 TIG 용접을 적용시키기 위해서는 저전류에서 대전류 영역까지 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포 특성에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 TIG 용접의 대전류 영역에서도 아크 압력을 측정할 수 있도록 특수 제작된 수냉식 양극 모재를 개발하여, 저전류에서 대전류 영역까지 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포 특성에 대한 기초적 현상 규명을 목적으로 하였으며, 실드 가스 혼합비에 따라 측정된 아크 압력으로부터 아크 력을 계산하고 그것에 관하여 아크 물리학적 고찰을 하였다.

### 2. 사용재료 및 실험방법

Fig. 1은 본 실험에 사용한 아크 압력을 측정하기 위한 장치의 개념도<sup>3-4)</sup>를 나타낸 것이며, Fig. 2는 대전류 영역에서도 모재가 용융되지 않도록 자체적으로 설계하여 제작한 수냉형 동 블록의 상세도이다. 용접 전류의 조건에 따라 발생하는 아크 압력에 대한 반응성의 감도를 높이기 위해 유체의 관성을 고려하였으며, 각 용접전류 조건에 따라 압력계인 마노미터(manometer) 튜브 길이를 최적화하여 실험하였다.

Table 1은 아크 압력을 측정하기 위한 용접조건을

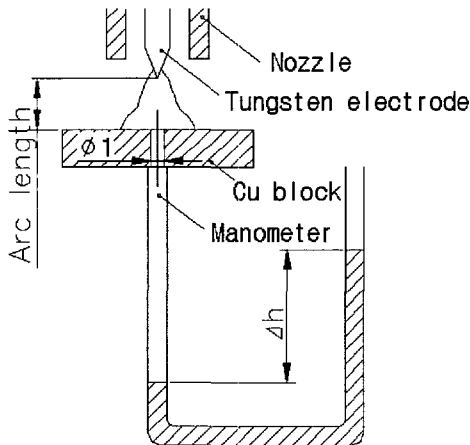


Fig. 1 Experimental set up for measuring the arc pressure with a manometer

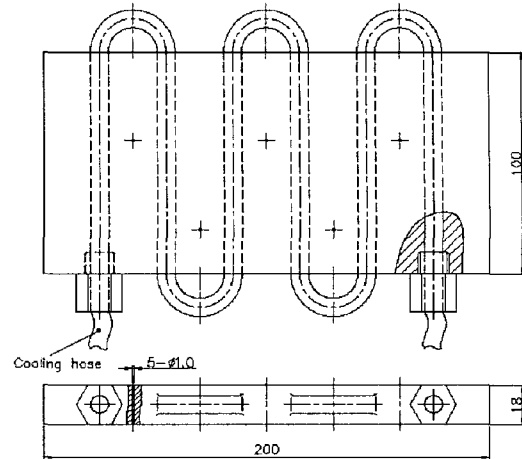


Fig. 2 A design drawing of water-cooled anode Cu block

Table 1 Welding condition for arc pressure measurement

Name	Shield gas (%)	Current (A)	Arc length	Vertex angle
Ar	Ar100	100 200 300	5 mm	45°
He33	Ar67+He33			
He50	Ar50+He50			
He67	Ar33+He67			
He	He100			

나타낸 것이다. 실드 가스는 공업용 Ar 가스와 He 가스의 혼합비를 5가지 종류로 변화시켰고, 유량은 20ℓ/min로 공급하였다. 전극은 2% Th-W(직경 3.2mm)을 이용하여 텅스텐 전극이 마이너스(-)인 DCEN(직류 정극성)을 사용하였고, 용접기는 300A 용량의 인버터 형을 사용하였다.

모재인 양극 동(copper) 블록(18×100mm×200mm)위로부터 관통된 직경 1.0mm의 구멍아래 마노미터를 설치하였으며, 그 위에서 TIG 아크를 발생하여 5초 동안 아크 압력을 측정하였다. U자형 마노미터에 물을 넣고 잉크로 착색시켰으며, 처음에 마노미터 튜브 양쪽의 수주가 평행된 상태에서 아크 발생 후 발생된 수두차를 이용하여 아크 압력 값을 계산하였다. 아크 중심에서 반경방향으로 아크 압력분포를 측정하기 위하여 동 블록과 마노미터는 고정해 두고 토치를 고정된 지그의 위치를 좌우로 0.5mm씩 이동하여 반경 5.0mm까지 측정하였고, 그 측정오차를 줄이기 위하여 동일 조건에서 2회씩 측정하였으며<sup>3-4)</sup>, 측정된 아크 압력의 오차를 줄이기 위하여 좌우의 아크 압력 값들을 더하여 그 평균값을 데이터로 활용하였다. 텅스텐 전극 직하에서 측정된 아크 압력 값이 항상 최대의 값으로 측정되

이것을 최대 아크 압력으로 정의<sup>3)</sup>하였다. 그리고 실드 가스 혼합비에 따른 아크 전압을 측정하였고, 각 조건에 따른 아크 형상을 촬영하여 아크 압력분포 특성에 대하여 고찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포

Fig. 3, 4와 5는 각각 용접전류 100A(이하 저전류 영역), 200A(이하 중전류 영역), 그리고 300A(이하 대전류 영역)에서 아크 직하에서부터 반경 방향의 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포를 나타낸 것이며, 아크 압력은 식 (1)의 정수압 공식을 통해 계산하였다.

$$P_{arc} = \rho g \Delta h \quad (1)$$

여기서,  $P_{arc}$  : Arc pressure (N/m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  : Density of water (kg/m<sup>3</sup>)  
 $g$  : Gravitational acceleration (m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta h$  : Difference of water head (m)

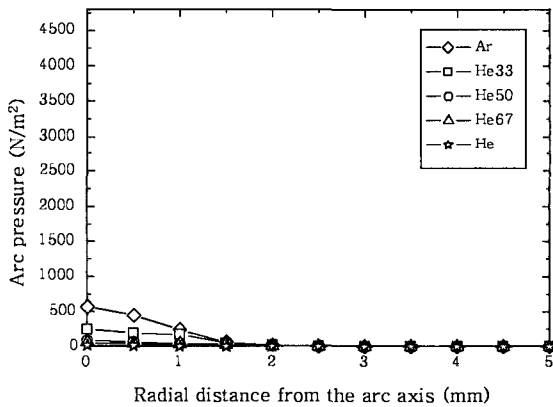


Fig. 3 Arc pressure distribution with the mixing ratio of shield gases in 100A

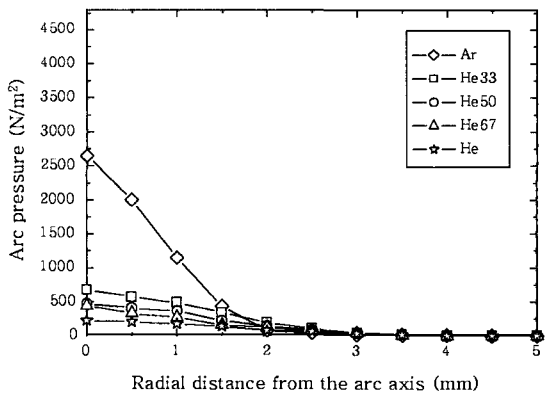


Fig. 4 Arc pressure distribution with the mixing ratio of shield gases in 200A

Fig. 3과 같이 저전류 영역에서는 모든 실드 가스 혼합비에서 매우 낮은 아크 압력분포를 보였다. Fig. 4, 5와 같이 중전류와 대전류 영역으로 갈수록 Ar 가스를 사용하는 아크(이하 Ar 가스 아크)의 아크 압력분포는 급격하게 증가하는 경향을 보였고, 그에 비해 He 혼합 가스를 사용하는 아크(이하 He 혼합가스 아크)는 Ar 가스 아크에 비해 아주 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 중전류와 대전류 영역에서 He 혼합가스 아크 압력의 분포는 Ar 가스 아크의 경우와 비교해 볼 때 현저하게 낮았지만, 아크 반경방향으로 넓게 분포되어 있으며, 아크 압력의 분포는 Ar, He33, He50, He67, He 순으로 계속하여 낮아지는 경향을 보였다. 특히 중·대전류 영역에서 Ar 가스 아크의 경우 아크 중심부 직경 2.0mm 이내에 약 91%의 아크 압력이 집중하고 있고, Ar 가스에 He 가스를 혼합하면 아크 압력은 현저하게 낮아졌지만 반경방향으로 넓게 분포 되어 있었다.

#### 3.2 실드 가스 혼합비에 따른 최대 아크 압력

Fig. 6은 저전류 영역에서 대전류 영역까지 실드 가

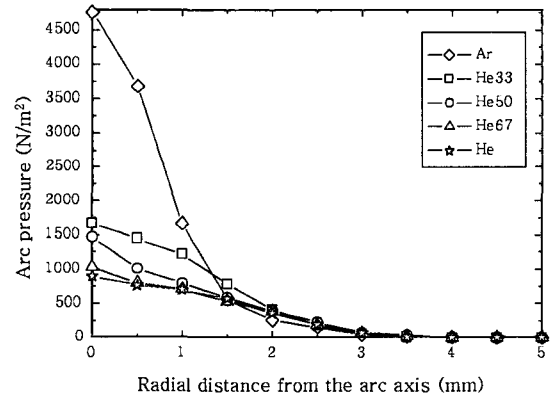


Fig. 5 Arc pressure distribution with the mixing ratio of shield gases in 300A

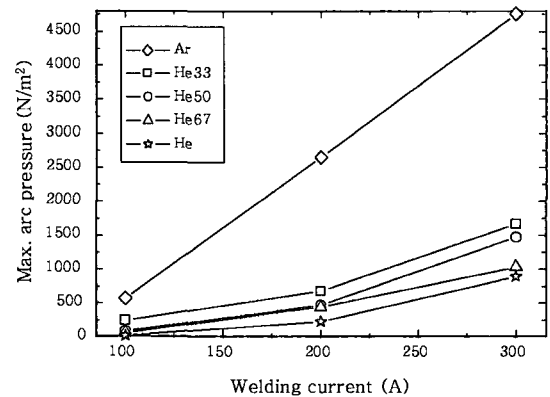


Fig. 6 Variation of maximum arc pressure with change in welding current and shield gas mixing ratio

스 혼합비에 대한 최대 아크 압력 값을 나타낸 것이다. 3.1절에서 고찰한 것과 같이 저전류 영역보다 중·대전류 영역에서 혼합가스에서 He 가스의 혼합비가 증가할수록 Ar 가스 아크와 혼합가스 아크의 최대 아크 압력은 아주 큰 차이를 보였다. Ar 가스 아크의 최대아크 압력은 전류의 증가에 따라 선형으로 증가 하였으며, 본 실험의 결과는 Lin과 Eagar<sup>1)</sup>의 연구와 동일한 경향을 보였다. Ar 가스에 비해 혼합가스에 He 가스의 혼합비가 증가할수록 최대아크 압력은 포물선 형태로 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과로 볼 때 혼합가스 아크에서 He 가스는 Ar 가스에 비해 낮은 밀도와 음극에서 플라즈마 젯이 퍼져나가는 각도의 차이에 의해 아크 압력을 낮추는 아크 특성을 보이며, 이에 관한 구체적인 관계는 3.5절의 아크 물리학적 고찰에서 기술한다.

TIG 용접에서 동일한 전극을 쓰고 전류만을 변화시킬 경우 아크 압력은 전류의 제곱에 비례하여 증가하는 것<sup>1,12)</sup>으로 알려져 있다. 그러나 Fig. 6과 같은 실험결과에서 Ar 가스 아크는 Lin과 Eagar<sup>1)</sup>의 실험결과와 같이 전류의 증가에 따라 선형으로 증가하지만, 실드 가스 혼합비에 따라 현저하게 변화됨을 알 수 있었다. 용접전류가 100A에서 200A와 300A로 증가할 때 Ar 가스 아크의 경우 최대아크 압력은 4.7배와 8.4배 증가하였고, He 가스 아크의 경우 11배와 45배 증가하였다.

### 3.3 실드 가스 혼합비에 대한 아크 력

Fig. 7은 TIG 용접에서 양극과 음극사이의 정적인 가스 압력차에 의해 생성되는 플라즈마 젯에 의해 양극 모재위에 아크 압력이 작용한 경우, 아크 압력분포가 임의의 연속함수 형상을 가질 것이라고 가정하여 나타낸 것이다.

실험에 의해 측정된 실드 가스 혼합비에 따른 아크

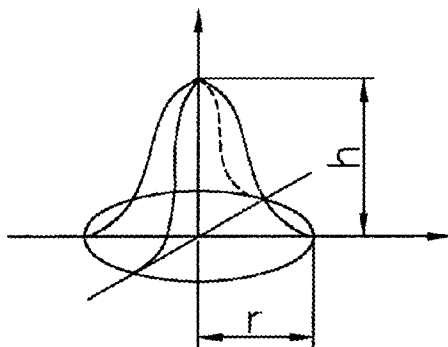


Fig. 7 A model for analyzing the arc pressure distribution

압력분포를 아크 력으로 계산하는 과정은 식 (2)와 같은 수치적분에 의해 표현할 수 있다.

$$F_{arc} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r_0} P_{arc} dr d\theta \quad (2)$$

아크 력을 계산하기 위하여 우선 아크 압력분포에 대하여 회귀분석 함에 있어서 가장 적합한 아크 압력분포형상의 모델을 설정하기 위하여 Sigmoidal과 Gaussian을 이용하여 회귀 분석해 보았다. 그 결과 회귀모형의 결정계수(coefficient of determination, R<sup>2</sup>)는 각각 0.9934와 0.9860으로써 Sigmoidal을 이용한 방법이 Gaussian에 비해 더 적합하다는 것을 알 수 있었다. Fig. 8은 용접전류 300A 영역에서 Ar 가스를 실드 가스로 사용할 때 아크 압력분포에 대하여 Sigmoidal과 Gaussian을 이용하여 회귀 분석한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 식 (3)은 Sigmoidal로 회귀분석 할 때 사용된 Boltzmann 함수를 나타낸 것이고, Table 2는 용접전류 300A에서 Ar 가스와 He 가스를 실드 가스로 사용할 때 각각 함수와 관련된 파라메타들의 값을 나타낸 것이다.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{(x-x_0)}{dx}}} + A_2 \quad (3)$$

여기서, x<sub>0</sub> : Center

dx : Width

A<sub>1</sub> : Initial y value : (y (-∞))

A<sub>2</sub> : Final y value : (y (+∞))

$$y(x_0) = \frac{(A_1 + A_2)}{2}$$

아크 력 F<sub>arc</sub>를 계산하기 위하여 Fig. 7의 아크 압력분포의 형상을 Fig. 8과 같이 회귀분석 한 자료를 Fig. 9와 같은 여러 개의 원기둥 형상으로 이루어져 있는 것

Table 2 Results of Sigmoidal regression analysis on the arc pressure distribution

Current(A)	parameter	Shield gas	
		Ar	He
300	A <sub>1</sub>	5246.79535	900.29444
	A <sub>2</sub>	46.67999	-18.13463
	x <sub>0</sub>	0.75964	1.77573
	dx	0.32786	0.58655
	R <sup>2</sup>	0.99889	0.99636

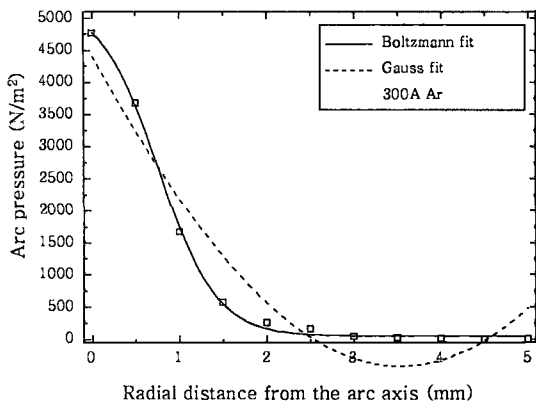


Fig. 8 Comparison with regression analyses on radial distance from the arc axis and arc pressure

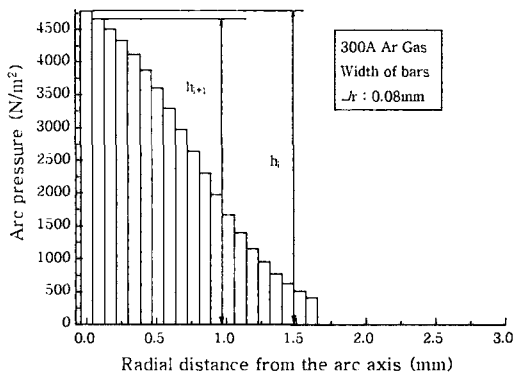


Fig. 9 Spacing for arc force calculation by numerical integration

으로 가정하였다. Fig. 9는 용접전류 300A에서 Ar 가스 아크의 아크 압력분포에 대하여 회귀 분석한 자료 60개 중에서 20개의 데이터만 원기둥으로 나타낸 것이며, 원기둥과 원기둥 사이의 간격은 약 0.08mm 이다. 따라서 식 (2)의 아크 력의 계산은 Fig. 9의 원기둥 전체의 체적을 구하여 전부 더하는 것이며, 식 (4)와 같이 계산하였다.

$$F_{arc} = \sum_{i=1}^{60} \left\{ \pi(r_{i+1}^2 - r_i^2) \times \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right\} \quad (4)$$

Fig. 10은 위와 같은 과정에 의하여 저전류에서 대전류 영역까지 실드 가스 혼합비에 따른 아크 력을 계산한 결과이다. TIG 용접에서 동일한 전극을 쓰고 전류만을 변화시킬 경우 아크 력(arc force)은 전류의 제곱에 비례한다고<sup>13-14)</sup> 알려져 있다. 그러나 본 실험결과 Ar 가스 아크의 아크 력은 용접전류의 증가에 따라 선형으로 증가하였고, 혼합가스에서 He 가스 혼합비가 증가할수록 아크 력이 현저하게 변화됨을 알 수 있었다. 용접전류가 100A에서 200A, 300A로 증가하였을 때 Ar 가스 아크의 아크 력은 5.2배와 9.4배로 증가하

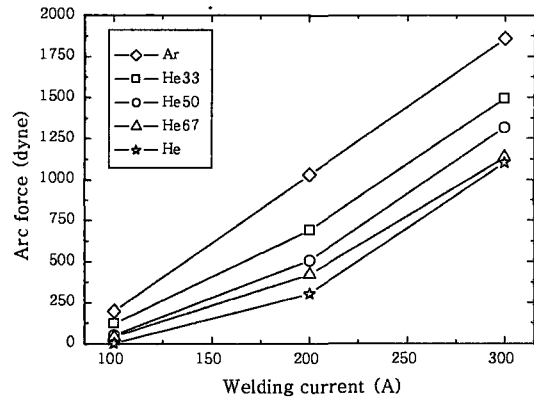


Fig. 10 Arc force with change in welding current and shield gas mixing ratio

였고, He67 가스는 10.5배와 28.4배 증가하였다. 위와 같은 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포 특성은 아크 력의 증가로 중·대전류 영역의 용입, 험핑비드, 그리고 언더컷과 같은 불안정한 비드형성에 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

### 3.4 실드 가스 혼합비에 따른 전압특성

Fig. 11은 각 용접전류 영역에서 실드 가스 혼합비에 따른 아크 전압을 계측한 결과이다. 동일한 실드 가스 혼합비에서는 용접전류에 관계없이 아크 전압은 거의 동일한 값을 나타내고 있으나, 혼합가스에서 He 가스 혼합비가 증가할수록 아크 전압이 서서히 증가하는 경향을 보였다. 동일한 용접전류 범위에서 Ar 가스 아크에 비해 He 가스 아크의 아크 전압이 평균 6V 정도 높은 값을 보였다. 기존의 연구에서는 이러한 Ar 가스와 He 가스 아크에 대한 전압특성을 전위경사도의 관점에서만 고찰하였으나<sup>7)</sup>, 본 연구에서는 실드 가스의 열전도도와 이온화 전위(Ionization potential)를 동시에 고려하여 고찰한다.

Table 3<sup>15)</sup>은 Ar 가스와 He 가스의 기본적인 물리

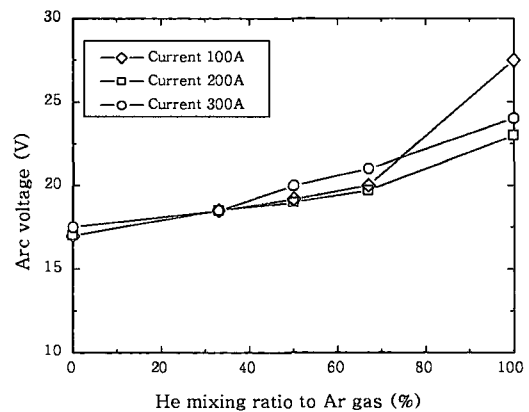


Fig. 11 Effect of He gas mixing ratio on arc voltage

Table 3 Basic characteristics of Ar and He gas

Characteristics \ Gas	Ar	He
Ionization Potential (eV)	15.8	24.6
Thermal conductivity (cal/cm <sup>2</sup> /cm/°C/s)	0.406x10 <sup>-4</sup>	3.32x10 <sup>-4</sup>
Density (relative to air)	1.38	0.137
Atomic weight	39.948	4.0026

적 성질을 나타낸 것이다. 동일한 용접전류 범위에서 He 가스 아크가 Ar 가스 아크보다 아크 전압이 평균 6V 정도 높은 값을 보인 것은 He 가스 아크가 Ar 가스 아크에 비해 열전도도가 8.2배 이상 높고, 아크 단위 길이 당 전압강하 즉 전위경사도가 크며, 그리고 이온화 전위가 약 8.8eV 높기 때문이다. 아크 용접에서 실드 가스의 열전도도는 용접부로 공급되는 열에너지 뿐 아니라 아크 전압에도 영향을 미치며, 열전도도가 높을수록 열적 핀치효과가 증가되어 안정된 아크 유지를 위하여 더 높은 아크 전압이 필요하다. 따라서 He 가스 아크가 Ar 가스 아크에 비해 용접 입열량을 크게 하여 용접부에 더 높은 에너지를 공급하게 됨으로 고속 용접이 가능하게 된다<sup>16)</sup>.

### 3.5 Ar gas와 He gas의 아크 압력분포에 대한 아크 물리학적 고찰

TIG 용접에서 사용되는 실드 가스의 종류에 따라 아크 압력분포와 아크 력이 변하여 용융풀 형성에 아주 큰 영향을 미치게 될 것으로 생각 된다. 본 절에서는 He 가스 아크가 Ar 가스 아크에 비해 낮은 아크 압력 분포를 하는 것에 대하여 실드 가스의 물리적 성질과 음극에서 플라즈마 젯이 퍼져나가는 각도의 관점에서 고찰하였다.

Lin과 Eagar<sup>1)</sup>는 전류에 대한 아크 압력의 의존성을 아래의 식 (5)와 같이 표현하였다.

$$P_{\text{arc}} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (5)$$

여기서  $P_{\text{arc}}$ : arc pressure

$\rho$ : density of shield gas

$v$ : velocity of the electromagnetically plasma jet

그리고 TIG 용접에서 아크 전류와 아크의 축을 따른 플라즈마 속도는 다음의 식 (6)과 같이 표현하였다.

$$v = \sqrt{\frac{\mu_0 I J}{2\pi \rho}} \quad (6)$$

$I$ : welding current

$J$ : current density

$\mu_0$ : permeability in free space

식 (6)은 베르누이정리를 기본으로 하여 Maecker<sup>17)</sup>에 의해 정리된 결과이며, TIG 용접의 경우에 적용하기 가장 적합한 공식으로 알려져 있다<sup>1)</sup>.

아크 압력은 식 (5)와 같이 용융풀 위의 플라즈마 젯의 충돌에 의한 운동에너지의 전달이다. 즉 아크 압력은 실드 가스의 밀도와 플라즈마 축 속도의 제곱에 비례한다. Ar gas와 He gas의 밀도는  $\rho_{Ar} = 10 \rho_{He}$ 이므로 He gas가 Ar gas에 비하여 1/10 가벼운 가스라는 것을 의미한다. Ar과 He gas의 플라즈마 축 속도는  $v_{Ar} = 2 v_{He}$ <sup>18)</sup>이다. 따라서 Ar gas와 He gas의 아크 압력분포의 차이를 일으키는 가장 중요한 인자는 He gas의 저밀도에 의한 것<sup>12)</sup>이다.

식 (5)와 같은 이론적 근거를 볼 때 Ar gas와 He gas의 10배의 밀도 차, 그리고 2배의 플라즈마 축 속도를 가지게 된다는 것을 고려하면 Ar gas의 아크 압력이 He gas의 아크 압력에 비해 약 40배정도 높을 것으로 예측할 수 있다. 본 실험의 결과 대전류 영역인 300A에 대한 아크 압력분포를 나타낸 Fig. 5에 Ar gas와 He gas에 대한 최대 아크 압력의 비는 약 5배 정도로 나타났다. 따라서 식 (4)는 아크 압력이 운동에너지 형태를 갖는다는 근거를 제시한 수식으로 활용되고 있으며<sup>1)</sup>, 실험적인 결과에는 차이가 있다는 것을 이전의 연구자들의 경향을 통하여 확인할 수 있다<sup>1,7)</sup>. Lin과 Eagar<sup>1)</sup>의 연구에서 활용한 자료에 의하면 200A에서 Ar gas와 95%He+5%Ar gas의 최대 아크 압력 값이 약 4배 정도 차이를 나타내고 있고, Hiraoka 등<sup>7)</sup>의 연구에서도 200A에서 Ar gas와 He gas의 최대 아크 압력 값은 약 4배 정도 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서와 같이 300A의 경우 Ar gas와 He gas의 최대 아크 압력이 약 5배 정도의 차이를 나타낸 것은 매우 타당한 결과라고 판단된다.

또한 아크 압력은 모재 위의 전류분포의 영향을 거의 받지 않기 때문에 plasma 기류의 강약은 전극선단 근방의 국부 역에서 전극 끝 부분의 Arc 전류가 퍼져나가는 각도에 의존한다<sup>5)</sup>. 즉 전극 선단에서 전류밀도를 일정하게 하면, 전극 끝에서부터 아크 전류가 퍼지는

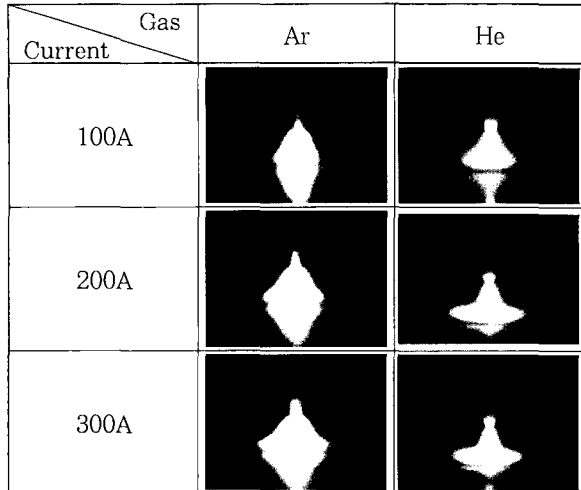


Photo 1 Arc shape of Ar and He gas arc between 100A and 300A

각이 증대함에 따라 전극선단 근방의 국부 역에 있어서 전자기력에 의해 압력 구배가 증대<sup>3)</sup>하기 때문에 plasma 기류는 강력하게 된다. 그래서 Photo 1에서와 같이 He 가스 아크의 높은 열전도도에 의해 Ar 가스보다 냉각작용이 크게 작용하고, He 가스 밀도가 Ar 가스에 비해 1/10배 작으므로 열적 핀치효과(thermal pinch effect)가 더욱 크게 되어 He 가스의 아크 형상은 Ar 가스 아크보다 아주 긴축된 형상을 나타내고, 전극 끝에서 아크전류가 퍼지는 작은 He 가스 쪽이 Ar 가스보다 아주 작게 된다. 이것에 의해 전극 직전에서부터 플라즈마 기류도 약하게 되며, 그 결과 He 가스 아크 압력은 저하되는 것이다<sup>5)</sup>.

#### 4. 결 론

TIG 용접에서 실드 가스 혼합비에 따른 아크 압력분포를 이용하여 아크 물리학적 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) TIG 용접의 대전류 영역에서도 모재가 용융되지 않고 아크 압력을 측정할 수 있도록 특수 설계·제작된 수냉 장치를 가진 양극 동판 모재를 개발하여 300A까지 아크 압력분포를 측정할 수 있었다.

2) TIG 용접에서 실드 가스 혼합비에 따라 아크 중심에서 반경방향으로 아크 압력분포를 임의의 연속함수 형상을 가질 것이라고 가정하여 Boltzmann 함수로써 회귀 분석할 수 있었고, 그 결과를 이용하여 아크력계산과정을 구체적으로 제시하였다.

3) TIG 용접의 중·대전류 영역에서 Ar 가스 아크의 경우 아크 중심부 직경 2.0mm 이내에 약 91%의 아크 압력이 집중하고 있고, Ar 가스에 He 가스를 혼합

하면 아크 압력은 현저하게 낮아졌지만 반경방향으로 넓게 분포되어 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. M.L. Lin and T.W. Eagar : Pressure Produced by Gas Tungsten Arcs, METALLURGICAL TRANSACTIONS B, 17B(1989), 601-609
2. K. Ando, J. Nishikawa, and H. Wada : A Consideration on the Mechanism of Penetration in Arc Welding, Journal of JWS, 37-4(1968), 359-368(in Japanese)
3. K. Hiraoka, A. Okada and M. Inagaki : Effect of Electrode Geometry on Maximum Arc Pressure in Gas Tungsten Arc Welding, Journal of JWS, 3-2 (1985), 246-252(in Japanese)
4. Sang-Myung Cho, Sang-Goun Seo : The Effect of Configuration and Surface Polishing in Tungsten Arc Welding on the Arc Characteristics, KWS, 19-1 (2001), 33-39(in Korean)
5. 安藤, 長谷川 : 溶接아크現象(増補版), 産報, 1967, 150. (in Japanese)
6. 란카스타-編著 : 溶接아크物理, 社團法人 溶接協會 溶接아크物理研究委員會 (1990), 242-246 (in Japanese)
7. K. Hiraoka, A. Okada and M. Inagaki : Effect of He Gas on Arc Characteristic in Gas Tungsten Arc Welding, Journal of JWS, 3-2(1985),241-246(in Japanese)
8. 日本溶接協會編 : 新版ティグ溶接法の基礎と實際, 産報出版, 1992(in Japanese)
9. S.M. Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding, KOSME, 18-3, 1994, 68-77
10. S.D. Kim and S.J. Na : Effect of Weld Pool Deformation on Weld Penetration in Stationary Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal, 71-5(1992), 179s-193s
11. R.T.C. Choo, J. Szekely and R.C. Westhoff : Modeling of High-Current Arcs with Emphasis on Free Surface Phenomena in the Weld Pool, Welding Journal, 69-9(1990), 346s-361s
12. 란카스타-編著 : 溶接아크物理, 社團法人 溶接協會 溶接아크物理研究委員會, (1990), 298 (in Japanese)
13. S. I. Rokhlin and A. C. Guu : A Study of Arc Force, Pool Depression, and Penetration During Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal, 72-12(1992), 381s-390s
14. J. Converti : Plasma Jets in Arc Welding, Ph. D. Thesis, MIT, Cambridge, MA, 1981.
15. M. Suban and J. Tušek : Dependence of Melting in MIG/MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used, Journal of Materials Processing Technology, 119(2001), 185-192
16. AWS : Welding Handbook, Vol. 2, 8th ed. (1991), 91-93
17. H. Maecker : Z. Phys., vol. 141(1955), 198-216.
18. Mondain-Moval : I.I.W. Document, 212-264-73 (1973)