

## TIG용접에서 실드가스 종류의 변화에 따른 용접부의 변화상태 고찰

김진수\*, 김법현\*\*,#, 이철순\*, 김용조\*\*\*, 박용환\*\*\*\*

\*한국폴리텍Ⅷ대학 컴퓨터응용기계과, \*\*한국폴리텍Ⅷ대학 산업설비자동화과, \*\*\*경남대학교 기계공학과, \*\*\*\*고려용접봉 기술연구소 실장

## Study on The Status of Welded Parts According to The Types of Shielding Gas in TIG Welding

Jin-Su Kim\*, Bub-Hun Kim\*\*,#, Chil-Soon Lee\*, Yohng-jo Kim\*\*\*, Yong-Hwan Park\*\*\*\*

\*Computer Aided Mechanics Department of Changwon Campus Korea Polytechnic, \*\*Industrial Facility Automation Department of Changwon Campus Korea Polytechnic, \*\*\*School of Mechanical Engineering Kyungnam University, \*\*\*\*R&D Center of KISWEL

(Received 18 September 2014; received in revised form 2 February 2015; accepted 6 March 2015)

### ABSTRACT

Tungsten inert gas (TIG) welding is commonly used in industries that require airtightness, watertightness, oiltightness, and precision. It is a non-consumable welding method that is commonly used for the welding of non-ferrous metals, but it can be used to weld most metals. The methods of TIG welding can be divided into three types. The first, manual welding is done directly on the metal by a welder with a torch. The second, semi-automatic welding, gets help from a material supplying machine, but it is conducted by a welder. Lastly, automated welding is conducted fully by a machine during its process and operation. Depending on the selection of electrode, the amount of heat that is applied to the base material and the electrode rod changes and makes the shape of welded parts different. A direct-current positive electrode was used for this study. Through the change of shielding gas type on a structural steel (SS-400) that is commonly used in industry, the composition and shape changes in welded parts were detected after welding. The heat-affected area, hardness value, and tensile strength were also identified through hardness testing and tensile testing. In this study, it was found that the higher hardness value of the heat-affected is, the weaker the tensile strength becomes.

**Key Words** : Tungsten inert gas Welding(티그용접), Filler metal(용가재), Automatic welding(자동용접), Electrode bar(전극봉), Straight polarity(역극성), Structural steel(구조용 강재), Heat affected zone(열영향부)

### 1. 서 론

TIG(tungsten inert gas)용접은 LNG선박, 항공기, 화학플랜트 등 산업현장에서 일반적으로 기밀, 수밀, 유밀 및 정밀을 필요로 하는 분야에서 널리 사용되어지고 있으며, 비소모식 용접으로 비철금속의 용접에 일반적으로 사용하며, 대부분의 금속을 접

# Corresponding Author : kimbubh2000@hanmail.net  
Tel: +82-55-260-1159, Fax: +82-10-5675-8041

합할 수 있어 여러 산업분야에서 광범위하게 사용되어지고 있는 용접이다.

TIG용접은 용가재 및 토오치를 용접사가 직접 손으로 조작하는 수동용접과 용가재는 기계로 투입하고 토치는 손으로 조작하는 반자동용접, 용가재 및 토치의 진행을 기계로 조작하는 자동용접으로 구분한다.<sup>[1]</sup>

본 연구는 산업현장에서 일반적으로 사용되어지는 구조용강재(SS-400)에 사용가스의 종류를 변화시켜 용접 후 용입부의 성분 및 형상변화를 알아보고자 하였다.<sup>[2]</sup> 자동용접으로 용접을 진행하였으며, 이 실험을 통하여 사용가스 종류의 변화에 따른 용입부의 성분변화 및 형상을 알 수 있으며 경도, 인장강도, 용입단면 측정 등을 통하여 용접부의 개발에 도움이 되고자 한다.

## 2. 용접 이론

### 2.1 TIG용접의 원리 및 특성

불활성가스 분위기내에서 텅스텐 전극과 모재사이 에 아크를 발생시켜 그 열로 용접하며, 비소모식 용접으로 정전류를 사용함으로, 대부분의 용접 전류 영역에서 아크는 다른 용접에 비해 안정하며, 아크 길이에 관계없이 용접전류가 항상 일정하게 유지되므로 용입이 일정하게 된다. TIG용접은 전자세 용접이 가능하며, 용접부의 품질은 우수하나 MIG용접, CO<sub>2</sub>용접 등에 비해 용접속도가 느려 생산능력이 떨어진다. Fig. 1에 TIG용접 원리를 나타내었다.

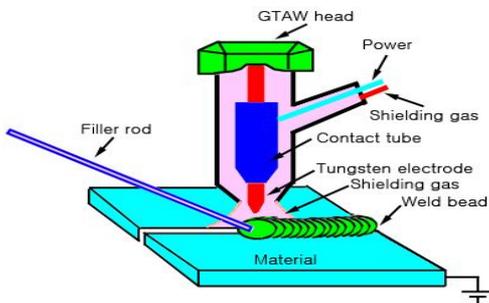


Fig. 1 Schematic of TIG welding

### 2.2 용접변수

TIG용접은 극성의 선택에 따라 전극봉과 모재에 가해지는 열량의 차이가 발생되어 용접부의 용융에 큰 영향을 미치게 되며, 정극성은 전자가 양극의 모재에 충돌하면서 에너지를 방출하므로 용입이 깊고, 역극성은 전극에 열이 더 많이 전달되어 용입이 얇게 형성된다. 교류는 정극성과 역극성의 중간정도의 용입을 형성한다. 용접전류와 전압, 용접속도는 모재의 용융량, 열영향부의 크기, 냉각속도, 잔류응력 등에 영향을 미치며, 보호가스의 선정 및 용가재의 선정, 가공형상 또한 용접 변수로 작용한다.

## 3. 실험장치 및 조건

### 3.1 실험장치

본 연구에는 대용량(500A) 디지털방식 TIG용접기를 사용하여 전류 및 전압의 정확한 조정이 가능하며, 용접기와 와이어 송급장치로 구성되어있다. 정확한 용접진행을 위하여 자동이송장치를 사용하여 용접을 진행하였다.

용접부의 용입 형상 및 경도측정을 위하여 마이크로 비이커스 경도시험기(Mitutoyo HM-124)를 사용하였고, 용접부의 성분분석을 위하여 스파크 발광분석기(SPECTROVAC 2000, BAIRD, 미국, 분사거리 1m)를 사용하였으며, 성분분석용 장비는 Fig. 2에 나타내었다.



Fig. 2 Device for chemical composition analysis



Fig. 3 Tension tester machine

용입부의 인장시험은 KS B 0801에 따라 시편을 제작하였으며, 장비는 SHIMADZU(JAPAN) UH-F50A, 50M/T 유압식으로 Fig. 3에 나타내었다.

본 실험을 위해 사용된 모재는 구조용강재(SS-400) 6.5t, 200mm × 150mm 크기로 I형으로 가공하였으며, Table 1에 나타내었다.

맞대기용접 형태로 용접을 진행하였으며, 용가제는 TGS-50(AWS ER70S-6  $\phi$ 2.6)으로 진행하였다.

용접 전 SS-400 소재의 성분 내용을 Table 2에 나타내었다.

Table 1 The size and quantity of experimental base

Material	Size
SS-400	6.5t × 200mm × 150mm = 6EA

Table 2 Chemical composition of SS-400 material before welding

Material	Fe	C	Si	Mn	P
Chemical composition	97.6997	0.055	0.146	1.572	0.0099
Material	S	Ni	Cr	Mo	Cu
Chemical composition	0.0078	0.015	0.260	0.101	0.014
Material	V	Nb	Al	Ti	B
Chemical composition	0.003	0.044	0.026	0.016	0.0025
Material	W	Co	Sn	Zr	
Chemical composition	0.003	0.007	0.0011	0.017	

### 3.2 실험조건

본 실험에서 사용가스는 Ar 100%, Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%, Ar 98%+O<sub>2</sub> 2%를 사용하였으며, 용접진행 각도는 작업각 90°, 진행각 90°로 고정하였다. 모재와 텅스텐봉과의 거리(stick out)는 2mm를 유지하였으며, 용접전류는 110A, 텅스텐봉의 지름은  $\phi$ 2.4를 사용하였다. 용입 단면 측정, 성분분석, 경도시험을 위한 절단부위는 Fig. 4에 나타내었다.

용접부의 단면 측정은 폭 및 상·하 깊이를 측정하였고, 경도시험은 모재부, 열영향부, 용접부 순으로 측정하였으며 Fig. 5에 나타내었다.

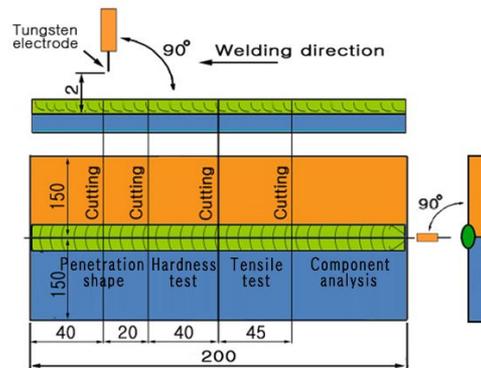


Fig. 4 Distance between welding torch and tungsten electrode & Tested area of welded parts



(a) Area in which width and height are measured after penetration



(b) Spots of hardness test

Fig. 5 Measurement of hardness and Shape of the penetrated cross section

### 4. 결과 분석 및 고찰

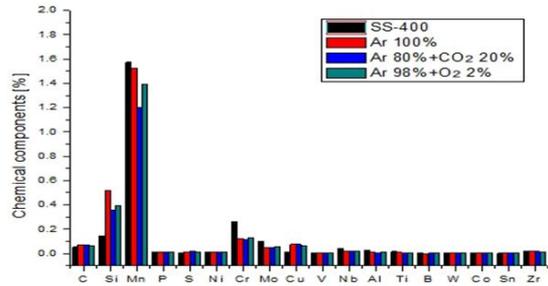
사용가스 종류의 변화에 따른 용입부의 성분변화를 분석한 결과 Table 3 및 Fig. 6과 같았다.

용접 전 모재의 성분보다 용접 후 C, S, Cu 성분은 증가하는 것을 알 수 있었으며, Mn, Cr, Mo, Nb, Al, Ti은 저하하는 것을 알 수 있었다.

Ar 100%, Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%, Ar 98%+O<sub>2</sub> 2%로 사용가스 종류를 바꾸어 용접하였을 때 순수한 Ar 100%가스를 사용한 경우에 비해 Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%, Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% 가스를 사용한 경우에서 S가 증가하였으며, Mn은 비교적 크게 저하하였다.

**Table 3 Result of chemical composition analysis on welded parts of SS-400**

Component	Used gas		
	Ar 100%	Ar 80% + CO <sub>2</sub> 20%	Ar 98% + O <sub>2</sub> 2%
Fe	97.5408	98.0315	97.7967
C	0.070	0.072	0.061
Si	0.517	0.359	0.395
Mn	1.526	1.204	1.391
P	0.0094	0.0117	0.0111
S	0.0134	0.0164	0.0147
Ni	0.015	0.014	0.013
Cr	0.120	0.114	0.132
Mo	0.046	0.047	0.057
Cu	0.076	0.074	0.062
V	0.002	0.002	0.002
Nb	0.020	0.016	0.021
Al	0.013	0.007	0.012
Ti	0.008	0.003	0.007
B	0.0003	0.0012	0.0015
W	0.003	0.005	0.003
Co	0.003	0.004	0.003
Sn	0.0011	0.0022	0.0020
Zr	0.016	0.016	0.015



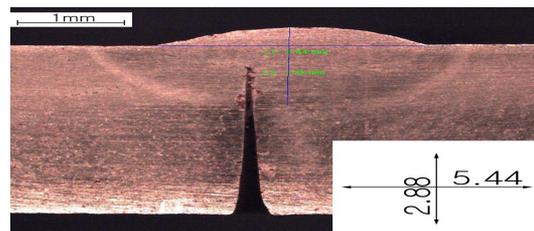
**Fig. 6 Comparison table of chemical composition on welded parts of SS-400**

Fig. 5(a) 와 같이 용입부의 단면 형상을 측정하여 보았을 때 Table 4 및 Fig. 7과 같은 결과 값을 얻을 수 있었다. Ar 100% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%, 가스 순으로 용입이 깊고, 용착이 양호하게 형성되는 것을 알 수 있었으며, Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% 가스의 경우 용입의 깊이가 얕게 형성되고 표면 위쪽으로 비이드가 불룩하게 형성되는 것을 알 수 있었다.

**Table 4 Values of penetrated depth and width in accordance with the change of using gas types**

(Unit : mm)

Test piece No.	Used gas		
	Ar 100%	Ar 80% + CO <sub>2</sub> 20%	Ar 98% + O <sub>2</sub> 2%
Width ①	5.44	5.25	6.24
Depth ②	2.88	2.05	2.32



(a) Ar 100%

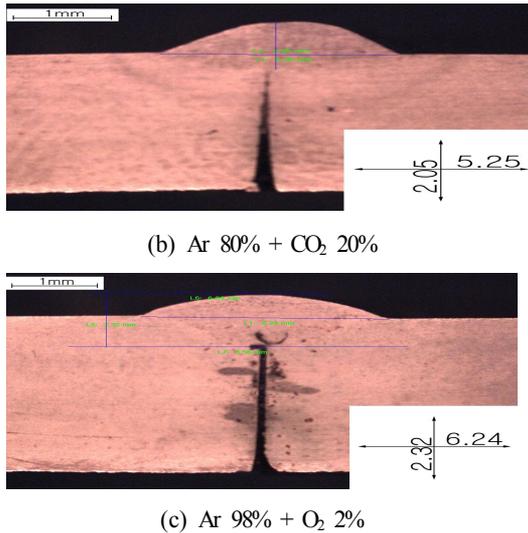


Fig. 7 The value of depth and width of the penetrated cross section

용입부의 경도변화를 Hv 10Kgf의 힘으로 측정하여 보았을 때 Table 5 및 Fig. 8과 같은 결과 값을 얻을 수 있었다. 모재부의 열영향은 Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% > Ar 100% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% 가스 순으로 경도가 높았으며, 열영향부는 Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% > Ar 100% 가스 순으로 경도가 높게 나타났으며, 용입부의 경우는 Ar 100% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% 가스 순으로 경도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Table 5 Hardness value of welded parts

(Unit : Hv)

Position	Used gas		
	Ar 100%	Ar 80% + CO <sub>2</sub> 20%	Ar 98% + O <sub>2</sub> 2%
Base material	188.9	190.2	182
HAZ	273.1	285.7	294.3
Weld metal	300.7	268.5	254.7

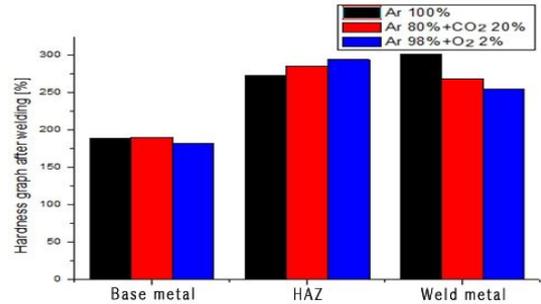
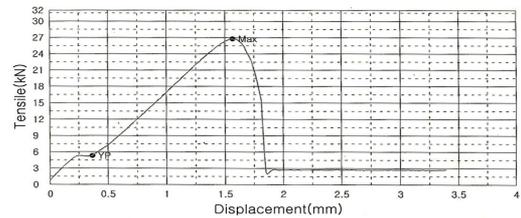
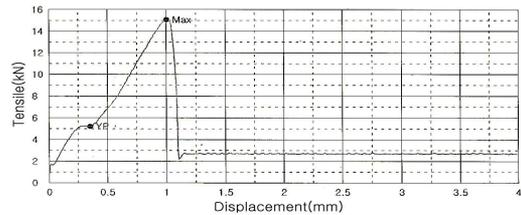


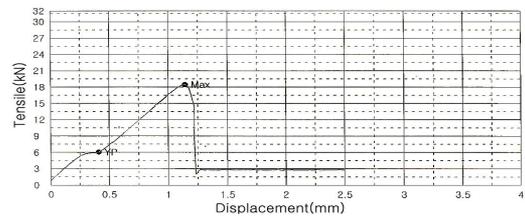
Fig. 8 Hardness graph after welding



(a) Ar 100%



(b) Ar 80% + CO<sub>2</sub> 20%



(c) Ar 98% + O<sub>2</sub> 2%

Fig. 9 Measurements of the tensile test of welded parts

용접부의 인장강도 시험값을 Fig. 9와 같이 얻을 수 있었다. Ar 100% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% 가스 순으로 인장강도가 높게 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서 사용가스의 종류에 따른 용입부의 용입 형성 및 경도, 화학성분, 인장강도의 변화를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접 전 소재부의 성분에 비하여 용접 후 용입부에서는 C, S, Cu 성분이 증가하였으며, Mn, Cr, Mo, Nb, Al, Ti 성분은 저하하는 것을 알 수 있었다. 순수한 Ar 100% 가스를 사용한 경우에 비해 Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20%, Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% 가스를 사용한 경우 용입부에서 S가 증가하였으며, Mn은 비교적 크게 저하하였다.
2. 용입부의 형상은 Ar 100% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% 가스 순으로 용입이 깊었으며, Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% 가스의 경우 용입의 깊이도 얇고 표면 위쪽으로 비이드가 불룩하게 형성되어 인장강도도 제일 낮게 나타났다.
3. 경도시험의 경우 열영향부(HAZ)는 Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% > Ar 100% 가스 순으로 경도가 높게 나타났으며, 용입부의 경우는 Ar 100% > Ar 80%+CO<sub>2</sub> 20% > Ar 98%+O<sub>2</sub> 2% 가스 순으로 경도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.
4. 본 연구를 통하여 사용가스의 변화에 따른 용접 후 용입부의 성분변화와 형상변화를 비교할 수 있었으며, 동일소재, 동일 용접조건에서는 열영향부의 경도값이 높을수록 열영향부의 인장강도는 낮아지며, 용입부의 경도가 높을수록 용입부의 인장강도는 높아지는 것을 알 수 있었다. 본 용접 전 열영향부에 열 및 응력이 집중되는 것을 최소화하는 용접방법과 개선사항에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단되어지며, 용접 후 용입부의 성분이 사용가스에 따라 어떻게 변화되는지 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Honma, S. G. and Yasuda, K. H., "Study of Semi-automatic TIG Welding", Journal of japan welding society, Vol. 21, No. 3, pp. 356-361, 2003.
  2. Lu, S. P., Fujii, H. S. and SATO, T. Y., "Effect of Oxygen Content in He-O<sub>2</sub> Shielding Gas on Weld Shape in Ultra-deep Penetration TIG Welding", Journal of japan welding society, Vol. 25, No. 1, pp. 196-202, 2007.
  3. Ha, R. S., Jung, B. H. and Park, H. S., "Structures and defects in Welds of High Strengths Al Alloys by Using GTAW", Journal of korean welding and joining society, Vol. 21, No. 5, pp. 62-68, 2003.
  4. Ko, J. B., Choi, W. D. and Lee, Y. H., "A study on the Analysis of the Thermal Stress in Process of STS 304 TIG Welding", Journal of korean welding and joining society, Vol. 19, No. 6, pp. 90-95, 2001.
  5. Kim, B. H., Kim, W. I., Choi, C. and Park, Y. H., "Study of Weld Part Status Change by CO<sub>2</sub> Welding According to the Variation of Gas Composition and Welding Wire on SS-400 Material", Journal of korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp. 129-136, 2012.
  6. Oh, D. S. and Cho, S. M., "Effect of Heat Flux on the Melting Efficiency and Penetration Shape in TIG Welding", Journal of korean welding and joining society, Vol. 27, No. 2, pp. 44-50, 2009.
  7. KANEMARU, S. H., SASAKI, T. A., SATO, T. K. and TANAKA, M., "Basic Study on TIG-MIG Hybrid Welding Process", Journal of japan welding society, Vol. 30, No. 1, pp. 29-34, 2012.
1. Honma, S. G. and Yasuda, K. H., "Study of Semi-automatic TIG Welding", Journal of japan