

## 펄스 TIG용접에서 필러 와이어 송급속도에 따른 아크압력 변동이 용입에 미치는 영향

조 상 명\* · 김 진 우\*\*

\*부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공

\*\*불보건설기계코리아(주) 생산기술팀 자동화기술파트

### The Effects of the Arc Pressure Variation on the Penetration by the Filler Wire Feed Rate in Pulsed TIG Welding

Sang-Myung Cho\* and Jin-Woo Kim\*\*

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

\*\*Part of Automation Tech., Manufacturing Engineering Team, Volvo CE Korea Ltd., Changwon 641-430, Korea

#### Abstract

In the standpoint of the arc pressure, the effects of the filler wire feed rate on the penetration was investigated in this study. The pure Ar gas was used as a shield gas and the parameters investigated were the welding current and the filler wire feed rate. By making the experiment on the arc pressure, We could know that the arc pressure was fluctuated as the depth-into-arc of the tungsten rod. Instead of the filler wire, the tungsten rod was supplied into the molten pool to make this experiment. Because the filler wire melted in arc and then we couldn't measure the arc pressure. So, the tungsten rod - the highest melting point - was used. According to the depth-into-arc of the tungsten rod, the arc pressure could be measured by using the manometer. It was proved that the arc pressure got higher as the wire feed rate was slow. It is reported the arc pressure is proportion to welding voltage and the square of welding current. But, in the filler wire TIG welding, we could know that arc pressure was fluctuated as the depth-into-arc of filler wire was changed. We could measure the arc pressure by the variation of the filler wire feed rate and could verify that it affected bead shape and penetration

\* Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received November 25, 2003)

Key Words : Pulsed TIG welding, Arc pressure, Wire feeding rate, Manometer, Penetration, Depth-into-arc, Tungsten rod, Molten pool

#### 1. 서 론

TIG(Tungsten Inert Gas)용접은 아크가 안정적이며, 용접부 품질이 우수하기 때문에 고급용접 및 각종 배관의 초층용접에 주로 사용되고 있다. 가스 메탈 아크 용접과 비교하면 낮은 용접속도 때문에 생산성이 낮은 단점이 있지만, 대구경 파이프 오버탈 용접 시 적층

용접, 초내열 합금과 같은 고급재료의 육성용접 등<sup>1)</sup>과 같이 고품질이 요구되는 부분에는 필러 와이어를 이용한 다층 TIG용접법이 적용된다. 다층 TIG용접의 경우, 제살 TIG용접과는 달리 용접전류와 필러 와이어 송급 속도에 대해 정량적으로 고려되어야 한다.

TIG용접의 비드형성에서 아크압력은 가장 중요한 인자 중 하나이다. 텅스텐 전극 형상, 특히 선단각도, 선단절단경의 변화에 따른 아크압력 특성과 용입변화가

보고되었고<sup>1-4)</sup>, 전극각도와 용입형상과의 관계가 플라즈마 기류의 관점에서 보고되었다<sup>5)</sup>.

박판이나 후판용접 등 용접부의 용도와 사양에 따라 비드폭, 비드높이와 용입 등이 다르며, 동일 재질과 두께의 모재일지라도 용접규격의 등급에 따라 요구되는 사양이 다릅니다. 본 연구는 이렇게 다양한 용도와 사양을 '아크압력'이라는 파라미터를 제어함으로써 목표하는 용접규격 및 등급의 만족이 기대되고, 많은 인자들 중에서도 필러 와이어의 송급속도와 비드외관, 필러 와이어의 송급속도와 용입과의 관계를 규명하기 위해 수행되었다.

본 연구에서는 필러 와이어의 송급속도와 비드형상과의 관계를 아크압력의 관점에서 고찰하였다. 펄스용접 시 펄스전류( $I_p$ ), 베이스전류( $I_b$ )에 따라 용융지에 미치는 아크압력을 필러 와이어 대신 텅스텐 봉을 사용하여 그 끝 위치에 따라 측정하였고, 이 때의 아크압력이 용접부의 용입정도에 미치는 영향에 대해 고찰하여 기술하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 필러 와이어 펄스 TIG 비드용접 실험

Fig. 1은 필러 와이어를 사용하여 아래보기자세로 자동 비드용접을 하기 위해 필러 와이어 자동송급기를 TIG용접 토치에 부착하여 고안한 장치이다. 사용한 모재는 연강판재로서 두께 3 mm로 한쪽 면을 연마하여 녹을 완전히 제거하여 사용하였다. 공업용 Ar 가스를 유량 10 l/min로 송급하였고, 전극 마이너스 극성

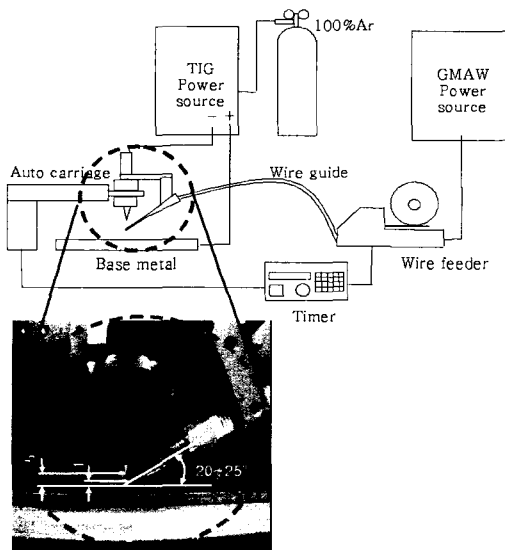


Fig. 1 Equipment for TIG welding with filler wire

으로 하여 직류용접만을 실시하였으며, 전극은 2% ThO<sub>2</sub>-W (직경3.2mm)으로 하였다. 용접토치는 정속 주행하도록 자동주행대차에 부착되었고, 필러 와이어( $\phi$  1.2)의 송급각도는 20~25° 로 하였고, 진행방향에 대해 전방에서 송급하였다<sup>6)</sup>. 필러 와이어의 송급속도를 조절함으로써, 용융지 내에서 필러 와이어의 끝 위치를 다르게 하여 비드용접을 실시하였다.

Table 1은 Fig. 1의 펄스 TIG 자동비드용접의 용접조건을 나타낸 것이다. Condition I은 용접전류  $I_p$  300A, 200A, Non-pulse ( $I_{avg}$ . 130A)에서 필러 와이어 송급속도를  $F_m$ 으로 고정한 조건이며, Condition II는 용접전류  $I_p$  200A ( $I_{avg}$ . 130A)에서 필러 와이어 송급속도를 빠름(173cpm,  $F_f$ ), 중간(110cpm,  $F_m$ ), 느림(74cpm,  $F_s$ )으로 변화를 준 조건이다.

### 2.2 아크압력 측정방법

일반적인 아크압력 측정 시 Cu 블록에 관통하는 구멍(2mm)을 뚫어, 그 위에 정지 TIG 아크를 발생시킨다<sup>2,3)</sup>.

아크 발생시 Cu 블록의 온도상승을 방지하기 위해 연속적으로 수냉을 시켰다. 또한 Cu 블록의 작은 구멍 아래쪽에 압력계인 마노미터 (manometer)를 설치하여 아크압력을 계측하였다. Fig. 2는 U자형 마노미터를 사용한 아크압력 측정을 위한 실험 모식도이다. 아

Table 1 The condition of TIG welding with filler wire

		Condition I	Condition II
Base metal		Mild steel 150×40×3t	
Angle of tungsten electrode		45°	
Pulse frequency		4 Hz	
Welding speed		20 cpm	
Diameter of filler wire		φ 1.2	
Iavg.		130 A	
Ip (Ib : 60 A)		300 A	200 A
		200 A	
		Non-pulse	
Supply of filler wire	Angle	20 ~ 25°	
	Speed	$F_f$	173 cpm
		$F_m$	110 cpm
$F_s$		74 cpm	
Position		Forward supply	

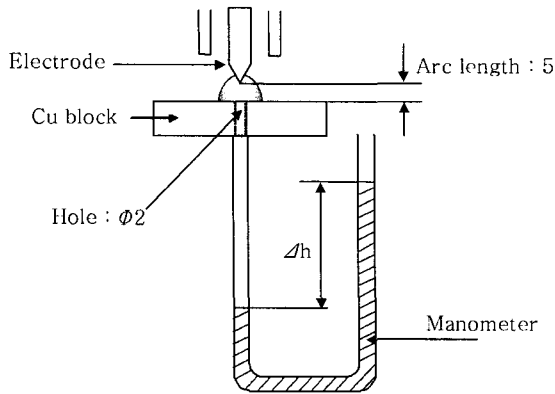


Fig. 2 Measuring method of arc pressure in TIG welding without filler metal

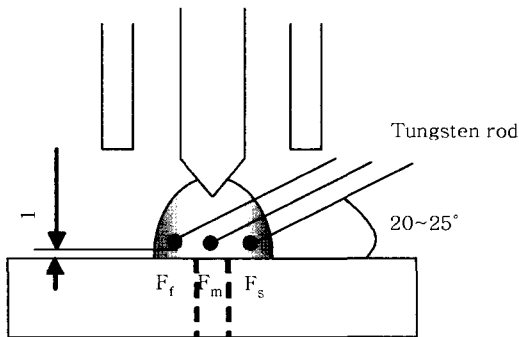


Fig. 3 Definition for the supply position of tungsten rod in measuring arc pressure

크열에 의해 작은 구멍이 용융되지 않게 하기 위해 Cu 블록(14t)을 사용하여 수냉시켰다<sup>2,3)</sup>.

Fig. 3은 아크압력을 측정할 때 아크 내에서 텅스텐 봉 끝 위치를 정의한 것이다. Table 1의 condition II에서 필러와이어 송급속도가  $F_f$ ,  $F_m$ ,  $F_s$ 였을 때, 아크 내 위치를 그대로 재현한 것이다. 필러 와이어의 송급시 아크압력을 측정할 때, 와이어가 용융하기 때문에 Cu 블록의 구멍이 막힐 우려가 있다. 이를 방지하기 위해 용점이 높은 텅스텐 봉을 용가재로 사용하였다. 텅스텐 봉 끝 위치  $F_f$ ,  $F_m$ ,  $F_s$ 에서 아크압력을 각각 측정하였다.

또한 텅스텐 봉의 용융을 방지하기 위해 연속적으로 수냉시켰고, 아크중심에서의 아크압력을 측정하기 위해 텅스텐 전극을 Cu 블록의 작은 구멍 중앙에 설치하였다. 펄스 TIG용접에서 펄스전류( $I_p$ ), 베이스전류( $I_b$ )시 아크압력을 알기 위해 용접전류 150A, 60A에서 아크압력을 측정하였다. 200A에서 아크압력을 측정하지 않은 것은, 강한 아크력으로 인해 텅스텐 봉이 용융되어 아크압력을 측정할 수 없었기 때문이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 펄스전류가 비드형상에 미치는 영향

Table 2는 Table 1에 있는 Condition I로 펄스 TIG 비드용접한 후 비드외관과 마크로 단면사진을 나타낸 것이다. 동일한 필러 와이어 송급속도(110 cpm)에서 평균전류는 130A로서 같고, 펄스전류인  $I_p$ 를 다르게 한 용접비드로서 각각 Non-pulse,  $I_p$  200A, 300A 조건에서 행한 것이다. 비드폭과 용입이 각각 Non-pulse < 200A < 300A 순으로 나타났다.

#### 3.2 필러 와이어 송급속도가 비드형상에 미치는 영향

Table 3은 Table 1에 있는 Condition II로 펄스 TIG 비드용접한 후 비드외관과 마크로 단면사진을 나타낸 것이다. 동일한 펄스용접전류에서 용접비드폭과 용입은 필러와이어의 송급속도에 따라 다르게 나타났고, 그 순서는 각각  $F_f$  <  $F_m$  <  $F_s$  < Non-filler였다.

#### 3.3 펄스 전류가 아크압력에 미치는 영향

Photo 1은 필러 와이어를 사용한 펄스 TIG 비드용접 시의 사진이다.

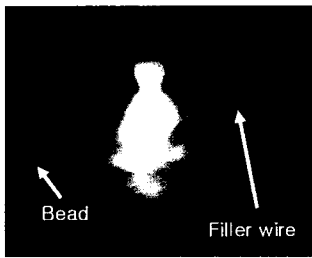
Fig. 4는 Cho의 보고<sup>1)</sup>에서 인용한 것으로 최대아크압력과 용접전류의 관계를 나타내고 있다. 최대아크압력은 용접전류의 제곱에 비례함을 알 수 있다. Table 2에서 비드 폭 및 용입이  $I_p$ 가 증가함에 따라 각각 넓어지고, 깊어짐을 확인할 수 있다. 이것은  $T_p$ 동안 커지는 아크반경에 의해 비드폭이 넓어진 것이며, Cho<sup>1)</sup>와 R.T.C. Choo<sup>4)</sup> 등이 주장했던 용접전류의 제곱에 비례하여 증가하는 아크압력에 의해 용입이 깊어진 것으로 판단된다.

Table 2 Bead appearance and penetration according to welding current

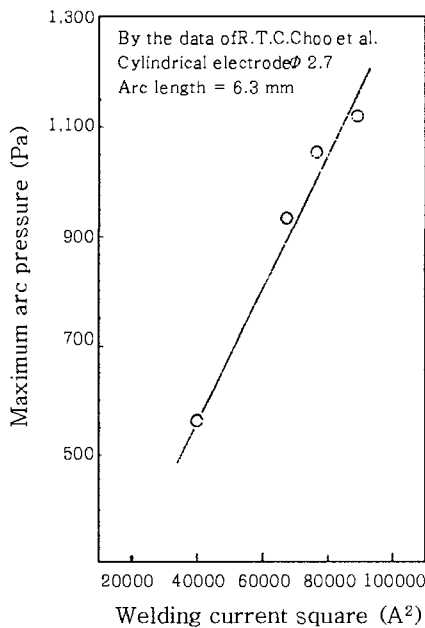
Wire feed rate	Current		Bead appearance	Peneration
$F_m$ (110cpm)	Non-pulse	130 A		
		$I_p$ 200 A		
	Pulse ( $I_{avg}$ : 130A)	$I_p$ 200 A		
		$I_p$ 300 A		
		$I_p$ 200 A		
		$I_p$ 300 A		

**Table 3** Bead appearance and penetration according to wire feed rate in pulsed TIG welding (Average current : 130A,  $I_p$  : 200A)

End position of filler wire	Wire feed rate (cpm)	Bead appearance	Penetration
$F_r$	173		
$F_m$	110		
$F_s$	74		
Non-filler	-		



**Photo 1** Pulsed TIG bead welding



**Fig. 4** Relation between maximum arc pressure and welding current square<sup>1)</sup>

### 3.4 필러 와이어 송급속도가 아크압력 변동에 미치는 영향

앞의 실험방법(2.2절)에서 기술한 것과 같이 필러 와이어 송급속도가 0, 74, 110, 173 cpm이었을 때, 아크 속으로 들어간 깊이를 재현하였고, 텅스텐 봉을 이용하여 아크압력을 측정하였다.

Table 4는 아크압력을 측정하기 위해 텅스텐봉이 아크 속으로 들어간 깊이를 나타낸 것이다. 용접진행방향이 화살표와 같고, 필러 와이어 송급속도가 0,  $F_s$ ,  $F_m$ ,  $F_r$  였을 때, 필러 와이어 끝이 아크 속으로 들어간 깊이는 각각 0, 2, 5, 8 mm 였다.

$$P_{arc} = \rho \times g \times \Delta h \tag{1}$$

여기서,  $P_{arc}$  : Arc pressure (Pa)

$\rho$  : Density of water ( $kg/m^3$ )

$g$  : Gravitational acceleration ( $m/s^2$ )

$\Delta h$  : Difference of water head (m)

Table 5는 Fig. 2와 3의 실험결과인 텅스텐 봉끝 위치에 따른 수두차를 나타낸 것이다. 식 (1)은 정수압을 나타내는 식이며, 이 식을 통해 아크압력을 계산하였다.

Fig. 5는 와이어 송급속도에 따른 아크압력과 용입의 관계를 나타낸 그래프이다. 텅스텐 봉이 아크 속으로 들어간 깊이를 Table 5에서 정의하였고, 이 때의 아크압력을 Table 4의 데이터로 플로팅하였다.

한편, Table 3은 각 조건에서 시편3개의 용입을 평균하여 플로팅한 결과, 아크압력과 똑같은 경향을 보인

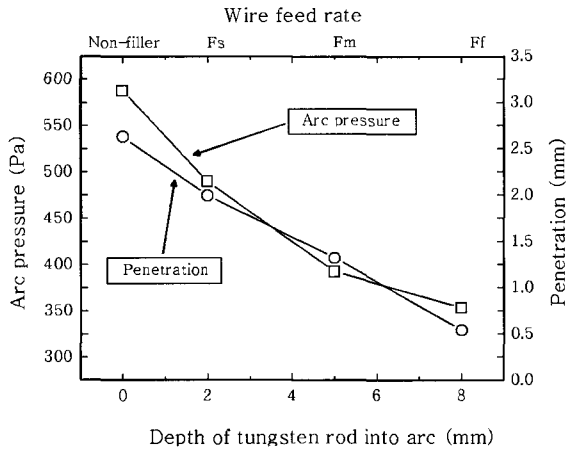
**Table 4** Depth of tungsten rod into arc

Wire feed rate (cpm)	Depth-into-arc of tungsten rod	Photo
Non-filler	0	-
$F_s$	2 mm	
$F_m$	5 mm	
$F_r$	8 mm	

※ Welding direction :

**Table 5** Difference of water head in manometer according to the supply position of tungsten rod

		Position	Δh (m)			
			F <sub>f</sub>	F <sub>m</sub>	F <sub>s</sub>	Non-filler
Current	I <sub>p</sub>	150A	0.036	0.040	0.050	0.060
	I <sub>b</sub>	60A	0.016	0.016	0.016	0.020



**Fig. 5** Relation of arc pressure and penetration according to wire feed rate

다. 아크압력은 텅스텐 봉을 송급하지 않았을 때, 가장 높게 나타났다. 또한, 텅스텐 봉을 송급한 경우, 아크 속으로 삽입된 깊이에 따른 아크압력은 '0)2)5)8(mm)' 순으로 나타났다. 이것은 텅스텐 봉이 아크 내에 있기 때문에 플라즈마 기류를 방해하여 아크압력이 떨어지는 것으로 판단되고, 텅스텐 봉이 아크 내에 깊게 들어갈수록 아크압력 이 떨어지는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

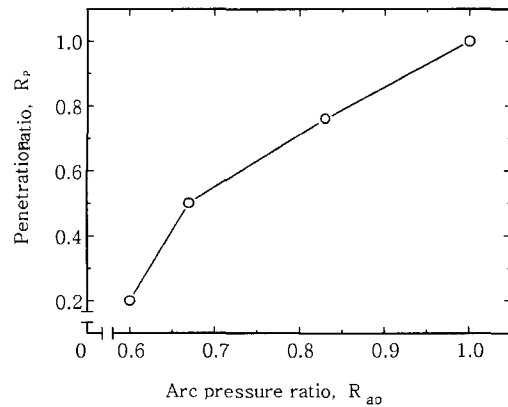
한편, 필러 와이어를 송급하지 않았을 때, 아크압력의 경우와 마찬가지로 용입이 가장 깊었다. 필러 와이어를 송급한 경우, F<sub>s</sub>)F<sub>m</sub>)F<sub>f</sub> 순으로서 아크압력의 경우와 똑같은 순서로 나타났다. 이를 통해 필러 와이어의 송급속도에 따라서 아크압력이 변동되며, 변동하는 아크압력에 의해 용입이 달라짐을 알 수 있다.

Arc pressure ratio, R<sub>ap</sub>,

$$R_{ap} = \frac{\text{Arc pressure by supply position of tungsten rod}}{\text{Arc pressure at Non filler}} \quad (2)$$

Penetration ratio, R<sub>p</sub>,

$$R_p = \frac{\text{Penetration by wire feed rate}}{\text{Penetration at Non filler}} \quad (3)$$



**Fig. 6** Relation between arc pressure and penetration

Fig. 6은 식 (2), (3)을 사용하여 아크압력과 용입의 관계를 비로 나타낸 것이다. R<sub>ap</sub> 는 텅스텐 봉을 아크 속으로 송급하지 않았을 때의 아크압력에 대한 텅스텐. 봉을 F<sub>f</sub> , F<sub>m</sub> , F<sub>s</sub>의 위치로 각각 송급하였을 때의 아크압력 비이며, R<sub>p</sub>는 필러와이어를 송급하지 않았을 때의 용입에 대한 송급속도 173, 110, 74 cpm 으로 각각 송급했을 때의 용입 비를 의미한다. 이를 통해, 아크압력과 용입은 서로 비례함을 알 수 있다. I<sub>p</sub> : 200A에서 필러 와이어 송급속도에 대한 용입변동과 I<sub>p</sub> : 150A에서 텅스텐 봉 끝 위치에 따른 아크압력 변동을 직접 비교하는 것은 곤란하다. 하지만, Cho 등<sup>1)</sup>과 R.T.C.Choo 등<sup>4)</sup>의 보고에 의하면 200A에서의 아크압력, P<sub>200</sub>과 150A에서의 아크압력, P<sub>150</sub>의 다른 점은 P<sub>200</sub>이 P<sub>150</sub>보다 (200/150)<sup>2</sup> 에 비례하여 높으므로, R<sub>ap</sub>와 R<sub>p</sub>로서 아크압력과 용입의 관계를 나타내는 것은 타당하다고 할 수 있다.

지금까지, TIG 용접에 있어서 아크압력은 아크 전류의 제곱과 아크길이에 따라 비례한다는 보고는 다수 있었다<sup>1,4,5,7)</sup>. 그러나, 필러 와이어를 쓰는 TIG 용접에서는 와이어 송급속도를 다르게 함으로서 필러 와이어 끝의 위치변동에 따라서도 아크압력이 달라짐을 본 연구를 통해서 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

펄스 TIG용접에서 필러 와이어 송급속도에 따른 아크압력 변동이 용입에 미치는 영향에 대해 연구하기 위하여 실제 펄스 TIG 비드용접을 행하였고, ϕ 2.4 텅스텐 봉을 필러 와이어 대신 사용하여, 필러 와이어 송급속도에 따라 달라지는 아크압력을 송급위치별로 측정하여 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

1) 아크압력은 아크전류의 제곱과 아크길이에 따라 비례한다고 보고되고 있다. 하지만, 필러 와이어를 쓰는 TIG 용접에서는 와이어 송급속도를 다르게 함으로써 필러 와이어 끝의 위치변동에 따라 아크압력이 달라짐을 본 연구를 통해서 알 수 있었다.

2) 필러 와이어 송급속도차로 인한 아크압력을 측정할 수 있었고, 그 아크압력이 필러와이어를 쓰는 TIG 용접 비드형상과 용입에 영향을 미침을 확인 할 수 있었다.

3) 루트패스와 같이 용입이 깊은 용접이 요구될 때는 와이어 송급속도를 늦게 하여 큰 아크압력이 작용하도록 하는 것이 바람직하다.

4) 같은 평균전류에서도  $I_p$ 의 크기에 따라 아크압력은 전류의 제곱에 비례하여 변동하므로 용입, 비드형상에 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 따라서,  $I_p$ 의 크기를 조절함으로써 적절한 용입과 비드형상을 얻을 수 있다.

5) 적절한 비드를 얻기 위해서는 적절한 송급속도와  $I_p$ 가 균형있게 조절되어야 한다.

## 참 고 문 헌

1. Sang-Myung Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding, Journal of KOSME, 18-3 (1996) 318-327 (in Korean)
2. Sang-Myung Cho and Sang-Goun Seo : The Effect of Configuration and Surface Polishing in Tungsten Electrode Tip for Gas Tungsten Arc Welding on the Characteristics, Journal of KWS, 19-1 (2001) 33-39 (in Korean)
3. Kazuo Hiraoka, Akira Okada and Michio 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. 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, Journal of Welding Research, Jeffrey. D.Weber Editor, 1990, 346-361
5. Hiroshi Maruo and Yoshinori Hirata : Bead Formation in Pulsed TIG Welding, Journal of JWS, 3-2 (1985), 253-260 (in Japanese)
6. Jetline Engineering, inc. Product Information, Cold Wire Feeders
7. 安藤, 長谷川 : 溶接アーク現象(増補版), 産報, 1967, 169 (in Japanese)
8. J.F.Lancaster : 溶接アーク物理(第2版), 社団法人 溶接學會, 1990, 297 (in Japanese)
9. 馬場信 : 新版ティグ溶接法の基初と實祭, 日本溶接協會編, 産報出版, 1992, 39 (in Japanese)