

TIG용접에서 가스력을 이용한 비드형상제어를 위한 실드가스 노즐의 최적 형상에 관한 연구 (I) - 벤투리노즐의 설계 및 성능분석 -

함효식* · 서지석** · 최윤환*** · 이연원*** · 조상명****,†

*부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

**부경대학교 대학원 조선시스템 관리공학 협동과정

***부경대학교 기계자동차공학과

****부경대학교 신소재공학부

A Study on Optimum Shape of Shield Gas Nozzle for Bead Shape Control in TIG Welding using Gas Force (I) - Design and Performance Analysis of Venturi Nozzle -

Hyo-Sik Ham*, Ji-Seok Seo**, Yoon-Hwan Choi***, Yeon-Won Lee*** and Sang-Myung Cho****,†

*Graduate school, Dept. of Materials Processing Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

**Graduate school, Dept. of Shipbuilding Systems Management Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

***Dept. of Mechanical and Automotive Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

****Div. of Advanced Materials Sci. and Eng., Pukyong, National Univ., Busan 608-739, Korea

†Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received October 19, 2010, Revised November 6, 2010 ; Accepted May 24, 2011)

Abstract

Bead shape control with gas force process has been developed to overcome the concave back bead in pipe orbital welding. However, It is impossible to make a convex back bead using the existing gas nozzle, because it has high gas-consuming and low gas force. The purpose of this paper, to develop optimum shape of nozzle which to reduce the consumption of gas, maximizing the shield gas force with low cost and high productivity coincide the Green welding. In this paper venturi-type nozzle was designed by using the Venturi meter and compared velocity, pressure, arc shape in the flat position with existing CP-nozzle. As a result, Venturi-type nozzle's maximum velocity and pressure was improved at the same flow rate. Also heat input was increased by the arc contraction in the flat position.

Key Words : TIG welding, Orbital welding, Nozzle shape, Venturi-type nozzle, Shield gas velocity, Shield gas pressure, Gas force

1. 서 론

선박이나 산업 플랜트의 파이프 용접시 안정적인 이면비드 형성은 매우 중요하다¹⁻³⁾.

2~3mm의 박육 파이프는 안정적인 이면비드가 형성되지만, 5mm 이상의 중·후육 파이프의 경우 파이프를 시계라고 생각했을 때 P6:00 (이하 "P6:00"라고 한

다) 이후의 위보기 자세(Overhead position)에서 수직상진자세(Vertical-up position) 사이의 이면비드가 오목하게 되어 전 자세 용접이 어려운 실정이다. 파이프 용접 시 각 구간에 따라 용융 풀에 미치는 중력과 표면장력, 아크력 등의 방향이 변하기 때문이다¹⁻³⁾.

KIM등⁴⁾은 플라즈마 용접에 의한 오비탈 용접의 경사상진자세에서 이면비드 형성에 관한 연구에서 실드가스의 유량을 증가시키면 볼록한 이면비드 형성이 가능

하다고 밝혔고 HAM등⁵⁾은 TIG 오비탈 용접의 위보기 및 경사상진자세에서 용융지 제어 방법에 관한 연구에서 위보기 및 경사상진자세 모두 실드 가스압력을 증가시킬수록 이면비드가 블록해지는 경향을 보였다고 밝혔다. 하지만 기존 가스노즐의 경우 가스력을 이용한 이면 비드 형성 실험 시 실드가스 소모량이 크고 가스력이 부족하여 양호한 이면 비드 형성이 불가능하였다.

이에 SEO등⁶⁾은 아크용접에서 CDP 가스노즐에 의한 비드형상제어 및 방풍효과에 관한 연구에서 실드가스 노즐의 최적화를 위하여 기존 노즐보다 동일한 유량에서 유속 3.5배, 압력 6.25배 향상된 CDP노즐을 개발하였지만 NTWD (Nozzle to workpiece distance) 4mm이상의 조건에서는 대기혼입으로 인해 기공이 발생하였다.

CHOI등⁷⁾은 CDP노즐의 대기혼입을 시뮬레이션을 통해 작은 수축부 내경과 급격한 확산각으로 인해 노즐 내부로 대기혼입이 일어났다고 밝혔다. 그래서 동일량의 실드 가스 공급시 기존의 노즐보다 높은 유속과 압력, 안정된 실드가스 유동을 지닌 노즐의 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서의 목적은 동일량의 실드 가스 공급시 가스 노즐을 통해 토출되는 실드가스의 소모를 줄이고 가스력을 극대화하여 저가의 고생산성을 가진 친환경 용접기술(Green welding)에 부합하는 가스 노즐 형상의

연구이다.

실드가스력 극대화를 검증하기 위해 풍속계를 이용한 동일한 실드가스유량에서의 유속비교실험과 마노미터를 사용한 압력비교실험 그리고 아래보기자세에서의 아크형상비교실험을 수행하였다.

2. 벤투리미터 형상을 응용한 노즐제작

TIG용접에서 가스력을 이용한 비드형상제어를 위한 최적형상의 실드가스 노즐을 제작하기 위해 벤투리미터를 응용하여 노즐을 설계하였다.

벤투리미터는 관내에 유동하는 유체의 압력에너지의 일부를 속도에너지로 변환시켜 유량을 측정하는 기구로써 유로가 점진적으로 축소와 확대되므로 유동박리와 선회류가 생기지 않고 내측벽면에서의 마찰손실만이 존재한다⁸⁾.

이런 특성을 응용하여 본 연구에서는 돌연축소관로에서의 부차적 손실계수와 점차 확대관의 확산각에 따른 손실계수를 고려하여 수축부 직경 $\Phi 7$ 과 토출부 직경 $\Phi 9.4$ 그리고 확산각 5° 를 가지는 부차적 손실을 최소화하는 노즐 형상을 설계하였다. 하지만 확산각 5° 에서는 확대부가 길어져 마찰손실을 고려한 확대부 길이의 최적화가 필요하였고 이에 Table 1과 같이 동일한 수축부 직경($\Phi 7$)과 토출부 직경($\Phi 9.4$)에서 각기 확산각

Table 1 Fluid flow for various clearances between the tip and welding plate

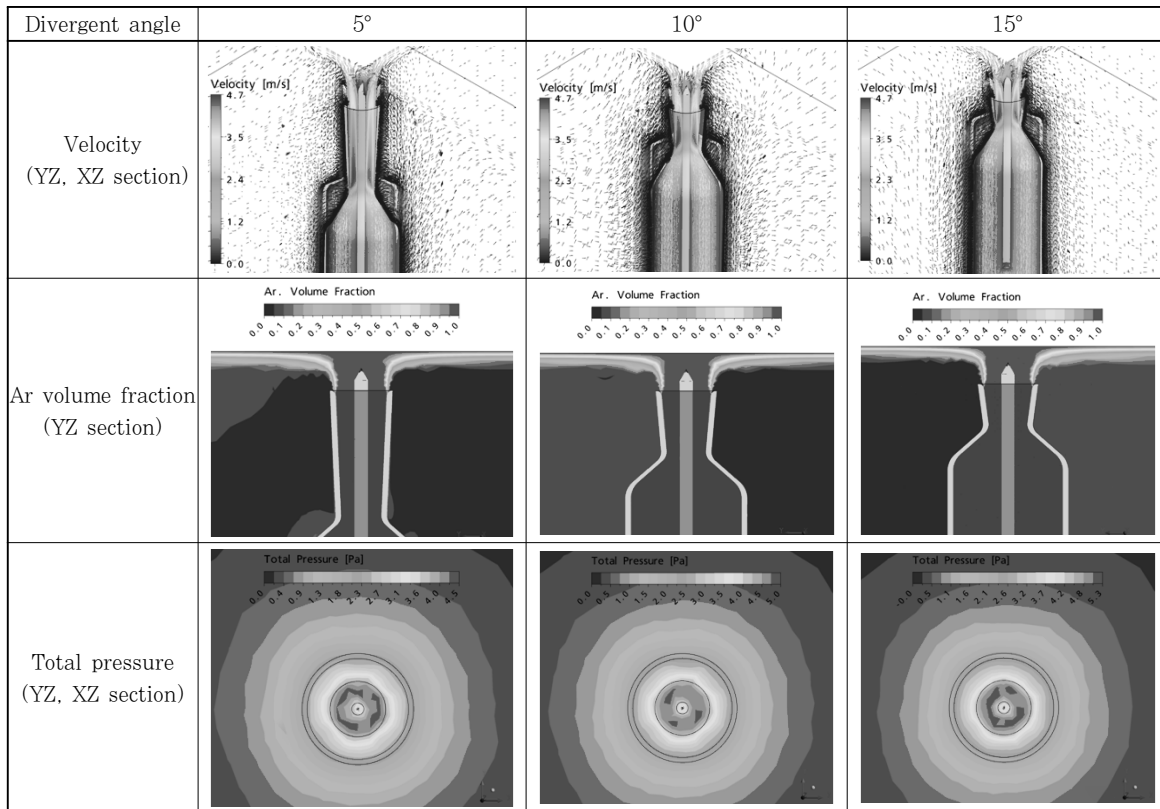


Table 2 Nozzle design for optimum test of contraction inner diameter

Nozzle	Venturi-type			기존 CP-type
Nozzle shape				
Contraction I.D.	Φ6	Φ7	Φ8	Φ9.4
Outlet I.D.	Φ9.4	Φ9.4	Φ9.4	Φ9.4
Divergent angle	21.6°	15.0°	6.55°	0°

5°, 10°, 15° 를 가지는 노즐을 설계하여 형상 최적화를 위한 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 시뮬레이션 조건은 실드가스는 Ar 25 l/min, 위보기 자세에서 NTWD 6mm, 아크길이 3mm, 팁 돌출길이 3mm에서 수행하였다. 그 결과 확대부 길이가 짧아질수록 토출부에서의 Ar 출구속도는 증가하였고, 세 노즐 모두 내부로의 대기혼입은 없었다. 그리고 모재 표면에서의 최대압력은 확산각 5°, 10°, 15°에서 각각 4.5Pa, 5.0Pa, 5.3Pa로 나타났다.

돌연축소부의 최적형상실험을 위해 Table 2와 같이 Φ6, Φ7, Φ8, Φ9.4의 돌연축소부의 직경을 가지는 노즐을 설계하였다. 이때 세 노즐의 토출부 직경과 확대부 길이를 동일하게 하였고 그에 따른 확산각은 Table 2와 같다.

3. 실험방법

3.1 실드가스 유속비교실험

풍속계를 사용하여 각 노즐의 유속비교와 마노미터를 사용한 압력비교를 통해 최적 수축직경을 검토하였고 아래보기 자세에서의 아크형상을 분석하였다. Fig. 1 a)은 풍속 측정기를 사용하여 전극 팁(0mm)을 중심으로 좌측(-8mm), 우측(+8mm)씩 1mm 간격으로 노즐에서 6mm 떨어진 표면에서 각 노즐의 실드가스 유



a) Gas velocity test b) Gas pressure test

Fig. 1 Experimental apparatus for gas velocity test and gas pressure test

Table 3 Experimental conditions for velocity test

Fixed	Nozzle-Sensor distance	6mm
Varied	Shield gas Flow rate	Ar, 5 / 15 / 25 l/min
	Shield gas Nozzle	CP-type, Venturi-type (Φ6, Φ7, Φ8)

속을 측정하였고 Table 3은 실험조건을 나타낸다.

3.2 실드가스 압력비교실험

Fig. 1 b)는 OH⁹⁾등의 아크압력분포 측정과 동일하게 마노미터를 사용하여 전극 팁을 중심으로 좌측 8mm, 우측 8mm씩 1mm 간격으로 NTWD 6mm인 표면에서 각 노즐의 표면에서의 실드가스 압력을 측정하였고 Table 4는 실험조건을 나타낸다.

3.3 아래보기자세에서 아크형상비교실험

아래보기 자세에서 아크형상을 비교하기 위해 Table 5의 조건으로 동판 위에서 유량을 달리 하여 각 노즐 별로 3회씩 아크모니터링 장비를 사용하여 아크전류, 아크전압을 측정하여 저항을 계산하였고, 아크형상을 촬영하여 비교해보았다.

Table 4 Experimental conditions for pressure test

Fixed	Hole diameter	1.5ø
	NTWD	6mm
Varied	Shield gas Flow rate	Ar, 5 / 15 / 25 l/min
	Shield gas Nozzle	CP-type / Venturi-type (Φ6, Φ7, Φ8)

Table 5 Experimental conditions for Effect of gas flow rate on arc plasma

Fixed	Power	Powwel DC TIG 500EP
	Electrode	DCEN Φ2.4 2% Th-W 30°
	Arc length	5mm
	NTWD	8mm
	Weld position	Flat
	Current	70A, CW, Spot mode(6sec)
Varied	Shield gas nozzle	CP-type, Venturi-type Φ7
	Shield gas Flow rate	5, 15, 25 l/min (1.5 kgf/cm ²)

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실드가스 유속 비교 실험결과

Fig. 2는 각 노즐에서 실드가스가 분사될 때 모재표면에서 위치에 따른 유속의 분포를 나타낸 그래프이다. 전체적으로 중심부에서는 텅스텐전극의 존재함으로 전극 주변부에서 유속이 최대값으로 나타났다. 유량이 5 l/min일 때 벤투리 형 $\phi 6$ 에서 표면에서의 최고유속이 나타났고 15, 25 l/min에서는 벤투리 형 $\phi 7$ 에서 최고 유속이 나타났다.

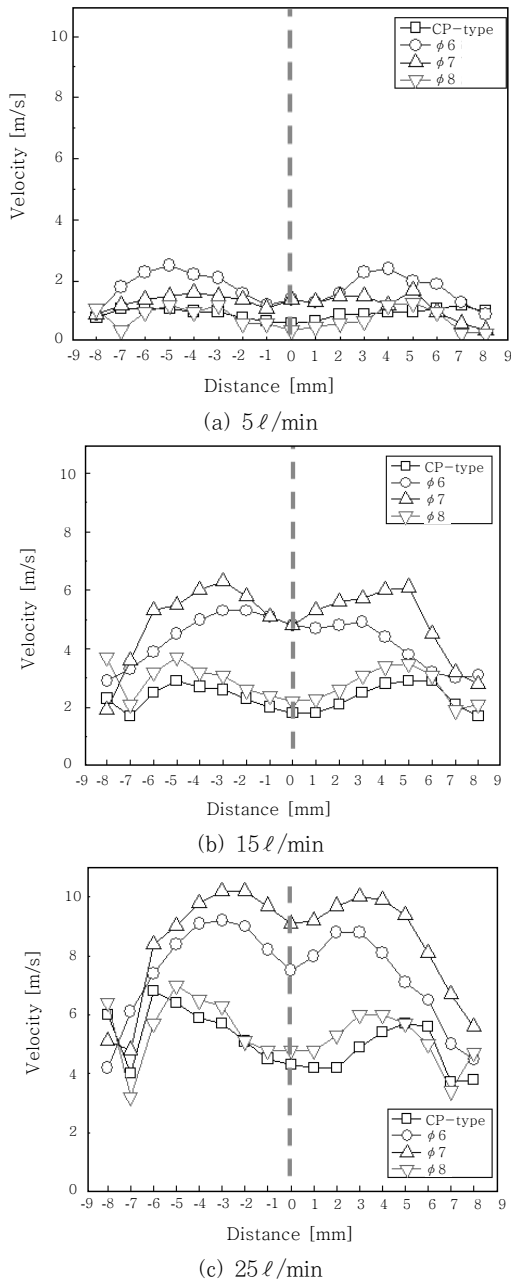


Fig. 2 Comparison results of the gas velocity with various type of nozzle

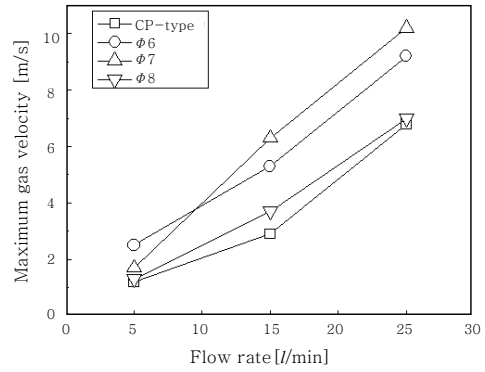


Fig. 3 Maximum gas velocity according to gas flow rate and type of nozzle

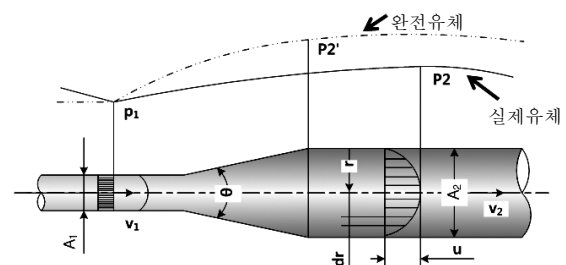


Fig. 4 Head loss in diffuser

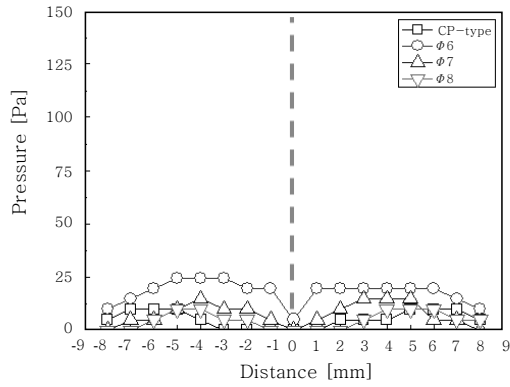
Fig. 3은 각 노즐의 유량에 따른 표면에서의 최대 유속 변화를 나타낸 그래프이고 유량이 증가할수록 최고 유속이 $\phi 6$ 에서 $\phi 7$ 로의 역전현상이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

이런 역전현상은 A.H. Gibson⁸⁾은 1910년에 Fig. 4와 같이 점차 확대 관로의 손실 수두에서 실제유체의 경우 관마찰과 와류손실 때문에 손실이 발생하게 되는데 이때 손실은 식 (1)과 같이 충돌과 마찰에 의한 부분적 손실계수(k)에 비례하고 수축부 내경 (A_1)에 반비례 그리고 속도의 제곱에 비례한다고 주장하였다. 이 실험에서 벤투리 형 $\phi 6$ 의 경우 확산각이 제일 크고, 수축부 내경이 가장 작은 형상이므로 손실이 가장 큰 구조라고 할 수 있고 손실은 속도의 제곱에 비례하는데 5 l/min에서는 유속이 느려 손실이 작았지만, 유량이 점점 증가할수록 손실이 더 커져서 결국엔 $\phi 7$ 보다 유속이 작아졌다고 판단된다.

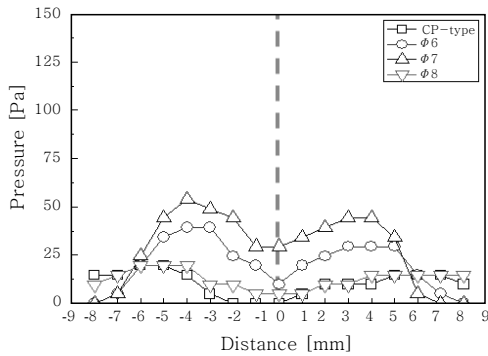
4.2 실드가스 압력 비교 실험결과

Fig. 5는 각 노즐에서 가스가 분사될 때 위치에 따른 표면에서의 압력의 분포를 나타낸 그래프이다.

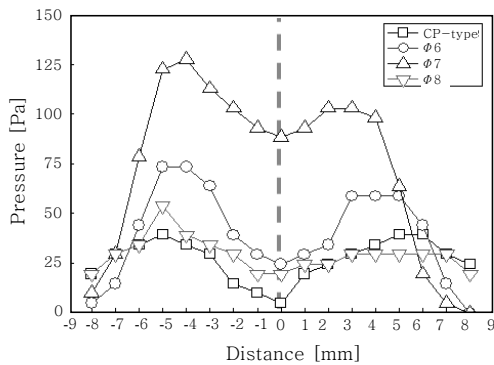
압력 또한 유속측정과 동일한 경향이 나타났는데, 유량이 5 l/min일 때 벤투리 형 $\phi 6$ 에서 표면에서의 최



(a) 5 l/min



(b) 15 l/min



(c) 25 l/min

Fig. 5 Comparison results of the gas pressure with various type of nozzle

고압력이 나타났고 15, 25 l/min에서는 벤투리 형 φ7에서 표면에서의 최고압력이 나타났다.

$$h_L = k \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (1)$$

$$k = 0.011 \cdot \theta^{1.22} \quad (2)$$

h_L = Head loss

k = Loss coefficient

g = Gravity acceleration

Fig. 6는 각 노즐의 유량에 따른 최대압력 변화를 나

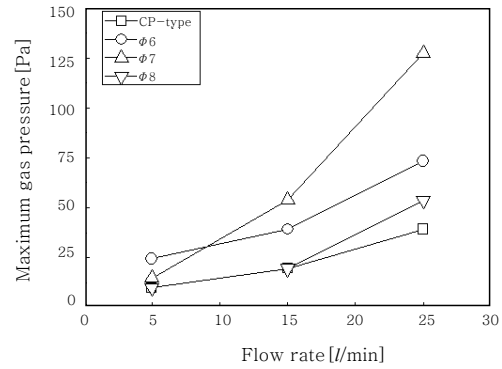


Fig. 6 Maximum gas pressure according to gas flow rate and type of nozzle

타낸 그래프이고 유속결과와 마찬가지로 유량이 증가할 수록 최고압력이 φ6에서 φ7로의 역전현상이 일어나는 것을 확인할 수 있다.

이 또한 벤투리 형 φ6의 경우 확산각이 제일 크고, 수축부 내경이 가장 작은 형상이므로 손실이 가장 큰 구조라고 할 수 있고 손실은 속도의 제곱에 비례하는데 5 l/min에서는 유속이 느려 손실이 작았지만, 유량이 점점 증가할수록 손실이 더 커져서 결국엔 φ7보다 압력이 작아졌다고 판단된다.

4.3 아래보기자세에서 아크형상비교실험

Fig 7은 기존 CP 형과 벤투리 형 φ7의 유량에 따른 평균전류, 평균전압, 평균저항을 나타낸 그래프이다.

이때 평균전류는 큰 유의차가 없었으며 평균전압과 평균저항은 CP 형은 실드가스 유량 증가함에 따라 평균전압, 평균저항의 변동이 없었고 벤투리 형 φ7에서는 실드가스 유량이 증가 할수록 평균전압이 증가하였다. 또한 동일유량에서 두 노즐을 비교 했을 때 벤투리 형 φ7의 평균전압, 평균저항이 높았고 이를 위해 아크 형상을 촬영해 보았다.

Table. 6은 각 조건에 따른 동일한 시간대 (5.4sec)의 아크형상을 촬영한 것으로 Fig. 8의 25 l/min에서 벤투리 형 φ7의 아크 직경은 4.21 mm로 CP 형의 아크 직경 5.45 mm보다 수축한 것을 확인할 수 있다.

이는 벤투리 형 φ7에서 CP 형보다 빠른 유속(25 l/min 경우 약 1.5배)의 실드가스에 의해 열적핀치 효과가 일어나 아크가 수축하여 파형 계속시 전압과 저항이 CP 형보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 그리고 동일한 시간대의 아크 형상이지만 벤투리 형 전극의 밝기가 CP 형 보다 더 높게 보이는데 이는 전압 상승으로 인해 높아진 발열량 때문인 것으로 판단된다¹⁰⁾.

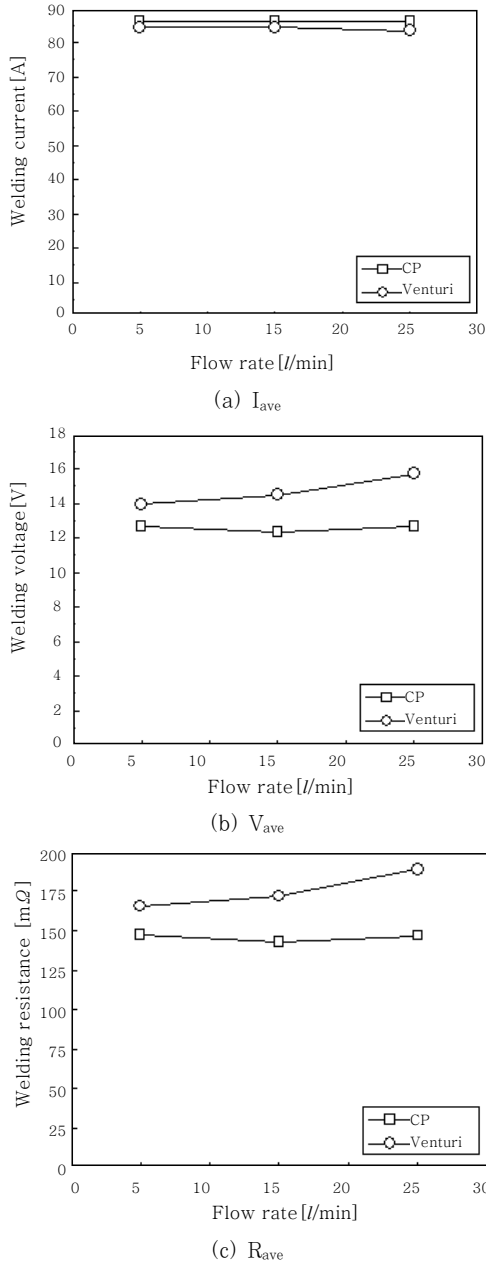


Fig. 7 Relationship between shield gas flow rate and average welding parameters

5. 결 론

가스력을 사용한 비드형상제어 TIG용접에서 실드가스 노즐의 최적 형상에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수축부 내경의 최적화를 위한 실드가스 유속 비교 실험과 압력비교 실험에서 벤투리 형 $\Phi 6$ 의 경우 5 l/min에서 표면에서의 최고 유속과 최고 압력이 나타났지만 유량이 증가할수록 $\Phi 7$ 에서 표면에서의 최고 유속과 최고 압력이 나타났다. 이는 $\Phi 6$ 의 경우 다른 노즐에 비

Table 6 Effect of gas flow rate on arc plasma (5.4sec)

Flow rate	CP-type	Venturi-type
5 l/min	$Q_{ave}=1088.3 \text{ J/sec}$	$Q_{ave}=1176.1 \text{ J/sec}$
15 l/min	$Q_{ave}=1176.1 \text{ J/sec}$	$Q_{ave}=1223.3 \text{ J/sec}$
25 l/min	$Q_{ave}=1092.4 \text{ J/sec}$	$Q_{ave}=1309.4 \text{ J/sec}$

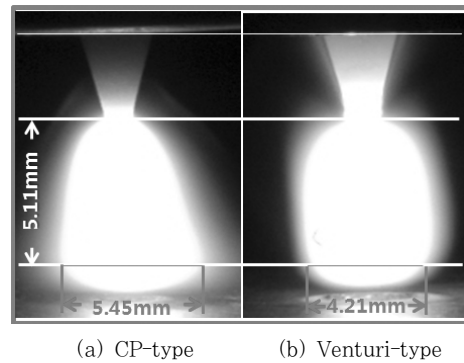


Fig. 8 Effect of gas flow rate on arc plasma(25 l/min, 5.4sec)

해 확산각이 제일 크고, 수축부 내경이 가장 작은 구조라서 손실이 가장 크고 또한 손실은 속도의 제곱에 비례하므로 5 l/min에서는 가장 높은 유속이었지만 유량이 증가할수록 손실이 더 증가하여 $\Phi 7$ 보다 유속이 낮아진 것으로 보인다. 실제 현장에 자주 사용하는 조건인 15, 25 l/min에서 가장 뛰어난 효과가 나타난 벤투리 형 $\Phi 7$ 이 가장 최적의 노즐임을 확인하였다.

2) 아크 형상 비교실험에서 평균전류는 큰 유의차가 없었으며 평균전압과 평균저항은 CP 형은 실드가스 유량 증가함에 따라 평균전압과 평균저항의 변동이 거의 없었지만 벤투리 형 $\Phi 7$ 에서는 실드가스 유량이 증가할수록 평균전압이 증가하였고 이는 벤투리 형 $\Phi 7$ 에서 아크중심부의 빠른 유속 (CP 형의 1.5배)에 의해 실드가스가 아크를 더욱 냉각시켜 아크를 수축하게 만들어

파형 계측시 전압과 저항이 기존 CP 형보다 증가하였고 입열 또한 CP 형보다 증가하였다.

이는 TIG 오비탈용접에서 파이프의 루트페이스의 두께를 기존보다 더 두껍게 가져갈 수 있어 이면비드 뿐만 아니라 생산성의 향상 또한 기대되어진다.

참 고 문 헌

1. Ki-Joung Kim, Jin-Woo Kim and Youn-Bae Kang, Sang-Myung Cho : Heat transfer simulation and temperature measurement for heat input control in orbital welding, Proceedings of 2003 Spring Annual Meeting of KWS, **40** (2003), 155-158 (in Korean)
2. Jin-Woo Kim, Sang-Myung Cho : The effect of the arc pressure variation on the penetration by the filler wire feed rate in pulsed TIG welding, Journal of KWS, **22-1** (2004), 169-171 (in Korean)
3. Ki-joung Kim, Jin-Woo Kim, Youn-Bae Kang, Sang-Myung Cho : Heat input control in orbital GTA welding to stainless steel and mild steel pipes, Journal of KSME, (2002. 11), 2881-2885 (in Korean)
4. Hyo-Won Kim, Sang-Myung Cho : A Study on Back Bead Formation in Inclined-up Position of Plasma Arc Orbital Welding, Journal of KWJS, **27-1** (2009), 71-78 (in Korean)
5. Hyo-Sik Ham : Control of Molten Pool by Physical Force of Bead Former in TIG Wedling of Overhead and Inclined-up Position, Journal of KWJS, 28-6 (2010), 629-635 (in Korean)
6. Ji-Seok Seo, Hyo-Sik Ham, Sung-Bin Im, Jong-Moon Ha, Chang-Hee Son and Sang-Myung Cho : Control of Bead Geometry and Effect of Protection against Wind according to the CDP Gas Nozzle in Arc Welding, Abstracts of the Autumn Annual Meeting of KWJS, **52** (2009), 25 (in Korean)
7. Yoon-Hwan Choi, Yeon-Won Lee, Ji-Seok Seo, Sang-Myung Cho and Deog-Hee Doh : Visualization of fluid flows in the TIG welding region for different shapes of the shield gas nozzle, Journal of Visualization, Online FirstTM, 30 April 2011
8. A.H. Gibson, "On the flow of water through pipes and passages" Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, **83** (1910), 366-378.
9. Dong-Soo Oh, Yeong-Sik and Sang-Myung Cho : The characteristics of Arc Pressure Distribution by Sheld Gas Mixing Ratio in TIG Welding, KWS, **23-1** (2005), 50-56 (in Korean)
10. John J. Lowke, Richard Morrow, Jawad Haidar and Anghony B. Murphy : Prediction of Gas Tungsten Arc Welding Properties in Mixtures of Argon and Hydrogen, IEEE Transactions on plasma science, **25-6** (1997), 925-930