

# TIG용접에서 가스력을 이용한 비드형상제어를 위한 실드가스 노즐의 최적 형상에 관한 연구 (Ⅱ) - 벤투리 노즐의 위보기 자세 용융금속제어 효과 -

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 (Ⅱ) - Effect of Molten Metal Control by Venturi Nozzle in Overhead Position -

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 compared with existing CP-type nozzle by TIG pulse welding in overhead position. As a result, CP-type occurs the wormholes in the overhead position, but the Venturi-type without the pore and formed a good bead appearance.

Key Words : TIG welding, Orbital welding, Nozzle shape, Venturi-type nozzle, Shield gas velocity, Shield gas pressure Overhead position, Moltenpool vibration, Wormhole formation, Gas force

### 1. 서 론

파이프 오비탈 자동용접에서는 루트페이스 용접시 위보기 및 경사상진자세에서 중력에 의해 이면비드 함몰과 표면비드 처짐이 발생한다.

그래서 일반적인 TIG 오비탈 용접공정에서는 Fig. 1과 같이 U-그루브의 루트 페이스는 최대 1.6mm로 한

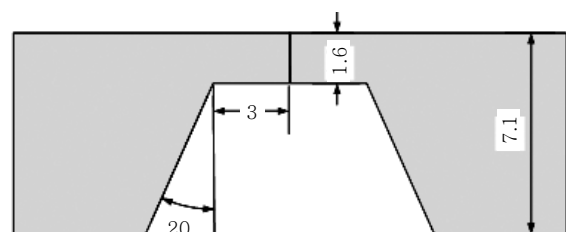


Fig. 1 Design of orbital welding U-groove

정하여 용융풀의 양을 줄여 비드형상제어가 용이하게 하였다.

하지만 Fit up 비용 감소와 생산성 향상을 위해서는 허용 루트 페이스를 늘릴 수 있는 즉 제어 가능한 용융 풀 양을 늘릴 수 있는 공법의 개발이 필요하다.

KIM등<sup>1)</sup>은 플라즈마 용접에 의한 오비탈 용접의 경사상진자세에서 이면비드 형성에 관한 연구에서 실드가스의 유량을 증가시키면 볼록한 이면비드 형성이 가능하다고 밝혔고 HAM등<sup>2)</sup>은 TIG 오비탈 용접의 위보기 및 경사상진자세에서 용융지 제어 방법에 관한 연구에서 위보기 및 경사상진자세 모두 실드 가스압력을 증가시킬수록 이면비드가 볼록해지는 경향을 보였다고 밝혔다.

하지만 기존의 가스노즐의 경우 가스력을 이용한 볼록한 이면 비드 형성 실험 시 실드가스 소모량이 크고 실드가스력이 부족하여 양호한 이면 비드 형성이 불가능하였다.

이에 SEO등<sup>3)</sup>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) 4mm 이상의 조건에서는 대기혼입으로 인해 기공이 발생하였다.

CHOI등<sup>4)</sup>은 CDP노즐의 대기혼입을 시뮬레이션을 통해 작은 수축부 내경과 급격한 확산각으로 인해 노즐 내부로 대기혼입이 일어났다고 밝혔다.

이를 극복하기 위해 선행연구에서 압력손실이 가장 작은 구조인 벤투리미터를 응용하고 돌연축소관로에서의 부차적 손실계수와 점차 확대관의 확산각에 따른 손실계수를 고려하여 벤투리 형 노즐을 설계하였고 시뮬레이션 결과 동일량의 실드 가스 공급시 기존의 실드가스 노즐보다 높은 유속, 높은 압력, 안정된 실드가스 유동을 가진다고 밝혔다.

또한 실제 노즐을 제작하여 유속과 압력비교 실험 그리고 아래보기 자세에서의 아크형상을 관찰한 결과 동일한 유량(25L/min) 유속과 압력이 기존 CP 형보다 각각 약 2배, 약3배정도 향상되었고 아크주변으로의 빠른 실드가스 유속에 의해 아크가 수축되어 입열이 증가됨을 알 수 있었다.

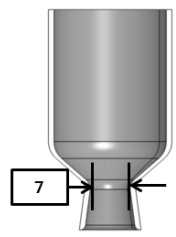
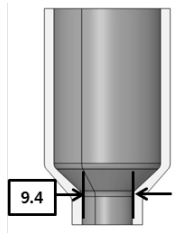
본 연구에서는 개발된 벤투리 형 노즐을 기존 CP 형 노즐과 비교 평가하기 위해 위보기 자세에서 비드형상 비교실험과 기공형성원인 분석실험을 수행하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 위보기 자세에서 비드형상 비교실험

위보기 자세에서 벤투리 형과 CP 형의 비드형상 비

**Table 1** Nozzle design for optimum test of contraction inner diameter

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

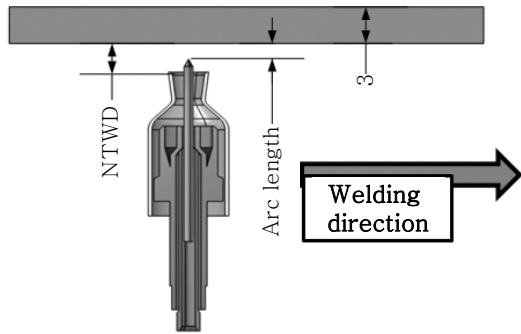
**Table 2** Experimental conditions for comparison of bead appearance test

Fixed	Electrode	DCEN Φ2.4 2% Th-W 45°
	Arc length	2mm
	Weld speed	13cpm
	Material	SS400, 3t
	Weld position	Overhead
	Current	125A(180-70), Pulse 3Hz
Varied	Shield gas Flow rate	Ar, 25 ℓ/min (1.5 kgf/cm <sup>2</sup> )
	Shield gas nozzle	CP-type, Venturi-type
	NTWD	3, 4, 5 mm

교 및 파형 계측 및 동영상 촬영을 통한 기공형성원인을 분석하였다. Table 1은 벤투리 형 노즐과 기존 CP 노즐의 설계도를 나타내고 두 노즐을 사용하여 위보기 자세에서 6축 다관절 로봇을 사용하여 Table 2의 조건으로 실험 하였다. 용접전류는 평균전류 125A로 Base current(이하 "I<sub>B</sub>"라고 한다.) 70A, Peak current(이하 "I<sub>P</sub>"라고 한다) 180A, 3Hz의 펄스를 사용하였다. Fig. 2는 실험 모식도를 나타낸다. 여기서 토출부에서 표면까지의 거리가 용융풀에 미치는 영향을 확인하기 위해 NTWD를 3, 4, 5mm로 변화하였고 비드형상을 관찰하기 위해 시편의 중심과 중심에서 좌우 20mm 간격으로 절단하여 횡단면을 관찰하였고 기공형태를 관찰하기 위해 비드 종단면을 관찰하였다.

### 2.2 기공형성원인 분석실험

위보기 자세에서 비드형상 비교실험의 결과를 바탕으



**Fig. 2** Schematic of comparison of bead appearance test

로 Table 2와 동일 한 용접조건인 NTWD 4mm에서 각 노즐별로 3회씩 실험을 실시하였고, 아크모니터링 장비를 사용하여 전류, 전압파형을 계측하였다. 기공형성원인을 분석하기 위해 디지털 카메라를 사용하여 아크와 용융풀 유동을 동영상 촬영하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 위보기 자세에서 비드형상 비교실험

Table 3은 CP 형과 벤투리 형의 NTWD에 따른 비드형상을 나타내었다. CP 형의 NTWD 3mm에서는 가스력이 약하고 가스력이 작용하는 면적이 가장 좁기 때문에 표면쪽으로 용락이 발생하였고, NTWD 4, 5mm에서는 가스력이 약해서 표면비드가 아래쪽으로 처지고 내부에 기공이 발생하였다. 벤투리 형은 NTWD 3mm에서 강한 가스력에 의해 볼록한 이면비드가 형성되었지만 내부에 기공과 표면비드의 중심부 처짐이 발생하였고, NTWD 4, 5mm에서 기공이 없고 평평한 표면비드가 형성되었다.

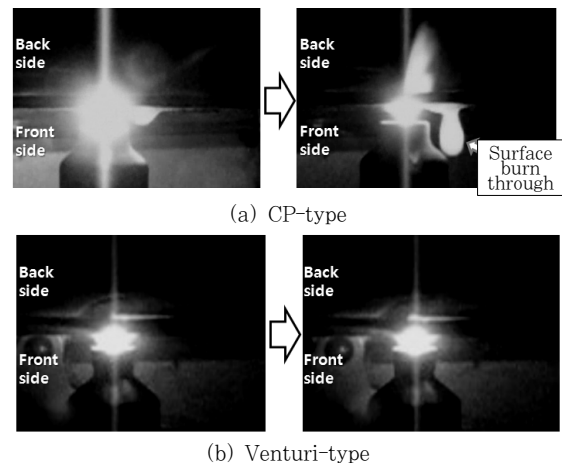
Table 4에서는 기공형상을 관찰하기 위해 비드의 종단면을 나타내었다. 여기서 CP형 NTWD 4, 5mm의 경우 일정한 간격을 지닌 Wormhole이 발견되었고, 벤

**Table 3** Result of comparison of bead appearance test

NTWD		CP-type	Venturi-type
3mm	F		
	B		
4mm	F		
	B		
5mm	F		
	B		

**Table 4** Longitudinal section of bead appearance

NTWD	CP-type	Venturi-type
3mm	Surface burn through	
4mm		
5mm		



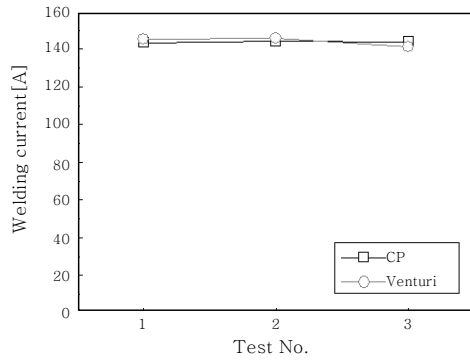
**Fig. 3** Photo for comparison of bead appearance test in overhead position (NTWD 3mm)

투리 형의 NTWD 3mm의 경우 CHOI<sup>4)</sup>의 연구결과와 마찬가지로 실드가스의 빠른 유속에 의한 가스혼입으로 인해 블로우홀이 생겼다.

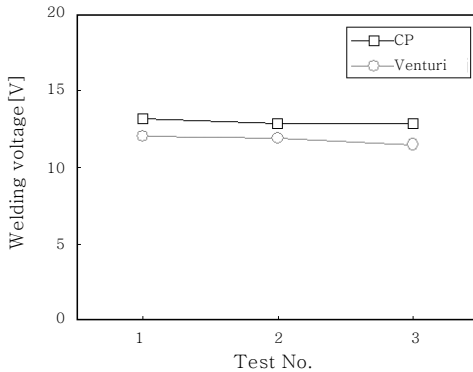
Fig. 3은 CP 형과 벤투리 형의 NTWD 3mm 용접 동영상을 캡처한 것으로 CP형의 경우 가스력이 부족하여 중력방향으로 처지는 표면의 용융풀을 받쳐주지 못해 용락이 발생하였고 벤투리 형은 CP 형과 동일한 실드가스 유량에서 중력방향으로 처지는 용융풀을 실드가스로 충분히 받쳐줄 수 있음을 확인 할 수 있었다.

#### 3.2 기공형성원인 분석실험

CP 형 NTWD 4, 5mm에서 내부에 길게 연결된 워홀의 발생 원인을 분석하기 위해 NTWD 4mm에서 두 노즐의 동영상촬영과 파형계측을 실시하였다. 각 조건별로 3회씩 실험하였고 Fig. 4는 이때 각 실험에서 계측된 CP 형과 벤투리 형의 평균전류와 평균전압을 나타낸다. 평균전류의 경우 3회의 실험에서 모두 CP 형과 벤투리 형의 유의차가 없었고, 평균전압은 3회의 실험 모두 벤투리 형이 CP 형 보다 평균전압이 낮게 나타났다.



(a) Welding current



(b) Welding voltage

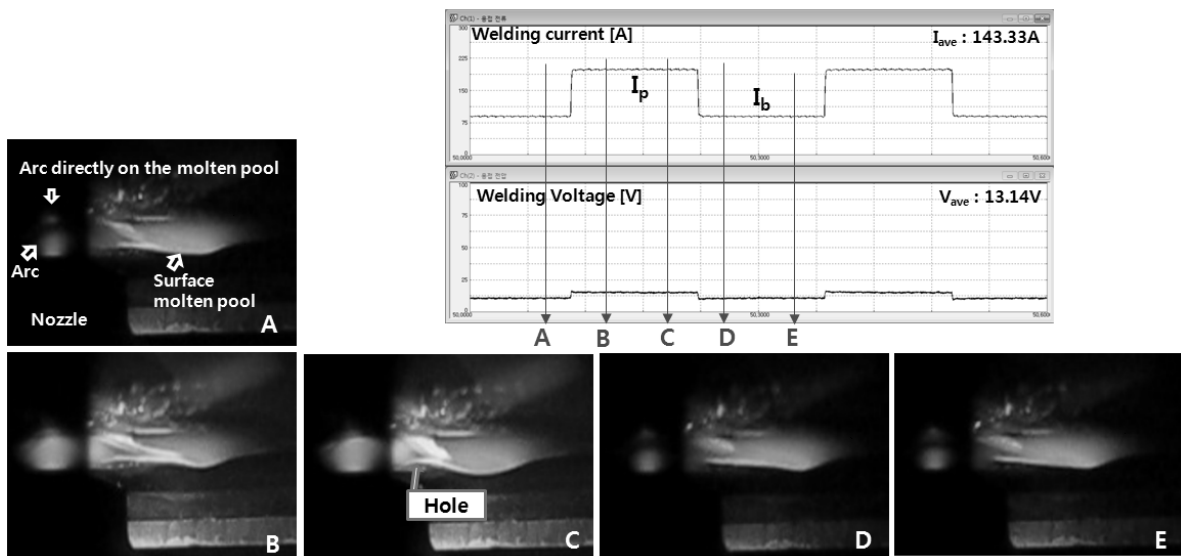
**Fig. 4** Comparison results of average welding current and average welding voltage with various type of nozzle

앞서 아래보기 실험에서 벤투리 형은 아크중심부로의 빠른 실드가스 유속에 의한 아크수축으로 인해 CP 형보다 전압이 높게 측정되어 위보기 자세 역시 벤투리 형이 CP 형보다 높을 것이라 예측하였지만 이와 반대

로 실제 위보기 실험에서는 전압이 더 낮게 나타나서 동영상 촬영하여 용융풀 유동과 아크를 관찰해 보았다.

Fig. 5는 CP 형의 파형과 동영상을 캡처한 것이다. A는  $I_p$ 일 때 아크와 용융풀을 나타내었다. B는  $I_b$ 일 때 Fig. 3 (a)와 같이 가스력으로 용융풀을 받쳐주지 못해 아크 뒤의 표면 용융풀이 아래로 처졌다. C는 표면 용융풀과 아크 직상의 용융풀 사이에 홀이 발생하여 실드가스가 혼입이 발생하였다. D와 E는  $I_b$ 일 때 이 홀이 막혀지는 현상이 반복되면서 내부에 일정한 간격의 워홀이 발생되었다. P. F. Mendez<sup>5)</sup>등의 연구에서 아크 직하 얇은 용융지가 튀쪽의 용융지로 이동중에 냉각으로 인해 발생하는 험핑비드 또는 분리비드 형성 메카니즘과 매우 비슷하였다. 또한 측정된 평균 전압이 13.14V로서 벤투리 형의 평균 전압 11.48V보다 높은데 이는 실드가스력의 부족으로 표면의 용융풀은 중력 방향으로 처지게 되고 아크 직상의 용융풀을 끌어당겨 벤투리 형보다 아크 직상의 용융풀의 두께가 얇아지고 이로 인해 아크길이가 길어져 전압의 상승이 일어난 것으로 판단된다.

Fig. 6은 CP 형의 용접 종료부에서 표면 용융풀에서 가스가 분출되는 영상을 캡처한 것인데 Fig. 5 E와 같은 상황의A에서 아크가 꺼진 후 B~D와 같이 내부에 가스가 갇힌 채로 홀이 닫히게 되고 시간이 지남에 따라 가스가 열에 의해 팽창하면서 그 압력에 의해 용융풀이 부풀어 오르다가 E와 같이 용접 종료부 표면에 기공이 발생하였다. 이는 CP 형의 내부에 기공 발생 원인이 실드가스임을 다시 한번 증명해준다.



**Fig. 5** Moltenpool vibration and related to current and voltage waveforms using CP-type nozzle

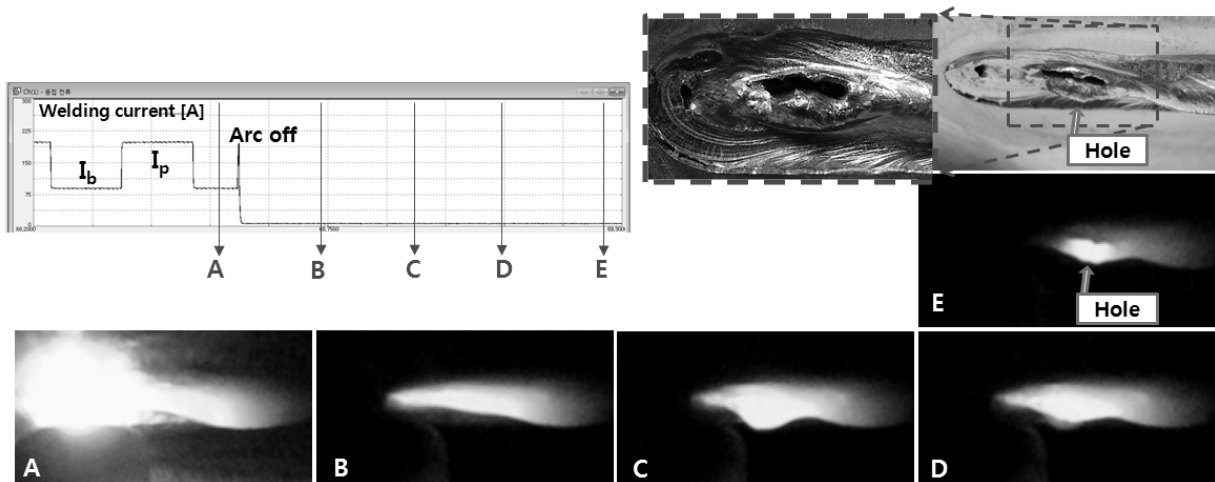


Fig. 6 Formation of surface hole by trapped gas and related to waveforms using CP-type nozzle

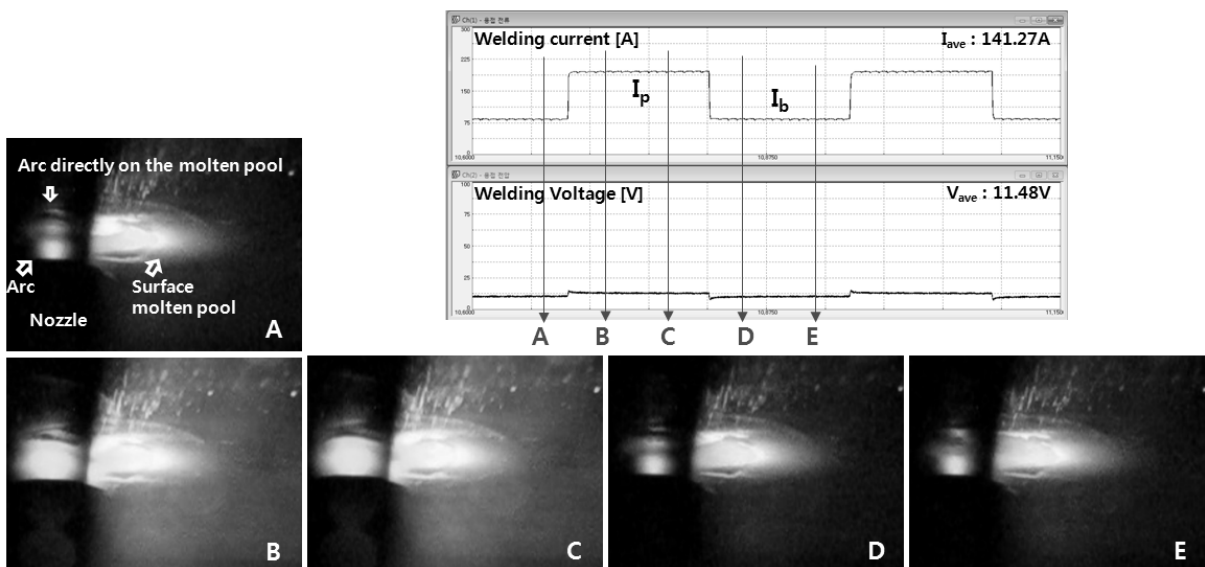


Fig. 7 Moltenpool vibration and related to current and voltage waveforms using Venturi-type nozzle

Fig. 7은 벤투리 형의 파형과 동영상상을 캡처한 것이다.  $I_p$  (B, C)와  $I_b$  (A, D, E)일 때 아크 직상의 용융풀이 Fig. 5의 CP 형과는 다르게 아크의 바로 위에서 진동하였다. 용융풀이 아크가 지나가더라도 강한 가스력에 의해 용융풀이 중력방향으로 처지지 않았기 때문이다.

계측된 평균전압이 11.48V로 CP 형의 13.14V 보다 낮는데 이는 충분한 실드가스력이 표면 용융풀을 중력방향으로 처지지 않게 받쳐주어 CP 형 때와는 다르게 아크직상의 용융풀을 끌어당기지 않아 아크 직상의 용융풀 두께가 두꺼워지고 이에 아크 길이가 짧아져 CP 형보다 전압이 낮아진 것으로 판단된다. 따라서 P. F. Mendez<sup>5)</sup> 등의 연구와 같이 아크 직하에 얇은

용융지가 아닌 두꺼운 용융풀이 존재하기 때문에 아크 뒤쪽 용융풀 이동시 가스혼입이 발생하지 않았다.

또한 벤투리 형의 표면 용융풀은 CP 형처럼 노즐이 지나간 후 처지면서 느리게 응고되지 않고 상대적으로 빠르게 응고되는데 이는 빠른 실드가스 유속에 의해 냉각속도가 증가한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

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

- 1) 비드 형상 비교 실험에서 CP 형의 경우 가스력이

충분치 않아 중력방향으로 처지는 표면 용융풀을 받쳐 주지 못하여 NTWD 3mm에서는 표면용락이 NTWD 4, 5mm에서는 내부에 텀홀이 발생하였다.

하지만 벤투리 형에서는 CP 형과 동일한 실드가스 유량에서 비록 NTWD 3mm에서는 빠른 실드가스 유속에 의해 블로우홀이 발견되었지만 NTWD 3mm의 조건은 텀 돌출길이 1mm에 아크길이가 2mm로 현장에서 일반적으로 사용하지 않는 조건이고, 일반적으로 사용될 수 있는 NTWD 4, 5mm에서 매우 양호한 비드가 형성되었다.

2) 기공 형성원인을 분석한 결과 CP 형의 경우 실드 가스력의 부족으로 인해 표면의 용융풀이 아래로 처지게 되면서 아크 직상의 용융풀을 끌어당기게 되고 아크 길이가 자연스럽게 길어지게 된다. 또한  $I_p$ 일 때 표면 용융풀과 아크직상의 용융풀 사이에 홀이 발생하여 실드가스가 혼입되고  $I_p$ 에서 홀이 막혀져 내부에 일정한 간격의 텀홀이 발생하는 현상을 확인 할 수 있었다.

반면에 벤투리 형은 충분한 실드가스력이 표면 용융 풀을 중력방향으로 처지지 않게 받쳐주고 노즐에서 토출되는 빠른 실드가스 유속에 의해 표면 용융풀이 빠르게 응고하여 매우 양호한 비드 외관을 형성 하였다.

이는 벤투리 형 노즐이 실드가스 유량 25 l/min에서도 위보기 자세에서 중력방향으로 처지는 용융풀을 실드가스력으로 충분히 받쳐줄 수 있는 최적의 실드가스 노즐임을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 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)
2. Hyo-Sik Ham : Control of Molten Pool by Physical Force of Bead Former in TIG Welding of Overhead and Inclined-up Position, Journal of KWJS, 28-6 (2010), 629-635 (in Korean)
3. 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)
4. 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
5. P. F. Mendez and T. W. Eagar : Penetration and Defect Formation in high-Current Arc Welding, AWS, Welding Journal, October 2003, 296s-306s