

아연도금강관의 가스메탈아크용접에서 용접인자가 기공형성에 미치는 영향

임 영 민* · 장 복 수** · 고 진 현* †

*한국기술교육대학교 신소재공학과

**정우산기주식회사

Effects of Welding Parameters on Porosity Formation in Weld Beads of Galvanized Steel Pipes produced with Gas Metal Arc Welding

Young-Min Lim*, Bok-Su Jang** and Jin-Hyun Koh* †

*School of Energy · Materials · Chemical, Korea University of Technology and Education, Cheonan 330-708, Korea

**Jeong-woo Industrial Machine Co.,Ltd, Cheonan 330-882, Korera

†Corresponding author : jhkoh@kut.ac.kr

(Received October 11, 2012 ; Revised October 25, 2012, ; Accepted October 31, 2012)

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of welding parameters such as shielding gas compositions welding voltage and welding current on the pore formation in the weld beads of galvanized steel pipes produced with gas metal arc welding. The porosity was evaluated and rated by metallography and radiographic test in terms of weight percentage, number and distribution of pores in weld beads. The porosity increased with increasing welding voltage and current, in which Ar gas produced the most porosity while Ar+5%O₂ generated the least porosity. It was found that the porosity could be reduced by selection of the proper gas mixture composition such as Ar+5%O₂ and Ar+10%CO₂ and by using current (130~150A) and voltage(16~20V).

Key Words : Galvanized steel pipes, Porosity, Welding parameters, Shielding gas, Voltage, Current, GMAW

1. 서 론

용융아연도금강은 강재의 표면에 아연(Zn) 코팅으로 방식처리되어 내식성이 우수하고, 가격이 저렴하며 경제적이기 때문에 구조물, 소방배관과 장비 구조 등에 사용되고 있다. 용융아연도금 강재는 용접 시 고온의 아크열에 의한 아연의 기화로 인해 용융지에 기포가 형성되어 기공(blowhole), 피트(pit)를 발생시킬 뿐만 아니라 아연가스 자체가 아크를 불안정하게 하여 스패터(spatter) 및 흠(fume)을 발생시킨다¹⁻⁴⁾. 이러한 문제로 현장에서는 용접과정 전 용접부의 아연도금층을 제거하기도 한다. 특히, 아연도금강이 사용되고 있는 소방배관은 중소기업 또는 소규모 업체에서 용접으로

제작되고 있다. 이들 사업장에서 배관용접은 숙련 및 반숙련 작업자에 의해 수동용접으로 실시되고 있어 작업성과 생산성이 낮고 흠 발생으로 작업환경이 열악하다.

이에 용접작업환경 개선 및 생산성 향상을 목적으로 반자동용접장치를 개발하였다. 하지만 아연도금강 아크 용접에서는 용접부 기공발생을 피하기가 어렵다¹⁻⁴⁾. 따라서 접합된 용접부에서 기공이 발생된 부분으로 응력이 가해지면 이들 기공에서 균열이 생성 전파되면서 인접한 기공들과 연결되어 용접부의 파손을 초래할 수 있다. 이와 같이 기공발생은 용접 단면을 감소시켜 용접부의 강도 감소, 용접부의 탈락 및 제품의 불량으로 이어지게 된다⁵⁾. 따라서 아연도금강의 용접 시 기공 발생을 최소화시키기 위한 연구들이 수행되어 왔다¹⁻⁶⁾. 이들 대부분의 연구는 판재에서 용접한 경우이고 원주방향으로 용접

이 되어야 하는 관 형태를 용접할 때 기공 발생에 관한 연구는 드물다. 따라서 관상의 강재 용접 시 기공 발생을 최소화하기 위해서 적절한 보호가스의 선택과 전압과 전류 등의 변수와의 관계를 규명할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 용접토치를 아래보기(1G) 자세로 고정하고 아연도금강관을 회전시키며 용접을 할 수 있는 반자동 가스메탈아크용접 장치를 제작하였고, 보호가스, 전압, 전류 등의 용접 인자가 용접부 기공형성에 미치는 영향을 조사하였다.

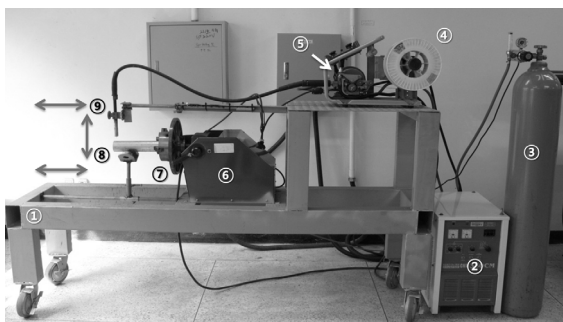
2. 실험방법

2.1 용접장비

Fig. 1은 본 실험을 위해 제작한 반자동 가스메탈아크용접 장치의 사진이다. 장치는 아연도금강관을 아래보기자세에서 원주방향으로 맞대기(butt joint), 비드온파이프(Bead on pipe) 용접을 가능케 한다. 장비는 프레임, 와이어 피딩머신, 용접토치, 용접기 등으로 구성되어 있다. 용접토치는 모재의 이음부 상단에 설치되며, 용접토치와 강관 수평받침대가 강관의 길이방향으로 이동하므로 길이에 제약이 적고, 용가재는 피딩머신을 통해 자동 공급되도록 제작하였다. 용접 시 강관은 3축척에 고정되고 속도와 용접방향의 제어가 가능하다.

2.2 용접조건

Fig. 1의 아연도금강관 반자동 가스메탈아크용접장치를 이용하여 아연도금강관(SPP 백관)에서 용접인자들



No.	Part name	No.	Part name
①	Frame	⑥	Turn table
②	Power supply	⑦	Chuck
③	Cylinder	⑧	Pipe supporter
④	Wire spool	⑨	Torch
⑤	Wire feeder		

Fig. 1 Schematic diagram of a semiautomatic gas metal arc welding system

이 용접부 기공형성에 미치는 영향을 조사하기 위해 Table 1과 같이 용접변수들을 설정하여 3회에 걸쳐 실험을 수행하였다.

첫 번째 실험 조건은 Table 1(a)와 같이 적절한 제시되는 보호가스의 조성을 알아보기 위해 8가지 Ar, CO₂, Ar+20%CO₂, Ar+2%O₂, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂, Ar+5%CO₂, Ar+10%CO₂가스를 사용하고, 전압을 16~24V로 변화시켰고, 전류 150A으로 강관을 비드온파이프 용접하였다. Table 1(b)는 두 번째 실험 조건으로 보호가스는 첫 번째 실험과 동일하고 전압을 20V로 고정하였다. 전류 변수로 두어 130A, 150A, 180A로 변화시켜 용접하였다.

실험에서 팁-모재사이거리(CTWD-Contact Tip to Workpiece Distance)를 16mm로 고정하였다. Table 2는 용접 와이어의 화학성분이고, 직경 1.2mm 솔리드와이어 AWS ER 70S-6를 사용하여 용접속도 33.5cm/min로 하여 용접하였다. Table 3은 사용된 모재의 특성이다.

2.3 기공률 평가

비파괴 검사방법으로 KS B 0845규격에 따라 방사선 촬영(RT, Radiographic Test)하여 기공률을 평가하였다. KS B 0845 투과 사진에 의한 흠 상의 분류 절차에 따라 원주 방향으로 생성된 비드에 용접 시작포인트와 끝포인트를 제외하고, Fig. 2와 같이 시험시야 10mm×10mm로 10포인트 정도를 각 실험조건에 따라

Table 1 Welding parameters

(a) First experiment

Shielding gases			
Ar	CO ₂	Ar+5%CO ₂	Ar+10%CO ₂
Ar+20%CO ₂	Ar+2%O ₂	Ar+5%O ₂	Ar+10%O ₂
Voltage	16~24V		
Currents	150A		

(b) Second experiment

Shielding gases			
Ar	CO ₂	Ar+5%CO ₂	Ar+10%CO ₂
Ar+20%CO ₂	Ar+2%O ₂	Ar+5%O ₂	Ar+10%O ₂
Voltage	20V		
Currents	130, 150, 180A		

Table 2 Chemical composition of wire(wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.86	1.53	0.012	0.007

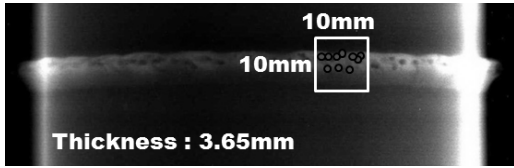


Fig. 2 Flaw rating by radiograph

Table 3 Characteristics of base metal

Class		Outside diameter	Thickness
SPP Pipes		60.5mm	3.65mm

Chemical composition(Wt.%)		Mechanical properties	
P	S	T.S(min)	Elongation(%)
0.040	0.040	30kgf/mm ²	15

측정하여 결과를 산출하였다. 기공의 분류는 시험시야 당 1개는 1류, 3개는 2류, 6개까지 3류, 6개를 초과한 경우는 4류로 분류한다. 결과를 정량화하기 위해 실험 조건에 따라 용접을 3회 실시하여, 결과를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전압과 보호가스에 따른 기공률조사

첫 번째 실험의 전압과 보호가스에 따른 결과를 방사선 투과 검사하였다. Fig. 3과 Table 4에서 나타냈듯

전압	16V	24V
Ar		
CO ₂		
Ar+5%CO ₂		
Ar+10%CO ₂		
Ar+20%CO ₂		
Ar+2%O ₂		
Ar+5%O ₂		
Ar+10%O ₂		

Fig. 3 Porosity in weld beads with shielding gases and voltages by RT

Table 4 Porosity rating from flaw images of beads made by voltage and shielding gas variation by RT

Shielding gases	Ar	CO ₂	Ar+5%CO ₂	Ar+10%CO ₂
Vol tage (V)	16	1	1	1
	18	3	1	1
	20	3	1	3
	22	4	1	3
	24	4	4	3
Shielding gases	Ar+20%CO ₂	Ar+2%O ₂	Ar+5%O ₂	Ar+10%O ₂
Vol tage (V)	16	1	1	1
	18	1	1	1
	20	1	1	1
	22	3	3	1
	24	4	4	2

*Note: 1,2,3,4 indicate flaw ratings to evaluate pores in beads by KS B 0845

이 Ar가스의 경우 18~24V에서 기공이 관찰되어 3류 이상의 결과를 나타내었고, CO₂, Ar+10%CO₂, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂가스의 경우 24V를 제외 하고는 전압에 따라 기공이 거의 형성되지 않은 1류의 결과를 나타내었다. Ar+5%CO₂가스의 경우 20~24V에서 다수의 기공이 발생되어 3류와 4류의 결과를 나타내었고, Ar+20%CO₂, Ar+2%O₂가스에서는 22V~24V에서 많은 기공이 발생되어 3류와 4류의 결과를 나타내었다.

기공은 Shield 상태가 나빠 공기를 안고 들어오는 경우가 있는데 이때 기공이 발생하게 된다.

전압과 기공률의 관계를 살펴보면 16V의 낮은 전압에서는 기공이 거의 관찰되지 않은 반면, 전압이 증가함에 따라 기공이 많이 발생하는 경향을 나타내었다. 이는 전압이 높은 경우 아크길이가 길어져 대기가 혼입되어 기공이 발생하게 되는 반면 전압이 낮은 경우 아크의 길이가 짧고 안정된 아크가 유지되어 용접부의 기공생성이 어렵게 되는 것으로 사료된다⁵⁻⁷⁾.

보호가스에 따라 기공발생 여부를 살펴보면 Ar가스를 사용하여 용접한 경우 가장 많은 기공이 발생하였다. 이는 Ar가스 사용 시 다른 보호가스에 비해 용적이행 안정성이 크게 떨어져, 높은 아연증기압과 대기가 이입되어 용융지의 표면장력보다 커질 경우 용융지 내부에 기공이 발생한 것으로 사료된다.

그리고 CO₂가스의 경우 24V에서는 4류의 많은 기공이 발생하였지만 저전압에서는 기공이 나타나지 않았다. 이는 CO₂가스의 아크이행이 짧고 안정적인 용적이행이 나타남에 따라 기공 발생이 적었다. 그리고 Ar+

전압	130A	180A
Ar		
CO ₂		
Ar+5%CO ₂		
Ar+10%CO ₂		
Ar+20%CO ₂		
Ar+2%O ₂		
Ar+5%O ₂		
Ar+10%O ₂		

Fig. 4 Porosity in weld beads with shielding gases and currents by RT

CO₂가스의 경우 Ar에 CO₂가스함유량에 따라 다른 결과가 나타났는데, CO₂가스를 10%로 첨가 하였을 때 기공이 적게 형성되었다. 반면 5%와 20%의 CO₂가스를 첨가한 결과 높은 전압에서 기공이 다수 발견되었다. 따라서 적정수준의 CO₂가스를 첨가했을 때 기공발생이 저하되었다.

Ar가스에 O₂가스 5%를 첨가하면, 기공의 발생이 거의 없었고, O₂가스의 첨가량이 2%, 10%일 때, 고전압에서 약간의 기공이 발생되었다. Fig. 4에서와 같이 용접 시 보호가스로 O₂가스가 첨가 되면 아연도금강관 표면에 도금된 Zn과 O₂가스가 쉽게 반응하여 ZnO를 형성하는데 ZnO의 경우 끓는점(Boiling Point)이 2360℃로 아연의 용융 및 증발을 억제시키므로 기공이 형성되지 않는 것으로 사료된다. 반면 O₂가스의 함유량이 부족한 경우 ZnO화합물이 적게 형성됨으로써 이러한 효과가 떨어지게 되고 많은 경우에는 반응하지 않고 남은 O₂가스가 잔류하여 기공을 형성하는 것으로 사료된다⁸⁻⁹⁾.

3.2 전류와 보호가스에 따른 기공률조사

Table 5와 Fig. 4는 전류와 보호가스에 따른 방사선 투과검사 결과로 보호가스에 따른 기공의 수는 Ar가스의 경우 130A를 제외한 전류에서 가장 많은 기공이 형성되어 3류, 4류(Fig. 5(d))의 값을 나타내었고, CO₂가스의 경우에는 180A에서 약간의 기공이 발생되어 3

Table 5 Porosity rating from flaw images of beads made by current and shielding gas variation by RT

Shielding gases		Ar	CO ₂	Ar+5%CO ₂	Ar+10%CO ₂
current (A)	130	1	1	1	1
	150	3	1	3	1
	180	4	3	3	1
Shielding gases		Ar+20%CO ₂	Ar+2%O ₂	Ar+5%O ₂	Ar+10%O ₂
current (A)	130	1	1	1	1
	150	2	2	1	1
	180	3	3	1	1

Figures indicate the increase number of pores from 1 through 4

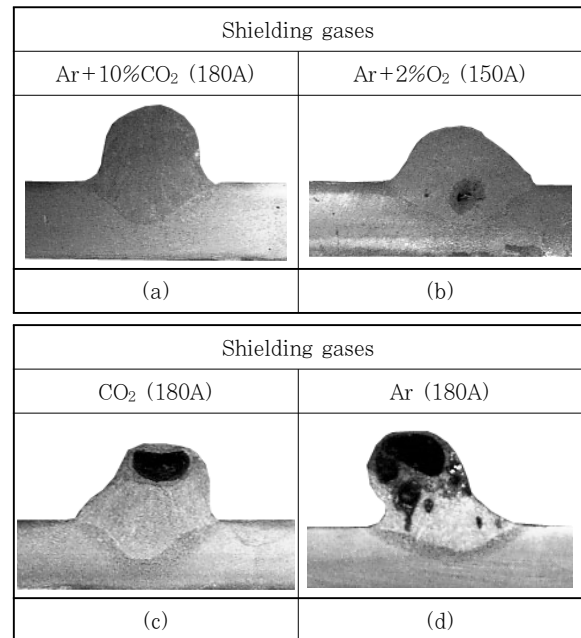


Fig. 5 Macro section of pores in beads rated as (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4

류(Fig. 5(c))의 값을 보였다. Ar+CO₂가스의 경우 CO₂가스 첨가량에 따라 기공률이 달랐는데, 10%CO₂가스 사용 시 기공이 가장 적게 형성되어 1류(Fig. 5(a))의 우수한 결과를 보였다. 이것은 이미 3.1절에서 고찰하였듯이 적정량의 CO₂가스를 첨가 했을 때 기공이 적게 발생된 것과 일치하였다. Ar+2%O₂가스 사용 시 고전류에서 기공이 발생되어 2류(Fig. 5(b)), 3류의 결과를 보였고, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂가스에서 기공이 발생하지 않았다. 이것은 적정량의 O₂가스를 첨가했을 시 기공이 적게 발생하는 것으로 생각된다.

실험결과를 종합하면 전류가 증가함에 따라 기공의 수가 많아짐을 볼 수 있는데, 이는 전류가 높은 경우 와이어의 공급이 많아지므로 더 넓은 용융지가 형성되며 입상용적이행 혹은 스프레이이행으로 변화되면서 아크의 길이가 길어져 대기가 불안정되어 기공이 더 많이 생성된 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 아연도금강관을 회전시키며 용접을 할 수 있는 반자동 가스메탈아크용접 장치를 제작하여 용접전류(130, 150, 180A), 전압(16~24V), 보호가스(Ar, CO₂, Ar+5%CO₂, Ar+10%CO₂, Ar+20%CO₂, Ar+2%O₂, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂)가 용접부의 기공형성에 미치는 영향을 조사하였고, 주요한 결론은 다음과 같다.

1) 전압이 증가함에 따라 기공이 많이 발생하는 경향을 나타내었고, Ar가스의 경우 전압변화에 따라 기공이 가장 많이 발생하였고, Ar+5%O₂가스에서 기공이 가장 적게 발생하였다.

2) 전류가 증가함에 따라 기공 발생이 증가하였다. Ar가스의 경우 전류변화에 따른 기공발생 수가 많았으나, Ar+10%CO₂, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂가스에서는 기공이 거의 발생되지 않았다.

3) 보호가스로 Ar가스를 사용한 경우 전류, 전압변화와 상관없이 기공을 많이 발생하였다. 아연도금강관 GMAW 용접 시 Ar+10%CO₂, Ar+5%O₂, Ar+10%O₂ 와 같이 적정 혼합 가스비를 유지하고 전류(130~150A), 전압(16~20V)일 때 기공발생이 크게 감소되었다.

감사의 글

“이 논문은 한국기술교육대학교 교육연구진흥비 지원을 받아 수행된 연구의 결과물입니다.”

참 고 문 헌

1. H. Matsui, S. Shionoya: Reduction of Blowholes by the Vibration to Molten Pools in Arc Welding of Galvanized Carbon Steel Sheets, *Journal of the Japan Welding Society*, **16-1** (1998), 45-50
2. M. Uchinara, T. Taka, H. Miyazaki: Effect of Welding Conditions and Shielding Gas on Weldability of Zinc-Plated Steel, *Journal Welding Society*, **2** (1995), 105-109
3. H. matsui, H. Suzuki: Reduction of Blowholes in High Speed Arc Welding of Hot-Dipping Galvanized Steel Sheet, *Journal of Japan Welding Society*, **15-3** (1973), 476-483
4. K. Yasuda, S. Nakano and T. Nakajima: Avoidance of Blowhole in Arc Welding of Galvanized Steel Sheets, *The 5th International Symposium of the Japan Welding Society*, (1990), 785-790
5. 대한용접학회편: 용접·접합편람, 대한용접학회, 1998, 516-556 (in Korean)
6. 황선자: 용접시의 기공발생과 그 대책, 대한용접·접합학회, 1983, 163-191 (in Korean)
7. 강남현: 용접부 기공, 대한용접·접합학회, 2003, 31-47 (in Korean)
8. J. Y. Choi: Hand Book on the Strength of Weld Joints, Gold publishing Co., **4** (1997), 35-40 (in Korean)
9. S. M. Cho, K. J. Kim and B. W. Lee: The Waveform Control and Blowhole Generation in the Wave Pulse MIG Welding for the Galvanized Steel Sheets, *KWJS*, **23-1** (2005), 69-76 (in Korean)
10. J. S. Seo, H. J Kim, H. S. Yu, J. H. Koh: Effect of Welding Condition on Porosity Formation in GMA Welding, *KWJS*, **47** (2006), 234-236 (in Korean)
11. H. S. Jung: Fundamental of Fusion Welding - Shielding Gases for Arc Welding, *Journal of KWS*, **19-2** (2001), 138-141 (in Korean)
12. K. D. Kyung, H. J. Chon, J. H. Lee, B. Y. Kang and H. J. Kim: Effect of Shielding Gas Composition on Arc Stability and Transfer Mode of High Deposition GMA Welding, *KWJS*, **15-1** (1997), 64-70 (in Korean)
13. J. H. Koh, G. S. Kim, J. H. kim, G. S. Bang, Y. M. Yun, B. Y. Lee, S. Y. Lee: Modern Welding Technology, Fifth Edition, (2002), 192-205 (in Korean)