

HSLA강 용접을 위한 보호가스와 용접조건에 따른 기공발생의 영향

서준석*·†, 유희수*, 김희진*

*한국생산기술연구원, 용접접합연구그룹

Effects of Porosity Formation on Shielding Gas and Welding Conditions for HSLA Steel Welding

Jun Seok Seo*·†, Hoi-Soo Ryoo* and Hee Jin Kim*

*Advanced Welding & Joining R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

†Corresponding author : jss3953@kitech.re.kr

1. 서론

GMA(gas metal arc) 용접은 높은 생산성, 높은 용접품질, 자동화의 용이성으로 인하여 널리 이용되고 있으며, 또한 탄소강, 저합금강, 스테인리스, 알루미늄, 구리, 티타늄과 니켈합금과 같이 다양한 합금들의 용접이 가능하다. GMA 용접에서의 큰 특징은 소모성전극 끝단의 용융금속이 아크를 통하여 모재로 이행되거나 또는 모재에 접촉하여 이행되는 것이다. 이러한 금속이행은 용입깊이, 비드모양, 흠발생, 공정의 안정성과 스패터에 영향을 주며, 전류, 전압, 극성, 와이어 돌출길이, 보호가스 조성과 전극직경에 의하여 영향을 받는다¹⁾. 보호가스는 금속이행 모드에 영향을 줄 뿐만 아니라 아크의 안정성, 용입깊이와 비드형상, 용접속도, 언더컷 결함발생 정도, 청정효과, 용착금속의 기계적 성질 및 비용 등에 영향을 미친다^{2,3)}.

따라서 HSLA(high strength low alloy)강의 용접을 위한 보호가스의 선정은 매우 중요하다. HSLA강은 HY(high yield)강에 비하여 Table 1에서 보는 바와 같이 탄소함량이 낮아 무예열이 가능하고 용접성이 우수한 강재이다⁴⁾. 일반적으로 인장강도가 825MPa급인 AWS ER120규격의 솔리드와이어를 사용하여 용접하

며, 보호가스는 Ar+2%O₂를 추천하고 있다⁵⁾. Ar+CO₂ 보호가스를 사용하지 않은 이유는 보호가스에서 C 함량의 혼입을 방지하기 위한 것이라 판단되지만, 본 연구에서는 용접재료사에서 추천하는 보호가스 Ar+2%O₂와 Ar+CO₂ 보호가스의 사용가능성을 검토하고, CO₂ 함량에 따른 기공발생의 영향을 관찰하였다.

2. 시험방법

AWS ER120규격의 솔리드와이어(직경 1.2mm)를 사용하여 두께 25mm인 연강에 비드-온-플레이트 용접을 실시하였다. 용접에 사용된 보호 가스는 모두 4가지 종류로 하였는데, 각각의 조성은 Table 2에 나타내었

Table 2 Shielding gases and welding conditions.

Shielding gas	Ar+ 2%O ₂	Ar+ 5%CO ₂	Ar+ 10%CO ₂	Ar+ 20%CO ₂
Current(A)	300A	300A	300A	300A
Voltage(V)	27.0	31.3	32.5	34.1
Welding Speed (cm/min)	30	30	30	30

Table 1 Typical chemical compositions of the high strength steels

(wt.%)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Cb	V	Fe
HY-100	0.17	0.25	0.01	0.01	0.25	1.40	2.90	0.40	0.05	-	0.01	.bal
HSLA-100	0.04	0.90	0.01	0.005	0.25	0.60	3.50	0.60	1.60	0.03	-	.bal

Table 3 Result of bead geometry measurement.

Shielding gas	bead width at surface (W), mm	bead width at h/2 (w), mm	penetration depth (h), mm
Ar+2%O ₂	14.7	4.4	4.2
Ar+5%CO ₂	15.3	4.0	5.0
Ar+10%CO ₂	16.0	3.9	5.3
Ar+20%CO ₂	16.5	5.3	5.3

다. 용접토치는 모재에 수직으로 유지하였으며, 콘택트 팁과 모재간의 거리는 20mm로 고정하였다. 용접 전류는 300A로 일정하게 하였으며, 용접전압은 Table 3에 보인 바와 같이 각각의 보호가스에서 아크가 가장 안정된 상태가 되도록 하였다. 용접이 완료된 시편은 절단 및 가공하여 비드 단면 형상과 산소 함량을 측정하였으며, 초음파 스캔 장비를 사용하여 기공 발생 정도를 확인하였다. 기공 발생 정도를 정량화하기 위하여 일정 길이의 비드에서 확인된 기공의 개수를 측정하였다. 또한 용접전류와 용접전압에 따른 기공특성도 관찰하였다.

3. 시험결과

3.1 보호가스에 따른 비드 형상

다음 Fig. 1은 비드-온-플레이트 용접을 실시한 용접 시편을 보여 주고 있다. 용접 길이는 20cm 정도 이었으며, 비드 표면에는 슬래그 층이 형성되어 있었다. 용접된 시편을 절단하여 단면을 관찰한 결과 Fig. 2에 나타내었다. 열전도도가 낮은 Ar 가스를 사용하면 아크가 finger형 또는 와인잔형(wine grass type)이 나타나는데 Fig. 2에 보는 바와 같이 와인 잔과 같은 형상이었으며, 비드 하부의 형상은 보호가스에 따라 넓이의 차이를 보였다. 와인잔형을 정량화하기 위하여 Fig. 3과 같이 표면에서의 비드폭(W), 용입 깊이(h) 및 중간 용입부에서 비드폭(w)을 측정하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. Ar+2%O₂의 경우에는 W 및

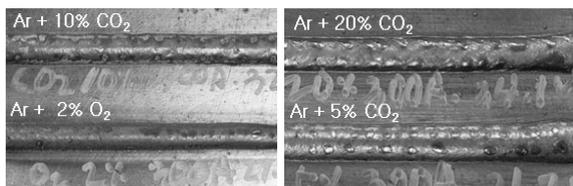


Fig. 1 Bead-on-plate welded specimen.

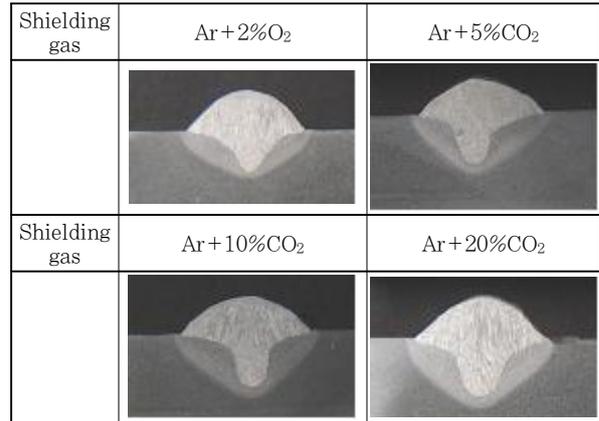


Fig. 2 Cross section of weld beads

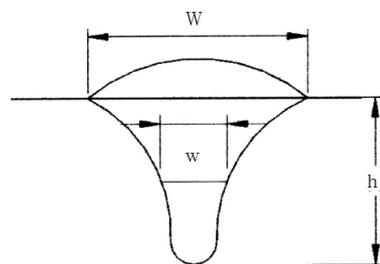


Fig. 3 Geometry of weld bead

h가 가장 작은 반면 w는 가장 넓은 것으로 나타나고 있다. 그리고 Ar+CO₂ 혼합가스의 경우에는 CO₂ 혼합비가 증가할수록 W 및 w가 증가하지만 h는 거의 변화가 없었다.

3.2 보호가스에 따른 기공발생율

기공발생을 평가하기 위하여 비드 표면을 연마한 다음 초음파 스캔하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었

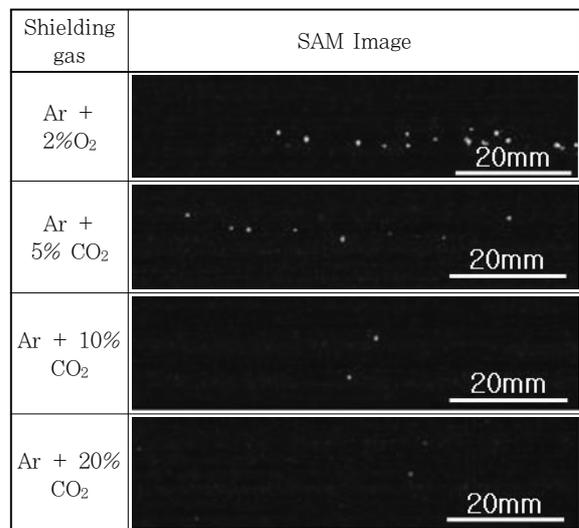


Fig. 4 SAM image of weld bead

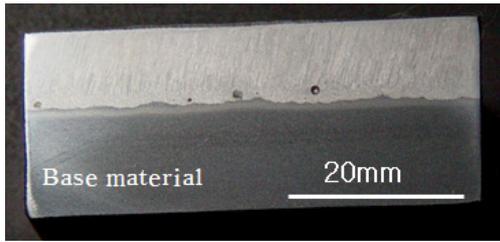


Fig. 5 Longitudinal cross section of weld bead

Table 4 Number of porosity

Shielding gas	Ar+ 2%O ₂	Ar+ 5%CO ₂	Ar+ 10%CO ₂	Ar+ 20%CO ₂
No. of porosity (/80mm)	16	7	3	0

다. 초음파 스캔한 비드길이는 80mm 이었는데, 스캔한 영상으로부터 기공은 용접부 중앙에 위치하고 있음을 확인 할 수 있었다. 기공의 위치를 보다 정확히 확인하기 위하여 Ar+2%O₂비드의 중앙부를 용접선 길이 방향으로 절단하여 기공을 관찰하였다. Fig. 5에서 보인바와 같이 대부분의 기공은 비드 하단부에 존재하였다. 이러한 결과로부터 용접부에 존재하는 기공은 용접 비드 하단부에서 발생한 기공이 상부로 부유하지 못하고 하부에 남아 있는 것이라고 판단되었다.

Fig. 4의 초음파 스캔 결과에서 확인된 기공의 숫자를 Table 6에 나타내었다. 이 결과에서 보듯이 Ar+2%O₂에서 가장 많은 기공이 발생하고 있었으며, Ar+CO₂에서는 CO₂ 혼합비가 증가함에 따라 기공 발생 정도는 저하하여 Ar+20%CO₂에서는 기공이 전혀 발생하지 않았다. 이러한 결과로부터 기공발생은 보호가스 성분에 영향을 받으며, 이는 보호가스 성분에 따라 용융 풀의 거동이 달라지고, 비드형상이 달라지기 때문에 기공이 상부로 부유할 수 있는 정도의 차이가 있기 때문일 것이다. 특히 기공 발생 정도를 비드형상과 연계하여 고찰하여 보면, 비드 중간에서의 폭(w)이 가장 큰 Ar+20%CO₂에서 기공이 발생하지 않고 있다. 이는 w가 커짐에 따라 기공이 발생하기 어렵던지 아니면 기공이 발생하였더라도 쉽게 부유할 수 있는 여건이 되었기 때문으로 판단된다.

3.3 용접전류와 전압에 따른 기공발생을

최적의 용접조건을 설정하기 위하여 용접전류를 250A 부터 300A까지 10A단위로 6조건으로 설정하였고, 용

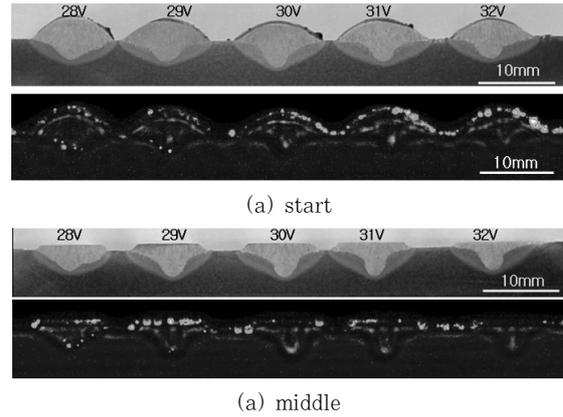


Fig. 6 Cross section of weld bead and SAM image

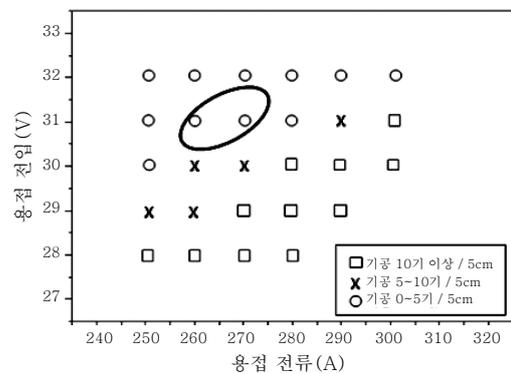


Fig. 7 Porosity of weld bead for welding current and voltage in Ar+5%CO₂

접전압은 28V 부터 32V까지 1V단위로 설정하여 용접을 수행한 후 초음파 스캔을 통하여 기공발생량을 측정하였다. 이때 보호가스는 Ar+5%CO₂를 사용하였다.

Fig. 6은 250A에서 용접전압에 따른 시작부와 중간부에 대한 비드단면과 초음파 스캔 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 일정한 용접전류에서 용접전압 증가에 따라 비드모양의 차이를 보였다. Fig. 6(a)에서 30~31V에서 가장 안정한 아크를 보였으며, 비드모양은 와인잔형을 보였다. 용접전압의 증가에 따라 기공발생량이 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 그리고 전압이 낮을 경우 아크가 불안정 하였으며, 전압이 높을 경우 아크 길이의 증가로 인하여 아크 쏠림현상으로 아크가 불안정하였다.

Fig. 7에 용접전류와 용접전압에 따른 기공발생량을 나타내었으며, 용접전압의 증가에 따라 기공이 감소하였다. 저전류에서 용접전압이 너무 높을 경우 아크길이가 길어지기 때문에 아크쏠림으로 인하여 아크 안정성이 떨어졌다. 따라서 아크 안정성과 기공발생율을 고려하여 최적의 용접조건을 설정하는 것이 바람직할 것이다.

4. 맺 음 말

HSLA-100강용 용접재료인 AWS ER120 솔리드와 이어를 이용하여 보호가스 조성 및 용접조건에 따른 기공발생에 대한 영향을 연구하였다. Ar+불활성 보호가스 용접에서 기공은 와인잔형 비드모양의 하단부에서 발생하였으며, 불활성가스인 CO₂ 혼합비의 증가에 따라서 와인잔형 하단부가 넓어지면서 기공발생율이 감소하였다. 그러나 용접조건 즉, 용접전류와 용접전압은 기공발생에 더 큰 영향을 주었으며, 특히 일정 용접전류에서 용접전압 증가에 따라 기공발생이 감소하였다.

참 고 문 헌

1. E.J. Soderstrom and P.F. Mendez : Metal Transfer during GMAW with Thin Electrodes and Ar-CO₂ Shielding Gas Mixtures, *Welding Journal*, **87-5** (2008), 124s-133s
2. *Welding Handbook*, 7th ed., **2**. AWS (1978)
3. 대한용접·접합학회편:용접·접합 편람 III 공정 및 열가공, 대한용접·접합학회, 2007, 50~51 (in Korean)
4. H.K. Park, H.J. Kim and C.G. Park; Development of Preheat-free GMA Welding Wire for HSLA-100 Steel, *Journal of KWJS*, **29-2** (2011), 141-146 (in Korean)
5. http://products.esabna.com; spoolarc_120



- 서준석(徐俊錫)
- 1979년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합연구그룹
- 용접재료개발
- e-mail : jss3953@kitech.re.kr



- 김희진(金喜珍)
- 1953년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합연구그룹
- 용접전원파형제어, 용접재료개발
- e-mail : kimhj@kitech.re.kr



- 유희수(柳會洙)
- 1965년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합연구그룹
- 디지털용접전원개발, 자동제어, 집합조직
- e-mail : hsryoo@kitech.re.kr