

# 스테인리스강 316L의 플라즈마 아크 용접 적용을 위한 용접 변수의 영향

## Effect of Welding Parameters in Application of Plasma Arc Welding to 316L Stainless steels

이 희근\*, 김 진용\*, 황 인환\*

\*대우조선해양 산업기술연구소

### 1. 서 론

LNG의 지속적인 수요 증가와 더불어 이를 운반하는 LNG 운반선도 계속해서 건조량을 늘려가는 추세이다. 따라서 LNG 운반선의 화물창에 사용되는 스테인리스강 사용도 점차 늘어나고 있고, 향후 LNG-FSRU, LNG-FPSO와 같은 특수선종에도 스테인리스강 사용이 예상된다. 스테인리스강의 용접법은 주로 티그용접을 사용하였으나 이는 우수한 용접품질을 가지는 반면에 생산성이 낮고 고기량의 용접사가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이를 보완하기 위해 균일한 용접품질을 가지면서 높은 생산성을 가지는 고능률용접법의 하나인 플라즈마 아크 용접(Plasma Arc Weld, 이하 PAW)의 검토가 요구되고 있다. 이에 스테인리스강 316L에 대해 PAW 용접 조건에 미치는 용접변수의 영향을 살펴본다.

### 2. 실험방법

실험에 사용한 강재는 ASTM A 240 STS 316L 두께 15mm로서 화학조성을 표1에 나타내었다. 용접은 용접조건별 용입깊이 및 비드폭 변화를 확인하기 위해 Bead-On-Plate 용접을 실시하였다. 플라즈마 가스(이하 PG)와 보호가스(이하 SG) 종류는 Ar, Ar+5%H<sub>2</sub>, Ar+7%H<sub>2</sub>의 세가지 gas로 사용하였다. 또한 PG 유량 0.5~2ℓ/min, 용접전류 150A~300A, 용접속도 20~40cm의 범위 내 조건별 변화를 주어 용접변수에 따른 용접부 형상 변화를 확인하였다. 노즐은 3.2mm 구경을 사용하였고, Standoff와 setback는 4mm로 일정하게 유지하여 용접하였다.

표 1. 모재 화학성분

Ele.	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
wt%	0.023	1.42	0.22	17.13	10.04	2.04	Bal.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 PG 종류에 따른 용접부 형상변화를 나타낸 것이다. 보호가스의 영향을 없애기 위해 플라즈마 gas와 동일한 종류의 gas로 실험하였다. Ar의 경우 150A에서 험핑비드를 나타내고 용접부 내에 언더컷 및 기공이 발생하는 등 전반적으로 불안정한 용입특성을 나타내었다. 반면 수소첨가gas의 경우 아르곤에 비해 넓은 비드폭과 깊이를 가진 결함이 없는 안정적인 용입특성을 나타내었다. 이는 수소가 플라즈마 아크 내 원자 분리 및 재결합의 과정에 의해 열을 방출하므로 모재 입열의 증가와 높은 열전도도 때문인 것으로 생각된다. 따라서 아르곤에 수소를 혼합하여 사용하면 아르곤만을 사용했을 때보다 비드가 매끈하고 언더컷 발생이 적어진다<sup>1)</sup>. 한편 저전류 150A의 경우 전형적인 melt-in 용입의 특성을 나타내고 고전류 250A의 경우 PAW 키홀 용접부 형상인 와인컵 형상을 나타내었다. 따라서 키홀용접을 얻기 위해서는 150A 이상의 전류에서 용접을 해야 함을 알 수 있다.

Fig. 2는 SG 종류에 따른 용접부 형상 변화를 나타낸 것이다. 용입깊이는 수소첨가gas를 사용한 경우 아르곤을 사용한 경우에 비해 증가하는 경향이 컸다. 이는 SG 종류에 따라 용입깊이에 영향을 준다는 사실을 나타내고 있고 깊은 용입을 얻기 위해서는 SG에도 수소첨가gas를 사용해야 한다는 것을 알 수 있다.

따라서 PG와 SG 둘 다 수소첨가gas를 사용할 때 안정된 용입특성을 나타내었다. 5%H<sub>2</sub>와 7%H<sub>2</sub>를 비교하면, 용접시 고전류로 갈수록 7%H<sub>2</sub>가 더욱 안정된 용입현상을 나타내었다. 특히 5%H<sub>2</sub>의 경우 고전류에서는 언더컷이 발생되었다. 따라서 7%H<sub>2</sub>를 사용하는 것이 가장 안정된 용입특성을 나타내었다.

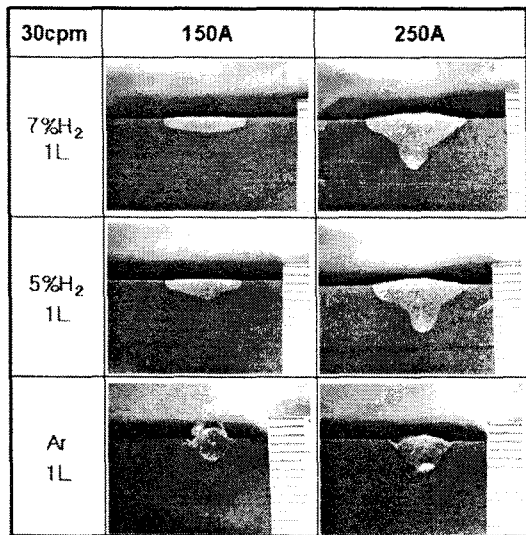


Fig. 1 Comparison with weld appearance variation among Plasma Gases

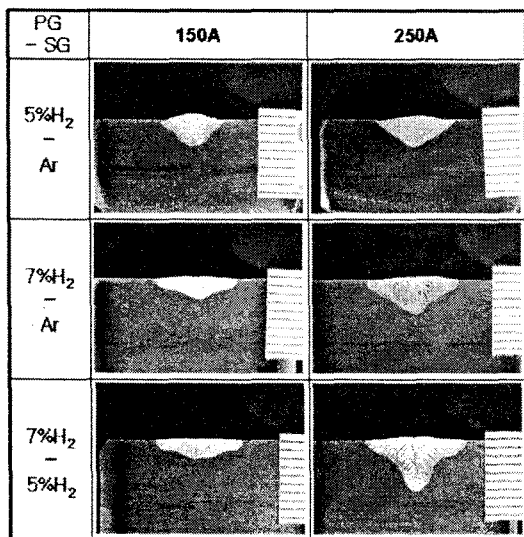


Fig. 2 Comparison with weld appearance variation among Shielding Gases

그림 3은 PG유량별 용접부 형상 데이터를 비교한 그림이다. PG유량이 증가할수록 용입깊이는 증가하고 비드폭은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 PG 유량이 증가하면서 Thermal Pinch 효과가 더욱 가속되어 아크지름이 줄어들면서 아크력이 증가되기 때문인 것으로 생각된다. 한편 LNG 운반선에 사용되는 316L의 두께가 4mm이상이므로 이를 용접하기 위해서는 용입깊이가 4mm이상이 되어야 한다. 따라서 4mm이상의 용입깊이를 얻기 위해서는 150A의 경우 2ℓ/min, 200A이상의 경우에는 1ℓ/min이상의 PG유량이 되어야 함을 알 수 있다.

그림 4는 용접전류별 용접부 형상 데이터를 비

교한 그림이다. 용접전류가 증가함에 따라 용입깊이와 비드폭은 증가하나 증가폭은 용입깊이에 비해 비드폭이 작다. 이는 PG유량의 경우와 달리 용접전류의 경우 용접전류가 증가함에 따라 아크온도가 증가하여 깊은 용입을 나타내지만 Thermal Pinch효과에 대한 PG유량만큼의 효과는 내지 못하기 때문에 전류가 증가한 만큼 아크지름이 줄지 않고 아크가 커지기 때문에 비드폭도 증가하는 것으로 생각된다. 한편 용접속도의 영향을 살펴보면, 속도가 증가함에 따라 용입깊이의 경우 200A이하의 경우 속도에 따른 차이는 없지만, 200A이상의 경우 낮은 속도일수록 용입깊이가 증가하는 경향을 나타내었다. 비드폭의 경우는 전 용접전류에서 빠른 속도일수록 비드폭이 좁았지만 용접전류가 증가함에 따른 비드폭이 증가하는 경향을 나타내었다.

일반적으로 용접변형제어를 위해 좁은 비드폭이 요구된다. 이를 위해서는 용접전류와 속도를 낮게 하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 따라서 좁고 깊은 용접부를 얻기 위해서는 PG유량은 높게, 용접속도는 빠르게, 용접전류는 낮게 용접해야 한다.

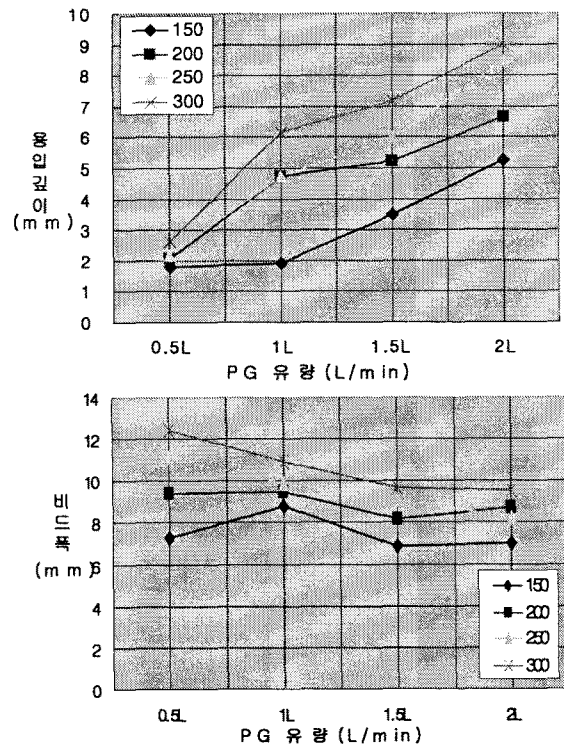


Fig. 3 Comparison with penetration depth and bead width variation with PG flow rate at welding speed 40cm/min

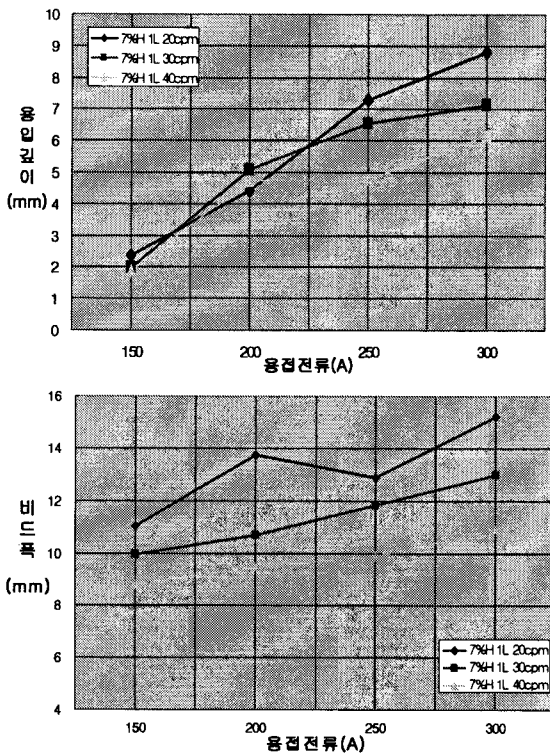


Fig. 4 Comparison with penetration depth and bead width variation with welding speeds at PG flow rate 1 l/min

#### 4. 결 론

스테인리스강 316L에 대해 PAW를 적용하기 위해 용접 조건에 미치는 용접변수의 영향을 살펴보았다.

1) 플라즈마 가스와 보호가스는 Ar+7%H<sub>2</sub>가 가장 안정된 용입특성을 나타내었다.

2) 두께 4mm이상 PAW 키홀용접을 위해서는 PG유량, 용접속도, 용접전류의 적절한 상호 조절이 요구된다. 용입깊이는 PG유량의 영향이 크고 비드폭의 경우는 용접전류와 용접속도의 영향이 컸다. 따라서 좁고 깊은 비드폭을 가진 용접부를 얻기 위해서는 PG유량 1.5 l/min이상, 200A이하로 30cpm이상의 속도로 용접해야 한다.

#### 참고문헌

1. K. E. Nielsen, 'Plasma Welding of Unalloyed Steel', Proceedings of the International Conference on Joining of Metals, Helsingor, Denmark, Ingenior Hojskolen, Helsingor Teknikum, 1984, p 107