

해양 배관용 이상계 스테인리스강의 FCA 용접공법 적용 Application of FCA Welding for Duplex Stainless Steel pipe used for the Offshore

박진형*, 김혁주*, 윤동렬*, 장태원*, 김민철**

* 삼성중공업(주) 산업기술연구소 용접연구

** (주) 세아 ESAB 용접기술연구소

1. 서 론

최근 해양구조물에는 다양한 종류의 스테인리스강이 많이 사용되고 있다. 그 중에서 이상계 스테인리스강은 FPSO (Floating Production Storage & Offloading Unit)의 Riser piping 시스템 또는 Drilling Rig의 유압 시스템 등 오스테나이트계 스테인리스강의 강도를 초과하면서 동시에 염화물이 존재하는 환경 또는 H₂S 가스에 노출되는 환경 등에서 발생할 수 있는 응력부식균열(SCC)에 대한 위험을 줄이고자 주로 사용된다. 하지만 이러한 환경에 사용되기 때문에 페라이트 함유량, 충격 인성, 경도 등의 물성이 비교적 까다롭게 요구되고, 이러한 물성을 맞추기 위해서는 GTAW와 SMAW 등의 저입열 공법이 주로 적용되어 왔다. 이러한 GTAW와 SMAW 공법은 우수한 물성을 가지는 장점이 있지만 FCAW 방법에 비해 낮은 생산성을 가진다는 단점이 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 현재 상용중인 FCW(Flux Cored Wire)를 해양 배관용 이상계 스테인리스강 용접에 적용 가능하도록 개량하고 이를 적용함으로써 생산성을 향상시키고자 하였다.

2. 실험 방법

오스테나이트상과 알파 페라이트상으로 구성되어 있는 이상계 스테인리스강은 화학 조성 및 용접부의 냉각 속도에 의해 용접부의 페라이트 분율이 결정된다고 알려져 있다. 본 연구에서는 냉각 속도에 영향을 미치는 층간 온도와 입열 조건을 고정시키고, 용가제의 화학 조성 차이와 보호가스 차이에 따른 이상계 스테인리스강 용접부가 해양 구조물에 적합한 페라이트 분율과 충격 인성을 가질 수 있는가를 확인 하였다.

모재는 ASTM A790 S31803 배관을 이용하였고,

본 용접 전 GTAW(ER2209) 2패스 용접으로 이면 비드를 형성하였다.

1차로 각기 다른 화학 조성을 갖는 두 가지 FCW(E2209T1-4) Sample을 사용하여 용접한 후 각 용접부에 대한 물성 차이를 확인하였고, 2차로는 상대적으로 물성이 우수한 Sample B에 대해서 CO₂ 가스와 혼합가스 (Ar 80% + CO₂ 20%) 두 종류의 보호가스를 이용하여 용접한 후 각각의 페라이트 분율, 충격인성, 경도에 대한 물성 평가를 실시하였다.

2.1 용접 조건

2.1.1 입열 조건

냉각 속도를 고려하여 층간 온도는 최대 100℃를 넘지 않고, 입열량은 2.0 kJ/mm를 넘지 않도록 용접 하였으며, 자세는 수직 상진으로 하였다. 용접 조건은 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Welding Parameters

Process	전류(A)	전압(V)	입열량 (kJ/mm)
GTAW	90~110	9~12	0.5~0.7
FCAW	140~160	25	1.1~1.6

2.1.2 개선 형상

용접 개선 형상은 Fig. 1과 같다.

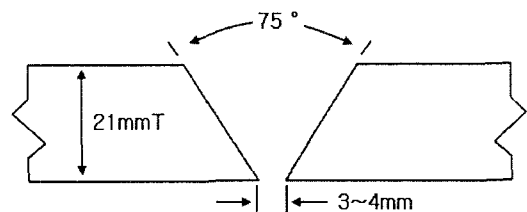


Fig. 1. Joint Detail

2.2 화학 성분 분석

화학 성분은 용접 후 용착 금속에 대하여 Spectro Meter를 사용하여 분석하였다.

2.3 물성 시험

2.3.1 페라이트 분율 측정

페라이트 분율은 ASTM E 562, 2002의 카운팅 방법으로 용접부의 Face와 Middle에 대하여 측정하였으며, NACE MR0175, 2003에서 요구하는 30~70%를 평가 기준으로 하였다. Root는 GTAW 공법이 적용되었기 때문에 본 연구에서는 측정하지 않았다.

2.3.2 충격 시험

충격 시험편은 용접부 Center Line에서 10*10 mm의 크기로 채취하였고, 시험은 ASTM E 23, 2002에 따라 진행하였으며, 당사에서 수행했던 프로젝트의 요구 온도 중 가장 낮았던 -50℃에서 실시하였다. 합부 평가는 평균 45J을 기준으로 하였다.

2.3.3 경도 측정 및 미세조직 검사

경도 측정 및 미세조직 검사 시험편은 Macro 단면을 연마 및 정마하고 NaOH 10g + H₂O 100g 용액으로 전해부식을 하였고, 경도 시험은 ASTM E 92, 2003에 따라 측정하였으며, 일반적인 해양 구조물에서 요구하는 Hv310을 기준으로 하였다. 또한 각 용접부 단면의 미세조직은 500배 비율로 확대하여 검사하였다.

3. 실험 결과

3.1 화학 성분

각 Sample 및 보호가스에 따른 용착 금속의 화학 분석 결과를 Table 2에 정리하였다.

3.2 페라이트 분율 측정

각각 다른 화학 조성과 보호가스에 대한 페라이트 분율값을 Table 3에 정리하였다. Sample A의 경우 Sample B와 비교해 상대적으로 페라이트 분율이 높게 확인 되었으며, 이는 화학 분석 결과 Sample A에 페라이트 안정화 원소인 Cr과 Mo등이 높고, 오스테나이트 안정화 원소인 Ni과

N등이 상대적으로 낮기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical composition of Weld Metal (wt%)

원소	Sample A	Sample B	
		CO ₂ 가스	혼합 가스
C	0.029	0.038	0.041
Si	0.695	0.509	0.607
Mn	0.748	0.785	0.908
Ni	8.420	8.870	9.280
Cr	23.540	22.670	22.610
Mo	3.363	3.237	3.250
N	0.214	0.135	0.134
O	0.093	0.093	0.075

Table 3. Ferrite Contents of Weld Metal (Unit : %)

위치	Sample A	Sample B	
		CO ₂ 가스	혼합 가스
Face	36	31	34
Middle	34	33	33

3.3 충격 시험

각각의 충격 흡수 에너지 결과를 평균하여 Table 4에 정리하였다. Sample B의 경우 인성을 향상시킬 수 있는 Ni이 Sample A에 비해 다소 높았고, 개재물을 형성할 수 있는 Si가 비교적 적었기 때문으로 높은 인성을 가질 수 있었던 것으로 판단되며, 혼합가스를 보호가스로 사용한 경우에는 CO₂ 가스를 사용한 경우에 비해 용착 금속 내에 비금속 개재물의 형성이 적었기 때문에 충격 인성이 보다 향상된 것으로 사료된다.

Table 4. Results for CVN Impact tests of Weld Metal (Unit : J)

위치	Sample A	Sample B	
		CO ₂ 가스	혼합 가스
Weld	avg. 41.0	avg. 45.9	avg. 46.2

3.4 경도 측정 및 미세조직

3.4.1 경도 측정

각 위치에 따라 최대 경도 측정 결과를 Table 5에 정리하였다. 모든 위치에서 합격 기준에 만족하는 값을 얻을 수 있었다.

Table 5. Results for Hardness Survey of Weld Metal (Hv 10)

위치	Sample A	Sample B	
		CO ₂ 가스	혼합 가스
Face	257	282	278
Middle	270	293	291

3.4.2 미세조직 검사

각 위치별 미세조직 사진을 Fig. 2.에 나타내었다. 혼합 가스를 사용한 미세 조직에서는 CO₂ 가스를 사용한 경우에 비해 비금속 개재물이 비교적 적게 생성되는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 개재물은 EDX(Energy Dispersive X-Ray) 분석 결과 산화물로 추정되었다. 이를 통해 앞서 언급한 것과 같이 보호가스의 차이로 비금속 개재물의 양이 결정되며 이것은 충격 인성에 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

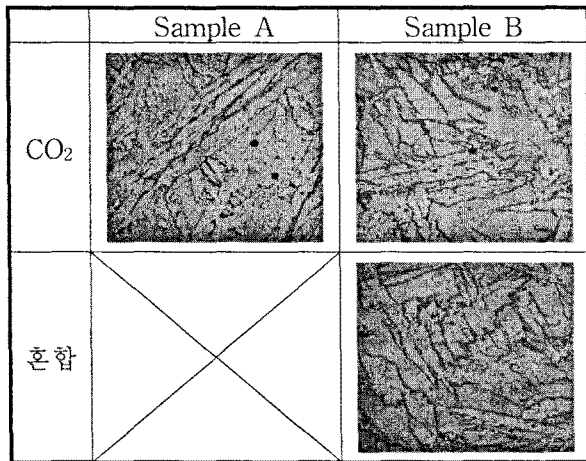


Fig. 2. Microstructures of Weld Metal

4. 결 론

1) 용가재의 화학 성분의 차이는 이상계 스테인리스강 용접부의 페라이트 분율을 결정하며, 특히 Ni, Cr등은 큰 역할을 하는 것으로 확인되었다.

2) 보호 가스로써 혼합 가스를 사용하는 것이 차폐 효과를 가져 오기 때문에 CO₂ 가스를 사용하는 것에 비해 개재물이 적게 형성 되었으며, 이것은 충격 인성을 향상시키는데 유리한 것으로 확인되었다.

3) 본 연구를 통해 이상계 스테인리스강 용접에 FCAW 공법이 선급 승인 되어 현재 Drilling Rig등 일부 해양 구조물에 적용 되고 있다.

참 고 문 헌

1. Robert N Gunn, Duplex Stainless Steel, Micro-structure, properties and applications, 1997
2. Brian Ginn, A technique for determining austenite to ferrite ratios in welded duplex stainless steels, TWI Bulletin, 1985
3. D.N. Noble and T.G. Gooth, Factors controlling the ferrite/austenite balance in arc welded 22Cr/5Ni/2.5Mo/N duplex stainless steel, TWI, 1986