

9%Ni강용 ENiCrFe-4계 피복아크용접봉의 특성

Characteristics of ENiCrFe-4 Type SMAW Electrodes for 9% Ni Steels

장웅성*, 이종섭*, 김영천**, 정현호***

*포항산업과학연구원 설비/용접/전자기연구팀, 경북 포항시

**현대종합금속 기술연구소, 경북 포항시

***한국가스공사 연구개발원, 경기도 안산시

1. 서 언

LNG 저장탱크용 9%Ni강은 LNG 저장온도인 약 -162°C 에서도 우수한 저온인성과 강도를 지니는 페라이트계 재료로서 열팽창계수가 작으며 용접성이 우수할 뿐만 아니라 다량으로 안정적 공급이 가능하여 사용 실적이 증대되고 있으며 국내에서는 1990년에 들어와 본격적인 개발에 착수하여 최근 들어 선진국 제품과 동등 이상의 우수한 품질 특성을 갖는 9%Ni강을 QLT법을 이용하여 개발하고 국내 LNG 탱크 제작에 공급하고 있다.

이러한 극저온용 9%Ni강 용접에 적용되는 용접재료는 용접금속의 강도 및 열팽창계수가 모재와 비슷하고 극저온에서 높은 인성이 요구되며 동시에 용접작업성도 우수하여야 한다. 이러한 특성을 만족하는 재료로서 종래부터 Ni합금인 Inconel계 합금이 가장 널리 사용되고 있으나, 높은 전류를 사용하는 자동용접의 경우에는 Mo를 첨가하여 고온균열 특성을 개선한 Hastelloy계 합금도 사용되고 있다. 고Ni계 9%Ni강용 용접재료의 경우 선진국에서 기술이전을 극구 기피하는 고부가가치 제품으로서 LNG 탱크의 국산화 제작을 위해서 모재의 국산화와 함께 독자적인 제조기술 확보가 요구되고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 Inconel계 피복아크용접봉 중 현재 국내 현장에서 주로 사용되는 ENiCrFe-4계 재료를 중심으로 시판 제품들에 대하여 심선과 피복제의 특성 분석작업과 함께 제조과정 및 용접시공사 발생 가능한 제반 문제점들에 대한 깊이 있는 검토를 통해 국산 용접봉의 제조기술을 확립하고 작업성, 용접성 및 용접이음부 성능을 평가하였다.

2. 실험방법

9%Ni강용 Inconel계 피복아크용접봉은 AWS ENiCrFe계 재료가 가장 일반적으로 사용되고 있다. ENiCrFe-2는 동일성분의 Ni-Cr-Fe계 Ni합금의 용접이나 탄소강, 스테인레스강, Ni기 합금, Ni 간의 이중금속 용접에 적용되며, ENiCrFe-4는 ENiCrFe-2 보다 고강도의 용접봉으로 직/교류용접에 적용되며 9%Ni강의 용접시 아크 슐림을 방지하기 위하여 교류용접을 적용할 때에 사용되어진다. ENiCrFe-2계에 비해 ENiCrFe-4계 용접봉은 C 및 Mo 첨가량이 높고, ENiCrFe-3계의 특징은 용착금속의 고온균열 저항능을 개선하기 위하여 Mn을 다량 함유하는 특징을 보인다. 현재 일본 및 국내에서 9%Ni강용으로 가장 널리 적용되고 있는 용접봉은 ENiCrFe-4계로서 inner-shell vertical 용접, inner annular plate 용접 등 대부분의 탱크 용접시공이 이 계통의 용접봉을 이용한 수동용접에 의해 이루어지고 있다. 한편 유럽의 경우 9%Ni강을 이용한 LNG 탱크 건조에 ENiCrMo계 용접봉이 널리 이용되며 ESAB, Oerlikon 등의 회사에서 ENiCrMo-6, ENiCrMo-3 등의 제품이 상기 용도로 생산되고 있다. 본 연구에서는 ENiCrFe-4계 용접봉을 개발 대상으로 하여 9%Ni강 용접봉에 요구되는 다양한 용접특성을 고려하여 독자적인 제조기술을 개발하였으며 여기서 시판재 및 개발재에 대하여 용접봉의 구성상 심선과 피복제로 나누어 살펴보고 이들 피복봉을 이용한 용접금속의 특성을 평가하였다.

3. 실험결과

시판용접봉 및 개발제품은 각종 화학적, 물리적 시험을 통해 제품별 특성을 비교 평가하고 각종 기계적성질과 조직의 상관성을 조사하였다. Table 1에는 개발제품에 대한 전용착금속의 화학성분을 나타내고 있다. 개발재인 SR-134재의 화학성분은 전체적으로 ENiCrFe-4 규격이 정한 성분 범위를 만족하고 약 62Ni-22Cr-9Mo-3.5Nb의 성분계를 지닌다. 반면에 시판 중인 Yawata Weld B, NIC-70Sp에 비해 Cr 함량이 높고 C함량이 낮은 특성을 지니는데 이는 사용한 심선의 조성 차이에 기인한 것으로 생각된다.

Table 2는 각 재료별 전용착금속의 인장 및 충격 시험결과를 정리한 것으로 ENiCrFe-4계 개발재인 SR-134의 경우 인장강도가 67.7kgf/mm²으로 규격 강도를 만족하며 연신율은 45.8%의 높은 값을 나타내지만 용착금속의 인장강도는 9%Ni강 모재의 ASTM 인장강도 규격인 690~825MPa과 비교시 규격의 하한 또는 규격 이하의 값에 해당하는 낮은 수준임을 알 수 있다. 한편 개발품인 SR-134은 시판되는 일본 제품들에 비해 매우 우수한 상온 및 저온 충격인성을 나타내는데 -196°C에서의 흡수에너지가 개발재는 평균 101J로서 Yawata Weld B(M)나 NIC-70Sp재의 경우보다 1.5배 정도 향상된 우수한 저온인성값을 나타낸다.

Table 1 Chemistries of all weld metals

Electrodes	Dia. (mm)	Chemical Compositions (wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe	Mo	Nb	Ni
Spec.(ENiCrFe-4)		≤0.20	≤1.0	1.0 -3.5	≤0.03	≤0.02	13.0 -17.0	≤12.0	1.0 -3.5	1.0 -3.5	≥60.0
SR-134	4.0	0.034	0.21	3.26	0.010	0.003	16.21	11.64	2.52	1.49	63.47
Yawata Weld B(M)	4.0	0.065	0.22	4.69	0.016	0.003	14.95	11.63	2.39	1.65	63.92
NIC-70Sp	4.0	0.050	0.22	3.65	0.018	0.005	13.33	10.46	4.07	1.36	66.73

Table 2 Mechanical properties of all weld metals

Electrodes	Dia. (mm)	Tensile Properties		Impact Properties	
		T.S (kgf/mm ²)	El. (%)	R.T (Joule)	-196°C (Joule)
Spec.(ENiCrFe-4)		≥66.8	≥20	N/A	
SR-134	4.0	67.7	45.8	101.0	88.0
Yawata Weld B(M)	4.0	72.0	41.3	71.5	55.9
NIC-70Sp	4.0	69.1	42.0	79.2	62.4

작업성 평가는 본 연구팀의 자체 평가기준에 의거하여 아크, 슬라그, 비드 및 스패터 특성 등을 상대적으로 비교하였다. ENiCrFe-4계 개발품 SR-134는 현재 AC 작업조건에서 슬라그의 박리성과 유동성, 아크 안정성, 비드 외관과 퍼짐성 등 전반적으로 양호한 용접작업성을 보유하여 시판되고 있는 Yawata weld B(M) 및 NIC-70SP 제품에 비해 동등 수준 이

상의 작업성이 확보 가능한 수준에 도달하였다. 각종 용접재료의 응고균열 감수성은 일본공업규격(JIS)에 규정되어 있는 C형지그 구속 맞대기용접균열시험 방법(Z3155)을 이용하여 평가하였다. FISCO 시험법이라 불리우는 이 시험은 홈 가공된 시험편을 시험장치에 삽입하여 상부와 측면의 나사를 이용하여 일정한 압력으로 시험편을 상하 좌우로 구속한 뒤 용접을 실시하며 용접완료후 10분이 경과한 후 용접부를 강제 파단하여 전체 비드 길이에 대한 응고균열 발생 길이의 비를 측정한다. 시험용접시 전류 및 전압은 각각 약 120A, 25V로 일정하게 적용하였으며 Root Gap은 4mm로 하였다.

응고균열은 주로 비드 starter부와 crater부에서 집중적으로 발생하는 경향을 보인다. 각 제품별 응고균열감수성을 비교하기 위하여 용접부를 강제 파단하여 Crack Ratio를 구하여 정성적으로 비교하였으며 전반적으로 개발 용접봉은 시판 제품과 유사한 응고균열감수성을 지님을 확인하였다. 제품별로 보다 정량적인 균열감수성 차이를 확인하기 위해서는 보다 다양한 용접조건 적용시험과 아울러 Vareststraint 시험 등과 같은 기존의 고온균열 평가시험법 등을 함께 적용하여 본 실험 결과의 타당성을 검증할 필요가 있다고 판단되며 향후 이러한 실험들을 수행할 계획이다.

4. 결론

9% Ni강용 수동용접봉의 개발을 목표로 하여 본 연구를 수행하였으며 아래와 같은 성과를 얻었다.

1. ENiCrFe-4계 수동용접봉은 ERNiCr-3계 심선과 독자적인 플럭스 제원 조합을 통해 우수한 극저온 인성과 양호한 작업성 확보가 가능한 시제품(상품명 SR-134) 개발에 성공하였다.
2. 용접봉의 고온균열감수성 평가를 위한 시험체계를 구축하였으며 개발재의 고온균열감수성은 시판재와 유사한 수준으로 평가되었다.
3. 이상의 실험결과를 바탕으로 9%Ni강용 국산 피복아크용접봉의 실용접이음부 성능 시험, 대형 인장 및 파괴인성 시험 등을 거쳐 최종적으로 현장 적용이 가능한 국산 용접봉 생산이 가능할 것으로 판단한다.

후 기

본 논문은 한국가스공사의 연구비 지원에 의하여 이루어진 내용의 일부로서 이에 감사드립니다.