

한냉지용 TMCP형 LINEPIPE API X70 강재의 용접성 연구

A Study on Weldability of API X70 LINEPIPE Steel Manufactured by TMCP for Arctic Service

현대강관 (주) 김동환*
조항훈

1. 서 론

Linepipe는 대량 운송을 위한 매체의 고압화와 저품위의 oil 정제기술 및 채굴기술의 발달로 고장력, 고인성, 내부식성이 크게 요구되며 각기 그 용도 및 환경 조건에 맞는 강재의 개발 및 pipe 제조기술이 가속화 되고 있는 것이 세계적인 추세이다. 특히 한냉지용으로 사용되는 고강도 linepipe는 좋은 저온인성 뿐만 아니라 우수한 용접성이 요구되며 유화수소가스를 포함한 매체의 수송용으로 쓰이는 linepipe는 우수한 내부식성이 요구되고 있다.

대구경 고강도 linepipe는 SAW 공정으로 longitudinally joining 에 의해 생산되고 있으며 pipe 의 구조적인 완전함을 위해 모재, 열영향부 뿐만 아니라 용접금속도 고인성이 요구되며 sour gas 수송용 linepipe의 경우에는 사용중 유화물 응력부식크래킹(SSCC)을 피하기 위해 용접부 경도 248HV₁₀ (22 HRC)이하가 요구되고 있다(NACE MR-01-75).

국내에서는 현재 API X65급이 LNG배관용으로 사용되고 있고 API X70급이 개발중에 있으며 TMCP강의 용접기술은 TMCP강의 국산화이후 줄곧 연구되어 왔으나 주로 선급용으로 연구되어왔고 linepipe용에 대한 연구는 미흡한 형편이다. 특히 고강도 linepipe의 생산시 TMCP강의 특성을 고려한 용접기술 뿐만 아니라 용접재료의 사용기술 및 개발연구는 시급한 해결과제이다.

따라서 본고에서는 TMCP형 linepipe API X70 개발에 따른 강재의 용접특성에 대해 고찰하였다.

2. 한냉지용 LINEPIPE 요구 조건

한냉지용 linepipe API X70 개발과 용접부 저온인성 및 내부식성 향상을 위해 본 연구에서는 <표1>과 같은 요구조건을 설정하였으며 그 수준은 북해 및 알래스카 요구수준에 다르거나 일본 mill maker 개발 수준과 동일하게 설정하였다.

3. 시험 방법

시험은 API 5L 규정에 따라 시험하였고 COD시험은 BS 규격에 따라 시험하였다. 본 연구에 사용된 시험용 소재는 TMCP 처리한 API X70급 강재로 당사제조공정에 따라 plate를 edge milling(용접전처리)후 롤벤딩방식에 의해 성형 및 내외면 tandem(DC-AC용접) 1 pass SAW 공정을 사용하여 pipe로 제조하였다. 용접입열은 내면 29KJ/cm, 외면 41KJ/cm를 저온인성이 뛰어난 5종의 용접재<표2>에 동일하게 적용하여 용접부의 특성을 화학성분 분석, 인장시험, charpy 충격시험, COD시험, 경도 및 현미경조직관찰 등을 통해 연구하였다.

4. 시험 결과 및 고찰

용접재별 용착부 화학성분은 모재의 탄소당량(Ceq=0.37, Pcm=0.17)에 비해서 다소 높게 나타났다. 즉 용접재에 관계없이 Ceq 은 0.38에서 0.40 수준이며 Pcm 값도 0.18에서 0.20수준을 보이고 있다. 이것은 Tensile-Elongation인장시험에서 용접재와 관계없이 모재보다 인장강도는 6kg/mm² 정도, 항복강도는 8kg/mm² 정도 상승된 값으로 나타났는데 용착부의 입자미세화, 열영향부

석출물 성장과다 및 일부 저온변태조직 생성(모재 성분 중 microalloy 과다 및 입열량) 등의 영향으로 보인다.

파이프 충격인성시험결과 용착부의 경우 Mo이 많이 첨가된 C'용접재의 충격인성값이 가장 크게 나타났고 이것은 Mo의 입자미세화효과 및 용접재료의 우수한 열기도 때문으로 보인다. Ti-B계 용접재료인 B'의 경우도 양호한 실적을 보이거나 목표로 한 -51°C , 54joule에 이르지 못했다. High Mn계인 E'용접재는 매우 나쁜 실적치를 보이고 있어 시험에 사용된 TMCP 용접재료로는 부적합한 것으로 보였다. 열영향부의 충격인성값은 용착부 C'보다도 낮은 값을 나타내고 있어 목표로 이르지 못했다. 이러한 인성 저하원인은 적용입열 대비 1) 모재 화학성분 중 Nb, V 등의 석출경화와 탄질화물 성장에 의한 항복점 상승, 2) 강종 함유된 질소가 Ti와 함께 TiN으로 bond부 근처에서 부분적으로 용해하고 오스테나이트입자를 조대화 시키며 고용N을 증가, 3) 상부 bainite 및 M-A조직 등 저온변태조직의 생성으로 보인다(그림 1~3).

COD 시험결과도 charpy 시험결과와 비슷한 값을 보이고 있다(그림 4, 5). 용착부의 경우 C'용접재가 목표수준(-20°C , 0.25mm)을 만족하고 있으며 열영향부의 경우는 요구수준에 만족하지 못했다. 특히 비수냉형 TMCP재의 경우(파이프 A) 열영향부 COD 값이 큰 편차를 보였는데 강제 제조불안정에 따른 모재 조직 불안정이 원인으로 생각되고 있다.

경도시험결과와 모재의 경우 최대 Hv 220으로 목표로 한 Hv 248 이하를 만족하고 있었으며 비수냉형 TMCP 재의 경우는 수냉형 TMCP재(파이프 B, C)에 비해 약 10정도 낮은 값을 보였다. 열영향부의 경우는 기술향 석출물 등의 영향에 의해 모재보다 20~30정도 높은 수치를 보여 목표로 거의 근접되었으며 이는 항복강도 상승 및 인성저하 결과를 뒷받침해주고 있다. 용착부의 경우는 용접재와 관계없이 거의 목표값을 벗어나고 있고 이것은 모재 화학성분의 영향이 주원인으로 보이며 용접재료에 의한 입자미세화 및 석출물 등이 영향을 끼친 것으로 보인다.

현미경조직 관찰에서 용융형은 소결형에 비해 다소 깊은 용입을 나타내고 있었으며 용착부의 경우 Mo이 많이 함유된 용접재료일수록 ferrite입자가 작게 나타났으며 ferrite형태도 acicular type 이었다 (C' > A' > D' 순). Ti-B계인 B'용접재도 양호한 결과를 보이고 있다(입자크기 순 C' < B' < A' < D'). High Mn계인 E'용접재는 입자크기뿐 아니라 GBF 성장으로 조직관찰결과 인성결과와 대체적으로 일치하는 것을 알 수 있었다. 열영향부는 일부 bainite 및 M-A로 보이는 조직 등이 관찰되었다.

5. 결론

- 1) 시험 파이프 API X70 강재의 열영향부 인성저하는 부적절한 합금원소의 첨가량 및 조업불안정에 따른 모재조직의 불안정 그리고 적용입열(외면, 41KJ/cm) 대비 석출물의 과도성장, 상부 bainite 및 M-A조직 생성요인 제공이 주원인으로 보였다.
- 2) 용착부 강도 및 경도 상승은 모재 화학성분 및 용접재료의 높은 P_{cm} 등이 주원인으로 입자미세화 및 석출물발생에 따른 것으로 보이며 특히 용접재와 관계없이 강도가 상승한 것은 모재 화학성분 영향이 큼을 알 수 있다.
- 3) 가속냉각제는 제어압연제에 비해 강도 및 경도가 높게 나타났으며 모재 조직도 비교적 안정되었으나 열영향부 취약성은 비슷하게 나타났다.
- 4) 용접재료는 한냉지용으로 Mo계인 C'가 가장 적절하였다.
- 5) 이상과 같은 결과를 토대로 한냉지용 linepipe API X70 개발 및 용접성 확보를 위해 아래와 같은 결론을 얻었다.

화학성분 : Mn < 1.6%, Nb+V+Ti < 0.13%, Al/N > 2, Ti/N < 3
Ceq < 0.36, Pcm < 0.16

조업측면 : 잔압하울 상향조정 70% 이상, 부분적 재결정역에서의 압연작업
지양 및 적절한 가속냉각 적용

용접측면 : 시험강재 대비 입열량제한이 필요(35KJ/cm 이하)

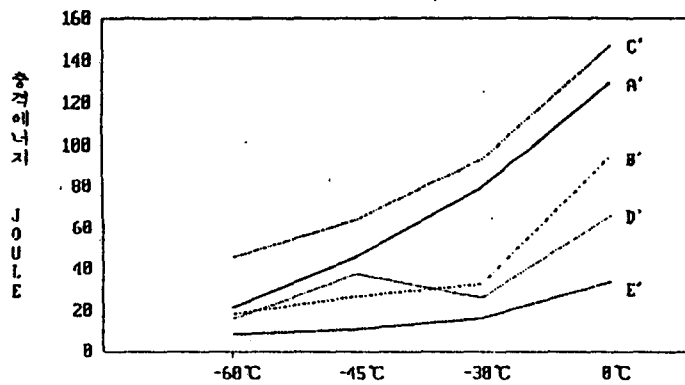
<표 1> 원앤시엠 110cplpe API X70 강재의 요구성능

강종 : Killed Steel				
성분	1. Ceq 0.40(0.36)이하, 2. Pcm 0.22(0.18)이하 (역표시)			
인장시험	YS (Min.)	LS (Min.)	EI(X) (Min.)	YS/LS(X) (Max.)
	49.3 Kp/mm ²	58 Kp/mm ²	22.5	93
저온 특성	구분	요구수준	역표시	비고
	CVE	20℃, 63J	-51℃, 54J	HAZ. 용접부
	COD	-20℃, 0.25mm	20℃, 0.25mm	HAZ. 용접부
내 HIC 시험	CLR 10X, CSR 2%		NACE 01-77 용액	
용접성	max. DV10 240 (용접부)		For Sour GAS	

<표 2> 시엠 원앤시엠 강재의 특성 비교

시엠 강 종류	AWS SPEC	용접재 TYPE	비 교 성 분 (주요 성분)	(용도)
A 쇼강형	FBA4-EA4 -A4	Ho계	Mo 0.4%(wire)	SPHS
B 용접형	FBA6-EA3 -A3	Ho 11-10계	Mo 0.39(wire) Ti 0.017 B 0.005	SPHS
C 쇼강형	FBA4-EG -G	Ho계	Mo 1.2%(wire) Cu 0.16%	SPHS
D 쇼강형	F7A2-EA1 -A4	Ho계	Mo 0.52%(wire) Cu 0.07%	SPHS
E 쇼강형	FBA6-EG -G	High Ho계	Mo 1.7%(wire)	HL SPHS or

<그림 1> 용접재별 충격 에너지(JOULE)



<그림 2> 열영향부 충격 에너지(JOULE)

