

고강도 API 5L X80 배관의 자동 원주용접부에 대한 기계적 특성

Mechanical properties for automatic girth weld joint of high strength API 5L X80 pipeline

김 철만*, 김 영표*, 최 송천**, 한 상인**

* 한국가스공사 연구개발원

** 한국가스안전공사 가스안전연구개발원

1. 서 론

전 세계적으로 시설 투자비와 수송비를 절감하기 위하여 천연가스 수송용 배관을 대구경화 하고 고강도, 고인성, 고내식성 재료를 개발하는 추세이다. 배관 원주 용접은 시공기간 및 경제성을 고려하여 자동용접을 채택하고 있다.

자동용접은 수동용접에 비하여 경제성이 우수하며 생산성이 높다. 용접 패스별로 분업화하여 하루에 100조인트 이상 용접을 할 수 있다. 각 단계별로 용접 조건을 설정하면 반복적으로 용접을 수행할 수 있기 때문이다.

자동용접은 장거리 배관이나 시간제약을 많이 받는 해저배관에 사용된다. 지금까지 국내에서는 배관 길이가 짧아 주로 수동용접을 사용하였고 동해가스전에서 육상으로 가스를 공급하기 위하여 해저배관 건설에 자동용접을 채택하였다. 해외에서는 자동용접이 보편화되어 있으며 국내의 경우 자동용접에 대한 실적은 미비하다. 향후 이르크추크 PNG 사업이 가시화될 경우를 대비하여 독자적인 자동용접에 대한 기술이 필요하리라 생각된다.

이에 본 연구는 국내에서 아직 사용한 실적이 없는 고강도 API 5L X80 배관에 대하여 FCAW 공정으로 자동 원주용접하여 용접부의 기계적 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 외경 1,067mm, 두께 25mm의 API 5L X80 배관으로서 길이 600mm로 절단한 후 60° 각도로 베벨 가공하였다. 1~2층을 ER70S-G 용접봉을 사용하여 GTAW 방법

으로 초층용접을 한 다음 나머지를 E111T1-GM FCAW 용접봉으로 자동용접하였다. 용접기는 CRC-EVANS M-220 모델을 사용하였고 용접시 20%CO₂와 80%Ar 혼합가스를 일정하게 공급하였다. 표 1은 배관사양 및 용접공정을 나타낸 것이다.

표 1. 배관사양 및 용접공정

재질	배관사양	패스	용접방법
API 5L X80	직경 42inch (1,067mm), 두께 25mm	1~2	GTAW 상진수동, ER70S-G, 2.4Ø
		3~11	FCAW 상진자동, E111T1-GM, 1.2Ø

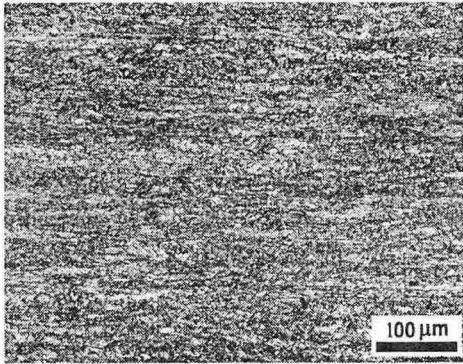
용접한 시험편의 미세조직을 관찰하기 위하여 경면 연마 후 3%나이트로 에칭하여 광학현미경으로 관찰하였다. 모재 및 용접부의 특성을 평가하기 위하여 경도, 인장, 충격인성, CTOD 파괴인성 등 다양한 시험을 수행하였다. 충격과 CTOD 파괴인성시험은 용착금속부와 용융선부에 노치를 가공하여 시험하였다. 충격시험의 경우 40~-90℃에서 시험을 수행하여 연성-취성 천이 온도를 구하였다. CTOD 시험은 40~-30℃에서 BS7448에 따라 시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

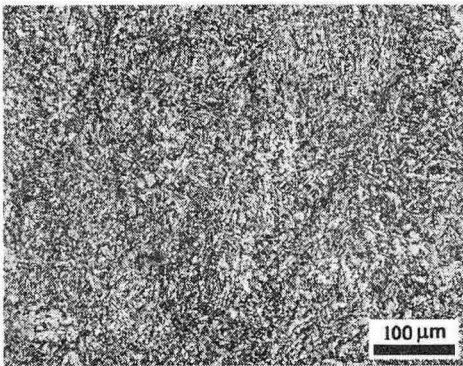
3.1 조직 관찰

그림 1은 모재 및 용접부의 미세조직을 나타낸 것이다. 모재는 합금원소를 첨가하여 제어압연과 가속냉각 처리를 하여 흰색의 페라이트 조직이

매우 미세하게 관찰되었다. 압연에 의한 연신된 흔적이 희미하게 나타나고 있다. 용착금속부는 용융된 용접재가 응고한 수지상 조직으로 미세하게 관찰되었다.



(a)



(b)

Fig. 1. Microstructure
(a) Base metal (b) Weld metal

3.2 경도 시험

그림 2는 모재 및 용접부에 대하여 1mm간격으로 측정된 비커스 경도 분포를 나타낸 것이다. 모재의 경도는 약 220~230HV, 용착금속부는 약 240~275HV로 측정되었다. BS EN288-9에 의하면 용착금속부 경도는 275HV 이하, 열영향부의 경도는 350HV 이하로 규정하고 있다. 용착금속부의 경도 값이 비교적 높게 측정되었고 용융선과 인접한 열영향부의 경도가 모재 인접부보다 높게 나타났다. 용융선부분의 열영향부가 상대적으로 고온에서 급랭되어 마르텐사이트나 베이나이트 조직이 형성되었기 때문으로 판단된다.

3.3 인장 시험

그림 3은 모재 및 용착금속부의 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 온도 감소에 따라 강도는 감

소하지만 연신율은 거의 변화가 없었다. 상온에서 모재의 인장강도는 약 675MPa, 용착금속은 약 710MPa로 나타났다. 모재 및 용착금속부의 항복강도에 대한 인장강도의 비는 약 0.9로 나타났다.

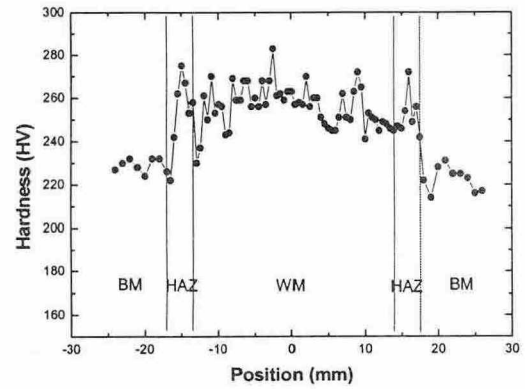
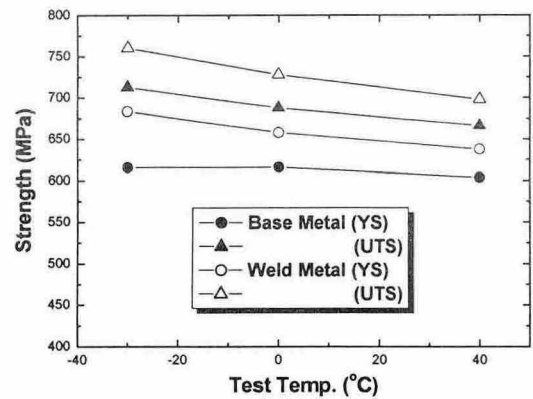
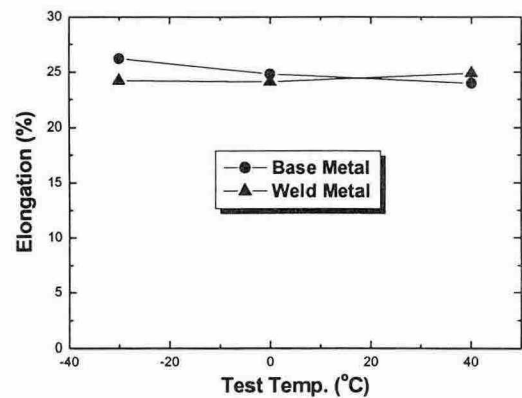


Fig. 2. Hardness distribution



(a)



(b)

Fig. 3. Tensile properties for base and weld metal
(a) YS and UTS (b) Elongation

3.4 충격 시험

그림 4는 노치 위치를 용융선부와 용착금속부에 가공하여 40~-80℃범위에서 3개씩 충격시험을 수행하여 평균값으로 나타낸 것이다. BS 4515 규격에서는 용착금속과 용융선부의 충격에너지가 최소설계온도에서 평균 40J 이상, 날개 30J 이상이 되도록 규정하고 있다. 국내 가스배관의 최저 설계온도가 -29℃인 것을 감안할 때 BS규정치보다 높게 나타났다. 시험온도에 따른 연성-취성 천이의 기울기가 완만하여 정확한 천이온도를 정할 수가 없었다.

3.5 CTOD 시험

모재, 용융선부, 용착금속부에 대하여 -30, 0, 40℃에서 각각 3개씩 수행하였고 최소 값에 대한 결과를 그림 5에 나타내었다. 모재의 경우 1mm 이상의 높은 CTOD 값을 나타내었고 시험온도가 감소함에 따라 오히려 증가하는 경향을 보였다. 용융선부와 용착금속부는 시험온도 감소에 따라 CTOD 값이 감소하였다.

API 1104에 의하면 최소 예상 사용온도에서 용착금속과 열열향부의 최소 CTOD값은 0.254mm와 0.127mm의 두 수치를 제시하고 있다. 최저 설계온도를 최소 예상 사용온도로 가정하면, -30℃에서의 최소 CTOD 값은 모재가 1.442mm, 용융선부가 0.215mm, 용착금속부가 0.052mm로 나타났다.

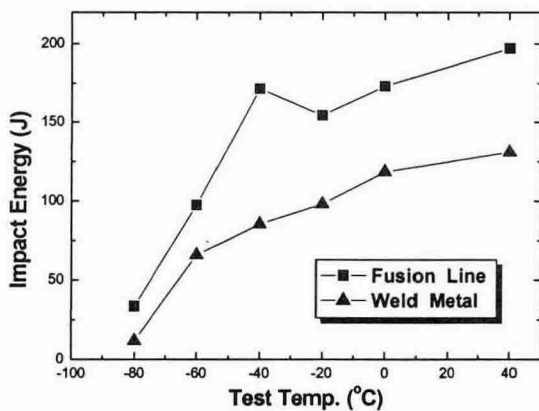


Fig. 4. Impact energy for FL and WM

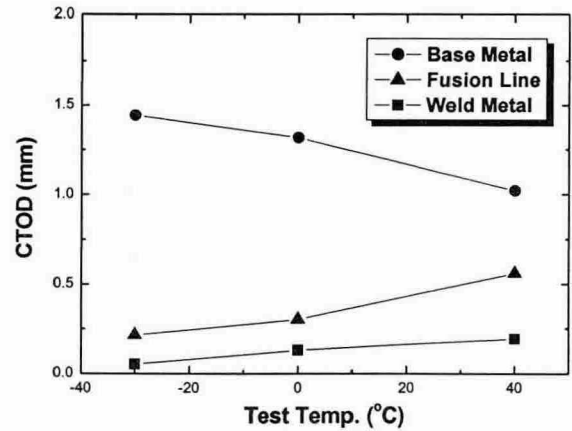


Fig. 5. Min. CTOD values for weld joint

4. 결 론

API 5L X80 배관의 자동 원주용접부에 대한 기계적 특성 평가를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모재 및 용접부의 조직은 매우 미세하게 관찰되었고 인장강도 및 충격특성은 모두 규격을 만족시켰다.
- 2) -30℃에서 모재, 용융선부, 용착금속부의 최소 CTOD 값은 1.442, 0.215, 0.052mm로 나타났다.

참고문헌

1. BS 4515-1 (2004) Carbon and carbon manganese steel pipelines
2. BS EN 288-9 (1999) Welding procedure test for pipeline welding on land and offshore site butt welding of transmission pipelines
3. API 1104 (1999) Welding of pipelines and related facilities