

음극방식조건에서 가스배관 용접부의 파괴인성 평가

The fracture toughness evaluation of gas pipe weldments under cathodic protection

김철만, 백종현, 김영표, 김우식

한국가스공사 연구개발원, 경기도 안산시

1. 서론

한국가스공사 천연가스배관은 자연지반에서 1.5m를 굴착하고 채움 모래로 배관 표면을 20cm 덮은 후 원지반으로 되메움하여 매설하고 있다. 그리고 배관표면은 폴리에틸렌 코팅으로 그리고 원주용접부는 열수축 튜브나 콜드레이프로 방식처리를 하고 있다.

그러나 폴리에틸렌 코팅의 열화나 열수축 튜브 및 콜드레이프의 박리로 배관 모재 및 용접부가 부식분위기에 노출될 수 있다. 그래서 이러한 부분에 대하여 부식을 억제하기 위해 배관은 항상 외부 전원 공급에 의해 황산동 전극(Cu/CuSO₄)에 대하여 최고 -0.85V 이하가 되도록 유지하고 있다.

방식의 측면만을 고려한다면 전위가 낮으면 낮을수록 부식 방지에 효과적이다. 하지만 전위를 낮게 유지하기 위해서는 경제적인 비용이 추가로 소요되며, 더구나 배관 표면에서 전기화학적으로 발생된 수소가 고장력강인 배관에 흡수되어 배관이 취화될 가능성이 보고되고 있다.

한국가스공사의 매설천연가스 배관은 기본적으로 ANSI B31.8에 따라 설계되고 있다. 이에 따르면 매설되는 장소의 인간활동의 다소에 따라 재료 항복응력의 40~80%의 응력이 가해지도록 설계된다. 단순히 생각하면 단지 항복응력이 이하가 되도록 설계하면 되는 것으로 생각할 수 있다. 즉 결함이 없는 재료를 가정한다면 항복응력의 40~80%의 운용조건은 매우 타당하다고 할 수 있다.

그러나 구조물의 재료가 절대 균열을 내포하고 있지 않다라는 가정은 지나친 과장에 불과하며 모든 구조물에는 기계적 혹은 용접결함이 반드시 내포되어 있다. 이러한 결함이 내포된 재료에 의한 구조물은 파괴역학적 안전성 개념을 기초로 해서 설계된다.

따라서 본 연구는 음극방식조건에서 가스배관 모재 및 용접부에 대하여 CTOD 파괴인성 시험을 하여 파괴역학적 안전성을 확보하고 최적의 방식조건을 설정하고자 한다.

2. 시험방법

본 연구에 사용된 재료는 API 5L X65로서 직경 30inch(762mm), 두께 17.5mm의 고강도강이다. 용접은 1,2층은 GTAW로, 그리고 나머지는 SMAW방법으로 용접을 실시하였다. BS7448 part 1에 따라 3점굽힘 형태의 CTOD 시험편을 제작하였다. 노치는 모재의 경우 압연방향을 기준으로 평행(L-T) 및 직각 방향(T-L)에서, 그리고 심용접부 및 원주용접부는 순수 용착금속부에서 각각 가공을 한 후, BS 7448 Part 1 규격에 따라 피로예비균열을 만들었다.

1N Na₂CO₃와 1N NaHCO₃의 혼합용액에서 각각 -0.4, -0.65, -0.85, -1V의 전압을 가한 상태에서 12시간정도 충분히 통전을 시킨 다음, 0.01mm/min의 속도로 시험을 하였다. 시험 개수는 각 조건당 3개씩 시험하여 최소값을 임계 CTOD값으로 취하였다.

그림 1은 시험조와 시험편 및 각종 전극을 개략적으로 나타낸 것이다. 전위차계는 Princeton Applied Research Model 363계를 이용하였으며, 시험편을 작용전극(working electrode)으로 놓고 음극방식전류가 흐르게 하였다. 대극(counter electrode)은 탄소봉을, 기준전극(reference electrode)은 포화 calomel 전극(SCE : saturated calomel electrode)을 사용하였다. 시험 후, 액체질소로 냉각시켜 노치부분을 파단시킨 후, 거시적으로 촬영한 파면을 9등분하여 정확히 총 균열 길이를 측정하였고, 주사전자현미경으로 파면 양상을 관찰하였다.

3. 시험결과

그림 2는 API 5L X65 배관의 L-T 방향 모재에 대하여, 대기중에서 시험한 것과 음극방식조건에서 시험한 것, 그리고 일정 전압하에서 시험 속도변화에 따른 CTOD 변화를 나타내었다. 1mm/min의 시험속도로 시험하였을 때, 최소 CTOD값은 대기중이나 음극방식조건에서 각각 1.25mm와 1.24mm로서 거의 동일하게 나타났다. 1mm/min의 시험속도에서는 환경적인 요인이 파괴인성에 아무런 영

향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

그러나 시험속도가 작아질수록 CTOD값이 현저하게 감소하였고, 0.01mm/min의 속도에 대한 CTOD값이 0.65mm로서 1mm/min의 속도에 대한 것 보다 50%정도까지 감소하였다. 즉 시험속도가 작을수록 CTOD값이 물리적 요인보다는 환경적인 요인에 크게 좌우되기 때문에 시험속도에 크게 민감함을 알 수 있다.

그림 3은 API 5L X65 배관의 L-T 방향 모재에 대하여, 0.01mm/min의 시험속도에서 전압변화에 대한 CTOD값의 변화를 나타내었다. 파괴역학적 안전성 측면에서 최소 CTOD값을 비교하여 보았을 때, -1V에서 0.65mm, -0.85V에서 0.9mm, -0.65V에서 0.94mm, -0.4V에서 0.84mm를 나타내었다. -0.65V에서 파괴인성값이 가장 크게 나타났고, 이 조건이 실제 현장의 부식환경에서 균열에 대한 저항성을 향상시킬 수 있는 최적의 조건임을 알 수 있다.

그 외에 SCC분위기, 시험속도 0.01mm/min에서, 압연방향의 영향을 관찰하기 위하여 모재 원주방향에 대하여 위와 동일한 방법으로 시험하였고, 또한 심용접부와 원주용접부의 순수 용착금속부에 대해서도 동일하게 시험하였다.

4. 결론

1. CTOD값이 시험속도에 민감하였으며, 0.01mm/min의 속도에서 0.65mm로 가장 작게 나타났다.
2. 가스배관 모재 길이방향에 대한 SCC조건에서의 CTOD값은 -0.65V에서 0.94mm로 가장 크게 나타났고, 최적의 방식조건임을 알 수 있었다.

5. 참고문헌

1. N. Hagiwara and N. Oguchi, "Fracture Toughness(CTOD) of Line Pipe Materials under Cathodic Protection.", '97 Osaka Gas Forum, paper No 200
2. Yuchiro Yamaguchi and Hidemasa Nonaka et al, "Hydrogen Cracking Susceptibility Evaluation of Buried Steel Pipe under Cathodic Protection.", Tetsu to Hagane, vol. 12, 1992, pp.66-71
3. Komei Kasahara and Tsuyoshi Isowaki, "Behavior of Line Pipe Steel under Cathodic Protection.", Tetsu to Hagane, vol. 2, 1981, pp.148-157.
4. BS 7448 Part 1, "Method for determination of K_{Ic} , critical CTOD and critical J values of metallic materials."

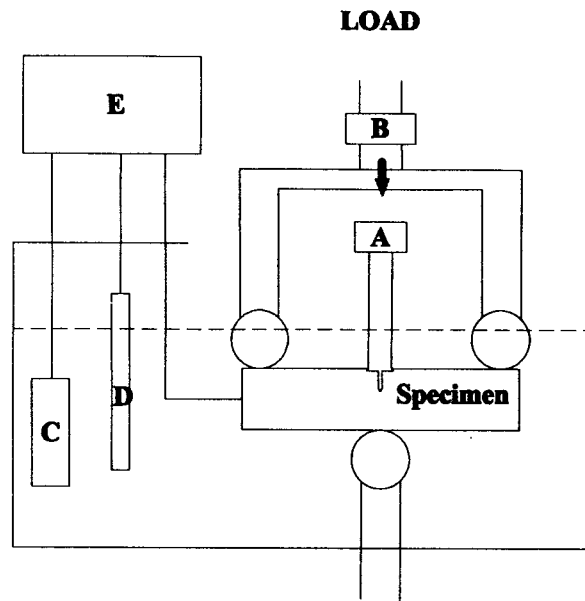


Fig. 1. Experimental set-up
 A. COD gauge, B. Load Cell, C. Counter electrode,
 D. Reference electrode, E. Galvanostat/Potentiostat

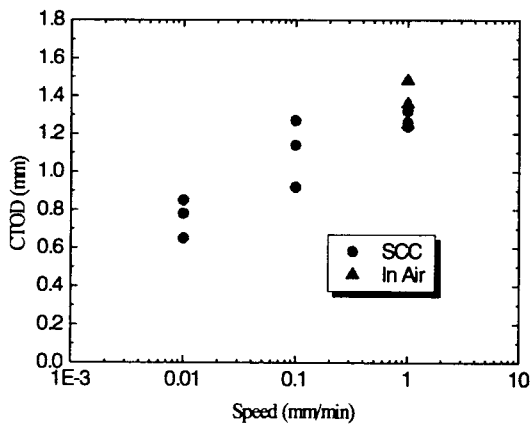


Fig. 2. Relationship between CTOD and speed at -1V.

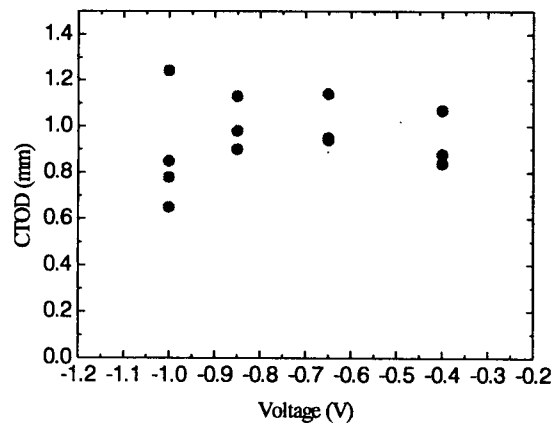


Fig. 3. Relationship between CTOD and applied voltage at 0.01mm/min.