

손상평가도를 이용한 천연가스배관 용접부의 사용적합성 평가

Fitness-for-Service Evaluation for Weldment of Natural Gas Pipeline by Using Failure Assessment Diagram (FAD)

이정석*, 주장복*, 권동일*, 장재일**, 김우식***, 백종현***
 *서울대학교 재료공학부, ** (주)프론틱스, ***한국가스공사 연구개발원

1. 서론

현재 우리 나라에는 2100km의 천연가스배관이 설치·운영 중에 있으며, 그 길이는 매년 증가하고 있다. 이러한 배관은 외부굴착 장비에 의한 손상, 지반침하, 지진 등의 외부요인이나 야금학적 결함, spot, 개재물 등의 배관 내부요인에 의해 손상을 받게되는데, 이 때, 배관의 사용적합성 여부를 결정하는 것이 중요한 사안이다. 배관의 사용적합성 평가를 위해 선형파괴역학이 성립하는 취성영역부터 소성붕괴영역까지의 모든 파괴역학적 가능성에 대하여 응력확대계수와 작용하중, 두 개의 변수를 이용하는 손상평가도(Failure Assessment Diagram, FAD)가 사용되고 있다. 천연가스배관에 알맞는 손상평가도를 구축하는데에는 상당한 어려움이 따르지만 한번 구축해 놓으면 손쉽게 안전성을 평가할 수 있는 장점이 있다.

국내 천연가스배관에 적합한 손상평가도를 구축하기 위해서는 배관용 재료의 인장물성과 파괴인성이 요구된다. 특히, 다양한 역학적 인자를 가지는 천연가스배관 용접부의 경우에는 평가대상 위치에 따른 정확한 인장물성 및 파괴인성 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 현재 국내 천연가스 주배관으로 사용되고 있는 API 5L X65 강관의 모재, 용착금속 및 열영향부의 인장물성 및 파괴인성의 평가를 통해 천연가스배관에 적합한 손상평가도를 작성하였고 이를 실제 결함에 대한 안전성평가에 적용하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 손상평가도 작성을 위해 천연가스 배관용 재료인 API 5L X65 강관의 심용접부 및 원주용접부를 제작해 인장시험과 CTOD(Crack Tip Opening Displacement) 시험을 수행하였다. 우선, 인장시험 수행을 위해 심용접부와 원주용접부의 모재, 용착금속, 열영향부에서 각각의 시험편을 채취하였다. 모재 및 용착금속에서는 게이지 길이 25mm, 두께 4mm인 subsize 인장시험편을 채취하였으며, 열영향부에서는 그영역이 협소한 관계로 그림 1과 같이 두께 0.5mm, 게이지 길이 12.5mm인 마이크로 인장시험편을 채취하였다. 또한, 파괴인성 평가를 위한 CTOD시험을 위해서 심용접부와 원주용접부의 모재 및 용착금속에서 노치 끝이 각각의 영역에 존재하도록 그림 2와 같이 두께 10mm×폭 10mm인 시험편을 제작해 실험을 수행하였다.

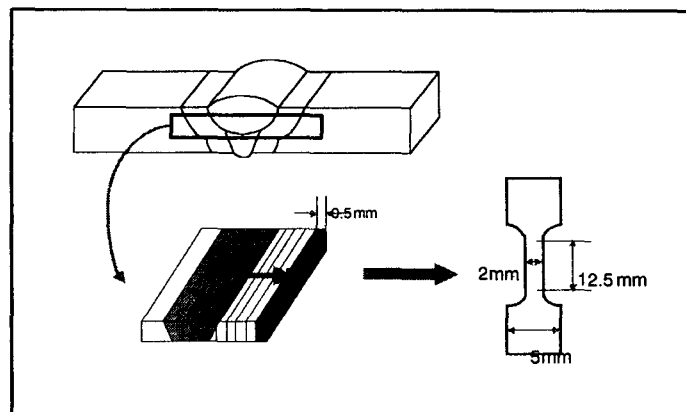


Fig. 1. The tensile test specimen of heat affected zone

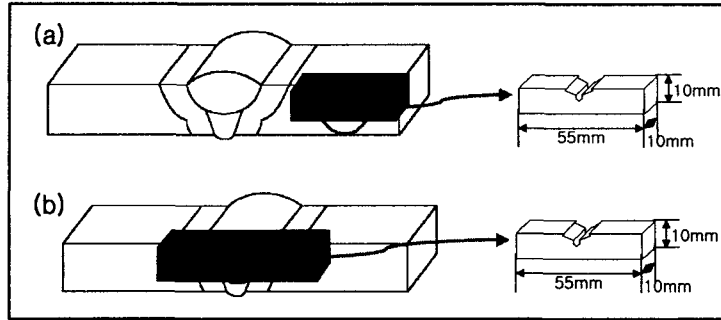


Fig. 2. CTOD test specimen of (a) base metal and (b) weld metal

3. 실험결과 및 고찰

인장시험결과, 모재, 용착금속, 열영향부의 대표인장곡선을 얻을 수 있었고, 시험편의 방향성은 무시할 수 있었으며, 상층부와 하층부의 경우에는 인장곡선이 오차 범위 5% 이내로 일치하나, 중앙부는 상층부 또는 하층부와 인장물성이 달라 손상평가도 작성 시 결함이 발생한 영역별로 그 영역에 해당하는 인장물성을 이용해야 함을 알 수 있었다(그림 3). 또한, 열영향부의 인장시험편은 마이크로 인장시험편을 사용했기 때문에 그 데이터의 타당성을 검증하기 위해 모재 및 용착금속에서 subsize 인장시험편과 마이크로 인장시험편의 비교 및 모재, 열영향부, 용착금속의 경도값과 마이크로 인장시험 결과로 얻은 항복강도, 인장강도의 비교를 수행한 결과, 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. CTOD시험 결과에서도 인장물성과 같이 부위별로 다른 CTOD값을 얻어냈으며, 평가 대상 영역에 해당하는 CTOD값을 이용해 손상평가도를 작성해야 함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 이용해서 길이방향 결함에 대해 결함깊이 별로 모재, 용착금속, 열영향부에 대한 손상평가도를 작성할 수 있었고, 특히, 열영향부의 경우, API 579, BS 7910과 같은 기존의 손상평가도를 이용하는 사용적합성 코드의 방법과 그림 4와 같은 차이를 보였다. 이는 기존의 사용적합성 코드에서는 열영향부에 결함이 발생할지라도 열영향부의 인장물성과 파괴인성을 구하기가 어려워 용착금속의 데이터를 이용해 손상평가도 작성에 적용시킨 결과로 인한 것이다.

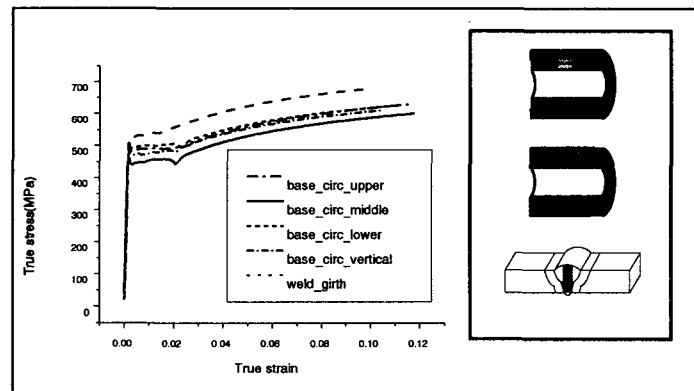


Fig. 3. Tensile curves of circumferential specimen

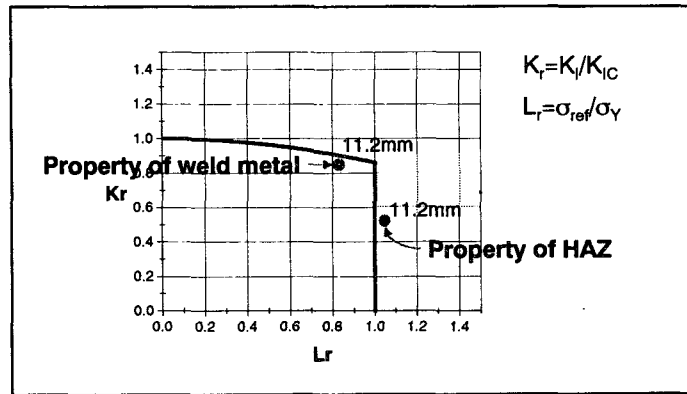


Fig. 4. Difference between the point by using properties of weld metal and of HAZ

4. 결론

천연가스 배관에 알맞은 손상평가도를 작성하기 위해 용접부의 모재, 용착금속, 열영향부의 영역별로 정확한 인장물성 평가와 파괴인성 평가가 필수적이며, 결함 발생 시 결함이 존재하는 영역의 인장물성과 파괴인성을 이용해야 정확한 안전성 평가가 가능하다. 또한, 기존코드에서는 열영향부의 결함에 대한 안전성 평가 시 용착금속의 물성을 사용하고 있는데, 열영향부의 물성을 사용하게 되면 안전성 평가 결과에 차이가 생기게 되므로 정확한 열영향부의 물성이 요구된다.

5. 참고문헌

- [1] PD6493: 1980, Guidance on Some Methods for the Derivation of Acceptance Levels for Defects in Fusion Welded Joints, British Standards Institution (1980)
- [2] BS7910: Guide and methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures, British Standards Institution (1999)
- [3] API Recommended Practice 579, First Edition, January 2000, American Petroleum Institute (2000)
- [4] CEGB R/H/R-6-Revision, Assessment of the integrity of structures containing defects (1998)
- [5] Gordon J.R.: Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 32, No. 3, pp.195-203 (1993)
- [6] Balsara M.N.: Application of Advanced Fracture Mechanics to the Assessment of Linepipe Defects, Pipe Technology, Vol. V, ASME (1996)
- [7] Anderson T.L.: Fracture Mechanics, Second edition (1995)
- [8] 김우식, 김철만, 정현호: 천연가스 배관의 파괴거동에 관한 연구보고서, 한국가스공사연구개발원 (1997)
- [9] Laukkanen A.: The Engineering Treatment Model and Comparison to R-6 revision 3, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 67, pp. 367-380 (2000)
- [10] Webster S., Bannister A.: Structural Integrity Assessment Procedure for Europe of SINTAP Programme Overview, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 67, pp. 481-514 (2000)