

원전 실배관과 시험편의 용접부 파괴특성평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Fracture Toughness of Welding Part of Nuclear Real Piping and Specimen

*김정기¹, 신인환¹, Li HaoChuang¹, #석창성², 구재민²

*J. K. Kim¹, I. H. Shin¹, H. C. Li², #C. S. Seok², J. M. Koo²

¹성균관대학교 기계공학부 대학원, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Fracture Toughness, Welding Part, Real Piping, Specimen, J-R curve

1. 서론

원전 배관의 건전성 평가를 위해서는 배관의 파괴인성치를 확보하여 균열의 안전성을 입증하여야 한다. 일반적으로 원전 배관은 용접에 의하여 연결되어 지는데, 모재부에 비해 용접부가 취약하여 균열이 용접부에서 발생할 가능성이 크다고 알려져 있다[1]. 하지만 용접부의 특성 복잡하여 체계적인 평가법이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 또한 실배관의 용접부에 대한 파괴저항 시험은 시험 조건과 구속 장치, 시험장비 미비로 인하여 수행하기 어렵기 때문에 시험편 시험으로 용접부의 파괴저항특성을 확보하고 있다. 따라서 본 연구에서는 용접부에 대한 시험편과 실배관 시험을 수행한 후 파괴저항 곡선을 비교하여 파괴특성을 평가하고자 한다.

2. 파괴저항 시험

2.1 시험편 제작

본 연구에서 사용된 재료는 원전 안전주입계통 배관인 SA312 TP304L 배관으로서 두께는 18mm, 직경은 168mm이며 2번의 GTAW 용접 후, 7번의 FCAW 용접하였는데, 용접조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Welding variables

Pass No.	Welding Method	Electrode Name	Layer THK	Heat Input (kJ/cm)
1~2	GTAW	ER308L	1.5	24.2
3~9	FCAW	ER308LTO-1	2.5	16.43

2.2 표준시험편의 파괴저항 시험

용접된 배관에서 시험편의 하중방향이 배관의 길이 방향과 동일하며 균열 진전 방향은 배관의 원주 방향이 되도록 시험편을 제작하였다. 두께가 18mm임을 고려하여 1T-CT 표준시험편의 1/2 두께를 갖는 0.5T-CT 시험편을 제작하였다. 각각 균열길이 비가 0.4, 0.55, 0.7이 되도록 피로예비균열을 삽입하였고, 파괴저항 시험을 수행하였다. 제하 컴플라이언스로부터 균열길이를 산출하였고, 시험편 파단 후, 이미지 프로세싱 방법으로 실제 균열길이와의 일치 여부를 확인하였다. 0.5T-CT 표준시험편은 ASTM E1820[2]을 통하여 파괴저항 곡선을 구하였으며, 관계식은 식 (1)~(3)에 나타내었다.

$$J_{el} = \frac{K^2(1-\nu^2)}{E} \quad (1)$$

$$J_{pl} = \frac{\eta A_{pl}}{B_N b_0} \quad (2)$$

$$\eta = 2 + 0.522 \frac{b_0}{W} \quad (3)$$

Fig. 1에 0.5T-CT 표준시험편의 같은 균열길이비에 대해서 모재와 용접부의 파괴저항 곡선을 비교한 것으로 균열이 초기구간인 0.5mm까지는 비슷한 수치를 보였으나, 그 이후로는 상당한 차이를 보였다. 이는 용접부의 특성상 잔류응력과 용접 결함 때문인 것으로 판단되며 균열이 성장할수록 그 차이는 커지는 것으로 나타났다.

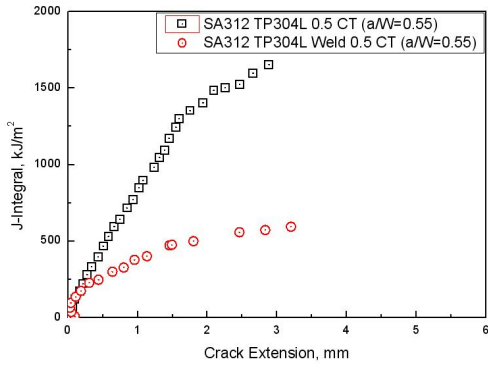


Figure 1. Comparison of J-R curves between welding and base metal

2.3 실패관의 파괴저항 시험

표준시험편의 경우에는 ASTM E1820[2]에 제시된 바와 같이 제하 컴플라이언스법, 정규화법을 사용하여 균열길이를 측정하도록 되어 있으나 실패관을 이용한 파괴저항시험의 경우 균열 진전 측정과 균열 진전의 연속적인 모니터링이 불가능하여 하중비법을 적용하여 균열길이를 도출하였으며, 식 (4)에 나타내었다. 식 (5)와 (6)은 J-적분식을 나타낸 것으로 Zahoor 등[3]이 제시한 식을 이용하여 파괴저항 곡선을 구하였다[4].

$$\frac{\theta}{\pi} = (1 - u^{0.85})^{0.27} \quad (4)$$

여기서

u : 무차원 컴플라이언스 식

$\frac{\theta}{\pi}$: 무차원 균열 길이

$$u = \frac{1}{\left\{ E t C \left(\frac{t}{R_m} \right)^{\frac{1}{n}} \right\}}$$

$$J_{cl} = K^2 / E' \quad (5)$$

$$J_{pl} = J_{p0} + J \int_{\theta_0}^{\theta} \gamma J_{p0} d\theta \quad (6)$$

Fig. 3은 실패관과 표준시험편의 파괴저항 곡선을 비교한 것으로 균열진전량이 2mm 일때, 파괴인성치는 약 2.5배 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

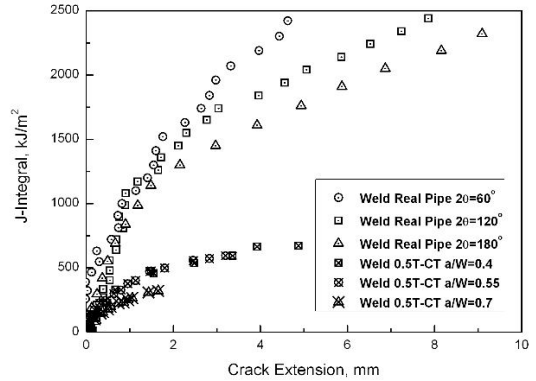


Figure 3. Comparison of J-R curves between 0.5T-CT specimen and real pipe

3. 결론

(1) 균열길이비가 다른 표준시험편과 실패관의 용접부 파괴저항시험을 수행한 결과 파괴저항 곡선에 초기 균열길이와 잔여 리거먼트가 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

(2) 용접부 실패관과 표준시험편의 파괴저항 곡선을 비교한 결과, 현저하게 차이가 나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 시험편의 파괴인성치가 실패관에 비해 상당히 보수성을 가지고 있음을 의미하는 것으로 향후 연구에서 시험편의 보수성을 고려한 연구가 필요하다고 판단된다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(no. 2012M2A8A1029423)

참고문헌

1. 김윤재, 허남수, 김영진, 2001, "파손평가도를 이용한 용접구조물의 건전성 평가법" 대한용접학회지, Vol 19 No 5, pp. 18~25
2. ASTM, "Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness", ASTM E1820
3. A. Zahoor, M.F.Kanninen, ASTM J. Pressure Vessel Technology, Vol. 103, pp. 352-358.
4. Li Haochuang, 신인환, 김정기, 박건태, 구재민, 석창성, 2012, "실패관 용접부의 파괴저항특성 평가" 한국정밀공학회 발표논문집, pp965-966