

Curved CT시험편을 이용한 용접부 파괴인성평가 Evaluation of the Fracture Toughness of Welding Part Using the Curved CT Specimen

*김정기¹, 신인환¹, 김익현¹, 구재민², #석창성²
*J. K. Kim¹, I. H. Shin¹, I. H. Kim¹, J. M. Koo², #C. S. Seok²
¹성균관대학교 기계공학부 대학원, ²성균관대학교 기계공학부
Key words : Fracture Toughness, Welding Part

1. 서론

원전 배관의 파괴인성치에 관하여 NUREG 1061, Vol. 3[1]에서는 LBB해석을 위해 시편의 두께가 배관의 두께보다 크거나 같고, 시편의 잔여 길이가 충분히 큰 시편을 이용해서 파괴저항시험을 수행하도록 권장하고 있다. 그러나 배관으로부터 큰 시편을 채취하는 것이 어렵기 때문에 실제의 배관의 두께보다 얇은 표준시험편(1T-CT)을 채취하여 파괴인성치를 구하고 있다. ASTM E1820[2]에 제시되어 있는 CT시험편은 실배관의 파괴거동을 매우 보수적으로 평가하는 것으로 알려져 있으며 이로 인해 LBB평가 결과도 보수적이기 때문에 실배관의 동일 두께 및 균열진전과 하중조건을 모사할 수 있는 Curved CT시험편이 보안책이 될 수 있다[3].

본 연구에서는 Curved CT시험편을 이용한 용접부 파괴저항곡선을 획득하고 이를 이용하여 모재와 용접부의 파괴인성치를 비교하였다.

2. Curved CT시편의 용접부 파괴저항시험

2.1 시편재료

본 연구에서 사용된 재료는 원전 배관 설비에 쓰이는 SA312 TP304L 스테인리스 강으로서 직경은 160.85mm이며 두께는 18mm이다. Table 1은 용접 조건을 나타낸 것으로, 총 9번의 패스로 배관을 용접하였으며, 두께 그대로 적용하여 시편을 제작하였다.

Table 1 Welding Condition

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 파괴저항시험

Curved CT시편의 용접부 파괴저항시험을 수행하기 위해 배관의 두께는 그대로 적용하였고, 표준시편의 0.7배의 형상으로 제작하였다. 균열길이비(a/W)가 각각 0.4, 0.55, 0.7이 되도록 피로예비균열을 삽입하였고, 1mm/min의 속도로 시험을 수행하였다. 시험은 부하와 제하를 반복하여 하중-하중선 변위선도를 획득하였고, 제하 컴플라이언스로부터 균열길이를 산출하였다. 계산된 균열길이의 유효성을 확인하기 위하여 파괴저항시험후 시편을 파단하였고, 가열 착색후, 이미지 프로세싱 기법을 이용하여 계산된 균열길이와 실제 균열길이의 일치여부를 확인하였다.



Fig. 1 Fracture Toughness Testing for Weld Curved CT specimen

2.3 시험 결과

Curved CT시편의 경우 ASTM E1820[2]에서 제시하고 있는 CT시편의 형상보정계수 F와 소성계수 η_{pl} 와 γ 의 식이 다르기 때문에 유상수 등[3]이 제안한 식을 이용하여 구하였고, 식 (1) ~ (3)에 나타내었다.

$$F = 6.64743 \left(\frac{a}{W} \right)^2 - 3.43003 \left(\frac{a}{W} \right) + 2.28792 \quad (1)$$

$$\eta = \frac{1}{36.42f} \left[\frac{-1.06203 \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 1.92984 \left(\frac{a}{W}\right) - 0.96767}{-0.35401 \left(\frac{a}{W}\right)^3 + 0.96492 \left(\frac{a}{W}\right)^2 - 0.96767 \left(\frac{a}{W}\right) + 0.35676} \right] \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{1}{36.42} \left[\frac{-2.12406 \left(\frac{a}{W}\right) + 1.92984}{-1.06203 \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 1.92984 \left(\frac{a}{W}\right) - 0.96767} \right] \quad (3)$$

식 (1)은 형상보정계수 F에 대한 식이고, 식 (2)와 (3)은 소성계수에 대한 식이다. 이 식들을 이용하여 J-R선도를 구하였고, Fig 2에 나타내었다. 균열길이비(a/W)가 다른 Curved CT시편의 용접부 파괴저항 시험 결과, 균열길이비가 0.4에서 0.7로 증가함에 따라 J-R선도는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 초기 균열길이와 리거먼트의 길이에 따른 영향으로 균열길이비가 증가하면 잔여 리거먼트가 감소하여 파괴인성치가 낮아지는 것으로 판단된다. Fig. 3은 같은 균열길이비(a/W=0.55)에 대한 모재부와 용접부의 J-R선도를 비교한 것으로 균열이 진행하면서 J-R선도는 상당한 차이를 보이고 있는데 이는 용접부 파괴인성에 영향을 주는 인자들인 용접잔류응력과 용접결함에 의해 생기는 것으로 판단된다.

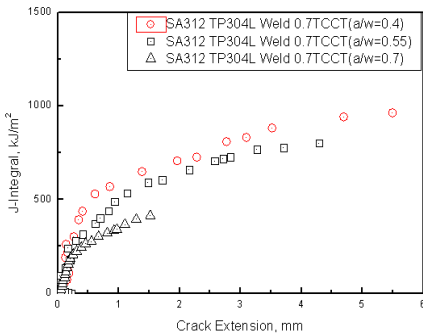


Fig. 2 Comparison of J-R curves for weld Curved CT specimen

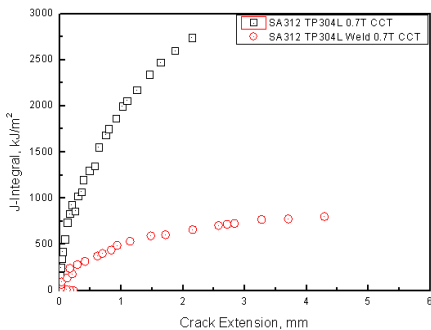


Fig. 3 Comparison of J-R curves between welding and base metal

3. 결론

(1) 균열길이비(a/W)가 다른 Curved CT시편의 용접부 파괴저항시험을 수행한 결과 J-R선도에 초기 균열길이와 잔여 리거먼트가 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

(2) Curved CT시편의 모재부와 용접부의 J-R선도를 비교하였으며, 그 결과 모재부에 비해 용접부의 파괴인성치가 상당히 낮은 것으로 나타났으며, 이는 용접부의 특성상 잔류응력, 열영향부의 조직, 및 용접 결함 때문인 것으로 판단되며 이들 인자들에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 본 연구의 용접조건이 실제 원자력 발전소에 쓰이는 용접조건과는 차이가 있기 때문에 실제 용접부의 파괴인성치와는 다소 차이가 있을 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 2단계 두뇌한국 사업과 2009년도 정부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0081802)

참고문헌

1. U. S. NRC Piping Review Commission, 1983, "Evaluation of Potential for Pipe Break," Report of the U. S. Nuclear Regulatory Commission Piping Review Committee, NUREG-1061, Vol. 3.
2. ASTM, "Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness", ASTM E1820-99
3. 유상수, 허용, 구재민, 석창성, "Curved CT시편편을 이용한 파괴인성 평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 2009