

# 실배관 용접부의 파괴저항특성 평가

## Evaluation of the Fracture Resistance Characteristics of Welding Part in Real Pipe

\*Li Haochuang<sup>1</sup>, 신인환<sup>1</sup>, 김정기<sup>1</sup>, 박건태<sup>1</sup>, 구재민<sup>2</sup>, #석창성<sup>2</sup>  
 \*H.C.Li<sup>1</sup>, I.H.Shin<sup>1</sup>, J.G.Kim<sup>1</sup>, K.T.Park<sup>1</sup>, J.M.Koo<sup>2</sup>, #C.S.Seok(seo@skku.edu)<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>성균관대학교 기계공학부 대학원, <sup>2</sup>성균관대학교 기계공학부

Key words : fracture toughness, real pipe, welding part

### 1. 서론

탄소성 파괴역학에 의한 배관의 용접부의 파괴 특성을 평가하기 위해서는 용접된 실배관에 의한 파괴저항시험을 수행하는 것에 의해서 파괴저항 특성을 확인하는 것이 가장 정확하다. 그러나 많은 연구자들은 용접부를 갖는 실배관에 의한 파괴저항시험을 수행하기 어렵기 때문에 표준 CT 시편과 소형 비표준시편등을 사용하여 파괴저항시험을 수행하고 있다. 그러나 표준 CT 시편과 소형 비표준시편을 통해 평가된 파괴저항치는 실배관과의 구속효과 차이로 인해 매우 보수적인 경향이 있다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 용접된 실배관 시편을 이용한 파괴저항시험을 수행하고 이 결과를 모재 실배관의 파괴저항시험결과와 비교하여 배관 용접부의 파괴저항특성을 확인하고 평가하고자 한다.

### 2. 파괴저항 시험

#### 2.1 시험 재료 및 시험편

본 연구에서는 원전설비 안전주입계통 배관과 동일한 소재인 SA312 TP304L 재질의 실배관에 대한 파괴저항시험을 수행하였다. 이를 위하여 1.5m 길이의 Table 1과 같은 치수를 갖는 실배관 2개를 원전배관 용접방식과 동일한 GTAW 방식으로 용접하여 3m 길이의 실배관 용접시험편을 제작하였다.

Table 1 Pipe dimension

SA312 TP304L	Outer diameter	168.3mm
	Inner diameter	150.0mm
	Thickness	18.3mm
	Length	18.3mm

모재와 비교하기 위해서 박수 등[1]이 수행한 모재 배관 시험편의 같은 균열을 삽입한 후 4점굽힘

시험을 수행하였다. 균열각이 60°, 120° 및 180°인 경우에 대해 수행하였으며, 각각의 시험 결과를 비교하기 위해 기존의 배관시험 결과를 활용하였다.[2]

#### 2.2 실배관 용접부 파괴저항시험

배관의 용접부에 원주방향 관통균열을 삽입한 후 실배관에 대한 4점 굽힘시험을 25톤 용량의 전기유압식 만능시험기인 Instron사의 Model 8802를 가지고 수행하였다. COD gauge를 이용하여 CMOD(crack mouth opening displacement) 값을 측정하였다. Fig.1은 4 점 굽힘 시험을 도시적으로 나타낸 것이다.

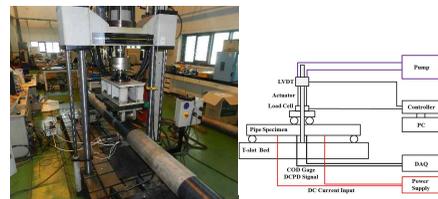


Fig. 1 4 points bending test for welding real pipe

(1)하중비법을 이용한 균열길이계산식 도출  
 실배관의 파괴저항시험 시 균열 길이 측정을 위하여 하중비법을 사용하였는데, 실배관의 파괴저항시험 시 획득한 하중-하중선 변위 선도로부터 균열길이를 도출하였다. 박수 등[1]은 배관의 균열 길이에 따른 컴플라이언스를 구하기 위하여 초기 원주 방향 관통 균열이  $2\theta=60^\circ$  부터  $2\theta=210^\circ$  까지  $30^\circ$  씩 균열길이를 증가시켜 가며, 배관 해석 모델을 구성하여 유한요소 해석을 수행하였는데, 이때, 배관 두께와 지름의 변화를 고려하여  $R_m/t$ 를 4.5와 5.20에 대해서 해석을 수행하였다. 그 결과로 식(1)과 같은 무차원 균열 길이와 무차원 컴플라이언스와의 관계를 구하였다.

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

여기서,

$\frac{\theta}{\pi}$ : 무차원 균열 길이

u: 무차원 컴플라이언스 식

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

이다. 본 연구에서는 식(1)을 사용하여 배관 시험 결과로부터 컴플라이언스를 계산하고 균열 길이를 산출하였다.

(2) J-적분계산식

Rice et. al 등이 J적분식을 탄성  $J_e$  과 소성  $J_p$  로 정의하였으며, 식(2), (3)과 같다.

$$J = J_e + J_p \tag{2}$$

$$J_e = K^2 / E' \tag{3}$$

여기서,  $E' = E(1 - \nu^2)$ ,  $E$ 는 Young's Modulus이며,  $K$ 는 탄성 확대 계수,  $\nu$ 는 Poisson's ratio이다. Zahoor 등[3]은 다음과 같은 J-적분식을 제시하였다.

$$J_p = J_{p0} + J \int_{\theta_0}^{\theta} \gamma J_{pl} d\theta \tag{4}$$

$$J_{p0} = \int_{a_0}^a \eta_{pl} P d\Delta_{pl}$$

$$\eta_{pl} = \frac{0.5 [\sin(\theta/2) + \cos\theta]}{2Rt [\cos(\theta/2) - 0.5\sin\theta]}$$

$$\gamma = \frac{[0.5\cos(\theta/2) - \sin\theta]}{[\sin(\theta/2) + \cos\theta]}$$

본 연구에서는 시험으로부터 얻은 하중-하중선 변위 선도 및 균열길이 데이터를 식(4)를 이용해 J-적분값을 구하였다.

2.3 시험 결과

Fig2는 용접부를 갖는 실패관의 4 점 굽힘 시험을 통해 얻은 J-R 선도를 나타낸 것으로 균열 길이가 J-R 곡선에 영향을 미치며, 균열이 커질수록 J-R곡선이 낮아지는 것을 확인하였다.

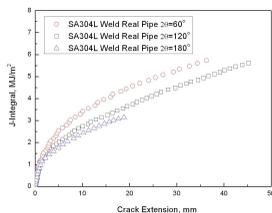


Fig. 2 J-R curve for welding real pipe

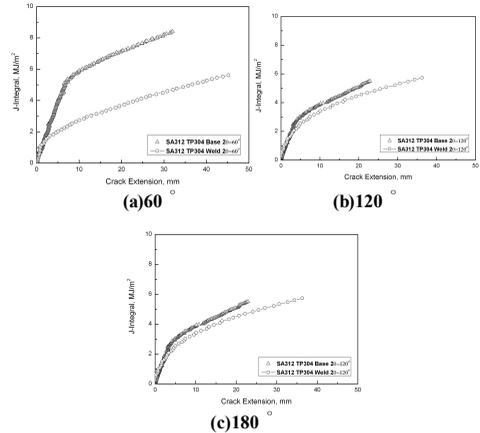


Fig. 3 Comparison with J-R curve for welding real pipe and basic material real pipe(60 ° 120 ° 180 °)

Fig.3은 SA312 TP304의 모재[1]와 용접부의 J-R 곡선을 균열각에 따라 비교한 것으로서 전체적으로 용접부의 J-R곡선이 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 균열각이 클수록 그 차이가 감소하다가 180°의 경우에는 거의 차이가 없는 것으로 나타난다.

#### 4. 결론

- (1) 균열 길이별 J-R 곡선을 비교하여 균열 길이가 실패관 용접부의 파괴저항특성에 영향을 미치는 것으로 확인 되었다.
- (2) 모재부의 J-R 곡선을 비교할 때 용접부의 파괴저항이 더 낮게 나타나고 있음을 알 수 있었으며, 특히 균열각이 클수록 그 차이가 감소하다가 180°의 경우에는 거의 차이가 없는 것으로 나타난다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

1. S.Park, H.H.Kwon, J.M.Koo, C.S.Seok, KSME 11RE045, pp.116-117
2. S.Park, S.S.Yoo, J.M.Koo, C.S.Seok, The 8th International Workshop on the Integrity of Nuclear Components, 2010.
3. A. Zahoor, M.F.Kanninen, ASTM J. Pressure Vessel Technology, Vol. 103, pp. 352-358.