

압입시험법에 의한 용접강도 평가 The Evaluation of Welding Strength Using Indentation Technique

*박상기¹, #안연식¹, 길두송¹

*S. K. Park (skpak@kepri.re.kr)¹, Y. S. Ahn¹, D. S. Gil¹

¹전력연구원 엔지니어링센터

Key words : Welding, Non destructive testing, Indentation Technique, Strength

1. 서론

용접부 품질은 용접 시공시에 결정되므로 발전소 건설중 용접품질관리 정도에 따라 발전설비의 품질이 정해진다고 할 수 있다. 용접부 기계적 특성을 평가하기 위해 일축인장시험은 재료의 탄성 및 소성 성질 전반에 관한 자세한 정보를 제공해 주므로 설비/구조물의 건전성을 평가시에는 필수적으로 인장시험이 수행되고 있다. 또한 발전소 건설중 용접부는 각 용접조건에 대한 인장강도를 표기한 PQR (Pre-Qualification Record)이 작성되어 제출된다. 그러나 PQR은 현장 용접조건을 재현한 한 가지 시험편에 대하여 실험실적으로 수행한 결과를 기록한 것이기에 현장 용접부의 각 구조조건 및 시공환경에 따른 물성 변화를 반영하기에는 한계가 있다. 최근에는 소재에 압입하중을 다중 인가 및 제거와 압입하중에 따른 압입깊이의 변화를 계측하여 비파괴적으로 인장 물성을 평가하는 연속압입시험법의 적용이 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 연속압입시험법에 의해 인장물성을 비파괴적으로 측정하고 그 신뢰성을 평가하고자 하였다.

2. 연속압입시험법 이론

연속압입시험을 통해 얻을 수 있는 압입하중-변위곡선은 Fig. 1(a)과 같으며, 일반적으로는 다중 압입 시험방식을 이용하여 Fig. 1(b)과 같은 곡선을 얻게 된다. Fig. 1(a)에서의 S는 재료의 stiffness에 해당되며, 탄성변형을 고려한 접촉깊이 h_c^* 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$h_c^* = h_{max} - \omega \frac{L}{S} \quad (1)$$

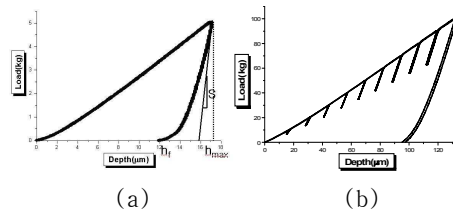


Fig. 1. Indentation load-depth curves
일축인장시험을 통해 얻어지는 인장곡선의 항복 이후의 영역에서 진응력과 진변형률은 일반적으로 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\sigma = K \epsilon^n \quad (2)$$

(σ : 진응력, K : 응력계수, ϵ : 진변형률)

변형률은 식 2와 같으며, a 은 0.1, R 은 접촉반경을 나타낸다.

$$\epsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{1-(a/R)^2}} \frac{a}{R} \quad (3)$$

다음으로 압입자 하부의 응력은 압입하중과 접촉면적의 비인 평균압력(P_m)과 일정한 관계를 가지고 있는데, 일반적인 인가하중인 kgf 이상의 하중에서는 일정한 상수비(Ψ , 일반적으로 3)를 가지며, 이 상수는 압입시험을 통해 결정된다.

$$\sigma = \frac{P_m}{\Psi} \quad (4)$$

Fig. 1(b)와 같이 다중하중제거 시험방식을 통해 얻어진 압입하중-변위곡선에서 각 하중제거곡선을 이용하여 접촉깊이와 접촉반경을 결정하고, 이를 통해 진응력과 진변형률을 구하게 된다.

3. 압입시험 및 평가

압입시험법의 배관 용접부에 적용 가능여부를 확인하기 위하여 화력발전소 재열증기 배관에 대한 압입시험을 실시하였다. 또한 압입시험법의 측정결과의 정확성을 평가하기 위하여 기존의 일축인장시험을 실시하여 그 결과를 비교하여 신뢰성을 평가하였다.

3.1 재열증기배관 용접부 측정

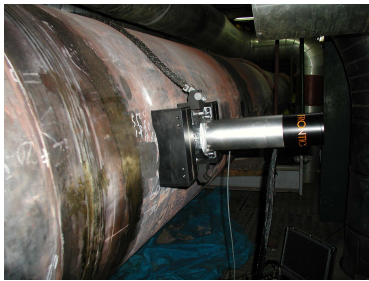
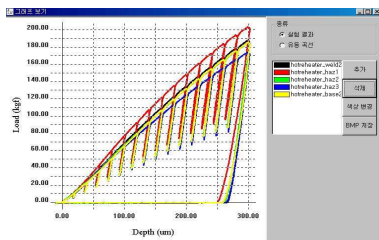
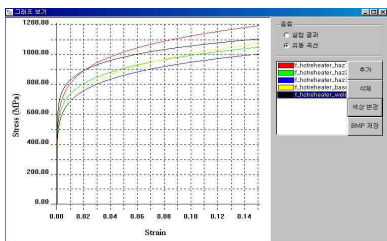


Fig. 2. Indentation test for weldment



(a) load-depth curves



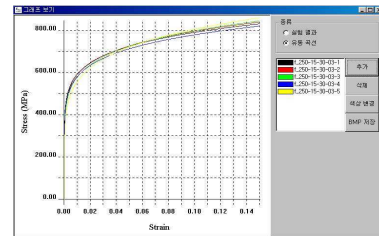
(b) flow curves

Fig. 3. Indentation curves at base/HAZ/weld 용접부에 대한 각 부위별 인장강도를 측정하기 위하여 모재, 열영향부(HAS), 용착금속에 대하여 시험하였다. 열영향부는 구간별 강도변화를 확인하기 위하여 각 구간을 구분하여 시험하였다. Fig. 3은 압입시험결과로서 항복강도는 용착금속

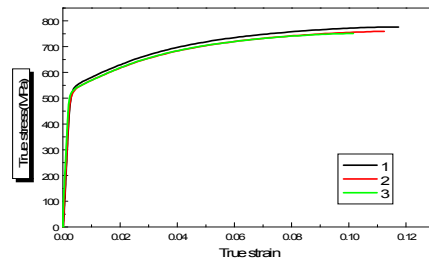
에서 열영향부, 모재로 갈수록 낮아지는 양상을 보이지만, 인장강도의 경우 용착금속과 모재의 경우 동일한 값을 갖는 것으로 나타났다. 한편 haz1의 경우 용착금속 및 모재의 인장강도 이상의 값을 갖지만, haz3의 경우에는 인장강도가 모재 및 용착금속의 인장강도 이하로 낮아짐을 확인할 수 있다.

3.2 신뢰성 확인을 위한 비교시험

압입시험은 AIS2000을 인장시험은 Instron 5582 인장시험기를 사용하여 각 3회씩 시험하여 평균치를 비교하였다.



(a) Indentation test



(b) Tensile strength test

Fig. 4. Test result using two methods 측정시험결과 압입시험은 780MPa, 표준인장시험은 762 MPa로 측정되어 표준인장시험과의 오차는 2.4%가 발생하였다.

4. 결론

압입시험은 용접부위에 대해 세부적으로 기계적 특성을 측정할 수 있는 유용성을 확인하였으며, 표준인장시험과의 오차는 2.4% 정도로서 신뢰도는 양호하였다. 따라서 압입시험에 의하여 현장 설비의 기계적 특성을 비파괴적으로 측정할 수 있어 적용시 설비 신뢰성 향상에 기여할 것으로 사료된다.