

평판-관 구조물 용접시 발생하는 종수축량에 관한 연구

대우조선공업(주) 이만승*

대우조선공업(주) 한종만

1. 서 론

용접구조물 제작에 있어서 정도있는 용접 변형량 예측은 초기 변형이나 과도한 잔류응력이 존재하게 되는 것을 억제하고, 신속한 건조를 도와 많은 시간과 경비를 절감하게 할 수 있게 한다. 용접 변형량 예측의 실험적인 방법으로는 구조물 제작과정에 따른 용접 변형량을 측정하고, 이를 축적해서 Data Base를 구축함으로써 수행할 수 있고, 해석적인 방법으로는 주로 유한 요소해석을 이용하지만 일반적인 3-D 용접변형 해석의 경우, 구조물의 설계변경시와 새로운 형상의 구조물에서의 용접 변형량 예측에 능동적으로 대처할 수 있다는 장점이 있지만 실구조물을 해석에 따른 Computer 용량 제한 및 비선형성으로 해석에 많은 어려움이 따른다. 그러므로 용접 변형량 예측의 연구방향은 실측 변형량 Data를 근거로하여 간이 해석법을 개발하는 추세로 진행되고 있다.

본 연구에서는 보일러의 Pipe wall에 사용되는 다수의 평판-관 용접으로 이루어진 구조물(Tube Panel)을 대상으로 용접 종수축량을 평가한다. Tube Panel 종수축량 해석에서 3-D FEM에 의한 열탄소성 해석과 수축 변형률과 구조적 강성관계를 이용한 간이 모델에 의한 해석을 행하고, 실측치와의 관계를 설명함으로써 용접 구조물 변형예측에서 간이 모델 적용의 타당성을 검토하였다.

2. 3-D FEM에 의한 열탄소성 해석

일반적으로 용접해석은 비선형, 열탄소성 해석으로 재료적, 기하학적 비선형성을 가진다. 이와 같은 복잡한 문제의 경우 FEM Code를 이용하여 해석하는 경우가 많다. 본 연구에서는 ANSYS 5.0 Code를 이용하여 Thermal Analysis를 먼저 행하고, 이 결과를 이용하여 Deformation analysis를 수행하였다. 일반적으로 용접 Bead 부위와 같이 온도와 응력이 급변하는 부위에서는 Fine mesh를 하나 본 연구에서는 Computer의 한계와 용접길이가 두께에 비해 길기 때문에 두께방향으로 하나의 요소로만 모델링하였다. 해석에 사용된 Input Parameter는 다음과 같다.

- Welding line : 250 × 2 mm (Symmetric Model)
- Element : 8, 20-node Solid Element
- Heat flux : In surface, one pass
$$q = \eta_a EI / (1055 bL) \text{ (J)}$$

where, $\eta = 0.85$ (FCAW), $E = 32 \text{ V}$, $I = 273 \text{ A}$
Speed = 45cm/min
Throat Thickness = 4mm
- Heat input shape : Square ramp heat input
- Convection : Free convection heat loss ($h=1.E-5 \text{ Btu/in}^2 \cdot \text{F}$)
Shielding gas의 영향은 고려하지 않음.
- Phase Change : Mild steel에서 영향이 미소하므로 고려하지 않음.
- Strain Hardening : Multilinear Kinematic Hardening

Fig.1에서 용접 Bead 상면, 용접 Bead 뒷면 및 Pin 가장자리에서의 시간에 따른 온도변화를 나타내었고, Fig.2에서는 Heat source가 이동할 때 나타나는 모델의 온도분포를 나타낸다. 온도해석은 비교적 큰 Element mesh에서도 양호한 결과를 보이고 있다. 한편, 이 온도분포를 이용한 변형 해석은 고온에서 Weld metal이 액체상태로 되었다가 다시 응고될 때 Strain이 완전히 제거되었다가 새로운 Strain이 발생하는 현상을 해석모델에서도 Simulation해주지 않는다면 용접수축량이 대단히 과소평가 된다.

3. 간이 해석법(Shrinkage Model)

본 연구에서는 Strain shrinkage와 Structural rigidity의 상관관계를 이용한 간이모델을 사용하여 구조를 Shell로서 모델링하고 구조의 강성을 구사하였다. 간이모델의 해석 Parameter는 Heat input temperature, Mesh size 및 용접 Bead의 Heat Input수를 가진다. Fig. 3에서는 사다리꼴 형상의 Tube Panel의 용접을 간이모델로서 용접수축량을 평가한 결과를 나타내고, Fig. 4에서는 실측 결과와 간이 해석결과 사이에 해석 Parameter에 따른 관계를 나타내고 있다. 여기서, Heat Input Temperature의 증가에 따라 변형량이 선형적임을 나타낸다. 해석결과에 영향을 주는 이들 Parameter들이 실험결과에 수렴하도록 하는 한계치를 찾는 것이 필요하다.

4. Tube Panel의 종수축량 측정

8개의 Tube와 7개 Pin으로 조립된 사다리꼴 Tube Panel의 종수축량을 15회 측정하고 결과를 Fig. 4에 표시하였다. 용접방법은 FCAW, 전압 32V, 전류 273A, 속도 45cm/min, 각목 = 4mm, Weld line = 1400mm~2900mm이다.

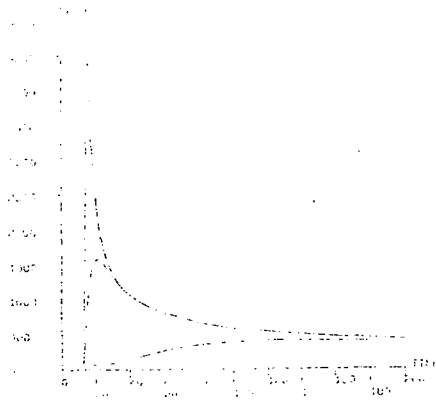


Fig. 1 Temperature Variation on Bead, Back Surface and Edge according to Time

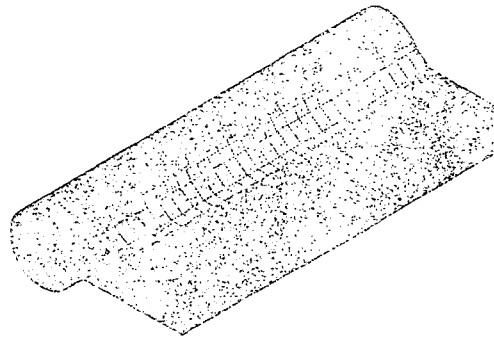


Fig. 2 Temperature Distribution by Moving Heat Source

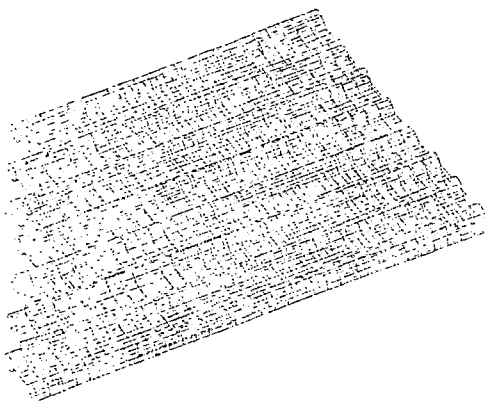


Fig. 3 Welding Longitudinal Shrinkage in Simplified Model

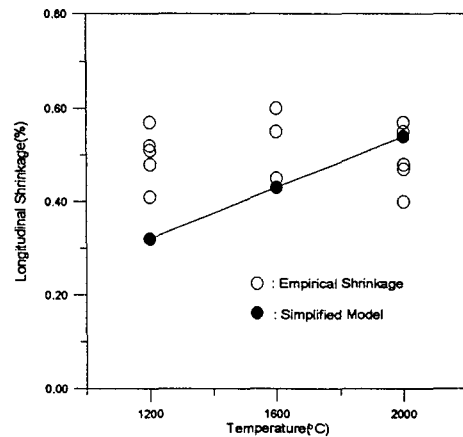


Fig. 4 Comparison of Empirical Shrinkage and Simplified Model