

L2 형강 용접시 발생하는 굽힘변형에 관한 연구

A study of Welding Distortion on L2-type Beam

이 만승, 한 종만

대우중공업(주) 기술연구소

1. 서 론

용접 변형에 관한 문제들은 지금까지 주로 발생 메카니즘과 변형방지를 위한 용접순서와 조립순서 및 발생한 변형의 교정측면에서 연구되어 많은 연구성과를 거두어 왔다. 그러나 용접변형량 예측면에서는 연구활동이 활발하지 않으며, 현재 조선 생산성에서 선두를 유지하고 있는 일본에서도 전체 용접작업의 40~50%를 교정작업에 사용하고 있는 실정이다[1]. 따라서, 용접변형량 감소와 수정작업 감소를 위해 설계단계에서부터 정확한 용접변형량을 추정하여 미리 용접 마진을 주는 보다 새롭고 적극적인 방법이 필요한 상황이다.

용접 변형량 예측의 방법적인 면에서는 실험적인 방법과 해석적인 방법이 있다. Computer를 이용한 해석적인 방법으로는 상세한 유한요소 해석법이 있으나 용접이 가지는 재료의 비선형성, 시간, 온도 의존성 등의 복잡한 해석과정과 전류, 전압, 속도, 용접 Sequence, 구속조건 등의 많은 Parameter로 인해 해석시 과도한 CPU time 소요와 Computer memory의 초과로 특히, 대형 구조물의 용접변형을 해석한다는 것은 Super computer를 사용한다 하더라도 현실적으로 불가능하다. 따라서, 용접변형 해석에 용접구조의 특성을 단순화시키고 지배적인 주요 Parameter들만을 고려하는 간이해석법이 사용되고 있다. 이 방법에는 Strip 이론, 수축 Bending moment등을 이용하는 이론적인 방법, 고유 변형률 이론을 사용하는 방법, 용접 수축량과 구조물 강성관계를 이용하는 방법등이 있다. 한편, 실험적인 방법으로는 적용대상에서 제한적인 기존의 실험식을 이용하는 방법 및 실구조물의 변형을 실측하여 Data Base화하고 이를 구조의 특성치 및 용접 Parameter에 따라 내삽, 외삽하는 실험식을 만들고 Computer program화하여 실구조물 변형을 예측하는 방법 등이 있다. 용접 변형량 예측기법은 위에서 언급한 해석적인 방법과 실험적인 방법을 병행하고 상호 보완해서 연구해 나갈때 정도있는 예측기법이 구축될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 실구조물 용접 변형량 예측법의 한 적용 예로서 Open Hatch Bulk Carrier에 사용되는 L2 type 형강인 Gantry crane rail support(Fig. 1) 용접변형을 용접 수축력과 구조물 강성과의 관계를 이용하는 간이 해석법과 실험모델1,2,3(Fig. 2)을 사용하여 용접 변형량을 예측하고 이 예측된 결과에 의해서 구조물 제작순서와 제작방법을 선정한 사례를 설명하였다.

2. 간이 유한요소해석에 의한 용접 변형량 추정

대형구조물의 용접변형 해석은 다수의 용접 Parameter중 변형에 영향이 큰 인자만을 해석 Parameter로 고려하는 간이적인 유한요소해석을 이용하여 근사적으로 추정할 수 있다 [2,3]. L2-type 형강인 Crane rail support의 용접변형량 해석의 경우는 Strain shrinkage와 Structural rigidity의 상관관계를 이용하는 간이모델을 사용하여 전체 구조를 8-node solid element로서 모델링하였다(Fig. 3).

Strain shrinkage와 Structural rigidity의 상관관계를 이용하는 간이모델을 사용한 해석에서 변수로서 작용하는 해석 Parameter는 Heat input(temperature), Bead의 heat input수, Mesh size를 가지고 이들의 특성은 다음과 같다.

- 1) Heat input(temperature) 증가에 따라 용접 수축량은 선형적으로 증가한다.
- 2) 용접 Bead를 표현하는 Element 종류와 Heat input되는 node수에 따라서 용접수축량은 달라진다.

3) 용접 Bead부위의 Mesh size에 따라 용접 수축량은 변한다.

- Element 종방향 크기는 종수축량에 무관하다.
- Element 종방향 크기는 횡수축량에 무관하다.
- 용접 종수축량은 Heat input되는 node를 가지는 Element의 Transverse size를 변수로 가진다.

간이모델의 용접변형량 추정은 사용한 해석 Parameter에서 일관성을 유지해야 하고, 확정된 해석 Parameter에 의한 해석결과는 실험결과와 실구조물 실측치에 접근해야 한다. 따라서, 실험모델의 결과를 이용하여 간이해석 모델의 해석 Parameter를 확정할 수 있다.

3. 용접 변형량 예측을 위한 실험

3.1 실험 모델 1

용접 Process는 후퇴법으로 필렛 양쪽을 번갈아가면서 CO₂ 수동용접을 한다. 용접 후 20분이상의 시간이 지나서 변형량을 측정하고 이때 측정방법은 Web와 Face 끝단에 Piano선을 부착하여 모델 중심에서의 처짐량을 기록하였다. 실험결과를 Table 1에 나타내었고, 각 변형과 뒤틀림은 없었다.

한편, 용접변형량 완화측면에서 Vibration Stress Relief방법[4]으로 용접 잔류응력을 완화시킨 후 변형량 측정을 하였으나 V.S.R.전후에 모델의 변형량 감소는 없었고 잔류응력 완화량은 자화식 응력지시계로 V.S.R.이전과 이후에 측정했을때 약간 발생한 것으로 나타났다(Fig. 5).

3.2 실험 모델 2, 3

실제구조와 동일한 Dimension에 단지 길이만 2,950mm로 축소한 경우를 대상으로 실험모델 2에서는 Bracket을 부착하지 않고 전진법으로 용접하였고, 실험모델 3에서는 Bracket을 부착하고 후퇴법을 사용하여 용접하는 경우를 실험하였다. 용착순서는 실험모델 1과 동일한 방법으로 행하였다.

실험모델 2의 용접변형량은 Table 1에 나타내었고, Bracket을 부착하지 않고 단지 가접한 상태에서 본용접을 수행하였으므로 두께가 얇은 Web Plate의 종방향 양끝단이 각각 +3mm, -8mm로 twisting하는 변형이 발생하였다. 실험모델 3에서는 Bracket을 먼저 1 pass만 용접한 후 Web와 Face 용접을 수행하고 Bracket의 나머지 2, 3 pass를 용접하였으므로 Bracket 강성의 저항으로 모델은 twisting이 발생하지 않았다.

한편, 실험모델 2, 3에서 전진법과 후퇴법으로 인한 변형량의 차이는 발견할 수 없었다. 실험모델 3에서 용접후 V.S.R.처리를 하였으나 용접변형량 감소는 없었고, 용접 잔류응력의 경우는 다소 감소한 것으로 나타났다(Fig. 5).

또한, 제작이 완료된 실험모델 2와 3을 종방향으로 연결하는 용접을 하였을때 Web와 Web간의 수직용접은 x개선, Face와 Face간의 용접은 위보기 용접을 방지하기 위해 v개선을 사용하였고, Root Gap은 3mm였다. 용접 후 발생한 종수축량은 용접 Bead를 중심으로한 측정거리 300mm에서 3mm, 800mm에서는 2mm로 측정되었다.

4. 실험결과와 실구조물 적용

L2-type 형강인 Crane rail support 실구조의 용접변형량은 실험모델에서 변형을 일으키는 용접수축력을 간이 해석법에 적용함으로써 추정할 수 있다. 또한, 실구조물 제작시 사용될 최적 용접법은 실험에서 검토된 다양한 구속조건과 Procedure 중에서 선택한다.

- 1) 용접순서는 Bracket outside방향으로 1 pass 용접한 후 Web와 Face용접을 행한다.
- 2) Web와 Face 용접은 길이가 긴 실구조에서 twisting의 우려가 있으므로 후퇴법을 사용하고, 용착순서는 실험시편과 동일하게 수행한다.

3) 구속조건은 수직방향(y축 방향)으로 실구조의 양단이 지지되도록 함으로서 Simple support조건으로 자중에 의한 처짐억제 효과를 얻도록 한다. 이 상태에서는 6.2mm 정도로 구조물 중앙부가 상향할 것으로 평가된다(Fig. 4). 또한, 수평방향(x축 방향)의 처짐은 17.2mm 정도로 구조물 중앙부가 x축 양의 방향으로 편향할 것으로 예상되어 이를 방지하기 위해 구조물 중앙부에 10mm의 역변형을 존재하도록 용접전에 미리 구속한다. 이 구속을 위해 x축의 음의 방향으로 803kg의 부과하중이 필요하다.

4) 단위 Crane rail support(Length:13,175mm)의 중수축량은 2.2mm로 예상되고, 제작이 완료된 상태에서 종방향으로 연결하는 용접은 실험모델과 동일하게 수행한다. 단, 이때 구조의 종방향 수축은 용접 Bead에서 150mm 거리에서는 1.5mm, 400mm거리에서는 1mm 수축 여유가 되도록 Hole을 시공해야 한다.

5) 실구조물 용접 후 V.S.R.에 의해 용접 잔류응력을 완화함으로써 발생될 수 있는 용접변형 완화효과는 실험모델에 의해 미소한 것으로 나타났기 때문에 실구조물 제작시 V.S.R.처리는 불필요한 것으로 평가되었다.

Table 1 Welding Distortion of Structures on Model Test & Simplified Analysis(mm)

모델의 종류	모델 실험			간이 해석		
	x방향처짐 δ_x	y방향처짐 δ_y	중수축량	x방향처짐 δ_x	y방향처짐 δ_y	중수축량
실험모델 1	1.5	1.5	0.5	1.5	0.9	1.0
실험모델 2,3	1.0	0.0	0.0	1.1	0.6	0.6
실구조물 (참조안은 자중고려)	-	-	-	21.4 (17.2)	11.5 (6.2)	2.6 (2.2)

5. 결 론

실구조물의 용접변형량 예측은 용접변형이 가지는 복잡한 메카니즘 때문에 실험적인 방법에서의 접근 외에는 평가되지 않고 있었으나 최근 경쟁력 강화를 위한 조선 생산성 향상의 요구가 증대됨에 따라 간이적인 해석기법에 의한 실구조물 용접변형량 예측에 대한 필요가 발생하였다. 정밀성있는 용접변형량 예측기법에 의해 예측된 변형량은 구조의 용접 수축마진을 결정하고 이를 설계에 반영함으로써 현재의 과도한 용접 수정작업을 줄임으로 생산성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

6. 참고 문헌

1. Yasuhisa Okumoto, Shin-ichi Matsuzaki : "Study of Accuracy Control of Hull Structure", Journal of Ship Product, Vol.10, No.1, Feb. 1994, pp.51-58.
2. Chon L. Tsai: "Computer-Aided Welding Engineering Design and Analysis", Department of Welding Engineering, The Ohio State University, 1987.
3. Chon L. Tsai, James C. Papritan : "Prediction and Control of Welding Stresses and Distortion of Welded Structures", Depart. of Welding Engi., The Ohio State Univ., 1991.
4. 이 만승, 한 중만: "V.S.R. Machine을 이용한 용접잔류응력 제거기술 개발", 대우조선공업주식회사 연구보고서, 1992.

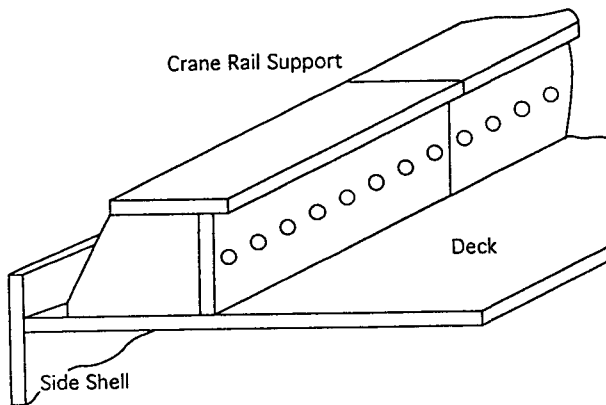


Fig. 1 Crane Rail Support installed in Open Hatch B/C Deck

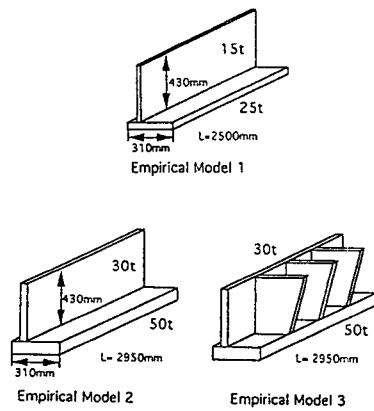


Fig. 2 Empirical Model Shape and Dimension

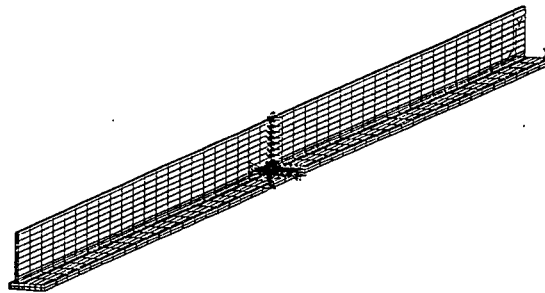


Fig. 3 Finite Element Model of Crane Rail Support

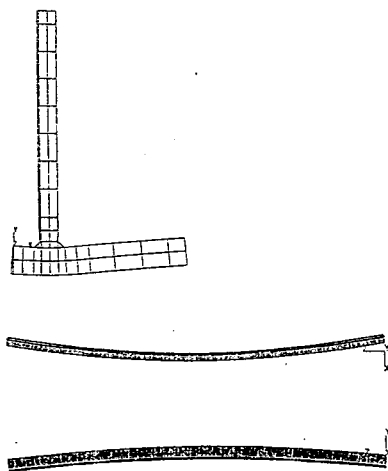


Fig. 4 Bending & Anguler Distortion in Real Size Model

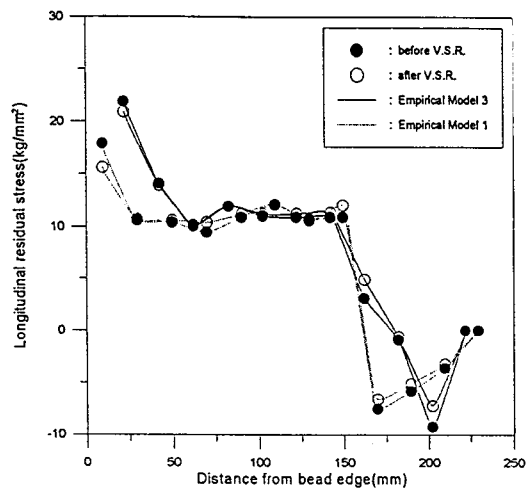


Fig. 5 Longitudinal Residual Stress on Face of Empirical Model 1,3 before & after V.S.R.