2005년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2005년 6월, 서울

박판 곡직을 위한 선 가열 시 변형 특성에 관한 연구

Deformation by line heating for thin plate

박 중구*, 장 경복*, 조 시훈*, 장 태원*
* 삼성 중공업 거제 조선소 생산 기술 연구소 용접 연구

ABSTRACT The line heating methods is very widely employed to correct deformation of thin plate structures. In this study, evaluation was carried out on the temperature distribution of line heating methods using FEA and practical experiments. In FEA, heat input model was established using Tsuji's double Gaussian heat input mode. This model was verified by comparing with experimental data. Thermo elasto-plastic analysis was performed using commercial FE code, MSC/MARC. Transverse shrinkage and angular distortion were measured using 3D measuring apparatus. Based on these results, a simplified analysis method is applied by using equivalent loading method.

1. 서 론

최근에 고부가가치 선박의 건조에 관심이 높아져 가고 있으며, 특히 여객선 및 초호화 크루즈선 건조를 위한 기술 개발에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 일반적으로 여객선 건조 시 높은 운항 속도를 확보하기 위해 선체 중량을 최소화하고 있으며, 이를 위해 여객선 거주구 블록의 경우 박판(5~6㎜)이 많이 사용되고 있다. 박판의 경우는 후판에 비해 변형 양상이 복잡하고, 발생하는 변형 량도 크다. 또한 좌굴 변형과 같은 제어하기 힘든 변형도 많이 발생한다. 박판의 용접 변형을 최소화하기 위한 관련 기술들의 연구는 많이 이루어지고 있으나, 그에 비해 박판 용접 후 발생한 변형 제어에 관한 연구가 많이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 용접 후 변형을 수정하기 위해 일반적으로 사용하는 선 가열 법에 대해 검토하였다.

본 연구에서는 선 가열에 의해 변형이 수정되는 메커니즘을 이해하기 위해 여러 가지 가열 조건에 대해 입열 모델을 정립하였고, 이를 실험 결과와 비교하였다. 또한 정립된 입열 모델을 이용하여 열탄소성 해석을 수행하여 변형 양상을 검토하였다. 이를 위해 상용 유한요소 해석 코드인 MSC/ MARC를 이용하였고, 해석 결과는 실험 결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였다. 변형 측정은 3차원 CMM 장비를 이용하여 측정하였다. 측정 된 실험 데이터 및 해석 데이터를 이용하여, 선 가열법에 대한 탄성 간이 해석법을 정립하였다.

2. 선 가열 실험 및 입열 모델 정립

가열에 의한 변형 수정 작업을 유한요소 해석에 적용하기 위해 입열 모델을 정립하였다. 입열 모델 정립을 위해 기본 시험편에 대해 가열 실험을 하였다. 열전대를 시편의 뒷면에 부착한 뒤, 온도 모니터링 시스템을 이용하여 온도 변화를 측정하였다. 사용한 열전대는 K-type이며, 열원 중심으로부터 5mm 간격으로 부착하였다.

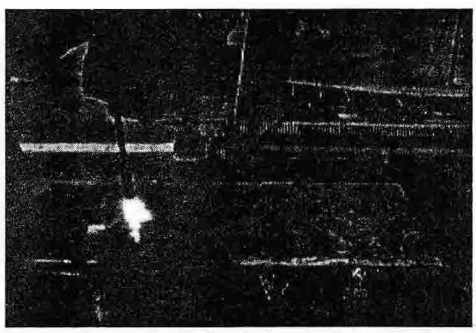

그림. 1 선 가열 실험 및 온도 측정

그림 1은 기본 시험편에 대한 온도 이력 측정 실험이다. 실험은 5mm 두께의 박판에 대해 실시하였으며, 이는 여객선 거주구 블록에 일반적으로 사용되는 두께이다. 사용된 가스 유량은 에틸렌이 20L/min 이고 산소가 70L/min이다. 이렇게 측정된 값은 입열 모델에서 입열량 계산에 사용된다. 가열에 사용된 토치 팁은 직경 2mm의 것으로 가열 작업에 일반적으로 많이 사용되

고 있는 것을 그대로 적용하였다. 선 가열은 일반적인 작업 속도인 10mm/s의 속도로 진행하였으며, 이를 위해 3차원으로 이동이 가능한 갠트리(gantry)를 이용하였다.

입열 모델은 Tsuji의 double Gaussian mode를 사용하였다. 이 모델은 첫번째 화염과 두번째 화염의 분포로 결정된다.

$$q(r) = \frac{6\eta Q}{\pi\left(R_1^2 + \beta R_2^2\right)}\left(e^{-\frac{6r^2}{R_1^2}} + \beta e^{-\frac{6r^2}{R_2^2}}\right)$$

각각의 파라메터에 대한 설명은 아래에 표시한 바와 같다. 입열 모델은 MSC/MARC의 사용자 정의 subroutine을 이용하였다. 입열의 시작과 끝 부분의 가열 효과를 고려하기 위해 ramp ratio를 고려하였다.

$q(r)$: Heat flux distribution

η : Heat efficiency

R_1: Radius of 99.8% first heat flux frame

R_2: Radius of 99.8% second heat flux frame

β : Second heat flux over first heat flux

Q: Heat flux due to chemical reaction

그림 2는 선가열 시 이면 온도에 대한 실험 결과와 해석 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 열전대는 0, 20, 50, 100mm의 4곳에 부착하였으며, 열전대를 부착한 곳의 실험 결과와 해석 결과는 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 3은 해석 결과를 나타내고 있다. 점가열에 비해 열속이 판을 관통하지 않고 표면 근처에만 가열되고 있음을 볼 수 있다. 열이 관통되지 못하면 상, 하면의 온도 구배에 의해 수축력의 차이가 많이 발생하게 되고 이를 통해 각변형이 발생하게 된다. 일반적으로 선 가열법에서는 수축 변형 보다는 각 변형이 크게 나타나며, 해석 결과를 통해 그 메카니즘을 확인 할 수 있다.

그림 4는 실험 결과와 해석 결과의 비교를 나타낸다. 정립 되어진 입열 모델을 바탕으로 열탄소성 해석을 수행한 결과 얻어진 변형량과 실험 결과를 비교한 것인데, 유사한 결과를 보여주고 있어 입열 모델의 타당성을 확인 할 수 있다.

3. 간이 해석법 개발

단순 시험편의 경우는 열 탄소성 해석에 의한 접근이 가능하지만, 실 블록과 같은 대형 부재의 경우에 적용하기에는 매우 비 효율적이다. 따라서 탄성 해석법을 이용하여 간이 해석을 할 수 있는 방법에 대해 검토 하였다.

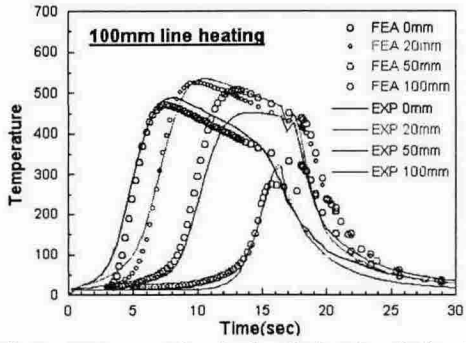

그림 2. 100mm 선 가열 실험 및 해석 결과

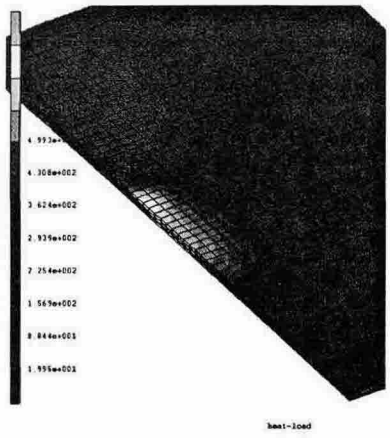

그림 3. 선 가열법의 열전달 해석 결과

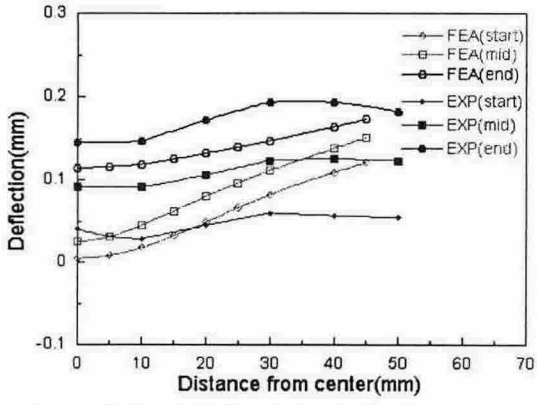

그림 4. 해석 결과와 실험 결과 비교 (변형량)

3.1 간이 해석법 적용 사례

선 가열법에 대한 여러 가지 실험 결과와 해석 결과를 바탕으로 탄성 해석에 필요한 하중을 산출하고, mock up 시험편에 적용하였다. 그림 5는 해석 모델을 나타내고 있다. 선 가열에 의한 변형 수정 해석은 우선, 용접 변형 해석을 수행 한 뒤, 골재 라인을 따라 후면 선 가열을 하는 방법으로 하였다.

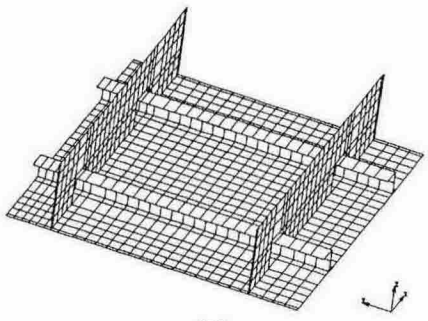

그림 5. 용접 변형 및 선 가열 해석 모델

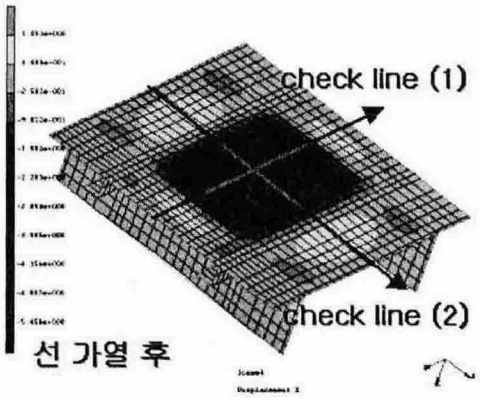

그림 6. 선 가열 해석 결과

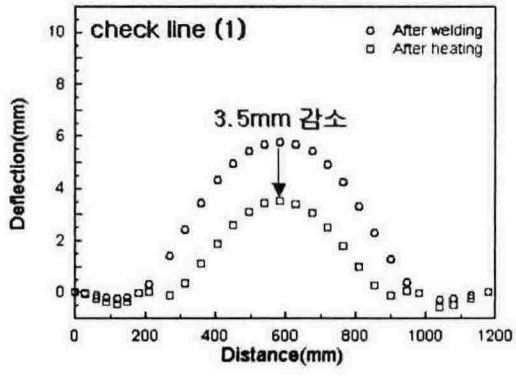

그림 7. 선 가열에 의한 변형 량(check line 1)

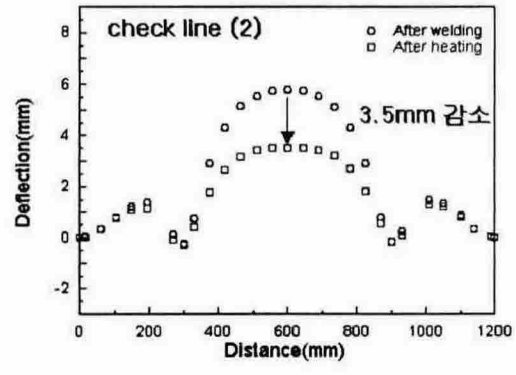

그림 8. 선 가열에 의한 변형 량(check line 2)

그림 6~8은 선 가열 해석 결과를 나타내고 있다. 해석을 위한 입열 조건은 앞서 실험 한 조건을 사용 하였으며, 그에 따른 탄성 하중을 산출하여 용접 이면 부에 입력하였다. 그림 7,8에서 볼 수 있듯, 용접에 의해 골재 사이 중앙 부의 변형이 약 6mm 정도 이었으나, 골재 라인을 따라 1회 선 가열 후 3.5mm 정도 변형이 수정되었음을 알 수 있다.

4. 결 론

선 가열 법에 대한 실험적, 해석적 검토를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선 가열 해석을 위해 입열 모델을 정립하였으며, 실험 결과와의 비교를 통해 그 타당성을 검증하였다.

2) 선 가열에 대한 간이 해석법을 개발 하였다. 해석 결과 일반적인 변형 양상과 유사한 결론을 얻을 수 있었다. 차후 실험을 통해 해석 결과를 검증해야 한다.

참고문헌

1. I. Tsuji, Y. Okumura (1988). "A Study on line heating process for plate bending of ship steels" J. WJSNA, Vol. 76, pp 149-160

2. Y. Shim, S. Lee (1993). "Modeling of welding heat input for residual stress analysis"J. KWS, Vol. 11, No.3, pp 110-123.