

박판 점 가열 시 변형 특성에 관한 연구

Study on the Deformation Behavior by Spot Heating for thin plate

장 경복*, 박 중구*, 조 시훈*, 장 태원*

* 삼성 중공업 거제 조선소 생산 기술 연구소 용접 연구

ABSTRACT During fabrication of deck house block in passenger ships, the problem of unexpected large deformation and distortion frequently occurs. In this case, line and spot heating method were widely used to correct the distortion of thin plate structure. Spot heating was especially used for the case under 5mm thickness. Few papers are available on the working conditions of spot heating method but only little information on deformation control.

In this study, evaluation was carried out on the temperature distribution of spot heating methods using FEA and practical experiments for various heating time. In FEA, heat input model was established using Tsuji's double Gaussian heat input mode (Tsuji, I., 1988). This model was verified by comparing with experimental data. Also radial shrinkage and angular distortion due to spot heating were determined and compared with experimental results. Thermo elasto-plastic analysis was performed using commercial FE code, MSC/MARC. Radial shrinkage and angular distortion were measured using 3D measuring apparatus. Based on these results, simplified analysis model for deformation by spot heating was established.

1. 서 론

일반적으로 여객선 갑판 블록(deck block)의 경우 박판(두께 5~10mm)으로 구성되어 있기 때문에 블록 조립 단계에서 발생하는 용접 변형이 제작 공정 상 가장 큰 문제가 되고 있다. 이의 교정을 위해 곡직 작업이 조립 단계에서부터 실시되지만 이후 운반/적치, 선탑재(pre-erection), 탑재 공정 등으로 변형이 더 복잡한 모드로 발생하여 변형 교정 작업인 곡직이 수차례에 걸쳐 추가로 수행되고 있는 실정이다. 각 제조 단계에서 일반적인 변형 양상에는 곡직 방법으로 선 가열(line heating)이 많이 사용되나 용접 심의 꺾임 현상 등과 같은 국부적으로 변형이 심한 부위에는 큰 수축력을 유발하는 점 가열(spot heating)이 사용된다. 이렇게 투입되는 곡직 시수가 여객선 블록과 같은 박판 블록의 제조시수에서 차지하는 비중은 상당하기 때문에 효율적인 곡직 방법을 통한 시수 절감이 필요한 실정이다. 효율적인 곡직 방법을 찾기 위해서는 우선 곡직에 대한 메카니즘 분석, 간이 해석 모델의 개발 등과 같은 해석적 접근법의 정립이 필요하다.

이에 본 연구에서는 점 가열에 의한 열전달 과정을 시뮬레이션 할 수 있는 입열 모델을 정립하였고, 이 결과를 토대로 열탄소성 해석을 수행하여 점 가열 시의 변형 거동을 검토하였다. 또한, 이러한 결과를 토대로 점 가열 공정에 의한 변형 수정 과정을 모사할 수 있는 간이해석법을 정립하였다.

2. 실험 및 해석

변형 해석 모델 개발을 위해 우선 입열 모델 정립을 통한 열전달 해석을 실시하였다. 입열 모델 정립을 위해 300×300×5mm 판에 대한 점 가열 실험을 실시하였다. Fig. 1은 시험편에 대한 점 가열 모습을 나타낸다. 점 가열 시 시험편 이면의 온도를 측정하기 위해 열원 중심으로부터 5mm 간격으로 30mm까지 6개의 열전대를 부착하여 온도를 모니터링 하였다.

사용된 가스 유량은 에틸렌이 23L/min 이고 산소가 75L/min이다. 가열에 사용된 토치 팁은 직경 2mm이며 standoff는 30mm이고 가열 시간은 4, 5, 6 sec의 3가지로 하였다.

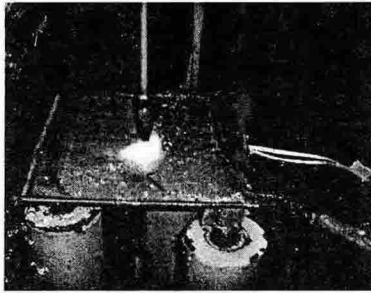
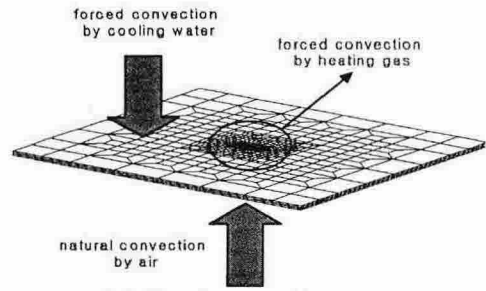


Fig.1 Spot heating and temperature monitoring



(a) Boundary condition

Fig.2 Analysis model for heat transfer analysis

입열 모델은 Tsuji의 double Gaussian mode를 사용하였는데 이 모델은 첫번째 화염과 두번째 화염의 분포로 결정되며 아래와 같은 식으로 표현된다.

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

여기서,

$q(r)$: Heat flux distribution

η : Heat efficiency

R_1 : Radius of 99.8% first heat flux frame

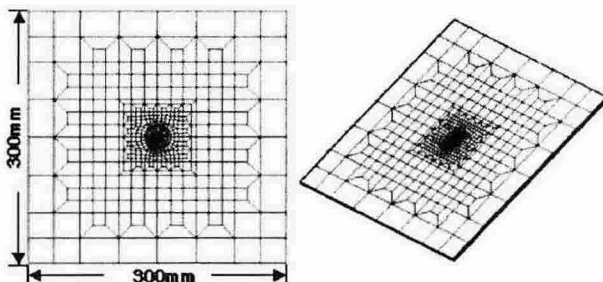
R_2 : Radius of 99.8% second heat flux frame

β : Second heat flux over first heat flux

Q : Heat flux due to chemical reaction

이다.

각각의 변수들은 온도 모니터링 결과와 비교하여 최적의 값으로 결정되었다. Fig.2는 이렇게 정립되어진 입열 모델을 가지고 점 가열에 대한 열전달 해석을 실시한 모델 및 경계 조건을 나타낸다.



(a) Mesh generation

Fig.3은 점 가열 시 열영향부로 볼수 있는 700°C 이상의 영역을 나타낸 것으로 실제 시험편의 매크로 단면과 잘 일치함을 확인할 수 있다.

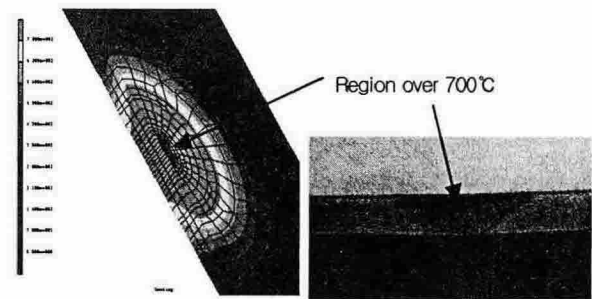


Fig.3 Comparing of analysis result and macro sections

Fig.4는 가열 시간 5초의 경우에 대해 열전대 부착 지점에서의 해석 및 온도 모니터링 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 각 지점에서의 해석 온도 프로파일이 측정치와 잘 일치하고 있어 입열 모델의 타당성을 확인할 수 있다.

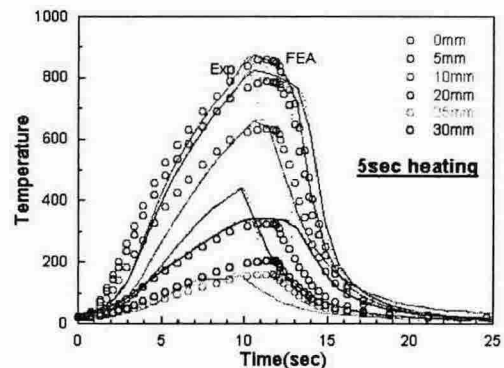


Fig.4 Comparing of analysis result and temperature monitoring for heating time 5sec

이러한 열전달 해석 결과를 이용하여 변형 해석을 실시하였으며 그 결과로 점 가열 시의 변형 거동을 검토할 수 있었다. Fig.5는 변형 해석 결과를 나타내며 Fig.6은 입열량에 따른 반경 방향

수축량의 해석 결과를 실험 결과와 같이 나타낸 것이다. 입열량이 증가할수록 수축량이 증가하고 있으며 실험 및 해석 결과가 잘 일치하고 있음을 확인 할 수 있다. 변형 측정은 3차원 Portable CMM 장비를 이용하였다.

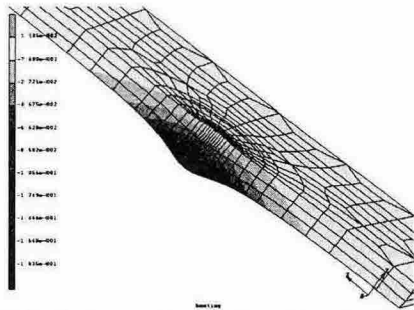


Fig.5 Analysis result of deformation for heating time 5sec model

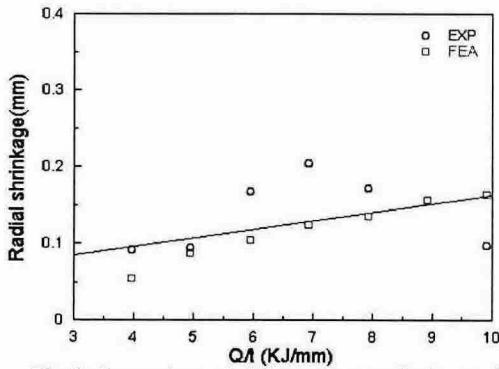


Fig.6 Comparing of deformation analysis result and experiment

정되고 골재 사이 영역에 점 가열을 16 포인트 실시하였을 경우 2.5mm 정도가 수정되어 변형 수정이 거의 완료되었음을 알 수 있다.

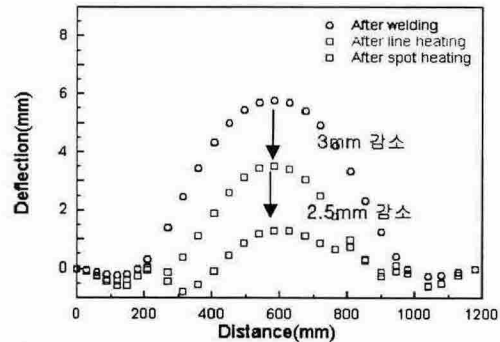
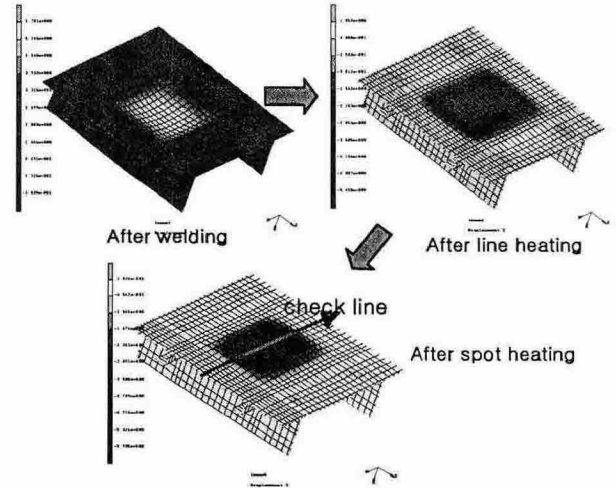


Fig.7 Deformation distribution after line and spot heating

3. 간이 해석법 개발

이렇게 검토된 변형 거동을 바탕으로 실 블록 크기의 대형 부재의 점 가열 시 변형 거동을 해석할 수 있는 간이 해석법에 대해 검토하였다.

점 가열법에 대한 여러 가지 실험 결과와 해석 결과를 바탕으로 탄성 해석에 필요한 하중을 산출하고, mock up 시험편에 적용하였다. Fig. 6은 mock up 시험편에 대한 해석 모델을 나타낸다. 일반적으로 이러한 모델에 대해 박판 곡직 시 골재 이면을 먼저 선 가열하는데 용접 변형량이 클 경우 선 가열만으로는 변형이 완전 수정되지 않는다. 이러한 경우 점 가열이 이용된다.

Fig.7은 골재 라인을 선 가열 후 남아 있는 변형 영역에 점 가열을 실시한 경우의 변형 상태를 나타낸다. 용접 후 보강재 사이의 최대 처짐량이 6mm 정도이고 선 가열 후에는 3mm 정도가 수

4. 결 론

점 가열에 의한 변형 수정 과정을 검토하기 위해 열전달 과정을 시뮬레이션 할 수 있는 입열 모델을 정립하였고, 이 결과를 토대로 열탄소성 해석을 수행하여 변형 거동을 검토하였다. 또한, 이러한 결과를 토대로 점 가열 공정에 의한 변형 수정 과정을 모사할 수 있는 간이해석법을 정립하였다.

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.