

# 곡 가공을 위한 선상 가열의 정식화 (I)

## A Study on the Formulation of Line Heating for Forming of Curved Plate

신상범\*, 이희태, 고성훈  
현대 중공업 (주), 산업 기술 연구소

### 1. 서론

선체 블록은 주판의 형상에 따라 평 블록과 선수 및 선미의 곡 블록으로 대별된다. 특히, 선수 및 선미에 위치하는 곡 블록은 냉간 가공과 선상 가열 또는 삼각 가열과 같은 열간 가공에 의한 성형 공정을 통해 곡 주판을 제작한 후 판계 용접 및 중 및 횡 보강재의 취부 및 용접의 일련의 공정을 통하여 제작된다. 따라서, 곡 블록의 제작 정도는 최종 곡 주판의 성형을 위한 선상 가열 및 삼각 가열등의 열간 가공의 정도에 의해 결정된다고 할 수 있다. 그러나, 현재 열간 가공시 곡 성형 정도(accuracy)는 고령화된 숙련된 작업자에 의존할 뿐 아니라, 소음등과 같은 작업 환경등의 문제에 기인하여 자동화된 곡 가공 시스템의 필요성은 증가하고 있다. 이에 국내외의 조선소 및 여러 연구 기관에서는 곡 가공 자동화 시스템을 구축하기 위하여 지난 수년간 지속적인 연구를 수행하여 왔으나, 아직까지 뚜렷한 성과를 얻지 못하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 실험 및 유한 요소 해석을 이용하여 flame torch를 이용한 선상 가열시 변형 양상을 평가하고, 변형 예측 기법을 제안하고자 한다. 그리고, 제안된 변형 예측 기법을 토대로 twisted 곡을 가진 곡 주판의 가열선 자동 생성 알고리즘을 개발하고 이에 대한 타당성을 검토하였다.

### 2. 변형 예측 기법

**해석 모델 및 방법** 주판의 곡 성형을 위한 선상 가열시 각 변형을 예측하기 위한 유한 요소 해석시 8절점 등매개 평면 요소를 이용하여 요소망을 구성하고, 1차 및 2차 화염 길이( $R_1, R_2$ )의 특성을 고려하여 double gaussian 분포가 가열부의 표면에 작용하는 것으로 가정하였다. 해석시 사용된 변수는 Table 1과 같이 주판의 두께(t) 및 판 폭(W) 그리고, 가열 속도(v)이며, 연소 가스로 사용된 에틸렌과 산소의 유량은 Table 1과 같이 일정한 것으로 가정하였다.

Table 1 Variables used for FEA

Plate, t [mm]		Heating speed, v [mm/min]	Flame length [cm]	
Thickness	Width		$R_1$	$R_2$
12 - 20	500 - 3000	200 - 1250	4.7	23.8

**해석 결과** Fig. 1은 주판 두께가 16mm인 경우 flame torch에 의한 입열 세기(heat intensity,  $Q_0$ ) 및 판의 굽힘 강성의 비( $Q_0/D_b$ )에 따라 각 변형 거동 양상을 도시하고 있다. Fig. 1의 (a)와 같이 입열량 및 판의 굽힘 강성의 비가 증가함에 따라 판재의 각 변형량은 선형적으로 증가하는 경향

을 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 주판의 두께가 일정한 경우 flame torch에 의한 입열량이 증가함에 따라 주판의 가열부 및 이면부의 온도차에 기인한 수축 하중의 차이가 증가하기 때문이다. 따라서, 선상 가열시 주판의 각 변형량은 flame에 의한 입열량 및 굽힘 강성의 선형 함수로 정의됨을 알 수 있다.

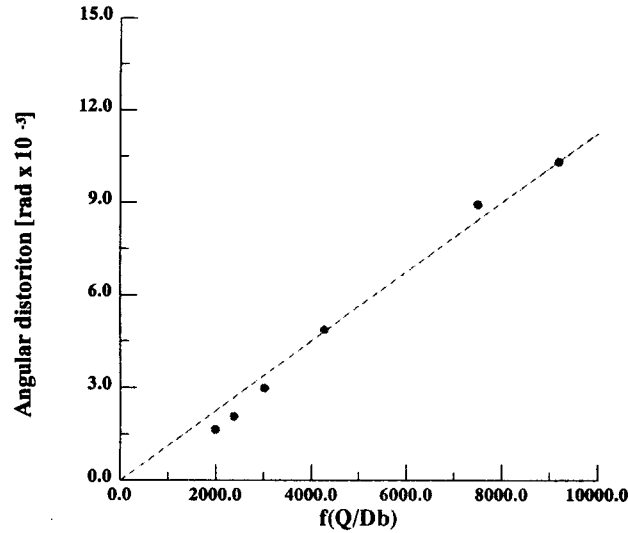


Fig. 2 Variations of angular distortion by line heating with internal restraints

### 3. 가열선 생성 알고리즘 및 타당성 평가

Twisted 곡 주판을 성형하기 위한 가열선 정보 생성 알고리즘은 먼저 가열선의 설계 곡의 형상, frame수 그리고, 중립축의 위치등과 같은 설계 곡를 정보로부터 각 frame에서 가열 표면부의 온도 및 선상 가열에 의한 변형 특성에 근거하여 최소 가열선 수 및 가열 속도를 결정하고, 변형 예측 기법 및 보 이론을 이용하여 각 frame에서 설계 곡을 유발하기 위한 가열 점(heating point)을 iteration method를 이용하여 정의한 후, 선정된 가열 점들을 linear regression을 이용하여 선형화 함으로써 정의된다. 이상과 같은 가열선 생성 알고리즘의 타당성을 평가하기 위하여 본 고에서는 Fig. 2의 (a)와 같은 시편을 제작하였으며, 생성된 가열선 및 가열 조건은 Fig. 2의 (b)와 Table 2와 같다.

Fig. 3은 Fig. 2의 (a)의 twisted 곡 주판을 얻기 위하여 계산된 Fig. 2의 (b)와 가열선과 Table 2의 가열 조건을 이용하여 선상 가열한 후 frame 1과 5에서의 변형된 형상 및 설계 곡의 profile를 비교하여 나타내고 있다. Fig. 3과 같이 선상 가열된 주판의 곡률 분포는 전체적으로는 최종 설계 곡과 매우 유사한 곡 profile을 가지고 있음을 알 수 있음을 알 수 있다. 이상의 해석 결과로부터 본 고의 유한 요소 해석을 통하여 제안된 변형 예측 기법 및 보 이론을 이용한 가열선 생성 알고리즘은 실 선체 곡 블록의 제작을 위하여 적용 가능함을 알 수 있다. 그리고, 보다 정도 높은 가열선 자동 생성 시스템을 개발하기 위해서는 선상 가열시 면내 하중에 대한 정식화 및 초기 냉간 가공에 의한 각 변형에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

Table 2 Line Heating condition for experimental model

Plate [mm]		Heating speed, v [mm/min]	No. of Heating Line
Thickness	W x L		
16	2000 x 3000	270	8

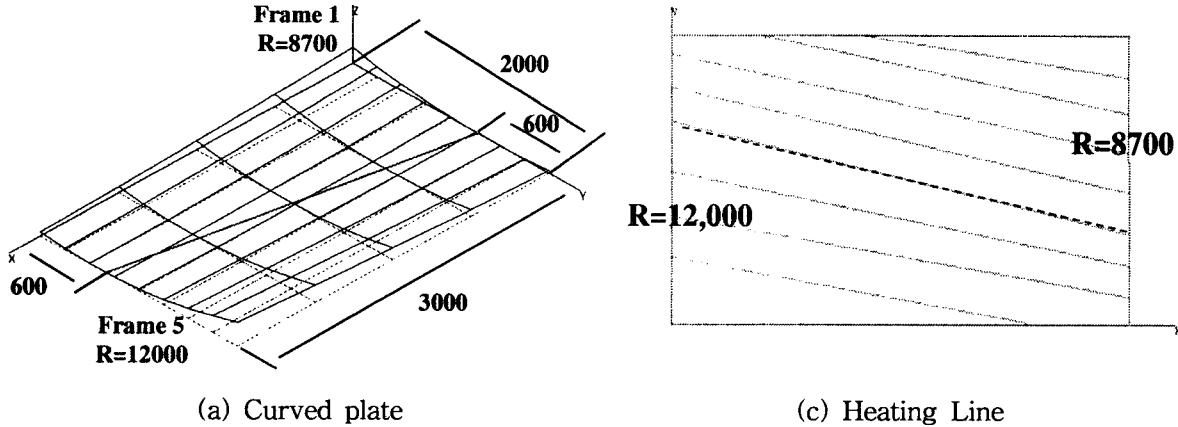


Fig. 2 Experimental model for automatic marking system of line heating

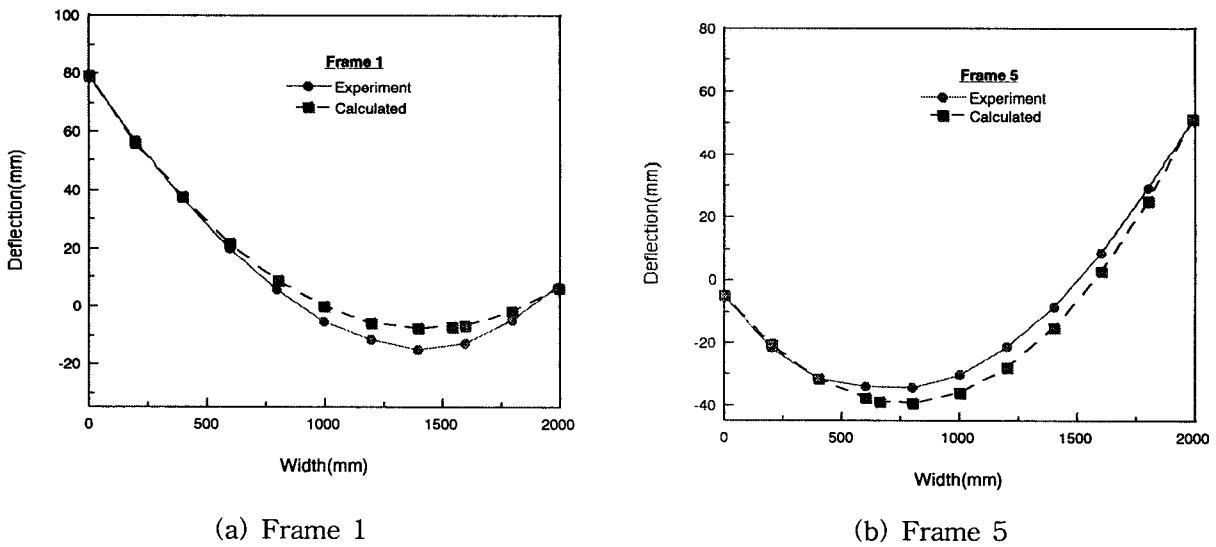


Fig. 3 Curvature profiles at the 1<sup>st</sup> and 5<sup>th</sup> frame of the curved plate after line heating

#### 4. 결론

본 연구에서는 선상 가열을 위한 flame torch에 의한 변형 양상을 실험 및 유한 요소 해석을 이용하여 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선상 가열에 의한 주판의 각 변형량은 flame torch에 의하여 모재로 유입되는 입열 세기와 굽힘 강성의 비의 선형 함수로 정의할 수 있다.
- 2) Twisted 곡 주판의 가열선 생성 알고리즘을 각 변형 예측 기법과 보 이론을 이용하여 제안하고 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.