

## TMCP 강재의 곡가공 특성

### Characteristics of plate forming by flame heating for TMCP steel

윤중근\*, 신상범\*\*, 김하근\*, 김경규\*

\* 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

\*\* 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소/울산대학교

**ABSTRACT** The purpose of this study is to evaluate characteristics of plate forming by flame heating for E and EH36 TMCP steel. The characteristics of interest were heat-formability of TMCP steel and mechanical properties of heated area. For a given dimension, heat-formability of TMCP steel was inferior to that of a conventional steel because TMCP steel required more heating passes and time. Angular distortion and transverse shrinkage of TMCP steel decreased with an increase in line heating speed for given heating conditions. The mechanical properties of TMCP steel after plate forming by flame heating were high enough to satisfy the requirements.

#### 1. 서 론

최근 선박용 강재 수급 문제와 더불어서 철강업체의 열처리 부하 저감 정책에 따라 TMCP 강재의 생산이 본격화되고 있으며, 국내 조선사에서도 TMCP 강재의 사용량을 점차 확대하고 있다. 이에 따라 TMCP 강재를 선체의 주판뿐 아니라 내부재 및 선수·미의 곡 블록에도 적용하고자 하는 추세이다.

선수 및 선미의 곡 블록 주판은 냉간 일차 성형 후 선상 가열 및 삼각 가열과 같은 열간 가공에 의하여 횡곡 및 종곡을 최종 성형함으로써 완성된다. 가속냉각형 TMCP 강재는 제조공정의 특성상 선상/삼각 가열 등의 열간 가공이 되면 냉각특성에 따라 강도저하 등을 야기할 수 있다. 또한 TMCP 강재는 고유의 잔류응력으로 인하여 일반 강재와는 다른 열간 가공 특성이 예상된다.

따라서 본 연구에서는 TMCP 강재의 곡가공 특성을 평가하고자, 선급용 E와 EH36 TMCP 강재에 대하여 화염을 이용한 곡가공 시험을 실시하였다. 곡가공시 TMCP 강재에 대한 변형 예측을 위하여 선상가열시 가열속도를 변수로 하여 단위 가열선에 대한 각 변형과 횡 수축량을 평가하였다. 이 결과를 일반 강재에 대하여 기 정립된 예측 기법 [1]과 비교함으로써 TMCP 강재의 곡가공 특성을 검토하고자 하였다.

#### 2. 실험 방법

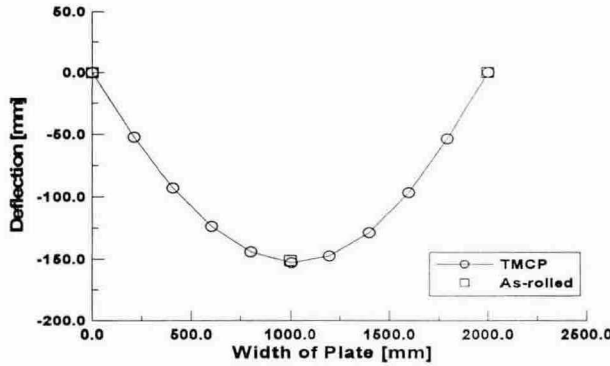
본 연구에 사용된 TMCP 강재는 선급용 두께 20mm인 E와 EH36 강재이었다. TMCP 강재에 대한 곡가공 작업성 평가는 현업에서 LNG 가스를 이용한 화염 선상 및 삼각가열 방법으로 평가하였다. 곡가공된 부위에 대한 기계적 물성은 E grade 강재에 대하여 인장시험과  $-40^{\circ}\text{C}$ 에서의 충격시험으로 평가하였다. 인장 시험편은 가열선이 가장 많은 plate edge 부에서 압연 방향으로, 충격시험편은 가열부를 포함하여 채취하였다. 또한 곡가공시 TMCP 강재의 변형예측을 위하여 에틸렌과 산소가스를 이용한 선상가열시 가열속도를 변수로 하여 단위 가열선에 대한 각 변형과 횡 수축량을 평가하였다. 횡 수축량 평가시 표점거리는 150mm 이었다.

#### 3. 실험결과 및 고찰

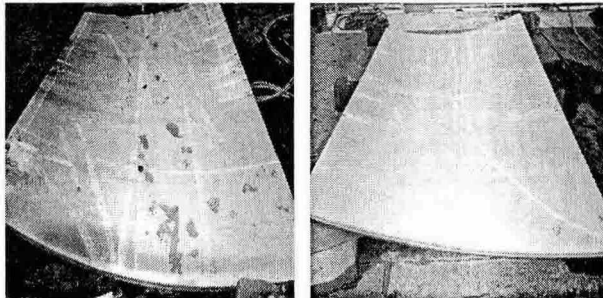
##### 3.1 TMCP 강재의 곡가공 작업성

Fig. 1은 2000 x 3500 x 20mm 크기의 E 강재에 대한 곡가공 (선상 및 삼각가열) 결과를 비교재인 일반 A grade 강재와 비교하여 보여 주고 있다. Fig. 1의 결과는 강재의 좌측 edge 부에서 측정된 값으로, 양 강재 최종 목표 곡률과 일치됨을 보여 주고 있다. 그러나 곡가공 과정을 살펴보면 Fig.1 (b)와 (c)에서 보여주듯이 양 강재의 가열 양상 즉, 가열 위치 및 가열선의 수가 상이하다. TMCP 강재가 가열 패턴이 복잡하고

가열선의 수가 많음을 보여 주고 있다. 이는 동일한 곡률에 대하여 곡가공 작업시 TMCP 강재의 작업성이 일반 강재에 비교하여 열등함을 의미한다.



(a)



(b) TMCP 강재 (c) 일반 A 강재

Fig. 1 Characteristics of distortion after flame heating : (a) Dimension of the lower edge of the plate, (b)&(c) Appearance showing heating line

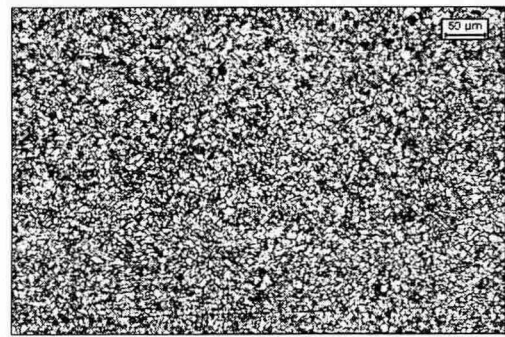
3.2 곡가공부의 기계적 성질

Table 1은 곡가공된 E grade TMCP 강재 (Fig.1)에 대한 기계적 성질을 나타내었다. 곡가공된 부위의 항복 강도, 인장강도, 연신율 및 충격인성은 관련 규격을 충분히 만족하고 있을 뿐 아니라 강도는 오히려 모재보다 우수하며 충격인성은 거의 모재 수준임을 알 수 있다.

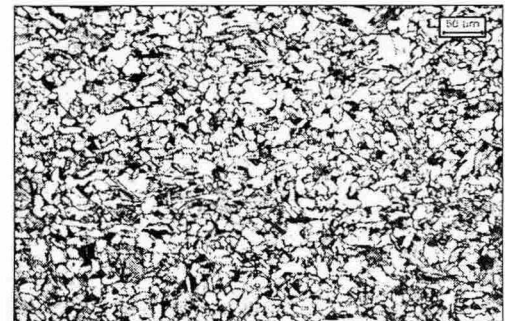
Table 1 Mechanical properties of E grade TMCP steel

	항복강도, MPa	인장강도, MPa	연신율, %	충격인성, J (-40°C)
곡가공부	340	464	27	384** 382***
모재	310	441	31	370**
규격	min. 235	min.400	min.18	min.20*

\* : Transverse, \*\* : 가열부/표면, \*\*\* : 이면



(a) Heated Surface



(b) Surface of base metal

Fig. 2 Microstructures of E grade TMCP steel

Fig. 2 (a)는 곡가공시 가열된 표면에서의 미세조직을 보여 주는데, 가열부의 온도가 Ac3 이상이 되어 조직이 모재보다도 더욱 미세해 졌음을 알 수 있다. 이로 인하여 Table 1과 같이 곡가공 후에도 우수한 기계적 성질을 유지하게 된다.

3.3 단위 가열선에 대한 각 변형과 횡 수축

Fig. 3은 E와 EH36 TMCP 강재를 이용하여 선상가열시 가열속도에 따른 각 변형량과 횡 수축량 변화를 보여 주고 있다. 전반적으로 가열속도가 증가됨에 따라 각 변형량과 횡 수축량은 감소되나 횡 수축량의 경우, 속도 500mm/min. 이상에서는 그 변화 정도가 매우 미미하다. 50mm 두께에서의 적은 변형량은 두께에 기인된 강성 차이 때문이다.

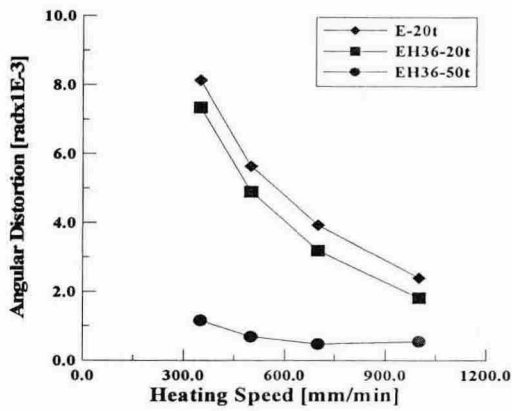
4. 결론

선급용 E와 EH36 TMCP 강재에 대하여 화염을 이용한 곡가공 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

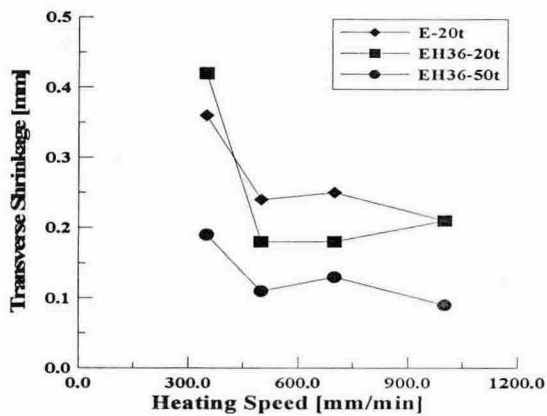
- 1) TMCP 강재는 일반 A grade 강재와 비교시

곡가공 작업에 많은 가열선이 필요하다.

- 2) 선상가열시 가열속도가 증가됨에 따라 각 변형량과 횡 수축량은 감소되나 횡 수축량의 경우, 특정 속도이상에서는 그 변화 정도가 매우 미미하다.
- 3) 곡가공후 TMCP 강재의 기계적 성질은 양호하여 관련 규격을 만족한다.



(a)



(b)

Fig. 3 Effect of flame heating speed on distortion of TMCP steel : (a) Angular distortion, (b) Transverse shrinkage

### 참고 문헌

1. 신상범, 이동주, 김경규, 윤중근, “곡가공을 위한 선상 가열 특성에 따른 변형 거동에 관한 연구”, 대한용접학회 춘계학술논문집, pp. 291~293, 2005