

선급용 TMCP 강재의 곡 성형에 관한 연구

A Study on the Forming of TMCP Steel used for Shipbuilding

신상범*, 김하근**, 김경규**, 윤중근**

* 현대중공업(주) 산업기술연구소 / 울산대학교

** 현대중공업(주) 산업기술연구소

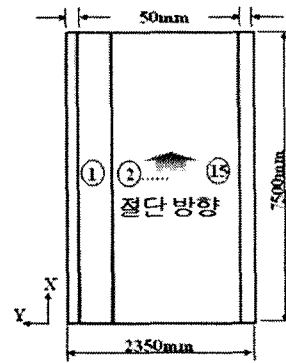
1. 서 론

최근 강재의 원활한 수급을 위하여 선체 제작시 TMCP(thermo mechanical control process) 강재의 적용 확대를 위한 다각적인 노력이 전개되고 있으며, 이러한 경향은 점차 가속화될 것으로 판단된다. 그러나 TMCP 강재의 경우 제조공정의 특성상 절단 및 용접 과정에서 초기 잔류 응력의 이완 및 재 분포에 의하여 과다 변형의 발생 가능성이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 선상 가열 또는 삼각 가열과 같은 열간 가공에 의해 제작되는 선체의 선미와 선수부의 곡 부위에는 TMCP 강재의 적용이 매우 제한적으로 이루어지고 있는 것이 사실이다. 이에 본 연구자들은 “선수미 곡 주판 및 소절재용 TMCP강의 허용 잔류 응력에 관한 연구”에서 25mm 두께의 TMCP강의 제조 공정에 따른 초기 잔류응력 거동 특성을 규명하고, 곡 주판 성형을 위한 국부 열간 가공시 성형 정도를 확보하기 위한 허용 잔류 응력 기준과 TMCP강재의 제조시 적정 교정 방안을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 50mm 두께의 선급용 EH36 TMCP 강재의 선체 곡 외판 적용 가능성을 검토하기 위하여 일반 선급용 압연 강재와의, 냉간 및 열간 성형성을 비교 검토하고 이 결과를 토대로 TMCP 강재의 곡 성형성을 저하시키는 주인자를 규명하고자 하였다.

2. 초기 잔류 응력

TMCP 강재의 곡 성형성 평가에 앞서 EH36 TMCP강재(2350(폭)x7500(길이)x50(두께)mm)에 대한 초기 잔류 응력수준을 평가하기 위하여 NC 가스 절단기를 이용하여 Fig. 1과 같이 폭 150mm의 flat bar 형태로 동시 절단하고 굽힘 변형량을 평가하였다.



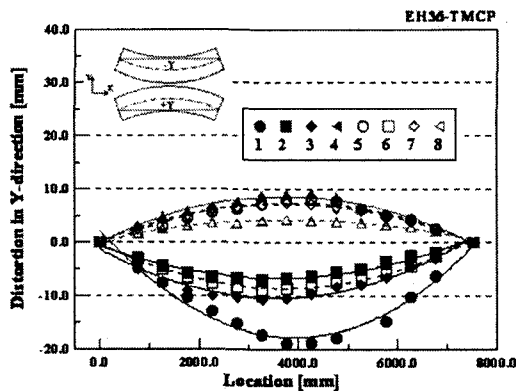
연소가스 압력 [bar]		절단속도 [mm/min]	절단 Kerf [mm]
에틸렌	산소		
0.7	5.5	385	3

Fig. 1 Flame NC cutting conditions of EH36 TMCP steel

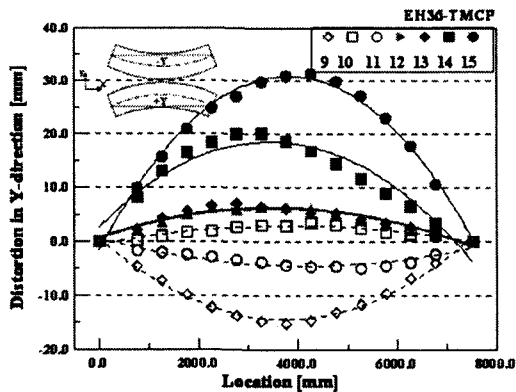
Fig. 2의 (a)와 (b)는 Fig. 1의 150mm 폭의 절단 시편에 대한 굽힘 변형량의 분포를 도시한 것이다. Fig. 2와 같이 주판의 양 끝단의 1번과 15번의 절단 부재에서 다소 큰 변형이 발생하고 있으나, 주판 폭 방향의 중앙에 위치한 부재로 갈수록 굽힘 변형이 감소하는 것이 아니라 변형량의 증감이 천이되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 양 끝단의 부재의 변형 모드 또한 가속 냉각시 온도 분포의 차에 기인하여 유발되는 변형과 완전히 일치하는 변형 모드를 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 TMCP 강재의 가속 냉각 과정중 온도 분포에 의하여 야기되는 잔류 응력이 효과적으로 교정되지 못하였음을 의미한다.

Fig. 3은 Fig. 2의 절단시 발생한 굽힘 변형량과 보 이론을 이용하여 평가한 150mm 폭의 TMCP 강재에 존재하는 최대 잔류 응력의 차의 분포를 도시한 것이다. Fig. 3과 같이 150mm 폭의 TMCP 강재에 작용하는 최대 잔류 응력의 차는 중앙부에

서 판재의 양 끝단으로 갈수록 증가하며 최대 잔류 응력의 차는 약 150MPa을 초과한다.



(a) No. 1 ~ 8



(a) No. 9 ~ 15

Fig. 2 Bending distortion of EH36 TMCP steel after cutting

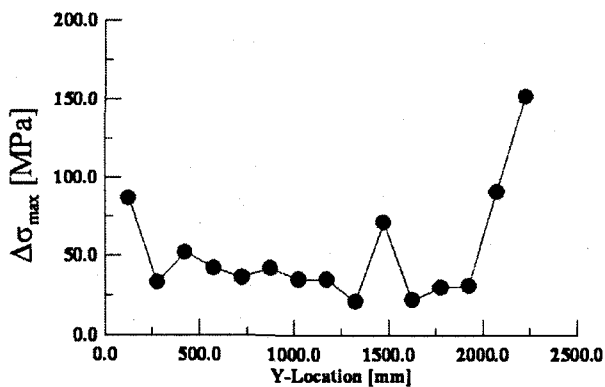


Fig. 3 Distribution of initial residual stress of EH36 TMCP steel of 150mm width

2. 냉간 및 열간 성형성 평가

EH36 TMCP 강재의 냉간 성형성을 평가하기

위하여 주판의 폭이 1200mm이고, 길이가 2500mm인 A grade와 EH36의 일반 선급용 강재와 EH36 TMCP 강재를 평가 대상으로 선정하였다. 시험에서 사용한 강재의 기계적 물성 및 탄소당량은 Table 1과 같다.

Table 1 Carbon equivalent and mechanical properties of test specimens

	CE*	YS [MPa]	TS [MPa]
A	0.32	278	426
EH36	0.45	425	571
EH36 TMCP	0.34	462	556

주) CE = C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15

Fig. 4는 냉간 성형 작업이 완료된 후 3차원 계측기를 이용한 측정 결과를 토대로 작성된 곡 형상을 비교하여 도시한 것이다. 횡 곡의 경우 Fig. 3과 같이 EH36 > A grade > EH36 TMCP 강재의 순이며, 냉간 성형 작업 시간은 EH36 TMCP(0.6시간) > EH36(0.5시간) > A grade(0.4시간)의 순으로 감소하였다. 이러한 냉간 성형 작업시 횡 곡의 차이는 Table 1에 초기 잔류 응력의 차, 항복 강도의 차에 따른 하중 증가 그리고, 항복 응력 및 인장 강도의 비에 의존하는 탄성 복원량의 차에 의한 효과가 중첩되어 나타나는 것으로 판단된다.

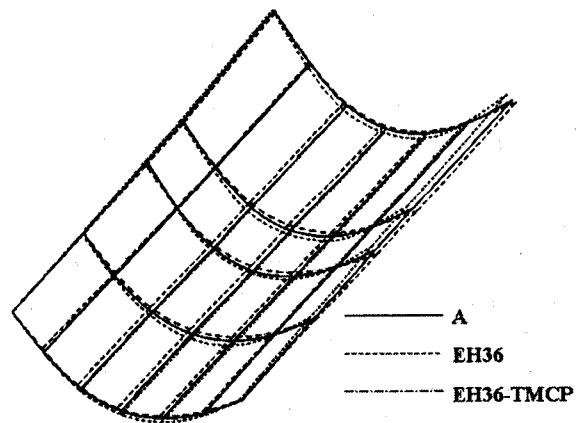


Fig. 4 Profiles of the curved plates after cold forming

Fig. 5는 냉간 가공이 종료된 후 종 곡의 변화를 도시한 것이다. 냉간 성형 후 종 곡의 경우 강재의 제조 공정에 따라 매우 큰 차이를 보인다. 즉, 일반 압연 공정으로 제조된 선급용 A와 EH36 강재의

경우 concave의 양상을 가지는 반면에 EH36 TMCP 강재의 종 곡은 convex의 양상을 가지고 있다. 일반적으로 횡 방향의 곡을 형성하기 위한 냉간 가공 후 발생하는 종 곡은 모재의 프와송의 비에 의하여 Fig. 5의 일반 압연 공정으로 제작된 선급용 강재에서 발생하는 종 곡과 동일한 양상을 가진다. 따라서 EH36 TMCP 강재와 같은 냉간 가공 후 발생한 concave형 종 곡은 소재의 과도한 잔류 응력이 냉간 가공시 이완되었기 때문이다.

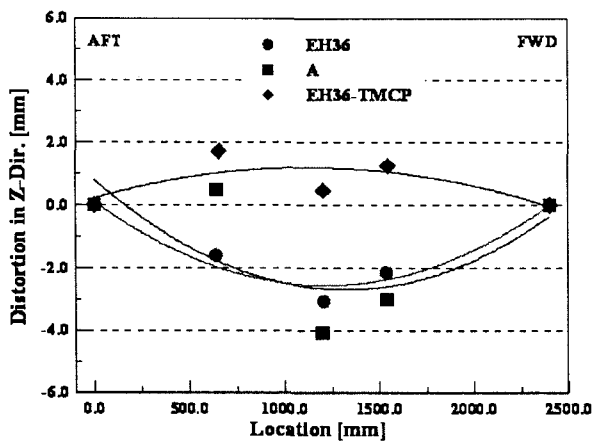


Fig. 5 Longitudinal profiles of the curved plates after cold forming

Fig. 6은 각 강재의 열간 성형 작업시 가열선의 pattern을 비교하여 도시한 것이다. Fig. 6과 같이 가열선은 강도 및 제조 공정과는 무관하게 거의 유사한 pattern을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 강재의 grade 및 제조 공정에 따라 국부 가열에 의한 열간 성형 전후의 종 곡의 형상을 비교하여 도시한 것이다. Fig. 7과 같이 EH36과 A grade의 종 곡 성형 정도는 설계치와 유사한 반면에 TMCP로 제조된 EH36의 경우 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 과도한 곡 형상의 차이는 열간 성형 후 발생한 것이 아니라 냉간 성형시 발생한 종 곡의 차이에 기인한 것이며, 이는 열간 성형 전 후의 종 곡의 변화에 쉽게 확인할 수 있다.

이상의 결과로부터 일반 선급용 강재 대비 TMCP 강재의 곡 성형성의 저하는 초기 곡을 위한 냉간 가공시 잔류 응력의 이완에 따른 곡 형상의 왜곡 그리고, 낮은 항복비에 따른 과도한 탄성 복원에 기인한 것임을 알 수 있다.

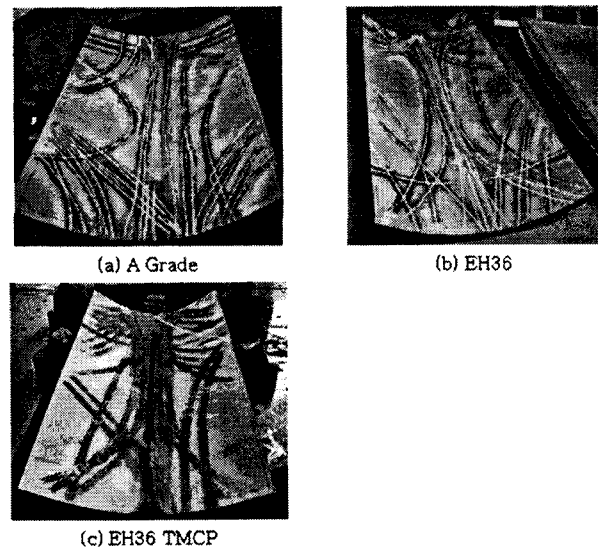


Fig. 6 Pattern of local heating line

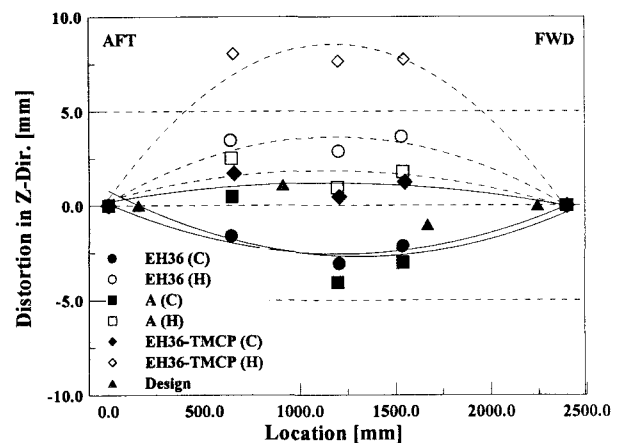


Fig. 7 Longitudinal profiles of the curved plates before and after local heating

4. 결 론

TMCP 강재의 선체 곡 외판의 적용 가능성을 검토하고자 냉간 및 열간 성형성을 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) TMCP 강재의 곡 성형성 저하의 주요인은 냉간 성형시 과도한 초기 잔류 응력에 의한 곡 형상의 왜곡 및 높은 항복비에 기인한 과도한 탄성 복원에 기인한다.
- 2) TMCP 강재의 곡 성형 후 잔류 응력이 이완됨으로써 열간 성형 작업시 곡 성형성의 저하는 매우 미미하다.