

세립강의 선상 가열 및 절단후 변형 특성

Distortion of a Fine Grain Steel by Flame Cutting and Line Heating

신상범*, 박윤기, 김경규, 윤중근

현대중공업 (주), 기술개발본부, 산업기술연구소

1. 서 론

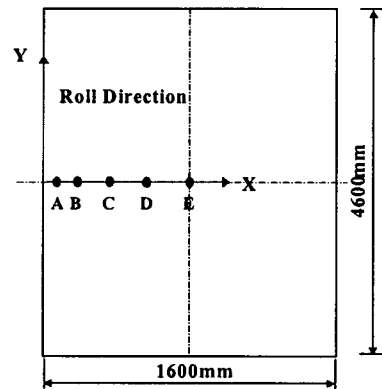
압연 공정과 가속 냉각의 과정을 거쳐 제조되는 세립강은 제조 공정의 특성상 TMCP강과 유사한 잔류 응력뿐 아니라 열간 가공이나 용접부의 재 가열 영역에서의 연화에 따른 기계적 물성 저하에 따른 문제가 예상되고 있다. 특히 가속 냉각후 각 위치에서의 냉각 속도의 차이에 의한 잔류 응력은 용접 구조물의 선 공정인 flame을 이용한 절단 및 열간 가공시 초기 변형을 유발함으로써 후 공정에 해당되는 용접 작업시 과도한 변형의 발생 원으로써 작용한다.

따라서, 본 연구에서는 대형 용접 구조물의 제작시 세립강의 가공 특성을 정립하고자 세립강의 초기 잔류 응력이 절단과 국부 열간 (선상 가열) 가공시 변형 특성에 미치는 영향을 유한 요소 해석 및 실험을 이용하여 평가하였다.

2. 잔류 응력 분포

2.1 실험 방법

세립강 제조시 발생하는 잔류 응력에 의한 절단 및 열간 가공시 변형 거동에 미치는 영향을 평가하고자 Fig. 1과 같이 600MPa급 세립강 원판의 각 위치에서 Hole Drilling Strain Gage Method (HDM, ASTM E837-99)를 이용하여 초기 잔류 응력 분포를 평가하였다. 잔류 응력 측정용 rosette type의 strain gage는 냉각시 온도 차에 의한 잔류 응력 구배를 고려하여 free edge 부근에 비교적 조밀하게 부착하였다. 이때, 사용된 모재는 인장 강도 600MPa급 세립강으로 크기는 1600(W) x 4600(L) x 25mm(t)의 이었다.



	A	B	C	D	E
Loc in X dir [mm]	50	100	200	400	800

Fig. 1 Locations of rosette type stain gages used for HDM

2.2 실험 결과

Fig. 2는 절단 및 국부 열간 가공 평가를 위하여 사용된 세립강 원판에 대한 Fig. 1의 X축을 따라 각 위치에서 측정한 X 및 Y 방향의 잔류 응력 측정 결과를 나타낸다. Fig. 2와 같이 각 방향의 잔류 응력 분포는 매우 유사함을 알 수 있다. 즉, X 및 Y 방향의 각 잔류 응력은 작용 방향과 무관하게 원판의 free edge 영역에서는 모두 압축으로 작용하며, 주판 내부로 접근함에 따라 압축과 인장으로 천이되는 특성을 보이고 있다. 이는 세립강의 제작시 가속 냉각에 의하여 상대적으로 냉각 속도가 빠른 edge가 내부의 수축 하중을 제어하기 때문이다. 이상의 잔류 응력의 측정 결과로부터 세립강의 초기 잔류 응력은 주판의 각 위치에서의 냉각 속도의 차이에 기인한 것임을 알 수 있다.

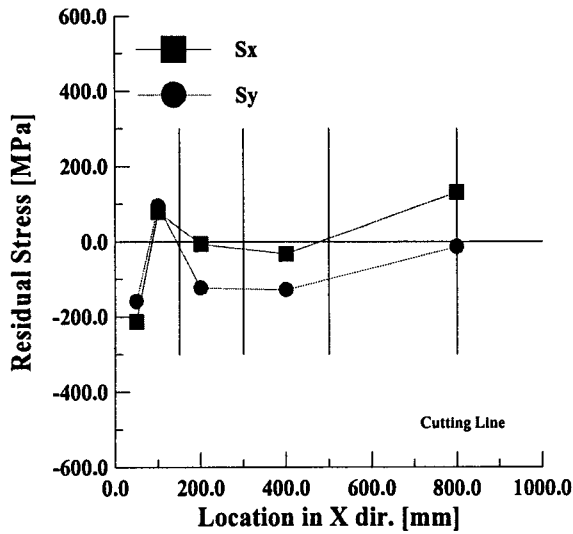


Fig. 2 Distributions of residual stresses at the fine grained steel

3. 절단 변형

Fig. 3은 세립강의 edge 영역에서 150mm의 폭으로 한쪽 면만을 절단한 경우 발생하는 camber량에 대한 측정 및 예측 결과를 도시한 것이다. 사용된 세립강 원판의 잔류 응력 분포는 Fig. 2와 같으며, 예측 결과는 초기 잔류 응력에 대한 효과는 고려하지 않고 단지 절단시 절단선 방향의 수축 하중에 의한 결과만을 도시한 것이다. Fig. 3과 같이 가스 절단시 세립강의 최대 camber는 약 -30mm정도이나 유한 요소 해석을 이용한 해석 결과는 측정 결과의 10% 수준인 -3mm이다. 이러한 차이는 Fig. 2와 같이 원판의 edge 부근의 절단선 방향의 잔류 응력(Sy)이 절단 후 재분포됨으로써 야기된 탄성 복원 (spring back) 효과에 기인한 것이다.

Fig. 4는 flat bar의 양쪽 절단면에 동일한 입열이 가해진 경우 절단 부재의 camber에 의한 변형 분포를 도시한 것이다. Fig. 4와 같이 각 flat bar의 camber량은 Fig. 2의 초기 잔류 응력의 재 분포에 따른 탄성 복원 양상과 거의 일치함을 알 수 있다. 즉, 세립강을 이용한 flat bar의 제작시 변형 모드 및 크기는 각 절단 부재의 잔류 응력의 양 절단면의 잔류 응력의 차이에 비례한다는 것을 의미한다.

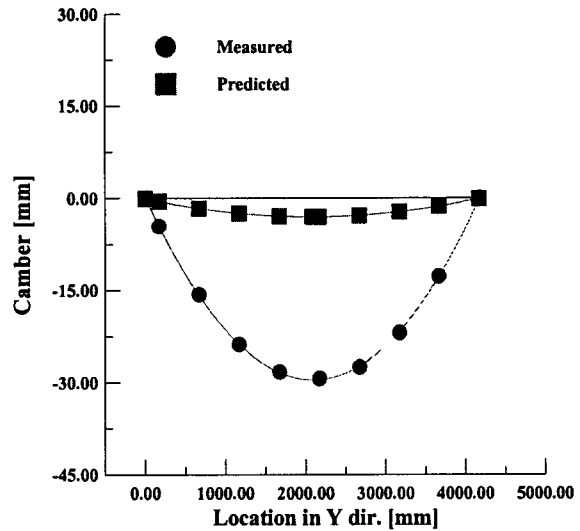


Fig. 3 Camber of flat bar (one side cutting, cutting width = 150mm)

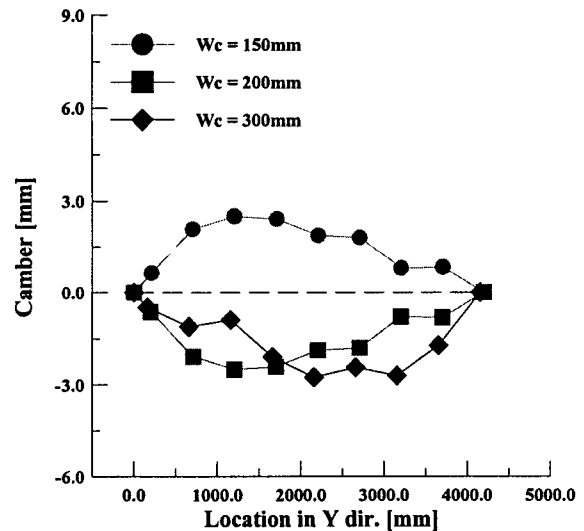


Fig. 4 Cutting cambers with width of flat bar (both side cutting)

4. 선상 가열 변형

4.1 실험 및 해석 방법

세립강의 화염을 이용한 선상 가열시 원판의 초기 잔류 응력의 변형에 대한 영향 및 변형 거동을 평가하기 위하여 800 x 800 x 25mm의 주판에 대해 선상 가열을 수행하고 3차원 측정기를 이용하여 가열선 길이 방향의 각 위치에서 각 변형 및 횡 수축량을 측정하였다.

4.2 실험 및 해석 결과

Fig. 5와 6은 각각 주판에 초기 잔류 응력의 유무 즉, 선급용 강재인 A grade와 세립강의 선상 가열시 가열 입열량 및 피가열재의 굽힘 강성(Db) 및 면내 강성(Di)에 따른 각 변형 및 횡수축을 비교하여 도시한 것이다. 세립강과 A grade 선급용 강재 모두 선상 가열에 의한 각 변형과 굽힘 변형은 각각 연소 가스에 의하여 발생하는 열량(Q)과 피가열재의 굽힘 강성(Db)과 면내 강성(Di)의 비와 선형적인 비례 관계에 있으며, 입열량과 주판의 강성의 비가 일정한 경우 발생하는 변형량은 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 선상 가열에 의한 각 변형 및 수축 변형의

크기는 초기 잔류 응력과는 거의 무관함을 알 수 있다. 그러나, Fig. 7에 도시한 바와 같이 선상 가열 후 주판의 변형 모드는 원판 절단시 발생하는 초기 잔류 응력의 재 분포에 의한 초기 변형 모드와 거의 일치한다.

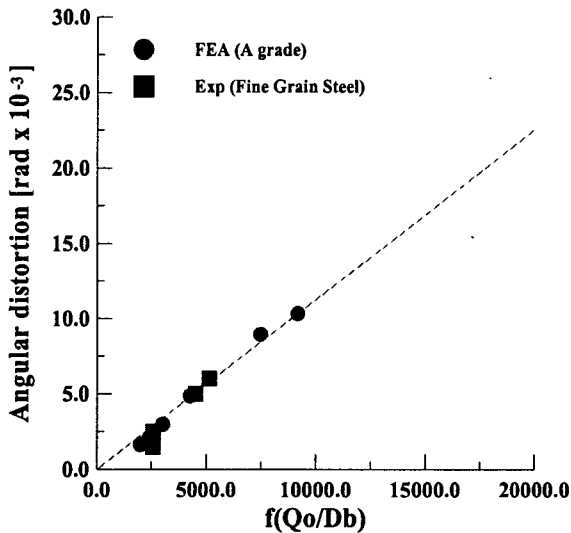


Fig. 5 Changes of angular distortion of fine grain steel and A grade with Qo/Db

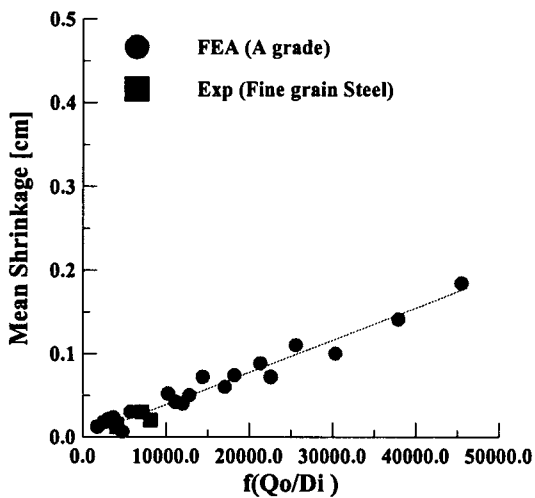
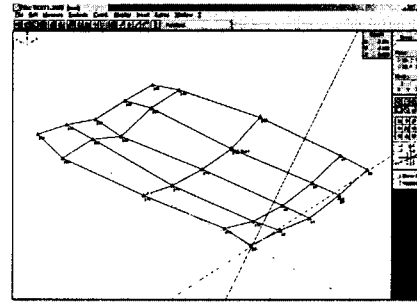
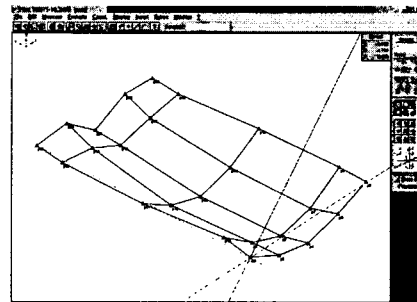


Fig. 6 Changes of transverse shrinkage of fine grain steel and A grade with Qo/Di



(a) Before line heating



(b) After line heating

Fig. 7 Deformed shape of fine grain steel before or after line heating

4. 결 론

세립강의 초기 잔류 응력이 절단 및 열간 가공시 변형에 미치는 영향을 유한 요소 해석 및 실험을 이용하여 평가하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 세립강의 초기 잔류 응력은 제조시 발생하는 각 영역에서의 온도 분포의 차이에 기인한다.
- 2) 소 절재를 위한 절단시 발생하는 변형은 절단 부재 초기 잔류 응력의 크기와 분포에 의존한다.
- 3) 선상 가열 후 수축 및 각 변형의 크기는 가열 입열량 및 가열 부재의 면내 및 면외 강성에 의존하며, 초기 잔류 응력의 분포와 크기는 무관하다.