

세립강 용접부의 역학거동에 미치는 초기 잔류응력의 영향

Effect of initial residual stress on mechanical behavior of a fine grained structural steel weldment

신상범, 윤중근

현대중공업(주) 산업기술연구소, 울산시 동구 전하동 1

1. 서 론

차세대 구조용 고강도 강재는 저합금강의 화학 성분을 유지하면서 입도의 미세화로 고강도 및 고인성을 동시에 확보할 수 있는 강재이다. 현재 실험실적으로 달성한 결정립의 크기는 약 5 마이크로 미터이며, 인장강도는 600MPa 를 획득하였다. 이와 같은 미세조직을 얻기 위하여 고온에서 강한 압연 (두께 : 50mm -> 5mm) 을 실시하였다. 이에 따라 상온의 세립강은 초기 잔류응력이 존재하게 되는데, 측정결과 약 5 kg/mm²의 압축잔류응력이 있음을 알 수 있었다. 목표인 1 마이크로 미터의 결정립을 얻기 위해서는 보다 가혹한 압연이 필요할 것으로 예상되므로 초기 세립강에 존재하는 잔류응력의 양은 증가하게 된다. 초기 잔류응력을 지닌 세립강의 경우에는 절단 및 용접시 형성되는 용접부의 잔류응력과 변형 양상은 일반 강재와는 상이한 거동을 보일 수 있다.

본 연구에서는 세립강 용접부의 잔류응력 분포 및 각 변형 거동에 미치는 초기 잔류응력의 영향을 FEM을 이용하여 평가함으로써 세립강 용접부의 역학거동을 이해하고자 하였다.

2. 해석 방법

유한요소해석에 의한 세립강 GMA 용접부의 잔류응력시 사용된 모델은 세립강의 강도(항복강도 71, 46kg/mm²), 열간 가공후 초기 압축 잔류응력의 수준에 따라 표 1과 같이 총 6개 이었다. 잔류응력 해석을 위한 비선형 열 탄소성 해석에 앞서 먼저, 열 전달 해석을 수행하였으며, 이때, 열 변형에 의한 열 전달기구에 미치는 영향이 매우 미세하므로 열 전달 및 열 응력이 각각 비연성된 것으로 가정하고 해석을 수행하였다. 세립강의 경우 온도에 따른 기계적 물성은 고온에서 AH32와 동일한 경향(900°C까지 모재 및 용접부의 강성에 대한 감소비가 동일함)을 특성을 가지며, 초기 잔류응력 분포는 동일한 크기의 초기 잔류응력이 용접선과 수직 및 평행한 방향으로 각각 압축으로 작용하는 것으로 가정하였다.

3. 결과 및 고찰

용접부의 잔류응력 분포

그림 1은 B와 C type 즉, 항복 응력이 46kg/mm²인 세립강에 5kg/mm²의 초기 압축 잔류응력의 유무에 따른 용접부 잔류응력의 분포를 도시한 것이다. 그림 2의 잔류응력

은 3번째 용착패스가 완료된 후 용접부의 하부 표면에서 용접선에 평행한 방향(Z 방향) 및 용접선에 수직인 방향(X 방향)에서 얻은 값이다. 그림 2와 같이 초기 압축 잔류응력의 유무에 관계없이 냉각이 완료된 후 용접부 잔류응력의 분포는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 용접부에 작용하는 초기 잔류응력의 수준이 항복응력의 10%의 수준으로 매우 낮은 수준일 뿐 아니라, 용접부 근방의 모재에서는 용접 arc에 의해 온도가 용접 가까이 급열됨으로써 초기 잔류응력의 이완되기 때문이다.

표 1. 해석 모델의 종류

Type	Base Metal	Yield Strength [kg/mm ²]	Initial Residual Stress [kg/mm ²]
A	AH32	27	0
B	Fine grained steel	46	
C			-5
D		71	-5
E			-10
F		-15	

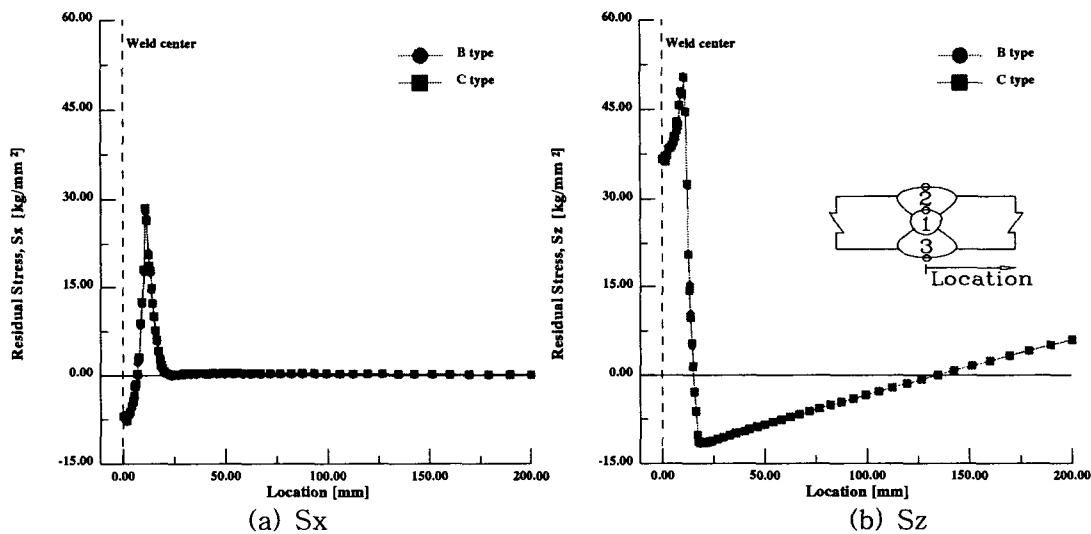


그림 1 초기 잔류응력이 있는 세립강 용접부의 잔류응력 분포(B and C)

그림 2는 모재의 항복강도가 71kg/mm²인 세립강 D, E 그리고 F에 5~15kg/mm²의 압축 잔류응력이 작용하는 경우 냉각이 완료된 후 최종 용접부의 표면에서 용접선과 평행한 방향인 Z 방향으로 작용하는 잔류응력의 분포를 도시한 것이다. 그림 2와 같이 초기 압축 응력이 5에서 15kg/mm²으로 증가하는 경우에 용접부에 작용하는 잔류응력의 분포 및 최대 잔류응력 수준에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 초기 잔류 응력이 항복응력에 비해 매우 낮은 경우 용접부 잔류 응력이 매우 낮다는 기존의 연구 결과와 매우 잘 일치하고 있다. 또한 초기 잔류 응력의 잔류 응력에 미치는 영향은 시편의 크기에 의존한다.

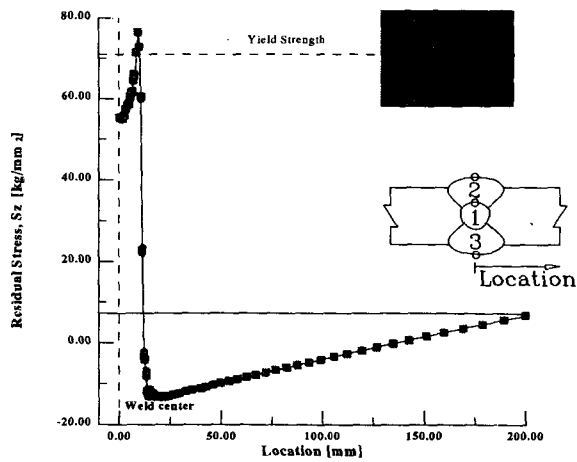


그림 2 800MPa 급 세립강 용접부의 잔류응력에 미치는 초기 잔류응력의 영향
(Initial stress : D type (-5kg/mm²), E type (-10kg/mm²), F Type (-15kg/mm²))

용접부 각변형

그림 3은 세립강의 초기 잔류응력 및 항복강도의 수준에 따라 용접부에 발생하는 최대 각 변형량을 도시한 것이다. 용접부의 최대 각 변형량은 용접부의 초기 잔류응력이 존재하는 경우 증가하며, 모재 강도가 큰 경우 변형량이 크다. 각 변형량의 증가율은 그림 3과 같이 초기 압축 잔류응력이 증가함에 따라 오히려 감소한다.

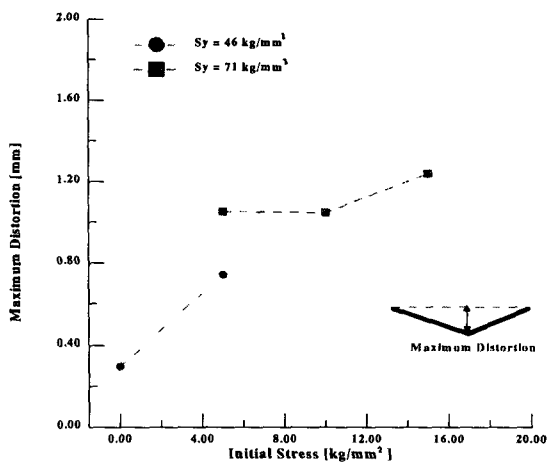


그림 3 용접부 각변형에 미치는 초기 잔류응력의 영향 (B, C, D, E, and F type)

4. 결 론

- 1) 세립강의 용접부에 작용하는 잔류응력의 수준은 모재의 항복강도에 의해 결정되며, 초기 잔류응력이 모재의 강도에 비해 작은 경우에는 용접부의 잔류응력 분포에 미치는 영향은 매우 작다.
- 2) 용접부의 최대 각 변형량은 용접부의 초기 잔류응력이 존재하는 경우 증가한다.