

선급 TMCP 강재의 용접부 수치해석 정도 향상

Improvement of Numerical Analysis on Classification TMCP Steel Weld

강윤희*, 이종봉*, 김충명*, 홍현욱*, 조시훈**

* POSCO 기술연구소 집합연구그룹

** 삼성중공업 생산기술연구소

1. 서 론

최근 조선 및 해양 구조물에 사용되는 강재의 고강도화, 후물화로 인하여 용접성이 우수한 TMCP강재의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 또한 생산성 향상과 원가저감을 위해 적절한 용접조건 선정 및 용접변형/잔류응력 예측에 수치해석 기법의 적용이 확대되고 있다.

TMCP강재 용접부 수치해석 정도를 낮추는 요인으로는 해석의 입력값인 열적/기계적물성의 불확실성, CCT선도, Ac1/Ac3온도와 같은 야금학적물성의 부족, 실제 용접열원을 정확하게 묘사할 수 없는 열원모델의 한계, 초기/경계조건부의 부정확성 등이 있다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 각종 물성들 중 해석결과에 영향정도가 큰 핵심물성을 통계적으로 도출하여, 대상강재인 EH36-TM의 핵심물성을 측정하고, 적절한 열원의 모델링 및 최적화, 초기/경계조건 선정 등을 통하여 용접부 단면형상 크기, HAZ 경도 분포, 잔류응력 분포의 예측정도를 향상시키고자 하였다.

2. 해석정도의 영향인자

2.1 열적물성 및 기계적물성

열적물성인 열전도계수와 비열의 고온물성은 오스테나이트상 영역에서 강중에 따라 크게 다르지 않으므로 상온에서 900 까지 측정하였다. Fig.1은 측정된 EH36-TM강의 열전도계수 및 비열을 나타낸 것으로, 물성 값이 잘 알려진 일반

연강의 값과 유사한 결과를 나타내었다. Fig.2는 측정된 EH36-TM강의 열변형율, 항복강도, 변형경화를 나타낸 것이다. 열변형율과 변형경화값은 α 상과 γ 상으로만 구분하여 측정하였고, 인장강도는 martensite, bainite, acicular ferrite, polygonal ferrite, austenite로 구분하여 측정하였다.

2.2 CCT선도

상변태는 같은 냉각속도에서도 austenite 결정립 크기(AGS)에 따라 다르게 나타난다. AGS는 최고도달온도로 결정되므로, 용접 HAZ에서 용접 용융경계에 가까운 부분의 상변태와 HAZ경계에 가까운 부분의 상변태는 크게 달라질 수 있다. Fig.3은 최고도달온도 1350 인 경우와 950 인 경우의 CCT선도를 나타낸 것으로, 1350 에서의 AGS는 평균 300 μ m, 950 에서의 AGS는 평균 30 μ m로 나타났다. 1350 인 경우와 비교하여 950 인 경우에서 변태온도가 전체적으로 조금 낮아졌으며, 저온변태조직도 적게 발생하였다. 최고도달온도가 950~1350 $^{\circ}$ C 중간 값일 때는 측정된 두 CCT선도를 선형보간하여 이용하였다.

2.3 열원

아크용접 열원으로 가장 일반적으로 사용되는 이중타원모델은 Fig.4(a)와 같이 열원의 단면형상이 타원이므로 용접부 단면형상 해석결과도 타원으로만 나타내어 Fig.4(b)와 같은 용접부 단면을 표현하는 데는 한계가 있다. Fig.4(c)와 같이 열원의 단면형상을 임의의 형상을 갖도록 조절하면 실제 용접부 단면형상과 매우 유사한 결과를 얻

을 수 있다. 임의의 단면형상을 갖는 열원모델의 변수들은 반응표면분석(RSM)을 이용하여 최적화하였다.

2.4 초기잔류응력

TMCP강은 제조과정에서 가속냉각을 받기 때문에 강재 표면과 내부의 냉각속도차이로 인하여 표면에는 압축잔류응력이 중심부에는 인장잔류응력이 발생하게 된다. 이러한 응력상태를 해석의 초기잔류응력으로 고려해야만 좀 더 정확한 해석 결과를 얻을 수 있다. 실제 측정된 강재 표면 잔류응력과 유사한 초기잔류응력 상태를 구하기 위해 대류열전달 계수를 조절하여 가속냉각공정을 모사해석하였다. Fig.5는 해석 초기조건으로 이용할 초기 잔류응력분포를 나타낸 것이다.

3. 해석결과 검증

3.1 용접실험

본 연구에서 사용한 시험재는 20t, EH36-TM강재이고 용접부 형상은 V-groove butt 용접부이며 FCA 용접공정을 적용하였다. 잔류응력은 HDM (Hole drilling method)을 이용하여 용접조건별로 8회 측정하였다.

3.2 수치해석

수치해석은 상용코드 Sysweld를 이용하였으며, 용접부 단면을 평면변형률 상태로 가정하여 2차원 유한요소해석을 수행하였다.

Fig.6은 열해석 결과를 나타낸 것으로 실험결과(흰색 점선)와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 해석결과에서 최고도달온도가 1519 이상되는 영역을 용융부로 판단하였으며, 시간에 따라 변하는 1519 이상되는 영역을 모두 중첩시켜 전체 용융부 형상을 구하였다. 모재부와 다른 조직을 갖는 HAZ부는 ferrite상이 변태된 곳까지로 판단하였다.

Fig.7은 열-야금해석의 결과인 상분율을 이용하여 HAZ 경도분포를 계산한 것으로, 용접금속, HAZ, 모재에서 실험결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 특히 HAZ영역에서의 경도분포 변화를 잘 예측하는 결과를 얻은 것은 최고도달온도에 따른 CCT선도를 고려했기 때문으로 판단

된다.

Fig.8은 응력해석의 결과인 잔류응력분포를 실험결과와 함께 나타낸 것이다. 개선된 해석 영향인자를 적용하기 전과 비교하여 적용후 상당부분 예측정도가 향상된 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

선급 EH36-TM강재 용접부 수치해석 정도향상에 필요한 영향인자를 도출/개선하고 Sysweld를 이용한 수치해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접부 열해석 정도를 향상시키기 위해서는 임의의 단면형상을 갖는 열원모델을 사용하고 최고도달온도에 따른 상변태를 고려해야만 한다. 그러나, EH36-TM강의 열적물성은 일반 연강의 물성과 크게 다르지 않았다.
- 2) 용접부 응력해석 정도에 영향이 큰 강재의 기계적물성은 열팽창율, 항복강도, 변형경화이며 이 물성들은 온도 및 상에 따른 값으로 입력되어야 한다. 또한, 초기잔류응력을 고려하는 것도 좀 더 정도 높은 해석결과를 얻기 위해서 필요하다.

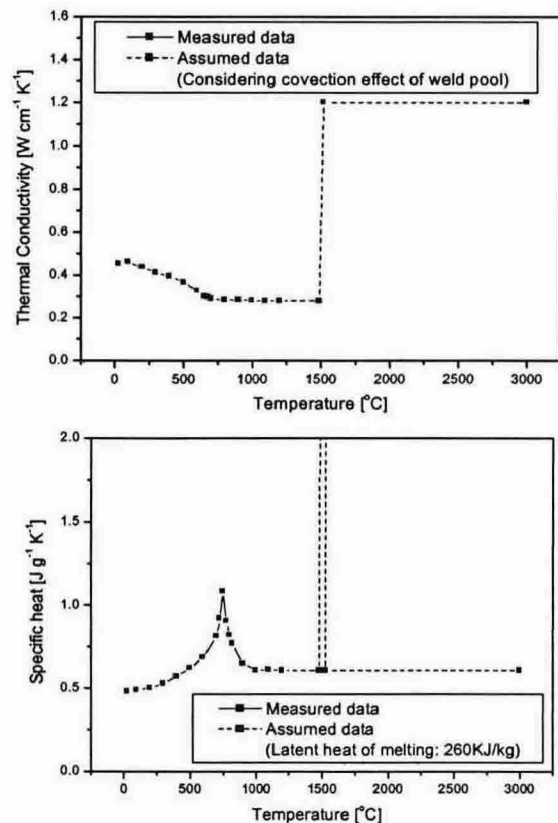


Fig.1 Thermal properties of EH36-TM

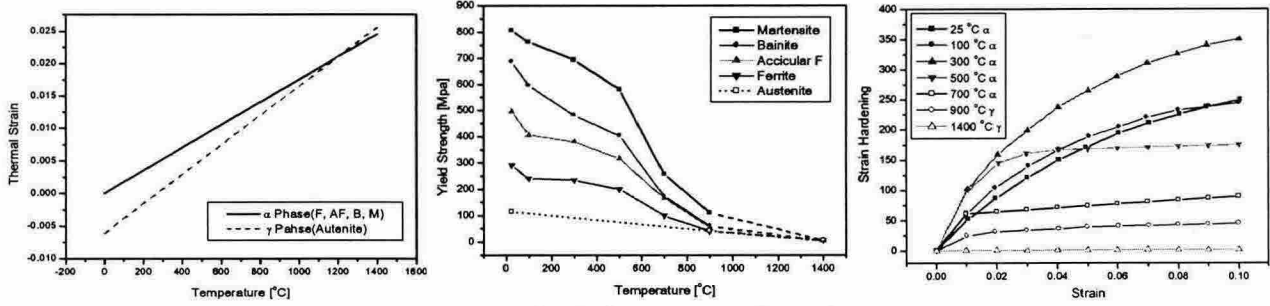


Fig.2 Mechanical properties of EH36-TM

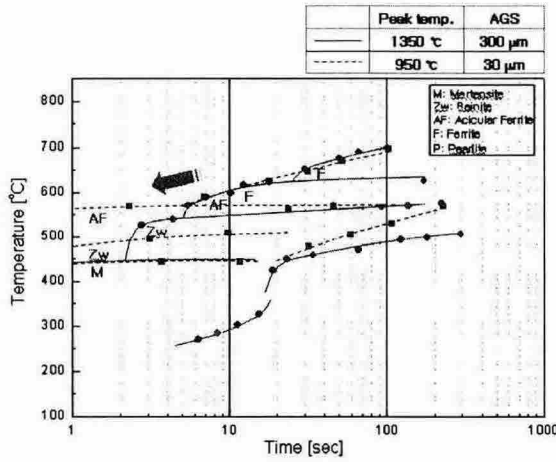


Fig.3 CCT diagrams of EH36-TM with 2 peak temp.

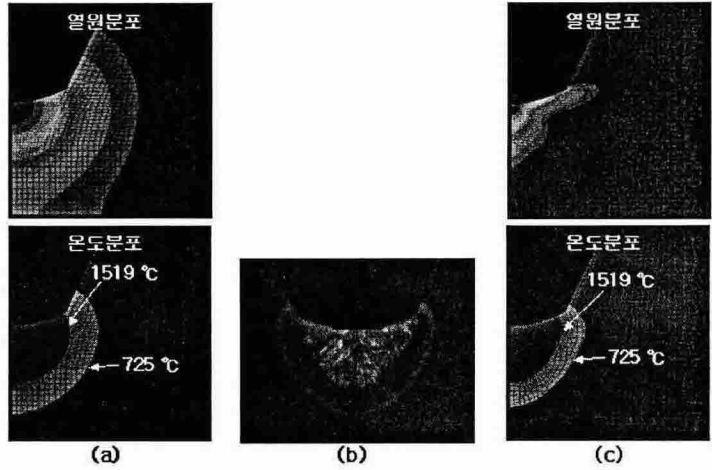


Fig.4 Heat source model and temperature distribution

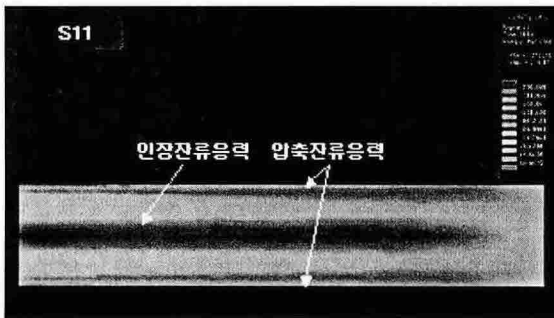


Fig.5 Distribution of initial residual stress

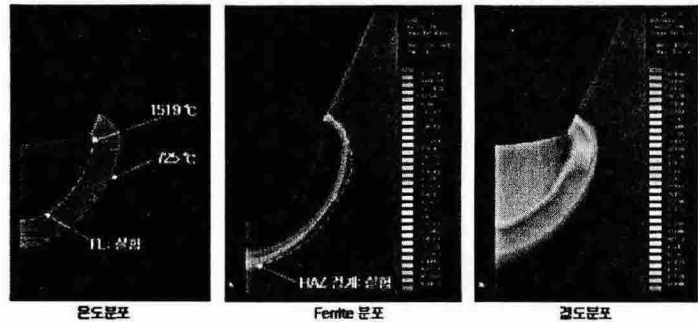


Fig.6 Fusion Zone, HAZ and hardness

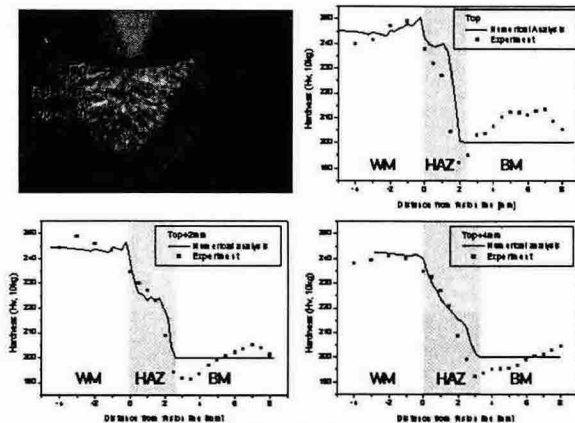


Fig.7 Distribution of hardness

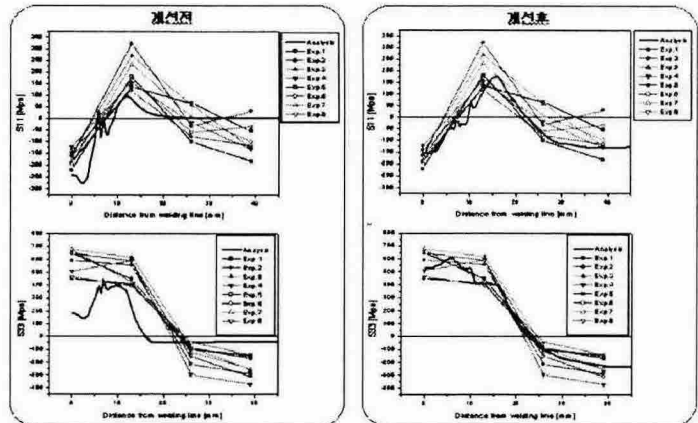


Fig.8 Distribution of residual stresses