

## SM570-TMC 강 용접접합부의 잔류응력 해석

### Analysis of Residual Stresses in Welded joints of SM570-TMC Steel

박 현 찬\*, 이 진 형\*\*, 이 진 희\*, 장 경 호\*\*\*

\* 중앙대학교 토목공학과

\*\* 중앙대학교 기술과학연구소

\*\*\* 중앙대학교 건설환경공학과

**ABSTRACT** Bridges constructed recently are preferred to have long spans and simple structure details considering not only the function as bridge but scenic beauty, maintenance, construction term and life cycle cost, etc. Therefore, they require high performance steels like extra-thick plate steels and TMCP steels. A TMCP steel produced by thermo-mechanical control process is now spot lighted due to the weldability for less carbon equivalent. It improved at strength and toughness in microstructure. Recently, the SM570-TMC steel which is a high strength TMCP steel whose tensile strength is 600MPa has been developed and applied to steel structures. But, for the application of this steel to steel structures, it is necessary to elucidate not only the material characteristics but also the mechanical characteristic of welded joints.

In this study, the characteristics of residual stresses in welded joints of SM570-TMC steel were studied through the three-dimensional thermal elastic-plastic analyses on the basis of mechanical properties at high temperatures obtained from the elevated temperature tensile test.

## 1. 서 론

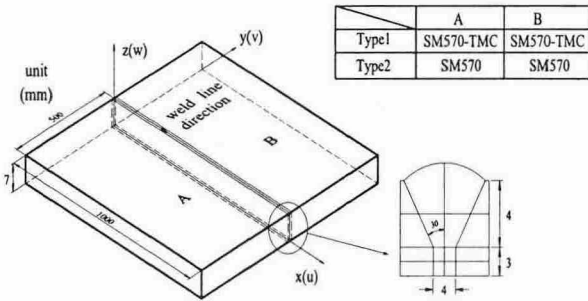
최근 장대화된 교량과 같은 대형 강구조물에서는 일반 구조용 강판의 경우보다 강도가 높고 구조적 성능이 우수한 고강도·고성능 강재의 사용이 요구되고 있다. 고강도·고성능 강의 사용에 따른 문제점으로는 용접부 균열, 용접결함, 열영향부의 인성저하 등을 예상할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 강도, 용접성, 용접부 인성 등 재료의 성질이 우수하고, 경제적으로 타당성이 있는 구조용 강재가 요구된다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 TMCP 강을 생산하여 건설 구조물에 사용하고 있다. 제강, 제어가열, 제어압연, 제어냉각을 유기적으로 결합하여 이들의 공정조건을 통일적으로 규제함으로써 성형 완료시 재료에 최고의 재료특성을 부여하도록 하는 기술체계라 정의되고 있는 신 제어 압연법, 즉 TMCP(Thermo-Mechanical Control Process)에 의해 제조되는 강은 탄소당량이 작고, 조직이 미세하며, 강도 및 인성이 좋다. 종래의 강에 비해 용접성이 뛰어나고, 취성파괴에 대한 저항능력이 우수하며, 극후판 강재에서도 고강도, 고인성을 확보할

수 있다. 또한 최근에는 SM570-TMC가 개발되었다. 하지만 이러한 고강도 TMCP강을 강 구조물에 적용하기 위해서는 그 재료적 특성뿐만 아니라 용접시 발생하는 접합부의 역학적 특성을 명확히 할 필요가 있다. 대부분의 강과 마찬가지로 TMCP강도 용접에 의해 제작되어지는데, 용접시에는 필연적으로 용접잔류응력이 발생하며 구조물에 용접부의 피로 강도성능에 영향을 미친다. 그리고 고강도 TMCP강의 경우에는 더 큰 용접잔류응력이 발생하리라고 판단된다. 그러므로 용접시에 발생하는 용접잔류응력의 정량적인 크기와 그 생성 메카니즘을 규명하는 것은 대단히 중요하다. 잔류응력의 크기 및 그 생성 메카니즘의 규명에 있어 구조물이 복잡해 질수록 실험에 의해서는 한계가 있으므로 수치해석을 통하여 규명하는 것이 일반적이다. 따라서 본 연구에서는 SM570-TMC 강의 잔류응력 해석을 통하여 잔류응력의 크기 및 생성 메카니즘을 규명하였다.

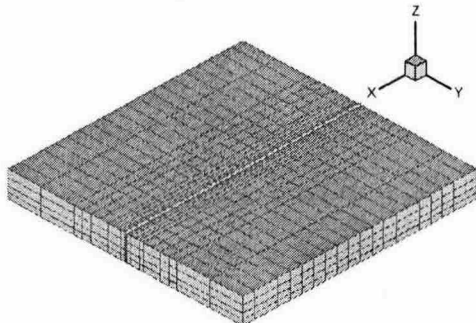
## 2. SM570-TMC 강 의 잔류응력 해석

### 2.1 해석모델

본 연구에 사용된 해석 모델은 Fig. 1에 나타난 것과 같다. 각각 SM570 강과 SM570-TMC 강으로 이루어진  $500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 7\text{mm}$  크기의 두 평면 플레이트를 FCAW(Flux Cored Arc Welding)로 1pass 맞대기 용접하는 것으로 하였다. 용접 조건은 입열량  $Q = 1300(\text{J}/\text{mm})$ , 용접속도  $v = 6(\text{mm}/\text{s})$ 이다. 해석에 사용된 프로그램은 수차례 기발표 논문에서 검증된 3차원 해석 프로그램<sup>(1-3)</sup>으로써, 8절점 Isoparametric 입체유한요소를 도입하여 용접패스의 진행속도를 고려한 시간에 따른 이동열원을 이용하여 3차원 비정상 열전도 해석을 전체 모델로 수행하였다. 잔류응력의 해석은 열전도 해석으로부터 구한 시간에 따른 각 절점에서의 온도를 하중으로 도입하여 3차원 열탄소성해석을 수행하였다. 3차원 비정상 열전도 해석시 공기와 접하는 면에서 열은 대류가 되고 내부에서 열은 전도되는 것으로 하였다. 그리고 용착부를 모델링하기 위하여 용접이 진행되지 않은 요소는 강성이 없게 처리하고 용접이 끝난 후 온도에 따라 강성을 회복하는 것으로 하였으며 강체운동이 발생하지



(a) Welding model



(b) Mesh Divisions

Fig. 1 FEM model

않도록 경계조건을 설정하였다. 열탄소성 해석시 반드시 필요한 온도 변화에 따른 재료의 물리정수는 Fig. 2와 같으며 기계적 제성질은 SM570 강의 경우에는 기존의 문헌을 참고하였고<sup>(4)</sup>, SM570-TMC 강의 경우에는 고온인장 실험을 통하여 직접 구하였다. 그 결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

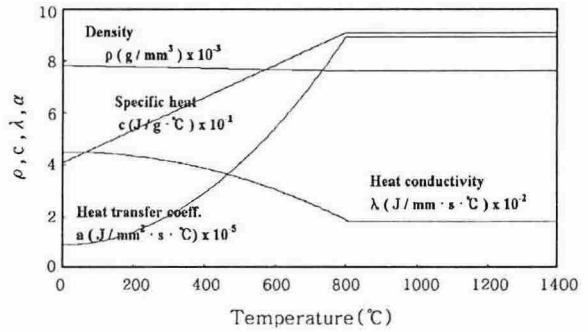


Fig. 2 Physical constants

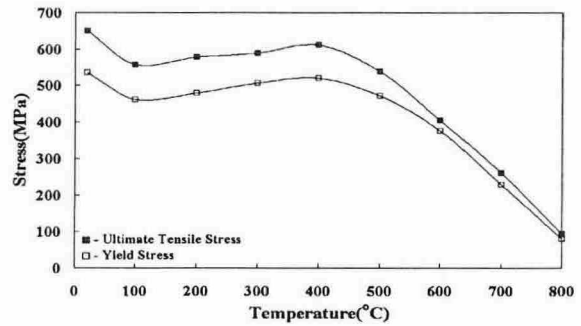


Fig. 3 High temperature tensile properties of SM570-TMC

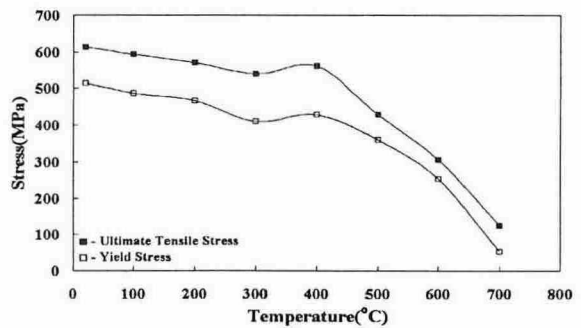


Fig. 4 High temperature tensile properties of SM570

### 2.2 온도분포

3차원 비정상 열전도 해석을 상기와 같은 조건 하에서 수행하여 온도이력을 구하였으며, 시간(t)에 따른 온도분포의 한 예를 Fig. 5에 나타내었다.

### 2.3 용접선 직각방향으로의 잔류응력

Fig. 6에 SM570-TMC 강을 접합한 경우 평판상단 ( $x=500, z=6$ )의 용접선방향축에서 직각방향으로의 잔류응력의 결과를 나타내었다. 잔류응력은 용접선 방향축에서 용접선방향 (weld line direction) 과 용접선직각방향 (transverse direction), 그리고 두께 방향 (thickness direction) direction)의 잔류응력에 주목하였다. SM570 강을 접합한 경우 잔류응력의 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 이상의 결과에

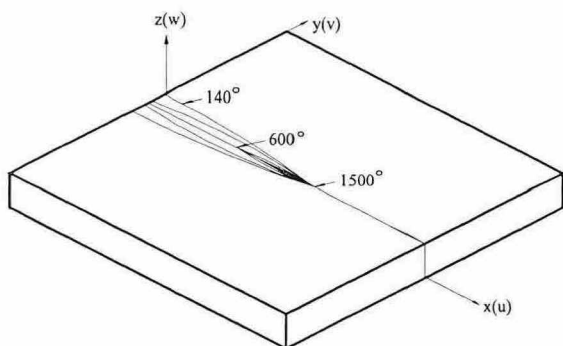


Fig. 5 Temperature distribution

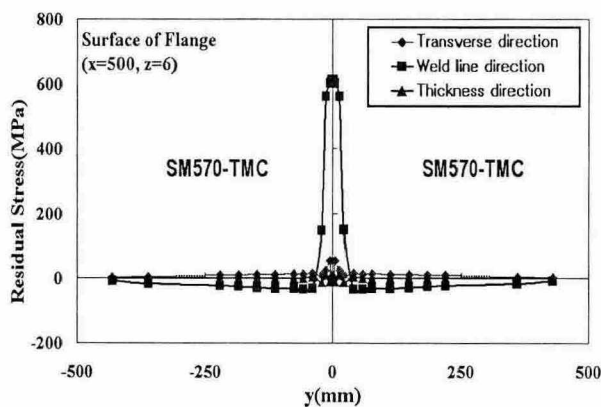


Fig. 6 Residual stress (SM570-TMC steel)

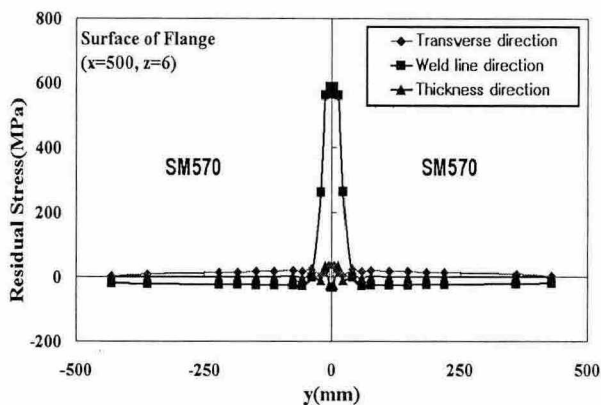


Fig. 7 Residual stress (SM570 steel)

서 SM570-TMC 강을 접합한 경우 용접부에서의 용접선방향의 잔류응력의 크기가 SM570 강을 접합한 경우보다 큼을 알 수 있다. 이것은 SM570-TMC 강의 고온에서의 기계적 성질이 SM570 강보다 우수하기 때문이다. 즉, 본 연구에 의하면 잔류응력이 결정되는 온도는 용접 후 냉각 시의 400°C~500°C 사이인데 이때의 SM570-TMC 강의 항복강도의 크기가 SM570 강보다 크기 때문이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 수치해석을 통하여 SM570-TMC 강의 용접시 발생하는 잔류응력의 특징을 조사하였다. 또한 동일한 인장강도 급의 용접구조용강재인 SM570 강의 용접시 발생하는 잔류응력의 특징을 조사하여 이를 SM570-TMC 강의 결과와 비교하였다. 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

SM570-TMC 강을 접합한 경우의 용접부에서의 용접선방향의 잔류응력의 크기는 SM570 강을 접합한 경우보다 큼을 알 수 있었다. 이것은 SM570-TMC 강의 고온에서의 기계적 성질이 SM570 강보다 우수하기 때문이다. 즉, 본 연구에 의하면 잔류응력이 결정되는 온도는 용접 후 냉각 시의 400°C~500°C사이인데 이때의 SM570-TMC 강의 항복강도의 크기가 SM570 강보다 크기 때문이다.

### 참고문헌

1. Y.C. Kim, K.H. Chang, and K. Horikawa : すみ肉溶接で生じる面外變形の防止, Journal of JSSC, (1999.6), 11-16
2. Y.C.Kim, K.H. Chang, and K. Horikawa : すみ肉溶接で生じる面外變形の生成機構と普遍性の檢證, Journal of JWS, (1999.5), 294-300
3. K.H. Chang, C.H. Lee : Analysis of Residual Stress in Welds Composed of Dissimilar Steels under Tensile Loads, Journal of KSCE, 22 2-A, (2002.3), 201-210
4. 日本鋼構造協會 技術委員會 安全性 分科會 耐火 小委員會 : 特集/構造用鋼材の高温時ならびに加熱後の機械的性質目次, 1968