2005년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2005년 11월, 경남 산청

종굽힘 용접변형을 갖는 조립 보의 냉간 롤 교정 해석

Straightening by Cold Roll Forming of the Welded Built-up Beams

한 명수*, 한 익승*, 한 종만*
*대우조선해양㈜ 산업기술연구소

1. 서 론

판넬(Panel) 구조물에서 종통 보강재는 압출 형강재가 사용되기도 하지만 단면 치수가 큰 경우에는 일반적으로 용접 조립보가 사용된다. 조립보를 용접으로 제작할 때에는 필연적으로 잔류응력과 변형이 발생한다. 길이가 비교적 긴 용접 조립보에서 대표적으로 나타나는 종굽힘 변형은 조립보의 단면 중심과 일정 거리 떨어져있는 용접부가 수축할 때 발생하는 모우멘트 때문에 생긴다. 따라서 조립보의 용접 종굽힘 변형을 최소화하기 위해서는 조립보의 단면 중심에 용접부가 위치하도록 이음부를 설계하면 된다. 그러나 대부분의 비 대칭 단면 조립보에서 용접부의 위치는 단면 중심과 일정 거리만큼 떨어지게 되고 이와 같은 경우 어느 정도의 종굽힘 변형 발생은 필연적이다.

조립보를 용접할 때 변형을 줄이기 위해 취할 수 있는 방법으로서는 크게 용접 이전에 용접 변형과 반대 방향으로 미리 역 변형을 주는 방법과 용접 하면서 단면 중심을 기준으로 용접부와 반대 방향인 일정 위치를 동시에 가열 또는 급냉시켜 역 굽힘을 유발하는 방법 등이 있다. 이러한 방지법을 통해 원하는 정도의 변형 감소를 달성하지 못하는 경우에는 용접변형을 교정하게 되며 이때에는 열적 또는 기계적 교정법이 사용된다.

기계적 교정 방법으로서는 다양한 것들이 있지만 공통적으로 소성가공을 통해 용접변형을 상쇄하게 된다.

본 연구에서는 조선에서 사용되는 대표적 비대칭 단면 조립보인 T-형상의 조립보(T-bar)의 종굽힘 변형을 교정하기 위해 냉간 롤 성형을 행할 때 조립보의 치수 및 길이와 종굽힘 변형량을 고려한 적정 냉간 롤 공정변수를 도출하기 위해 실험 및 유한요소법에 의한 수치 해석을 행하였다.

2. 실험 및 해석 방법

2.1 용접법 및 용접 조건

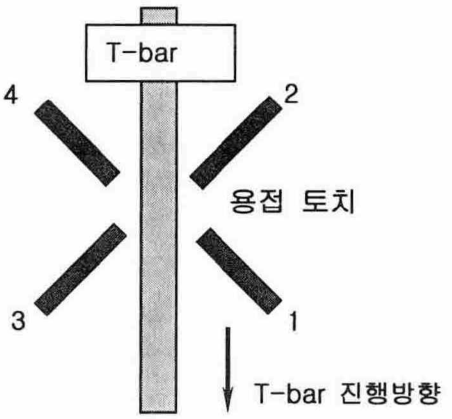


Fig.1 Schematics of automatic welding machine for the T-shaped built-up beams

Fig.1은 T-bar의 용접을 위한 twin tandem FCAW 자동 용접 장치의 토치 배열을 도식적으로 나타낸 것이다. 용접속도는 약 1060mm/min으로서 T-bar의 이송 속도와 같다. 각 용접면의 선행 및 후행 토치에 대한 용접조건을 서로 비교하면 후행 토치의 전압 및 전류가 선행 토치에 비해 약 1~2V, 20~50A씩 각각 높게 설정된다. 실측한 결과에 따르면 전압은 비교적 안정적으로 유지되나 용접 전류는 토치마다 일정 변동 범위

를 나타내었다. 같은 용접속도 하에서 토치에 따라 전류 변동이 발생한다는 것은 투입되는 입열량이 다르다는 것이므로 그로 인한 용접부 치수 및 용접 변형량에도 편차가 발생할 것이 예상된다. 실측한 용접 목 두께 치수도 4.2mm~4.8mm로서 평균값은 최소 요구 두께인 4.5mm를 만족하고 있었으나 용접 전류의 편차로 인한 치수 변동이 다소 발생하고 있었다. 따라서 T-bar의 균일한 정도 및 품질 확보를 위해서는 우선 요구되는 용접부 치수에 상응하는 용접조건이 균일하게 유지될 수 있는 자동 용접 제어 시스템이 요구된다고 할 수 있다.

2.2 변형 측정 방법

본 연구에서는 종굽힘 변형에 한정하여 T-bar의 각 조립공정별 변화를 관찰하였다. Web의 길이방향 모서리로부터 30mm 하부에 위치한 기준선으로부터 중앙부의 곡 깊이를 측정하여 종굽힘 변형량을 계산하였다.

2.3 수치 해석 방법

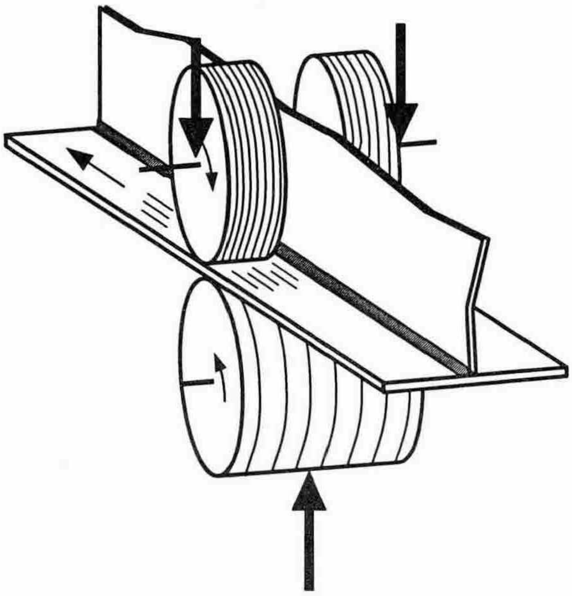


Fig.2 Schematics of cold roll-forming machine

Fig.2는 T-bar의 종굽힘 용접변형을 교정하기 위한 냉간 롤 성형기의 개략도를 나타낸 것이다. 상부 2개의 롤러는 지지 롤러로서 idle 상태로 회전하며 캠버를 가진 하부 롤러가 구동 롤로서 플랜지 바닥면을 가압하여 회전하면서 T-bar를 밀어내도록 되어 있다. 롤 성형기를 사용한 변형 교정 원리는 냉간 압축으로 발생하는 플랜지의 두께 감소 및 용접선 방향으로의 영구 신장 변형이다. 롤 성형을 통한 변형 교정 과정을 해석적으로 구현하기 위해서는 피 성형체인 조립보를 포함한 상, 하부 롤의 기하학적 모델링과 성형 시스템의 기구학적 모델링이 수반된다. 또한 롤 성형기와 조립보 사이의 접촉 문제도 다루어져야 한다.

일반적으로 회전체와 평면체 사이의 접촉 문제를 유한 요소법을 사용한 수치 해석적 방법으로 구하기 위해서는 접촉 영역의 요소 크기가 접촉의 기하학적 반경에 비해 충분히 작아야만 수렴성 및 접촉의 불연속성을 해결할 수 있으며 요소 크기가 커질 경우에는 접촉의 불연속이 발생하여 수렴 해를 구하기 어렵다. 변형 교정 해석을 위해 접촉 영역이 조밀한 유한 요소 망으로 이루어진 구조 모델을 사용할 경우 다루어야 할 문제의 크기가 커져서 시간적 제약 등으로 인해 교정해석뿐만 아니라 교정해석 이전의 용접변형해석 과정에도 수치 해석적 방법을 적용하기 곤란하게 된다.

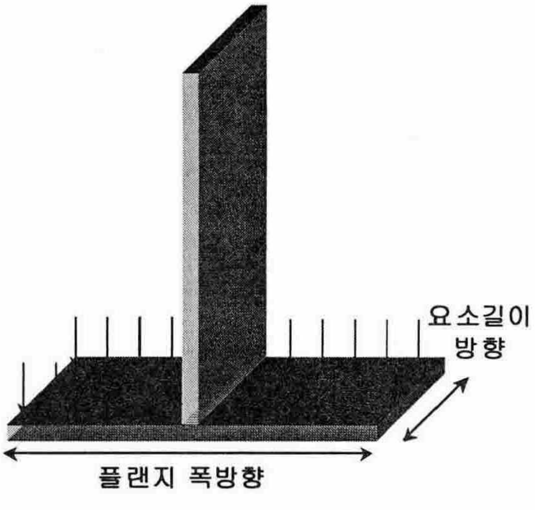


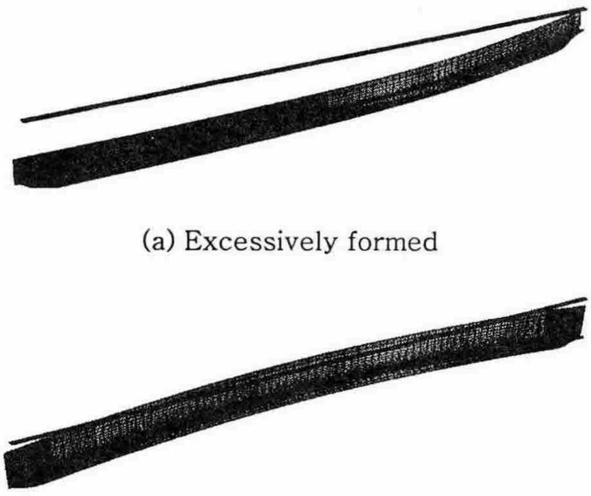
Fig.3 Simplified cold forming analysis model

본 연구에서는 요소 크기에 따른 해석의 제약을 제거함과 동시에 해석을 효과적으로 수행하기 위해 교정 공정을 단순화하여 피 성형체와 상, 하 롤 사이의 구름 접촉 압력을 Fig.3에 나타낸

것과 같이 면압으로 대체하여 적용하였다. 또한 가압면의 반대 면에서 원통 롤과 플랜지 바닥면 사이의 구름 접촉을 캠버를 가진 강체 면을 사용한 면 접촉으로 구현하였다. 면압은 보의 길이방향에 대해서는 단위 요소로 구분하여 순차적으로 가해졌으며 폭 방향으로 압력 변동은 없는 것으로 가정하였다.

3. 결 과 및 고 찰

Fig.4는 교정 해석이 완료된 상태의 T-bar 형상을 나타낸 것이다. (a)는 적정 교정 압력보다 높은 압력을 받아 교정이 완료된 후 용접변형 방향과 역 방향으로 변형된 모습이며 (b)는 교정 압력이 낮아 추가 교정이 필요한 상태를 나타낸다.



(a) Excessively formed

(b) Less formed

Fig.4 Residual deformation after cold forming

Fig.5는 단면 치수 및 길이가 각기 다른 초기 용접을 가진 T-bar에 대해 교정 압력을 달리했을 때 교정 후의 잔류 변형량의 변화를 계산한 것이다. 잔류 변형량은 T-bar의 길이 방향 중앙 지점에서 계산된 변위이다. 초기 용접 변형량은 길이가 길수록 그리고 단면치수가 작을수록 크다. 교정 압력이 증가함에 따라 교정 후 잔류 변형량은 거의 직선적으로 감소하게 되고 감소 비율은 T-bar의 치수 따라 다르게 나타났다. 그림에서 주목할만한 결과는 일정 압력이상으로 교정을 행할 경우 교정 후 남게 되는 잔류 변형량은 T-bar의 단면 치수에 관계없이 주로 길이에 따라 어느 일정 범위로 수렴되는 경향을 나타낸다는 것이다.

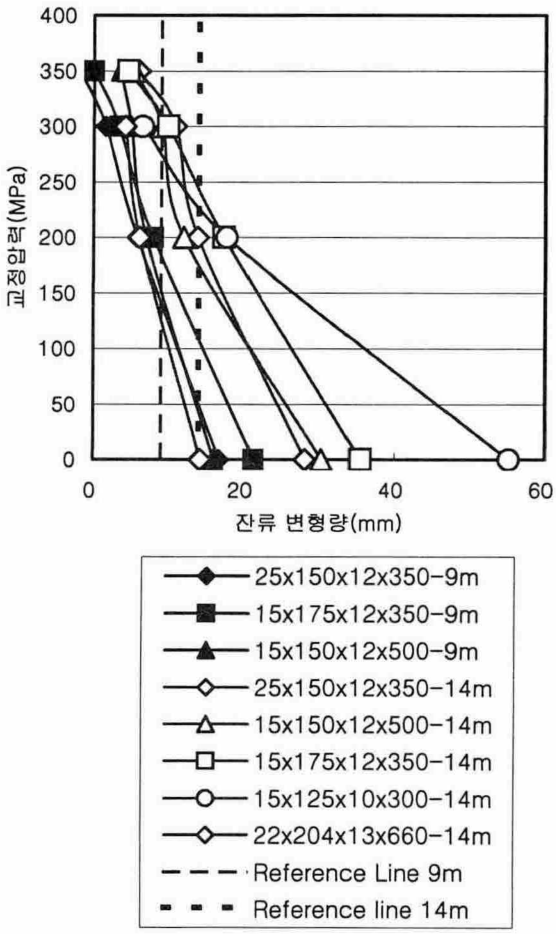


Fig.5 Relationship between forming pressure and residual deformation

4. 결 론

본 연구에서는 용접 변형된 T-bar를 냉간 롤 성형으로 교정할 때 T-bar의 초기 용접 변형량 및 단면치수와 길이에 따른 적정 교정압력을 실험 및 해석을 통해 구하였다.

참 고 문 헌 (생략)