

FEM을 이용한 H형강 압연공정 해석

박춘수^{1#}, 김정민¹, 우기만¹

Simulation of H-beam rolling process using FEM

C. S. Park, J. M. Kim, K. M. Woo

Abstract

It is most important to design the roll pass in shape rolling process. However, roll pass design has been accomplished by experience and intuition of a skilled engineer up to now. And it has been produced throughout a lot of trial and error. Thus, in this study, we tried to analyze the rolling process of H-beam by using FEM program for the quantitative evaluation of the plastic deformation. It could be predicted that rolling load, torque, shape of cross section and distribution of effective strain each pass by the analysis of rolling from break down mill(2 Hi rolling) to finishing rolling(Universal rolling) considering the heat transfer.

Key Words : H-beam, Rolling, Rolling load, Simulation, FEM

1. 서론

H형강은 단면이 H 형상을 가진 제품으로 건축 구조재 및 용접용으로 널리 사용되고 있다. H형강은 크게 조압연 (Break-Down Mill)과 마무리압연 (Universal & Eder Mill)에 의해 제조되며, Flange와 Web의 길이에 따라 사이즈가 다양하다. H형강의 압연 시 소재 변형은 평판 압연 시 발생하는 변형보다 더 복잡하고 길이 방향으로 연신 및 폭 퍼짐이 발생하여 복잡한 3차원 변형이 된다. 형상 압연 공정 시 중요한 것이 공형설계이고 현재 공형설계는 숙련된 기술자의 경험과 직관에 의해 설계가 이루어지고 있으며, 많은 Trial & Error를 통해 생산을 하고 있다. 이러한 설계 과정이 상당한 비용과 시간이 소요됨에 따라 보다 과학적인 설계방법이 요구되고 있다[1][2]. 컴퓨터의 발전과 FEM Program 개발로 인해 형상압연 공정 해석을 다양한 방법으로 수행하고 있으며 이러한 형상 압연 해석을 통해 정량적으로 소재변형, 압연하중,

온도분포, 잔류응력 등을 구한 후 해석결과를 공형설계에 반영하고 있는 추세이다[3].

본 연구의 목표는 FEM 해석을 통한 현 조업조건에 대한 적합성 평가 및 개선사항 도출에 있으며, 이를 달성하기 위하여 H형강 대표 Size의 Break Down 압연에서부터 Finishing 압연까지 압연 전 공정을 Simulation 하였으며, 개선사항 도출을 통한 압연공정 최적화를 시도하였다.

기대효과로는 압연공정 최적화를 통한 공정개선과 향후 신제품 및 신Size 개발시 사전 해석을 통한 개발 Lead Time 단축 및 개발비용 절감을 들 수 있다.

당사의 형강공장은 대표적인 중형 형강공장으로 Break Down압연기는 2Hi Reversing Type이고, Finishing압연기는 Tandem Type으로 Universal압연기와 Edger압연기로 구성되어 있다.

H형강의 압연공정 해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D의 Shape Rolling Template를 사용하였다[4].

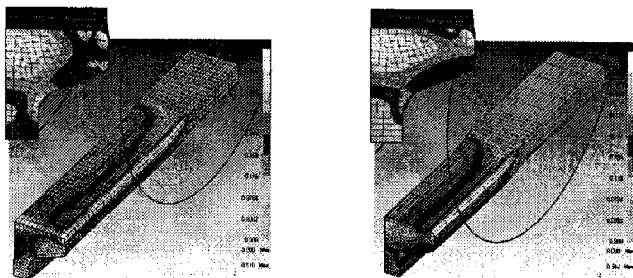
1. 동국제강㈜ 중앙기술연구소

교신저자: E-mail: chunsu.park@dongkuk.com

2. H형강 압연 Simulation

2.1 ALE 해석기법

형상 압연 공정 해석을 위한 효율적인 컴퓨터 절차를 개발하기 위하여 다수의 수치 해석 기술이 개발되었으며, DEFORM에도 적용되었다. 이러한 수치해석기술중의 하나가 Arbitrary Lagrangian Eulerian(ALE)방법이다. 이 방법은 정상상태의 형상 및 상태변수를 얻기 위하여 이용될 수 있다. 제시된 ALE 해석기법에서는 각 노드의 좌표는 압연 방향에 대하여 수직인 방향으로만 움직이며, 압연방향으로는 움직이지 않는다. 해석해는 자유표면에 수직인 속도성분 및 주요 상태변수의 변화가 없을 때 정상상태에 도달한다. 이 방법을 사용함으로써, 변형이 일어나는 구간에 많은 수의 요소를 사용하고, 변형이 없는 나머지 구간에 적은 수의 요소를 사용함으로써, 해석의 정도를 증가하면서 해석시간을 줄일 수 있다. 또한 고정된 길이의 압연 형재의 사용은 정상상태의 압연형상을 충분히 예측할 수 있게 한다. Fig. 1은 1번 stand에서의 Lagrangian방법과 ALE방법에 의한 해석결과를 비교한 그림으로 압연 후의 Effective Strain분포가 거의 동일함을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 계산시간 등 여러 장점이 있는 ALE 해석기법을 이용한 압연공정 해석을 수행하였다.



(a)Lagrangian (b)ALE

Fig. 1 The comparison of Lagrangian method and ALE method

2.2 해석 Setup 및 경계조건

압연 소재는 열간압연 일반강재인 SS400강종을 대상으로 하였으나 고온 물성치 미보유로 이와 탄소함유량이 가장 유사한(0.16%C) AISI-1016의 실험 데이터를 사용하여 해석을 수행하였다.

Fig. 2는 압연템플릿을 이용하여 소재와 Roll의

단면정보로부터 자동으로 3차원 모델을 생성하는 일련의 과정을 보여준다. 또한 압연공정의 특성인 다단공정을 일괄적으로 Setup하고 순차적으로 해석할 수 있었다.

특히 Finishing압연공정 Setup시 Fig. 3과 같이 몇 개의 형상정보만으로 Universal Roll이 구성되도록 DEFORM개발사와 공동으로 기능을 추가하여 Setup시의 노력을 최소화 할 수 있었다.

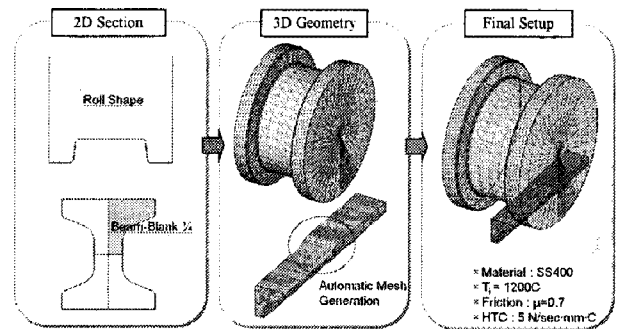


Fig. 2 Setup process of material and roll

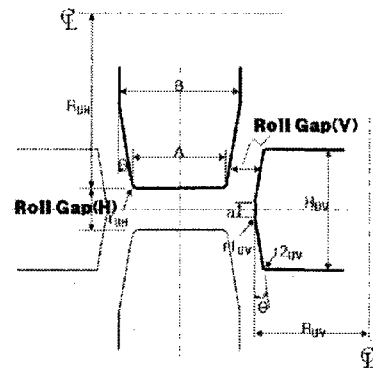


Fig. 3 Setup of the universal roll

H형강의 기하학적 특성상 소재는 1/4모델을 사용하였으며, 압연해석의 경우는 Roll과 소재는 $\tau = mk$ 인 일정전단마찰(Constant Shear Friction)에 의해 압연되도록 설정하였으며 마찰계수는 $m=0.7$ 로 하였다. 또한 압연 패스간에 일어나는 열전달도 고려하여 해석을 수행하였다.

또한 Finishing압연공정 Setup시에는 Mill Stretch도 고려되었다. Break Down압연의 경우는(조압연 공정이고) Roll 자중이 크기 때문에 Mill Stretch를 무시하였지만, Finishing압연공정은 비교적 얇은

Web과 Flange를 압연하고 두께치수를 관리하기 때문에 반드시 Mill Stretch가 고려되어야 한다. Fig. 4는 Mill Stretch고려한 Roll의 Setup방법인데 UH, UV Roll의 상단과 측면부에 실제 압연기의 강성(Stiffness)과 동일한 크기의 스프링을 설치함으로써, 압연하중이 발생되면 Roll이 상부와 측면부로 밀려나도록 하였다.

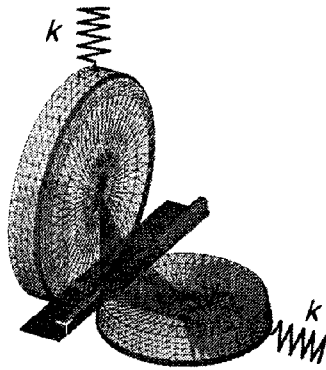
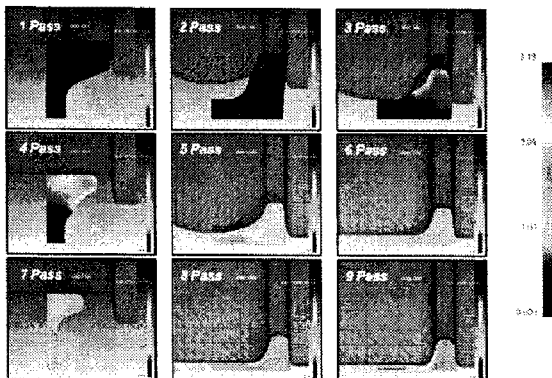


Fig. 4 Schematic diagram of mill stretch in universal rolling

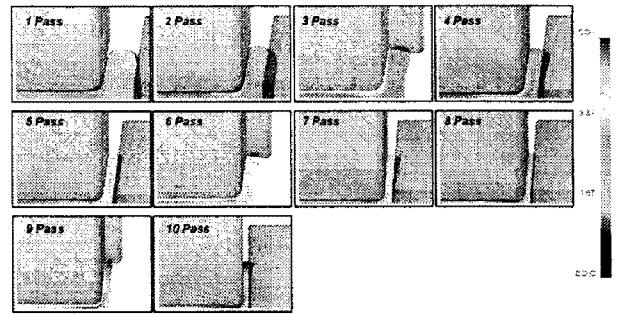
3. 해석결과 고찰

3.1 단면형상 및 유효변형을 분포

Break Down 및 Finishing 압연 다단공정 해석을 통해 Fig. 5와 같이 각 패스별 소재 단면형상 및 유효변형율(Effective Strain)분포를 확인 할 수 있었으며, 실제 제품에서 확인되는 바와 같이 Web부 코너R에 변형이 집중되는 것도 확인할 수 있었다.



(a) Break Down Rolling



(b) Finishing Rolling

Fig. 5 Shape of cross section and effective strain at HB350x175 size

3.2 온도이력

Fig. 6은 압연 전 공정의 온도 변화를 나타내고 있다 측정위치는 Web중앙부와 Flange 1/4지점으로 하였다. Break Down압연공정에서는 Flange에 비해 Web이 압하량이 많기 때문에 가공발열에 의해 온도가 높음을 알 수 있고, Finishing압연공정에서는 두께차에 의한 냉각효과로 인해 Web이 빨리 냉각됨을 확인할 수 있었다. 설비 및 조업여건상 2개소에서 정확한 온도측정이 가능하여 해석결과와 비교한 결과 비교적 일치하는 것을 알 수 있다

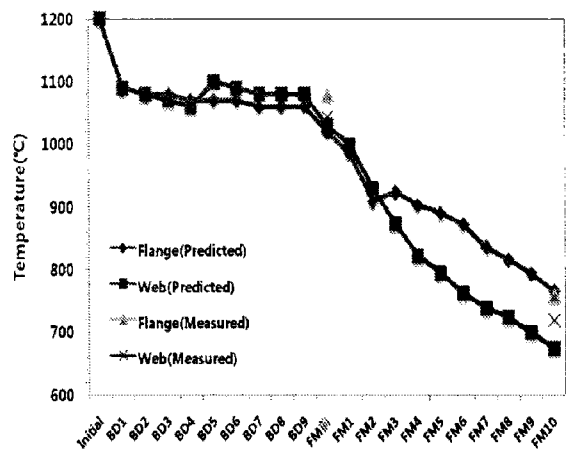


Fig. 6 Temperature history at HB350x175 size

3.3 압연하중 및 토크

압연하중 및 토크는 설비수명과 보호에 관련되어 조업시 고려되어야 할 가장 중요한 인자이다. 과도한 압연하중은 Roll 및 초크 파손 그리고 심지어 압연 스탠드까지 영향을 주게 된다. Fig. 7에는 HB350x175 size의 H-load 및 V-load를 나타냈다.

실제 조업 데이터와 다소 오차는 있지만 그 경향성은 일치함을 알 수 있다. 이러한 오차는 물성치, 열전달 조건, Mill강성 등 여러 요인들이 복합적으로 작용된 결과라 판단된다. 그리고 Fig. 8의 압연토크는 실제 압연설비에서 측정이 불가하므로 모터의 전류치를 환산하여 나타내었다. 비교적 오차가 크지만 경향성은 확인할 수 있었으며 이러한 오차들은 Roll과 소재의 접촉 정도의 영향이 크므로 향후 Mesh Study를 통해 줄여 나갈 수 있을 것으로 사료된다.

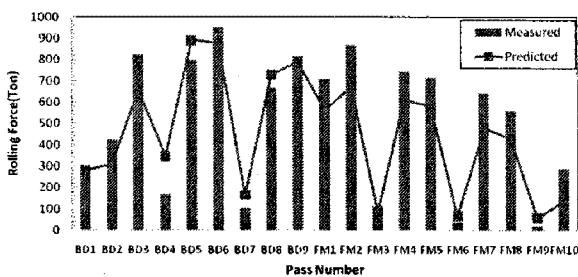
4. 결론

형상 압연공정에서 가장 중요한 것은 Roll 공형의 설계이나 현재 공형설계는 숙련된 기술자의 경험과 직관에 의해 설계가 이루어지고 있으며, 많은 Trial & Error를 통해 생산을 하고 있다. 그래서 본 연구에서는 소성변형의 정량적인 검토를 위해 소성 전문 FEM 프로그램을 이용하여 H형강 압연 전 공정의 해석을 시도하였다. H형강 대표 Size의 Break Down 압연에서부터 Finishing 압연 공정까지, 2Hi Roll 압연 및 Universal 압연은 물론 공정간 열전달까지 해석하여 각 Pass별 단면형상 및 유효변형율의 분포 그리고 가장 중요한 조업기준인 압연하중 및 압연토크 등을 예측할 수 있었다. 해석결과 조업 측정치와 경향성은 거의 일치하였으나, 이상화/이산화된 해석 모델의 특성상 절대치에서 다소 오차가 있음을 알 수 있었다.

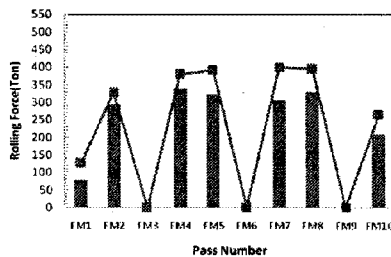
또한 이러한 현상분석을 통해서 조업시 문제가 되는 공정의 개선이 가능할 것이며, 특히 개발초기에 적극 활용된다면 개발비용 절감에 상당한 기여를 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 김홍준, 김태효, 황상무, 1999, 유한요소법을 이용한 다단패스 형상압연 공정 해석, 대한금속학회, pp.69~77.
- [2] 신현우, 김낙수, 박종진, 1993, 유한요소법에 의한 H형강 압연공정의 해석, 대한기계학회논문집, 제17권, 제5호, pp.1095~1105.
- [3] K. Komori, K. Koumura, 2000, Simulation of deformation and temperature in multi-pass H-shape rolling, JMPT, Vol. 105, pp. 24~31.
- [4] DEFORM-3D V6.1 Manual, 2007.



(a)H-load



(b)V-load

Fig. 7 Prediction of rolling load at HB350x175 size

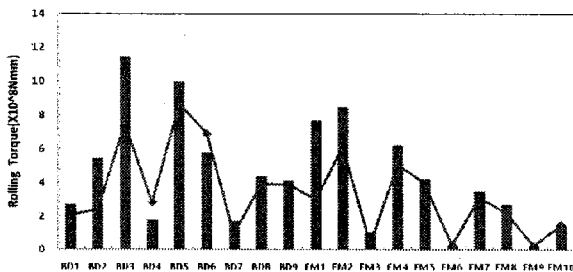


Fig. 8 Prediction of rolling torque at HB350x175 size