

## 3 차원 FEM 을 이용한 Angle 과 Channel 의 압연공정 및 Roll Stress 해석

김정민<sup>1</sup>, 박춘수<sup>1</sup>, 우기만<sup>1</sup>

### Rolling Process and Roll Stress Analysis of Angle and Channel using 3D FEM

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

#### Abstract

AB100 & CB100 are general products in the steel beam of the section shape. They are applied for construction, welding and shipbuilding structures. But currently roll damages are generated in the intermediate & finish mills during producing AB100, CB100. The goal of this project is to conduct rolling & roll stress analysis using the 3D FEM program and to research the things which roll diameter affects roll stress. By the analysis results, it is determined that the recording roll stress where the roll diameter will be big comes to be small, and it is recognized that roll damage occurrences of finish rolling mills can be high by roll stress analysis results.

**Key Words** : FEM Analysis, Rolling, Roll Stress, AB100, CB100, Roll Dia. DEFORM-3D

#### 1. 서론

일반 형강 중에 대표적인 제품이 Angle과 Channel이다. 이 제품들은 일반적으로 일반구조용, 용접구조용, 조선용에 주로 사용되고 Web과 Flange, leg 길이에 따라 제품 사이즈가 결정된다. 현재 생산하고 있는 Angle, Channel 제품 중 대표적인 것이 AB100, CB100이다.

AB100, CB100 제품 생산 시 중간열 및 사상열에서 Roll 절손으로 인해, Roll 교체 및 작업지연으로 생산성이 저하되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 3차원 FEM 해석을 통하여 Roll 절손의 원인과 해결방안을 찾고자 한다. 기존 연구로는 김홍준, 김태효, 황상무 등이 3차원 유한요소 해석법을 이용하여 형상압연 공정 해석 연구를 수행하였고[1], P.Macura, J.Petruska 등은 ANSYS를 이용한 3차원 압연 Simulation 및 실험을 통해 소재 형상 및 소재 Stress 분포 등을 비교 분석하였고[2], A.A Milenin, H. Dyja, S.Mroz 등은 유한요소법을 사용하

여 형상압연 시뮬레이션 예측 프로그램을 개발하였다[3]. 또한 Komori, Komura 등은 3차원 유한요소법을 이용하여 H 형강의 다단 압연 해석 Simulation을 수행하였고 잔류응력 및 온도 예측 등을 연구하였다[4].

본 연구에서는 AB100, CB100 압연 전 공정을 3차원 FEM 프로그램인 DEFORM-3D를 이용하여 압연해석을 수행하고, 해석결과와 조업결과를 비교 분석하여 압연 해석의 신뢰성을 평가한다. 또한 AB100, CB100 제품 생산에 사용되는 중간 및 사상 Roll에 대한 3차원 FEM 프로그램을 이용하여 Roll 직경 변화에 따른 응력해석을 수행하고 해석결과를 통해 현재 사용하고 있는 Roll의 적합성을 평가하고자 한다.

Fig.1(a), (b)는 Angle, Channel 제품 단면 형상이다. 여기서 Angle의 경우, H, B는 변의 길이를 나타내고 Channel의 경우, H는 Web의 높이를 B는 Flange의 폭을 지칭한다. 통상적으로 Leg과 Web의 길이에 의해 제품 사이즈가 결정된다.

1. 동국제강 중앙기술연구소

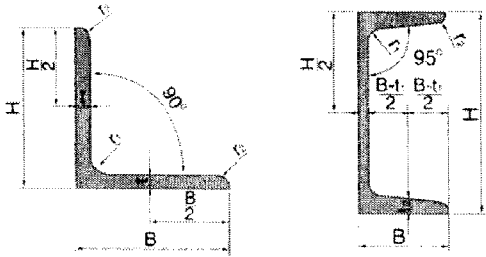


Fig. 1 (a) The shape of Angle  
Fig.1 (b) The Shape of Channel

## 2. AB100, CB100 압연해석

### 2.1 압연해석조건

현재 AB100, CB100은 총 13Pass에 의해 제품이 생산된다. 즉 AB100, CB100 생산공정이 다단압연 공정이므로 일반적인 범용 해석 프로그램 이용시 상당한 시간 소요 및 해석 Set-up의 어려움 등의 문제가 발생하여 이 연구에서는 소성가공 해석 프로그램 DEFORM-3D를 이용하여 압연해석을 수행하였다. 해석분야는 열전달 및 압연 공정을 연계한 해석이고 AB100, CB100 소재 초기온도는 실제 가열로 소재 추출온도와 동일하게 적용하였다. AB100, CB100 형상은 좌우 대칭이므로 Symmetric 조건을 적용하였고, 그리고 Roll과 소재간 마찰을 고려한 일정전단마찰을 적용하였다.

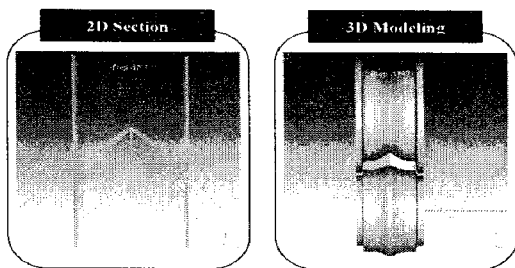


Fig.2 FEM 3D Rolling Analysis Setup

Fig. 2는 해석 Set-up 중 2D 형상을 3D 형상으로 변환하는 작업을 보여주고 있다. 압연해석에 적용된 Roll은 강체(Rigid Body), 소재는 강소성체(Rigid-Plastic Body)를 적용하였고, 소재로 적용된 강종은 현재 생산하고 있는 소재와 유사한 AISI 1016을 사용하였다.

### 2.2 압연해석결과

AB100, CB100 전 압연공정 13Pass를 수행하였고 아래의 Fig. 3(a), (b)는 AB100, CB100의 압연하중 결과이다.

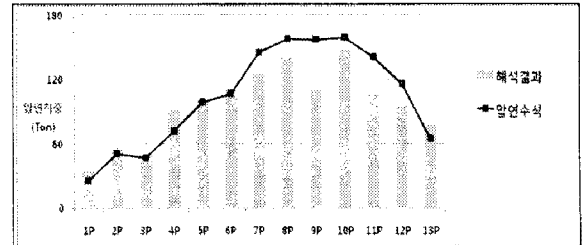


Fig. 3(a) Rolling Load of AB100

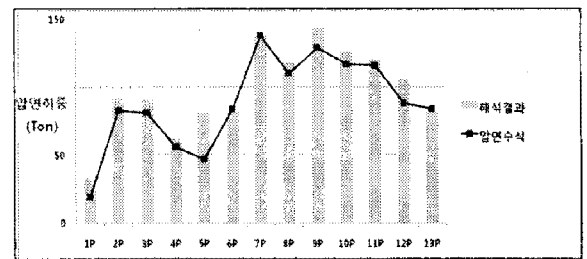


Fig. 3(b) Rolling Load of CB100

Fig. 3(a), (b)를 보면 막대그래프는 FEM 해석에서 획득한 압연하중이고 실선은 압연수식모델에서 계산된 압연하중 결과이다. 압연하중 결과를 비교해 보면 AB100, CB100 Roll과 소재간의 열전달, 마찰계수, 가공발열 등의 공정변수에 의한 오차와 소재물성치 등의 Input data의 오차로 인해 해석결과와 수식모델 결과가 오차가 발생하였지만 전체적인 경향성은 유사한 결과가 나타났다.

## 3. AB100, CB100 Roll Stress해석

### 3.1 해석대상 Roll 선정

현재 Angle의 경우 중간 사상열인 7 ~ 10Pass에서 Roll 질손이 많이 발생하고 있고, Channel의 경우는 6 ~ 10Pass에서 많이 발생하고 있으므로 Roll Stress 해석 대상으로 선정하였다.

여기서 초기경은 직경이 400mm, 폐기경은 초기경의 90%인 360mm 이다. 재질은 DCI (구상흑연주철) Roll 이다. Roll 처럼 경한 재료를 압연해석을

하는 경우는 Rigid 조건을 부여하였지만, Roll Stress 해석에서는 탄성체를 적용하기 때문에, 해석범위를 탄성영역으로 적용하였고, 해석에 필요한 기계적 물성데이터는  $E=100\text{GPa}$ ,  $\nu=0.3$ 이다.

### 3.2 해석 Set-Up 및 경계조건

Roll Stress 해석은 DEFORM-3D의 Die Stress Analysis 모듈을 사용하였다. 또한 Roll Stress 해석을 하기 위해 필요한 Input data가 Rolling Force이다. 이 Rolling Force는 압연해석에서 구한 결과이므로 Roll Stress 해석에 적용하였다.

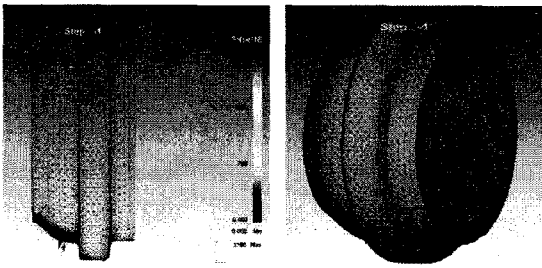


Fig.4(a) Data Interpolation of Rolling Force (AB100)  
Fig.4(b) Boundary Condition (AB100)

Fig. 4(a)는 압연해석의 결과를 Roll Input Data로 적용하는 것을 나타내고, Fig.4(b)는 Boundary Condition 조건 입력 시 Roll 끝단면을 고정시켰고, 중심면에서는 대칭 조건을 부여하였다.

## 4. 해석결과

Roll 직경 조건을 초기경, 조업경, 폐기경을 적용하여 AB100에서는 7 ~ 10Pass, CB 100은 6 ~ 10Pass의 Roll 해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결과를 획득하였다.

### 4.1 AB100 Roll Stress 해석결과

Fig. 5(a)는 AB100 9Pass 상부 Roll의 응력해석결과이고, Fig 5(b)는 실제 AB100 9Pass의 Roll 절손 사진이다. Fig. 5(a)를 보면 Roll Stress가 상대적으로 Roll 직경이 작은 부분 즉, 중심에 상당한 응력이 발생됨을 알 수 있고, 실제 Roll 절손이 발생한 Fig. 5(b)는 응력해석 결과인 Fig. 5(a)와 유사한 결과가 나타났다.

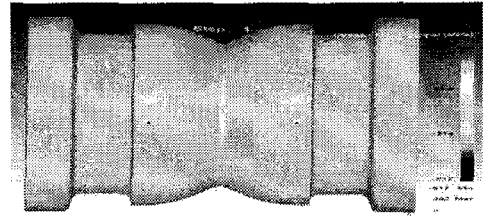


Fig.5(a) Roll Stress Simulation Result of AB100 9Pass

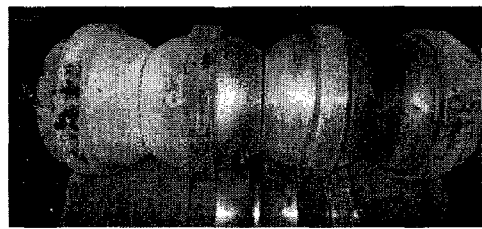


Fig.5(b) Roll Damage of AB100 9Pass

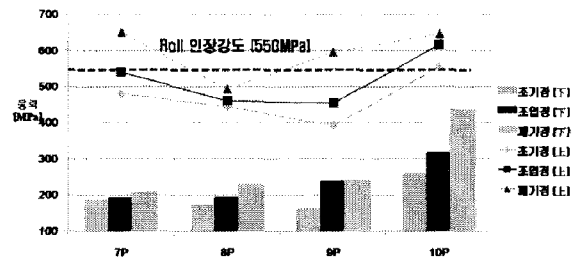


Fig.6 Roll Stress of 6~10Pass (AB100)

Fig. 6은 AB100 7 ~ 10Pass의 Roll Stress 해석 결과 그래프이다. Fig. 6에서 실선 그래프는 상부 Roll Stress 그래프이고, 막대형 그래프가 하부 Roll Stress이다. Roll 직경이 클수록 Roll Stress가 작아지는 것을 알 수 있었다. 이는 압연 Roll 구조가 일반적으로 보와 유사한 특성을 가지고 있기 때문에, 보에서 발생하는 응력은 직경이 클수록 단면 관성 모멘트가 커지기 때문에 작아진다. 7, 10, 11Pass에서 폐기경의 상부 Roll 응력이 Roll의 인장강도 (Max:550MPa)보다 높게 발생하는 것을 알 수 있었고, 조업경의 경우, 7, 10Pass에서 Roll 인장강도 근접 또는 초과하는 응력이 발생하였다. 특히 10Pass에서는 초기경, 조업경, 폐기경 모두 Roll 인장강도를 초과하는 응력이 발생하고 있다. 이 결과를 통해 AB100 Roll 절손 발생 가능성이 높다는 것을 확인하였다.

#### 4.2 CB100 Roll Stress 해석결과

Fig.7(a)는 CB100 8Pass 상부 Roll의 응력 해석 결과이다. Fig. 7(b)는 실제 발생한 8Pass 상부 Roll 절손 사진이다. 역시 상대적으로 직경이 작은 개구부에 응력이 높게 분포함을 알 수 있었고, 이 응력분포가 실제 절손이 발생한 위치와 동일함을 알 수 있었다.

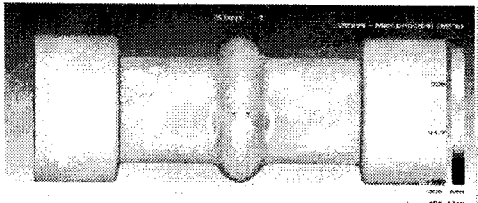


Fig.7(a) Roll Stress Simulation Result of CB100 8Pass

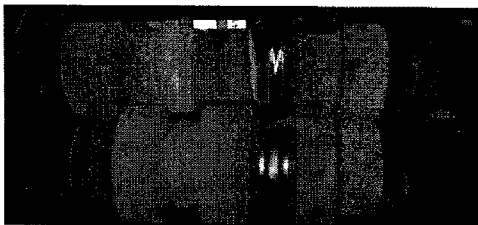
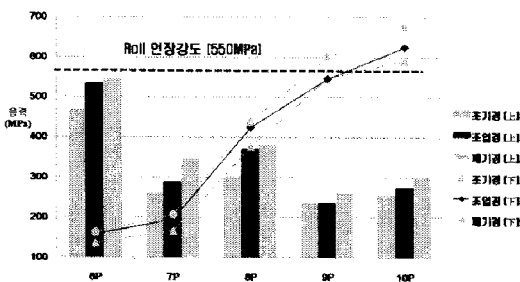


Fig.7(b) Roll Damage of CB100 8Pass

Fig.8 Roll Stress of 6 ~ 10Pass (CB100)

Fig.8은 CB100 생산 시 Pass 별 Roll Stress 결과 그래프이다. Fig.8을 보면, 막대그래프는 상부 Roll의 응력이고, 실선 그래프는 하부 Roll의 응력이다. 하부 Roll의 경우, 6, 7, 8Pass에서는 초기경, 조업경, 폐기경 모두 Roll의 인장강도 이하의 응력이 발생하였으나 9, 10Pass에서는 초기경, 조업경, 폐기경 모두 Roll의 인장강도에 근접 또는 초



과하는 응력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 상부 Roll의 경우, 6Pass에서는, 폐기경이 Roll 인장강도

에 근접하는 응력이 발생하였으나, 조업경, 초기경 모두 Roll 인장강도 이하로 응력이 발생하였다. 7~10Pass에서는 모두 Roll 인장강도 이하의 Roll 응력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이 결과를 통해 CB100 6, 9, 10Pass에서 Roll 절손 발생 가능성이 높다는 것을 확인하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 AB100, CB100 제품 생산 시 Roll 절손 발생 원인을 분석하기 위해 Roll 직경이 Roll Stress에 미치는 영향을 3차원 FEM 해석을 통해 확인하였고, 다음과 같은 결과를 획득하였다.

- (1) 3차원 FEM 해석 프로그램을 이용하여 AB100, CB100의 압연해석을 수행하였고, 공정변수, Input Data의 오차에 의해 해석결과 오차가 발생하였지만 전체적인 경향성은 유사하다는 것을 확인하였다.
- (2) AB100, CB100 Roll Stress 해석을 수행하였고, AB100의 경우 상부 Roll 7, 9, 10Pass에서, CB100의 경우 상부 Roll은 6Pass, 하부 Roll은 9, 10Pass에서 Roll Stress가 Roll 최대 인장강도 (Max: 550MPa)에 근접 또는 초과하였다. 상기 Pass에서는 Roll 절손 가능성이 높다는 것을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] 김홍준, 김태효, 황상무, 1999, 유한요소법을 이용한 형상압연공정해석, 대한금속학회, pp. 69~77.
- [2] P.Macura, J.Petruska, 1996, Numerical and experimental simulation of pass rolling, JMPT, Vol.60, pp. 55~60.
- [3] A.A Milenin, H. Djya, S.Mroz, 2004, Simulation of metal forming during multi-pass rolling of shape bars JMPT, Vol.153~154, pp. 108~114.
- [4] Kazutake. Komori, Katsuhiko. Komura, 2000, "Simulation of deformation and temperature in multi-pass H-shape rolling, JMPT, Vol. 105, pp. 24~31