

FEM해석을 이용한 후판 냉간교정 연구

이종빈[#]· 천명식¹· 박해두¹

Research on Cold Leveler in Thick Plate Mill using FEM

Jong-Bin LEE, Myung-Sik Chun, Hae-Doo Park

Abstract

Finite element analysis was conducted for cold roller leveler to verify numerical model of roller leveler developed by POSTECH. On-line model of roller leveler was developed to predict rapid and precise roll intermesh of roller leveler in thick plate mill. The cold roller leveler in thick plate mill was analyzed using MARC & MENTAT and the results are compared with the results of numerical model of roller leveler calculated by POSTECH.

Key Words : Plate Mill, Rolling, Cold Leveler, Intermesh, Finite Element Analysis

1. 서 론

강구조물의 제작에 있어서 자동화의 발달로 후판시장에 있어서 고객사의 품질요구가 점점 엄격해지고 있다. 특히, 평탄도, 판의 단부의 들림, 잔류응력에 의한 소결힘 등의 요구 조건을 만족하기 위하여 교정의 역할이 더욱 주목 받고 있다.

이러한 교정기술의 필요성이 증대되고는 있지만, 철강공정에 있어서 교정 이론의 연구는 압연 등 타 공정과 비교해서 아직 초보적인 단계에 머물러 있다. 이는 교정의 경우 압연 공정과는 달리 외관상 치수 변화가 발생하지 않아 상대적으로 단순한 작업으로 인식되고 있기 때문이다. 그러나 실제 해석을 수행하는데 있어서 소성만을 고려하는 압연에 비해, 탄성 변형과 소성 변형을 모두 고려해야 하고, 롤 배치가 비대칭인 교정기 내에서 판과 접촉하는 롤의 수가 많아 [1], 엄밀한 교정기의 수치해석 모델을 만들기 위해서는 여러 면에서 복잡한 해석 조건이 요구된다.

기존의 교정기의 수치 해석 모델로는 曾田, 荒木, 中島 [2] 등의 모델이 있다. 이러한 모델들은 계산 시간 및 계산기의 성능 등을 고려하여 단순

화한 식으로 지금까지의 현장 적용에 있어서는 양호한 결과를 보였다. 하지만, 고정도 교정이 요구되는 최근의 추세로 볼 때, 엄밀한 교정조건을 구하기 위해서는 유한요소해석 등을 통해서 그 가정의 타당성 및 계산 해의 정도를 검토해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 비교적 최근에 개발된 모델로 폭 방향의 변형이 고려 가능한 유사 3차원 교정기모델 [3]의 결과를 상용 프로그램 Marc를 이용한 유한요소해석 결과와 비교 검토한다.

2. 해석 모델

2.1 유한요소해석

냉간 교정기 모델을 비교적 접촉문제의 해석이 용이한 상용 프로그램 Marc를 이용하여 평면 변형률, 음해법으로 해석했다. 해석에 사용된 재료의 물성치는 Table 1과 같다. 재료는 문헌[3]에 의한 간이 수치모델과 같이 탄완전소성으로 가정하였다. 판의 두께 및 폭은 각각 50mm, 2500mm, 롤의 직경 및 피치는 각각 360mm, 390mm이며, 롤의 배치 및 인터메쉬량은 Fig. 1과 같다.

1. 포스코 기술연구소, 공정제어 연구그룹
포스코 기술연구소, 공정제어 연구그룹,
E-mail: misterbean@posco.com

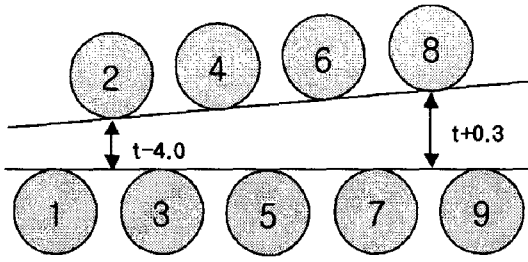


Fig. 1 Roll Number and Intermesh

2.2 간이 수치 모델

문헌[3]에 의한 간이 수치 모델은 각 롤에서 곡률을 계산하고 이 곡률을 이용하여 폭 방향 및 높이 방향의 응력을 계산하는 유사 3차원 해석 모델이다. 각 롤에서의 압입 깊이는 다음식과 같다.

$$\delta_1 = 0, \delta_{N_R} = 0$$

$$\delta_n - t = \frac{D_{n-1} + 2D_n + D_{n+1}}{4} - \frac{(N_R - 1 - n)H_E + (n - 2)H_D}{N_R - 3}$$

(N_R : 롤갯수)

$$n = 2, \dots, N_R - 1, H_E = H_2, H_D = H_{N_R - 1} \quad (1)$$

여기서, δ_i 는 i 번째 롤에서의 압입깊이, D_i 는 i 번째 롤의 지름, N_R 은 롤의 개수, t 는 판의 두께이다. 판의 곡률 k 는 다음과 같이 롤피치 L 과 압입깊이 δ_i 의 함수로 표현된다.

$$k_1 = k_{N_R} = 0, k_i = F(L, \delta_i) \quad (2)$$

응력 $d\sigma_x^{(i)}$ 및 변형률 $d\varepsilon_{xy}$ 의 증분은 다음 식과 같이 중립면의 변형률 증분 $d\varepsilon_c^{(i)}$ 과 곡률 증분 dk 의 함수이다. 자세한 내용은 문헌[3]을 참고하기 바란다.

$$d\varepsilon_{xy} = dk y + d\varepsilon_c^{(i)} \quad d\sigma_x^{(i)} = F(dk, d\varepsilon_c^{(i)}),$$

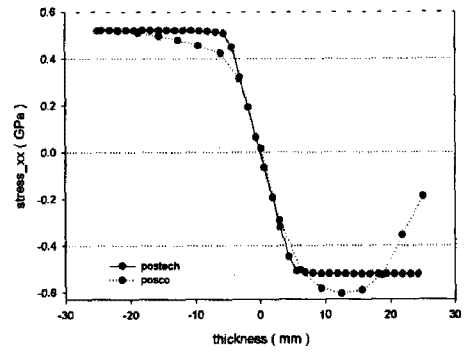
$$d\varepsilon_c^{(i)} = F(dk) \quad (3)$$

Table 1 Constants of Plate

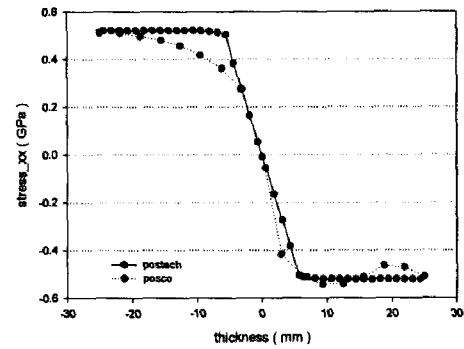
항복응력	탄성계수	프와송비	마찰계수
451.5 MPa	200.1 GPa	0.275	0.3

3. 간이 모델과 유한요소모델의 비교

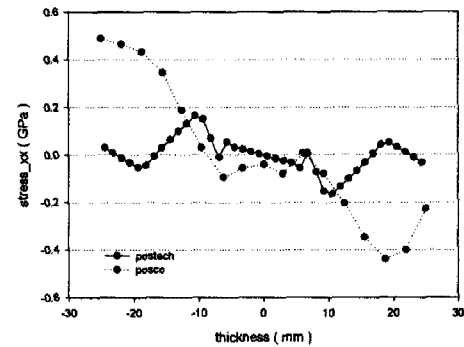
Marc를 이용한 유한요소 해석 결과와 문헌[3] 등에 의한 간이 수치 모델의 결과를 비교하였다. Fig. 2는 롤(2번, 4번, 8번)의 정 중앙 하부위치의 판의 두께방향 응력분포이다. 교정기 입측에서는 두 결과가 일치하고 있지만 출측에 가까워지면서 값이 비교적 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다.



(a) Roll No. 2



(b) Roll No. 4



(c) Roll No. 8

Fig. 2 Stress of cross section

Fig. 3은 후판이 교정기를 지날 때, 판의 상부면의 변위의 유한요소해석 결과이다. 해석은 판의 질량을 고려할 때와 고려하지 않을 때의 두 경우에 대하여 계산하였다. 화살표는 판이 각 롤의 정중앙(롤의 최상단 및 최하단 면)을 지날 때의 판의 두께방향 변위이다. 2, 4 번 롤의 경우 간이 수치 모델의 결과를 함께 표시하였다. 간이 수치 모델의 경우 인터메쉬 량과 일치하지만 유한요소해석 결과의 경우는 인터메쉬 량보다 큰 값을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 4에서 보이는 것처럼 간이 수치 모델의 가정(그림 a)과 달리 판이 롤의 정 중앙 점에서 벗어나서 접촉(그림 b)한다는 사실을 알 수 있다.

간이 수치 모델의 경우, 판의 중립면에 수직인 단면의 전단변형을 무시한다. 즉 판의 중립면에 수직인 단면은 변형 후에도 직선을 유지한다. 이러한 가정은 판이나 빔 이론에서 사용되는 가정으로 교정기의 경우에도 적용되고 있다. 즉 Fig. 5 와 같이 보의 정중앙에 하중이 있는 단순 지지보로 가정하여 계산하고 있다. 하지만 후판의 냉간 교정기의 경우, 보의 길이(교정기의 피치)에 비해 두께가 충분히 작지 않아서 단면의 전단변형을 무시할 경우 비교적 큰 오차가 존재하게 된다.

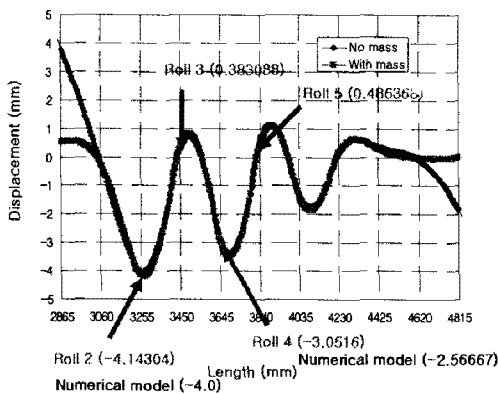


Fig. 3 Displacements of upper surface of Plate

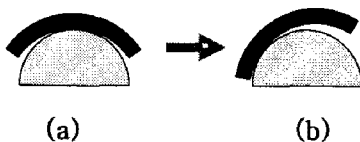


Fig. 4 Contact point between roll and plate

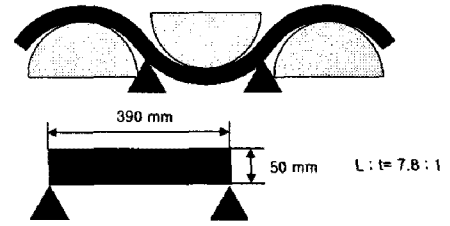


Fig. 5 Displacements of cross section

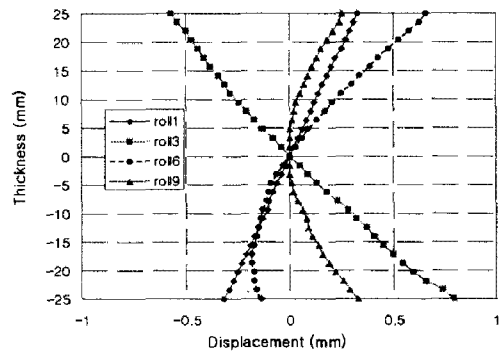


Fig. 6 Displacements of cross section

Fig. 6 은 롤의 정 중앙 위치의 판의 두께방향 변위분포의 유한요소해석 결과이다. 판이 출측에 가까워 질수록 전단 변형이 커짐을 확인할 수 있다.

4. 결론

Marc를 이용한 유한요소해석을 통해서 냉간 교정기의 수치 모델을 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 실제에 있어서 판과 롤의 접촉점의 위치는 롤의 정중앙면에 일치하지 않는다.

(2) 후판의 경우 판의 중립면에 수직인 단면의 전단변형을 무시할 수 없다.

위 결과에 대한 정량적인 평가 및 3차원 해석에 의한 폭방향 변형에 대한 평가는 이후의 과제 연구 예정이다.

참고 문헌

- [1] 서재형, 장대섭, 2002, 후판 열간 교정기 교정 특성 해석, 포스코 연구논문, 제7권, 제2호, pp. 291~297.
- [2] 일본소성가공학회, 1991, 교정가공, 소성가공기술시리즈 15, 코로나, pp. 42~88.
- [3] 예호성, 2007, 석사논문 (포항공과대학교 대학원 기계공학과)