

2롤 교정기의 봉재 직경 및 롤 교차각에 따른 소성변형에 대한 연구

A Study of the Plastic Deformation of a Bar According to Diameter of Bar and Angle Change of Roll of a Two Cross-Roll Straightener

*김용, #한동섭², 김태형³, 한근조⁴

*Y. Kim¹, # D.S.Han(dshan@donga.ac.kr)², T.H.Kim³, G.J.Han³

¹ 동아대학교 대학원 기계공학과, ² 동아대학교 BK21 총괄사업단, ³ 경남정보대학 기계자동차산업계열, ⁴ 동아대학교 기계공학과

Key words : Straightener, Intersection Angle, Bending, Plastic Deformation, Straightness

1. 서론

21세기 세계철강업계는 고로사와 전기로사간, 기존 철강사와 신규철강사간, 자국 철강사화 해외 철강사간 등 공급자간의 경쟁과 철강제와 철강대체재간의 소재경쟁 등으로 치열한 구도를 이루고 있다. 따라서 이러한 철강업의 경쟁도 변화에 대응하기 위하여 각국의 철강업체들은 세계화, 통합-대형화, 전략적 제휴, 민영화, 구조조정, 기술 대발 등의 전략을 수립하고 있으며 그중 신기술개발은 모든 철강업체들이 가격 및 비가격 경쟁우위를 확보하기 위한 최우선 과제로 인식, 기술도입 및 개발에 적극적으로 대응하고 있다.^{1),2)}

이러한 철강이나 비철소재의 선재 및 봉재를 생산하는 소재 생산업체에서 제품의 직진도(Straightness)를 확보하기 위한 필수 장비인 교정기는 교정방법에 있어서 여러 형태의 교정 방법이 있으며, 대표적으로 다단벤딩롤(Multi Bending Roll)방식, 회전노즐(Rotating Nozzle) 방식, 2롤 교정(Two-cross Roll)방식이 널리 쓰이고 있다. 그러나 국내에서는 교정 관련 기술의 부족으로 인해 다단벤딩롤 방식이나 회전노즐 방식 등의 교정 설비에 의존한 상태이며, 이러한 교정기의 의한 교정 결과는 봉재의 양끝단부 굽힘 현상이나, 교정 직진도에 있어 현재까지 현장에서 입증된 가장 우수한 교정방식인 2롤 교정기에 의해 교정된 결과에 비해 기대수준에 미치지 못하는 상황이다. 국내 유수의 철강, 비철 제조업체에서는 선재, 봉재의 품질 경쟁력 확보를 위해 우수한 교정도를 가지는 독일, 일본, 미국 2롤 교정기 사용이 증대되고 있으며, 국내에도 철강업의 경쟁력 확보를 위해 교정기의 중요성을 인식, 그와 관련된 학문적 배경이 필요한 실정이다.

따라서 교정도는 교정 롤의 설계 시 적용되는 롤 형상설계 및 각도, 압하조건에서 중요하게 고려되어야 한다. 특히, 교정 롤의 설계에 있어서 다양한 소재 규격, 강도에 따라서 봉재의 다양한 상태의 교정 작업에 활용할 수 있어야 하므로 소재 규격 및 강도에 따른 봉재의 소성변형 및 교정도에 대한 학문적 Back Date가 절실히 요구된다. 그러므로 본 연구에 봉재의 직경, 강도 따른 롤의 교차각이 제품의 교정도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 롤 강도 분석 및 롤의 구동에 따른 봉재의 소성변형거동 분석을 수행하여 결과를 비교분석하였다.^{3),4)}

2. 유한요소해석

2.1 해석모델 및 방법

본 연구에서는 상·하부 일정한 곡률을 가지는 2롤 교정기의 상·하부 롤을 모델링하여 해석에 사용하였으며, 교정기 롤은 일반 구조용 공구강을 표면 경화 열처리하여 사용한다. 그러한 롤의 강도를 구현하기 위해서 롤은 강체로 하여 해석에 사용하였다. 이 연구에 사용된 해석 요소는 각 절점에서 6자유도(ux, uy, uz, rotx, roty, rotz)를 가지는 육면체 요소를 사용하였으며, Fig. 1에서는 2롤 교정기의 상·하부 롤 및 원형봉재의 대략적인 형상, 회전 방향, 원형봉재와 교정기 상·하부 롤이 이루는 각도 및 봉재의 진행 방향을 나타내었다. 해석에 사용된 절점은 55100개, 요소는 47930개를 각각 사용하였다. 해석시간을 단축하면서도 해석의 신뢰성을 높이기 위하여 롤과 봉재의 베어링을 완전 강체, 롤과 베어링 사이의 마찰력을 0으로 가정하여 해석에 고려하지 않았다. 임의의 봉재에 대한 롤 각도 변화에 따른

봉재의 교정도를 알아보기 위해 지름 40 ~ 50mm, 길이 2000mm 인 인발된 봉재의 양쪽에 10 x 10mm 의 가이드 판을 모델링하여 봉재를 구속하는데 사용하였다. 상부 롤에 대한 봉재의 각도를 31° ~ 33°, 하부 롤의 각도를 17° ~ 20° 까지 각도를 변화시키며 해석을 수행 하였고, 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS classic 10.0(LS-DYNA)를 이용하여 유한요소모델을 구성하였다.

2.2 설계파라미터 설정 및 경계조건

경계조건은 롤에 회전에 의한 베어링 구속을 적용하기 위해 임의의 롤 베어링을 모델링하여 모델링된 롤 베어링을 완전구속, 롤과 롤 베어링 사이의 마찰력을 0으로 주어해석에 적용하였으며, 지름 40 ~ 50mm, 길이 2000mm를 가지는 인발된 봉재의 상·하부 변위 값을 보기 위해서 봉재의 양쪽에 10 x 10mm 의 가이드 판을 모델링하여 봉재를 x 방향으로 구속하였다.

설계 파라미터 설정은 봉재의 직경을 40, 45, 50mm 봉재의 강도를 410MPa, 하부 롤과 상부 롤의 교차각을 33°로 고정시키고 상부 롤과 봉재의 각도를 17° ~ 20°까지 봉재의 각도를 변화시키며 봉재의 직경에 따라 각각 5가지 case의 해석을 수행, 총 25개의 case에 대하여 해석을 수행하여 봉재 중심부 절점의 변위 정도를 이용하여 직진도를 측정하였다. 롤의 유한요소형상은 Fig 1과 같다.

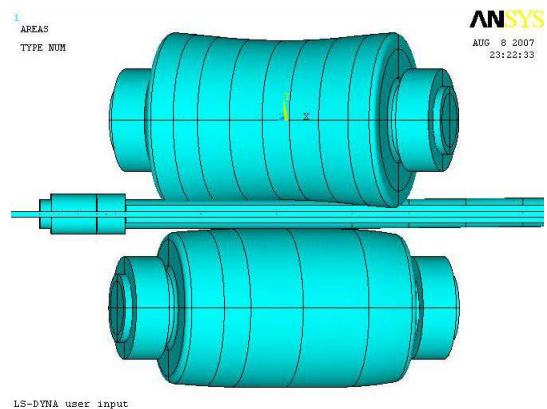


Fig. 1. FEM of the Two Cross-Roll Straightener

3. 해석결과 및 고찰

3.1 롤 각도 변화에 따른 봉재의 교정도

롤 각도 변화에 따른 봉재의 교정도 해석에서는 2롤 교정기의 봉재를 40, 45, 50mm로 3가지 case에 대해 각각 5가지 case로 각도를 변화시키면서 상부 롤과 하부 롤의 각도를 31° ~ 33°까지 0.5° 간격으로, 상부 롤과 봉재를 17° ~ 20°까지 임의의 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 수직방향의 최대 처짐 및 원형봉재의 직진도를 계산하였다.

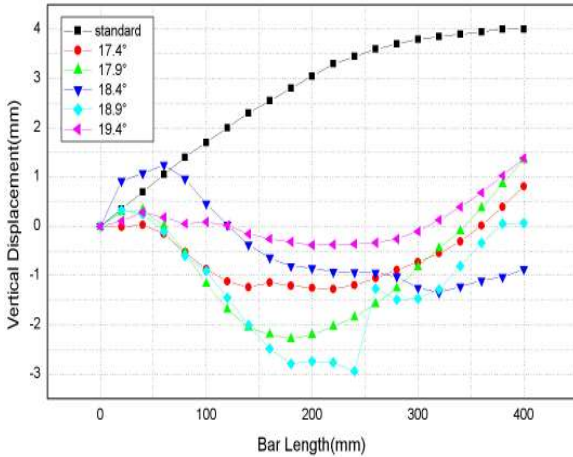


Fig. 2 Vertical Displacement of unit Bar Length(Ø40)

3.1.1 봉재의 직경 40mm인 경우(case 1)

Case 1의 경우 상부 롤과 봉재를 17.4°~19.4°까지 0.5° 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 수직방향의 최대 처짐을 계산하였으며, 봉재의 길이에 대한 직진도에 대한 결과 값은 Fig 2와 같다. 최대변위는 봉의 길이 200mm 부근에서 발생하였으며, 롤과 봉재의 각도가 18.4°~19.4° 사이에서 원형봉재의 직진도가 가장 좋아진다는 것을 볼 수 있다.

3.1.2 봉재의 직경 45mm인 경우(case 2)

Case 2의 경우 상부 롤과 봉재를 17.5°~19.5°까지 0.5° 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 수직방향의 최대 처짐을 계산하였으며, 봉재의 길이에 대한 직진도에 대한 결과 값은 Fig 3와 같다. 봉재의 중앙으로 갈수록 최대변위가 감소하다가 증가하여 변위 값이 크게 나타났다. 각도에 따른 봉재의 직진도는 case 1과 비교해 균일한 직진도 분포를 가지지 않았으며 봉재의 직진도는 18.0°~18.5°사이에서 가장 균일한 직진도를 가진다는 것을 볼 수 있다.

3.1.3 봉재의 직경 50mm인 경우(case 3)

Case 3의 경우 상부 롤과 봉재를 19.7°~17.7°까지 0.5° 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 수직방향의 최대 처짐을 계산하였으며, 봉재의 길이에 대한 직진도에 대한 결과 값은 Fig 4와 같다. 일반적으로 봉재의 중앙으로 갈수록 봉재의 최대변위는 증가하고, 롤과 봉재의 각도가 18.7°에 가까울수록 봉재의 직진도가 좋아진다는 것을 볼 수 있다.

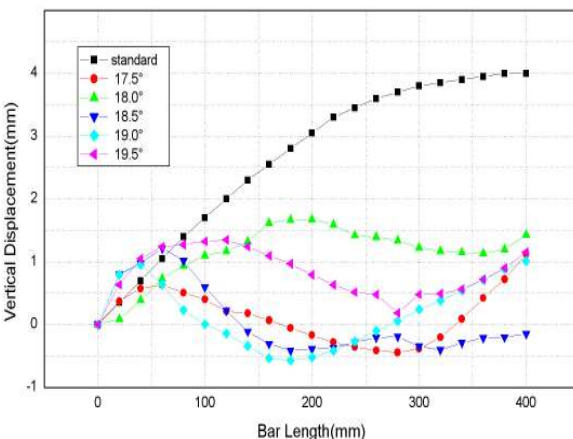


Fig. 3 Vertical Displacement of unit Bar Length(Ø45)

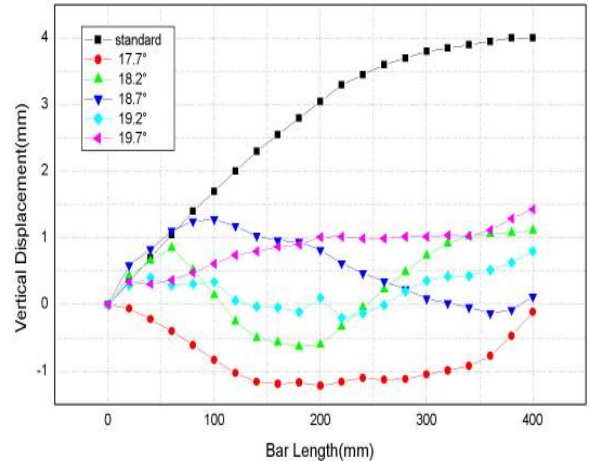


Fig. 4 Vertical Displacement of unit Bar Length(Ø50)

5. 결론

본 연구에서는 상부 롤과 하부 롤 사이에 임의의 각도로 인발된 봉재를 넣고 롤을 구동시켜 롤의 각도변화에 대해 봉재가 균일한 직진도를 가지기 위한 교정각도를 설계 할 수 있도록 유한요소해석을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 2롤 교정기에서 롤 회전에 따른 봉재의 응력분포에 대한 비교를 한 결과 봉재의 중앙부에서는 균일한 응력분포를 가지는 반면 최대상당응력은 롤 교차각이 낮을수록 높게 나타났다.
2. 롤 각도변화에 따른 봉재의 교정정도를 비교한 결과 최대변위는 봉재의 길이 200mm부근에서 발생하였으며, 직진도는 18°~19° 사이에서 균일한 분포를 가지는 확인할 수 있었다.
3. 상부·하 롤과 봉재 사이의 각도변화에 대한 상당응력해석결과 17°~18° 사이에서 최대 상당응력이 발생하고 대부분의 상당응력 분포는 중앙보다는 중앙 앞쪽에서 100MPa 정도 더 발생하게 된다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 건설교통기술평가원 교통체계효율화사업의 지원 금에 의해 수행되었음.

참고문헌

1. Chui Pu., "Straightening Theory and Parameter Calculation," Mechanical Industry Press, china, 1994.
2. T.X. Yu, W Johnson., "Estimating curvature of bar after cross-roll straightening," Proceedings of the 22nd MTDR Conference, Macmillan, New York, 1981.
3. E.N. Dvorkin, F.M. Medina., "Finite element models for analyzing the straightening of steel seamless tubes," Trans. ASME, 111, 351-355, 1989.
4. N. K. Das Talukder, A. N. Singh, "Mechanics of bar straightening.," Trans. ASME, 133, 224-232, 1991.