

2롤 교정기의 롤 구동에 따른 봉재의 소성변형거동에 미치는 영향 The Effect of a Plastic Deformation Behaviors of the Bar According to the Roll Drive of a Two Cross-Roll Straightener

*김 용¹, 이성욱², 한동섭³, 심재준⁴, 한근조⁵

**Y. Kim(rladydl@nate.com)¹, S. W. Lee², D. S. Han³, J. J. Shim⁴, G. J. Han⁵

^{1,2}동아대학교 대학원 기계공학과, ³동아대학교 BK21 총괄사업단, ⁴부산정보대학 자동차학과

⁵동아대학교 기계공학과

Key words : Straightener, Straightness, Curve, Bending, Angle

1. 서론

교정기는 철강이나 비철 소재의 선재 및 봉재를 생산하는 소재 생산업체에서 전처리 과정에서 인발되어 나온 제품의 직진도(Straightness)를 확보하기 위한 필수 장비로써, 일반적으로 다단밴딩롤 방식(Multi bending roll)과 회전노즐 방식(Rotating nozzle)이 널리 사용된다. 이러한 교정기는 제품의 생산성이나, 직진도에 관해서는 우수성을 가지지만, 봉재의 양끝단부의 굽힘 현상이나 직진도의 정밀도의 부족 등이 단점으로 지적된다.

2롤 교정기는 연속적인 교차 굽힘과 역 굽힘에 대한 교정이 발생¹⁾하는 것으로 그러한 교정원리 때문에 다양한 크로스 롤을 쓰는 다른 기계의 교정 원리와는 다르다. 교정은 롤 측면의 곡률과 롤과 봉재가 이루는 각도에 의해 정밀한 교정 정도를 가진다. 그런데 이 설계들의 대부분은 설계자의 경험과 실험결과에 의존하며, 확실한 데이터화가 어렵다²⁾. 이러한 이유로 인해 교정각과 연관된 봉재의 소성변형과 유한요소해석을 기초로 하는 2롤 교정기에 의해 교정된 봉의 직진도에 관한 연구는 드물다.

본 연구에서는 인발된 원형봉재를 교정하는 교정기 중의 하나인 2롤 교정기에 대해 상부 롤과 하부 롤의 각도를 변화시키면서 이 변화가 원형봉재의 소성변형에 미치는 영향을 분석하고, 또한 상부 롤과 원형봉재의 각도 및 접촉부의 길이 변화가 강도 및 강성에 미치는 영향을 분석하여 소성 변형된 형상을 파악하고자 한다. 이를 통해 교정기에서 롤과 봉재사이의 각도에 대한 봉재의 변위 및 소성변형에 대한 결과를 구하고자한다.

2. 유한요소해석

2.1 해석모델 및 방법

본 연구에서 사용한 모델은 상·하부 일정한 곡률을 가지는 교정 롤로써, 재료는 일반 구조용 공구강을 열처리하여 사용하였다. 해석에 사용된 요소는 각 절점에서 6자유도(ux, uy, uz, rotx, roty, rotz)를 가지는 육면체 요소를 사용하였으며, Fig. 1에서는 상·하부 롤과 봉재의 회전, 봉재와 상·하부 롤이 이루는 각도 및 진행 방향을 나타내었다. 해석에 사용된 절점은 55170개, 요소는 48980개를 각각 사용하였다.

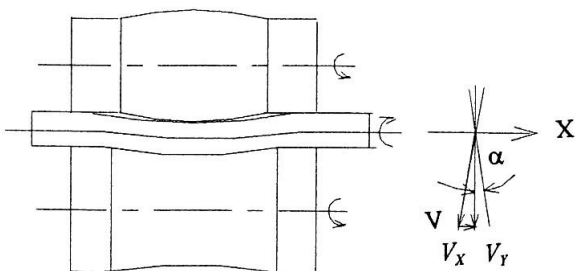


Fig. 1. The Sketch of the Two Cross-Roll Straightener

2.2 롤 회전 속도 설정

2롤 교정기에 의해 인발된 봉재가 정상적인 교정에 의한 정밀한 직진도를 가지기 위해서는 이론상 롤에 의해 봉재의 교정이 발생하는 구간에서 최소한 6바퀴 이상 회전을 해야 정상적인 교정 작업이 이루어진다³⁾. 임의의 각도에 대한 롤의 회전 속도를 산출하기 위해서는 다음과 같은 식이 쓰여 진다.

$$L = \pi D \tan \theta, L_{all} = L \times 6 \quad (1)$$

임의의 각에 의한 봉재의 속도와 롤의 회전수는

$$V_x = \frac{V}{\sin \alpha} \quad (2)$$

$$n = \frac{V_x \times 1000}{\pi D} \quad (3)$$

이다.

유한요소해석에 의한 인발된 원형봉재의 소성변형형상 및 변위 값을 얻기 위해 본 연구에서는 봉재의 강도를 400MPa, 인발된 봉재와 상부 롤이 이루는 각도를 18.7°로 가정하여 봉재의 교정에 필요한 롤의 접촉 길이를 320mm, 롤의 회전수를 200rpm으로 설정하였다⁴⁾.

2.3 설계 파라미터 설정

2롤 교정기의 임의의 봉재에 대한 상·하부 롤의 각도 변화에 따른 봉재의 변위해석에서는 $\Phi 50$ 에 2000mm의 길이를 가지는 인발된 봉재의 상·하부 변위 값을 보기 위해서 봉재의 양끝 50mm 정도만을 수직방향으로 고정시키고, 인발된 봉재의 이탈을 막기 위해서 봉재의 양쪽에 10 x 10mm의 가이드 판을 모델링하여 x 방향으로 구속하였다. 상·하부 롤과 봉재를 임의의 각도로 설정하고 각도를 19.7°~17.7° 까지 0.5° 간격으로 봉재에 각도 변화를 주어 응력해석을 수행하였다.

상·하부 롤의 회전에 따른 응력분포에 대한 해석에서는 상부 롤과 하부 롤 사이의 간격을 50mm로 고정하고, 롤과 봉재에 베어링 구속조건을 적용시킨 상태에서 상부 롤과 봉재사이를 5가지 각도 (19.7°, 19.2°, 18.7°, 18.2°, 17.7°)로 하여 응력해석을 수행하였다.

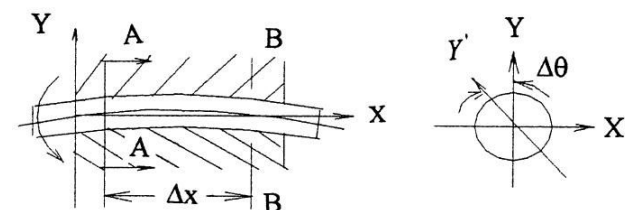


Fig. 2 Direct Change in Straightening

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 상부 롤의 각도변화에 따른 봉재의 변위

2롤 교정기의 하부 롤의 각도를 상부 롤을 기준으로 33°~31°까지 0.5° 간격으로 변화시키면서 상부 롤과 봉재를 19.7°~17.7°까지 0.5° 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 수직방향의 최대 처짐을 계산하였으며 그 결과 값은 Table 1과 같으며, 봉재의 길이에 대한 직진도에 대한 결과 값은 Fig 1과 같다. 일반적으로 봉재의 중앙으로 갈수록 봉재의 최대변위는 증가하고, 롤과 봉재의 각도가 18.7°에 가까울수록 봉재의 직진도가 좋아진다는 것을 볼 수 있다.

Table 1 Max. Displacement of unit Angle

Angle (θ)	Displacement(mm)		Volume(mm ³)
	Maximum	Center	
19.7°	-1.46	-1.46	3.926x10 ⁶
19.2°	6.27	6.27	3.926x10 ⁶
18.7°	1.42	1.42	3.926x10 ⁶
18.2°	2.63	2.35	3.926x10 ⁶
17.7°	-2.83	-2.75	3.926x10 ⁶

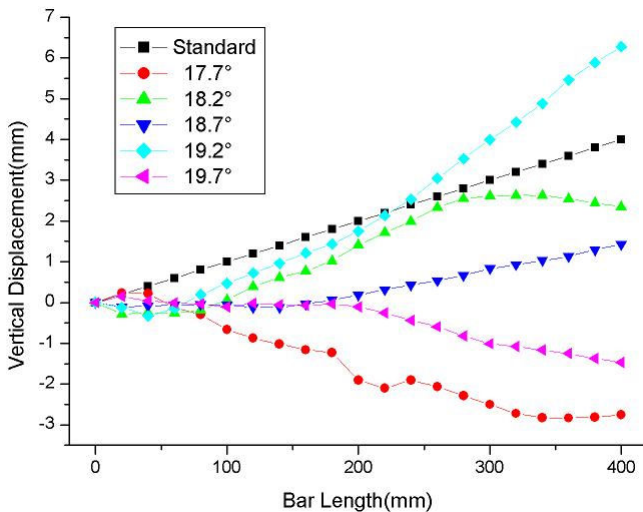


Fig. 1 Vertical Displacement of unit Bar Length

3.2 상·하부 롤의 회전에 따른 응력분포

2롤 교정기에서 상부 롤과 봉재가 이루는 각에 대해 일정한 회전속도가 작용할 때 구조물의 응력과 변위를 살펴보기 위해 하부 롤의 각도를 상부 롤을 기준으로 32°로 고정시킨 후에 상부 롤과 원형봉재의 각을 19.7°~17.7°까지 0.5° 간격으로 각도(θ)를 변화시켜 최대상당응력과 중앙부에서의 응력을 계산하였으며 그 결과 값은 Table. 2와 같다. 상부 롤과 봉재 사이의 각도가 증가 할수록 상당응력은 증가하는 반면, 중앙에서의 상당응력 값은 비슷한 응력 값을 가진다는 것을 볼 수 있었다.

Table 2 Equiv Stress of unit Angle

Angle (θ)	Equiv. Stress(Mpa)		Volume(mm ³)
	Maximum	Center	
19.7°	498.454	404.472	3.926x10 ⁶
19.2°	451.925	434.228	3.926x10 ⁶
18.7°	456.023	401.779	3.926x10 ⁶
18.2°	420.734	408.378	3.926x10 ⁶
17.7°	472.041	412.948	3.926x10 ⁶

4. 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 상부 롤과 봉재의 각도 변화에 대한 해석 결과는 19.2°일 때 최대 변위 값이 가장 크게 나타났고, 각도 당 최대 변위 값은 중앙부근에서 일반적으로 가장 큰 값을 가졌다.
2. 롤과 봉재의 각도변화에 대한 교정정도를 비교한 결과 사이 각이 18.7°, 19.7° 인 경우 봉재의 직진도가 가장 균일하다는 것을 확인 할 수 있었다.
3. 상부·하 롤과 봉재 사이의 각도변화에 대한 상당응력해석결과 19.7°에서 최대 상당응력이 발생하고 중앙보다는 중앙 100mm 앞쪽에서 최대 상당응력이 발생하게 된다는 것을 확인 할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 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.