

롤 포밍 공정 시뮬레이션 및 직진성 예측에 관한 연구

A Study on Simulation and of Straightness Prediction of Roll Forming Process

#정상화¹, *이상희²

¹S. H. Jeong¹(Shjeong@chosun.ac.kr), ²S. H. Lee²

¹조선대학교 기계공학과, ²조선대학교 대학원 기계공학과

Key words : Roll Forming Process, Flow Stress Equation, Rigid-Plastic Finite Element Method, Sheet Metal Forming, Camber, Bow

1. 서론

슬라이드 레일(Slide Rail)은 스틸 볼의 구름 접촉에 의해 마찰을 최소화하여 정밀한 직선 왕복 운동을 실시하는 기구이다. 이러한 슬라이드 레일은 전기·전자·통신분야, 사무 자동화 분야, 측정기 분야, 기계 분야, 산업 자동화 분야, OA 분야, 등 폭넓은 분야에서 사용되고 있다. 슬라이드 레일은 롤 포밍(Roll Forming) 공법이나 프레스(Press) 공법에 의해 성형된다. 롤 포밍 공법은 프레스 공법으로 성형하기 어려운 형상의 제품이나 소폭의 성형, 직진도를 요하는 제품 성형시 이용된다. 롤 포밍 공법이란 얇은 판재나 스트립의 재료를 소성가공시켜 원하는 제품 형상으로 만드는 공정으로 연속된 형상이 다른 여러 롤 사이를 재료가 순차적으로 이송하면서 성형가공되어 최종제품을 얻는 소성공법의 하나이다. 현재 현장에서는 작업자의 경험이나 시행착오에 의존하여 제품을 생산하고 있기 때문에 소재의 낭비가 심하고, 완성된 제품을 만들기 까지 많은 시간이 소비되고 있다. 또한 대부분의 롤 포밍 관련 기술을 외국에 의존하고 있을 뿐만 아니라 롤 포밍에 대한 체계적인 기술축적이 거의 안 된 상태이다. 난소성 재료 및 고부가가치의 제품생산에는 기술 수준이 매우 낮아져 있는 실정을 고려한다면 고부가가치 제품 생산을 위한 체계적인 연구를 통한 제품의 고급화 및 생산성 향상이 매우 시급하다 할 수 있다.

본 연구에서는 강소성 유한 요소법을 이용하여 롤 포밍 공정에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 총 3개의 멤버로 구성된 언더레일(Under Rail) 중에 하위멤버의 금형을 설계하였다. 재료에 대한 인장시험을 통해 강소성 유한 요소 해석에 필요한 유동 응력 방정식(Flow Stress Equation)을 유도하였다. 시뮬레이션은 강소성 유한 요소법을 이용한 롤 포밍 전용 해석 프로그램인 SHAPE-RF를 사용하였다. 시뮬레이션을 통해 최종형상을 예측하였다. 예측된 최종형상의 직진성을 예측하기 위해 캠버(Camber), 보우(Bow) 예측하였다. 직진도에 영향을 미치는 인자인 길이방향 변형률(Longitudinal Strain)을 전체 공정에 대해 예측하였다.

2. 직진성(Straightness)을 결정하는 주요 변수

2.1 캠버(Camber)

캠버란 Fig. 1(a)에 나타난 것과 같이 성형된 제품을 수평면상에 올려 놓았을 때 수평면의 직선과 벌어진 정도이다. 즉 최종제품이 수평방향으로 휘어지는 현상이다. 보통 길이 3m 당 ±3mm 이내를 만족해야 한다. 이러한 현상은 롤 정렬이 수평면상에서 부정확하거나, 성형압력의 불균일로 인해 소재에 잔류 변형률(Residual Strain)이 존재할 경우 발생한다.

2.2 보우(Bow)

보우란 Fig. 1(b)에 나타내진 것과 같이 성형된 제품이 수직 수평면 상에서 직선으로 얼마정도 차이가 있는가의 정도이다. 즉 최종 제품이 수직방향으로 휘어지는 현상이다. 보우는 길이방향으로 나타나는 길이방향보우(Longitudinal Bow)와 단면상에 발생하는 단면보우(Cross Bow)로 나눌 수 있다. 일반적인 허용 보우량은 길이 3m당 ±3mm 이내로 유지되어야 한다. 이 현상 역시 불균일한 성형면적으로 인해 발생하는 잔류 변형률에 의해 발생한다¹.

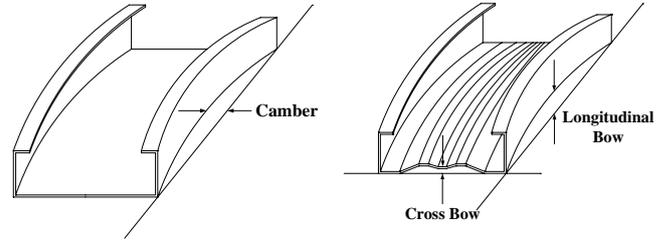


Fig. 1 Deviations from Straightness

2.3 길이방향 변형률(Longitudinal Strain)

롤포밍 공정중 소재의 중심부를 웹(Web)이라 하고, 굽힘을 받는 부분을 플랜지(Flange)라고 한다면 웹은 처음에는 압축(Compression)을 받게 되지만 롤 출구 부분에서는 인장(Tensile)된다. 또한 플랜지는 처음에는 인장되지만 롤 출구 부분에서는 압축된다. 이러한 영향으로 인하여 소재에는 잔류 변형률이 남게 되는데 이는 모든 공정을 마친 제품에 결함을 발생하게 하는 원인이 된다². 이러한 잔류 변형률은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다³.

$$\epsilon^{residual} = \epsilon^{max} - \epsilon^{exit} \quad (1)$$

여기서 $\epsilon^{residual}$ 은 잔류 변형률을 의미하고, 이는 최대 길이방향 변형률(ϵ^{max})에서 롤 출구에서의 길이방향 변형률(ϵ^{exit})의 차이로 정의할 수 있다. 제품의 결함은 단순히 길이방향 변형률이 크다고 발생하는 것이 아니라, 잔류하는 길이방향 변형률의 편차로 인하여 발생하게 되므로 편차가 큰 부분의 패스에 문제가 있다는 것을 의미한다⁴.

3. 공정 해석 조건

3.1 재료의 특성

본 연구에서는 냉간압연강판(SCP-1)을 사용하였다. 냉간압연강판은 열간강판에 비해 두께가 얇고 두께정도가 우수하여 표면이 미려하고 평활하며 가공성이 우수하다. 냉간압연강판의 물성치를 분석하기 위해 만능인장시험기(Universal Tensile Machine, Instron社)를 이용하여 측정하였다. 시험편은 KS D 3512(냉간압연강판 및 강대 규격)에 의해 KS B 0801(금속재료 인장시험편 규격)을 참고하여 표준 시험편 5호로 제작하였으며, 인장시험 결과를 Table 1에 나타내었다. 가공경화로 인한 유동응력의 증가 현상을 수식으로 나타내는 방법 중에 수치적 해석에 최적화된 유동응력을 구하기 위해 Swift식을 이용하였다⁵. Swift식의 계수를 구하기 위해 파워커브를 이용하였으며 식 (2)와 같은 유동응력 방정식(Flow Stress Equation)을 유도하였다.

$$\sigma_f = 1840(0.0025 + \bar{\epsilon})^{0.39657} \quad (2)$$

Table 1 Material Properties of SCP-1

Material	SCP-1
Young's Modulus	210 GPa
Yield Strength	158.12 MPa
Ultimate Tensile Stress	480.40 MPa
Poisson's Ratio	0.3

3.2 시뮬레이션 입력 조건

Fig. 2에는 총 3개의 멤버로 구성된 언더레일의 모델링 형상을 나타내었고, 총 11개의 공정으로 설계하였으며, 소재가 물을 파고드는 현상을 줄이기 위해 접촉손실상수(Self-Contact Penalty Constant)를 설정하였다.

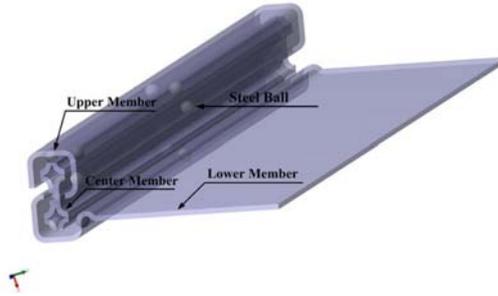


Fig. 2 Under Rail

Table 2 Input Conditions for FEA

Horizontal Distance to the Previous Roll Stand (mm)	330
Number of Elements in Rolling Direction	20
Number of Elements in Width Direction	53
Number of Elements in Thickness Direction	3
Width(mm)	87
Thickness(mm)	1.6
Friction Condition(μ)	0.1
Specify Self-Contact Penalty Constant	1000000

4. 해석결과 및 고찰

직진성 예측을 위해 시뮬레이션이 완료된 후 총 길이를 330mm 하여 후처리 과정을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구에서는 직진성을 결정하는 인자인 캠버와 보우에 대해 예측하였다. 거리에 따른 Y좌표(Bow)는 Fig. 4(a)에 나타내었고, X좌표(Camber)는 Fig. 4(b)에 나타내었다. 최종형상은 Fig. 4(a)와 같이 가운데가 올라온 형태로 6.968mm 만큼 보우현상이 나타날 것으로 예측되고, Fig. 4(b)와 같은 형태로 -X축으로 1.206mm만큼 캠버현상이 나타날 것으로 예측된다. 일반적인 보우와 캠버의 허용량이 3m당 ± 3 mm임을 고려한다면 보우량은 허용량보다 많이 예측되었다. 이는 하위멤버의 높이가 14.5mm인데 비하여 넓이는 70.018mm가 되어 폭방향으로 매우 넓기 때문에 발생하는 현상이다. 최종형상의 넓이를 줄이면 보우량은 감소하겠지만 3개의 멤버가 결합되었을 때의 형상을 고려한다면 설계상의 넓이를 감소시키는 것은 바람직하지 못하다. 따라서 캠버와 보우에 영향을 미치는 다른 인자인 잔류 변형률을 감소하여야 한다. Fig. 5에는 전체 공정에 대한 길이방향 변형률을 나타내었다. 잔류 변형률은 길이방향 변형률의 편차로 정의 되므로 길이방향 변형률의 편차가 심한 1, 4, 6, 8패스에서 잔류 변형률이 많이 발생함을 알 수 있었다. 그러므로 패스수를 증가 하거나 롤 간거리 또는 성형각을 변화시켜 패스당 변형률을 감소시켜 최종형상의 직진성을 향상시킬 수 있다.

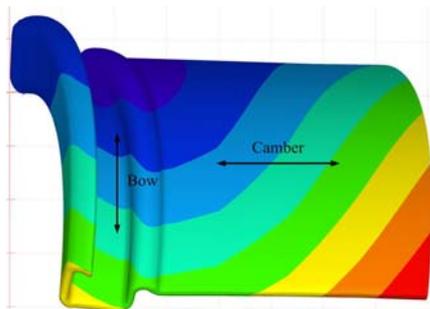
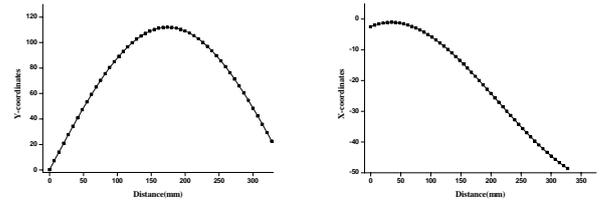


Fig. 3 Simulation Results for Lower Member



(a) Bow

(b) Camber

Fig. 4 Curve for Last Section after Simulation

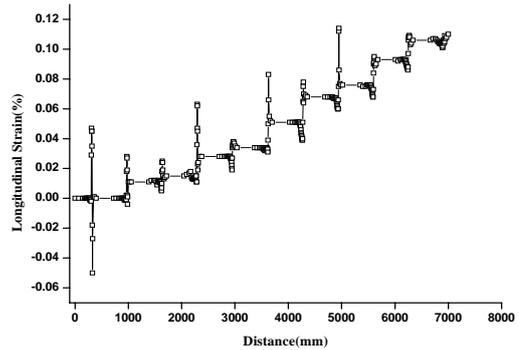


Fig. 5 Longitudinal Strain for 11-Pass Forming Process

5. 결론

본 연구에서는 언더레일용 하위멤버를 설계하고 강소성 유한 요소법을 이용한 롤 포밍 전용해석 프로그램인 SHAPE-RF를 이용하여 시뮬레이션하였다. 냉간압연강관에 대한 인장시험을 통하여 재료의 특성을 파악하였고, 유동응력의 증가현상을 나타내는 Swift식을 이용하여 유동응력방정식을 구하였다. 시뮬레이션을 통해 최종형상을 예측하였고, 제품의 직진성을 예측하기 위해 캠버와 보우를 예측하였다. 예측 결과 최종형상은 캠버현상에 의해 -X축으로 1.206mm 만큼 휘어졌고, 보우현상에 의해 Y축으로 6.968mm만큼 휘어졌다. 이는 하위멤버의 형상이 높이에 비해 폭의 넓이가 매우 길어 나타나는 현상이지만 3개의 멤버가 결합되었을때의 형상을 고려한다면 하위멤버의 최종형상을 바꾸는 것은 바람직하지 못하다. 따라서 소재에 잔류 변형률을 감소시켜 직진성을 향상시켜야 한다. 이를 위해 전 공정에 대한 길이방향 변형률을 예측한 결과 1, 4, 6, 8가 다른 패스에 대해 길이방향 변형률이 높게 예측 되었다. 그러므로 4개 공정에 대한 성형단수를 증가 하거나 롤 간거리, 성형각을 변화함으로써 직진성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Yang, M. H., "A Study on Cold Roll Forming Roller Changing System", Chonbuk Univ, pp 13-31, 1998.
2. Tehrani, M. S., Jartley, P., Naeini, H. M. and Khademizadeh, H., "Localised Edge Buckling in cold Roll-Forming of Symmetric Channel Section", Thin-Walled Structures, Vol.44, pp 1-13, 2005.
3. Kim, Y. Y., "Buckling Analysis and Buckling Limit of Strain on Roll Forming Process", Sogang Univ, pp 1-30, 2002.
4. Lee, S. Y., "Analysis of Roll Forming Process for Pipe using Rigid-Plastic Finite element method", Sogang Univ, pp 50-61, 2001.
5. Kim, T. J., "A Determination of Material Properties of Tube in Hydroforming using Inverse Engineering and Tube", Sogang Univ, pp 5-8, 2002.