

마이크로 박판 미세 패턴의 롤-롤 성형에서 뒤틀림 발생 예측 Prediction of Warpage in Roll-to-roll Forming of Micro Pattern on Thin Sheet Metal

*김종봉¹ · 민병욱² · 서원상² · 이혁진³ · 송경환³ · #김종호⁴

*J. B. Kim¹, B. W. Min², W. S. Seo², H. J. Lee³, J. H. Song³, #J. H. Kim⁴(jhkim365@snut.ac.kr)

¹서울산업대학교 자동차공학과, ²서울산업대학교 NID융합기술대학원, ³한국생산기술연구원 융합생산기술연구부, ⁴서울산업대학교 제품설계금형공학과

key words : Roll-to-roll forming, Wrinkling, Micro Pattern Forming

1. 서론

휴대폰, 카메라 등의 IT제품에 대한 소형화 및 경량화 요구에 따라 마이크로 부품의 성형에 대한 연구가 최근 많이 진행되고 있다. 마이크로 압출[1] 마이크로 엠보싱[2], 마이크로 펀칭[3] 등의 공정에 대한 연구가 마이크로 크기의 부품의 성형에 관한 것이다. 마이크로 크기의 부품은 아니지만, 매크로 크기의 부품에 마이크로 크기의 형상 성형에 대한 연구도 최근 수행이 시도되고 있다. 연료전지 분리판의 마이크로 채널 성형[4], PDP의 벽면 리브[5], 그리고 플렉서블 디스플레이 패널의 패턴[6]이 그 예제들이다. 본 연구에서는 플렉서블 디스플레이 패널의 마이크로 패턴 성형공정의 개발을 수행하였다. 약 200 μm의 얇은 박판에 롤-롤(Roll-to-roll) 성형으로 미세패턴을 성형하고자 한다. 기존에 차성훈 등[6]이 본 공정에서 발생하는 크랙에 대한 연구를 수행하였고, 본 연구에서는 공정 중에 소재의 밀림에 의해 발생하는 뒤틀림을 해석하였고, 이런 뒤틀림을 제거하는 방안을 제시하였다.

2. 해석 모델링

2.1 형상모델링

해석은 소성가공 공정해석에 많이 이용되는 범용 프로그램 Deform-3D를 이용하였다. Fig. 1은 해석을 위한 개략적인 형상을 보여준다. 소재의 두께(T)는 0.1mm와 0.2mm의 두 경우에 대해 해석하였고, 상·하부 롤러의 직경(D)은 150mm, 돌기의 높이(Height)는 0.05mm, 돌기의 경사각(θ_2)은 20°, 그리고 돌기의 피치(Pitch)는 0.2mm로 하였다.

해석을 통해서 소재의 두께와 금형 가이드가 뒤틀림의 발생에 미치는 영향을 분석하였다. 뒤틀림의 발생은 국부적인 현상이 아니기 때문에 요소의 크기가 매우 작을 필요는 없다고 가정하고, 요소의 크기를 크게 하면서 가능한 한 많은 돌기에 대해 해석을 수행하고자 하였다. 그래서, 6(폭방향)×12(회전방향)의 돌기에 대해 해석을 수행하였다. 실제 금형에는 수백만 개의 돌기가 있지만, 해석 시간과 컴퓨터 메모리 제한으로 일정 부분에 대해서만 해석을 수행하고 전체적인 경향을 파악하였다.

2.2 유한요소 격자 및 경계조건

범용 3D CAD 프로그램 Pro-Engineer 을 이용하여 소재와 금형

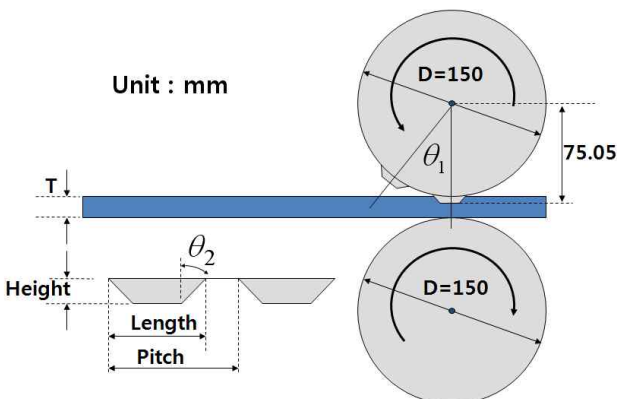


Fig.1 Configuration of the analysis model

에 대한 모델링을 수행하여 얻은 모델을 STL 파일로 변환하여

해석프로그램인 Deform-3D 에서 읽어 들여 해석에 적합한 요소로 분할하였다. 변형이 이루어지는 박판소재는 30만개의 요소로 분할하였다. 요소의 종류는 격자재생성이 용이한 사면체 요소를 이용하였으며 상·하부 롤러는 강체로 설정하였다. 롤러(Roller)의 회전속도는 상·하부 롤러 모두 0.035 rad/s를 적용하였다. 상·하부 롤러와 판넬과의 마찰조건은 냉간 가공에서 일반적으로 적용이 되는 전단마찰 $m=0.12$ 로 설정하였다. 대칭을 고려하여 돌기를 소재의 한쪽에 배치하고(Fig. 2) 대칭조건을 부여하여 해석하였다.

3. 결과 및 고찰

해석은 다음과 같이 두 단계로 수행되었다.

1. 소재의 두께 효과 분석 : 수백만 개의 돌기에 대해 해석을 수행하는 대신에 폭 방향으로 6개 길이 방향으로 12개로 고정하여 생성하였으며 이를 통해 롤-롤 성형을 해석하였다. 소재의 두께 0.1 mm와 0.2 mm에 대해 해석을 수행하여 소재의 두께가 뒤틀림의 발생에 미치는 영향을 파악하였다.
2. 뒤틀림 발생 억제를 위한 추가 가이드 형상의 효과 분석 : 뒤틀림 억제용 가이드의 효과를 분석하기 위해 가이드가 없는 경우와 가이드가 있는 경우에 대해 해석을 수행하였다. 그리고, 가이드와 패턴사이의 거리를 0.5 mm인 경우와, 1.0 mm로 변경하면서 해석하여 뒤틀림 발생의 경향성을 분석하였다.

3.1 소재두께에 따른 해석 결과

Fig. 2는 정량적인 그래프로 해석 결과를 관찰하기 위해 형상 자료를 추출하는 방향과 가이드 형상과 패턴(cavity pattern) 사이의 거리(GD)를 보여준다. 롤러에 의한 성형은 Fig. 2의 왼쪽에서 오른쪽으로 진행이 된다. 즉, 롤러의 진행 방향은 ②와 같다.

Fig. 3은 소재의 두께가 0.1mm와 0.2mm인 경우 롤-롤 성형 후 판넬의 두께방향 변위를 보여준다. Fig. 2에 표시한 방향으로 롤러가 회전하면서 진행 방향으로 미세 패턴을 만들고 있음을 알 수 있다. 그리고 소재의 두께에 따라 변형의 크기가 다를 수 있다. 또한, 롤러가 회전하면서 롤러 접촉 부위의 두께방향 변위가 크게 뒤틀림을 알 수 있다. 이것은 변형된 소재가 전면과 측면으로 밀리는 것에 의한 것으로 사료된다. Fig. 4의 그래프는 뒤틀림 현상을 정량적으로 표현하기 위한 그래프로써 Fig. 2의 ①의 경로를 따른 단면형상을 보여주고 있다. 롤-롤 성형에 의해 소재가 휘어지는 현상을 잘 보여주고 있고, 두께가 작은 0.1 mm인 경우가 휘어짐이 더 클 수 있다.

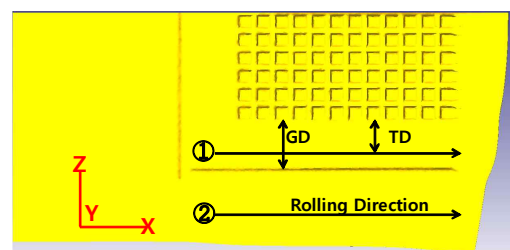


Fig.2 Illustration of data extracting direction and distance between cavities and guide.

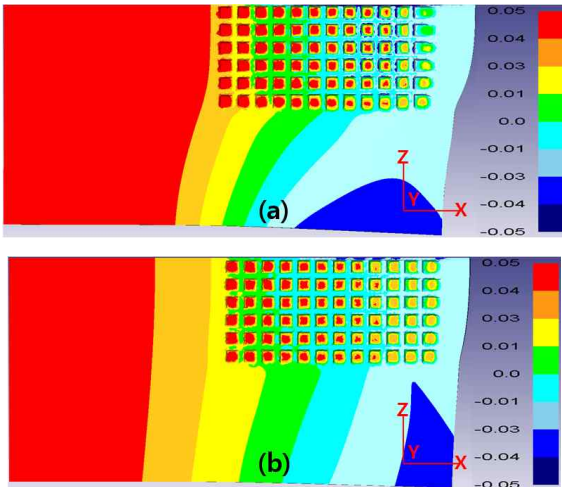


Fig.3 Y-displacement distributions on the sheet for sheet thickness of (a) 0.1mm and (b) 0.2mm

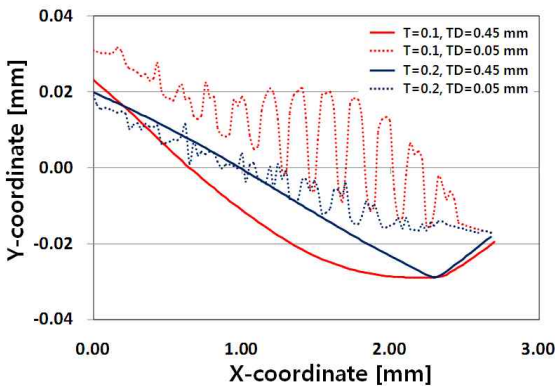


Fig. 4 Sectional shape of formed cavities along the path ① (see Fig. 2) for 0.1 and 0.2 mm of sheet thickness.

3.2 가이드 거리에 따른 Warpage 발생 특성

본 연구에서는 상부 롤러에 패턴 성형을 위한 돌기 외부에 추가로 가이드 형상을 두어 롤-롤 성형 시 발생하는 뒤틀림을 최소화 하여 형상 결함을 줄이고자 하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 가이드 형상의 유무에 따른 뒤틀림 변형 경향과 가이드 형상의 위치(Fig. 2에 Distance로 표시)에 따른 뒤틀림 변형의 경향을 분석하였다. Fig. 5는 가이드 형상을 추가하였을 경우 가이드 형상의 위치에 따른 두께방향(y 방향) 변위분포를 보여준다. 소재의 두께는 0.1 mm이다. Fig. 6(a)는 가이드 형상과 패턴 형상간의 거리가 0.5 mm인 경우이고, Fig. 6 (b)는 거리가 1.0 mm 인 경우이다. Fig. 3에 보인 가이드 형상이 없는 경우와 비교했을 때 뒤틀림이 다소 적어졌다고 판단이 된다.

Fig.6은 가이드 형상의 유무와 가이드 형상의 위치에 따른 변형 형상(경로 ①)을 정량적으로 보여주고 있다. 가이드 형상을 추가한 경우 뒤틀림이 크게 감소한 것을 알 수 있고, 가이드 형상의 위치는 0.5~1.0mm 사이에서는 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 그렇게 때문에 가이드 형상의 위치는 절단 등의 후가공을 고려하여 판단하면 될 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 박판 소재에 수십~수백 마이크로 크기의 패턴을 롤-롤 공정으로 성형 시 발생할 수 있는 뒤틀림을 최소화하기 위하여 추가적인 가이드 형상을 제안하였고 유한요소 해석으로 검증하였다. 가이드 형상의 유무와 가이드 형상의 위치가 뒤틀림 발생에 미치는 영향을 파악하였다. 결과로, 가이드 형상을 둔 경우 소재의 뒤틀림이 현저하게 작아짐을 알 수 있었다.

후기

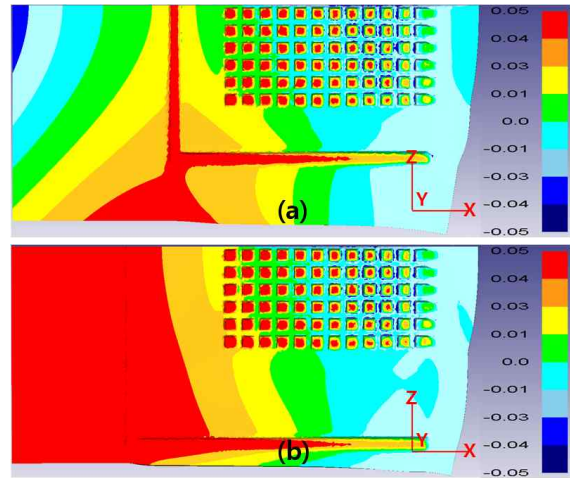


Fig.5 Y-displacement distributions on the sheet for guide distance(GD) of (a) 0.05mm and (b) 0.10mm

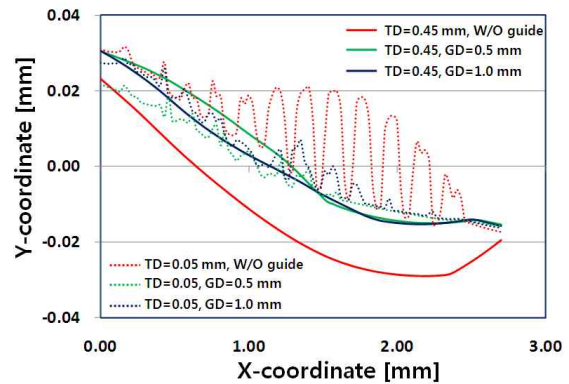


Fig.6 Sectional shape of formed cavities along the path ① (see Fig. 2) for various guide locations.

본 연구는 지식경제부가 지원한 전략기술개발사업과, 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. Kim, J. Y., Joo, S. M and Kim, H. K., "Superplastic Micro-extrusion for Micro-gears," Trans. of Kor. Soc. Machine Tool Eng., 17(4), 1-7, 2008.
2. Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N. and Engel, U., "Microforming," Annals of the CIRP, 50/2, 445~459, 2001.
3. Joo, B.-Y. and Oh, S.-I., "Development of Micro Punching System," Annals of the CIRP, 50/1, 191-194, 2001.
4. Peng, L., Lai X., Liu, D, Hu, P. and Ni, J, "Flow channel shape optimum design for hydroformed metal bipolar plate in PEM fule cell," J. of Power Sources, 178, 223-230, 2008.
5. Park, J.J, Hwang, H. S., Kim Y. S. and Jeon H. C., "Desing of groove and preform for roll forming of PDP barrier ribs," Int. J. of KSME, 26, 2082-2088, 2002.
6. Cha, S.-H., Shin M.-S., Kim J.-H., Lee H.-J. and Kim J.-B., "An Analysis of Formability of Micro Pattern Forming on the Thin Sheet Metal," Elastomers and Composites, 44, 391-396, 2009.