

# 미세패턴의 롤-롤 성형에서 크랙과 주름의 예측 Prediction of Crack and Wrinkling and in Roll-to-roll Forming of Micro Pattern

민병욱<sup>1</sup> · 서원상<sup>1</sup> · 이해진<sup>2</sup> · 김종봉<sup>3</sup>

B. W. Min<sup>1</sup>, W. S. Seo<sup>1</sup>, H. J. Lee<sup>2</sup>, J. B. Kim<sup>3</sup> (jbkim@snut.ac.kr)

<sup>1</sup>서울산업대학교 NID융합기술대학원, <sup>2</sup>한국생산기술연구원 융합생산기술연구부,  
<sup>3</sup>서울산업대학교 자동차공학과,

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

## 1. 서론

산업 수준이 고도화 되고 소비자의 요구가 증대됨에 따라 반도체, 의료, 정보 통신 등의 분야에서 고기능화 및 경박 단소 제품의 수요가 증가하고 있다. 이와 같은 요구에 맞게 최근 IT 기술이 급속하게 발전하고 연구되고 있다. 마이크로 압출[1], 마이크로 엠보싱[2], 마이크로 펀칭[3] 등의 공정에 대한 연구가 그 예제들이다. 본 연구는 IT 부품에 핵심으로 이용이 될 마이크로 부품의 생산에 관한 것이다. 그중 롤-롤 성형공정을 통한 플렉서블 디스플레이 패널의 마이크로 패턴 성형 공정의 개발을 수행하였다. 하지만 이러한 롤-롤 성형 공정에는 미세한 균열이나 소재의 불규칙한 밀림에 따른 주름이 발생함을 실험을 통해 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 미세패턴의 롤-롤 성형 공정 중 발생하는 결함 중 하나인 균열을 해석을 통해 예측하였고, 기존에 김종봉 등[4]이 제안한 가이드의 효과를 재료의 흐름 관점에서 정량적으로 비교 분석하였다.

## 2. 크랙예측

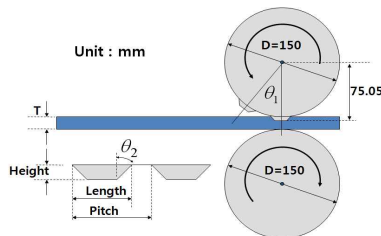


Fig.1 Configuration of the analysis model

해석은 소성가공 공정해석에 많이 이용되는 범용 프로그램 Deform-3D를 이용하였다. Fig. 1은

해석을 위한 개략적인 형상을 보여준다. 소재는 Aluminium(Al6114-T4)로 두께(T)는 0.2mm 경우에 대해 해석하였고, 상.하부 롤러의 직경(D)은 150mm, 돌기의 높이(Height)는 0.05mm, 돌기의 경사각( $\theta_1$ )은 10°, 20°, 30°에 대해 하였으며 돌기의 피치(Pitch)는 200mm, 그리고 돌기의 길이(Length)는 150mm로 정하였다.

해석은 계산의 효율성을 위해서 신뢰성을 보장할 수 있는 최소 돌기수를 4(폭방향)×8(회전방향)로 정하였고 크랙은 전체적인 문제가 아닌 돌기 부분에서의 국부적으로 문제이므로 메쉬 격자는 돌기 내에 차등 분배하여 조밀하게 하였다. 모든 해석은 롤-롤 성형 공정 대신 단순 압입 공정으로 수행하였다. 금형의 반경에 비해 패턴의 사이즈가 무시할 수 있을 만큼 작기 때문에 단순 형상의 압입 해석만으로도 실제 롤-롤 성형 공정의 예측이 가능하다고 가정하였다.

크랙은 응력과 변형이 집중되는 부분에서 불규칙적으로 발생하기 때문에 균열을 예측 하는 데에는 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 크랙의 예측을 위해 Cockcroft-Latham 식을 이용하여 성형 후 균열 발생 유무를 판단하였다. Cockcroft-Latham 식은 크랙의 초기발생을 나타내지 않기에 무차원화 하기 위해 인장시험을 통해 얻은 데미지 값(C)으로 나누어 다음과 같이 ND로 표현했다. ND의 값이 1보다 크면 크랙이 발생한 것으로 판단 할 수 있다. 이때  $\sigma_1$ 은 주응력  $\epsilon_f$ 는 유효변형률을 나타낸다.

$$ND = \int_0^{\epsilon_f} \sigma_1 d\epsilon / C \quad (1)$$

Fig 2.는 오직 하나의 딥플에서의 데미지 값을

보여준다. 돌기의 모형에 따라 ND값에 큰 차이를 보이며 가파른 벽 주변에 크랙이 발생함을 예측할 수 있다. 또한, ND값은 경사각이 감소할수록 증가함을 확인 할 수 있다.

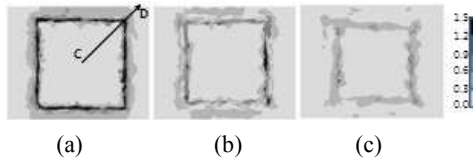


Fig.2 Normalized damage (ND) value distributions for draft angle of (a) 10°, (b) 20°, and (c) 30°

### 3. 주름예측

크랙문제와는 달리 주름의 발생은 국부적인 현상이 아니기 때문에 요소의 크기가 매우 작을 필요는 없다고 가정하고, 전체적으로 균일한 300,000의 요소수로 가능한 한 많은 돌기 6(폭방향)×12(회전방향)에 대해 해석을 수행하였다. 롤러의 진행방향은 Fig.3에 나타난다.

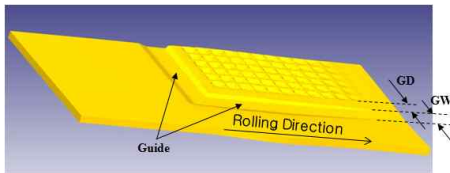


Fig.3 Schematic illustration of a guide shape.

주름의 주된 원인은 롤-롤 성형 공정 중 발생하는 불규칙한 재료의 흐름 때문인 것으로 사료된다. 따라서, Fig.3에 보인 추가적인 가이드가 주름발생 억제에 미치는 영향을 보고자 한다. 가이드 거리(GD)와 가이드 폭(GW)의 영향을 다음과 같이 분석하였다.

1.가이드 거리(GD)에 따른 영향 : Fig.4 (a)는 소재의 오른쪽 끝부분의 형상을 GD의 크기에 따라 비교한 그래프이다. 가이드의 위치는 성형된 형상의 오른쪽에 영향을 주는 것을 확인 할 수 있으며 돌기와 가까울수록 돌기 부분(Z>-1.2)에서 일정한 재료의 흐름을 보인다.

2.가이드 폭(GW)에 따른 영향 : Fig.4 (b)는 소재의 오른쪽 끝부분을 GW의 크기에 따라 비교한 그래프이다. GW가 증가할수록 재료의 흐름이 일정함을 확인 할 수 있다. 이는 가이드에 의해 재료가 일정한 방향성을 갖추는데 도움을 주고 일정한 재료의 유동을 보이는 것으로 판단된다.

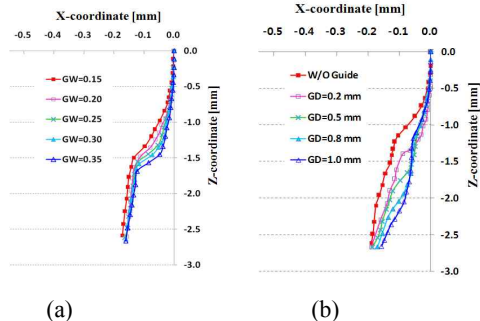


Fig.4 Deformed edge shapes for various values of (a) GD and (b)GW (0.8° rotation of rolls).

### 4.결론

본 연구에서는 유한요소 해석을 통해 롤-롤 성형 공정에서 발생하는 주된 결함인 크랙과 주름의 발생에 대해 분석하였다. 유한요소 해석을 통해서 크랙과 주름의 예측 관점으로 본 연구가 진행되었다. 계산의 효율성을 고려하여 전체모델 대신 부분적인 모델을 선택하여 해석하였다. 크랙은 기존 연구 결과를 요약하였고, 본 연구에서는 주로 주름의 예측 측면에서 가이드의 위치와 폭의 영향을 분석하였다. 해석 결과 가이드의 위치가 돌기와 가까울수록, 그리고 가이드의 폭이 넓을수록 주름이 감소함을 확인 하였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부가 지원한 전략기술개발 사업과, 지식경제부와 한국 산업 기술 재단의 전략 기술 인력 양성 사업으로 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 Tools Eng., 17, 1-7, 2008
2. Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N. and Engel, U., "Microforming", Annals of the CIRP, 50, 445-459, 2001.
3. Joo, B.-Y. and Oh S.-I., "Development of micro punching system", Annals of the CIRP, 50, 191-194, 2001.
4. 김종봉, 민병욱, 서원상, 이혜진, 송정환, 김종호 "마이크로 박판 미세패턴의 롤-롤 성형에서 뒤틀림 발생예측," 한국 정밀공학회지, 673-674, 2010.