

마이크로 박판 미세 패턴 성형공정에 대한 해석적 연구

차성훈¹, 신명수¹, 김종호², 김종봉[#], 송정환³, 이해진³

On the analysis of micro pattern forming on the thin sheet metal

S. H. Cha, M. S. Shin, J. H. Kin, J. B. Kim, H. J. Lee, J. H. Song

Abstract

Roll forming process is one of important metal processing technology because the process is simple and economical. These days, roll forming process is tried to be employed in manufacturing the circuit board, barrier ribs and solar cell plate for productivity. However, it is difficult to apply to the forming of micro scale or sub-micro scale pattern. In this study, the roll forming processing for the micro scale is designed and analyzed. In this study, the forming of micro pattern for solar cell plate by incremental roll forming process is analyzed. The solar cell plate may have thousands of patterns, and the analysis of forming considering all the patterns is impossible due to the computational costs. In this study, analyses are carried out for various numbers of patterns and the results are compared. It is shown that the analyses results with four row patterns and twelve row patterns are same. So, it is considered that the analysis can be carried out for only four rows of pattern for the design of incremental roll forming process. Also experiment is carried out process that is designed through simulation.

Key Words : Roll Forming (롤성형), FEM (유한요소법) Finite Element Method), Elasto-Plastic (탄소성),

1. 서론

롤포밍(Roll forming) 공정은 금속 띠판(Strip)을 성형롤(Forming roll) 사이로 통과시키면서 점진적인 굽힘(Bending)가공을 가하여 단면 형상이 일정하고 길이가 긴 제품을 생산할 수 있는 공정이다.^{1,2)} Metal Roll Forming 기술은 공정을 단순화시킬 수 있는 장점과, 대량생산을 통해 생산성을 높일 수 있다는 점에서 금속 가공기술에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다.³⁾ 하지만, 마이크로 크기 또는 서브마이크로 크기의 경우 기존 성형 공정 적용에 제약이 있다. 본 연구는 마이크로 스케일에서의 롤포밍 공정을 설계하고자 유한요소해석을 통해 성형공정을 분석하였다. 마이크로 크기

및 서브 마이크로 크기의 금속성형은 마이크로 압출⁴⁾ 마이크로 엠보싱^{5,6)}, 마이크로 펀칭⁷⁾ 등의 공정에 대한 연구가 진행되었다. 금속성형 공정 중에서 마이크로 롤포밍 공정은 높은 생산성으로 인해 PDP 격벽구조, 솔라셀 집전판, 기관회로 설계 등의 넓은 범위에서 활용이 검토되고 있다. Park⁸⁾ 등은 고분자를 이용한 마이크로 롤포밍으로 PDP 격벽구조(barrier rib)를 성형하는 것에 대한 해석적 연구를 수행하였다. 본 연구는 태양전지 집전판 성형을 위한 롤포밍 공정을 설계하기 위해 공정을 해석하고자 한다. 하지만, 태양전지 집전판은 수천 개의 돌기를 가지고 있어 해석에 어려움이 있다.

1. 서울산업대학교 NID 융합대학원
2. 서울산업대학교 금형설계학과
3. 한국생산기술연구원 디지털성형팀
교신저자 : 서울산업대학교 자동차공학과,
E-mail : jbkim@snut.ac.kr

본 연구에서는 신뢰성을 확보하기 위한 최적의 격자 개수와 최소의 해석 돌기 수를 결정하였으며 실험을 통해 해석의 결과를 검증하였다.

2. 해석

2.1 형상모델링 (Feature modeling)

해석은 범용 해석프로그램인 Deform-3D를 이용하여 수행하였다. Fig. 1은 해석을 위한 개략적인 형상을 보여준다. 두께 0.2mm의 판넬에 직경 150mm의 상하부 롤러를 이용하여 상부 롤러에 패턴 된 높이 0.05mm, $\theta_1 = 0.2^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$ 의 돌기가 판넬에 소성변형을 일으키게 된다.

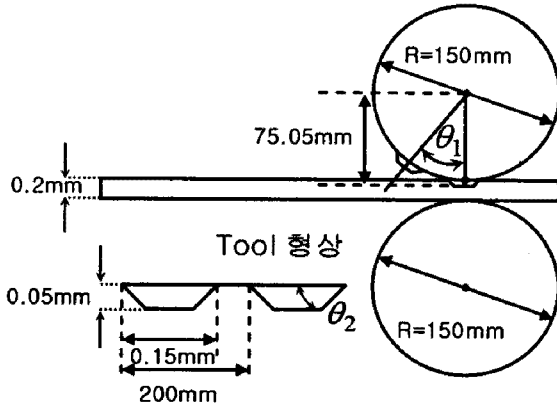


Fig. 1 Configuration of the analysis model

상부롤러 돌기 열의 개수를 4, 8, 그리고 12개로 변화시키면서 그 양상을 관찰하였다. 해석은 탄소성으로 수행하였다.

2.2 유한요소 격자 및 경계조건

범용 3D CAD 프로그램 Pro-Engineer 을 이용하여 소재와 금형에 대한 모델링을 수행하였고, 그 결과를 STL 파일로 변환하여 해석프로그램인 Deform-3D 에서 읽어 들여 해석에 적합한 요소로 분할하였다. 변형이 이루어지는 박판소재는 200000개의 요소로 이산화 하였다. Fig. 3 에서 보는 바와 같이 소성변형이 크게 발생하고 주 관심 대상인 소재의 중심부에 크기가 작은 요소를 적용하였다. 또한 압축인장에 의한 소성변형을 정확히 해석하고자 두께방향으로의 격자를 충분히 하였다. 요소의 종류는 격자재생성이 용이한 사면체 요소를 이용하였다. 상하부 롤러는 강체로 가정하였다.

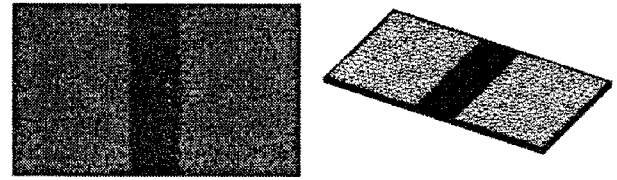


Fig. 2 Illustration of meshes for sheet.

롤러(Roller)의 회전속도는 상·하부 롤러 모두 1rad/s 을 적용하였다. 해석에서 속도를 설정하였지만, 유동응력을 점소성해석을 통한 것이 아니기 때문에 롤러의 속도는 무의미하다. 상·하부 롤러와 판넬과의 마찰조건은 냉간 강재일 경우 일반적으로 적용이 되는 전단응력마찰 $m=0.12$ 로 설정하였다.

2.3 소재의 물성

성형에 이용된 소재는 알루미늄소재(Al 2024-T351, Al 6111)⁹⁾이다. 판넬에 적용된 소재의 물성은 다음과 같다. 소성 응력-변형률 물성은 Johnson Cook¹⁰⁾ 모델을 이용하였다.

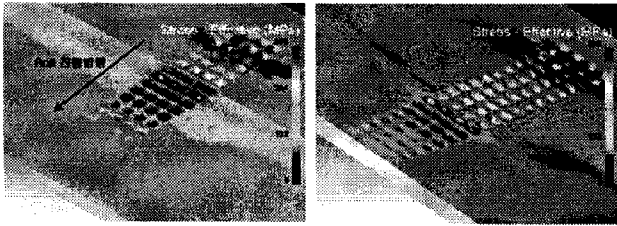
Table 1 Johnson-Cook coefficients for Al2024-T351

	Al 2024	Al 6111
A	337 MPa	150 MPa
B	343 MPa	412 MPa
C	0.1	0.015
n	0.41	0.66
m	1.0	2.16
Melting Temp	493	582

3. 결과 및 고찰

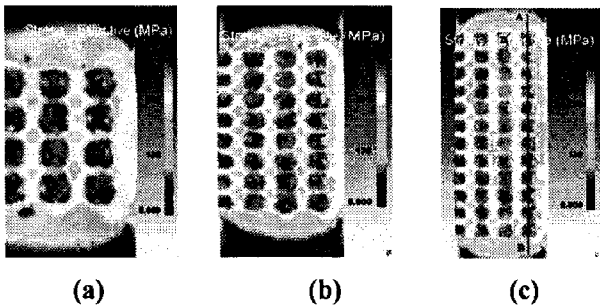
3.1 유한요소해석 결과

Fig. 3 는 성형 후 판넬의 변형형상을 보여준다. 해석을 통해 Roll Forming 의 성형성은 양호한 것으로 확인되었다. Fig. 6 은 롤포밍이 진행되는 과정을 보여준다. 롤러가 회전하면서 진행 방향으로 미세 패턴을 만들고 있다. 국부 성형이 일어나는 부분에서 약 390Mpa 의 유효응력이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 성형을 마친 부분에서는 점진적으로 응력이 사라지는 것을 확인할 수 있다.



(a) After 1.14° rotation (b) After 2.28° rotation
Fig. 3 Effective stress distributions on the sheet as the forming proceeds.

Fig. 6에 보인 해석 결과는 해석시간을 짧게 하여 결과를 보기 위해 실제보다 매우 작은 패턴의 수로 해석한 결과이다. 실제 태양광전지 집전판의 경우 수천 개의 패턴 열이 성형되어야 한다. 성형 해석으로 수천 개 열의 패턴의 성형을 해석하는 것은 컴퓨터 능력과 메모리 등을 고려할 때 불가능하다. 그래서 해석으로 공정을 설계하기 위한 사전단계로 최소한 몇 개 열의 패턴을 해석해야 전체를 해석하는 것과 같은지를 판단하기 위해 열의 수를 바꾸어 가면서 해석을 수행하였다. 그래서, 패턴의 열의 수를 4, 8, 그리고 12개로 변화시키면서 해석을 수행하여 그 양상을 관찰하였다. Fig. 4는 패턴의 열의 수에 따른 응력분포를 보여준다. 성형이 되는 돌기 부분의 응력은 패턴의 열의 개수에 상관없이 전체적으로 비슷한 응력 분포를 나타내는 것을 확인할 수 있다. Fig. 5는 패널의 폭 방향 단면(Section AB)에서의 응력 분포를 보여준다. 돌기의 개수와 상관 없이 응력이 같은 값으로 분포하는 것으로 보아 돌기의 개수는 성형에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 응력은 돌기를 지나면서 주기적인 분포를 가진다.



(a) (b) (c)
Fig. 4 Effective stress distribution on the sheet for the number of patterns of (a) 4, (b) 8, and (c) 12

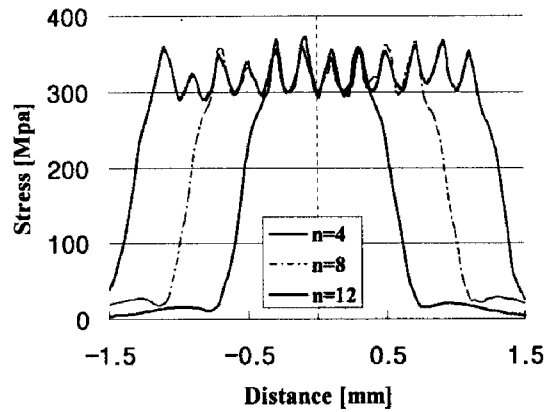


Fig. 5 Predicted effective stress for various protrusions number.

Fig. 5의 그래프에서 응력 분포는 패턴형상의 중심축을 기준으로 대칭분포를 보인다. Fig. 6과 Fig. 7은 최적의 격자 개수를 찾기 위해 격자 개수에 따른 응력 및 변형률의 좌우대칭성을 나타낸 그래프이다.

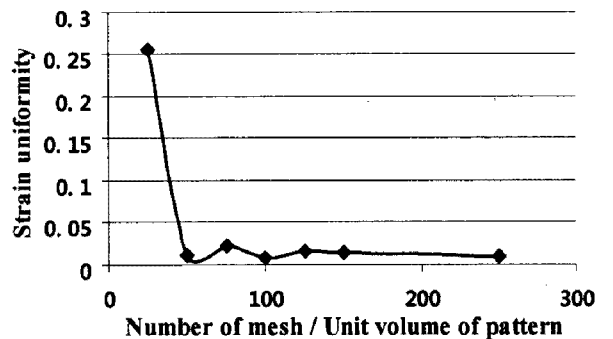


Fig. 6 Effect of mesh size for strain uniformity

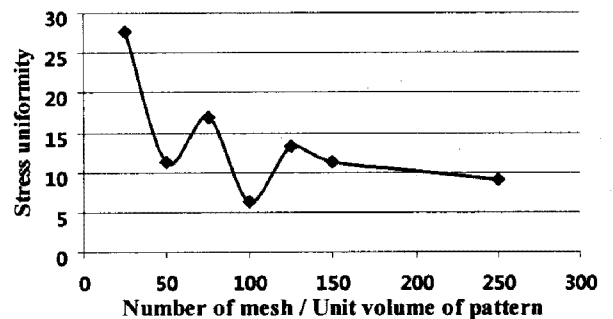


Fig. 7 Effect of mesh size on stress uniformity

Fig. 6과 Fig. 7에서 가로축은 한 개의 패턴당 적용된 격자의 평균개수를 나타내며 세로축은 패턴열의 중심축을 기준으로 좌우 불일치 값의 평균값을 나타낸다. 패턴당 격자의 개수가 많을수록 좌우 일치률이 증가하는 것을 알 수 있으며 본 연구에 적용한 패턴당 격자의 개수 50개는 적당하다는 알 수 있다.

3.2 실험 결과

Fig. 8 은 해석과 동일한 조건으로 실험한 금형과 시편을 전자현미경을 통해 촬영한 이미지이며 Fig. 9는 3D Profiler 를 이용하여 성형을 마친 시편의 형상을 이미지화한 것이다. 실험결과 성형 후 판넬은 양호한 성형성을 보였다.

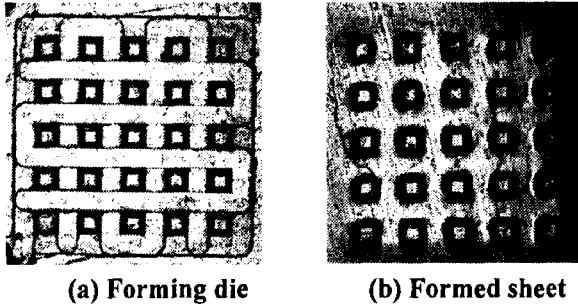


Fig. 8 In pattern images for die and forming sheet

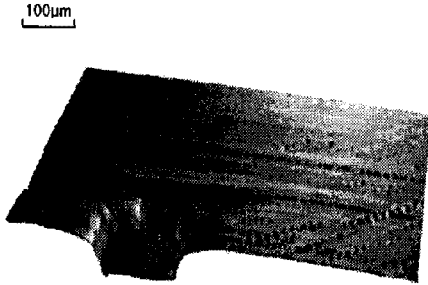


Fig. 9 In pattern 3D images for forming sheet.

4. 결 론

본 연구에서는 수십~수백 마이크로 크기의 패턴을 롤포밍 으로 성형하기 위해 유한요소 해석을 수행하였다. 해석으로 공정을 설계하기 이전에 컴퓨터 능력과 메모리 문제로 수천 개의 패턴에 대한 해석이 불가능하기 때문에 최소한의 패턴에 대해 해석을 수행하기 위해 사전 연구를 수행하였다. 패턴의 열의 수 4, 8, 그리고 12개에 대해 롤성형 공정을 해석하였다. 4~12개의 패턴 열에 대한 해석 결과가 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 그렇기 때문에, 한 개의 해석을 수행하는데 수개월이 걸릴 수도 있는 수천 개의 패턴에 대한 해석을 수행하지 않고도 단지 4개 또는 8개의 패턴에 대한 해석만으로도 신뢰성을 가지고 공정을 설계할 수 있음을 확인하였다. 또한 해석의 신뢰성을 검증하기 위하여 해석에 필요한 최적의 격자 개수를 결정하였으며 간단한 실험을 통해 해석을 검증하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업과, 지식경제부 주관 전략기술개발사업 "마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반기술개발" 의 결과로 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다. 또한, 실험에 도움을 준 서울산업대학교 박사성씨께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K. H. Kim, 1999, "Design of Forming Rolls using Finite Element", Int. J of KSOE, Vol.13, No.4, pp.75~81
- [2] Society of Manufacturing Engineers, Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 4thed, Vol.2, Chapter 8, 1984
- [3] B. Y. Joo, S. W. Baek, S. I. Oh, 2006, "Micro Channel Forming With Ultra Thin Metal Foil", Int. J. of KSME., Vol.30, No.2, pp. 157~163,
- [4] J. Y. Kim, S. M. Joo, H. K. Kim, 2008, SuperPlastic Micro-extrusion for Micro-gears, Trans. of KSMTE, Vol.17, No.4, pp.1~7.
- [5] Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N. and Engel, U., 2001, "Microforming," annals of the CIRP, 50/2, pp.445~459.
- [6] Lke, H. and Plancak, M., 1998, "Coining Process as a Means of Controlling Surface Microgeometry", Journal of Materials Processing Technology, 80~81, pp.101~107.
- [7] Joo, B.-Y. and Oh, S.-I., 2001, "Development of Micro Punching System", Annals of the CIRP, 50/1, pp.191~194
- [8] J. J. Park, H. S. Hwang, Y. S. Kim, H. C. Jeon, 2002, "Design of Groove and Preform for Roll Forming of PDP Barrier Ribs", Int. J. of KSME, Vol.26, No10, pp2082~2088
- [9] D. Li, A. Ghosh, 2003, "Tensile deformation behavior of aluminum alloys at warm forming temperatures", Materials Science and Engineering A352, pp.279~289
- [10] Johnson, G. R. and Cook, W. H., 1983, "A constitutive model and data for metals subjected to large strain, high strain rates and temperatures", Proceedings of the 7th international symposium on ballistics, Den Haag, Netherlands, pp.541-547