

이중 곡률을 갖는 판재 성형을 위한 롤셋(Roll Set) 성형 공정 개발

윤석준* · 양동열*

Development of a Forming Process using the Roll Set for the Manufacture of a Doubly Curved Sheet Metal

S. J. Yoon and D. Y. Yang

Abstract

In order to make a doubly curved sheet metal effectively, a sheet metal forming process has been developed by adopting the flexibility of the incremental forming process and the principle of bending deformation which causes slight deformation to thickness. The developed process is an unconstrained forming process with no holder. For this study, the experimental equipment is set up with the roll set which consists of two pairs of support rolls and one center roll. In the experiments using aluminum sheets and FEM simulation, it is found that the curvature of the formed sheet metal is determined by controlling the distance between supporting rolls in pairs and the forming depth of the center roll. The FEM simulation of the forming process using the roll set along the one path shows the distributions of the curvatures in two directions along the path, and gives information about the characteristics of the proposed forming process.

Key Words : Incremental Forming Process, Sheet Metal Forming, Doubly Curved Sheet, Bending Deformation

1. 서 론

자동차, 선박, 항공기 등의 동체는 이중 곡률을 갖는 금속 판재로 구성되어 있다. 이러한 이중곡률 형태의 금속 판재를 성형할 수 있는 공정으로 간단한 펀치와 금형만을 사용하여 비교적 저렴한 비용으로 다양한 형상의 금속 판재를 성형할 수 있는 점진적 성형 공정이 있다. 점진적 성형 공정은 재료의 국부적인 변형을 발생시켜 전체를 성형하는 공정으로 원하는 형상을 비교적 다양하

게 제작할 수 있는 유연적 특징이 있다. 그러나 금형을 완전히 배제할 수 없기 때문에 형상에 따라 간단한 금형을 제작해야 하며, 또 성형 원리가 대부분 전단 응력에 의한 두께 변형이므로 재료의 두께 변형이 심하게 발생하는 문제가 있다. 따라서 이중 곡률을 갖는 금속 판재를 성형하는데 있어, 점진적 성형 공정의 유연적 장점을 살리면서 금형이 필요 없고 두께 변형이 거의 일어나지 않는 새로운 공정을 제안하고자 한다.

* 한국과학기술원 기계공학과

2. 롤셋(Roll Set)을 이용한 성형 원리

2.1 롤셋(Roll Set)

롤셋은 Fig. 1 과 같이 두쌍의 받침롤(support roll)과 한 개의 중심롤(center roll)로 구성되어 있다. 받침롤은 볼 베어링과 같이 어느 방향으로든 회전할 수 있으며, 중심롤은 재료의 이송 방향을 따라 외부 동력에 의해 회전하게 된다.

2.2 성형 원리

받침롤 위에 시편을 올려 놓고 중심롤의 높이를 조절하여 받침롤로 이루어진 도심 위에서 일정 깊이만큼 눌러주면 중심롤과 접촉하는 재료의 영역에서 국부적인 굽힘 변형이 발생한다. 이러한 상태에서 중심롤은 회전을 하고 있으므로 국부적인 굽힘 변형이 발생하는 영역은 중심롤의 회전에 의한 이송 경로를 따라 점진적으로 이동하게 되고 결국 시편 전체를 성형하게 된다.

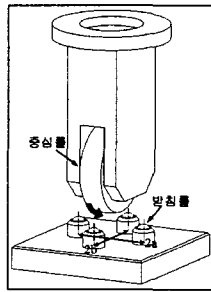


Fig. 1 Schematic diagram of a roll set

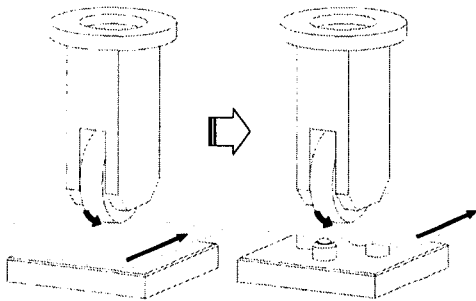


Fig. 2 Schematic diagram of the forming process

3. 실험 장치 및 실험 결과

3.1 실험 장치 및 실험 변수

본 연구에서 제안한 롤셋을 이용한 성형에서 곡률을 결정 짓는 변수는 쌍으로 존재하는 받침롤의 간격과 중심롤의 눌러주는 성형 깊이이다. 본 연구에서는 두 쌍의 받침롤의 간격을 각각 2a와 2b로(Fig. 1 참조), 중심롤의 눌러주는 깊이는 초기 시편의 윗면을 기준으로 Δz라 정의한다. 이때 Δz의 값에 따라 단계를 설정하여 눌러주

는 깊이도 점진적으로 증가시키고자 한다.(Table 1 참조) 한편 중심롤의 회전 속도는 12 rpm, 중심롤 회전에 의한 성형 경로 간의 간격, d는 5 mm로 결정하였다. 또한 실험 재료는 알루미늄을 사용하였고 100 mm 길이의 정사각형 모양에 2 mm 두께의 시편을 사용하였다.

Table 1 Forming stage according to Δz

| Stage | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Δz(mm) | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | |

3.2 실험 결과

2a=2b=45 mm, Δz=1.0 mm 조건에서 성형 경로를 따라 시편의 한쪽 면만 성형한 것이 Fig. 3, 양면을 반씩 성형한 것이 Fig. 4이다,



Fig. 3 Workpiece formed on one side

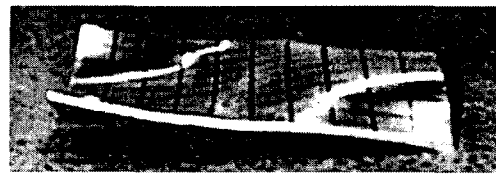


Fig. 4 Workpiece formed on two sides

4. 유한 요소 해석을 통한 고찰

4.1 목적 및 가정

유한 요소 해석을 통해 롤셋을 이용하여 성형한 후에 나타나는 곡률 분포를 알아보려고 한다. 보다 간단한 유한 요소 해석을 위해 롤셋의 롤들은 회전하지 않고, 대신 시편과의 접촉점에서 마찰 계수를 무시한다.(μ=0) 따라서 중심롤의 회전에 의한 재료 이송은 중심롤과 접촉하는 시편 영역에 이송 방향의 변위 경계 조건을 부여함으로써 표현한다. 즉, 접촉 영역의 반경을 R_{contact}, 절점과 중심롤의 좌표가 각각 (x_{node}, y_{node}), (x_{roll}, y_{roll})이라면 다음의 조건을 만족하는 절점에 변위 경계 조건을 주도록 한다.

$$(x_{node} - x_{croll})^2 + (y_{node} - y_{croll})^2 \leq R_{contact} \quad (1)$$

4.2 해석 조건

실험 변수는 $2a=50$ mm, $2b=45$ mm, $\Delta z=1.2$ mm 로, 사각형 시편의 크기와 두께는 100 mm \times 100 mm, 2 mm로 설정하였다. 유한 요소 해석 프로그램은 Yoon et al.[5]이 탄소성 재료에 대해 쉘 요소를 이용하여 내연적으로 수식화한 프로그램을 이용하였으며 Aluminum (6111 T4)의 물성치를 적용하였다.

4.3 해석 결과

Fig. 5는 중심롤이 시편의 중심을 눌러준 직후, $2a$ 와 $2b$ 선상에 있는 시편의 윤곽선을 나타낸 그래프이다. 받침롤의 간격 $2a$ 와 $2b$ 가 다르기 때문에 간격이 더 좁은 $2b$ 선상에서 곡률이 크게 생성되었음을 알 수 있다. 또한 본 해석 결과를 토대로 변위 경계 조건을 위한 $R_{contact}$ 값을 3.7 mm로 설정하였다.

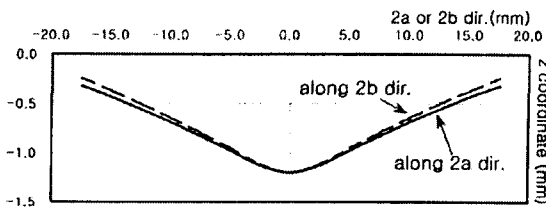


Fig. 5 Profile of the workpiece pressed by the center roll

Fig. 6은 $2b$ 선상을 따라 시편의 중심선을 한 줄의 성형 경로로 성형한 결과이다. 두께 변형을 분포를 보면 최대 0.0014655 에서 최소 -0.0019252 로 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

$2a=50$ mm, $2b=45$ mm, $\Delta z=1.2$ mm

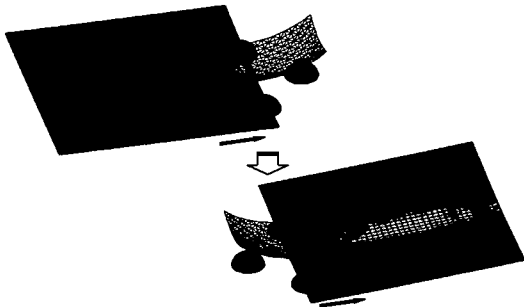


Fig. 6 Simulation result of the one-path forming

Fig. 7은 Fig. 6의 성형 경로 상에서 $2b$ 방향의 곡률이 어떻게 분포하고 있는지 나타내는 그래프이다. 또한

Fig. 8은 Fig. 6의 성형 경로 상에서 $2a$ 방향의 곡률이 어떻게 분포하고 있는지 나타내는 그래프이다. 이때의 곡률은 원하는 방향의 선상에 위치하는 네개의 절점을 일정 간격으로 조합하여 네 절점을 지나는 구의 방정식을 얻어냄으로써 곡률 반경을 계산하였다.

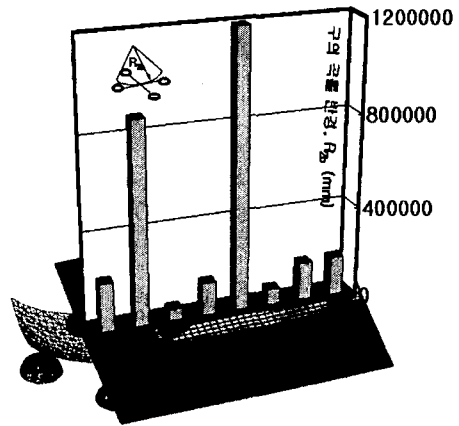


Fig. 7 Distribution of R_{2b}

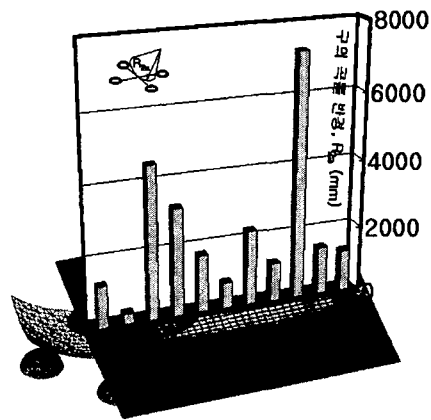


Fig. 8 Distribution of R_{2a}

Fig. 7의 결과를 살펴보면 시편 중심에서 $2b$ 방향으로의 곡률 반경이 갑자기 증가하고 또한 $2b$ 방향의 받침롤에 접촉하고 있는 부분에서 곡률 반경이 급격히 증가하였다. 이는 공정의 특성 상 중심 영역이 받침롤에 의해 가장 빈번하게 반력을 받기 때문에 중심롤에 의해 생성되었던 곡률이 상쇄되었기 때문으로 풀이된다. 또한 마지막에 받침롤과 접촉하고 있던 부분도 받침롤의 반력에 의해 시편의 곡률이 급격히 감소한 상태로 성형이 끝났음을 알 수 있다.

Fig. 8의 그래프는 성형 경로를 따라 2a 방향으로 생성되는 곡률이 2b 방향의 결과와는 다르게 중심 영역에서 가장 잘 생성되고 시편의 가장자리로 갈수록 곡률 반경이 증가하는 거동을 보여주고 있다. 이는 기하학적 구속 조건에 의한 것으로 판단되며 2a 방향으로의 곡률 생성이 시편의 중심 부분에서 가장 용이함을 알 수 있다. 따라서 본 성형 공정으로 성형된 시편은 위치에 따라 곡률의 크기가 다르게 생성된다.

5. 결 론

재료의 국부적인 변형을 발생시켜 성형하는 점진적 성형 공정의 하나로 굽힘 변형을 발생시키는 롤셋을 이용하여 이중 곡률을 갖는 금속 판재를 성형할 수 있는 공정을 제안하였다. 본 성형 공정의 특징은 다음과 같다.

(1) 점진적 성형 공정으로서 간단한 롤셋으로 다양한 형상을 제작할 수 있다.

(2) 롤셋을 이용하여 굽힘 변형 원리로 성형하므로 두께 변형율이 거의 없다.

(3) 받침롤의 간격을 달리함으로써 이중 곡률의 금속 판재를 성형할 수 있다.

또한 FEM 해석을 통해 다음과 같은 공정의 거동을 이해할 수 있다.

(4) 성형 경로 선상에서 중심롤에 의해 생성된 여러 방향의 곡률 중에서 경로 방향의 곡률은 받침롤의 반력에 의해 상쇄된다.

(5) 반면 성형 경로와 교차하는 다른 방향의 곡률은 시편의 중심 영역에 가까울수록 잘 생성되고 시편의 기하학적 구속 조건에 따라 곡률이 다르게 생성된다.

참 고 문 헌

- (1) Matsubara, S., 1994, "Incremental backward bulge forming of a sheet metal with a hemispherical head too," *Journal of the JSTP*, Vol. 35, No. 406, pp. 1311~1316.
- (2) Iseki, H., 1994, "Forming limit of incremental sheet metal stretch forming using spherical rollers," *Journal of the JSTP*, Vol. 35, No. 406, pp. 1336~1341.
- (3) Kitazawa, K., Tanaka, S., Nakamura, T., 1994, "A CNC incremental sheet metal forming method for producing the shell components having sharp corners," *Journal of the JSTP*, Vol. 35, No. 406, pp. 1348~1353.
- (4) Yoon, S. J., Yang, D. Y., 2001, "Investigation into a new incremental forming process using an adjustable punch set for the manufacture of a doubly curved sheet metal," *Proc. Instn. Mech. Engrs.* Vol. 215, Part B, pp. 991~1004.
- (5) Yoon, J. W., Yang, D. Y., Chung, K., Barlat, F., 1999, "A general elasto-plastic finite element formulation based on incremental deformation theory for planar anisotropy and its application to sheet metal forming," *Int. J. Plasticity*, Vol. 15, No. 1, pp. 35~67.