

판재의 점진성형법에 대한 기초연구

심명섭* · 박종진**

A Basic Study on Incremental Forming Method for Sheet Metal

M. S. Shim and J. J. Park

Abstract

The technology of incremental forming has drawn attention for small-batch production of sheet metal components. In the present investigation, a forming tool containing a freely-rotating ball was developed and applied to forming experiments. Deformation characteristics including crack occurred during forming with this tool was examined for full annealed Al 1050 sheet. The finite element analysis was successfully applied to this special type of forming process, and provided results that agree well with the measurements.

Key words : Incremental forming, Sheet metal forming, Deformation characteristics

1. 서 론

판재를 이용하여 부품을 만드는 판재 성형법은 주로 부품의 형상대로 가공된 금형을 사용하여 부품을 성형한다. 이러한 성형방법은 주로 소품종 대량생산에 적합한 방법으로써 금형의 설계 및 제작에 소요되는 비용을 감당할 수 있는 자동차 및 가전제품의 부품생산에 응용되어왔다. 그러나 최근에 생산자의 입장에서 여러 분야에서 다양한 형상의 제품을 요구하는 시장의 형성에 대

비하여 다품종 소량생산에 대처할 수 있는 박판성형 기술을 개발하기 시작하였다^(1~5). 즉, 부품의 형상을 가진 금형을 사용하는 것이 아니라 일정한 형태의 공구가 판재 위를 이동하면서 판재의 형상을 점진적으로 성형하는 기술이다.

관련된 연구를 요약하면 다음과 같다. 판재를 금형과 금형과 블랭크홀더로 고정시킨 후 구형 물러로 성형하는 방법으로 공구의 이동경로에 따라 다양한 형상이 성형된다. 공구의 이동경로는 주로 수평운동을 하고, 수평 운동

* 홍익대학교 대학원 기계공학과

** 홍익대학교 기계·시스템디자인 공학과

이 종료되면 수직으로 판재를 눌러 새로운 수평운동면으로 이동하는 순서를 반복한다. 성형성과 성형형상의 다양화를 위하여 판재 지지용 롤러를 사용하기도 한다. 이 경우 성형 깊이는 약 2배로 증가하는 것으로 나타났다. 각 진 모서리를 갖는 부품의 경우에는 중심부에 고정공구를 설치하고 또한 블랭크홀더를 상하로 이동하면서 성형한다. 각도가 예리한 축대칭 형상의 경우에는 판재의 내면 성형 후 뒤집어 외면을 성형하는 방법을 사용할 수 있다. 이렇게 하여 생성된 예리한 코너는 예리한 금형을 사용하지 않았으므로 파단의 발생이 아주 낮고 생성이 비교적 용이하다.

본 연구에서는 회전이 자유로운 구형 공구를 설계, 제작하고 이를 머쉬닝 센터에 공구로써 장착하여 형상을 성형하는 실험을 수행하였다. 그리고 실험에서 나타난 여러 현상을 그리드를 측정하는 방법과 상용 프로그램인 PAM-STAMP를 사용한 유한요소 해석을 병행하면서 분석하였다.

2. 점진적 성형에서의 변형 특성

Fig.1에 머쉬닝 센터의 공구대에 장착되어 있는 공구의 사진이 나와있다. 판재는 들레가 블랭크 홀더에 스크류로써 완전히 구속되어 있으며, 공구가 판재면에 압축을 가하면서 수평 이동하면서 형상을 점진적으로 성형하게 된다. 본 연구에서 설계하고 제작한 공구에서는 지름이 9.25mm인 볼이 공구하단에 자유회전할 수 있도록 장착되어 있다.

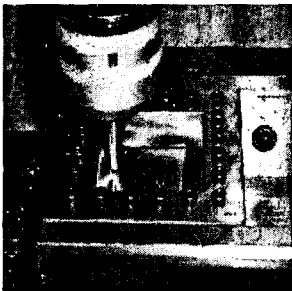


Fig. 1 Ball tool loaded on a machining center

판재면에는 윤활유가 발라져 있어 볼 이동 중에 판재에 작용되는 마찰효과를 가능한 작도록 하였다. 공구는 사용자가 입력한 공구이동경로 프로그램에 의하여 수직운동과 수평운동을 한다.

실험에 사용한 소재는 0.3mm 두께의 1050 알루미늄

판재로써 350°C에서 2시간 동안 어닐링 처리를 하였다. 인장실험을 수행하여 탄성계수 $E=70\text{GPa}$, $R_0=0.51$, $R_{45}=0.75$, $R_{90}=0.48$, 유동응력 $\bar{\sigma}=140 \epsilon^{0.25} \text{MPa}$ 을 구하였다. 성형 전 판재에 지름이 2.54mm인 구형 그리드를 전기화학적 방법으로 에칭하고, 성형 후 그리드 측정자를 사용하여 주변형률과 부변형률을 측정하였다.

위의 장치를 사용하여 판재를 성형할 때 공구의 경로는 폐곡선(또는 근사 폐곡선)으로 나타나는 수평경로와 성형깊이를 증가시키는 수직경로로 구분할 수 있다. 따라서 공구의 수직경로와 수평경로 이동시 판재에 발생하는 변형의 특성을 알아보려고 실험과 이에 따른 유한요소 해석을 수행하였다. 사용된 판재의 크기는 길이가 130mm, 폭이 40mm이었다.

2.1 수직경로에서의 변형

판재가 길이방향의 양단은 블랭크 홀더에 고정구에 의하여 고정되어 있는 상태에서 공구가 판재의 중심을 누르는 경로이다. Fig.2에 유한요소 해석 초기에서의 모델링을 보여주고 있고, Fig.3에 공구의 깊이가 14mm일 때의 결과를 보여주고 있다.

해석과 그리드 측정으로부터 구한 주변형률과 부변형률을 각각 Fig.4와 Fig.5에 비교하였다. 주변형률의 경우에는 값의 차이는 약간 나타나지만 경향은 일치하고 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 볼 중심에서의 변형은 매우 크지만, 중심에서 거리가 멀어질수록 급격히 감소한다. 부변

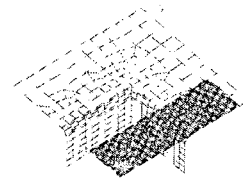


Fig. 2 FEM model for vertical path

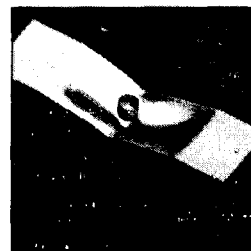


Fig. 3 FEM result of vertical path

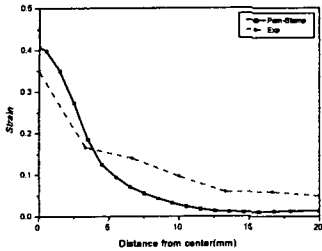


Fig. 4 Comparison of predicted major strain with measurement

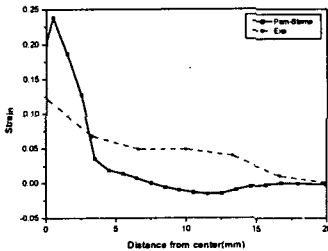


Fig. 5 Comparison of predicted minor strain with measurement

형률의 경우에는 변형률의 크기가 매우 작음으로 인하여 측정의 정확성은 크게 신뢰할 수 없지만 경향은 대체적으로 일치하고 있다. 부변형률도 역시 중심에서 크게, 하지만 거리가 멀어질수록 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 실험과 해석에서 모두 중심에서의 주변형률은 부변형률의 약 2배로 나타나고 있는데, 이는 판재가 길이방향에 대해서만 구속을 받고 있기 때문이다.

2.2 수평경로에서의 변형

판재가 길이방향의 양단은 블랭크 홀더에 고정구에 의하여 고정되어 있는 상태에서 공구가 판재의 중심에서 폭 방향으로만 직선운동을 반복할 때 발생하는 변형을 조사하였다. 하나의 직선운동이 종료되면 다음 직선운동 시작 전에 공구의 깊이를 0.5mm씩 증가시켰다. Fig.6에 유한요소 해석 초기에서의 모델링을 보여주고 있고, Fig.7에 공구의 깊이가 4mm일 때의 결과를 보여주고 있다. 공구 깊이가 2mm와 4mm가 되었을 경우에 해석과 그리드 측정으로부터 구한 주변형률과 부변형률을 각각 Fig.8와 Fig.9에 비교하였다. 주변형률 및 부변형률 모두 해석결과가 측정결과보다 크게 나타났으나, 경향은 일치하였다. 양 끝 부분에서의 변형이 내부에서의 변형보다 매우 크게 발생하였으며, 공구의 깊이가 증가할수록 이러한 경향은 두드러졌다. 실험결과와 해석결과와의 차이는

그리드 측정에서의 오차, 유한요소해석의 오차 등도 있지만 주로 다음의 원인에 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 유한요소해석에서는 공구가 판재를 누르기 시작하면서 변형이 발생하지만, 실험에서는 판재가 수직방향으로의 약간의 유격을 나타내고 있어 판재가 실제로 변형을 받기 시작하는 시점은 해석에서의 시점보다 늦기 때문이다

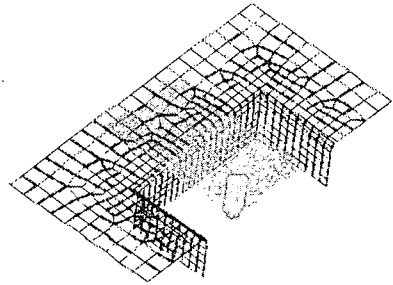


Fig. 6 FEM model for horizontal path

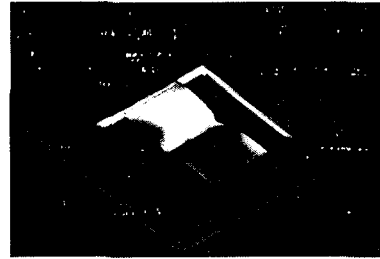


Fig. 7 FEM result of horizontal path

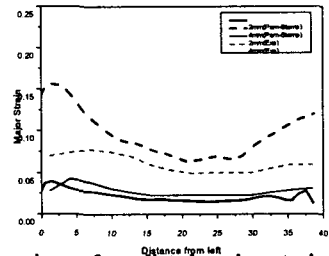


Fig. 8 Comparison of predicted major strain with measurement

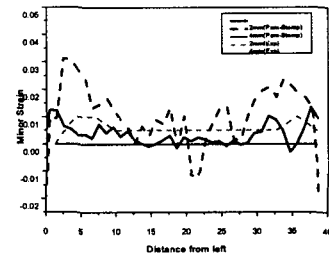


Fig. 9 Comparison of predicted minor strain with measurement

3. 여러 형상의 성형실험

동일한 구형 공구를 이용하여 여러 가지 형상을 성형하면서 파단을 포함한 판재의 성형특성을 관찰하였다. 이 실험에서는 한 변의 길이가 130mm인 정사각형인 판재를 사용하였는데, 사각 들레는 블랭크 홀더에 고정구로써 고정시켰다.

Fig.10에 보여지듯이 판재의 중앙부에 삼각형, 사각형, 오각형, 육각형, 팔각형, 원형, 코너 반경을 갖는 사각형의 형상을 성형하여 보았다. 모든 경우에서의 공구의 수직피치는 0.5mm로 고정시켰다. 코너가 없는 원형을 제외한 모든 경우에서 파단은 코너 부위에서 발생하였고, 각 변의 그리드는 평면변형을 변형의 양상을 띄고 있었으며, 코너의 그리드는 축대칭 변형의 양상을 띄고 있는 것을 측정을 통해 발견할 수 있었다. 원형의 경우에는 코너가 존재하지 않으므로 성형 깊이가 크게 증가할 것으로 예상했으나 이러한 현상은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 측정과정에서 나타난 사실 중 하나는 원형의 경우로써 경로 전체에서 부변형률이 다른 형상의 직선 변에서의 부변형률보다 크게 나타난 점이다.

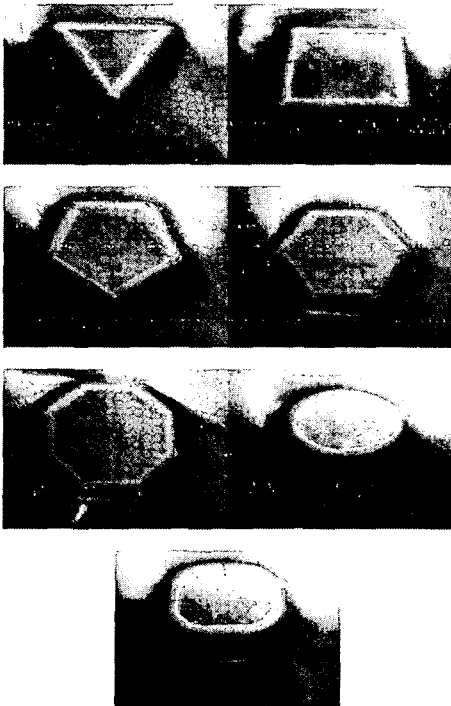


Fig. 10 Various shapes formed by the ball tool

4. 결론

본 연구에서 사용된 점진성형기법은 자유회전하는 소형의 구형공구를 박판 위에서 수평운동과 수직운동을 가하여 형상을 성형하는 방법이다. 본 연구를 통하여 이러한 구형공구의 수직운동과 수평운동시 판재에 발생하는 변형 특성을 실험과 유한요소해석에 의하여 분석하였고, 여러 형상에 대한 성형실험을 통하여 파단과 성형특성을 조사하였다.

(1) 소형공구의 이동에 의한 판재변형도 유한요소법으로 해석이 가능하였다. 따라서 유한요소해석을 사용하여 변형경로의 설계가 가능하다.

(2) 수직변형과 수평변형 모두 변형은 공구와 접촉하는 부위에서 크게 나타나며, 이 부위에서 거리가 멀어질수록 변형은 급격히 감소한다. 즉, 이러한 공구에 의한 변형은 매우 국부적인 변형을 유발시킨다.

(3) 공구경로가 수평경로인 경우에는 평면변형을 변형에, 수직경로인 경우에는 축대칭 변형에 가까운 변형이 발생한다. 여러 형상의 성형실험에서도 나타났듯이 경로가 직선일 경우에는 전자에, 코너인 경우에는 후자에 가까운 변형이 발생하였으며, 파단은 거의 코너에서 관찰되었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Masson, B. and Appleton, E., "Sheet Metal Forming for Small Batches using Sacrificial Tooling", 1984, Proc. 3rd Int. Conf. on Rotary Metalworking Processes 495
- (2) Honjou, K. et al., 1991, "Forming of Wavy Sheet Metal Diaphragm using Rolling Steel Ball", Proc. 42nd Conf. JSTP 273
- (3) Iseki, H, Kato, K. & Sakamoto, S., 1992, "Flexible and Incremental Sheet Metal Bulging using a Path-controlled Spherical Roller". Transaction of JSME, Series C, Vol.58, No.554 3147
- (4) Nakamura, K., et al., 1990, "Possibility and Application of Incremental Sheet Metal Forming", SMF seminar of JSTP, 15
- (5) Matsubara, S., 1994, "Incremental Backward Bulge Forming of a Sheet Metal with a Hemispherical Head Tool", J. of JSTP. Vol.35, No.406, p.1311