

이방성 금속판재 성형공정에서 블랭크 가압력에 따른 스프링백 해석

강정진* · 허영무* · 홍석관** · 송경식***

Springback Analysis in the Anisotropic Sheet Metal Forming Process with Axisymmetric Tools

J.J. Kang, Y.M. Heo, S.K. Hong, and K.S. Song

Abstract

The deterioration of dimensional accuracy, caused by springback, is one of problems to always occur in sheet metal forming processes. As the demand for lighter and stronger metals increases, the development of improved forming processes settling the springback problem becomes more important. In this work, springback phenomena are investigated, which occur in the press forming process with the anisotropic sheet metal and axisymmetric tools. The improvement possibility of dimensional accuracies, mainly, flatness, will be examined by applying blank holding forces as a method of springback control.

Key Words : Springback, Anisotropic Sheet Metal, Blank Holding Force

1. 서 론

스프링백(springback)에 의한 판재성형 정밀도 저하의 문제는 금속 판재 성형에서 영원한 숙제 중에 하나이다. 가벼우면서도 강도가 높은 소재에 대한 수요 영역이 점점 넓어지면서, 개선된 성형 기술의 필요성 또한 커지고 있다. 더불어, 판재 성형 CAE는 기존의 판재 성형 공정의 문제점 분석을 위한 도구로서 뿐만 아니라, 새로운 공정, 새로운 소재에 대한 성형 기술 개발의 도구로서 1990년대부터 본격적으로 광범위하게 활용되고 있다. 양재봉 등은 대표적인 경량 소재인 알루미늄

판재 성형공정 해석을 수행하면서, 반응표면분석법을 이용하여 스프링백을 조절할 수 있는 방법과 최적 안을 제시하였다.⁽¹⁾ 특히 각기 다른 위치의 비드(bead)들의 높이를 성형인자로 하였을 경우에 대한, 알루미늄 판재의 스프링백을 최소화할 수 있는 최적의 성형 조건을 제안하였다. 정완진은, 성형 해석 직후의 잔류 응력 분포가 스프링백 해석 결과에 큰 영향을 미칠 수 있음을 지적하면서 탄성회복 해석 이전의 정확한 응력계산의 중요함을 강조하였다.⁽²⁾ 계산 효율을 높이기 위하여, 성형 공정은 외연적 유한 요소법에, 스프링백은 내연적 유한 요소법에 기초하여 해석을 수행할 수도 있으나, 보다

* 한국생산기술연구원, 정밀금형팀
** 강원대학교 대학원
*** 유신정밀공업(주)

신뢰성 있는 스프링백 해를 얻는다는 측면에서는 여러 종류의 해석 인자에 대한 주의 깊은 선택이 필요하다. 양동열 등은, 루프 패널 성형 및 스프링백 해석을 수행 하면서, 판재 및 금형을 모델링하는 과정에서 생성되는 요소(finite element)의 크기가 해석 해에 영향을 미치는 주요 인자 중에 하나임을 밝힌 바 있다.⁽³⁾

본 논문에서는 이방성을 갖는 금속판재 성형공정 중에 발생하는 스프링백 현상을 관찰하면서, 공정 인자 조정을 통한 정밀도 향상 방안을 제시하기 위하여 기초 해석을 수행하였다. Siegert 등⁽⁴⁾은 비축대칭 형상의 딥드로잉 공정에서 분할 금형, 유압 실린더 등을 포함한 closed loop control system을 이용하여 마찰력을 조정함으로써 판재의 성형성을 향상시킬 수 있음을 보였다. 홍주표 등⁽⁵⁾은 블랭크 가압력을 각 위치별로 독립적으로 조정하면서 레이저 용접 판재의 성형성을 고찰하였다. 본 연구에서는 공간별, 시간별로 블랭크 가압력을 조정함으로써, 냉간압연강판의 성형 공정에서 평면도를 중심으로 한 성형 정밀도 향상의 가능성을 검토해보고자 한다.

2. 실험 결과

2.1 인장 시험 결과

아래에 인장 시험 결과로 얻어진, 냉간압연 고탄소강 판재의 물성치를 정리하였다.

Table 1 Mechanical properties

*ORD	YS	TS	EL	n	R
°	N/mm ²	N/mm ²	%	-	-
0	467	587	28	0.12	1.08
45	405	569	29	0.16	0.94
90	386	557	31	0.16	1.28

*ORD, Orientation to rolling direction; YS, Yield strength; TS, Tensile strength; EL, Elongation; n, strain hardening index; R, R-value

본 연구에서 사용된 고탄소강 판재는 보통의 강(steel) 소재보다 항복강도의 수준이 높은 편이며, 냉간 압연으로 생성된 이방성으로 인하여 방향별 항복강도가 최대 80MPa 정도의 편차를 보이고 있다. 이 소재를 사용하여 성형하는 경우 충분한 소성변형을 동반하지 않

으면 스프링백으로 인한 형상 정밀도 저하의 문제가 심각하리라는 것을 예측할 수 있으며, 방향별 성형 저항의 차이로 인한 뒤틀림 발생으로 균일한 형상 정밀도를 얻기 힘들 것이라는 것 또한 짐작할 수 있다. 아래는 인장 시험에 의한 방향별 응력변형률 곡선을 보여주고 있다.

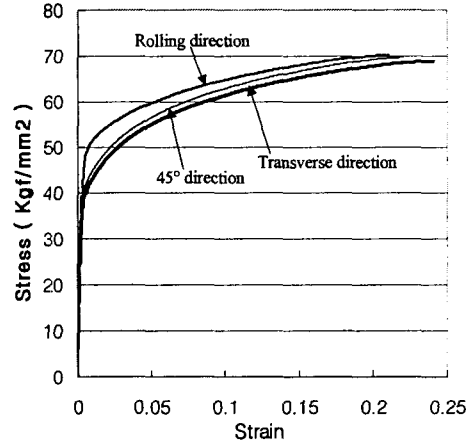


Fig. 1 True stress-strain curves of cold rolled high carbon steel by direction

2.2 이방성 금속판재 성형 결과

아래의 그림은 이방성 금속판재의 성형 개략도이다. 판재도 원형이고, 성형 공정 및 프레스 금형 또한 축대칭이기는 하지만, 금속판재가 이방성을 가지고 있기 때문에 성형 후에 스프링백에 의하여 발생하는 변위 분포는 축대칭이 아니다.

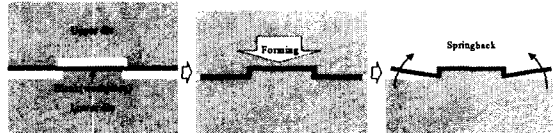


Fig. 2 Schematics of the sheet metal forming process

성형 후 소재의 원주 방향의 높이 분포를 측정하기 위한 위치를 Fig. 3에 도시하였다. 높이 측정에는 접촉식 height gauge를 사용하였으며, 30°간격으로 측정하였다. 원형 판재에서 압연 방향의 측정 위치를 90°, 270°로 하였으며, 압연 방향의 가로지르는 방향을 0°, 180°로 하였다. 시계 방향으로 돌아가면서 원형 판재의 중심으로부터 같은 거리에 있는 위치에서 측정된 높이를 Fig. 4에 도시하였다. 단, 측정된 높이는 최대 높이로 나눈 값으로 표시하였다. 금속 판재의 압연

방향인 90°, 270°방향의 위치에서 0°, 180°보다, 높이가 상대적으로 더 높은 것으로 측정되었다. 항복강도, R 값 등의 차이로 대표되는 금속 판재의 이방성에 따른, 스프링백을 포함한 변형의 불균일성을 그 원인들 중 하나로 들 수 있다. 측정된 높이(Fig. 4)는 측정면이 전체적으로 기울어져 있으므로 발생하는 측정 오차를 포함하고 있는 값으로, 표준 평면도 측정법에 의한 측정 값은 아니다.

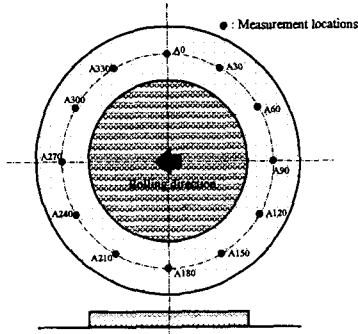


Fig. 3 Measurement locations

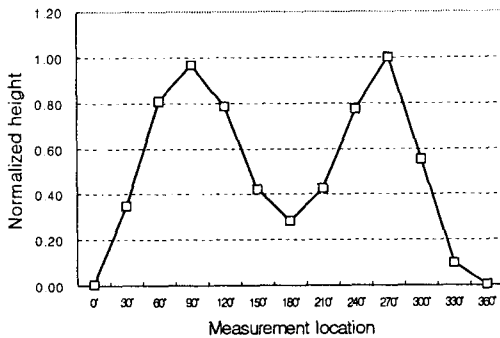


Fig. 4 Distribution of normalized heights along the circumferential direction

3. 시뮬레이션 결과

3.1 평면 이방성 모델

금속판재 성형해석을 위하여 상용해석 프로그램인 MARC를 사용하였다. MARC에서 기본적으로 제공하고 있는 이방성 모델은 Hill 모델⁽⁶⁾이다. 이방성 항복함수는 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{\sigma} = \left[A(\sigma_y - \sigma_x)^2 + B(\sigma_x - \sigma_y)^2 + C(\sigma_x - \sigma_y)^2 + D\tau_{xy}^2 + E\tau_{xz}^2 + F\tau_{yz}^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Table 1의 물성치를 이용하여 Hill의 이방성 항복함수의 계수를 결정하고, 그 계수들로 정의된 이방성 항복함수로부터, 압연 방향을 기준으로 하여 0°, 45°, 90° 방향의 항복강도를 구하면, 다음 그림과 같다. 도시한 값은 각 방향의 항복강도를 0°방향의 항복강도로 나눈 값이다.

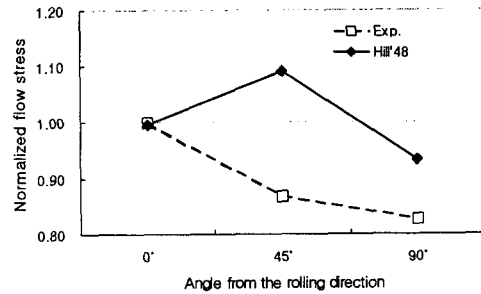


Fig. 5 Comparison of measured and fit yield stresses for the Hill's yield function

Hill의 이방성 항복함수로부터 계산된 항복응력과 실험에 의한 항복응력이 차이를 보임을 알 수 있다. 특히, 45°방향의 값은 실험치의 정성적인 경향을 거스르는 것으로 나타났다. 따라서, 이와 같은 이방성 항복함수에 근거한 시뮬레이션 결과는 실제 현상과 차이를 보이게 될 것이다.

3.2 해석 결과

해석을 위한 모델은 Fig. 6에서 보는 바와 같다. 문제의 대칭성을 이용하여 4분의 1 모델만을 해석하였다. 상, 하형 금형은 강체로 가정하였으며, 금속 판재의 소성 물성치는 Table 1의 값을 이용하여, Hill의 이방성 항복함수에 근거한 소성 이방성을 반영하였다. 금속 판재의 탄성 계수는 205GPa, 포아송비는 0.3을 사용하였다. 금형과 금속 판재 간의 마찰은 Coulomb의 법칙을 따르는 것으로 보았으며, 마찰 계수는 0.1을 사용하였다.

스프링백 전후의 원형 블랭크의 높이 분포를 Fig. 7에 도시하였다. 그림의 수치는 금형이 블랭크와 접촉한 후 완전 성형할 때까지의 스트로크를 1로 보았을 때의 상대적인 값이다. 그림(a)를 보면, 스프링백 직전의 완전 성형 상태에서, 블랭크의 안쪽과 바깥쪽 플랜지의 높이 차이가 1(= 0 - (-1))이 됨을 알 수 있다. 그림(b)를 보면 전반적으로 (+) z 방향으로 스프링백이 일어났음을 알 수 있다. 압연 방향(rolling direction)으로 높이 구배가 더 심한 것을 볼 수 있으며, 이는 압연 금속 판재의

소성 이방성에 근거한 잔류 응력의 불균일한 분포에 기인한 것으로 판단된다

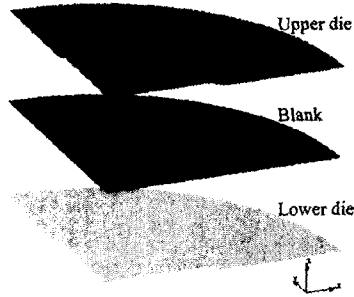
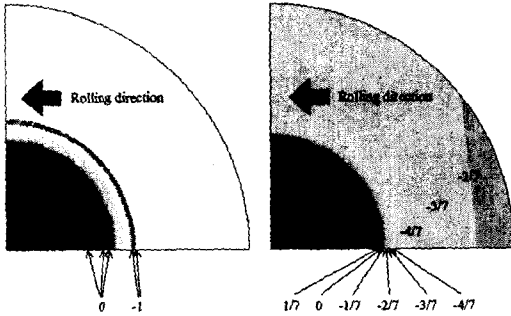
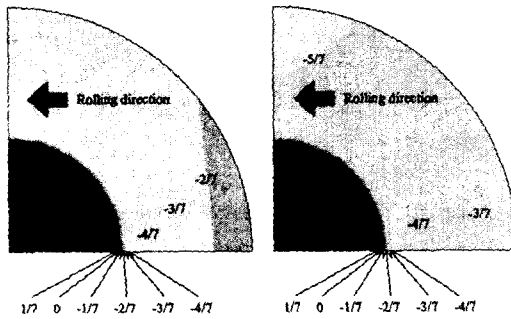


Fig. 6 Schematic view of the process (1/4 model)



(a) Before springback (b) After springback
Fig. 7 Predicted distributions of normalized height



(a) Without blank holder (b) With blank holder
Fig. 8 Predicted distribution of normalized height after springback

블랭크 홀더가 없는 경우와 있는 경우에 대한 스프링백 경향을 비교해 보았다(Fig. 8). 블랭크 홀더가 없는 경우는 상, 하형 금형이 급속 판재를 사이에 두고 완전히 맞닿을 때까지, 판재의 플랜지부가 상, 하형 금형 사이에서 자유 공간을 갖고 있는 반면에, 블랭크 홀더가 있는 경우는 판재의 플랜지부가 블랭크 홀더에 의해서

높이 방향으로 고정된 상태에서 성형이 된다. 후자는 딥드로잉 공정과 유사하나, 스트로크는 상대적으로 극히 작다. 그림에서 보는 바와 같이, 불충분한 블랭크 가압력으로, 블랭크 홀더가 없는 경우보다 오히려 원주 방향의 높이 차가 좀 더 심한 것으로 예측되었다.

4. 결론

이방성을 갖는 냉연강판의 원형 소재에 대한, 성형 직후의 스프링백 경향을 살펴보았다. 해석 상에서, 압연 방향으로의 스프링백이 상대적으로 더 심한 것으로 예측되었으며, 적합하지 않은 이방성 항복함수를 사용하였음에도 불구하고 실제 결과와 같은 경향을 보였다. 블랭크 홀더를 사용함으로써, 기존 공정에 대한 개선 가능성을 가늠해 보았다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원의 공통핵심기술개발사업(2002년도, 과제번호: 10003135)의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) 양재봉, 전병희, 오수익, 2000, "반응표면분석법을 이용한 알루미늄 판재 성형공정의 스프링백 저감에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제 9권, 제 5 호, pp. 526~532.
- (2) 정완진, 1999, "박판성형시 탄성복원에 대한 유한요소해석," 대한기계학회논문집 A권, 제 23 권, 제 12 호, pp. 2197~2208.
- (3) 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, 1999, "박판 성형에서의 스프링백 해석과 산업적 응용," 한국소성가공학회지, 제 8 권, 제 1 호, pp. 22~28.
- (4) Siegert, K., Ziegler, M., and Wagner, S., 1997, "Closed loop control of the friction force. Deep drawing process", J. Mater. Proc. Tech., Vol. 71, pp. 126~133.
- (5) 홍주표, 김현영, 오수익, 1997, "레이저 용접 판재의 정사각 컵 드로잉 성형성 연구," 한국소성가공학회지, 제 6 권, 제 1 호, pp. 68~80.
- (6) Hill, R., 1948, "A theory of the yielding and plastic flow of anisotropic metals", Proc. Roy. Soc. London, Vol. A193, pp. 281~297.