

L형 단면 딥드로잉 가공에서의 성형성

김 상진*, 양 대호*, 서 대교**

* 성균관대학교 대학원

** 성균관대학교

Formability of deep drawing process for L-shape cross section

Sang Jin Kim*, Dae Ho Yang*, Dae Gyo Seo**

* Graduate School of Sung Kyun Kwan Univ.

** Sung Kyun Kwan Univ.

Abstract

Two kinds of blank shapes, optimum and square, are adopted to investigate formability. Optimum blank shape is determined to construct an L-shape cup with uniform height and without flange part. For this purpose, rigid-plastic FEM analysis is applied with backward tracing technique. Maximum cup depth and strain distribution are measured experimentally for the products of the two kinds of blank shapes, which are optimum and square. It is confirmed that deeper cup without severe thickness reduction can be obtained from the optimum shape.

Key Word : L-shape section, optimum blank shape, rigid-plastic finite element method, strain distribution

1. 서 론

뿔드로잉 가공에서 소재 형상 설계에 관한 연구로서 최근에는 유한요소법을 이용한 소재 형상 설계가 각광을 받고 있으나 'L', 'U'형등 오목 모양의 뿔드로잉에 관한 연구는 미끄럼 선장법을 이용한 T.Jimma의 연구가 있었다.

본 연구에서는 뿔드로잉 공정만으로 되도록 귀가 없고 높이가 균일한 제품을 얻도록 하는 최적 소재 형상을 유한요소법을 이용하여 얻고자 하였으며 그 대상으로서 L형 단면의 성형을 고찰하였다.

2. 소재형상설계

본 연구에서는 높이가 균일한 최종적인 제품에서 출발하여 성형과정을 거슬러 추적하는 역추적 기법으로 최초의 소재 형상을 구하였다. 해석은 강소성 유한요소법을 이용하였으며, 마찰, 블랭크 가압력, 가공여유 등을 고려할 수 있도록 하였다.

Fig. 1은 뿔드로잉 가공의 과정을 도시한 것이다. 플랜지 부분의 재료는 평면응력 상태로 가정할 수 있으며 펀치가 진행함에 따라 마찰에 의한 변형이 일어날 것이다. 재료가 다이 모서리를 지나면서 되돌림 굽힘을 받게 되며 유입된 후 벽면에서 더 이상의 변형이 없이 펀치와 같은 속도로 진행하는 것으로 보았다. 따라서 소재 형상은 주로 플랜지에서 마찰에 의한 변형과 굽힘에 의한 변형에 의존한다고 볼 수 있다. 그림에서 A 영역은 강체로 보았으며, 펀치와 다이 사이의 B 영역은 성형 후 컵의 벽면에 위치하므로 소재형상설계시 반드시 포함시켜야 할 부분이다. 실제로 변형이 생기는 부분은 C 영역이라고 보았다. 재료는 등방성이며 n 승 경화특성을 가진다고 가정하였다.

Fig. 2는 L형 소재 형상의 오목한 부분을 추적하는 모습을 나타낸 그림이다. 컵의 바닥은 강체로 보았으며 해석에서 제외되었다. (A) State 1은 완성된 이상적인 제품을 도시한 것이며 일정한 간격으로 요소가 분할되어 있다. 빗금친 요소는 성형시 마지막으로 유입되는 부분이며 (B)에서 (A)로 성형될 때 펀치의 진행 방향이 플랜지에 대해 수직이기 때문에 컵 벽면의 법선 방향을 따라 초기 속도 벡터가 작용한다고 가정하였다. 또 이때 플랜지에서 굽힘과 되돌림 굽힘에 의한 저항력이 속도 벡터의 반대 방향으로 작용한다고 본다. 따라서 이와 같은 재료의 유동 과정을 반대로 적용하면 (B) State 2에서의 소재의 위치가 결정된다. (C) State 3은 (B)의 전(前) 단계로 요소가 플랜지 내로 이동하므로 속도 벡터는 알려져 있지 않고 절점력도 소재가압력에 의한 마찰 저항력만이 작용한다. (D) State 4는 위의 과정을 거쳐 얻은 초기 소재 형상을 도시한 것이다.

본 연구에서 사용된 유한요소 프로그램은 컵의 높이를 입력 값으로 하여 입력된 높이의 등고형 컵을 얻기 위한 소재 형상을 설계한다. 이를 최적 소재 형상으로 보았으며, 계산 수행시 고려된 입력 데이터로는 소재 가압력(BHF), 마찰계수, 소성계수, 가공경화지수, 다이 모서리 반경(Rd), 펀치 모서리 반경(Rp), 소재 두께, 가공여유(clearance) 등 이며, Table 1.은 그 값들을 표시한다. 계산은 소형컴퓨터(IBM Workstation RISC system / 6000 320H)를 사용하였으며 전처리(Preprocessing) 와 후처리(Postprocessing)는 Personal Computer를 사용하였다.

Fig. 3은 제품의 기하학적 형상을 표시한 것이며, 컵의 높이를 H=25mm 부터 5mm씩 증가시켜 가며 소재 형상을 설계하였다. Fig. 4에서는 H=30mm인 오목단면을 가지는 제품의 소재 형상이 결정되는 단계들을 보여주고 있다. Fig. 5는 제품 높이가 H=30mm일 때 계산을 수행한 결과 얻은 최초의 소재형상을 보여준다. 구한 초기 소재형상에서는 오목 들어간 부분의 소재가 유입되는 경로를 볼 수 있다.

3. 실험

제안한 소재 형상을 실험을 통해 검증하고 변형률 분포를 고찰하였다. 재료는 자동차 차체 성형용으로 많이 쓰이는 아연 도금 유기피막 강판을 사용하였으며 덮드로잉 장치는 직 접 고안된 것으로, 윤활은 무윤활로 실험하였다.

블랭크는 재료를 앞에서 설계한 소재 형상과 같은 모양으로 절단기와 연삭기를 이용하여 절취하였으며 설계한 소재형상외에 사각형 블랭크를 이용하여 실험하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 설계된 소재 형상의 끝부분이 사각형의 단면과 만나도록하여 그 크기를 결정하였다.

L형 제품의 초기 블랭크 모양과 제품의 높이를 변화시켜 가며 실험하여 성형 여부를 Table 2.에 나타내었다. 높이는 소재형상을 설계한 대로, 높이를 H=25mm 부터 5mm씩 증가시켜 가며 실험하였다. Table 2.에서 보는 바와 같이 최적 소재형상은 H=35mm까지 무리없이 성형되었지만, 사각모양 소재형상은 H=30mm까지는 제대로 성형되었으나 그 이상에서는 파 단되었다.

Fig. 7은 H=30mm인 제품의 최적 소재 형상과 사각소재형상을 비교한 것이다.

4. 결과 및 고찰

모든 제품들의 변형률 분포를 측정하였으며, 변형률 분포를 오목 들어간 방향(A-Line) 과 모서리 방향(B-Line, C-Line), 세 방향에 대하여 측정하였다.

Fig. 8은 최적 소재 형상으로 성형한 제품의 높이가 $H=30\text{mm}$ 일 때의 A-Line, B-Line, C-Line의 두께 변형률 분포이다. A-Line은 비교적 완만하게 나타났으며, 가장 취약한 부분은 B-Line으로 제품의 모서리의 전(前)부분인 제품 시작으로부터 거리가 24mm 가 되는 지점이, 또 C-Line은 제품의 하단 부분(바닥의 반대편)이 가장 취약하였다. Fig. 9는 사각모양 소재형상으로 성형한 제품의 높이가 $H = 30\text{mm}$ 일 때 각 세 방향의 두께 변형률분포를 나타내고 있다. C-Line은 비교적 완만하게 나타났으며, B-Line은 모서리에서 상당히 취약하였다. 따라서 제품의 파단은 B-Line상의 최소 변형률에 해당되는 위치에서 일어날 가능성이 가장 크다.

Fig. 10은 제품의 높이가 30mm 일 때 두 가지 소재 형상으로 성형한 제품의 B-Line을 따른 두께 변형률분포와 그에 따른 수치해석으로 예측한 두께 변형률분포를 보여주고 있다. 모서리 바로 전(前) 부분이 가장 취약한 것으로 나타났고 수치해석 결과로 경향과 취약한 부분을 알 수 있었다. Fig. 11은 C-Line을 따라서 측정하고 예측한 것으로 사각모양 소재형상으로 성형한 제품이 최적 소재형상으로 성형한 제품보다 좀 더 취약한 것으로 나타나고 있다. 두께 변형률분포의 예측은 잘 일치하지는 않았지만 취약한 부분의 예측은 어느 정도 가능하였다. Fig. 12는 두 가지 소재형상에 대하여 A-Line을 따라서 측정한 것이며, 소재형상에 따른 차이를 보면 사각모양 소재형상으로 성형된 제품이 최적 소재형상으로 성형된 제품보다 훨씬 취약함을 보여주고 있다. A-Line에 대한 수치해석은 실제와 상당한 차이를 보여 생략하였는데, 다이부분이 오목들어감에 따라 펀치의 모서리 부분 역할 등 여러 가지 고려하지 못한 조건들 때문에 많은 오차가 있었다고 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 오목한 부분을 갖는 단면 중 산업 현장에서 비교적 자주 수행되는 L형 단면을 대상으로 성형성을 고찰하였다. 고찰의 핵심을 초기 소재형상 설계에 맞추어 이론적으로 설계를 하였으며, 비교를 위하여 대응되는 사각형 단면의 소재도 병용하여 실험을 수행하였다. 그 결과 제안된 소재형상으로는 사각형 소재로 성형할 때 보다 더 깊고 두께 감소의 정도가 적은 제품을 얻을 수 있음이 실험적으로 확인되었다. 따라서 각종 단면 형상의 판재성형시에 초기 소재형상 설계의 영향도 고려하여 공정을 설계할 필요가 있음을 알게 되었다.

* 후기

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원하에 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

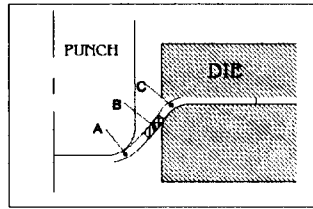


Fig.1 Illustration of deep drawing process

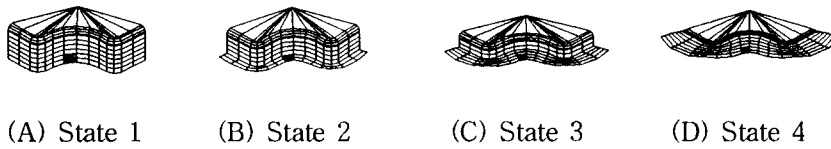
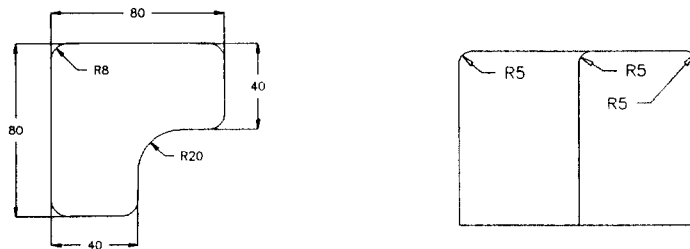


Fig.2 Movement of marked element

Table 1. Input data

BHF(Kgf)	Frictional coefficient	Plastic coefficient (Kgf/mm ²)	Strain hardening exponent	Die profile radius	Thickness of sheet
500	0.12	47.765	0.25	5mm	0.7mm



(A) Cross section of the product (B) Front view of the product

Fig. 3 Geometry of deep drawn product. (mm)

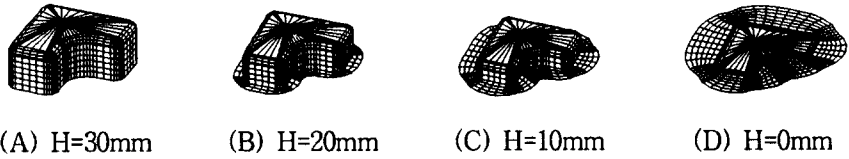


Fig.4 Calculation of blank shape for deep drawing process (H=30mm)

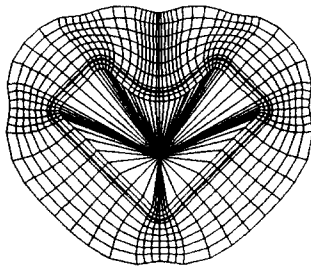


Fig.5 Calculated blank shape

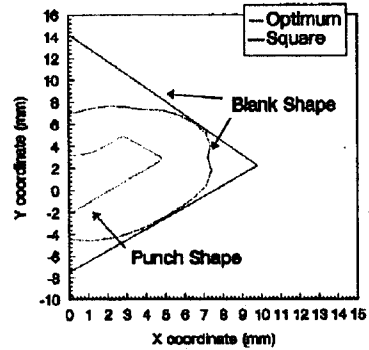


Fig. 6 Comparison of optimum and square blank shape

Table 2. Height of each blank shape (Unit : mm)

Blank shape	H=25mm	H=30mm	H=35mm
Optimum	25mm	30mm	35mm
Square	25mm	30mm	Fracture



Fig. 7 Experimental result from optimum blank shape and square blank shape (H=30mm)

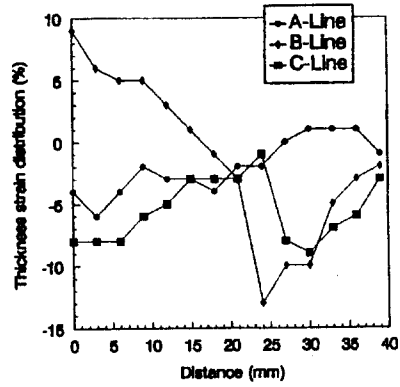
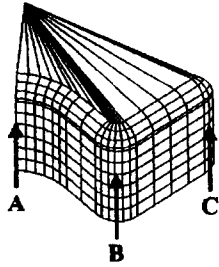


Fig. 8 Experimental thickness strain distribution (Optimum blank)

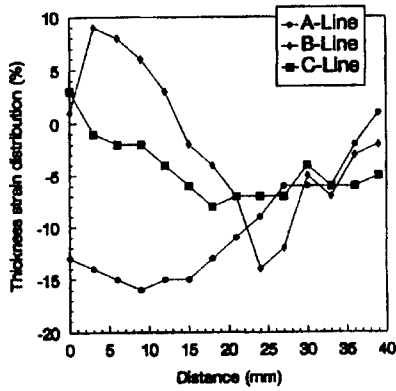


Fig. 9 Experimental thickness strain distribution (Square blank)

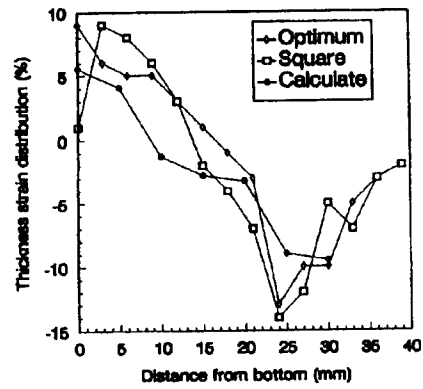


Fig. 10 Thickness strain distribution (B-Line)

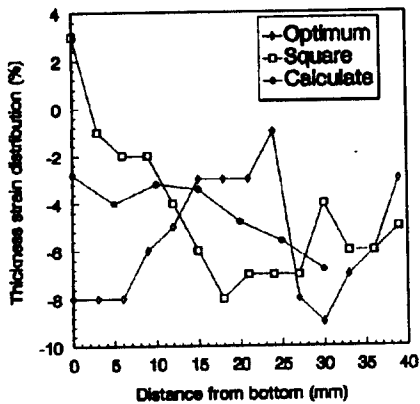


Fig. 11 Thickness strain distribution (C-Line)

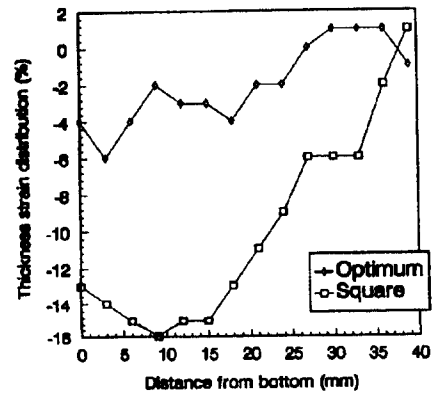


Fig. 12 Thickness strain distribution (A-Line)