

축대칭 딥드로잉 공정의 최적 블랭크 형상에 관한 연구

천 선 규* · 한 철 호*

A Study on the Optimal Blank Shape of the Axisymmetric Deep Drawing Process

Sun-Kyu Cheon, Chul-Ho Han

* Department of mechanical & Production Engineering
Kum-Oh National University of Technology

Abstract

This study is concerned with the optimum blank design which is able to minimize earring phenomena. A new analytic method is proposed to determine the optimum blank shape only using the tension test and standard deep drawing tests. Introducing a dimensionless parameter related to the earring and using a Fourier analysis, the optimum blank shape can be obtained by R-value and the tested results. The theoretical results by the proposed method are good agreement with the experimental results through several deep drawing tests using steel as working materials.

Key Words : Deep-Drawing, Earring, Optimum Blank Shape, Anisotropy, Fourier Analysis, Standard Test, R-value, Blank Design

1. 서 론

판재 성형에 사용되는 대부분의 소재는 압연 공정으로 생산되며, 이때 필연적으로 발생하는 이방성은 후속 가공 시에 재료의 변형 거동에 큰 영향을 미치게 된다⁽¹⁻²⁾. Deep Drawing 가공에 대한 연구는 광범위하게 이루어지고 있는데, 그중 하나로 소재형상 설계에 관한 연구를 들 수 있다. 소재형상 설계에 관한

연구로는 미끄럼 선장법을 이용한 해석, 유한요소법을 이용한 해석 및 그 밖의 해석 방법 등이 있다. 원통컵에 대한 귀발생 예측 연구로는 이⁽³⁾ 등이 있었고, 비원형에 대한 많은 문헌⁽⁴⁻⁷⁾이 있었다.

본 연구에서는 Deep Drawing 공정에서 발생하는 귀발생(earring) 현상을 최소로 할 수 있는 블랭크 형상 설계를 위하여, 재료의 소성 변형비 R값과 표준화 실험으로 성형된 원통컵의 귀발생을 측정하여 이 두 관계에서 얻어진 무차원화

된 수식을 이용해서 최적 소재형상 설계식을 유도하고, 설계식을 토대로 블랭크를 설계·제작하여 Deep Drawing 실험을 수행함으로써 제안된 방법의 타당성을 확인하고자 한다.

2. 이론

2.1 소성 변형비 R값과 귀높이에 대한 해석

Deep Drawing 실험에서 성형된 원통형 컵의 귀높이와 인장시험에서 얻어진 R값은 일정 주기를 갖고 연속적으로 변화하며 이들의 변화경향이 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.⁽⁸⁾ 따라서 귀를 포함한 컵높이(H)와 소성변형비(R)는 Fourier 급수를 이용하여 $H(\theta)$ 와 $R(\theta)$ 로 표현 가능하다.

$R(\theta)$ 값과 귀발생과의 실험적 관계식을 결정하기 위해 무차원화된 실제 컵높이를 이용한다. 실제 컵높이는 블랭크의 반지름으로 나누어 무차원화할 수 있다.

$$\overline{H}(\theta) = \frac{H(\theta)}{r_B} \quad (1)$$

$R(\theta)$ 와 $\overline{H}(\theta)$ 을 최소제곱법으로 수식화 하면 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$\overline{H}(\theta) = a + bR(\theta) \quad (2)$$

위의 식에서 a , b 는 3종의 표준 실험을 통하여 결정된다. 즉 a 와 b 를 뒀드로잉 공정에서의 드로잉비 DR의 1차 함수로 선택하면 다음 식으로 표현이 가능하다.

$$a = A_0 + A_1 \times DR \quad (3)$$

$$b = B_0 + B_1 \times DR \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \overline{H}(\theta) &= A_0 + A_1 \times DR \\ &+ (B_0 + B_1 \times DR) \times R(\theta) \end{aligned} \quad (5)$$

성형후 임의의 θ 지점에서의 반지름은 편치의 반지름과 실제 컵높이로 근사화할 수 있으며, 이를 블랭크의 반지름으로 나누어 다음과 같이 무차원화할 수 있다.

$$B_f(\theta) \cong r_P + H(\theta) \quad (6)$$

$$\overline{B}_f(\theta) = \frac{r_P + H(\theta)}{r_B} = \frac{1}{DR} + \overline{H}(\theta) \quad (7)$$

위의 식을 이용하여 성형된 임의의 θ 지점에서의 반지름과 컵높이를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B_{f_i}(\theta) = \left\{ \frac{1}{DR_i} + \overline{H}(\theta) \right\} \times r_B \quad (8)$$

$$H_i(\theta) = B_{f_i}(\theta) - r_{P_i} \quad (9)$$

2.2 최적 소재형상 설계에 대한 해석

식 (8)의 $B_{f_i}(\theta)$ 는 귀발생 양상을 나타내주는 $\overline{H}(\theta)$ 를 포함하고 있으므로 이 식을 이용하여 다음과 같은 귀발생 양상함수를 구할 수 있다.

$$B_{f_i}(\theta)_m = \frac{B_{f_i}(\theta)_{\max} + B_{f_i}(\theta)_{\min}}{2} \quad (10)$$

$$E_i(\theta) = B_{f_i}(\theta) - B_{f_i}(\theta)_m \quad (11)$$

위의 식에서 귀발생 양상함수 $E_i(\theta)$ 에 귀발생 양상을 조절할 수 있는 인자 α 를 도입하면 귀발생을 조정할 수 있고, 이것을 이용하여 최적 소재형상 설계를 할 수 있다.

블랭크 설계식은 식 (8)과 (11)을 이용하여 구할 수 있으며, 이 때의 컵높이를 예측할 수 있는 식은 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r_{BD}(\theta) = \frac{B_{f_i}(\theta)_m + \alpha E_i(\theta)}{\frac{1}{DR} + \overline{H}(\theta)} \quad (12)$$

$$H_{PC}(\theta) = \left\{ \frac{1}{DR} + \overline{H}(\theta) \right\} \times r_{BD}(\theta) - r_p \quad (13)$$

3. 실험

사용재료에 대한 R값을 측정하기 위하여 인장시편을 제작하고 25ton UTM으로 실험을 수행하였다. 표준화 실험을 위한 실험장치는 30ton 유압 프레스에 장착하였고, 재료는 냉간압연강판을 사용하였으며, 두께는 0.8t, 1.0t를 사용하였다. Table 1에서와 같이 표준화 실험 조건으로 Deep Drawing 실험을 하였다.

4. 최적 소재형상 설계

최적 소재형상 설계는 2장의 이론을 바탕으로 α 값을 달리하여 블랭크 크기를 조정하고, 예상 컵높이 식을 이용하여 귀발생이 되지 않는 α 값을 찾아서 블랭크를 제작하였다. Fig. 1 ~ Fig. 3과 같은 과정을 걸쳐 최적 소재형상 설계를 하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 인장시험 및 표준화 실험 결과

Table 2는 각 방향별 소성 변형비 R값을 나타낸다. 원형 블랭크로 성형된 컵높이는 Fig. 4와 같이 블랭크 76mm에서 가장 높고, 귀발생 정도도 가장 크다. 0.8t는 1.0t 보다 컵높이가 작아지는 현상을 보였다.

5.2 예상 컵높이와 실험 컵높이 비교

Fig. 5에서와 같이 냉간압연강판 0.8t와 1.0t의 최적 소재형상 블랭크로 성형된 컵높이는 예상 컵높이와 비교 했을 때 비교적 양호하게 일치하고 있음을 알 수 있다. 부분적 차이는 블랭크 제작시 가공오차와 실험오차에 기인한 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서 제안된 최적 블랭크 형상설계식은 귀발생 현상을 최소화하는데 유용함이 입증 되었다.

5.3 원형컵과 최적 소재형상으로 성형된 컵의 귀발생 비교

Fig. 6은 각 블랭크 별로 성형된 컵을 비교한 것이다. 최적 소재형상으로 성형된 컵이 원형 소재형상으로 성형된 컵보다 귀발생 현상이 현저하게 줄어들음을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 재료의 소성 변형비 R값과 표준화 실험으로 성형된 원통컵의 귀발생을 측정하여 이 두 관계에서 얻어진 무차원화된 수식을 이용, 최적 소재형상 설계식을 유도하고 설계식을 적용하여 측정·비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 원형 소재형상에서 발생하는 귀발생 현상을 줄일 수 있는 최적 소재형상 설계식을 제안하였다. 제안된 최적 소재형상 설계식에 의한 성형된 컵에서 귀발생 현상이 줄어들음을 확인 하였다.

2) 소재형상에 대한 컵높이를 예측할 수 있는 예측 컵높이 식을 제안하였다. 제안된 예측 컵높이 식은 최적 소재형상으로 성형된 컵높이와 비교한 결과 양호하게 일치함을 확인하였다.

참고문헌

- (1) 주진원, 이중홍, 양동열, 대한기계학회논문집 8(5), 1984, pp.435~441
- (2) 김형중, 김동원, 대한기계학회논문집16(2) 1992, pp.248~258
- (3) 이승열, 금영탁, 정관수, 박진부, 한국소성가공학회지 4(3), 1995, pp.222~232
- (4) Toshihiko Kuwabara, Wen-hua Si, Journal of Materials Processing Technology, vol.63 1997, pp.89~94
- (5) 김상진, 양대호, 서대교, 한국소성가공학회지 5(4), 1996, pp.281~287
- (6) 박민호, 김상진, 서대교, 한국소성가공학회지 5(2), 1996, pp.138~144
- (7) 이충호, 허훈, 대한기계학회논문집(A) 21(12), 1997, pp.2055~2067
- (8) 서광중, 석사논문, 금오공과대학교, 1989, pp.4~13

Table 1 Condition of standard deep drawing test

Punch Diameter(mm)	36	38	40
Die Diameter(mm)	38.3	40.3	42.3
Blank Diameter(mm)	60	68	76
Drawing ratio	1.7	1.8	1.9

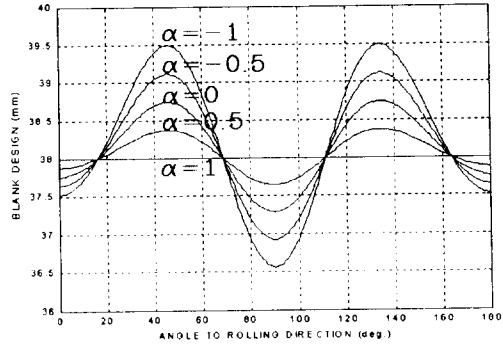


Fig. 1 Blank design

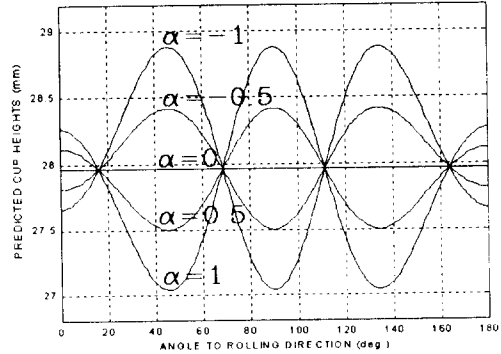


Fig. 2 Predicted cup heights

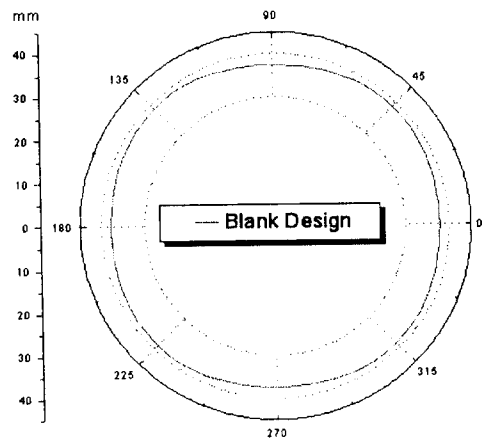


Fig. 3 Designed blank shape

Table 2 Plastic strain ratio of material

SPCC		0.8t	1.0t
0 °		1.358	1.457
15 °		1.317	1.376
30 °		1.109	1.167
45 °		1.078	1.120
60 °		1.162	1.189
75 °		1.327	1.648
90 °		1.615	1.684
ΔR		0.409	0.414
\bar{R}		1.282	1.328

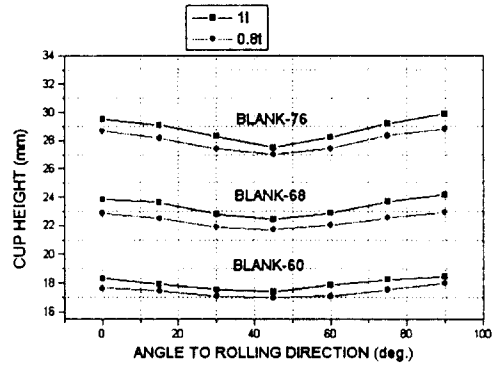
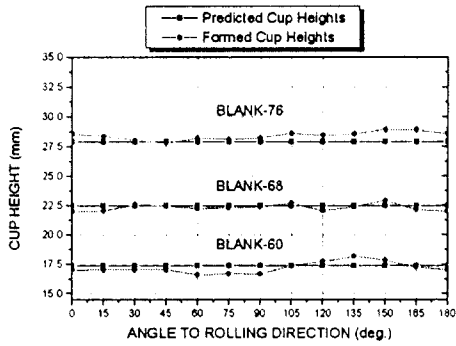
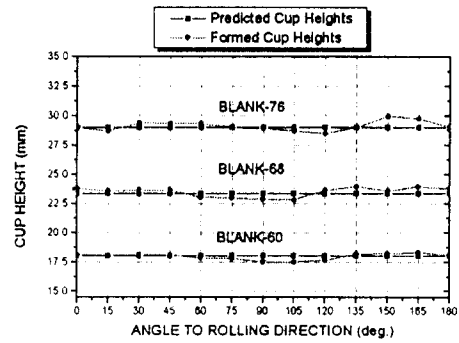


Fig. 4 Variation of cup heights with the angle to rolling direction

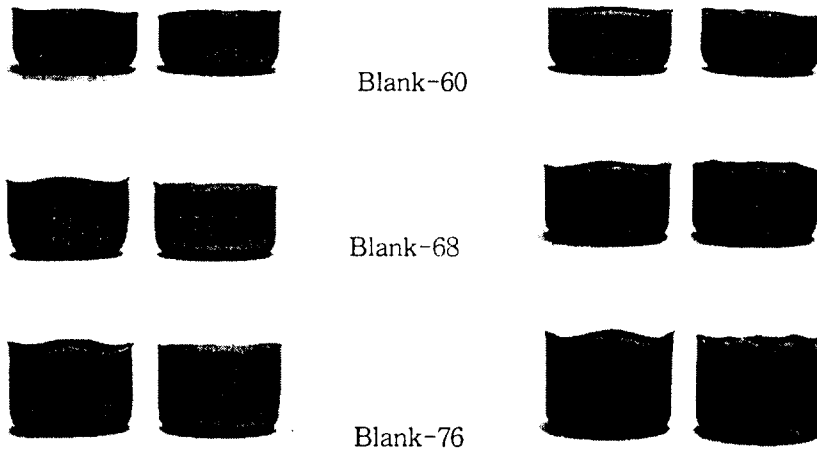


(a) SPCC 0.8t



(b) SPCC 1.0t

Fig. 5 Comparison of predicted cup heights and formed cup heights



(a) SPCC 0.8t

(b) SPCC 1.0t

Fig. 6 Formed cups