

〈論 文〉

# 板材의 四角形 斷面 成形加工에 관한 研究

임형수\* · 신재현\* · 서대교\*\*

(1990년 5월 23일 접수)

## A Study on the Square Drawing for Sheet Metal

Hyung Soo Lim, Jae Hyeon Shin and Dae Gyo Seo

**Key Words :** Punch Shape Factor(펀치 형상비), Limiting Drawing Ratio(한계 성형비), Uniform Cup Height(균일 컵 높이), Blank Shape(소재 형상), Slip-Line Field(미끄럼 선장), Thickness Distribution(두께 분포)

### Abstract

The five punch shape factors( $r_1/l_1$ ) and the three blank shapes, square, octagon, h-uni(a blank to get a uniform height cup) were adopted to obtain some experimental results in square cup drawing. H-uni blank shape was determined by the slip-line field theory and octagonal blank was cut in the corner according to the shape of h-uni blank. The punch shape factor ( $r_1/l_1$ ) affected sensitively drawabilities, With increase of punch shape factor, limiting drawing ratio was decreased rapidly, however effective punch height, maximum punch load and thickness reduction were increased.

### 1. 서 론

원형이 아닌 컵의 가장 기본적인 모양은 정사각형이라 할 수 있다.

정사각형 컵을 성형코져 할때 1차적으로 해결하여야 할것은 소재(blank) 형상이며, 이를 결정하는데는 몇가지 방법들이 시도되어 왔다. 즉, Kobayashi등의 유한요소해법<sup>(1)</sup>, 김낙수 등의 기하학적 근사해법<sup>(2)</sup>, Gopinathan의 경험적인 방법<sup>(3)</sup>과 함께 미끄럼선장법을 이용한 Jimma<sup>(4)</sup> Lange<sup>(5)</sup>, Kawai<sup>(6)</sup> 등의 연구가 있다. Thomson은 정사각형 소재의 변을 0~50%까지 모따기(corner cut)를 해가면서 성형성을 고찰하기도 하였다<sup>(7)</sup>. 이들 연구는 비교적 근래에 발표된 것이며, 따라서 부분적으로는 충분한 실험적인 연구가 병행되어 있지 않은

감이 있다. 본 연구에서는 소재형상을 미끄럼선장법으로 구하고, 이것을 等高컵(cup with uniform height이하 h-uni cup)을 얻을 수 있는 이상적인 소재형상으로 보았으며, 이로 부터 8각형을 소재로 취할 경우의 최적 모따기 량을 얻고, 또 정사각형 소재도 포함하여 세가지 소재형상을 대상으로 하여, 광범위한 펀치의 모서리반경에 따른 한계드로잉비(L.D.R), 유효 컵높이, 드로잉하중, 두께 분포 등을 고찰하였다.

### 2. 素材형상(Blank Shape)

소재형상은 펀치단면의 형상을 기준으로하여 미끄럼선장법으로 구하였으며 이를 위하여는 미끄럼선장법에 관한 기본적인 가정 이외에도 몇가지 가정이 추가 되어야 한다. 즉, 펀치단면의 외형선에 접하고 있는 요소에 대하여 속도는(Fig. 1 ABCDA)펀치의 강하속도와 같은 일정한 속도를

\*성균관대학교 대학원

\*\*정회원, 성균관대학교 공과대학 기계설계학과

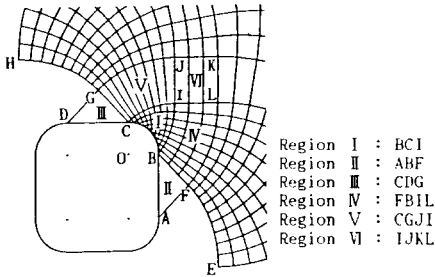


Fig. 1 Slip-line field for the determination of the blank shape

가지며, 접선응력은 0인 상태 (tangential stress,  $\sigma_t=0$ , radial stress,  $\sigma_r=2k$ , shear stress,  $\tau=0$ ) 인 것으로 간주한다. 이로부터 미끄럼선장은 Fig. 1의 영역 I, II, III과 같이 펀치 윤곽선과 45°로 교차하게 된다. 영역 II와 III은 직선장이며, 영역 I은 대수 나선장이다. 이로부터 영역 IV와 V의 미끄럼선장이 얻어질 수 있으며, 영역 IV와 V가 그려지면 영역 VI도 그려질 수 있다. 전체적인 미끄럼선장의 대칭성을 고려하면 미끄럼선 GJ의 선 대칭인 미끄럼선 GH가 얻지고, 미끄럼선 FL의 선 대칭인 미끄럼선 FE가 얻어질 수 있다. 이로써 펀치 주변의 영역에 대한 미끄럼선장이 얻어질 수 있으나 대칭성을 고려하면, 전영역에 걸친 미끄럼선장을 그릴 필요는 없으므로 여기서는 제 1 상한을 중심으로 필요한 영역만큼을 5°간격으로 Hill의 수치 계산법<sup>(6)</sup>으로 그렸다.

이와같이 미끄럼선장이 얻어지는 이에 대한 Hodograph가 얻어질 수 있다(Fig. 2). Fig. 1의 BIJ에 대응되는 Hodograph상의 위치는 B'I'J'이다. 소재형상을 결정하기 위하여 한가지 가정을 추가한다. 즉, 소재의 외형선에 접하고 있는 요소들의 응력상태는 접선응력만  $-2k$ 인 상태 ( $\sigma_t=-2k$ ,  $\sigma_r=0$ ,  $\tau=0$ )로 간주한다. 이로써 소재의 외형선과 교차하는 미끄럼선은 모두 그 교각이 45°되며, 이러한 가정은 소재의 외형선 각도를 매우 용이하게 한다. 따라서 얻고져 하는 소재 외형선상의 한점만 찾으면 위의 가정을 역으로 활용하여, 그 점에서 미끄럼선장의 인접한 미끄럼선과 45°로 교차하는 직선을 그어 감으로써 근사적인 소재형상을 얻을 수 있다. 그 한점의 선택은 소요 컵의 높이 (wall depth, W.D.)에 따라 달라질 것이며 소요 컵의 높이가 정해지면 Hodograph를 이용하여 위치를 찾을 수 있다. 이와같이 하여 얻은 소재형상을,

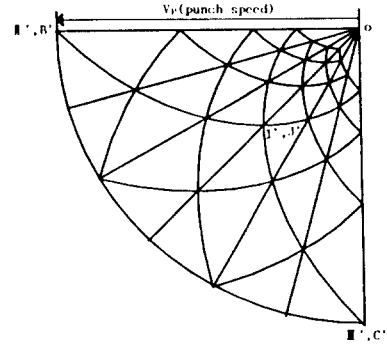


Fig. 2 Hodograph for Fig. 1

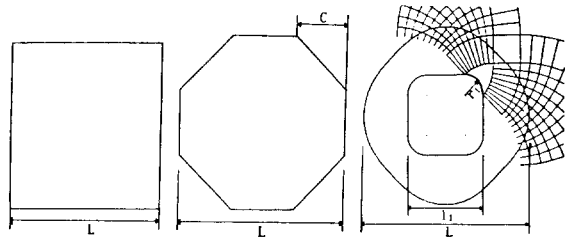


Fig. 3 Adopted blank shapes for square drawing

등고컵을 얻을 수 있는 이상적인 소재형상으로 보면, 종래까지 근사적인 소재형상으로 활용되어온 팔각형소재의 모따기의 크기,  $c$ 를 이로부터 찾을 수 있다. 비교를 위하여 정사각형 형상의 소재도 포함하여 고찰하였다(Fig. 3).

### 3. 실험

Fig. 4는 실험 장치이다. 만능시험기에 드로잉 장치를 제작 설치하여 실험하였다. 블랭크 가압력은 오일펌프로 임의로 조절이 가능하며 시험편이 다이(die), ③에 얹어지면 오일펌프로 가압하며, 이때 가압판, ②가 가압판 지지대, ④와 함께 강하여 다이지지대, ⑤에 부착 하면서 시험편을 임의의 가압력으로 가압한다. 그 후 만능시험기의 작동으로 펀치, ①이 내려와 드로잉되며, 드로잉이 끝나면 오일펌프, ⑨를 풀어주며, 이때 가압판 지지대는 스프링, ⑥의 작용으로 원래 위치로 돌아간다. 실험조건은 Table 1이다. 시험편은 두께 0.8 mm의 SS41연강판이며, 인장 특성치는 Table 2와 같다. 펀치는 40×40mm의 정사각형이며 모서리 반경으로  $r_1=3, 5, 10, 15, 20$ mm의 광범위한 범위를 채택하였다.  $r_1=20$ 의 경우는 원형단면이 되

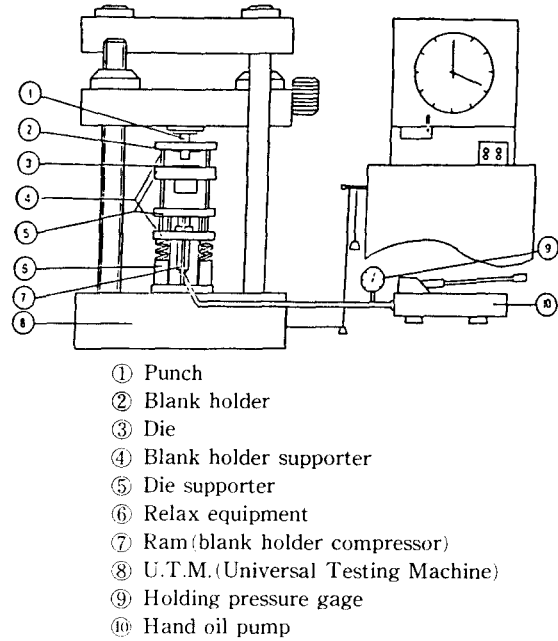
**Table 1** Experimental conditions

Press machine : 30 ton universal testing machine, Oil-hydraulic pump and single- acting rams.
Tool(mm)
Punch : Distance between opposite sides $l_1 = 40$ Profile radius : $r_p = 3$ corner radius : $r_1 (r_1/l_1) = 3 (0.075),$ 5 (0.125), 10 (0.25) 15 (0.375), 20 (0.5)
Die : Distance between opposite sides : $l_2 = 42$ profile radius : $r_d = 3$ corner radius : $r_2 = 4, 6, 11, 16, 21$
Lubricant : (on Die) Grease
Blank
Material : SS41 Mild Steel Sheet Nominal thickness : 0.8mm, Shape : H-uni, Square, octagon Diagonal direction : $45^\circ$ to R.D
Determination of L.D.R(square) : $B$ The interval of square drawing ratio, $B (L/l_1) = 0.025$ Trial number at each $\beta = 3$ L.D.R(square), $B = \beta$ at which the provability of successful drawing is 50%
Blank-holding force = $3 \times$ Siebel's semitheoretical value calculated by substituting $\beta$ as drawing ratio into the formula.
Punch speed : 2mm/sec    Temperature : $10 \pm 1^\circ\text{C}$

**Table 2** Tensile properties of specimen

Tensile direction to R.D	0°	45°	90°	Ave.
Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	31.637	32.465	30.769	31.624
R-Value	2.4	2.15	2.85	2.47
n-value	0.213	0.221	0.254	0.23

며,  $r_1 = 3$ 은 NC기계가공이 가능한 최소반지름이다. 윤활은 그리스유를 사용하여 시험편의 다이측면에 도포하였다. 본 시험에서는 이방성의 영향까지는 고찰하지 않았으나 이방성이 있음을 고려하여



**Fig. 4** Experimental apparatus for square drawing

같은 조건으로 실험하기 위하여 모든 실험 수행 과정에서 시험편의 압연방향을 편차단면의 직선인 변에 평행하도록 하였다. 드로잉력의 고찰과정에서 블랭크 가압력의 크기변화가 드로잉력에 미칠 영향을 고려하여, 가압력 약 850~1150kgf까지 비교적 광범위한 범위로 변화하면서, 같은 조건의 드로잉력의 차이를 살폈으나, 그 차이는 미소하였다. 이러한 사실과, 원칙적으로는 소재의 크기가 다른 소요 가압력도 적절히 변화되어야 한다는 원칙을 종합하여, 소요 가압력은 Siebel의 반 경험적인 식<sup>(9)</sup>에 근거를 두었으나, 예비실험결과 이 식의 결과에 약 3배를 곱한 값을 표준으로 하였으며, 전 실험과정에서 블랭크가 압력은 대략 870kgf전후로 하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 한계 성형비(Limiting Drawing Ratio), $B$

형상비(shape factor),  $r_1/l_1 = 0.075, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5$ 인 경우에 대한 한계성형비(L.D.R),  $B$ 의 결과가 Fig. 5이다. 여기서 한계성형비  $B$ 는  $B = L/l_1$ 로 정의하였다(Fig. 3) 정사각형 소재는 전반적으로 매우 낮은 값을 보이고 있으며,

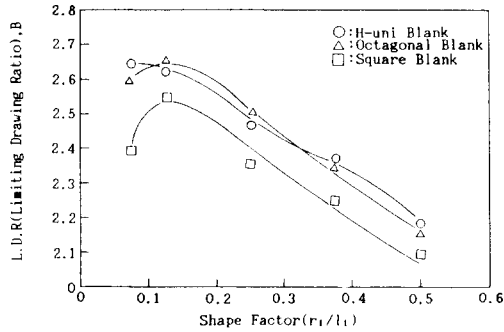


Fig. 5 Limiting drawing ratios versus punch shape factors for three blank shapes

형상비 0.125에서 최대값,  $B=2.55$ 를 나타내며 이를 경계로하여 형상비가 증가 및 감소할 수록 한계 성형비는 감소함을 보이고 있다. 정사각형 컵 성형에서 이와 같이 광범위한 형상비의 변화에 따른 한계 성형비의 차이를 보여준 연구 예는 매우 드물며, 현재까지의 연구 예로서는 Kawai<sup>(6,10)</sup> 등의 연구가 있다. 그들은 실험재료를 순 Al을 사용하였으며, 소재형상을 구하는 방법에 있어서도 본 연구와 차이가 있었다. 그들은 Al의 정방형 소재의 경우, 형상비, 0.2에서 최대 한계 성형비,  $B=2.2$ 를 얻었다.

h-uni블랭크의 경우, 형상비가 최소인 0.075에서  $B=2.65$ 를 보이며 이로부터 형상비가 증가할 수록 한계 성형비가 계속 감소하나, 정사각형 블랭크에 비교하여 전반적으로 큰 값임을 보여주고 있다. Kawai등은<sup>(6)</sup> Al의 경우, 형상비, 0.1에서 최대 한계 성형비, 2.1를 얻었으며, 형상비, 0.05에서는 이보다 약간 낮아짐을 보여주었다.

8각형 블랭크의 경우, 거의 h-uni블랭크의 경우와 접근하고 있으나 형상비 0.125와 0.25인 경우에는 미소하나마 h-uni블랭크보다 큰 한계 성형비를 보여준다. 사용한 8각형 블랭크는 그 형상비에서의 h-uni블랭크의 한계 성형비에 해당하는 h-uni블랭크의 모서리에서 접선을 그음으로써 모따기의 정도,  $C/L$ (Fig. 3)을 얻고 이값을 고정한 채 소재크기를 증감하면서 얻은 결과이므로, h-uni블랭크 형상에 근기를 두고 있다. 따라서 최대 성형비를 얻기 위하여는 이 범위의 형상비에서 h-uni블랭크 형상에 약간의 수정이 필요함을 암시한다. Fig. 6은 형상비의 변화에 따라 적절한 8각형 블랭크를 얻기 위하여, 각 편치형상비에 해당되는 한계 성형비에

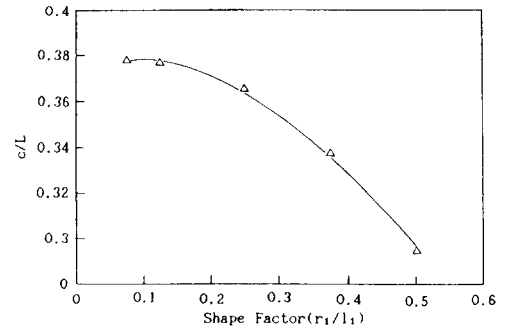


Fig. 6 Useful corner cut amount versus punch shape factors for octagonal blanks

서의 미끄럼선장에 의한 소재형상으로 부터 얻어지는 모따기량을 표시한 것이다.

8각형 블랭크를 사용한 연구 예로서는 Thomson의 연구가 있다<sup>(7)</sup>. 그는 모따기를 0~50%까지 증가시킴에 따라 성형할 수 있는 블랭크의 최대 치수가 완만하게 증가함을 보여주었다.

#### 4.2 유효 컵 높이( $h_e$ )

Fig. 7은 형상비에 대한 유효 컵 높이를 보여 준다. h-uni블랭크와 정사각형블랭크의 경우는 형상비,  $r_1/l_1=0.375$ 까지는 유효 컵 높이가 완만히 증가하는 경향을 보이는 반면, 8각형 블랭크의 경우는 다소 불규칙하다. 여기서 유효 컵 높이란 성형된 컵의 최소 높이를 의미한다. Al에 대한 Kawai 등의 연구<sup>(6)</sup>와 비교하면, Al의 h-uni블랭크의 경우,  $h_e/l_1=0.8$ 을 얻었는데 비하여 여기서는  $h_e/l_1$ 는 1.1에 가까운 값을 보여준다.

Fig. 8은 성형된 컵이 어느 정도 등고(uniform height)인가를 보여주는 것으로써, 컵의 최대 높이를

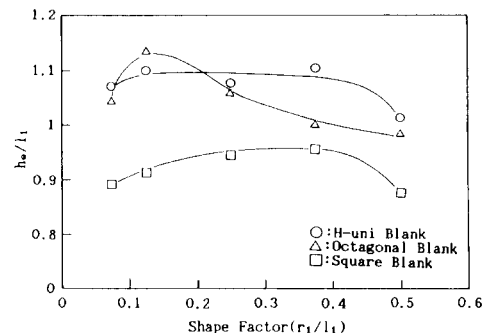


Fig. 7 Effective cup height for three blank shapes

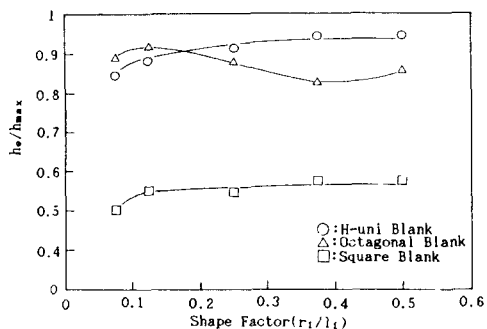


Fig. 8 The ratio of effective cup height to the maximum cup height for three blank shapes

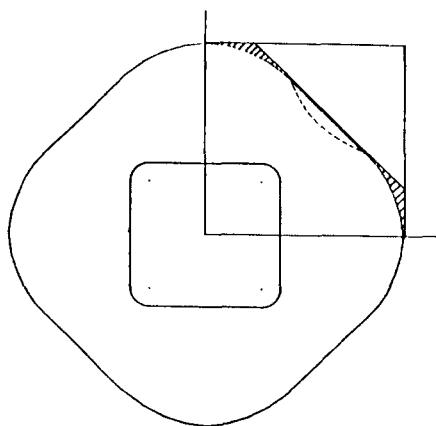


Fig. 9 Suggestion of more ideal blank shape for the bigger L.D.R and  $h_e/h_{max}$  between  $r_1/l_1 = 0.075 \sim 0.25$

와 최소높이의 비가 형상비( $r_1/l_1$ )의 증가에 따라 h-uni컵과 정사각형 컵에서는 완만히 증가하는 반면, 8각형 컵에서는 다소 불규칙하다. 가장 이상적인 등고컵은  $h_e/h_{max}=1$ 일 것이며, h-uni와 정사각형 블랭크의 경우 형상비가 큰 경우( $r_1/l_1=0.375$ )가 작은 경우( $r_1/l_1=0.075$ )에 비하여  $h_e/h_{max}$ 가 크다는 것을 Fig. 10과 11에서 확인 할 수 있다. 8각형 컵의 경우는 반대로  $r_1/l_1=0.075$ 일 때의  $h_e/h_{max}$ 값이  $r_1/l_1=0.075$ 일 때의  $h_e/h_{max}$ 값이  $r_1/l_1=0.375$ 일 때의 값보다 크다는 것을 Fig. 8 이 보여주고 있으며 Fig. 10과 11에서 확인 할 수 있다. Fig. 10과 11에서 좌변은 h-uni블랭크, 중앙은 8각형 블랭크, 우변은 정사각형 블랭크를 성형한 것이다. h-uni블랭크에 대한 이러한 결과는 Jimma<sup>(4)</sup>의 연구에서도, 두께 0.5mm의 SPC3 강판에 대한 특정한 형상비에 대한 실험에서 같은 결

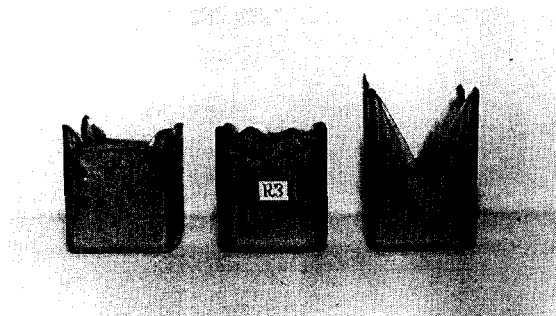


Fig. 10 Example of drawn cups for three blank shapes with 3mm punch corner radius

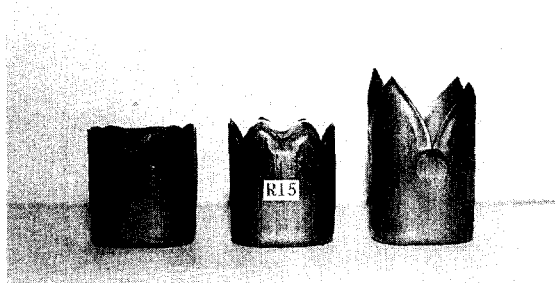


Fig. 11 Example of drawn cups for three blank shapes with 15mm punch corner radius

론을 내린 바 있다. 그러나 본 연구에서는 그러한 경향이 어느 범위의 형상비에서( $r_1/l_1=0.075 \sim 0.125$ ) 심하게 나타나는 가를 보여 주고 있다. 이러한 측면에서 본다면, 이 범위의 형상비에서는 보다 나은 등고컵을 얻기 위하여, 한계 성형비에서와 흡사하게 h-uni블랭크 형상에 약간의 수정이 필요함을 알 수 있다. 즉, Fig. 9의 빗금 모양으로 형상이 추가되든가, 혹은 역으로 점선모양으로 모서리부분의 소재를 더 제거할 필요가 있다. 특정한 형상비에 대한 이와 유사한 결과는 Iseki<sup>(11)</sup>에 의하여 언급된 바 있다.

### 4.3 소요 펀치력

Fig. 12는 각 블랭크 현상에 대한 펀치력-펀치행정의 선도를 보여준다. 정사각형블랭크의 경우 모서리부분이 드로잉 완료되기까지 상대적으로 긴 행정을 요함을 알 수 있다(Fig. 10, 11). Fig. 13은 성형비를 증가시키에 따른 최대 펀치력과 파단력을 형상비,  $r_1/l_1=0.075$ 에 대하여 정사각형 블랭크와 h-uni블랭크의 경우를 비교한 것이다. 여기서 8각형 블랭크의 경우는 h-uni블랭크의 경우와 거의 일

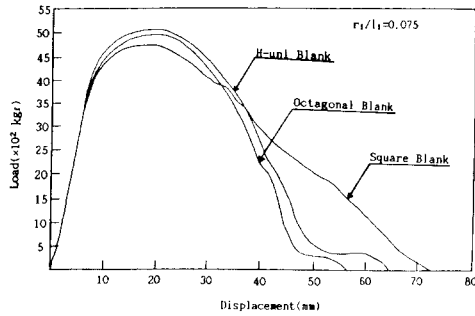


Fig. 12 Punch load-displacement curve for three blank shapes

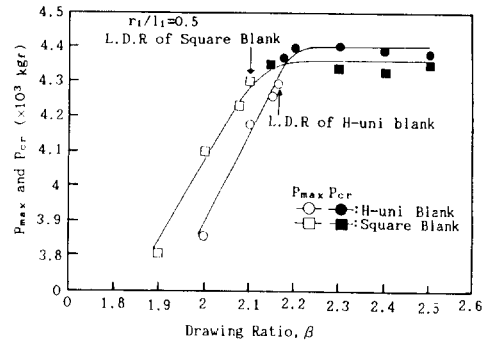


Fig. 15 Comparison of maximum and fracture punch load for h-uni and square blank ( $r_1/l_1=0.5$ )

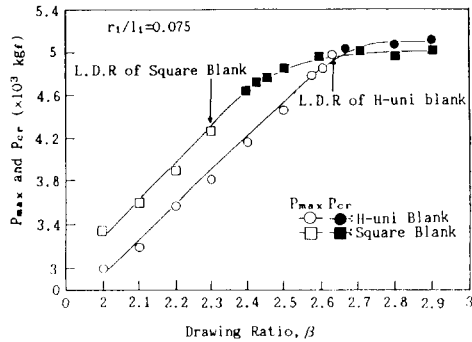


Fig. 13 Comparison of maximum and fracture punch load for h-uni and square blank ( $r_1/l_1=0.075$ )

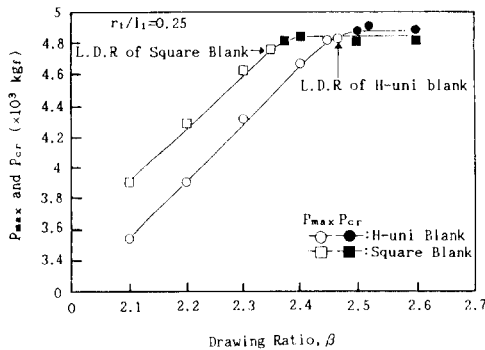


Fig. 14 Comparison of maximum and fracture punch load for h-uni and square blank ( $r_1/l_1=0.25$ )

치하므로 생략하였다. 그림 중 검은 표시는 파단하중 ( $P_{cr}$ )을 표시하며, 형상비의 증가에 거의 비례하여 최대 펀치력이 증가하는 경향을 보이다가, 파단하중에 이르러서는 h-uni블랭크는 펀치력의 증가가 거의 없는 반면, 정사각형 블랭크는 계속 완만하게

증가하다가 어느 단계이상의 성형비에 이른 후에야 펀치력이 거의 일정하게 되는 차이를 보이고 있다. Fig. 14와 15도 이러한 예를 보여주며, 형상비  $r_1/l_1=0.25$  및  $0.5$ 인 경우로써, 종합하면 형상비가 증가함에 따라 두 형상의 블랭크에 대한 최대 펀치력의 차이가 점점 감소하며,  $r_1/l_1=0.5$ 에 이르러서는 거의 일치하게 되고, 그에 대응하는 성형비도 상당히 접근한다는 것을 알 수 있다.

#### 4.4 두께 분포

Fig. 16은 형상비,  $r_1/l_1=0.075$ 의 펀치로 h-uni 블랭크와 정사각형 블랭크에 대한 한계 성형비,  $B=2.65$  및  $2.4$ (Fig. 5)로 성형된 컵에 대하여, 펀치 밑면 중심으로 부터, 펀치 단면의 직선방향에 평행한 방향으로 두께를 측정하여, 컵 높이까지의 두께분포를 보여주고 있다. h-uni블랭크의 경우, 두께감소가 약 19%에 이를때까지 컵 성형이 성공적일 수 있음을, 보여주는 반면, 정사각형 블랭크에서는 두께감소 약 14%에서 한계 성형비를 나타내고 있다. 이는 두 형상의 블랭크에 대하여 한계 성형비의 차이가 큰 원인을 뒷받침한다.

Fig. 17은 성형비,  $\beta=2.2$ 로 같게 취한 h-uni블랭크에서 형상비,  $r_1/l_1=0.075$ 와  $0.375$ 인 펀치를 사용하여 펀치 행정을  $17.5\text{mm}$ 로 일정하게 성형한 후 두께 분포를 비교한 것이다.  $r_1/l_1=0.375$ 인 경우가  $r_1/l_1=0.075$ 인 경우에 비하여 대체로 약 2% 정도 두께 감소가 더 크다는 것을 알수 있고, 플랜지 부분에서는 반대로  $r_1/l_1=0.375$ 인 경우가 두께 증가가 더 크다는 것을 볼수 있다. 이것은  $r_1/l_1=0.375$ 인 경우의 한계성형비가  $r_1/l_1=0.075$ 인 경우보다 훨씬 작은값을 보이는 Fig. 5의 결과를 뒷받

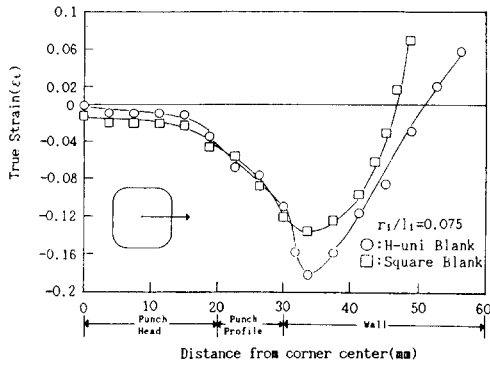


Fig. 16 Comparison of thickness distributions of drawn cups

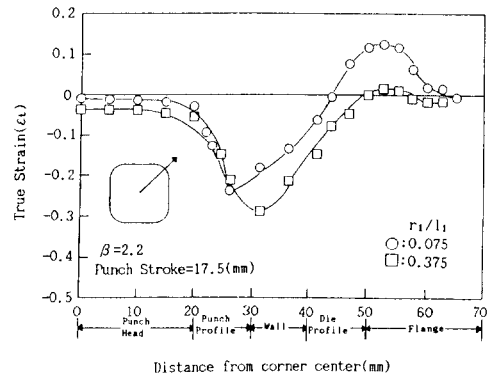


Fig. 19 Comparison of thickness distributions along the diagonal direction for the square blanks

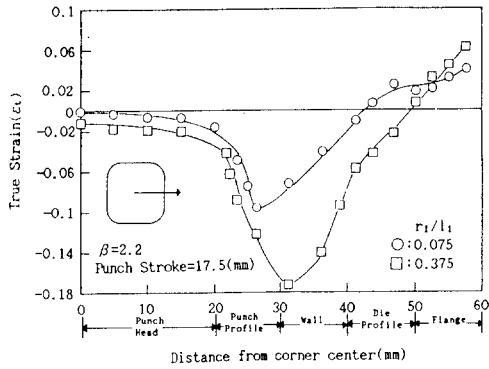


Fig. 17 Comparison of thickness distributions for the h-uni blanks with different punch corner radius

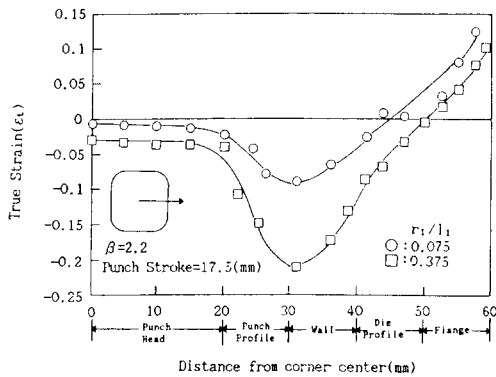
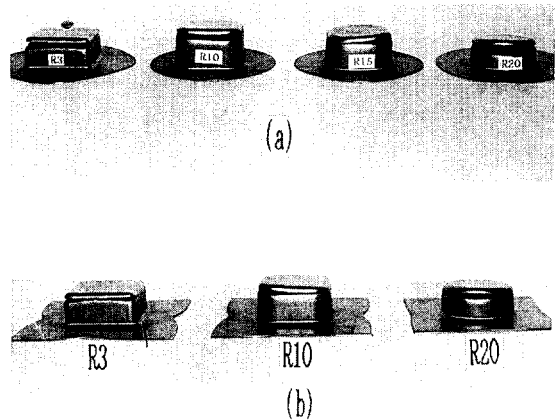


Fig. 18 Comparison of thickness distributions along the rolling direction for the square blanks

침 한다.

Fig. 18과 19는 정사각형 블랭크에 대하여 역시 위와같은 비교를 한 것이다. Fig. 18은 펀치 밀면



(a) h-uni blanks (b) square blanks

Fig. 20 Example of fractured cup

중심에서 펀치 단면의 직선방향에 평행한 방향으로 측정해간 것이며, Fig. 19는 대각선 방향으로 측정해 간 것이다. 그림 중 두께가 최소로 되는 위치가 대체로 컵 벽의 직선 부분 하단점, 즉, 펀치 형상 반경(profile radius)과 컵 벽의 직선 부분이 접하는 위치이며, 따라서 성형중 컵이 파단되는 경우는 대개 이 위치에 해당되는 펀치 모서리 부분에서 파단이 시작되어, 수평으로 파단이 전파해 감을 알 수 있었으며, 이는 위 그림에서 대각선 방향의 최저 두께가 펀치 단면의 직선방향에서의 최저 두께보다 약 10~13% 더 적은 것으로부터 입증된다. Fig. 20은 이와같은 파단의 실례이며, (a)는 h-uni 블랭크, (b)는 정사각형 블랭크를 사용한 경우로서, 몇가지의 형상비에 대한 파단 실례를 보여준다.

## 5. 결 론

박강판의 정사각형 컵 성형에서, 블랭크 형상을 미끄럼 선장법을 이용한 h-uni블랭크, 8각형 및 정사각형의 세가지를 취하고, 펀치의 모서리 반지름을  $r_1=3, 5, 10, 15, 20\text{mm}$ 로 광범위하게 변화시키며 한계 성형비(L.D.R), 유효컵 높이, 소요 펀치력 및 두께 분포 등을 고찰 하였다. 이론과 실험이 병행된 현재까지의 연구는 대체로 펀치의 형상비( $r_1/l_1$ )를 특정한 값으로 취한 경우가 많았다. 결과를 종합하면, 전반적인 성형성이 펀치의 형상비에 민감하며, 따라서 블랭크 형상을 구하는 각종 방안들이 앞서 소개 되었으나, 어느 특정한 펀치 형상에 한정하여 이들 방법의 결과를 실험과 비교하여 그 정확성의 우열을 판정하는 것은 바람직한 방법이 아니라고 생각하며, 그러기 위하여는 광범위한 펀치 형상비에 걸쳐서 고찰되어야 한다고 사료된다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 펀치의 형상비( $r_1/l_1$ )가 증가함에 따라 한계 성형비( $B$ )는 h-uni블랭크의 경우 전반적으로 감소하며  $r_1/l_1=0.075$ 에서  $\beta=2.65$ 로 최대값이었으나, 8각형과 정사각형 블랭크의 경우는  $r_1/l_1=0.125$ 에서 최대였으며, 이 형상비의 증감에 따라 감소하는 경향을 보였다.

(2) 유효 컵의 높이,  $h_e$ 는 h-uni블랭크와 정사각형 블랭크의 경우,  $r_1/l_1=0.375$ 까지 증가함에 따라 완만히 증가하는 현상을 보였으며,等高컵의 정도를 표시하는  $h_e/h_{max}$ 는 형상비의 증가에 따라 전반적으로 완만한 증가를 보였다.

(3) 한계 성형비에 대한 소요 최대 펀치력은, 정사각형 블랭크와 h-uni블랭크의 경우를 비교할 때, 펀치 형상비가 작을때는 그 차이가 크나, 펀치 형상비가 증가할수록 그 차이가 차츰 감소하였다.

(4) 두께 분포에서 전반적으로 h-uni블랭크는 정사각형 블랭크에 비하여 펀치 형상 반경 부근의 더 큰 두께 감소에도 성공적으로 컵이 성형 될수 있음을 보였으며, 같은 형상의 블랭크에서는 대체로 성형비( $\beta$ ), 펀치행정을 일정하게 할 경우, 펀치 형상비가 작은 경우가 큰 경우에 비하여 펀치 형상

반경 부근의 두께 감소가 적었다.

## 후 기

본 연구는 1989년도 문교부 학술연구 조성비의 지원에 의하여 이루어졌습니다. 지원하여 주신 당국에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Toh, C.H. and Kobayashi, Shiro. 1985, "Deformation Analysis and Blank Design in Square Cup Drawing", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 25, No. 1, pp. 15~32.
- (2) Kim, Naksoo and Kobayashi, Shiro, 1986, "Blank Design in Rectangular Cup Drawing by an Approximate Method", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 26, No. 2, pp. 125~135.
- (3) Gopinathan, V., 1977, "Optimum Blank Profile Determination for Rectangular Deep Drawing", Indian J. of Technology, Vol. 15, pp. 330~333.
- (4) 神馬敬, 1970, "凸多角筒體の深絞り加工の研究—深絞り加工のすべり線場理論による解析, (第1報)", 塑性と加工, Vol. 11, No. 116, pp. 653~660.
- (5) Hasek, V.V. and Lange, K. 1979, "Use of the Slip-Line Method in Deep Drawing of Large Irregular Shaped Components", Proc. of 7th NAMRC, pp. 65~71.
- (6) 河合望 外 3人, 1987, "工業用純アルミニウム薄板の正四角筒深絞り性(カツプ高さ一様の素板形状の決定す・よびそれによる深絞り限界の検討)", 日本機械学会論文集(C編), Vol. 53, No. 487.
- (7) Thomson, T.R. 1975, "Influence of Material Properties in the Forming of Square Shells", The J. of the Australian Institute of Metals, Vol. 20, No. 2, pp. 106~113.
- (8) Hill, R. 1950, "The Mathematical Theory of Plasticity", Oxford, Clarendon Press, pp. 140~149.
- (9) Lange, K. 1985, "Handbook of Metal Forming", p. 20~11.
- (10) 河合望 外 3人, 1986, "アルミニウム薄板の正四角筒深絞り性(ポンチ頭部潤滑と形状の相乗効果)", 日本機械学会論文集(C編), Vol. 52, No. 484.
- (11) 井關日出男, 1989, "深絞りの最適ブランク形状の決定法", J. of the JSTP, Vol. 30, No. 337.