

〈論 文〉

## 비원형단면에 대한 판재 성형성(Ⅱ)

-임의단면에 대하여-

김민수\* · 신재현\* · 서대교\*\*

(1993년 7월 9일 접수)

### Formability of Sheet Metal in Noncircular Cup Drawing(II)

-for Arbitrary Cross Sections-

Min Soo Kim, Jae Hyeon Shin and Dae Gyo Seo

**Key Words :** Blank Design(소재형상설계), Uniformity of Drawn Cups(컵의 등고성), Limiting Drawing Ratio(한계성형비), Slip Line Theory(미끄럼선장이론), Arbitrary Cross Section(임의단면)

#### Abstract

The five punch and die sets are selected as the examples of arbitrary cross sections which have two opposite inclined sides. Two kinds of blank shapes are designed for all cross sections. One(h-bl.) is determined by slip-line theory and the other(G-bl.) is determined conventionally as the similar shapes with the cross sections which were used by Gopinathan. As a result of the experimental procedures, the superiority of the blank shapes designed by slip-line theory is verified in the limiting drawing ratio, the uniformity of cup height and the thickness distributions.

#### 1. 서 론

우리가 일상 생활에서 흔히 볼 수 있는 박판 디프로딩을 이용한 성형제품은 실제로 원형적 요소에 못지않게 비원형적 요소도 매우 많다. 원형단면을 가진 컵을 성형하기 위해서는 초기 블랭크형상이 원형이지만, 다른 형태의 단면을 가진 컵을 성형하기 위한 보다 바람직한 초기 블랭크형상은 간단히 결정할 수가 없다.

이에 본 연구에서는 비원형단면의 가장 기본적인 형태로서 정사각 및 직사각형 단면을 다룬 전편인 연구(I)에 이어 임의의 단면을 대상으로 연구하고자 하였다. 임의의 단면이란 수없이 많은 형태이므

로 부득이 이를 대표할 수 있는 다섯가지의 볼록형(凸형) 단면 형상을 선정하여 고찰하였다.

즉, 정사각형 형상에서 마주 보는 두변을 조금씩 경사시켜 나중에는 삼각형의 형상이 될 때까지 변화시켜 고찰하기로 하였다. 이와 같은 형상의 성형 가공에서 성형후 그 제품의 높이가 전단면에 걸쳐 균일하게 할 수 있는 초기의 소재형상을 설계할 수 있는 방법은 여러가지가 있을 수 있겠으나, 현재까지의 연구 예<sup>(1~10)</sup>를 종합하여 볼 때 미끄럼선장법이 가장 바람직한 방법의 하나가 될 수 있다고 판단되어 여기에서도 미끄럼선장법으로 설계하였다.

이 결과를 관례적인 경우와 비교하기 위하여 단면 형상과 얇은쪽의 소재형상에 대한 실험도 병행하여 비교의 대상으로 하였으며, 성형된 컵의 등고성, 성형하중, 한계성형비, 두께분포 및 파단양상 등을 비교 고찰하였다.

\*현대정공

\*\*정회원, 성균관대 기계설계학과

2. 이론해석

Fig. 1은 정사각형 단면의 두 맞변이 13°씩 경사진 모양의 단면과 이때의 미끄럼선장을 보여준다.

이와 같이 경사각을 0°, 6.5°, 13°, 19.5° 및 26.5°의 다섯가지로 선택하여 단면모양을 정사각형, 등각 사다리꼴 및 삼각형으로 변화시키면서 고찰하였다. 정사각형이나 직사각형의 경우는 단면의 1/4에 대한 부분만 고려하면 나머지는 미끄럼선장이나 소재형상이 완전대칭이지만 Fig. 1과 같은 경우는 그렇지 않다. 따라서 경사각이 13°인 단면형을 형상계수(shape factor) 13으로 정하여 S.F.=13인 경우로 표기하고 있으며 다른 형상에 대하여도 같은 방법으로 표기하기로 한다. 먼저 성형후 컵의 높이가 보다 균일하도록 소재형상을 설계하기 위하여 미끄럼선장이론을 적용하였다. 모든 단면형상에 대한 미끄럼선장의 구성, 호도그래프 및 소재형상의 기본방법은 같으므로 Fig. 1을 예로 들어 설명하겠다.

S.F.=13일 때의 미끄럼선장 구성은 미끄럼선장의 출발점이 되는 윗변의 모서리부와 아랫변의 모서리부에서의 대수나선을 작도하는 과정부터 시작된다. 미끄럼선의 출발점이 되는 대수나선의 구성범위는  $\theta=0^\circ$ 인 윗변에서 출발하여  $\theta=77^\circ$ 인 좌측변까지와  $\theta=77^\circ$ 인 좌측변에서 출발하여  $\theta=180^\circ$ 인 아랫변까지이다. ( $\theta$ 에 대한 보조그림 참조) 윗변과 아랫변의 미끄럼선을 구성하기 위해서는 상하변에서의 미끄럼선의 개수를 같게 하여야 한다. 그러기 위하여 윗변 모서리부의 9곳, 아랫변 모서리부의 9곳을 등간격으로 하는 즉, 윗변의 절점간격을  $\theta=9.6^\circ$ , 아랫변의 절점간격을  $\theta=12.8^\circ$ 로 나누어 미끄럼선을 그어 나가면, 윗변과 아랫변 사이의 미끄럼선 작도의 기본이 되는 각 절점의 개수가 일치하게 된다. 한 미끄럼선을 따라 윗변쪽에 구성되는 미끄럼선의 각 교차점과 교차점의 각도 차이는 4.8°가 되며 이를 Hill의 수치해법에 대입하여 미끄럼선을 구성하면 Fig. 1에 구성된 것처럼 V구역의 작도가 가능하게 된다. 마찬가지로 방법으로 아랫변쪽은 각 교차점의 각도가 6.4°가 되는 미끄럼선장을 구성할 수 있다. 또 윗변의 미끄럼선과 아랫변의 미끄럼선이 서로 교차하는 구역 V'에서의 미끄럼선장 구성은 한 미끄럼선을 따라 교차점과 교차점 사이의 기울기 차이가 윗변쪽은  $\alpha$ -line

에 연하여 4.8°의 각도 차이로, 아랫변쪽은  $\beta$ -line에 연하여 6.4°의 각도 차이로 교차하므로 미끄럼선장 작도방법에 따라 각각의 각도를 대입하면 V'구역의 미끄럼선장을 구성할 수 있다. 이런 방법으로 Hill의 수치해법을 적용하여 미끄럼선장을 구성하고 이를 확장하여 나머지 미끄럼선장 즉, 곡선장, VI, VI', VII, VII', 구역을 구성할 수 있다. VI구역은 자유곡선장 V구역의  $\alpha$ -line에서 절점의 각도가 4.8°의 기울기로 IV구역의 직선인  $\beta$ -line만큼 등거리로 확장하여 구성한다. VII구역은 V'구역의  $\beta$ -line에서 직선인  $\alpha$ -line을 4.8°의 기울기로 등거리간격으로 확장하여 그 끝점을 곡선인  $\beta$ -line으로 연결하여 구성하였다. 여기서  $\beta$ -line의 기울기는 6.4°이다.

S.F.=13인 경우에 대한 호도그래프(hodograph)는 Fig. 3과 같으며 영역의 부호나 숫자는 Fig. 2에 대응되며 이의 작도과정은 다음과 같다.

구역 I의 호도그래프는  $\beta$ 선을 따라서는  $V=C_1 \exp(C_0 - \theta)$ 의 방정식으로,  $\alpha$ 선을 따라서는  $V=C_2 \exp(-C_0 + \theta)$ 의 방정식으로 나타낼 수 있다. (단 여기서  $C_1, C_2$ 는 상수). 그런데 Fig. 2의 모서리반경상의 점 A, 즉  $C_0=0^\circ, \theta=0^\circ$ 일 때의 속도는 편치의 강하속도  $V_p$ 와 같다고 가정하면  $C_1=C_2=V_p$ 임을 알 수 있다.

그러므로

$$V = V_p \exp(-C_0 + \theta) \text{ along an } \alpha \text{ line}$$

$$V = V_p \exp(C_0 + \theta) \text{ along a } \beta \text{ line}$$

이고 X, Y의 속도성분은 각각 다음과 같다.

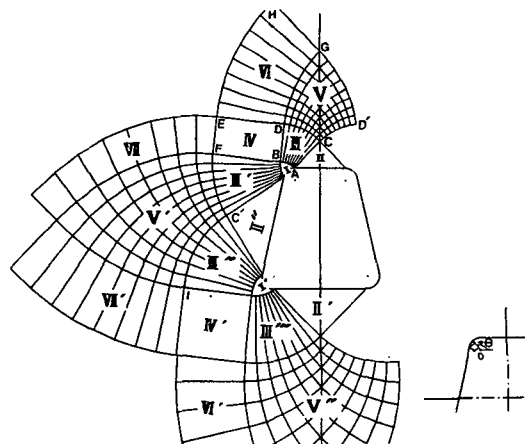


Fig. 1 Example of slip line field for S.F.=13

$$V_x = V \cos(\theta)$$

$$V_y = V \sin(\theta)$$

Fig. 2의  $\beta$ 선 A, 1, 2, 3, 4를 따라서 호도그래프 상의 이에 대응하는 점 A, 1, 2, 3, 4를 위의 식으로

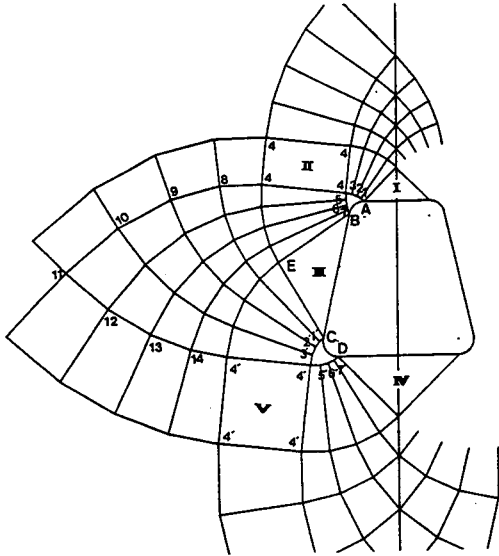


Fig. 2 Slip line field for the illustration of hodograph (S.F.=13)

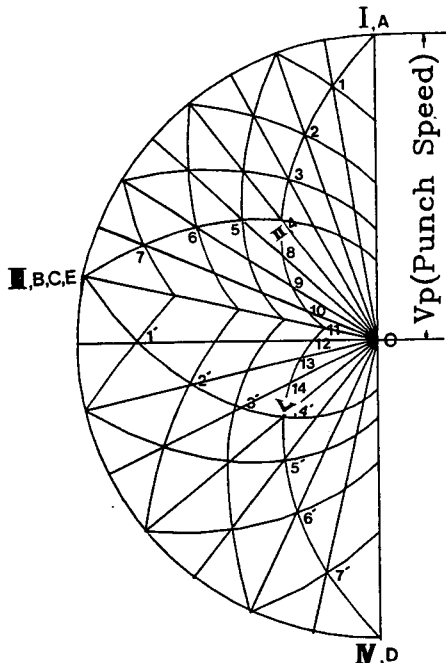


Fig. 3 Hodograph correspondent to slip line field (S.F.=13)

정할 수 있다. 그런데 Fig. 2의 미끄럼선장에서 점 A는 강성역 I에 포함되고 점 4는 강성역 II에 포함된다는 것을 고려하면, 점 1과 구역 I, 점 4와 구역 II는 호도그래프상에서 한점으로 표시됨을 알 수 있다.

나머지  $\beta$ 선 8, 9, 10, 11은 미끄럼선상의 절점의 호도그래프 성격을 이용해서 그릴 수 있다. 예를 들어 미끄럼선의 곡선 4-8의 X축에 대한 평균 접선 기울기를  $\theta'$ 라고 하고 점 4와 점 8의 접선의 기울기 차를  $\theta_{4,8}$ 라 하면 물리면상의 점 8의 속도는 호도그래프상에 다음과 같이 나타낼 수 있다. 우선 호도그래프상의 점 4에서 기울기가  $\theta' + 90^\circ$ 인 직선을 긋는다. 다음 0점을 중심으로 원형좌표를 설정해서 점 4를 지나는 반경선과 각도차가  $\theta_{4,8}$ (여기서는 윗변쪽 미끄럼선의 절점의 각도)가 되는 반경선을 긋는다. 이때 만나는 점이 8점이 된다. 이러한 방법으로 나머지 미끄럼선에 대한 호도그래프도 구할 수 있고 이것을 나타낸 것이 Fig. 3이다.

이제 실제 성형에 필요한 소요 소재형상을 이론적으로 구하기 위하여 먼저 임의의 요소가 펀치벽면에 도달하는 시간을 구하여야 한다. 이는 펀치가 가장자리로부터 거리 X만큼 떨어진 요소가 성형된 후에 컵의 바닥으로 부터의 거리가 X만큼 있지 않고 변화한다는데 문제가 있다.

성형가공중 펀치는 일정한 속도로 강하한다. 예를 들어 펀치의 강하속도가 2 mm/sec이고 소요컵의 높이가 30 mm라면 펀치의 소요 강하시간은 15초가 될 것이다. 이때 Fig. 4에서 X=30 mm인 점을 소재의 외형선 즉, 컵높이로 취하면 이 점이 펀치 외곽선(또는 다이공)까지 도달하는데 소요되는 시간은 15초가 초과된다. 이는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 요소마다 속도와 방향이 다르기 때문이다. 따라서 위의 예에서 높이 30 mm인 컵을 얻으려면 펀치 가장자리까지의 도달에 소요되는 시간이 15초인 점을 소재상에서 찾아야 한다. 성형된 용기의 깊이 즉, 컵높이를 W.D(wall depth)라 하고, 펀치속도,  $V_p$ 를 1로 하면 컵이 형성되는데 걸리는 시간은  $WD/V_p = WD$ 이다. 그때 이 시간만큼 떨어진 점을 무한평판에서 찾으면 그 점이 소요 W.D.를 얻을 수 있는 점이 된다.

Fig. 4에서 점 22의 속도를  $V_{22}$ , 26 및 27의 속도를  $V_{26}$  및  $V_{27}$ 이라 하고 점 22와 26의 거리를  $b$ 라 하면 점 22가 점 26까지 오는데 소요되는 시간은,

$$\frac{b}{(V_{26} + V_{22})/2}$$

로 볼 수 있다.

이와 같이 점 22에서 점 26까지의 구간에서 속도는  $V_{22}$ 에서  $V_{26}$ 으로 선형적으로 변하는 것으로 가정하여 이 구간에 있는 요소의 속도는 이 두 속도의 평균속도로 처리하였다. 예를 들면 점 26이 펀치벽면까지 도달하는데 소요되는 시간은,

$$\frac{(a-c)}{(V_{26} + V_{27})/2} + \frac{C}{V_p}$$

로 된다.

이와 같이 하여, 펀치가 15초간 강하한다면, 펀치 외곽선까지의 도달 소요시간이 15초인 무한평판상의 점들을 모두 이어주면 이것이 벽높이를 균일하게 얻을 수 있는 블랭크의 외곽선이 된다. 그러나 실제로 이러한 점들은 그 개수가 무한이며, 그 점들이 모두 Fig. 4의 점 22이나 점 26과 같이 직선으로 움직여 펀치에 도달하는 것이 아니라, 대부분의 요소들이 재료의 유동법칙을 따라 곡선경로로 움직여 간다.

따라서 소재형상을 보다 효율적으로 얻기 위하여 펀치의형선에 접한 요소는  $\sigma_r = 2K$ , 소재의 외형선

에 접한 요소는  $\sigma_t = -2K$ 만 작용하는 것으로 가정하였다. 이리하여 펀치벽면까지 오는데  $WD/V_p$ 의 시간이 소요되는 임의의 점을 가장 간단하게 구할 수 있는 대칭축상의 점을 구하고, 나머지 블랭크의 곡선은  $\alpha$ 선의 접선에 대해서 시계방향으로  $45^\circ$  혹은  $\beta$ 선의 접선에 대하여 반시계방향으로  $45^\circ$  회전한 각도로 선을 그어 나가 등고의 컵을 성형할 수 있는 블랭크형상의 외곽선으로 취하였다.

이상의 방법으로 구한 나머지 형상계수의 단면들에 대한 미끄럼선장, 호도그래프 및 소재형상(h-bl.)들을 Fig. 5와 6에서 보여준다.

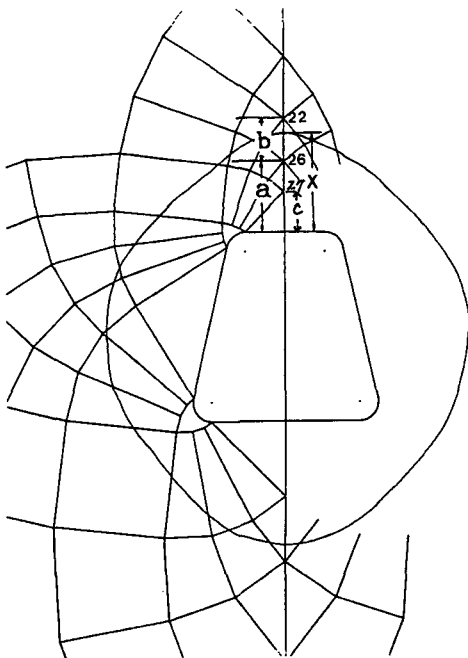
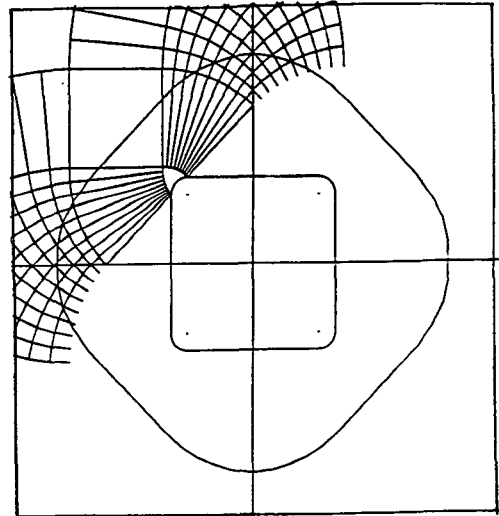
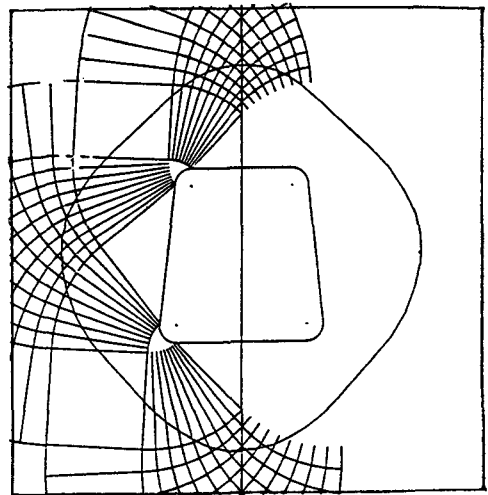


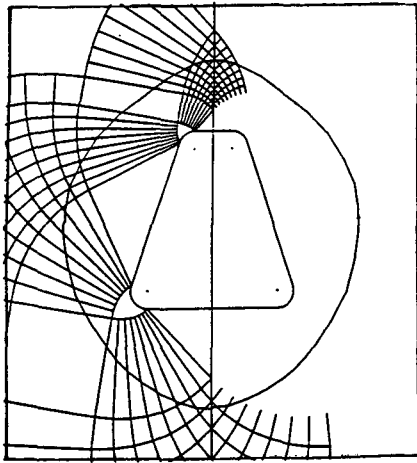
Fig. 4 Determination of h-bl. (S.F.=13)



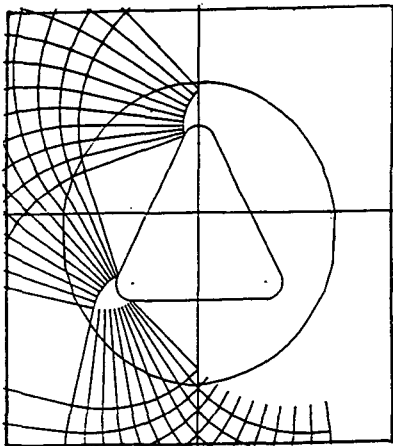
(a) S.F = 0



(b) S.F = 6.5

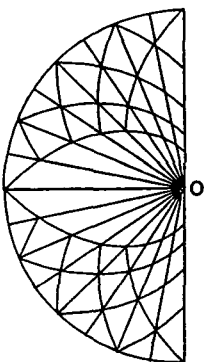


(c) S.F.= 19.5

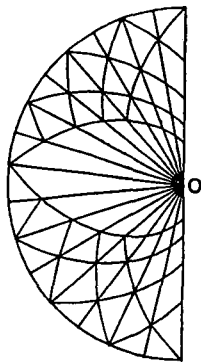


(d) S.F.=26.5

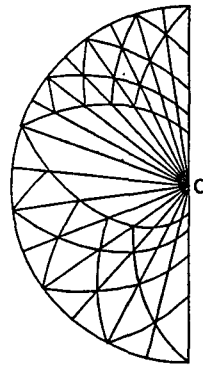
Fig. 5 Slip line fields and blank shapes for the shape factors



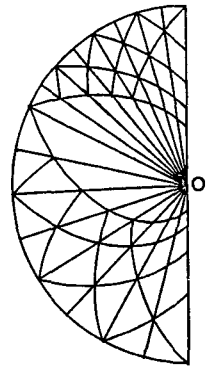
(a) S.F. = 0



(b) S.F. = 6.5



(c) S.F.= 19.5



(d) S.F.=26.5

Fig. 6 Hodograph for the different shape factors

### 3. 실험

본 실험에 사용한 소재의 재료는 두께 0.8 mm의 SS41의 박강판을 사용하였고 열처리없이 절단기를 이용하여 직접 형상을 제작하였다. 소재의 채취방법은 단면의 높이방향과 R.D.(압연방향)을 일치시켰다. 재료의 기계적 물성치와 가공경화 지수를 구하기 위해 판재의 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90°의 각도로 시편을 채취하여 인장실험을 하였다. 시편은 ASTM STP8 규격에 의하여 정하였고 Photo Grid법을 이용하여 시편에 일정간격의 격자를 입혀 Digital U.T.M(경도정밀社, 2TON. F)에서 크로스헤드 속도를 1 mm/min로 일정하게 유지하면서 실시하였고 시편의 실험후 Tool Makers Microscope (Mitzutoyo社, TM-111)를 이용하여 격자간의 길이와 폭을 측정함으로써 산정하였다. 결과치는 Table 1에 있다.

소재형상은 앞서 설명한 h-bl.과 다음에 설명할 G-bl.을 사용하였다. Fig.7은 S.F.=13에 대한 h-bl.과 G-bl.을 비교하여 표시한 것으로 G-bl.은 단지 단면 모양과 유사한 형상을 취한 것 뿐이며 이러한 방법으로 소재를 채취하여 사각형단면에 대하여 Gopinathan<sup>(6)</sup>이 실험한 바 있다. 나머지 단면형상에 대한 h-bl.과 G-bl.의 비교를 보여 주는 것이 Fig. 8이다.

이상과 같이 소재형상을 선정하여 성형성을 실험하였으며, 성형비(drawing ratio)는 다음과 같이 정의하여 비교하였다.

$$D.R. = \frac{l_1 + l_2 + W}{W}$$

여기서의 기호는 Fig. 7에 의한다. 시험은 이상의 다섯가지 형상에 대한 펀치 및 다이세트와 시험중 소

재에 대한 압력을 임의로 조절할 수 있도록 특별히 제작한 성형 시험장치를 사용하였다. 실험조건은 Table 2와 같다.

Table 1 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	0.222	0.254	0.23
Elongation (%)	42.62	39.779	30.604	37.668

Table 2 Experimental condition

Press machine : 30 ton universal testing machine, oil-hydraulic pump and single-acting rams.	
Tool (rf. Dimension of mm)	
Punch : Distance between opposite sides	W 50
Profile radius	r <sub>p</sub> = 3
corner radius	r <sub>1</sub> = 5
Die : Distance between opposite sides	W = 52.4
profile radius	r <sub>d</sub> = 3
corner radius	r <sub>2</sub> = 6.2
Corner angle of = 0° (square), 6.5°, 13°, 19.5°, 26.5° (tri-angle)	
Clearance between punch and die	= 1.2
Lubricant	(on Die) Grease
Blank	
Material :	SS41 Mild Steel Sheets
Nominal thickness	0.8
Shape :	h-uni bl., G-bl.
Diagonal direction	0° to R.D
The interval of drawing ratio $\beta$	= 0.1
Blank-holding force = Siebel's semi-theoretical value calculated by substituting $\beta$ as drawing ratio into the formula.	
Punch speed   2 mm/sec	Temperature   10°C

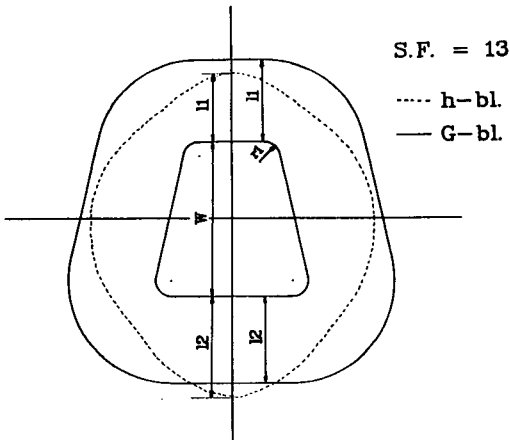


Fig. 7 Dimension of h-bl. and G-bl.

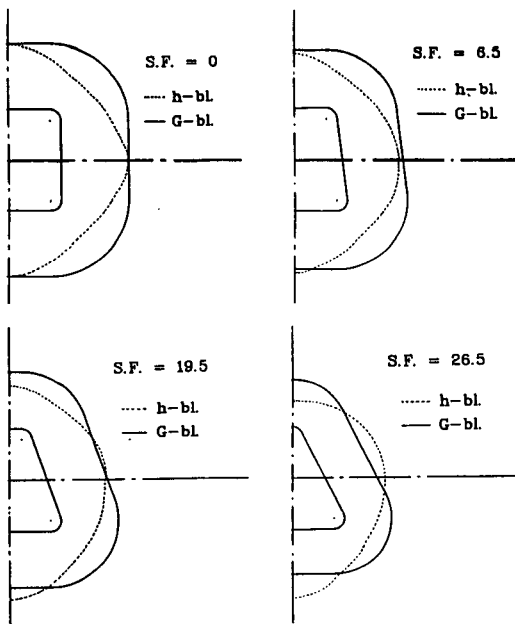


Fig. 8 Comparison of h-bl. and G-bl. for the different shape factors when D.R. is same

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 한계성형비

한계성형비 (limiting drawing ratio)는 앞서의 성형비 (D.R.)의 최대값을 의미한다. Fig. 9는 두 소재형상의 임의의 형상계수에 대한 한계성형비를 보여준다. 전반적으로 h-bl.이 우월함을 알 수 있고, 이는 소재형상으로서 h-bl.을 선택할 경우 G-bl.보다 높

가 높은 컵을 얻을 수 있음을 암시하며, 이는 Fig. 10에서 더욱 명확히 알 수 있다.

Fig. 10은 성형된 컵의 유효높이를 보여준다. 유효높이란 성형된 컵의 최저 높이이다. 즉, 컵이 사용될 때는 일반적으로 균일한 높이로 사용되는 경우가 대부분이므로 이를 위하여 최저 높이보다 높은 부위는 모두 잘려 나가는 것으로 간주할 수 있다.

h-bl.이 전반적으로 G-bl.보다 유효높이에 있어서 우월하다는 것을 알 수 있으며, 임의의 형상계수에 대하여 최대한 얻을 수 있는 유효높이를 각 소재형상

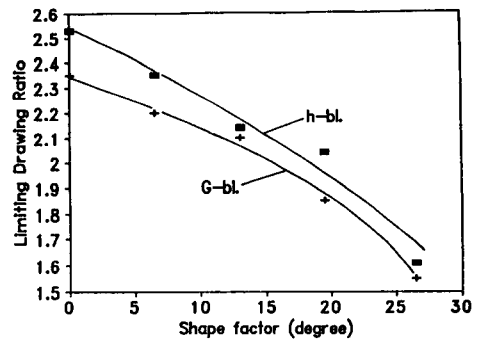


Fig. 9 Comparison of L.D.R. between h-bl. and G-bl.

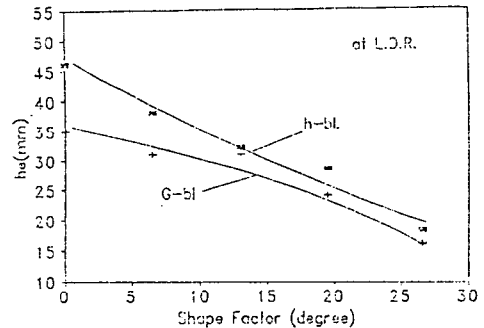


Fig. 10 Comparison of effective cup height at L.D.R. for h-bl. and G-bl.

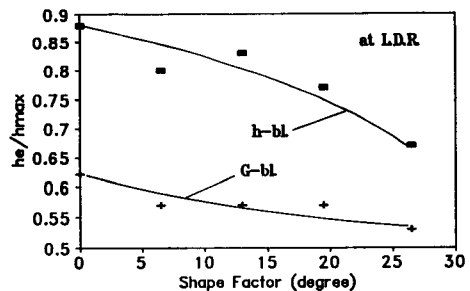


Fig. 11 Comparison of  $h_e/h_{max}$  for h-bl. and G-bl.

에 대하여 보여주고 있다. 여기서 한가지 더욱 주목할 만한 것은 성형된 컵의 등고성(等高性)이다. 이는 성형된 컵의 최대높이에 대한 최저높이(유효높이)의 비를 표시한다. Fig. 11은 임의의 형상비에 대하여 두가지 소재형상에서 얻어질 수 있는 최대 및 최소컵 높이의 비를 보여준다. 이 값이 1(one)이라면 가장 이상적인 경우로써 높이 분포가 완전히 균일한 컵이 되는 것을 의미하나 실제로 이렇게 되기는 매우 어렵다. 이러한 등고성에 있어서 h-bl.은 G-bl.보다 매우 우월하다는 것을 알 수 있다. 이러한 상황은 Photo. 1, 2의 실물사진에서도 잘 알 수 있다.

4.2 성형된 컵의 두께분포

성형된 컵의 전반적인 두께분포나 특히 한계성형비로 성형된 컵의 두께분포를 고찰하면 h-bl.과 G-bl.로 성형된 제품의 견고성이 판별될 수 있다. 전체적으로 최소 두께인 부위는 단면의 직선부위보다는 모서리 반지름 부위에 있었으며 그 예로써 Fig. 12를 들 수 있다. 형상계수가 26.5인 h-bl.로 한계성형비로 성형된 컵의 두께분포를 각 방향으로 측정해 보았다. 단면의 직선부위보다는 모서리부분이, 또 단면의 저변 모서리보다는 상변모서리 부분이 두께감소가 더욱 심하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 이 부위가

파단부위이기도 하다. 이러한 현상은 Photo. 3과 같은 파단된 부위를 관찰함으로써도 확인될 수 있었다. 두가지 소재 형상으로 성형된 컵의 모든 경우의 두께분포를 나열할 수는 없으므로 예로서 형상계수 13인 경우의 h-bl.과 G-bl.에 대한 한계성형비로 성형된 컵의 두께분포를 Fig. 13, 14, 15에서 고찰하고자 한다. 도면에서와 같이 세가지 방향으로 단면 중심에서부터 떨어진 거리에 따른 두께분포를 비교해 보면, 위선 h-bl.이 G-bl.보다 전반적인 두께감소가 더 적

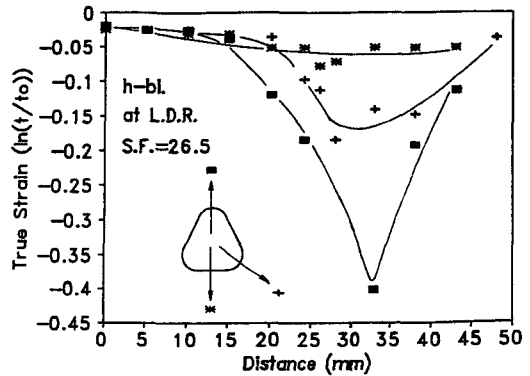
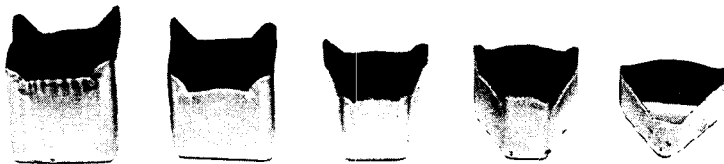
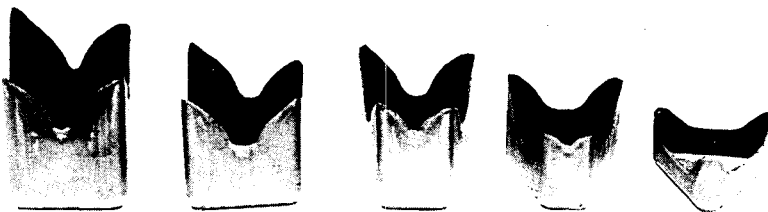


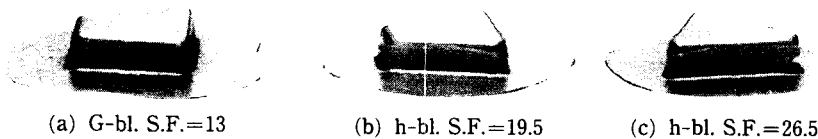
Fig. 12 Comparison of thickness distributions of drawn cup(S.F.=26.5) at L.D.R. for three directions



Phot. 1 Example of drawn cups for h-bl. with different shape factors



Phot. 2 Example of drawn cups for G-bl. with different shape factors



Phot. 3 Examples of fractured cups



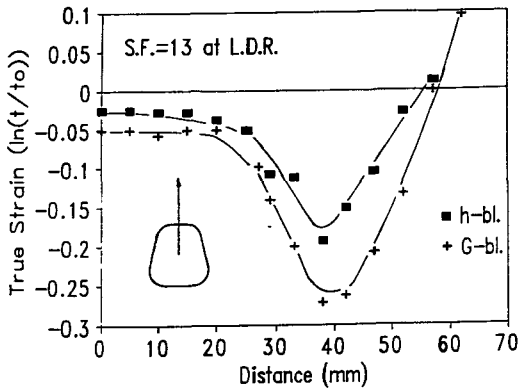


Fig. 13 Comparison of thickness distributions(to transverse direction) of drawn cups at L.D.R. for h-bl. and G-bl. when S.F.=13

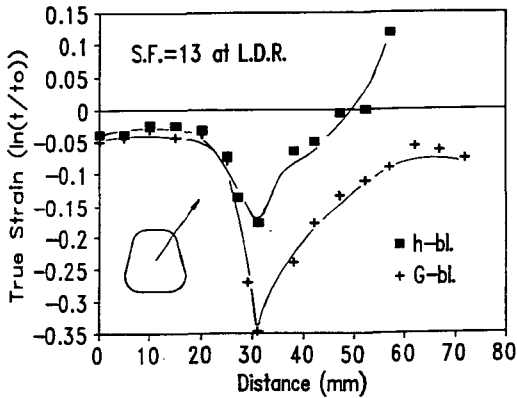


Fig. 14 Comparison of thickness distributions(to diagonal direction) of drawn cups at L.D.R. for h-bl. and G-bl. when S.F.=13

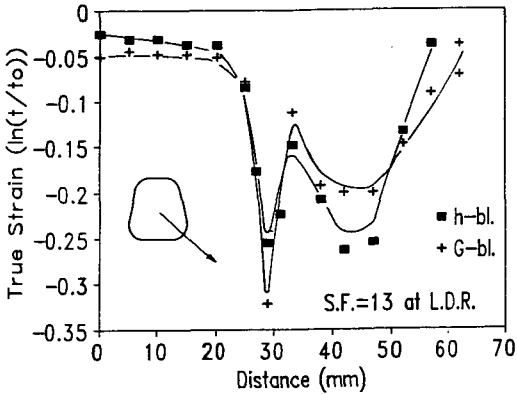


Fig. 15 Comparison of thickness distributions(to diagonal direction) of drawn cups at L.D.R. for h-bl. and G-bl. when S.F.=13

다는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 최저두께에 있어서도 h-bl.이 두께감소가 더 적음을 볼 수 있다. 이는 h-bl.이 성형과정에서 보다 무리가 없는 원만한 재료유동이 이루어 진다는 것을 짐작할 수 있게 한다.

4.3 소요성형력

성형비를 다양하게 변화시키면서 모든 형상계수의 단면에 대하여 소요성형력을 고찰하였다.

Fig. 16은 형상계수 6.5인 경우로써  $P_{max}$ 은 파단되지 않고 성형되는 경우의 최대 성형력을 표시하며,  $P_{cr}$ 은 성형도중 파단이 되는 경우이다. 즉, 흰색 표기점에 해당되는 성형비의 최대치가 한계성형비가 된다. 한계성형비 이후로도 계속 소재를 크게할 경우 하중변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 또 같은 성형비에 있어서 소요성형력이 h-bl.의 경우가 G-bl.보다 훨씬 적음을 알 수 있다. 이러한 현상은 두께분포에서와 마찬가지로 소재형상 전반에 걸쳐 h-bl.이 성

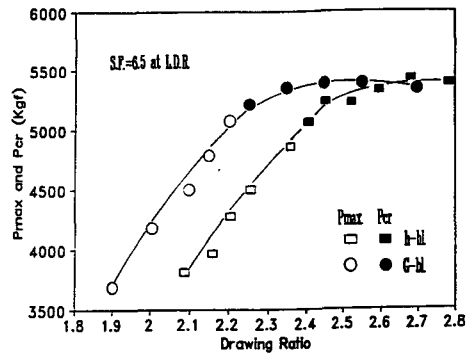


Fig. 16 Comparison of  $P_{max}$  and  $P_{cr}$  for h-bl. and G-bl. when S.F.=6.5

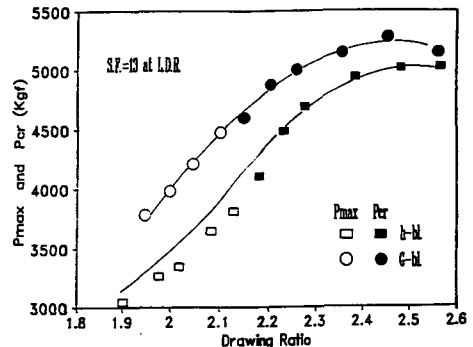


Fig. 17 Comparison of  $P_{max}$  and  $P_{cr}$  for h-bl. and G-bl. when S.F.=13

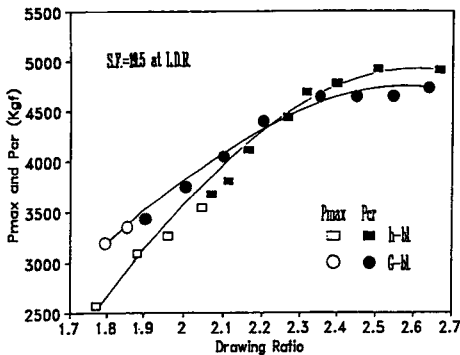


Fig. 18 Comparison of  $P_{max}$  and  $P_{cr}$  for h-bl. and G-bl. when S.F.=19.5

형도중 재료의 유동이 보다 원활함을 재확인할 수 있는 결과라 할 수 있다. 이러한 현상은 모든 단면형상에 대하여 흡사하나, 한계성형비 이상으로 계속 소재를 크게 하여 갈때의 소요성형력의 양상은 단면형상에 따라 다소 차이가 있었다. 즉, Fig. 17과 같이 형상계수 13인 경우는 성형비를 증가함에 따라 소요하중이 계속 증가하는 현상을 볼 수 있었으며 이 크기가 형상계수 19.5에 가서는 Fig. 18과 같이 h-bl.의 파단하중이 더 크게 되는 경우가 나타남을 알 수 있었다. 이와 같은 성형력에 대한 변화양상은 형상계수 0(zero)인 경우는 6.5인 경우와 유사했고 형상계수 26.5인 경우는 19.5인 경우와 유사하였다.

## 5. 결 론

단면형상이 볼록형(凸형)인 임의의 단면 성형을 고찰하고자, 정사각형에서 두 맞변을 같은 경사각으로 경사시킨 다섯가지의 단면형상을 대상으로 하고, 이에 대한 소재형상으로는 미끄럼선장법으로 구한 소재를 h-bl., 단면과 상사형으로 구한 소재를 G-bl.이라 하여 모든 경우에 대한 성형가공을 수행하여 성형성을 종합적으로 비교 고찰하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) h-bl.을 사용함으로써 G-bl.의 경우보다 더 균일한 컵 높이를 얻을 수 있으며, 더 큰 유효컵높이와 한계성형비를 얻을 수 있다.

(2) h-bl.로 성형된 컵은 G-bl.의 경우보다 전반적으로 더 적은 두께 감소를 일으키며, 따라서 성형된 컵의 견고성에 있어서도 더 우월하다.

(3) 소요성형력에 있어서도 h-bl.의 경우는 같은

성형비에 대하여 G-bl.보다 더 적은 성형력으로 성형이 되며 이는 재료의 유동에 있어서 h-bl.의 경우가 무리가 적음을 보여준다.

## 후 기

본 연구는 1991년도 한국학술진흥재단의 연구지원에 의하여 이루어졌으며, 지원하여 주신데 대하여 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Kawai, N., Mori, T., Hayashi, H. and Kondoh, F., 1987, "Effect of Punch Cross-Section on Deep-Drawability of Square Shell of Aluminum Sheet," Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 109, November, pp. 355~361.
- (2) 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.
- (3) 神馬敬, 1970, "凸多角筒體の深絞り加工の研究," 塑性と加工, Vol. 11, No. 116, pp. 653~660.
- (4) Hasek, V. V., Lange, K., 1979, "Use of Slip-Line Method in Deep Drawing of Large Irregular Shaped Components," NAMRC, Vol. 7, pp. 65~71.
- (5) 森敬彦, 河合望, 丸茂康男, 千賀雅明, 1987, "工業用純アルミニウム薄板の正四角筒深絞り性," 日本機械學會論文集(C編), Vol. 53, No. 487, pp. 771~779.
- (6) Toh, C. H. and Shiro Kobayashi, 1985, "Deformation Analysis and Blank Design in Square Cup Drawing," International Journal of Machine Tool Design and Research, Vol. 25, No. 1, pp. 15~32.
- (7) Hsu, T. C. and Lee, S. Y., 1977, "On the Drawability of Sheet Metal in Noncircular Cups," Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry, August pp. 615~619.
- (8) Gopinathan, V., 1977, "Optimum Blank Profile Determination for Rectangular Deep Drawing," Indian Journal of Technology, Vol. 15, August pp.

330~333.

(9) 桑原利彦, 神馬敬, 木田毅, 1989, “角筒容器多  
段紋り金形の自動設計” Journal of the JSTP,  
Vol. 30, No. 337, pp. 277~233.

(10) 井關聯日出男, 1989, “深紋りの最適ブランク  
形状の決定法,” J. of the JSTP, Vol. 30, No. 337,  
pp 181~186.