

모서리가 예각과 둔각인 사각용기의 성형성에 관한 연구*

김진무
기계공학부

<요약>

사다리꼴용기와 정사각용기의 깊이를 45mm까지 성형하였다. 용기의 코너플랜지의 변위와 변형률을 FEM과 실험을 병행하여 해석하였다. 사다리꼴용기의 코너플랜지에서 변형률을 정사각용기의 코너플랜지에서 변형률과 비교·검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다. (1) 코너플랜지에 전단변형률이 발생하여서 변형률의 크기를 비교하기 위해서는 유효변형률을 사용하는 것이 필요하다. (2) 코너각이 72° 인 사다리꼴의 긴변을 포함한 코너플랜지의 유효변형률의 평균값은 정사각용기의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값과 거의 같았다. (3) 코너각이 108° 인 사다리꼴의 짧은 변을 포함한 코너플랜지의 유효변형률의 평균값은 정사각용기의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값보다 작았다.

A Study on the Forming of Quadrangular Cups with the Acute and Obtuse Corner Angles

Kim Jin-Moo
Dept. of Mechanical Engineering

<Abstract>

Trapezoid cups and square ones have been deep-drawn to 45mm in depth. Displacements and strains have been analysed respectively by FEM and experiment. Strains and effective strains in the corner flanges of trapezoid cups have been compared with those in square cups.

* 본 연구는 1997년도 울산대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

The results have shown that because of shear strains in the corner flange, it is necessary to adopt effective strain for comparing of strains, the mean value of effective strains in the corner flange with the corner angle of 72° des is nearly equal to those with the corner of a right angle and the mean value of effective strains with the corner angle of 102° is smaller than those with the corner of a right angle.

1. 서 론

금속박판의 디프 드로잉(deep drawing)분야에서 축대칭형상의 용기성형에 관해서는 이론과 실험의 양면으로 많은 연구가 이루어졌고, 비축대칭형상의 용기성형에 관해서는 주로 정사각용기의 성형에 관한 연구가 계속 진행중에 있다.^{[1],[2]}

그러나 실제 프레스제품의 형상은 복잡하고 다양해서 축대칭형상 및 정사각형용기의 성형에서 얻은 결과를 실제 성형에 어떻게 적용할 것이며, 새로운 어떤 인자가 어떻게 영향을 미칠 것인가에 대해서 역시 분명하지 않다. 성형이 비축대칭일 때는 축대칭인 경우와는 달리 성형윤곽의 위치에 따라 변형상태가 다르고 재료의 유동이 구심적이 아니다. 그로 인해 펀치어깨에 하중을 부담하는 부분에서 파단균열이 발생하게 될 때에 인접부분으로부터 억제작용을 받는 것과 같은 효과가 나타나고, 플랜지의 변형저항부에서는 둘레방향으로 재료의 이동이 발생하여 변형의 완화가 일어난다.^{[3]-[5]} 이와같은 현상들은 성형성에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그렇지만 정사각형용기의 성형이외에 비축대칭형상의 용기성형에 관해서 이런 현상들에 대한 연구는 활발하지 못한 것 같다.^{[6],[7]}

본 연구에서는 실제 프레스제품의 형상에 근접하기 위해서 용기의 코너각이 90° 가 아닌 예각과 둔각일 때 용기의 플랜지에서 재료의 유동과 변형특성이 용기의 성형성에 미치는 영향을 고찰하였다. 이를 위해서 FEM해석과 사각용기의 성형시험을 병행하여 플랜지 상에서 재료의 이동과 변형에 관한 결과를 코너각을 제외한 나머지 성형조건이 같은 정사각용기의 코너플랜지와 코너반경과 동일한 원형용기의플랜지에서 재료의 이동과 변형에 관한 결과와 비교·검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 프레스(side frame type, PDH-250-100, 복동, 250ton, 120ton, 동성개발)에 펀치, 다이, 블랭크홀더, 펀치력과 블랭크홀더력을 측정하는 2개의 load cell 등으로 구성되어 있다.

실험에 사용한 금형단면의 형상은 코너각이 예각과 둔각이 되도록 등변사다리꼴단면으로 하였고 형상계수(shape factor, 코너반경/변의 길이)는 성형깊이를 비교적 크게 할 수 있는 0.15를 선택하였다. 형상계수의 영향을 고찰하기 위해서 사다리꼴단면에서 짧은 변의 코너반경만을 15mm에서 30mm로 변화시켰고, 코너각의 영향을 비교하기 위해서 한변의 길이

가 사다리꼴단면의 긴변과 짧은 변의 길이와 동일한 정사각형 금형을 2세트 사용하였으며 금형의 표면은 모두 크롬도금을 하였다. 실험에 사용한 금형의 중요치수는 Table 1과 같다. 펀치와 다이의 어깨반경은 각각 10mm(판두께 t_0 의 약12배)와 12mm(약14 t_0)이고 틈새는 1.4mm(약1.6 t_0)이다.

Table 1 Shapes and dimensions of dies

shape	corner radius(mm)	corner angle(°)	dimensions(mm)
trapezoid(I)	30, 15	72, 108	See Fig. 1.
trapezoid(II)	30, 30	72, 108	
square(I)	30	90	200
square(II)	15	90	105

Table 2 Mechanical prorerties of material

material	tensile strength	elongation	hardening coefficient(n)	mean R-value
SPCC	36kgf/mm ²	37%	0.26	1.73

2.2 실험조건

시험에 사용한 재료는 두께가 0.85mm인 SPCC판재이고 소재의 기계적 성질은 Table 2와 같다. 판재의 표면은 포토에칭 후 세척하고 윤활은 하지 않았으며 블랭크홀더압력은 0.35 kgf/mm² 로 하였다. Fig.1은 사다리꼴 단면 다이의 형상과 치수를 나타낸 것으로 긴변과 짧은 변의 코너각은 72° 와 108° 이고 코너반경은 30mm와 15mm이다.

2.3 실험방법

시험편의 형상은 다이구멍의 윤곽과 상사형이고 블랭크는 압연방향이 대칭축과 평행하도록 놓고 성형하였다. 블랭크에는 다이윤곽이 직선인 부분은 5mm간격의 정사각형격자를 포토에칭하여 새겨 넣었고 모서리부분은 원호와 방사선으로 이루어진 무늬를 포토에칭하였다. 포토에칭된 시험편으로 25mm, 35mm, 45mm 등의 길이로 용기를 성형하면서 재료의 이동과 변형상태를 고찰하였다. Fig.2는 깊이를 45mm로 성형한 사각용기의 형상이다. 코너각의 영향을 고찰하기 위해서 긴변과 짧은 변의 길이와 동일한 정사각용기를 사다리꼴단면 용기와 같은 조건으로 성형하였고 형상계수의 영향을 검토하기 위해서 사다리꼴용기의 짧은 변의 코너반경만 각각 15mm와 30mm로 다른 금형을 사용하였다.

3. 해석결과 및 고찰

본 연구의 FEM해석에는 판재성형해석 전용프로그램인 PAM-STAMP를 사용하였고, Fig.3은 FEM해석에 의해 변형된 사다리꼴용기와 요소의 형상을 나타낸 그림이다. 성형된 용기는 좌우대칭이므로 1/2를 대상으로 고찰하였고, 요소(element)와 절점(node)은 각각 4300개와 4551개이며, 마찰계수는 0.05이다.

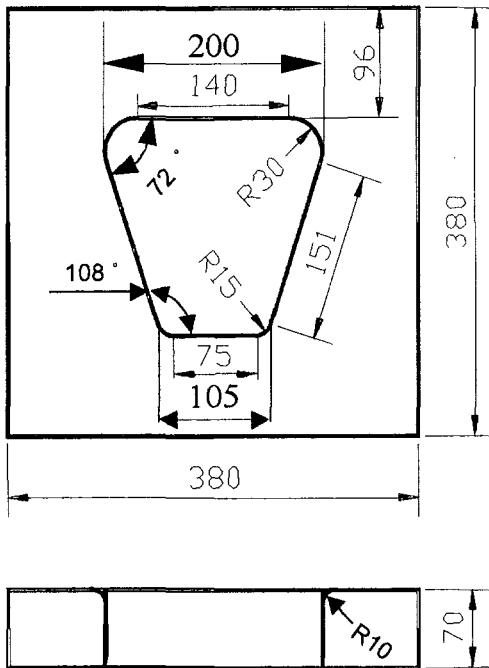


Fig.1 Shape and dimension of die for trapezoid(I)

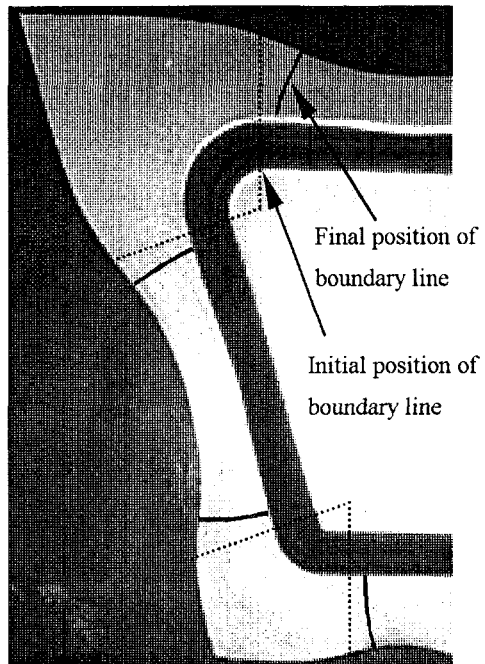


Fig.2 Shape of a deep-drawn trapezoid cup(45mm in depth)

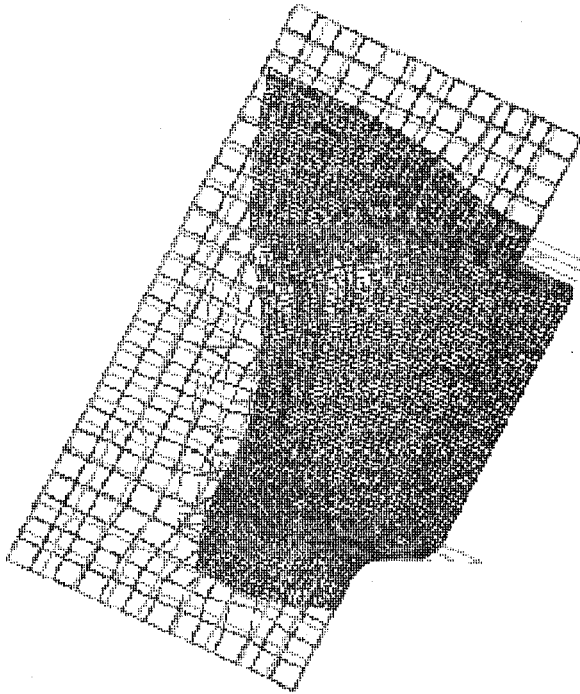
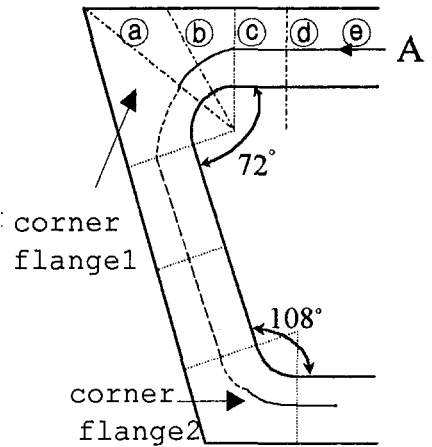


Fig.3 Deformed mesh for the trapezoid cup



- Ⓐ : centerline of corner flange
- Ⓑ : middle line(1)
- Ⓒ : boundary line
- Ⓓ : middle line(2)
- Ⓔ : centerline of side flange

Fig.4 Shape of measured region in trapezoidal cup

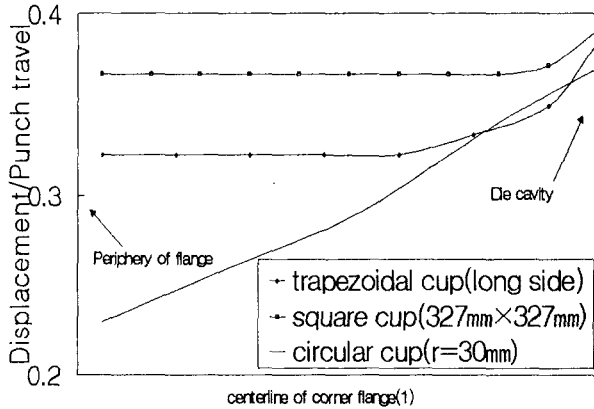
Fig.4는 성형된 사다리꼴용기의 긴변과 짧은변플랜지에서 각각 변위의 측정위치인 코너플랜지의 중심선(Ⓐ), 코너플랜지와 직변플랜지와의 경계인 경계선(Ⓒ), 직변플랜지의 중심선(Ⓔ) 등을 나타낸 그림이다. 변위는 펀치의 하강거리로 나누어서 변위비로 나타내었다. 성형후 코너각이 작은 코너플랜지1의 모서리는 이동이 거의 없었으나 코너각이 큰 코너플랜지2의 모서리는 빗변측으로 약간(2.0°) 이동하였으며, 플랜지의 대부분에서 두께변화는 거의 없었다. 코너플랜지에서 변위와 변형률의 변화를 검토하기 위해서 용기의 코너반경과 반경이 같고 다른 성형조건은 동일한 원형용기(이하 상당원형용기라고 부른다.)를 선정하여 상당원형용기는 해석하고 있는 성형조건에서 파단은 일어나지 않는 것으로 가정하였다.

변위비와 변형률의 기본적인 해석에는 주로 성형깊이가 45mm인 최종성형에 관한 자료를 활용하였고 플랜지의 둘레를 따른 변형률은 플랜지의 변형률을 대표할 수 있다고 생각되는 플랜지중앙선(그림4의 A)에서의 변형률을 사용하였다.

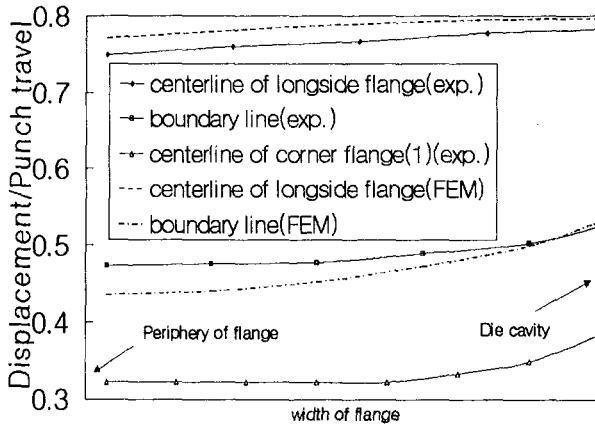
3.1 긴변플랜지상의 변위비와 변형률

사다리꼴용기의 긴변과 비교하기 위한 정사각용기의 형상계수는 사다리꼴용기의 긴변측과 같이 0.15이고 드로잉비는 1.66이며 상당원형용기의 드로잉비는 3.12이다.

Fig.5(a)는 용기의 깊이를 45mm로 성형하였을 때 코너플랜지1의 중심선이 다이윤곽에 수직하게 다이구멍을 향해서 유동한 변위(유입변위)를 펀치가 단계별로 하강한 거리로 나누어 변위비로 나타낸 그림이다. 변위비를 비교하기 위해서 코너각만 다르고 다른 성형조건은 같은 정사각용기의 코너플랜지 중심선에서 변위비와 상당원형용기의 플랜지에서 반경방향의 변위비를 계산한 것도 같은 그림에 나타냈다. 그림으로부터 정사각용기와 사다리꼴용기의 변위비가 상당원통보다 크고 코너각이 작은 사다리꼴용기의 변위비가 정사각용기측



(a) on centerlines of corner flange



(b) in trapezoidal cup

Fig.5 Displacements normal to die cavity(45mm in depth, DR:1.66, SF:0.15)

보다 조금 작다. 사다리꼴용기와 정사각용기의 변위비는 코너플랜지의 중심선에서 다이입구부근을 제외하면 거의 변위비의 차이가 없는데 이것은 다이입구부근을 제외한 대부분에서 반경방향과 접선방향으로 변형이 거의 일어나지 않고 있음을 의미한다.

Fig.5(b)는 코너플랜지1의 중심선, 경계선 및 직변플랜지의 중심선에서 다이구멍으로 유입하는 유입변위비를 나타낸 그림이다. 직변플랜지에서 유입방향의 큰 변위로 인해서 상당 원형용기의 변위비보다 경계선과 코너플랜지의 중심선에서 변위비가 증가하였으며 그로 인해서 경계선부근의 코너플랜지에는 둘레방향으로 재료의 이동이 발생하여 다이구멍에 접선방향으로 압축변형이 경감되고 또한 경계선과 코너플랜지의 변위비 차이로 경계선부근만이 아니고 코너플랜지의 전체에 전단변형이 발생할 것으로 예측된다.

Fig.6은 사다리꼴용기와 정사각용기의 코너플랜지에서 경계선을 지나서 직변플랜지로 재료가 이동하는 변위 중 다이구멍에 평행한 접선성분을 역시 펀치의 하강거리로 나누어 변위비(접선변위비)로 나타낸 것이다. FEM해석의 결과에는 사다리꼴용기의 접선변위비가 정사각용기측보다 플랜지끝부분을 제외하면 크기가 거의 비슷하지만 실험결과에는 사다리꼴용기의 변위비가 정사각용기측보다 조금 큰 값을 나타내는데 이것은 정사각용기의 코너플랜지보다 사다리꼴용기의 코너플랜지영역이 크기 때문이다.

이상의 변위비에 관한 결과로부터 사다리꼴용기의 경계선부근을 포함한 코너플랜지1에서 유입변위비는 정사각용기측보다 작고 사다리꼴용기의 경계선에서 직변플랜지측으로 접선변위비가 정사각용기측보다 큰 것은 코너각이 작아서 코너플랜지가 크기 때문이며 이로 인해서 전단변형이 크게 발생할 것으로 생각한다.

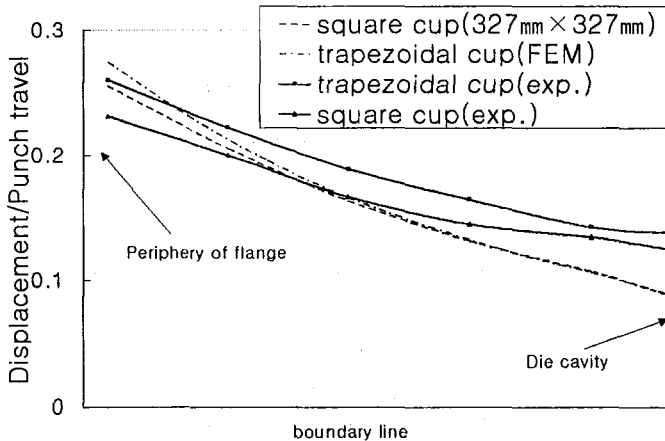
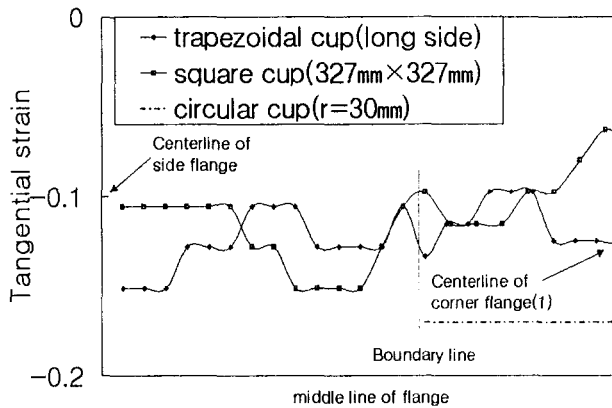
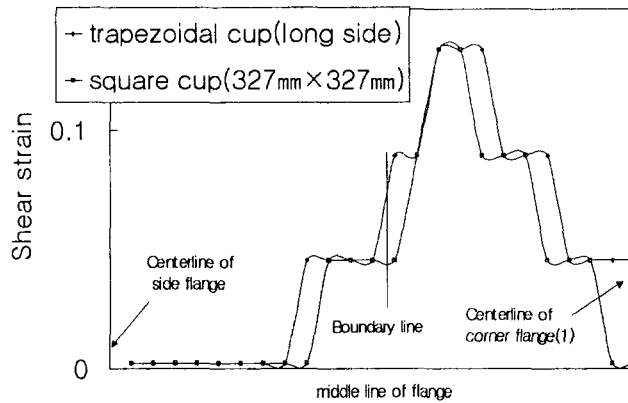


Fig.6 Tangential displacements on boundary lines (45mm in depth, DR:1.66, SF:0.15)



(a) tangential strains



(b) shear strains

Fig.7 Strains on the middle line of flange(45mm in depth, DR:1.66, SF:0.15)

Fig.7(a)는 용기를 깊이 45mm로 성형한 후 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지의 중간선을 따라 다이구멍에 접선방향으로 측정된 변형(접선변형률)과 역시 플랜지의 중간선을 따라 상당원형용기의 접선변형률을 나타낸 것이다. 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지에서 접선변형률의 절대값은 상당원형용기측보다 작았고 직변플랜지에는 코너플랜지보다 더 큰 접선변형률이 발생하였다. 이 결과로부터 용기를 성형할 때 사다리꼴용기와 정사각용기의 코너플랜지중에서 주로 경계선측에 있는 재료가 변형저항이 비교적 작은 직변플랜지측으로 재료의 이동이 일어나고 이어서 양측플랜지에서 힘의 평형을 유지하기 위해서 코너플랜지의 중앙부측으로도 어느 정도 둘레방향으로 압축변형이 일어남을 알 수 있다. 그러나 상당원형용기의 접선변형률보다 상당히 작다는 것에서 코너플랜지에서 접선변형률이 많이 완화된다는 것도 알 수 있다. 사다리꼴용기의 코너플랜지1에서 접선변형률의 절대값이 정사각형용기보다 작은 것은 사다리꼴용기의 긴변에서 코너각이 72° 로 정사각용기보다 작아서 코너플랜지의 영역이 길고 크며 직변플랜지에 대한 상대적인 변형저항이 큰 것으로 인한 결과라고 생각한다.

Fig.7(b)는 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지에 발생한 전단변형률을 나타낸 것으로 주로 경계선에서 코너플랜지측으로 많이 발생하였다. 사다리꼴용기의 코너플랜지1에서 전단변형률이 정사각용기측보다 조금 크고 코너플랜지1의 중심선부근까지도 발생하였다. 이것은 코너플랜지와 직변플랜지 사이의 변위 차이로 코너플랜지의 재료가 직변플랜지로 이동하여 코너플랜지의 변위 비가 어느 정도는 커진다. 또한 코너각이 작은 사다리꼴 용기의 코너플랜지의 영역이 정사각용기측보다 커서 변형저항이 크므로 코너플랜지1의 변위비가 정사각용기측보다는 작아져서 코너플랜지의 변위와 직변플랜지의 변위와의 차이가 커지기 때문이다. 현재까지 연구보고된 결과^{[3],[4]}에 의하면 정사각용기를 성형할 때 전단변형은 경계선부근에만 발생하는 것으로 되어 있으나 본 연구에 의하면 정사각용기를 포함한 비축대칭용기를 성형할 때 전단변형은 코너플랜지의 전체에 상당한 크기로 발생함을 알 수 있다. Fig.7에서 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지에는 상당 원형용기의 플랜지에서보다 접선변형률의 절대값은 감소하지만 상당히 큰 전단변형률이 발생하여 실질적인 변형률의 변화를 비교하는데는 유효변형률의 도입이 필요하다. 코너플랜지의 모서리 부분을 제외하고 코너플랜지에 발생한 유효변형률의 평균값을 FEM해석으로 얻은 결과를 용기의 성형깊이에 따라 나타낸 것이 Fig.8이다. 그림에서 사다리꼴용기의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값이 정사각용기측보다 성형깊이의 증가에 따라 0.01정도 커지다가 성형이 종료될 때에는 0.01정도 작아지지만 전체적으로는 거의 비슷한 크기를 나타내고 있다. 이것은 직변플랜지에 대한 코너플랜지의 상대적인 크기에서 두 경우에 큰 차이가 없어서 경계선을 포함한 코너플랜지와 직변플랜지와 변위비 차이가 크게 발생하지 않은 것 때문으로 생각한다.

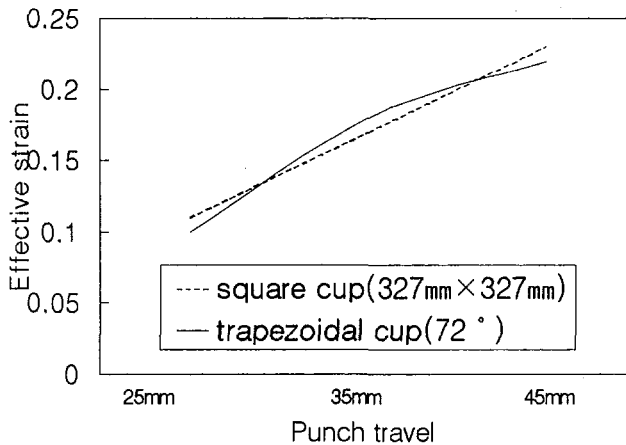


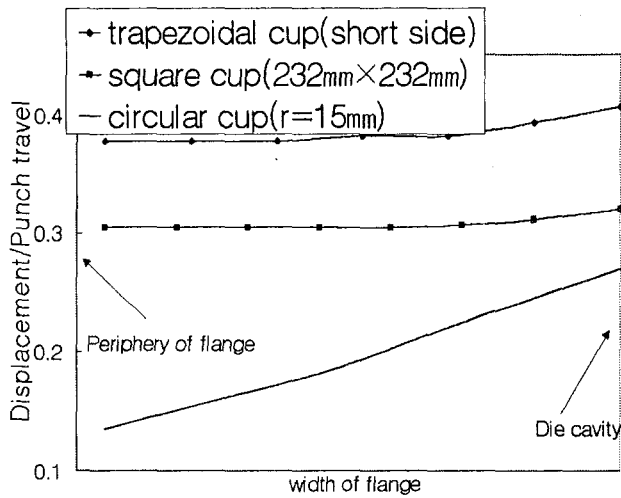
Fig.8 Variation of mean value of effective strains with respect to punch travel for corner angles(DR:1.66, SF:0.15)

3.2 짧은변의 플랜지상에서 변위비와 변형률

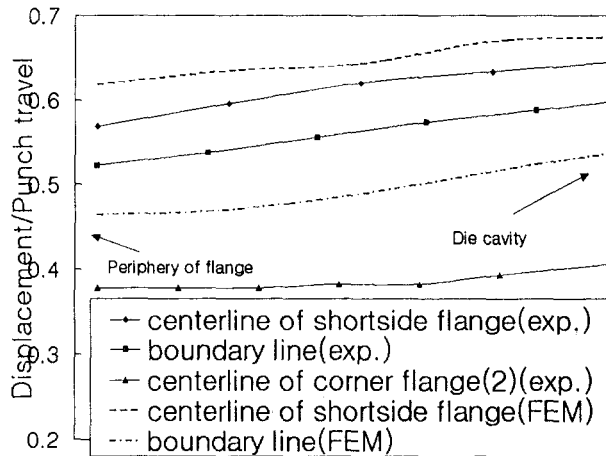
사다리꼴용기의 짧은 변과 비교하기 위한 정사각용기의 형상계수도 0.15로 사다리꼴용기의 짧은 변측과 같으며 드로잉비는 2.21이고 상당원형용기의 드로잉비는 5.23이다.

Fig.9(a)는 용기의 깊이를 45mm로 성형하였을 때 코너플랜지2의 중심선이 다이윤곽에 수직

하계 다이구멍을 향해서 유동한 변위(유입변위)를 편치가 단계별로 하강한 거리로 나눈 변위비를 나타낸 그림이다. 변위를 비교하기 위해서 코너각만 다르고 그 외의 조건은 같은 정사각용기의 코너플랜지 중심선의 변위비와 상당원통에서 플랜지의 반경상에 있는 점들이 반경방향으로 유동하는 변위비를 계산한 것도 같은 그림에 나타냈다. 그림으로부터 상당원형용기의 변위비보다 사다리꼴용기와 정사각용기의 변위비가 상당히 더 크고, 코너각이 작은 긴변측과는 반대로 코너각이 큰 사다리꼴용기의 짧은변측의 변위비가 정사각용기인 경우보다 크다, 이것은 코너플랜지2의 영역이 정사각용기측보다 작아서 직변플랜지의 큰 변위로 인한 영향으로 코너플랜지의 재료가 많이 직변플랜지측으로 이동하였기 때문으로 생각한다.



(a) on centerlines of corner flange



(b) in trapezoidal cup

Fig.9 Displacements normal to die cavity(45mm in depth, DR:2.2, SF:0.15)

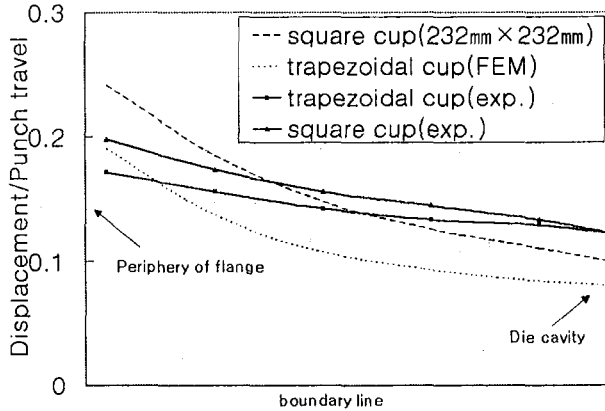
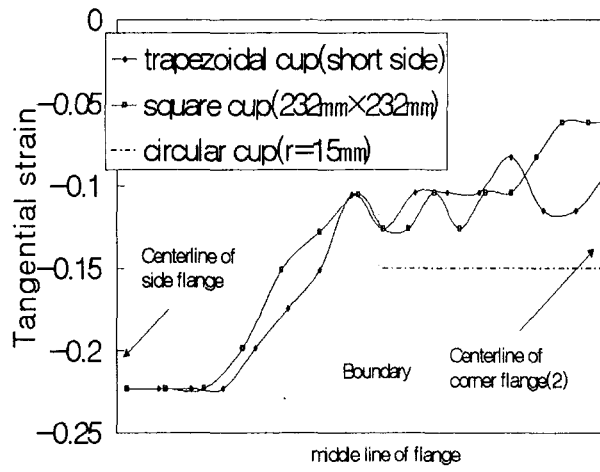


Fig.10 Tangential displacements on boundary lines (45mm in depth, DR:2.2, SF:0.15)

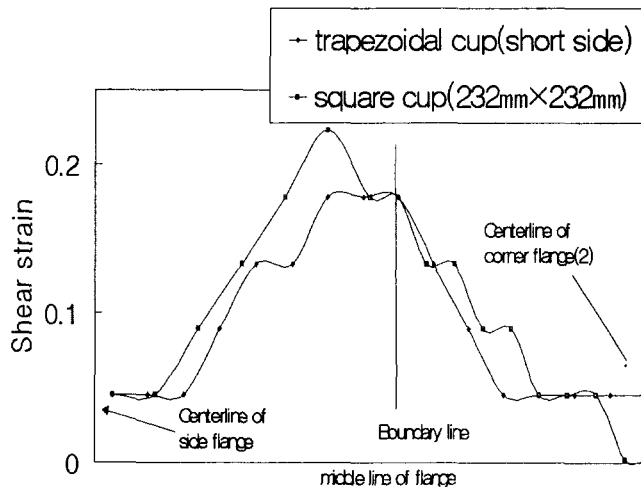
Fig.9(b)는 코너플랜지2의 중심선, 경계선 및 직변플랜지의 중심선에서 다이구멍으로 유입하는 변위비를 나타낸 그림이다. 긴변측과 비교하면 그림에서 코너플랜지의 변위비가 큰데 이것은 코너플랜지2의 영역이 직변플랜지측보다 상대적으로 작아서 직변플랜지의 큰 변위로 인한 영향이 긴변측보다 큰 것에 기인한 것이라고 생각한다.

Fig.10은 사다리꼴용기의 짧은변측과 정사각용기의 코너플랜지에서 경계선을 지나서 직변플랜지로 재료가 이동하는 접선변위를 변위비로 나타낸 것이다. 그림에서 사다리꼴용기의 접선변위비가 정사각용기측보다 조금 작은 것은 사다리꼴용기의 짧은변을 포함한 코너각이 90°보다 커서 코너플랜지의 영역이 작기 때문이다.

Fig.11(a)는 용기를 깊이 45mm로 성형한 후 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지의 중간선을 따라 접선변형률을 나타낸 것이다. 사다리꼴용기측의 접선변형률의 절대값이 코너플랜지의 중심선부근에서 정사각용기측보다 조금 큰데 이것은 코너플랜지가 작아서 직변플랜지와 힘의 평형을 유지하기 위한 영향이 더 큰 것에 기인한 것으로 생각한다. 또 직변플랜지에서 접선변형률이 더 많은 영역에 발생한 것은 같은 성형깊이에 대해서 코너플랜지가 작은 측이 더 많이 빠르게 코너플랜지에서 직변플랜지측으로 이동함을 나타낸 것이다.



(a) tangential strains



(b) shear strains

Fig.11 Strains on the middle line of flange(45mm in depth, DR:2.2, SF:0.15)

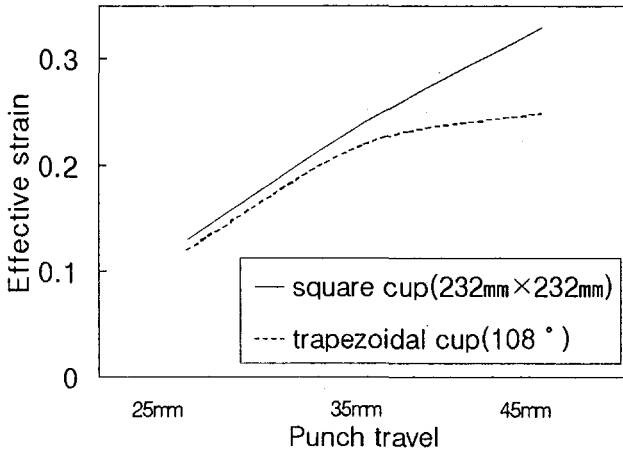


Fig.12 Variation of mean value of effective strains with respect to punch travel for corner angles(DR:2.2, SF:0.15)

Fig.11(b)는 사다리꼴용기와 정사각용기의 플랜지에 발생한 전단변형률을 나타낸 것으로 긴변측과는 다르게 직변플랜지측에서 더 많이 발생하였다. 이것은 짧은 변에서 실질적인 드로잉비가 2.21로 긴변의 드로잉비가 1.66인 것에 비하여 커서 직변플랜지의 중앙선부근으로 재료의 이동이 많이 일어난 것 때문이다. 사다리꼴용기의 코너플랜지에서 전단변형률은 정사각용기측의 전단변형률과 크기가 거의 비슷하고 직변플랜지에서는 조금 작다. 자료를 제시하지는 않았지만 다이입구부근에서 전단변형률은 사다리꼴용기의 코너각이 108°로 정사각용기측보다 코너각이 커서 재료가 다이구멍으로 유입이 원활하여 사다리꼴용기측이 조금 큰 값을 나타냈다.

Fig.12는 FEM해석으로 사다리꼴용기의 짧은변을 포함한 코너플랜지2와 정사각용기의 코너플랜지에 발생한 유효변형률의 평균값을 나타낸 그림이다. 그림에서 성형깊이가 증가하면 코너각이 큰 사다리꼴용기의 유효변형률의 평균값이 정사각용기측보다 0.02~0.08정도 작아지는데 이것은 코너각이 20%정도 커서 코너플랜지가 작은 것이 그 원인이라고 생각한다.

이상 변형률의 검토로부터 코너각이 정사각용기보다 20%정도 작은 사다리꼴용기의 코너플랜지1에서 유효변형률의 평균값은 정사각용기측과 비슷한 크기를 나타내었으나 코너각이 20%정도 큰 사다리꼴의 코너플랜지2에서 유효변형률의 평균값은 정사각용기측보다 성형깊이의 증가에 따라 뚜렷히 감소하는 경향을 나타냈다. 유효변형률의 평균값이 감소한다는 것은 용기의 코너부분을 성형하는데 편치의 하중분담이 작아지는 것이고 그로 인해서 드로잉비가 3.12와 5.23인 상당원형용기부분이 성형이 가능하다.

Fig.13은 사다리꼴용기의 긴변은 치수와 형상을 일정하게 하고 짧은변의 코너반경만 15mm와 30mm로 바꾸어 코너각이 108°인 경우에 형상계수를 0.15와 0.3으로 하였을 때 코너플랜지의 유효변형률의 평균값을 나타낸 그림으로 짧은변을 기준으로 드로잉비는 공히 2.21이다. 형상계수가 0.3으로 큰 측이 유효변형률의 평균값은 0.01~0.03정도 큰 값을 나타내고 있다. 이것은 코너플랜지의 변형률이완에 관한 영향을 형상계수에 따라 최대한게드 로잉비로 검토한 현재까지 보고된 연구결과^{[3]-[5]}와 평가하는 척도만 다르고 실질적으로 그 결과는 동일하다. 따라서 비축대칭인 다양한 형상의 성형에 코너플랜지의 변형률이완과 연계하

여 성형성을 동시에 평가하는데 유효변형률을 사용하는 것이 유용할 것으로 생각한다.

4. 결 론

1. 정사각용기와 사다리꼴용기를 포함한 비축대칭용기의 코너플랜지에 발생한 변형률을 상당원형용기의 플랜지에 발생한 변형률과 비교하면 접선변형률은 감소하지만 상당히 큰 전단변형률이 발생하여 접선변형률만으로 변형률의 이완을 판단할 수 없어서 유효 변형률을 도입하였다.
2. 코너각이 72° 인 사다리꼴용기의 긴변을 포함한 코너플랜지1에서 유효변형률의 평균 값과 코너각이 90° 인 정사각용기의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값과의 차이는 0.01정도로 큰 차이가 없었다.
3. 코너각이 108° 인 사다리꼴용기의 짧은변을 포함한 코너플랜지2에서 유효변형률의 평균 값은 코너각이 90° 인 정사각용기의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값보다 0.02~0.08 정도 작았다.
4. 코너각이 108° 일 때 형상계수가 0.15인 경우의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값이 형상계수가 0.3인 경우의 코너플랜지에서 유효변형률의 평균값보다 0.01~0.03정도 작았다.

참 고 문 헌

- [1] T.S.Hsu and Lee,S.Y., "On the Drawability of Sheet Metal in Noncircular Cups," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.99(1977, August), pp615~619.
- [2] 平巖, 近藤, "角筒絞りの 特性について," 機論 C 49-440(1983), pp695~703.
- [3] N.Kawai et al., "Effects of Punch Cross-Section on Deep-Drawability of Square Shell of Aluminum Sheet," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol.109(1987, November), pp355~361.
- [4] 河合 外 3人, "マルミニウム薄板の 正4角筒深絞り," 機論 C 52-484(1986), pp3317~3323.
- [5] 日本塑性加工學會 編, プレス絞り加工, コロナ社(1994), pp24~25.
- [6] T. Mizuno and Er D., "Experiment on Rectangular Cup Drawing of Sheet Metal," J. of JSTP, 38-435(1997), pp372~376.
- [7] T. Mizuno and Er D., "Deformation of Corner Region and Forming Limit in a Square Cup Drawing," J. of JSTP 38-440(1997), 844~846.