

## 레이디얼 압출과 연계된 후방압출의 소재유동과 표면확장

고병두\* · 최호준\* · 장동환\* · 황병복\*\*

(2003년 4월 14일 접수)

### Material Flow and Surface Expansion in Radial-Backward Extrusion

B. D. Ko, H. J. Choi, D. H. Jang, J. Y. Lim and B. B. Hwang

#### Abstract

The paper deals with an analysis of an extrusion process with a divided material flow in a combined radial - backward extrusion. The paper discusses the influences of tool geometry such as punch nose angle, relative gap height, die corner radius on material flow and surface expansion into can and flange region. To analyze the process, numerical simulations by the FEM and experiment, an Al alloy as a model material have been performed. Based on the results, the influence of design parameters on the distribution of divided material flow and surface expansion are obtained.

**Key Words** : Combined Extrusion , Surface Expansion, Radial-Backward Extrusion, Tool Geometry

#### 1. 서론

편치의 운동방향에 대하여 수직방향으로 소재의 유동이 일어나는 레이디얼압출(radial extrusion)은 복잡한 형상을 갖는 부품의 성형이나 공정수를 절감하기 위해 2 가지 방식을 동시에 혼용하는 복합압출(combined extrusion)의 형태로 사용하기도 한다. 레이디얼압출과 연계된 후방압출은 2 개 이상의 압출구를 통해 동시에 압출이 진행되기 때문에 단공정 압출에 비해 압출하중을 최소화 할 수 있으며 과도한

압출하중에 의한 금형의 수명저하를 방지할 수 있다.<sup>(1)</sup>

일반적으로 금속성형공정에서 표면확장(surface expansion)은 소재유동에 의하여 발생하며, 이러한 소재유동은 금형의 형상에 따라 다르게 나타난다.<sup>(2)</sup> 2 개 이상의 압출구를 갖는 복합압출에 있어 소재유동은 유동저항이 더 작은 방향으로 쉽게 이루어진다. 따라서 원하는 제품형상을 얻기 위해서는 어느 한 방향의 소재유동을 구속하는 금형형상이 필요하다.<sup>(3)</sup> 표면확장은 금형과 소재사이의 윤활성능에 큰 영향을 미치게 되며<sup>(4)</sup> 특히 국부적인 표면확장은 접촉면에서 금속마찰을 유발하여 유동소재 및 금형에 표면결함을 발생시킬 수 있다.

\* 인하대학교 자동화공학과 박사과정

\*\* 인하대학교 기계공학과

이와 관련한 연구로써 Kuzman<sup>(3)</sup>은 상하복합의 전후방압출에 있어 소재 및 다이형상과 마찰이 유동길이에 미치는 영향을 해석과 실험을 통해 연구하였다. Bennani<sup>(5)</sup>는 후방압출에서 펀치형상에 따른 성형형태와 표면확장이 윤활에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 레이디얼압출과 관련하여 다이형상과 마찰에 따른 성형특성에 대한 연구가 많이 수행되어왔다.<sup>(6-9)</sup>

본 논문에서는 레이디얼압출과 연계한 후방압출에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 금형의 형상이 유동길이와 표면확장에 미치는 영향을 분석하여 복합압출의 성형성을 향상시킬 수 있는 공정조건을 고찰하였다.

## 2. 유한요소해석 및 실험

### 2.1 유한요소해석

본 논문에서 성형실험에 사용된 소재는 상용 알루미늄합금인 AA3105 이다. Power law<sup>(10)</sup>에 의한 재료상수인 강도계수와 가공경화지수를 결정하기 위하여 압축실험을 하였다. 실험은 상온에서 수행하였으며, 그 결과는 다음 식과 같다.

$$\sigma = 28.6\epsilon^{0.17} \text{ (Kgf / mm}^2\text{)} \quad (1)$$

또한 금형과 소재의 마찰인자 값을 측정하기 위하여 링 압축실험<sup>(11)</sup>을 수행하였다. 시편은 외경이 30mm 로써 외경:내경:높이의 비가 각각 6:3:2 이다. 실험에 사용된 윤활제는 상용그리스에 MoS<sub>2</sub> 를 혼합하여 사용하였다. 이와 같은 링 압축실험으로부터 높이 감소율과 최소 내경변화율의 보정곡선을 비교하여 결정한 마찰인자 값(m)은 0.1 이다.

모의실험은 물성실험을 통해 얻어진 식 (1)의 조건과 마찰인자 값을 강소성 유한요소코드에 되어있는 ALPID<sup>(11)</sup>프로그램에 동일하게 적용하여 해석하였다.

### 2.2 압출실험

압출실험을 위하여 Fig. 1 과 같이 다이와 펀치를 제작하였다. 다이인서트와 펀치의 재료는 STD11 을 사용했으며 다이인서트의 강성을 위해 보강링을 사용하였다. 윤활제는 물성실험과 동일한 것을 사용하였고 실험에 사용된 소재는 직경이 32mm, 높이가 25mm 의 원통형상으로 선반가공 하였다. 압출실험은 50tonf 의 단동 유압프레스에서 수행하였으며, 프레

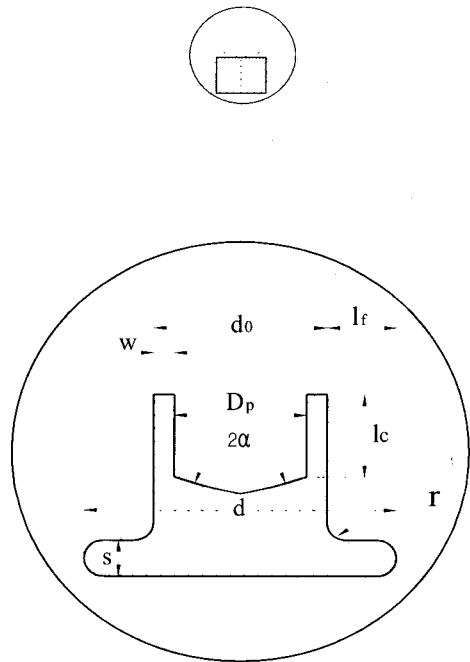


Fig. 1 Schematic illustration or the details of the tool Utilized in the experiment

Table 1 Parameters in experiment and simulation

Parameters	Values	
Friction Factor (m)	0.1	
Flange Gap (s)	2, 4, 6, 8 (mm)	
Gap Width (w)	4 (mm)	
Relative Gap Height (s/w)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0	
Die Corner Radius (r)	1, 3, 5 (mm)	
Punch Nose Angle (2α)	S*	140, 150, 160, 170 (°)
	E*	160 (°)
Punch Nose Diameter (Dp)	24 (mm)	

S\* : Simulation, E\* : Experiment

스 램의 속도는 1mm/sec 로 하였다. Fig. 1 의 상세도는 주요 설계변수를 보여주고 있다. 상세도에서 보듯이 펀치의 하강에 따라 상부 다이(container)와 하부 다이의 갭(s)을 통해 소재의 유동이 펀치의 방향과 수직인 레이디얼압출이 일어난다. 이와 동시에 펀치와 상부다이 사이의 갭(w)을 통해 소재가 위쪽으로 유동하면서 펀치의 운동방향과 소재의 유동방향이 서로 반대인 후방압출이 일어난다. 이러한 복합공정의 주요 설계변수는 플랜지부 갭(s), 다이코너반경(r), 후방압출부의 펀치노즈각도( $2\alpha$ ) 등<sup>(8)</sup>이며 table 1 에 그 값들이 나타나있다. 또한 복합압출에서 각각의 출구단면의 크기가 소재유동과 표면확장에 미치는 영향을 평가하기 위해 상대갭높이(s/w)를 주요변수로 선정하였다. 펀치의 코너반경은 2mm, 후방압출이 일어나는 펀치와 상부 다이사이의 갭 간격은 4mm 로 고정하였다. 압출실험에서 펀치노즈각도는 160°에서만 수행하였으며, 그밖에 실험에서 사용된 주요 설계변수와 마찰은 해석과 동일한 조건으로 수행하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 소재유동

복합압출공정은 각 압출구의 설계변수와 공정조건 차이로 인해 두 방향의 소재유동을 동시에 마치도록 하는 것이 거의 불가능하다. 일반적으로 한 방향의 소재유동을 다이에 의해 구속하여 필요한 치수로 성형한 후 다음의 압출구로 유동을 시키게 되며, 이로 인해 다이압력이 크게 증가된다.<sup>(13)</sup> 따라서 두 방향의 출구단면에서 소재유동에 균형을 갖도록 하는 균형의 형상이 요구된다.

Fig. 2 는 비교적 양방향의 압출길이가 동일한 펀치노즈각도 160°, 상대갭높이 2.0, 다이코너반경 3mm 일 때 공정에 따라 유동되는 압출시편의 단면을 시뮬레이션과 비교한 것이다. 시뮬레이션과 압출시편의 소재유동이 비교적 잘 일치하고 있다.

Fig. 2(a)는 행정초기 펀치노즈부의 성형을 보여주

고 있다. 펀치의 압하력에 의해 레이디얼의 갭을 통해 플랜지의 성형이 시작되고 있으나 캔의 성형은 이루어지지 않고 있다. Fig. 2(b)는 캔으로의 소재유동이 시작되며 행정길이는 3mm 이다. Fig. 2(c) 및 Fig. 2(d)의 공정이 진행됨에 따라 펀치노즈 끝부근의 유효변형률은 상대적으로 다이코너부분에 비해 작게 증가하고 있다. 압출부의 유동으로 인해 다이인서트와 접촉한 소재 원주면의 변형률이 매우 작게 나타나고 있으며 소재의 높이가 감소되고 있음을 알 수 있다. 펀치코너 부분에서의 유동저항에 의해 후방압출된 캔의 내벽과 외벽의 압출길이에 차이가 나타나고 있다.

본 논문에서는 두 방향의 소재유동(material flow in two direction)에 미치는 설계변수의 영향을 평가하기 위해 플랜지로 압출된 길이( $l_p$ )에 대한 캔으로 압출된 길이( $l_c$ )의 비( $l_c/l_p$ )를 분석하였다.

Fig. 3(a)는 펀치노즈각도 160°, 다이코너반경 3mm 일 때 압출된 길이에 대한 상대갭높이의 영향을 실험과 시뮬레이션을 통해 나타난 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 공정이 진행됨에 따라 상대갭높이 0.5 의 경우, 캔으로의 소재유동이 플랜지로의 소재유동보다 점점 커짐을 알 수 있다. 이에 비해 상대갭높이 1.0 이상에서 압출된 길이의 비는 비교적 일정하게 유지되고 있으며, 플랜지부 갭에 따른 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그림에서 실험과 시뮬레이션의 결과는 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다.

Fig. 3(b)는 상대갭높이 1.0, 다이코너반경 3mm 일 때 서로 다른 펀치각도에 대하여 행정거리에서 따른 각각의 압출길이 변화를 나타낸다. 펀치노즈각도가 클수록 펀치노즈부의 성형이 빠르게 이루어짐에 따라 캔으로의 소재유동이 더 짧은 행정거리에서 나타나고 있다. 동일한 행정거리에서 펀치노즈각도가 클수록 캔의 압출길이가 크게 나타나고 있으나 공정 후반으로 갈수록 차이가 줄어들고 있음을 알 수 있다. 펀치노즈각도 160°의 실험결과는 행정길이 7mm 에서 캔으로의 압

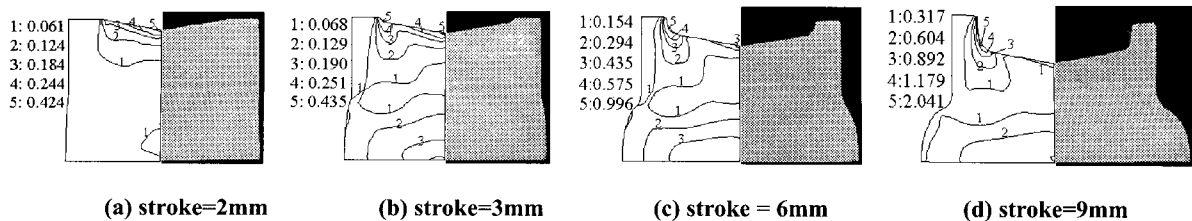
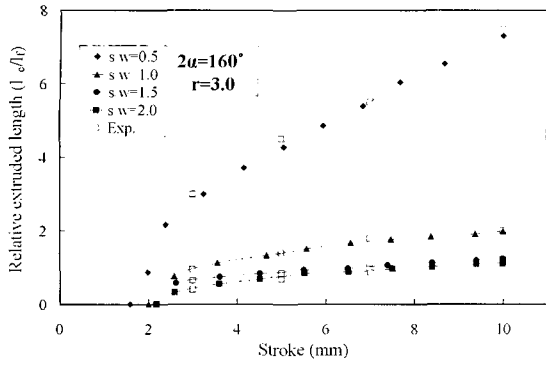
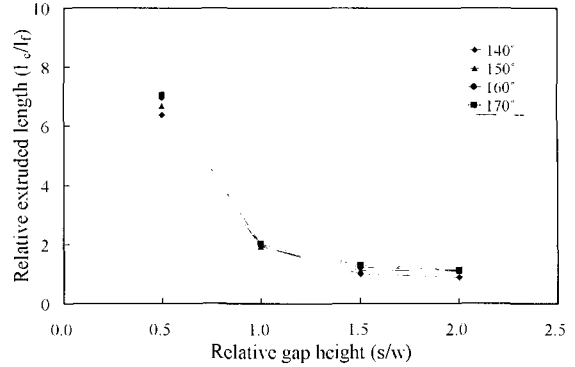


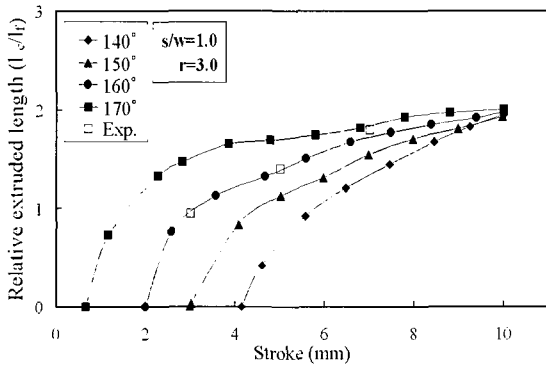
Fig. 2 Comparison between simulation(left) and experiment(right) with some sequences of material flow



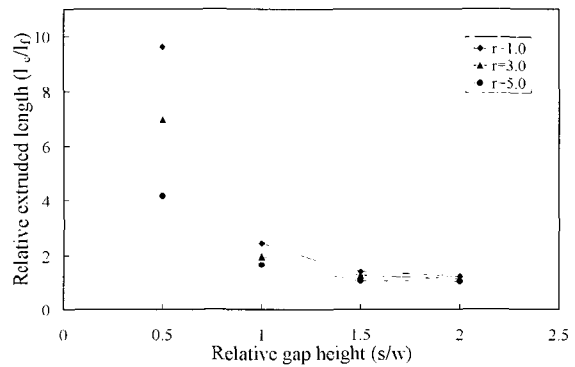
(a) Effect of relative gap height



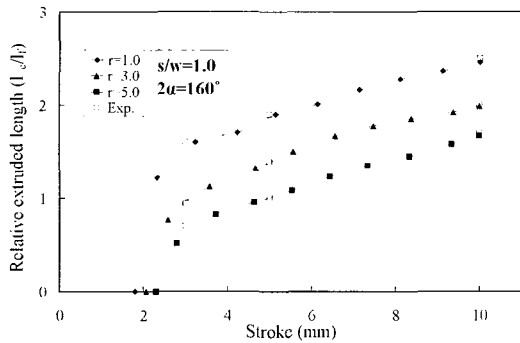
(a) Effect of punch nose angle



(b) Effect of punch nose angle



(b) Effect of die corner radius



(c) Effect of die corner radius

**Fig. 3 Effect of various design parameters on the relative extruded length according to the punch stroke**

출길이가 다소 크게 나타나고 있으나 시뮬레이션 결과와 비교정체되는 고착(sticking)현상이 나타난다.<sup>(14)</sup> 이로 인해 소재는 더 큰 유동저항을 받게 되

**Fig. 4 Effect of various design parameters on the relative extruded length (stroke=10mm)**

어 상대적으로 캔의 압출길이가 점점 줄어들고 있다.

Fig. 3(c)는 펀치노즈각도 160°, 상대갭높이 1.0 일 때 각각의 다이코너반경에서 행정거리에 따른 압출길이의 변화를 시뮬레이션과 실험을 통해 나타낸 것이다. 금속성형공정에서 다이코너 반경은 응력의 집중과 전단응력을 완화시켜 소재 표면의 크랙(crack)을 방지하고 유동을 원활하게 한다.<sup>(15)</sup> 그림에서 볼 수 있듯이 다이코너반경이 클수록 동일한 행정거리에서 플랜지의 유동이 더 원활함을 알 수 있다. 공정이 진행됨에 따라 모든 다이코너반경에서 플랜지의 유동에 비해 캔의 유동이 증가되고 있다. Fig. 2(b)와는 다르게 공정의 후반에서도 캔의 압출길이는 다이코너반경에 관계없이 비교적 일정하게 증가하고 있다.

Fig. 4는 행정길이 10mm 에서 각각의 설계변수

에 대하여 시뮬레이션에서 나타난 압출길이의 비 ( $l_c/l_f$ )를 보여주고 있다. Fig. 4(a)는 다이코너반경 3mm 일때 각각의 펀치노즈각도가 압출길이에 미치는 영향을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 상대갭높이 1.0 일 때 펀치노즈각도가 압출길이에 미치는 영향은 거의 동일하게 나타나고 있다. 다른 플랜지부 갭에서 펀치노즈각도가 클수록 캔의 압출길이가 다소 증가하고 있으나 그 차이는 매우 작게 나타나고 있다. Fig. 4(b)는 펀치노즈각도 160°에서 다이코너반경이 압출길이에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 모든 플랜지부 갭에서 다이코너반경이 증가하면 플랜지로 압출된 길이가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 상대갭높이가 작을수록 뚜렷하게 나타나며, 상대갭높이가 증가할 수록 다이코너반경이 압출길이에 미치는 영향은 매우 작아지고 있음을 알 수 있다.

그림으로부터 상대갭높이가 1.0 이하인 경우는 플랜지부 갭이 압출길이에 가장 큰 영향을 미치고 있으나 상대갭높이 1.5 이상에서 각각의 압출길이에 미치는 설계변수의 영향은 서로 비슷하게 나타나고 있다.

### 3.2 표면확장

금속성형공정에서 표면확장은 금형과 접촉한 소재의 표면적이 변형에 의해 증가하는 것을 말하며 표면확장의 정도에 따라 소재와 금형사이의 윤활막 두께는 많은 영향을 받는다.<sup>(2)</sup> 특히 레이디얼-후방압출에서 캔이 성형되는 펀치랜드면은 후방으로 소재의 표면이 확장되면서 윤활이 이루어진다.<sup>(5)</sup> 따라서 펀치노즈접촉면의 표면확장이 너무 크면 소재와의 미끄럼 마찰에 의해 펀치노즈면의 마멸이 크며<sup>(16)</sup>, 너무 작은 경우에는 후방압출부의 국부적 표면확장에 의해 균일한 윤활막의 유지가 어려워진다.<sup>(5)</sup>

본 논문에서 표면확장은 Fig. 5 에 나타난 것과 같이 성형 전 소재의 각 절점이 성형 후 변형되어 이동한 거리를 시뮬레이션을 통해 측정하여 다음의 식 (2)에 의해 구하였다.<sup>(4)</sup>

$$X = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \quad (2)$$

여기서  $A_0$  는 표시된 절점에 접한 두 절점에 의한 성형전의 표면적이고,  $A_1$  은 표시된 절점에 접한 두 절점에 의한 성형후 표면적을 나타낸다.

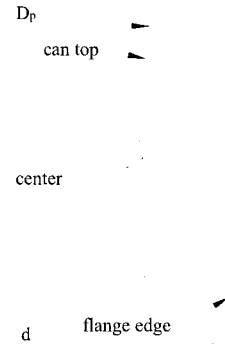


Fig. 5 Initial billet (left) and deformed part (right)

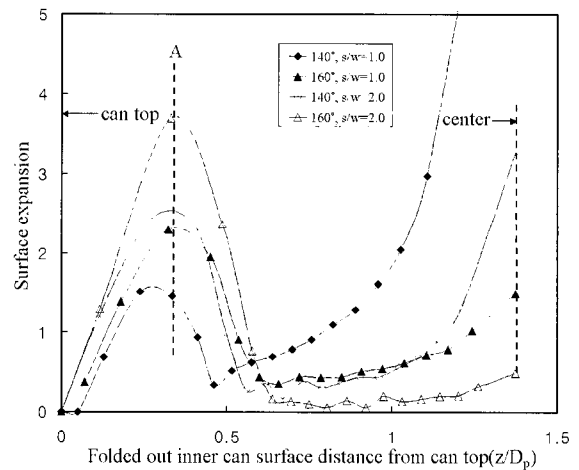


Fig. 6 Variation of the surface expansion for various parameters at upper surface

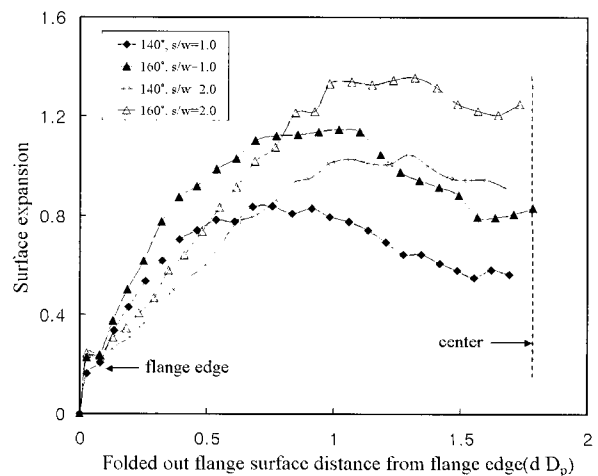


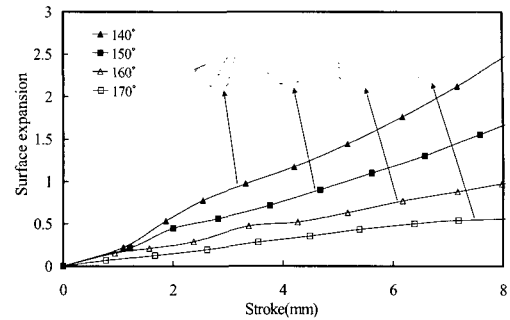
Fig. 7 Variation of the surface expansion for various parameters at bottom surface

Fig. 6 은 다이코너반경 3mm, 캔의 압출길이가 8mm 일 때 각 절점의 표면확장을 시뮬레이션을 통해 구한 것이다. 그림에서 X 축은 캔 내벽의 최상단 절점의 위치를 0 으로 하여 펀치와 접촉한 캔의 전체 길이(z)에 대해 각 절점이 이동한 상대거리 ( $z/Dp$ )를 나타낸다. 그림의 점선(A)은 다이코너반경 부분을 나타낸 것이다. 동일한 플랜지부 갭에서 펀치노즈각도가 클수록 캔 벽면의 표면확장에 비해 상대적으로 펀치노즈면의 표면확장이 작게 나타나고 있다. 그림으로부터 펀치노즈면의 표면확장은 플랜지부 갭에 비해 펀치노즈각도의 영향을 더 많이 받으며, 펀치노즈각도가 클수록 후방압출의 표면확장이 캔벽면에서 국부적으로 진행되고 있음을 알 수 있다.

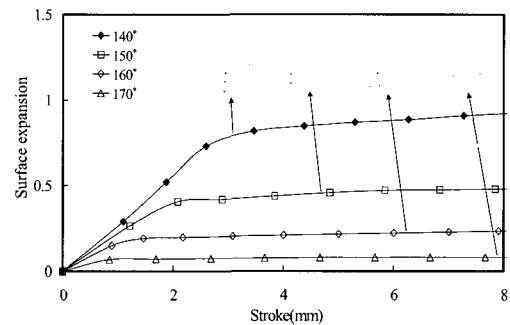
Fig. 7 은 다이코너반경 3mm, 행정거리 10mm 에서 레이디얼압출부의 표면확장을 시뮬레이션을 통해 나타낸 그림이다. 그림에서 X 축은 플랜지의 끝단의 절점위치를 0 으로 하여 압출된 플랜지의 직경(d)에 대해 각 절점이 이동한 상대거리( $d/Dp$ )를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 캔에 비해 플랜지의 표면확장이 더 작으며, 비교적 균일하게 표면이 확장되고 있음을 알 수 있다. 동일한 상대갭높이에서 펀치노즈각도가 클수록 플랜지의 표면확장이 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 각 절점이 나타내는 표면확장의 분포는 플랜지부 갭에 따라 유사한 경향을 보이고 있다. 또한 동일한 펀치노즈각도에서 플랜지부 갭이 클수록 플랜지 끝단의 표면확장이 중심부근에 비해 상대적으로 작게 나타나고 있다. 이를 통해 플랜지부 갭이 클수록 플랜지 끝단의 소재유동이 상대적으로 구속되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6 과 Fig. 7 을 통해 펀치노즈면의 표면확장이 크면 플랜지 중심부분의 표면확장이 작고 이와는 반대로 펀치노즈면의 표면확장이 작으면 플랜지중심부분의 표면확장이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 상관관계는 앞에서 설명한 것과 같이 각각의 압출구에서 유동저항이 더 작은 방향으로 소재유동이 이루어지는 경향과 일치하고 있다.

Fig. 8 은 펀치노즈 접촉면의 표면이 행정길이에 따라 변화하는 시뮬레이션에서의 표면확장이다. Fig. 8(a)의 그림에 나타나듯이 상대갭높이 1.0 인 경우 펀치노즈각도가 클수록 표면확장이 작게 나타난다. 특히 펀치노즈각도가 170°의 경우 원안의 격자변형에서 보듯이 소재내부에 비해 접촉표면의 유동이 상대적으로 작게 이루어지고 있으며 고착(sticking)형태로 성형되고 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 격



(a)  $s/w=1.0$



(b)  $s/w=2.0$

Fig. 8 Variation of the surface expansion for various punch nose angle at the contact surface of punch nose ( $r=3mm$ )

자변형과 같이 접촉표면이 내부 소재에 비해 상대적으로 더 많이 유동하고 있으며 미끄럼펀치노즈각도 140°의 경우 행정이 진행됨에 따라 표면확장이 빠르게 증가하고 있다. 또한 원안의 (sliding)형태로 성형되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8(b)는 상대갭높이 2.0 에서 펀치노즈각도에 따른 표면확장을 행정거리에 따라 나타내고 있다. 표면확장의 증가는 행정초기 펀치노즈면의 성형에서만 나타나고 있으며, 후반에는 큰 변화 없이 비교적 일정하게 유지되고 있다. 펀치노즈각도 140°에서 미끄럼형태를 보이며 상대적으로 큰 표면확장을 나타나고 있으나 상대갭높이 1.0 에서의 표면확장에 비해 매우 작음을 알 수 있다. 그 밖의 다른 펀치노즈각도에서 펀치노즈면의 표면확장은 원안의 격자변형과 같이 미끄럼과 고착의 중간형태인 과도유동(transition) 형태를 보이고 있다. 과도유동은 레이디얼압출의 소재유동이 상대적으로 원활해짐에 따라 펀치노즈면과 소재의 접

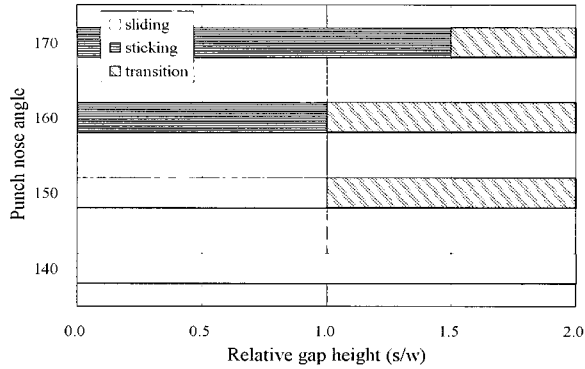


Fig. 9 Deformation patterns for various design Parameters (stroke=10mm)

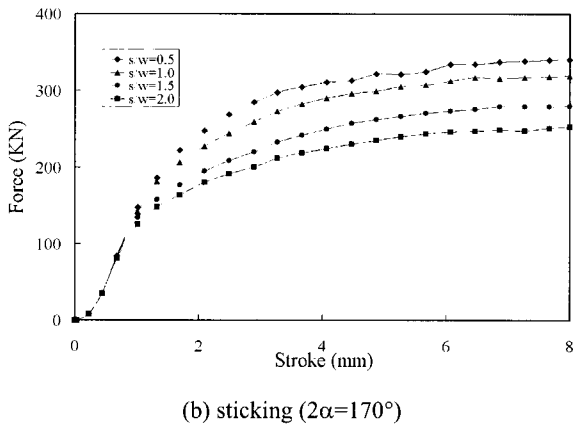
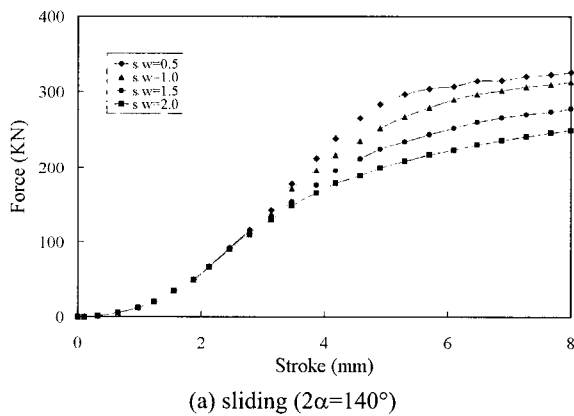


Fig. 10 Load-stroke relationship for each deformation patterns

측면압이 감소하여 압축변형이 상대적으로 작게 일어나기 때문에 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 9는 펀치노즈각도와 상대갭높이에 따라 나타나는 펀치노즈면에서의 유동형태에 대한 시뮬레이션결과를 나타낸 것이다. 상대갭높이 1.0 이하에서는 펀치노즈각도가 유동형태에 미치는 영향이 뚜렷하게 구분되고 있다. 펀치노즈각도 140°인 경우 모든 상대갭높이에서 미끄럼 형태로 성형되고 있는데 비해 다른 펀치노즈각도에서는 플랜지부 갭이 커짐에 따라 과도유동형태로 바뀌고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 펀치접촉면에서의 각각의 유동형태에 따른 시뮬레이션에서의 성형하중을 행정거리에 따라 나타낸 것이다. 펀치노즈부 성형이 이루어지는 초기행정에서는 상대갭높이에 따라 성형하중의 차이가 없으나 갭으로의 유동이 시작되면서 상대갭높이가 작을수록 성형하중이 크게 나타난다. 고착성형의 경우 유동저항이 빠르게 증가하여 성형초기의 하중증가속도가 미끄럼성형에 비해 크게 나타나고 있다. Fig. 10을 통해 행정초기에는 펀치노즈각도가 성형하중에 큰 영향을 미치고 있으나 행정이 진행될수록 상대갭높이의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 레이디얼 압출과 연계한 후방압출에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 금형의 형상이 유동길이와 표면확장에 미치는 영향을 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 상대갭높이가 1.0 이하인 경우는 플랜지부 갭이 압출길이비에 가장 큰 영향을 미치고 있으나 상대갭높이 1.5 이상에서 각각의 압출길이비에 미치는 설계변수의 영향은 서로 비슷하게 나타난다.
- (2) 펀치노즈각도와 플랜지부 갭이 클수록 펀치노즈면의 표면확장은 감소하고 캔벽면의 표면확장은 증가한다.
- (3) 플랜지부 갭이 클수록 플랜지 끝단에 비해 중심에서의 표면확장이 증가한다.
- (4) 펀치노즈면의 유동형태는 플랜지부 갭이 작고 펀치노즈각도가 클수록 고착형태를 나타내며 플랜지부 갭과 펀치노즈각도가 클수록 과도유동형태로 나타난다.
- (5) 행정초기에는 펀치노즈각도가 성형하중에 큰 영향을 미치나 행정후반에는 플랜지부 갭의

영향이 가장 크다.

- (6) 설계변수의 상대적 영향이 큰 상대깍높이 1.0 이하에서 원하는 플랜지의 직경을 얻고자 할 때는, 다이코너반경과 상대깍높이를 적절히 조절함으로써 가능하다. 또한 플랜지부 깍이 큰 쪽으로 선택해야 플랜지로의 소재유동을 원활히 할 수 있으며 성형하중을 줄이는 방향이므로 성형장비 선택에 따른 원가절감의 효과도 얻을 수 있게 된다.

### 참 고 문 헌

- (1) Osen, W., 1987, "Possibilities and Limitations of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Extrusion", *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 575~582.
- (2) Saiki, H., Ngaile, G., Ruan, L., 1997, "Influence of Die Geometry on the Workability of Conversion Coatings Combined with Soap Lubricant in Cold Forming of Steels", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 63, pp. 238~243.
- (3) Kuzman, K., Pfeifer, E., Bay, N., Hunding, J., 1996, "Control of Material Flow in a Combined Backward Can-Forward Rod Extrusion", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 60, pp. 141~147.
- (4) Bay, N., Lassen, B., Pedersen, K., 1991, "Lubrication Limits in Backward Can Extrusion at Low Reduction", *Annals of the CIRP*, Vol. 40, pp. 239~242.
- (5) Bennani, B., Bay, N., 1996, "Limits of Lubrication in Backward Can Extrusion: Analysis by the Finite-Element Method and Physical Modeling Experiments", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 61, pp. 275~286.
- (6) Ko, B. D., Lee, S. H., Kim, D. J., Hwang, B. B., 2001, "The Influence of Die Geometry on the Radial Extrusion Processes", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 113, pp. 109~114.
- (7) Lee, Y. S., Hwang, S. K., Chang, Y. S., Hwang, B. B., 2001, "The Forming Characteristics of Radial- forward Extrusion", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 113, pp. 136~140.
- (8) Choi, H. J., Choi, J. H., Hwang, B. B., 2001, "The Forming Characteristics of Radial-Backward Extrusion", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 113, pp. 141~147.
- (9) Jang, D. H., Choi, H. J., Choi, J. H., Lee, H. Y. and Hwang, B. B., 2000, "A Study on the Forming Characteristic of Radial Extrusion Combined with Backward Extrusion", *Trans. of Material Processing*, Vol. 9, No. 7, pp. 754~760.
- (10) Air Force Material Laboratory, 1973, "Forming Equipment, Materials, and Practices", *Metal and Ceramics Information Center*, p. 164.
- (11) Lee, C. H., Altan, T., 1972, "Influence of Flow Stress and Friction upon Metal Flow in Upset Forging of Rings and Cylinders", *Trance. ASME, J. of Engn. for Industry*, Vol. 94, No. 3, p.775.
- (12) Oh, S. I., Lahoi, G. D., Altan, T., 1981, "ALPID-a general purpose FEM program for metal forming", *Proceeding of NAMRC. IX*, State college, Pennsylvania.
- (13) Osakada, K., Wang, X., Hanami, S., 1997, "Precision Forging Process with Axially Driven Container", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 71, pp. 105~112.
- (14) Bennani, B., Oudin, J., 1995, "Backward Can Extrusion of Steels : Effect of Punch Design on Flow Mode and Void Volume Fraction", *J. of Mach. Tool Manufact.*, Vol. 35, pp. 903~911.
- (15) Giardini, C., Ceretti, E., Maccarini, G., 1995, "Formability in Extrusion Forging: the Influence of Die Geometry and Friction Conditions", *J. of Material Processing Tech.*, Vol. 54, pp. 302~308.
- (16) 박태준, 이동주, 김동진, 김병민, 2000, "후방 압출 펀치의 마멸저감을 위한 금형 형상설계," *한국정밀공학회 추계학술대회 논문집*, pp. 575~578.