

전·후방 캔 압출공정의 성형특성 연구

심지훈*, 최호준**, 옥정환*, 함병수*, 황병복#

A Study on the Forming Characteristics of Forward and Backward Extrusions

Ji Hun Shim*, Ho Joon Choi**, Jeong Han Ok*, Byoung Soo Ham* and Beong Bok Hwang#

ABSTRACT

In this paper a forward-backward can extrusion process are analyzed by using rigid-plastic FEM simulation. FEM simulation is conducted to investigate forming characteristics such as deformation modes for different process parameters. Design parameters such as thickness ratio, punch angle, friction factor and diameter ratio are selected to study the effect of them on the pattern of material flow. The analysis is focused mainly on the influences of the design factors on deformation pattern in terms of forming load, extruded length ratio and volume ratio. It is known for the simulation that the forming load, the length ratio and the volume ratio increase as the thickness ratio (TR), the wall thickness in forward direction to that in backward direction, decreases. The various punch angles have slight influence on the forming load, length ratio and volume ratio. However friction factor have little effect on the forming characteristics such as the forming load, volume ratio and so on. In addition the forming load increases as diameter ratio (DR), the outer diameter of a can in forward direction to that in backward direction, increases. Furthermore the extruded length ratio is lowest with a certain value of $DR=0.85$ among diameter ratios. Pressure distribution exerted on the die-material interface is illustrated schematically.

Key Words : Thickness ratio (두께비), Forming load (성형하중), Die pressure (금형접촉압력), Volume ratio (부피비), Extruded length ratio (압출길이비)

1. 서론

일반적으로 압출은 길이방향으로 성형 가공된 제품을 얻기 위한 아주 기본적인 공정이다. 이러한 형태의 가공방법은 대개 소재의 대변형을 통해서 성형이 이루어지게 된다¹⁾. 특히, 냉간단조(cold forging)에서 전·후방압출(forward and backward extrusion)은 종종 이용되는 성형 방법이다. 그러나,

두 방향에서 재료유동이 한 공정(single operation)에서 동시에 완벽하게 이루어지게 가공한다는 것은 쉽지 않다. 이러한 이유는 대부분의 경우 전·후방방향의 압출비(extrusion ratio)나 압출길이(extruded length)가 다르기 때문이다. 일반적으로 압출이 여러 방향으로 진행되어 원하는 형상의 부품이 완성되는 복합압출(combined extrusion)의 경우 두 가지의 가공방법을 생각할 수 있다. 하나는

접수일: 2004년 7월 10일; 게재승인일: 2004년 12월 10일

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 인하대학교 자동차공학과 대학원

교신저자: 인하대학교 기계공학과

Email: bbhwang@inha.ac.kr Tel. (032) 860-7387

순차적인 압출방법으로 각각의 공정에서 특정한 압출구(extrusion orifice)를 통하여 한쪽 방향으로의 압출이 완성되게끔 가공을 수행한다. 또 한가지 방법은 여러 개의 압출구를 통하여 동시에 압출이 진행되도록 하는 것이다. 일반적으로 어느 특정한 압출구를 통하여 압출된 길이가 다른 압출구에서 보다 먼저 원하는 길이에 도달하게 된다. 이때 금형의 기계적 멈춤 장치(mechanical stopper)에 의하여 그 방향으로의 압출은 더 이상 진행되지 않으며 압출압력(extrusion pressure)이 급격히 증가하게 된다. 이러한 이유로 각각의 압출구를 통한 소재 유동의 적절한 제어는 전·후방 압출공정의 마지막 단계에서 압력을 줄이는데 중요한 역할을 수행한다². 이러한 특징을 갖는 복합압출에서 전·후방으로의 단면감소율이 다를 경우 소재는 단면감소율이 적은 쪽으로 유동하기 쉽다. 또한 동일한 단면감소율이라도 구동 펀치측과 고정 펀치측에서의 압출 높이가 크게 차이가 나는 것이 일반적이다. 이것은 재료와 금형내면과의 마찰 등의 영향으로 소재의 유동특성이 각각의 압출구에서 다르기 때문이다. 따라서 전·후방부로의 원하는 소재 유동량을 안정적으로 실현하기 위해서는 일반적으로 컨테이너 등을 설치하여 강제적으로 유동을 제어하는 기술이 적용되며, 이때 조기에 완전히 정지하면 공정이 종료할 때 역류가 발생하여 균열 등의 결함이 발생하는 수가 있어 주의를 기울일 필요가 있다고 하겠다³. 적절히 수행된 전·후방 압출공정은 재료손실이 거의 없이 낮은 압출하중으로 단일공정에 의해 완제품의 성형이 가능하다는 점 이외에 기계적 성질 향상 및 양호한 표면정도를 얻을 수 있는 이점이 있어 부품성형가공에 적합한 방법으로 알려져 있다.

또한 전·후방 압출공정은 마찰실험에서도 종종 사용된다. 소재는 멘드렐과 펀치의 움직임에 따라 위·아래 두 방향으로 이동하여 컵 모양을 형성하게 된다. 이렇게 두 방향으로 동시에 컵이 만들어지면서 압출되는 길이가 펀치나 멘드렐과 소재, 또는 금형과 소재의 윤활조건에 민감하게 영향을 받는다. 따라서 전·후방 압출길이비를 분석함으로써 소재와 금형의 경계면에서의 마찰을 측정하는 수단으로도 많이 이용되고 있다^{4,5}.

본 논문에서는 자동차 및 각종 커플러(coupler)나 레듀사(reducer)등의 넛블(nipple)류와 같이 원통형튜브형태를 갖지만, 상·하 직경이 다른 부품의

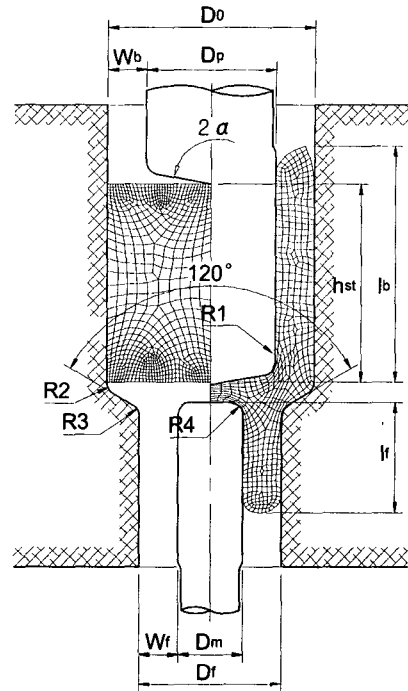


Fig. 1 Geometries used in analysis

Table 1 Description of symbols

Symbol	Description	Symbol	Description
D_0	Initial billet diameter	R_3	Tube radius
D_p	Punch diameter	R_4	Mandrel radius
D_m	Mandrel diameter	l_b	Backward can height
D_f	Forward can diameter	l_f	Forward can height
H_{st}	Punch stroke	2α	Punch angle
R_1	Punch radius	W_b	Backward can thickness
R_2	Die radius	W_f	Forward can thickness

생산에 많이 응용되는 전·후방 복합압출공정의 성형특성을 알아보기 위하여 강소성유한요소법^{6,7}에 의한 모의실험(simulation)을 수행하였다. 두께비(thickness ratio), 마찰상수(friction factor), 펀치각(punch angle), 지름비(diameter ratio) 등의 설계변수(design parameters)들을 달리하면서 성형하중, 다이 압력(die pressure), 부피비(volume ratio) 및 전·후방

Table 2 Design parameters used in simulation

Parameters	Values
Thickness ratio (W_f / W_b)	0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4
Punch angle (2α)	160°, 180°, 200°
Friction factor (m)	0.1, 0.2
Diameter ratio (D_f / D_0)	0.55, 0.7, 0.85

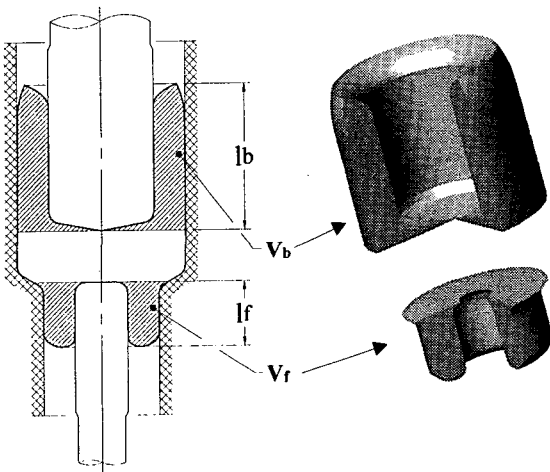


Fig. 2 Definition of V_b and V_f

압출길이비(extruded length ratio) 등을 통하여 소재의 유동특성을 분석하였다.

2. 해석조건

본 논문에서는 전·후방 복합압출의 모의실험을 위한 소재로 상용 알루미늄 합금인 AA 2024 를 사용하였다. AA 2024 의 유동식은 power law⁸에 따라 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 386.55 \bar{\epsilon}^{0.154} \quad (MPa) \quad (1)$$

또한 소재와 금형 사이의 경계면에서는 비누윤활로 가정하여 마찰상수(m)를 0.1 로 가정하였다.

Fig. 1 의 왼쪽에 보이는 초기소재는 외경이 32.0 mm, 높이가 30.0 mm 이다. 그림에서는 또한 펀치의 최대행정거리가 30.0 mm 인 최종제품의 형상을 오른쪽에 표현하면서 해석에 사용된 금형의 형상과 명칭들에 관하여 상세히 나타내고 있다.

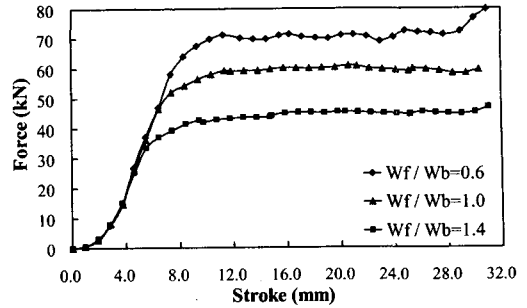


Fig. 3 Extrusion loads for various thickness ratios

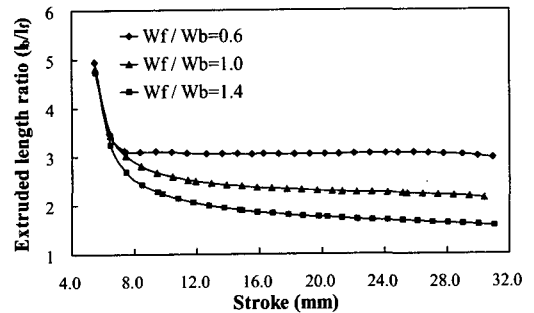


Fig. 4 Extruded length ratios for various thickness ratios

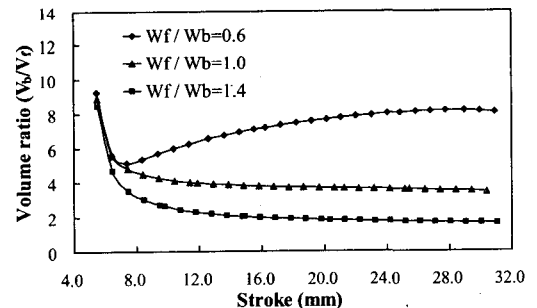


Fig. 5 Volume ratios for various thickness ratios

펀치의 직경(D_p)은 20.0 mm 이고 후방 캔의 두께(W_b)는 6.0 mm, 펀치의 각도(2α)는 160°, 맨드릴 직경(D_m)은 10.0 mm 로 하였다. 또한 펀치코너반경(R_1), 다이반경(R_2), 튜브반경(R_3) 및 맨드릴반경(R_4)은 모든 경우에 2.0 mm 로 동일하게 적용되었다. 변수에 대한 명칭은 Table 1 에 설명되어 있다.

Table 2 에는 모의실험에서 적용된 여러 가지 설계변수의 구체적인 수치들이 정리되어 있다. 설계변수로서 두께비(thickness ratio)와 펀치각(punch angle)은 후방 캔의 두께를 상수로서 고정시키고 전방 캔의 두께를 변수로 하여 후방 압출 캔의 길

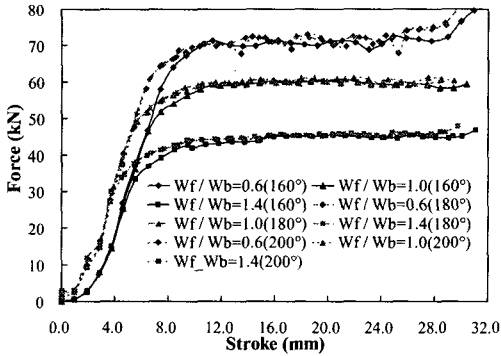


Fig. 6 Extrusion loads for various punch angles

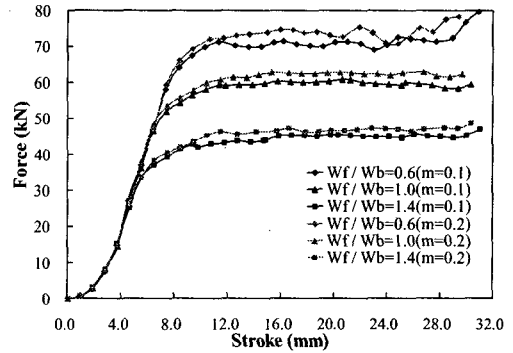


Fig. 9 Extrusion loads for different friction factors

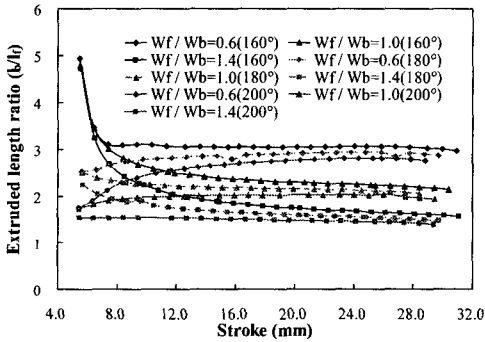


Fig. 7 Extruded length ratios for various punch angles

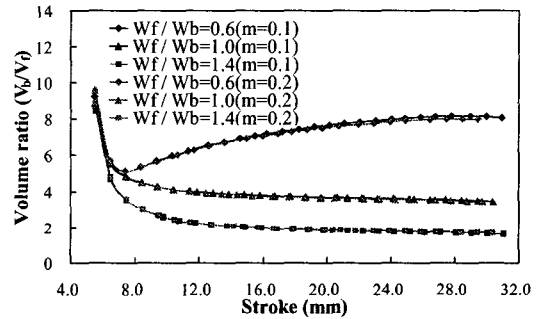


Fig. 10 Volume ratios for different friction factors

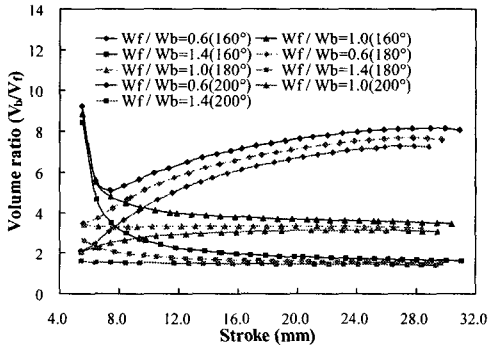


Fig. 8 Volume ratios for various punch angles

이 변화와 펀치 노즈면(punch nose face)에 가해지는 압력의 변화를 분석할 것이다. 또한 실제 현장에서 제품 생산시 마찰상태가 변화할 수 있음을 가정하여 마찰상수 값의 변화에 따라 전·후방 캔으로의 재료유동이 어떻게 달라지는가를 살펴 보게 된다. 지름비(diameter ratio)는 맨드릴(mandrel)의 크기를 변경시켜가면서 맨드릴과 펀치 노즈면에 가해지는 압력의 크기를 정량적으로 비교·분석하

며, 캔 모양에 분포하는 유효변형을 분포의 변화를 알아보기 위하여 선택한 변수이다.

Fig. 2 에서는 본 논문에서 소재의 유동특성을 나타내는 부피비(volume ratio, V_b/V_f)를 도식적으로 설명하였다. 그리고 압출길이비는 후방으로 압출된 캔의 높이(l_b)를 전방으로 압출된 캔의 높이(l_f)로 나눈 값으로 정의하였다. 압출길이비는 복합압출공정에서 원하는 제품의 상·하 높이를 얻기 위해 필요로 되어지는 주요 변수이다. 즉, 최종제품의 상·하 방향 길이비는 압출공정의 진행에 따라서 소재가 정상상태에 있을 때의 압출길이비 근처에서 결정하는 것이 바람직한 방향이라고 하겠다. 그러나, 압출길이비가 동일하더라도 최종제품의 상·하 방향의 압출길이비는 다를 것이다. 따라서 이 때는 상·하 방향으로 유입되는 부피비를 관찰함으로써 최종 압출길이를 예측할 수 있다. 즉, 최종제품의 전·후방으로의 압출길이비가 같은 경우에도 전·후방의 압출길이가 같다고 말할 수 없으므로 이때 부피비를 분석하여 부피비도 거의 같은 값을 갖는다면 압출길이가 같다고 볼 수 있지만 만약

부피비의 차이가 존재해서 그 값이 큰 쪽이 있다면 큰 쪽의 최종제품 전·후방 압출길이가 더 길다고 예측할 수 있을 것이다.

3. 결과 및 토론

3.1 두께비(thickness ratio)

펀치각(punch angle)이 160°, 마찰상수(μ)가 0.1 일 때 여러 가지 두께비에 대한 성형특성을 비교한 결과를 Figs. 3-5 에 나타내었다.

Fig. 3 은 여러 가지 두께비(W_f / W_b)에 대한 행정-성형하중 특성을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 두께비가 커짐에 따라 성형하중은 감소하고 있다. 즉, 전방으로 압출되는 캔의 두께가 두꺼워짐에 따라 압출구의 전체적인 면적이 증가하기 때문에 소재의 유동이 용이하여 성형하중은 감소한다. Fig. 4 는 여러 가지 두께비에 대한 행정거리와 압출길이비의 상관관계를 나타낸 것이다. 두께비가 증가함에 따라 전방으로 압출되는 캔의 높이가 더 빠른 속도로 증가하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 행정거리가 약 12.0 mm 이상 일 때, 두께비가 0.6 에서 1.0 사이에서 압출되는 캔의 높이는 각각의 방향으로 거의 일정한 속도로 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig. 5 는 행정거리와 부피비(V_b / V_f)의 관계를 표현하고 있다. 정상상태에서 두께비가 0.6 인 경우를 제외하고는 거의 일정한 값을 보이고 있다. 공정이 충분히 진행되었을 때 전방과 후방으로의 소재의 유출속도가 모든 경우에 거의 일정함을 알 수 있다. 두께비가 0.6 인 경우에는 후방으로 압출되는 소재의 부피가 계속 증가하는 상태로 압출길이비가 다른 경우에 비하여 가장 큰 값을 가지는 것으로 나타난다. 또한 후방으로 유입되는 소재의 부피가 두께비가 1.4 인 경우에는 전방으로 유입되는 부피에 비하여 약 2 배 정도, 두께비가 0.6 인 경우 약 8 배까지 많음을 알 수 있다. 그림에서 특징적으로 보이는 것은 두께비가 1.0 및 1.4 인 경우에 압출공정이 비교적 빠르게 정상상태로 진행하고 있다는 점이다.

3.2 펀치각(punch angle)

Fig. 6 는 여러 가지 펀치각에 대한 하중-행정특성을 나타내었다. 대체적으로 일반적인 하중특성을 보이고 있지만 공정의 초기(비정상상태)에는 펀치각이 큰 경우 하중의 증가속도가 빠르며, 행

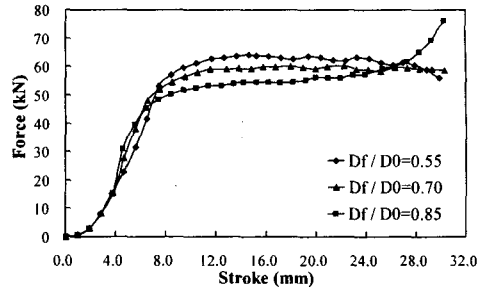


Fig. 11 Extrusion loads for various diameter ratios

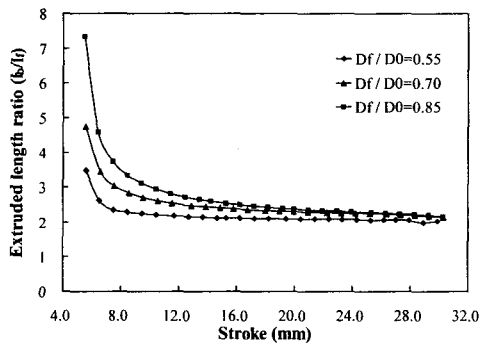


Fig. 12 Extruded length ratios for various diameter ratios

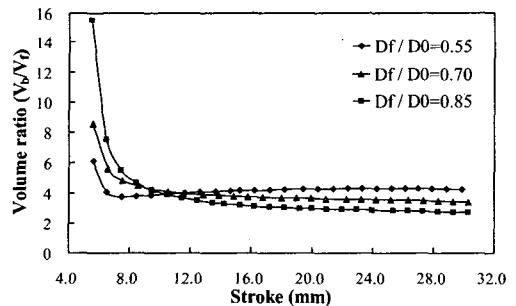


Fig. 13 Volume ratio for various diameter ratios

정거리가 대략 12.0 mm 이후에는 하중의 변화는 거의 없다. 특히 두께비가 일정한 경우에 펀치각에 따르는 성형하중의 영향은 거의 없음을 나타낸다. Fig. 7 와 Fig. 8 은 여러 가지 펀치각에 대한 압출길이비(l_b / l_f)와 부피비(V_b / V_f)를 각각 나타내고 있다. 행정거리가 대략 12.0 mm 을 지나면서 펀치각의 변화에 따른 압출길이비와 부피비의 차이가 거의 없어 보인다. 그러나 두께비(W_f / W_b)가 일정한 경우에는 펀치각이 커짐에 따라 압출길이비와 부피비가 감소하는 경향이 보인다. 또한 Fig. 7 과 Fig. 8 을 통하여 제품의 성형형태에 미치는 펀치

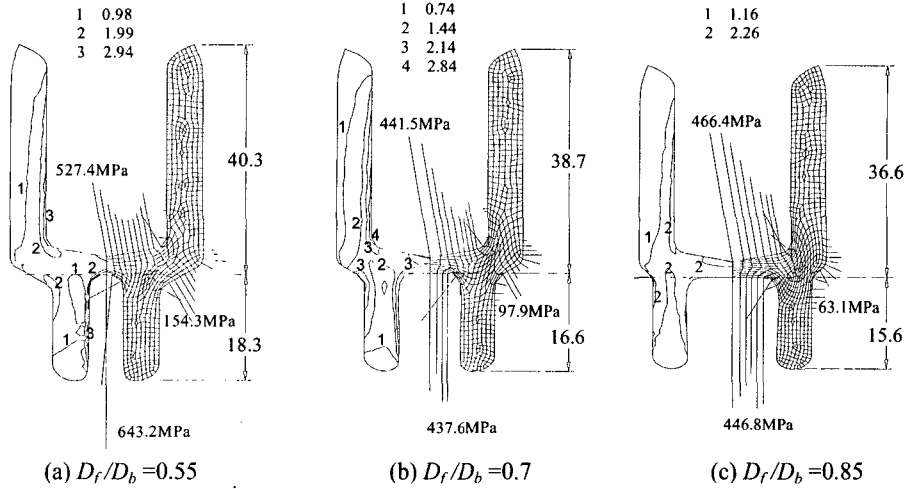


Fig. 14 Deformation patterns and effective strain distribution for various DRs

각의 영향은 두께비에 영향에 비하여 크지 않음을 알 수 있다.

3.3 마찰(friction)

Fig. 9 과 Fig. 10 에서는 두께비가 1.0, 편치각이 160°일 때 마찰상수가 성형하중과 부피비에 미치는 영향을 미치는지 비교하였다. 소재와 금형사이의 마찰이 커지면 경계면에서 유동저항이 커지므로 성형하중은 더 증가하는 경향을 보이는 것은 당연하다. 하지만, Fig. 10 에 보이는 것처럼 부피비와 같이 각각의 압출구로의 소재의 유동량에는 거의 영향이 없음을 알 수 있다.

3.4 지름비(diameter ratio)

두께비(W_f / W_b)가 1.0 인 경우에 전방으로 압출된 캔의 외경(D_f)을 초기소재의 지름(D_0)으로 나눈 값을 지름비(D_f / D_0)로 정의하여 여러 가지 변형특성을 분석하였다.

Fig. 11 은 지름비 변화에 따른 하중-행정선도를 나타내고 있다. 그림에서 지름비가 큰 경우가 전반적으로 성형하중이 낮으며 대체적으로 압출시에 보이는 하중특성을 나타낸다. 그러나, 편치행정이 약 26.0 mm 를 지나면서 지름비가 0.85 인 경우 성형하중이 급격하게 증가하고, 지름비가 0.55 인 경우 성형하중이 감소하는 경향을 보인다. 이러한 이유는 편치가 진행함에 따라 맨드렐에 가까워지면서 지름비가 작아짐에 따라 전방과 후방에로의 소재가 유동하는 통로가 좁아지게 되어 성형하중

Table 3 Die pressures and extruded lengths for various DRs

Description		Diameter ratio (D_f/D_b)		
		0.55	0.7	0.85
Max. pressure (MPa)	Punch	527.4	441.5	466.4
	Die	154.3	97.9	63.1
	Mandrel	643.2	437.6	446.8
Extruded length (mm)	Backward	40.3	38.7	36.6
	Forward	18.3	16.6	15.6

이 갑자기 증가하는 것으로 분석된다.

Fig. 12 와 Fig. 13 은 여러 가지 지름비에 따른 압출길이비와 부피비를 각각 표현한 그래프이다. 압출길이비는 편치행정이 약 12.0 mm 이상에서, 부피비는 편치행정이 약 10.0 mm 이상에서 모든 경우의 지름비에 대하여 거의 일정한 값을 갖는다. 어느 정도 행정이 진행된 후에는 정상상태에서 압출이 진행되고 있음을 의미한다. 압출길이비는 모든 경우에 약 2 정도로, 대체적으로 지름비가 압출길이비에는 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 후방으로의 유입되는 소재의 양이 전방보다 약 4 배정도 많으며, 지름비가 클수록 부피비가 약간씩 작아짐을 알 수 있다.

Fig. 14 (a)-(c)는 전·후방 캔 압출길이와 금형에 작용하는 압력에 대한 지름비의 영향을 보여주고

있다. 지름비가 커짐에 따라 전방으로 압출되는 캔의 압출구가 펀치노즈에서 점점 멀어지게 되면서 펀치에 의한 전방압출방향으로의 소재유입 양이 감소하게 되어 전방압출길이가 짧아진다. 반경방향 및 후방으로의 재료 흐름은 지름비가 작아짐에 따라 유동압력이 전방압출 방향에 비하여 상대적으로 커져서 금형에 작용하는 압력이 높아지게 되며, 후방으로의 압출길이는 길어지게 된다. 또한 (a)의 경우처럼 펀치에 작용하는 압력이 가장 큰 이유는 Fig. 11의 하중-행정선도에서 보듯이 행정이 완료되기 직전에 성형하중이 크게 증가하는 현상 때문인 것으로 분석된다. 즉, 복합압출공정이 완료되어 가면서 펀치 노즈면(punch nose face)에 금형 경사면의 영향에 따른 상대적인 반작용 영향으로 펀치 노즈면에 작용하는 압력이 커지게 되는 것이다.

Table 3은 펀치, 다이 및 맨드렐에 가해지는 최대압력과 압출길이를 표로써 정리해 놓은 것이다. 지름비가 증가함에 따라 펀치, 다이 및 맨드렐에 작용하는 최대압력은 줄어들게 되며, 전·후방으로 압출된 캔의 길이 또한 각각 감소하게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 전·후방 캔의 복합압출시 두께비, 펀치각, 마찰상수 및 지름비 등의 설계변수를 설정하여 그에 따른 성형하중, 압출길이비 및 부피비 등을 분석하였다. 이를 토대로 소재의 유동 특성에 관하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 두께비(thickness ratio)가 커짐에 따라 전방으로의 소재유동이 원활해진다. 따라서 성형하중은 감소하고 압출길이비 및 부피비 또한 감소한다.
- (2) 펀치각(punch angle)이 커지면 성형초기에는 하중이 더 급격히 증가하지만 복합압출공정이 정상상태에 다다르면 펀치각은 성형하중에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나, 두께비가 작을 때에는 펀치각이 커짐에 따라 후방으로의 소재 흐름이 방해받기 때문에 압출길이비 및 부피비는 낮은 값을 가진다.
- (3) 마찰상수(friction factor) 값의 변화는 성형하중에는 약간의 증가로 나타나지만, 다른 변형 특성에는 거의 영향을 끼치지 못한다.
- (4) 지름비(diameter ratio)가 커짐에 따라 전방으로 압출되는 캔의 압출구가 펀치노즈에서 점점 멀

어지게 되면서 펀치에 의한 전방압출방향으로의 소재유입 양이 감소하게 되며, 반경방향으로의 흐름이 상대적으로 크기 때문에 유동저항이 상대적으로 커서 금형의 압력과 성형하중이 증가한다.

후기

이 논문은 2004년도 인하대학교 교수연구진흥비의 지원에 의하여 연구되었음.(INHA-31617)

참고문헌

1. Osen, W., "Possibilities and Limitations of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Extrusion," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 575-582, 1987.
2. Lin, H. H. and Kudo, H., "Theoretical consideration of metal flow control in cold simultaneous forward/backward extrusion," *Proc. 4th ICTP, Beijing*, p. 693, 1993.
3. Park, J. N., Park, T. J., Kim, D. H. and Kim, B. M., "Experimental Investigation on the Flow Control in Forward-Backward Extrusion of Piston-Pin for Automobile," *KSME*, Vol. 26A, No. 7, pp. 1366-1375, 2002.
4. Lee, J. Y. and Altan, T., "Factors Affecting the Double Cup Extrusion Test for Evaluation of Friction in Cold and Warm Forging," *Annals of the CIRP*, Vol. 42, pp. 347-351, 1993.
5. Wagoner, R. H. and Chenot, J. L., "Fundamentals of Metal Forming," *John Willey & Sons, Inc*, pp. 334-335, 1996.
6. Jang, D. H., Ko, B. D., Lee, Y. S. and Hwang, B. B., "Forming Characteristics of Radial-Backward Extrusion for Single Action Pressing," *KSPE*, Vol. 18, No. 10, pp. 76-83, 2001.
7. Ko, B. D., Jang, D. H., Choi, H. J. and Hwang, B. B., "Numerical and Experimental Investigation on the Tube Forming in the Radial-Forward Extrusion," *KSPE*, Vol. 20, No. 12, pp. 168-175, 2003.
8. Air Force Material Laboratory, "Forming Equipment, Material, and Practices," *Metal and Ceramics Information Center*, p. 164, 1989.