

단동 프레싱에 의한 레이디얼-후방압출의 성형특성

장동환*, 고병두*, 이영섭**, 황병복***

Forming Characteristics of Radial-Backward Extrusion for Single Action Pressing

Dong Hwan Jang*, Beong Du Ko*, Yeong Sub Lee**, and Beong Bok Hwang***

ABSTRACT

This paper is concerned with the analysis of the forming characteristics of radial - backward extrusion. The single action pressing is analyzed by using the rigid - plastic FEM. The design factors such as die corner radius, gap height, and friction factor are involved in the simulation. The analysis is focused on the influences of the design factors on the maximum punch force and metal flow into can and flange region. As a result of analysis, the gap height among the design factors is known to have a major effect on the metal flow of radial - backward extrusion for single action pressing compared with other design factors. As is expected, forming load and volume of flange increase as gap height and die corner radius increase, respectively.

Key Words : Flange(플랜지), Radial - backward extrusion(레이디얼-후방압출), Design factor(설계변수), Single action pressing(단동프레싱), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서론

냉간단조(cold forging)에 의한 성형은 부품 제조분야에서 점차 그 역할이 증대되고 있으며, 최근 들어 진보된 공구재료와 설계방법에 의해 비교적 높은 치수정밀도와 절삭가공을 최소화시키는 정형가공으로 재료의 손실을 막고 기계적 성질을 향상시킬 수 있다^[1].

냉간압출(cold extrusion)은 종종 냉간단조와 혼용되고 있으며 압출, 업셋팅 또는 헤딩, 코이닝, 아이어닝(ironing)과 스웨이징(swaging)등의 잘 알려진 성형과정들을 일컫기도 한다. 이들 성형과정들은 대개 기계식 또는 유압식 프레스들에 의해 수행된다. 일반적으로 단순한 형상의 빌렛(billet)이나 슬러

그(slug)로부터 시작하여 비교적 복잡한 형상의 최종생산을 생산하기 위해서는 몇가지의 성형단계를 거치게 된다. 특히, 냉간압출은 변형 및 마찰로 인한 발생열로 압출된 금속에 재결정을 일으키지 않는 한, 가공경화로 인해 기계적 성질이 개선되며 생산속도가 높고 비교적 가공비가 저렴하므로 주로 축대칭 모양의 튜브나 봉처럼 후속 절삭 또는 마무리 작업이 많이 필요하지 않은 생산품에 적용된다^[2-5]. 이러한 압출공정은 소재의 유동방향이 펀치의 운동방향과 같은 전방압출(forward extrusion), 소재의 유동방향이 펀치의 방향과 정반대인 후방압출(backward extrusion), 그리고 소재의 유동방향이 펀치의 방향과 수직인 레이디얼압출(radial extrusion)과 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다. 이러한 기본

* 2001년 2월 26일 접수

* 인하대학교 자동화공학과 박사과정

** 인하대학교 자동화공학과 석사과정

*** 인하대학교 자동화공학과 부교수

압출방식들은 때때로 복잡한 모양의 부품을 만들기 위해서나, 또는 공정수를 줄이기 위해 혼합되어 사용되어질 수 있다.

압출공정에서 실제실험을 통해 소재유동, 변형률 분포, 성형하중 등과 같은 성형특성을 알기 위해 여러 설계변수들을 변화시켜가면서 파악하기란 쉬운 일이 아니다. 그러나, 최근 유한요소법을 이용한 모의실험방법이 등장하여 실험을 통해 얻을 수 있었던 각종 자료들을 모의실험을 통하여 경제적으로 얻을으로써 공정상의 특징들에 대한 비교·분석이 가능하게 되고, 시간적·비용적 절감을 이룰 수 있게 되었다. 이러한, 유한요소법은 다른 방법들에 비해 융통성이 있으며, 보다 정확하고 자세한 정보의 제공이 가능하다. 특히 강소성 유한요소법은 Lee와 Kobayash⁶⁾가 변분 원리에 입각한 행렬법을 수식화한 이후 금속의 성형해석에 많이 이용되고 있다. 이때 강소성 유한요소법은 소성변형에 비해 탄성변형이 무시할 수 있을 정도로 작다고 가정함으로써 잔류응력이나 탄성회복(springback)현상 등의 탄성변형에 대한 계산이 고려되지 않는 단점이 있다. 그러나, 매 단계마다 재료의 항복을 검증하는 탄소성 유한요소법에 비하여 응력의 오차가 누적되지 않으며 계산시간을 줄일 수 있어 단조나 압출 같은 소성변형문제에 효율적으로 이용되고 있다.

본 논문에서는 강소성 유한요소법⁷⁾에 의한 모의실험을 통하여 레이디얼-후방압출 공정에 대한 여러 가지 설계 변수들 중 다이코너반경(die radius), 상부금형과 하부금형 사이의 갭높이 (gap height), 금형과 소재의 마찰 등을 변화시켜가면서 해석하였다. 이러한 해석 결과들을 바탕으로 설계변수들이 성형하중과 소재의 유동에 미치는 영향을 비교·분석하여 단동 프레싱(single action pressing)에 의한 레이디얼-후방압출의 성형특성을 고찰하였다.

2. 단동 프레싱에 의한 레이디얼-후방압출

2.1 레이디얼-후방압출

앞서 언급했듯이 레이디얼압출은 재료의 유동이 펀치운동 방향에 수직으로 이루어지는 압출로써 이동펀치에 의한 빌렛의 유동형태에 따라 3가지의 기본적인 가공 형태가 있다^{8,9)}. 후방압출은 소재의 유동방향이 펀치의 운동방향과 평행인 상태에서 서로 반대방향의 운동을 갖는다. 일반적으로 레이디얼압출공정은 전방압출이나 후방압출 그리고 업세

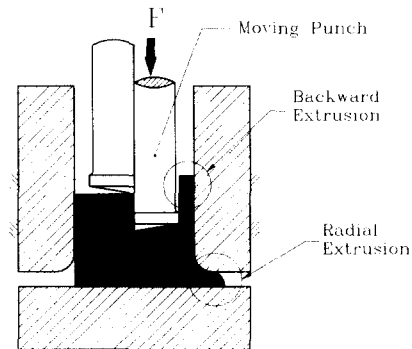


Fig. 1 Schematic configuration of radial-backward extrusion for single action pressing

팅(upsetting)과 결합하여 이음쇠, 특수한 기어부품, 키샤프트(key-shaft) 형태의 부품, 튜브 부품과 같은 복잡한 플랜지 형상을 가진 바퀴통 모양의 부품 등을 생산하는데 사용되고 있다¹⁰⁻¹²⁾. 본 논문에서는 레이디얼압출의 3가지 기본적인 방식중에서 하부금형이 고정되어 있고 상부펀치에 의해 플랜지 형상이 성형되는 단동프레싱에 의한 레이디얼압출방식과 후방압출이 혼합된 형태의 압출공정을 해석하였다.

Fig. 1은 단동 프레싱에 의한 레이디얼-후방압출에 대한 개념도이다. 그림에서 이동펀치가 하강하면 하부금형과 상부금형의 틈을 통해 소재의 유동이 펀치의 방향과 수직인 레이디얼압출이 일어난다. 이와 동시에 이동펀치와 상부금형 사이의 틈을 통해 소재가 위쪽으로 유동하면서 펀치의 운동 방향과 소재의 유동 방향이 서로 반대인 후방압출이 일어나게 된다.

Fig. 2는 초기빌렛과 최종 성형품의 3차원 형상

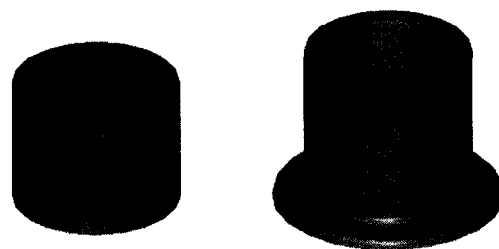


Fig. 2 Billet and Formed Product of radial-backward extrusion for single action pressing

의 도식도이다. 그림의 왼쪽과 같은 초기빌렛은 레이디얼-후방압출 가공 후, 오른쪽과 같은 성형품의 형상을 갖게되며 이러한 형상의 부품은 피어싱, 코이닝과 같은 마무리 공정을 거친 다음 절삭가공후 제품으로 사용하게 된다.

2.2 해석조건

강소성 유한요소법에 의한 시뮬레이션을 위하여 빌렛의 재료는 AISI 1006 강재(steel)를 사용하였으며, 멱정리(Power law)에 따라 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계는 다음 식(1)과 같다^[13].

$$\bar{\sigma} = 62.9 \bar{\epsilon}^{0.31} \quad (\text{kgf/mm}^2) \quad (1)$$

Fig. 3은 일반적인 레이디얼-후방압출에서 설정할 수 있는 설계변수들에 대한 그림이다. 본 논문에서는 이러한 설계변수들 중에서 모의실험의 해석을 위하여 다이코너반경(r), 상부금형과 하부금형 사이의 갭높이(s)를 주요 설계변수로 설정하였다. 마찰조건은 마찰상수를 사용하였으며, 이동편치와 금형 모두 동일한 값으로 각각의 설계변수에 대해서 값을 다르게 하여 해석하였다. 해석에 사용된 초기소재의 형상은 레이디얼압출에 대한 실험자료^[12]와 실제로 가공되는 여러 부품들의 초기 소재를 기준으로 직경(D_b)과 높이(h_b)를 각각 32mm와 25mm로 설정하였다. 이동편치의 코너반경은 2mm로 고정하였으며, 행정거리는 10mm로 일정하게 하였다. 후방압출이 일어나는 이동편치와 상부금형 사이의 간격은 4mm로 고정하여 모든 모의실험에 동일하게 적용하였다.

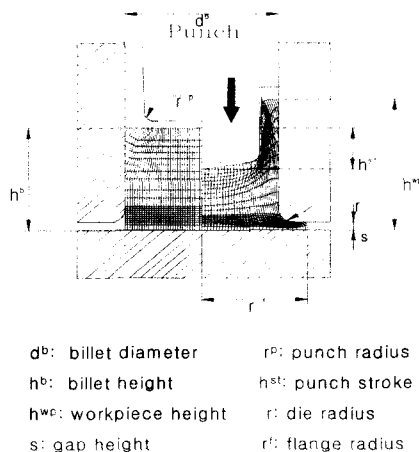


Fig. 3 Die geometry used in analysis

용하였다. Table 1은 본 논문에서 모의실험에 적용한 설계변수들의 값으로 실제공정에서 적용 가능한 범위 내에서 여러 가지로 변화시켜가면서 해석을 수행하였다.

Table 1 Design parameters used in simulation

Parameters	Values
Die corner radius (r)	1(mm), 3(mm), 5(mm)
Gap height (s)	2(mm), 4(mm), 6(mm), 12(mm)
Friction factor (m)	0.05, 0.10, 0.20

3. 해석결과 및 고찰

3.1 설계변수와 성형하중과의 관계

두개이상의 압출구를 통해서 동시에 압출이 일어나는 복합 성형공정에서는 다단계 공정에 비해 행정거리와 같은 공정변수의 조절로 최소한의 에너지로도 성형이 가능하다. 이러한 적은 성형에너지는 공구에 걸리는 하중을 감소시켜 공구의 수명을 연장할 수 있는 경제적 효과도 가져올 수 있다^[14]. 그러나, 생략된 공정으로 인하여 부품에 결함이 발생할 수도 있기 때문에 복합 성형공정에서 압축공정중 발생하는 성형하중을 아는 것은 매우 중요한 일이다.

Fig. 4는 다이코너반경(r)과 갭높이(s)가 각각 3mm와 4mm일 때 성형이 진행됨에 따라 행정거리에

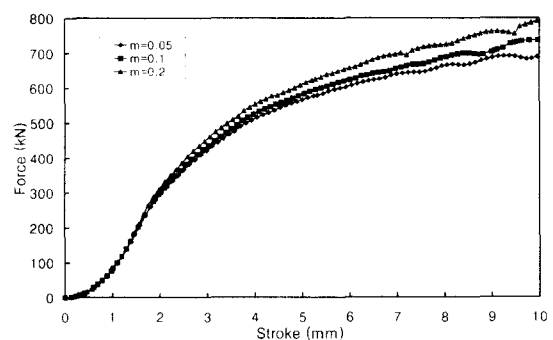
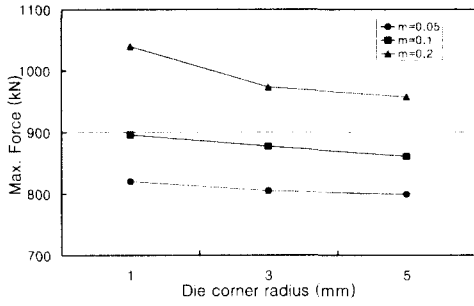
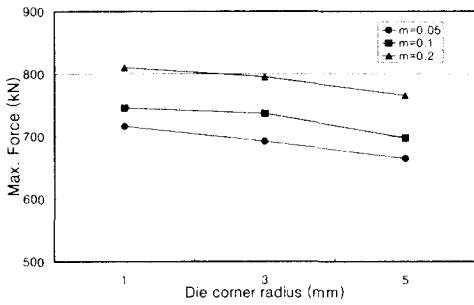


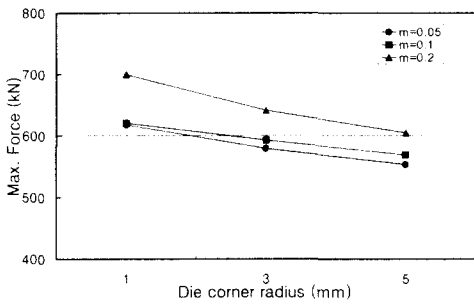
Fig. 4 Comparison of load-stroke relationship for various friction factors



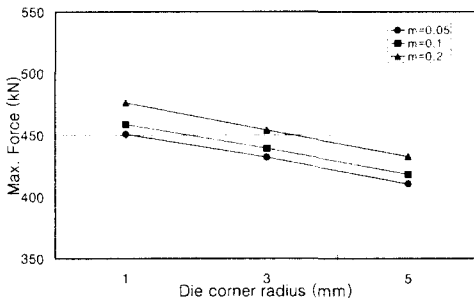
(a) s=2mm



(b) s=4mm



(c) s=6mm



(d) s=12mm

Fig. 5 The effect of die corner radius on extrusion force for various friction factors

따른 각각의 마찰상수에 대한 성형하중의 분포를 나타내고 있다. 그림으로부터, 마찰이 커질수록 이동편치에 가해지는 하중이 조금 증가함을 알 수 있으며, 공정 초반에는 마찰값에 따른 성형하중의 차이가 작게 나타났으나 후반부에 이르러 더욱더 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 공정이 진행됨에 따라서 후방압출과 레이디얼압출로 인해 소재가 유동하면서 금형과의 접촉면적이 커지고 이에 따라 마찰에 의한 영향이 더욱 크게 작용하는 것으로 판단된다.

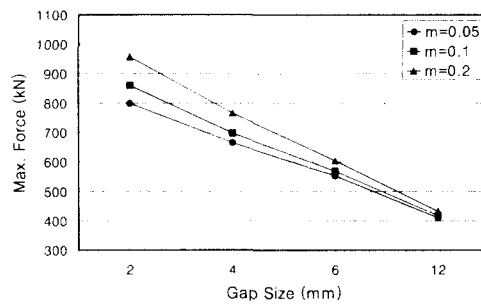
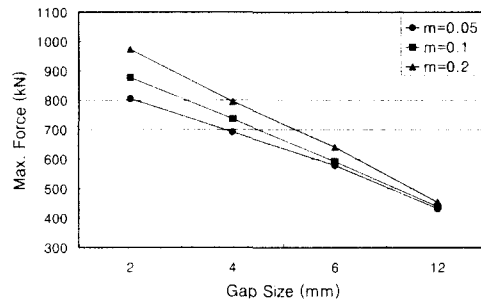
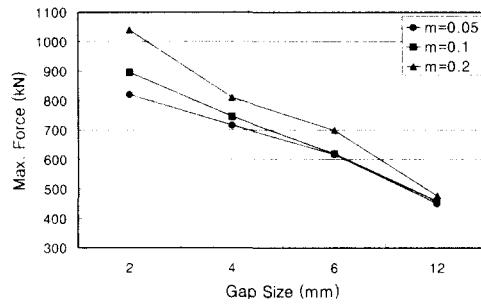


Fig. 6 The effect of gap height on extrusion force for various friction factors

Fig. 5는 서로 다른 갭높이(s)에 대하여 각각의 마찰값에 따른 다이코너반경(r)에 대한 최대성형하중의 변화에 대한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 각각의 갭높이에 대해서 다이코너반경이 커질수록 공정중 발생하는 최대성형하중이 감소하고, 마찰이 커질수록 증가한다. 그러나, 갭높이가 커짐에 따라 최대성형하중이 가장 큰 폭으로 감소하는 것으로 보아 갭높이가 성형하중에 가장 큰 영향을 미치는 설계변수임을 알 수 있다. 각각의 갭높이에 대하여 다이코너반경에 따른 최대성형하중의 변화는 비슷한 경향을 보이고 있으나 갭높이가 커질수록 최대성형하중이 작아짐을 알 수 있다. 또한, 갭높이가 커질수록 마찰값의 변화에 따른 최대하중의 차이는 상대적으로 작게 나타나는 것으로 보아 갭높이가 큰 경우(Fig. 5 (d) 참조)에는 마찰의 영향이 상대적으로 미미함을 알 수 있다.

Fig. 6은 각각의 다이코너반경(r)에 대하여 갭높이(s)와 최대 성형하중과의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 갭높이가 증가할수록, 마찰이 작을수록 최대하중이 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한, 각각의 다이코너반경에 따른 최대성형하중의 변화는 미미함을 알 수 있다. 결국 Fig. 5와 Fig. 6으로부터 세 가지 설계변수 중 갭높이가 최대 성형하중에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 최대하중에 대한 마찰상수의 영향은 갭높이에 따라 크게 달라짐을 알 수 있다. 이것은 냉간압출에서는 충분한 공간의 압출구 확보가 비교적 성형을 원활하게 하며, 좁은 압출구에서는 소재와 금형의 윤활이 보다 중요함을 의미한다.

3.2 설계변수와 소재유동과의 관계

냉간압출은 압출구를 통해 소재를 가압하여 유동하게 함으로써 원하는 형상의 부품을 만드는 것이 주요 목적이다. Balendra^[15], Arentoft^[16] 등은 특정한 압출형상이나 초기빌렛의 치수와 여러 가지 설계변수들과 같은 공정조건에 따른 소재의 유동실험을 했다. 본 논문에서는 레이디얼-후방압출의 성형 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 것으로 캔(can)의 부위와 플랜지(flange)부위로의 유동량을 시뮬레이션을 통해 계산하였다. 이와 같은 결과를 이용하여 각각의 설계변수에 따른 플랜지의 부피에 대한 캔의 부피의 비의 관계를 분석하였다.

Fig. 7은 소재유동에 대한 정확한 해석을 위하여 캔과 플랜지의 부피측정 기준을 나타내는 그림

이다. 그림에서 보는 바와 같이, 캔의 부피는 펀치의 앞부분과 소재가 접촉하는 면(a-b)을 확장하여 이를 기준으로 후방압출되는 부분의 부피를 측정하였으며, 플랜지의 부피는 초기 빌렛을 기준으로 측면금형의 연장선(b-c)을 따라 레이디얼압출에 의해 성형된 부분의 부피를 측정하였다. 그리고, 캔의 부피와 플랜지의 부피를 각각 V_c 와 V_f 로 나타내었다. 설계변수와 부피비와의 관계에 대한 그래프는 보다 정확한 유형을 파악하기 위하여 로그 스케일(log scale)로 나타냈다.

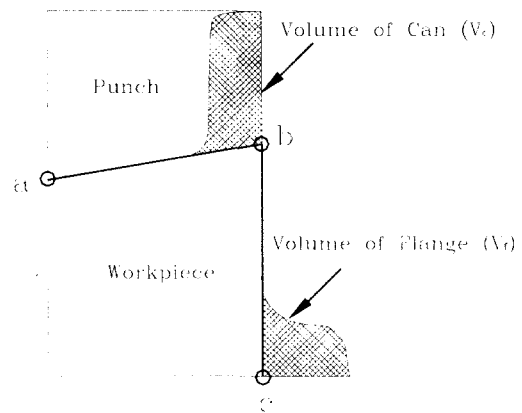
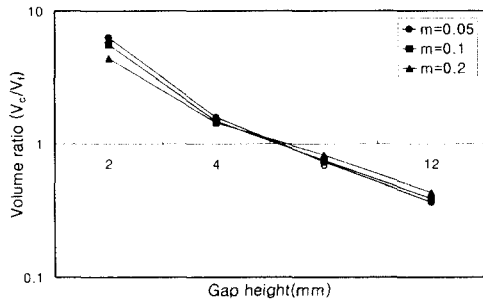


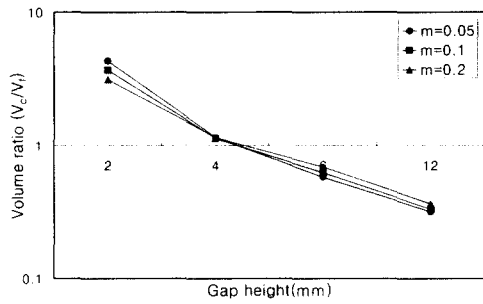
Fig. 7 Method for determination of volume for can and flange

Fig. 8은 각각의 다이코너반경(r)에 대하여 갭높이(s)의 변화에 따른 부피비의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 갭높이가 커질수록 플랜지 부피에 대한 캔의 부피비(V_c/V_f)는 감소한다. 즉, 갭높이가 커질수록 캔으로의 유동은 감소하고, 플랜지로의 유동이 상대적으로 증가함을 알 수 있다. 그러나 전체 그래프 경향을 볼 때 다이코너반경에 의한 영향은 비교적 적게 나타났으며, 마찰은 다른 설계변수에 비해 소재의 유동에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

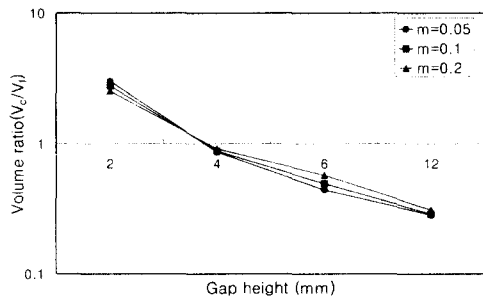
Fig. 9는 다이코너반경의 변화에 따른 부피비(V_c/V_f)의 증감을 보여주고 있다. 그림으로부터 다이코너반경이 증가할수록 부피비가 감소함을 알 수 있다. 이로부터 다이코너반경이 증가하면, 플랜지로의 유동이 증가하고, 동시에 캔으로의 유동은 감소함을 알 수 있다. 그러나, 갭높이에 의한 영향에



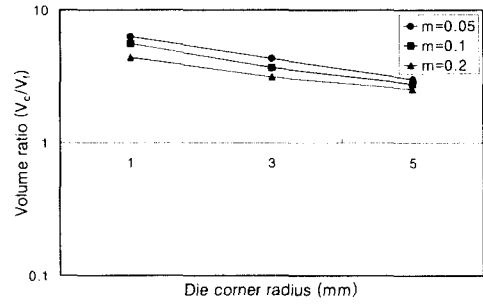
(a) $r=1\text{mm}$



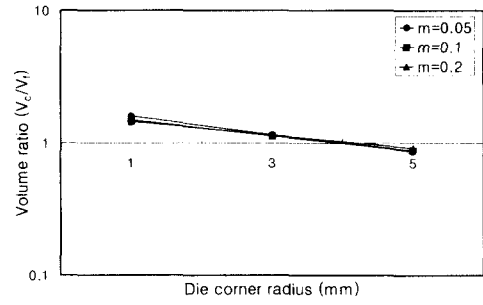
(b) $r=3\text{mm}$



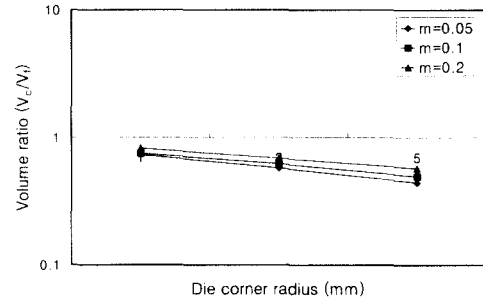
(c) $r=5\text{mm}$



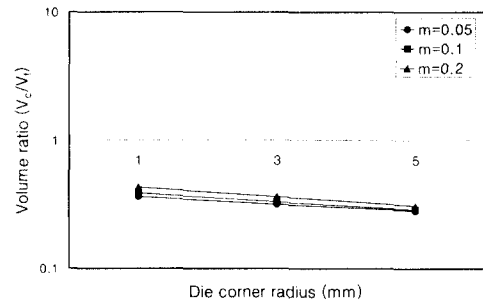
(a) $s=2\text{mm}$



(b) $s=4\text{mm}$



(c) $s=6\text{mm}$



(d) $s=12\text{mm}$

Fig. 8 The effect of gap height on volume ratio(V_c/V_f) with various friction factors

비하여 다이코너반경에 의한 영향은 매우 작음을 알 수 있다.

마찰에 의한 영향을 살펴보면, 갭높이가 2mm인 경우에는 마찰이 증가할수록 부피비가 감소하여 플랜지로의 유동이 증가하나, 갭높이가 6mm와 12mm인 경우에는 마찰이 증가할수록 부피비가 증가하여 플랜지로의 유동이 감소하고, 캔으로의 유동이 증가하였다. 갭높이가 4mm의 경우에는 마찰에 의한 영향이 거의 나타나지 않았다. 이러한 특정한 갭높이

Fig. 9 The effect of die corner radius on volume ratio(V_c/V_f) with various friction factors

에서는 아이어닝(ironing)공정과 유사하게 측면급형, 이동편치에 의한 마찰력이 크기와 방향이 반대가 되어 마찰효과를 상쇄시키는 것으로 판단된다.

Fig. 8과 Fig. 9로부터, 최대 성형하중에서와 마찬가지로 세 가지 설계변수 중 갭높이가 소재의 유동에 가장 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 마찰상수와 소재유동과의 관계는 갭높이에 따라 달라지며, 갭높이의 특정 값을 기준으로 갭높이가 작아지고 마찰이 커질수록 플랜지로의 유동이, 갭높이가 커지면 마찰이 커질수록 캔으로의 유동이 증가한다.

4. 결론

본 논문에서는 단동 프레스에 의한 레이디얼-후방압출 공정의 여러 가지 변수들 중에서 다이코너반경, 갭 높이, 마찰상수를 설계변수로 설정하여 모의실험을 통해 설계변수가 성형하중 및 소재의 유동에 미치는 영향을 비교 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 성형하중과 소재유동에 가장 큰 영향을 미치는 설계변수는 갭높이이며, 갭높이가 커질수록 충분한 압출구로 인해 플랜지로의 유동이 증가하면서 성형하중이 감소한다.
- (2) 다이코너반경이 작고 마찰상수가 커질수록 성형하중이 증가하나, 갭높이가 커지면 마찰에 의한 영향은 상대적으로 감소한다.
- (3) 다이코너반경이 커질수록 레이디얼압출이 원활하게 일어나 플랜지로의 소재 유동량이 증가하지만 상대적으로 캔으로의 유동량은 감소한다.
- (4) 소재유동에 대한 마찰의 영향은 갭높이에 따라 차이를 보이며, 갭높이가 작으면 마찰이 커질수록 플랜지로의 유동이, 갭높이가 크면 마찰이 커질수록 캔으로의 유동이 증가한다.

이상과 같은 해석결과를 통해 최종적인 성형체의 형상에 의한 후방압출과 레이디얼압출의 중요도에 따라 갭높이가 설계변수의 중요한 판단 기준이 될 수 있음을 알 수 있다.

후기

본 논문은 2000학년도 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음(INHA-21369).

참고문헌

1. K. Sevenler, P. S. Raghupathi, and T. Altan, "Forming Sequence Design for Multistage Cold Forging," *J. of Mechanical Working Technology*, Vol. 14, pp. 121-135, 1987.
2. T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegal, "Metal Forming: Fundamentals and Applications," *American Society for Metals*, pp. 231-233, 1983.
3. American Society For Metals, *Source Book on Cold Forming*, Library of Congress Cataloging in Publication Data, pp. 35-341, 1975.
4. N. S. Kim, Y. T. Lim and J. T. Jin, *Manufacturing Processes for Engineering Metals*, Pando Press, 2nd Edition, pp. 320-321, 1995.
5. T. Reinikainen, A. S. Korhonen, K. Andersson, S. Kivivuori, "Computer Aided Modeling of a New Copper Extrusion Process," *Annals of the CIRP*, Vol. 42, No. 1, 1993.
6. C. H. Lee, S. Kobayashi, "New solutions to rigid-plastic deformation problems using a matrix method," *J. Eng. Ind. Trans. ASME* 95, p. 865, 1973.
7. S. I. Oh, G. D. Lahoti and T. Altan, "ALPID - A General Purpose FEM Program for Metal Forming", *Proceedings of NAMRC IX*, State College, Pennsylvania, May 1981.
8. W. Schätzle, "Radial Extrusion of Flanges on Steel Cylindrical Workpieces", *Institute for Metal Forming*, University of Stuttgart, Springer, Berlin, West Germany. Technical Report 93, 1987.
9. W. Schätzle, "Transverse Extrusion of a Collar on Solid Steel Bodies", *Wire*, 34/2, pp. 71 - 74, 1984.
10. R. Geiger, W. Schätzle, "Basics and Application of Radial Extrusion," *Fundamentals of Metal Forming Technique - State and Trends*, proceedings of the International Symposium, Stuttgart, West Germany, October 13 - 14, pp. 139-161, 1983.
11. R. Geiger, "State of the Art and Development Trends in Cold Forging Technology," *Proc. of Adv. Tech. of Plasticity Conf.*, Tokyo, Japan, Vol 1, pp. 469 - 477, 1987.
12. J. A. Pale and T. Altan, "Development of

Equipment and Capabilities for Investigation of the Multi - Action Forming of Complex Parts," Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, pp. 8 - 14, 1989.

13. Air Force Material Laboratory, "Forming Equipment, Materials and Practices," Metal and Ceramics Information Center, p. 164, 1973.
14. W. Osen, "Possibilities and Limitations of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Extrusion," Advanced Technology of Plasticity, Vol. 1, pp. 575-582, 1987.
15. R. Balendra and Y. Qin, "FE Simulation of the Development of Flaws During Injection Forging," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34, p. 1091, 1994.
16. M. Arentoft, H. Bjerregaard, C. B. Andersen, and T. Wanheim, "The Influence of Constitutive Behavior of Materials on the Formability in Radial Extrusion of Tubular Components," J. Materials Processing Technology, Vol. 75, pp. 122-126, 1998.