

레이디얼-전방압출 공정의 성형특성에 관한 연구

황승규* · 이호용** · 황병복***
(2001년 12월 27일 접수)

A Study on the Forming Characteristics of Radial-Forward Extrusion Process

S. K. Hwang, H. Y. Lee and B. B. Hwang

Abstract

This study is concerned with the analysis of the forming characteristics of radial-forward extrusion. Angle between radial and forward extrusion, gap height, and friction factor are considered as important design factors to affect forming characteristics in radial-forward extrusion. The rigid-plastic finite element method is adopted to analyze the effects of design factors on forming loads. The incremental rates of loads are nearly constant except the deformation zone from radial to forward extrusion. The smaller angle induces lesser force increment, therefore forming load increases as the angle increases. Maximum forming load also increases as gap-height decreases and friction factor increases.

Key Words : Radial-Forward Extrusion, Rigid-Plastic FEM

1. 서론

압출공정은 1700년대에 납파이프를 생산할 목적으로 처음 개발되었으며, 주로 챔버 안에서 원형의 빌렛에 램을 통하여 압력을 가함으로서 소재를 다이 사이로 통과시켜 원하는 형상으로 가공하는 공정이다. 다이는 둥근 형

상 이외에도 목적에 따라 여러 가지 형상이 사용된다. 압출에는 직접압출, 간접압출, 정수압압출, 충격압출의 네 가지 기본 유형이 있다.⁽¹⁾

직접압출 혹은 전방압출은 소재의 유동방향이 펀치의 운동방향과 같은 경우의 압출이며, 간접압출 혹은 후방압출은 소재의 유동방향이 펀치의 운동방향과 정반대인

* 인하대학교 자동화공학과 석사과정

** 동국대학교 기계공학과 교수

*** 인하대학교 기계공학부 부교수

경우의 압출이다. 정수압압출은 챔버(chamber)를 유체로 채우고 이를 통하여 빌렛에 압력을 전달하여 소재가 압출되는 방법이며, 충격압출은 후방압출과 유사하나, 펀치가 빠른 속도로 진행하여 소재에 충격을 가하여 소재가 후방압출 되는 경우의 압출을 말한다.⁽²⁾ 또한, 압출의 독특한 형태로 레이디얼압출(radial extrusion)이 있다. 레이디얼압출은 소재의 유동이 펀치의 운동방향과 수직인 경우의 압출을 말하며 보통 전방압출이나 후방압출⁽³⁾ 그리고 업세팅과 결합하여 비교적 복잡한 형태의 부품을 압출로서 생산하는데 사용된다. 레이디얼압출로 생산 가능한 부품으로는 일반적인 이음쇠, 특수한 기어부품, key-shaft 형태의 부품, 튜브 부품과 같이 복잡한 플랜지 형상을 가진 바퀴통 모양의 부품 등이 있다.⁽⁴⁻⁵⁾ 일반적인 단조에서와 마찬가지로 레이디얼압출에서도 갭의 크기나 마찰 등의 여러 가지 설계변수에 의하여 제품의 형상이나 성형하중이 변화하게 된다. 실제 실험으로 이러한 여러 가지 경우의 모든 설계자료를 확보한다는 것은 쉬운 일이 아니다.

따라서, 본 논문에서는 강소성유한요소법⁽⁶⁻⁷⁾을 이용한 모의실험을 통하여 레이디얼 압출과 전방압출이 연계된 공정에서 압출에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 설계 변수들 중 레이디얼 압출과 전방압출 사이의 각도, 상부다이와 하부다이 사이의 갭 높이, 다이와 소재의 마찰 등을 변화시키며 해석하였다. 그 결과로서 설계변수들이 성형하중에 미치는 영향 등을 비교·분석해 봄으로서 레이디얼-전방압출 공정에서의 성형특성을 고찰하였다.

2. 레이디얼 압출과 전방압출 사이의 각도에 따른 성형해석

본 논문에서는 레이디얼 압출과 전방압출사이의 여러 가지 각도를 고려하였으며, 적절한 설계변수를 선정하여 모의실험을 수행하였다. 모의 실험에서는 설정된 설계변수들의 값의 변화에 따른 소재의 성형특성을 비교·분석하였다. 부피성형의 해석을 위한 강소성 유한요소법 코드인 ALPID (Analysis of Large Plastic Incremental Deformation)⁽⁸⁾를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.1 소재의 물성치

해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 근사적으로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

여기서, K 는 강도계수(strength coefficient)이고, n 은 가공경화지수(work-hardening exponent) 혹은 변형경화지수(strain-hardening exponent)라 한다. 시뮬레이션에 사용된 재료의 K 와 n 값을 구하기 위한 방법으로는 실험적 방법⁽⁹⁾과 해석적 방법⁽¹⁰⁾이 있다. 본 논문에서는 해석적 방법을 토대로 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 K 와 n 의 값을 도출하였다.

$$K = \sigma_y^{1-n} E^n \quad (2)$$

$$S_u = K \left(\frac{n}{e} \right)^n \quad (3)$$

여기서, σ_y 는 항복강도(yield strength), E 는 탄성계수(Young's modulus), S_u 는 인장강도(tensile strength), e 는 자연대수이다. 이 세 가지의 값은 Metals Handbook⁽¹¹⁾에서 참조하였다. 빌렛의 재질은 AA 6063 알루미늄 합금을 사용하였고, 상온에서의 냉간압출 공정이므로 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 해석적 방법을 토대로 다음의 식으로 표현하였다.⁽¹²⁾

$$\bar{\sigma} = 138.0 \bar{\epsilon}^{0.145} \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

소재와 금형 사이의 마찰은 냉간압출에서 비누로 완전 윤활할 때 일정한 전단마찰을 가정하여 마찰인자 값을 각각 0.1, 0.15, 0.2로 가정하여 해석하였다.⁽¹³⁾

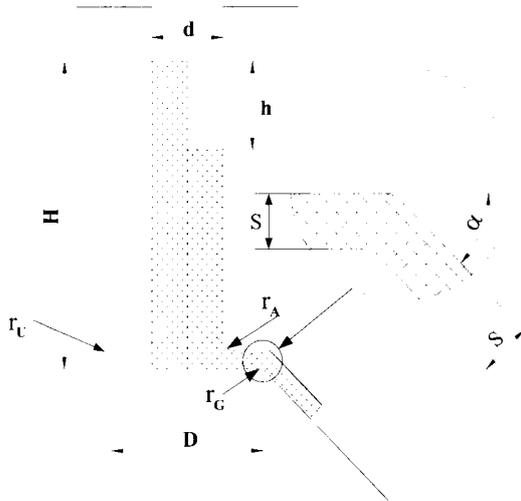
2.2 해석조건

본 논문에서는 설계변수인 레이디얼 압출과 전방압출 사이의 각도와 갭 높이, 그리고 마찰인자를 실제 공정이 가능한 범위 내에서 여러 가지로 변환시켜가며 시뮬레이션을 시도하였다. 모의실험에 사용된 설계변수로 레이디얼 압출과 전방압출사이의 각도(α) 갭 높이(S), 마찰인자(m)를 변화시키며 해석하였으며, Table 1은 모의 실험에 사용된 설계변수의 값을 정리하였다. 빌렛 직경은 모든 경우에 동일하게 16.0 mm로 설정하였고, 또한 모든 시뮬레이션에서 행정거리(h)는 30.0 mm로 일정하게 하였다.

모든 시뮬레이션에 사용된 초기빌렛의 직경(d)은 16 mm이고, 초기소재의 높이(H)는 70 mm이다. 하부다이의 곡률 반경(r_c)은 2 mm이며 다이코너반경(r_A)과 필렛 반경(r_f)도 같은 값을 적용하였다. Fig. 1은 해석에 사용된 금형의 형상을 보여주며 Fig. 2는 레이디얼 압출과 전방압출사이의 각도 변화에 따라 최종 상태로 압출된 모양

Table 1 Design Parameters used in Simulation

Parameters	Values
Angle (α , degree)	0, 30, 45, 60, 90
Gap Height (S)	4mm, 5mm, 6mm
Friction Factor (m)	0.1, 0.15, 0.2



- d billet diameter
- D mandrel diameter
- H billet height
- h punch stroke
- r_A die-corner radius
- r_C fillet radius
- r_G mandrel-corner radius
- S gap height
- α angle

Fig. 1 Die Geometry used in Analysis

이다.

2.3 해석결과 및 고찰

레이디얼 압출과 전방압출사이의 각도변화에 따른 하중상태와 갭 높이와 마찰인자 등의 설계변수들의 최대하중에 대한 영향으로 나누어 분석하였다. 각각의 각도에 따른 하중상태는 하중-행정 선도를 그려 하중의 변화를 살펴보았다. 또한 각각의 설계변수와 최대 작업하중과의 관계를 살펴보았으며, 각각의 설계변수가 다른 설계변수

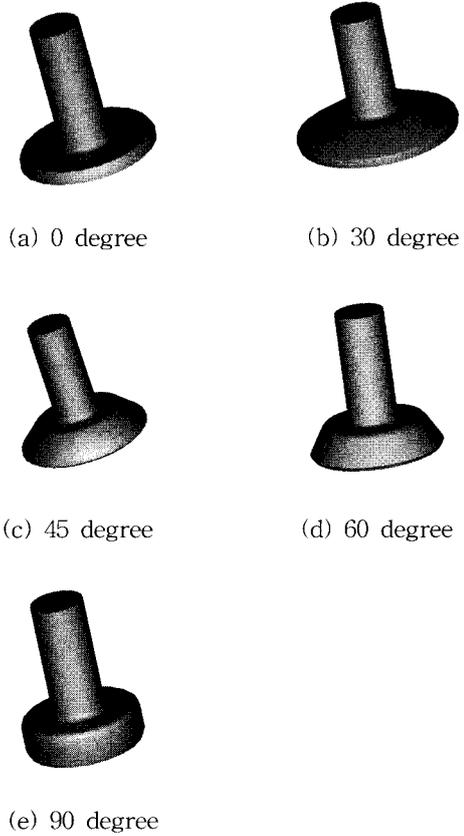


Fig. 2 Schematic Configuration of Extruded Parts for various Angle

와 최대하중과의 관계에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

2.3.1 각도에 따른 하중상태의 영향

Fig. 3은 갭 높이가 4mm로 일정하고 마찰인자의 값이 0.15일 경우 각각의 각도에서 작업하중의 변화를 나타낸 것이다. 그래프를 보면 각도가 90° 인 경우에 행정이 17 mm 부근에서 하중이 급격히 증가하다가 이후 거의 일정한 하중상태를 유지하는 것을 알 수 있는데 격자의 모양을 보면 소재의 유동이 레이디얼 압출에서 전방압출로 넘어가는 과정에서 하중이 급격히 변화하는 것을 알 수 있다. 30°, 45°, 60°의 경우에도 90° 처럼 하중이 급격히 증가하지는 않지만 레이디얼 압출에서 전방압출로 진행되는 부분에서 하중이 많이 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 각도가 작아지면 변형영역은 넓어져 긴 행정구간

동안 서서히 하중이 증가됨을 알 수 있다. 따라서 각이 클수록 최대하중도 증대된다. 레이디얼 압출의 경우는 하중증가율의 변화가 없어 최대하중이 가장 작다.

Fig. 4는 갭 높이가 4mm로 일정하고 마찰인자의 값이 0.1, 0.15, 0.2 일 경우에 작업하중의 변화를 나타낸 것이

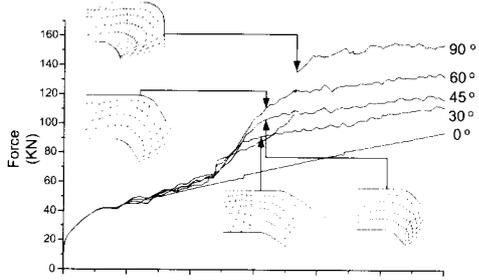


Fig. 3 Comparison of Load-Stroke relationship for Angle ($S = 4\text{mm}$, $m = 0.15$)

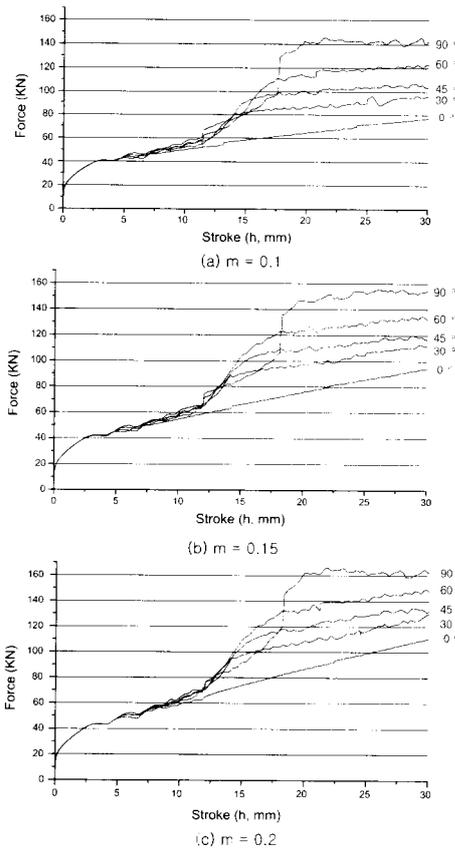


Fig. 4 Comparison of Load-Stroke relationship for Friction Factor ($S = 4\text{mm}$)

다. 모든 각도에서 마찰인자 값의 증가에 따라 하중이 증대되며, 갭 높이가 일정한 경우 하중-행정선도가 거의 같은 경향을 가짐을 볼 수 있다.

2.3.2 설계변수와 최대하중과의 관계

Fig. 5는 마찰인자 값과 각도 변화에 대한 최대하중의 관계를 나타내고 있다. 그림으로부터 마찰인자가 커질수록, 또한 각도가 증대될수록 최대하중이 증가함을 확인할 수 있다.

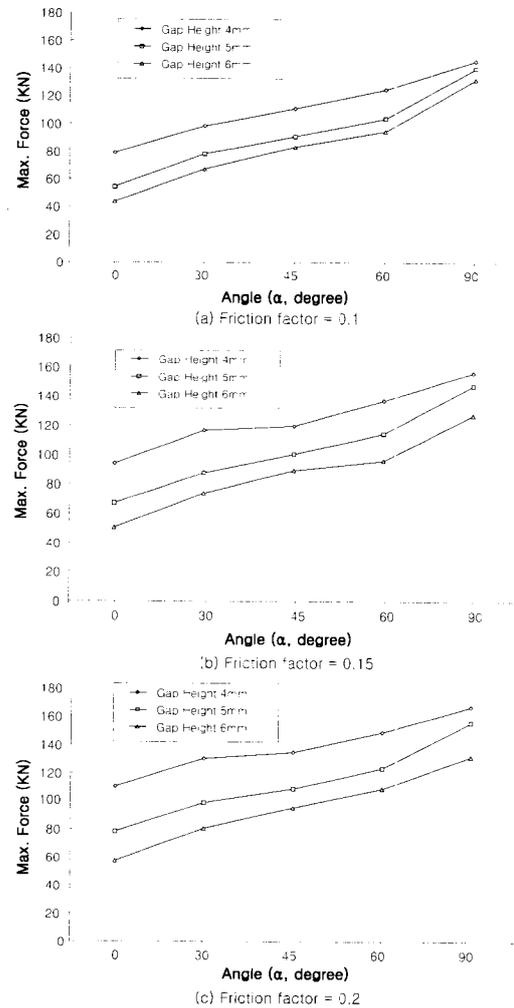


Fig. 5 Effect of Friction Factor and Angle on Force Requirement

Fig. 6은 각도와 갭 높이의 최대하중과의 관계를 나타내고 있다. 각이 90° 인 경우에 최대하중이 가장 크며, 각도가 감소할수록 최대하중도 감소하였다. 각각의 각도

에서 마찰인자의 값이 증가할수록 최대하중도 증가함을 확인 할 수 있다.

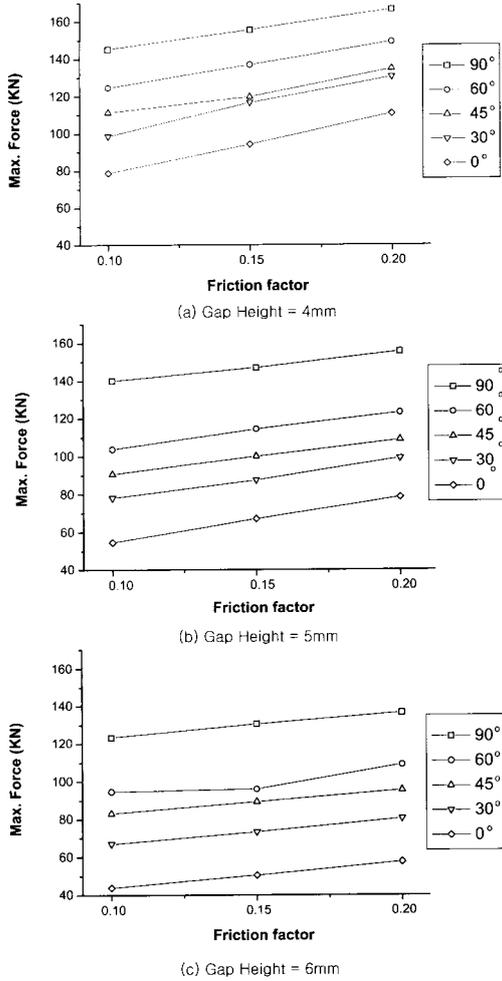


Fig. 6 Effect of Angle and Gap Height on Force Requirement

Fig. 7은 갭 높기와 최대하중과의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 갭 높이가 증가할수록 최대하중은 감소한다. 마찰인자의 값이 커지면 최대하중이 증가하나 갭 높이가 커지면 마찰에 의한 영향은 감소함을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 레이디얼압출과 전방압출이 연계된 공정에 대한 성형특성을 고찰하였다. 여러 변수들 중에서 레

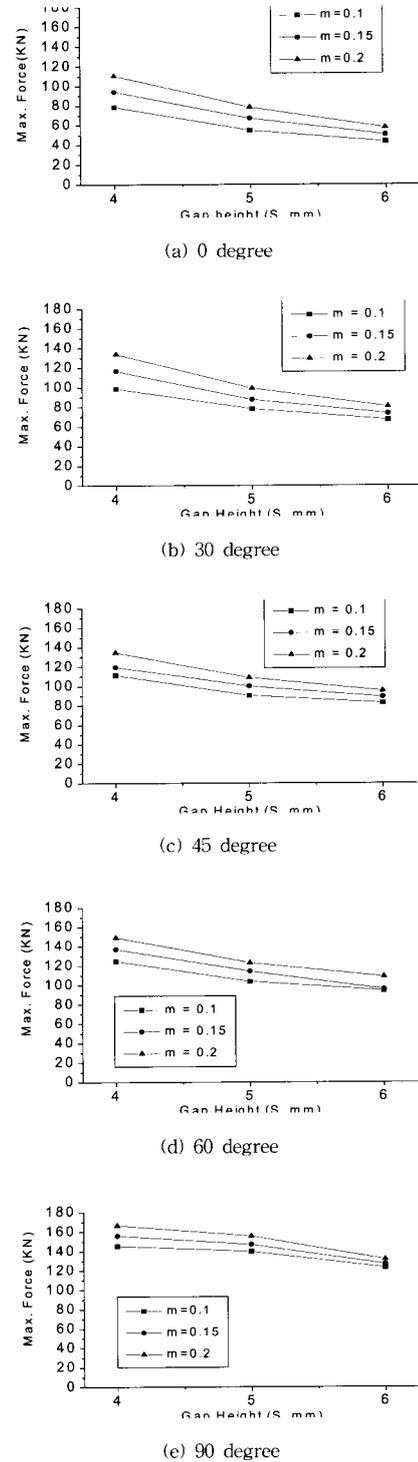


Fig. 7 Effect of Gap Height and Friction Factor on Force Requirement

이디얼압출에서 전방압출로의 각도, 갭 높이, 마찰인자를 설계변수로 설정하였고, 강소성 유한요소법을 이용한 모의실험을 통해 각도에 따른 하중상태와 설계변수가 성형하중에 미치는 영향을 비교·분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 레이디얼 압출이 진행되는 동안에는 모든 각도에서 하중증가율이 비슷하지만, 소재의 유동이 전방압출로 넘어가는 과정에서 하중증가율이 커진다.

(2) 레이디얼 압출에서 전방압출로 변화될 때 각이 클수록 작은 행정구간에서 하중증가율이 급격히 증대된다. 이후 전방압출로의 변형이 시작되는 구간에서 거의 일정한 하중증가율을 가진다. 따라서 각이 커질수록 최대하중의 크기는 증가한다.

(3) 갭 높이가 증가할수록 최대하중은 감소한다.

(4) 마찰인자의 값이 커질수록 최대하중은 증가하나, 갭 높이가 커지면 마찰에 의한 영향은 감소한다.

후 기

본 연구는 2001년도 인하대학교의 연구비지원(INHA-21957)과 동국대학교 논문게재연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) S. Kalpakjian, 1992, Manufacturing Processes for Engineering Material, Addison-Wesley Pub. Co., Inc., pp.363~376.
- (2) S. Kobayashi, S. I. Oh and T. Altan, 1989, Metal Forming and the Finite Element Method, Oxford Univ. Press, pp.8~25.
- (3) 장동환, 최호준, 이호용, 황병복, 2000, "후방압출과 연계한 레이디얼압출의 성형특성에 관한 연구", 한국소성학회지, 제9권 7호, pp.754~760.
- (4) R. Geiger, W. Schätzle, 1983, "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.
- (5) R. Geiger, 1987, "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.
- (6) 박종남, 박태준, 김병민, 2001, "유동제어에 의한 피스톤핀의 전후방압출 공정 개발", 한국소성가공학회, 압출 및 인발 가공 심포지엄, pp.3~10.
- (7) 황병복, 이호용, 1994, "유한요소법을 이용한 disk-brake piston의 공정설계", 한국소성가공학회지, 제3권 2호, pp.178~188.
- (8) S. I. Oh, G. D. Lahoti and T. Altan. 1981, "ALPIDD - A General Purpose FEM Program for Metal Forming", Proceedings of NAMRC IX, State College, Pennsylvania.
- (9) E. Paul DeGarmo, 1967, Materials and Processes in Manufacturing, Macmillan Pub. Co., Inc., pp.27~34.
- (10) J. Datsko, 1966, Material Properties and Manufacturing Processes, Malloy Inc., Ann Arbor, Michigan, pp.31~36.
- (11) The Materials Information Society, Metals Hand books, Vol. 2 tenth edition, pp.104~105.
- (12) Air Force Material Laboratory, 1973, "Forming Equipment, Materials, and Practices", Metal and Ceramics Information Center, p.164.
- (13) Y. S. Chang, 2000, "A study on the Forming Characteristics of Radial Extrusions Combined with Forward Extrusion", Master Dissertation, Inha Graduate School, pp.26~46.