

레이디얼 압출의 성형특성

이수형* · 황병복**

Forming Characteristics of Radial Extrusions

Soo-Hyung Lee and Beong-Bok Hwang

Abstract

This paper is concerned with the family of parts that generally feature a central hub with radial protrusions. Typical parts that fall into this category include cross pieces for universal joints, tube fittings, and differential gears. As opposed to conventional forward and backward extrusion, in which the material flows in a direction parallel to that of the punch or die motion, the material flows perpendicular to the punch motion in radial extrusion. In this study, the forming characteristics of radial extrusion will be considered by comparing the forces, shapes etc. The design factors during radial extrusion are investigated by the rigid-plastic FEM simulation.

Key Words : Radial Extrusion, Central Hub, Material Flow, Rigid-Plastic FEM

1. 서론

레이디얼 압출공정(Radial Extrusion Process)은 재료의 유동(Material Flows)이 펀치나 다이의 운동방향에 평행한 전통적인 전후방 압출에 비해, 재료의 유동이 펀치의 운동방향과 수직방향인 압출을 말하며 이 방법으로 생산되는 전형적인 부품으로는 일반적인 이음쇠, 튜브 부품, 특수한 기어 등에 사용되고 있다.^[1]

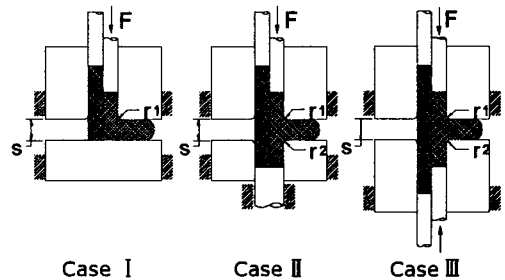
본 연구에서는 강소성 유한요소법^[2]을 이용하여 레이디얼 압출공정에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 설계변수들 중 가장 중요한 변수로서 알려진 갭 높이(Gap Height)와 다이코너반경(Die Corner Radius)을 변화시키면서 여러 가지 경우를 해석하였다. 해석의 결과로서 이러한 변수들이 성형품의 형상 및 펀치에 미치는 압력 등을 비교·분석해 봄으로써 레이디얼 압출의 성형특성을 고찰하였다.

2. 레이디얼 압출의 성형해석

2.1 Radial Extrusion

Schätzle은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 칼라와 플랜지의 레이디얼 압출에서의 3가지의 기본적인 변형형태를 실험적 방법으로 연구하였다.^[3-4] 그

림에서 Case I은 평다이가 고정되어 있고 원통 모양의 빌렛은 상부펀치에 의하여 압출된다. Case II는 오목한 낮은 다이에 하부펀치가 고정되어 있으며 상부펀치만이 하강하여 압출이 이루어지며, Case III는 빌렛의 중심을 향하여 동시에 움직이는 상부와 하부펀치에 의하여 성형이 이루어진다. Fig. 1의 각각의 그림에서 왼쪽은 성형전의 상태를, 오른쪽은 성형후의 형상을 도식적으로 나타낸 것이다. Fig. 2는 각각의 경우의 완성품의 모양을 나타낸 것이다.



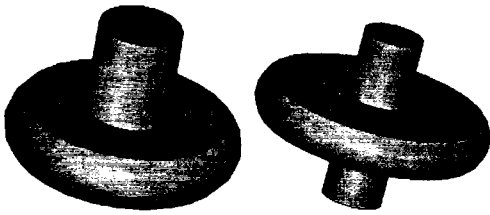
Case I with one die against a level tool surface
Case II with one die against a solid counter-die
Case III with counter-operating dies

Fig. 1 Variants of Radial Extrusion

2.2 해석조건

각각의 공정에서 설계변수로는 다이코너반경 (r_1 , r_2), 갭높이(s)로 설정하여 해석하였으며, 해

* 석사과정, ** 인하대학교 자동차공학과 부교수



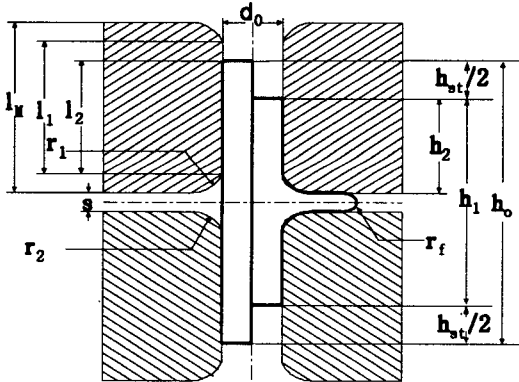
Case I Case II, III

Fig. 2 Schematic configuration of Radial Extrusion

석에 사용된 소재의 직경은 모든 경우에 다 같이 16mm로 하였다. 각각의 해석에 적용된 설계변수를 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Design Factors in Analysis

| Factors | Values |
|---|-----------------------------------|
| Gap Height(s) | 4mm, 8mm, 12mm, 16mm |
| Corner Radii(r ₁ ,r ₂) | 1.0mm, 2.0mm, 3.0mm, 4.0mm, 5.0mm |



- l_M die height
- l₁ length of the cylindrical portion of the die bore
- l₂ blank length within the cylindrical portion of the die
- r₁, r₂ expansion radii
- r_f flange radius
- h₀ blank length
- h₁ work piece length
- h₂ shank length
- s flange thickness, gap height
- d₀ blank diameter
- h_{st} die stroke

Fig. 3 Radial Extrusion Die Geometry

본 논문에서는 Case III인 경우에 대하여 갭높이와 코너반경을 실제 공정에서 가능한 범위 내에서 여러 가지로 바꾸어 가며 총 20가지의 경우

를 해석하였다.

해석에 사용된 다이의 형상은 Fig. 3에 나타나 있다. 모든 해석에서 다이높이(die height) l_M = 50mm이고, 초기 상태에서 다이의 측면과 접촉하고 있는 빌렛의 길이(billet length)는 l₂=40mm이다. 각각의 펀치의 행정거리는 h_{st}/2=10mm이다.

2.3 실험과의 비교

해석에 앞서 레이디얼 압출에 대한 유한요소법에 의한 해석의 타당성을 검증하기 위하여 장소성 유한요소법^[2]을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 해석에 의한 하중값을 실험치와 비교하였다. 재료의 수치는 실험^[1]에서와 같은 조건인 지름이 32.0(mm), 초기 상태에서 다이와의 접촉길이(l₂)가 40.0(mm)인 초기 빌렛을 사용하였으며, 다이형상도 모두 같은 조건으로 하였다. 빌렛의 재료는 AISI 1006 강재를 사용하고, 가공이 상온에서의 냉간 압출 공정이므로 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 Power law에 따라 다음의 식으로 표현하였다.^[5]

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

재료와 금형 사이의 마찰인자는 냉간압출의 경우에 전문가에 의하여 제시된 일반적인 값인 0.1로 가정하였다.^[2] 각 공정의 행정거리(h_{st})는 20mm이다.

본 연구에서는 실험값과의 비교를 위하여 유동특성에 커다란 차이를 보이는 Case I 과 Case III의 두 가지 경우를 실제 실험과 비교하였다.

Fig. 4는 Case I 과 III의 실험과 같은 치수로 시뮬레이션을 한 결과이다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 Case I의 경우 재료가 유동하면서 끝 부분이 다이에서 떨어지는 현상이 나타났다. 실험과 시뮬레이션에 사용된 변수들의 치수인 r₁=5.0mm, s=8mm, d₀=32mm인 경우 다이에서 소재가 떨어진 거리 h=1.89mm로 계산되었다.

Fig. 5에 실험한 경우와 해석한 경우의 하중-행정 선도를 비교하였다. 해석과 실제 실험의 하중은 10% 이내의 오차 범위에 있다. Case I, III 두 가지 경우 모두 해석한 하중이 실험치 보다 조금씩 낮게 나오는 경향을 볼 수 있다. Case I의 경우 Case III보다 마찰의 영향을 적게 받으므로 보다 적은 하중이 예측되며, 시뮬레이션 결과

는 이와 같은 점을 확인시킨다.

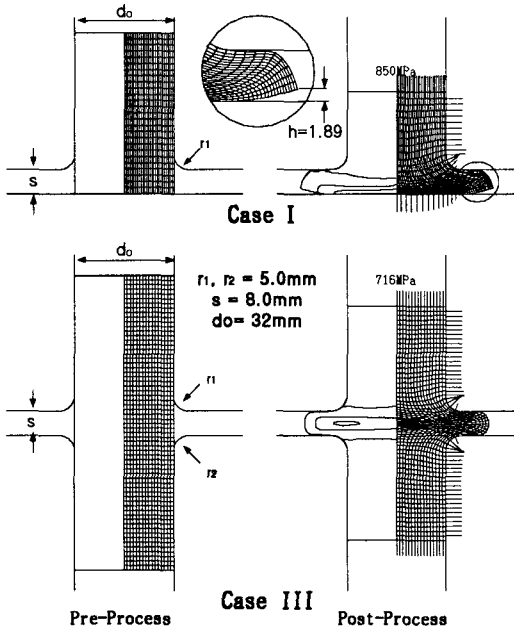


Fig. 4 Deformation patterns of Case I and III

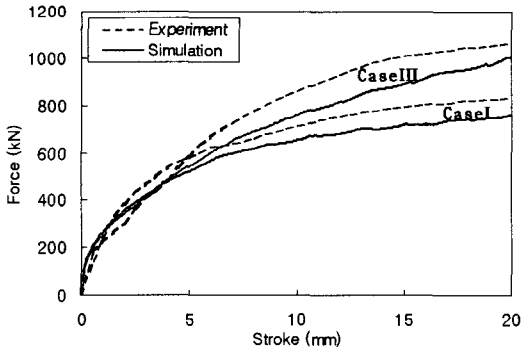


Fig. 5 Comparison of Load Requirements for Simulation and Experiment

2.3 해석결과 및 고찰

각각의 세 가지 변형결과의 최종 모양을 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 각각의 그림의 왼쪽부분은 성형이 완벽하게 이루어져서 다이의 틈이 완전히 충전될 때 예상되는 모습이며, 그림의 오른쪽 부분은 실험과 시뮬레이션에서 실제로 얻어진 모양을 도식적으로 표현한 것이다. 실제 실험 결과에서는 갭으로 압출되어 빠져나간 소재가 초기 소재의 축 방향과 일정한 각도 α 를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 Case III의 경우 각각의 설계변수에 따라 변하는 플랜지각도

(α) 값을 비교했다.

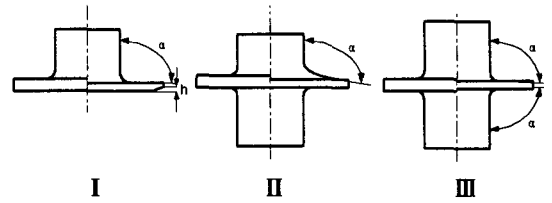


Fig. 6 Shape Deviations of Radial Extrusion

해석결과에서 플랜지각도(α)와 플랜지반경(r_f) 값을 구하려면 구분되는 판단기준이 필요하다. 여기에서는 α 와 r_f 의 값을 Fig. 7과 같이 결정했다. r_f 값은 중앙을 지나는 점과 아래위의 4번째에 위치한 세 점(\times marked)을 지나는 원의 반경으로 측정하였으며, α 값은 Die에서 떨어진 첫 번째 점(\circ marked)과 r_f 에 접하지 않는 첫 번째 점(\circ marked)의 연장선이 다이와 이루는 각으로 측정하였다.

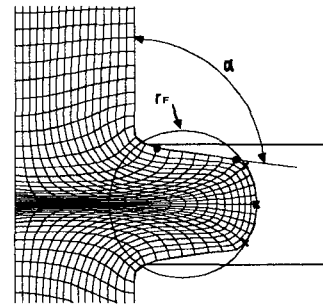


Fig. 7 Method of Determination for r_f and α

Fig. 8은 다이 코너반경과 갭높이의 변화에 따른 플랜지각의 변화를 보여 주고 있다. 일정한 다이코너반경에서 갭높이가 클수록 플랜지각이 커지는 경향을 볼 수 있다. 갭의 높이가 특정한 높이 이상에서는 다이코너반경이 커질수록 플랜지각이 증가하나, 갭의 높이가 낮은 경우에는 플랜지각에는 갭높이가 별다른 영향이 없다. 갭의 높이 $s=16\text{mm}$ 인 경우에 스트로크가 20mm일 때 소재의 압출이 본격적으로 시작되므로 플랜지각이 매우 크게 나타났다.

플랜지반경(r_f)과 다이코너반경(r), 갭높이(s)의 관계를 Fig. 9에 나타내었다. 갭높이가 특정한 높이 이상에서는 다이코너반경이 클수록 플랜지 반경이 크게 형성되는 것을 볼 수 있으나 갭높이가 작을 때에는 큰 차이가 나지 않는다. 일정한 다이코너반경에서는 갭높이가 클수록 큰 플랜지 반

경의 형성을 허용한다.

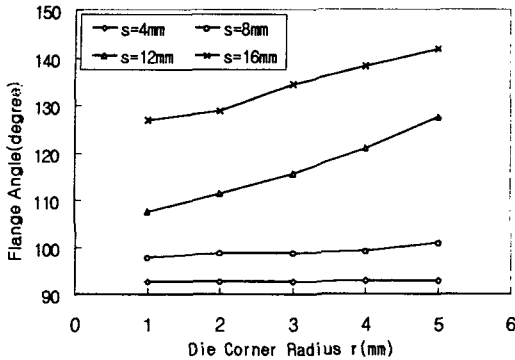


Fig. 8 Effect of Gap Height and Die Corner Radius on Flange Angle

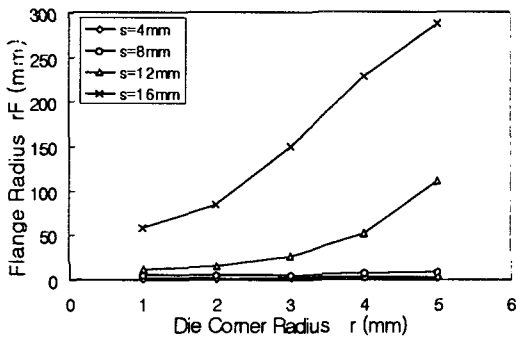


Fig. 9 Effect of Gap Height and Die Corner Radius on Flange Radius

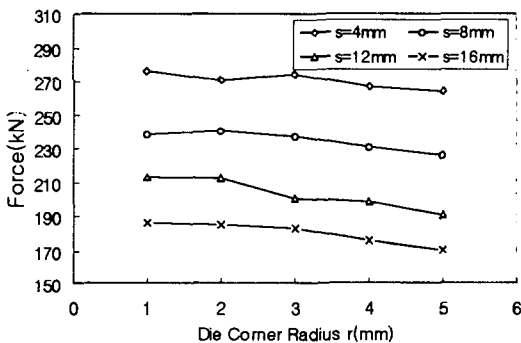


Fig. 10 Effect of Gap Height and Die Corner Radius on Force Requirement

다이코너반경(r), 갭높이(s)가 하중에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 일정한 다이코너반경에서는 갭높이가 작을수록 큰 하중을 요구한다. 일정한 갭높이에서는 다이코너 반경이 작을수록 큰 하중을 요구한다. 그림에서 보는 것처럼 다이코너반경의 영향은 갭높이의 영향에 비해 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있다. 갭높이는 성형

하중에 가장 큰 영향을 미치는 변수가 된다.

3. 결론

본 논문에서는 Radial Extrusion Process의 여러 가지 변수들 중에서 Die Corner Radius와 Gap Height의 값을 변화시켜서 이 변수들이 Die Force, Flange Angle, Flange Radius에 미치는 영향을 비교·분석했으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일정한 갭높이에서 다이코너반경이 클수록 큰 플랜지 반경이 형성된다.
- 2) 일정한 다이코너반경에서 갭높이가 작을수록 상대적으로 큰 하중을 요구한다.
- 3) 일정한 갭높이에서 다이코너반경이 작을수록 상대적으로 큰 하중을 요구한다.

후기 : 본 논문은 인하대학교의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- (1) John Andrew Pale and Taylan Altan, 1989, "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.
- (2) S. Kobayashi, S. I. Oh and T. Altan, 1989, "Metal Forming and the Finite-Element Method," Oxford University Press, pp. 30-33, 327-334.
- (3) Schätzle, W., 1987, "Radial Extrusion of Flanges on Steel Cylindrical Workpieces," Technical Report 93, Institute for Metal Forming, University of Stuttgart, Springer, Berlin, West Germany.
- (4) Schätzle, W., 1984, "Transverse Extrusion of a Collar on Solid Steel Bodies," Wire, 3 4/2, pp. 71-74.
- (5) Air Force Material Laboratory, 1973, "Forming Equipment, Materials, and Practices," Metal and Ceramics Information Center, p. 164.