

# 단볼이 로드의 성형에서 소재유동에 관한 해석

고병두<sup>†</sup> · 강동명 · 이하성

유한대학 금형설계과

(2007. 12. 28. 접수 / 2008. 3. 28. 채택)

## Numerical analysis on the material flow in stepped rod forming

Byung-Du Go<sup>†</sup> · Dong-Myung Gang · Ha-Sung Lee

Department of tool and mold design, Yuhan college

(Received December 28, 2007 / Accepted March 28, 2008)

**Abstract :** This paper is concerned with the analysis of material flow characteristics of stepped rod forming. The analysis in this paper concentrated on the evaluation of the design parameters for deformation patterns of tube forming, load characteristics, extruded length, and die pressure. The design factors such as punch nose radius, die corner radius, friction factor, and punch face angle are involved in the simulation. The stepped rod forming is analyzed by using a commercial finite element code. This simulation makes use of stepped rod material and punch geometry on the basis of punch geometry recommended by International Cold Forging Group. As radius ratio is large, forming load was reduced but extruded length ratio was increased.

**Key Words :** Extruded length ratio, Non-contact extruded length, Load-stroke, Stepped rod forming

### 1. 서 론

복합압출(combined extrusion)은 편치나 소재의 진행방향이 둘 이상인 공정으로써 대개 단이나 공동을 포함한 제품을 성형하고 있다. 대부분의 기계부품은 이와 같이 단이나 공동의 형태를 갖고 있기 때문에 복합압출을 통해 생산되는 부품의 범위는 크게 증가하고 있다.

복합압출에서 빌렛은 캔과 캔, 캔과 로드, 캔과 튜브, 로드와 로드 등과 같이 각 각 다른 조합을 갖고 양 끝단에서 2개 이상의 압출구를 통해 동시에 압출이 진행된다.<sup>1</sup> 따라서 2방향의 소재유동을 제어하는 것은 복합압출의 마지막 행정에서 다이압력을 줄이는데 있어서 매우 중요하며,<sup>2</sup> 소재유동을 정확히 파악하고 그 유동을 제어할 수 있는 방법이 필요하다.<sup>3,4</sup> 이러한 복합압출 공정은 전방압출이나 후방압출과 같은 단공정 압출과는 달리 복합되어 상호 구속하면서 서로 상관관계를 갖기 때문에 해석상의 난점이 존재하고 근본적으로 비정상상태의 유동에 속한다.<sup>5</sup>

소성가공 공정에서 소재는 작용된 압력으로 유동

하며, 유동을 안내하는 금형의 형상으로 변형된다. 따라서 금형과 소재의 접촉면에서의 마찰은 소재의 유동에 큰 영향을 주어 마찰상태에 따라 제품의 형상, 성형하중 등이 다르게 나타난다. 특히 압출에 의한 로드성형의 경우 빌렛의 외측면은 금형과의 마찰로 인하여 전단변형이 발생되며 중심부는 순수인장변형을 받게 된다. 이로 인해 빌렛의 양 끝단에서 중심부와 표면사이에는 유동길이의 차이가 나타나게 되어 축대칭의 반구형(semi-sphere) 형상으로 성형된다. 본 논문에서는 복합압출을 통한 단볼이 로드성형에 있어 금형의 형상 및 유동길이차이에 의한 비접촉 압출길이(non-contact extruded length)가 로드의 성형특성에 미치는 영향을 분석하였다.

### 2. 유한요소 해석 조건

압출이나 단조처럼 전체적인 변형이 일어나는 소성문제에서는 탄성변형의 양이 적기 때문에 계산의 효율측면에서 일반적으로 강소성유한요소법(rigid-plastic FEM)이 널리 이용되고 있다.

본 논문에서는 상용 알루미늄합금인 AA2024를

소재로 하여 감소성유한요소법에 의한 시뮬레이션을 수행하였다. 소재의 재료상수인 강도계수와 가공경화지수는 Power law<sup>6,7</sup>에 의해 구하였으며 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계는 다음 식(1)과 같다.

$$\sigma = 386.55 \varepsilon^{0.154} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Fig. 1은 복합압출에 의한 로드(rod)성형의 개념과 해석에 사용되어진 변수들을 도식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 이동편치가 하강하면 편치와 동일한 방향의 전방압출에 의해 로드가 성형된다. 이와 동시에 편치의 이동방향과 반대인 편치의 내경면을 따라 소재의 유동이 이루어지면서 후방로드가 성형된다. 이 때 전,후방으로 유동이 되지 않고 다이에 잔류한 소재는 로드를 연결하는 단을 형성하게 되며, 편치의 행정거리에 의해 그 길이가 결정된다.

본 논문에서는 모의실험을 위하여 외경(D<sub>0</sub>)이 32mm, 높이(h<sub>0</sub>)가 24mm인 빌렛을 사용하였으며, 편치의 행정거리(h<sub>st</sub>)는 24mm로 일정하게 하였다. 그 외에 전방압출 로드반경(W1)은 10mm, 칼라(collar) 코너반경(R2) 및 다이코너반경(R3)은 각각 2mm로 고정하였으며, 마찰인자 계(μ)는 0.1로써 모든 실험에 동일하게 적용하였다. 주요 설계변수는 전방압출 로드반경에 대한 후방압출 로드의 반경비(W2/W1), 편치코너반경(R1), 그리고 다이각도(2α) 등이며, Table 1에 설정된 값들이 나타나 있다.

### 3. 해석 결과

#### 3.1 성형하중

축대칭 로드, 튜브, 캔이 조합되어 빌렛의 양 끝 단으로 소재가 유동되는 복합압출은 전방압출 및 후방압출과 같은 단 공정에 비해 압출하중을 최소화 할 수 있으며 과도한 압출하중에 의한 금형의 수명저하를 방지할 수 있다.<sup>8</sup>

Fig. 2는 반경비 0.8과 1.2에서 편치코너반경에 따른 성형하중을 편치 행정거리에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 반경비가 작은 경우에서 더 큰 성형하중을 나타내고 있다. 또한 동일한 반경비에서 편치 코너반경이 작을수록 상대적으로 더 큰 성형하중을 나타내고 있다. 그러나 성형하중에 미치는 코너반경의 영향은 반경비가 작을수록 작게 나타나고 있다. 모든 경우 초기 행정에서는 하중이

크게 증가하고 있으나, 행정의 후반으로 갈수록 하중이 점점 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 행정이 진행 될수록 로드 중간의 단부길이(steped length)가 짧아지면서 마찰의 영향이 상대적으로 줄어들고 있기 때문으로 판단된다.

Table 1 Design parameters used in simulation

Parameters	Values
Outer diameter ratio	0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2
Punch corner radius(mm)	2.0, 3.0, 4.0
Die entry angle(°)	170, 180

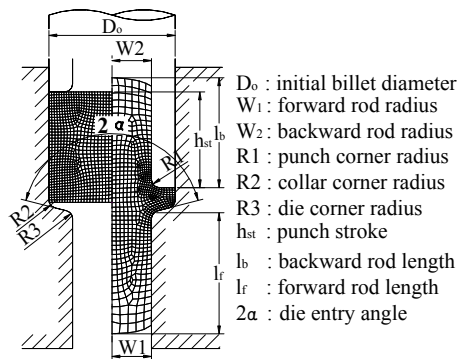


Fig. 1 Die geometry of rod with rod forming

Fig. 3은 전후방의 동일한 압출구 크기를 갖는 반경비 1.0에서의 성형하중을 다이각도에 따라 비교한 것이다. 코너반경을 성형하는 초기행정에서 다이각도 180° 인 경우 상대적으로 하중이 빠르게 증가하고 있다. 그러나 이후의 성형하중은 다이각도와 관계없이 매우 유사한 기울기를 갖고 행정이 진행되고 있다. 다이각도가 성형하중에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

앞에서 언급했듯이 성형하중에 가장 큰 영향을 미치는 설계변수는 반경비로 나타났다. 하중의 측면에서 전후방으로 압출되는 로드의 반경비가 다를 경우 중앙의 단을 중심으로 로드직경이 큰 쪽을 후방압출로 성형하는 것이 더 경제적인 것으로 판단된다.

### 3.2 비접촉 유동길이

압출에 의한 로드성형의 경우 빌렛의 외측면은 금형과의 마찰로 인하여 전단변형이 발생되며 중심부는 순수 인장변형을 받게 된다. 이로 인해 빌렛 끝단의 중심부와 표면에서 유동길이의 차이가 나타난다. 즉, 표면부는 마찰에 의해 상대적으로 유동이 구속되어 중심부에 비해 유동길이가 더 작아지게 되며, 로드의 양 끝단은 축대칭의 반구형(semi-sphere)형상으로 성형된다.

본 논문에서는 전후방 압출구에서 소재의 유동저항을 평가하기 위해 Fig. 4와 같이 비접촉 압출길이(non-contact extruded length)를 분석하였다.

Fig. 5는 반경비 1.0과 1.2에서 전후방으로 유동되는 비접촉 압출길이를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에 나타나듯이 비접촉 유동길이가 유사한 반경비 1.0의 경우 전후방 압출구에서 비교적 균등하게 소재유동이 이루어져 압출길이가 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 반경비 1.2의 경우 전방압출부에서 지속적으로 증가하는 유동저항에 의해 소재유동이 후방으로 편중되고 있으며, 금형 접촉면의 압력도 가장 크게 나타나고 있다.

Fig. 5(b)는 반경비에 따른 전후방 압출구에서의 비접촉 유동길이를 행정거리에 따라 비교하여 나타낸 것이다. 비접촉 압출길이는 복합압출에서 더 많은 유동이 이루어진 압출구를 기준으로 측정하였다. 그림에서 알 수 있듯이 비접촉 압출길이는 반경비가 작을수록 더 크게 나타나고 있다. 비접촉 압출길이는 초기행정에서 급격히 증가하고 있으나 이후부터는 길이의 변화 없이 일정하게 유지되면서 성형이 이루어지고 있다.

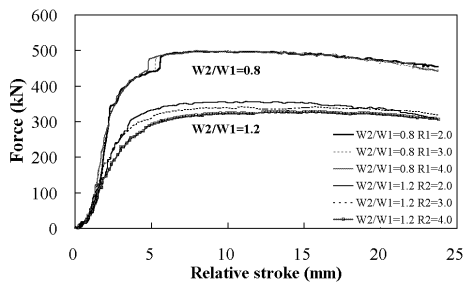


Fig. 2 Load-stroke relationship with various punch corner radius

### 3.3 압출길이

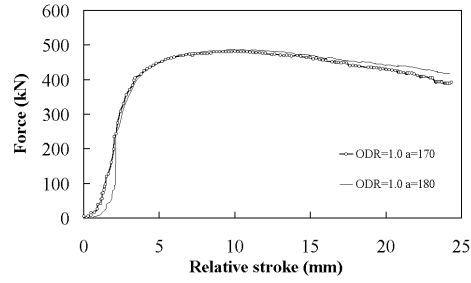


Fig. 3 Load-stroke relationship with different die entry angles

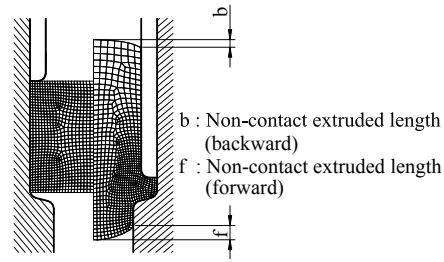
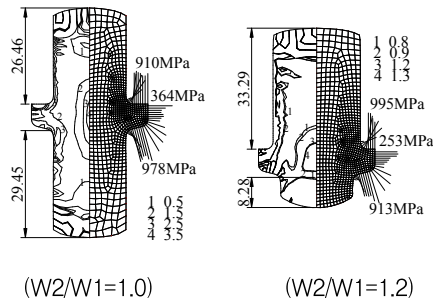
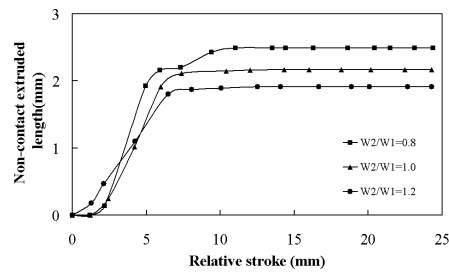


Fig. 4 The definition of non-contact extruded length



(a) Rod length in two direction



(b) Non-contact extruded length

Fig. 5 Comparison between non-contact extruded length and rod length in two direction

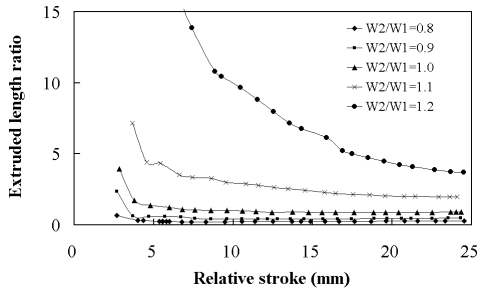


Fig. 6 Effect of outer diameter ratio on extruded length ratio according to the punch stroke

복합압출에서 전후방의 단면 감소율이 다른 경우 소재는 단면 감소율이 더 작은 쪽으로 유동하기 쉽다. 또한 동일한 단면 감소율이라도 구동편치축과 고정된 다이축의 압출길이가 마찰 등의 영향에 의해 다르게 나타난다.

따라서 요구되는 형상의 제품을 성형할 때 어느 한방향의 유동을 기계적으로 정지(mechanical stop)시켜야 하며, 이 경우 단공정 압출의 형태가 되어 성형하중은 크게 증가하게 된다. 소재유동에 대한 제어는 금형에 작용하는 압력을 고려할 때 공정의 후반부에 이루어지는 것이 더 바람직할 것으로 판단된다. 본 논문에서는 설계변수에 따른 압출길이를 분석하였다.

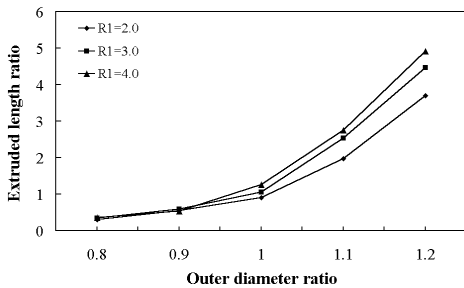


Fig. 7 Effect of punch corner radius on extruded length ratio

Fig. 6은 반경비에 따른 압출길이비의 변화를 행정거리에 따라 나타낸 것이다. 압출길이비는 전방압출길이에 대한 후방압출길이의 비( $l_b/l_f$ )로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 반경비에 관계없이 모든 경우에서 후방압출된 로드의 높이가 전방압출된 높

이에 비해 더 많은 유동이 이루어지고 있다. 반경비 1.0 이하의 경우 행정초기부터 일정한 압출길이비를 유지하며 공정이 진행되고 있다. 이에 비해 반경비 1.1인 경우는 공정의 후반에서 비교적 일정한 압출 길이비를 유지하고 있으며, 반경비 1.2인 경우 초기 약 4mm의 행정까지 전방압출이 이루어지지 않음에 따라 매우 큰 압출길이비를 보이고 있다. 이후 전방 압출이 이루어지면서 압출길이비가 급격히 감소하고 있으나 공정의 후반에서도 일정하게 유지되지 않고 있다.

Fig. 7은 각각의 반경비에서 압출길이비에 미치는 펀치 코너반경의 영향을 나타내고 있다. 펀치코너반경이 클수록 후방압출된 로드의 길이가 증가하고 있다. 그러나 반경비가 작을수록 펀치코너반경에 의한 영향은 상대적으로 줄어들고 있다. 이를 통해 반경비가 펀치코너반경에 비해 압출길이비에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 단불이 로드성형에서 금형의 형상 및 비접촉 압출길이가 로드의 성형특성에 미치는 영향을 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 반경비가 클수록 성형하중은 감소하나 압출길이 비는 증가한다.
- (2) 동일한 반경비에서 성형하중에 미치는 펀치코너반경의 영향은 크지 않다.
- (3) 반경비가 작을수록 압출길이비에 미치는 펀치코너반경의 영향은 상대적으로 줄어든다.
- (4) 비접촉 압출길이가 클수록 성형하중은 증가하며, 압출길이는 감소한다.

#### 참고문헌

1. Watkins, M, T., "Cold forming and Extrusion of Steel," International Metallurgical Reviews, Vol. 18, 1973.
2. Lin, H, H., Kudo, H., Theoretical consideration of Metal Flow Control in Cold Simultaneous Forward/ Backward Extrusion, Proc. 4Th, ICTP, Beijing, p. 693, 1993.
3. Altan, T., Allen miller, R., " Design for Forming and other Near Net Shape Manufacturing Processes,"

- Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 609-620, 1990.
4. Kuzman, K., Pfeifer, E., Bay, N., Hunding, J., "Control of Material Flow in a Combined Backward Can-Forward Rod Extrusion," J. of Material Processing Tech., Vol. 60, pp. 141-147, 1996.
  5. 한철호, "축대칭 복합압출공정의 소성변형 연구," 대한기계학회 논문집, pp.2005-2015, 1994.
  6. Air Force Material Laboratory, Forming Equipment, Materials, and Practices, Metal and Ceramics Information Center, p. 164, 1973.
  7. American Society for Metals: ALMINUM Vol.I Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagrams, Metals Park, Ohio, p.306, 1967.
  8. Osen, W., "Possibilities and Limitation of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Advanced Technology of Plasticity," Vol. 1, pp. 575-582, 1987.