

전/후방 복합 압출공정에서 마찰조건이 재료 유동에 미치는 영향

김민태¹, 노정훈¹, 황병복[#]

An Influence of the Frictional Condition on Material Flow in Forward/Backward Combined Extrusion Process

M. T. Kim, J. H. Noh, B. B. Hwang

Abstract

This study is concerned with an effect of frictional condition in a forward/backward combined extrusion process. Generally, the material flow of the billet is influenced by the corners of the die cavity, the ratio in reduction in area, and thickness ratio of backward can thickness to forward can thickness. In addition, the frictional condition in contact area between the billet and the punch/die also affect the material flow. This paper investigated the effect of frictional condition for variable friction factors. The FEM simulation has been carried out in order to examine the effect of frictional condition. Deformation patterns and flow characteristics were examined in terms of design parameters such as extruded length ratio etc. Die pressure exerted on the die-workpiece interface is calculated by the simulation results and analyzed for safe tooling. Therefore the numerical simulation works provide a combined extrusion process of stable cold forging process planning to avoid the severe damage on the tool.

Key Words : Material Flow, Frictional Condition, Deformation Pattern, Combined extrusion

1. 서론

복합압출공정은 두 개 이상의 압출구를 통하여 전방, 후방, 또는 측면 방향으로 동시에 재료의 유동을 발생시켜 제품을 성형하는 공정이다. 이 공정은 복잡하고 정밀한 부품의 성형에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 냉간 단조공정을 이용한 제품 생산의 적용범위를 확대시켜 준다. 실제로 복합압출공정을 이용하여 다양한 종류의 제품들이 생산되고 있다[1].

냉간 단조공정에서 전/후방 압출은 자주 사용되는 방법이다. 이 공정에서 동시에 두 방향으로 완전하게 재료의 유동을 일으키는 것은 전/후방으로 압출되는 길이와 압출비에 의한 공동(cavity)에 의

해서 대부분 불가능하다. 따라서 더 이상 이 공정은 동시 공정이 아니므로 압출압력이 증가하게 된다. 이러한 이유로 재료의 유동을 제어하는 것은 전/후방 압출공정의 최종단계에서 접촉압력을 줄이기 위해 매우 중요하다[2]. 일반적으로 전/후방 캔 압출공정에서, 작은 압출비를 갖는 공동(cavity)이 먼저 채워진 후, 성형압력은 급격하게 증가하게 된다[3].

금속 성형에서 단조부품의 형상은 대부분 공구의 형상과 성형기계의 기구화적인 공정 조건에 의해 결정된다[4]. 또한 전/후방 복합압출 공정시 상/하부 및 측면 금형과 소재 사이의 경계면에서 마찰조건에 의해서도 성형제품의 형상 및 유동 특성에 영향을 받는다[5].

1. 인하대학교 기계공학과
교신저자: 인하대학교 기계공학과,
E-mail: bbhwang@inha.ac.kr

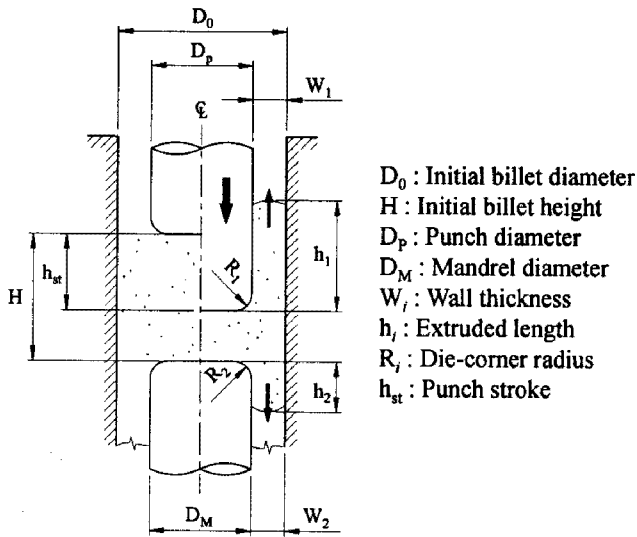


Fig. 1 Schematic diagram used in analysis

본 연구에서는 복합 압출공정에서 마찰조건이 제품의 변형 형태 및 유동 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 전단마찰인자(m)를 주 설계인자로 고려하였다. 변형 형태와 유동 특성을 압출길이의 비, 최대 접촉 압력점 등을 설계변수로 검토하였다. 재료 유동의 안정성을 평가하기 위하여 수치해석적인 방법으로 전/후방 복합 압출공정을 분석하였다.

2. 유한요소해석 모델링

2.1 해석조건

Figure 1은 유한요소해석에 사용된 제품의 초기 형상과 최종 형상의 2차원 단면과 펀치 및 금형과 초기소재에 대한 설계변수들을 압출공정의 전/후로 각각 나누어 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 초기 원기둥형태의 소재를 맨드릴(mandrel)은 고정시키고 펀치(punch)에 일정속도의 행정을 주어 압출성형을 하였다. 초기 원기둥형태의 소재는 강소성 변형체로 설정하여 모의 실험을 수행하였다.

모의실험에 사용된 초기소재의 재료는 AA 2024 알루미늄 합금을 사용하였으며 직경은 32mm, 높이는 32mm 로 강소성 유한요소법에 의한 모의실험을 수행하기 위해 다음의 식 (1)과 같이 소재의 유동응력과 유효변형률의 관계를 멱정리(power law)로 나타내었다.

$$\bar{\sigma} = 386.79 \bar{\epsilon}^{-0.154} \quad (1)$$

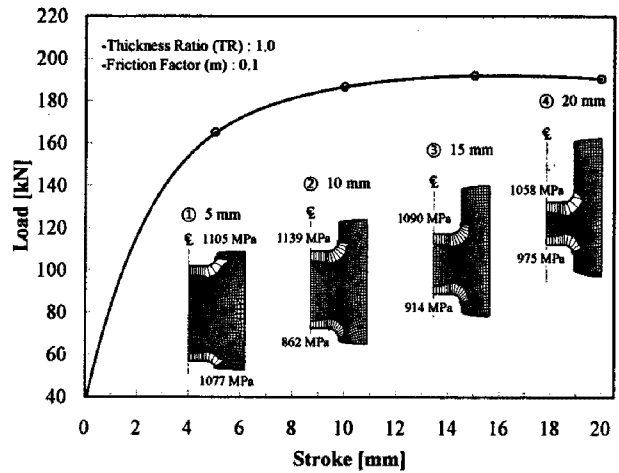


Fig. 2 Load-stroke relationship and deformation patterns

소재와 금형 사이의 마찰조건에 따른 영향을 평가하기 위해 마찰인자(m)를 0.05부터 0.3까지 0.05씩 증가시키며 모의실험을 하였고 펀치의 최대행정거리(h_{st})는 20mm로 하였다. 강소성 유한요소법을 기반으로 한 DEFORM-2D™ 으로 모의실험을 수행하였으며[6] 모의실험에 사용된 공정조건을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Parameters used in simulation

Parameters	Values
Initial billet diameter (D_0)	32 mm
Initial billet height (H)	32 mm
Punch diameter (D_p)	16 mm
Punch stroke (h_{st})	20 mm
Die corner radius (R_1, R_2)	3 mm
Thickness ratio (W_1/W_2)	1.0
Friction factor(m)	0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3
Material	AA2024

3. 유한요소해석 결과

Figure 2 은 압출 두께비가 1.0, 마찰인자가 0.1 일 때 전후방 복합압출공정을 모의 실험하여 얻은 성형하중-행정거리 그래프이다. 그림에서 볼 수 있듯이 성형이 진행됨에 따라 성형하중은 점차로 증가하게 되지만 정상상태에 진입하게 되면 하중의 변화는 미비하고 전방과 후방의 압출길이 차이가 명확하게 나타난다. 이 차이는 제품 성형시에 금형 공동(cavity)의 채워짐 량에 영향을 주

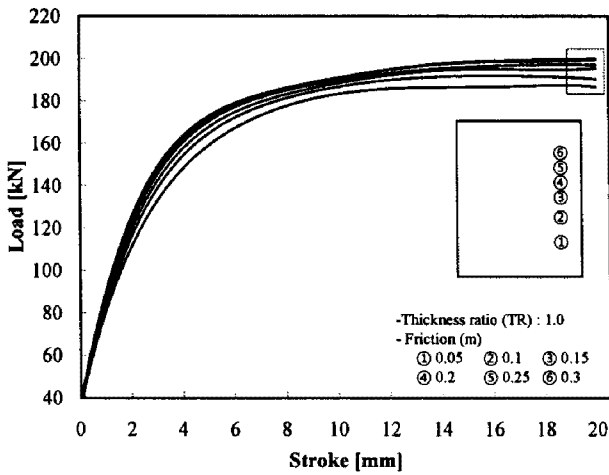


Fig. 3 Load-stroke relationship for various friction factors (m)

어 최종 단계에서 제품 불량률의 원인이 된다. 또한 밀폐형 금형을 이용한 압출 가공시 지나친 압력 상승으로 금형의 손상 및 최종 제품의 불량률 야기시킨다.

Figure 3 는 마찰조건에 따른 성형하중의 영향을 검토하기 위하여 다양한 마찰인자에 대한 성형하중-행정거리 그래프를 나타낸 것이다. 마찰인자 값이 커질수록 즉, 마찰조건이 가혹해 질수록 성형이 진행되면서 성형하중이 증가함을 알 수 있지만 실제 성형하중의 차이는 크게 나타나지 않는다.

마찰조건의 영향을 비교하기 위하여 다양한 마찰인자에 대해서 행정거리에 따라 전/후방 압출길이의 비를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 마찰인자가 증가할수록 압출길이의 비가 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 마찰인자가 커짐에 따라 전/후방으로 압출되는 길이의 차이가 증

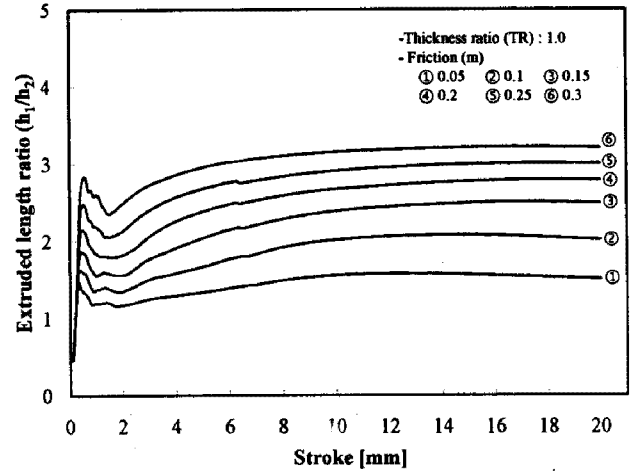


Fig. 4 Extruded length ratio-stroke relationship for various friction factors (m)

가한다는 것을 알 수 있다.

Figure 5 에서는 마찰인자 0.05에서 0.3까지의 각각의 마찰조건에서 최종성형 형상을 나타낸 것이다. 마찰인자가 커질수록 후방으로의 압출길이는 늘어나는 반면에 전방으로의 압출길이는 줄어드는 것을 알 수 있다. 마찰인자에 따른 최대압력 값은 뚜렷한 변화양상을 보이지는 않지만 모든 마찰조건에서 펀치와 맨드렐의 다이 코너 부근에서 최대 접촉 압력점이 나타난다는 것을 알 수 있다. 그리고 하부 맨드렐과의 접촉면보다는 상부 펀치와의 접촉면에서 항상 큰 압력이 발생한다는 것을 알 수 있다. 또한 전방 압출된 부분의 팁 부분과 후방 압출된 팁 부분을 비교해 볼 때 후방 압출된 부분에 비하여 전방 압출된 부분의 팁 부분에서는 곡면을 보이는 것은 알 수 있다.

Figure 6과 7은 마찰인자에 따라 성형공정 중에 발생하는 최대하중과 최대 압출길이의 비를 나타

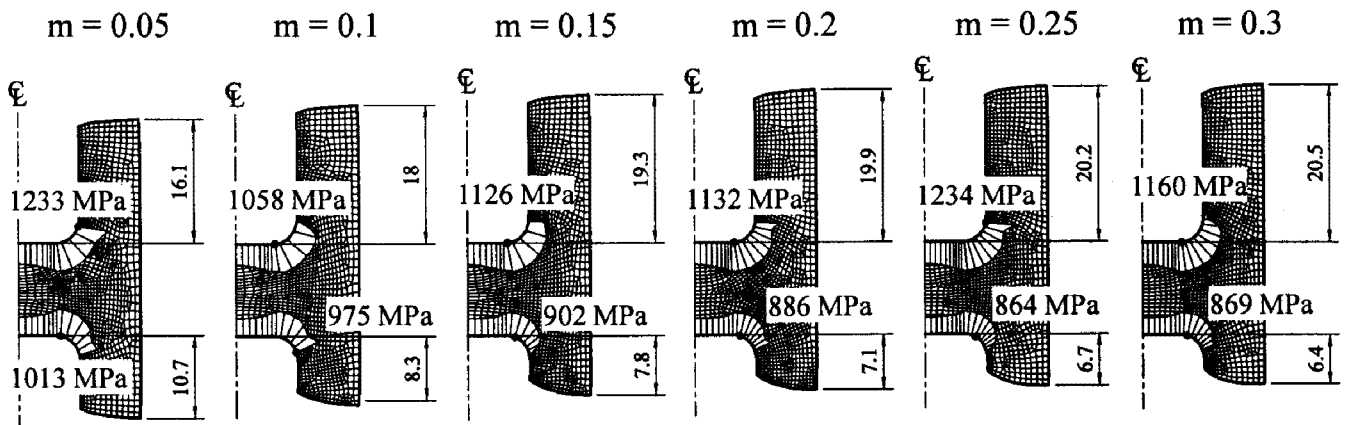


Fig. 5 Deformation patterns for various friction factor(m)

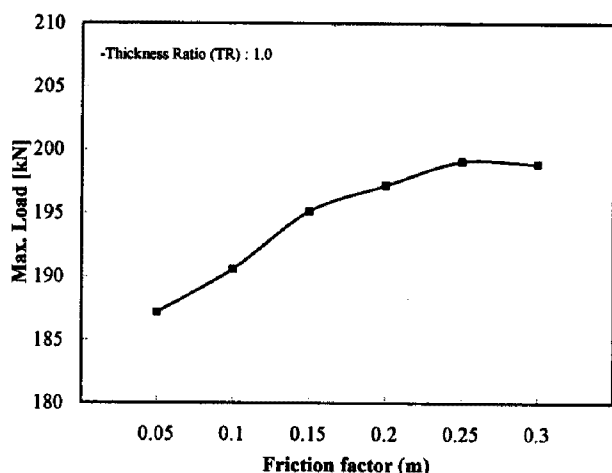


Fig. 6 Maximum forming load for various friction factors (m)

낸 것이다. Fig. 6 에서 볼 수 있듯이 최대 성형하중의 경우 마찰인자가 커질수록 소재와 금형 사이의 경계면에서 재료의 유동 저항이 커지게 되므로 성형하중이 점차적으로 커짐을 알 수 있다. 또한 마찰조건 중에서도 비교적 양호한 운할상태라 할 수 있는 마찰인자 0.05 ~ 0.15 에서는 마찰조건의 변화에 하중의 변화가 급격하게 나타나지만 일정한 마찰조건 이상이 될 경우에는 성형 하중의 변화량이 감소한다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 마찰인자가 증가할수록 최대 압출 길이비는 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 성형하중과 마찬가지로 마찰인자가 증가할수록 최대 압출 길이비의 변화량도 감소한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

전/후방 복합 압출공정에서 소재의 변형 형태 및 유동 특성에 마찰인자가 미치는 영향을 평가하기 위하여 성형하중, 변형 형태, 최대 접촉압력, 압출 길이비를 유한요소 해석된 결과를 통하여 비교, 분석하였다. 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 마찰인자가 증가할수록 성형하중과 압출 길이비는 증가한다. 마찰인자가 증가함에 따라 성형하중의 증가 변화량은 줄어들고 압출 길이비의 증가 변화량도 줄어든다.

(2) 마찰인자가 증가할수록 후방 압출에 의한 길이는 증가하는 반면에 전방 압출에 의한 길이는 감소한다.

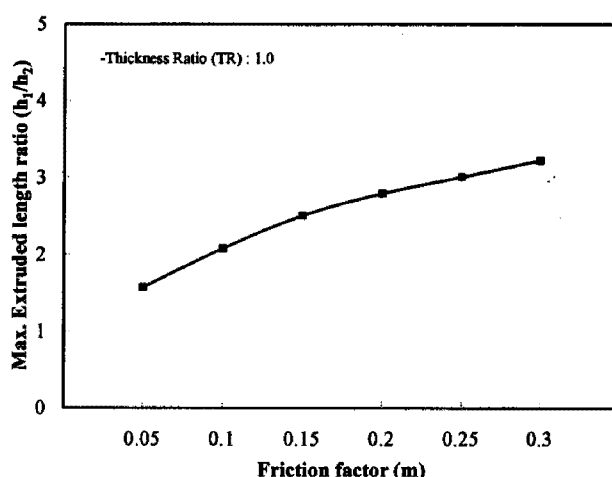


Fig. 7 Maximum extruded length ratio for various friction factors (m)

(3) 모든 마찰조건에서 상부 편치에 의한 성형 부분에서 더 큰 최대 압력점이 나타나며 특히 다이 코너 부근에서 최대 압력점이 나타난다.

참고 문헌

- [1] H. H. Lin, K. Kawakami, H. Kudo, 1988, Metal Flow Control in Cold Simultaneous Forward/Backward Extrusion, Ann. CIRP, Vol. 37, No. 1, pp. 231.
- [2] H. H. Lin, h. Kudo, 1993, Theoretical Consideration of Metal Flow Control in Cold Simultaneous Forward/Backward Extrusion, Proceed. 4th ICTP, Beijing, p. 1239.
- [3] K. Osakada, X. Wang, S. Hanami, 1997, Precision Forging Process with Axially Driven Container, J. Mater. Proc. Tech., Vol. 71, pp. 105~112
- [4] K. Kuzman, 1999, Stability Control of Cold Forming Processes, Proceed. 6th ICTP, Germany, p. 805~812.
- [5] F. F. Saniee, I. Pillinger, P. Hartley, 2004, Friction Modeling for the Physical Simulation of the Bulk Metal Forming Processes, Vol. 153-154, pp. 151~156.
- [6] SFTC, 2004, DEFORM-2D Ver. 8.0 User Manual, Scientific Forming Technologies Corporation Inc., New York.