

비틀림을 이용한 후방압출 공정의 해석

허진혁*, 김영호, 박재훈, 진영은(부산대 기계공학부), 이종헌(경남정보대학 기계계열)

An Analysis of Backward Extrusion Process with Torsion

J. H. Heo, Y. H. Kim, J. H. Park, Y. E. Jin(School of Mech. Eng, PNU), J. H. Lee(Mech. Eng. Dept., Kyung Nam College)

ABSTRACT

In this paper backward extrusion process with lower die rotation was studied to improve the conventional backward extrusion problems ; requirement of large forming machine, the difficulty to selecting of die material caused by high surface pressure, high cost of forming machine caused by improvement of noise and vibration, and etc. In this experiment, model material, plasticine, was used of specimen. The result values of torsional and conventional backward extrusions were analyzed and compared. FE-simulation is used for analysis with DEFORM-3D. These results show that the torsional backward extrusion is very useful process because this process can obtain the homogeneous deformation, low forming load. Decreasing forming load improves die life and makes it possible to use press of relatively low capacity. Also this process can reduce corner cavity, improve the initial cast-structure, owing to the high deformation and uniform strain distribution.

Key Words : Torsional backward extrusion (비틀림 후방 압출), Conventional backward extrusion (통상적인 후방압출), FE-simulation (유한요소 시뮬레이션), Forming load (성형 하중), die life (다이 수명), Corner cavity (코너캐비티), Initial cast-structure (초기 주조 조직)

1. 서론

최근, 산업의 발달로 인해 복잡한 금속의 가공을 필요로 하게 되었으며, 고도의 정밀성과 높은 표면 정도, 고강도, 저비용 등이 요구되어 지고 있다. 이러한 제품의 생산을 위하여 소성가공 공정의 개선과 새로운 가공법의 개발, 그리고 소성가공 공정 문제에 대한 새로운 해석방법의 연구가 활발하다.

그 중 소성가공은 재료의 손실을 최소로 줄이면서 목적하는 형상과 성질을 얻을 수 있으며 대량, 고속 가공에 의한 제조비용의 절감 효과를 가져 올 수 있다는 점에서 널리 사용되고 있다. 그러나 소성가공 공정은 큰 하중을 필요로 하기 때문에 단조 기계가 대형화되고, 큰 하중에 의한 금형의 면압이 매우 높아 금형 소재의 선정 어려움이 따르는 등의 금형과 관련하여 여러 가지 문제점등을 가지며, 기계의 대형화에 따른 소음 및 진동 등의 대책 마련을 위해 설비비용이 매우 커지게 된다. 이러한 문제를 해

결하기 위한 방법으로 학자들은 금형 소재 및 가공 조건의 개발과 새로운 가공법 등의 개발 등의 여러 측면에서 연구를 진행하고 있다.

반면, 산업현장에서 기본적인 공정중에 하나인 후방압출은 보통 중공제품들 즉, 캔(can)형상의 제품들, 튜브(tube), 그리고 높은 경제적 생산성과 고강도의 제품들을 요하는 자동차나 기계류의 부품들에 널리 쓰인다. 게다가 후방압출 공정은 다른 성형가공 공정에 비해 급속도로 발전되었다. 요즘에는 작고 체적이 적은 정밀한 부품에도 많이 적용되고 있다. 이러한 고정밀의 부품을 얻기 위해서 공정동안의 결합 연구가 필요하다.

예로 소재가 성형과정 동안에 다이 내부의 코너(corner) 부분에 완전하게 채우기가 어렵다. 소재의 질을 높이기 위해 이러한 결합들을 막기 위해 압출 공정동안에 이 결합들의 발생을 예측하여 억제하여야 한다.

Wu Shichun et al[1]은 후방압출의 최종단계에서

코너 캐비티를 예측하기 위해 수정된 슬래브법을 사용하여 코너 캐비티의 형태를 조사하였다[2]. 그리고 이러한 결함을 없애기 위해 다이의 변형과 다이와 소재간에 마찰의 증가로 인하여 결함을 줄이고 있는 등[3] 여러 학자들에 의해 연구가 진행되고 있다. 후방압출 공정의 하중 감소와 균일 변형을 얻기 위한 방법으로 여러 학자들에 의해 연구가 진행되고 있다. 그 중 회전하는 펀치에 의한 후방압출도제안되어졌고, 다이의 순환 회전(cyclic torsion)을 준 후방압출 공정도 제안되어졌다.[4] 그러나 회전 방향이 바뀌는 순간 압출력의 상승으로 인한 문제점이 발생하였다. Y.H.Kim등[5-7]은 토션의 영향을 이용한 단조 공정에 관하여 연구하였다.

본 연구에서 콘테이너에 DC-servo 모터를 달아 각기 다른 각속도를 주어 후방압출 공정을 수행하였다. 그리고 상용 유한요소 프로그램인 DEFORM-3D를 사용해 FE-simulation을 수행하여 응력, 성형하중, 변형률 속도, 속도 벡터의 결과를 알아보려고 한다. 후방압출 공정시 비틀림의 영향에 의해 재료의 불균일 변형으로 인한 소재 중앙부의 비변형 영역, 코너 캐비티, 그리고 압출 하중을 알아보려고 한다

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에서는 재료비용의 절감, 작은 용량의 프레스에서의 실험 가능 및 다이 제작이 용이하며 소재내부의 유동 상태를 관찰할 수 있는 점토 계통의 하나인 영국의 Harburt's Plasticine의 제품인 플라스틱신(Plasticine)을 모뎀재료로 사용하여 후방압출 공정을 수행하였다. 플라스틱신의 기초 실험에 관한 마찰 특성과 유동 특성은 Kim등[8]의 연구에서 언급되었다, 실제 플라스틱신은 냉간에서 실험이 되지만 그 유동특성이 강의 열간 유동 특성과 비슷하므로 유동응력 $\bar{\sigma}$ 와 변형률 속도 $\dot{\epsilon}$ 의 선도에서 변형률 $\bar{\epsilon}=0.05$ 에서의 구성 방정식은 다음과 같다. 플라스틱신 : 17°C

$$\bar{\sigma} = 0.224 \bar{\epsilon}^{0.117} [Mpa]$$

플라스틱신을 반죽하여 재료내의 기포를 충분히 제거시킨 후 높이/직경비가 1.0인 40mm와 48mm의 원통형 소재를 준비하였으며, 실험하는 동안 시편을 일정한 온도로 유지하기 위하여 시편을 오븐 속에 넣어 24시간 정도 보관하여 사용하였다. 또한, 재료 유동상태를 보기 위하여 플라스틱신을 각 색 깔별(흰색, 검은색, 노란색)로 얇게 잘라 적층을 하여 소재를 만들어 실험을 수행하였다. (Fig. 2)

하부 콘테이너의 회전을 주기 위한 장치를 고안하여 프레스에 장착하였는데, DC 서보 모터의 회전

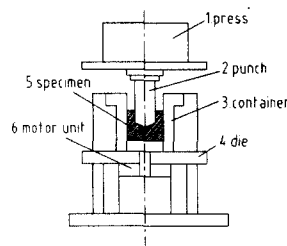
력이 기어에 의해 하부 콘테이너에 전달되도록 고안하였다.

2.2 실험 조건

실험 조건 및 실험 장치는 Table.1과 Fig.1에 각각 나타내었으며, Fig. 2는 펀치와 다이 셋트를 나타내었다.

specimen size (h ₀ mm × d ₀ mm)	punch stroke (mm)	punch velocity (mm/sec)	Friction	punch nose diameter (mm)	angular velocity of container (rev/sec)
40×40	30	1	m=0.4	25.2	0
				28.4	0.042
48×48	38	1	m=0.4	31	0.071
				33.4	0.091
					0.115
					0.133
					0.154
					0.182

Table 1 Process conditions for the simulation in axisymmetric backward extrusion



a) Schematic diagram of Press



(b) Hydraulic Press(5t)

Fig. 1 Model Press Unit

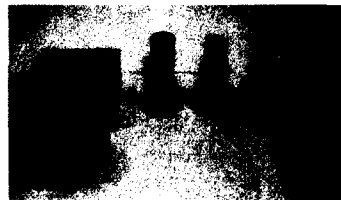


Fig. 2 Punch and Die Set

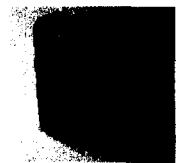


Fig. 3 Initial specimen

콘테이너 직경은 각각 40mm, 48mm이며, 펀치 직경은 각각 25.2mm, 28.4mm, 31mm, 33.4mm로 하

였으며, 콘테이너 회전 각속도를 각각 달리하여 실험을 수행하였다. 윤활제는 탈크 파우더를 사용하였으며, 마찰 상수값은 $m=0.4$ 로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

콘테이너의 각 속도에 따른 상대 하중을 비교해 본 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

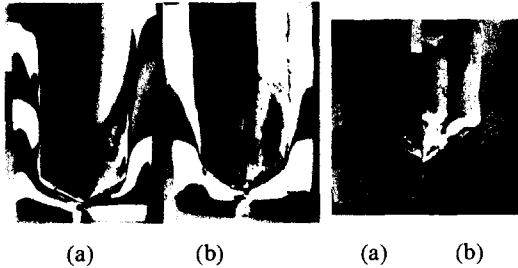
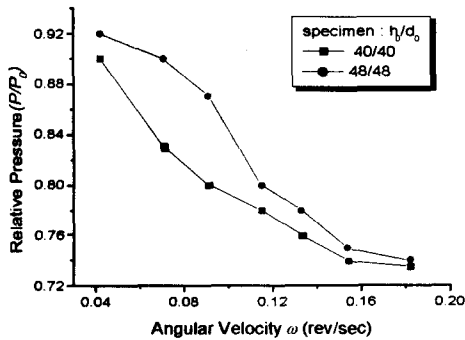
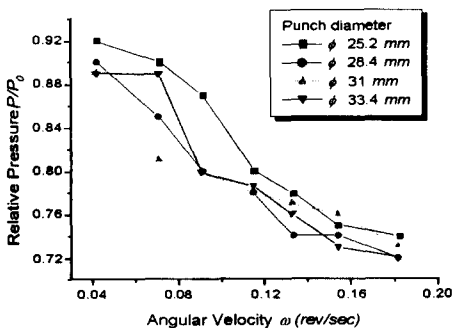


Fig. 4 Deformation patterns

- (a) The torsional backward extrusion
- (b) The conventional backward extrusion



(a) Punch diameter 25.2(mm)



(b) Specimen H_0/D_0 48/48(mm)

Fig. 5 The relative pressure (P/P_0) to the angular velocity(ω),

P : The pressure for the torsional backward extrusion

P_0 : The pressure for conventional backward extrusion

Fig. 4는 소재 $H_0/D_0=40mm/40mm$, 펀치 직경=28.4mm, 펀치 스트로크(stroke)=30mm, 하부 콘테이너의 각속도=0.154rev/sec의 조건으로 수행한 사진이다. 압출된 소재의 바닥부분에서 토션을 준 것이 통상적인 후방압출보다 유동양상이 균일하며 바닥의 중간부분이 유동이 거의 영향이 없는 것에 반해 토션을 가하지 않은 유동은 밀려 올라가 코너 캐비티가 발생이 됨을 알 수가 있다 이다.

Fig. 5 (a)와 (b)는 각각 펀치 직경25.2mm로 압출한 것과 소재 직경 48mm에 대하여 펀치 직경을 각각 달리 하여 실험을 수행한 값을 나타낸 것이다. 소재 직경 40mm가 소재 직경 48mm보다 상대 하중이 낮게 나오는 것과 펀치의 직경이 클수록 상대 하중이 낮게 나오는 것으로 보아 압출되는 소재의 두께가 얇을수록 토션의 영향을 많이 받아 하중이 더 감소한다는 것을 알 수 있다.

3.2 시뮬레이션 결과

Fig. 6은 Deform 3-D를 사용하여 시뮬레이션을 한 사진을 보여 주고 있다. 시뮬레이션 조건은 펀치 스트로크=20mm이며, 그 외는 Fig. 4의 조건과 동일하다. 일반 후방압출과 토션을 준 후방압출의 속도 벡터 분포들을 보여 주고 있다.

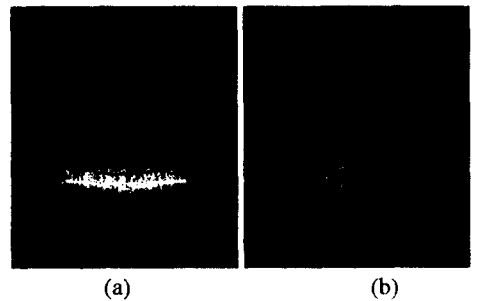
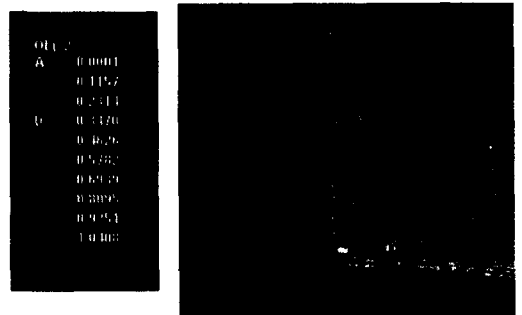
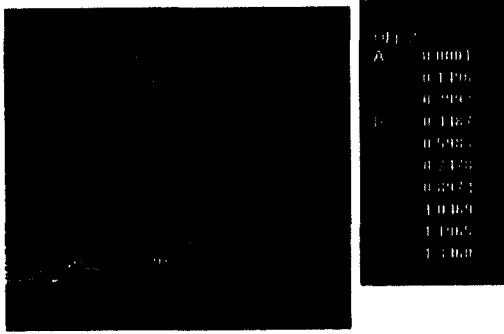


Fig. 6 Velocity vectors distributions

- (a) The conventional backward extrusion
- (b) The torsional backward extrusion



(a) The conventional backward extrusion



b) The torsional backward extrusion
 Fig. 7 Effective strain rate distributions

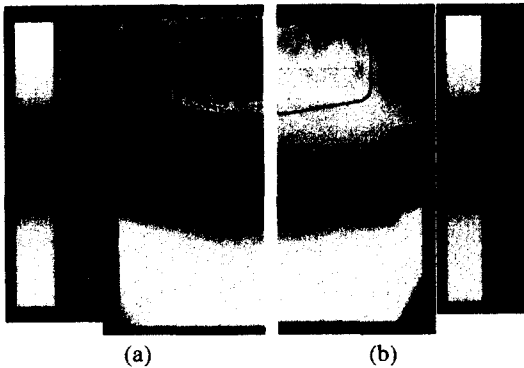


Fig. 8 Effective stress distributions
 (a) The conventional backward extrusion
 (b) The torsional backward extrusion

Fig. 7은 소재 $H_0/D_0=48mm/48mm$, 펀치 직경=31mm, 펀치 스트로크(stroke)=20mm, 하부 콘테이너의 각속도=0.115rev/sec의 조건으로 유효 변형율 속도 분포를 나타내었다. 유효 변형율 속도 분포를 보면 일반 후방압출보다 비틀림 후방압출이 더 넓고 고르게 분포되어 있으며, 펀치와 소재의 접촉점에 극히 국부적으로 발생함을 알 수 있다. 이것은 변형되는 소재가 일반 후방압출보다 비틀림 후방압출이 더 균일한 소성변형을 생긴다는 것을 알 수 있다. 또한 비변형영역도 상당히 줄어든다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 펀치 스트로크=10mm이고 그 외는 Fig. 7과 같은 조건으로 수행한 유효 응력 분포를 나타내었다. Fig. 8에서 나타낸 것과 같이 소재 내부에 받는 응력이 토션을 가한 소재가 토션을 주지 못한 소재와 비교하면 내부 응력이 낮게 나타남을 알 수가 있다. 그리고 응력 분포를 비교해 보면 내부 응력이 낮게 나타나고 분포상태가 고르다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 통상적인 후방압출 공정에 하부 콘테이너에 토션을 주어 상계해를 통한 이론해석과 모델 재료인 플라스틱신을 이용하여 실험을 수행하고, 그 결과를 유한 요소 시뮬레이션 상용 툴인

DEFORM-3D를 이용해 비교, 분석하여 보았다. 구체적으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 통상적인 후방 압출보다 비틀림 후방압출의 성형 하중이 최대 30%정도까지 감소하였다. 따라서, 프레스의 용량을 줄이며 다이 면압을 낮춰 다이 수명을 향상시킬 수 있으며 소음, 진동 등 기타 환경문제도 줄일 수 있다. 또한 펀치의 직경이 클수록 즉, 압출되는 소재의 두께가 얇을수록 성형하중이 더 줄어들었다.

2) 비틀림 후방압출의 경우 하부 콘테이너의 회전은 콘테이너와 소재사이의 마찰에 의한 불균일 변형을 줄일 수 있다.

3) 토션에 의한 원주 방향의 운동은 소재의 전단 변형을 일으키며 이로 인해 큰 유효 변형율과 고른 유효 변형율 분포를 얻을 수 있다. 이를 통해 소재 내부 결함 및 주조조직 개선을 할 수 있는 이점이 있다. 또한 하부 다이의 회전으로 인한 코너 캐비티가 줄어드는 효과가 있다.

이 밖에 이러한 공정을 분말의 냉간 압축 성형 (powder compacting)에의 적용에 유용하게 이용할 수 있다.

참고문헌

1. Wu Shichun, Dang Zhen and Li Miaoquan , , "Prediction of corner cavity formation during backward extrusion by the modified slab method : , Journal of Materials Processing Technology , Vol.31, pp. 113-118, 1992
2. Hong-seok Byun , "A Study on The Corner Cavity in Backward Extrusion" , pp 29, 1999
3. N.Bay, J.Hunding, K.Kuzman, E.Pfeifer. , "Testing Friction in cold forging by combined forward/backward cup extrusion" , Technology of Plasticity, Vol.1, 1996
4. L.X.Kong , P.D. Hodgson , . "Constitutive modelling of extrusion lead with cyclic torsion" , Materials Science and Engineering A276. pp. 32~38, . 2000
5. Y.H.Kim, J.H.Park, Y.E.Jin, . "An Analysis of Plastic Deformation Processes for Twist-Assisted upset Forging of Cylindrical Billets", Proceedings of the Int. Conference on Advances in Materials and Processing Technologies, AMPT99 and 16th Annual Conference of the Irish Manufacturing Committee, IMC16. Vol.1 pp.79-86 August 1999
6. Y.H.Kim, J.H.Park, Y.E.Jin, . "An Upper Bound Analysis for Torsional Upset Forging of Cylindrical Billets", Proceedings of the 6th int. conference on Technology of Plasticity. Advanced technology of Plasticity 1999 Vol.2 pp.859-864 September 1999
7. Y.H.Kim, J.H.Park, Y.E.Jin&Y.Lee, "An analysis of the torsional forming process using the dual stream function", Proceedings of the 8th int. conference on metal forming, Metal Forming 2000. pp.741-746 September 2000
8. 김영호, 배원병, 이종현, "MMT를 이용한 Al-7075 열간 업셋 단조의 가공하중 예측", 한국소성가공학회 논문집, 2권, 3호, pp. 37~50, 1993