韓國精密工學會 '95年度 春季學術大會論文集 pp.187~191

플라스티신을 이용한 정사각형재의 열간 평금형 압출공정에 관한 실험적 연구
(An Experimental Study Using Plasticine for the Hot Extrusion Processes of Regular Square Sections through Square Dies)

변 삼수*, 한 철호**
* (금오공대 대학원 기계설계공학과), **(금오공대 생산기계공학과)

ABSTRACT

An experimental study to analyze the hot extrusion processes of regular square section through square dies is carried out by using plasticine as a model material at room temperature. The experimental setup for the extrusion of squared sections from round billets through square dies is designed and manufactured. In order to visullize the plastic flow in the extrusion process the technique of gridding on the planes of the sysmmetries and a stacking the disks with different colors are employed. Velocity fields on the symmetry planes are obtained by using grid distortion.

Key words : Plastic Flow, Square Dies, Physical Modelling, Plasticine

1. 서론

복잡한 형상재가 열간의 압출 공정에 의해 제조되고 있으며 특히 평금형 압출은 금형 형상이 비교적 단순하기 때문에 다양한 단면 형상재의 제조공정으로 이용되고 있다. 그러나 공정개발시 경험과 직관에만 의존하기 때문에 여러 문제점이 발생한다. 대개는 설계·제작된 금형이 실제 공정에 투입될 때까지 적어도 수 차례의 시행착오가 거듭되며 경우에 따라서는 고가의 금형을 재 제작하여야 하거나 장비가 손상되는 경우도 생긴다. 따라서 공정 및 금형설계를 위한 체계적 해석법이 요구되고 있다.

최근 열간 평금형 압출 공정에 대한 유한요소 해석들[1-3]이 시도되고 있으나 온도관련 문제와 금형 출구부의 심한 변형으로 인한 격자 재구성의 문제등 해석상 난점이 있다. 실험적 접근법으로는 열간의 실제 금속과 상사한 플라스티신과 같은 모델재를 이용해 열간의 소성거동을 모사하는 방법이 있다. 모사실험에 대한 연구는 1950년대 이후 모델재에 대한 연구가 진행되며[4] 활발해졌다. 평금형 압출분야에도 평면변형이나 축대칭 문제를 중심으로 연구결과들이 발표된 바 있다.[5-7] 이들 연구는 주로 성형하중의 예측 및 소성유동의 가시화가 주요 관심대상이었으며 공정변수들에 따른 체계적 연구는 미흡하였다.

본 연구에서는 플라스티신을 모델재로 하여 3차원 형상인 사각형재의 평금형 열간 압출공정의 윤활 조건, 공정 진행거리등의 변화에 따른 소성유동을 분석하고 실험적 변형해석을 수행하려 한다.

2. 속도장의 구성

속도장을 얻기 위해서는 규격화된 변형전의 격자점에 대한 변형후의 격자점의 위치 계측이 필요하며 실제 완전한 3차원의 해석을 위해서는 격자변형을 실험적으로 가시화할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 해석의 편의상 Fig.1과 같은 정사각형재의 두 대칭 종단면 OA 또는 OB면 위에 압출 전에 미리 일정 간격의 격자들을 그리딩하여 압출변형 후 변형된 격자점을 측정하고 이로 부터 이들 대칭 종단면 상의 속도장 해석을 시도하였다. 이들 대칭면에서는 원주방향의 유동이 존재할 수 없기 때문에 변형은 대칭면 위에서만 발생한다.

Fig.1 Extrusion for Regular square Sections

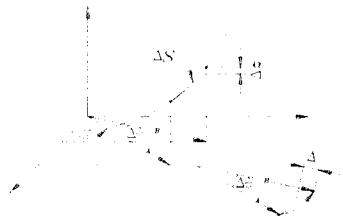


Fig.2 Displacements in Cylindrical Cordinate

Fig.2에서와 같이 좌표계를 원통 좌표(r, θ, z)계로 선정하고 변형전 A점이 Δt동안 B점으로 이동할 때 각 성분의 속도를 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_r = (r_B - r_A)/\Delta t, \quad V_\theta = r_A \cdot (\theta_B - \theta_A)/\Delta t$$

$$V_z = (z_B - z_A)/\Delta t \qquad (1)$$

단축 면과 대각선 면에 대해서는 격자점의 회전이 없고 축방향으로만 이동하므로 위 식에서 θ방향의 성분을 고려하지 않으면

$$V_r = (r_B - r_A)/\Delta t, \quad V_z = (z_B - z_A)/\Delta t \qquad (2)$$

펀치진행이 ΔZ만큼 이동되었을 때 격자점 A가 B로 이동했다면 변형 시간간격 Δt는 이동량을 펀치 하강 속도로 나누면 다음과 같다.

$$\Delta t = \Delta Z / V_p \qquad (3)$$

변형 시간 간격이 Δt임으로 A, B점에서의 이동속도와 방향은 A, B점의 중간점 M에서 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M(r, z) = M\left(\frac{r_B + r_A}{2}, \frac{z_B + z_A}{2}\right) \qquad (4)$$

여기서 첨자 r, z는 각각 반경방향과 축방향을 나타내고, M은 중간점의 좌표값, V_r, V_z는 각 방향에 대한 속도를 나타낸다. 이상과 같이하면 시편 표면에서의 근사화된 속도장을 구할 수 있다.

3. 실험

본 연구에 사용된 실험기는 Fig. 3과 같은 전용실험기를 이용하였다. 이 실험장비는 수동 운전과 컴퓨터를 통한 자동 운전을 할 수 있도록 설계되어 있으며, 압축시험시 변형률 속도를 조정하도록 하기 위해서 서보모타(200W, 회전 토크 6Kgf-cm)를 사용하였으며 램의 속도 조정이 가능하다. 실험기에는 측정용 로드셀(1000Kgf)과 램의 변위를 측정하는 변위계 및 로타리식 엔코더가 설치되어 있다. 여기서 계측된 값은 A/D 변환기를 통해 컴퓨터로 받으면서 동시에 X-Y-Y 기록계의 용지에 하중과변위에 대한 그래프를 얻는다. 실험기의 운전 명령은 컴퓨터에서 콘트롤러를 통해 서보모타로 지시하도록 되어 있고, 속도와 변위에 대한 정보는 그래프화된 프로그램으로 만들어 사용하였다. 콘테이너는 실험중 변형양상을 쉽게 관찰할 수 있도록 아크릴로 제작하고 펀치와 금형은 SM45C로 제작하였다. 금형은 정사각형재의 압출실험을 위해 오리피스의 코너부위가 직각인 것과 코너 라운드 R 3mm인 사각형으로, 랜드의 길이가 4mm, 단면감소율이 약 80%이며 가로 세로의 크기가 24mm × 24mm이다. 압출 실험후 소재와 다이의 분리를 용이하게 하기 위해 분할금형으로 제작하였다. Fig.4는 실험에 사용된 압축 및 압출용 금형조의 사진을 보여주고 있다.

Fig.3 Model Test Machine

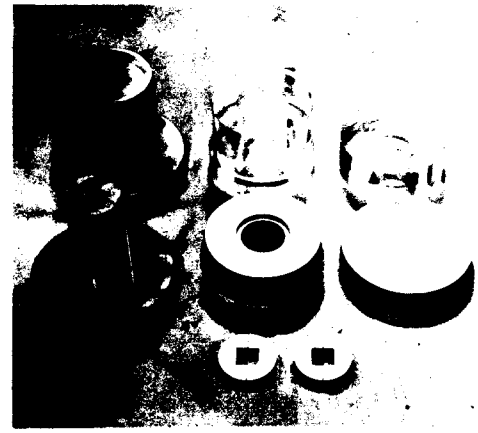


Fig.4 Experimental Apparatus(Dies, Tools)

실험에 사용된 모델재는 피터팬사에서 제조된 플라스티신으로 흑색 및 백색 2종을 사용하였고 적층시편을 제외하고는 흑색으로 시편을 제작하였으며 재료의 오차를 줄이기 위해 동일 로트를 사용하였다. 기계적인 성질과 금형과 소재 사이의 마찰상수를 얻기 위해 시편 제작용 전용 치공구로 각각 Φ40×H40mm의 압축시편과 외경:내경:높이의 비가 6 : 3 : 2인 48 : 24 : 16mm인 링압축시편을 제작하여 실험하였다. 압출시편은 Φ60 × H60mm와 Φ60 × H40mm로 2종을 제작하고 소성유동을 보기 위해 분할된 대칭면에 3mm×3mm의 장방형 격자를 프린팅하여 제작하였다. 적층시편은 흑색과 백색의 플라스티신을 압출시편으로 먼저 만든 후 각각을 축방향과 수직되게 4mm로 얇

게 잘라서 교대로 적층하여 제작하였다.

압축시험시 벌지현상을 줄이기 위해 높이 감소율 15% 간격으로 실링필름(Sealing film)+바셀린(Vaseline)(실링필름에 바셀린을 바른 것)로 재 윤활하면서 변형률 속도를 바꾸어 가며 변형률 민감도지수를 결정하였다..

링압축시험에서의 윤활제로는 베이비 파우더, 실링필름+바셀린을 사용하여 매 높이 감소율 10%간격으로 윤활을 하였으며, 10mm/s의 일정 램속도로 높이 감소율 50%가 될 때까지 압축하였다. 내경의 변화는 높이 감소율 10% 간격으로 링 내경부위의 벌지 현상이 일어난 곳을 측정하고 기존의 교정 차트를 이용하여 마찰 상수를 결정하였다.

압출시험의 속도는 10mm/s로 하고 공정 진행에 따른 소성유동을 보기 위해 동일 시편으로 일정 진행마다 격자변형을 촬영하고 재 실험하였다. 각 실험에 사용될 시편은 제작시 발생한 응력분포와 온도구배를 소산시키기 위해 상온의 밀폐된 용기에 2일 이상 보관한 후 꺼내어 실제 실험온도하(20±1℃)에 6시간 이상 방치한 후 실험을 수행하였다.

4. 결과 및 토론

압축 및 링 압축시험

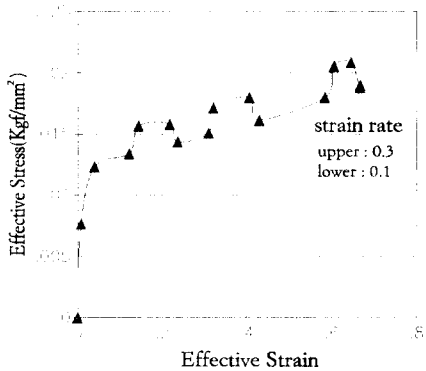


Fig.5 Experimental Stress-Strain curve

압축시험은 Fig.5와 같이 일정 변형률 속도로 실험을 하다가 일정한 변형률에 대해 변형률 속도를 변화시켜서 응력-변형률 곡선에 나타나는 응력의 차이를 얻고 다음과 같은 식에 대입하여 변형률 속도 민감도지수 m값을 구하였다.[8]

$$m = \frac{\log \bar{\sigma}_1 - \log \bar{\sigma}_2}{\log \dot{\bar{\varepsilon}}_1 - \log \dot{\bar{\varepsilon}}_2} \qquad (5)$$

실험에 의해 결정된 유동응력식은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 0.0151\ \dot{\bar{\varepsilon}}^{0.113}\ (Kgf/mm^2) \qquad (6)$$

여기서 변형률 : 0.1~0.65, 변형률 속도 : 0.1~0.4(1/s)

온도 : 상온(20±1℃)

링 압축시험 결과 파우더를 사용한 경우 전단 마찰상수는 약 0.6, 바셀린의 경우에는 약 0.07 정도였다.

압출실험

분할된 흑색 플라스티신 시편의 긴 대칭면과 짧은 대칭면 위에 백색의 격자들을 프린팅한 후 압출 실험한 시편들이 Fig.6에 나타나 있다.

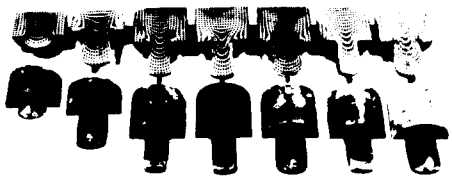
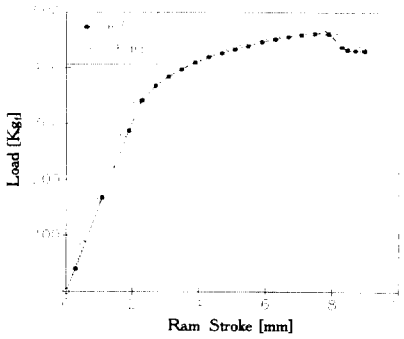
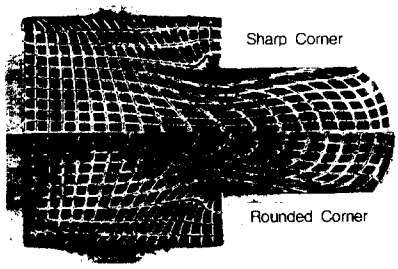


Fig.6 Extruded products

Fig.7은 정사각형 단면의 금형 출구 코너 부위에 라운드가 있는 경우(R 3mm)와 없는 경우의 하중변화 및 대각선 대칭면 상의 격자 변형을 보여주고 있다. 하중의 관점에서 차이가 거의 나타나지 않았지만 유동의 관점에서는 라운드가 없는 경우가 있는 경우보다 금형출구 표면부와 중심부의 유동차가 크게 나타난다. 즉 하중에 비해 소성유동이 보다 민감함을 알 수 있다.

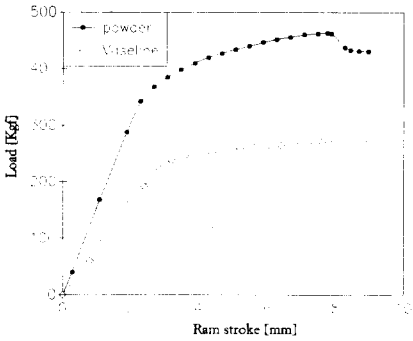


(a) Load-Stroke curves

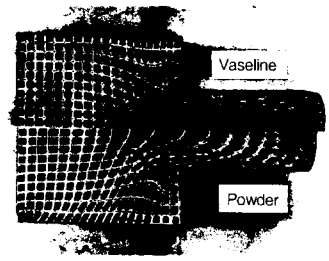


(b) Grid distortions on major planes

Fig.7 Comparisons of Load and Grid Distortions between sharp coner and rounded corner

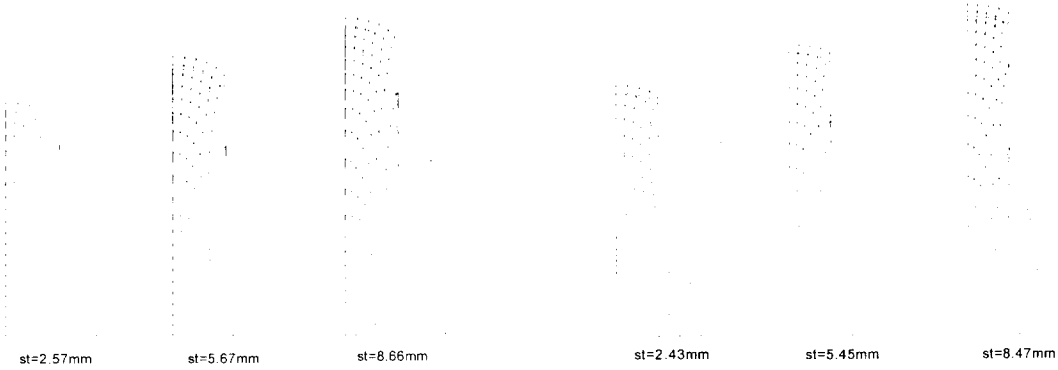


(a) Load-Stroke Curves



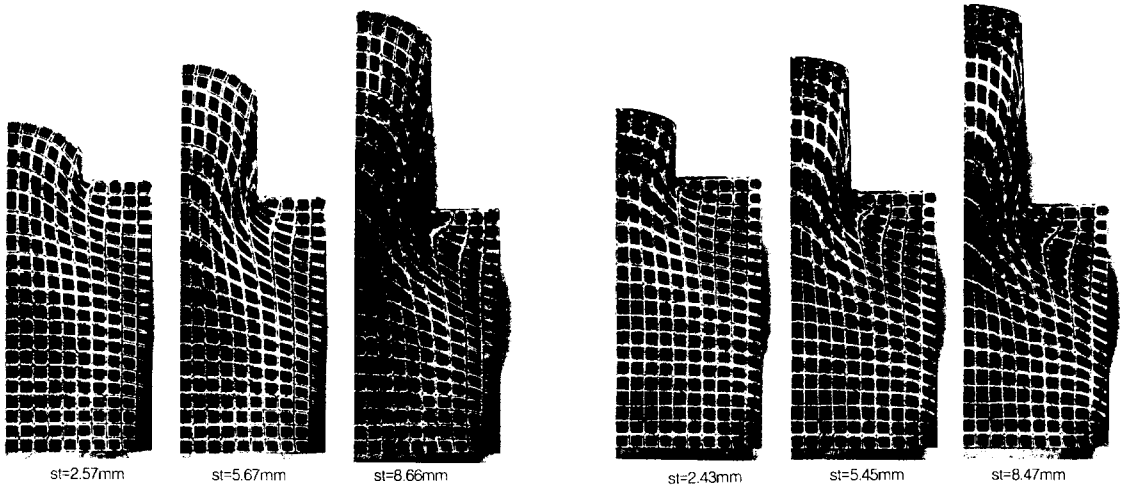
(b) Grid Distortions on the minor plane

Fig.8 Comparison of Load and Grid Distortions between Vaseline and Powder



(a) on the major plane (b) on the minor plane

Fig.9 Velocity Field on the Planes of symmetry



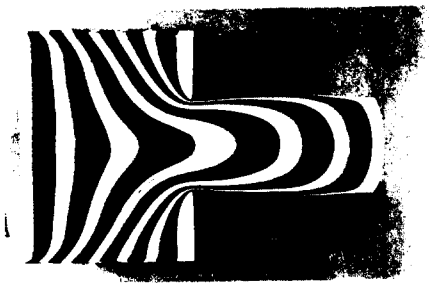
(a) on the major plane (b) on the minor plane

Fig. 10 Grid Distortions with Stroke Advance

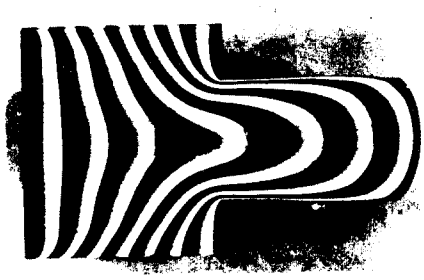
Fig.8은 바셀린과 파우더를 윤활제로 하여 펀치 진행이 거의 같은 상태에서 얻은 하중 및 짧은 대칭면 상의 격자 변형 양상이다. 바셀린으로 윤활을 했을 때가 파우더로 했을 때 보다 하중이 낮게 나오는데 이것은 재료와 공구 접촉부의 마찰이 파우더 보다 훨씬 작기 때문이다. 이로 인하여 마찰저항이 큰 파우더의 경우 콘테이너 벽면에서 보다 내부 쪽에 변형이 집중되고 있으며 축대칭의 경우[19]에서의 경향과 일치하고 있다.

Fig.9와 Fig.10은 Ø60 × H60mm, RA.79.9%, R3mm 파우더 윤활시 공정진행거리에 따라 대각선 대칭면과 짧은 대칭면상의 격자변형과 그때의 속도장을 나타낸 그림이다. 비슷한 공정진행거리에 대해 짧은 쪽 대칭면상의 격자들이 더 큰 변형을 하고 있음을 알 수 있다. 공정진행에 따라 어느 대칭면에서나 초기 벽면 구석부에 생긴 비유동역은 점차 감소하고 있음을 알 수 있으며 이 공정이 근본적으로 비정상 상태의 유동임을 나타낸다.

Fig.11은 최초 흑색과 백색의 디스크들로 적층된 시편으로 압출한 경우 두 대칭 종단면 상의 소성유동형상을 보여주고 있다. 콘테이너 구석 부위에 비유동역이 존재하며 짧은 대칭면 상의 유동이 급격한 것을 알 수 있다. 이 방법은 적층에 있어 실험적 오차가 존재하지만 전체적인 변형양상을 보는데는 상당히 효과적임을 알 수 있다.



(a) Flow on the Minor Plane



(b) Flow on the Major Plane

Fig.11 Flow Visualization on the Planes of Symmetry

5. 결 론

본 연구에서는 모델링 재료인 플라스티신으로 단면형상이 정사각형인 평금형 전방 압출공정의 공정변수의 영향 등을 실험적으로 해석하였으며 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 평금형을 통한 전방압출 공정의 적층시편 및 격자 프린팅된 시편을 이용하여 소성유동을 실험적으로 가시화가 가능하다.

② 다이 코너에 라운드가 없는 경우가 라운드가 있는 경우 보다 중심부와 코너부의 유동차가 크며 하중은 별차가 없다. 즉 유동이 하중보다 민감하다..

③ 같은 금형형상에 대해서도 윤활조건이 다르면 유동양상과 하중이 현저히 다르며 벽면의 마찰이 크면 내부로의 유동이 많아짐이 확인되었다..

④ 짧은 종단면의 변형이 긴 종단면 보다 변형이 심하며 두 단면 공히 공정이 진행됨에 따라 비유동역의 크기와 형상이 변하고 있다.

후 기

본 연구는 93년~94년 한국과학재단의 특정 기초연구의 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

(1) 강연식, 양동열, "ALE 묘사에 근거한 강-점소성 유한요소 수식화와 축대칭 평금형 압출에의 적용", 한국소성가공학회, Vol.3 No.2 pp.156-166, 1994

(2) 강연식, 양동열, "자동단위체 격자구성법을 이용한 평금형 압출의 3차원 유한요소해석", 대한기계학회 94'춘계학술대회논문집(I), pp.366-370,1994

(3) 강연식, 양동열, "자동단위체 격자구성법을 이용한 열간 평금형 압출의 3차원 유한요소해석", 한국소성가공학회'94 추계학술대회논문집, pp.64-73, 1994

(4) Cook, P.M., Metal Treatment Drop Forging, pp. 541, November, 1953

(5) Altan, T., Henning, H.J and Sabroff, A.M., Trans. ASME Ser.B J. Eng. for Ind., pp.444-452, 1970

(6) Glibbery S. and Wanheim T. "Physical Modelling of Metal Extrusion Processes", IEXTRU Conf. Ohio Univ. 1989.

(7) Laue. K. et al. "Extrusion, Process, Machinery, Tooling", ASM, 1981

(8) 전기찬, "박판금속의 성형", 반도출판사, pp. 50-51, 1993

(9) 엄태복, 한철호, "변형가시화법을 이용한 축대칭 열간 압출의 실험적 해석", 한국소성가공학회 95' 춘계학술대회논문집, 1995