

# 변형가시화법을 이용한 열간 축대칭 평금형 압출의 실험적 해석

엄 태 복\*, 한 철 호\*\*

\* 금오공과대학교 산업대학원 , \*\* 금오공과대학교 생산기계공학과

## An Experimental Analysis for Axisymmetric Hot Extrusion through Square Dies Using Visioplasticity Method

Tae-bok Um\*, Chul-Ho Han\*\*

\* Graduate School for Ind., Dept. of Mechanical Engineering

\*\*Dept. Mech. & Prod. Eng. , Kumoh National Univ. of Technology

### ABSTRACT

To investigate the behavior of plastic deformation in axisymmetric hot extrusion through square dies, the physical modelling with the plasticine as a model material is carried out at the room temperature. Some mechanical properties of the model material are determined by compression and ring compression tests. Visioplasticity method using experimental grid distortion is introduced to analyze the plastic flow, strain rate and strain distribution.

Key words : Hot Extrusion, Physical Modelling, Visioplasticity Method

### 1. 서 론

열간의 압출가공은 변형저항이 작고 생산성이 좋기 때문에 다양한 형상재의 제조에 적합하며 특히 평금형을 통한 열간 압출은 금형형상이 비교적 단순하기 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 금형의 개발은 경험에 의존하며 따라서 설계 실수에 의한 금형 파손과 설비의 손상등이 있을 수 있고 경제적, 시간적 손실이 많다. 실제의 금형과 공정을 설계하기 위해서는 이론적 수치해석법이나 상사조건하의 모사실험을 통한 실험적 해석법을 이용할 수 있다.

최근 유한요소법에 의한 평금형을 통한 열간 축대칭 압출에 대한 해석들<sup>(1,2)</sup>이 발표되고 있으나 온도 영향을 고려해야 하며 연속금형과는 달리 변형이 너무 급격하게 이루어 지기 때문에 빈번한 격자 재구성이 필요하고 입출력의 준비에 어려움이 있다.

또한 수치해석 결과의 타당성을 얻기 위해서는 실험적인 확인이 필요하나 해석의 여러 결과에 대한 실제 실험수행이 어렵기 때문에 해의 신뢰성에 문제가 있을 수 있다.

모사실험은 실제 소재와 거동이 비슷한 플라스틱인, 왁스 또는 납과 같은 모델재료를 사용하기 때문에 실제 금속에 비해 성형하중이 대단히 작고 소성유동을 가시적으로 볼 수 있다. 또한 실험실적 환경에서 실제 공정과 연관된 공정변수를 변화시켜가며 실험할 수 있기 때문에 실제 공정상태에서의 실규모 실험에 비해 시간과 경비가 적게 들며, 이 결과를 토대로 실제 금형설계에 필요한 소성유동 및 변형특성을 실험적으로 예측할 수 있는 장점이 있다.

모델링재료에 의한 실험적 연구는 특히 열간의 단조, 압연, 압출과 같은 벌크성형공정을 중심으로 연구<sup>(3-6)</sup>되어 왔으며 평균형 압출분야에도 여러 연구결과가 발표된 바 있다.<sup>(6-7)</sup> 대부분의 연구결과들은 열간 평균형 압출공정시 소성유동의 가시화에 관심을 두었으며 변형률속도나 변형의 분포등의 표현은 미흡하였다. 이것은 평균형 압출시 출구부의 심한 소성변형으로 명확한 변형양상을 얻기 힘들고 실험적 변형해석을 적용하는데 난점이 있기 때문이다.

본 연구에서는 플라스틱인 모델재를 사용한 실험을 통하여 열간 축대칭 평균형 압출공정의 소성유동을 분석하고 변형가시화 해석(visioplasticity method)을 적용하여 실험적 변형해석을 수행하고자 한다.

## 2. 변형가시화법(visioplasticity method)

### 2.1 속도장 및 변형률속도장

그림1과 같이 z방향으로  $\Delta z$  만큼 압출을 진행 시켰을때 변형전의 임의의 한점 A가 B로 이동했다면, 변형을 하는데 소요된 시간  $\Delta t$ 는 다음과 같다.

$$\Delta t = \Delta z / V_p \quad (1)$$

A점이 B점으로 이동할 때 이점의 이동속도 및 방향은 A, B점의 중간점(M)에 아래 식으로 표시 할 수 있다.

$$M(r, z) = M((B_r + A_r)/2, (B_z + A_z)/2) \quad (2a)$$

$$V_r = (B_r - A_r) / \Delta t \quad (2b)$$

$$V_z = (B_z - A_z) / \Delta t \quad (2c)$$

여기서 첨자 r, z는 반경방향, 축방향을 나타내고, M, A, B는 좌표값을,  $V_r, V_z$ 는 반경방향의 속도, 축방향의 속도를 나타낸다.

변형률속도는 앞의 속도장을 이용하면 다음과 같이 간단히 계산될 수 있다.

$$\dot{\epsilon}_r \equiv \frac{\Delta V_r}{\Delta r} = \frac{(V_r)_{z, r+1} - (V_r)_{z, r-1}}{2 \Delta r} \quad (3a)$$

$$\dot{\epsilon}_z \equiv \frac{\Delta V_z}{\Delta z} = \frac{(V_z)_{z+1, r} - (V_z)_{z-1, r}}{2 \Delta z} \quad (3b)$$

$$\dot{\varepsilon}_\theta \approx \frac{(V_r)_{z,r}}{r} \quad (3c)$$

$$\dot{\gamma}_{rz} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta V_z}{\Delta r} + \frac{\Delta V_r}{\Delta z} \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{(V_z)_{z,r+1} - (V_z)_{z,r-1}}{2 \Delta r} + \frac{(V_r)_{z+1,r} - (V_r)_{z-1,r}}{2 \Delta z} \right) \quad (3d)$$

여기서 첨자  $r, z$ 는 반경방향과 축방향을 나타내고 또  $r$ 번째,  $z$ 번째를 나타낸다. 유효 변형률 속도는 각 방향의 변형률 속도에서 아래식으로 부터 구한다.

$$\dot{\bar{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{2}{3} (\dot{\varepsilon}_r^2 + \dot{\varepsilon}_\theta^2 + \dot{\varepsilon}_z^2 + \dot{\gamma}_{rz}^2)} \quad (4)$$

유효 변형률은 유효 변형률 속도를 이용하여 계산하며, 유선을 따라 시간에 대해 변형률 속도를 적분하여 계산하여야 하나  $\Delta t$ 가 작으면 다음과 같이 근사화 된다.

$$\varepsilon_r = \int \dot{\varepsilon}_r dt \approx \dot{\varepsilon}_r \Delta t, \quad \varepsilon_\theta = \int \dot{\varepsilon}_\theta dt \approx \dot{\varepsilon}_\theta \Delta t \quad (5a)$$

$$\varepsilon_z = \int \dot{\varepsilon}_z dt \approx \dot{\varepsilon}_z \Delta t, \quad \gamma_{rz} = \int \dot{\gamma}_{rz} dt \approx \dot{\gamma}_{rz} \Delta t \quad (5b)$$

$$\bar{\varepsilon} = \int \dot{\bar{\varepsilon}} dt \approx \dot{\bar{\varepsilon}} \Delta t \quad (6)$$

## 2.2 측정 격자점의 Smoothing

변형된 격자점을 측정시 발생하는 오차는 측정값에 대한 smoothing 방법을 사용하면 줄일 수 있다. 본 시험 데이터에 적용한 방법은 격자점을 중심으로 전후, 좌우의 데이터를 이용하여 그림 2에서 도시한 방법으로, 유동선상의 한점을  $f(r, z)$ 이라 하면,  $f-1(r, z-1)$ 점과  $f(r, z)$ 점의 중심점( $n1$ )과, 다시  $f+1(r, z+1)$ 점과  $f(r, z)$ 점의 중심점( $n2$ )을 연결하는 선과  $z$ 점에서 반경방향으로 그은 선과 일치하는 점을 새로운 점( $s1$ )으로 하고, 반경 방향으로도 같은 방법으로 수행하면, 측정된 한점을 둘러싼 4점의 영향을 고려할 수가 있다.<sup>(8)</sup>

## 3. 실험

실험에 사용된 모델재는 피터팬사의 흑색 플라스틱이며 모델재료의 물리적 성질을 알아내는 실험 및 변형양상을 얻기 위한 압출실험은 당 대학에서 자체 설계 제작한 그림3과 같은 1톤 용량의 전용 실험기를 사용하였으며 이 실험기는 속도 제어가 가능

하다. 변형과정을 볼 수 있도록 콘테이너는 투명한 아크릴로 제작하였으며 금형재질은 SM45C로 단면감소율이 80%이고 금형 랜드는 4mm로 제작하였다.

압축 시험용 시편은 직경 40mm×길이 40mm로 하고 변형률속도를 0.01~0.4(/s)로 변화시켜가며 실험하였으며 시편의 벌징을 줄이기 위해 높이 감소율 15%마다 실링페이퍼와 바세린을 상하면에 도포하였다.

링압축 시편은 외경 : 내경 : 높이비는 6 : 3 : 2로 하고 베이비 파우더와 바세린 2종에 대하여 실험하였다. 압축속도는 10mm/s로 하고 매 높이 감소율 10%마다 내경과 높이를 측정하였다.

압출실험용 시편은 직경 60mm×길이 60mm의 크기이며 소성유동을 가시화 하기 위해 원통시편을 반쪽으로 분할한 시편을 제작하고 그 한쪽 대칭면에 3mm×3mm의 격자를 프린팅하여 사용하였다. 압출속도는 10mm/s로 하고 운할조건, 펀치 진행거리를 변화시켜 가며 실험하였다.

모든 시편은 제작후 약 20℃정도로 유지되는 밀폐된 용기에 2~3일 이상 보관한 후 실험 6시간 전에 꺼내어 실험온도(21±1.5℃) 상태로 둔 다음 각 실험을 수행하였다.

실험중의 변위 및 하중은 시험기에 부착된 하중계와 전위차계 센서를 통해 감지되어 X-Y-Y 기록계에 표현되고 자료획득 시스템에 의해 컴퓨터에 저장된다. 압출후의 반쪽 시편의 격자점을 투영기를 이용하여 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

압축시험 결과 얻어진 소성계수는 0.015(kgf/mm<sup>2</sup>)이었으며 변형률속도 민감도 지수는 0.11로 결정되었다. 링압축시험에 의해 결정된 마찰 상수는 베이비 파우더의 경우 0.5~0.7, 바세린의 경우 약 0.07이었다.

접촉부의 마찰조건 변화는 소성유동에 큰 영향을 주며 그림 4(a,b)는 두 경우에 대한 격자의 변형상태를 찍은 사진이다. 파우더 운할의 경우 콘테이너 벽면에서 마찰이 크므로 유동이 어려우며 내부에 유동이 집중되고 있고 금형 상부의 콘테이너 구석에 변형을 거의 하지 않는 비유동역이 존재함을 알 수 있다. 반면에 바세린 운할의 경우는 벽면에서 마찰저항이 작기 때문에 유동이 상당히 존재하고 콘테이너 구석부위는 비유동역이 없고 그리드 압축이 진행되고 있음을 알 수 있다.

그림5는 공정 진행에 따른 격자 변형양상을 촬영한 것이다. 공정 초기는 입구부의 소재를 중심으로 변형이 일어나며 공정이 진행됨에 따라 소재 전영역에 걸쳐 변형이 확산됨을 알 수 있다.

그림6은 변형가시화법을 적용하기 위해 압출실험후 격자점을 측정하고 smoothing하여 얻은 결과를 실제 변형된 격자 사진과 비교하여 놓은 그림이다. 본 해석의 smoothing 방법이 양호함을 보여주고 있다. 변형가시화 해석에 의한 소성유동과 유효 변형률속도 및 유효변형률 분포가 그림7(a,b,c)에 표현되어 있다. 구석부에는 변형이 거의 없는 비유동역이 존재하나 공정이 진행됨에 따라 크기와 형상이 변하며 변형이

금형의 출구 근처에 집중되고 있으며 압출된 소재의 축 중심부보다 외곽부는 유효변형률이 3배이상 크을 알 수 있다.

## 5. 결 론

축대칭 열간 평균형 압출공정의 윤활조건의 변화 및 공정 진행거리에 따른 소성유동을 플라스틱인 모델재를 사용하여 실험적으로 가시화하였으며 변형가시화법을 이용하여 변형률속도 및 변형률의 분포들을 얻었다. 평균형 출구부의 심한 변형에도 불구하고 변형가시화 해석은 금형설계에 필요한 중요한 정보를 제공할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 93년~94년 한국과학재단의 특정기초 연구지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 강연식 외, "평균형을 이용한 축대칭 열간 압출의 유한요소해석", 대한기계학회 논문집 16권 2호, pp.207-225, 1992
2. 강연식, 양동렬, "ALE 묘사에 근거한 강-점소성 유한요소 수식화와 축대칭 평균형 압출에의 적용", 한국소성가공학회지 제3권 제2호, pp.156-166
3. T. Wanheim et al., "Physical Modelling of Plastic Working Process", Advanced Technology of Plasticity, pp.984-996, 1984
4. 이 근안, "모델재료를 이용한 대형 개방형 단조품의 성형에 관한 연구", 1992
5. 김영호, 배원병, 이종헌, "MMT를 이용한 Al-7075 열간 upset 단조의 가공하중 예측" 한국 소성가공학회지, 제2권3호, pp.37-50, 1993
6. K. Laue and H. Strenger, "Extrusion Process, Machinery, Tooling", ASM, Metals Park, OH, 1981
7. S. Glibbery and T. Wanheim, "Physical Modelling of Metal Extrusion Process", IEXTRU Conf. 89, Ohio Univ. Dec
8. A. Shabaik, S. Kobaysshi, "Computer Application to the Visioplasticity Method", Journal of Engineering for Industry, pp.339-346, 1967

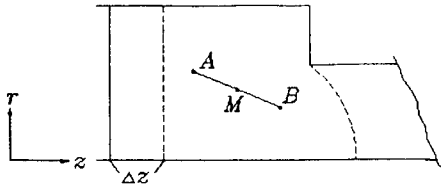


그림1 격자점의 좌표 설정

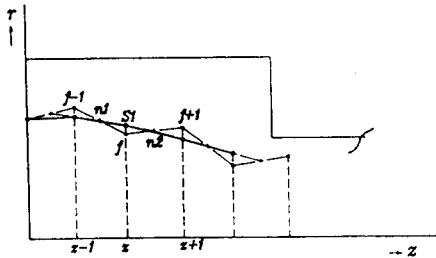


그림2 측정 격자점의 Smoothing



그림3 전용 모사실험기



그림4 마찰조건에 따른 격자변형 양상  
 a)파우더, 초기높이59.56mm, stroke8.33mm  
 b)바셀린, 초기높이59.96mm, stroke8.38mm

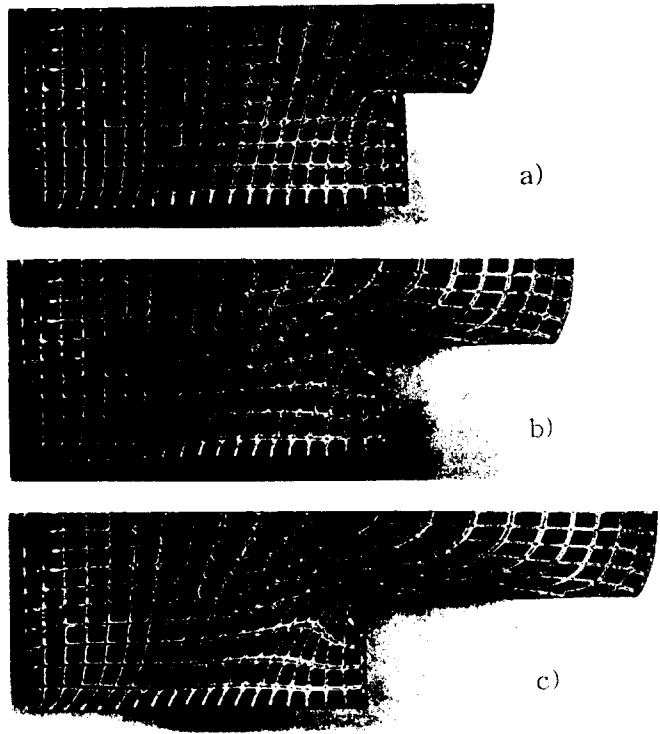


그림5 공정진행에 따른 격자 변형 양상  
 stroke a)2.37mm b)5.14mm c)8.33mm  
 파우더 운할, 20 °C

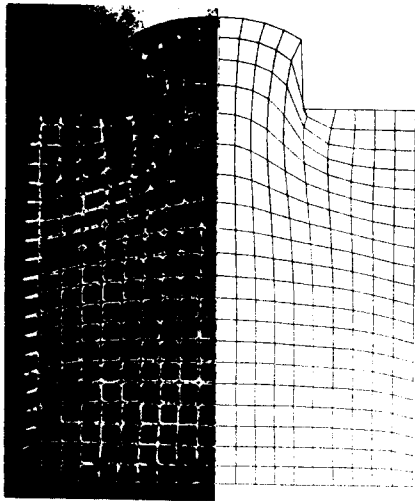
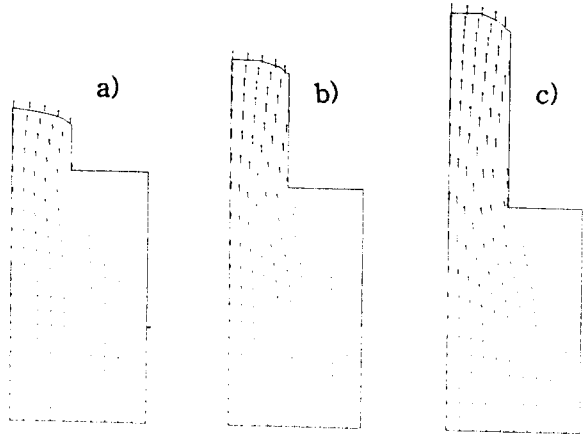


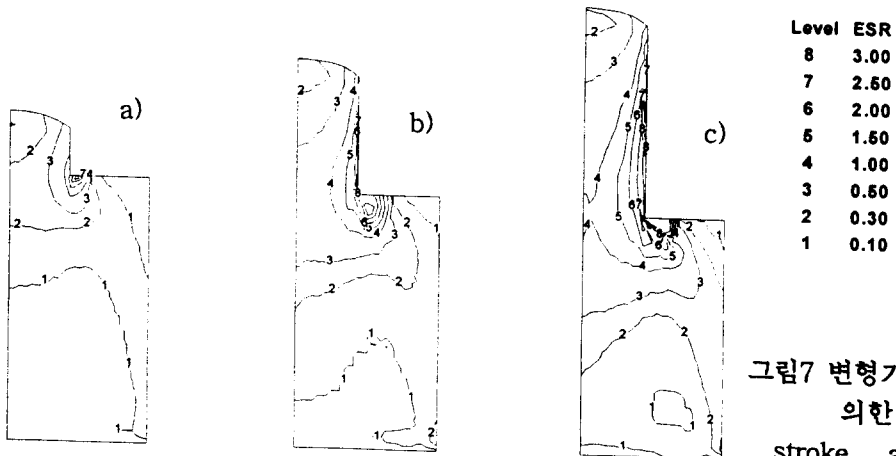
그림6 smoothing된 격자와 실험 격자



A 속도 분포



B 유효 변형률 속도 분포



C 유효 변형률 분포

그림7 변형가시화법에 의한 결과

stroke a)2.37mm  
b)5.14mm c)8.33mm