

## 스트레인 게이지를 이용한 후방압출금형의 변형측정에 관한 연구

여흥태\*(동의대 대학원 기계공학과), 송요선(구미기능대 컴퓨터응용기계과),  
최영(인제대 기계자동차공학부), 허관도(동의대 기계공학과)

### A Study on the Deformation Measurement of Backward Extrusion Dies using Strain Gauge

H. T. Yeo(Graduate School of Mech. Eng. Dept., DEU), Y. S. Song(Computer Aided Mech. Eng. Dept., GPC),  
Y. Choi(Mechanical & Automotive Eng. School, IJU), K. D. Hur(Mech. Eng. Dept., DEU)

#### ABSTRACT

The dimensional accuracy of the cold forged products is strongly dependent on the elastic behavior of the die. The elastic deformation of the die is continuously changed during the process. Therefore, it is needed to measure the deformation of die. Strain gauges are used to measure the elastic strains in the die during cold backward extrusion process. The strain gauges are attached on the die surface and embedded at the interface between the die insert and the stress ring. In order to compare the results with the FE-analysis, the rigid-plastic FE-analysis of cold backward extrusion process using DEFORM-3D has been performed, and the analysis of elastic deformation of the die has been done by using ANSYS with non-linear contact.

**Key Words** : Strain gauge (스트레인 게이지), Prestressed die (예압된 금형), Contact surface (접촉면), Elastic strain (탄성 변형률)

#### 1. 서론

냉간 압출공정에서는 금형 인서트 내면에 작용하는 높은 성형압력에 의해 금형의 변형 및 성형품의 치수 정도가 변하게 된다. 그러므로 일반적으로 보강링을 이용하여 금형 인서트를 예압하여 사용한다. 이러한 예압된 금형(*prestressed die*)에 관한 연구에 앞서 금형 인서트 내면에 작용하는 내압의 정밀 측정이 어렵기 때문에 많은 연구자들이 여러 가지 기법을 이용하여 금형의 변형 및 그에 따른 제품의 정밀도에 관한 연구들을 수행하고 있다.

Wang<sup>(1)</sup> 등은 후방 압출공정에서 컨테이너 벽면에 작용하는 내압을 알아내기 위해 QPT(*quartz piezoelectric transducer*)를 이용한 실험과 해석을 수행하였다. Sadeghi<sup>(2)</sup> 등은 축대칭 부품 단조공정에 따른 치수 정밀도에 관해 이론상의 예측과 실험을 수행하였다. Hillery<sup>(3)</sup> 등은 봉재 인발공정에서 금형의 응력 상태를 알아내기 위해 분리형으로 된 에폭시(*epoxy*) 금형에 스트레인 게이지를 삽입하고 소재를 납으로 하여 인발공정 동안 금형의 응력상태를 광

탄성 측정과 변형률 측정을 수행하였다. Lee<sup>(4)</sup> 등은 냉간단조용 금형의 상단에 스트레인 게이지를 부착하여 실험적인 연구와 유한요소 해석을 통하여 금형의 탄성 변형률의 변화를 측정하였다.

본 연구에서는 스트레인 게이지를 이용하여 쉽게 금형 인서트와 보강링 접촉면의 변형을 연구하기 위해 금형 인서트의 바깥면의 일부를 가공하여 스트레인 게이지를 삽입할 수 있도록 하였고 후방 압출공정 동안 금형의 변형을 측정하고 유한요소 해석 결과와 비교하였다.

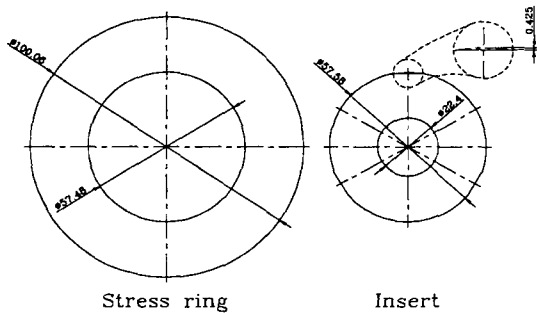
#### 2. 실험 방법

##### 2.1 실험

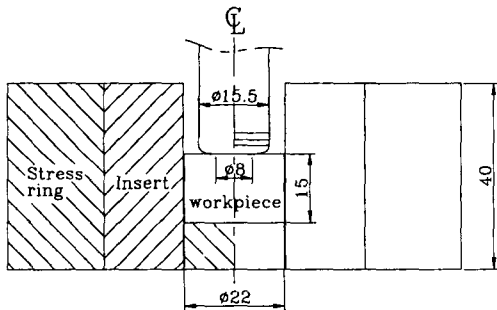
본 연구에 사용된 후방압출 금형 구조는 Fig. 1 과 같다. 금형 인서트는 스트레인 게이지를 부착 후 보강링과 체결 시 게이지가 파손되지 않도록 가공하였다. 실험에 사용된 소재는 알루미늄 A11050 으로 하였고 윤활제로는 스프레이형 PTFE 를 사용하였다. 실험에 사용된 장비는 소재 성형을 위한

300ton 유압프레스와 스트레인 게이지의 신호를 연속적으로 측정하기 위해 정동적 변형을 측정 장치 MT-16(삼연기술)을 이용하였다.

스트레인 게이지의 부착위치는 Fig. 2 와 같다. 인서트와 보강링의 접촉면에 삽입되므로 스트레인 게이지에 리드선이 일체형으로 부착되고 절연된 FLA-1-11-1L(Tokyo Sokki Kenkyujo Co.)을 사용하였고 게이지 저항은 119.8Ω로 설정하였다.



(a) Dimension of the die insert and the stress ring



(b) Dimension of the die, punch and workpiece

Fig. 1 Dimension of the cold backward extrusion die

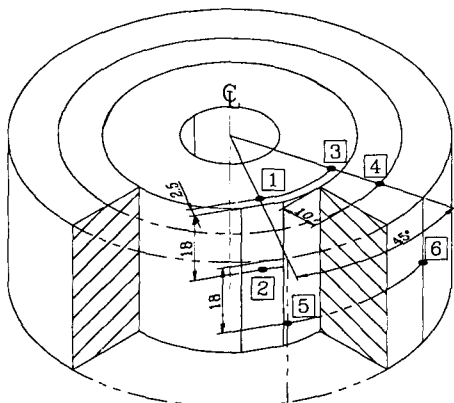


Fig. 2 Locations of strain gauges

사용된 금형의 재질은 Table 1 과 같다. 금형 인서트와 보강링 간의 마찰계수는  $\mu=0.3$  으로 하였다.

Table 1 Mechanical properties of die materials

Die material		HrC	E(MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	v
Insert	SKD11	58	209000	1950	0.3
Ring	SK1	19	205000	900	0.28
Punch	SKH51	64	230000	2350	0.3

## 2.2 유한요소 해석

일반적으로 소재의 성형해석과 금형의 탄성변형 해석을 동시에 3 차원으로 수행하는 과정은 다음과 같다. 먼저 상용 유한요소 해석 코드인 DEFORM-3D<sup>(5)</sup>를 이용하여 금형 인서트와 보강링의 억지끼워맞춤 상태를 해석한 후 소재의 성형해석을 수행하여 소재와 금형 인서트 내면에 작용하는 내압에 의해 금형의 탄성변형과 소재의 변형을 동시에 해석하는 방법이다. 그러나 이 방법은 실제와 비슷한 조건으로 해석되지만 초기 억지끼워맞춤 해석 과정에서 접촉면에서 응력상태가 안정화되었는지를 확인한 후 다음 과정인 소재의 성형해석이 수행되어야 한다. 또한 사용자의 많은 경험적인 지식과 해석 시간을 요구한다.

그러므로 본 연구에서는 금형을 강체로 가정하고 소재의 성형해석을 DEFORM-3D 에서 수행한 후 금형 인서트 내면에 작용하는 내압을 절점력으로 보간(interpolation)하여 금형의 탄성 유한요소해석의 하중조건으로 입력하는 방법을 이용하였다. 이 방법은 절점력을 보간하는 과정에서 시간이 많이 소요되지만 금형의 탄성변형 해석 시간은 아주 단축된다.

금형 인서트와 보강링 사이의 비선형 접촉을 고려한 해석을 수행하기 위해 상용 유한요소해석 코드인 ANSYS<sup>(6)</sup>을 사용하였다. 금형의 억지끼워맞춤 해석 후 펀치의 변위에 따라 금형 인서트 내면에 작용하는 절점력을 ANSYS 의 자동화 언어인 APDL (ANSYS Parametric Design Language)을 이용하여 반복적으로 자동 입력하여 금형의 탄성변형 해석을 수행하였다.

성형해석에 사용된 A11050 소재의 유동응력식은 식(1)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 166\bar{\epsilon}^{0.192} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Fig. 3 은 소재의 냉간 후방압출 해석에 사용된 유한요소 모델이고, Fig. 4 는 금형의 탄성변형 해석에 사용된 유한요소 모델을 나타내었다.

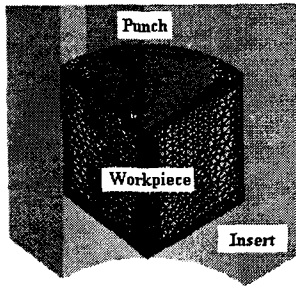


Fig. 3 Backward extrusion analysis model of workpiece

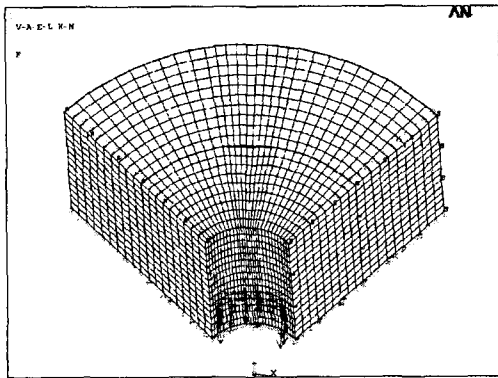


Fig. 4 Elastic deformation analysis model of the die

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 결과

후방 압출공정에 의해 성형된 소재의 형상은 Fig. 5 와 같다.



Fig. 5 Deformation patterns during the cold backward extrusion

후방 압출공정의 측정된 하중-변위 선도를 Fig. 6 에 나타내었다. Fig. 7 은 펀치 변위에 따른 각각의 측정 위치에서 원주방향 변형률을 측정된 결과이다. 펀치의 이동에 따라 하중이 증가하면서 변형률 값이 전반적으로 증가하기 시작한다. 이는 금형 인서트와 내면과 소재가 접촉이 발생하여 내압이 금형에 작용함을 알 수 있다. 측정 위치 [2]에서의 변형률은 다른 위치보다 내압의 직접적인 영향을 받

므로 변형이 심하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 또한 그 위치에서 발생하는 최대 내압 이후 점차 변형률이 감소하는 것을 알 수 있었다. 측정 위치 [5], [6]에서는 후방 압출공정이 정상 상태에 도달한 후부터 일정하게 유지되는 경향을 나타내고 있다.

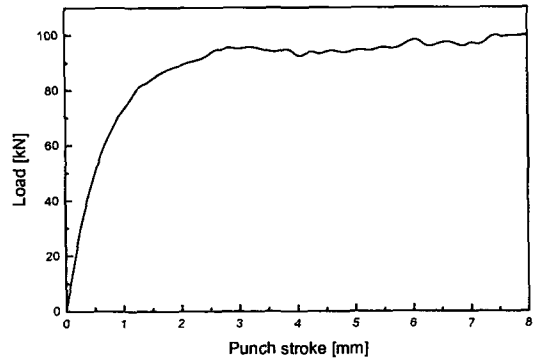


Fig. 6 Load-stroke diagram of cold backward extrusion

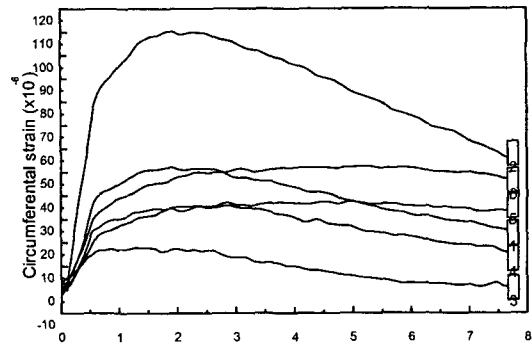


Fig. 7 Strains and punch stroke diagram

#### 3.2 유한요소 해석 결과

금형을 강체로 가정하여 소재의 성형해석을 수행한 결과 하중-변위 선도를 Fig. 8 에 나타내었다. 실험에서 얻은 하중-변위 선도와 유사한 것을 알 수 있다.

Fig. 9 는 금형의 탄성변형 해석결과로 각각의 측정 위치에서 계산된 변형률들을 나타낸 것이다.

전반적인 변형률의 변화가 실험과 유사하게 나타났다. 측정 위치 [3]에 비해 [1]의 원주방향 변형률이 크게 나타나는 것은 금형 인서트를 가공하여 보강링과 접촉하지 않는 상태이므로 [3]에 비해 변형이 크게 나타난다. 측정 위치 [5], [6]에서 구한 원주방향 변형률은 펀치가 2mm 정도 이동 후 조금씩 감소하는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Wang, X. W., Chang, H. G., Wang, C. J., and Lee, M. Y., "Experimental and Theoretical Determination of Container," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 539-544, 1987.
2. Sadeghi, M. H., and Dean, T. A., "Analysis of dimensional accuracy of precision forged axisymmetric components," *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 205, pp. 171-178, 1991.
3. Hillery, M. T., and McCabe, V. J., "A Photo-Elastic and Strain Gauge Technique of Stress Analysis in Rod-Drawing," *MATADOR Conf.*, 31th, pp. 485-491, 1993.
4. 이대근, 이영선, 이정환, "냉간단조용 금형의 변형모드에 따른 탄성변형량의 측정 및 유한요소 해석," *한국소성가공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집*, pp. 112~116, 2002.
5. DEFORM-3D Labs Manual, 2000.
6. ANSYS Analysis Guide, Release 5.7.

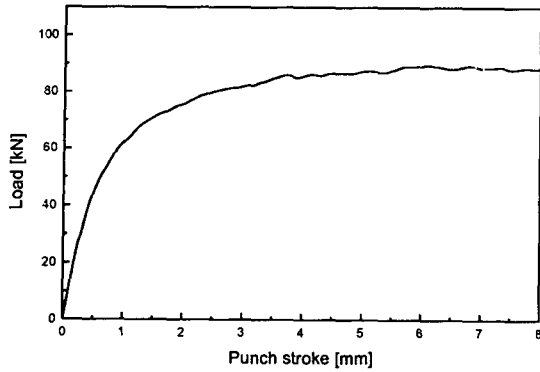
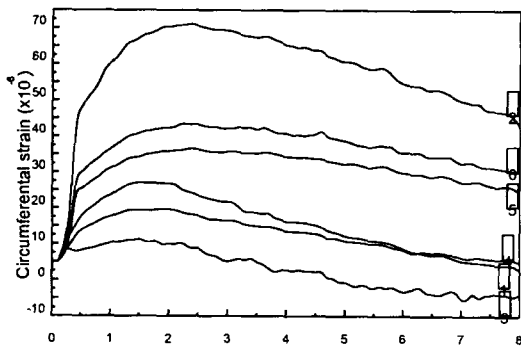


Fig. 8 Load-stroke diagram of cold backward extrusion

Fig. 9 Strains and punch stroke diagram



## 4. 결론

본 연구에서는 냉간 후방압출 금형의 변형을 측정하기 위해 스트레인 게이지를 이용하였으며 스트레인 게이지를 부착한 인서트와 보강링을 체결하여 금형 인서트와 보강링 접촉면에서의 변형을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 소재의 성형해석 한 결과를 금형 인서트 내면에 보간하고 금형의 탄성해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 금형 인서트의 내면에 작용하는 내압에 의해 인서트와 보강링의 접촉면에서 원주방향 변형률이 가장 높게 나타나며 성형과정 중 변화가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

(2) 금형 인서트 내면과 가까운 위치일수록 원주방향 변형률의 변화가 크게 나타났다.

(3) 보강링의 바깥면에서의 원주방향 변형률은 후방 압출공정이 진행되면서 증가하다가 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.