

# 상온압축시험에서 측정응력과 유동응력과의 관계고찰

박종수\* · 이영선\* · 이정환\*

## Review on Measured Stress and Flow Stress at Room-Temperature Compression Test

J. S. Park, Y. S. Lee, and J. H. Lee

### Abstract

Compression test has been used to measure material flow stress due to limited capability of tensile test at the fast strain rate. Since the frictional stress unavoidable during compression test should be properly eliminated from the measured stress, calibration of the measured stress by using friction factor has been made for the flow stress measurement. Also, calibrated stresses by interrupted and continuous compression tests have been compared with the true stress measured by tensile test at 0.2% carbon steel.

**Key Words :** Flow stress, Interrupted Compression Test; Continuous Compression Test

### 1. 서 론

소재의 기계적성질은 인장시험에 의한 측정이 일반화 되어 있으나, 형상제어를 위한 소성가공력 계산에 필요한 유동응력은 압축시험으로 구하는 것이 보통이다. 그 이유는 일반소성가공에서 필요한 빠른 변형속도하에서의 측정은 압축시험이 더 편리하기 때문이다. 따라서, 소재 관련 순수 유동응력을 구하기 위하여, 단속적 압축시험에 의한 변형을 정밀측정 및 마찰계수를 이용한 측정응력 보정을 0.2% 탄소강에서 설명하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 인장시험

소둔 처리된 0.2% 탄소강의 표준 인장시편(gage length 50.8mm×직경12.8mm)을  $2.0\sim 2.5\times 10^{-4}$ /sec의 변형속도로 인장시험 하였다. 이때 사용된 소재의 화학성분은 0.21% C, 0.42% Mn이었으며, 진응력과 진변형을 측정결과는 다음과 같다.

Table 1 Tensile result

True strain	0.002	0.010	0.022	0.039	1.008
True stress (kg/mm <sup>2</sup> )	33.7 YS	35.3 -	38.4 -	41.1 UTS	69.3 FS*

\* fracture strength

\* 한국기계연구원, 재료공정연구부

## 2.2 압축시험

소둔 처리된 0.2% 탄소강 시편을 유압프레스에서 경도 HRC60인 금형 및 테프론 윤활제를 사용하면서 상온에서 다음과 같이 압축시험 하였다.

### 2.2.1 단속적 압축시험

직경 12.7mm×높이 19.3mm의 원통형 시편을 최종압축 변형율이 63%될 때까지 매 10~15% 압축시마다 시험을 중지하고 시편을 꺼내어 높이를 실측정 하였다. 이때, 매 시험 중지시마다 시편을 재윤활하여 주었고, 프레스 속도는 12.7mm/sec이었으며 진변형율과 측정응력 결과는 다음과 같다.

Table 2 Result of interrupted compression test

True strain	0.138	0.357	0.560	0.820	1.000
Measured stress (kg/mm <sup>2</sup> )	61.9	71.0	77.7	82.2	84.4

외경 15.5mm×내경 7.5mm× 높이 5.3mm의 ring시편을 최종압축변형율이 63%될 때까지 상기와 동일한 방법으로 압축하여 주었다. 이때, 매 중지시마다 높이 및 내경을 실측정하였고, 프레스 속도는 3.8mm/sec이었다. ring시편의 공칭 높이 변화율과 내경변화율로부터 calibration curve를 이용하여 구한 마찰계수(friction factor)값은 다음과 같다.

Table 3 Result of ring compression test

Reduction in height	0.106	0.255	0.423	0.630
Decrease in inside diameter	-0.047	-0.095	-0.108	+0.014
Friction factor	0.05	0.10	0.12	0.15

### 2.2.2 연속적 압축시험

직경 12.7mm×높이 19.1mm의 원통형 시편을 최종압축 변형율이 56%가 될 때까지 stroke transducer를 부착한 후 계속하여 압축하여 주었다. 이때 윤활제는 압축시험을 시작하기 전에만 가하여 주었고, 프레스 속도는 12.7mm/sec이었으며 진변형율과 측정응력 결과는 다음과 같다.

Table 4 Result of continuous compression test

True strain	0.098	0.174	0.257	0.347
Measured stress(kg/mm <sup>2</sup> )	61.5	64.6	67.0	71.3
True strain	0.446	0.556	0.680	0.821
Measured stress(kg/mm <sup>2</sup> )	76.7	82.8	87.2	100.5

## 3. 결과분석

진변형율이 0.35가 될 때까지는 두 압축시험에서의 측정응력이 비슷하나, 진변형율이 그 이상으로 증가할 때 연속적 압축시험에서의 응력값이 단속적 압축시험에서의 응력값보다 커지는 이유는 연속적 압축시험에서 금형과 시편계면에서의 윤활이 변형율이 증가할수록 불량하여지기 때문이다. 본 실험에서의 측정응력을 유동응력으로 보정하기 위하여 다음식을 사용하였다.

측정응력( $P_a$ )

$$= \text{유동응력}(\sigma_f) + \text{계면에서의 평균마찰응력}(\tau_{i,m})$$

$$= \sigma_f + m \cdot \frac{\sigma_f}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{d}{h}$$

$$= \sigma_f \left( 1 + \frac{m}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{d}{h} \right)$$

여기에서의  $m$ 은 마찰계수,  $d$ 는 시편직경,  $h$ 는 시편높이에 해당한다. 위식에 의하여 단속적 및 연속적 원통형 압축시험에서의 측정응력을 보정한 응력은 다음과 같다.

Table 5 Stress calibrated from measured stress

Engineering strain	0.106	0.255	0.423	0.630
True strain	0.112	0.294	0.550	0.994
Calibrated stress at interrupted test (kg/mm <sup>2</sup> )	60.1	63.8	74.1	77.5
Calibrated stress at continuous test(kg/mm <sup>2</sup> )	60.0	63.8	78.8	113.4

위 표에서의 단속적 압축시험에 의한 보정응력값과 연속적 압축시험에 의한 보정값이 0.35 이상의 진변형율에서 상이한 이유는 연속적 압축시험에서의 측정응력 보정

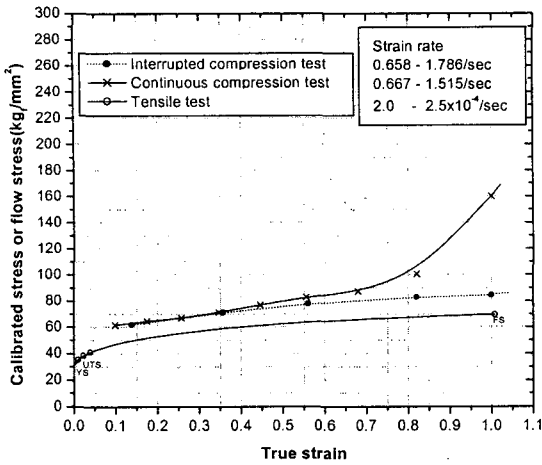


Fig. 1 Compressive calibrated stress and tensile flow stress depending on true strain

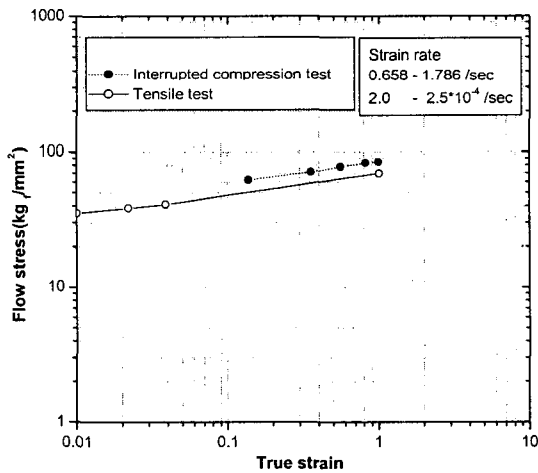


Fig. 2 Log-log graph for flow stress vs. true strain

을 위하여 변형율이 커짐에 따라 윤활이 불량해진 경우의 마찰계수 값을 이용하지 않고, 단속적 ring 압축시험에서 구한 낮은 마찰계수값을 사용하였기 때문이다. 따라서, 단속적 압축시험에서의 보정응력이 유동응력에 해당된다.

Fig. 1에 단속적 및 연속적 압축시험결과로부터 보정한 유동응력과 인장시험에서 구한 응력을 진변형율에 따라 상호 비교하였으며, Fig. 2에서는 Fig. 1의 단속적 압축 및 인장시험에서의 결과를 log-log graph에 표시 비교하였다. 이때 인장시험에서 구한 진응력값과 단속적 압축시험에서의 유동응력 값이 다른 이유는 변형속도 차이 때문이다.

#### 4. 결론

(1) 인장시험에서 구한 측정응력은 마찰에 기인한 보정이 필요하지 않으나 변형속도에 한계가 있으므로, 빠른 변형속도에서의 유동응력 측정은 압축시험이 편리하다

(2) 윤활제의 적정 윤활 한계진변형율은 약 0.35이므로 압축시험에서의 측정응력을 유동응력으로 보정시 단속적 압축시험이 연속적 압축시험보다 정확하며, 동시에 단속적 압축시험에서는 실변형율을 매시험 중지시마다 직접 측정하므로 압축시험기에서 기인하는 elastic deflection을 보정할 필요가 없다.

#### 참고 문헌

- (1) Altan, T. (author), "Metal Forming : Fundamentals and Application", American Society for Metals, Metals Park, OH, 1983.
- (2) 이동녕 저, 1999, "소성가공학", 문운당.