

자동차용 강판의 소성변형비 측정 방법 연구

김 인 수

금오공과 대학교 재료공학과

A Study on the Measurement Methods of Plastic Strain Ratio in Automotive sheet steel

Insoo Kim

Department of Materials Science and Engineering, Kum Oh National University of Technology, Kumi, Kyung Buk, 730-701

ABSTRACT

The Measurement method of the plastic strain ratio is various in Automotive sheet steel.

In this paper, the measurement of the plastic strain are used two different methods, ASTM E 517 method and the automatic strain measurement tensile specimen during the tensile test, and compared the plastic strain ratios from the two methods.

The experimental results showed that the measured plastic strain ratios from the automatic strain measurement method are coincide with that from the ASTM E 517 standard measurement in various specimens

Therefore, automatic strain measurement method by two extensometers shows good accuracy.

Also, the strain dependance of plastic strain ratios could be recorded by the computer continuously and anisotropy of the strength coefficient, K , and strain hardening exponent, n , could be compared with each direction automatically through the use of automatic strain measurement system.

Keywords : Tensile test(인장시험), Plastic strain ratio(소성변형비), R-value, Automatic Strain Measurement method(자동변형률 측정방법)

1. 서론

자동차용 저탄소강의 디프 드로잉 성형성은 일축 인장시험에서 폭방향과 두께방향의 진변형률의 비로 정의하는 실험방법에도 불구하고 소성변형비 값은 주어진 판재에서 매우 넓은 범위의 분포를 이룬다¹⁾.

또 Atkinson²⁾은 소성변형비는 측정 정확도에 매우 민감한 값이라고 하였다. ASTM E 517에서는 0.025mm의 측정정확도를 요구하였으며 IDDRG에서는 이보다 정확한 0.005mm의 정확도를 요구하고 있다. 오늘날 소성변형비 측정은 폭방향과 길이 방향으로 Extensometer를 부착하여 인장시험동안 연속적으로 자동 변형률을 측정하므로써 얻고 있다.

본 논문에서는 이 측정방법을 자동변형률측정에 의한 자동소성변형비 측정 방법이라 이름을 붙였다. 그러나 자동소성변형비 측정방법을 ASTM의 측정 방법으로 소개되어 있지 않다. 왜냐하면 인장시험시 자동변형률 측정에서 많은 오차가 포함되어있으며 인장시편의 모서리가 둥그렇게 되어 있어 오차를 유발할 수 있기 때문이다.

따라서 이 논문의 목적은 다양한 자동차용 강판에서 ASTM E 517 표준 측정방법으로 측정한 소성변형비가 Extensometer 두 개를 이용한 변형률 자동 측정장치를 이용한 자동소성변형비 측정방법으로 얻은 소성변형비의 값을 비교하여 자동소성변형비 측정방법의 타당성을 입증할 것이다.

2. 실험방법

저탄소 강판의 소성변형비, R값은 ASTM E 517 측정방법과 자동변형률 측정에 의한 자동소성변형비 측정방법이 등이 있고 그 외에도 많은 다양한 방법들이 있으나 본 실험에서는 두 가지 방법을 이용하였다.

표 1에는 본 연구에서 사용한 저탄소강 판의 조건을 보여주고 있다.

인장시편은 밀링가공을 이용하여 ASTM 표준규격으로 제작하였으며 ASTM E 517방법의 변형률을 측정하기 위해 표면에 2.54mm 크기의 정사각형 무늬를 화학부식방법을 이용하여 넣었다. 인장 시험 중에 첫 번째로 자동 소성변형비를 측정하기 위해서 두 개의 Extensometer를 인장시편 위에 부착하여 연속적으로 변형률을 자동 측정하였다.

두 번째로 ASTM E517 방법으로 소성변형비를 측정하기 위해 인장시험 중에 중간 중간 인장시편 표면에 표시된 무늬의 모양 변화를 사진 촬영하였다.

사진 촬영한 필름을 현상 인화하여 ASTM E 517 방법으로 폭과 길이 방향의 변형률을 광학 공구측정용 길이측정장치를 이용하여 측정하였다.

세 번째로 인장시험을 최대인장강도에 도달되기 전에 멈추고 실제 시편으로부터 ASTM E 517 방법으로 소성변형비를 측정하였다. 이와 같이 위에 제시한 3 가지의 방법으로 얻어진 소성변형비를 서로 비교하여 보았다.

그림 1은 자동변형률 측정장치와 ASTM E 517 측정방법에 사용할 변형률을 측정하기 위한 사진촬영 방법을 보여준 그림이다. 그러나 자동변형률 측정방법과 사진촬영에서 얻어진 변형률에는 소성변형비에 필요한 소성 진변형률 뿐만 아니라 탄성 진변형률을 내포하고 있다.

$$\text{즉, } \epsilon_l = \epsilon_l^e + \epsilon_l^p, \quad \epsilon_w = \epsilon_w^e + \epsilon_w^p, \quad \epsilon_t = \epsilon_t^e + \epsilon_t^p \quad (1)$$

여기서 e : 탄성변형률 성분, p : 소성변형률 성분
l : 길이방향, w : 폭방향, t : 두께방향

만약 탄성변형율이 등방성이라면 ϵ_l^e 와 ϵ_w^e 는 다음 식으로 계산되어질 수 있다.

$$\epsilon_l^e = \frac{1}{E} \sigma_l \quad (2)$$

$$\epsilon_l^e = \frac{1}{E} [-\nu \sigma_l] \quad (3)$$

ϵ_l , ϵ_w , 및 σ_l 은 인장시험 중에 측정이 되므로 식 (2)(3)으로부터 ϵ_l^e 와 ϵ_w^e 를 계산할 수 있다.

그러므로 ϵ_l^e 와 ϵ_w^e 를 식(1)로 계산 가능하다.

만약 부피가 소성범위에서 보존이 된다면 다음식 (4)가 성립된다.

$$\epsilon_l^p + \epsilon_w^p + \epsilon_t^p = 0 \quad (4)$$

따라서 ϵ_l^p 는 식 (1)과 (4)에 의하여 계산되어질 수 있다.

그러므로 소성변형비, R의 값은 다음식 (5)에 의해 얻을 수 있다.

$$R = \frac{\epsilon_w^p}{\epsilon_t^p}$$

이와같이 자동소성변형비 측정장치와 그림 2에서 보인 사진촬영한 시편의 변화로부터 측정된 변형률을 식(5)에 넣음으로서 소성변형비를 얻었으며 인장시험이 끝난후 실제 인장시편으로부터 폭방향과 길이방향의 변형률을 측정하므로써 소성변형비를 계산하여 3 가지 방법으로 부터 얻어진 소성변형비를 비교하여 보았다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 시편 번호 1번의 인장 시험으로부터 얻은 하중-변위 실험 데이터이며 그림4는 공칭응력-변형률 실험 데이터이고 그림5는 진응력-변형률 데이터이다. 이와 같이 자동 변형률 측정 장치를 이용하여 폭방향과 길이 방향의 응력-변형률을 자동 측정할 수 있다. 그림6은 강도 계수 K와 가공 경화 지수 n을 계산하기 위하여 세방향으로 진응력-변형률의 자연 대수를 취한 데이터이다.

일반적으로 저탄소강의 소성변형비는 변형률에 의존하는 값인데 이와 같은 소성변형비의 변형률 의존성은 각방향으로 가공 경화 지수의 이방성 때문에 일어난다고 주장했던 Hu³⁾의 연구 논문 결과를 그림6으로부터 확인할 수 있었다.

그림 7은 길이, 폭, 두께 방향의 변형률 관계를 보여주는 데이터이다. 따라서 자동 변형률 측정방법은 소성변형비를 측정하기위해 또다른 많은 부수효과를 쉽게 얻을수 있는 매우 좋은 측정방법이다.

그림8, 9, 10 및 11은 (a)자동 소성변형비 측정방법 (b)사진 촬영에 의한 ASTM E 517측정방법 (c)인장 시험을 중단한 후 Extensometer를 제거하고 광학 공구 측정용 길이 측정 장치를 이용한 소성변형비를 서로 비교한 결과이다.

다양한 종류, 다양한 방향의 소성변형비를 3가지 방법으로 측정하여 비교한 결과 세방법 모두 정확하게 일치된 값을 얻지 못했으나 경향이 매우 일치하며 근접한 결과를 얻었다.

따라서 자동변형률 측정장치를 이용한 소성변형비 측정방법은 ASTM E 517 측정방법에는 채택되지 않았지만 신뢰할만한 측정방법이며 뿐만아니라

많은 데이터를 자동적으로 얻으므로 매우 유용한 측정방법으로 권장할 만하다고 판단된다.

4. 결론

1. 자동변형률 측정장치로 측정한 소성변형비는 인장시험중 사진촬영에 의한 ASTM E 517 방법으로 측정한 소성변형비 및 인장시험 후 실제 시편으로부터 측정한 ASTM E 517 방법으로 측정한 소성변형비가 매우 잘 일치하였으므로 저탄소강 판재의 소성변형비 측정에 유용한 방법이다.
2. 자동변형률 장치에 의한 실험 방법은 소성변형비가 자동으로 기록되어 소성변형비의 변형률 의존성을 알아 볼 수 있을 뿐아니라 각 방향에 따른 강도계수 K, 가공경화지수 n의 이방성 측정도 자동으로 할 수 있어서 유용한 측정방법이다.

5. 참고문헌

1. Liu, Y. C. (1983). On the r-value measurement, Metall. Trans. A, J., **14A**, 1199-1205
2. Atkinson, M. (1967). Assessing normal anisotropic plasticity of sheet metals, Sheet metal industries, March, 167-178
3. Iiu, H. (1975). The strains dependance of plastic strain ratio (γ_m value) of deep drawing sheet steels determined by simple tensile test, Metall. Trans. A, J., **6A**, April, 945-947

Table 1. The conditions of low carbon steels

specimen No.	Material	Thickness
1	SAE 1008 CRCQ UNEXPOSED	1.50 mm
2	SAE 1006 CRDDQ AK UNEXPOSED DEAD SOFT	0.80 mm
3	SAE 1006 CRDDQ AK UNEXPOSED	1.38 mm
4	SAE 1006 CRDQ AK UNEXPOSED	0.70 mm

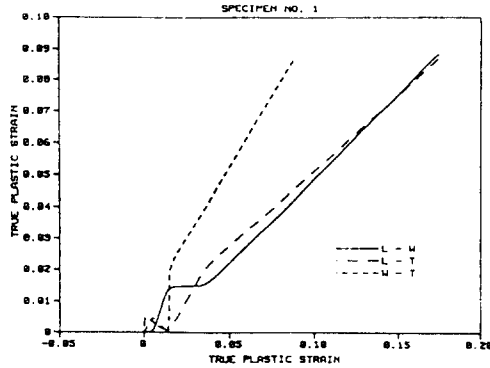


Fig.7 Relation between true plastic strain and true plastic strain in longitudinal-width, longitudinal-thickness and width-thickness of specimen No.1 (R. D. specimen)

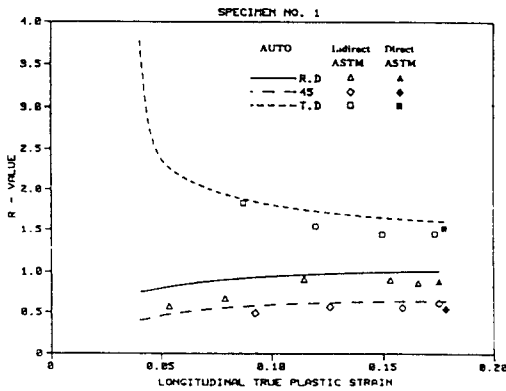


Fig.8 The strain ratios which are measured by automatic strain measurement method, indirect ASTM E 517 measurement method and direct ASTM E 517 measurement method of specimen No.1

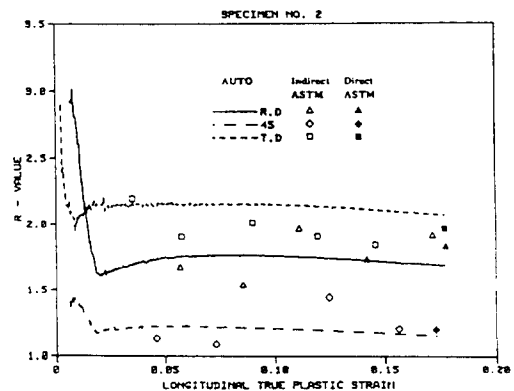


Fig.9 The strain ratios which are measured by automatic strain measurement method, indirect ASTM E 517 measurement method and direct ASTM E 517 measurement method of specimen No.2

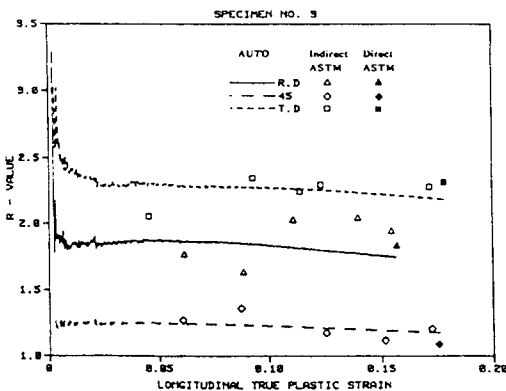


Fig.10 The strain ratios which are measured by automatic strain measurement method, indirect ASTM E 517 measurement method and direct ASTM E 517 measurement method of specimen No.3

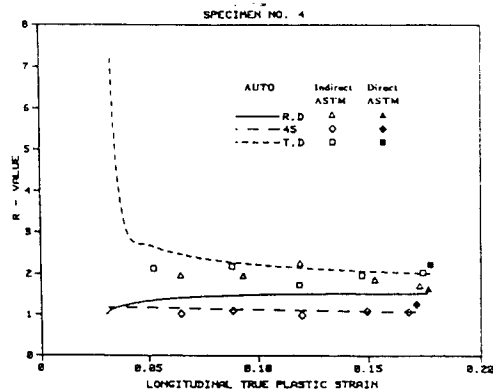


Fig.11 The strain ratios which are measured by automatic strain measurement method, indirect ASTM E 517 measurement method and direct ASTM E 517 measurement method of specimen No.4

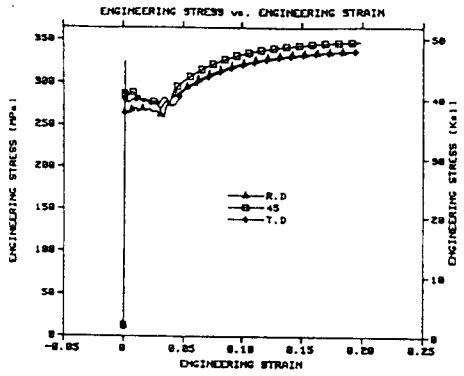


Fig.4 Engineering stress-engineering strain curve of specimen No.1 in tensile test

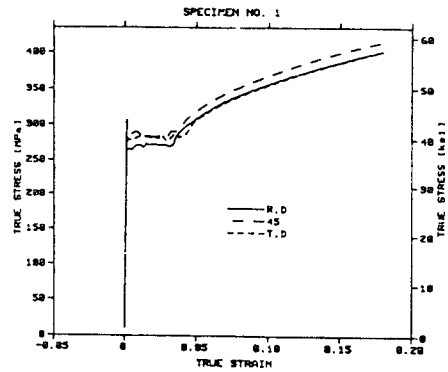


Fig.5 True stress-true strain curve of specimen No. 1 in tensile test

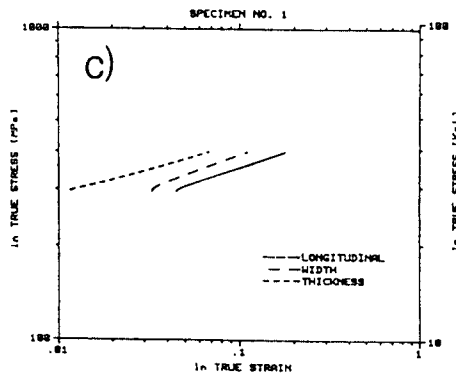
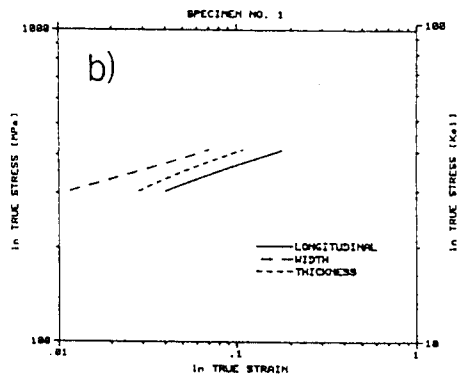
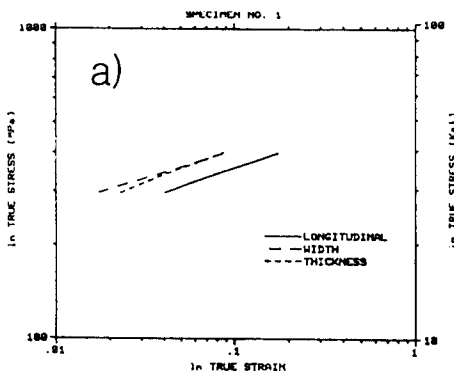


Fig.6 $\ln(\text{true stress})-\ln(\text{true strain})$ curve of specimen No.1 in tensile test a) R. D. specimen b) 45° specimen c) T. D. specimen

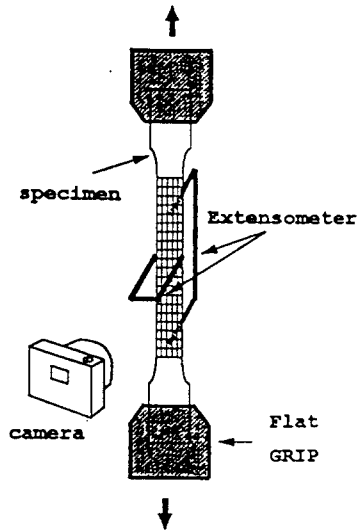


Fig.1 Schematic diagram for strain measurement apparatus that is obtained by two extensometers continuously and taken by picture at a certain strain level during the tensile test

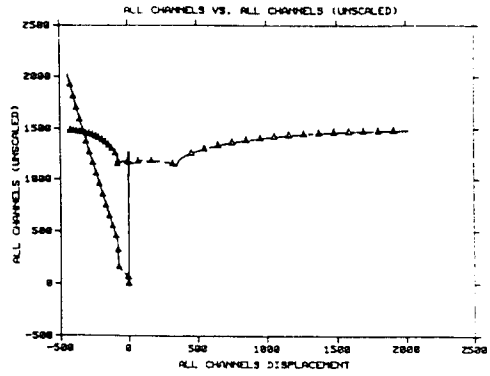


Fig.3 Load-displacement curve of specimen No.1 (R. D. specimen) in tensile test

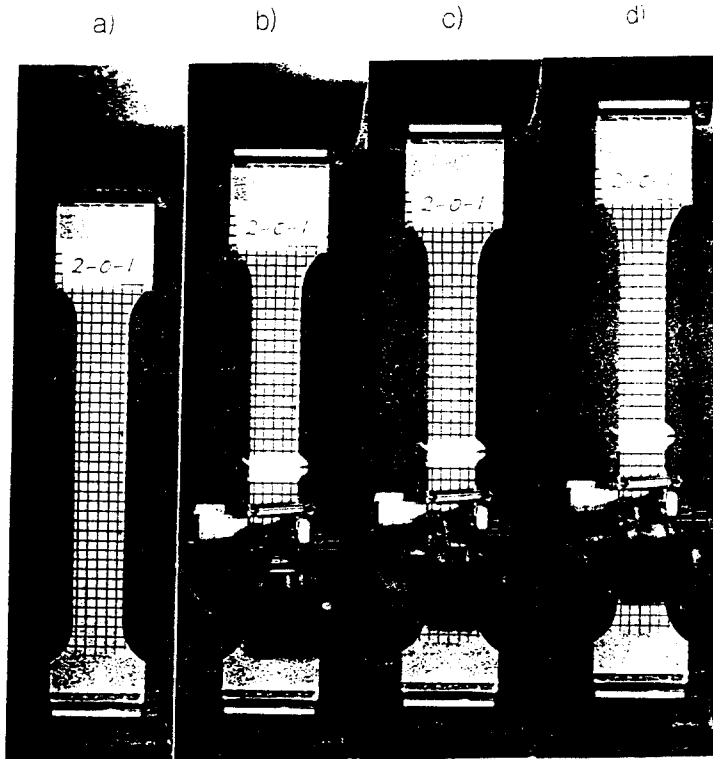


Fig.2 The change of tensile specimen during the tensile test.