

## FEGM을 이용한 자동차용 플라스틱의 진응력-변형률 선도 도출

박충희<sup>1</sup>, 김진성<sup>1</sup>, 허 훈<sup>#</sup>, 안창남<sup>2</sup>, 최석진<sup>3</sup>

### Determination of True Stress-Strain Curves of Auto-body Plastics Using FEGM

C. H. Park, J. S. Kim, H. Huh, C. N. Ahn, S. J. Choi

#### Abstract

The plastics are widely utilized in the inside of vehicles. The dynamic tensile characteristics of auto-body plastics are important in a prediction of deformation mode of the plastic component which undergoes the high speed deformation during car crash. This paper is concerned with the dynamic tensile characteristics of the auto-body plastics at intermediate strain rates. Quasi-static tensile tests were carried out at the strain rate ranged from 0.001/sec to 0.01/sec using the static tensile machine(Instron 5583). Dynamic tensile tests were carried out at the strain rate ranged from 0.1/sec to 100/sec using the high speed material testing machine developed. Conventional extensometry method is no longer available for plastics, since the deformation of plastic is accompanied with localized deformation. In this paper, quasi-static and dynamic tensile tests were performed using ASTM IV standard specimens with grids and images from a high speed camera were analyzed for strain measurement. True stress-strain relations and the actual strain rates at each deformation step were obtained by processing load data and deformation images, assuming the plastics to deform uniformly in each grid.

**Key Words** : Auto-body plastics (자동차용 플라스틱), True stress-strain curve (진응력-변형률 선도), Engineering stress-strain curve (공칭응력-변형률 선도), Strain rate sensitivity (변형률 속도 민감도), FEGM (하중 평형 격자법)

#### 1. 서론

자동차의 주요 하중구조물은 금속재료이지만 차체 내부는 주로 플라스틱 소재로 구성되어 있다. 플라스틱 소재는 금속재료에 비하여 강도가 약해서 차량 충돌 시 받는 충격에 쉽게 파손될 가능성이 높아 승객의 안전에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 충돌과 같은 빠른 거동을 하는 경우의 플라스틱 소재에 대한 기계적 물성치를 차량설계에 반영하여야 한다. 이러한 플라스틱 소

재는 일반적으로 변형률 속도에 따른 기계적 물성치의 민감도가 크기 때문에 보다 정확한 충돌 성능 설계를 위해서 변형률 속도를 고려한 부품 설계가 필수적이다.

변형률 속도가 자동차용 플라스틱 등의 중합체의 변형률 경화에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔다. Walley 등<sup>1)</sup>은 다양한 중합체의 변형률 속도에 따른 변형 거동을 연구하였다. Cook 등<sup>2)</sup>은 에폭시 수지의 변형률 속도와 조성에 따른 영향을 연구하였다.

1. KAIST

2. 현대자동차

3. ㈜엔지비

# 교신저자: KAIST, E-mail: hhuh@kaist.ac.kr

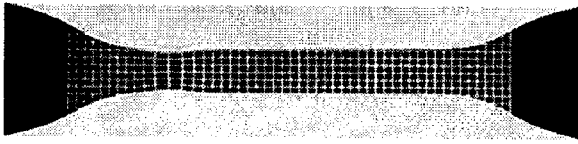


Fig. 1 Deformed shape of an auto-body plastic.

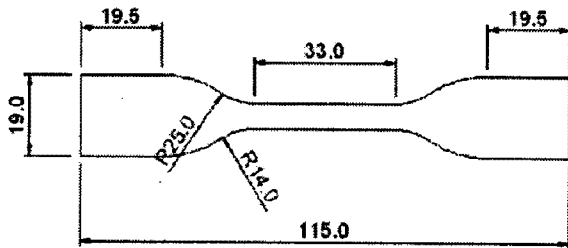


Fig. 2 ASTM IV standard specimen.

자동차용 플라스틱의 경우에는 일반적인 금속 재료<sup>3)</sup>와 달리 항복점 이후에 Fig. 1과 같은 불균일한 변형 거동이 나타나면서 응력 및 변형률의 집중이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 이루어졌다. Marquez-Lucero 등<sup>4)</sup>은 다양한 변형률 속도에서 등골고 편평한 시편의 네킹 전파를 관찰함으로써 문제를 해결하고자 하였고, Kim 등<sup>5)</sup>은 폴리프로필렌의 진응력-변형률 선도를 정확하게 예측하기 위하여 유한요소해석을 이용한 최적화 기법을 소개하고 있다.

본 논문에서는 인장시험을 실시함에 있어서 시편에 격자를 표시하고 인장시험 중 격자의 변형 상태를 관찰하여 각 격자에서의 진응력-변형률 관계와 각 단계에서의 실제 변형률 속도를 직접 획득하는 FEGM(force equilibrium grid method)을 제안함으로써 실제 변형률 속도에 대한 진응력-변형률 선도를 정확하게 묘사할 수 있는 실험법을 제안하고자 한다.

## 2. 준정적 및 동적 인장시험

### 2.1 실험 조건

인장시험을 실시함에 있어 시편으로는 Fig. 2에 도시한 ASTM IV 표준 규격 시편을 사용하였다. 표점부의 길이는 33mm, 너비는 6mm 그리고 두께는 2mm이다. 준정적 인장시험은 Instron 5583 시험기를 사용하여 0.001/sec부터 0.01/sec까지의 변형률 속도에서 시험을 실시하였다. 동적 인장시험은

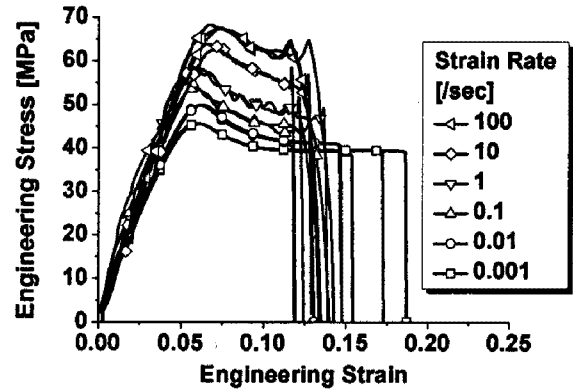


Fig. 3 Engineering stress-strain curves of an auto-body plastic.

중고속 인장시험기를 사용하여 0.1/sec부터 100/sec까지의 변형률 속도에서 시험을 실시하였다. 인장시험 중 재료의 변형 거동을 자세하게 관찰하고 변형률 측정을 용이하게 하기 위하여 1mm 간격으로 격자를 표시하였다. 인장시험 중 시험 영상을 기록하여 시험이 진행되는 동안 재료의 변형 거동을 관찰할 수 있도록 하였다. 인장시험 재료로는 ABS 수지를 사용하였고, 시험은 상온에서 실시되었다.

### 2.2 실험 결과

준정적 및 동적 인장시험의 공칭응력-변형률 선도를 Fig. 3에 도시하였다. 결과를 살펴보면 변형률 속도가 증가함에 따라 유효응력이 증가함을 관찰할 수 있다. 얻어진 데이터를 충돌해석에 적용하기 위해서는 진응력-변형률 형태로 변환시키는 과정이 필요하다. 일반적인 금속 재료에 사용하는 CEM(conventional extensometry method)은 재료가 균일하게 변형한다는 가정하에 적용할 수 있다. 하지만 플라스틱 재료의 변형은 전체 표점부 가운데 일부분에서만 집중되어 발생한다. 따라서 플라스틱의 진응력-변형률 선도를 얻기 위한 방법으로 CEM을 사용하는 것은 적합하지 않다. 플라스틱의 진응력-변형률 선도를 정확하게 얻기 위한 방법으로 인장시험에서 구해진 하중-변위 선도와 격자의 변형 거동으로부터 각 격자에서의 진응력-변형률 관계와 실제 변형률 속도를 직접 계산하는 방법을 제안한다.

### 3. Force Equilibrium Grid Method

#### 3.1 진응력-변형률 관계

각 격자에서 일정한 시간 간격으로 이미지를 추출한 후, 하중-시간 선도와 대응시켜 각 변형 단계에서의 격자의 변형 상태와 하중을 얻었다. 재료의 비압축성을 이용하여 격자의 길이로부터 단면적을 계산하였으며 이 값을 이용하여 진응력을 계산하였다. 그리고 각 단계에서 격자의 길이를 측정하여 진변형률 값을 계산하여 각 변형 단계에서의 진응력-변형률 관계를 얻어낼 수 있다. 다양한 변형 양상을 고려하기 위하여 6개의 격자를 선정하여 측정을 수행하였다. 인장시험은 일정한 속도로 진행되지만 재료가 변형하는 속도는 격자의 변형 양상에 따라 다르며, 한 격자에서의 변형률 속도조차 시험이 진행됨에 따라 변한다. 그러므로 인장시험이 이루어지는 변형률 속도는 엄밀한 의미에서 재료가 변형하는 변형률 속도라 할 수 없으며, 격자의 변형을 관찰하여 실제 변형률 속도를 계산하는 과정이 필요하게 된다.

#### 3.3 실제 변형률 속도

실제 변형률 속도를 계산하기 위하여 각 격자의 진변형률을 시간의 함수로 나타내어 Fig. 4에 도시하였다. 격자의 위치에 따라 진변형률의 변화 정도가 다른 것을 관찰할 수 있다. 변형률 속도는 시간에 따른 변형률의 변화량을 나타내기 때문에 Fig. 4의 결과를 미분하여 얻을 수 있다. 각 격자의 실제 변형률 속도를 Fig. 5에 도시하였다. 인장 시험에서 시험장치의 속도가 일정한 경우에도 각 격자의 실제 변형률 속도는 변형 양상에 따라 다를 수 있다. 따라서 인장시험의 변형률 속도로는 실제 재료가 변형하는 변형률 속도를 정확히 나타낼 수 없으며, FEGM을 이용하여 계산한 실제 변형률 속도가 실제 시험에서 재료가 변형하는 변형률 속도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 앞 절에서 구한 진응력-변형률 관계에 FEGM을 이용하여 계산한 실제 변형률 속도를 대응시킴으로써 재료가 변형하는 실제 변형률 속도에서의 진응력-변형률 관계를 나타낼 수 있게 된다.

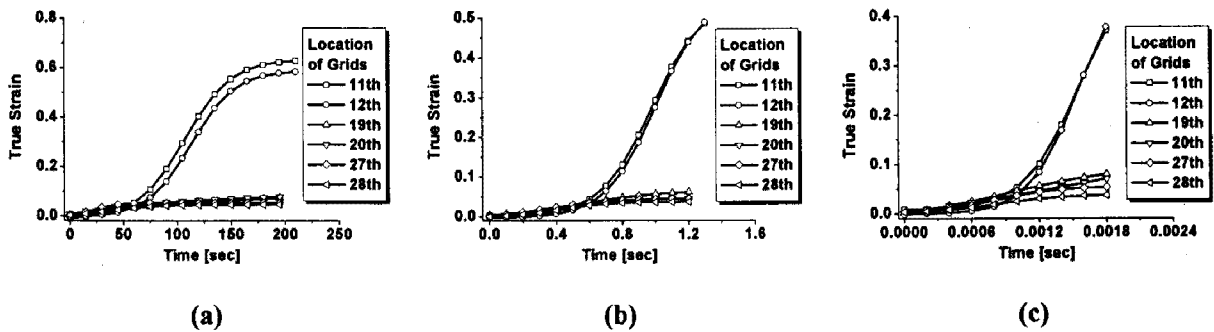


Fig. 4 Variation of true strain with respect to time at the initial strain rate of: (a) 0.001/sec; (b) 0.1/sec; (c) 100/sec.

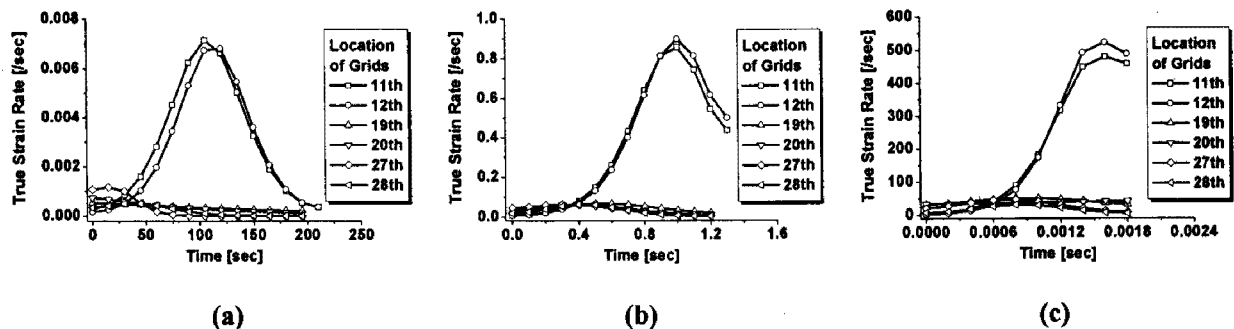


Fig. 5 Variation of true strain rate with respect to time at the initial strain rate of: (a) 0.001/sec; (b) 0.1/sec; (c) 100/sec.

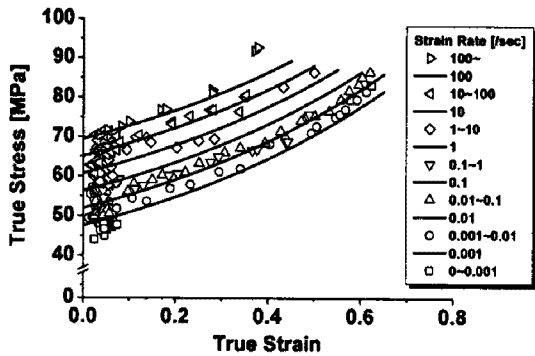


Fig. 6 True stress-strain relations for the actual strain rates.

### 3.4 실제 변형률 속도에 따른 진응력-변형률 선도

실제 변형률 속도에 대한 진응력-변형률 관계를 Fig. 6에 도시하였다. 같은 색의 점들이 같은 범위의 실제 변형률 속도를 가지는 진응력-변형률 점들을 나타낸다. 이를 이용하여 다른 색의 점들 사이를 지나는 곡선을 구하면 실제 변형률 속도가 각각 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10, 100/sec일 때의 진응력-변형률 선도를 구할 수 있으며 이를 Fig. 6에 함께 도시하였다. FEGM과 CEM을 이용한 유한요소 해석의 결과를 실험 결과와 비교한 그래프를 Fig. 7에 도시하였다. FEGM을 이용하여 수행한 유한요소 해석이 CEM을 이용한 유한요소 해석보다 실험 결과를 정확하게 예측하는 것을 볼 수 있다. FEGM은 특히 necking이 국부적으로 발생하는 재료에서 더 두드러진 결과를 나타낸다.

## 4. 결론

본 논문에서는 FEGM을 제안하여 재료가 실제로 변형하는 실제 변형률 속도에서의 진응력-변형률 선도를 획득하였다.

(1) FEGM을 이용하여 각 격자로부터 직접 진응력과 진변형률을 계산하였으며 실제로 재료가 변형하는 실제 변형률 속도를 계산하였다.

(2) 진응력-변형률 관계에 실제 변형률 속도를 대응시켜 재료가 변형하는 실제 변형률 속도에 따른 진응력-변형률 선도를 획득하였다.

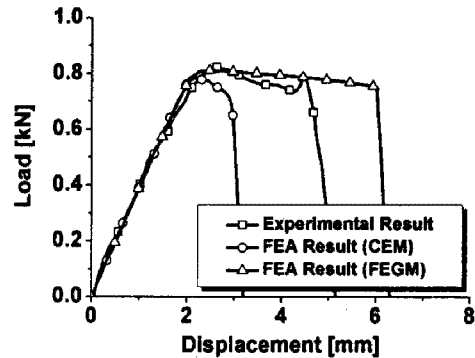


Fig. 7 Comparison experimental result with FEA results.

(3) FEGM을 이용하여 수행한 유한요소 해석이 CEM을 이용한 유한요소 해석보다 실험 결과를 정확하게 예측하는 것을 확인하였다.

## 참고 문헌

- [1] S. M. Walley, J. E. Field, P. H. Pope, N. A. Stafford, 1989, A Study of the Rapid Deformation Behavior of a Range of Polymers, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 328, No. 1597, pp. 1~33.
- [2] A. E. Mayr, W. D. Cook, G. H. Edward, 1998, Yielding behaviour in model epoxy thermosets - I. Effect of strain rate and composition, Polymer, Vol. 39, No. 16, pp. 3719~3724.
- [3] H. Huh, J. H. Lim, S. H. Park, 2009, High Speed Tensile Test Of Steel Sheets For The Stress-Strain Curve At The Intermediate Strain Rate, International Journal of Automotive Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 195~204.
- [4] A. Marquez-Lucero, C. G'Sell, K. W. Neale, 1989, Experimental Investigation of Neck Propagation in Polymers, Polymer, Vol. 30, No. 4, pp. 636~642.
- [5] J. S. Kim, H. Huh, K. W. Lee, D. Y. Ha, T. J. Yeo, S. J. Park, 2006, Evaluation of Dynamic Tensile Characteristics of Polypropylene with Temperature Variation, International Journal of Automotive Technology, Vol. 7, No. 5, pp. 571~577.