

# 네킹 효과 보정을 위한 격자 기반의 인장시험: AZ31 판재 적용 A Grid-Based Tensile Test for Necking Effect Compensation Applied to AZ31 Sheet

\*#김흥규<sup>1</sup>, 김형중<sup>2</sup>, 김현영<sup>2</sup>

\*#H. K. Kim(krystal@kitech.re.kr<sup>1</sup>, H. J. Kim<sup>2</sup>, H. Y. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 금형·성형연구부, <sup>2</sup> 강원대학교 기계의용공학과

Key words : Tensile Test, Grid, Necking, AZ31 Sheet

## 1. 서론

인장시험은 재료의 물성을 파악하는 가장 기본적인 시험 방법으로서, 시험 과정에서 표점 거리 내의 시편이 균일한 변형을 한다는 가정에 기초한다. 시편의 변형이 균일하고 열간 회복(Recovery)과 같은 가공연화(Work softening) 현상이 없다면 인장시험에서 얻어진 공칭응력~공칭변형률 곡선으로부터 계산되는 진응력-진변형률 곡선에서는 재료 파단 시점까지 유동응력(Flow stress)의 지속적인 증가가 나타나게 된다.

그런데 연성(Ductile) 재료의 인장시험에서는 파단 전부터 흔히 네킹(Necking) 현상이 나타나고 이로 인해 실제 표점 거리 내의 시편이 균일한 변형을 하지 못하게 된다. 이 경우 특별한 고려를 하지 않으면 공칭응력-공칭변형률 곡선을 진응력-진변형률 곡선으로 변환해도 유동응력의 최대값이 파단 이전, 변형 도중에 그대로 존재하는 문제가 생긴다. 이런 문제는 변형 도중 재료에 가공연화가 발생했기 때문이 아니라 진응력-진변형률 곡선이 실제로는 표점 거리 내에서의 '평균' 진응력-진변형률 곡선이기 때문이다.

인장시험 데이터에서 네킹의 문제를 보정하기 위한 대표적인 기법으로는 Bridgman 식을 적용하는 것이다<sup>[1]</sup>. Bridgman 식을 사용함으로써 네킹 발생으로 인해 왜곡되는 인장시험 데이터를 바로 잡아 실제에 가까운 진응력-진변형률 곡선을 얻을 수 있다. 그러나 시험 결과와 네킹 형상을 바탕으로 데이터를 변환하는 이와 같은 방법들<sup>[1-4]</sup>은 시편의 형상에 따라 달라질 수 있고, 재료 특성에 따라서는 적용 가능 여부에 대한 검증이 필요하다.

본 논문에서는 인장시험 만으로부터 진응력-진변형률 곡선을 효과적으로 얻기 위해 시편 표면상의 그리드(Grid)를 이용한 시험 방법을 제시하고자 한다. 마그네슘 합금인 AZ31 판재에 대해 그리드를 사용한 인장시험을 실제로 수행하고 그 결과 데이터에 대한 고찰로부터 본 인장시험 방법의 활용 가능성을 살펴보고자 한다.

## 2. 표점 거리 효과

마그네슘 합금인 AZ31 판재는 온도에 따라 응력-변형률 특성이 달라지는 특성이 있다. 온도에 따른 진응력-진변형률 곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 100℃ 이상 모든 온도의 진응력-진변형률 곡선에서 네킹으로 인한 문제가 완전히 소거되지 않고 있다.

AZ31 판재의 인장시험에서 네킹 영향을 살펴보기 위해 최근 인장시험의 표점 거리에 따른 응력-변형률 곡선의 변화를 고찰한 바 있다<sup>[5]</sup>. Fig. 2에 보인 것과 같이 표점 거리(Gauge length)를 원 거리인 50mm로부터 6mm까지 줄이면 그에 따른 진응력-진변형률 곡선도 변하게 된다. 표점 거리가 클 때는 가운데 네킹 부위의 불균일한 변형 거동이 인장 시험 결과에 영향을 주면서 결과적인 유동응력 곡선에 불안정성(Instability)을 주게 되지만, 표점 거리가 작아질수록 네킹 부위가 측정 영역에서 차지하는 비중이 커지고 인장시험 결과가 네킹 부위 특성을 잘 반영하게 된다. 이로 인해 유동응력 곡선의 불안정성이 상당히 감소하게 됨을 알 수 있다.

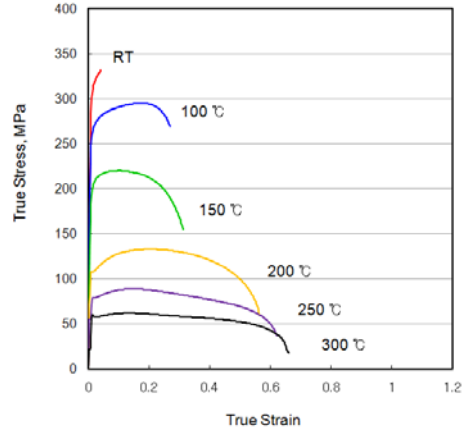


Fig. 1 Temperature-dependent flow stress curve of AZ31 sheet

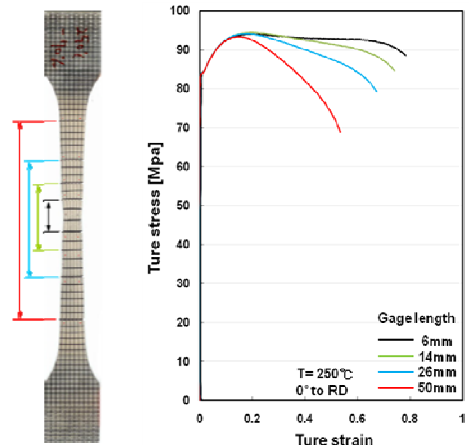


Fig. 2 Gauge length effect on the flow stress curve of AZ31

## 2. 그리드 기반 측정

앞에서 설명한 것과 같이 표점 거리를 계속 축소함에 따라 응력-변형률 곡선도 계속 변하게 되므로 이로부터 네킹 부위 특성을 충분히 반영하는 유동응력 곡선을 예측할 수 있다. 그런데 표점 거리는 Fig. 2에 표시된 그리드 이하로는 줄일 수 없다. 따라서 시편의 표점 거리를 줄이는 대신 하나의 그리드를 대상으로 응력-변형률 데이터를 얻을 수 있다면 표점 거리 효과를 충분히 제거한 유동응력 곡선을 기대할 수 있다.

그리드 기반의 인장 시험 데이터를 얻기 위한 이상적인 시험법은 인장 시험에서 실시간으로 시편의 그리드 변화와 하중을 동시에 측정하는 것이다. 그러나 본 연구에서는 편의상 이와 같은 실시간 측정법 대신 복수의 인장시편들을 정해진 연신율까지만 시험하는 인터럽트(interrupt) 방식을 사용하였다. 즉, 시편에 대해 연신율 10, 20, 30%, ... 등과 같이 일정한 길이만큼 인장시험을 수행하고 그 결과로 얻는 시편에 대해 그리드의 변형률을 측정하는 것이다. 여기서는 AZ31 시편에 대해 온도 150, 250℃의 2가지 조건에서 인장시험을 하였다. 시험 횟수를 고려하여 각 온도에서 연신율 20\*n(%) (n=1,2,3,...) 조건들을 시험 대상으로 정하였다. 다만 파단 연신율 조건은 포함하였다. 그리드를 입혀

시험한 250°C 인장시편을 Fig. 3 에 나타내었는데, 온도별 과단 연신율의 차이로 인해 150°C에서는 20%, 40%, 과단까지, 250°C에서는 20%, 40%, 60%, 과단까지 시험할 수 있었다. 응력-변형률을 측정할 그리드로 Fig. 3 에 표시한 것과 같은 5 개 그리드를 선정하였다 (0 번: 가운데 그리드). 모든 그리드를 대상으로 하는 대신 편의상 가운데 근방의 그리드를 선정하였다. 네킹 부위로부터 먼 곳의 응력-변형률 특성은 4 번 그리드에 충분히 반영될 것으로 예상하였다.

각 그리드의 변형률은 초기 그리드 크기 ( $L_{Grid}^i$ )와 변형된 시편의 그리드 크기 ( $L_{Grid}^f$ )로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\varepsilon = \ln \left( \frac{L_{Grid}^f}{L_{Grid}^i} \right) \quad (1)$$

각 그리드의 응력은 각 연신율 시점의 하중 ( $F$ )과 그리드를 포함하는 시편 단면의 단면적 ( $A_f = 폭 * 두께$ )으로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma = \frac{F}{A_f} \quad (2)$$

위의 식 (2)는 일반적인 인장시험에서도 사용하는 식으로서, 그리드에 작용하는 응력을 정확하게 구하기 위해서는 단면적에서의 하중 분포를 고려할 필요가 있다. 그러나 본 논문에서는 단면적 위의 하중이 균일하게 분포한다고 가정하였다.

5 개 그리드에서 측정된 응력-변형률 데이터를 각각 Fig. 4 에 나타내었다. 과단 시편의 데이터가 포함되었기 때문에 마지막 데이터 값이 급격히 작아짐을 볼 수 있다. 과단 시편의 데이터를 제외하고, 모든 그리드의 데이터를 통합하면 Fig. 5, 6 에 나타낸 것과 같이 그리드 기반 데이터를 최종적으로 얻을 수 있다. 측정 오차와 단순화 가정으로 인한 데이터 분산이 있기 때문에 이를 감안한 피팅 곡선을 비교하여 나타내었다.

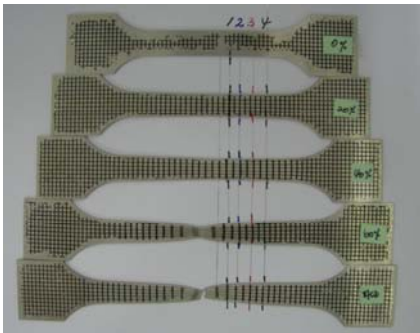


Fig. 3 Grid-printed tensile test specimen and grid points for measurement at 250°C

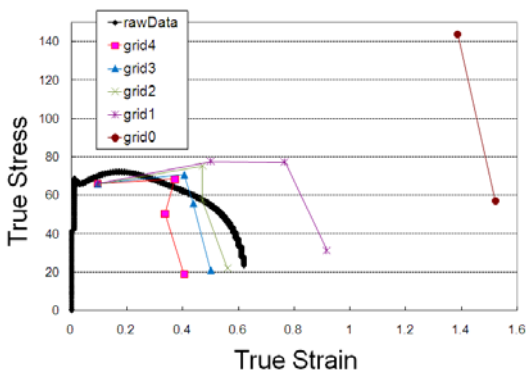


Fig. 4 Stress-Strain data at grids compared with the original tensile test data at 250°C

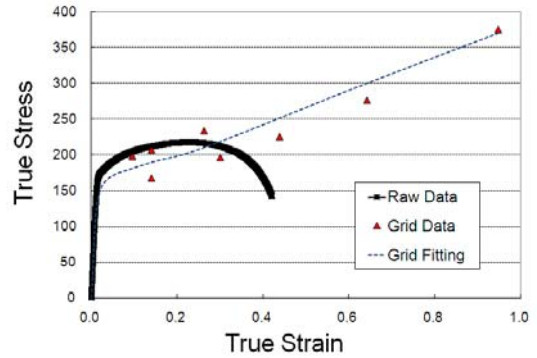


Fig. 5 Grid-based stress-strain data compared with the fitting curve and the original tensile test data at 150°C

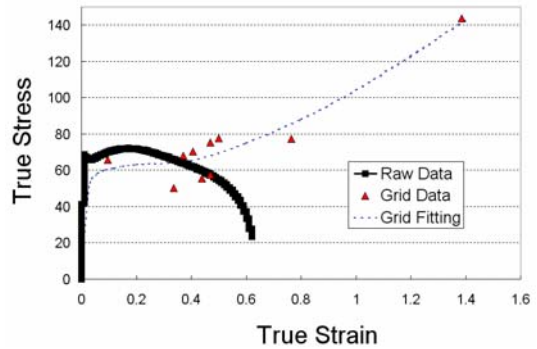


Fig. 6 Grid-based stress-strain data compared with the fitting curve and the original tensile test data at 250°C

#### 4. 결론

진응력-진변형률 곡선을 효과적으로 얻기 위해 그리드 기반 인장시험 방법을 도입하였다. 인터럽트 방식의 인장 시험 후 시편 그리드 변형 측정을 하여 마그네슘 합금 AZ31 판재의 150, 250°C에서의 응력-변형률 곡선을 얻었다. 이로부터 본 인장시험 방법의 활용 가능성을 살펴보았다. 향후에는 그리드 변형률 측정 오차를 최소화할 수 있는 측정법과 그리드에 작용하는 응력에 대한 정확한 평가가 필요할 것으로 판단된다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업 “난성형성 경량합금 판재 정밀성형 기술” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. P. Bridgman, Studies in Large Plastic and Fracture, McGraw-Hill Book Company, London, 1952.
2. Z. L. Zhang, M. Hauge, J. Odegard, C. Thaulow, “Determining material true stress-strain curve from tensile specimens with rectangular cross-section,” International Journal of Solids and Structures, **36**, 3497-3516, 1999.
3. Giuseppe Mirone, “A new model for the elastoplastic characterization and the stress-strain determination on the necking section of a tensile specimen,” International Journal of Solids and Structures, **41**, 3545-3564, 2004.
4. Eduardo E. Cabezas, Diego J. Celentano, “Experimental and numerical analysis of the tensile test using sheet specimens,” Finite Elements in Analysis and Design, **40**, 555-575, 2004.
5. 김형중, “Mg 합금판재의 온간 성형성 평가,” 한국소성가공학회 제 6 회 박판성형 심포지엄, 2009.