

## 폴리프로필렌의 변형속도 및 온도변화에 따른 판재 인장시험 평가

김기주

동명대학교 메카트로닉스공학과

### Tensile Test Evaluation of Polypropylene Sheets Following as Strain Rate and Temperature Variation

Kee Joo Kim

Department of Mechatronics Engineering, Tongmyung University

**요약** 500kgf 용량의 Instron 시험기를 이용하여 폴리프로필렌 판재의 인장시험 평가를 행하였다. 두께가 0.8 mm인 폴리프로필렌 판재의 변형속도민감도를 평가하기 위하여 변형속도는  $5 \times 10^{-4}/\text{sec} \sim 5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 으로 100배 변화를 주어 상온 및 고온 인장시험 하였다. 이를 통하여 변형속도 및 온도 변화에 따른 강도변화를 비교하였다. 실험결과 초기 변형속도가 증가할수록 강도가 증가하였으며 이는 폴리프로필렌은 변형속도민감도가 강한 양의 값을 지닌 재료임을 알 수 있었다. 또한 폴리프로필렌 판재의 고온 인장특성을 평가하기 위하여 온도는 80, 120, 160°C로 변화시켜 시험하였다. 고온인장시험 결과 온도가 증가할수록 강도는 감소하였으며 특히 160°C에서는 강도가 인장강도가 0으로 강하하였다. 변형속도 증가에 따른 온도 증가의 영향을 살펴보면 상온, 80°C 및 120°C까지는 항복강도 및 인장강도의 증가 폭이 비슷한 수준을 나타내었으나 160°C에서는 응력이 0에 가까워짐에 따라 강도 증가가 거의 없는 것으로 나타났다. 고온 인장시험에서 변형속도 증가에 따라 항복강도 값이 증가하는 양 보다는 인장강도 값이 증가하는 폭이 컸다.

**Abstract** A tensile test evaluation of a polypropylene plate was carried out using an Instron tester with a capacity of 500 kgf. To evaluate the strain rate sensitivity of the polypropylene plate with a thickness of 0.8 mm, a tensile test was performed at room temperature through strain rate variations from  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$  to  $5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ . From these, the changes in strength due to the strain rate change and temperature change were compared. As a result of the experiment, the strength increased with increasing initial strain rate. Polypropylene was found to be a material with a positive strain rate sensitivity. In addition, the high temperature tensile properties of the polypropylene plate were evaluated using high temperature tensile tests at 80, 120, and 160°C. The strength decreased with increasing temperature. In particular at 160°C, the tensile strength decreased to zero. The increase in yield strength and the tensile strength at room temperature, 80°C and 120°C were similar. At 160°C, however, there was almost no increase in strength because the stress approached zero. In the high temperature tensile test, the tensile strength increased more than the increase in yield strength with increasing strain rate.

**Keywords** : Polypropylene, Strain Rate, Temperature, Tensile Test, sheets

### 1. 서론

폴리프로필렌은 PE와 더불어 석유화학제품을 대표하

는 열가소성 수지로 고체로 프로필렌을 중합하여 제조하  
는데 인장강도와 충격강도, 표면강도가 우수하고 성형시  
의 유동성, 치수 안정성이 좋고 광택이 나고 외관도 아름답

\*Corresponding Author : Kee Joo Kim(Tongmyung Univ.)

Tel: +82-51-629-1545 email: kjkim@tu.ac.kr

Received April 18, 2018

Revised May 23, 2018

Accepted August 3, 2018

Published August 31, 2018

답다. 또한 내약품성이 좋고, 내굴곡 피로성이 뛰어나며, 밀도 및 내열성도 값싼 범용 플라스틱 중에서는 최고이다. 전기 기기의 하우징, 자동차 부품, 가정 잡화, 콘테이너, 일용품, 용기 등의 원료로 많이 쓰인다. 또한 폴리프로필렌은 판재로 제조되어 샌드위치 판재 복합재료의 중심재(core materials)로도 사용되는 등 그 용도가 매우 많다[1-6]. 폴리프로필렌은 변형속도에 따른 민감도가 강한 소재인 것으로 알려져 있다[2]. 그러므로 본 연구에서는 산업계 전반에 걸쳐 다양한 용도로 사용되는 폴리프로필렌 판재의 인장물성을 측정하는 데 있어 변형속도의 변화에 따른 민감도를 평가하였다. 또한 온도의 변화에 따른 영향을 평가하여 다양한 환경에서 폴리프로필렌 소재를 사용할 때 내 환경적인 영향을 조사하여 적절한 용도로 사용할 수 있는 최적 조건 등을 확립하는 데 기여하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 변형속도민감도 계산[1,2]

변형속도민감도는 식(1)과 같이 계산하며 온도 및 변형속도의 함수이다.

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{\partial \ln \sigma}{\partial \ln \dot{\epsilon}} \right)_{\epsilon, T} = \frac{\dot{\epsilon}}{\sigma} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial \dot{\epsilon}} \right)_{\epsilon, T} = \frac{\Delta \log \sigma}{\Delta \log \dot{\epsilon}} \quad (1) \\ &= \frac{\log \sigma_2 - \log \sigma_1}{\log \dot{\epsilon}_2 - \log \dot{\epsilon}_1} = \frac{\log(\sigma_2/\sigma_1)}{\log(\dot{\epsilon}_2/\dot{\epsilon}_1)} \end{aligned}$$

여기서,  $T$ 는 온도,  $\sigma$ ,  $\epsilon$ 은 각각, 인장곡선에서 얻을 수 있는 응력 및 변형률이며  $\dot{\epsilon}$ 은 변형속도 변화이다.

### 2.2 인장시험을 통한 변형속도민감도 평가

인장시험은 ASTM E8에 따라 표점거리 25 mm인 판상 시편을 이용하였으며, 500 kgf 용량의 정적 인장시험기 (Instron Co.; Instron 5565)를 사용하여 미세한 하중변화를 측정하였다. 이 때 시험 초기 변형속도는  $5 \times 10^{-4}/\text{sec} \sim 5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 로 달리하였으며, 변형률은 extensometer (Instron Co.; 스트레인 게이지용)를 사용하여 측정하였다. 폴리프로필렌 판재의 변형속도민감도 평가는 두 가지 방법으로 실시하였는데,  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ ,  $5 \times 10^{-3}/\text{sec}$  및  $5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 로 변형속도를 달리하여 유동응력을 측정하는 방법(방법1)과  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ 의 변형속도로 인장하중을 가

하다가  $5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 으로 변형속도를 100배 증가시켰다가 다시  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ 으로 복원시켜 그 때의 응력증감폭을 측정하는 방법(방법2)을 사용하여 비교하였다.

## 2.3 고온 인장시험

상온인장시험과 마찬가지로 환경변화의 특성차이 변수 중 폴리프로필렌 판재의 온도에 따른 영향을 알아보기 위하여 고온 인장시험을 실시하였으며 고온 인장시험은 80℃, 120℃ 및 160℃의 온도에서 시편을 30분간 유지시킨 후 행하였다. 상온에서 고온으로 온도를 높이기 위해서는 Instron의 box furnace를 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 변형속도 변화에 따른 인장시험 결과

Fig. 1에 변형속도의 변화에 따른 폴리프로필렌의 인장곡선을 나타내었다. 그림을 보면 초기 변형속도가 증가할수록 인장응력이 증가하였으며 이는 폴리프로필렌은 변형속도민감도가 강한 양의 값(Positive value)를 보이는 재료임을 알 수 있다. 여기서  $\Delta\sigma_1$ 은 Fig. 1에 나타내었듯이 인장 변형률 10%에서 변형속도 차이에 따른 응력 증가분으로 정의하였으며  $\Delta\sigma_2$ 는 인장 변형률 15%에서 변형속도 차이에 따른 응력 증가분으로 정의하였다.

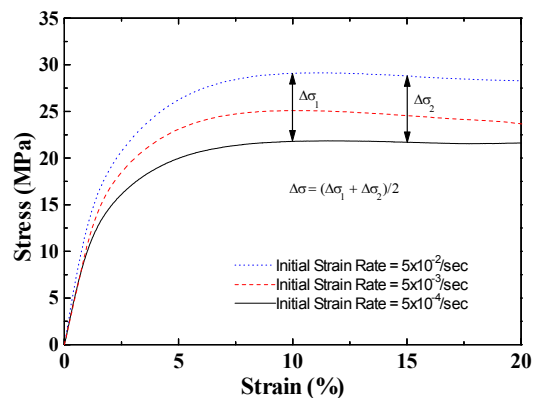


Fig. 1. Tensile stress-strain curves at various initial strain rate.

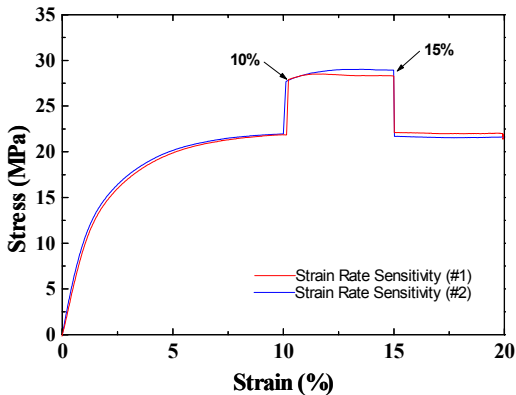
이 방법으로 실험하여 식(1)을 이용하여 변형속도민감도를 계산하기 위한 관련 변수들의 측정 결과를 Table

1에 정리하여 나타내었으며 평균 0.062의 값으로 계산되었다. 여기서  $m_1$  및  $m_2$ 는 각각 인장변형률 10% 및 15%에서 계산한 변형속도민감도 값이다.

**Table 1.** Results of strain rate sensitivity (method1)

$\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_2$	$\Delta\dot{\epsilon}$	$m_1$	$m_2$	Average
7.3/7.088	100	0.063	0.061	0.062

변형속도민감도를 두 번째 방법으로 측정하기 위하여 초기 변형속도를 (방법2)  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ 으로 인장시험 하다가 tensile strain 10%에서  $5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ 으로 strain rate를 100배 증가 시켰다가 다시 tensile strain 15%에서  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ 으로 복원시켜 이 때의 강도변화를 측정하였다. 측정 결과를 다음의 Fig. 2에 나타내었다.



**Fig. 2.** Tensile stress-strain curves at various strain rate (Strain rate changed from  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$  to  $5 \times 10^{-2}/\text{sec}$  at 10% tensile strain and rechanged to  $5 \times 10^{-4}/\text{sec}$  at 15% tensile strain).

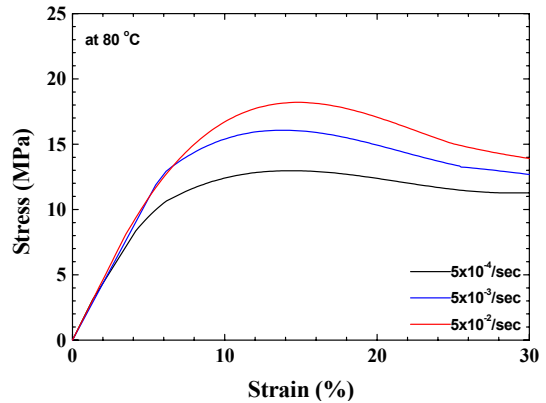
이 방법으로 총 2회 실험하여 식(1)을 이용하여 변형속도민감도를 계산하기 위한 관련 변수들의 측정 결과를 Table 2에 정리하여 나타내었으며 평균 0.054의 값으로 계산되었다. 앞서 방법1의 측정값보다 0.008 작은 값으로 약 13% 감소하였다.

**Table 2.** Results of strain rate sensitivity (method2)

no.	$\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_2$	$\Delta\dot{\epsilon}$	$m_1$	$m_2$	Average
1	5.71/7.24	100	0.050	0.062	
2	5.71/6.20	100	0.050	0.054	
Average	6.48	100	0.050	0.058	0.054

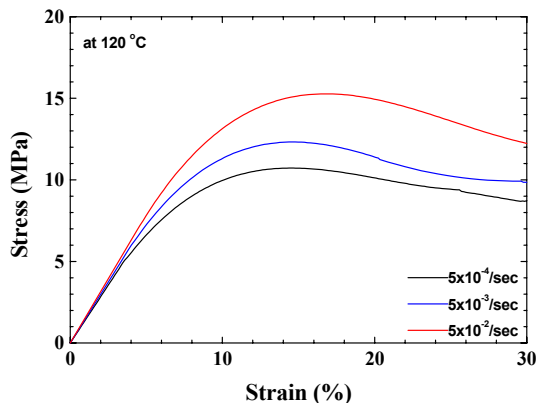
### 3.2 고온 인장시험 결과

Fig. 3에 폴리프로필렌 판재의 다양한 변형속도에 따른 고온(80°C) 인장곡선을 나타내었다. 상온 인장시험결과 보다 응력값은 낮아진 것을 확인할 수 있으며 변형속도가 증가할 때 나타나는 현상인 변형률이 커짐에 따라 응력증가량이 약간 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



**Fig. 3.** Tensile test curve at 80°C following as various strain rate.

Fig. 4에 폴리프로필렌 판재의 다양한 변형속도에 따른 고온(120°C) 인장곡선을 나타내었다. 80°C 인장시험결과 보다 응력값은 낮아진 것을 확인할 수 있으며 변형속도가 증가할 때 나타나는 현상인 변형률이 커짐에 따라 응력증가량이 줄어들지는 않는 것을 확인할 수 있다.



**Fig. 4.** Tensile test curve at 120°C following as various strain rate.

Fig. 5에 폴리프로필렌 판재의 다양한 변형속도에 따른 고온(160°C) 인장곡선을 나타내었다. 80°C, 120°C 인장시험결과 보다 응력값은 낮아진 것을 확인할 수 있다.

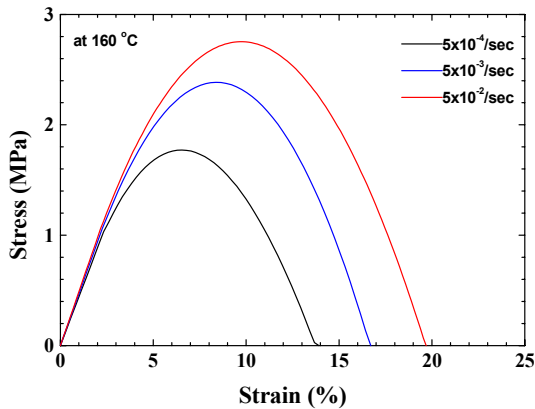


Fig. 5. Tensile test curve at 160°C following as various strain rate.

Fig. 6에 폴리프로필렌 판재의 다양한 변형속도에 따른 고온 인장특성을 나타내었다. 80°C, 120°C, 160°C로 온도가 증가할 수록 인장강도 및 항복강도 값이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 온도가 160°C로 높아졌을 때 인장강도 및 항복강도 값은 거의 0(zero)에 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 아울러 변형속도 증가에 따라 항복강도 값이 증가하는 양 보다는 인장강도 값이 증가하는 폭이 컸다. 또한 변형속도 증가에 따른 온도 증가의 영향을 살펴보면 상온, 80°C 및 120°C까지는 항복강도 및 인장강도의 증가 폭이 비슷한 수준을 나타내었으나 160°C에서는 응력이 0에 가까워짐에 따라 강도 증가가 거의 없는 것으로 나타났다.

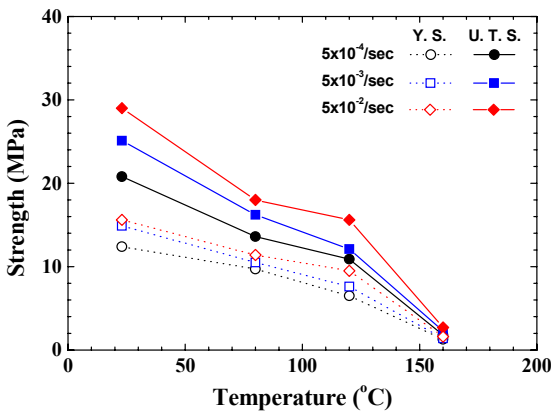


Fig. 6. Results of yield strength (Y. S.) and ultimate tensile strength (U. T. S.) at various temperature following as various strain rate.

#### 4. 결론

- 1) 변형속도 변화에 따른 강도 변화로 변형속도민감도를 결정하는 방법(평균 0.062)이 일정 변형률에서 변형속도를 증가시켰다가 다시 복원시켜 그 때의 강도차이로 변형속도민감도를 결정하는 방법(평균 0.054) 보다 약 13% 더 작게 변형속도민감도값으로 결정되었다.
- 2) 120°C에서 고온 인장시험한 결과에서는 80°C 인장시험결과 보다 유동응력값은 낮아진 것을 확인할 수 있으며 변형속도가 증가할 때 나타나는 현상인 변형률이 커짐에 따라 응력증가량이 줄어들지는 않는 것을 확인할 수 있다.
- 3) 폴리프로필렌 판재의 160°C에서 고온 인장시험한 결과에서는 인장강도 및 항복강도 값은 거의 0(zero)에 가까워지는 것을 확인할 수 있다.
- 4) 고온 인장시험에서 변형속도 증가에 따라 항복강도 값이 증가하는 양 보다는 인장강도 값이 증가하는 폭이 컸다.
- 5) 변형속도 증가에 따른 온도 증가의 영향을 살펴보면 상온, 80°C 및 120°C까지는 항복강도 및 인장강도의 증가 폭이 비슷한 수준을 나타내었으나 160°C에서는 응력이 0에 가까워짐에 따라 강도 증가가 거의 없는 것으로 나타났다.

#### References

- [1] K. J. Kim and H. T. Chung, "Plastic Strain Ratio and Texture Evolution of Aluminum/Polypropylene/Aluminum Sandwich Sheets", *KSAE*, vol. 14, no. 2, pp. 57-66, 2006.
- [2] K. J. Kim, H. T. Chung, I. S. Sohn, C. W. Kim, J. B. Kim, "Formability of Aluminum 5182-Polypropylene Sandwich Panel for Automotive Application," *KSAE*, vol. 15, no. 2, pp. 1-8, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.10.050>
- [3] K. J. Kim, K. Kim, Y. Kang and J. H. Park, "Conical tube hydro-forming design of automotive instrument panel beams using computer aided engineering", *MATERIAL- WISSENSCHAFT UND WERKST -OFFTECHNIK*, vol. 44, no. 5, pp. 354-359, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/mawe.201300136>
- [4] K. J. Kim and S. T. Won, "Cast and Characterization of Light-Weight Interior & Exterior Parts for High Speed Train on Aluminum Alloy," *KSM T*, vol. 20, no. 1, pp. 12-17, 2018.

- [5] K. J. Kim, "Fabrication and Characterization of Aluminum Honeycomb Panel", *Transaction of KAIS*, vol. 19, no. 1, pp. 666-671, 2018.
- [6] K. J. Kim, "Light-Weight Design of Automotive AA6061 Knuckle by Using CAE (Computer Aided Engineering)", *Transaction of KAIS*, vol. 17, no. 9, pp. 663-668, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.9.663>
- 

김 기 주(Kee Joo Kim)

[종신회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 일반대학원 재료공학부 (공학박사)
- 1993년 8월 ~ 2009년 2월 : 쌍용자동차 기술연구소 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 2016년 2월 : 서정대학교 자동차과 교수
- 2016년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야>

기계공학, 기계설계, CAE