

자동차 인스트루먼트 패널에 사용되는 플라스틱의 크리프 거동[§]

김영삼* · 전치훈** · Erdenebat Tumor-Ochir** · 염영진***

* 덕양산업(주), ** 울산대학교 기계공학부

Creep Behavior of Plastics Used in Automobile Instrument Panels

Young Sam Kim*, Chi Hoon Jeon*, Erdenebat Tumor-Ochir* and Young Jin Yum**†

* R&D Center, Dukyang Ind. Co., Ltd.,

** School of Mechanical Engineering, University of Ulsan

(Received June 21, 2011; Revised September 29, 2011; Accepted September 29, 2011)

Key Words : Time-Hardening(시간경화), Thermal Deformation(열변형), 3-Point Bending Creep Test(3 점굽힘 크리프 시험)

초록: 자동차 인스트루먼트 패널에 사용되는 플라스틱의 온도와 시간에 따른 기계적 거동을 알아보기 위해 시편에 대한 인장 및 크리프 시험을 수행하였다. 여러 가지 온도에서의 물성치를 구한 결과 온도에 따라 물성치가 크게 변화함을 알 수 있었다. 4 가지 하중조건하에서의 3 점굽힘 크리프시험을 수행하고 지수법칙의 시간경화식을 적용하여 각종 계수를 구하고 크리프 거동을 간단한 식으로 표현하였다. 유한요소 크리프 해석 결과 하중이 커짐에 따라 수치해석 결과와 실험 결과가 차이가 커지지만 대체적으로 두 결과가 유사한 것을 확인할 수 있었다

Abstract: Tensile and creep tests were performed at various temperatures to investigate the mechanical properties of plastics used in automotive instrument panels. Mechanical properties such as Young's modulus and Poisson's ratios changed markedly with the test temperature. Three-point bending creep tests were performed for three kinds of plastics under four loading conditions. Coefficients in the time-hardening power law creep equation were obtained from the experiment, and the creep behavior was represented by a simple expression. The results of finite element creep analysis showed good agreement with the experimental results, while the difference between the numerical and experimental results increased with the load.

1. 서 론

자동차 내장재는 대부분 플라스틱 부품으로 이루어져 있다. 자동차 업계는 플라스틱이 고온상태를 거치면서 발생하는 열변형의 저감을 위한 노력을 기울이고 있으며 최근에는 해외시장에서 제품의 상품성 증대 및 경쟁력 확보를 위한 방안으로서 그 중요도가 점차 부각되고 있다.

우리 나라 자동차 산업의 눈부신 성장으로 해외 수출이 증가함에 따라 자동차의 인스트루먼트 패널은 다양한 환경 속에 놓이게 된다. 차의 내부는 영하의 온도에서부터 태양열 방사에 의해 100°C 에 가

까운 온도까지 변하게 된다. 인스트루먼트 패널에 사용되는 플라스틱은 고온 및 저온의 온도변화에 의해 기계적 물성치가 크게 변화하여 열변형이 발생한다. 플라스틱 부분의 열변형은 강보다 크다. 그 이유는 플라스틱의 열팽창계수가 강보다 5 배 이상 크기 때문이다. 열팽창으로 인한 플라스틱 부품간의 불일치는 갭과 단차를 야기한다. 인스트루먼트 패널을 설계할 때 가장 중요한 것은 이러한 열변형을 최소화하는 것이다. 이러한 열변형을 예측하기 위해서는 시험을 수행하거나, 유한요소해석을 이용하는 것이 일반적인 방법이고, 여러 다른 방법으로 관련된 연구가 진행되고 있다.

Yeo 등⁽¹⁾은 인스트루먼트 패널에 적용된 폴리머 재료의 크리프 거동을 측정하기 위해 다양한 응력과 온도 상태에서 굽힘 크리프 테스트를 수행하였다. Kim 등⁽²⁾은 인장 실험과 크리프 실험을 수행하고, 선

§ 이 논문은 대한기계학회 2011 년도 울산지회 춘계학술대회(2011. 5. 13., 울산대) 발표논문임

† Corresponding Author, yjyum@ulsan.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

형 팽창계수 등을 측정해서 재료의 특성 데이터를 얻었다. 이러한 재료의 특성 데이터를 이용하여 열변형을 예측하기 위한 분석 과정을 정의하였다. Dropiks 등⁽³⁾은 가장 폭넓게 사용되는 수지 중 하나인 폴리프로필렌의 크리프 거동의 모델링을 위한 절차를 설명하였다. 그 절차는 가정된 수학적 크리프 모델과 계산된 크리프 거동에 의해 재료 특성을 확인하기 위해 ANSYS를 이용한 유한요소해석이 포함되어 있다. ANSYS 해석 결과는 크리프와 응력이완 실험 데이터와 비교한 후, 폴리프로필렌의 특정 등급의 반응에 좋은 상관관계를 제공하는 것으로 보정된다.

본 연구에서는 인스트루먼트 패널에 주로 사용되는 PC/ABS 와 PPF(PPF-1, PPF-2)를 실험 대상 재료로 선정하였다. Tajvidi 등⁽⁴⁾을 참고하여 이 세 가지 소재의 플라스틱의 온도와 시간에 따른 기계적 거동을 알아보기 위해 인장 및 크리프 시험을 수행하고, 그 결과로부터 크리프 식의 계수들을 구하여 간단한 형태의 크리프 지수 법칙을 확립하려고 한다. 또한 이 지수법칙을 이용한 유한요소 크리프 해석을 수행하여 실험 결과와 비교하여 수치해석의 적합성을 검증하고자 한다

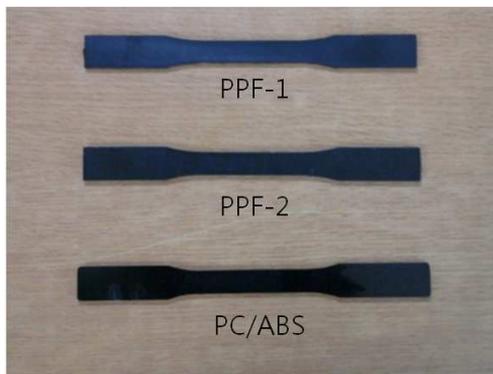


Fig. 1 Tensile test specimens

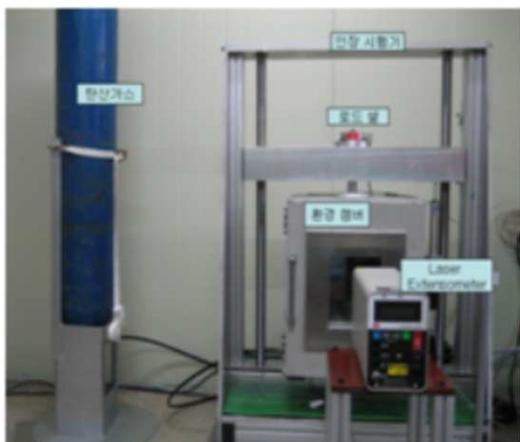


Fig. 2 Tensile test machine

2. 인장시험

2.1 시험시편 및 장비

Fig. 1 과 같은 ASTM D638 규격의 시편을 인장 시험에 사용하였다. PC/ABS 와 PPF(PPF-1, PPF-2) 3 가지 재료에 대해 시험을 하였다. 세로 표점거리는 25 mm 이고, 가로 표점거리는 13 mm 이다.

2.2 시험 방법

인장시험시 50 mm/min 의 속도로 인장하였고 (Fig. 2), 상온(23 °C) 및 고온(50 °C, 70 °C, 90 °C, 100 °C)에 대한 시험을 수행하였다. 시험 중 탄성 구간을 지나 소성구간에 접어들어 응력이 일정한 상태가 될 때 시험을 중단하였다. 이는 변형률 측정 장치인 세로방향 연신율계의 측정범위를 넘어서지 않는 범위에서 시험을 진행하기 위함이다.

고온 시험 시에는 사용 온도 범위가 -75~315 °C 인 환경챔버를 사용하였다. 고온의 경우 챔버에 내장된 히터를 사용하고, 시편은 오븐에서 약 1 시간 정도 해당 온도에서 예열 후 환경챔버에 옮겨 시험을 진행하였다. 이 때 시편은 환경챔버 안에서 10 분 가량 온도에 적응하도록 한 후 시험을 진행하였다.

2.3 시험 결과

시험결과 데이터를 이용해 응력-변형률 선도를 그려 선형으로 증가하는 부분에 대하여 탄성 구간을 추출하여 그 기울기로 탄성계수를 구하였고, 푸아송 비 또한 탄성구간 내에서 구하였다.

Table 1 의 시험 결과를 보면 온도가 상승할수록 탄성계수는 낮아지는 경향을 보이며 100°C 의 경우가 상온일 경우보다 PPF-1 는 4.2 배, PPF-2 는 3.8 배 가량 작다. 하지만 PC/ABS 의 경우는 1.2 배 정도밖에 차이가 나지 않는다. 이는 PC/ABS 가 온도

Table 1 Young's Modulus, Poisson's ratio of PPF and PC/ABS

Temp.	PPF				PC/ABS	
	PPF-1		PPF-2		E(MPa)	v
	E(MPa)	v	E(MPa)	v		
23 °C	2119	0.38	2213	0.39	2281	0.37
50 °C	802	0.35	1007	0.37	1989	0.35
70 °C	592	0.35	778	0.43	1920	0.35
90 °C	520	0.40	674	0.43	1870	0.39
100 °C	497	0.41	577	0.49	1837	0.39

변화에도 기계적 물성치의 변화가 다른 플라스틱에 비해 작다는 것을 말해준다. 푸아송비의 경우는 50°C의 경우는 약간 낮아졌지만 전체적인 추세는 온도가 올라갈수록 높아지는 경향을 보인다.

PC/ABS와 PPF를 비교해보면 상온에서의 탄성계수는 거의 비슷하나 100°C의 경우는 PC/ABS가 PPF보다 3.4배 가량 높고, 모든 온도에서 PC/ABS가 높은 경향을 보인다. 반면 푸아송비는 PPF에 비해 PC/ABS가 낮은 경향을 보인다.

3. 크리프 시험

3.1 시험 시편 및 장비

시험 시편은 ASTM D2990 규격을 사용하여 진행되었다. 길이는 120 mm, 폭은 13 mm, 두께는 6 mm인 Fig. 3과 같은 시편을 사용하였다.

시험은 23°C, 50°C, 80°C, 100°C의 온도에서 진행되었다. 하중조건은 PPF는 5 N, 10 N, 15 N, 25 N, PC/ABS는 25 N, 50 N, 75 N, 100 N의 각각 4가지를 선정하여 200 시간 동안 진행하였다. 온도 조건은 Yeo 등⁽¹⁾을 참고하여 필요한 온도와 시간에 대하여

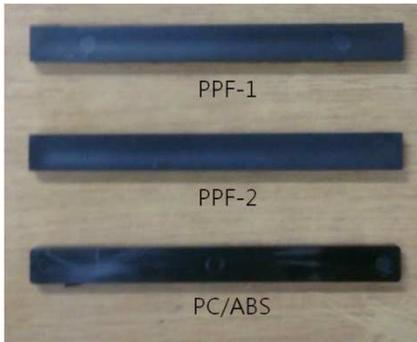


Fig. 3 Creep test specimens

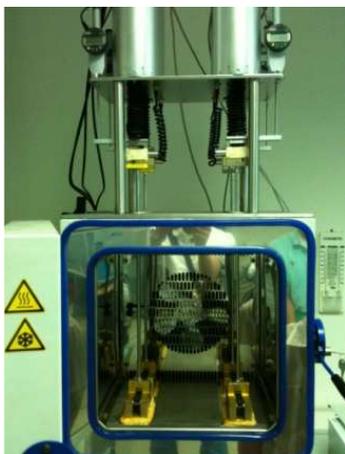


Fig. 4 Creep test machine

수행하였고 하중조건은 시편의 50°C 예비시험을 수행한 후 적정 수준의 하중을 선정하였다. PC/ABS의 하중이 PPF보다 높은 이유는 예비시험 결과 같은 하중으로는 PC/ABS는 크리프가 발생하지 않기 때문에 높은 하중을 선정하였다.

시험은 Fig. 4의 장비를 이용해 3점 굽힘 형식으로 진행되었다. 장비의 로드셀의 용량은 20 kg이고, 공압식이며, 4가지 하중에 대해 동시에 시험이 가능하다.

3.2 시험 방법

변위의 측정시간은 시험 초기에는 급격한 변위량이 발생하므로 2초 단위로 측정하고, 변위량이 선형적으로 증가하는 시점부터는 10분 단위로 변위량을 측정하였다.

크리프의 시간-변형률 그래프는 Fig. 5처럼 비선형 곡선을 나타낸다. 그리고 그래프는 3단계로 나누어서 볼 수 있다. 1단계는 변형률 속도가 감소하고 2단계는 변형률 속도가 일정하여 오랜 시간 선형적으로 증가하는 그래프를 보여준다. 이 구간이 얼마나 재료를 안전하고 오래 효율적으로 사용할 수 있는지 결정하는 중요한 단계이다. 3단계는 변형률 속도가 급격히 증가하여 파단이 발생한다.

3.3 시험 결과

Fig. 6을 보면 온도가 높아질수록, 하중이 커질수록 처짐량이 큰 것을 알 수 있다. PPF 두 재료를 비교하면 상온에서는 PPF-2의 처짐량이 약간 더 작고, 그 이외 온도에서는 비슷한 처짐량을 나타낸다. PC/ABS는 23°C에서는 곡선이 기울기가 거의 "0"에 가까운 것으로 보아 크리프가 발생하지 않은 것을 알 수 있다. PC/ABS는 주어진 하중이 4배 가량 크지만 처짐량은 거의 비슷하다. 이것으로부터 PC/ABS가 PPF보다 열변형에 더욱 잘 견딘다는 것을 확인할 수 있다.

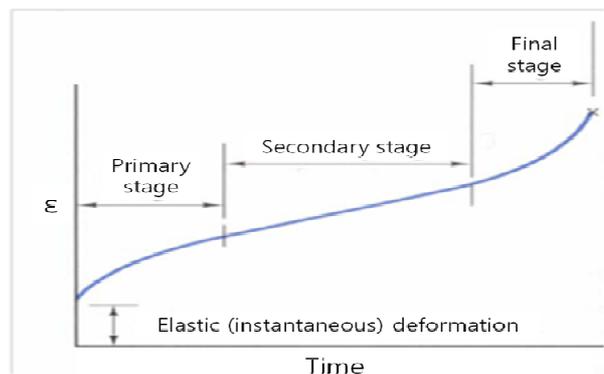


Fig. 5 Creep profile with different stages

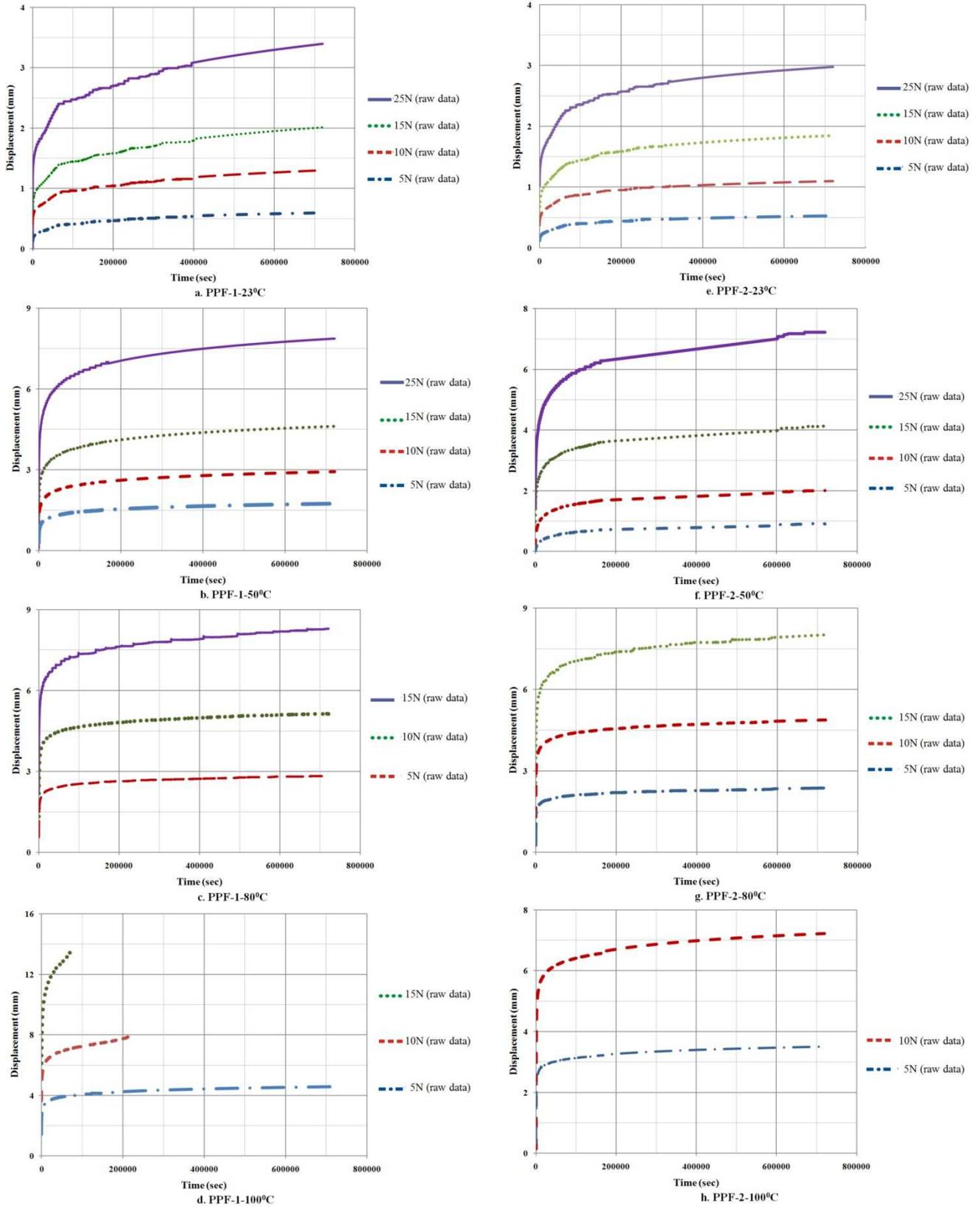


Fig. 6 Continued

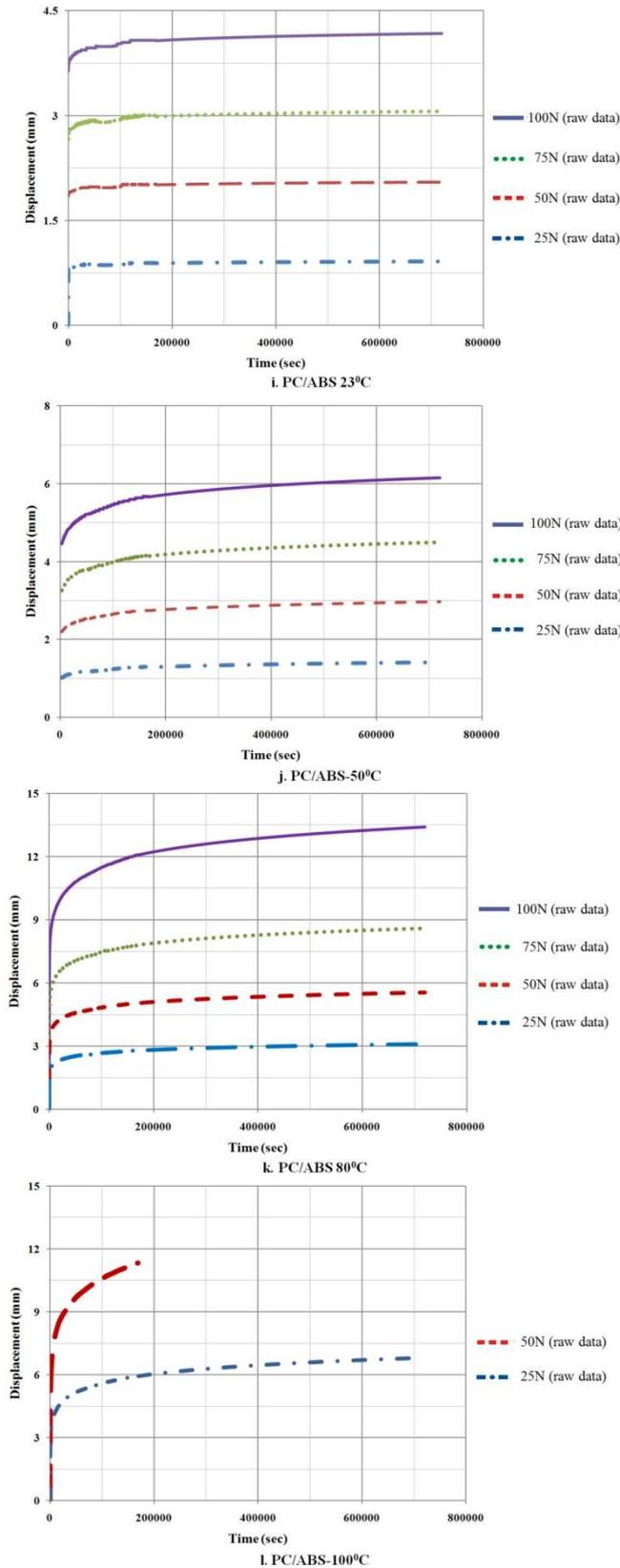


Fig. 6 Displacement-time graph for various loadings and temperature conditions

3.4 Creep 계수 결정

시험 결과를 바탕으로 3 점 굽힘 최대변위(D)를 식 (1)을 이용하여 변형률로 변환한다.

$$\epsilon = 6Dh / L^2 \quad (1)$$

여기서 h 는 시편 높이, L 은 스패ん길이를 나타낸다.

식 (2)의 시간경화버전(time-hardening version of the power-law creep)을 이용하여 크리프 거동을 수학적으로 표현한다.

$$\epsilon = A\sigma^n t^m \quad (2)$$

$$\epsilon' = Am\sigma^n t^{m-1} \quad (3)$$

Table 2 는 실험 결과로부터 구한 A, n, m 값이다.

4. 유한 요소 해석

Smith 등⁽⁵⁾을 참고하여 모델링을 수행하고, A, n, m 데이터와 온도별 재료 물성치를 넣어 ABAQUS⁽⁶⁾를 이용하여 유한요소 해석을 하였다.

Table 2 Creep coefficients A, n, m of PPF and PC/ABS

Temperature (°C)		A	n	m
PPF-1	23	2.00E-04	1.2064	-0.8127
	50	8.99E-04	0.9569	-0.8802
	80	1.67E-03	1.1484	-0.9251
	100	2.86E-03	1.0746	-0.9148
PPF-2	23	2.30E-04	1.1278	-0.8397
	50	4.00E-04	1.4095	-0.8408
	80	1.50E-03	1.1153	-0.9135
	100	2.33E-03	1.1684	-0.9203
PC/ABS	23	3.34E-05	1.0728	-0.9892
	50	1.95E-04	0.9425	-0.9352
	80	4.01E-04	0.9596	-0.9158
	100	7.09E-04	0.9721	-0.8557

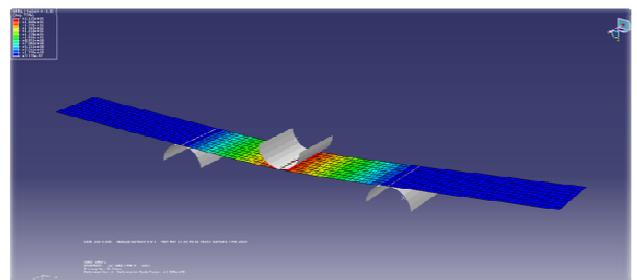


Fig. 7 FEM Modeling

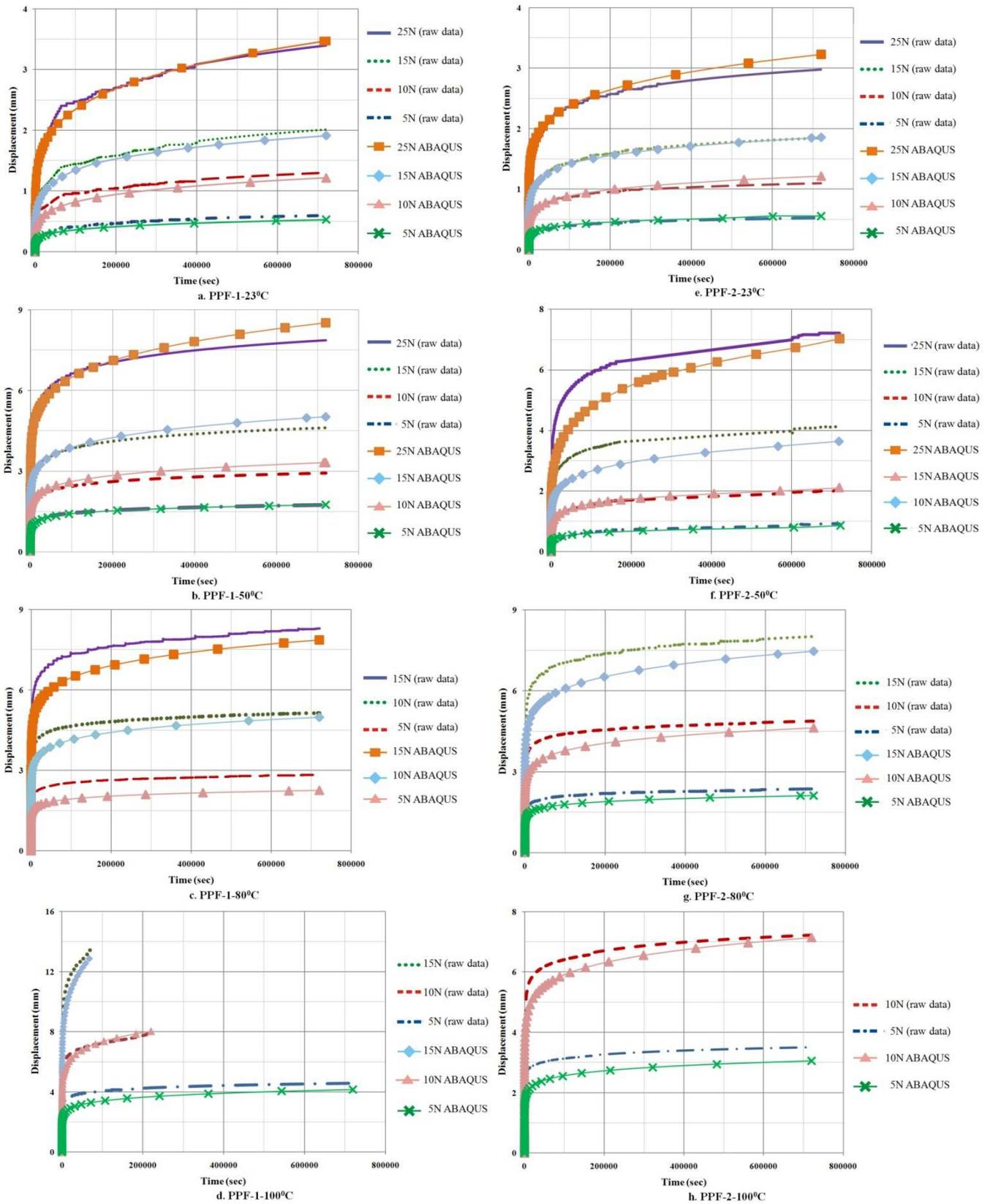


Fig. 8 Continued

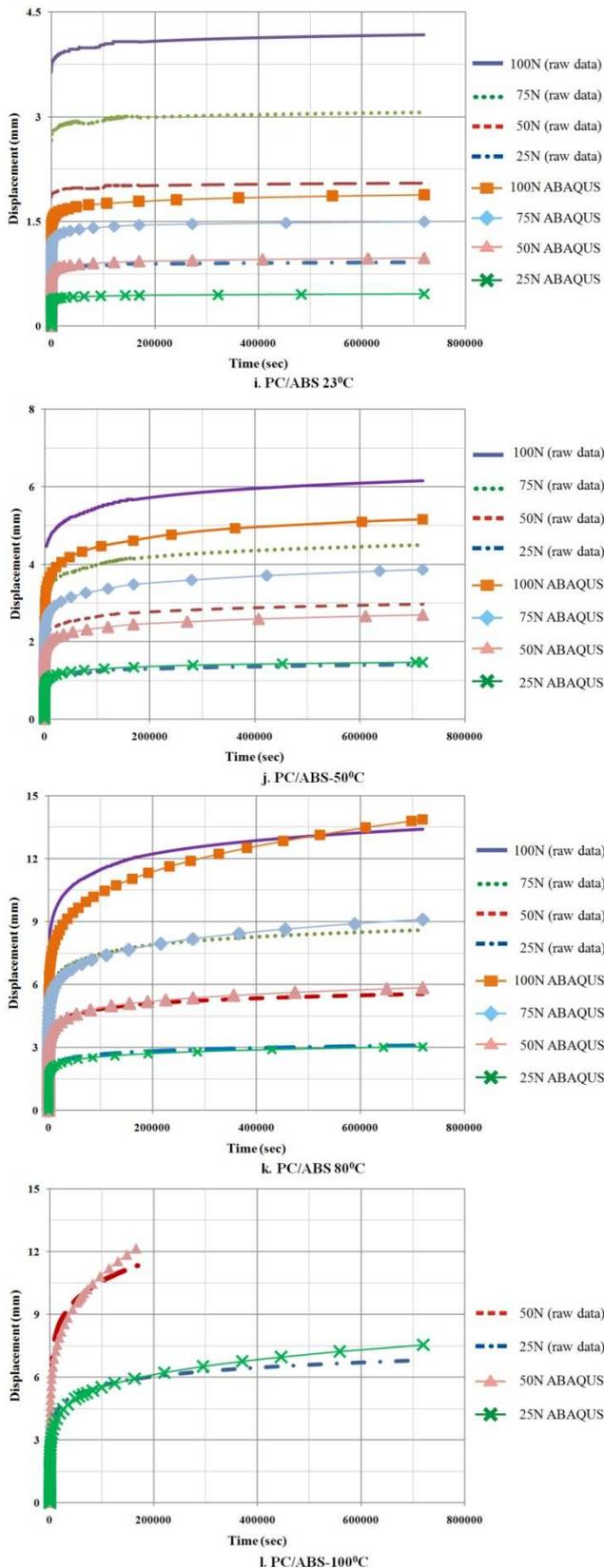


Fig. 8 Experimental and numerical creep curves for plastics

정확한 결과를 얻기 위해 Fig. 7 과 같은 유한요

소모형을 설정하였다. 셀 요소 개수는 960 개이고 절점수는 1067 개이다.

시험 결과와 유한요소해석 결과를 비교해 보면 온도가 낮은 경우에는 거의 일치하나, 온도가 올라갈수록 조금씩 차이가 난다. 그리고 고온에서 하중이 높아질수록 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다. 또한 고온의 높은 하중에서는 2 차 크리프가 발생하지 않는다. 크리프 계수를 구하는데 적당한 1 단계와 2 단계 크리프가 발생하여야 하는데 바로 3 단계로 넘어갔기 때문에 시험 데이터를 결과에 반영하지 않았다. Kim 등⁽⁷⁾에서도 1 단계, 2 단계만을 크리프 계수를 구하는데 사용한 것을 알 수 있다.

Fig. 8 은 시험 데이터와 유한요소해석 데이터를 비교한 것이다. 우선 PPF-1 는 상온과 100°C 의 경우 처짐량이 8 배 정도 증가하고 상온에서 하중이 5 N 에서 25 N 로 증가하는 경우에는 처짐이 2.2 배 정도 증가한다. PPF-2 는 온도가 증가하면 처짐량이 약 7 배 정도 증가하고, 하중의 변화에는 2 배 정도 처짐량이 증가하는 것을 볼 수 있다. PC/ABS 는 온도가 올라가면 7 배 정도 처짐량이 증가하고, 하중이 올라가면 4 배 정도 증가한다. PC/ABS 의 경우 23°C 와 50°C 의 경우 실험 결과와 유한요소 해석 결과가 다소 차이가 나는 것을 알 수 있다. 특히 23°C 의 경우 차이가 크게 나는데 이는 크리프가 정상적으로 발생하지 않았기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차 인스트루먼트 패널에 사용되는 플라스틱 소재인 PC/ABS 와 PPF 의 인장 시험과 크리프 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

- (1) 크리프 시험에서 얻은 데이터를 시간경화버전 지수법칙을 이용하여 온도별로 크리프 계수를 구하여 크리프 거동을 수학적으로 표현할 수 있었다.
- (2) 온도별로 구한 재료 물성치와 크리프 계수를 이용하여 유한요소해석을 수행하고, 그 결과 시험 결과를 잘 모사하는 것을 확인하였다.
- (3) 모든 조건에서 PC/ABS 가 PPF 보다 열변형의 관점에서 우수한 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Yeo, T. J., Kim, S. S., Park, S. J. and Kim, C. S., 2003, "A Study on Creep Analysis of Automobile

- Instrumental Panel,” *SAE international*, 2003-01-1173.
- (2) Kim, H., Cho, H., Son, Y., Suh, M., Ryu, S., Kim, H. and Kim, H., 2009, “A Study on the Optimal Design of Automobile Interior Plastic Parts (A-Pillar Trim) Considering Heat-Resistant and Mechanical Characteristics,” *SAE international*, 2009-01-1232.
- (3) Dropik, M. J., Johnson, D. H. P.E., Roth, D. E. P.E., “Developing an ANSYS Creep Model for Polypropylene from Experimental Data.”
- (4) Mehdi, T. and Nazanin, M., 2010, “Mechanical Performance of Hemp Fiber Polypropylene Composites at Different Operating Temperatures.”
- (5) Smith, A. I. and Nicolson, A. M., 1971, “Advances in Creep Design.”
- (6) ABAQUS user’s manual 6.9, HKS, Inc.
- (7) Kim, J. Y., Lee, S. B. and Huh, Y. H., 1999, “Determination of Material Constants of Creep Constitutive,” *KSME*, Vol. 1, No. 1, pp. 783~787.