

PMMA 판재의 고온 인장 특성 분석

Investigation of Tensile Characteristics of PMMA Plate Under Elevated Temperature

**안동규¹, 이호진², 조창규³

*#D. G. Ahn¹(smart@chosun.ac.kr), H. J. Lee², C. G. Cho³

¹조선대학교 기계공학과, ²조선대학교 기계공학과 일반대학원, ³(주)우리엠텍

Key words : PMMA, Tensile test, Elevated temperature, G'shell model

1. 서론

열가소성 수지(Thermoplastic)는 가열에 의해 유동성을 갖게 되는 수지로서 성형성이 우수하여 자동차산업, 항공우주산업, 선박산업, 기계산업 및 건축산업 등 다양한 분야에 사용되는 재료이다. 열가소성 수지 중 하나인 PMMA(Polymethyl Methacrylate)는 MMA(Methyl Methacrylate)를 중합하여 얻는 수지로서 내후성이 우수하고, 광학적 이방성 및 광탄성 계수가 작으며, 열가소성 수지 중에서 표면경도가 가장 단단한 수지로 분류된다.¹ 이러한 특성에 의하여 렌즈, 디스크, TV의 전면판, 간판, 수조 등의 재료로 사용되고 있다. 본 연구에서는 PMMA 판재의 고온인장 실험을 통하여 온도와 판재의 두께 및 인장속도에 따른 인장변형특성을 분석하고, 이결과를 이용하여 G'sell 모델의 상수들을 도출하고자 한다.

2. 고온 인장 실험 방법

본 연구에서는 ASTM D 638 (Type1)²의 규격에 따른 인장시편을 제작하였다. 시편의 길이와 폭은 165 mm X 19 mm이다. 경사각과 내측 길이 및 너비는 각각 76°와 57 mm 및 13 mm이다. 재료는 PMMA 판재를 사용하였다. 고온 인장 시험은 워드랩 사의 고온 인장 시험기인 UTM WL 21000A를 이용하여 수행되었다. 실험에 적용된 표점거리와 로드셀의 최대하중은 각각 115 mm와 3,000 N이다. 본 연구에서 수행한 PMMA 판재에 대한 고온 인장시험은 총 3 단계로 구분되어 진행되었다. 첫 번째 단계는 노 내부의 고정 척에 시편을 고정시킨 후 2분 동안 노 내부를 목표 온도까지 가열하는 것이다. 두 번째 단계는 가열된 노 내부의 시편온도가 균일해질 수 있도록 3분 동안 노 내부

의 온도를 유지시키는 것이며, 마지막 단계에서 가열된 시편에 대하여 인장 실험을 수행하였다.

PMMA 판재의 고온인장 실험 시 실험의 변수는 인장 시험기의 인장속도, 노의 온도 및 시편의 두께이다. 본 실험은 3가지의 변수를 조합하여 총 24가지 조건에 대하여 72회 진행되었다. 실험에 적용된 시편의 두께(t)와 노의 온도의 범위는 각각 2 - 3 mm와 20 - 100 °C이며 인장시험기의 인장속도는 10 mm/min, 50 mm/min, 250 mm/min를 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

PMMA 판재의 고온 인장 실험을 통하여 도출된 온도 - 인장강도 선도는 Fig. 1과 같다. 이결과로부터 각각의 변수에 따른 PMMA 판재의 인장강도를 비교/고찰 하였다. 시편두께에 따른 PMMA 판재의 인장강도 비교 결과는 다음과 같다. 온도 및 인장속도가 동일한 조건에서 시편두께가 증가할 경우 온도 50 °C, 인장속도 10 mm/min 실험과 온도 50 - 100 °C, 인장속도 50 mm/min 및 온도 20 °C, 인장속도 250 mm/min 실험에서 0.1 - 10%의 인장강도 감소 현상이 발생하였다. 그 외 실험에서는 4 - 20%의 인장강도 증가 현상이 발생하였다. 이결과로부터 초기 판재의 두께는 인장강도 실험결과에 영향을 미침을 알 수 있었다. 온도에 따른 PMMA 판재의 인장강도 비교 결과는 다음과 같다. 시편두께 및 인장속도가 동일한 조건에서 온도가 증가할 경우 20 - 80 °C로 증가할 때 온도증가 구간에서 20 - 30%의 인장강도 감소 현상이 발생하였다. 그러나 80 - 100 °C로 증가할 경우 60 - 80%의 인장강도 감소 현상이 발생하였다. 이결과로부터 PMMA 판재의 유리전이온도(95 °C)³를 기점으로

로 인장강도가 급격히 감소함을 알 수 있었다. 인장 속도에 따른 PMMA 판재의 인장강도 비교 결과는 다음과 같다. 온도 및 인장속도가 동일한 조건에서 인장속도가 증가할 경우 시편두께 2 mm, 온도 20 및 100 °C 실험에서 인장강도가 각각 5, 21 % 감소현상이 발생하였다. 그 외 실험 조건에서는 4 - 32 %의 증가현상이 발생하였다. 이결과로부터 PMMA 판재는 동일한 조건에서 인장속도를 증가시킬 경우 일반적으로 인장강도가 증가하게 됨을 알 수 있었다.

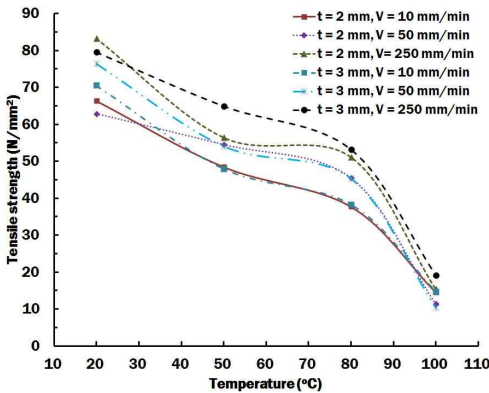


Fig. 1 Temperature - tensile strength curves for different thicknesses and tensile speeds

G'sell 모델은 등방성 비선형 점탄성 특성과 무정형 또는 준결정성 고분자들의 거동을 표현하는데 사용된다.⁴ 본 연구에서는 PMMA 판재의 고온 인장 실험을 통하여 도출된 진응력 - 진변형률을 사용하여 PMMA 판재의 G'sell 모델 상수를 Table. 1 과 같이 도출하였다. G'sell 모델의 상수는 K, m, W 및 H 이며 각각 체적탄성률, 전단탄성계수, 변형속도 경화지수 및 변형경화 계수이다. G'sell 모델 상수 도출에는 Optimizer G'sell 상용 프로그램을 사용하였다. 도출된 G'sell 모델 상수의 특성은 다음과 같다. PMMA 재료의 온도에 따른 체적탄성률은 실험온도가 20 °C 에서 50 °C 로 증가할 때 32 % 감소하였으나 실험온도가 50 °C 에서 80 °C 및 80 °C 에서 100 °C 로 증가할 때 각각 67 % 및 72 % 감소하였다. 또한, 전단탄성계수, 변형속도 경화지수 및 변형경화계수도 온도가 상승함에 따라 증가/감소하였으며 증가/감소폭은 80 °C 에서 100 °C 로 증가할 때 크게 나타났다. 이결과를 통하여 PMMA 판재의 유동특성이 유리전이온도를 기

점으로 급격하게 변함을 알 수 있었으며, 유리전이 온도 이상 구간에서는 유동저항이 급격하게 감소하여 쉽게 소성변형 함을 알 수 있었다.

Table. 1 Estimated material constants of G'sell model

Parameters		k	m	w	h
Temp. (°C)					
t = 2 mm	20	149.610	0.042	18.548	26.194
	50	140.576	0.054	15.238	13.186
	80	82.131	0.159	39.417	1.076
	100	9.787	0.001	52.118	1.074
t = 3 mm	20	164.137	0.032	14.709	22.204
	50	112.355	0.074	24.000	9.031
	80	37.227	0.009	40.610	0.382
	100	10.412	0.001	62.997	1.114

4. 결론

본 연구에서는 PMMA 판재의 고온 인장 시험을 통하여 PMMA 판재의 고온 인장 특성에 관한 연구를 수행하였다. 고온 인장 시험 결과로부터 PMMA 판재의 온도 - 인장강도 선도와 G'sell 모델 상수를 도출하였다. 이를 통하여 PMMA 판재의 유리전이 온도 전·후의 유동특성을 고찰하였으며, PMMA 판재는 유리전이온도 이상에서 체적탄성률/인장강도가 급격히 감소하기 때문에 PMMA 판재의 올바른 성형을 위해서는 유리전이온도 이상에서 성형해야함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 2010 년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP) 의 지원을 받아 수행한 연구 과제임.(과제번호 : 20103020090020)

참고문헌

1. J.E. Mark, "Polymer Data Handbook, Oxford University Press," 1999
2. ASTM No. D638-10 "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," 2010
3. M. Dixit, "Study of glass transition temperature of PMMA and CdS-PMMA composite," Chalcogenide letters, 6, 131-136, 2009.
4. G'sell, C. and Jonas, J.J. , "Determination of the plastic behaviour of solid polymers at constant true strain rate," Journal of Materials Science, 14, 583-591, 1979