

극미세 점 구조체 제작을 위한 열간나노압입공정에서 평판형 폴리머소재의 기계적 특성 평가

이은경¹, 이상매², 강충길[#]

Evaluation of Mechanical Characteristic of Plate-Type Polymer in Thermal-Nanoindentation Process for Hyperfine Pit Structure Fabrication

E. K. Lee, S. M. Lee, C. G. Kang

Abstract

It's important to measure quantitative properties about thermal-nano variation conduct of polymer for producing high quality components using NIL process. NanoScale indents can be used ad cells for molecular electronics and drug deliver, slots for integration into nanodevices, and defects for tailoring the structure and properties. In this study, it's to evaluate mechanical characteristic of polymer such as PMMA and PC at high temperature for manufacture of nano/micro size of polymer using indenter at high temperature. At high temperature mechanical properties of polymer have extreme variation. Because heating the polymer, it becomes softer than room temperature. In this case it is especially important to study for mechanical properties of polymer at high temperature.

Key Words : Thermal-Nanoindentation (열간나노압입), Polymethylmetacrylate(PMMA, 폴리메틸메타크릴레이트), Polycarbonate(PC, 폴리카보네이트), Plate-type polymer(평판형 폴리머), Hardness (경도), Elastic modulus (탄성계수)

1. 서 론

광 리소그래피 공정을 대체 또는 보완하기 위한 다양한 나노프로브 기반 리소그래피 기술들이 연구되고 있으며, 그 중에 나노압입공정은 초기 장비설치 및 장비가동에 드는 비용이 매우 저렴하고, 공정이 간단하며, 소재의 선택이 자유롭다는 장점이 있어 널리 연구되고 있다.[1]-[3] 반면, 팀의 마모, 느린 가공속도, 낮은 공정 효율등의 단점도 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 고속 패터닝[4], 멀티팁을 이용한 패터닝[5], 나노프로브를 이용하여 제작한 패터의 대량전사공정용 몰드로의 응용[6]등 다양한 연구가 시도되고 있다.

폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmetacrylate, PMMA)는 아크릴계 고분자이자 열가소성 플라스틱으로써 LCD용 도광판, 콘택트렌즈, 치과용 레진, DVD 디스크용 소재, 나노임프린트용 피가공재, 나노리소그래피 공정용 레지스트 등 많은 분야에서 활발히 사용되고 있다.

폴리카보네이트(polycarbonate, PC)는 투명성이 뛰어나며, 내충격성, 내열성, 치수안정성, 전기적 특성, 항균성 등 다른 폴리머 소재에 비하여 뛰어난 특징을 가진다. PC는 핸드폰, 전화기, TV부품등의 전기전자 분야에서부터 자동차정밀기계부품, 펌프부품과 같은 기계 분야, 의료보호용구 분야, 생활 잡화등과 같은 많은 분야에서 사용되어 지

1. 부산대학교 하이브리드소재솔루션 협동과정
2. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소 (ERC/NSCM)
교신저자: 부산대학교 기계공학부
E-mail:cgkang@pusan.ac.kr

고 있다.

이와 같은 폴리머 소재는 우수한 생체 친화성, 광학성 특성을 가지며 응용되는 부품의 크기가 나노/마이크로 수준으로 감소함에 따라, 나노임프린트리소그래피(NIL)공정을 이용한 고품질 부품의 제조를 위해서 폴리머 소재들의 고온 나노 변형 거동에 관한 정략적 물성치의 측정 및 D/B구축이 중요하다.

본 연구에서는 폴리머 소재(PMMA, PC)의 열간 나노압입실험에서 발생하는 경도, 탄성계수 및 하중의 변화를 조사하기 위하여 나노인텐터와 Hot stage를 이용한 연속강성측정법(CSM mode)을 실시하였다. 최대압입깊이 2000nm에서의 온도변화가 폴리머소재의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 열간 나노인텐테이션 실험

2.1 장비 및 소재

나노압입실험을 위한 장비로는 미국 MTS사에서 제작된 Nanoindenter XP가 사용되었다. 압입자로는 끝나 반경이 >40nm로 알려진 다이아몬드 베르코비치(Berkovich)압자가 사용되었다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 Berkovich 팁에 대한 형상정보를 나타내고 있다.

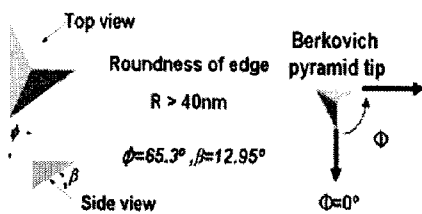


Fig. 1 Geometry of Berkovich tip

실험을 위한 소재는 2mm 두께로 제작된 폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmetacrylate, PMMA)와 폴리카보네이트(polycarbonate, PC)는 두께 2mm 두께, 15×15mm²크기의 판재가 사용되었다. 소재의 표면조도는 PMMA 14.4nm, PC 15.1nm로 측정되었다.

2.2 실험조건

PMMA소재의 열간나노인텐테이션 실험에서 온도가 변화될때의 기계적 물성치를 평가하기 위하여 PMMA의 유리전이온도 105℃ 이상(110℃, 120℃, 130℃, 140℃, 150℃) 연속강성측정법을 이용하여 9번 압입실험을 실시하였다

PC도 PMMA와 같은방법으로 연속강성측정법에 의해 9번 압입후 기계적 특성을 평가하였다. PC의 유리전이온도는 150℃로 PMMA보다 높고 내열성이 좋은 소재로 알려져 있다. 유리전이온도의 상의함에 의하여 온도 변수를 150℃, 160℃, 170℃, 180℃로 하여 실험하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 PMMA의 열간나노압입실험

PMMA소재의 고온에서의 성형성 및 기계적 특성을 관찰하기 위하여 온도를 변화시켜 최대압입깊이 2000nm로 하여 열간나노압입실험을 실시하였다.

Fig. 3은 최대압입깊이(2000nm)에 따른 소재에 가해진 하중의 변화를 온도변화에 따라 나타낸 그래프이다. 온도가 올라갈 수록 탄성회복에 의한 압입깊이의 복귀가 커짐을 관찰할 수 있다.

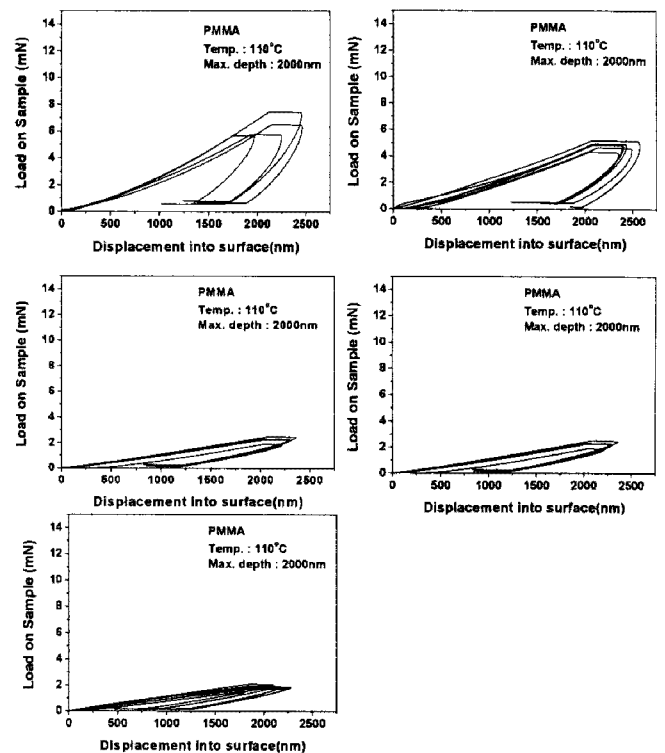


Fig. 2 Load-Displacement curve of PMMA

최대깊이에서의 하중의 평균값은 Table 1과 같이 온도가 높아질수록 작아지는 반비례함을 관찰 할 수 있었다.

Table 1 Max. load of PMMA according to temp.

	110°C	120°C	130°C	140°C	150°C
Max.Load (mN)	6.35	4.78	2.44	2.32	1.9

Fig. 3는 CSM법에 의해 구해진 탄성계수의 곡선을 온도별로 나타내고 있다. 여기서 나타나는 300nm이하의 불규칙한 곡선은 팁이 완전히 이상적인 형상이 아닌 끝이 반경을 가진 구로 되어있기 때문에 팁 끝과 표면의 탄성접촉 현상에 의한 압입크기효과(Indentation size effect) [7]가 발생한다. 따라서 평균값은 압입크기효과를 배제한 500nm~1500nm영역의 평균값을 취하였다

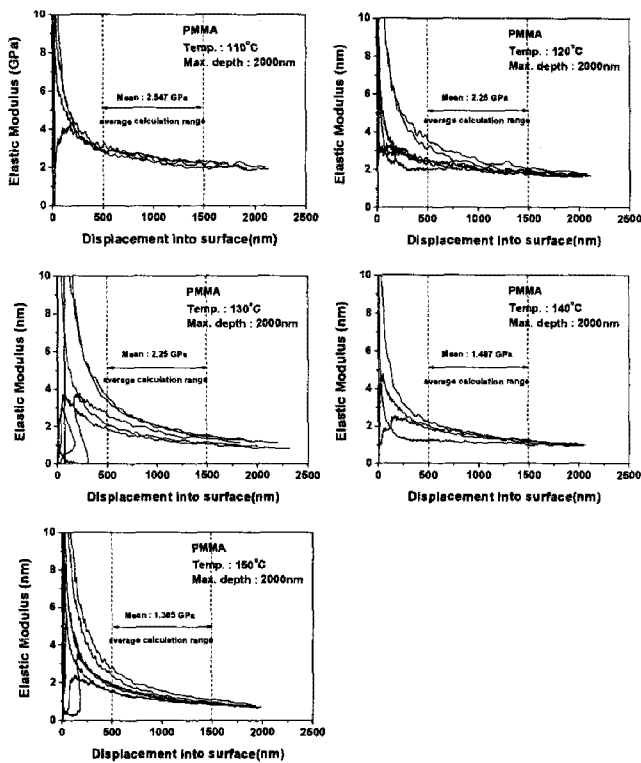


Fig. 3 Hardness-Displacement curve of PMMA

Fig. 4는 PMMA소재의 2 μ m-csm법을 통해 얻어진 압입 깊이의 증가에 따른 압입경도값을 온도별로 나타내었으며, 탄성계수와 마찬가지로 ISE 현상을 나타내고 있으며, 500 ~ 1500nm영역의 평균값을 취하였다 탄성계수, 경도 모두 온도가 올라갈수록

낮아지는 경향을 확인 할 수 있었다.

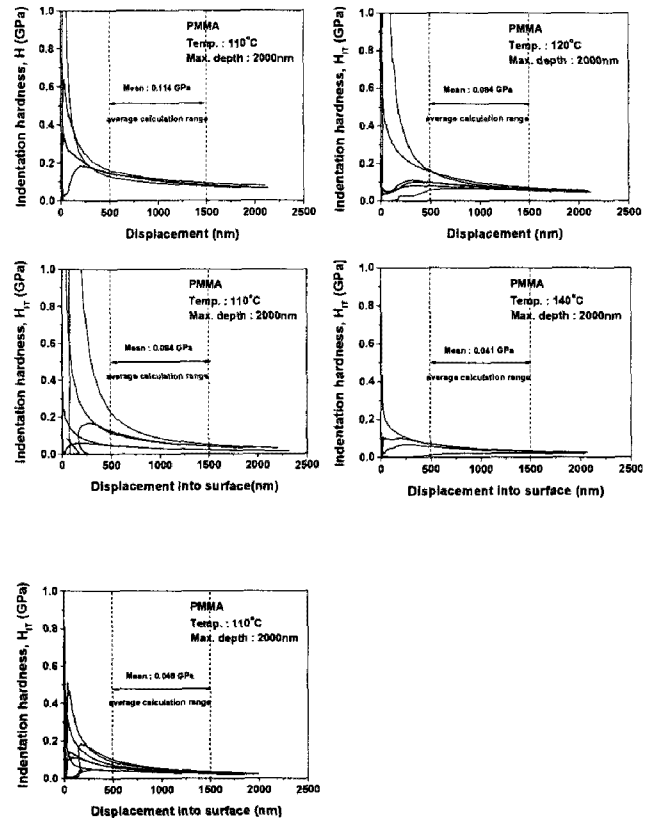
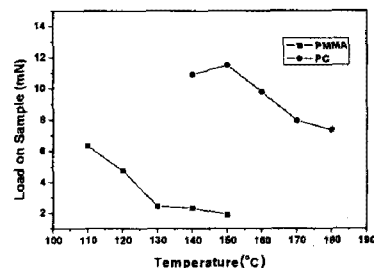


Fig. 4 Elastic Modulus-Displacement curve of PMMA

3.2 PMMA와 PC의 열간압입실험 비교

비교를 위하여 PMMA보다 유리전이온도가 높은 소재인 PC소재의 2000nm-CSM 실험을 실시했으며, 그 결과를 비교하여 Fig.5에 나타내었다.

온도변화에 따라 PC가 PMMA에 비하여 탄성회복이 크게 나타났으며, 온도에 따른 기계적물성치 즉 가압하중, 경도, 탄성계수의 변화가 PC보다 PMMA가 더 급격히 나타났다. 온도가 높을 수록 기계적 성질이 낮아지는 양상은 같으나 PC가 PMMA에 비하여 그 변화율이 낮으며, 이러한 성질이 압입 후 탄성회복에 의한 압입깊이의 변화에 영향을 주는 것으로 판단되어진다.



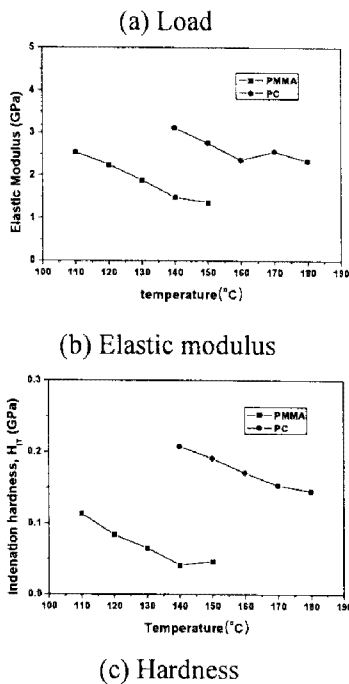


Fig. 5 Comparison of characteristic of PMMA and PC according to temperature

4. 결론

고온에서 폴리머 소재의 나노압입을 이용한 패턴제작을 위하여 열간나노압입시험을 통해 열간에서의 폴리머(PMMA, PC)의 기계적 특성을 평가하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) PMMA, PC 소재 모두 온도가 높아질수록중이 감소하였고, 또한 기계적 특성(탄성계수, 경도)도 온도에 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다..
 - (2) 이는 PMMA와 PC는 열을 가하게 되면 녹거나 유연해지는 열가소성수지 이므로 온도가 올라갈수록 기계적 성질이 감소하는 현상을 보이는 것으로 판단된다.
 - (3) 유리전이온도(T_g) 보다 높은 온도에서의 실험으로 thermal reflow 현상이 심하여 압흔 관찰이 힘들었다.
- 본 연구에서 인텐터의 Hot stage mode 에서 사용하지 않는 CSM 법을 이용하여 실험하였으므로 결과 값에 오차가 크며 CSM 법이 열적 변화가 심하므로 측정된 소재특성(경도 및 탄성계수)에 신뢰

도가 떨어진다고 알려져있다. 또한 소재가 높은 온도로 가열되었을때 시편의 변형에 의해 트레이와 시편을 bonding 해주는 물질과 시편이 분리되어 실험에 어려움이 많았으며, 인텐터 팁과 가열된 폴리머가 압입시 붙어 버리는 현상으로 인하여 실험에 많은 문제가 있었다. 이에 따라 추후 hot stage 에 안정된 실험법으로의 적정온도에서의 재실험이 필요하다

후 기

본 연구는 학술진흥재단의 기초연구지원 기초과학과제 (과제번호: D00309)의 지원 하에 수행되었습니다..

참 고 문 헌

- [1] Chang, W.S., Shin, B.s., Whang, K. H., "Nanoprobe Application Technologies," J. Kor. Soc. Prec. Eng., Vol. 20, No. 3, pp.5-14, 2004
- [2] Cappella, B., Sturm, H., Weidner, S.M., "Breaking polymer chains by dynamic plowing lithography," Polymer, Vol. 43, pp. 4461-4466, 2002
- [3] Wiesauer, K., Springholz, G., "Fabrication of semiconductor nanostructures by nano-indentation of photo resist layers using atomic force microscopy," J. Appl. Phys., Vol. 88, No. 12, PP7289-7297, 2000
- [4] Sung, I.H., Kim, D.E., Chang, W.S., "Mechanochemical high-speed nanopatterning technology," Proc. of KSME Autumn Conference (KSME03PD13), pp.57-60, 2003
- [5] Despont, M., Brugger, J., Drechsler, U., Durig, U., Haberle, W., Lutwyche, M., Rothuizen, H., Stutz, R. Widmer, R., Binnig, G., Rohrer, H., Vettiger, P., "VLSI-NEMS chip for parallel AFM data storage," sensor. Actuat. A-Phys., Vol. 880, pp. 100-107, 2000.
- [6] Youn, S.W., Kang, C.G., Key Eng. Mater., "Maskless fabrication of the silicon stamper and its application to the PDMS casting process," Vol. 204-276, pp.445-450, 2004
- [7] Ficher-Cripps, Anthony C., "Nanoindentation (Mecha.Eng. Series)," Springer-Verlag, 2002