크립현상을 고려한 PMMA의 상온 나노압입실험에 대한 연구

윤성원*(부산대 정밀기계공학과), 김현일, 강충길 (부산대 기계공학부)

주제어 : 압입 크립, 상온, 폴리메타크릴레이트, 나노 압입크기효과

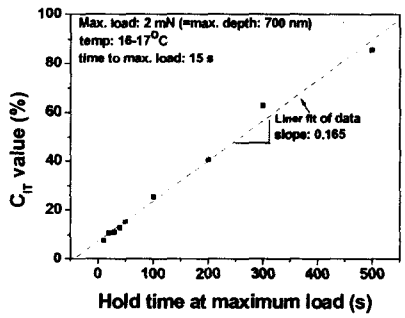
박막이나 초미세 구조체의 경도 및 탄성계수 측정을 위한 나노 압입실험에서는 Oliver & Pharr가 제안한 하중-변위 측정 나노압입법이 널리 쓰이고 있다 위 실험법에서, 나노경도(nano-hardness; H_n)는 최대하중을 계산된 접촉면적 (A_c)으로 나누어 평가하고, 압입자 및 박막의 탄성성질을 포함하는 환산 탄성계수 (reduced modulus; E_r)는 하중제거곡선의 초기 기울기인 접촉탄성강성 (S)를 이용하여 계산한다. 그러나, 하중-변위 측정 나노압입법에서는 탄성 및 소성변형만이 고려되고 시간의존적 변형거동 (time dependent deformation; TDD)은 고려되지 않는다. 따라서, 나노인덴터를 이용하여 PMMA와 같은 점소성 점탄성 소재의 나노 기계적 물성치 측정을 하기 위해서는, 응력완화 (stress relaxation), 크립 (creep)등과 같은 TDD 의 영향에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 관점에서 여러 연구들이 수행되어 왔다.

본 연구에서는 PMMA소재의 나노 압입실험에서 발생하는 TDD 현상이 경도나 탄성계수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 나노인덴터를 이용한 상온크립실험을 실시하였다. 압입 최대하중에서의 유지시간을 변수로 하여 상온크립현상이 접촉면적 및 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였으며, 탄소성 재료인 보로실리케이트의 경우와 비교하였다. 또한, PMMA의 나노인덴테이션의 나노 압입실험에서 압입크기효과 (Indentation size effect, ISE) 의 영향을 조사하였다.

PMMA 와 같은 점탄성-점소성 소재의 나노인덴테이션 실험에서는 로딩공정에서 시편의 크립 현상이 발생한다. 나노인덴테이션 실험에서 시편의 크립 현상은, 최대 하중 조건에서의 유지시간에 따른 압입깊이의 상대 변화로써 측정될 수 있다.

Fig. 1 은 최대압입하중에서의 유지시간에 따른 C_{IT} 값의 변화를 나타내고 있다. 유지시간의 증가에 따라 C_{IT} 값이 증가함을 관찰할 수 있다.

Fig. 2 는 최대압입 하중에서의 유지시간에 따른 경도와 압흔의 크기변화를 나타내고 있다. 하중유지시간의 증가에 따라 압흔의 크기가 증가함을 확인할 수 있었다. 접촉깊이 (h_c)가 증가하면 접촉투영면적 (A_c)이 증가하므로, 경도 및 탄성계수가 감소함을 예측할 수 있다.



$$C_{IT} = \frac{h_2 - h_1}{h_1} \times 100$$

(h_1: 최대하중조건에서 압입깊이, h_2: 최대압압하중조건에서 하중유지시간에 따른 깊이)

Fig. 1 Variation of the C_{IT} value with hold-time (t_h)

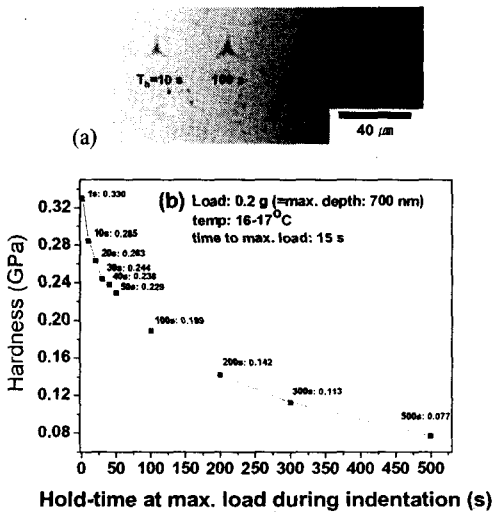


Fig. 2 Variation of the indent size and hardness with hold-time for PMMA