크립현상을 고려한 PMMA의 상온 나노압입실험에 대한 연구

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

주제: 압입 크립, 상온, 플로마나크릴레이트, 나노 압입기효과

박막이나 초미세 구조체의 경도 및 탄성계수 측정을 위한 나노 압입실험에서는 Oliver & Pharr가 제안한 하중-변위 측정 나노압입법이 널리 쓰이고 있다. 위 실험범위에, 나노경도(nano-hardness; 
\(H_n\))는 최대하중을 계산한 접촉면적 \((A_c)\)으로 나누어 평균하고, 압입자 및 박막의 탄성성질을 포함하는 환산
탄성계수 \((\text{reduced modulus}; E_r)\)은 하중재기능선의 초기 기울기인 접촉탄성강성 \((S)\)을 이용하여 계산한다.
그러나, 하중-변위 측정 나노압입법에는 탄성 및 소성변형만이 고려되고 시간의존적 변형가동 (time
dependent deformation; TDD)은 고려되지 않는다. 따라서, 나노인젠티리를 이용하여 PMMA와 같은 점소성
점탄성 소재의 나노 기계적 물성치 측정을 하기 위해서는, 응력완화 (stress relaxation), 크립 (creep)등과
같은 TDD의 영향에 대한 연구가 선형되어야 한다. 이러한 관점에서 여러 연구들이 수행되어 왔다.

본 연구에서는 PMMA소재의 나노 압입실험에서 발생하는 TDD 현상이 경도나 탄성계수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 나노인젠티리를 이용한 상온크립실험을 실시하였다. 압입 최대하중에서의 유지
시간을 변수로 하여 상온크립현상이 접촉면적 및 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였으며, 탄소성
제본인 보로실리케이트의 경우와 비교하였다. 또한, PMMA의 나노인젠티리의 나노 압입실험에서 압
입기효과 (Indentation size effect, ISE)의 영향을 조사하였다.

PMMA와 같은 점탄성-점소성 소재의 나노인젠티리 실험에서는 로딩공정에서 시편의 크립현상이 발생한다. 나노인젠티리 실험에서 시편의 크립 현상은, 최대 하중 조건에서의 유지시간에 따른 압입길이의 상대 변화로써 측정될 수 있다.

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

Fig. 2는 최대압입하중에서의 유지시간에 따른 경도와 압온의 크기변화를 나타내고 있다. 하중유
지시간의 증가에 따라 압온의 크기가 증가함을 확인할 수 있었다. 접촉길이 \((h_0)\)가 증가하면 접촉무명
면적 \((A_c)\)이 증가하므로, 경도 및 탄성계수가 감소함을 예측할 수 있다.

![Fig. 1 Variation of the \(C_{fr}\) value with hold-time \((t_h)\)](image)

![Fig. 2 Variation of the indent size and hardness with hold-time for PMMA](image)