

나노 인덴터를 이용한 플라즈마 디스플레이 소자(PDP)내 격벽의 기계적 물성 평가

정병해 · 김형순[†]

순천대학교 재료·금속공학과

Evaluation of Mechanical Properties of Barrier Ribs for Plasma Display Panel Using Nano Indenter Technology

Byung Hae Jung and Hyung Sun Kim[†]

Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Sunchon National University,
#315, Maegok-dong, Suncheon, 540-742

(2002년 1월 7일 받음, 2003년 1월 15일 최종수정본 받음)

Abstract For the rib materials in PDP(plasma display panel), an effective method to improve the mechanical properties is to form a composite material by reinforcing a glass matrix with rigid fillers, such as alumina and titania powders. In this study, two types of ribs with different volume percent of fillers and with different glass matrix were tested for hardness, Young's modulus with the Berkovich indentation. As a result, cracks appeared around at the load of 1345 mN for the dense type of rib, while porous one endured until 2427 mN without any crack formation. Young's modulus and hardness decreased at the range: 90~65 GPa, 9~4 GPa, respectively as a function of indent load. Thus, a new method with nanoindenter represents a possible evaluation method for mechanical properties of barrier ribs.

Key words PDP(plasma display panel), barrier rib, Berkovich indentation, mechanical properties

1. 서 론

정보화 시대, 멀티 미디어 시대 그리고 디지털 TV방 송시대의 도래와 함께 평판 디스플레이 소자중의 하나인 PDP(plasma display panel)에 대한 투자와 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1,3)} 현재 상용화되고 있는 AC형 PDP 구성은 일반적으로 두 개의 기관(상판, 하판)으로 크게 분리 될 수 있고 내부에 각각의 구성요소들이 형성된다. 후면 기관의 경우 3개의 형광체 (R, G, B)가 그 상부에 도포되어 있는 수십에서 수백 라인의 격벽과 함께 형성되어 있으며 (넓이 360 μm , 높이 125 μm), 그 아래 금속 어드레스 전극(넓이 60 μm , 두께 2 μm)이 형성된다. 그리고 전극과 격벽 사이의 공간을 백색 유전체가 채우게 된다. 특히, 격벽의 재료의 경우 상부의 막중한 무게를 지탱하면서 동시에 이미지 구현의 핵심이 되는 방전 공간을 제공하는 역할을 한다. 따라서 격벽재료는 일반적으로 다량의 유리조성에 필러로써 알루미늄이나 TiO₂ 분말을 혼합한 후 함께 소성하는 유리-필러 복합체의 형태로서 격벽이 갖추어야 할 높은 기계적 특성과 반사특성을 만족시킨다.^{1,2)} 그러나 격벽의 크기나 형상의 제한성으로 인하여 기계적인 물성 값을 위해 기존의 일

반적인 측정 방법들, 예를 들어 각종 경도계, 탄성계수 측정기 등의 응용성을 기대하기 어려운 실정이었다.

따라서 본 연구에서는 최근 들어 재료의 기계적 성질의 평가측면에서 많은 각광을 받고 있는 미소탐침을 이용한 ITT (Instrumented indentation testing)기술^{3,4)} 즉, 나노 인덴터를 이용하여 격벽의 탄성계수와 경도값의 측정을 시도하였다. 특히 하중-변형곡선으로부터 균열을 발생시키는 임계최소 하중을 측정하고자 한다. 현재 산업체에서는 격벽의 기계적인 특성측정에 있어서 소형 추 낙하실험에 의존하는 지극히 단순한 방법에 의존하고 있는 실정이다. 새롭게 제시되는 나노인덴터를 이용한 격벽의 기계적 물성 측정은 앞으로 격벽재료의 개발에 있어서 하나의 평가방법을 제시할 뿐만 아니라 더 나아가 제품의 완성도를 미리 예측 할 수 있기 때문에 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것이다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 격벽은 실제 PDP에 사용되는 재료로서, dense type과 porous type 두 종류의 시편이 선택되었다(Table 1). 시편홀더의 크기로 절단되어 준비된 격벽 (단면크기, 약 80×120 μm)을 수직방향으로 세워서 에폭시 마운팅을 하였다. 마운팅된 시편을 SiC paper를 이

[†]E-Mail : hskim@sunchon.ac.kr

용해 일차 연마를 한 후 최종적으로 다이아몬드 페이스 트 (1/4 μm)와 자동 연마기를 이용해 정밀 연마를 수행하였다. 연마된 후의 시편 형상은 Fig. 1에 나타나 있다.

Table 1. Comparison of two kinds of barrier rib.

Sample	Type	Porosity	Contents
D1	Dense	1%	Non-Pb based glass
P1	Porous	10%	Pb-based glass+Al ₂ O ₃ +TiO ₂

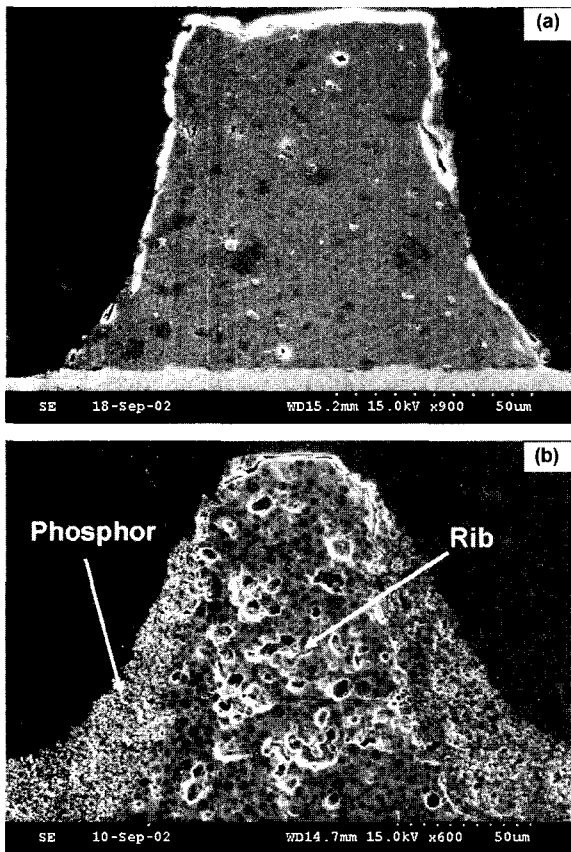


Fig. 1. Various types of barrier ribs (a) D1 and (b) P1.

미세경도 시험은 nano 인덴터 (Nano Indenter XP, MTS, USA)를 이용하였으며, 나노 인덴터에 사용된 팁은 피라미드 형상을 가지고 있고 재질이 다이아몬드로 이루어진 Berkovich 팁이었다 (XPb1683, MTS, USA). 이 팁을 이용하여 준비된 시편내의 격벽부분에 압자한 후 인덴터 내부에 장착된 광학현미경으로 압자된 부분을 측정하였다. 압입시험은 하나의 격벽에 각각 1회씩 최소 5회 시행하였다. 미소하중 압입법에 의하여 측정된 것은 하중 P, 표면으로부터의 압입깊이, 시간 등이며 이 결과로부터 탄성계수 E와 경도 H를 산출하였다.^{4,5)} 격벽의 미세조직 분석에는 FEG-SEM (Field Emission Gun-Scanning Electron Microscope, S-4300SE, HIACHI, Japan)으로서 EDX (Energy Dispersive X-Ray Microanalysis System, Phoenix60, EDAX)를 통해 이루어 졌다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 본 연구에 사용된 재료의 미세조직과 성분분석의 결과를 나타 내었다. P1의 경우, 격벽 표면에 10 μm 이상의 bimodal type의 기포가 약 10% 정도를 차지하고 있었다. 매트릭스조성은 EDX 분석의 결과로 알 수 있듯이 유연유리 (Pb glass) 조성에 필러로써 알루미나와 TiO₂ 분말이 혼합된 유리복합재료임을 알 수 있었다. 그리고, D1의 경우에는 모상유리 조성으로 무연유리조성이 사용되었고 예상되는 성분으로는 Na₂O, SiO₂, Al₂O₃ 그리고 MgO가 첨가된 유리기지 복합재료임을 예측할 수 있었다. 그러나 D1의 경우, 격벽재료 내부에 기공이 거의 없는 아주 치밀한 소결특성을 보여주고 있다(Fig. 2). 상대적으로 낮은 하중(50 gf)이 재료에 가하여졌을 때, 압흔의 크기는 대략 14 μm로 측정되었다(Fig. 3a). 인가된 하중이 100 gf로 증가되었을 때 재료내에 부분적인 균열의 발생을 관찰할 수 있었다(Fig. 3b). 계속해서 하중이 증가되었을 때, 격벽재료의 전체적인 균열의 발생은 하중이 150 gf 일 때의 이미지에서 관찰되었다(Fig. 3c).

Fig. 4에서는 하중의 변화에 따른 재료의 탄성계수, 경

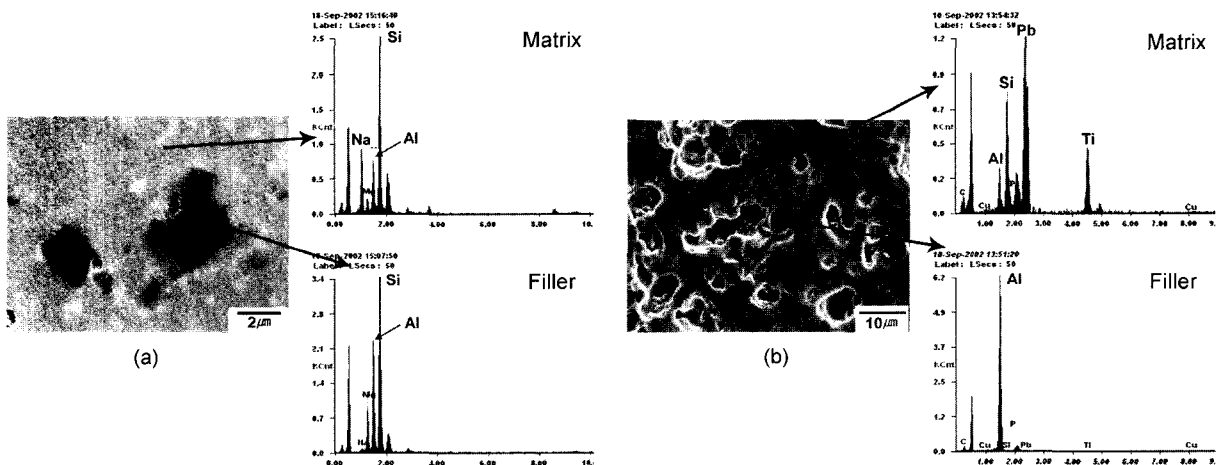


Fig. 2. Microstructure of sintered barrier rib: (a) dense type D1, (b) porous type P1.

도값의 변화를 나타내고 있다. D1의 격벽 경우, 하중이 25 gf에서 250 gf까지 증가함에 따라 탄성계수 값이 약 89 GPa에서 58 GPa까지 감소하는 경향을 보였고, 경도 값의 경우 약 8 GPa에서 6 GPa까지 감소하였다. 그러나, Fig. 4에서 보듯이 150 gf 이하의 하중에서 이미 미세한 균열이 격벽의 재료내에 발생하였음을 예상할 수 있기 때문에 그 이상의 하중에서의 물성치는 시편을 둘러싸고 있는 마운팅 재료의 영향을 고려해야 할 것이다. 균열이 발생하기 이전의 하중까지 재료의 탄성계수나 경도 값의 감소는 이전의 선행연구에서 이미 논의가 되었던 압자크기 효과,^{6,9)} ISE (indentation size effect)로 본다.

Fig. 5에서는 시편깊이에 따른 하중의 변화를 나타낸 그래프이다. 낮은 하중(50, 100 gf)에서는 어떠한 균열발생의 징후가 발견되지 않았다. 그러나 높은 하중(250 gf)이 인가되었을 때에는 갑작스런 깊이의 변화를 나타내는 (원으로 표시된 곳) 1345 mN 부근에서 불연속이 일어난 것으로 보아 이 하중에서 균열이 발생함을 예측할 수 있었다. 이는 Fig. 3에서 나타난 것처럼 압흔에 의한 균열의 발생이 하중 150 gf(환산 ≒ 1500 mN) 부근 이하에서 발생하였음을 설명해준다.

조직이 치밀한 격벽(D1)의 물성처럼 기공이 있는 형태의 격벽(P1)의 경우에도 마찬가지로, 하중의 증가에 따라 탄성계수 값과 경도값의 감소를 나타내었다. 그러나 D1과 비교했을 때 100 gf 이상의 높은 하중에서는 상대적으로 낮은 경도 값을 나타내었다. 치밀한 형태의 격벽과 비교했을 때 균열의 발생하중이 상대적으로 높은 하중에서 발생함을 알 수 있었다. 이는 Fig. 6에서 확인 될

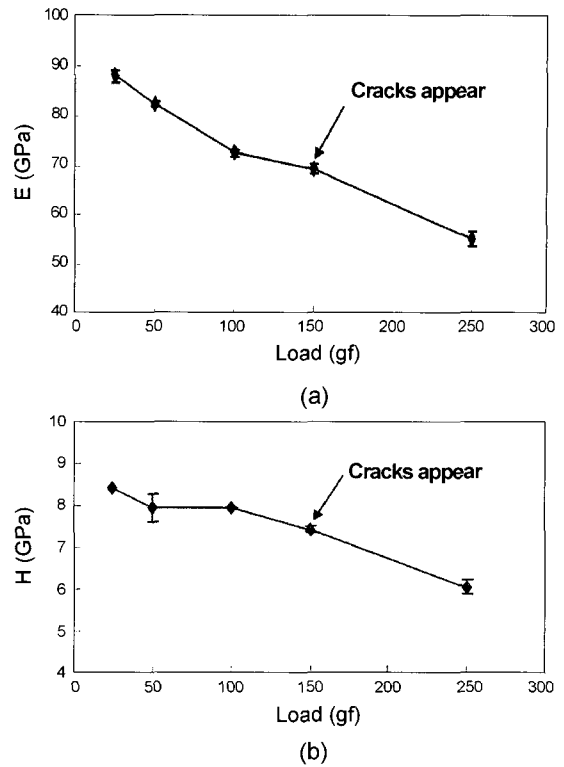


Fig. 4. Mechanical properties of D1: (a)Young's modulus (b) hardness.

수 있다. 그리고 Fig. 6의 경도 값에서 하중이 150 gf에서 경도값의 증가를 볼 수 있는데 이는 실험상의 오차로 생각되고 재료 내에 상대적으로 많이 분포되어 있는

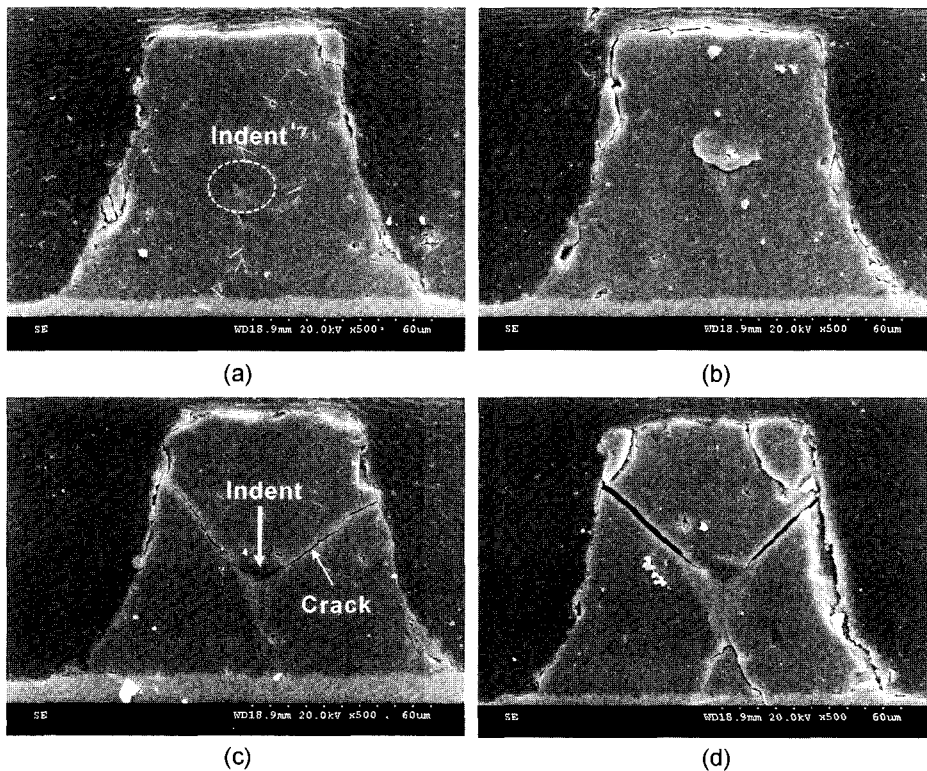


Fig. 3. Indent images and crack propagation in D1 (a) 50 gf (b) 100 gf (c) 150 gf and (d) 250 gf.

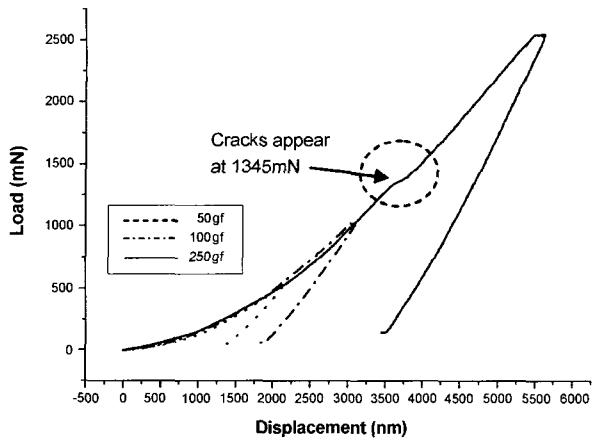
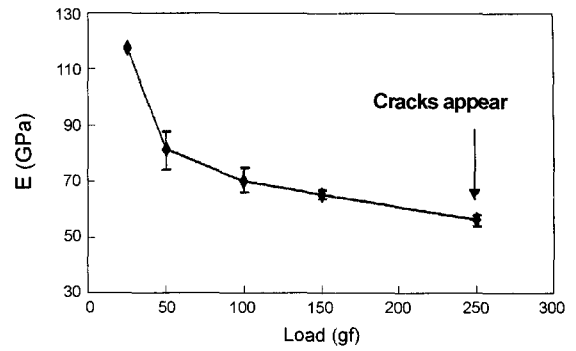


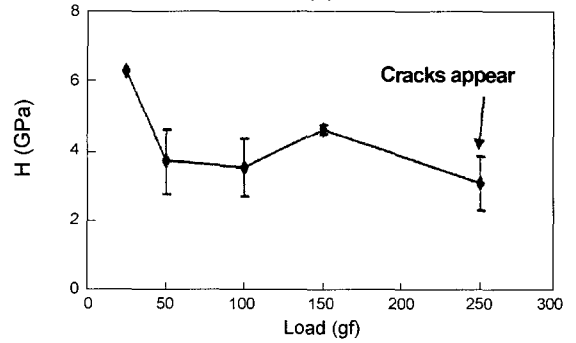
Fig. 5. Load and displacement of D1 sample.

알루미나 분말들(3~4 μm)에 압자의 팁이 접촉했을 것으로 추측하고 있다 (Fig. 7). 50 gf 하중에서 탄성계수 값의 오차가 약 ±7 GPa이고 경도값의 경우 ±1 GPa의 상대적으로 큰 오차범위를 나타내는 이유도 압자와 알루미나 필러 그리고 기공의 존재로 인하여 초래된 결과로 본다.

앞서 논의된 균열발생에 필요한 임계최소 하중이 Fig. 8를 통해서 밝혀질 수 있다. P1 격벽의 균열발생은 상대적으로 높은 2427 mN에서 나타남을 알 수 있었다. Fig. 9에서는 균열발생 전후의 하중에서(50 gf, 250 gf) 각각의 격벽에 대한 하중 변화에 따른 깊이 변화를 나



(a)



(b)

Fig. 6. Mechanical properties of P1 : (a) Young's modulus, (b) hardness.

타 내고 있다. 먼저 모든 격벽에 대해서 균열발생 전의 하중에 대한 결과를 볼 때, P1 격벽은 상대적으로 D1

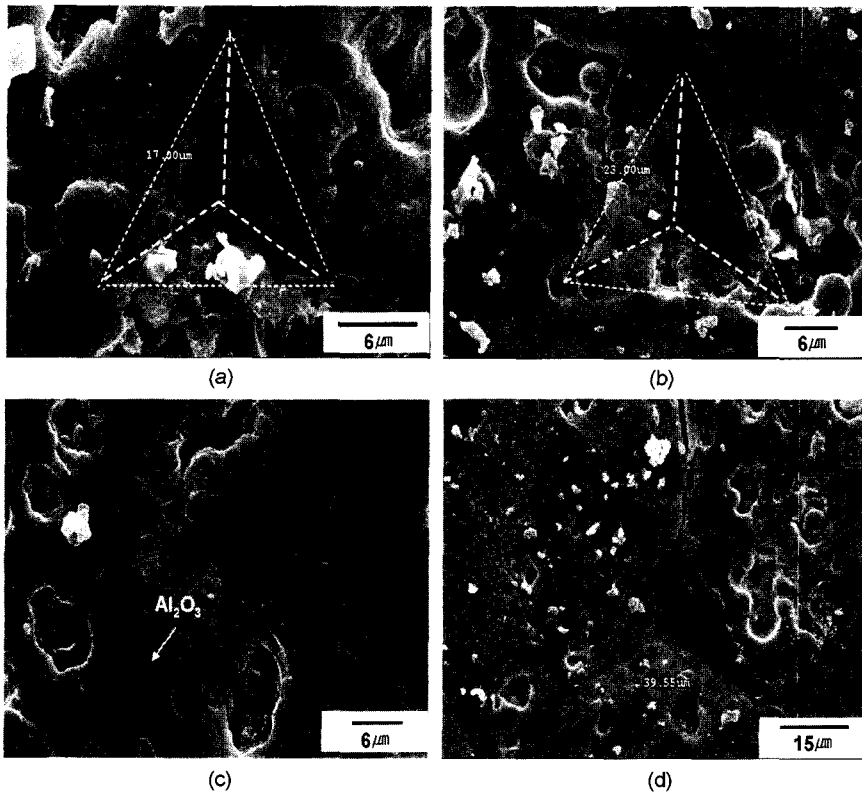


Fig. 7. Indent images and crack formation in P1. (a) 50 gf (b) 100 gf (c) 150 gf and (d) 250 gf.

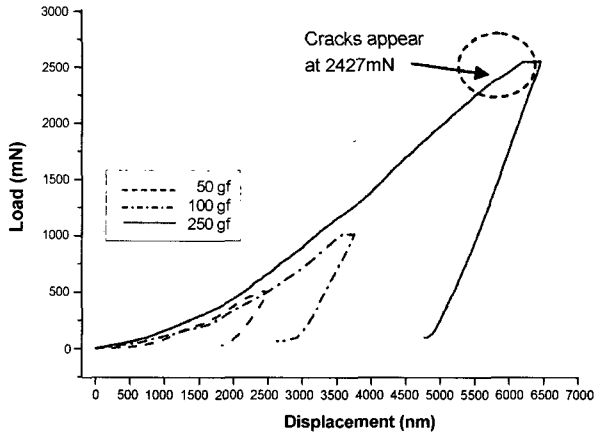


Fig. 8. Load and displacement data of P2 with varying loads.

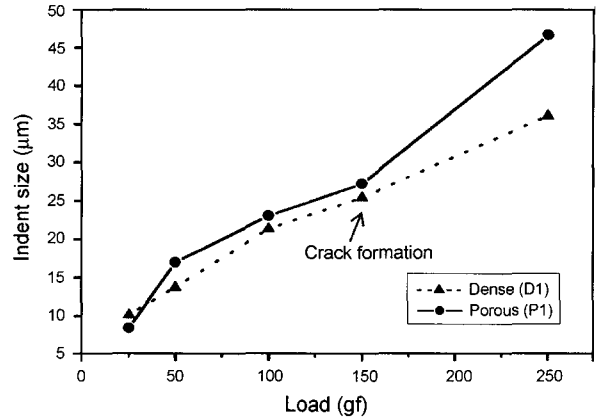


Fig. 10. Indent size as a function of load (25~250 gf).

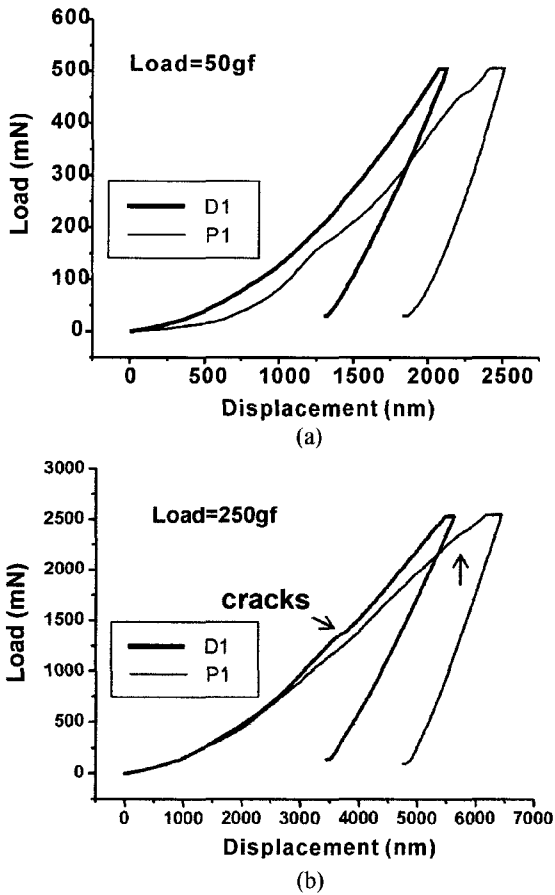


Fig. 9. Load and displacement data of each barrier rib : (a) before crack formation(load=50 gf), (b) after crack formation(load= 250 gf).

에 비해 같은 하중에 대해 더 많은 수직방향으로의 변위를 보였다. 아울러 많은 변위량 만큼 회복되는 거리도 적음을 알 수 있었다. 이는 압자가 재료 내에 침투될 때 탄성과 소성변형이 함께 일어나게 되는데 그만큼 P1의 재료가 소성영역에 빨리 도달하고 그 재료는 다른 재료에 비해 탄성영역을 넘어서 더욱 소성영역 쪽으로 이동

했음을 의미한다. 또, 이는 앞서 제시된 상대적으로 낮은 경도값으로써 설명될 수 있다.

동일한 하중한 대해 압흔의 크기에 대한 두 격벽의 비교가 Fig. 10에 나타나 있다. 기공분포가 많은 격벽 재료일수록(P1) 압흔의 크기는 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 특히 150 gf 이상의 하중에서는 P1의 경우 균열의 발생 전까지 급격한 압흔 크기의 증가(~46 μm)를 보였다. P1의 미세조직에서 알루미늄의 입자 크기가 3-5 μm, 기공 크기가 5 μm 이상의 임을 고려한다면 50 gf 이상에서 압흔의 크기가 18 μm 이상은 압흔의 오차범위에 영향을 크게 주지 않았다. 또한 150 gf의 하중까지는 D1, P1의 두 경우에 큰 영향을 미치지 않았으나, 250 gf에서는 현저하게 미세조직에 대한 하중의 영향을 받은 것으로 보인다.

4. 결 론

나노 인덴터 기술로 두 종류(치밀, 기공이 있는 재료)의 격벽에 대한 탄성계수 값과 경도 값이 측정되었다. 피라미드 형태 압자의 압입시험으로 측정된 모든 격벽재료가 하중이 증가(50~250 gf)함에 따라 전반적으로 물성값이 감소하는 경향을 보였다. 그리고 각각의 재료들이 각기 다른 하중에서의 균열형성 특성을 보였다. 재료내의 기공이 거의 없는 D1 격벽재료의 경우, 1345 mN에서 균열의 형성됨을 알 수가 있었고 기공이 상대적으로 많이 분포하는 P1의 경우, 비교적 높은 하중인 2427 mN에서 균열이 형성됨을 알 수 있었다. 그러나 P1 격벽재료의 경우 하중에 따른 변위 곡선으로부터 상대적으로 적은 탄성회복 특성을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 순천대학교 공과대학 학술재단 공모과제 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. M. S. Jang and B. G. Ryu, *J. Kor. Information Display Society*, **2**, 19 (2001).
2. Y. S. Kim, *J. Kor. Information Display Society*, **2**, 43 (2001).
3. J. H. Park, B. H. Jung and H. S. Kim, in *Proceedings of The 2nd International Meeting on International Display* (Daegu, Korea, Aug. 2002), *Korean Information Display Society*, 795.
4. J. H. Han, *J. Kor. Ceram. Soc.*, **37**, 596 (2000).
5. W.C. Oliver and G. M. Pharr, *J. Mater. Res.* **7**, 1564 (1992).
6. T. Miura, Y. Benino, R. Sato and T. Komatsu, *J. Euro. Ceram. Soc.*, **23**, 409 (2003).
7. K. Hirao and M. Tomozawa, *J. Am. Ceram. Soc.*, **70**, 497 (1987).
8. H. Li and R. C. Bradt, *J. Non-Cryst. Solids*, **146**, 197 (1992).
9. W. D. Nix and H. Gao, *J. Mech. Phys. Solids*, **46**, 411 (1998).